



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

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΠΟΧΗΣ ΤΟΥ ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ Ν
ΣΕ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΛΕΝΗ-ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΛΕΒΙΖΑΚΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ :
ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΠΑΝΤΑΖΗΣ
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2010



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

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΠΟΧΗΣ ΤΟΥ ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ Ν
ΣΕ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΛΕΝΗ-ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΛΕΒΙΖΑΚΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ :
ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΠΑΝΤΑΖΗΣ
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2010

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες και ειλικρινείς μου ευχαριστίες στους επίκουρους καθηγητές της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. κ. **Γιώργο Πανταζή** και κα. **Ευαγγελία Λάμπρου** για την διατύπωση του αντικειμένου της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, λαμβάνοντας υπόψη τα προσωπικά ενδιαφέροντα μου.

Ιδιαίτερα τους ευχαριστώ για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν, την καθοδήγηση αλλά κυρίως την αμέριστη και συνεχή βοήθεια τους στις εργασίες πεδίου και στην όλη σύνταξη της εργασίας, βρίσκοντας πάντα χρόνο για να λύσουν οποιαδήποτε απορία μου γεννιόταν στη πορεία.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω την Λέκτορα της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. κα. **Ελισάβετ Τελειώνη**, για τις χρήσιμες και ουσιαστικές διορθώσεις της στο τέλος της διπλωματικής μου εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στην φίλη και συμφοιτήτρια μου **Κατερίνα Φαρμακάκη**, χωρίς την παρουσία της οποίας δεν θα είχε ξεκινήσει και ολοκληρωθεί η παρούσα εργασία. Η βοήθεια της ήταν καθοριστική κατά την διάρκεια των μετρήσεων αλλά και κατά την διάρκεια της επεξεργασίας τους, κάνοντας τες πιο ευχάριστες.

Τέλος, οφείλω το μεγαλύτερο ευχαριστώ στην οικογένεια μου, τους γονείς μου **Βασίλη, Άσπα** και τον αδερφό μου **Αλεβίζο**, για την αγάπη, την συμπαράσταση και υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Χωρίς αυτούς δεν θα μπορούσα να αφοσιωθώ στις σπουδές μου και να ξεκινήσω την προσπάθεια για να πετύχω τους στόχους μου, γνωρίζοντας ότι είναι πάντα κοντά μου να με στηρίζουν και να με βοηθούν σε οτιδήποτε κι αν χρειαστώ.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ιδιαίτερη σημασία για το σύνολο των τοπογραφικών εργασιών έχει η ίδρυση τριγωνομετρικών, πολυγωνομετρικών και χωροσταθμικών δικτύων υποδομής. Η ανάγκη ίδρυσης τέτοιων δικτύων οδήγησε στην συγκρότηση, τον Μάιο του 1918, της Τοπογραφικής Υπηρεσίας του Υπουργείου Συγκοινωνιών.

Το 1920 κάτω από την επίβλεψη της συγκεκριμένης υπηρεσίας και υπό την επιμέλεια του Δ.Ν. Λαμπαδαρίου ιδρύθηκε, στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας και του Πειραιά, ένα χωροσταθμικό δίκτυο 320 υψομετρικών αφετηριών (Repères). Σήμερα, έχουν απομείνει μόλις 67 υψομετρικές αφετηρίες, κυρίως εξαιτίας των αλλαγών στην περιοχή της Αθήνας.

Το 2010 αποφασίστηκε να μετρηθεί ένα δίκτυο που αποτελείται από 18 Repères, με την χρήση της ψηφιακής γεωμετρικής χωροστάθμησης και της Τριγωνομετρικής Υψομετρίας Ακριβείας (ΤΡ.Υ.Α.), με σκοπό τον έλεγχο των μικρομετακινήσεων στη συγκεκριμένη περιοχή.

Το γεγονός αυτό δημιούργησε την ιδέα του προσδιορισμού των γεωμετρικών υψομέτρων αυτών των υψομετρικών αφετηριών, πραγματοποιώντας μετρήσεις με το δορυφορικό σύστημα γεωδαιτικού εντοπισμού GPS (Global Positioning System). Η χωροθέτηση των 18 υψομετρικών αφετηριών (κέντρο Αθήνας) αλλά και ο τρόπος υλοποίησης τους (μπουλόνια σε τοίχους) αποτέλεσαν τα δύο σημαντικότερα στοιχεία στα οποία έπρεπε να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή.

Η γνώση των δύο υψομέτρων (ορθομετρικό και γεωμετρικό) οδήγησε, στην συνέχεια, στον υπολογισμό της αποχής N του γεωειδούς στις 18 υψομετρικές αφετηρίες. Αυτός ο τρόπος υπολογισμού της αποχής του γεωειδούς αποτελεί μια από τις μεθόδους υπολογισμού ενός τοπικού γεωειδούς εκτός από την αστρογεωδαιτική χωροστάθμηση και την αστροβαρυτομετρική χωροστάθμηση.

Τέλος, ο υπολογισμός της μεταβολής του γεωειδούς χρησιμοποιώντας τα παγκόσμια μοντέλα γεωειδούς EGM96 και EGM08 έδωσε τη δυνατότητα να προκύψουν συμπεράσματα για τον βαθμό προσαρμογής τέτοιων μοντέλων στη συγκεκριμένη περιοχή και για το εάν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναγωγή γεωμετρικών υψομέτρων σε ορθομετρικά ικανοποιώντας τις εκάστοτε απαιτήσεις ακριβείας που απαιτούνται.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	I
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	II
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	III
ΠΙΝΑΚΕΣ	VI
ΣΧΗΜΑΤΑ	VII
ΧΑΡΤΕΣ	VIII
ΕΙΚΟΝΕΣ	VIII
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	X
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 :

ΤΟ ΓΕΩΕΙΔΕΣ ΚΑΙ Ο ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ

1.1. Επιφάνειες αναφοράς	2
1.2. Το γεωειδές	3
1.2.1. Η απόκλιση της κατακορύφου	4
1.2.2. Το υψόμετρο του γεωειδούς N	4
1.3. Μέθοδοι προσδιορισμού του γεωειδούς	6
1.4. Μοντέλα γεωειδούς	8
1.4.1. Παγκόσμιο μοντέλο γεωειδούς EGM96	9
1.4.1. Παγκόσμιο μοντέλο γεωειδούς EGM08	10

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 :

ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ

2.1. Γενικά	11
2.2. Βασικές αρχές λειτουργίας του δορυφορικού εντοπισμού	12
2.3. Το σύστημα GPS	14
2.3.1. Τα λειτουργικά τμήματα του συστήματος GPS	15
2.3.2. Το σύστημα αναφοράς του GPS	17
2.4. Οι μέθοδοι δορυφορικού εντοπισμού	18
2.4.1. Απόλυτος εντοπισμός	19

2.4.2. Σχετικός εντοπισμός	20
2.5. Μετρήσεις στο σύστημα GPS	23
2.5.1. Μετρήσεις ψευδοαπόστασης	23
2.5.2. Μετρήσεις του φαινομένου Doppler	24
2.5.3. Μετρήσεις φάσης του φέροντος κύματος	24
2.6. Προσδιορισμός βάσης	25
2.6.1. Λογισμικά επεξεργασίας	26
2.6.2. Αποτελέσματα επίλυσης	26
2.7. Πηγές σφαλμάτων GPS	27
2.8. Διάφορες περιπτώσεις προσδιορισμού ορθομετρικών υψομέτρων με την χρήση GPS	28

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 :

ΔΙΚΤΥΑ ΜΟΝΙΜΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ GPS

3.1. Γενικά	31
3.2. Δίκτυα μόνιμων σταθμών σε παγκόσμια κλίμακα	31
3.3. Δίκτυα μόνιμων σταθμών στην Ελλάδα	34
3.4. HEPOS-Το ελληνικό σύστημα εντοπισμού	36
3.4.1. Υπηρεσίες πραγματικού χρόνου	37
3.4.2. Υπηρεσίες μετεπεξεργασίας	40
3.4.3. Τρόπος λειτουργίας	42
3.4.4. Το γεωδαιτικό σύστημα του HEPOS	43

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 :

ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ-ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

4.1. Γενικά	45
4.2. Χωροσταθμικό δίκτυο Αθηνών, Προαστίων και Περιχώρων (1921)	46
4.2.1. Εγκατάσταση του δικτύου - Προβλήματα	46
4.2.2. Μέθοδος και όργανα	50
4.2.3. Υπολογισμοί και συμπεράσματα	50

4.3. Εντοπισμός υψομετρικών αφετηριών σήμερα	53
4.4. Υποδίκτυα	55
4.4.1. Χωροσταθμικό δίκτυο Αθηνών Ι	55
4.4.2. Ορθομετρικά υψόμετρα δικτύου Αθηνών	59

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ

5.1. Γενικά	62
5.1.1. Υλοποίηση νέων κορυφών	62
5.1.2. Μεθοδολογία	64
5.2. Μέθοδος μέτρησης GPS	65
5.3. Εξοπλισμός GPS και ψηφιακής γεωμετρικής χωροστάθμησης	66
5.3.1. Trimble 5800	67
5.3.2. Topcon DL-102C	68
5.4. Διαδικασία μετρήσεων GPS	69
5.5. Διαδικασία μετρήσεων γεωμετρικής χωροστάθμησης	71
5.6. Επίλυση βάσεων	72
5.6.1. Αποτελέσματα επιλύσεων	75
5.6.2. Παρατηρήσεις-Προβλήματα επιλύσεων	76
5.7. Προσδιορισμός γεωμετρικών υψομέτρων κορυφών δικτύου	78
5.8. Προσδιορισμός γεωμετρικών υψομετρικών διαφορών στο αντίστοιχο δίκτυο των ΔΗ	80

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 :

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΠΟΧΗΣ (N) ΤΟΥ ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ

6.1. Γενικά	82
6.2. Προσδιορισμός της αποχής N του τοπικού γεωειδούς	82
6.3. Προσαρμογή επιπέδου	86
6.3.1. Προσαρμογή επιπέδου με χρήση 5 υψομετρικών αφετηριών	86
6.3.2. Προσαρμογή επιπέδου με χρήση 8 υψομετρικών αφετηριών	89

6.4. Δημιουργία χάρτη των αποχών του γεοειδούς	91
6.5. Προσδιορισμός της αποχής N από τα EGM96 και EGM08	95
6.6. Σύγκριση τοπικού μοντέλου με τα παγκόσμια μοντέλα γεοειδούς	97

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 :

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

7.1. Συμπεράσματα	101
7.2. Προτάσεις	104
7.3. Κατανομή εργασιών	104

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ABSTRACT

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 : Χωροσταθμίσεις

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 : Baseline Summary and Tracking Summary (TG Office)

123

ΠΙΝΑΚΕΣ

4.1 Περιγραφή των υψομετρικών αφετηριών (1921)	49
4.2 Τελικά αποτελέσματα μέσω σφαλμάτων (1921)	51
4.3 Ορθομετρικά υψόμετρα και αβεβαιότητες κορυφών (2010)	60
5.1 Στοιχεία μόνιμου σταθμού αναφοράς 098A του συστήματος HEPOS	66
5.2 Στοιχεία μετρήσεων GPS	71
5.3 Αποτελέσματα χωροσταθμίσεων μεταξύ υψομετρικής αφετηρίας και νέου σημείου	72
5.4 Στατιστικά στοιχεία επίλυσης βάσεων των μετρηθέντων σημείων με την τεχνική του σχετικού στατικού εντοπισμού [Coordinate System GGRS87(HEPOS), Geoid Model EGM96 (Global)]	74
5.5 Αποτελέσματα επίλυσεων βάσεων – Γεωμετρικά υψόμετρα νέων σημείων	75

5.6 Αποτελέσματα χωροσταθμίσεων μεταξύ δύο υψομετρικών αφετηριών	77
5.7 Τυπικές αποκλίσεις ορθομετρικών υψομετρικών διαφορών ΔH_{87-68} , $\Delta H_{144-141}$, $\Delta H_{144-150}$	79
5.8 Γεωμετρικά υψόμετρα υψομετρικών αφετηριών στο WGS'84	79
5.9 Γεωμετρικές Υψομετρικές διαφορές WGS'84	80
6.1 Προσδιορισμός της αποχής (N) του γεωειδούς στο WGS'84 με την επίλυση από το 58	83
6.2 Προσδιορισμός της αποχής (N) του γεωειδούς στο WGS'84 με την επίλυση από το 5	84
6.3 Ορθομετρικά και γεωμετρικά υψόμετρα των κορυφών του δικτύου από απευθείας μετρήσεις και από υπολογισμό (5σημεία)	88
6.4 Ορθομετρικά και γεωμετρικά υψόμετρα των κορυφών του δικτύου από απευθείας μετρήσεις και από υπολογισμό (8 σημεία)	90
6.5 Τελικές συντεταγμένες στο HTRS07 και αποχές τοπικού γεωειδούς	92
6.6 Προσδιορισμός της αποχής (N) και της μεταβολής των μοντέλων του γεωειδούς από το WGS'84	96
6.7 Σύγκριση μοντέλων γεωειδούς	98
6.8 Σφάλματα της απόκλισης ΔH του τοπικού γεωειδούς από τα παγκόσμια μοντέλα	100

ΣΧΗΜΑΤΑ

1.1 Σχετική θέση επιφανειών αναφοράς και υψομέτρων	5
2.1 Η θέση του δέκτη βρίσκεται στην τομή των τριών σφαιρών	13
2.2 Ο προσδιορισμός της τριδιάστατης θέσης του δέκτη απαιτεί μετρήσεις από τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους	13
2.3 Απόλυτος εντοπισμός θέσης	19
2.4 Σχετικός εντοπισμός θέσης. Προσδιορισμός τριδιάστατου διανύσματος βάσης μεταξύ των σημείων σε γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς	20
3.1 Απεικόνιση βασικών λειτουργιών και υπηρεσιών που	

εξυπηρετεί η τηλεπικοινωνιακή υποδομή του HEPOS	38
4.1 Παράδειγμα περιγραφής ταυτότητας υψομετρικής αφετηρίας	54
5.1 Σχηματική παρουσίαση των γεωμετρικών υψομετρικών διαφορών στο ελλειψοειδές αναφοράς του WGS'84	81

ΧΑΡΤΕΣ

1.1 Αστρογεωδαιτικός χάρτης του υψομέτρου του γεωειδούς ως προς το ελλειψοειδές GRS'80 του WGS'84 (ισοδιάσταση m)	7
3.1 Παγκόσμιο δίκτυο GPS/GLONASS του δικτύου IGS	32
3.2 Δίκτυο σταθμών αναφοράς του HEPOS	38
4.1 Απόσπασμα τοπογραφικού χάρτη με τις θέσεις των σταθερών υψομετρικών αφετηριών (1921)	48
4.2 Απόσπασμα χάρτη Αθήνας με τις θέσεις των υψομετρικών αφετηριών 56,57,58,58 ^A ,61,133 και 160	56
4.3 Απόσπασμα χάρτη Αθήνας με τις θέσεις των υψομετρικών αφετηριών 4,5,6,68,87 και 86	57
4.4 Απόσπασμα χάρτη Αθήνας με τις θέσεις των υψομετρικών αφετηριών 141,143,144 και 150	57
4.5 Χάρτης με την θέση όλων των υψομετρικών αφετηριών του χωροσταθμικού δικτύου Αθηνών I	58
6.1 Τριδιάστατο μοντέλο τοπικού γεωειδούς	93
6.2 Χάρτης τοπικού γεωειδούς	94

ΕΙΚΟΝΕΣ

1.1 Μορφή του γεωειδούς	6
1.2 Μορφή του γεωειδούς EGM96	9
1.3 Μορφή του γεωειδούς EGM08	10
2.1 Ενδεικτική εικόνα των θέσεων των δορυφόρων GPS	16
2.2 Δορυφόρος του συστήματος GPS	16
2.3 Γεωγραφική κατανομή του επίγειου τμήματος ελέγχου GPS	17
3.1(α) Μόνιμοι σταθμοί GPS AUT1(Θεσσαλονίκη) και NOA1(Αττική)	35
3.1(β) Μόνιμος σταθμός GPS TUC2(Χανιά)	35

3.2 Κεραία σταθμού αναφοράς του HEPOS τοποθετημένη σε βάθρο σε οροφή και σε τοίχο	37
3.3 Το κέντρο ελέγχου του HEPOS	37
3.4 Παράδειγμα παραγγελίας αρχείου εικονικού σταθμού αναφοράς μέσω του RINEX shop	41
3.5 Απεικόνιση βασικών λειτουργιών και υπηρεσιών που εξυπηρετεί η τηλεπικοινωνιακή υποδομή του HEPOS	42
5.1 Υψομετρική αφετηρία χωροσταθμικού δικτύου Αθηνών I	63
5.2 Νέα υψομετρική αφετηρία	63
5.3 Δέκτης GPS Trimble 5800	68
5.4 Ψηφιακός χωροβάτης TOPCON DL-102C	69
5.5 Τοποθέτηση κεραίας	70
5.6 Βάσεις των σημείων ως προς τον μόνιμο σταθμό 098A, όπως εμφανίζονται στο λογισμικό TG Office	73

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός της αποχής του γεωειδούς N στη περιοχή του κέντρου της Αθήνας. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού GPS (Global Positioning System), σε ένα χωροσταθμικό δίκτυο στο κέντρο της Αθήνας.

Το σύνολο της εργασίας παρουσιάζεται σε επτά κεφάλαια :

- Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά σε κάποιες βασικές έννοιες όπως οι επιφάνειες αναφοράς, αναπτύσσοντας περισσότερο το γεωειδές. Παρουσιάζονται συνοπτικά οι μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί για τον προσδιορισμό της επιφάνειας του γεωειδούς και τα μοντέλα τα οποία χρησιμοποιούνται παγκοσμίως (EGM96 και EGM08).
- Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται τα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος GPS, οι κύριες πηγές των σφαλμάτων του αλλά και η χρήση του στην υψομετρία. Παρουσιάζονται οι μετρήσεις οι οποίες πραγματοποιούνται και οι μέθοδοι δορυφορικού εντοπισμού που χρησιμοποιούνται. Επίσης, αναλύεται ο τρόπος επεξεργασίας των μετρήσεων αλλά ο έλεγχος των αποτελεσμάτων τους.
- Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται συνοπτική παρουσίαση των παγκόσμιων δικτύων μόνιμων σταθμών αναφοράς και παρουσιάζεται λεπτομερώς το ελληνικό δίκτυο μόνιμων σταθμών HEPOS.
- Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται το πεδίο εφαρμογής και τα ιστορικά στοιχεία ίδρυσης του χωροσταθμικού δικτύου Αθηνών (1920). Παρουσιάζονται οι διαδικασίες εκ νέου εντοπισμού των 18 υψομετρικών αφετηριών όπως επίσης και τα ορθομετρικά τους υψόμετρα όπως αυτά υπολογίστηκαν το 2010.
- Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το σύνολο των εργασιών για τον προσδιορισμό των γεωμετρικών υψομέτρων των 18 υψομετρικών αφετηριών του χωροσταθμικού δικτύου. Αναλύεται η διαδικασία των μετρήσεων και της μετέπειτα επεξεργασίας τους.
- Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται ο υπολογισμός της μεταβολής του τοπικού γεωειδούς αλλά και των αντίστοιχων τιμών που προκύπτουν από τα δύο παγκόσμια μοντέλα γεωειδούς (EGM96 και EGM08).

Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων, δηλαδή τα γεωμετρικά υψόμετρα των κορυφών ενός χωροσταθμικού δικτύου, και

γνωρίζοντας τα αντίστοιχα ορθομετρικά τους υψόμετρα κατέστη δυνατός ο προσδιορισμός της **αποχής του γεωειδούς** από το ελλειψοειδές που χρησιμοποιείται από το παγκόσμιο σύστημα αναφοράς WGS'84 (GRS'80). Δημιουργήθηκε επίσης ένας χάρτης με τις αποχές του γεωειδούς και εξετάστηκε η δυνατότητα προσαρμογής των τιμών του γεωειδούς σε επίπεδο.

Επιπλέον, βρέθηκαν οι αντίστοιχες αποχές των κορυφών του δικτύου χρησιμοποιώντας τα δύο παγκόσμια μοντέλα γεωειδούς EGM96 και EGM08. Τέλος, υπολογίστηκαν οι διαφορές ΔN των αποχών από τα **τρία** μοντέλα γεωειδούς καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι το τοπικό μοντέλο εμφανίζει πιο έντονες μεταβολές ενώ τα παγκόσμια προσεγγίζουν το επίπεδο.

Το τοπικό αυτό μοντέλο μπορεί στην συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για την μετατροπή γεωμετρικών υψομέτρων σε ορθομετρικά, με αποτέλεσμα να μην είναι υποχρεωτικές οι μετρήσεις μόνο με γεωμετρική χωροστάθμηση αλλά να μπορούν να γίνονται μετρήσεις GPS, οι οποίες είναι λιγότερο χρονοβόρες, παρέχοντας την ίδια ικανοποιητική ακρίβεια.

Πραγματοποιείται επίσης σύγκριση των τιμών της αποχής του γεωειδούς που προσδιορίστηκαν από τις μετρήσεις GPS και των αντίστοιχων τιμών που βρέθηκαν από τα παγκόσμια μοντέλα.

- Στο έβδομο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εκτέλεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, κάποιες προτάσεις καθώς και η χρονική διάρκεια της εργασίας.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο προσδιορισμός του γεωειδούς αποτέλεσε για περίπου 70 χρόνια (1880-1950) έναν από τους κύριους στόχους της γεωδαισίας. Ο προσδιορισμός του έπαψε να είναι τόσο σημαντικός μετά το 1945 όταν αναπτύχθηκαν άλλες μέθοδοι για τον προσδιορισμό της φυσικής γήινης επιφάνειας, του σχήματος και του μεγέθους της γης. Παρόλα αυτά ο ακριβής προσδιορισμός του παραμένει ένα από τα ουσιώδη προβλήματα της γεωδαισίας.

Η συγκριτική και ουσιαστική διαφορά των σύγχρονων δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού όπως το σύστημα GPS, από τις επίγειες μετρήσεις είναι ότι τα αποτελέσματα τους αναφέρονται σε ένα ελλειψοειδές (μαθηματική επιφάνεια) που έχει οριστεί ώστε να προσεγγίζει καλύτερα το γεωειδές (φυσική επιφάνεια).

Ως γεωειδές, ορίζεται η επιφάνεια αναφοράς της τρίτης διάστασης για κάθε σημείο και προσεγγίζεται από τη μ.σ.θ., που είναι η αφετηρία των ορθομετρικών υψομέτρων H που μετρούνται κατά τη διεύθυνση της κατακορύφου [Ε. Λάμπρου, 2003].

Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα που προκύπτουν από τη χρήση των δύο αυτών επιφανειών αναφοράς (ελλειψοειδές και γεωειδές) είναι η αναγωγή και η διόρθωση των γεωμετρικών υψομέτρων h , που έχουν ως επιφάνεια αναφοράς κάποιο ελλειψοειδές, σε ορθομετρικά υψόμετρα H με επιφάνεια αναφοράς το γεωειδές. Για τον σκοπό αυτό χρειάζεται η ακριβής γνώση του υψομέτρου του γεωειδούς για να γίνει δυνατός ο υψομετρικός συσχετισμός μεγάλων τμημάτων της Φ.Γ.Ε. Η σχέση που συνδέει τη Φ.Γ.Ε., το γεωειδές και το ελλειψοειδές είναι η $H = h - N$.

Για τον προσδιορισμό του N έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι οι οποίες βασίζονται κυρίως στον προσδιορισμό των συνιστωσών ξ και η της απόκλισης της κατακορύφου σε κάποιο σημείο της Φ.Γ.Ε., είτε στον προσδιορισμό των μεταβολών Δg της βαρύτητας. Ένας ακόμα τρόπος για τον προσδιορισμό του υψομέτρου N του γεωειδούς σε τοπικό επίπεδο είναι η γνώση των ορθομετρικών και των γεωμετρικών υψομέτρων ενός αριθμού σημείων.

Αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι ο προσδιορισμός του υψομέτρου N του γεωειδούς σε μια αστική περιοχή προσδιορίζοντας τα γεωμετρικά υψόμετρα 18 κορυφών, ενός υπάρχοντος χωροσταθμικού δικτύου, των οποίων είναι γνωστά τα ορθομετρικά υψόμετρα. Οι μετρήσεις πραγματοποιηθήκαν με χρήση του παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού GPS.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΤΟ ΓΕΩΕΙΔΕΣ ΚΑΙ Ο ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ

1.1. Επιφάνειες αναφοράς

Γεωδαισία είναι η επιστήμη, που με παρατηρήσεις, μετρήσεις και υπολογισμούς προσδιορίζει τις ακριβείς θέσεις σημείων και τις μεταβολές τους στον χρόνο, το σχήμα και το μέγεθος τμημάτων περιοχών που βρίσκονται πάνω ή κοντά στην Φυσική Γήινη Επιφάνεια (Φ.Γ.Ε.), το σχήμα και το μέγεθος της γης καθώς και το πεδίο βαρύτητας.

Η Φ.Γ.Ε. είναι το όριο της συμπαγούς γης και της υδάτινης επιφάνειας της με την ατμόσφαιρα. Πρόκειται για μία πολύ ανώμαλη φυσική επιφάνεια, την οποία εάν θελήσει κανείς να προσδιορίσει χρειάζεται αρκετά πολύπλοκες συναρτήσεις με πάρα πολλούς όρους και σταθερούς συντελεστές που προκύπτουν από διάφορες παρατηρήσεις. Για αυτό το λόγο στις περισσότερες εφαρμογές επιλέγεται ένα «μοντέλο» που χρησιμεύει σαν μια βοηθητική επιφάνεια αναφοράς αντικαθιστώντας την πραγματική γη. Όμως, το «μοντέλο» αυτό πρέπει να έχει γεωμετρικές και μηχανικές ιδιότητες ίδιες με την πραγματική γη, πλησιάζοντας την κατά το δυνατόν περισσότερο, ενώ ταυτόχρονα πρέπει να περιγράφεται από σχετικά απλές μαθηματικές σχέσεις για να γίνεται εύκολη η χρήση του.

Για πολύ μικρές εκτάσεις ή απλές εφαρμογές τοπογραφίας, όπου δεν είναι πολύ σημαντική η επίδραση της καμπυλότητας της γης και οι κατακόρυφοι στην περιοχή αυτή μπορούν να θεωρηθούν παράλληλες μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως επιφάνεια αναφοράς ένα **οριζόντιο επίπεδο**. Το επίπεδο αυτό εφάπτεται σε συγκεκριμένο σημείο της Φ.Γ.Ε και πάνω του προβάλλονται τα σημεία που ορίζουν την Φ.Γ.Ε.

Εάν η έκταση είναι αρκετά μεγάλη, οπότε η καμπυλότητα της γης είναι σημαντική, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως «μοντέλο» η επιφάνεια μίας **σφαίρας**, ακτίνας περίπου 6371km. Λόγω όμως της περιστροφής της γύρω από τον άξονα της, μια τρίτη πιο ακριβής προσέγγιση θεωρείται αυτή του πεπλατυσμένου στους πόλους **ελλειψοειδούς εκ περιστροφής**.

Για να τελειοποιηθεί το «μοντέλο», έτσι ώστε να έχει τις μηχανικές (φυσικές) ιδιότητες της γης αλλά πολύ λιγότερες επιφανειακές ανωμαλίες, θα πρέπει η περιβάλλουσα επιφάνεια του «μοντέλου» να

είναι μια ισοδυναμική (χωροσταθμική) επιφάνεια του πεδίου βαρύτητας της γης. Η επιφάνεια αυτή που πλησιάζει περισσότερο από κάθε άλλη ισοδυναμική επιφάνεια του πεδίου βαρύτητας της γης τη μέση στάθμη της θάλασσας, είναι το **γεωειδές** [Βέης Γ., κ.α., 2007].

Έτσι, οι βασικές επιφάνειες αναφοράς που χρησιμοποιούνται στην Γεωδαισία για να περιγράψουν ένα «μοντέλο» της φυσικής γήινης επιφάνειας είναι :

- Το γεωειδές,
- το ελλειψοειδές εκ περιστροφής,
- η σφαίρα,
- το οριζόντιο επίπεδο.

1.2. Το γεωειδές

Η ισοδυναμική επιφάνεια έλξης και περιστροφής της γης, που πλησιάζει περισσότερο την «φυσική πραγματικότητα» είναι η επιφάνεια του **γεωειδούς**. Η επιφάνεια αυτή είναι εξ ορισμού κάθετη προς την διεύθυνση της κατακορύφου (διεύθυνση του διανύσματος της βαρύτητας), προσεγγίζοντας περισσότερο την μέση στάθμη της θάλασσας (μ.σ.θ.) με ακρίβεια $\pm 1m$, διορθωμένη από τις επιδράσεις των μεταβολών της πυκνότητας του νερού, των κυμάτων, των παλιρροιών, των ρευμάτων και των ατμοσφαιρικών συνθηκών [Βέης Γ., κ.α., 2007].

Στην γεωδαισία τα όργανα μέτρησης αναφέρονται στην επιφάνεια του γεωειδούς. Επειδή όμως το γεωειδές εκφράζεται από δύσκολες και πολύπλοκες μαθηματικές σχέσεις είναι δύσκολο να χρησιμοποιείται ως γενική επιφάνεια αναφοράς και ουσιαστικά χρησιμοποιείται ως επιφάνεια αναφοράς μόνο των υψομέτρων. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα στους συνήθεις γεωδαιτικούς υπολογισμούς να χρησιμοποιείται ως επιφάνεια αναφοράς ένα απλούστερο «μοντέλο» αυτό ενός **διαξονικού ελλειψοειδούς**, που προκύπτει με περιστροφή της έλλειψης γύρω από τον μικρό της ημιάξονα.

Αυτό το μαθηματικό μοντέλο (δηλαδή το ελλειψοειδές) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της μορφής του γεωειδούς. Ο προσδιορισμός αυτός γίνεται με τον υπολογισμό των υψομέτρων N ή αλλιώς των αποχών του γεωειδούς.

Τελικός στόχος είναι η ελαχιστοποίηση αυτών των αποχών του γεωειδούς ως προς το ελλειψοειδές. Όμως η χρήση ενός παγκόσμιου γήινου ελλειψοειδούς έχει ως αποτέλεσμα να υπάρχουν περιοχές της γης

στις οποίες να μην «ταιριάζει» το ίδιο καλά και άρα να υπάρχουν μεγάλες αποχές. Το γεγονός αυτό προκαλείται από την ανώμαλη κατανομή των μαζών, με διαφορετικές πυκνότητες στο στερεό φλοιό της γης. Αυτό οδήγησε στην χρήση ενός μεγάλου αριθμού ελλειψοειδών με τελικό σκοπό την ελαχιστοποίηση των αποχών τους από το γεωειδές [Βέης Γ., κ.α., 2007].

1.2.1. Η απόκλιση της κατακορύφου

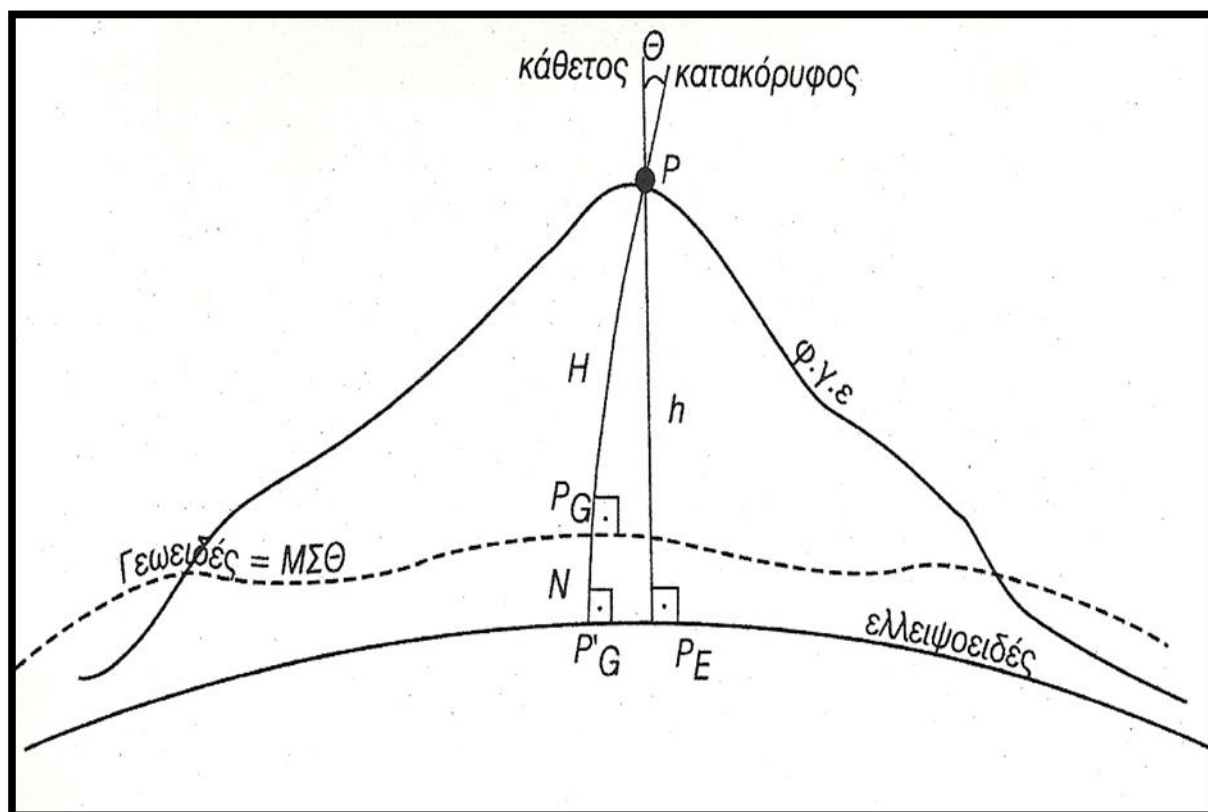
Η κάθετος στο ελλειψοειδές εκ περιστροφής δεν συμπίπτει με την κατακόρυφο στο γεωειδές από το ίδιο σημείο της Φ.Γ.Ε. και αυτό γιατί το ελλειψοειδές αναφοράς προσεγγίζει όσο το δυνατόν περισσότερο το γεωειδές **αλλά δεν συμπίπτει με αυτό**. Η γωνία (θ) που σχηματίζεται σε κάθε σημείο της Φ.Γ.Ε. από την κατακόρυφη και από την κάθετη στο ελλειψοειδές λέγεται απόκλιση της κατακορύφου, και είναι μία γωνία στον χώρο η οποία δίνει και την κλίση μεταξύ των δύο επιφανειών με την τιμή της να κυμαίνεται γενικά από $-10''$ έως $+10''$.

Η απόκλιση της κατακορύφου είναι μέγεθος διανυσματικό και από φυσικής άποψης είναι η διαφορά διεύθυνσης μεταξύ των διανυσμάτων της πραγματικής βαρύτητας (g) και της κανονικής βαρύτητας (γ). Η φορά του διανύσματος είναι αντίθετη του διανύσματος της βαρύτητας της γης [Βέης Γ., κ.α., 2007].

1.2.2. Το υψόμετρο του γεωειδούς N

Ως υψόμετρο ορίζεται η απόσταση ενός σημείου πάνω από κάποια ισοδυναμική επιφάνεια αναφοράς και αποτελεί την τρίτη διάσταση για τον προσδιορισμό της θέσης ενός σημείου πάνω στην Φ.Γ.Ε. Επιφάνεια αναφοράς με μηδενικό υψόμετρο θεωρείται η μέση στάθμη της θάλασσας (μ.σ.θ.) η οποία πλησιάζει περισσότερο την μορφή του γεωειδούς.

Κάθε σημείο P της Φ.Γ.Ε. αντιστοιχεί αμφιμονοσήμαντα σ' ένα σημείο του ελλειψοειδούς εκ περιστροφής P_E , που υλοποιείται με το ίχνος της καθέτου στο ελλειψοειδές που περνά από το σημείο P (ορισμός κατά Helmholtz) και η απόσταση P_E -P ονομάζεται **γεωμετρικό υψόμετρο h** (Σχήμα 1.1). Αντίστοιχα ορίζεται ως **ορθομετρικό υψόμετρο H** η απόσταση P_G -P, όπου P_G το σημείο που υλοποιείται με το ίχνος της κατακορύφου στο γεωειδές που περνά από το σημείο P.



Σχήμα 1.1 Σχετική θέση επιφανειών αναφοράς και υψομέτρων
[Πηγή : Βέης Γ., κ.α. 2007]

Ως υψόμετρο N του γεωειδούς, ορίζεται η απόσταση που δίνει τη διαφορά αυτής της θέσης γεωειδούς-ελλειψοειδούς σε κάθε σημείο της Φ.Γ.Ε. Οι τιμές που μπορεί να πάρει σε όλη τη γη είναι από -100m στον Ινδικό ωκεανό έως $+80\text{m}$ στον βόρειο Ατλαντικό ωκεανό.

Συνεπώς η σχέση που συνδέει τα υψόμετρα, δεδομένου ότι η γωνία που σχηματίζει η κάθετος στο ελλειψοειδές αναφοράς και η κατακόρυφος στο σημείο είναι πολύ μικρή, είναι :

$$h = H + N \quad (1.1)$$

Η παραπάνω σχέση είναι πολύ σημαντική καθώς συνδέει τρεις επιφάνειες αναφοράς την Φ.Γ.Ε., το ελλειψοειδές και το γεωειδές [Βέης Γ., κ.α. 2007] [Λάμπρου Ε., 2003].

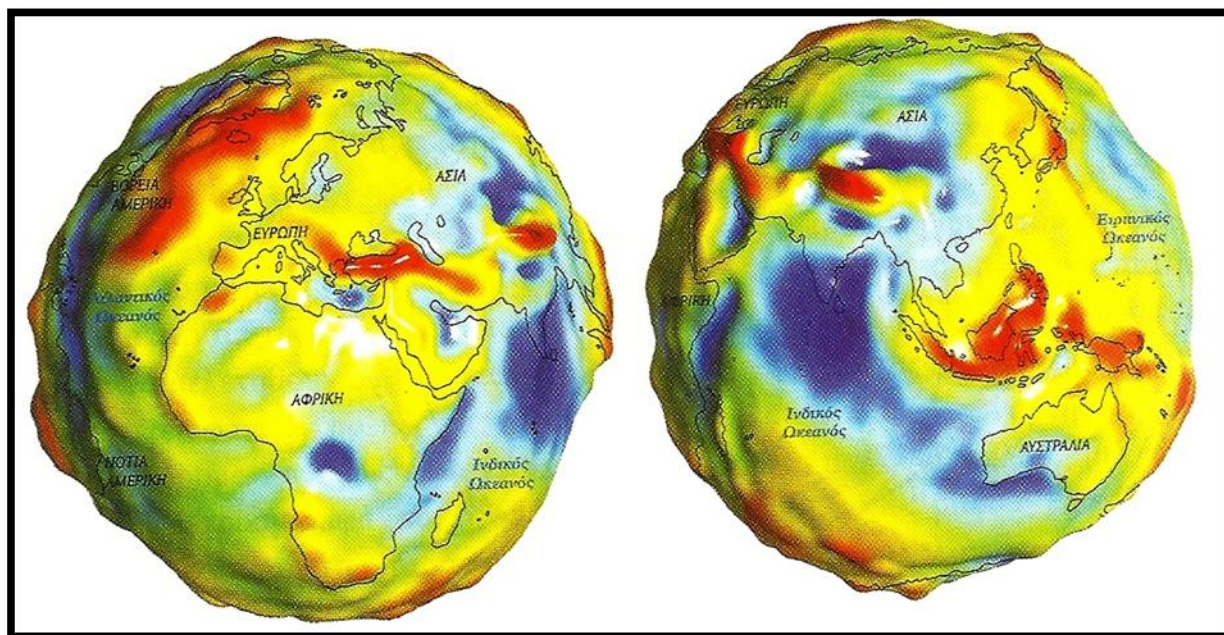
1.3. Μέθοδοι προσδιορισμού του γεωειδούς

Η γνώση της αποχής του γεωειδούς N , και συνεπώς του ίδιου του γεωειδούς, είναι πολύ σημαντική για την μετατροπή των γεωμετρικών υψομέτρων (τα οποία προσδιορίζονται κυρίως με δορυφορικές μετρήσεις GPS) σε ορθομετρικά υψόμετρα (τα οποία έχουν φυσικό νόημα).

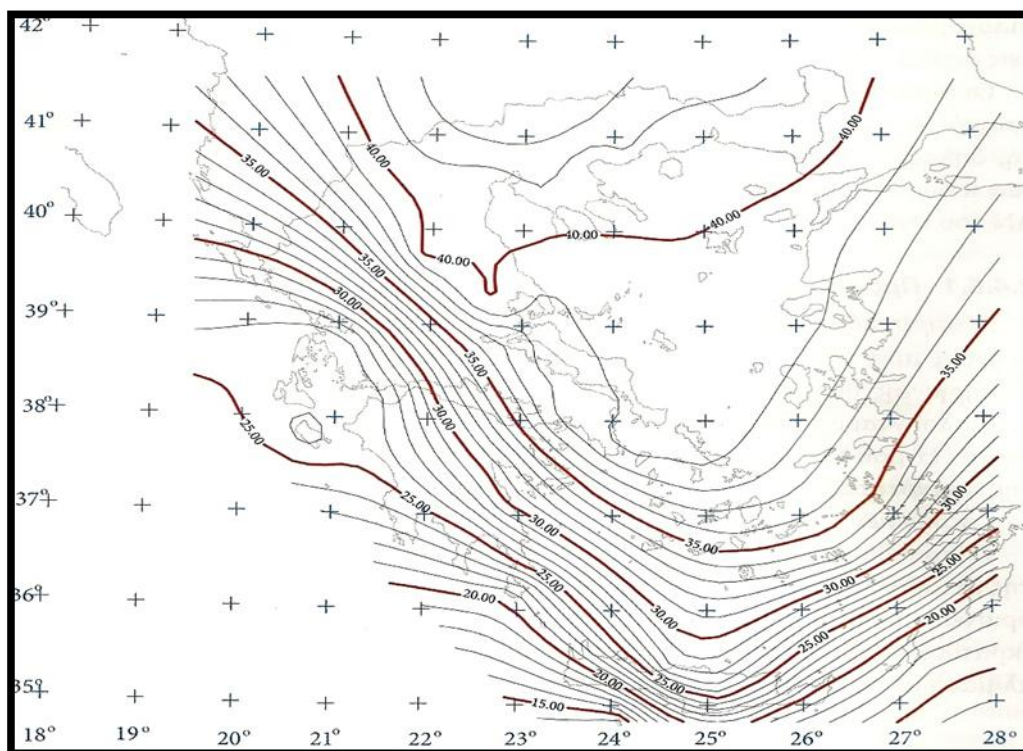
Οι βασικότερες μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί για τον προσδιορισμό του γεωειδούς είναι δυο.

Πρώτη μέθοδος είναι αυτή της **αστρογεωδαιτικής χωροστάθμησης**, εφόσον είναι γνωστές οι συνιστώσες της απόκλισης της κατακορύφου ξ και η ενός σημείου της Φ.Γ.Ε., από αστρονομικές παρατηρήσεις. Μία ακόμη δεύτερη μέθοδος είναι αυτή της **αστροβαρτομετρικής χωροστάθμησης**, εφόσον υπάρχουν για μεγάλες αποστάσεις στοιχεία από αστρονομικές παρατηρήσεις και συμπληρωματικά μετρήσεις ανωμαλιών βαρύτητας Δg [Λάμπρου Ε., 2003].

Έτσι είναι δυνατή η δημιουργία χαρτών ή μοντέλων του γεωειδούς (Εικόνα 1.1). Χρησιμοποιώντας τέτοια στοιχεία έχουν δημιουργηθεί μοντέλα γεωειδούς για όλη την γη-παγκόσμια γεωδυναμικά μοντέλα-, αξιοποιώντας τα τελευταία χρόνια και δεδομένα δορυφορικής αλτιμετρίας.



Εικόνα 1.1 Μορφή του γεωειδούς
[Πηγή : Λάμπρου Ε.- Πανταζής Γ., 2010]



*Χάρτης 1.1 Αστρογεωδαιτικός χάρτης του υψομέτρου του γεωειδούς ως προς το ελλειψοειδές GRS '80 του WGS '84(ισοδιάσταση 1m)
[Πηγή : Λάμπρου Ε.-Πανταζής Γ., 2010]*

Οι παραπάνω μέθοδοι μπορούν να συνδυαστούν για να οδηγήσουν σε πιο ακριβή αποτελέσματα. Ωστόσο σε κάθε περίπτωση η αβεβαιότητα προσδιορισμού του γεωειδούς επηρεάζεται κυρίως από την ποιότητα των δεδομένων τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στην λύση καθώς επίσης και από τον τρόπο με τον οποίον τα δεδομένα αυτά θα συνδυαστούν.

Τέλος, μια ακόμα διαδικασία προσδιορισμού ενός τοπικού γεωειδούς μιας περιοχής γίνεται με την χρήση **γεωμετρικών υψομέτρων**, κατά την εφαρμογή της οποίας πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφοροι σημαντικοί παράγοντες.

Συγκεκριμένα θα πρέπει :

- Το ανάγλυφο της περιοχής να είναι ομαλό,
- η έκταση της να μην ξεπερνάει τα μερικά δεκάδες km^2 ,
- να μην απαιτείται προσδιορισμός υψομέτρων με μεγάλη ακρίβεια.

Σε αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιούνται τα γεωμετρικά υψόμετρα, τα οποία προσδιορίζονται με παρατηρήσεις GPS, με σκοπό να μελετηθεί τοπικά η κλίση του γεωειδούς θεωρώντας το είτε ως επίπεδο είτε ως επιφάνεια 2^{ου} βαθμού.

Εάν παρατηρούνται έντονες μεταβολές των υψομέτρων σε σημεία που βρίσκονται σε κοντινές αποστάσεις ή το γεωειδές πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για τοπογραφικές εργασίες υψηλής ακρίβειας τότε επιβάλλεται ο προσδιορισμός του να γίνει από ετερογενή δεδομένα, που αναφέρονται σε ένα γεωδυναμικό μοντέλο υψηλού βαθμού τάξης και ανάπτυξης [Καλογρίδης Γ.Α., κ.α. 2003].

Τέλος ο υπολογισμός του υψομέτρου του γεωειδούς N αναφέρεται πάντοτε σε ένα συγκεκριμένο ελλειψοειδές. Ο χάρτης αποχής του γεωειδούς είναι διαφορετικός και ως προς τη μορφή και ως προς τις τιμές ανάλογα με το ελλειψοειδές και το σύστημα συντεταγμένων όπου αναφέρεται. Είναι διαφορετική η τιμή του N σε ένα σημείο ως προς το WGS'84 που χρησιμοποιεί το GRS'80 γεωκεντρικό ελλειψοειδές και διαφορετική ως προς το ΕΓΣΑ'87 που χρησιμοποιεί το GRS'80 αλλά μετατοπισμένο ως προς το γεώκεντρο (Χάρτης 1.1).

1.4. Μοντέλα γεωειδούς

Σε πολλές περιοχές της γης, το μόνο διαθέσιμο μοντέλο γεωειδούς είναι ένα παγκόσμιο μοντέλο και όχι τοπικό. Ένα παγκόσμιο μοντέλο γεωειδούς, όπως έχει ήδη αναφερθεί, υπολογίζεται ως σειρά σφαιρικών αρμονικών συντελεστών πλήρως ανεπτυγμένους, σε κάποιο μέγιστο βαθμό και τάξη. Πολλά σύγχρονα μοντέλα γεωειδούς χρησιμοποιούν συναρτήσεις που φτάνουν σε μέγιστο βαθμό και τάξη των 360. Το μοντέλο αυτό παίρνει συχνά την μορφή καννάβου όπου οι κορυφές του αντιστοιχούν σε υψόμετρα γεωειδούς – αποχή γεωειδούς N – πάνω στα οποία εφαρμόζεται μέθοδος παρεμβολής, ανάλογα με τις ανάγκες των χρηστών. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να επιλύσουν την συμπεριφορά του γεωειδούς, ανά 55km περίπου. Με τέτοια ανάλυση ακόμα και τα καλύτερα μοντέλα γεωειδούς, όπως είναι το EGM96, μπορούν να παρέχουν απόλυτη και σχετική ακρίβεια η οποία κυμαίνεται στο ένα μέτρο και στα αρκετά εκατοστά του μέτρου αντίστοιχα

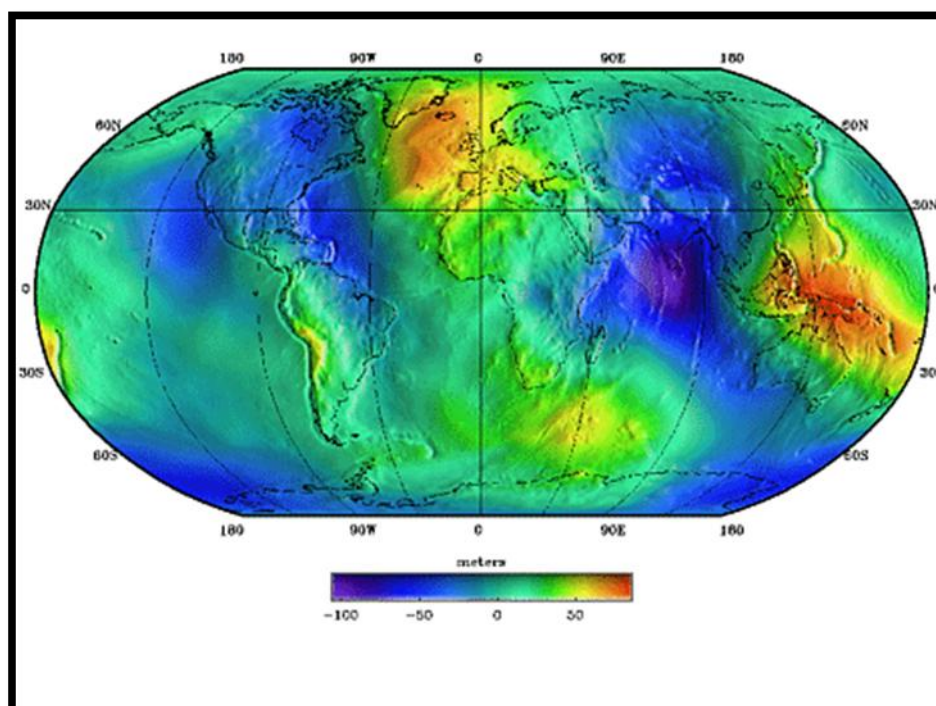
Αυτό έχει ως αποτέλεσμα σε πολλές περιοχές της γης να γεννάται η ανάγκη για τον υπολογισμό ενός πιο ακριβούς τοπικού μοντέλου γεωειδούς.

1.4.1. Παγκόσμιο μοντέλο γεωειδούς EGM96

Το EGM96 (Earth Geopotential Model 1996) (Εικόνα 1.2) είναι ένα γεωδυναμικό μοντέλο της γης, που συνίσταται από ένα σύνολο ομαλοποιημένων συντελεστών σφαιρικών αρμονικών συναρτήσεων του πεδίου βαρύτητας της γης, πλήρεις στο βαθμό (n) και στην τάξη (m) 360. Είναι αποτέλεσμα της συνεργασίας της Εθνικής Χαρτογραφικής Υπηρεσίας των Η.Π.Α. (NIMA, National Imagery and Mapping Agency) , της NASA και του Πανεπιστημίου του Οχάιο.

Οι σφαιρικοί αρμονικοί συντελεστές χρησιμοποιούνται σε αριθμητικούς αλγορίθμους (αριθμοσειρές) ή αλγορίθμους FFT (μετασχηματισμού Furrier), για να υπολογίσουν τις ακόλουθες βαρυμετρικές ποσότητες σε σημεία της γήινης επιφάνειας : ανωμαλίες της βαρύτητας, υψόμετρα γεωειδούς N, συνιστώσες ξ και η της απόκλισης της κατακορύφου, που εκφράζουν τη συνολική εκτροπή της κατακορύφου, διαταραχές της βαρύτητας, του διαταρακτικού δυναμικού και των δεύτερων παραγώγων του

[<http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm96/egm96.html>].



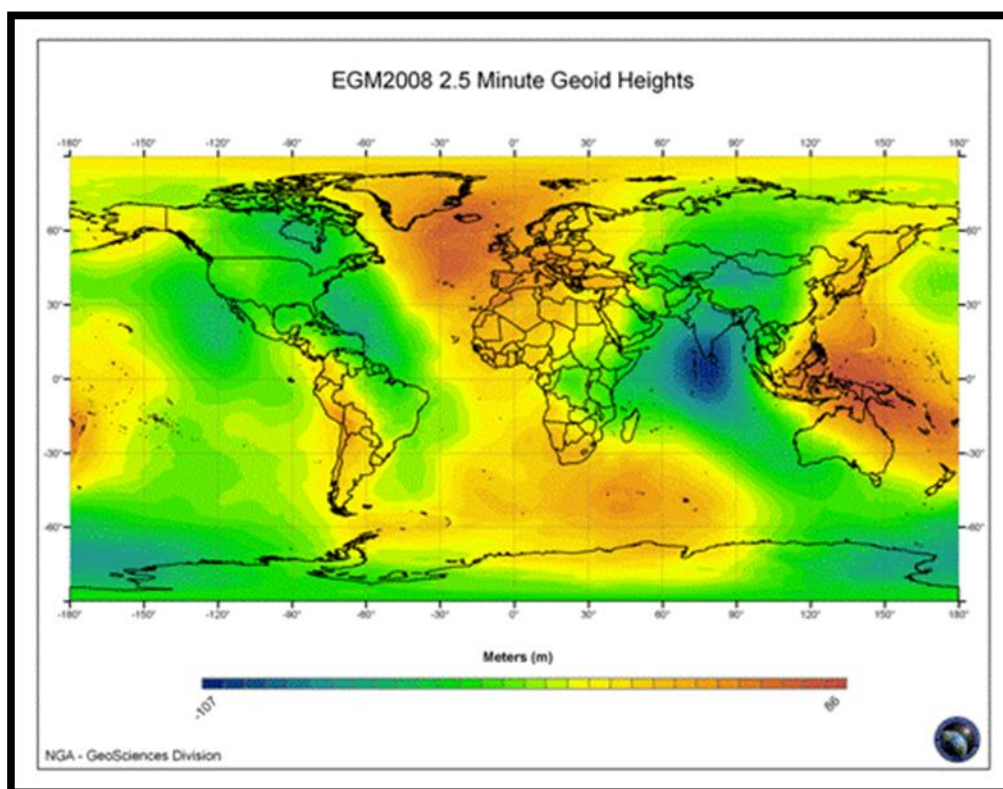
Εικόνα 1.2 Μορφή του γεωειδούς EGM96

[Πηγή : <http://cddis.nasa.gov/926/egm96/egm96.html>]

1.4.2. Παγκόσμιο μοντέλο γεωειδούς EGM08

Τον Ιανουάριο του 2008 ανακοινώθηκε η δημιουργία ενός νέου παγκόσμιου μοντέλου γεωειδούς της γης από την Εθνική Υπηρεσία Γεωστατικών Πληροφοριών της Αμερικής. Πρόκειται για το EGM08 (Earth Geopotential Model 2008) (Εικόνα 1.3) , το οποίο συνίσταται από ένα σύνολο ομαλοποιημένων συντελεστών σφαιρικών αρμονικών συναρτήσεων του πεδίου βαρύτητας της γης και φτάνει να είναι πλήρες στο βαθμό (n) και την τάξη (m) ίση με 2159.

Καλύπτει όλη την υφήλιο και η ανάλυση του (περίπου 9km) είναι κατά πολύ υψηλότερη σε σχέση με αυτή του EGM96 (περίπου 55km). Αυτό το επαναστατικό βήμα συνεισφέρει με τον πιο επιτυχημένο τρόπο στις συνεχείς προσπάθειες της γεωδαιτικής κοινότητας τα τελευταία χρόνια, για τον προσδιορισμό ενός βελτιωμένου, υψηλής ανάλυσης βαρυτικού μοντέλου της γης.



Εικόνα 1.3 Μορφή του γεωειδούς EGM08

[Πηγή : <http://earth->

info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/egm08_wgs84.html]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ

2.1. Γενικά

Δορυφορική γεωδαισία ονομάζεται η επιστημονική περιοχή της γεωδαισίας που καλύπτει τους θεωρητικούς και πρακτικούς στόχους της, χρησιμοποιώντας τους τεχνητούς δορυφόρους ως εργαλείο. Βασικός στόχος είναι ο προσδιορισμός της θέσης, δηλαδή των συντεταγμένων σημείων, στην Φ.Γ.Ε. σε ένα επιλεγμένο σύστημα αναφοράς.

Η ιδέα της χρήσης παρατηρήσεων προς ένα αντικείμενο μακριά από τη γη είναι αρκετά παλιά, αλλά ουσιαστικά η εποχή της δορυφορικής γεωδαισίας άρχισε με την εκτόξευση του πρώτου τεχνητού δορυφόρου Sputnik I τον Οκτώβριο του 1957, από την τότε Σοβιετική Ένωση.

Ένα από τα σημαντικότερα βήματα για την ανάπτυξη της δορυφορικής γεωδαισίας αποτέλεσε η ανάπτυξη και η χρήση του Παγκόσμιου Συστήματος Εντοπισμού GPS (Global Positioning System) [<http://www.gps.gov/>] στην Αμερική από τα μέσα της δεκαετίας του 1980, όχι μόνο για πλοήγηση αλλά και για τοπογραφικές και γεωδαιτικές εφαρμογές. Η πλήρης ονομασία του συστήματος είναι NAVSTAR GPS (NAVigation Satellite Timing And Ranging, Global Positioning System) [<http://navcen.uscg.gov/>] και αρχικά είχε σχεδιαστεί για να χρησιμοποιείται σε στρατιωτικές εφαρμογές ωστόσο στην συνέχεια επεκτάθηκε η χρήση του και για πολιτικούς-γεωδαιτικούς σκοπούς [Παραδείσης Δ., 2000].

Με την πάροδο των χρόνων το σύστημα GPS εξελίχθηκε με την εκπομπή σήματος σε περισσότερες ή διαφορετικές συχνότητες και κώδικες διαθέσιμους για πολιτική χρήση.

Σήμερα εκτός από το GPS έχουν αναπτυχθεί και άλλα δορυφορικά συστήματα εντοπισμού, τα οποία ανήκουν στην κατηγορία **GNSS (Global Navigation Satellite Systems)** δηλαδή των παγκόσμιων δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης :

- Το GLONASS (GLObal Navigation Satellite System) το οποίο αναπτύχθηκε παράλληλα με το GPS από την πρώην Σοβιετική Ένωση έχοντας αρχικά καθαρά στρατιωτικό χαρακτήρα. Τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια για την συνεργασία των

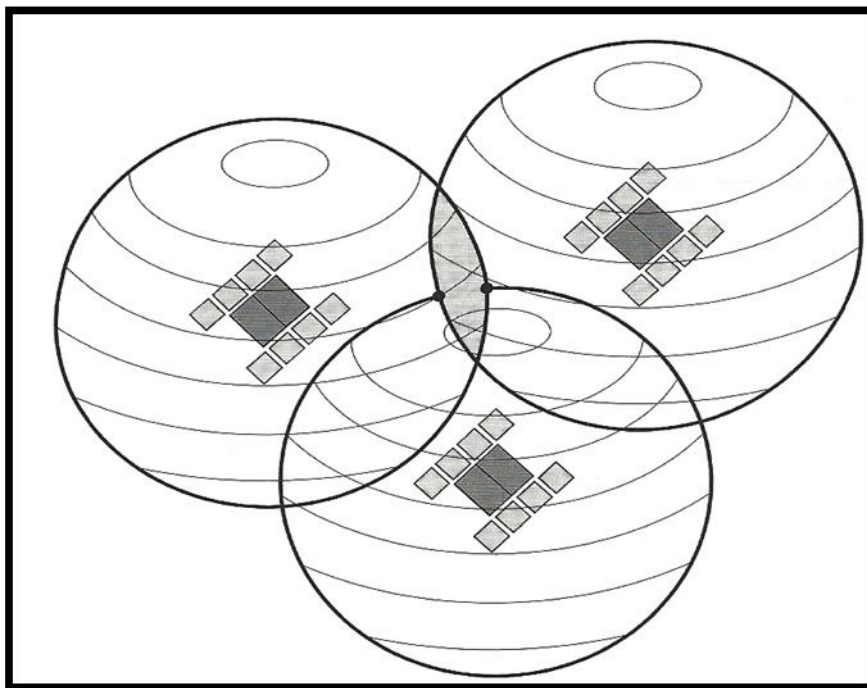
- συστημάτων GPS και GLONASS με σκοπό την μεγαλύτερη κάλυψη της επιφάνειας της γης.
- Το δορυφορικό σύστημα GALILEO [<http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>] το οποίο αναπτύσσεται από την Ευρωπαϊκή Ένωση, έχοντας ως απώτερο στόχο την άρση των «στρατιωτικών δεσμεύσεων» που φέρουν τα άλλα δύο συστήματα, καλύπτοντας με μικρή αβεβαιότητα το 99% της γήινης επιφάνειας.
 - Δορυφορικά συστήματα από άλλα κράτη, όπως το COMPASS από την Κίνα, το QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) από την Ιαπωνία και το IRNSS (Indian Regional Navigational System) από την Ινδία [Λάμπρου Ε.-Πανταζής Γ., 2010].

2.2. Βασικές αρχές λειτουργίας του δορυφορικού εντοπισμού

Η αρχή λειτουργίας του προσδιορισμού της θέσης ενός σημείου στην Φ.Γ.Ε. με δορυφορικό εντοπισμό βασίζεται θεωρητικά στον «τριπλευρισμό», δηλαδή στην ταυτόχρονη μέτρηση του μήκους από τους δορυφόρους προς την κεραία του δέκτη.

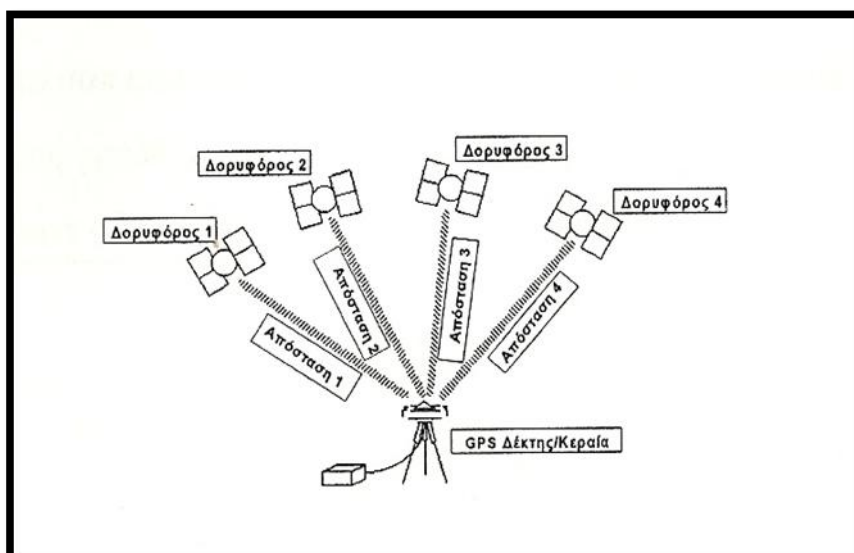
Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει ο επίγειος δέκτης να μετρήσει τον **χρόνο** που απαιτείται για να ταξιδέψει το σήμα από τον δορυφόρο στο δέκτη, πραγματοποιώντας ακριβή χρονομέτρηση. Επιπλέον είναι απαραίτητη η γνώση της **θέσης των δορυφόρων** στην τροχιά τους, δηλαδή οι συντεταγμένες τους X, Y, Z στο παγκόσμιο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς (WGS'84), κάθε χρονική στιγμή όπως επίσης και οι αντίστοιχες **διορθώσεις** για καθυστερήσεις που οφείλονται στην ατμόσφαιρα καθώς ταξιδεύει το σήμα. Τέλος, πρέπει να γίνουν οι διορθώσεις για τα σφάλματα μεταξύ των χρονομέτρων δορυφόρου και δέκτη.

Με τη μέτρηση των μηκών (ή ψευδοαποστάσεων) προς τους δορυφόρους υπολογίζεται η θέση του παρατηρητή, ως το σημείο τομής των σφαιρών (Σχήμα 2.1), που έχουν κέντρο τους δορυφόρους και ακτίνες τα αντίστοιχα μήκη που μετρήθηκαν προς τον κάθε έναν. Επομένως, θεωρητικά απαιτούνται τρεις τουλάχιστον ταυτόχρονες μετρήσεις μήκους προς τρεις διαφορετικούς δορυφόρους για να προσδιορισθεί η τριδιάστατη θέση του επίγειου δέκτη. Για να αποφασισθεί ποια είναι η πραγματική θέση μεταξύ των δυο σημείων που προκύπτουν από την τομή χρειάζεται και μια τέταρτη μέτρηση, αν και συνήθως εύκολα αποκλείεται το ένα από τα δυο σημεία [Τσακίρη Μ., 2005].



Σχήμα 2.1 Η θέση του δέκτη βρίσκεται στην τομή των τριών σφαιρών
[Πηγή : Λάμπρου Ε.- Πανταζής Γ., 2010]

Άρα για να βρεθεί τελικά η τριδιάστατη θέση ενός σημείου με την χρήση του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού χρειάζεται να γίνουν ταυτόχρονες μετρήσεις από τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους (Σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.2 Ο προσδιορισμός της τριδιάστατης θέσης του δέκτη απαιτεί μετρήσεις από τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους
[Πηγή : Τσακίρη Μ., 2005]

Όσο περισσότεροι δορυφόροι παρατηρούνται δημιουργούνται περισσότερες τεμνόμενες σφαίρες και επομένως τόσο μικρότερη είναι η αβεβαιότητα προσδιορισμού της θέσης ενός σημείου στην Φ.Γ.Ε.

Η θέση της κεραίας του δέκτη υπολογίζεται αρχικά σε **γεωκεντρικές καρτεσιανές συντεταγμένες (X, Y, Z)**. Κατόπιν αυτές μετατρέπονται σε **ελλειψοειδείς συντεταγμένες**, γεωδαιτικού μήκους λ , γεωδαιτικού πλάτους φ και γεωμετρικού υψομέτρου h , ως προς κάποιο ελλειψοειδές αναφοράς, εφαρμόζοντας τον κατάλληλο μετασχηματισμό.

2.3. Το σύστημα GPS

Το σύστημα GPS σχεδιάστηκε στις ΗΠΑ, χρηματοδοτείται και ελέγχεται από το Υπουργείο Αμύνης των ΗΠΑ (U. S. Department of Defense – DOP) και βασίζεται στις αρχές λειτουργίας των παθητικών δορυφορικών συστημάτων ναυσιπλοΐας, εξασφαλίζοντας συνεχή, παγκόσμια, κάτω από οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες, πλοήγηση σε απεριόριστο αριθμό χρηστών. Έχει επιφέρει ριζικές αλλαγές στις τοπογραφικές εργασίες και γενικότερα στην γεωδαισία λόγω των ειδικών χαρακτηριστικών του :

- Παρέχει σχετικά επαρκή ακρίβεια προσδιορισμού θέσης, με τιμές που κυμαίνονται από μερικά δεκάμετρα ως λίγα χιλιστά.
- Ο προσδιορισμός θέσης γίνεται ταυτόχρονα σε τρεις διαστάσεις, δηλαδή οριζοντιογραφικός και υψομετρικός εντοπισμός.
- Γίνεται προσδιορισμός της ταχύτητας και του χρόνου σε επίπεδα ακριβείας που αντιστοιχούν σε αυτά του προσδιορισμού θέσης.
- Είναι διαθέσιμο στους χρήστες οπουδήποτε και αν βρίσκονται- στον αέρα στη Φ.Γ.Ε. ή στην θάλασσα.
- Έχει σχετικά μικρό κόστος για το σύστημα δέκτη/κεραία, ενώ δεν απαιτείται συνδρομή χρήσης του.
- Είναι σύστημα παντός καιρού, διαθέσιμο 24 ώρες καθημερινά [Τσακίρη Μ., 2005].

Το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς του GPS είναι το **WGS'84** (World Geodetic System 1984). Οι συντεταγμένες GPS, καρτεσιανές γεωκεντρικές (X, Y, Z) ή ισοδύναμα γεωδαιτικές/ελλειψοειδείς (φ , λ , h) μπορούν να μετασχηματιστούν σε οποιοδήποτε άλλο σύστημα μέσω κατάλληλων μετασχηματισμών είτε με γνωστές παραμέτρους μετασχηματισμού είτε με προσδιορισμό τους από μετρήσεις GPS σε κοινά σημεία [http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html] .

2.3.1. Τα λειτουργικά τμήματα του συστήματος GPS

Το σύστημα GPS αποτελείται κυρίως από τρία λειτουργικά τμήματα :

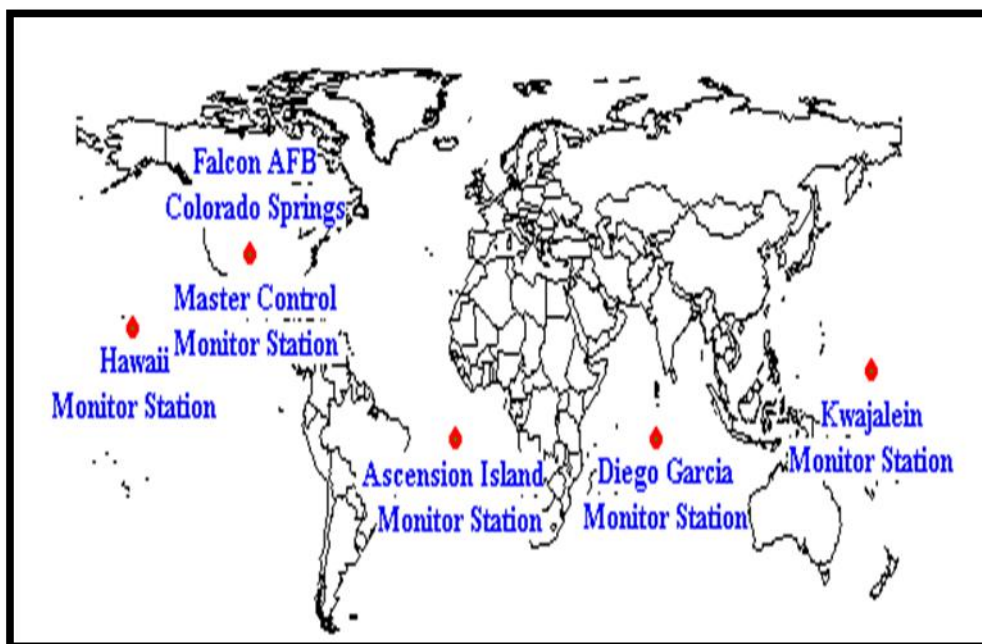
- Το **τμήμα του διαστήματος** το οποίο περιλαμβάνει σήμερα 34 δορυφόρους (εικόνα 2.2). Η πλήρης ανάπτυξη του συστήματος απαιτεί 24 δορυφόρους, έτσι ώστε να καλύπτεται με καλή γεωμετρία (τέσσερις τουλάχιστον δορυφόροι) κάθε θέση πάνω στη γη, οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Οι δορυφόροι είναι τοποθετημένοι σε 6 τροχιακά επίπεδα, ανά 60° στο ισημερινό επίπεδο και έχουν γωνία κλίσης 55° ως προς αυτό. Το μέσο ύψος των δορυφόρων από την επιφάνεια της γης είναι 20189km (εικόνα 2.1).
Θα πρέπει να σημειωθεί ότι κάθε δορυφόρος εκπέμπει το σήμα πλοήγησης του κατ' ελάχιστον σε δύο διακριτούς κώδικες τον **C/A κώδικα (Coarse/Acquisition)**, ο οποίος είναι ελεύθερα διαθέσιμος σε κάθε χρήστη, και τον **P κώδικα (Precise)**, ο οποίος παρέχει ακρίβεια δέκα φορές μεγαλύτερη από τον προηγούμενο, συνήθως ήταν κρυπτογραφημένος (όχι πλέον σήμερα) και χρησιμοποιούταν για στρατιωτική χρήση. Επιπλέον, κάθε δορυφόρος του συστήματος GPS μεταδίδει ένα μοναδικό σήμα που διαμορφώνεται πάνω σε φέρουσες συχνότητες στην L περιοχή του φάσματος των μικροκυμάτων, την L1=1575.42 MHz και την L2=1227.60 MHz , ώστε να είναι δυνατή η μέτρηση της ιονοσφαιρικής διάθλασης.
- Το **επίγειο τμήμα ελέγχου** το οποίο αποτελείται από 5 απομακρυσμένους μεταξύ τους σταθμούς παρακολούθησης (monitor stations), 3 σταθμούς επικοινωνίας (upload ground antennas) με τους δορυφόρους και έναν κεντρικό σταθμό ελέγχου (master control station) (εικόνα 2.3).
- Το **τμήμα των χρηστών** το οποίο αποτελείται από όλους τους χρήστες. Αυτοί με κατάλληλο εξοπλισμό δεκτών μπορούν κάθε στιγμή να προσδιορίσουν την θέση τους, την ταχύτητα και την κατάσταση του χρονομέτρου τους, εκμεταλλευόμενοι τις δυνατότητες του συστήματος [Τσακίρη Μ., 2005] [Λάμπρου Ε.- Πανταζής Γ., 2010].



Εικόνα 2.1 Ενδεικτική εικόνα των θέσεων των δορυφόρων GPS
[Πηγή : Λάμπρου Ε.-Πανταζής Γ., 2010]



Εικόνα 2.2 Δορυφόρος του συστήματος GPS
[Πηγή : www.boeing.com/defense-space/space/gps/GPSIIF_main.jpg]



Εικόνα 2.3 Γεωγραφική κατανομή του επίγειου τμήματος ελέγχου GPS
 [Πηγή : www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html]

2.3.2. Το σύστημα αναφοράς του GPS

Ένα σύστημα αναφοράς (datum) υλοποιείται με τις συντεταγμένες των τριγωνομετρικών του σημείων και ορίζεται με τις συντεταγμένες που δίνονται στην αρχή του συστήματος και με τις παραμέτρους του ελλειψοειδούς που χρησιμοποιεί. Δίνεται επίσης μια αρχική διεύθυνση προσανατολισμού, συνήθως το γεωδαιτικό αζιμούθιο μιας γραμμής μεταξύ του αρχικού σημείου και ενός άλλου.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι σ' ένα συμβατικό δορυφορικό σύστημα αναφοράς ως άξονας περιστροφής Z λαμβάνεται αυτός [που περνά από το κέντρο της γης και τον μέσο πόλο της περιόδου 1900-1905, ως κέντρο το κέντρο μάζας της γης, ο άξονας των X περνάει από τον μεσημβρινό του Greenwich και ο άξονας των Y ο οποίος είναι κάθετος στο επίπεδο των δυο προηγούμενων και συμπληρώνει το δεξιόστροφο σύστημα. Με τα παραπάνω στοιχεία ορίζεται ένα δορυφορικό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς.

Σήμερα το σύστημα που χρησιμοποιείται είναι το Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (WGS'84) το οποίο χρησιμοποιεί το ελλειψοειδές GRS'80. Το κέντρο του ταυτίζεται με το κέντρο μάζας της γης, ο άξονας X περνάει από τον 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 GRS'80 είναι :

$$a=6378137.0\text{m} \quad 1/f=298.257222101$$

Με την χρήση του GPS προσδιορίζονται οι συντεταγμένες των σημείων στο γεωκεντρικό αυτό σύστημα αναφοράς. Πολλές φορές όμως επιβάλλεται η μεταφορά τους σε άλλο σύστημα αναφοράς το οποίο πιθανόν να έχει μετάθεση και στροφή ως προς το γεωκεντρικό.

Στην Ελλάδα το επίσημο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς της χώρας που χρησιμοποιείται είναι το ΕΓΣΑ'87 (Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987) το οποίο χρησιμοποιεί το ελλειψοειδές GRS 80 παράλληλα μετατοπισμένο ως προς το ITRF (γεωκεντρικό) κατά ΔX , ΔY και ΔZ , συνεπώς δεν υπάρχουν στροφές μεταξύ των αξόνων. Ως βασικό σημείο του συστήματος έχει επιλεγεί το κεντρικό βάθρο στο Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου Αττικής του οποίου οι συντεταγμένες έχουν προσδιοριστεί από παρατηρήσεις δορυφόρων ετών.

2.4. Οι μέθοδοι δορυφορικού εντοπισμού

Μια πρώτη διάκριση των μεθόδων δορυφορικού εντοπισμού γίνεται ανάλογα με τον χρόνο υπολογισμού των συντεταγμένων, ο οποίος μπορεί να γίνει είτε σε **πραγματικό χρόνο** (real time positioning) την στιγμή της εκτέλεσης των μετρήσεων είτε **εκ των υστέρων** (post processing positioning) στο γραφείο.

Μια άλλη διάκριση αφορά στην κίνηση των επίγειων δεκτών κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Στην περίπτωση που ο δέκτης παραμένει ακίνητος στο σημείο τοποθέτησης του πρόκειται για **στατικό εντοπισμό** (static positioning) ενώ εάν ο δέκτης κινείται καταγράφοντας μετρήσεις σε όλη την διαδρομή ή σε τυχαίες θέσεις πρόκειται για **κινηματικό εντοπισμό** (kinematic positioning).

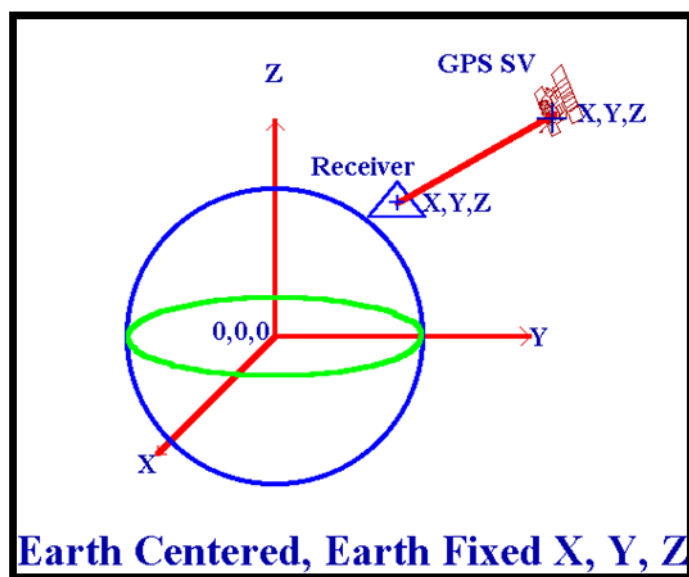
Μια τελευταία διάκριση γίνεται με βάση την αβεβαιότητα του προσδιορισμού οπότε και γίνεται διαχωρισμός στον **απόλυτο εντοπισμό** (absolute positioning) και στον **σχετικό εντοπισμό** (relative positioning). Ο απόλυτος εντοπισμός έχει μεγάλη αβεβαιότητα της τάξης των μερικών m και πραγματοποιείται συνήθως σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας έναν μόνο δέκτη ενώ ο σχετικός έχει αβεβαιότητα που φτάνει τα $\pm 3\text{mm}$ - $\pm 5\text{mm}$ [Λάμπρου Ε.-Πανταζής Γ., 2010].

2.4.1 Απόλυτος εντοπισμός

Ο όρος «απόλυτος προσδιορισμός θέσης» (absolute point positioning, single point positioning) αναφέρεται στον προσδιορισμό της θέσης ενός σημείου όπου είναι τοποθετημένος ο δέκτης GPS χρησιμοποιώντας μόνο τις δικές του μετρήσεις. Ο απόλυτος εντοπισμός της θέσης μπορεί να γίνει είτε σε πραγματικό χρόνο και άρα πρόκειται για λύση «ναυσιπλοΐας» (navigation solution) είτε εκ των υστέρων αξιοποιώντας όλες τις εποχές που έχουν μετρηθεί με αποτέλεσμα να παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια.

Οι ακρίβειες που σχετίζονται με τον απόλυτο εντοπισμό κυμαίνονται σε 20-30m όταν χρησιμοποιείται η λειτουργία του τυπικού απόλυτου προσδιορισμού (SPS, Standard Positioning Service), που αντιπροσωπεύει το επίπεδο ακρίβειας των περισσότερων εφαρμογών χρήσης ενός δέκτη GPS και σε 2-15m όταν χρησιμοποιείται η λειτουργία του ακριβή απόλυτου προσδιορισμού (PPS, Precise Positioning Service) [Τσακίρη Μ., 2005].

Στον απόλυτο εντοπισμό, προσδιορίζονται οι συντεταγμένες σημείου ως προς ένα ορισμένο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς π.χ. ως προς το WGS'84, από παρατηρήσεις μόνο του αντίστοιχου δέκτη (Σχήμα 2.3). Ο προσδιορισμός θέσης δίνεται συνήθως σε μορφή καρτεσιανών (X, Y, Z) ή γεωδαιτικών συντεταγμένων (φ , λ , h).



Σχήμα 2.3 Απόλυτος Προσδιορισμός θέσης

[Πηγή : www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html]

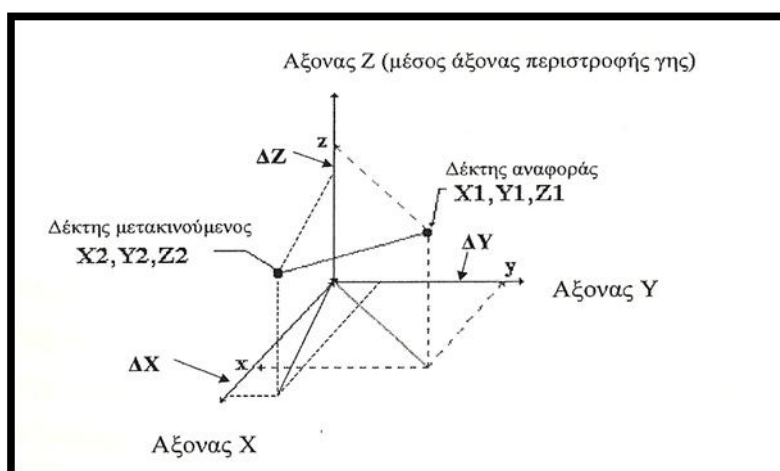
2.4.2. Σχετικός εντοπισμός

Ο σχετικός εντοπισμός είναι αυτός που χρησιμοποιείται κυρίως στις γεωδαιτικές εφαρμογές. Προϋποθέτει την πρόσβαση και την λήψη μετρήσεων από κάποιο σημείο γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων και την χρήση τουλάχιστον δυο δεκτών του συστήματος. Ένας από τους δύο δέκτες παραμένει σταθερός τοποθετημένος στο σημείο γνωστών συντεταγμένων κι ονομάζεται **δέκτης αναφοράς** (base receiver) ενώ ο δεύτερος δέκτης τοποθετείται διαδοχικά σε σημεία των οποίων ζητούνται οι συντεταγμένες και ονομάζεται **κινούμενος δέκτης** (rover receiver).

Μετά από την κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων μέσω λογισμικού υπολογίζεται το τριδιάστατο διάνυσμα $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ της βάσης μεταξύ του δέκτη αναφοράς και του δεύτερου ή κινούμενου δέκτη (Σχήμα 2.4). Ως βάση ορίζεται ένα προσανατολισμένο διάνυσμα στο χώρο, δηλαδή ένα διάνυσμα με γνωστές τις συνιστώσες του, επομένως τον προσανατολισμό και το μέτρο του. Τα άκρα αυτού του διανύσματος είναι τα δύο σημεία της Φ.Γ.Ε., στα οποία έχουν τοποθετηθεί οι δέκτες GPS.

Επομένως οι τελικές συντεταγμένες X, Y, Z του δεύτερου δέκτη (κινούμενου) δίνονται ως προς τις συντεταγμένες του σταθερού δέκτη από την σχέση 2.1 [Τσακίρη Μ., 2005] [Λάμπρου Ε.-Πανταζής Γ., 2010].

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{μετακινούμενος}} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{αναφοράς}} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (2.1)$$



Σχήμα 2.4 Σχετικός Προσδιορισμός θέσης. Προσδιορισμός τριδιάστατου διανύσματος βάσης μεταξύ δύο σημείων σε γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς
[Πηγή :Τσακίρη,2005]

Στη περίπτωση αυτή οι δέκτες παρακολουθούν ταυτόχρονα τους ίδιους δορυφόρους συνεπώς, η επίδραση των περισσότερων σφαλμάτων (δορυφόρων, δεκτών, ατμοσφαιρικών επιδράσεων) είναι κοινή και έτσι, το διάνυσμα της σχετικής θέσης είναι απαλλαγμένο, σε μεγάλο ποσοστό από τα σφάλματα αυτά, ανάλογα με την απόσταση μεταξύ των δεκτών.

Οι συνιστώσες ΔX , ΔY , ΔZ της βάσης προσδιορίζονται με ταυτόχρονη επεξεργασία των δυο ομόλογων αρχείων των δεκτών, με το λογισμικό που συνοδεύει τους δέκτες (επίλυση βάσης) [Λάμπρου Ε.- Πανταζής Γ., 2010]. Περισσότερες λεπτομέρειες παρατίθενται στην παράγραφο 2.6.

Τα αποτελέσματα αυτού του εντοπισμού είναι τα διανύσματα μεταξύ του σταθμού αναφοράς και των άλλων δεκτών. Οι συντεταγμένες που υπολογίζονται αναφέρονται στο σύστημα WGS'84 (εκπεμπόμενη τροχιά) ή σε κάποιο από τα ITRF (International Terrestrial Reference Frame) (χρήση τροχιών ακριβείας) με υψηλή σχετική ακρίβεια και απόλυτη ακρίβεια ανάλογη αυτής του γνωστού ή των γνωστών σημείων, συνήθως της τάξης των μερικών χιλιοστών.

Γνωρίζοντας τη σχέση που συνδέει το WGS'84 ή το ITRF με κάποιο σύστημα αναφοράς, ή βρίσκοντας τις παραμέτρους μετασχηματισμού με βάση κάποια κοινά σημεία, είναι δυνατός όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο μετασχηματισμός σε ένα διαφορετικό σύστημα π.χ. στο ΕΓΣΑ'87 για την Ελλάδα [Φωτίου Α.- Πικριδάς Χ., 2006].

Τέλος ανάλογα με την τεχνική που εφαρμόζεται στο πεδίο, ο σχετικός εντοπισμός διακρίνεται σε :

- 1) **Σχετικό στατικό εντοπισμό (Static)**, όπου ο δεύτερος δέκτης κατά την διάρκεια των παρατηρήσεων παραμένει ακίνητος σε κάθε σημείο για χρονικό διάστημα από 20 min μέχρι κάποιες ώρες. Ο σχετικός στατικός εντοπισμός εμφανίζεται, εκτός της κλασικής μεθόδου, με δύο παραλλαγές :
 - a) Γρήγορος στατικός εντοπισμός (rapid static, quick static) ο οποίος διαφέρει από τον σχετικό στατικό εντοπισμό στο γεγονός ότι χρησιμοποιείται για μικρές βάσεις, με ρυθμό καταγραφής συνήθως τα 10 sec. Επιτυγχάνεται αβεβαιότητα λίγων cm.
 - b) Ψευδοκινηματικός στατικός εντοπισμός ή στατικός εντοπισμός με επαναμέτρηση (pseudo-static, pseudo-kinematic), ο οποίος έχει παρόμοια μεθοδολογία και ακρίβεια με τον γρήγορο στατικό εντοπισμό με τη διαφορά ότι βασίζεται στην αλλαγή της γεωμετρίας των δορυφόρων λόγω του ότι ο κινητός δέκτης

επισκέπτεται τα άγνωστα σημεία δύο ή περισσότερες φορές διαδοχικά, με διάρκεια παραμονής στο καθένα λίγα λεπτά.

- 2) **Σχετικό ημικινηματικό εντοπισμό (Stop and Go Kinematic)**, όπου ο δεύτερος δέκτης περιφέρεται στα άγνωστα σημεία παραμένοντας σε αυτά για κάποια δευτερόλεπτα (10-30 sec). Επιτυγχάνεται αβεβαιότητα λίγων cm.
- 3) **Σχετικό κινηματικό εντοπισμό (Kinematic)**, όπου ο δεύτερος δέκτης αλλάζει αρκετά γρήγορα θέση (1 ή 2 sec) αφού είναι εγκατεστημένος σε όχημα, πλοίο, αεροπλάνο, ελικόπτερο και ουσιαστικά βρίσκεται σε διαρκή κίνηση [Λάμπρου Ε.-Πανταζής Γ., 2010]. Ο σχετικός κινηματικός εντοπισμός μπορεί να διακριθεί σε δύο κατηγορίες (με τις οποίες επιτυγχάνεται αβεβαιότητα λίγων cm) :
 - a) Σχετικός κινηματικός εντοπισμός θέσης εκ των υστέρων, κατά την διάρκεια του οποίου η επίλυση των ασαφειών φάσης επιτυγχάνεται με την διαδικασία της έναρξης ή με μέτρηση γνωστής βάσης ή με μέτρηση άγνωστης βάσης ή με εναλλαγή κεραιών ή τέλος εν κινήσει με αυτόματη επίλυση (on the fly) [Παραδείσης, 2000]. Οι ακρίβειες που επιτυγχάνονται είναι της τάξης του 1-2 cm +(2-3ppm) ανάλογα με τις δυνατότητες του δέκτη και τους παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια [Teunissen & Kleusberg, 1998].
 - b) Σχετικός κινηματικός εντοπισμός θέσης σε πραγματικό χρόνο. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται η εκπομπή δεδομένων από τον έναν δέκτη γνωστών συντεταγμένων στον άλλον και η επικοινωνία μεταξύ των δεκτών απαιτεί ειδικό λογισμικό που εγκαθίσταται και στους δύο δέκτες καθώς και ένα σύστημα ασύρματης επικοινωνίας. Τα δεδομένα που εκπέμπονται σχετίζονται με τις ψευδοαποστάσεις (από κώδικες) ή και τις φάσεις, συνήθως με ένα μοντέλο διορθώσεων που πρέπει να εφαρμόσει ο κινούμενος δέκτης στις δικές του παρατηρήσεις ώστε να προσδιοριστεί η θέση του.
 Η χρήση ψευδοαποστάσεων για τον προσδιορισμό θέσης σε πραγματικό χρόνο είναι γνωστή με τον όρο **Διαφορικός Εντοπισμός (DGPS : Differential GPS)** ενώ η χρήση μετρήσεων φάσης με τον όρο **RTK (Real Time Kinematic)** [Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger & Wasle, 2008].

2.5. Μετρήσεις στο σύστημα GPS

Χρησιμοποιώντας το σύστημα GPS μπορούν να γίνουν οι εξής τύποι μετρήσεων : μετρήσεις ψευδοαπόστασης, μετρήσεις του φαινομένου Doppler και μετρήσεις της φάσης του φέροντος κύματος.

Στον απόλυτο προσδιορισμό θέσης χρησιμοποιούνται συνήθως μόνο παρατηρήσεις ψευδοαποστάσεων από κώδικες και κυρίως από το κώδικα C/A, ενώ στον σχετικό εντοπισμό θέσης χρησιμοποιείται πάντοτε η μέθοδος των μετρήσεων φάσης. Όμως όλο και συχνότερα η συνδυασμένη χρήση των μετρήσεων ψευδοαπόστασης και φάσης χρησιμοποιείται σε αρκετές εφαρμογές, ακόμα και στην τοπογραφία [Παραδείσης Δ., 2000].

2.5.1. Μετρήσεις ψευδοαπόστασης

Ο προσδιορισμός της θέσης με τη χρήση του συστήματος GPS βασίζεται, όπως έχει ήδη αναφερθεί, στην μέτρηση του μήκους προς τους κινούμενους δορυφόρους. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την μέτρηση του χρόνου που απαιτείται, ώστε το σήμα που αποστέλλει ο δορυφόρος, να φτάσει στην κεραία του δέκτη που βρίσκεται πάνω στην Φ.Γ.Ε. Τότε το μήκος προκύπτει από την σχέση :

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

Το ζητούμενο μήκος προκύπτει από την σχέση :

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

Όπου t_E είναι η χρονική στιγμή εκπομπής του σήματος, t_A η χρονική στιγμή λήψης του ίδιου σήματος και c η ταχύτητα του φωτός στο κενό που ισούται με 299792458 m/sec.

Οι μετρήσεις αυτές καλούνται μετρήσεις ψευδοαπόστασης (R) και γίνονται με την βοήθεια των δύο εκπεμπόμενων μετρητικών κωδικών που έχουν αναφερθεί παραπάνω, του κώδικα C/A και του κώδικα P.

Ωστόσο οι μετρήσεις αυτές διαφέρουν από την πραγματική απόσταση δορυφόρου – δέκτη λόγω σφαλμάτων (π.χ. ατμοσφαιρικών καθυστερήσεων του σήματος και μη συγχρονισμού των χρονομέτρων του εκάστοτε δέκτη).

Η αβεβαιότητα μέτρησης της ψευδοαπόστασης με χρήση του κώδικα C/A θεωρητικά μπορεί να φτάσει τα $\pm 3\text{m}$, ενώ με την χρήση του κώδικα

R μπορεί να είναι και 10 φορές μικρότερη (περίπου $\pm 30\text{cm}$) [Λάμπρου Ε.-Πανταζής Γ., 2010].

2.5.2. Μετρήσεις του φαινομένου Doppler

Το φαινόμενο Doppler κατά το οποίο η εκπεμπόμενη συχνότητα από μία πηγή αλλάζει ανάλογα με την κίνηση της ως προς τον παρατηρητή ή την κίνηση του παρατηρητή ή και των δύο, παρατηρείται στην περίπτωση των μετρήσεων στους δορυφόρους GPS [Παραδείσης Δ., 2000].

Κατά την μέτρηση του φαινομένου Doppler μετράται η μεταβολή της συχνότητας του εκπεμπόμενου σήματος από τον δορυφόρο με την αντίστοιχη συχνότητα που παράγει ο εκάστοτε δέκτης, εξ' αιτίας της σχετικής ταχύτητας του δορυφόρου ως προς τον δέκτη, και η οποία μετατρέπεται σε διαφορά αποστάσεων μεταξύ δορυφόρου και δέκτη σε διαδοχικές χρονικές στιγμές [Σείδος Γ., 2009].

2.5.3. Μετρήσεις φάσης του φέροντος κύματος

Η μέτρηση φάσης είναι ο βασικός τρόπος μέτρησης για τις γεωδαιτικές εφαρμογές. Με αυτή τη μέθοδο είναι δυνατός ο υπολογισμός του μήκους μεταξύ του δορυφόρου και της κεραίας του δέκτη, ως συνάρτηση των μετρούμενων κύκλων φάσης του μήκους κύματος λ του χρησιμοποιούμενου δορυφορικού σήματος (όπου $\lambda_1=19.029\text{cm}$ για την συχνότητα L1 και $\lambda_2=24.421\text{cm}$ για την συχνότητα L2).

Ο δέκτης του συστήματος μπορεί να μετρήσει με ακρίβεια τη στιγμιαία κλασματική φάση του φέροντος κύματος τη στιγμή λήψης του σήματος. Δεν μπορεί όμως να μετρήσει ακέραιο αριθμό κύκλων (μήκη κύματος) που μεσολαβούν από το δορυφόρο μέχρι τον δέκτη. Όταν ο δέκτης εγκλωβίσει έναν δορυφόρο και κάνει την πρώτη ανάγνωση (η οποία δεν καταγράφεται κατ' ανάγκη ως μέτρηση), δεν μπορεί να ξέρει σε ποιόν κύκλο βρίσκεται στην απόσταση δορυφόρου – δέκτη, επειδή όλοι είναι όμοιοι μεταξύ τους, παρά μόνο την θέση του μέσα στον κύκλο. Έτσι στο μέγεθος που μετράται πρέπει να προστεθεί ο ακέραιος αριθμός n των μηκών κύματος. Ο άγνωστος αυτός αριθμός ονομάζεται **ασάφεια φάσης** [Λάμπρου Ε.-Πανταζής Γ., 2010] [Παραδείσης Δ., 2000].

Συνεπώς σε αυτή τη περίπτωση η μέτρηση της απόστασης δορυφόρου – δέκτη μεταφράζεται στην μέτρηση ασαφειών φάσης κατά την αρχική στιγμή εγκλωβισμού του σήματος και της ακριβούς μέτρησης των κύκλων φάσης του κύματος για κάθε περαιτέρω χρονική στιγμή

αδιάλειπτων μετρήσεων. Στην περίπτωση που, για οποιαδήποτε αιτία, διακοπεί έστω και στιγμιαία η λήψη του σήματος ενός δορυφόρου, η ασάφεια της φάσης του κύματος από τον εν λόγω δορυφόρο αλλάζει τιμή και απαιτείται να επαναπροσδιορίζεται κάθε φορά, γεγονός που αποτελεί και μια από τις πολυπλοκότητες της εκάστοτε τεχνικής που χρησιμοποιούν τέτοιες μετρήσεις [Σείδος Γ., 2009]. Οι μετρήσεις φάσης του φέροντος κύματος είναι ακριβέστερες κατά δύο τουλάχιστον τάξεις μεγέθους των αντίστοιχων μετρήσεων ψευδοαποστάσεων και γίνεται συνήθως με αβεβαιότητα $\pm 0.19\text{cm}$ για τη συχνότητα L1 και $\pm 0.24\text{cm}$ για τη συχνότητα L2 [Παραδείσης Δ., 2000].

2.6. Προσδιορισμός βάσης

Οι συνιστώσες της βάσης στο χώρο ΔX , ΔY , ΔZ προσδιορίζονται στο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς. Όπως έχει αναφερθεί, όταν το διάνυσμα αυτό προστεθεί στο αντίστοιχο διάνυσμα θέσης του γνωστού σημείου προσδιορίζονται οι συντεταγμένες του άγνωστου σημείου στο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς.

Οι συντεταγμένες της βάσης δίνονται και σε ένα προσανατολισμένο καρτεσιανό τρισσορθογώνιο τοπικό σύστημα N, E, Up, με αρχή το ένα σημείο, όπου υπολογίζονται οι συνιστώσες dN, dE, dUp του διανύσματος της βάσης. Ως επιφάνεια προβολής χρησιμοποιείται ένα οριζόντιο επίπεδο που εφάπτεται στο ένα σημείο όπου βρίσκεται η αρχή των αξόνων. Ο άξονας N συμπίπτει με τη διεύθυνση από το σημείο προς το γεωδαιτικό βορρά, ο E είναι κάθετος στον N προς την ανατολή και ο Up είναι κάθετος στο οριζόντιο επίπεδο που ορίζουν οι άλλοι δύο, εκφράζοντας την κατακόρυφη απόσταση μεταξύ των δύο σημείων στο τοπικό τρισσορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων. Η διαδικασία μετρήσεων μιας βάσης περιλαμβάνει τα εξής βήματα :

- Κέντρωση των κεραιών του δορυφορικού συστήματος στα δύο σημεία.
- Κατακόρυφωση των κεραιών του δορυφορικού συστήματος στα δυο σημεία.
- Μέτρηση ύψους της κεραίας στα δύο σημεία.
- Έναρξη λειτουργίας των δεκτών και στα δύο σημεία. Λήψη ταυτόχρονων παρατηρήσεων για τον απαραίτητο χρόνο.
- Λήξη λειτουργίας των δεκτών στα δύο σημεία [Λάμπρου Ε.- Πανταζής Γ., 2010].

2.6.1. Λογισμικά επεξεργασίας

Η επιλογή του κατάλληλου λογισμικού που θα χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία των δεδομένων εξαρτάται κυρίως από την επιθυμητή ακρίβεια που πρέπει να επιτευχθεί και δευτερευόντως από τον διαθέσιμο εξοπλισμό και την τεχνική απόκτηση των δεδομένων. Τα λογισμικά GPS δεδομένων μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τα λογισμικά που παρέχονται από τους κατασκευαστές των δορυφορικών δεκτών και τα λογισμικά που αναπτύσσονται από μεγάλες εταιρείες και πανεπιστήμια για επιστημονικούς σκοπούς.

Παρά το γεγονός ότι κάθε τύπος δορυφορικού δέκτη δίνει τα δεδομένα που μετρήθηκαν σε διαφορετικού τύπου αρχεία, η ευκολία μετατροπής τους σε ένα κοινό τύπο αρχείο με την ονομασία RINEX (Receiver Independent data Exchange), κάνει δυνατή την επεξεργασία οποιουδήποτε είδους δεδομένων από κάθε λογισμικό που αναγνωρίζει αυτόν τον τύπο αρχείου. Για τις περισσότερες γεωδαιτικές εφαρμογές η χρήση λογισμικού που παρέχεται από τον κατασκευαστή είναι επαρκής για την επίτευξη της επιθυμητής αβεβαιότητας.

Τέτοια λογισμικά είναι το Leica Geo Office Combined 5 της Leica Geosystems [www.leicageosystems.com] και το Trimble Geomatics Office της Trimble [www.trimble.com], τα οποία μπορούν να επιλύσουν τις παρατηρήσεις GPS χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις φάσης φέροντος κύματος.

2.6.2. Αποτελέσματα επίλυσης

Τα αποτελέσματα της επίλυσης μιας βάσης χρησιμοποιώντας κάποιο λογισμικό είναι οι συντεταγμένες X, Y, Z στο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς (WGS'84) για κάθε σημείο καθώς και οι συνιστώσες του διανύσματος της βάσης με το τυπικό σφάλμα προσδιορισμού τους.

Εκτός από αυτά η επίλυση παρέχει αρκετά ακόμα στοιχεία, τα σημαντικότερα των οποίων είναι τα ακόλουθα :

- Η συχνότητα μέτρησης (L1 ή L1 και L2)
- Ο τύπος της λύσης που επιτεύχθηκε (**Fixed** ή **Float**). Ως Fixed λύση θεωρείται η λύση κατά την οποία έχουν επιλυθεί οι ασάφειες φάσης και έχουν προσδιορισθεί οι ορθοί ακέραιοι αριθμοί των μηκών φέροντος κύματος του σήματος που έλαβε η κεραία του δέκτη (παρέχει ακρίβεια περίπου 1cm). Ως Float

ορίζεται η λύση που έχει προσδιορισθεί μη ακέραιος αριθμός μηκών κύματος (παρέχει ακρίβεια περίπου 2-3cm).

- Ο πίνακας μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας των συνιστωσών ΔX , ΔY , ΔZ της βάσης.
- Οι ελλειψοειδείς συντεταγμένες ϕ , λ των δύο σημείων στο σύστημα αναφοράς WGS'84 και το γεωμετρικό τους υψόμετρο.
- Οι παράμετροι **Ratio** και **Reference Variance**. Η παράμετρος Ratio αντιπροσωπεύει το λόγο της μεταβλητότητας της δεύτερης καλύτερης υποψήφιας Fixed λύσης ως προς την μεταβλητότητα της αμέσως προηγούμενης καλύτερης και οι τιμές της πρέπει να είναι μεγαλύτερες από 3 (όσο μεγαλύτερη π.χ. 20,40 τόσο το καλύτερο). Όταν η τιμή του Ratio είναι π.χ. 1.5 σημαίνει ότι η καλύτερη λύση είναι 1.5 φορές καλύτερη από τη δεύτερη λύση. Όταν είναι μικρότερο από 1.5, τότε από την επεξεργασία των βάσεων δεν μπορεί να καθοριστεί μια λύση στατιστικά σωστή και τότε η λύση είναι float (μόνο οι λύσεις fixed έχουν ratio).

Η παράμετρος Reference Variance είναι ένας δέκτης που δείχνει πόσο πλησιάζουν οι μετρήσεις μιας βάσης την υπολογισμένη καλύτερη τιμή και η τιμή της πρέπει να είναι μικρότερη από 4 (όσο πλησιάζει την μονάδα τόσο το καλύτερο) [Λάμπρου Ε.-Πανταζής Γ., 2010].

2.7. Πηγές σφαλμάτων με το σύστημα GPS

Όλες οι παρατηρήσεις με το σύστημα GPS, ανεξαρτήτως μεθόδου εντοπισμού που θα εφαρμοστεί, επηρεάζονται από σφάλματα και το συνδυασμένο τους μέγεθος μπορεί να μεταβάλλει σημαντικά την ακρίβεια εντοπισμού. Γενικά τα σφάλματα μπορεί να διακριθούν, ανάλογα με την πηγή από την οποία προέρχονται, σε τρεις κατηγορίες : τα σφάλματα που οφείλονται στους δορυφόρους, τα σφάλματα που οφείλονται στους δέκτες και τα σφάλματα που οφείλονται στις επιδράσεις της ατμόσφαιρας.

Κυριότερη πηγή των σφαλμάτων που οφείλονται στους δορυφόρους είναι η εκπεμπόμενη εφημερίδα (τροχιά) τους η οποία όμως προκαλεί σφάλμα μικρότερο των 3m. Μια δεύτερη πηγή είναι η συμπεριφορά των χρονομέτρων των δορυφόρων, δεδομένου ότι η μέτρηση βασίζεται στον πολύ καλό συγχρονισμό τους με τα χρονόμετρα των δεκτών. Σημαντικός επίσης παράγοντας είναι η γεωμετρία των δορυφόρων σε σχέση με τους

δέκτες, η οποία αλλάζει συνεχώς λόγω της κίνησης των δορυφόρων. Μια τελευταία κατηγορία σφαλμάτων των δορυφόρων είναι τα σφάλματα της επιλεκτικής διαθεσιμότητας, με την εισαγωγή θορύβου στο εκπεμπόμενο σήμα.

Όσον αφορά τα σφάλματα των δεκτών αυτά μπορεί να προέρχονται από την συμπεριφορά των χρονομέτρων ή ακόμα και από τα ηλεκτρονικά τους κυκλώματα προκαλώντας σφάλμα $\pm 3\text{m}$ για μέτρηση ψευδοαποστάσεων στον κώδικα C/A. Μια ακόμα πηγή σφαλμάτων είναι τα σφάλματα πολλαπλών ηλεκτρονικών διαδρομών, τα οποία οφείλονται σε πολλαπλές ηλεκτρονικές διαδρομές λόγω της ανάκλασης του σήματος σε διάφορες επιφάνειες πριν φτάσει στον δέκτη.

Τέλος υπάρχουν σφάλματα τα οποία είναι απόρροια της μετάδοσης του σήματος στην ατμόσφαιρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την καθυστέρηση διάδοσης του σήματος λόγω της επίδρασης της ιονόσφαιρας, η οποία και κυμαίνεται από 20-30m κατά τη διάρκεια της ημέρας και 3-6m κατά τη διάρκεια της νύχτας. Επιπλέον υπεισέρχονται σφάλματα λόγω της τροποσφαιρικής διάθλασης η οποία εξαρτάται κυρίως από την κατανομή της υγρασίας κατά μήκος της διαδρομής του σήματος μέσα στην τροπόσφαιρα και τα καιρικά φαινόμενα που επικρατούν. Τα σφάλματα αυτά είναι αρκετά σταθερά και μπορούν να προσεγγισθούν με χρήση τροποσφαιρικών μοντέλων. Η ιονοσφαιρική διάθλαση, η οποία εξαρτάται από τη συχνότητα, αντιμετωπίζεται με μετρήσεις σε δύο συχνότητες (πολύ ικανοποιητικά) ή με τα ιονοσφαιρικά μοντέλα, τα οποία περιέχονται στο μήνυμα ναυσιπλοΐας (κατά προσέγγιση) [Ζησόπουλος Α.- Παραδείσης Δ., 2006] [Τσακίρη Μ., 2005].

2.8. Διάφορες περιπτώσεις προσδιορισμού ορθομετρικών υψομέτρων με την χρήση GPS

Σήμερα το GPS χρησιμοποιείται για πολλά είδη γεωδαιτικών εφαρμογών και για πολλούς σκοπούς ανάλογα με τον χρήστη. Είναι πιθανόν να επιτευχθεί ακρίβεια μερικών χιλιοστών σε οριζοντιογραφικό δίκτυο με βάσεις της τάξεων δεκάδων χιλιομέτρων. Συγκεκριμένα τα γεωμετρικά υψόμετρα (υψόμετρα που προσδιορίζονται με GPS και αναφέρονται στο ελλειψοειδές του WGS'84) ως απόλυτες τιμές έχουν μια ακρίβεια της τάξης του μέτρου, ενώ ως σχετικές τιμές – υψομετρικές διαφορές μεταξύ σημείων η ακρίβεια αυτή κυμαίνεται από περίπου 0.5m από μετρήσεις κωδίκων, έως και 1cm από μετρήσεις φάσεων. Πρέπει να

αναφερθεί πως στην τρίτη διάσταση επιτυγχάνεται ακρίβεια περίπου δύο φορές χειρότερη από ότι στον οριζοντιογραφικό προσδιορισμό.

Παρόλα αυτά η υψομετρία με χρήση του GPS θεωρείται μια καλή εναλλακτική μέθοδος έναντι των κλασικών επίγειων καθώς είναι αρκετά πιο οικονομική, λιγότερο χρονοβόρα και κουραστική. Ωστόσο απαραίτητος είναι ο προσδιορισμός ενός ακριβούς χάρτη αποχής του γεωειδούς ώστε να είναι δυνατός ο μετασχηματισμός των γεωμετρικών υψομέτρων του GPS σε ορθομετρικά H .

Σήμερα υπάρχει δυνατότητα προσδιορισμού ορθομετρικών υψομέτρων μετρώντας προηγουμένως γεωμετρικά υψόμετρα με την χρήση GPS. Για να γίνει αυτό εφικτό υπάρχουν διάφορες περιπτώσεις οι οποίες χρησιμοποιούνται ανάλογα με την απαιτούμενη ακρίβεια των ορθομετρικών υψομέτρων.

Στην **πρώτη περίπτωση** τα υψόμετρα του γεωειδούς N , θεωρούνται ότι προέρχονται από το παγκόσμιο μοντέλο γεωειδούς και δεν υπάρχουν γνωστά ορθομετρικά υψόμετρα. Στην περίπτωση αυτή το υψόμετρο του γεωειδούς σε κάθε σημείο λαμβάνεται είτε γραφικά από τον αντίστοιχο χάρτη γεωειδούς είτε υπολογίζεται από μια αναλυτική μαθηματική σχέση, με βάση τα δεδομένα του παγκόσμιου μοντέλου που χρησιμοποιείται, όπως για παράδειγμα το EGM96, όπου η ακρίβεια του για το N είναι της τάξης του 0.5-1m. Έτσι το ορθομετρικό υψόμετρο H υπολογίζεται από την διαφορά $H=h-N$ με ακρίβεια που εξαρτάται και από την ακρίβεια του γεωμετρικού υψομέτρου. Η περίπτωση αυτή αφορά ιδιαίτερα στις χαρτογραφικές εφαρμογές σε σχέση πάντα και με την κλίμακα του χάρτη.

Η **δεύτερη περίπτωση**, είναι παρόμοια με την πρώτη, με την διαφορά ότι τα υψόμετρα του γεωειδούς προέρχονται από ένα τοπικό μοντέλο γεωειδούς, άρα και καλύτερης ακρίβειας σε σχέση με ένα παγκόσμιο μοντέλο γεωειδούς. Και εδώ θεωρείται ότι δεν υπάρχουν σημεία με γνωστά ορθομετρικά υψόμετρα, έτσι ο υπολογισμός τους γίνεται όπως αναφέρθηκε πιο πάνω.

Η **τρίτη περίπτωση** διαφοροποιείται από τις δύο προηγούμενες στο γεγονός ότι τώρα θεωρείται ότι δεν υπάρχει πληροφορία για τα υψόμετρα του γεωειδούς αλλά είναι γνωστά τα ορθομετρικά υψόμετρα σε μερικά σημεία. Στην περίπτωση αυτή η μόνη δυνατή επιλογή είναι να γίνει ένας μετασχηματισμός, στην ουσία μια παρεμβολή, μεταξύ των γεωμετρικών υψομέτρων που προέρχονται από το GPS και των αντίστοιχων ορθομετρικών που γνωρίζουμε σε κάποια κοινά σημεία. Η παρεμβολή αυτή μπορεί να γίνει είτε προσαρμόζοντας ένα επίπεδο στις γνωστές

διαφορές των κοινών σημείων, για μικρή όμως έκταση, ή μια επιφάνεια ανωτέρου βαθμού που περιγράφεται από ένα πολυώνυμο 2ου βαθμού για μεγαλύτερη έκταση. Η περίπτωση αυτή είναι συνήθης για τοπογραφικές εφαρμογές ή και για χαρτογραφικές με κάπως αυξημένες απαιτήσεις ακρίβειας. Με δεδομένο ότι τα ορθομετρικά υψόμετρα των γνωστών σημείων χαρακτηρίζονται από ακρίβειες ανάλογες της μεθόδου από την οποία προήλθαν όπως γεωμετρική χωροστάθμηση ή τριγωνομετρική υψομετρία, ανάλογες θα είναι και οι ακρίβειες των ορθομετρικών υψομέτρων των υπολοίπων μη κοινών σημείων για τα οποία γνωρίσουμε μόνο τα γεωμετρικά τους υψόμετρα.

Τέλος, **στην τέταρτη περίπτωση** θεωρείται ότι υπάρχει πληροφορία για τα υψόμετρα του γεωειδούς από κάποιο τοπικό μοντέλο ή ένα παγκόσμιο μοντέλο καθώς και γνώση για τα ορθομετρικά υψόμετρα σε μερικά σημεία. Στην περίπτωση αυτή εφαρμόζεται μια μέθοδος μετατροπής των γεωμετρικών υψομέτρων σε ορθομετρικά που βασίζεται σε έναν μετασχηματισμό ομοιότητας σε σφαιρική προσέγγιση όπου ως άγνωστοι παράμετροι θεωρούνται τρεις μεταθέσεις και μια παράμετρος που εκφράζει την διαφορά κλίμακας. Η προσέγγιση αυτή προέρχεται κυρίως από την ανάγκη ελαχιστοποίησης των διαφορών που υπάρχουν ανάμεσα σε ένα γεωειδές που έχει προκύψει από κάποιο μοντέλο βαρύτητας και σε αυτό που προκύπτει από τις μετρήσεις GPS σε σημεία με γνωστό ορθομετρικό υψόμετρο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΔΙΚΤΥΑ ΜΟΝΙΜΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ GPS

3.1. Γενικά

Σήμερα λειτουργούν, σε παγκόσμιο επίπεδο, μερικές χιλιάδες μόνιμοι σταθμοί GPS/GNSS συνεχούς λειτουργίας σε πάνω από 50 δίκτυα, για την εξυπηρέτηση εφαρμογών εντοπισμού και πλοήγησης σε παγκόσμια, ηπειρωτική, περιφερειακή, εθνική ή τοπική κλίμακα.

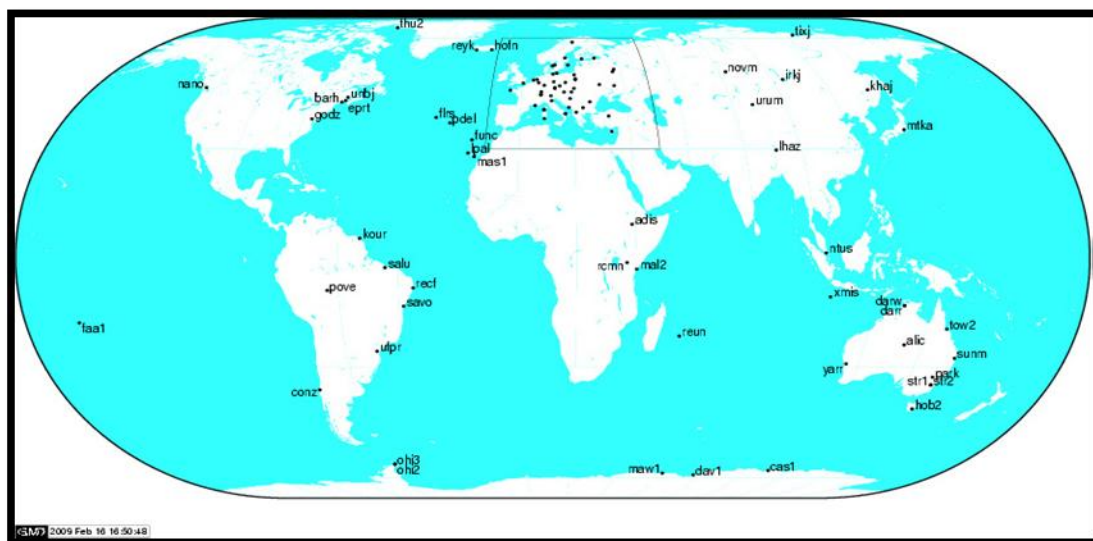
Επιπλέον, σε περισσότερες από 30 χώρες, λειτουργούν περισσότεροι από 2500 μόνιμοι σταθμοί VRS-RTK για την εξυπηρέτηση εφαρμογών εντοπισμού και πλοήγησης σε περιφερειακή, εθνική ή τοπική κλίμακα [Δεληκαράογλου, 2008].

Τα δίκτυα μόνιμων σταθμών GPS, δηλαδή δέκτες GPS που είναι τοποθετημένοι σε συγκεκριμένα σημεία για μεγάλη χρονική περίοδο, δεν είναι κάτι πρόσφατο. Μόνιμα δίκτυα όπως το CIGNET και το δίκτυο της IGS (International GPS Service) [<http://igsb.jpl.nasa.gov>] έχουν αποδείξει τη χρησιμότητά τους στη γεωδαιτική κοινότητα, στο προσδιορισμό των τροχιών καθώς επίσης και στη μελέτη της κίνησης των τεκτονικών πλακών. Καθώς η ακρίβεια των δεκτών GPS αυξανόταν οι ερευνητές στράφηκαν στη χρήση των μόνιμων δικτύων για τη μελέτη γεωφυσικών φαινομένων. Από τις πρώτες επιλύσεις ενός μόνιμου δικτύου έγινε από τους Shimada and Block το 1992 με δεδομένα 17 ημερών από 10 σταθμούς στη περιοχή του Τόκιο στην Ιαπωνία.

Αργότερα κατά το πρόγραμμα BIRFOST (1996), μετρήθηκε η μεταπαγετονική ανύψωση με ένα δίκτυο 21 μόνιμων σταθμών GPS στη Σουηδία.

3.2. Δίκτυα μόνιμων σταθμών σε παγκόσμια ή ηπειρωτική κλίμακα

Το IGS (International GNSS Service) είναι ένα παγκόσμιο δίκτυο που αποτελείται από περισσότερους από 350 σταθμούς GPS διπλής συχνότητας συνεχούς λειτουργίας, από περισσότερα από 12 περιφερειακά και λειτουργικά κέντρα δεδομένων, 3 παγκόσμια κέντρα δεδομένων, 7 κέντρα ανάλυσης δεδομένων και από ένα πλήθος τοπικών κέντρων ανάλυσης δεδομένων (Χάρτης 3.1).



*Χάρτης 3.1 Παγκόσμιο δίκτυο GPS/GLONASS του δικτύου IGS
[Πηγή : <http://igsceb.jpl.nasa.gov>]*

Το IGS συγκεντρώνει, ταξινομεί και διανέμει δεδομένα παρατηρήσεων GPS ικανοποιητικής αβεβαιότητας μέσω του διαδικτύου στους ενδιαφερόμενους, έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις επιστημονικών - τεχνικών εφαρμογών και ερευνών. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται για να παράγουν τα εξής προϊόντα:

- Εφημερίδες δορυφόρων GPS.
- Εφημερίδες δορυφόρων GLONASS.
- Παραμέτρους 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.
- Παγκόσμιους χάρτες ιονόσφαιρας.

Ένα ακόμα πρότυπο δίκτυο είναι το **RTIGS (Real Time IGS Tracking Network)** που σχεδιάστηκε από το IGS Real Time Working Group (RTWG). Το πρότυπο αυτό δίκτυο αποτελείται από περισσότερους από 50 πιλοτικούς σταθμούς παγκοσμίως και συνεχώς επεκτείνεται [<http://www.rtigs.net/index.php/>].

Στην Ευρώπη το αντίστοιχο δίκτυο μόνιμων σταθμών ονομάζεται **EPN (EUREF (EUropean REference Frame) EUROPEAN Permanent Network)** το οποίο αποτελείται από 218 μόνιμους σταθμούς GPS, με συνεχή αύξηση [<http://www.epncb.oma.be>]. Οι σταθμοί πληρούν συγκεκριμένες γεωδαιτικές προδιαγραφές, είναι δηλαδή δέκτες δύο

συχνότητων, συνήθως με δώδεκα κανάλια παρακολούθησης δορυφόρων σε κάθε συχνότητα και κεραία τύπου Choke Ring. Επίσης όσοι από αυτούς ανήκουν ταυτόχρονα και στο δίκτυο της IGS ακολουθούν επιπλέον ειδικές διατάξεις θεμελίωσης. Συνοπτικά, οι βασικοί στόχοι του δικτύου EPN είναι:

- Η δημιουργία του ευρωπαϊκού συστήματος και πλαισίου αναφοράς (ETRS-ETRF).
- Η ανάλυση των δεδομένων, ώστε να είναι δυνατή η μετάβαση από το Ευρωπαϊκό σύστημα αναφοράς σε άλλα παγκόσμια συστήματα αναφοράς (ITRS-ITRF).
- Η δημιουργία ιονοσφαιρικών και τροποσφαιρικών μοντέλων για καλύτερη γνώση των αντίστοιχων επιδράσεων.
- Η μελέτη της περιστροφικής κίνησης της γης.
- Η παροχή δεδομένων στους χρήστες των δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης για κάθε είδους έρευνα και εφαρμογή που σχετίζονται με τον προσδιορισμό θέσης και τη διαχρονική τους παρακολούθηση.

Παράλληλα με αυτό το δίκτυο λειτουργούν στην Ευρώπη και τον υπόλοιπο κόσμο επιμέρους δίκτυα μόνιμων σταθμών GPS. Τα δίκτυα αυτά αποτελούνται από ένα σύνολο σταθμών καταγραφής και εκπομπής δεδομένων GPS όπου ο χρήστης διαθέτοντας ένα radio modem ή κινητό τηλέφωνο μπορεί να συνδεθεί με το υπολογιστικό κέντρο ελέγχου του δικτύου να υπολογίσει τη θέση του σε πραγματικό χρόνο.

Τέτοιου τύπου δίκτυα είναι τα εξής :

- Το Καναδικό δίκτυο CACS (Canadian Active Control System) [http://www.geod.rncan.gc.ca/acp/cacs_e.php].
- Το GEONET (GPS Earth Observation NETwork of Japan) το οποίο καλύπτει τα νησιά της Ιαπωνίας [<http://mekira.gsi.go.jp/ENGLISH/>].
- Το δίκτυο ARGN (Australian Reginal GPS Network) που καλύπτει την Αυστραλία και την Ανταρκτική. [<http://www.ga.gov.au/geodesy/argn/>].
- Το δίκτυο AGNES (Automated GPS Network Switzerland) το οποίο καλύπτει την Ελβετία [<http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/en/home.html>].
- Το δίκτυο SWEPOS (Swedish Positioning System) της Σουηδίας [<http://swepos.lmv.lm.se/>].
- Το δίκτυο HEPOS (HEllenic POsitioning System) το οποίο καλύπτει την Ελλάδα [<http://www.hepos.gr>].

3.3. Τα δίκτυα μόνιμων σταθμών στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα έχουν εγκατασταθεί διάφοροι σταθμοί από τη δεκαετία του 1990 με σκοπό τη μελέτη των τεκτονικών μετακινήσεων στη περιοχή. Κυρίως οι σταθμοί εστιάζουν στη περιοχή του Νοτίου Αιγαίου, στα νησιά του Ιονίου κατά μήκος του Δυτικού Ελληνικού τόξου και την περιοχή του Κορινθιακού Κόλπου. Βασικός σταθμός και από τους πρώτους που εγκαταστάθηκαν είναι ο σταθμός του Διονύσου (DION) στο Διόνυσο Πεντέλης από το Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου του Ε.Μ.Π.

Ένα από τα δίκτυα μόνιμων σταθμών GPS είναι το **HELLAS continuous network**. Το δίκτυο είναι συνέχεια του προγενέστερου δικτύου **CION** (CGPS Ionian Network) το οποίο κάλυπτε τη περιοχή του Ρήγματος της Κεφαλονιάς και το βορειοδυτικό τμήμα του Δυτικού Ελληνικού Τόξου. Οι σταθμοί GPS εγκαταστάθηκαν στα βορειότερα νησιά του Ιονίου και στο κόλπο της Άρτας (Αμβρακικός κόλπος) το 1995. Τα τελευταία χρόνια το δίκτυο CION έχει επεκταθεί στο δίκτυο **HELLAS** καλύπτοντας το μεγαλύτερο μέρος της Ελλάδας. Βασίζεται σε 15 σταθμούς εκτεινόμενοι από τα βόρεια της Ηπείρου στα νησιά του Ιονίου και ακολουθώντας το Ελληνικό τόξο έως τη Ρόδο και το Καστελόριζο. Πλέον το δίκτυο καλύπτει και μέρος της Βόρειας Ελλάδας.

Σε συνεργασία του Εργαστηρίου Ανώτερης Γεωδαισίας του Ε.Μ.Π. με αντίστοιχα πανεπιστήμια του εξωτερικού έχουν εγκατασταθεί **δύο δίκτυα μόνιμων σταθμών GPS**. Το πρώτο σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο της Οξφόρδης καλύπτει τη περιοχή της Πελοποννήσου και του νότιου Αιγαίου. Επίσης σε συνεργασία με το Ινστιτούτο IPGP της Γαλλίας έχουν εγκατασταθεί σταθμοί στη περιοχή του Κορινθιακού κόλπου.

Το **δίκτυο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών** είναι το πιο πρόσφατα εγκατεστημένο δίκτυο που καλύπτει κύρια τη περιοχή των νησιών του Ιονίου αλλά και του βορείου Αιγαίου.

Επιπλέον στον Ελλαδικό χώρο λειτουργούν τρεις μόνιμοι σταθμοί του δικτύου EUREF. Ο σταθμός AUT1 του Τομέα Γεωδαισίας και Τοπογραφίας του Τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης στη Θέρμη Θεσσαλονίκης, ο σταθμός NOA1, τοποθετημένος κοντά στο Αστεροσκοπείο Αθηνών στην Πεντέλη, και ο σταθμός TUC2 του Εργαστηρίου Γεωδαισίας και Πληροφορικής των Γεωεπιστημών του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης στα Χανιά (Εικόνες 3.1(α), 3.1(β)).



Εικόνα 3.1(α) Μόνιμοι σταθμοί GPS AUT1 (Θεσσαλονίκη) και NOAI (Αττική)

[Πηγή : <http://www.epncb.oma.be>]



Εικόνα 3.1(β) Μόνιμος σταθμός GPS TUC2(Χανιά)

[Πηγή : <http://www.epncb.oma.be>]

Επειδή το δίκτυο EPN αυξάνεται συνεχώς, έχει προταθεί η δημιουργία και λειτουργία ενός ακόμη μόνιμου σταθμού στον Ελλαδικό

χώρο. Ο σταθμός αυτός είναι ο DUTH, του Τομέα Γεωδαισίας και Τοπογραφίας του Τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Α.Π.Θ., τοποθετημένος στο κτήριο του Τμήματος Αρχιτεκτόνων Μηχανικών στην Ξάνθη του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχει και ένας αριθμός μόνιμων σταθμών οι οποίοι έχουν εγκατασταθεί από ιδιωτικές εταιρίες. Κάποιοι από τους σταθμούς αυτούς είναι οι παρακάτω :

- Ο σταθμός της εταιρίας Geotech στον Γέρακα Αττικής [<http://www.geotech.gr>].
- Ο σταθμός της εταιρίας JGC στο Μαρούσι Αττικής [<http://www.jgc.gr>].
- Οι σταθμοί της εταιρίας Metrica [<http://www.metrica.gr>].
- Οι σταθμοί της εταιρίας Tree Company [<http://www.treecomp.gr>].
- Ο σταθμός της εταιρίας Landmark στον Άγιο Δημήτριο Αττικής [<http://www.sakkia.gr>].
- Οι σταθμοί της εταιρίας CivilShop [<http://www.civilshop.gr>].

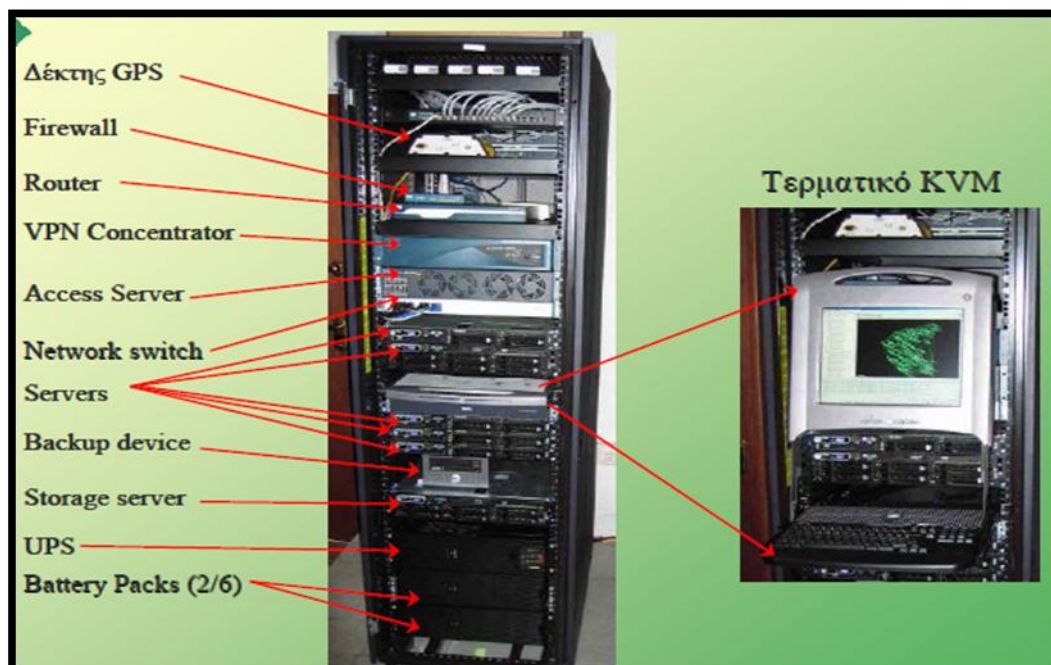
3.4. HEPOS-Το Ελληνικό Σύστημα Εντοπισμού

Το Ελληνικό Σύστημα Εντοπισμού **HEPOS** (Hellenic POsitioning System) είναι ένα σύστημα το οποίο επιτρέπει τον προσδιορισμό θέσης με υψηλή ακρίβεια αξιοποιώντας το υφιστάμενο παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού GPS. Σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε από την Κτηματολόγιο Α.Ε., η οποία και χειρίζεται το σύστημα [<http://www.hepos.gr>]. Αποτελεί ένα σύγχρονο σύστημα εντοπισμού αντίστοιχο με αυτά που λειτουργούν τα τελευταία χρόνια στις περισσότερες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

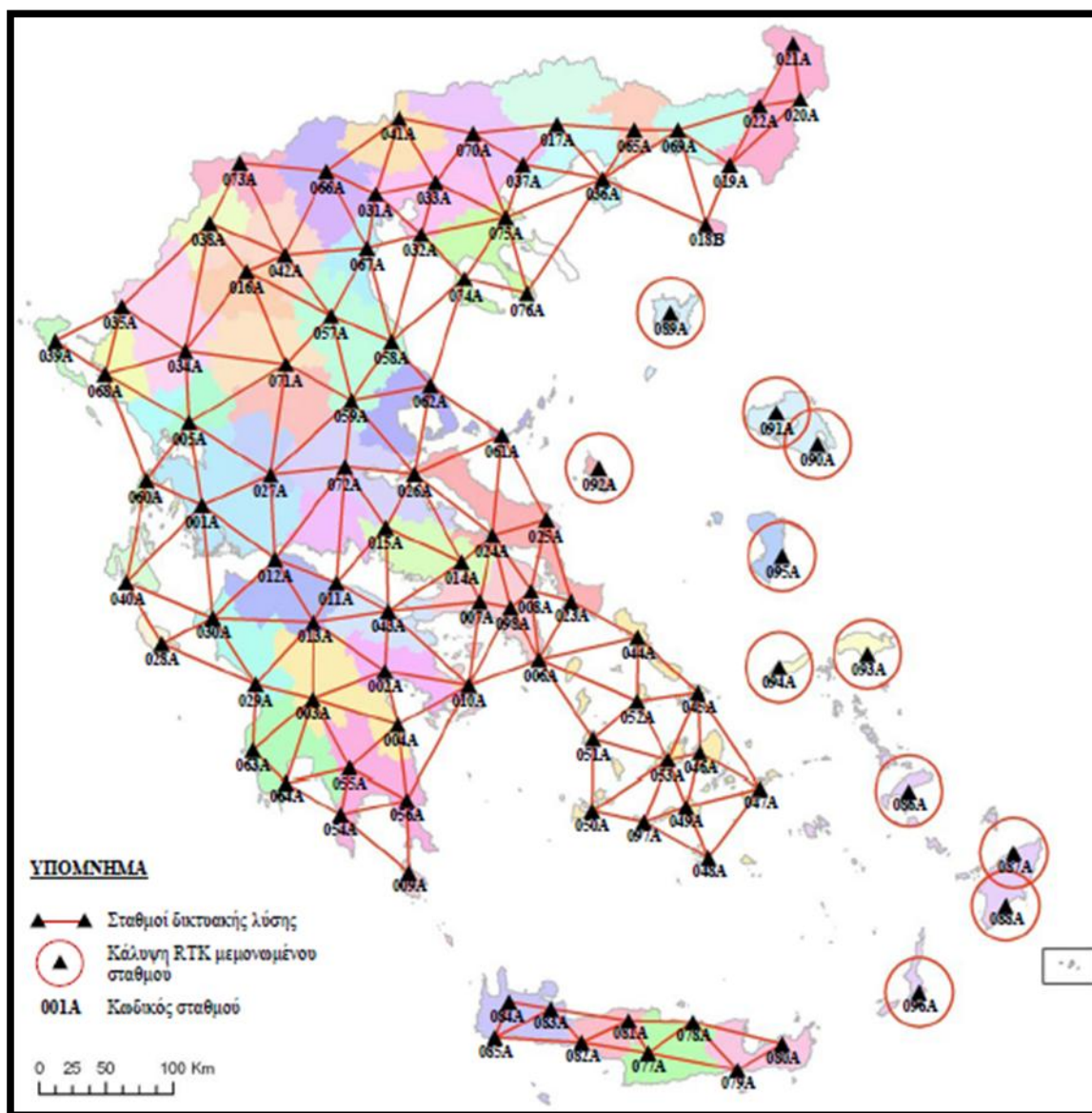
Το HEPOS υλοποιείται από ένα δίκτυο 98 μόνιμων επίγειων σταθμών αναφοράς (Χάρτης 3.2) και ένα Κέντρο Ελέγχου (Εικόνα 3.2) που βρίσκεται στις εγκαταστάσεις της Κτηματολόγιο Α.Ε. στην Αθήνα. Οι σταθμοί αναφοράς (Εικόνα 3.3) είναι ομοιόμορφα κατανομημένοι σε όλη την Ελλάδα και με κατάλληλη διάταξη έτσι ώστε οι αποστάσεις μεταξύ των γειτονικών σταθμών να μην υπερβαίνουν τα 70km. Από αυτούς οι 87 είναι δικτυακής λύσης, ενώ οι υπόλοιποι 11 είναι μεμονωμένοι. Οι δέκτες των σταθμών αναφοράς είναι οι «Trimble NetRS» και οι κεραίες που έχουν χρησιμοποιηθεί για τους σταθμούς αναφοράς είναι οι «Trimble Zephyr Geodetic» με θόλο, οι οποίες έχουν τοποθετηθεί σε βάθρα σε κτήρια του ΟΤΕ είτε στηριζόμενες σε οροφή ή σε τοίχο.



Εικόνα 3.2 Κεραία Σταθμού Αναφοράς του HEPOS τοποθετημένη σε βάθρο σε οροφή και σε τοίχο
[Πηγή : <http://www.hepos.gr/>]



Εικόνα 3.3 Το κέντρο ελέγχου του HEPOS
(Πηγή : Γιαννίου Μ-Μάστορης Δ., 2007)



Χάρτης 3.2 Δίκτυο Σταθμών Αναφοράς του HEPOS

[Πηγή : <http://www.hepos.gr/>]

Οι υπηρεσίες που παρέχει διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες :

- Υπηρεσίες «πραγματικού χρόνου» (real time), στις οποίες η θέση ενός σημείου προσδιορίζεται κατά τη στιγμή της μέτρησης.
- Υπηρεσίες «μετεπεξεργασίας» (post processing), όπου η θέση ενός σημείου προσδιορίζεται εκ των υστέρων μετά από επεξεργασία μετρήσεων στο γραφείο.

3.4.1. Υπηρεσίες πραγματικού χρόνου

Οι υπηρεσίες πραγματικού χρόνου (real-time) του HEPOS επιτρέπουν τον προσδιορισμό θέσης με αβεβαιότητα της τάξης των λίγων cm. Με τις υπηρεσίες αυτές ο χρήστης μπορεί να μετράει μόνο με ένα γεωδαιτικό δέκτη GPS στο σημείο που θέλει να προσδιορίσει και να υπολογίζει τις συντεταγμένες του σημείου κατά τη στιγμή της μέτρησης. Δεν απαιτείται δηλαδή επεξεργασία δεδομένων στο γραφείο, όπως συμβαίνει με τις υπηρεσίες μετεπεξεργασίας.

Ο εξοπλισμός που χρειάζεται ο χρήστης για να αξιοποιήσει το HEPOS είναι συνάρτηση της αβεβαιότητας που θέλει να έχει και της υπηρεσίας που θα χρησιμοποιήσει. Για υπηρεσίες «πραγματικού χρόνου» χρειάζονται :

- Ένας δέκτης του δορυφορικού συστήματος RTK με δυνατότητα χρήσης δικτυακών τεχνικών.
- Και ένα GSM ή GPRS modem για επικοινωνία με το κέντρο ελέγχου.

Για τον προσδιορισμό θέσης σε πραγματικό χρόνο με το GPS (τεχνικές RTK και DGPS) απαιτούνται δεδομένα σταθμού αναφοράς. Τα δεδομένα, τα οποία πρέπει να είναι σε κάποια συγκεκριμένη μορφή, έχει επικρατήσει να αποκαλούνται διορθώσεις.

Για εφαρμογές RTK το HEPOS μπορεί να παρέχει διορθώσεις RTCM:

- Διορθώσεις Single-Base RTK, δηλαδή δεδομένα που υπολογίζονται από τις παρατηρήσεις ενός από τους 98 σταθμούς αναφοράς του HEPOS, (τον πιο κοντινό).
- Διορθώσεις Network-RTK (δικτυακή λύση), δηλαδή δεδομένα που προκύπτουν από συνδυασμένη επεξεργασία δεδομένων πολλών πραγματικών σταθμών. Συγκεκριμένα υποστηρίζονται οι ακόλουθες 3 δικτυακές τεχνικές:
 - VRS-Virtual Reference Stations, (Εικονικό σταθμό αναφοράς).
 - FKP –Flächenkorrekturparameter.
 - MAC -Master Auxiliary Concept.

Για εφαρμογές DGPS το HEPOS μπορεί να παρέχει δύο ειδών διορθώσεις RTCM:

- Διορθώσεις Single-Base DGPS, δηλαδή δεδομένα που υπολογίζονται από έναν από τους 7 σταθμούς αναφοράς του HEPOS για τη λειτουργία αυτή.

- Διορθώσεις Network-DGPS (δικτυακής λύσης), δηλαδή δεδομένα που προκύπτουν από συνδυασμένη επεξεργασία δεδομένων πολλών πραγματικών σταθμών.

3.4.2. Υπηρεσίες μετεπεξεργασίας

Ο εξοπλισμός που χρειάζεται ο χρήστης για να αξιοποιήσει το HEPOS με υπηρεσίες «μετεπεξεργασίας» ανάλογα με την ακρίβεια που επιθυμεί είναι τα εξής :

- Για σφάλμα της τάξης των λίγων cm απαιτείται ένας γεωδαιτικός δέκτης του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού μίας ή δύο συχνοτήτων.
- Για σφάλμα της τάξης των 0.5m αρκεί ένας πιο απλός δέκτης αν παρέχει τη δυνατότητα λήψης των διαφορικών διορθώσεων του HEPOS.
- Ένα εξειδικευμένο λογισμικό γραφείου με δυνατότητα επεξεργασίας RINEX αρχείων.

Το HEPOS μπορεί να παρέχει δύο κατηγορίες δεδομένων σταθμού αναφοράς:

- Δεδομένα πραγματικών σταθμών αναφοράς δηλαδή δεδομένα που καταγράφηκαν από έναν από τους 98 σταθμούς αναφοράς του HEPOS.
- Δεδομένα εικονικών σταθμών αναφοράς (VRS: Virtual Reference Stations) δηλαδή δεδομένα που δημιουργούνται μέσω των παρατηρήσεων των πραγματικών σταθμών για οποιαδήποτε θέση ζητήσει ο χρήστης μέσα στην περιοχή που παρέχεται δικτυακή λύση.

Τα δεδομένα σταθμού αναφοράς, τα οποία ο χρήστης λαμβάνει από το HEPOS, μπορούν να χορηγηθούν από το σύστημα είτε σε μορφή RINEX (Receiver INdependent EXchange format) είτε σε μορφή CRINEX (Compact RINEX ή αλλιώς Hatanaka format). Οι δύο μορφές δεδομένων είναι πρακτικά ισοδύναμες. Η μορφή CRINEX έχει το βασικό πλεονέκτημα ότι τα αρχεία έχουν σημαντικά περιορισμένο μέγεθος (περίπου το 1/3 του αντίστοιχου αρχείου RINEX). Αυτό διευκολύνει τόσο τη διαδικασία λήψης τους από την ιστοσελίδα του HEPOS, όσο και τη μόνιμη αποθήκευσή τους.

Ο χρήστης μπορεί να ζητήσει αρχεία RINEX ή CRINEX με βήμα καταγραφής παρατηρήσεων 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30 ή 60 sec. Τα δεδομένα πραγματικών ή εικονικών σταθμών είναι διαθέσιμα έως και 30 ημέρες από την ημέρα της παρατήρησης, ενώ αιτήματα χορήγησης παλαιότερων στοιχείων μπορούν να εξυπηρετούνται εφόσον υπάρχει δυνατότητα και με πρόσθετη χρέωση.

Η αγορά των δεδομένων για μετεπεξεργασία γίνεται μέσω του διαδικτύου από το «HEPOS RINEX shop» (Εικόνα 3.4) , αφού προηγουμένως υποβάλλεται αίτηση και υπογράφεται σχετική σύμβαση με την Κτηματολόγιο Α.Ε.

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Σ.Α.

RINEX Shop - Εικονικός Σταθμός Αναφοράς

Εισάγετε τις συντεταγμένες ενός εικονικού σταθμού αναφοράς. Μπορείτε να εναλλάσσετε από το γεωγραφικό στο γεωκεντρικό καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων.

Εικονικός Σταθμός Αναφοράς - Γεωγραφική θέση

Γεωγραφικό πλάτος* N S

Γεωγραφικό μήκος* E W

Γεωμετρικό υψόμετρο: m

« Πισω: Επιλογή Τύπου Σταθμού Επιστροφή στις αρχικές τιμές Επόμενο: Επιλογή χρόνου »

Αλλάζτε σε γεωκεντρικό καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων

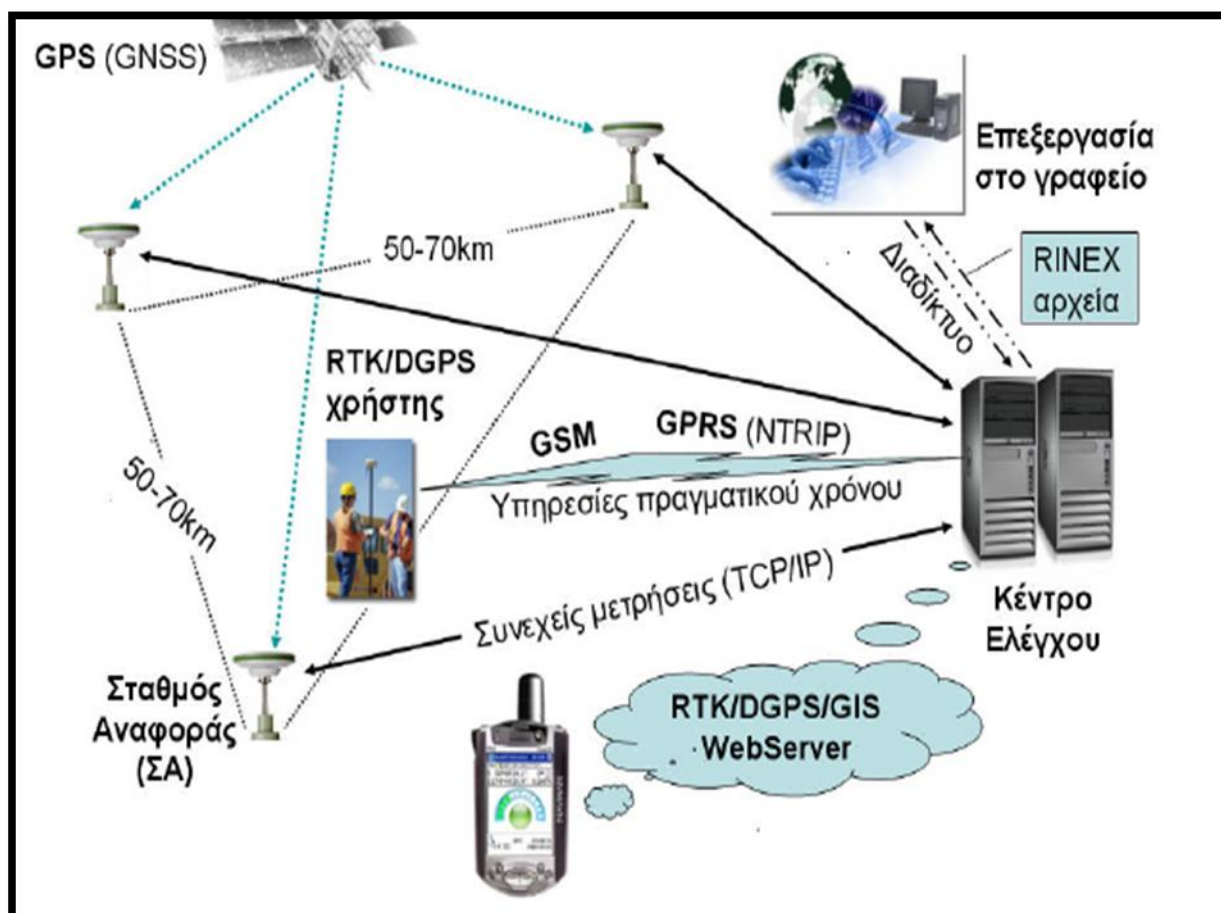
* Μπορείτε να εισάγετε τις γεωγραφικές συντεταγμένες σε τρία format:

- Deg Min Sec Παρόδειγμα: 48 1 21.60
- Deg Min Παρόδειγμα: 48 1.36
- Deg Παρόδειγμα: 48.02267

Εικόνα 3.4 Παράδειγμα παραγγελίας αρχείου Εικονικού σταθμού αναφοράς μέσω του RINEX shop [Πηγή : Γιαννίου Μ., 2008]

3.4.3. Τρόπος λειτουργίας

Οι σταθμοί αναφοράς βρίσκονται σε συνεχή λειτουργία και αποστέλλουν ανά δευτερόλεπτο τις μετρήσεις τους προς το Κέντρο Ελέγχου. Το λογισμικό δικτύωσης του κέντρου ελέγχου συγχρονίζει τις μετρήσεις που αναφέρονται στην ίδια εποχή (epoch), στο ίδιο δηλαδή δευτερόλεπτο του χρόνου GPS, και τις επεξεργάζεται για τη μοντελοποίηση των σφαλμάτων και τον υπολογισμό των δεδομένων σταθμού αναφοράς, τα οποία απαιτούνται για το σχετικό προσδιορισμό θέσης με GPS. Οι χρήστες μπορούν να παίρνουν τα δεδομένα είτε σε πραγματικό χρόνο, (Real Time), μέσω GSMmodem ή GPRS για εφαρμογές RTK, είτε μέσω διαδικτυακού εξυπηρετητή (web server) για εφαρμογές επεξεργασίας στο γραφείο (Εικόνα 3.5).



Εικόνα 3.5 Απεικόνιση βασικών λειτουργιών και υπηρεσιών που εξυπηρετεί η τηλεπικοινωνιακή υποδομή του HEPOS
[Πηγή : Δεληκαράογλου, 2007]

3.4.4. Το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς του HEPOS

Το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς στο οποίο επιλύθηκε το δίκτυο των μόνιμων σταθμών του HEPOS ονομάζεται **HTRS'07** (Hellenic Terrestrial Reference System 2007). Το σύστημα αυτό :

Ορίζεται :

- Σύμφωνα με το ETRS'89 στο πλαίσιο ETRF'05epoch 2007.5 (το ETRS'89 ταυτίζεται με το ITRS'89) με σταθερό σταθμό τον AUT1, που ανήκει στο δίκτυο μόνιμων σταθμών EPN (Euref Permanent Network) της Ευρώπης και είναι εγκατεστημένος στο κτήριο του Τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.
- Ως ελλειψοειδές αναφοράς ορίστηκε το παγκόσμιο ελλειψοειδές GRS'80 χωρίς καμία μετατόπιση (το κέντρο του ταυτίζεται με το γεώκεντρο του ETRS'89).

Υλοποιείται :

- Με τη μέτρηση του γεωδαιτικού δικτύου των 98 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 προβολή με κεντρικό μεσημβρινό $\lambda=24^{\circ}$, $x_0=500.000\text{m}$, $y_0=-2.000.000\text{m}$ στην τομή του κεντρικού μεσημβρινού με τον ισημερινό και συντελεστή κλίμακας $K_0=0.9996$. Για το Καστελόριζο χρησιμοποιείται ως κεντρικός μεσημβρινός αυτός των $\lambda=30^{\circ}$ και ως συντελεστής κλίμακας $K_0=1$.
- Με τον υπολογισμό των προβολικών επίπεδων συντεταγμένων x, y των κορυφών του δικτύου [Λάμπρου Ε. & Πανταζής Γ., 2010].

Επειδή το ΕΓΣΑ'87 παραμένει το επίσημο κρατικό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς της Ελλάδας και των μελετών του κτηματολογίου, υπολογίστηκαν οι παράμετροι μετασχηματισμού των συντεταγμένων του συστήματος HTRS'07 στο ΕΓΣΑ'87 και αντίστροφα. Πρόκειται για έναν 7-παραμετρικό μετασχηματισμό που περιλαμβάνει 3 μεταθέσεις, 3 στροφές και 1 κλίμακα, του ενός συστήματος προς το άλλο.

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix}_{\text{ΕΓΣΑ87}} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{HTRS07}} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta s & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & \delta s & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & \delta s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{HTRS07}}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ-ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

4.1. Γενικά

Τα τριγωνομετρικά, πολυγωνομετρικά και χωροσταθμικά δίκτυα υποδομής - εφόσον πληρούν τις απαραίτητες προδιαγραφές και κανονισμούς - αποτελούν την θεμελιώδη και απαραίτητη βάση διεξαγωγής κάθε τοπογραφικής ή κτηματογραφικής αποτύπωσης, που έχει σκοπό την σύνταξη μελετών ή την εκτέλεση τεχνικών και ρυμοτομικών έργων.

Η ανάγκη ύπαρξης τέτοιων δικτύων στην πόλη της Θεσσαλονίκης για την σύνταξη μελετών και την εκτέλεση έργων αποτέλεσε την αφορμή για την συγκρότηση καταρχήν του Συνεργείου Σχεδίου Πόλεως Θεσσαλονίκης, τον Αύγουστο του 1917 και στην συνέχεια στην ίδρυση της Τοπογραφικής Υπηρεσίας του Υπουργείου Συγκοινωνιών στην Αθήνα, τον Μάιο του 1918.

Μετά από έγκριση του Υπουργείου Συγκοινωνιών η Τοπογραφική Υπηρεσία αποφάσισε την δημοσίευση των εκτελούμενων από αυτή μεγάλων εργασιών, με σκοπό την εξυπηρέτηση των αναγκών των δημόσιων, δημοτικών και ιδιωτικών υπηρεσιών αλλά και την παροχή υποδειγμάτων συστηματικής διεξαγωγής γεωδαιτικών και τοπογραφικών εργασιών.

Πριν από αυτό το έργο, καμία τοπογραφική ή τεχνική εργασία στην Ελλάδα δεν εξαρτιόταν από δίκτυο, το οποίο να πληρεί τις προδιαγραφές και τους κανονισμούς των άλλων αναπτυγμένων κρατών, εκτός από ένα μικρό τμήμα της Αθήνας.

Όλες οι εργασίες αποτελούνταν από τα έξι παρακάτω τεύχη :

- 1) Χωροσταθμικό δίκτυο Αθηνών, Προαστίων και Περιχώρων.
- 2) Τριγωνομετρικό δίκτυο Αθηνών, Προαστίων και Περιχώρων.
- 3) Πολυγωνομετρικό δίκτυο Αθηνών, Προαστίων και Περιχώρων.
- 4) Στερεοφωτοταχυμετρικές τοπογραφικές αποτυπώσεις – Ανάγκη εισαγωγής της από αέρος στερεοφωτοταχυμετρίας.
- 5) Οργάνωση και λειτουργία του κτηματολογίου της Θεσσαλονίκης.
- 6) Κτηματογραφική λεπτομερής αποτύπωση των ιδιοκτησιών Αθηνών, Προαστίων και Περιχώρων [Λαμπαδάριος Δ.Ν., 1921].

4.2. Χωροσταθμικό δίκτυο Αθηνών, Προαστίων και Περιχώρων

Το πρώτο τεύχος των εργασιών, που εκπονήθηκαν στην πόλη των Αθηνών αλλά και της Θεσσαλονίκης από την Τοπογραφική Υπηρεσία του Υπουργείου Συγκοινωνιών, αποτελεί το «Χωροσταθμικό δίκτυο Αθηνών, Προαστίων και Περιχώρων» [Λαμπαδάριος Δ.Ν., 1921].

Το έργο αυτό εξυπηρετούσε τεχνικές ανάγκες όπως :

- Την εγκατάσταση και κατασκευή υπονόμων.
- Την κατασκευή ή μεταβολή της στάθμης των οδοστρωμάτων.
- Την τροποποίηση ή την εγκατάσταση νέων σιδηροδρομικών ή τροχιοδρομικών γραμμών.
- Την μελέτη και εκτέλεση ρυμοτομικών ή εξυγιαντικών έργων κ.α..

Οι εργασίες ίδρυσης και εγκατάστασης του τριγωνομετρικού, πολυγωνομετρικού και χωροσταθμικού δικτύου στην πόλη των Αθηνών, όπως επίσης στα προάστια και τα περίχωρα αυτής ξεκίνησαν στις 2 Ιουλίου 1920. Η εκτέλεση των εργασιών ανατέθηκε στον διπλωματούχο τοπογράφο μηχανικό Ι.Φάβρ, υπάλληλο της Τοπογραφικής Υπηρεσίας της Ελβετικής Ομοσπονδίας και ειδικό στην διεξαγωγή χωροσταθμίσεων, με τη βοήθεια των Κ.Δενδρινού και Α.Σταύρου, δοκίμων τοπογράφων, διπλωματούχων την Ανώτατης Σχολής Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν τον Ιούλιο του 1921 υπό την επιμέλεια του Δ.Ν.Λαμπαδάριου, διπλωματούχου μηχανικού και καθηγητή Γεωδαισίας στο Ε.Μ.Πολυτεχνείο.

4.2.1. Εγκατάσταση του δικτύου - Προβλήματα

Το πρώτο μέρος των εργασιών περιελάμβανε την αναγνώριση και την εγκατάσταση-σήμανση του χωροσταθμικού δικτύου Αθηνών, προαστίων και περιχώρων.

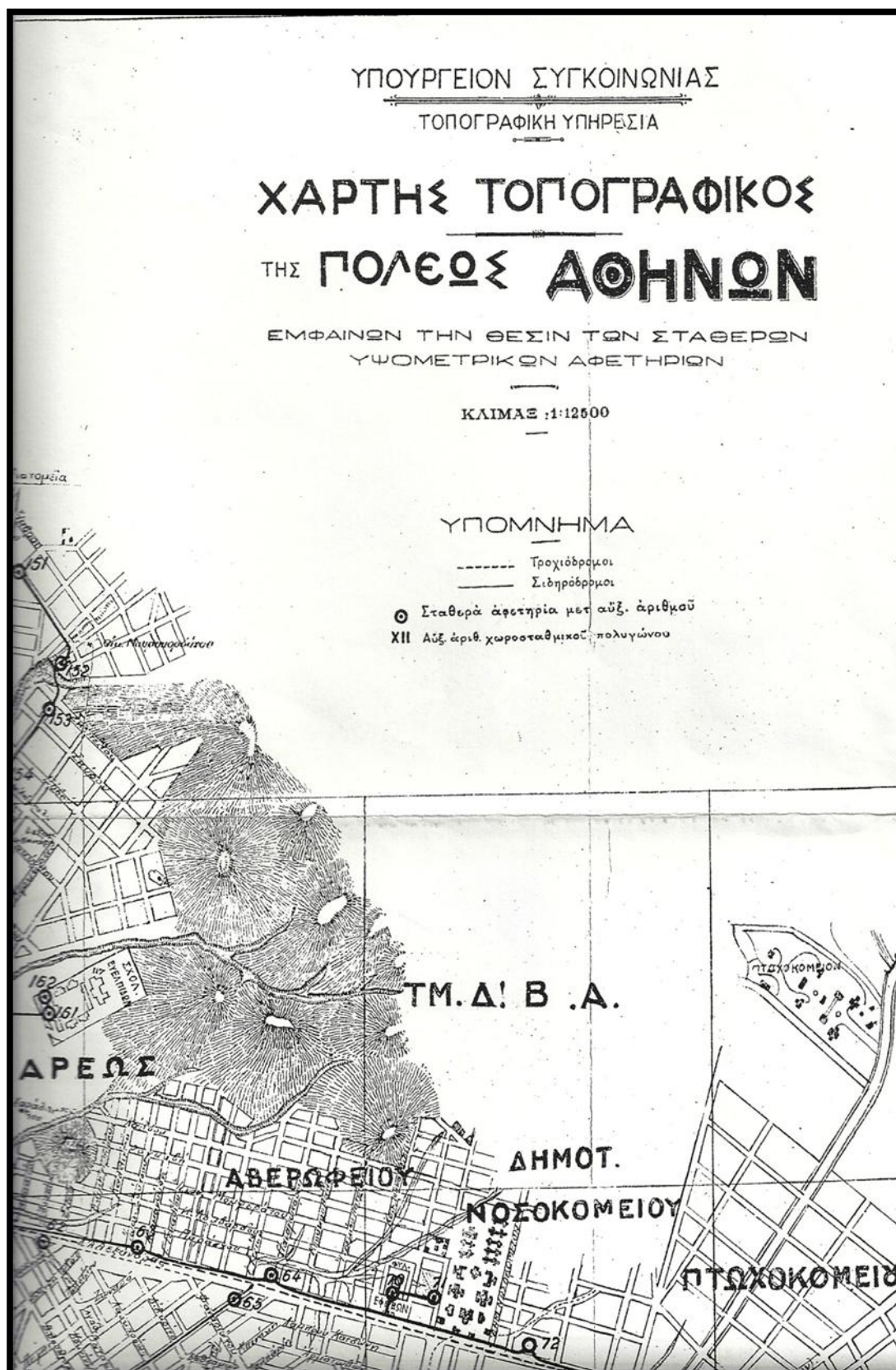
Για την σήμανση-εγκατάσταση των σταθερών υψομετρικών αφετηριών του χωροσταθμικού δικτύου επιλέχθηκαν είτε μεγάλες ορειχάλκινες υψομετρικές αφετηρίες είτε μικρές ορειχάλκινες υψομετρικές αφετηρίες. Όμως για την σήμανση πολύ σημαντικών σταθερών αφετηριών (Ε.Μ. Πολυτεχνείο, Ζάππειο, κλπ) κατασκευάστηκαν ειδικές μεγαλύτερες ορειχάλκινες υψομετρικές αφετηρίες, στις οποίες αναγράφεται το υψόμετρο τους, ο κωδικός τους

όπως επίσης και το όνομα της υπηρεσίας από την οποία διεξήχθησαν οι μετρήσεις.

Κατά την διάρκεια των εργασιών πεδίου παρουσιάστηκαν διάφορα προβλήματα. Το κυριότερο από αυτά ήταν ο καθορισμός της θέσης των υψομετρικών αφετηριών καθώς υπήρχε έλλειψη επίσημων ονομάτων στους δρόμους και ανυπαρξία χιλιομετρικών δεικτών σε αυτούς. Για την εγκατάσταση των Repères προτιμήθηκαν στέρεα μόνιμα κτίρια όπως δημόσια καταστήματα, εκκλησίες, σχολεία κλπ. Σημαντικό είναι επίσης ότι απορρίφθηκε η τοποθέτηση τους σε ελεύθερους στήλους που θα μπορούσαν να μετατεθούν, να καταργηθούν ή να καθιζήσουν.

Ένα ακόμα πρόβλημα αποτέλεσε η απομάκρυνση του παλιρροιογράφου του λιμανιού του Πειραιά, πιθανόν για επισκευή ή αντικατάσταση. Έτσι τοποθετήθηκε η αφετηρία «ΜΗΔΕΝ» με υψόμετρο 2.00m στον παλιό παλιρροιογράφο του Τελωνείου Πειραιώς αφού είχαν πραγματοποιηθεί τριετείς μετρήσεις ακριβείας (1897 -1898-1899).

Οι εργασίες αναγνώρισης και εγκατάστασης διήρκησαν συνολικά δύο εβδομάδες, από συνεργείο με επικεφαλής τον Ι.Φάβρ, ιδρύοντας ένα δίκτυο που αποτελούνταν από **320 υψομετρικές αφετηρίες**. Οι θέσεις των κορυφών του δικτύου παρουσιάστηκαν σε τρεις τοπογραφικούς χάρτες απόσπασμα των οποίων αποτελεί ο χάρτης 4.1 και τα στοιχεία τους γράφτηκαν σε πίνακες (απόσπασμα πίνακας 4.1).



Χάρτης 4.1 Απόσπασμα τοπογραφικού χάρτη με τις θέσεις των σταθερών υψομετρικών αφετηριών (1921)
[Πηγή : Λαμπαδάριος Δ.Ν., 1921]

Θέσις	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙ- ΣΜΟΣ ΕΚΑΣΤΗΣ ΑΦΕΤΗΡΙΑΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΕΙΣ ΜΕΤΡΑ	Τοποθεσία και περιγραφή τής θέσεως ενά- στης ύψομετρικῆς αφετηρίας
	⊕ 108	83,627	«Στάδιον», ἀριστερὰ πτέρυξ (ΒΑ) ἐπὶ τῆς κρηλίδος τῆς Β προσόψεως 0,45 μ. ἀπὸ τῆς Δ γωνίας καὶ 6,50 μ. ὑπὲρ τὸ ἔδαφος.
	⊕ 109	87,840	«Ζάππειον» ἐπὶ τῆς κρηλίδος τῆς Ν προσόψεως 0,40 μ. ἀρι- στερὰ τοῦ κεντρικοῦ τμήματος τοῦ οἰκοδομήματος καὶ 0,74 μ. ὑπὲρ τὸ ἔδαφος.
Ἀνάκτορα Διαδόχου	⊕ 110	99,641	᾽Οδὸς Λυκείου καὶ ὁδὸς Στησιχώρου, Σταῦλος Πυρροσβεστικοῦ λόχου κατὰ τὸ μέσον τοῦ ἀριστεροῦ βάρου τῆς εισόδου 0,35 μ. ὑπὲρ τὸ ἔδαφος.
Συνοικία Γούβας	⊕ 111	104,251	᾽Οδὸς Ἀνόνημος, 1η παράλληλος, Ν ὁδοῦ Δαμάρεως, ἀρχομένη ἀπὸ τοῦ σημείου 99, οἰκία (ιδιοκτησία Δ. Ραμπυτζίκου, Ἑστι- ατόριον Βασιλάκη) ἐπὶ τῆς κρηλίδος τῆς Δ προσόψεως, 0,20 μ. ἀπὸ τῆς Ν γωνίας καὶ 0,20 μ. ὑπὲρ τὸ ἔδαφος.
	⊕ 112	98,715	Στενωπὸς ἀνόνημος, πάροδος τῆς προηγουμέ- νης ὁδοῦ. ΝΔ σημείου 11 οἰκία Σ. Φιλίππου. ἐπὶ τῆς Ν προσόψεως 0,40 ἀπὸ τῆς Δ γωνίας καὶ 0,25 μ. ὑπὲρ τὸ ἔδαφος.
Συνοικία Ἁγίου Ἰωάννου (ὀπισθεν τοῦ Ἀ. Νεχροταφείου)	⊕ 113	85,195	᾽Οδὸς Ἀνόνημος, οἰκοδόμημα 50 μ. ΝΑ Νε- χροταφείου (Ἐδωδιμοπωλεῖον Ἄν. Ἀϊ- βαλιώτη) ἐπὶ τῆς κρηλίδος τῆς ΒΔ προσόψεως 1,00 μ. ἀρι- στερὰ τῆς εισόδου καὶ 0,27 μ. ὑπὲρ τὸ ἔδαφος.
	⊕ 114	76,156	᾽Οδὸς Βουλιαγμένης, (ἔδωδιμοπωλεῖον Λάρα) ἐπὶ τῆς Δ προσόψεως 0,30 μ. ἀπὸ τῆς Ν γωνίας καὶ 0,30 μ. ὑπὲρ τὸ ἔδαφος.
Συνοικία Κυνοσάγους (ὀπισθεν ἑυθερ- γοστασίου Κ. Φίε)	⊕ 115	70,981	᾽Οδὸς Ἀνόνημος, παράλληλος Δ ὁδοῦ Βουλια- γμένης, οἰκία πρὸς Ν τῆς ὁδοῦ (ιδιοκτη- σία Γουλιέλμου Βρεντάνου) 400 μ. Δ τοῦ σημείου 114, ἐπὶ τῆς κρηλίδος τῆς Ν προσόψεως 0,40 μ. ἀπὸ τῆς Δ γωνίας καὶ 0,20 ὑπὲρ τὸ ἔδαφος.
	⊕ 116	63,720	Δρομίσκος Ἀνόνημος, οἰκία (παρακειμένη τῷ καφενεῖῳ Θέμελη ιδιοκτησία Μιχ. Ἀν- δρουλιδάκη) ἐπὶ τῆς κρηλίδος τῆς ΒΔ προσόψεως 0,45 μ. ἀπὸ τῆς Β γωνίας καὶ 0,27 μ. ὑπὲρ τὸ ἔδαφος.

Πίνακας 4.1 Περιγραφή των υψομετρικῶν αφετηριῶν (1921)
[Πηγή : Λαμπαδάριος Δ.Ν., 1921]

4.2.2. Μέθοδος και όργανα

Η μέθοδος η οποία χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των υψομέτρων των σταθερών υψομετρικών αφετηριών ήταν η γεωμετρική χωροστάθμηση. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε μικρός χωροβάτης Wild – Zeiss τύπου I και δύο χωροσταθμικοί πήχεις, αγγλικής κατασκευής Cook, παρόλο που στον αρχικό προγραμματισμό προβλεπόταν η χρήση ενός μεγάλου χωροβάτη Wild – Zeiss τύπου III. Προτιμήθηκαν αυτοί οι χωροβάτες γιατί είχαν αρκετά πλεονεκτήματα. Τα βασικότερα από αυτά ήταν η σύγχρονη και εξελιγμένη για την εποχή τους μορφή, αλλά και η μικρή αβεβαιότητα που παρείχαν. Επίσης σημαντικό πλεονέκτημα ήταν η ευκολία και η απλότητα στην χρήση τους.

Κάθε χωροσταθμική όδευση εκτελέστηκε δύο φορές για έλεγχο σε μετάβαση και επιστροφή, με την δεύτερη να πραγματοποιείται με αντίθετη φορά από την πρώτη για τον μηδενισμό ορισμένων συστηματικών σφαλμάτων. Οι δύο αυτές χωροσταθμίσεις πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικές χρονικές στιγμές για να γίνει αντιληπτή πιθανή ανωμαλία της ατμοσφαιρικής διάθλασης [Λαμπαδάριος Δ.Ν., 1921].

4.2.3. Υπολογισμοί - Συμπεράσματα

Το τελικό μήκος των χωροσταθμίσεων ήταν 350 χιλιόμετρα, οι μετρήσεις κράτησαν 245 εργάσιμες ώρες και προέκυψαν τα εξής :

1. μέσο μήκος μίας σκόπευσης : 34m
2. μέσο μήκος μίας στάσεως : 68m
3. κατά μέσο όρο διάρκεια μετρήσεως κάθε στάσης : 3.2min
4. μέση ταχύτητα : 1.3 km/h
5. μέση διάρκεια χωροσταθμίσεως τμήματος μήκους 1 χιλιομέτρου : 46min.

Μετά το πέρας των εργασιών πεδίου πραγματοποιήθηκε αναγωγή των εξαγομένων μετρήσεων και συνόρθωση αυτών με την «μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων». Οι μετρήσεις γίνονταν δεκτές μόνον εάν η χωροσταθμική όδευση έδινε μέσο σφάλμα μικρότερο του ανεκτού ορίου των $\pm 5\text{mm}$, αλλιώς επαναλαμβάνονταν. Στην συνέχεια έγινε διαχωρισμός του δικτύου σε είκοσι-οκτώ πολύγωνα υπολογίζοντας για το καθένα το σφάλμα κλεισίματος.

Το δίκτυο συνορθώθηκε με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων και συγκεκριμένα με «συνθήκες παρατήρησης» και όχι με «έμμεσες παρατηρήσεις». Πραγματοποιήθηκε όμως χωριστή συνόρθωση, χωρίζοντας το δίκτυο σε τέσσερις περιοχές αφού οι συνθήκες σε κάθε μία από αυτές ήταν διαφορετικές.

Επομένως πραγματοποιήθηκαν συνορθώσεις :

1. Στο δίκτυο της Αθήνας.
2. Στο δίκτυο του Πειραιά.
3. Στο δίκτυο του Παλαιού Φαλήρου.
4. Στο ενδιάμεσο δίκτυο μεταξύ των προηγούμενων.

Έτσι υπολογίστηκαν τα μέσα σφάλματα ανά χιλιόμετρο διπλής χωροστάθμησης για κάθε ένα από τα τέσσερα υποδίκτυα, τα οποία προέκυψαν με διάφορους τρόπους (πίνακας 4.2).

Μέσα σφάλματα που υπολογίστηκαν			
Υποδίκτυα	Από διάφορες παρατηρήσεις τμημάτων	Από σφάλματα κλεισίματος των πολυγώνων	Από τις διορθώσεις των δικτύων κατά την μέθοδο ελαχ. τετραγ.
	$\mu = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[P\Delta\Delta]}{n}}$ (mm)	$\mu = \pm \sqrt{\frac{1}{N} \left[\frac{\omega^2}{L} \right]}$ (mm)	$\mu = \pm \sqrt{\frac{[P\upsilon\upsilon]}{N}}$ (mm)
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	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{730.4}{66}} = \pm 1.60$	$\sqrt{\frac{1}{5}} 13.0 = \pm 1.61$	$\sqrt{\frac{11.8}{5}} = \pm 1.53$
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 4.2 Τελικά αποτελέσματα μέσω σφαλμάτων (1921)

Σύμφωνα με τον πίνακα 4.2 τα σφάλματα των τεσσάρων υποδικτύων υπολογίστηκαν με τρεις μεθόδους. Συγκεκριμένα υπολογιστήκαν αρχικά από διάφορες παρατηρήσεις τμημάτων στην συνέχεια από τα σφάλματα κλεισίματος των πολυγώνων και τέλος από τις διορθώσεις των δικτύων με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Οι τιμές αυτών των σφαλμάτων κυμαίνονταν από $\pm 1\text{mm}$ μέχρι $\pm 4\text{mm}$ με αποτέλεσμα όλες οι μετρήσεις να γίνουν δεκτές.

Τέλος, υπολογίστηκε το ανά χιλιόμετρο διπλής χωροστάθμησης μέσο σφάλμα ολόκληρου του δικτύου Αθηνών, προαστίων και περιχώρων σε $\pm 2.17\text{mm}$, αφού υπολογίστηκε από τις δυο ακόλουθες μαθηματικές σχέσεις (Λαμπαδάριος Δ.Ν., 1921) .

$$\mu = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[P\Delta\Delta]}{n}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{5733.8}{305}} = \pm 2.17 \text{ mm} \quad (4.1)$$

$$\mu = \sqrt{\frac{1}{N} \left[\frac{\omega^2}{L} \right]} = \sqrt{\frac{1}{28} 131.1} = \pm 2.17 \text{ mm} \quad (4.2)$$

Όπου

N: το πλήθος των εξισώσεων συνθήκης

Ω: το σφάλμα κλεισίματος πολυγώνου

L: το μήκος της περιμέτρου πολυγώνου

n: ο αριθμός των χωροσταθμικών οδεύσεων

δ: η διαφορά σε km μετάβαση-επιστροφή

υ: η πιθανή διόρθωση σε mm

4.3. Εντοπισμός υψομετρικών αφετηριών σήμερα


Το χωροσταθμικό δίκτυο Αθηνών, προαστίων και περιχώρων που ιδρύθηκε το 1920 και όπως έχει αναφερθεί αποτελούνταν τότε από 320 σταθερές υψομετρικές αφετηρίες, στις οποίες και δόθηκαν υψόμετρα. Οι υψομετρικές αυτές αφετηρίες εγκαταστάθηκαν σε κτήρια τα οποία θα διατηρούνταν με την πάροδο των χρόνων, όπως εκκλησίες, δημόσια κτήρια, σχολεία κλπ..

Το 2007 έγινε προσπάθεια να εντοπιστούν οι 320 υψομετρικές αφετηρίες στο πλαίσιο διπλωματικής εργασίας. Από τις 320 υψομετρικές αφετηρίες που αναζητήθηκαν σε Αθήνα και Πειραιά βρέθηκαν μόλις οι 65. Συγκεκριμένα εντοπίστηκαν 46 στην περιοχή της Αθήνας και 19 στην περιοχή του Πειραιά [Γκόβα Ε.,2007]. Σήμερα (2010) έχουν εντοπισθεί δυο ακόμα υψομετρικές αφετηρίες στην περιοχή της Αθήνα με αποτέλεσμα ο αριθμός των υψομετρικών αφετηριών να ανέρχεται τις **67** (48 στην Αθήνα και 19 στον Πειραιά).

Η μη εύρεση του μεγαλύτερου αριθμού των υψομετρικών αφετηριών οφείλεται κυρίως στις αλλαγές που έχουν υπάρξει στις πόλεις της Αθήνας και του Πειραιά, πιθανόν εξαιτίας κατεδαφίσεων κτηρίων, ανεγέρσεων πολυκατοικιών ακόμα και ανακαινίσεων. Κατά την διάρκεια αυτού του πρώτου εντοπισμού προσδιορίστηκαν οι συντεταγμένες φ, λ στο σύστημα συντεταγμένων WGS'84, με την χρήση φορητού δέκτη GPS (GPS Garmin etrex) των 65 Repères που εντοπίστηκαν.


Επομένως για κάθε σημείο το οποίο εντοπίστηκε το 2007 υπάρχει λεπτομερής περιγραφή (σχήμα 4.1) η οποία περιλαμβάνει :

- 1) Φωτογραφία της υψομετρικής αφετηρίας.
- 2) Θέση σε απόσπασμα του χάρτη της ευρύτερης περιοχής.
- 3) Τον αριθμό της.
- 4) Το υψόμετρο της.
- 5) Τις γεωγραφικές συντεταγμένες (φ,λ) που μετρήθηκαν με GPS.
- 6) Την ακριβή διεύθυνση.
- 7) Περιγραφές και σχόλια που αφορούν στο κτήριο.




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΤΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΦΕΤΗΡΙΩΝ ΤΟΥ
ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΘΗΝΩΝ, ΠΡΟΑΣΤΕΙΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΧΩ-
ΡΩΝ (1920) – ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ.



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ



ΑΠΟΣΤΑΣΜΑ ΧΑΡΤΗ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ

ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΦΕΤΗΡΙΑ : Νο 56	H = 75.933 m
ΤΥΠΟΣ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΦΕΤΗΡΙΑΣ : Μικρό μπουλόνι	
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ (WGS 84) :	
$\varphi = 37^{\circ} 59' 30.3''$	$\lambda = 23^{\circ} 43' 52.5''$

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ

ΟΔΟΣ : Αιωνίου και Πατησίων	ΑΡΙΘΜΟΣ : 69
------------------------------------	---------------------

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ : Κτίριο Γ.Σ.Ε.Ε.
 Στην μενδρόστοχο της εξωτερίας 0.20 μ. από το πεζοδρόμιο.

ΣΧΟΛΙΟ :

Σχήμα 4.1 Παράδειγμα περιγραφής ταυτότητας υψομετρικής αφετηρίας
 [Πηγή : Γκόβα Ε., 2007]

54

4.4. Υποδίκτυα

Επειδή έχει χαθεί ο μεγαλύτερος αριθμός των υψομετρικών αφετηριών (80%) κρίθηκε σκόπιμο να διαιρεθεί το καινούργιο αυτό δίκτυο των 65 Repères σε τρία υποδίκτυα. Συγκεκριμένα θεωρήθηκαν δύο υποδίκτυα στην περιοχή της Αθήνας και ένα στον Πειραιά. Ο διαχωρισμός αυτός έγινε βασιζόμενος κυρίως σε γεωγραφικά κριτήρια προκειμένου να είναι εφικτή η μέτρηση των υψομετρικών διαφορών στο μέλλον.

Το πρώτο υποδίκτυο της Αθήνας αποτελείται από τα 20 Repères που βρίσκονται βορειοανατολικά της οδού Πανεπιστημίου ενώ το δεύτερο από τα 26 Repères νοτιοδυτικά αυτής. Τα 19 Repères του Πειραιά αποτέλεσαν ένα ξεχωριστό υποδίκτυο.

Συγκεκριμένα τα τρία υποδίκτυα αποτελούνται από τα :

- Δίκτυο Αθηνών I με 20 σημεία (4, 5, 6, 8, 56, 57, 61, 68, 71, 86, 87, 133, 141, 143, 144, 150, 159, 160, 180, 184).
- Δίκτυο Αθηνών II με 26 σημεία (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 με 19 σημεία (271, 281, 282, 287, 290, 292, 295, 296, 298, 299, 303, 307, 309, 311, 312, 313, 314, 317, 319) [Γκόβα Ε.,2007].

4.4.1. Χωροσταθμικό δίκτυο Αθηνών I

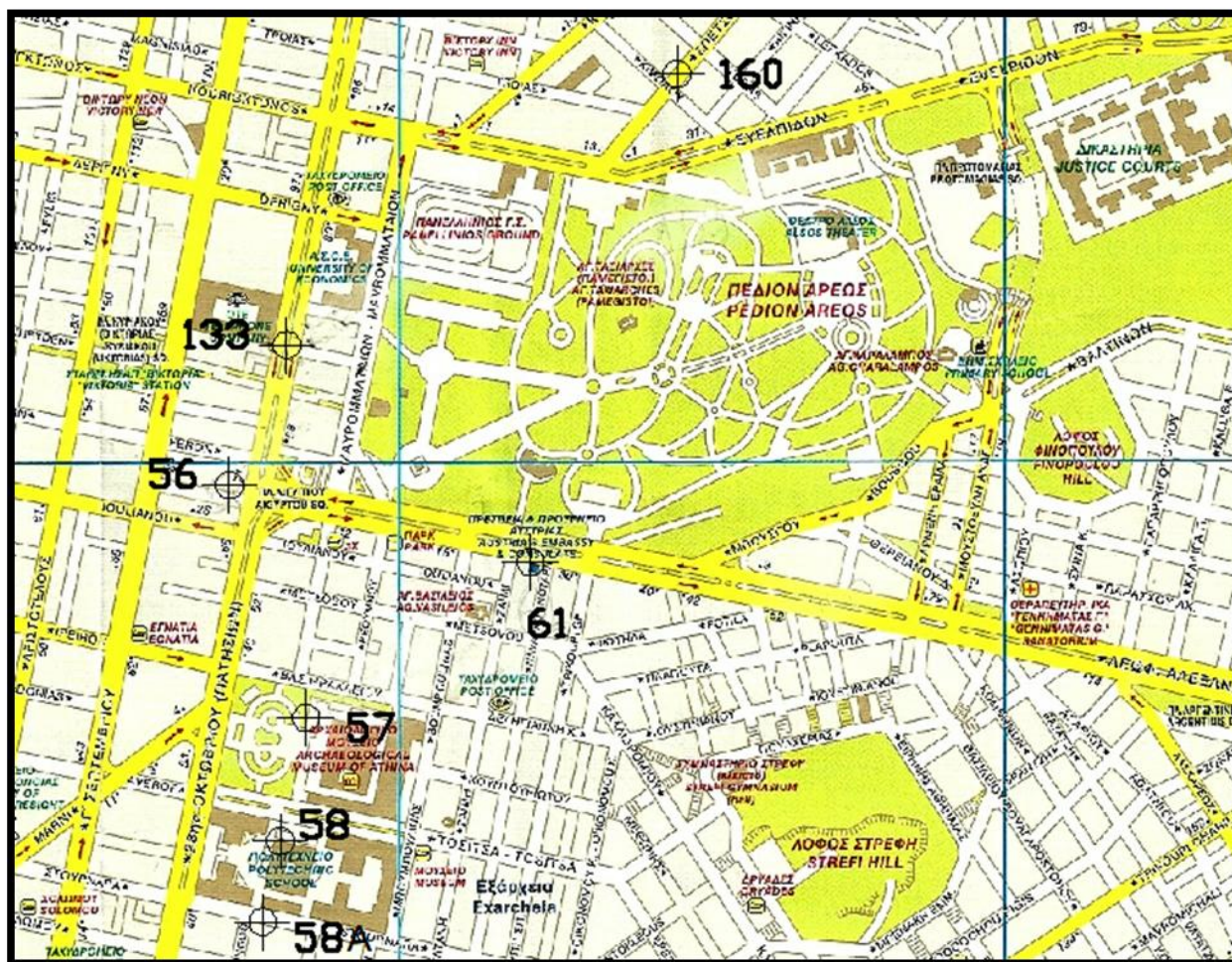
Το χωροσταθμικό δίκτυο Αθηνών I αποτελεί ένα από τα τρία υποδίκτυα του αρχικού δικτύου Αθηνών, προαστίων και περιχώρων. Πρόκειται για ένα δίκτυο είκοσι υψομετρικών αφετηριών του οποίου είχαν υπολογιστεί το 1920 τα ορθομετρικά υψόμετρα και το 2007 είχε γίνει μια πρώτη προσπάθεια εντοπισμού των κορυφών του.

Το 2010 έγινε εκ νέου εντοπισμός των κορυφών του υποδικτύου ο οποίος είχε ως αποτέλεσμα να προστεθούν δύο ακόμα Repères, όπως έχει αναφερθεί στην παράγραφο 4.3., με κωδικούς 58 και 58^A τα οποία βρίσκονται στο κεντρικό κτήριο (Αβέρωφ) του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου στην οδό Πατησίων (το οποίο το 2007 βρισκόταν υπό ανακαίνιση). Επιπλέον χρειάστηκε να αφαιρεθούν από το υποδίκτυο οι υψομετρικές αφετηρίες με κωδικούς 180, 184, 71 και 159 είτε λόγω απόστασης είτε λόγω έργων είτε λόγω απομάκρυνσης τους από τα κτήρια. Συγκεκριμένα η υψομετρική αφετηρία 180 είχε απομακρυνθεί

ύστερα από ανακαίνιση του κτηρίου, οι 71 και 184 αφαιρέθηκαν από το δίκτυο λόγω μεγάλης απόστασης σε σχέση με τα υπόλοιπα ενώ στην αφετηρία με κωδικό 159 δεν μπόρεσαν να πραγματοποιηθούν μετρήσεις λόγω έργων στο πεδίο του Άρεως. Επομένως το υποδίκτυο αποτελείται πλέον από τις κορυφές : 4, 5, 6, 8, 56, 57, 58, 58^A, 61, 68, 86, 87, 133, 141, 143, 144, 150, 160.

Οι θέσεις των υψομετρικών αφετηριών που αποτελούν τις κορυφές του υποδικτύου φαίνονται στους οδικούς χάρτες 4.2 , 4.3, (κλίμακα 1:11.500) [Νικ. & Ιωαν. Φώτης Ο.Ε. ,2^Η έκδοση] και 4.4 (κλίμακα 1:9.000) [Σ.Καπρανίδης & Ν.Φώτης Ο.Ε. ,14^Η έκδοση].

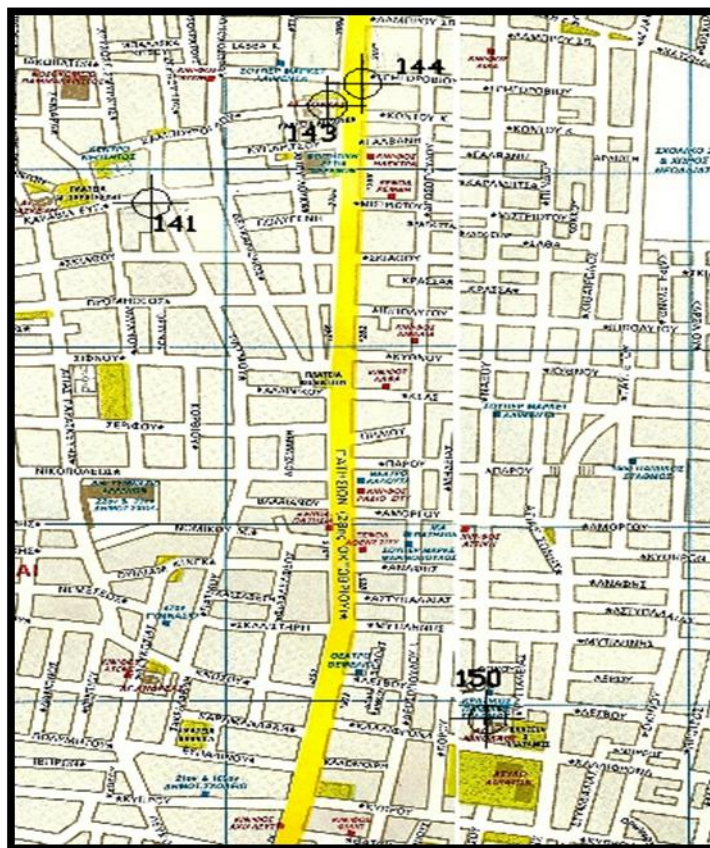
Επιπλέον μια συνολική εικόνα του δικτύου Αθηνών Ι παρουσιάζεται στον χάρτη 4.5.



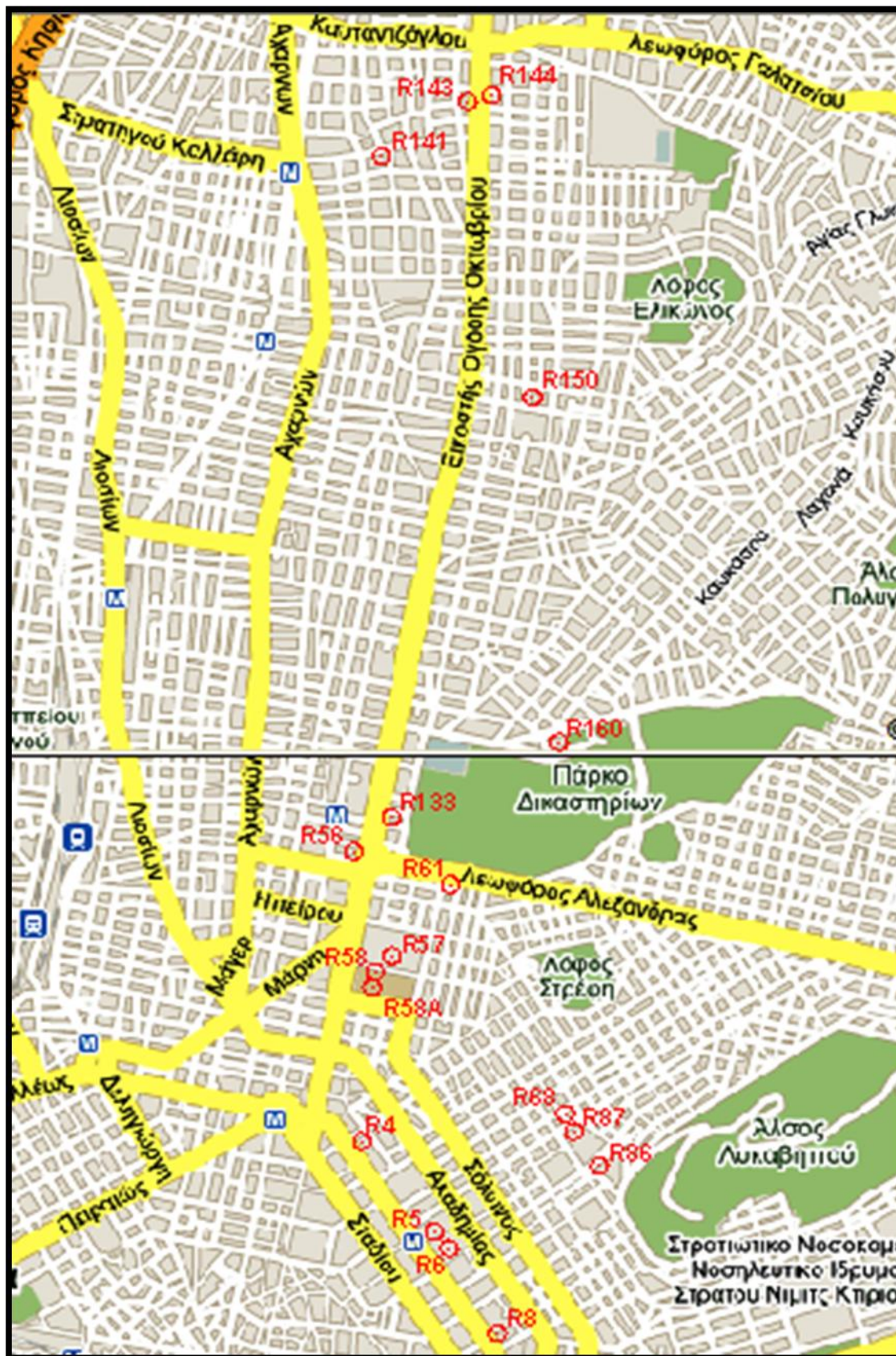
Χάρτης 4.2 Απόσπασμα χάρτη Αθήνας με τις θέσεις των υψομετρικών αφετηριών 56,57,58,58^A,61,133 και 160



Χάρτης 4.3 Απόσπασμα χάρτη Αθήνας με τις θέσεις των υψομετρικών αφετηριών 4,5,6,8,68,87και 86



Χάρτης 4.4 Απόσπασμα χάρτη Αθήνας με τις θέσεις των υψομετρικών αφετηριών 141,143,144 και 150



Χάρτης 4.5 Χάρτης με την θέση όλων των υψομετρικών αφετηριών του χωροσταθμικού δικτύου Αθηνών

4.4.2. Ορθομετρικά υψόμετρα δικτύου Αθηνών I

Το 2010 προσδιορίστηκαν τα ορθομετρικά υψόμετρα των κορυφών του δικτύου με την μέθοδο της ψηφιακής γεωμετρικής χωροστάθμησης.

Το δίκτυο συνορθώθηκε δυο φορές με την μέθοδο των Έμμεσων Παρατηρήσεων, χρησιμοποιώντας διαφορετικές υψομετρικές αφετηρίες ως σταθερά σημεία.

Στην πρώτη επίλυση χρησιμοποιήθηκε ως σταθερό σημείο η υψομετρική αφετηρία με κωδικό 58 και υψόμετρο $H=70.747\text{m}$ όπως δίνεται από την επίλυση του 1920 [Λαμπαδάριος Δ.Ν., 1921].

Στην δεύτερη επίλυση χρησιμοποιήθηκε ως σταθερό σημείο η υψομετρική αφετηρία με κωδικό 5 και υψόμετρο $H=85.938\text{m}$. Το ορθομετρικό υψόμετρο της συγκεκριμένης υψομετρικής αφετηρίας προσδιορίστηκε ύστερα από σύνδεση που πραγματοποιήθηκε με το κοντινότερο στην περιοχή βάθρο της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.). Πρόκειται για το βάθρο με κωδικό 19053 στον Λυκαβηττό και ορθομετρικό υψόμετρο $H=263.80\text{m}$.

Υπολογίστηκαν επομένως τα τελικά ορθομετρικά υψόμετρα των κορυφών με τις αντίστοιχες αβεβαιότητες όπως επίσης και το a posteriori τυπικό σφάλμα της μονάδας βάρους το οποίο βρέθηκε και στις δυο επιλύσεις $\hat{\sigma}_0 = \pm 1\text{mm}$.

Ωστόσο τα ορθομετρικά υψόμετρα των 18 υψομετρικών αφετηριών τα οποία υπολογίστηκαν ύστερα από τις δυο επιλύσεις **ανάγονται σε διαφορετικές χρονολογικές εποχές**. Συγκεκριμένα, τα υψόμετρα που προέκυψαν από την πρώτη επίλυση ανάγονται στο 1920 ενώ αυτά της δεύτερης επίλυσης στο 1960.

Τα τελικά υψόμετρα και οι αβεβαιότητες προσδιορισμού τους παρουσιάζονται στον πίνακα 4.3.

Υψομετρική Αφετηρία	Επίλυση με σταθερό σημείο το <u>58</u>		Επίλυση με σταθερό σημείο το <u>5</u>	
	Ορθομετρικό Υψόμετρο (m)	Τυπική απόκλιση (mm)	Ορθομετρικό Υψόμετρο (m)	Τυπική απόκλιση (mm)
4	74.684	±1.1	74.863	±0.6
5	85.760	±1.2	85.938	
6	88.256	±1.3	88.435	±0.8
8	91.351	±1.6	91.529	±1.1
56	75.934	±1.4	76.113	±1.4
57	75.780	±1	75.959	±1.1
58	70.747		70.926	±1.2
58A	70.746	±1.3	70.925	±1.4
61	83.163	±1	83.342	±1.1
68	104.513	±1.4	104.691	±1.1
86	123.488	±1.6	123.666	±1.2
87	113.189	±1.8	113.367	±1.6
133	78.694	±1.2	78.872	±1.5
141	89.498	±4.3	89.677	±4.3
143	96.829	±4.4	97.008	±4.4
144	96.825	±4.4	97.004	±4.4
150	105.176	±4.2	105.355	±4.3
160	99.882	±1.3	100.060	±1.4

Πίνακας 4.3 Ορθομετρικά υψόμετρα και αβεβαιότητες κορυφών(2010)

Από τα αποτελέσματα που αναφέρονται στον πίνακα 4.3 γίνεται φανερό πως τα υψόμετρα που προέκυψαν από τις δυο επιλύσεις διαφέρουν κατά **18cm**. Ο βασικός λόγος για τον οποίο εμφανίζεται αυτή η διαφορά, εκτός από το γεγονός του ότι αναφέρονται σε διαφορετικές εποχές, είναι η χρήση διαφορετικής υψομετρικής αρχής αλλά και μεθόδου για τον προσδιορισμό του ορθομετρικού υψόμετρου των σημείων που χρησιμοποιήθηκαν ως σταθερά.

Στην πρώτη επίλυση η υψομετρική αφετηρία 58 απέκτησε υψόμετρο το 1920 με την χρήση της μεθόδου της γεωμετρικής χωροστάθμησης χρησιμοποιώντας ως αρχή τον παλαιό παλιρροιογράφο του Τελωνείου Πειραιώς.

Στην δεύτερη επίλυση η υψομετρική αφετηρία 5 απέκτησε υψόμετρο αφού συνδέθηκε το 2010 με το βάθρο της Γ.Υ.Σ. στον Λυκαβηττό με την μέθοδο της Τριγωνομετρικής Υψομετρίας Ακριβείας. Το συγκεκριμένο βάθρο όπως και όλα τα βάθρα της Γ.Υ.Σ. έχουν αποκτήσει υψόμετρο με την μέθοδο της Τριγωνομετρικής Υψομετρίας την δεκαετία του 1960 χρησιμοποιώντας ως υψομετρική αρχή τον παλιρροιογράφο του Πειραιά στην σχολή Ναυτικών Δοκίμων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ

5.1. Γενικά

Σκοπός της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός της αποχής του γεωειδούς (N) στο κέντρο της Αθήνας, με την χρήση **γεωμετρικών υψομέτρων**.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί διεξοδικά στο 4^ο κεφάλαιο το δίκτυο στο οποίο επιλέχθηκε να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις, υπολογίζοντας τα γεωμετρικά υψόμετρα των κορυφών του, είναι το «Χωροσταθμικό δίκτυο Αθηνών Ι», το οποίο αποτελεί υποδίκτυο του αρχικού δικτύου Αθηνών προαστίων και περιχώρων που ιδρύθηκε το 1920. Το δίκτυο αυτό αποτελείται τελικά από 18 υψομετρικές αφετηρίες (Repères), των οποίων είναι γνωστά τα ορθομετρικά τους υψόμετρα ύστερα από μετρήσεις που έγιναν το 2010 [Φαρμακάκη Α., 2010].

5.1.1.Υλοποίηση νέων κορυφών

Από τον τρόπο που είναι υλοποιημένες οι κορυφές (Repères) του δικτύου (μπουλόνια σε τοίχους) (Εικόνα 5.1) έγινε αμέσως φανερό ότι δεν ήταν δυνατόν να πραγματοποιηθούν μετρήσεις με την χρήση δεκτών του δορυφορικού συστήματος GPS απευθείας πάνω σε αυτές καθώς δεν υπήρχε δυνατότητα κέντρωσης οποιουδήποτε δέκτη.

Για το λόγο αυτό υλοποιήθηκαν νέες κορυφές πολύ κοντά στα Repères του δικτύου, σε αποστάσεις που δεν ξεπερνούσαν τα 15m. Σκοπός ήταν να πραγματοποιηθούν σε αυτές τις νέες κορυφές οι μετρήσεις GPS και να υπολογιστούν αρχικά τα δικά τους γεωμετρικά υψόμετρα.

Το νέο αυτό δίκτυο αποτελούνταν από 17 νέες κορυφές, καθώς για τις υψομετρικές αφετηρίες με κωδικούς 58 και 58^A χρειάστηκε να υλοποιηθεί μία νέα κορυφή αφού είναι και οι δυο εγκατεστημένες στον τοίχο ενός κτηρίου. Οι νέες αυτές κορυφές υλοποιήθηκαν με την τοποθέτηση ενός καρφιού στο έδαφος (Εικόνα 5.2).



Εικόνα 5.1 Ύψομετρική αφετηρία χωροσταθμικού δικτύου Αθηνών Ι



Εικόνα 5.2 Νέα υψομετρική αφετηρία

Επειδή το δίκτυο βρίσκεται σε αστική περιοχή (κέντρο της Αθήνας) το πρόβλημα που χρειάστηκε να αντιμετωπισθεί ήταν κυρίως η επιλογή των θέσεων των νέων αυτών κορυφών.

Βασικό κριτήριο για την επιλογή αυτή εκτός από την μικρή απόσταση σε σχέση με τις αρχικές κορυφές, ήταν να υπάρχει όσο το δυνατόν καλύτερη ορατότητα σε δορυφόρους επιλέγοντας σημεία στα οποία δεν υπήρχαν ψηλά κτήρια ή άλλου είδους εμπόδια.

Για τον σκοπό αυτό πριν την έναρξη των μετρήσεων και κατά την διάρκεια της εγκατάστασης χρησιμοποιήθηκε ένας φορητός δέκτης GPS έτσι ώστε να υπάρχει μια πρώτη αντίληψη για τον αριθμό των δορυφόρων που εντοπίζονται.

5.1.2.Μεθοδολογία

Όπως είναι γνωστό η σχέση που συνδέει τα ορθομετρικά υψόμετρα και τα γεωμετρικά υψόμετρα είναι η εξής :

$$h = H + N \quad (5.1)$$

Άρα αντίστοιχα ισχύει :

$$\Delta h = \Delta H + \Delta N \quad (5.2)$$

Θεωρώντας ότι η μεταβολή του γεωειδούς (ΔN) σε τέτοιες κοντινές αποστάσεις της τάξης των 15m μεταξύ Repèr – νέας κορυφής είναι πάρα πολύ μικρή και μπορεί να αγνοηθεί ($\Delta N=0$), η παραπάνω σχέση 5.2 γίνεται :

$$\Delta h = \Delta H \quad (5.3)$$

Συνεπώς χρησιμοποιώντας την σχέση 5.3 γίνεται κατανοητό ότι η ορθομετρική υψομετρική διαφορά (ΔH) Repèr – νέας κορυφής ισούται με την γεωμετρική τους υψομετρική διαφορά (Δh).

Άρα εάν μετρηθεί η ορθομετρική υψομετρική διαφορά μπορεί να γίνει μεταφορά των γεωμετρικών υψομέτρων από τις νέες κορυφές (καρφιά), τα οποία θα μετρηθούν με GPS, στα Repères του χωροσταθμικού δικτύου Αθηνών I, χρησιμοποιώντας την σχέση :

$$\begin{aligned} \Delta H_{Reper-Kαρφι} &= \Delta h_{Reper-Kαρφι} = h_{καρφι} - h_{Reper} \Leftrightarrow \\ h_{Reper} &= h_{καρφι} - \Delta H_{Reper-Kαρφι} \end{aligned} \quad (5.4)$$

Χρησιμοποιώντας αυτή τη μεθοδολογία υπολογίστηκαν τα γεωμετρικά υψόμετρα των υψομετρικών αφετηριών του δικτύου Αθηνών Ι, των οποίων ήδη ήταν γνωστά τα ορθομετρικά. Επομένως, γνωρίζοντας και τα δύο αυτά υψόμετρα ήταν δυνατός ο υπολογισμός της αποχής του γεωειδούς σε αυτά.

5.2. Μέθοδος μέτρησης GPS

Για τον υπολογισμό των γεωμετρικών υψομέτρων των βοηθητικών νέων κορυφών που υλοποιήθηκαν με καρφιά χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του **σχετικού στατικού εντοπισμού** με χρήση ενός δέκτη δύο συχνοτήτων (L1 και L2) του συστήματος GPS, πραγματοποιώντας μετρήσεις φάσης του φέροντος κύματος. Οι επιλύσεις δεν πραγματοποιήθηκαν σε πραγματικό χρόνο, αλλά με «μετεπεξεργασία».

Η επιλογή της συγκεκριμένης μεθόδου του σχετικού στατικού εντοπισμού έγινε κυρίως διότι τα αποτελέσματα του παρέχουν μικρότερη αβεβαιότητα σε σχέση με αυτά του απόλυτου εντοπισμού. Συγκεκριμένα, επιτυγχάνονται αβεβαιότητες λίγων cm.

Η επιλογή ενός δέκτη δύο συχνοτήτων έγινε με στόχο την αντιμετώπιση της ιονοσφαιρικής διάθλασης η οποία εξαρτάται από την συχνότητα. Επιπλέον, ένας τέτοιος δέκτης δίνει την δυνατότητα επίλυσης της βάσης με μικρό χρονικό διάστημα παραμονής στο σημείο που ζητούνται οι συντεταγμένες (~10min) παρέχοντας ταυτόχρονα ικανοποιητική ακρίβεια.

Για την μέτρηση δεν χρησιμοποιήθηκαν δυο δέκτες GPS αλλά έγινε χρήση του ελληνικού δικτύου μόνιμων σταθμών αναφοράς HEPOS.

Η αγορά των δεδομένων αυτών πραγματοποιήθηκε μέσω της ιστοσελίδας του HEPOS, από το «RINEX Shop» επιλέγοντας τον κωδικό του σταθμού την ημερομηνία των μετρήσεων, τον χρόνο έναρξης, την διάρκεια και το διάστημα καταγραφής των μετρήσεων.

Συγκεκριμένα, ο πραγματικός μόνιμος σταθμός αναφοράς του οποίου χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα ήταν ο μόνιμος σταθμός αναφοράς 098A που βρίσκεται στο κτήριο της Κτηματολόγιο Α.Ε. στο Χολαργό Αττικής. Οι πληροφορίες του σταθμού στις 24 Ιουνίου 2010 ήταν :

098A (Trimble NetRS)									
Γεωγραφικές συντεταγμένες									
Γεωγραφικό πλάτος:					38° 0' 27.221875" N				
Γεωγραφικό μήκος:					23° 48' 11.409805" E				
Γεωμετρικό Υψόμετρο:					245.367 m				
System	PRN	Elev[°]	Az[°]	SnrCA [dB]	SnrP2 [dB]	CA	P2	URA	Κατάσταση λειτουργίας
GPS	19	6.6	60.8	33	0	4	0	0	OK
GPS	5	51.9	283.5	48	38	8176	8176	0	OK
GPS	15	6.5	301.8	40	20	208	208	0	OK
GPS	13	17.7	106.7	41	23	23115	0	0	OK
GPS	28	57.8	160.3	48	39	7006	0	0	OK
GPS	7	41.0	49.8	47	36	17333	17333	0	OK
GPS	10	58.1	216.3	50	38	13126	0	0	OK
GPS	8	70.8	358.2	50	39	12791	0	0	OK
09:43:07 Ιούνιος 24 2010 GMT Standard Time									

Πίνακας 5.1 Στοιχεία μόνιμου σταθμού αναφοράς 098A του συστήματος HEPOS
 [Πηγή: <http://www.hepos.gr/>]

5.3. Εξοπλισμός GPS και ψηφιακής γεωμετρικής χωροστάθμησης

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων για την εύρεση των γεωμετρικών υψομέτρων χρησιμοποιήθηκε ο δέκτης GPS «Trimble 5800», ο οποίος έχει την δυνατότητα μέτρησης στις συχνότητες L1 και L2 του συστήματος GPS διαθέτοντας λογισμικό εκτέλεσης μετρήσεων γρήγορου κινηματικού εντοπισμού, RTK ή VRS.

Επίσης, για την μέτρηση των ορθομετρικών υψομετρικών διαφορών μεταξύ των υψομετρικών αφετηριών και των νέων κορυφών χρησιμοποιήθηκε ο ψηφιακός χωροβάτης DL-102C της εταιρίας TOPCON. Έγινε επιλογή ενός ψηφιακού χωροβάτη καθώς η χρήση του έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του χρόνου των μετρήσεων και την εξάλειψη χονδροειδών σφαλμάτων (π.χ. σφάλμα ανάγνωσης παρατηρητή). Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας ήταν το γεγονός ότι

αυτό το όργανο δίνει την δυνατότητα ελέγχου των αποτελεσμάτων των μετρήσεων στην ύπαιθρο καθώς επίσης και της εμφάνισης μηνυμάτων μη ορθής θέσης του χωροβάτη.

5.3.1. Trimble 5800

Το σύστημα Trimble 5800 έχει δυνατότητα μέτρησης στις συχνότητες L1 και L2 του συστήματος GPS και ιδιαίτερο χαρακτηριστικό ότι ενσωματώνει σε μία και μόνη συμπαγή και ελαφριά συσκευή τον δέκτη GPS, το σύστημα ασύρματης επικοινωνίας καθώς και τις κεραίες αυτών. Το βάρος του δέκτη είναι μόλις 1.21 Kg (Εικόνα 5.3).

Το σύστημα Trimble 5800 έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- ❖ 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 στυλεό, 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 που αναπτύσσει η ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΑΕ με ανάδοχο εταιρεία την Trimble.
 - ❖ Παρέχει στον χρήστη την 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: $\pm 20\text{mm} + 1\text{ppm RMS}$.
- [<http://www.geotech.gr/>].



Εικόνα 5.3 Δέκτης GPS Trimble 5800

5.3.2. TOPCON DL-102C

Ο χωροβάτης TOPCON DL-102C (Εικόνα 5.4) είναι ένας ψηφιακός χωροβάτης τα βασικά χαρακτηριστικά του οποίου παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω :

- Ηλεκτρονική ανάγνωση : 0.1mm
- Ονομαστική ακρίβεια : $\pm 1.5\text{mm}/\sqrt{km}$
- Ακρίβεια ηλεκτρονικής μέτρησης (κατά DIN 18723) : $\pm 1.0\text{mm}/\sqrt{km}$
- Min/max απόστασης μέτρησης : 2.0m/100.0m
- Χρόνος μέτρησης : 4sec
- Μεγέθυνση τηλεσκοπίου : 30x
- Βάρος : 2.8kgr

Ο ψηφιακός χωροβάτης συνοδεύεται και από τα παρελκόμενα του τα οποία στην συγκεκριμένη περίπτωση ήταν :

- Ένας τρίποδας.
- Μια κωδικοποιημένη σταδία (barcode) από αλουμίνιο μέγιστου ύψους 4m.
- Μια χωροσταθμική βάση (χελώνα).



Εικόνα 5.4 Ψηφιακός χωροβάτης TOPCON DL-102C

5.4. Διαδικασία μετρήσεων GPS

Για τις μετρήσεις πεδίου εφαρμόστηκε, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η μέθοδος του σχετικού στατικού εντοπισμού με χρήση του δέκτη GPS «Trimble 5800». Τα σημεία στα οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις ήταν τα 17 νέα σημεία τα οποία είχαν υλοποιηθεί με καρφιά σε κοντινή απόσταση από τις υψομετρικές αφετηρίες του δικτύου. Σε κάθε μετρούμενο σημείο ο χρόνος παραμονής του δέκτη ήταν 15min, εκτός εάν κρινόταν απαραίτητο να παραμείνει για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα εξαιτίας του μη εντοπισμού επαρκούς αριθμού δορυφόρων.

Για την μέτρηση των σημείων ο δέκτης τοποθετήθηκε πάνω σε σε στυλεό. Ο στυλεός αυτός κατακορυφώθηκε με την βοήθεια μιας ενσωματωμένης σφαιρικής αεροστάθμης και μιας ακόμη βοηθητικής αεροστάθμης ασφαλείας (Εικόνα 5.5). Τελευταίο αλλά πολύ σημαντικό βήμα πριν την έναρξη των μετρήσεων αποτέλεσε η μέτρηση του ύψους της κεραίας του δέκτη.

Επιλέχθηκε να μην χρησιμοποιηθεί τρίποδας για την τοποθέτηση της κεραίας του δέκτη αλλά να τοποθετηθεί σε στυλεό καθώς βασικός στόχος ήταν η ελαχιστοποίηση του χρόνου των μετρήσεων. Η τοποθέτηση στυλεού κατέστησε την μέθοδο πιο γρήγορη αλλά και πιο ευέλικτη τόσο κατά την διάρκεια των μετρήσεων όσο και κατά την διάρκεια της μεταφοράς του εξοπλισμού.



Εικόνα 5.5 Τοποθέτηση κεραίας

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα ύψη οργάνου καθώς επίσης και ο χρόνος έναρξης και λήξης κάθε μέτρησης GPS.

Κωδικός νέου σημείου	Ύψος οργάνου (m)	Ημερομηνία μέτρησης	Ώρα έναρξης	Ώρα λήξης
8'	1.375	8/5/2010	8:15	8:35
6'	1.375	8/5/2010	8:43	9:00
5'	1.375	8/5/2010	9:10	9:30
4'	1.375	8/5/2010	9:44	10:08
86'	1.375	8/5/2010	10:22	10:42
87'	1.375	8/5/2010	10:48	11:08
68'	1.375	8/5/2010	11:20	11:45
58'	1.375	8/5/2010	11:58	12:16
57'	1.375	8/5/2010	12:26	12:43
56'	1.375	8/5/2010	12:56	13:13
61'	1.375	10/5/2010	7:30	7:47
133'	1.389	10/5/2010	8:27	8:45
160'	1.389	10/5/2010	9:12	9:31
150'	1.389	10/5/2010	9:55	10:14
144'	1.389	10/5/2010	10:29	10:47
143'	1.389	10/5/2010	10:53	11:12
141'	1.389	10/5/2010	11:24	11:42

Πίνακας 5.2 Στοιχεία μετρήσεων GPS

5.5. Διαδικασία μετρήσεων γεωμετρικής χωροστάθμησης

Μετά την ολοκλήρωση των μετρήσεων GPS πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις των ορθομετρικών υψομετρικών διαφορών με την μέθοδο της διπλής γεωμετρικής χωροστάθμησης. Οι εργασίες αυτές διήρκησαν τρεις ημέρες (11/05/2010, 12/05/2010 και 14/05/2010). Πριν από την εκτέλεση των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε έλεγχος μέσου-άκρου για την ορθή λειτουργία του χωροβάτη. Οι χωροσταθμίσεις παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 ενώ τα αποτελέσματα τους καταγράφονται στον πίνακα 5.3.

Κωδικός Υψομετρικής Αφετηρίας	Κωδικός νέου σημείου	Ορθομετρική Υψομετρική διαφορά (m)	Κλείσιμο aller- retour (mm)
4	4'	-0.752	0.6
5	5'	-0.452	0.0
6	6'	-0.996	0.5
8	8'	-0.391	0.9
56	56'	-0.634	0.6
57	57'	-1.148	0.2
58	58'	-0.884	0.2
58A	58'	-0.885	0.5
61	61'	-0.442	0.2
68	68'	3.042	0.4
86	86'	2.096	0.2
87	87'	-1.779	0.1
133	133'	-1.609	0.5
141	141'	0.171	0.0
143	143'	-0.691	0.1
144	144'	-0.475	0.0
150	150'	-0.918	0.2
160	160'	-0.160	0.7

Πίνακας 5.3 Αποτελέσματα χωροσταθμίσεων μεταξύ υψομετρικής αφετηρίας και νέου σημείου

Σημείωση :

Οι υψομετρικές αφετηρίες με κωδικούς 58 και 58A συνδέθηκαν με το ίδιο νέο σημείο με κωδικό 58' αφού ήταν σε πολύ κοντινή απόσταση και από τις δύο.

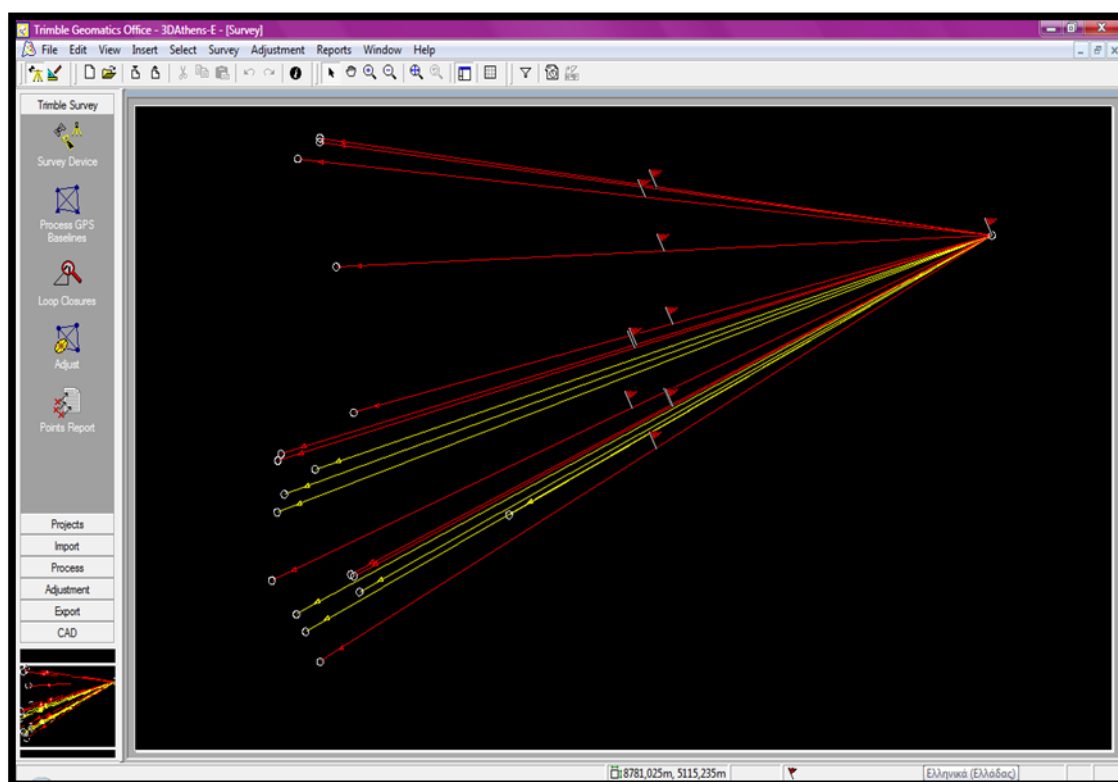
5.6. Επίλυση βάσεων

Στο δίκτυο GPS σχηματίστηκαν 17 βάσεις οι οποίες συνδέονταν με τον μόνιμο σταθμό 098A του συστήματος HEPOS στο κτήριο της Κτηματολόγιο Α.Ε. στην Αττική.

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία και την ανάλυση των αποτελεσμάτων ήταν το «Trimble Geomatics Office». Για την επίλυση των βάσεων χρειάστηκε να μεταφερθούν τα δεδομένα των

μετρήσεων στα σημεία όπου τοποθετούνταν κάθε φορά ο δέκτης «Trimble 5800» αλλά και τα δεδομένα του μόνιμου σταθμού αναφοράς 098^A, για τις μέρες και ώρες κατά την διάρκεια των οποίων μετρούσε ο κινούμενος δέκτης, τα οποία είχαν αγοραστεί από την ιστοσελίδα του HEPOS. Τα αρχεία τόσο του κινητού όσο και του σταθερού δέκτη ήταν σε μορφή RINEX.

Το πρόγραμμα αυτό εκτέλεσε όλες τις επιλύσεις των ανεξάρτητων βάσεων των μετρηθέντων σημείων σε συνδυασμό με μοντέλα μετασχηματισμού μεταξύ του συστήματος αναφοράς HTRS07 του HEPOS και του WGS'84, στο οποίο και ζητούνταν τα γεωμετρικά υψόμετρα (Εικόνα 5.6).



Εικόνα 5.6 Βάσεις των σημείων ως προς τον μόνιμο σταθμό 098A, όπως εμφανίζονται στο λογισμικό TG Office

Τα στατιστικά στοιχεία που προέκυψαν από την επίλυση των βάσεων και τα οποία θα σχολιαστούν στην συνέχεια για τον έλεγχο των επιλύσεων παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.

Processing Summary							
ID	From	To	Baseline Length	Solution Type	Ratio	Reference Variance	RMS
B1	098A	56	6573,370m	iono free fixed	3,7	8,826	0,041m
B2	098A	57	6592,660m	iono free fixed	19,4	1,073	0,009m
B3	098A	58	6695,588m	iono free fixed	13,5	2,927	0,019m
B4	098A	68	6267,889m	L1 float	0,0	258,784	0,043m
B5	098A	87	6246,714m	iono free fixed	4,6	8,402	0,029m
B6	098A	86	6256,374m	iono free fixed	12,7	2,203	0,015m
B7	098A	04	6927,358m	iono free fixed	2,4	7,454	0,029m
B8	098A	05	6836,858m	iono free fixed	6,9	1,829	0,017m
B9	098A	06	6821,708m	iono free fixed	6,1	1,335	0,012m
B10	098A	08	6818,474m	iono free fixed	9,4	3,936	0,024m
B11	098A	141	6186,067m	L1 float	0,0	3,920	0,004m
B12	098A	143	6007,585m	iono free fixed	5,7	5,595	0,023m
B13	098A	144	6010,426m	iono free fixed	6,3	8,227	0,026m
B14	098A	150	5823,848m	iono free float	11,8	5,407	0,018m
B15	098A	160	5827,490m	iono free fixed	4,3	4,567	0,025m
B16	098A	133	6531,140m	iono free fixed	7,7	1,853	0,021m
B17	098A	61	6272,739m	iono free fixed	13,5	1,682	0,015m

Πίνακας 5.4 Στατιστικά στοιχεία επίλυσης βάσεων των μετρηθέντων σημείων με την τεχνική του σχετικού στατικού εντοπισμού [Coordinate System GGRS87 (HEPOS), Geoid Model EGM96 (Global)]

5.6.1. Αποτελέσματα επιλύσεων

Το πρόγραμμα «Trimble Geomatics Office» παρείχε την δυνατότητα υπολογισμού του γεωμετρικού υψόμετρου των μετρηθέντων σημείων όχι μόνο ως προς το ελλειψοειδές του συστήματος αναφοράς το οποίο χρησιμοποιεί το HEPOS δηλαδή το HTRS07 αλλά και στο ελλειψοειδές του συστήματος WGS'84 (το GRS'80).

Στον παρακάτω πίνακα 5.5 παρουσιάζονται τα γεωμετρικά υψόμετρα των νέων κορυφών h (Height) ως προς το ελλειψοειδές που χρησιμοποιεί το WGS'84 και η τυπική τους απόκλιση, όπως αυτά υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα «Trimble Geomatics Office».

Κωδικός νέου σημείου	Γεωμετρικό Υψόμετρο <u>WGS'84</u> (Height) (m)	Τυπική απόκλιση Γεωμετρικών Υψόμετρων (mm)
4'	112.305	±38
5'	123.746	±7
6'	125.735	±9
8'	129.394	±19
56'	113.826	±23
57'	113.135	±10
58'	108.361	±11
61'	121.247	±22
68'	151.374	±850
86'	164.067	±6
87'	149.917	±25
133'	115.596	±10
141'	127.585	±547
143'	134.666	±13
144'	134.974	±23
150'	146.475	±951
160'	138.225	±11

Πίνακας 5.5 Αποτελέσματα επιλύσεων βάσεων – Γεωμετρικά υψόμετρα νέων σημείων

5.6.2 Παρατηρήσεις-Προβλήματα επιλύσεων

Όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 2 (βλ. παράγραφο 2.6.2) τα κυριότερα στοιχεία τα οποία παρέχονται ύστερα από την επίλυση των βάσεων είναι δύο :

- Ο τύπος της επίλυσης που επιτεύχθηκε ο οποίος μπορεί να είναι Fixed ή Float.
- Η παράμετρος Ratio, η οποία πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 3 (όσο μεγαλύτερη π.χ. 30 τόσο το καλύτερο).
- Η παράμετρος Reference Variance (refvar), η οποία πρέπει να είναι μικρότερη από 4 (να πλησιάζει την μονάδα).
- Ο δείκτης RMS (Root Mean Square – Μέσο Τετραγωνικό σφάλμα).

Επομένως συνοψίζοντας το ratio και το refvar είναι αδιάστατοι δείκτες, ενώ το RMS μετριέται σε μέτρα. Δείκτης καλής επίλυσης είναι αποτελέσματα με όσο το δυνατό μεγαλύτερο το ratio, εν αντιθέσει με τους άλλους 2 δείκτες που πρέπει να είναι όσο το δυνατό μικρότεροι, όπου ιδίως για το refvar να είναι όσο το δυνατό κοντά στην μονάδα. Επομένως, το επόμενο βήμα ήταν να γίνει ο έλεγχος του τύπου των επιλύσεων αλλά και των παραμέτρων Ratio και refvar, τα οποία παρουσιάζονται στον πίνακα 5.4.

Στις 15 από τις 17 βάσεις οι οποίες μετρήθηκαν επιτεύχθηκε λύση τύπου Iono free fixed, δηλαδή έγινε επίλυση των ασαφειών φάσης και προσδιορίστηκαν οι ακέραιοι αριθμοί μηκών φέροντος κύματος του σήματος που έλαβε η κεραία του δέκτη. Αντίθετα, υπήρξαν δύο βάσεις στις οποίες επιτεύχθηκε λύση τύπου float, δηλαδή προσδιορίστηκε μη ακέραιος αριθμός μηκών κύματος. Τα σημεία τα οποία μετείχαν στις δύο αυτές βάσεις ήταν οι νέες κορυφές με κωδικούς **68'** και **141'**.

Παρατηρώντας τα διαγράμματα «Satellite phase tracking» για αυτά τα δύο σημεία, που βρίσκονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2, έγινε αντιληπτό πως επιτεύχθηκε τέτοιου τύπου λύση καθώς ο δέκτης σε αυτά τα σημεία δεν μπόρεσε να εντοπίσει και να καταγράψει δεδομένα συνεχόμενα από τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους.

Επιπλέον, από τα στοιχεία του πίνακα 5.4 τα RMS, τα οποία υποδηλώνουν την ακρίβεια προσδιορισμού των σημείων, παρατηρήθηκε ότι επιτεύχθηκε ακρίβεια από 40mm μέχρι 10mm. Τέλος, παρατηρώντας όλα τα διαγράμματα «Satellite phase tracking», που βρίσκονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2, βρέθηκε ακόμα ένα σημείο, αυτό με κωδικό **150'**, στο οποίο παρόλο που επιτεύχθηκε λύση τύπου fixed δεν είχε γίνει

καταγραφή τεσσάρων δορυφόρων. Ύστερα από τις παραπάνω παρατηρήσεις θεωρήθηκε σκόπιμο να μην χρησιμοποιηθούν οι μετρήσεις που κατέγραψε ο δέκτης του συστήματος GPS στις νέες κορυφές με κωδικούς 68', 141' και 150'.

Οι νέες αυτές κορυφές είχαν υλοποιηθεί με σκοπό να γίνουν μετρήσεις GPS σε αυτές για να δοθεί στην συνέχεια (βλ. παράγραφο 5.1) γεωμετρικό υψόμετρο στα αντίστοιχα Repères του χωροσταθμικού δικτύου Αθηνών Ι και να υπολογιστεί η μεταβολή ΔN του γεωειδούς σε αυτές.

Επειδή, η περιοχή η οποία βρίσκονται οι υψομετρικές αυτές αφετηρίες είναι πολύ πυκνοδομημένη με ψηλά κτήρια θεωρήθηκε προτιμότερο να μην γίνει προσπάθεια ίδρυσης νέων κορυφών και μέτρησης τους με GPS.

Αποφασίστηκε οι υψομετρικές αυτές αφετηρίες να πάρουν γεωμετρικό υψόμετρο από τις πιο κοντινές υψομετρικές αφετηρίες, αφού προηγουμένως μετρήθηκε η ορθομετρική τους υψομετρική διαφορά με γεωμετρική χωροστάθμηση. Η υψομετρική αφετηρία 68 αποφασίστηκε να συνδεθεί με γεωμετρική χωροστάθμηση με την αφετηρία 87, η οποία είχε πάρει προηγουμένως γεωμετρικό υψόμετρο από την νέα κορυφή 87'. Αντίστοιχα οι υψομετρικές αφετηρίες 141 και 150 συνδέθηκαν με την 144 καθώς ήταν οι πιο κοντινές. Τα αποτελέσματα των γεωμετρικών αυτών χωροσταθμίσεων παρουσιάζονται στον πίνακα 5.6, ενώ οι μετρήσεις στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.

Κωδικός Υψομετρικής Αφετηρίας	Κωδικός Υψομετρικής Αφετηρίας	Ορθομετρική Υψομετρική διαφορά (m)	Κλείσιμο aller-retour (mm)	Απόσταση Χωροστάθμησης (m)
87	68	-8.675	1.6	99.0
144	141	-7.328	1.4	413.5
144	150	8.354	3.1	1184.9

Πίνακας 5.6 Αποτελέσματα χωροσταθμίσεων μεταξύ δύο υψομετρικών αφετηριών

5.7. Προσδιορισμός γεωμετρικών υψομέτρων κορυφών δικτύου

Τα γεωμετρικά υψόμετρα των υψομετρικών αφετηριών του δικτύου Αθηνών Ι προσδιορίστηκαν χρησιμοποιώντας την μέθοδο που αναλύθηκε στην παράγραφο 5.1. και τον τύπο 5.4. Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν παρουσιάζονται στην συνέχεια στον πίνακα 5.8.

Η τυπική απόκλιση των γεωμετρικών υψομέτρων των σημείων τα οποία συνδέθηκαν και πήραν την τιμή τους από τα νέα βοηθητικά σημεία (καρφιά) προκύπτει εφαρμόζοντας νόμο μετάδοσης σφαλμάτων στον τύπο 5.4. Συγκεκριμένα ισχύει ότι :

$$\sigma_{h_{reper}} = \sqrt{\sigma_{h_{καρφι}}^2 + \sigma_{\Delta H_{reper-καρφι}}^2} \quad (5.5)$$

Εφόσον $\sigma_{\Delta H_{reper 2-reper 1}} = \pm \sigma_e * \sqrt{n_i} = \pm 0.5mm$ αφού $\sigma_e = 0.5mm$ και $n=1$ ο αριθμός των στάσεων τότε ισχύει ότι $\sigma_{h_{reper}} \cong \sigma_{h_{καρφι}}$.

Επομένως η τυπική απόκλιση του γεωμετρικού υψομέτρου κάθε υψομετρικής αφετηρίας είναι πρακτικά ίδια με την τυπική απόκλιση του γεωμετρικού υψομέτρου του αντίστοιχου βοηθητικού σημείου.

Με τον ίδιο τρόπο προκύπτει η τυπική απόκλιση των γεωμετρικών υψομέτρων των τριών σημείων ($reper_1$) (68, 141, 150) τα οποία συνδέθηκαν και πήραν την τιμή τους από τις κοντινότερες σε αυτά υψομετρικές αφετηρίες ($reper_2$).

$$\sigma_{h_{reper 1}} = \sqrt{\sigma_{h_{reper 2}}^2 + \sigma_{\Delta H_{reper 2-reper 1}}^2} \quad (5.6)$$

Σε αυτή τη περίπτωση υπολογίστηκε πρώτα το σφάλμα της ορθομετρικής υψομετρικής διαφοράς μεταξύ των δυο υψομετρικών αφετηριών, καθώς η απόσταση μεταξύ τους ήταν μεγαλύτερη και δεν μπορούσε να θεωρηθεί αμελητέο. Το σφάλμα αυτό για κάθε μια από τις ορθομετρικές υψομετρικές διαφορές προέκυψε χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο :

$$\sigma_{\Delta H_{reper 2-reper 1}} = \pm \sigma_e * \sqrt{n_i} \quad (5.7)$$

Όπου $\sigma_e = 0.5mm$.

Κωδικός reper2	Κωδικός reper1	ΔΗ (m)	Αριθμός στάσεων n	Σφάλμα ΔΗ (mm) $\sigma_{\Delta H_{reper2-reper1}} = \pm \sigma_e * \sqrt{n_i}$
87	68	-8.675	5	1.1
144	141	-7.328	5	1.1
144	150	8.354	16	2

Πίνακας 5.7 Τυπικές αποκλίσεις ορθομετρικών υψομετρικών διαφορών ΔH_{87-68} , $\Delta H_{144-141}$, $\Delta H_{144-150}$

Επομένως χρησιμοποιώντας τον τύπο 5.6 υπολογίστηκε η τυπική απόκλιση του γεωμετρικού υψόμετρου των τριών σημείων (68,141 και 150) που συνδέθηκαν και πήραν τις τιμές τους από τις κοντινότερες σε αυτά υψομετρικές αφετηρίες.

Κωδικός υψομετρικής αφετηρίας	WGS'84 Γεωμετρικό υψόμετρο υψομετρικής αφετηρίας(m)	Τυπική απόκλιση Γεωμετρικών Υψομέτρων (mm)
4	113.057	±38
5	124.198	±7
6	126.731	±9
8	129.785	±19
56	114.460	±23
57	114.283	±10
58	109.245	±11
58A	109.246	±11
61	121.689	±22
68	143.021	±25
86	161.971	±6
87	151.696	±25
133	117.205	±10
141	128.121	±23
143	135.357	±13
144	135.449	±23
150	143.802	±23
160	138.385	±11

Πίνακας 5.8 Γεωμετρικά υψόμετρα υψομετρικών αφετηριών στο WGS'84

5.8.Προσδιορισμός γεωμετρικών υψομετρικών διαφορών στο αντίστοιχο δίκτυο των ΔΗ

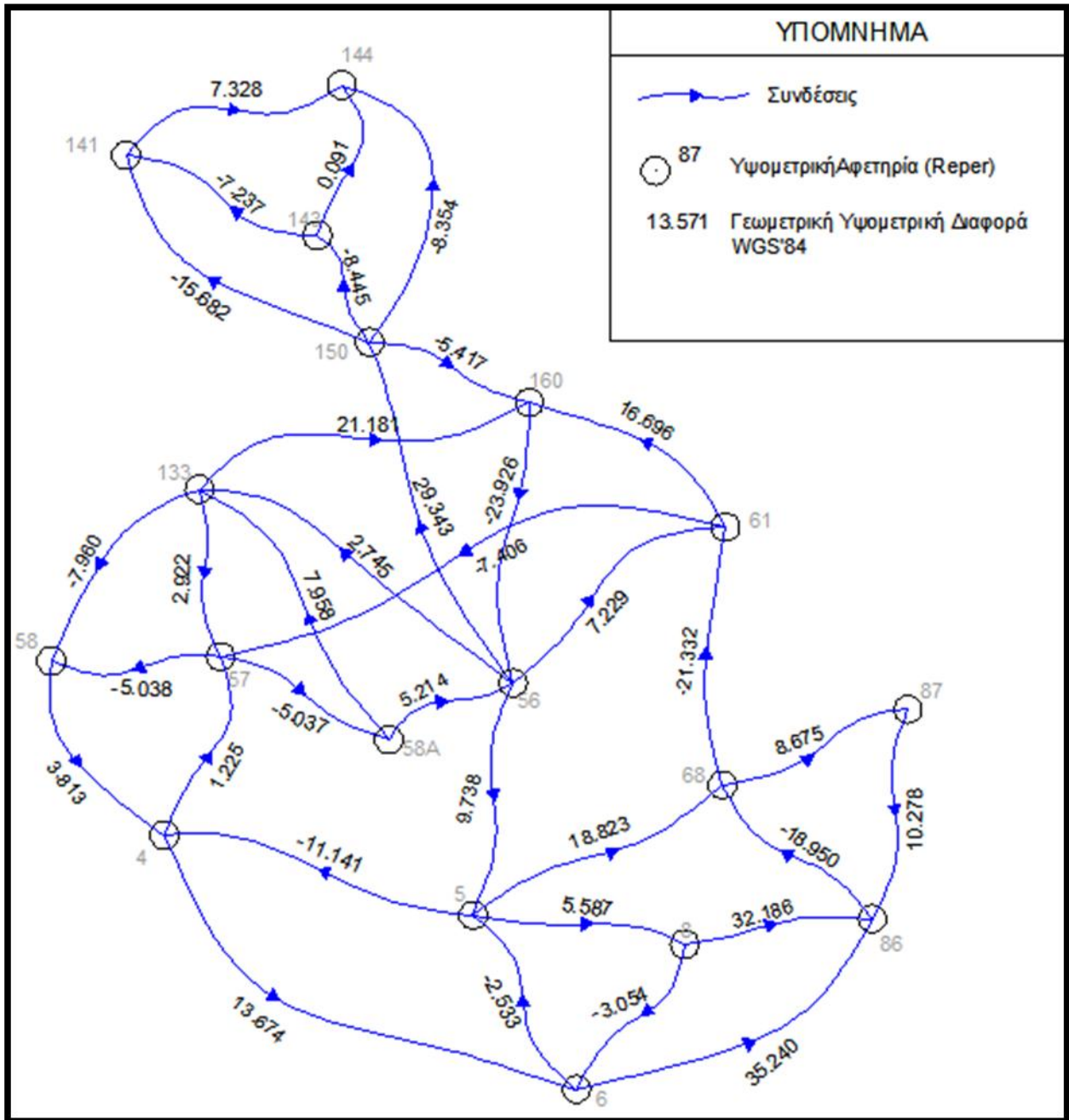
Μετά τον υπολογισμό των γεωμετρικών υψομέτρων των 18 κορυφών του δικτύου Αθηνών Ι, έγινε ο υπολογισμός των αντίστοιχων γεωμετρικών υψομετρικών διαφορών σε σχέση με το δίκτυο των ορθομετρικών υψομετρικών διαφορών.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 5.9 αλλά και σχηματικά στο σχέδιο 5.1.

Υψομετρικές Αφετηρίες		WGS'84 Δh (m)	Υψομετρικές Αφετηρίες		WGS'84 Δh (m)
5	4	-11.141	160	61	-16.696
5	6	2.533	8	5	-5.587
6	8	3.054	58α	56	5.214
6	4	-13.674	61	68	21.332
4	57	1.225	86	8	-32.186
57	58α	-5.037	86	6	-35.240
68	87	8.675	5	68	18.823
86	87	-10.276	57	61	7.406
58α	133	7.958	68	86	18.950
133	160	21.181	56	61	7.229
160	56	-23.926	56	150	29.343
150	143	-8.445	57	133	2.922
143	144	0.09115	133	56	-2.745
143	141	7.237	150	160	-5.417
144	141	-7.328			
141	150	15.682			
58	133	7.960			
144	150	8.354			
58	57	5.038			
56	5	9.738			
58	4	3.813			

Πίνακας 5.9 Γεωμετρικές Υψομετρικές διαφορές WGS'84

Στο σχήμα 5.1, παρουσιάζονται γραφικά οι τιμές των γεωμετρικών υψομετρικών διαφορών στο WGS'84.



Σχήμα 5.1 Σχηματική παρουσίαση των γεωμετρικών υψομετρικών διαφορών στο ελλειψοειδές αναφοράς του WGS'84

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΠΟΧΗΣ (N) ΤΟΥ ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ

6.1. Γενικά

Όπως αναφέρθηκε διεξοδικά στο πρώτο κεφάλαιο μία από τις σημαντικότερες σχέσεις της γεωδαισίας είναι αυτή που συνδέει τις τρεις επιφάνειες αναφοράς δηλαδή το γεωειδές, το ελλειψοειδές εκ περιστροφής και την φυσική γήινη επιφάνεια.

$$h - H = N \quad (6.1)$$

Γνωρίζοντας επομένως την τιμή της αποχής του γεωειδούς (N) για κάποιο σημείο γίνεται εφικτός ο υπολογισμός του ορθομετρικού υψόμετρου του σημείου εάν προηγουμένως έχει προσδιορισθεί το γεωμετρικό του υψόμετρο. Το γεγονός αυτό διευκολύνει πολλές τοπογραφικές εργασίες στις οποίες ήταν αναγκαία η μέτρηση του ορθομετρικού υψόμετρου, αντικαθιστώντας την πλέον με τη μέτρηση γεωμετρικών υψόμετρων χρησιμοποιώντας το παγκόσμιο σύστημα γεωδαιτικού εντοπισμού GPS. Εύκολα συμπεραίνεται ότι η γνώση της αποχής του γεωειδούς με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια καθορίζει τη δυνατότητα τέτοιου είδους μετατροπών.

6.2. Προσδιορισμός της αποχής N του γεωειδούς


Ήδη από το πρώτο κεφάλαιο έχουν αναφερθεί οι βασικές μέθοδοι προσδιορισμού της αποχής του γεωειδούς και επομένως της μορφής του. Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αποφασίστηκε να γίνει προσδιορισμός της αποχής N του γεωειδούς, σε ένα τμήμα του κέντρου της Αθήνας χρησιμοποιώντας 18 υψομετρικές αφετηρίες.

Για τον σκοπό αυτό χρειάστηκε να προσδιοριστούν τα γεωμετρικά υψόμετρα των κορυφών του δικτύου ως προς WGS'84 (με ελλειψοειδές το GRS'80). Επιπλέον ήταν ήδη γνωστά τα ορθομετρικά υψόμετρα των υψομετρικών αυτών αφετηριών τα οποία είχαν μετρηθεί στο πλαίσιο άλλης διπλωματικής εργασίας.

Επομένως, χρησιμοποιώντας την σχέση 6.1 που συνδέει τα δύο αυτά υψόμετρα, έγινε ο υπολογισμός της αποχής N του γεωειδούς στα 18 σημεία του δικτύου Αθηνών χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα των

ορθομετρικών υψομέτρων και από τις δύο επιλύσεις που αναλύθηκαν στην παράγραφο 4.4.2.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες 6.1 και 6.2.

Επίλυση με σταθερό το 58 (Λαμπαδάριος)					
Κωδικός υψομετρικής αφετηρίας	H (m)	σ_H (mm)	WGS'84		
			h (m)	σ_h (mm)	$N_{WGS'84}^{ΤΟΠΙΚΟ}$ (m)
4	74.684	±1.1	113.057	±38	38.37
5	85.760	±1.2	124.198	±7	38.44
6	88.256	±1.3	126.731	±9	38.47
8	91.351	±1.6	129.785	±19	38.43
56	75.934	±1.4	114.460	±23	38.53
57	75.780	±1	114.283	±10	38.50
58	70.747		109.245	±11	38.50
58A	70.746	±1.3	109.246	±11	38.50
61	83.163	±1	121.689	±22	38.53
68	104.513	±1.4	143.021	±25	38.51
86	123.488	±1.6	161.971	±6	38.48
87	113.189	±1.8	151.696	±25	38.51
133	78.694	±1.2	117.205	±10	38.51
141	89.498	±4.3	128.121	±23	38.62
143	96.829	±4.4	135.357	±13	38.53
144	96.825	±4.4	135.449	±23	38.62
150	105.176	±4.2	143.802	±23	38.63
160	99.882	±1.3	138.385	±11	38.50

Πίνακας 6.1 Προσδιορισμός της αποχής (N) του γεοειδούς στο WGS'84 με την επίλυση από το 58(Λαμπαδάριος)

Επίλυση με σταθερό το 5 (Γ.Υ.Σ.)					
Κωδικός υψομετρικής αφετηρίας	H (m)	σ_H (mm)	WGS'84		
			h(m)	σ_h (mm)	$N_{WGS'84}^{ΤΟΠΙΚΟ}$ (m)
4	74.863	±0.6	113.057	±38	38.19
5	85.938		124.198	±7	38.26
6	88.435	±0.8	126.731	±9	38.30
8	91.529	±1.1	129.785	±19	38.26
56	76.113	±1.4	114.460	±23	38.35
57	75.959	±1.1	114.283	±10	38.32
58	70.926	±1.2	109.245	±11	38.32
58A	70.925	±1.4	109.246	±11	38.32
61	83.342	±1.1	121.689	±22	38.35
68	104.691	±1.1	143.021	±25	38.33
86	123.666	±1.2	161.971	±6	38.31
87	113.367	±1.6	151.696	±25	38.33
133	78.872	±1.5	117.205	±10	38.33
141	89.677	±4.3	128.121	±23	38.44
143	97.008	±4.4	135.357	±13	38.35
144	97.004	±4.4	135.449	±23	38.44
150	105.355	±4.3	143.802	±23	38.45
160	100.060	±1.4	138.385	±11	38.33

Πίνακας 6.2 Προσδιορισμός της αποχής (N) του γεωειδούς στο WGS'84 με την επίλυση από το 5 (Γ.Υ.Σ.)

Οι τιμές της αποχής του γεωειδούς (N) χρησιμοποιώντας τα ορθομετρικά υψόμετρα από την επίλυση με **σταθερό το 58** (πίνακας 6.1), παρουσιάζουν μεταβολές της τάξης των μερικών cm. Συγκεκριμένα όσον

αφορά την αποχή του γεωειδούς από το ελλειψοειδές αναφοράς του WGS'84 αυτή κυμαίνεται από 38.37m μέχρι 38.63m δηλαδή η μέγιστη μεταβολή που εμφανίζεται είναι 26cm..

Αντίστοιχες μεταβολές παρουσιάζουν οι τιμές της αποχής του γεωειδούς (N) χρησιμοποιώντας τα ορθομετρικά υψόμετρα από την επίλυση με **σταθερό το 5** (πίνακας 6.2). Η αποχή του γεωειδούς από το ελλειψοειδές αναφοράς του WGS'84 κυμαίνεται από 38.19m μέχρι 38.45m δηλαδή η μέγιστη μεταβολή που εμφανίζεται είναι 26cm.

Επομένως παρόλο που οι τιμές της αποχής του γεωειδούς (N) από το WGS'84 που προκύπτουν από τις δυο επιλύσεις είναι διαφορετικές, καθώς έχουν γίνει χρησιμοποιώντας διαφορετική αρχή ορθομετρικών υψομέτρων, η μέγιστη μεταβολή που εμφανίζουν είναι ίδια και ίση με 26cm.

Χρησιμοποιώντας το λογισμικό «Trimble Geomatics Office» προσδιορίστηκαν οι αντίστοιχες τιμές της αποχής του γεωειδούς N στο ελλειψοειδές αναφοράς του **ΕΓΣΑ'87**. Οι τιμές αυτές βρέθηκαν περίπου ίσες με 10m για όλα τα σημεία του δικτύου και διαφοροποιούνται από τις αντίστοιχες γνωστές τιμές της αποχής του γεωειδούς στο ΕΓΣΑ'87 για την περιοχή, που είναι περίπου ίσες με 7m.

Η διαφοροποίηση αυτή των περίπου 3m οφείλεται στον μετασχηματισμό που χρησιμοποιεί η Κτηματολόγιο Α.Ε. για την μετατροπή των συντεταγμένων από το HTRS07 στο ΕΓΣΑ'87 και είναι ενσωματωμένος στο λογισμικό «Trimble Geomatics Office».

Χρησιμοποιώντας τις γεωκεντρικές συντεταγμένες του σημείου με κωδικό 5 (που βρέθηκαν από το «Trimble Geomatics Office») και εφαρμόζοντας τις σχέσεις μετασχηματισμού προέκυψαν οι ελλειψοειδείς συντεταγμένες φ, λ, h στο ΕΓΣΑ'87 για το σημείο. Πιο συγκεκριμένα προέκυψε ότι το γεωμετρικό υψόμετρο στο σημείο 5 είναι $h=92.67m$. Γνωρίζοντας το ορθομετρικό υψόμετρο του σημείου ($H=85.760m$) υπολογίστηκε η τιμή της αποχής N του γεωειδούς ως προς το ελλειψοειδές αναφοράς του ΕΓΣΑ'87, η οποία βρέθηκε ίση με $N=6.91m$, γεγονός που επιβεβαιώνει τα προηγούμενα.

6.3. Προσαρμογή επιπέδου

Γνωρίζοντας πλέον την αποχή του γεωειδούς (N) στην συγκεκριμένη περιοχή για τις 18 υψομετρικές αφετηρίες του δικτύου ακολουθήθηκε η διαδικασία εύρεσης της εξίσωσης του επιπέδου το οποίο προσαρμόζεται καλύτερα σε αυτά. Το πλεονέκτημα ενός τέτοιου επιπέδου είναι ότι μπορεί εύκολα να υπολογιστεί αρκεί να υπάρχουν τουλάχιστον τρία σημεία με γνωστά ορθομετρικά και γεωμετρικά υψόμετρα.

Η εξίσωση ενός τέτοιου επιπέδου δίνεται από την σχέση 6.2 :

$$h_i - H_i = N_i = \alpha x_i + \beta y_i + \gamma \quad (6.2)$$

Όπου

x_i, y_i : οι συντεταγμένες του σημείου i στην Προβολή που εφαρμόζεται στο WGS'84.

N : η τιμή της αποχής του γεωειδούς στο σημείο i ως προς το ελλειψοειδές που χρησιμοποιεί το WGS'84.

H_i, h_i : το ορθομετρικό και το γεωμετρικό υψόμετρο στο σημείο i .

α, β, γ : οι άγνωστες παράμετροι του επιπέδου.

Η εξίσωση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των τιμών αποχής (N) του γεωειδούς στην περιοχή ώστε να μπορούν να μετατραπούν το γεωμετρικά υψόμετρα σε ορθομετρικά υψόμετρα.

Ο υπολογισμός των άγνωστων παραμέτρων της εξίσωσης του επιπέδου πραγματοποιήθηκε δύο φορές χρησιμοποιώντας στην πρώτη 5 υψομετρικές αφετηρίες και στην δεύτερη 8. Η επιλογή των σημείων ήταν τέτοια ώστε να καλύπτουν επαρκώς την έκταση της περιοχής. Δεν χρησιμοποιήθηκαν όλα τα σημεία προκειμένου να μπορεί να γίνει έλεγχος προσαρμογής του επιπέδου.

6.3.1 Προσαρμογή επιπέδου με χρήση 5 υψομετρικών αφετηριών

Σε αυτή την περίπτωση οι υψομετρικές αφετηρίες οι οποίες επιλέχθηκαν ήταν οι : 58, 86, 133, 143 και 160.

a) Χρησιμοποιώντας τα ορθομετρικά υψόμετρα από την επίλυση με σταθερό το 58 προσδιορίστηκε το επίπεδο με εξίσωση :

$$N_i = -1.9090 * 10^{-5} x_i + 1.2456 * 10^{-5} y_i + 20.1357 \quad (6.3)$$

με a posteriori τυπικό σφάλμα $\hat{\sigma}_o = \pm 0.003$ και

$$\sigma_a = \pm 3.9695 * 10^{-6}, \sigma_\beta = \pm 1.0316 * 10^{-6}, \sigma_\gamma = \pm 3.0337$$

b) Χρησιμοποιώντας τα ορθομετρικά υψόμετρα από την επίλυση με σταθερό το 5 προσδιορίστηκε το επίπεδο με εξίσωση :

$$N_i = -5.0418 * 10^{-6} x_i + 1.0882 * 10^{-5} y_i + 16.7347 \quad (6.4)$$

με a posteriori τυπικό σφάλμα $\hat{\sigma}_o = \pm 0.004$ και

$$\sigma_a = \pm 5.4019 * 10^{-6}, \sigma_\beta = \pm 1.4038 * 10^{-6}, \sigma_\gamma = \pm 4.1285$$

Χρησιμοποιώντας τους τύπους 6.3 και 6.4 μπορούν να υπολογιστούν νέες τιμές της αποχής (N) του γεωειδούς για τα υπόλοιπα 13 σημεία του δικτύου και στην συνέχεια να υπολογιστούν εκ νέου τα ορθομετρικά τους υψόμετρα μέσω τις σχέσης $H = h - N$. Αυτός ο υπολογισμός λειτουργεί ως έλεγχος προσαρμογής του επιπέδου. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 6.3.

Επιπλέον ελέγχθησαν πως οι συντελεστές (α , β , γ) του κάθε επιπέδου είναι στατιστικά σημαντικοί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΠΟΧΗΣ (N) ΤΟΥ ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ

Κωδικός Υψομε- τρικής Αφαιτηρίας	επίλυση με σταθερό το 58				επίλυση με σταθερό το 5			
	Ορθομετρικά υψόμετρα H (m)	Γεωμετρικά υψόμετρα WGS'84 h (m)	$H^I = h - N^I$ (m) από την εξίσωση επιπέδου 6.3	H-H ^I (cm)	Ορθομετρικά υψόμετρα H (m)	Γεωμετρικά υψόμετρα WGS'84 h (m)	$H^I = h - N^I$ (m) από την εξίσωση επιπέδου 6.4	H-H ^I (cm)
4	74.684	113.057	74.56	12.3	74.8625	113.057	74.74	12.2
5	85.760	124.198	85.71	5.2	85.9384	124.198	85.89	5.3
6	88.256	126.731	88.25	1.1	88.4348	126.731	88.42	1.5
8	91.351	129.785	91.30	4.6	91.529	129.785	91.48	5.2
56	75.934	114.46	75.95	-1.9	76.1125	114.46	76.13	-2.1
57	75.780	114.283	75.78	0.0	75.959	114.283	75.96	-0.1
58	70.747	109.245	70.74	0.4	70.9257	109.245	70.92	0.3
58A	70.746	109.246	70.74	0.3	70.9248	109.246	70.92	0.1
61	83.163	121.689	83.19	-2.6	83.3419	121.689	83.36	-2.3
68	104.513	143.021	104.54	-2.5	104.6907	143.021	104.71	-1.7
86	123.488	161.971	123.49	-0.3	123.6661	161.971	123.66	0.7
87	113.189	151.696	113.21	-2.4	113.367	151.696	113.38	-1.6
133	78.694	117.205	78.70	-0.4	78.8724	117.205	78.88	-0.6
141	89.498	128.121	89.59	-9.0	89.6765	128.121	89.77	-9.3
143	96.829	135.357	96.83	0.3	97.0076	135.357	97.01	0.2
144	96.825	135.449	96.92	-9.3	97.0038	135.449	97.10	-9.3
150	105.176	143.802	105.29	-11.0	105.3548	143.802	105.46	-10.7
160	99.882	138.385	99.89	-0.5	100.06	138.385	100.06	0.2

Πίνακας 6.3 Ορθομετρικά και γεωμετρικά υψόμετρα των κορυφών του δικτύου από απευθείας μετρήσεις και από υπολογισμό (5 σημεία) / Στα στοιχεία με **bold** έγινε ο έλεγχος προσαρμογής του επιπέδου

6.3.2 Προσαρμογή επιπέδου με χρήση 8 υψομετρικών αφετηριών

Σε αυτή την περίπτωση οι υψομετρικές αφετηρίες οι οποίες επιλέχθησαν ήταν οι : 57, 58, 61, 68, 86, 87, 133 και 144.

α) Χρησιμοποιώντας τα ορθομετρικά υψόμετρα από την επίλυση με σταθερό το 58 προσδιορίστηκε το επίπεδο με εξίσωση :

$$N_i = 3.5015 * 10^{-5} x_i + 3.8263 * 10^{-5} y_i - 62.5352 \quad (6.5)$$

με a posteriori τυπικό σφάλμα $\hat{\sigma}_o = \pm 0.011$ και

$$\sigma_a = \pm 1.4484 * 10^{-5}, \sigma_b = \pm 3.8932 * 10^{-6}, \sigma_\gamma = \pm 12.4219$$

β) Χρησιμοποιώντας τα ορθομετρικά υψόμετρα από την επίλυση με σταθερό το 5 προσδιορίστηκε το επίπεδο με εξίσωση :

$$N_i = 4.0068 * 10^{-5} x_i + 3.7643 * 10^{-5} y_i - 63.7563 \quad (6.6)$$

με a posteriori τυπικό σφάλμα $\hat{\sigma}_o = \pm 0.008$ και

$$\sigma_a = \pm 1.033 * 10^{-5}, \sigma_b = \pm 2.7762 * 10^{-6}, \sigma_\gamma = \pm 8.8578$$

Χρησιμοποιώντας τους τύπους 6.5 και 6.6 μπορούν να υπολογιστούν νέες τιμές της αποχής (N) του γεωειδούς για τα υπόλοιπα 10 σημεία του δικτύου και στην συνέχεια να υπολογιστούν εκ νέου τα ορθομετρικά τους υψόμετρα μέσω τις σχέσης $H = h - N$. Αυτός ο υπολογισμός λειτουργεί ως έλεγχος προσαρμογής του επιπέδου. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 6.4.

Επιπλέον ελέγχθησαν πως οι συντελεστές (α, β, γ) του κάθε επιπέδου είναι στατιστικά σημαντικοί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΠΟΧΗΣ (N) ΤΟΥ ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ

Κωδικός Υψομε- τρικής Αφετηρίας	επίλυση με σταθερό το 58				επίλυση με σταθερό το 5			
	Ορθομετρικά υψόμετρα H (m)	Γεωμετρικά υψόμετρα WGS'84 h (m)	$H^I = h - N^I$ (m) από την εξίσωση επιπέδου 6.5	H-H ^I (cm)	Ορθομετρικά υψόμετρα H (m)	Γεωμετρικά υψόμετρα WGS'84 h (m)	$H^I = h - N^I$ (m) από την εξίσωση επιπέδου 6.6	H-H ^I (cm)
4	74.684	113.057	74.58	10.2	74.863	113.057	74.76	10.0
5	85.760	124.198	85.73	3.5	85.938	124.198	85.91	3.3
6	88.256	126.731	88.26	-0.5	88.435	126.731	88.44	-0.5
8	91.351	129.785	91.32	3.1	91.529	129.785	91.50	3.1
56	75.934	114.460	75.95	-1.4	76.113	114.460	76.13	-1.6
57	75.780	114.283	75.78	0.2	75.959	114.283	75.96	0.0
58	70.747	109.245	70.75	-0.1	70.926	109.245	70.93	-0.3
58A	70.746	109.246	70.75	-0.3	70.925	109.246	70.93	-0.5
61	83.163	121.689	83.17	-0.4	83.342	121.689	83.35	-0.5
68	104.513	143.021	104.52	-0.7	104.691	143.021	104.70	-0.6
86	123.488	161.971	123.47	1.5	123.666	161.971	123.65	1.7
87	113.189	151.696	113.19	-0.6	113.367	151.696	113.37	-0.4
133	78.694	117.205	78.69	0.4	78.872	117.205	78.87	0.2
141	89.498	128.121	89.51	-1.5	89.677	128.121	89.69	-1.8
143	96.829	135.357	96.74	9.2	97.008	135.357	96.92	9.0
144	96.825	135.449	96.83	-0.3	97.004	135.449	97.01	-0.5
150	105.176	143.802	105.21	-3.8	105.355	143.802	105.39	-3.9
160	99.882	138.385	99.83	4.7	100.060	138.385	100.01	4.7

Πίνακας 6.4 Ορθομετρικά και γεωμετρικά υψόμετρα των κορυφών του δικτύου από απευθείας μετρήσεις και από υπολογισμό (8 σημεία) / Στα στοιχεία με **bold** έγινε ο έλεγχος προσαρμογής του επιπέδου

6.4. Δημιουργία χάρτη των αποχών του γεωειδούς

Γνωρίζοντας τόσο τα ορθομετρικά υψόμετρα κάποιων σημείων, τα οποία έχουν προσδιοριστεί με την μέθοδο της γεωμετρικής χωροστάθμησης, όσο και τα γεωμετρικά υψόμετρα, τα οποία έχουν προσδιοριστεί με χρήση του συστήματος GPS, γίνεται δυνατός ο υπολογισμός των αποχών του γεωειδούς στα συγκεκριμένα σημεία που έγιναν οι μετρήσεις.

Αυτή η προσέγγιση είναι γνωστή ως μία γεωμετρική προσέγγιση για την μοντελοποίηση ενός **τοπικού γεωειδούς**. Το πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι η γνώση του βαρυτικού πεδίου της περιοχής δεν είναι απαραίτητη. Από την άλλη, η ακρίβεια με την οποία μπορούν να προσδιοριστούν στην συνέχεια τα ορθομετρικά υψόμετρα κατευθείαν από παρατηρήσεις GPS, είναι συνάρτηση της ακρίβειας με την οποία προσδιορίστηκαν τα γεωμετρικά υψόμετρα στα σημεία που θα χρησιμοποιηθούν για την μοντελοποίηση και την μέθοδο παρεμβολής για την δημιουργία του χάρτη των αποχών του γεωειδούς για την υπό μελέτη περιοχή.

Στην συγκεκριμένη εργασία έγινε η μοντελοποίηση ενός τοπικού γεωειδούς αξιοποιώντας τα ορθομετρικά και τα γεωμετρικά υψόμετρα 18 κορυφών που βρίσκονταν στο κέντρο της Αθήνας. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Surfer το οποίο είναι λογισμικό για την δημιουργία ισουψών καμπύλων και τριδιάστατων μοντέλων εδάφους. Παρέχει την δυνατότητα στον χρήστη να διαλέξει ανάμεσα σε έναν μεγάλο αριθμό από διαφορετικές μεθόδους παρεμβολής για την επεξεργασία των δεδομένων. Δέχεται χωρικά δεδομένα όπως τριδιάστατες συντεταγμένες της μορφής X, Y, Z σημείων και παρέχει έναν κάνναβο στην δεδομένη περιοχή προσδιορίζοντας για κάθε κορυφή του καννάβου με την επιλεγμένη μέθοδο παρεμβολής την τιμή της τρίτης διάστασης Z.

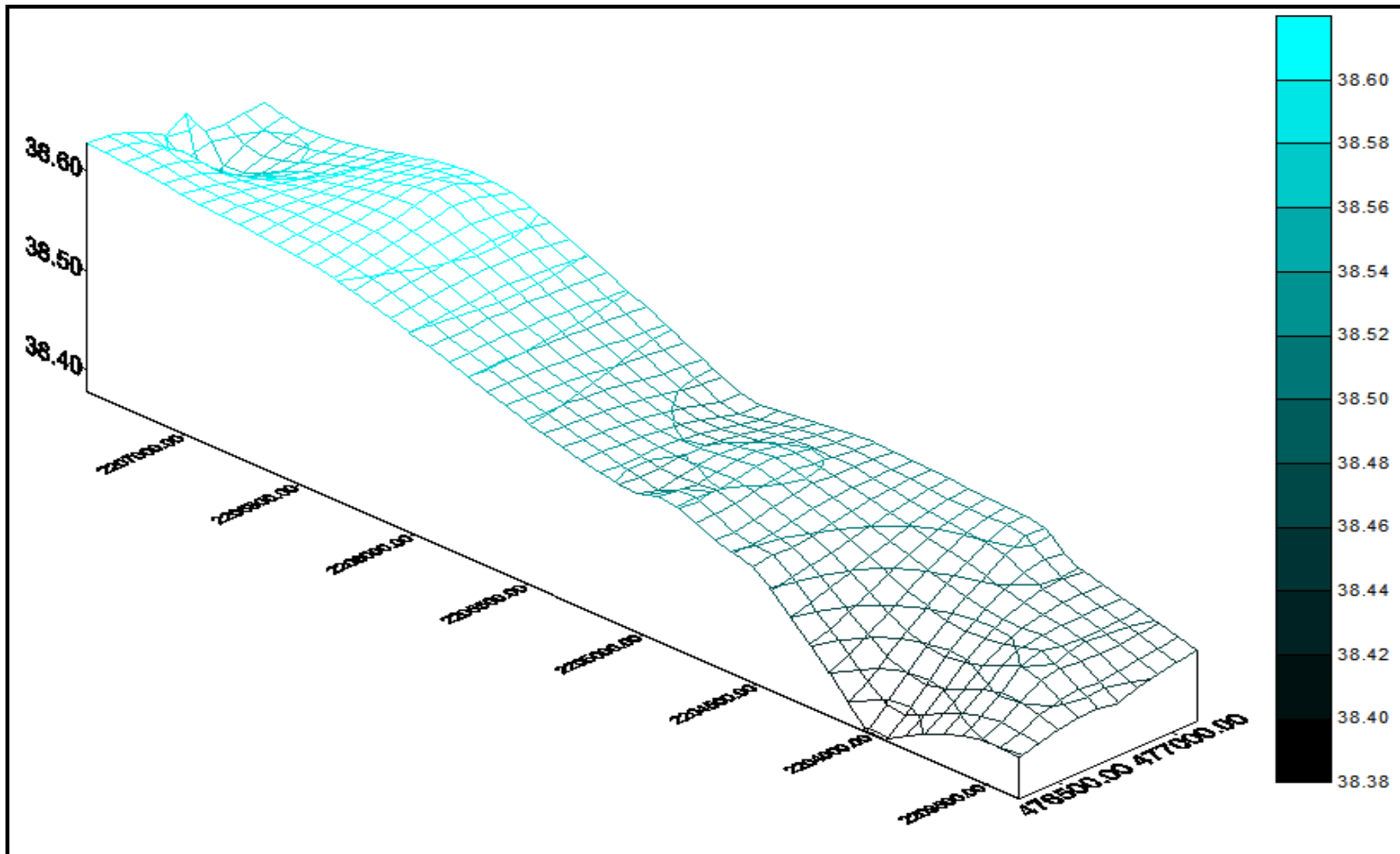
Για την δημιουργία του χάρτη χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία που παρουσιάζονται στον πίνακα 6.5.

ΚΩΔΙΚΟΣ ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ (καρφί)	HTRS07 (προβολή WGS'84)		Ντοπικό από επίλυση με το 58 του <u>Λαμπαδάριου</u> (m)
	χ (m)	y (m)	
4'	476336.145	2203994.736	38.37
5'	476552.605	2203732.119	38.44
6'	476635.390	2203597.766	38.47
8'	476762.769	2203364.196	38.43
56'	476388.023	2204924.623	38.53
57'	476445.772	2204663.315	38.50
58'	476383.469	2204523.908	38.50
61'	476720.320	2204856.896	38.53
68'	477035.350	2204041.215	38.51
86'	477112.846	2203905.384	38.48
87'	477064.859	2204028.018	38.51
133'	476417.618	2204976.475	38.51
141'	476566.830	2207266.137	38.62
143'	476760.229	2207395.185	38.53
144'	476761.218	2207426.304	38.62
150'	476905.188	2206427.398	38.63
160'	477061.174	2205297.280	38.50

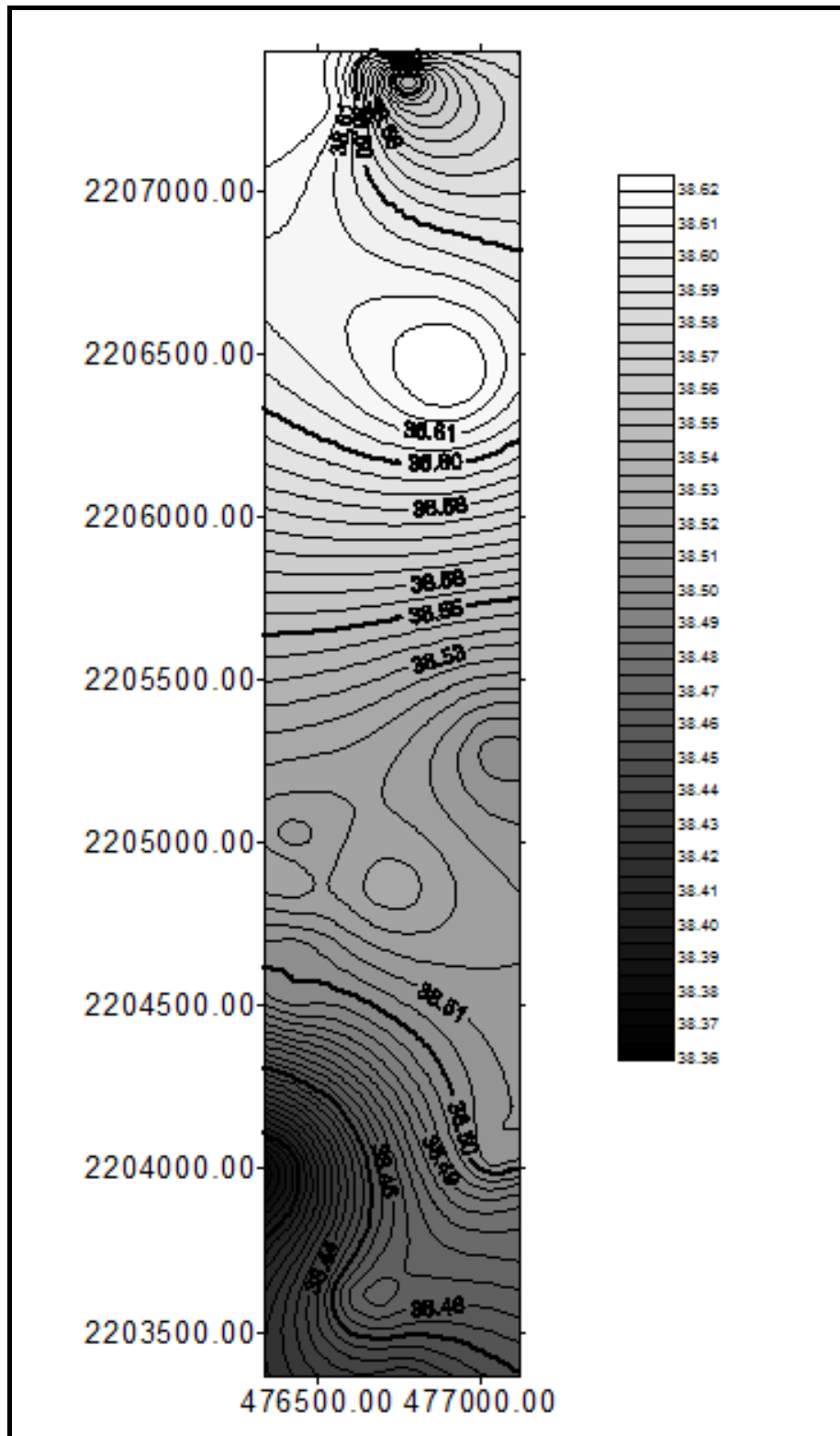
Πίνακας 6.5 Τελικές συντεταγμένες στο HTRS07 και αποχές τοπικού γεωειδούς

Στην συνέχεια έγινε η εισαγωγή των δεδομένων στο λογισμικό Surfer και η δημιουργία του χάρτη των αποχών του τοπικού γεωειδούς. Η παραγωγή του χάρτη έγινε με την μέθοδο παρεμβολής Krigging η οποία αναφέρεται στην παγκόσμια βιβλιογραφία ως η πιο κατάλληλη μέθοδος παρεμβολής για παραγωγή χαρτών που απεικονίζουν τις αποχές του γεωειδούς. Ο χάρτης σχεδιάστηκε με ισοδιάσταση 0.5cm καθώς όπως παρατηρείται και στον πίνακα 6.5 η μεταβολή του γεωειδούς δεν ξεπερνά τα 30cm.

Από τον χάρτη αυτό, μπορεί κάποιος να υπολογίσει το ορθομετρικό υψόμετρο οποιουδήποτε σημείου εντός της περιοχής του οποίου μετρήθηκε το γεωμετρικό του υψόμετρο, εφαρμόζοντας μια απλή γραμμική παρεμβολή.



Χάρτης 6.1 Τριδιάστατο μοντέλο τοπικού γεωειδούς



Χάρτης 6.2 Χάρτης τοπικού γεωειδούς

6.5. Προσδιορισμός της αποχής N από τα EGM96 και EGM08

Ένα από τα παγκόσμια μοντέλα γεωειδούς τα οποία χρησιμοποιούνται είναι το EGM96 πλήρες σε βαθμό και τάξη 360, το οποίο είναι αποτέλεσμα της συνεργασίας της Εθνικής Χαρτογραφικής υπηρεσίας των Η.Π.Α., της NASA και του Πανεπιστημίου του Οχάιο. Εάν είναι γνωστές οι γεωγραφικές συντεταγμένες των σημείων στα οποία ζητείται η αποχή του γεωειδούς N χρησιμοποιώντας αυτό το παγκόσμιο μοντέλο, τότε υπάρχει η δυνατότητα εύρεσης της μέσω online υπηρεσίας του διαδικτύου από την ιστοσελίδα <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm96/intpt.html> .

Με αντίστοιχο τρόπο υπολογίζονται και οι αποχές του γεωειδούς από το παγκόσμιο μοντέλο EGM08 το οποίο είναι πλήρως ανεπτυγμένο σε βαθμό και τάξη 2159.

Οι αβεβαιότητες προσδιορισμού της αποχής του γεωειδούς από τα δυο παγκόσμια μοντέλα είναι $\pm 37\text{cm}$ και $\pm 22\text{cm}$ για τα EGM96, EGM08 αντίστοιχα.

Έπειτα από τον υπολογισμό των αποχών (N) του κάθε μοντέλου γεωειδούς από το ελλειψοειδές GRS'80 που χρησιμοποιείται από το σύστημα WGS'84, έγινε ο προσδιορισμός της μεταβολής ΔN του υψομέτρου του γεωειδούς χρησιμοποιώντας ως σταθερό το σημείο με την μεγαλύτερη τιμή της αποχής N (Πίνακας 6.6).

Τέλος έγινε υπολογισμός της μεταβολής ΔN των αποχών του τοπικού μοντέλου γεωειδούς και από τις δυο επιλύσεις που είχαν υπολογιστεί στην παράγραφο 6.2.

Σημείωση :

Τα σημεία στα οποία υπολογίστηκε η αποχή N του παγκόσμιου γεωειδούς είναι τα νέα σημεία τα οποία υλοποιήθηκαν και στα οποία είχε τοποθετηθεί ο δέκτης του συστήματος GPS. Ωστόσο επειδή η απόσταση τους από τις υψομετρικές αφετηρίες είναι μικρή οι μεταβολή της αποχής του γεωειδούς είναι αμελητέα οπότε οι αποχές αναφέρονται στις ίδιες τις υψομετρικές αφετηρίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΠΟΧΗΣ (N) ΤΟΥ ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ

Κωδικός νέου σημείου	Γεωγραφικό πλάτος (φ) WGS'84	Γεωγραφικό μήκος (λ) WGS'84	$N_{WGS'84}^{EGM96}$ Geoid height (m)	$N_{WGS'84}^{EGM08}$ Geoid height (m)	$\Delta N_{WGS'84}^{EGM96}$ (cm)	$\Delta N_{WGS'84}^{EGM08}$ (cm)	$\Delta N_{WGS'84}^{ΤΟΠΙΚΟ}$ (cm) από επίλυση 58	$\Delta N_{WGS'84}^{ΤΟΠΙΚΟ}$ (cm) από επίλυση 5
4'	37.98328528	23.7305332	38.53	38.62	11	13	25	25
5'	37.98092398	23.73300664	38.53	38.62	11	13	19	19
6'	37.97971521	23.73395368	38.53	38.62	11	13	15	15
8'	37.97761336	23.73541164	38.53	38.62	11	13	19	19
56'	37.99166753	23.73109336	38.56	38.65	8	10	10	10
57'	37.98931391	23.73175961	38.56	38.64	8	11	12	12
58'	37.98805584	23.73105468	38.55	38.64	9	11	13	13
61'	37.99106571	23.73487991	38.57	38.66	7	9	10	10
68'	37.98372216	23.73849368	38.56	38.65	8	10	11	11
86'	37.98249989	23.73938048	38.56	38.65	8	10	14	14
87'	37.98360396	23.73883013	38.56	38.65	8	10	12	12
133'	37.99213564	23.73142869	38.56	38.66	8	9	11	11
141'	38.01277576	23.73305319	38.62	38.74	2	1	0	0
143'	38.01394383	23.73525217	38.64	38.75	0	0	9	9
144'	38.01422433	23.73526243	38.64	38.75	0	0	0	0
150'	38.00522507	23.73693469	38.61	38.72	3	3	0	0
160'	37.9950435	23.7387476	38.59	38.69	5	6	12	12

Πίνακας 6.6 Προσδιορισμός της αποχής (N) και της μεταβολής των μοντέλων του γεωειδούς από το WGS'84/ Το στοιχείο με **bold** χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της μεταβολής

Από τα στοιχεία του πίνακα 6.6 προκύπτει ότι στην συγκεκριμένη περιοχή υπάρχει μια μεταβολή του τοπικού γεωειδούς της τάξης των 25cm. Αντίθετα η μεταβολή των παγκόσμιων μοντέλων γεωειδούς EGM96 και EGM08 είναι πολύ μικρότερη της τάξης των 11cm και 13cm αντίστοιχα.

Το γεγονός αυτό μπορεί να εξηγηθεί καθώς αυτά τα μοντέλα δεν έχουν σχεδιαστεί για να προσαρμόζονται απόλυτα μόνο στον ελλαδικό χώρο αλλά είναι παγκόσμια μοντέλα.

6.6. Σύγκριση τοπικού μοντέλου με τα παγκόσμια μοντέλα γεωειδούς

Μια ακόμα σύγκριση η οποία κρίθηκε απαραίτητο να πραγματοποιηθεί είναι αυτή των τιμών της αποχής N του γεωειδούς, οι οποίες προσδιορίστηκαν από την διαφορά των ορθομετρικών και των γεωμετρικών υψομέτρων, με τις αντίστοιχες αποχές των παγκόσμιων μοντέλων γεωειδούς.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι αποχές του τοπικού γεωειδούς αναφέρονται στις υψομετρικές αφετηρίες που είχαν ιδρυθεί το 1920 ενώ οι αποχές από τα παγκόσμια μοντέλα EGM96 και EGM08 αφορούν τις νέες κορυφές που υλοποιήθηκαν. Η απόσταση όμως των κορυφών αυτών από τις αρχικές υψομετρικές αφετηρίες είναι πάρα πολύ μικρή και μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν επηρεάζει την εξαγωγή των συμπερασμάτων καθώς σε τόσο μικρές αποστάσεις το γεωειδές δεν μεταβάλλεται.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 6.7.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΠΟΧΗΣ (N) ΤΟΥ ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ

Κωδικός υψομετρικής Αφετηρία (1)	$\Delta N = N^{EGM96} - N^{EGM08}$ (cm) (2)	Επίλυση 58		Επίλυση 5	
		$\Delta N = N^{τοπικό} - N^{EGM96}$ (cm) (3)	$\Delta N = N^{τοπικό} - N^{EGM08}$ (cm) (4)	$\Delta N = N^{τοπικό} - N^{EGM96}$ (cm) (5)	$\Delta N = N^{τοπικό} - N^{EGM08}$ (cm) (6)
4	-9	-16	-25	-34	-43
5	-9	-9	-18	-27	-36
6	-9	-6	-15	-23	-32
8	-9	-10	-19	-27	-36
56	-9	-3	-12	-21	-30
57	-8	-6	-14	-24	-32
58	-9	-5	-14	-23	-32
58A	-9	-5	-14	-23	-32
61	-9	-4	-13	-22	-31
68	-9	-5	-14	-23	-32
86	-9	-8	-17	-25	-34
87	-9	-5	-14	-23	-32
133	-10	-5	-15	-23	-33
141	-12	0	-12	-18	-30
143	-11	-11	-22	-29	-40
144	-11	-2	-13	-20	-31
150	-11	2	-9	-16	-27
160	-10	-9	-19	-26	-36

Πίνακας 6.7 Σύγκριση μοντέλων γεωειδούς

Από τα στοιχεία της (2) στήλης του πίνακα 6.6 παρατηρείται πως τα δυο παγκόσμια γεωειδή έχουν στην περιοχή μια απόκλιση της τάξης των 10cm. Επιπλέον παρόλο που θεωρητικά το παγκόσμιο μοντέλο γεωειδούς EGM08 παρέχει τιμές της αποχής (N) του γεωειδούς με μικρότερη αβεβαιότητα από ότι το EGM96 ($\pm 22\text{cm}$ και $\pm 37\text{cm}$ αντίστοιχα), παρατηρείται από τις στήλες (3) και (4) πως το τοπικό μοντέλο βρίσκεται πιο κοντά στο EGM96 και όχι στο EGM08.

Τέλος πραγματοποιήθηκε ο παρακάτω έλεγχος με επίπεδο εμπιστοσύνης 95% . Σκοπός αυτού του ελέγχου είναι να εξεταστεί αν η μεταβολή ΔN μεταξύ του τοπικού γεωειδούς και των δυο παγκόσμιων οφείλεται ή όχι σε σφάλμα των μετρήσεων.

$$\text{Εξετάζεται δηλαδή αν ισχύει : } -z_{95\%} * \sigma_{\Delta N} < \Delta N \leq z_{95\%} * \sigma_{\Delta N}$$

Όπου $\sigma_{\Delta N} = \sqrt{\sigma_{N_{\text{τοπικό}}}^2 + \sigma_{N_{\text{EGM}}}^2}$. Τα αποτελέσματα για τα $\sigma_{\Delta N}$ παρουσιάζονται στον πίνακα 6.8.

Κωδικός Υ.Α.	σ_{NEGM96} (cm)	σ_{NEGM08} (cm)	$\sigma_{\text{Nτοπικό}}$ (cm)	$\sigma_{\Delta N}$ (cm) για $\Delta N = N_{\text{τοπικό}} - N_{\text{EGM96}}$	$\sigma_{\Delta N}$ (cm) για $\Delta N = N_{\text{τοπικό}} - N_{\text{EGM08}}$
4	± 37	± 22	± 3.8	± 37	± 22
5	± 37	± 22	± 0.7	± 37	± 22
6	± 37	± 22	± 0.9	± 37	± 22
8	± 37	± 22	± 1.9	± 37	± 22
56	± 37	± 22	± 2.3	± 37	± 22
57	± 37	± 22	± 1	± 37	± 22
58	± 37	± 22	± 1.1	± 37	± 22
58A	± 37	± 22	± 1.1	± 37	± 22
61	± 37	± 22	± 2.2	± 37	± 22
68	± 37	± 22	± 2.5	± 37	± 22
86	± 37	± 22	± 0.6	± 37	± 22
87	± 37	± 22	± 2.5	± 37	± 22

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΠΟΧΗΣ (N) ΤΟΥ ΓΕΩΕΙΔΟΥΣ

133	±37	±22	±1	±37	±22
141	±37	±22	±2.3	±37	±22
143	±37	±22	±1.3	±37	±22
144	±37	±22	±2.3	±37	±22
150	±37	±22	±2.3	±37	±22
160	±37	±22	±1.1	±37	±22

Πίνακας 6.8 Σφάλματα της απόκλισης ΔΗ του τοπικού γεωειδούς από τα παγκόσμια μοντέλα

Άρα θα πρέπει για το $\Delta N = N_{\text{τοπικό}} - N_{\text{EGM96}}$ να ισχύει :
 $-z_{95\%} * 37 < \Delta N \leq z_{95\%} * 37 \Leftrightarrow -72.5 < \Delta N \leq 72.5$

Και για το $\Delta N = N_{\text{τοπικό}} - N_{\text{EGM08}}$ θα πρέπει να ισχύει :
 $-z_{95\%} * 22 < \Delta N \leq z_{95\%} * 22 \Leftrightarrow -43.1 < \Delta N \leq 43.1$.

Πράγματι και στις δύο περιπτώσεις οι τιμές των ΔN βρίσκονται μέσα στα επιτρεπτά όρια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

7.1. Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως βασικό αντικείμενο τον προσδιορισμό της αποχής του γεωειδούς N σε αστική περιοχή. Ως περιοχή μελέτης ορίστηκε ένα μικρό τμήμα του κέντρου της Αθήνας. Οι απαραίτητες μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε 18 υψομετρικές αφετηρίες, οι οποίες είχαν εγκατασταθεί και υλοποιηθεί το 1920 από την Τοπογραφική Υπηρεσία του Υπουργείου Συγκοινωνιών και των οποίων ήταν γνωστά τα ορθομετρικά υψόμετρα [Α. Φαρμακάκη, 2010].

Στο πλαίσιο της διπλωματικής αυτής προέκυψαν διάφορα συμπεράσματα, τόσο από την διαδικασία διεξαγωγής των μετρήσεων που χρειάστηκε να πραγματοποιηθούν όσο και από τα αποτελέσματα.

Οι μετρήσεις οι οποίες έγιναν αφορούσαν τον προσδιορισμό των γεωμετρικών υψόμετρων των 18 υψομετρικών αφετηριών του δικτύου Αθηνών. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν με χρήση του συστήματος GPS και τα βασικά συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν είναι τα παρακάτω :

- Διαπιστώθηκε ότι είναι δυνατή η χρήση του παγκόσμιου γεωδαιτικού συστήματος εντοπισμού GPS για τον προσδιορισμό του γεωμετρικού υψόμετρου υψομετρικών αφετηριών ακόμα και αν δεν είναι εφικτή η τοποθέτηση του δέκτη απευθείας σε αυτές.

Ως λύση σε τέτοιου είδους περιπτώσεις, και εφόσον απαιτείται ακρίβεια της τάξης των μερικών εκατοστών, κρίνεται η υλοποίηση βοηθητικών νέων σημείων σε πολύ κοντινές αποστάσεις από τις υψομετρικές αφετηρίες με σκοπό να πραγματοποιηθούν σε αυτές οι απαιτούμενες μετρήσεις. Στην συνέχεια μπορεί να γίνει «μεταφορά» των γεωμετρικών αυτών υψόμετρων μετρώντας την ορθομετρική υψομετρική διαφορά των δύο σημείων και θεωρώντας ότι για τέτοιου μεγέθους αποστάσεις, της τάξης των 20m, η μεταβολή της αποχής του γεωειδούς είναι μηδέν ($\Delta N=0$).

- Πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην χρήση του συστήματος GPS σε αστικές και πυκνοδομημένες περιοχές ιδιαίτερα εάν στην

περίπτωση που το δίκτυο προϋπάρχει και δεν έχει σχεδιαστεί με την προοπτική χρήσης GPS.

Η επιλογή των θέσεων που θα υλοποιηθούν τα σημεία είναι σημαντική για την επίτευξη αξιόπιστων αποτελεσμάτων. Κρίνεται βοηθητική η ταυτόχρονη χρήση ενός δέκτη χειρός GPS για να υπάρχει μια πρώτη εκτίμηση του αριθμού των δορυφόρων που εντοπίζονται από τον δέκτη.

- Οι μετρήσεις GPS μπορούν να πραγματοποιούνται κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες ενώ το βασικότερο στοιχείο στο οποίο πρέπει να δίνεται προσοχή είναι η κέντρωση του δέκτη και η σωστή μέτρηση του ύψους του.
- Η ύπαρξη μόνιμων σταθμών του ελληνικού δικτύου HEPOS αποτελεί ένα βοηθητικό εργαλείο για τις μετρήσεις GPS. Η δυνατότητα αγοράς δεδομένων από έναν μόνιμο σταθμό αναφοράς μέσω της ιστοσελίδας <http://www.hepos.gr> διευκολύνει, μειώνει τον χρόνο και απλουστεύει τις εργασίες πεδίου. Όταν χρησιμοποιείται ένα τέτοιος μόνιμος σταθμός αναφοράς ο χρήστης χρειάζεται μόνον έναν ακόμα δέκτη του συστήματος GPS, ο οποίος τοποθετείται διαδοχικά στα σημεία στα οποία ζητούνται οι συντεταγμένες και το υψόμετρο.
- Η μέθοδος εντοπισμού η οποία χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτή του σχετικού στατικού εντοπισμού, η οποία και παρείχε σφάλμα από $\pm 4\text{cm}$ μέχρι $\pm 1\text{cm}$ στον προσδιορισμό των γεωμετρικών υψομέτρων. Η τάξη μεγέθους της αβεβαιότητας αυτής είναι ικανοποιητική για περισσότερες εργασίες αστικής χρήσης.

Ύστερα από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων προέκυψαν τα παρακάτω χρήσιμα συμπεράσματα :

- Όσον αφορά τις μεταβολές των τιμών της αποχής N του γεωειδούς οι οποίες προσδιορίστηκαν χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις GPS δεν ξεπερνούν τα 25cm ως προς το ελλειψοειδές αναφοράς του WGS'84. Επομένως υπάρχει η δυνατότητα προσέγγισης του γεωειδούς ως ένα επίπεδο.
- Γνωρίζοντας τα γεωμετρικά και τα ορθομετρικά υψόμετρα τουλάχιστον 3 σημείων μιας περιοχής μικρής έκτασης είναι δυνατός ο προσδιορισμός της εξίσωσης του επιπέδου ή κάποιας άλλης

επιφάνειας που το προσεγγίζει καλύτερα. Έτσι, μπορεί να γίνει η μετατροπή γεωμετρικών υψομέτρων άλλων σημείων της περιοχής σε ορθομετρικά, εφόσον χρησιμοποιώντας την εξίσωση που θα υπολογιστεί βρεθεί η αποχή του γεωειδούς στο συγκεκριμένο σημείο.

- Ο προσδιορισμός της επιφάνειας προσαρμογής του γεωειδούς της περιοχής, που έγινε χρησιμοποιώντας ως επιφάνεια το επίπεδο, κατέληξε στο συμπέρασμα πως το γεωειδές της περιοχής μελέτης μπορεί να προσδιοριστεί με ένα επίπεδο.
- Εφόσον είναι γνωστές οι αποχές του γεωειδούς ικανού αριθμού σημείων μιας περιοχής μπορεί να κατασκευαστεί ένας χάρτης του τοπικού γεωειδούς. Έτσι με παρεμβολή χρησιμοποιώντας τον χάρτη αυτόν μπορούν να αντικατασταθούν οι μετρήσεις γεωμετρικής χωροστάθμησης από τις μετρήσεις GPS, καθώς θα υπάρχει η δυνατότητα μετατροπής των γεωμετρικών υψομέτρων σε ορθομετρικά. Ωστόσο η διαδικασία αυτή θα μπορεί να πραγματοποιείται μόνο σε περιπτώσεις στις οποίες η ακρίβεια ικανοποιεί τις εκάστοτε απαιτήσεις.
- Από την σύγκριση των δύο παγκόσμιων μοντέλων γεωειδούς με τα τοπικά μοντέλα που προσδιορίστηκαν έγιναν οι εξής παρατηρήσεις.

Το τοπικό μοντέλο που προσδιορίστηκε με σταθερό το 58 (Λαμπαδάριος) παρουσιάζει μια μέγιστη διαφορά της τάξης των |16|cm από το παγκόσμιο μοντέλο EGM96 και της τάξης των |25|cm από το παγκόσμιο μοντέλο EGM08.

Αντίστοιχα το τοπικό μοντέλο που προσδιορίστηκε με σταθερό το 5 (Γ.Υ.Σ.) παρουσιάζει μια μέγιστη διαφορά της τάξης των |34|cm από το παγκόσμιο μοντέλο EGM96 και της τάξης των |43|cm από το παγκόσμιο μοντέλο EGM08.

Το γεγονός αυτό παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον διότι θεωρητικά θα έπρεπε το παγκόσμιο μοντέλο EGM08 να δίνει αποτελέσματα πιο κοντά στα τοπικά μοντέλα τα οποία βρέθηκαν καθώς πρόκειται για νεότερο μοντέλο με μικρότερη αβεβαιότητα από αυτή του EGM96 (22cm αντί για 37cm).

Επιπλέον παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον το ότι οι τιμές της αποχής N του τοπικού γεωειδούς που υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας τα ορθομετρικά υψόμετρα με σταθερό το 58

(Λαμπαδάριος) είναι πιο κοντά στις τιμές των δύο παγκόσμιων μοντέλων.

- Συγκρίνοντας τα δύο παγκόσμια μοντέλα γεωειδούς EGM96 και EGM08 μεταξύ τους παρατηρήθηκε πως έχουν μια διαφορά της τάξης των $|10| \text{ cm}$.

7.2. Προτάσεις

Από την πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και ύστερα από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων της, προέκυψαν οι παρακάτω προτάσεις:

- Επικαιροποίηση των ορθομετρικών υψομέτρων των υψομετρικών αφετηριών του δικτύου. Στόχος είναι η σύνδεση μιας υψομετρικής αφετηρίας με τον παλιρροιογράφο του Πειραιά για να δοθούν στο δίκτυο ορθομετρικά υψόμετρα με πιο πρόσφατα στοιχεία. Στην παρούσα διπλωματική εργασία τα ορθομετρικά υψόμετρα που χρησιμοποιήθηκαν ανάγονται χρονολογικά είτε στο 1920 είτε στο 1960.

Με αυτό τον τρόπο θα υπήρχε η δυνατότητα προσδιορισμού της αποχής του γεωειδούς N στην περιοχή και η δημιουργία ενός χάρτη με πιο πρόσφατα δεδομένα.

- Πραγματοποίηση της ίδιας διαδικασίας για τον προσδιορισμό της αποχής του γεωειδούς στις υπόλοιπες υψομετρικές αφετηρίες του δικτύου Αθηνών που είχε ιδρυθεί το 1920.
- Διερεύνηση της προσαρμογής μιας άλλης επιφάνειας 2^{ου} ή 3^{ου} βαθμού η οποία πιθανώς θα προσαρμόζεται καλύτερα στη συγκεκριμένη περιοχή.

7.3. Κατανομή εργασιών

Για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας απαιτήθηκαν τόσο εργασίες πεδίου όσο και εργασίες γραφείου.

Οι εργασίες πεδίου αφορούσαν αρχικά την αναγνώριση της περιοχής και τον εντοπισμό των υψομετρικών αφετηριών του δικτύου. Η εν λόγω εργασία διήρκεσε 3 ημέρες, με μέσο όρο εργασίας 4 ώρες την ημέρα.

Έπειτα από αυτό το προκαταρκτικό στάδιο ξεκίνησε ο κύριος όγκος των εργασιών πεδίου, οι οποίες αποτελούνταν από μετρήσεις των βάσεων μεταξύ των κορυφών του δικτύου με GPS αλλά και μετρήσεις των ορθομετρικών υψομετρικών διαφορών μεταξύ των υψομετρικών

αφητηριών και των νέων κορυφών που ιδρύθηκαν με την μέθοδο της γεωμετρικής χωροστάθμησης. Οι μετρήσεις GPS διήρκησαν 2 ημέρες, με μέσο όρο εργασίας 6 ώρες την ημέρα, ενώ οι μετρήσεις της γεωμετρικής χωροστάθμησης διήρκησαν 3 ημέρες, με μέσο όρο 4 ώρες την ημέρα.

Οι εργασίες γραφείου αφορούσαν τόσο την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, την πραγματοποίηση συγκρίσεων και τον σχολιασμό τους, όσο και βιβλιογραφική αναζήτηση πληροφοριών. Σημαντικό στάδιο για την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η συγγραφή του τεύχους. Αυτές οι εργασίες διήρκησαν περίπου 4 μήνες.

Η κατανομή των εργασιών παρουσιάζεται στο σχήμα 7.1.



Σχήμα 7.1 Κατανομή εργασιών διπλωματικής εργασίας

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Αγατζά-Μπαλοδήμου Α.Μ., «Θεωρία Σφαλμάτων και Συνορθώσεις Ι», Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2000.
2. Βέης Γ., Μπιλλήρης Χ. & Παπαζήση Κ., «Κεφάλαια Ανώτερης Γεωδαισίας», Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2007.
3. Γιαννίου Μ., «Χρήση των Υπηρεσιών Μετεπεξεργασίας του HEPOS», Εκδήλωση «HEPOS και Σύγχρονα Γεωδαιτικά Συστήματα Αναφοράς : Θεωρία και Υλοποίηση, Προοπτικές και Εφαρμογές», Παρουσίαση, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη 2008.
4. Γιαννίου Μ.-Μάστορης Δ., «Περιγραφή του HEPOS και των Υπηρεσιών που παρέχει», Εκδήλωση «HEPOS – Ένα Ενιαίο Σύστημα Εντοπισμού για την Ελλάδα – Υλοποίηση, Επιπτώσεις, Προοπτικές», Παρουσίαση, Ε.Μ.Π., Αθήνα 2007.
5. Γκόβα Ε., «Τεκμηρίωση των Υψομετρικών Αφειτηριών του Χωροσταθμικού Δικτύου Αθηνών, Προαστίων και Περιχώρων (1920). Βελτιστοποίηση Δικτύου», Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2007, Διπλωματική Εργασία.
6. Δεληκαράογλου Δ., «Διεθνείς Υπηρεσίες VRS/CORS - RTNets», Εκδήλωση, Εκδήλωση «HEPOS και Σύγχρονα Γεωδαιτικά Συστήματα Αναφοράς : Θεωρία και Υλοποίηση, Προοπτικές και Εφαρμογές», Παρουσίαση, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη 2008.
7. Δεληκαράογλου Δ., «Βιωσιμότητα του HEPOS», Εκδήλωση «HEPOS – Ένα Ενιαίο Σύστημα Εντοπισμού για την Ελλάδα – Υλοποίηση, Επιπτώσεις, Προοπτικές», Παρουσίαση, Ε.Μ.Π., Αθήνα 2007.
8. Ζησόπουλος Α.-Παραδείσης Δ., «Διαφορικός Εντοπισμός DGPS», Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2006.
9. Καλογρίδης Γ.Α., Παπαζήση Κ.Α., Ντζούφρα Β.Χ., Τελείωνη Ε.Χ., «Δυνατότητα Χρήσης Γεωμετρικών Υψομέτρων GPS σε Τρέχουσες Τοπογραφικές Εργασίες», Τεχν. Χρον. Επιστ. Έκδ. ΤΕΕ, Ι, Τεύχος 1-2, 2003.
10. Λαμπαδάριος Δ.Ν., Το Χωροσταθμικόν Δίκτυον Αθηνών, Προαστείων και περιχώρων-Τοπογραφική Υπηρεσία Υπουργείου Συγκοινωνίας, Ιούλιος 1921.
11. Λάμπρου Ε., «Ανάπτυξη Μεθοδολογίας Αστρογεωδαιτικών Προσδιορισμών με Ψηφιακά Γεωδαιτικά Όργανα», Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2003, Διδακτορική Διατριβή.
12. Λάμπρου Ε.-Πανταζής Γ., «Εφαρμοσμένη Γεωδαισία», Εκδόσεις Ζήτη, Αθήνα 2010.

- 13.Μελετίου Μ., «Προσδιορισμός Ορθομετρικών Υψομέτρων με τη Χρήση GPS. Εφαρμογή στο Ανοιχτό Ορυχείο Μαραθούσας στην Μεγαλόπολη», Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2008, Διπλωματική Εργασία.
- 14.Παραδείσης Δ., «Σημειώσεις Δορυφορικής Γεωδαισίας», Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2000.
- 15.Σείδος Γ., «Από το GPS στο Galileo. Μια Συγκριτική Ανάλυση της Γεωμετρικής Απόδοσης των 2 Συστημάτων Δορυφορικού Εντοπισμού στον Ελλαδικό Χώρο», Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2009, Διπλωματική Εργασία.
- 16.Τσακίρη Μ., «Γεωδαισία ΙΙΙ. Σημειώσεις Μαθήματος. Εισαγωγή στο GPS», Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2005.
- 17.Τσακίρη Μ., «Γεωδαισία ΙΙΙ. Σημειώσεις Μαθήματος. Δίκτυα GPS», Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2006.
- 18.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., Αθήνα 2010, Διπλωματική Εργασία.
- 19.Φωτίου Α. – Πικριδάς Χ., «GPS και Γεωδαιτικές Εφαρμογές», Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 2006.
- 20.Φωτίου Α. – Πικριδάς Χ., «Υδρογαία, Τιμητικός Τόμος στον Καθηγητή Χρήστο Τζιμόπουλο», σέλ.491-501, Τ.Α.Τ.Μ., Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη 2009, σέλ.491-501, επιμέλεια έκδοσης Γιανόπουλος Σ.

Ξένη Βιβλιογραφία

1. Delikaraoglou D., «The Hellenic Positioning System (HEPOS) and it's Foreseeable Implications on the Spatial Data Infrastructure in Greece», Proceedings of the FIG Commission 3 Workshop, Athens 2007.
2. Ganas A., Drakatos G., Rontogianni S., Tsimi C., Petrou P., Papanikolaou M., Argyrakis P., Boukouras K., Melis N. and Stavrakakis G., 2008, NOANET: the new permanent GPS network for Geodynamics in Greece, Geodynamics Institute, National Observatory of Athens.
3. Hofmann-Wellenhof B., Linchtenegger H., Wasle E., «GNSS : Global Navigation Satellite Systems – GPS, GLONASS, Galileo, and More», Springer-Verlag, New York 2008.
4. Lambrou E., Pantazis G. «Local Geoid modeling via the Geometric Interpolation Method».
5. Teunissen P.J.G.- Kleusberg A., «GPS for Geodesy», Springer, 2nd Edition, 1998.

Δικτυακοί Τόποι (τελευταία επίσκεψη Ιούνιος 2010)

1. <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm96/egm96.html>
2. <http://cddis.nasa.gov/926/egm96/egm96.html>
3. http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/egm08_wgs84.html
4. <http://www.gps.gov/>
5. <http://navcen.uscg.gov/>
6. <http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>
7. http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html
8. www.leicageosystems.com
9. www.trimble.com
10. <http://www.hepos.gr>
11. <http://igs.cb.jpl.nasa.gov>
12. <http://www.euref-iag.org>
13. <http://www.epncb.oma.be/>
14. <http://www.gein.noa.gr/gps.html>
15. <http://www.rtigs.net/index.php/>
16. http://www.geod.rncan.gc.ca/acp/cacs_e.php
17. <http://mekira.gsi.go.jp/ENGLISH/>
18. <http://www.ga.gov.au/geodesy/argn/>
19. <http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/en/home.html>
20. <http://swepos.lmv.lm.se/>
21. <http://www.geotech.gr/>
22. <http://www.jgc.gr>
23. <http://www.metrica.gr>
24. <http://www.treecomp.gr>
25. <http://www.sakkia.gr>
26. <http://www.civilshop.gr>

DETERMINATION OF THE GEOID UNDULATION AT AN URBAN AREA

ABSTRACT

The present diploma thesis aims to define the geoid height difference ΔN at the centre of Athens. Therefore, measurements were carried out using GPS (Global Positioning System) in a part of the levelling network of Athens, which was established in 1920. The overall work is presented in seven chapters:

- The first chapter refers to some basic concepts such as reference surfaces, particularly focusing on the geoid. The methods developed for determining the geoid surface as well as the models used globally (EGM96 and EGM08) are presented in brief.
- The second chapter refers to the basic specifications of the GPS system, the main reasons for its errors and its use in altimetry. The necessary measurements and the global positioning methods that were followed are presented.
- The third chapter includes a brief presentation of the global permanent networks of fixed reference stations, while the Greek permanent network HEPOS (Hellenic Positioning System) is presented in detail.
- The fourth chapter describes the scope and the historical information concerning the establishment of the Athens levelling network (est.1920). The procedures for re-positioning the 18 permanent benchmarks as well as their orthometric heights, as they were assessed in 2010, are also presented.
- The fifth chapter presents the field-works that were necessary for determining the geometric heights of the 18 permanent benchmarks of the levelling network. The procedure for carrying out the measurements as well as their subsequent study is then analyzed.
- The sixth chapter assesses the local geoid undulation as well as the undulation resulting from the two global geoid models (EGM96 and EGM08). The values of the geoid undulation that was defined by the GPS measurements were compared with the respective values resulting from the global models.

- The seventh and last chapter presents the conclusions obtained after the completion of the present thesis.

The main result was the possibility of carrying out successful measurements using the GPS system in a densely-built urban area such as the centre of Athens, which provides adequate accuracy for most of the topographic activities between 1 and 4 cm.

By using the results of these measurements, namely the geometric heights of the benchmarks, and at the same time knowing their respective orthometric heights, the **geoid undulation** was assessed by the ellipsoid used by the global reference system WGS'84 (GRS'80).

Moreover, the respective undulations of the network points were also found with the use of the two global geoid models EGM96 and EGM08. Finally, the ΔN geoid differences were assessed from the three geoid models; the conclusion was that the local model demonstrates more dramatic changes, while global models tend to level off.

This local model may later be used for turning geometric into orthometric heights, and, as a result, the measurements are not necessary to be carry out by using geometric levelling, but by using the GPS. The latter require less time and provide adequate accuracy of the order of few centimeters.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

ΧΩΡΟΣΤΑΘΜΗΣΕΙΣ

A/A	aller			retour				
	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Τελική Υψομετρική διαφορά (m)	Κλείσιμο (mm)
1	04	0.9901		04'	1.7257		-0.7524	0.6
	04'		1.7422	04		0.9730		
	Υψομετρική διαφορά (m)	-0.7521		Υψομετρική διαφορά (m)	0.7527			
	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Τελική Υψομετρική διαφορά (m)	Κλείσιμο (mm)
2	05	1.0171		05'	1.5296		-0.4519	0.0
	05'		1.4690	05		1.0777		
	Υψομετρική διαφορά (m)	-0.4519		Υψομετρική διαφορά (m)	0.4519			

	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Τελική Υψομετρική διαφορά (m)	Κλείσιμο (mm)
3	06	0.5261		06'	1.5222		-0.9962	0.5
	06'		1.5220	06		0.5258		
	Υψομετρική διαφορά (m)	-0.9959		Υψομετρική διαφορά (m)	0.9964			
Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Τελική Υψομετρική διαφορά (m)	Κλείσιμο (mm)	
4	08	1.1509		08'	1.5584		-0.3913	0.9
	08'		1.5417	08		1.1667		
	Υψομετρική διαφορά (m)	-0.3908		Υψομετρική διαφορά (m)	0.3917			

	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Τελική Υψομετρική διαφορά (m)	Κλείσιμο (mm)
5	56	0.9078		56'	1.5343		-0.6338	0.6
	56'		1.5419	56		0.9008		
	Υψομετρική διαφορά (m)	-0.6341		Υψομετρική διαφορά (m)	0.6335			
Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Τελική Υψομετρική διαφορά (m)	Κλείσιμο (mm)	
6	57	0.5007		57'	1.6634		-1.1478	0.2
	57'		1.6486	57		0.5157		
	Υψομετρική διαφορά (m)	-1.1479		Υψομετρική διαφορά (m)	1.1477			

	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Τελική Υψομετρική διαφορά (m)	Κλείσιμο (mm)
7	58	0.6832		58'	1.5885		-0.8838	0.2
	58'		1.5669	58		0.7046		
	Υψομετρική διαφορά (m)	-0.8837		Υψομετρική διαφορά (m)	0.8839			
	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Τελική Υψομετρική διαφορά (m)	Κλείσιμο (mm)
8	58A	0.6707		58A'	1.5743		-0.8853	0.5
	58A'		1.5557	58A'		0.6888		
	Υψομετρική διαφορά (m)	-0.8850		Υψομετρική διαφορά (m)	0.8855			

	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Τελική Υψομετρική διαφορά (m)	Κλείσιμο (mm)
9	61	1.0895		61'	1.5264		-0.4420	0.2
	61'		1.5316	61		1.0845		
	Υψομετρική διαφορά (m)	-0.4421		Υψομετρική διαφορά (m)	0.4419			
	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Τελική Υψομετρική διαφορά (m)	Κλείσιμο (mm)
10	68	0.6800		68'	0.9895		3.0420	0.4
	1	2.8452	0.9334	3	0.4496	1.9316		
	2	1.8466	0.3469	4	0.7698	2.4157		
	68'		1.0497	68		0.9038		
	Υψομετρική διαφορά (m)	3.0418		Υψομετρική διαφορά (m)	-3.0422			

	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Τελική Υψομετρική διαφορά (m)	Κλείσιμο (mm)
11	86	2.6944		86'	0.6812		2.0956	0.2
	86'		0.5989	86		2.7769		
	Υψομετρική διαφορά (m)	2.0955		Υψομετρική διαφορά (m)	-2.0957			
	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Τελική Υψομετρική διαφορά (m)	Κλείσιμο (mm)
12	87	0.0707		87'	1.8321		-1.7789	0.1
	87'		1.8495	87		0.0532		
	Υψομετρική διαφορά (m)	-1.7788		Υψομετρική διαφορά (m)	1.7789			

	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Τελική Υψομετρική διαφορά (m)	Κλείσιμο (mm)
13	133'	2.0001		133	0.3884		-1.6087	0.5
	133		0.3912	133'		1.9968		
	Υψομετρική διαφορά (m)	1.6089		Υψομετρική διαφορά (m)	-1.6084			
	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Τελική Υψομετρική διαφορά (m)	Κλείσιμο (mm)
14	141	1.3498		141'	1.1678		0.1709	0.0
	141'		1.1789	141		1.3387		
	Υψομετρική διαφορά (m)	0.1709		Υψομετρική διαφορά (m)	-0.1709			

	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Τελική Υψομετρική διαφορά (m)	Κλείσιμο (mm)
15	143	0.6887		143'	1.3611		-0.6914	0.1
	143'		1.3800	143		0.6697		
	Υψομετρική διαφορά (m)	-0.6913		Υψομετρική διαφορά (m)	0.6914			
	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Τελική Υψομετρική διαφορά (m)	Κλείσιμο (mm)
16	144	1.0616		144'	1.5500		-0.4745	0.0
	144'		1.5361	144		1.0755		
	Υψομετρική διαφορά (m)	-0.4745		Υψομετρική διαφορά (m)	0.4745			

	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Τελική Υψομετρική διαφορά (m)	Κλείσιμο (mm)
17	150	0.6147		150'	1.4843		-0.9179	0.2
	150'		1.5327	150		0.5665		
	Υψομετρική διαφορά (m)	-0.9180		Υψομετρική διαφορά (m)	0.9178			
	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Τελική Υψομετρική διαφορά (m)	Κλείσιμο (mm)
18	160	1.1427		160'	1.3245		-0.1605	0.7
	160'		1.3028	160		1.1637		
	Υψομετρική διαφορά (m)	-0.1601		Υψομετρική διαφορά (m)	0.1608			

	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Τελική Υψομετρική διαφορά (m)	Κλείσιμο (mm)
19	87	0.0453		68	0.964		-8.6746	1.6
	1	1.1693	1.9591	1	2.5322	0.6535		
	2	0.423	1.9533	2	2.2184	0.4095		
	3	0.7999	2.8773	3	2.9426	0.1059		
	4	0.3323	2.3926	4	1.8122	0.9922		
	5	1.3515	2.8687	5	1.7476	1.294		
	68		0.7441	87		0.0865		
	Υψομετρική διαφορά (m)	-8.6738		Υψομετρική διαφορά (m)	8.6754			
	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Τελική Υψομετρική διαφορά (m)	Κλείσιμο (mm)
20	141	1.5614		144	0.9805		7.3278	1.4
	10	2.3686	0.8481	1	0.0935	1.8293		
	11	2.3995	0.0177	2	0.6179	1.4578		
	12	1.9242	0.1616	3	0.3179	1.9206		
	13	1.6254	1.1668	4	0.7255	3.0054		
	14	1.4117	1.019	141		1.8507		
	15	1.3821	1.178					
	144		0.9546					
	Υψομετρική διαφορά (m)	7.3271		Υψομετρική διαφορά (m)	-7.3285			

	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Κωδικός σημείου	ΟΠΙΣΘΕΝ (m)	ΕΜΠΡΟΣΘΕΝ (m)	Τελική Υψομετρική διαφορά (m)	Κλείσιμο (mm)
21	150	0.5806		144	1.1653		-8.3540	3.1
	1	1.5299	1.5697	1	2.0055	1.0983		
	2	1.9878	1.311	2	1.9819	0.5923		
	3	1.3057	1.776	3	2.3034	0.6272		
	4	1.6565	2.267	4	2.3396	0.3113		
	5	1.3186	1.8564	5	0.621	1.1818		
	6	1.8311	2.0759	6	1.2346	1.6337		
	7	1.8047	1.6606	7	1.3064	1.2987		
	8	0.9748	2.0219	8	1.514	1.1576		
	9	1.5994	1.7151	9	1.8334	1.3892		
	10	1.6555	1.8714	10	0.9098	0.504		
	11	1.6737	1.7999	11	1.7277	1.3366		
	12	1.5184	1.5467	12	1.5093	0.9311		
	13	2.1118	1.1149	13	1.7603	0.9132		
	14	0.6228	1.5224	14	0.667	1.0536		
	15	0.643	2.1602	15	1.127	1.2356		
	16	0.6901	2.3293	150		0.3865		
	17	0.8174	1.9543					
	18	0.9588	1.8907					
	144		1.1896					
	Υψομετρική διαφορά (m)	-8.3524		Υψομετρική διαφορά (m)	8.3555			

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2
BASELINE SUMMARY AND
TRACKING SUMMARY (TG
OFFICE)

Baseline Summary B7 (098A to 04)-ΒΟΗΘΗΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ

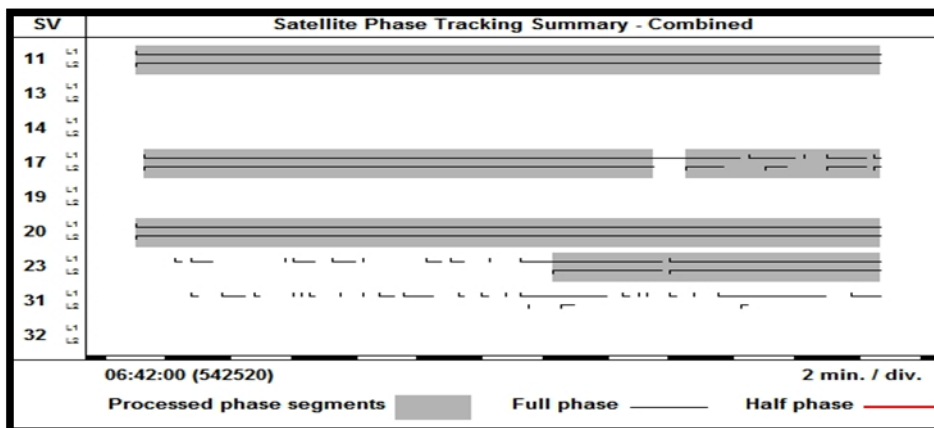
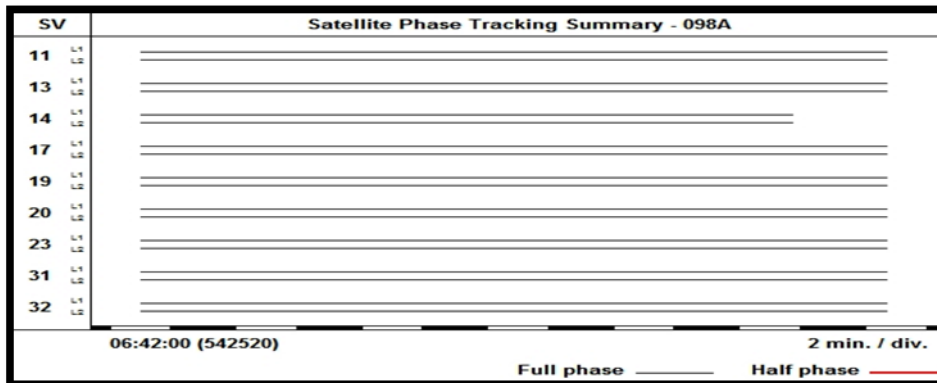
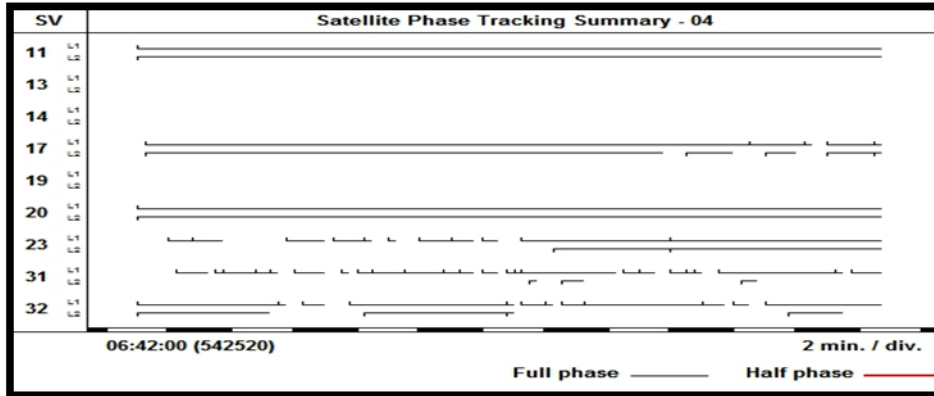
Processed:	Δευτέρα, Σεπ 20, 2010 09:32:50μμ	
Solution type:	Iono free fixed	
Solution acceptability:	Multiple failures	
Ephemeris used:	Broadcast	
Met Data:	Standard	
Baseline slope distance:	6927,358m	
Elevation mask:	13 degrees	
Variance ratio:	2,4	
Reference variance:	7,455	
RMS:	0,029m	
Horizontal Precision 1-sigma (scaled):	0,094m	
Vertical Precision 1-sigma (scaled):	0,104m	
Start time (GPS Time):	10/05/08, 06:43:00.000	1582, 542580,000
Stop time (GPS Time):	10/05/08, 07:06:45.000	1582, 544005,000
Occupation time:	00:23:45.000	

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4206385,358m	Latitude	38°00'17,88579"N	Latitude	38°00'27,22188"N
Easting	482571,321m	Longitude	23°48'05,30092"E	Longitude	23°48'11,40980"E
Elevation	206,574m	Height	216,805m	Height	245,367m
To:	04				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4203707,775m	Latitude	37°58'50,48632"N	Latitude	37°58'59,82701"N
Easting	476186,877m	Longitude	23°43'43,82076"E	Longitude	23°43'49,91951"E
Elevation	73,770m	Height	84,014m	Height	112,305m
Baseline:					
Δ Northing	-2677,583m	NS Fwd Azimuth	247°07'31"	Δ X	3993,580m
Δ Easting	-6384,444m	Ell. Distance	6925,920m	Δ Y	-5213,014m
Δ Elevation	-132,804m	Δ Height	-133,062m	Δ Z	-2205,469m

Standard Errors

Baseline Errors:					
$\sigma \Delta$ Northing	0,009m	σ NS Fwd Azimuth	0,294 seconds	$\sigma \Delta X$	0,043m
$\sigma \Delta$ Easting	0,034m	σ Ell.Distance	0,034m	$\sigma \Delta Y$	0,019m
$\sigma \Delta$ Elevation	0,038m	$\sigma \Delta$ Height	0,038m	$\sigma \Delta Z$	0,021m



Νέα κορυφή 4'

Baseline Summary B8 (098A to 05))-ΒΟΗΘΗΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ

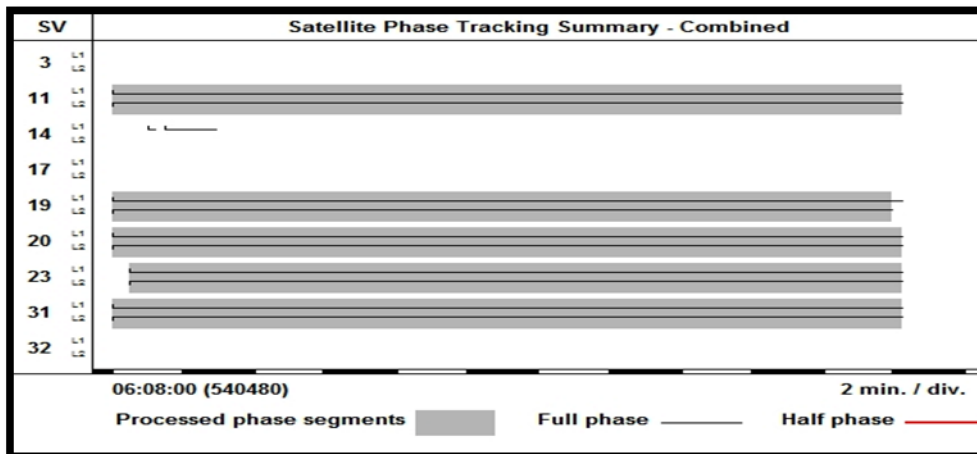
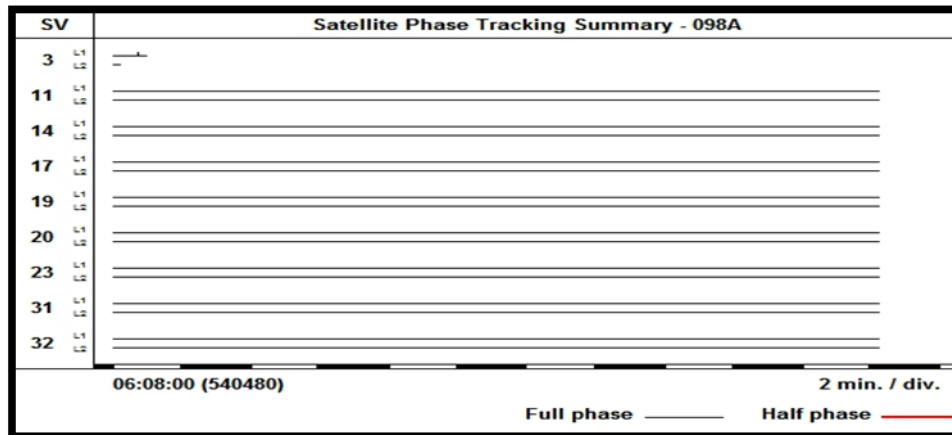
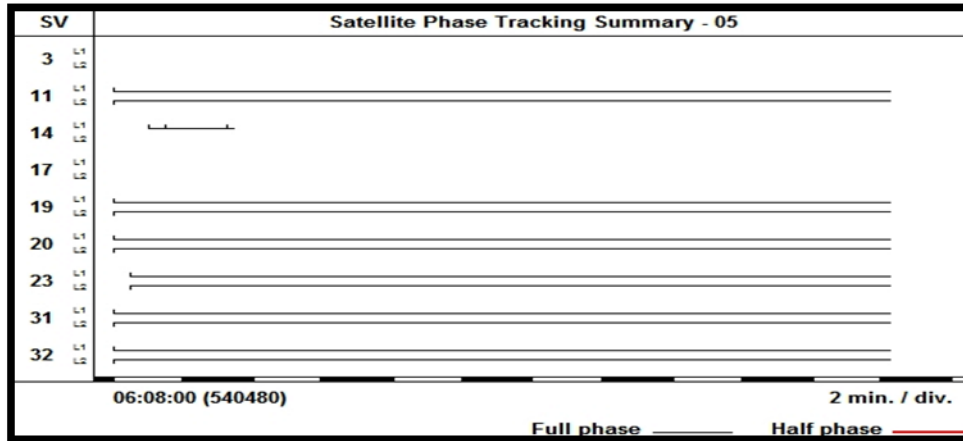
Processed: Δευτέρα, Σεπ 20, 2010 09:32:50μμ
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: Solution acceptable
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 6836,858m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 6,9
Reference variance: 1,829
RMS: 0,017m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0,006m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0,009m
Start time (GPS Time): 10/05/08, 06:08:00.000 1582, 540480,000
Stop time (GPS Time): 10/05/08, 06:30:15.000 1582, 541815,000
Occupation time: 00:22:15.000

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4206385,358m	Latitude	38°00'17,88579"N	Latitude	38°00'27,22188"N
Easting	482571,321m	Longitude	23°48'05,30092"E	Longitude	23°48'11,40980"E
Elevation	206,574m	Height	216,805m	Height	245,367m
To:	05				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4203445,156m	Latitude	37°58'41,98574"N	Latitude	37°58'51,32632"N
Easting	476403,340m	Longitude	23°43'52,72511"E	Longitude	23°43'58,82392"E
Elevation	85,211m	Height	95,462m	Height	123,746m
Baseline:					
Δ Northing	-2940,202m	NS Fwd Azimuth	244°23'29"	Δ X	4062,041m
Δ Easting	-6167,981m	Ell. Distance	6835,612m	Δ Y	-4945,538m
Δ Elevation	-121,363m	Δ Height	-121,621m	Δ Z	-2405,016m

Standard Errors

Baseline Errors:					
$\sigma \Delta$ Northing	0,004m	σ NS Fwd Azimuth	0,109 seconds	$\sigma \Delta X$	0,007m
$\sigma \Delta$ Easting	0,003m	σ Ell.Distance	0,003m	$\sigma \Delta Y$	0,004m
$\sigma \Delta$ Elevation	0,007m	$\sigma \Delta$ Height	0,007m	$\sigma \Delta Z$	0,003m



Νέα κορυφή 5'

Baseline Summary B9 (098A to 06))-ΒΟΗΘΗΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ

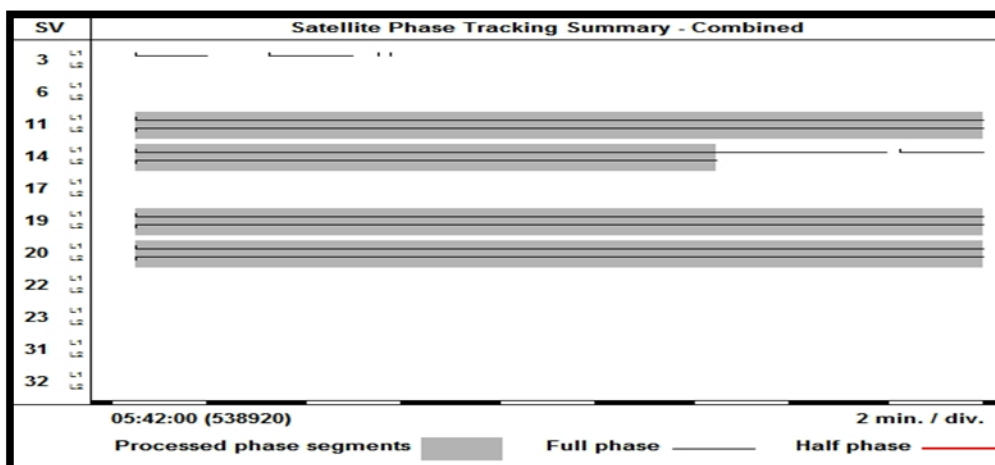
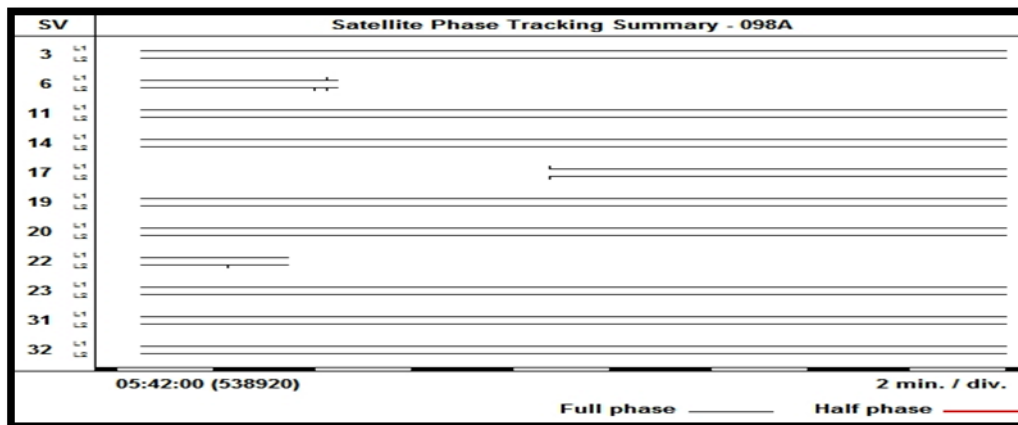
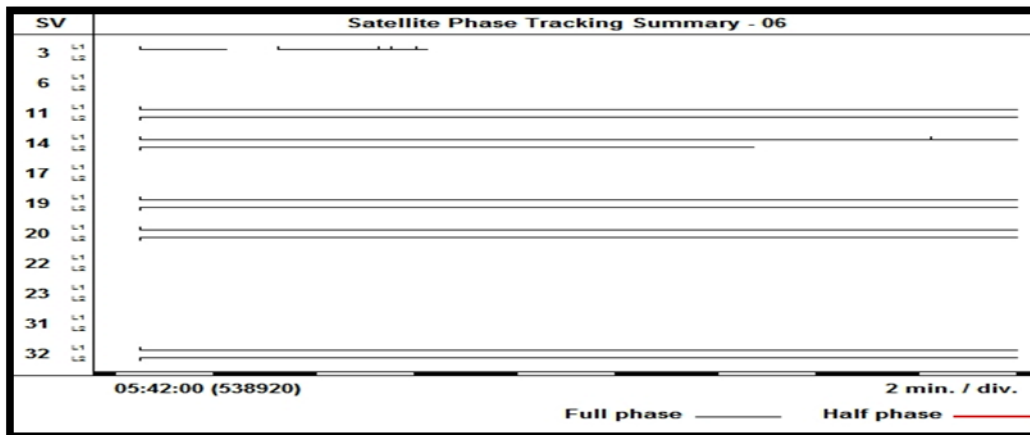
Processed: Δευτέρα, Σεπ 20, 2010 09:32:50μμ
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: Solution acceptable
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 6821,708m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 6,1
Reference variance: 1,335
RMS: 0,012m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0,003m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0,010m
Start time (GPS Time): 10/05/08, 05:42:30.000 1582, 538950,000
Stop time (GPS Time): 10/05/08, 06:00:00.000 1582, 540000,000
Occupation time: 00:17:30.000

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4206385,358m	Latitude	38°00'17,88579"N	Latitude	38°00'27,22188"N
Easting	482571,321m	Longitude	23°48'05,30092"E	Longitude	23°48'11,40980"E
Elevation	206,574m	Height	216,805m	Height	245,367m
To:	06				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4203310,802m	Latitude	37°58'37,63422"N	Latitude	37°58'46,97476"N
Easting	476486,126m	Longitude	23°43'56,13442"E	Longitude	23°44'02,23322"E
Elevation	87,202m	Height	97,456m	Height	125,735m
Baseline:					
Δ Northing	-3074,556m	NS Fwd Azimuth	243°04'22"	Δ X	4105,573m
Δ Easting	-6085,195m	Ell. Distance	6820,494m	Δ Y	-4835,508m
Δ Elevation	-119,372m	Δ Height	-119,631m	Δ Z	-2509,548m

Standard Errors

Baseline Errors:					
$\sigma \Delta$ Northing	0,002m	σ NS Fwd Azimuth	0,079 seconds	$\sigma \Delta X$	0,007m
$\sigma \Delta$ Easting	0,003m	σ Ell.Distance	0,003m	$\sigma \Delta Y$	0,004m
$\sigma \Delta$ Elevation	0,009m	$\sigma \Delta$ Height	0,009m	$\sigma \Delta Z$	0,005m



Νέα κορυφή 6'

Baseline Summary B10 (098A to 08)-ΒΟΗΘΗΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ

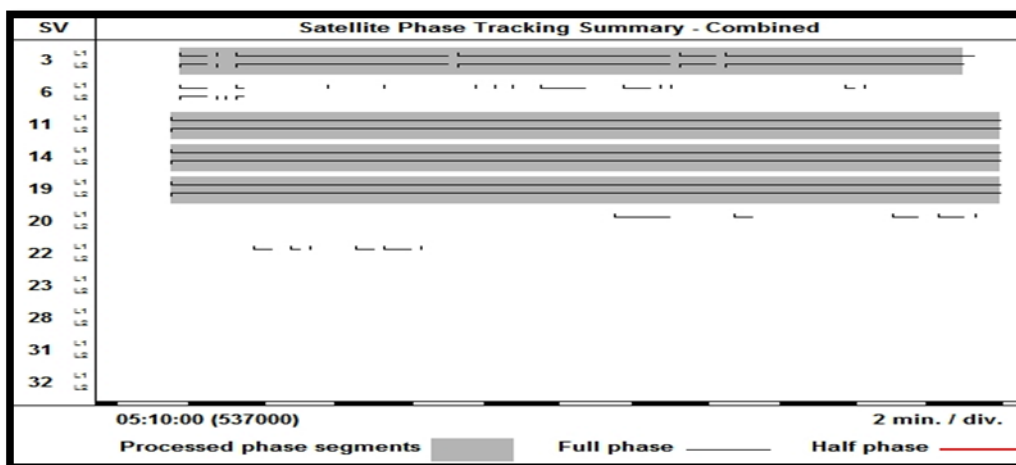
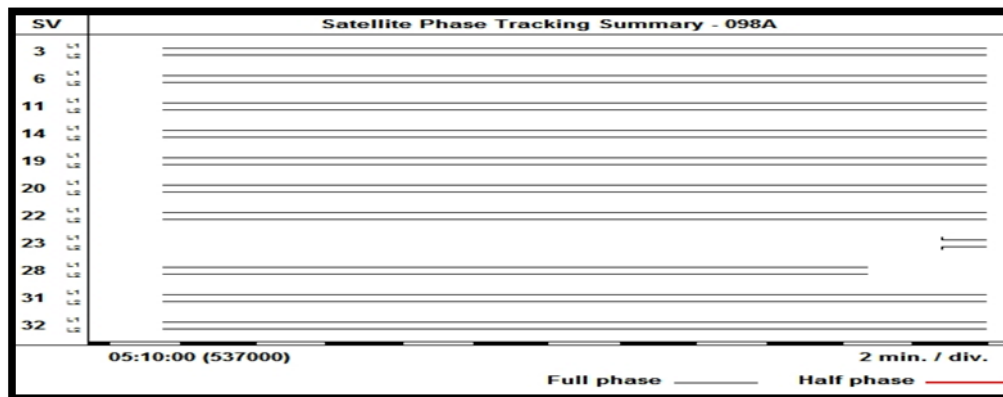
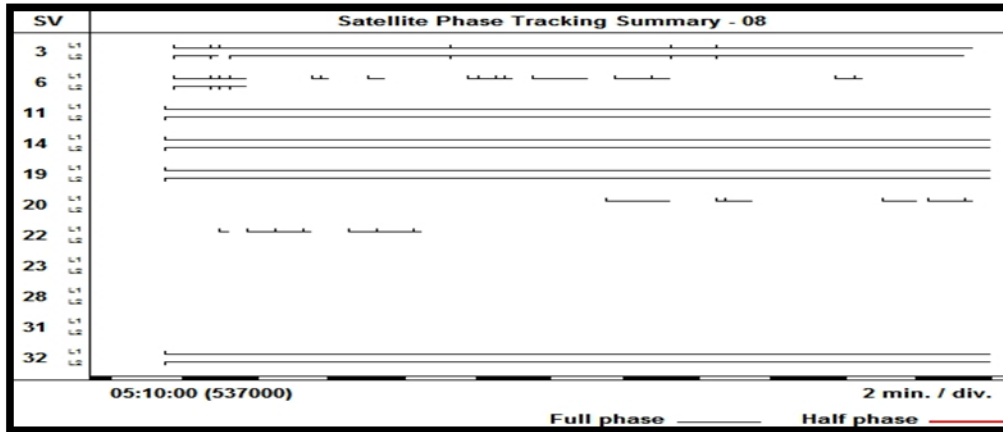
Processed: Δευτέρα, Σεπ 20, 2010 09:32:50μμ
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: High RMS
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 6818,475m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 9,4
Reference variance: 3,936
RMS: 0,024m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0,008m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0,037m
Start time (GPS Time): 10/05/08, 05:11:30.000 1582, 537090,000
Stop time (GPS Time): 10/05/08, 05:34:00.000 1582, 538440,000
Occupation time: 00:22:30.000

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4206385,358m	Latitude	38°00'17,88579"N	Latitude	38°00'27,22188"N
Easting	482571,321m	Longitude	23°48'05,30092"E	Longitude	23°48'11,40980"E
Elevation	206,574m	Height	216,805m	Height	245,367m
To:	08				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4203077,231m	Latitude	37°58'30,06759"N	Latitude	37°58'39,40808"N
Easting	476613,506m	Longitude	23°44'01,38313"E	Longitude	23°44'07,48191"E
Elevation	90,864m	Height	101,122m	Height	129,395m
Baseline:					
Δ Northing	-3308,127m	NS Fwd Azimuth	240°50'11"	Δ X	4188,078m
Δ Easting	-5957,815m	Ell. Distance	6817,322m	Δ Y	-4659,299m
Δ Elevation	-115,711m	Δ Height	-115,972m	Δ Z	-2691,195m

Standard Errors

Baseline Errors:					
$\sigma \Delta$ Northing	0,003m	σ NS Fwd Azimuth	0,112 seconds	$\sigma \Delta X$	0,013m
$\sigma \Delta$ Easting	0,004m	σ Ell.Distance	0,004m	$\sigma \Delta Y$	0,009m
$\sigma \Delta$ Elevation	0,019m	$\sigma \Delta$ Height	0,019m	$\sigma \Delta Z$	0,011m



Νέα κορυφή 8'

Baseline Summary B14 (098A to 150))-ΒΟΗΘΗΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ

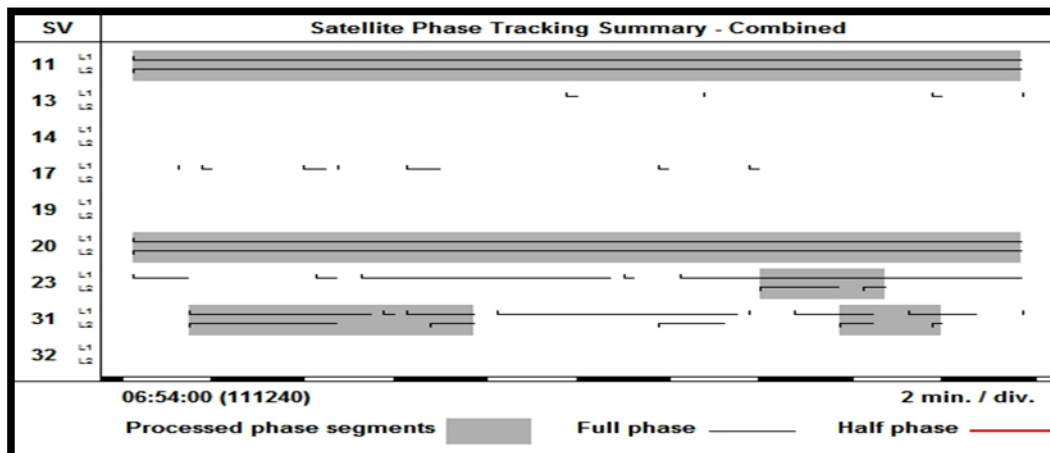
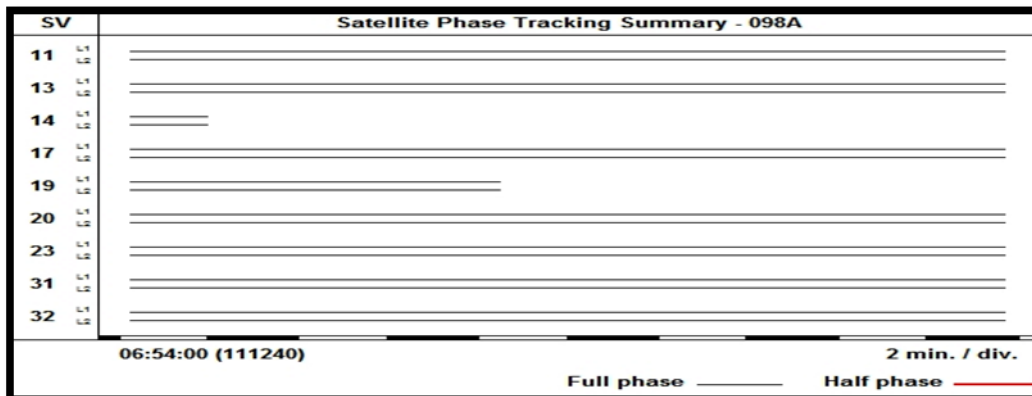
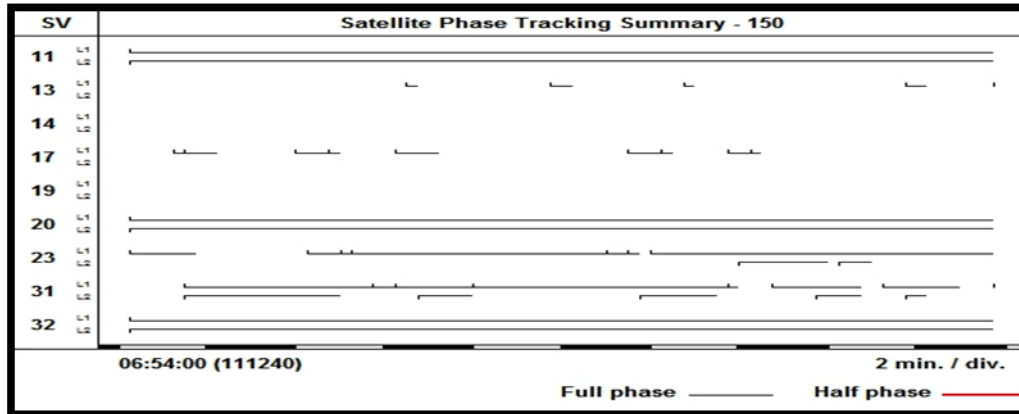
Processed:	Δευτέρα, Σεπ 20, 2010 09:32:50μμ	
Solution type:	Iono free float	
Solution acceptability:	High reference variance	
Ephemeris used:	Broadcast	
Met Data:	Standard	
Baseline slope distance:	5823,848m	
Elevation mask:	13 degrees	
Variance ratio:	11,8	
Reference variance:	5,407	
RMS:	0,018m	
Horizontal Precision 1-sigma (scaled):	1,509m	
Vertical Precision 1-sigma (scaled):	2,212m	
Start time (GPS Time):	10/05/10, 06:54:15.000	1583, 111255,000
Stop time (GPS Time):	10/05/10, 07:13:45.000	1583, 112425,000
Occupation time:	00:19:30.000	

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4206385,358m	Latitude	38°00'17,88579"N	Latitude	38°00'27,22188"N
Easting	482571,321m	Longitude	23°48'05,30092"E	Longitude	23°48'11,40980"E
Elevation	206,574m	Height	216,805m	Height	245,367m
To:	150				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4206140,461m	Latitude	38°00'09,47033"N	Latitude	38°00'18,81025"N
Easting	476755,917m	Longitude	23°44'06,86353"E	Longitude	23°44'12,96490"E
Elevation	107,860m	Height	118,061m	Height	146,475m
Baseline:					
Δ Northing	-244,897m	NS Fwd Azimuth	267°27'59"	Δ X	2419,575m
Δ Easting	-5815,404m	Ell. Distance	5822,857m	Δ Y	-5290,794m
Δ Elevation	-98,714m	Δ Height	-98,892m	Δ Z	-265,252m

Standard Errors

Baseline Errors:					
$\sigma \Delta$ Northing	0,312m	σ NS Fwd Azimuth	10,959 seconds	$\sigma \Delta X$	1,016m
$\sigma \Delta$ Easting	0,648m	σ Ell.Distance	0,649m	$\sigma \Delta Y$	0,427m
$\sigma \Delta$ Elevation	0,951m	$\sigma \Delta$ Height	0,951m	$\sigma \Delta Z$	0,455m



Νέα κορυφή 150'

Baseline Summary B15 (098A to 160)-ΒΟΗΘΗΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ

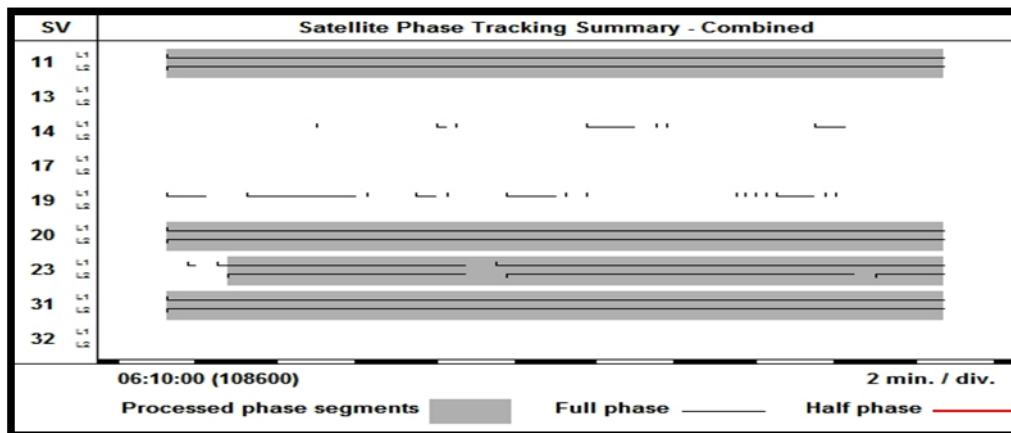
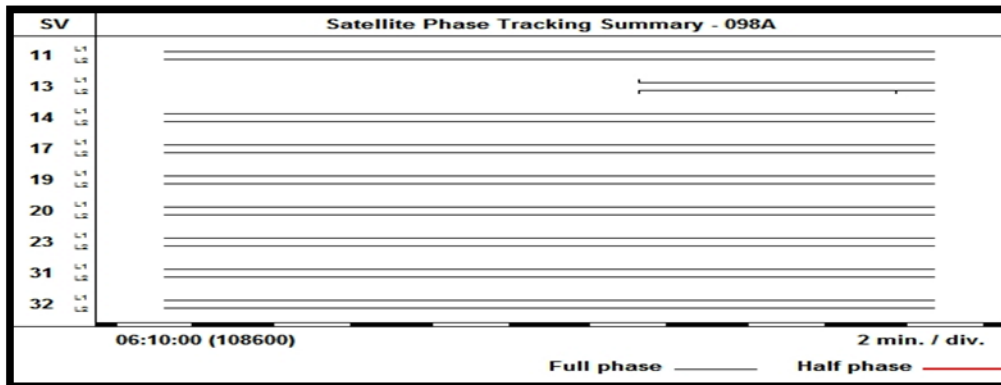
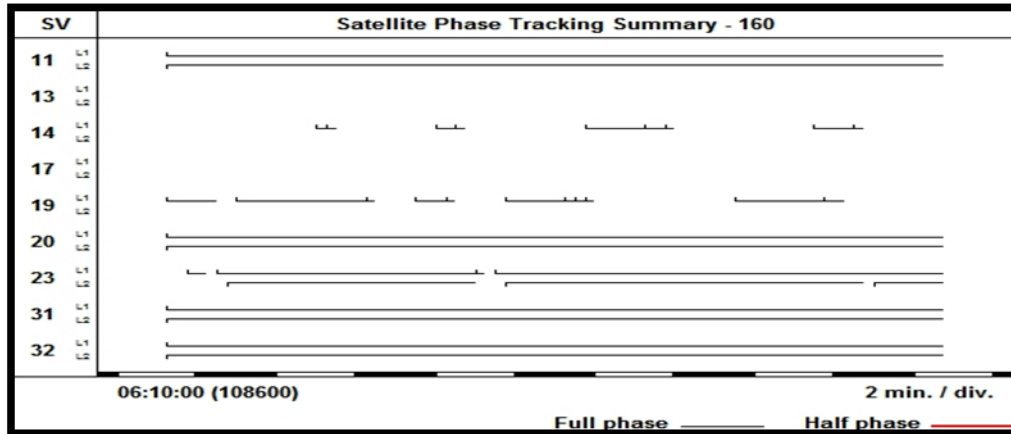
Processed: Δευτέρα, Σεπ 20, 2010 09:32:50μμ
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: High RMS
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 5827,490m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 4,3
Reference variance: 4,568
RMS: 0,025m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0,018m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0,024m
Start time (GPS Time): 10/05/10, 06:11:15.000 1583, 108675,000
Stop time (GPS Time): 10/05/10, 06:30:45.000 1583, 109845,000
Occupation time: 00:19:30.000

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4206385,358m	Latitude	38°00'17,88579"N	Latitude	38°00'27,22188"N
Easting	482571,321m	Longitude	23°48'05,30092"E	Longitude	23°48'11,40980"E
Elevation	206,574m	Height	216,805m	Height	245,367m
To:	160				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4205010,334m	Latitude	37°59'32,81660"N	Latitude	37°59'42,15660"N
Easting	476911,908m	Longitude	23°44'13,39066"E	Longitude	23°44'19,49134"E
Elevation	99,635m	Height	109,858m	Height	138,225m
Baseline:					
Δ Northing	-1375,024m	NS Fwd Azimuth	256°13'18"	Δ X	2986,445m
Δ Easting	-5659,413m	Ell. Distance	5826,358m	Δ Y	-4867,557m
Δ Elevation	-106,939m	Δ Height	-107,142m	Δ Z	-1160,895m

Standard Errors

Baseline Errors:					
$\sigma \Delta$ Northing	0,008m	σ NS Fwd Azimuth	0,273 seconds	$\sigma \Delta X$	0,010m
$\sigma \Delta$ Easting	0,004m	σ Ell.Distance	0,005m	$\sigma \Delta Y$	0,006m
$\sigma \Delta$ Elevation	0,011m	$\sigma \Delta$ Height	0,011m	$\sigma \Delta Z$	0,008m



Νέα κορυφή 160'

Baseline Summary B1 (098A to 56))-ΒΟΗΘΗΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ

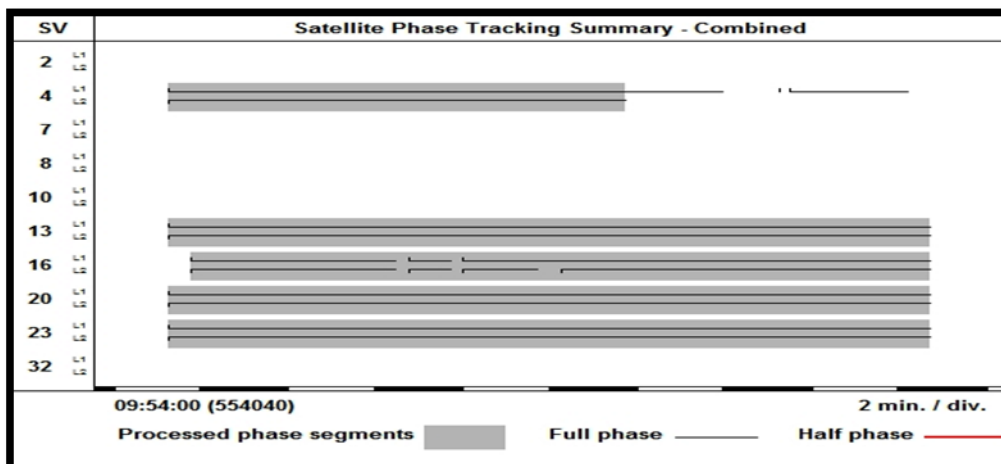
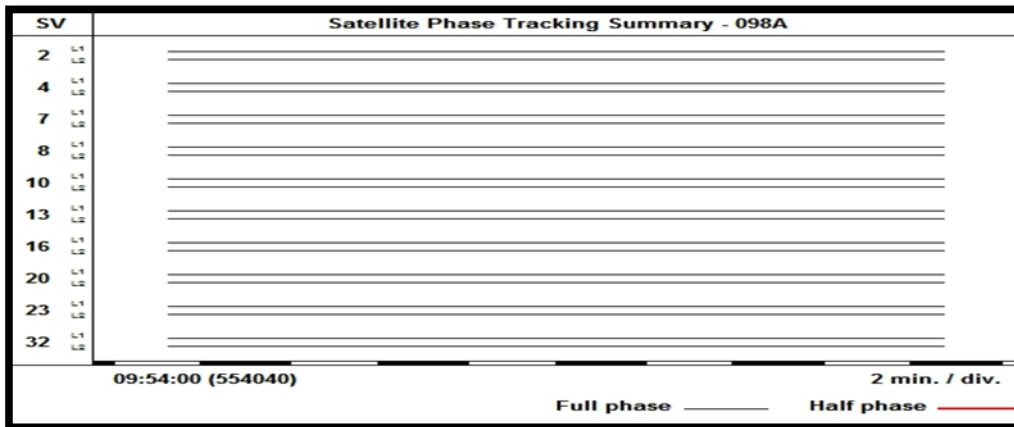
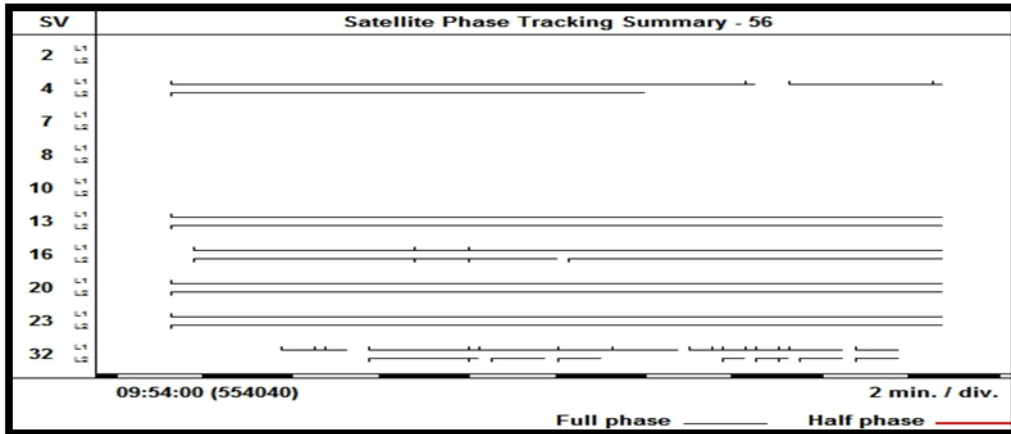
Processed:	Δευτέρα, Μαΐ 17, 2010 10:31:38πμ	
Solution type:	Iono free fixed	
Solution acceptability:	Multiple failures	
Ephemeris used:	Broadcast	
Met Data:	Standard	
Baseline slope distance:	6573,370m	
Elevation mask:	13 degrees	
Variance ratio:	3,7	
Reference variance:	8,826	
RMS:	0,041m	
Horizontal Precision 1-sigma (scaled):	0,028m	
Vertical Precision 1-sigma (scaled):	0,068m	
Start time (GPS Time):	10/05/08, 09:55:15.000	1582, 554115,000
Stop time (GPS Time):	10/05/08, 10:12:45.000	1582, 555165,000
Occupation time:	00:17:30.000	

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4206385,643m	Latitude	38°00'17,89506"N	Latitude	38°00'27,23114"N
Easting	482571,424m	Longitude	23°48'05,30510"E	Longitude	23°48'11,41398"E
Elevation	207,360m	Height	217,591m	Height	246,153m
To:	56				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4204637,957m	Latitude	37°59'20,67188"N	Latitude	37°59'30,01240"N
Easting	476238,858m	Longitude	23°43'45,84076"E	Longitude	23°43'51,94030"E
Elevation	76,052m	Height	86,278m	Height	114,612m
Baseline:					
Δ Northing	-1747,686m	NS Fwd Azimuth	254°26'57"	Δ X	3450,634m
Δ Easting	-6332,565m	Ell. Distance	6571,900m	Δ Y	-5397,944m
Δ Elevation	-131,308m	Δ Height	-131,541m	Δ Z	-1471,230m

Standard Errors

Baseline Errors:					
$\sigma \Delta$ Northing	0,009m	σ NS Fwd Azimuth	0,285 seconds	$\sigma \Delta X$	0,019m
$\sigma \Delta$ Easting	0,006m	σ Ell.Distance	0,006m	$\sigma \Delta Y$	0,011m
$\sigma \Delta$ Elevation	0,023m	$\sigma \Delta$ Height	0,023m	$\sigma \Delta Z$	0,012m



Νέα κορυφή 56'

Baseline Summary B2 (098A to 57))-ΒΟΗΘΗΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ

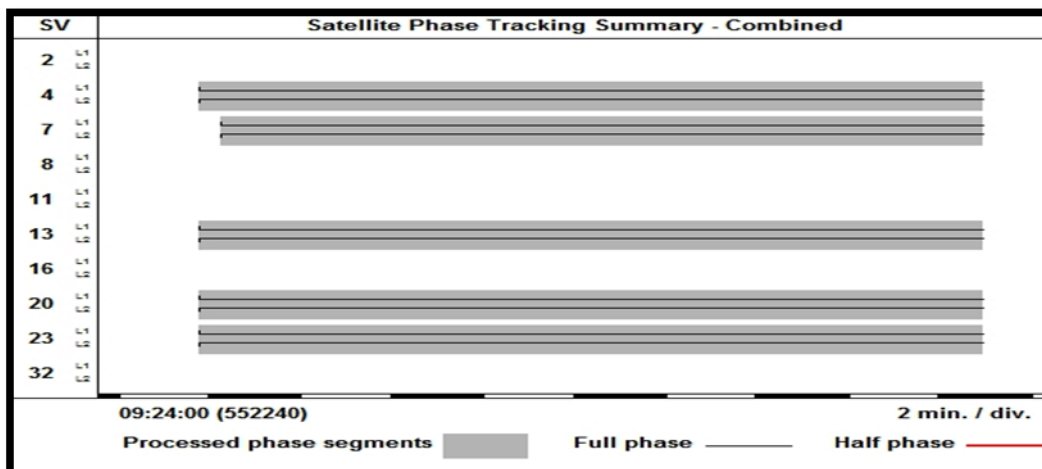
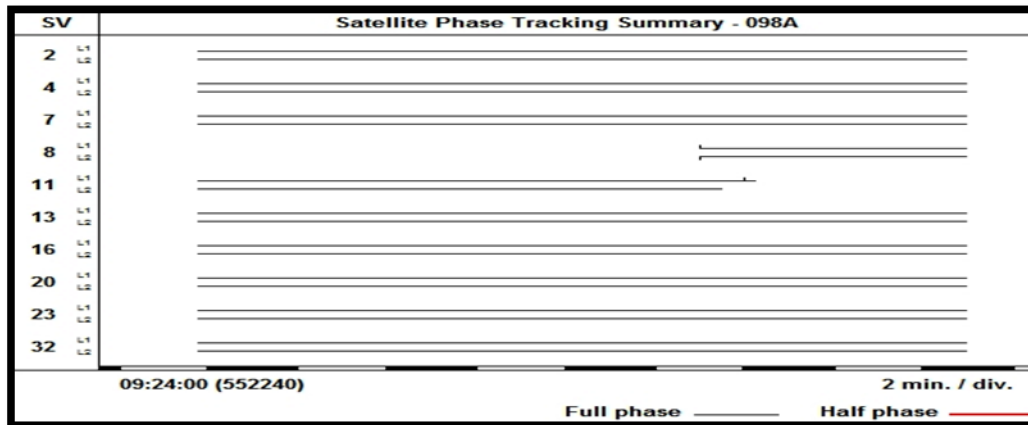
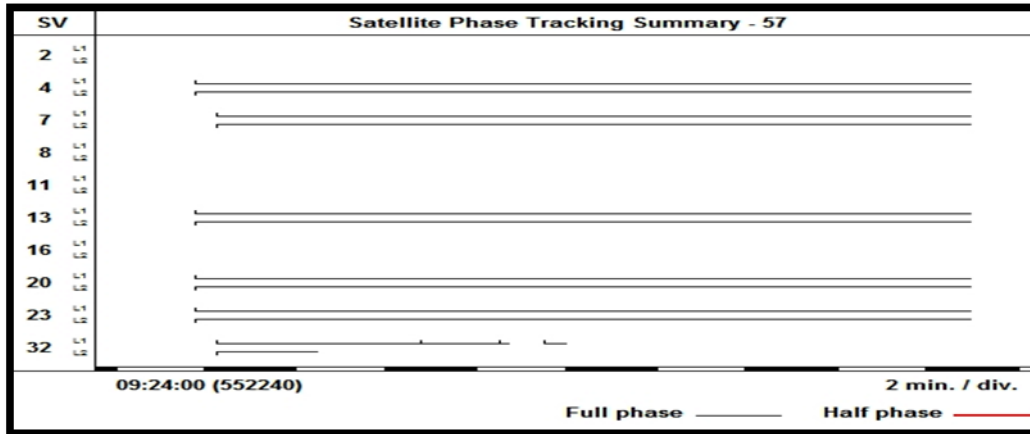
Processed: Δευτέρα, Σεπ 20, 2010 09:32:50μμ
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: Solution acceptable
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 6592,660m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 19,4
Reference variance: 1,072
RMS: 0,009m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0,003m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0,010m
Start time (GPS Time): 10/05/08, 09:25:45.000 1582, 552345,000
Stop time (GPS Time): 10/05/08, 09:43:00.000 1582, 553380,000
Occupation time: 00:17:15.000

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4206385,358m	Latitude	38°00'17,88579"N	Latitude	38°00'27,22188"N
Easting	482571,321m	Longitude	23°48'05,30092"E	Longitude	23°48'11,40980"E
Elevation	206,574m	Height	216,805m	Height	245,367m
To:	57				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4204376,360m	Latitude	37°59'12,18956"N	Latitude	37°59'21,53008"N
Easting	476296,504m	Longitude	23°43'48,23517"E	Longitude	23°43'54,33458"E
Elevation	74,580m	Height	84,812m	Height	113,135m
Baseline:					
Δ Northing	-2008,997m	NS Fwd Azimuth	252°07'28"	Δ X	3573,791m
Δ Easting	-6274,817m	Ell. Distance	6591,181m	Δ Y	-5279,869m
Δ Elevation	-131,994m	Δ Height	-132,231m	Δ Z	-1677,548m

Standard Errors

Baseline Errors:					
$\sigma \Delta$ Northing	0,003m	σ NS Fwd Azimuth	0,088 seconds	$\sigma \Delta X$	0,009m
$\sigma \Delta$ Easting	0,002m	σ Ell.Distance	0,002m	$\sigma \Delta Y$	0,003m
$\sigma \Delta$ Elevation	0,010m	$\sigma \Delta$ Height	0,010m	$\sigma \Delta Z$	0,004m



Νέα κορυφή 57'

Baseline Summary B3 (098A to 58))-ΒΟΗΘΗΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ

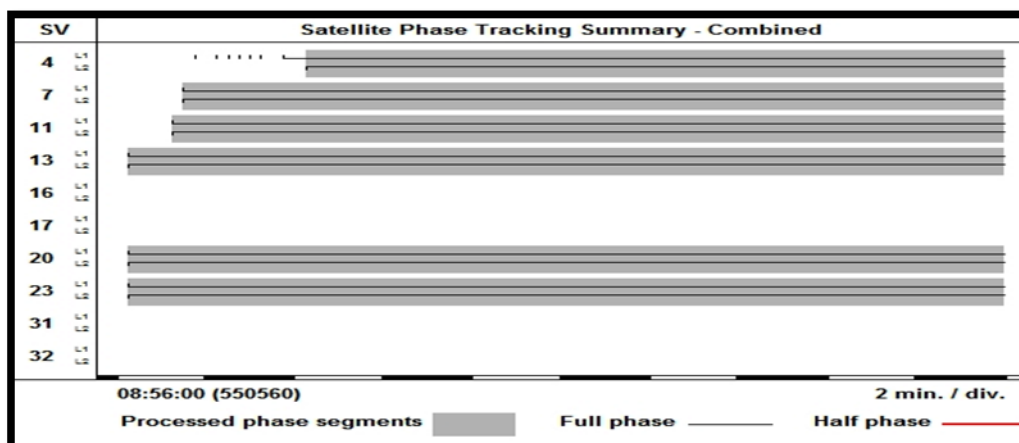
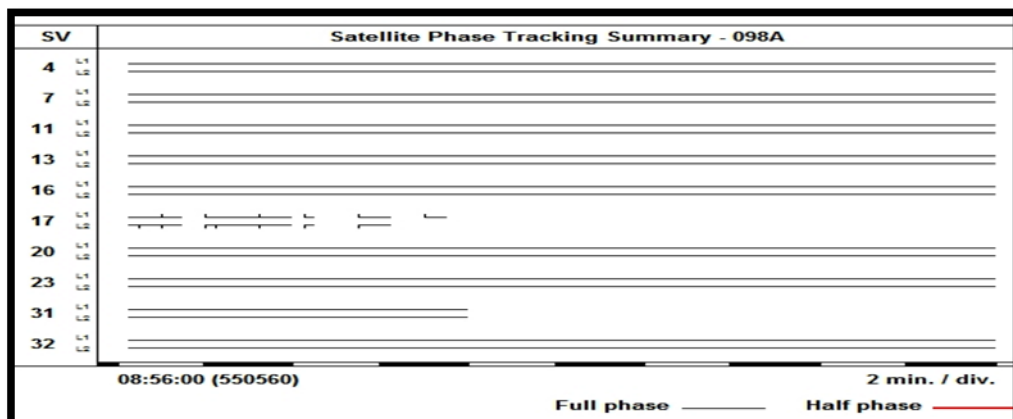
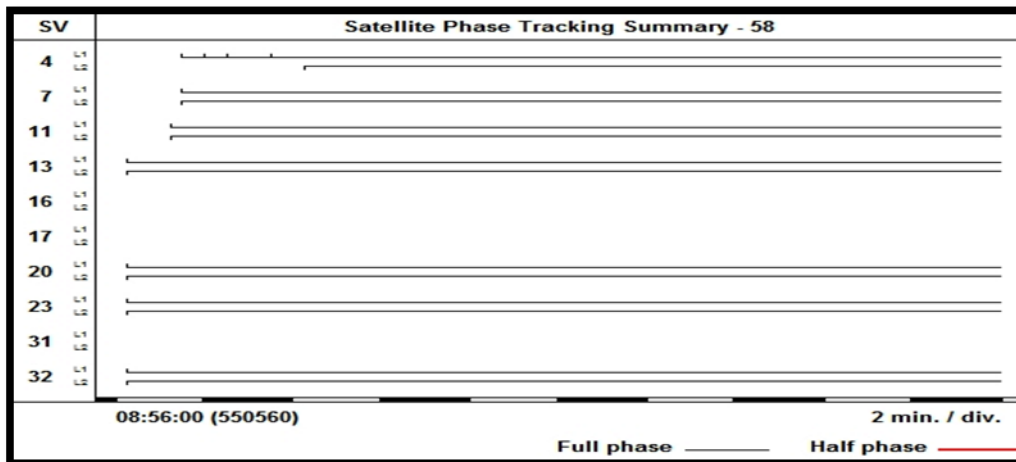
Processed: Δευτέρα, Σεπ 20, 2010 09:32:50μμ
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: Solution acceptable
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 6695,588m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 13,5
Reference variance: 2,927
RMS: 0,019m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0,010m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0,018m
Start time (GPS Time): 10/05/08, 08:56:15.000 1582, 550575,000
Stop time (GPS Time): 10/05/08, 09:16:00.000 1582, 551760,000
Occupation time: 00:19:45.000

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4206385,358m	Latitude	38°00'17,88579"N	Latitude	38°00'27,22188"N
Easting	482571,321m	Longitude	23°48'05,30092"E	Longitude	23°48'11,40980"E
Elevation	206,574m	Height	216,805m	Height	245,367m
To:	58				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4204236,951m	Latitude	37°59'07,66043"N	Latitude	37°59'17,00102"N
Easting	476234,201m	Longitude	23°43'45,69760"E	Longitude	23°43'51,79683"E
Elevation	69,812m	Height	80,046m	Height	108,362m
Baseline:					
Δ Northing	-2148,407m	NS Fwd Azimuth	251°09'01"	Δ X	3673,952m
Δ Easting	-6337,120m	Ell. Distance	6694,034m	Δ Y	-5303,482m
Δ Elevation	-136,762m	Δ Height	-137,005m	Δ Z	-1790,544m

Standard Errors

Baseline Errors:					
$\sigma \Delta$ Northing	0,005m	σ NS Fwd Azimuth	0,147 seconds	$\sigma \Delta X$	0,011m
$\sigma \Delta$ Easting	0,003m	σ Ell.Distance	0,004m	$\sigma \Delta Y$	0,004m
$\sigma \Delta$ Elevation	0,011m	$\sigma \Delta$ Height	0,011m	$\sigma \Delta Z$	0,005m



Νέα κορυφή 58'

Baseline Summary B17 (098A to 61)-ΒΟΗΘΗΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ

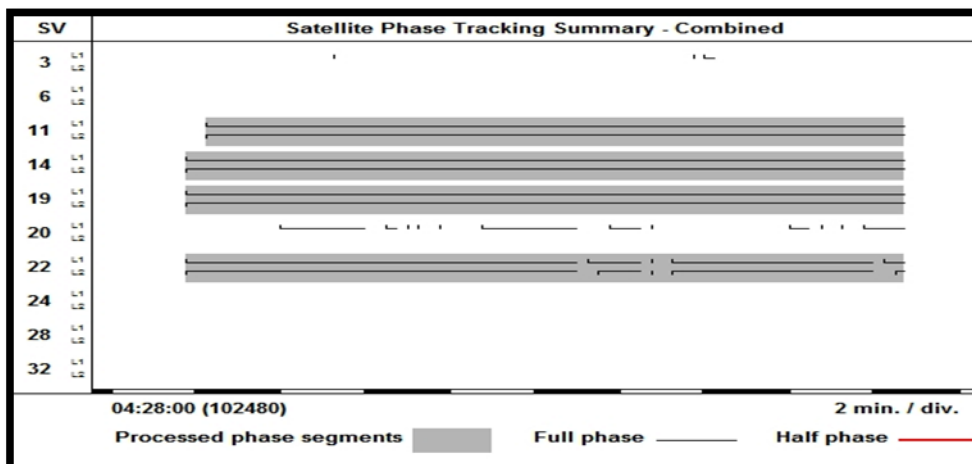
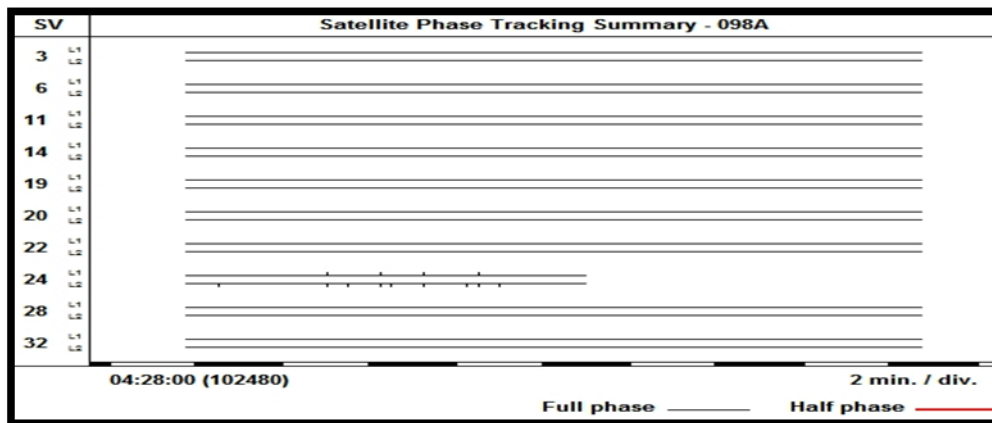
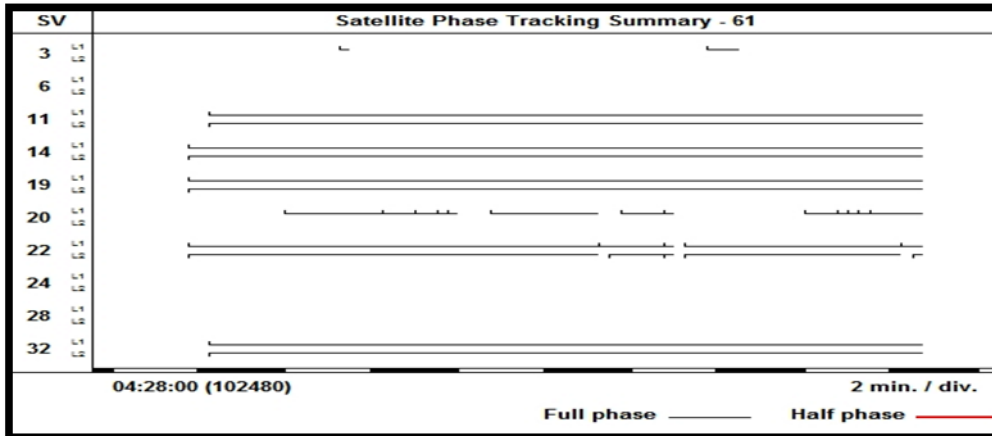
Processed: Δευτέρα, Σεπ 20, 2010 09:32:50μμ
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: Solution acceptable
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 6272,739m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 13,5
Reference variance: 1,682
RMS: 0,015m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0,014m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0,029m
Start time (GPS Time): 10/05/10, 04:29:45.000 1583, 102585,000
Stop time (GPS Time): 10/05/10, 04:46:45.000 1583, 103605,000
Occupation time: 00:17:00.000

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4206385,358m	Latitude	38°00'17,88579"N	Latitude	38°00'27,22188"N
Easting	482571,321m	Longitude	23°48'05,30092"E	Longitude	23°48'11,40980"E
Elevation	206,574m	Height	216,805m	Height	245,367m
To:	61				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4204569,944m	Latitude	37°59'18,49625"N	Latitude	37°59'27,83656"N
Easting	476571,053m	Longitude	23°43'59,46775"E	Longitude	23°44'05,56766"E
Elevation	82,678m	Height	92,908m	Height	121,247m
Baseline:					
Δ Northing	-1815,414m	NS Fwd Azimuth	253°02'40"	Δ X	3359,756m
Δ Easting	-6000,268m	Ell. Distance	6271,362m	Δ Y	-5074,544m
Δ Elevation	-123,896m	Δ Height	-124,120m	Δ Z	-1519,309m

Standard Errors

Baseline Errors:					
$\sigma \Delta$ Northing	0,011m	σ NS Fwd Azimuth	0,349 seconds	$\sigma \Delta X$	0,011m
$\sigma \Delta$ Easting	0,002m	σ Ell.Distance	0,003m	$\sigma \Delta Y$	0,005m
$\sigma \Delta$ Elevation	0,022m	$\sigma \Delta$ Height	0,022m	$\sigma \Delta Z$	0,022m



Νέα κορυφή 61'

Baseline Summary B4 (098A to 68))-ΒΟΗΘΗΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ

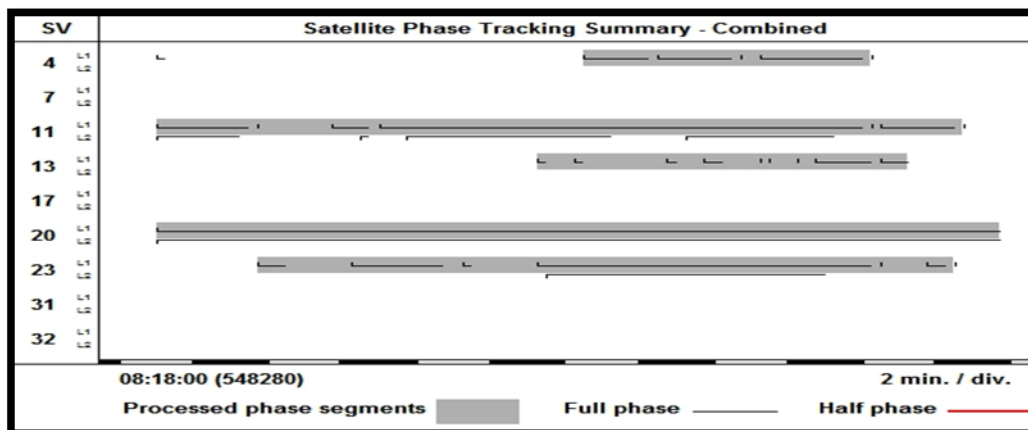
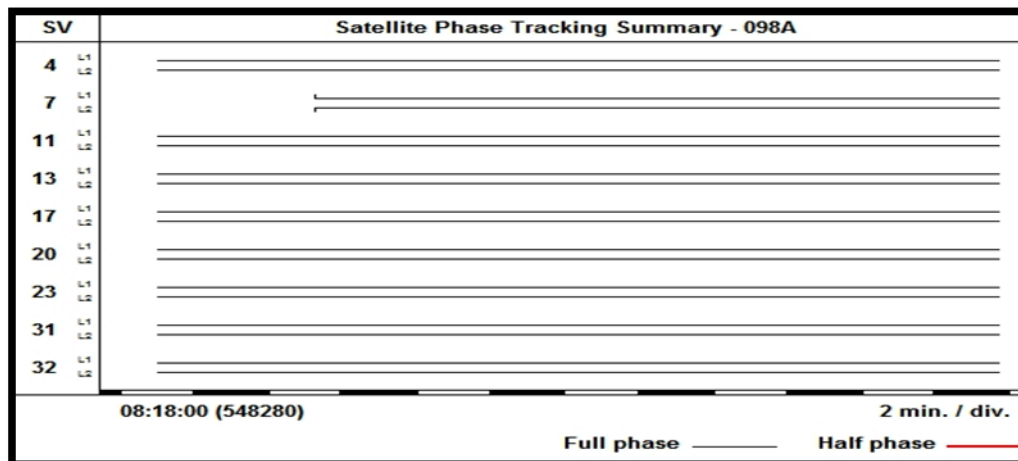
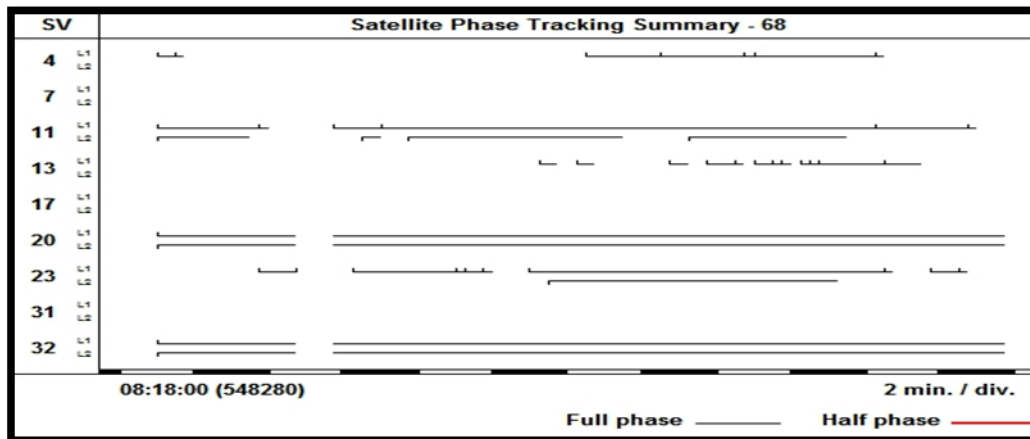
Processed: Δευτέρα, Μαΐ 17, 2010 10:31:38πμ
Solution type: L1 float
Solution acceptability: Multiple failures
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 6267,889m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 0,0
Reference variance: 258,784
RMS: 0,043m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 15,191m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 13,692m
Start time (GPS Time): 10/05/08, 08:19:00.000 1582, 548340,000
Stop time (GPS Time): 10/05/08, 08:41:45.000 1582, 549705,000
Occupation time: 00:22:45.000

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4206385,643m	Latitude	38°00'17,89506"N	Latitude	38°00'27,23114"N
Easting	482571,424m	Longitude	23°48'05,30510"E	Longitude	23°48'11,41398"E
Elevation	207,360m	Height	217,591m	Height	246,153m
To:	68				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4203754,543m	Latitude	37°58'52,06886"N	Latitude	37°59'01,40905"N
Easting	476886,192m	Longitude	23°44'12,48181"E	Longitude	23°44'18,58145"E
Elevation	113,602m	Height	123,850m	Height	152,159m
Baseline:					
Δ Northing	-2631,100m	NS Fwd Azimuth	245°02'36"	Δ X	3712,958m
Δ Easting	-5685,232m	Ell. Distance	6267,019m	Δ Y	-4572,423m
Δ Elevation	-93,758m	Δ Height	-93,993m	Δ Z	-2143,203m

Standard Errors

Baseline Errors:					
$\sigma \Delta$ Northing	0,275m	σ NS Fwd Azimuth	7,468 seconds	$\sigma \Delta X$	1,099m
$\sigma \Delta$ Easting	0,916m	σ Ell.Distance	0,929m	$\sigma \Delta Y$	0,552m
$\sigma \Delta$ Elevation	0,850m	$\sigma \Delta$ Height	0,850m	$\sigma \Delta Z$	0,354m



Νέα κορυφή 68'

Baseline Summary B6 (098A to 86))-ΒΟΗΘΗΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ

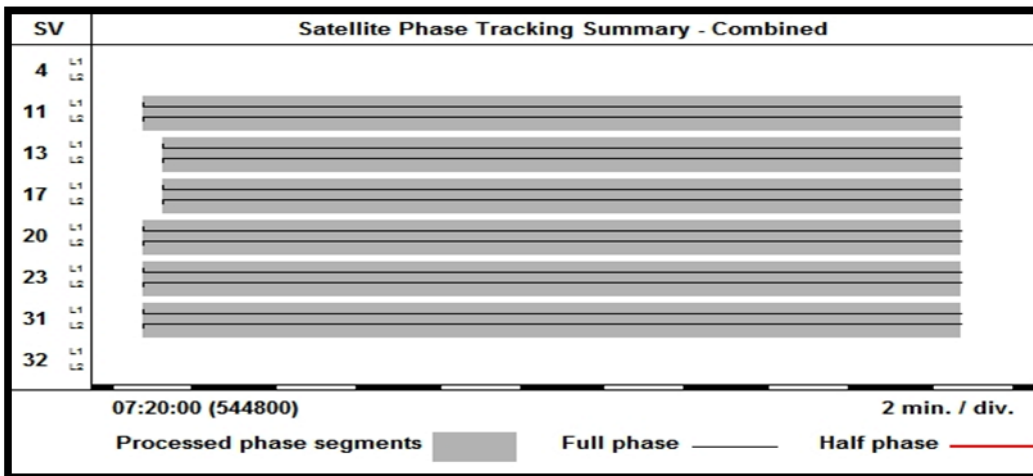
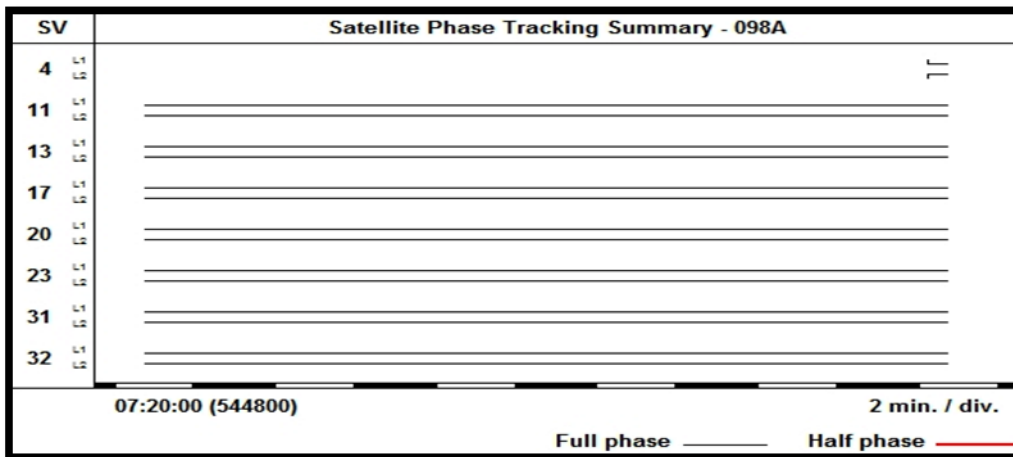
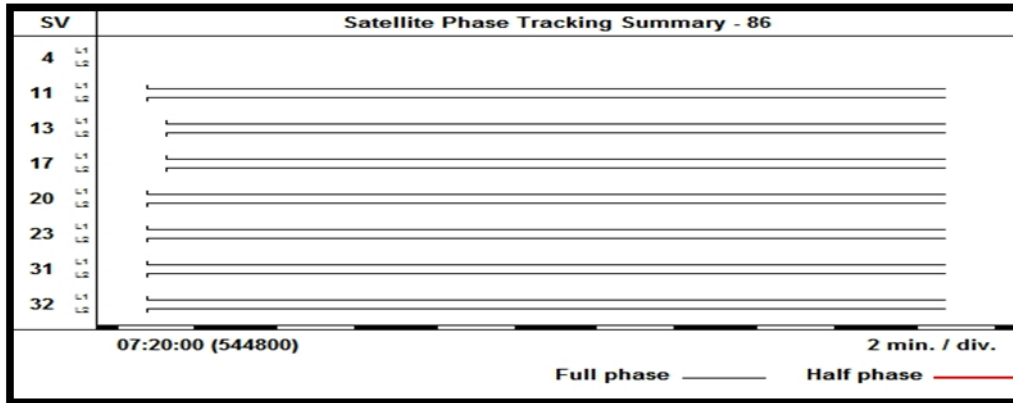
Processed: Δευτέρα, Σεπ 20, 2010 09:32:50μμ
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: Solution acceptable
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 6256,374m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 12,7
Reference variance: 2,202
RMS: 0,015m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0,005m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0,010m
Start time (GPS Time): 10/05/08, 07:20:45.000 1582, 544845,000
Stop time (GPS Time): 10/05/08, 07:40:45.000 1582, 546045,000
Occupation time: 00:20:00.000

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4206385,358m	Latitude	38°00'17,88579"N	Latitude	38°00'27,22188"N
Easting	482571,321m	Longitude	23°48'05,30092"E	Longitude	23°48'11,40980"E
Elevation	206,574m	Height	216,805m	Height	245,367m
To:	86				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4203618,426m	Latitude	37°58'47,65947"N	Latitude	37°58'56,99961"N
Easting	476963,585m	Longitude	23°44'15,67008"E	Longitude	23°44'21,76971"E
Elevation	125,512m	Height	135,762m	Height	164,067m
Baseline:					
Δ Northing	-2766,932m	NS Fwd Azimuth	243°36'56"	Δ X	3767,183m
Δ Easting	-5607,736m	Ell. Distance	6255,675m	Δ Y	-4463,466m
Δ Elevation	-81,062m	Δ Height	-81,299m	Δ Z	-2242,325m

Standard Errors

Baseline Errors:					
$\sigma \Delta$ Northing	0,002m	σ NS Fwd Azimuth	0,093 seconds	$\sigma \Delta X$	0,005m
$\sigma \Delta$ Easting	0,003m	σ Ell.Distance	0,003m	$\sigma \Delta Y$	0,004m
$\sigma \Delta$ Elevation	0,006m	$\sigma \Delta$ Height	0,006m	$\sigma \Delta Z$	0,004m



Νέα κορυφή 86'

Baseline Summary B5 (098A to 87))-ΒΟΗΘΗΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ

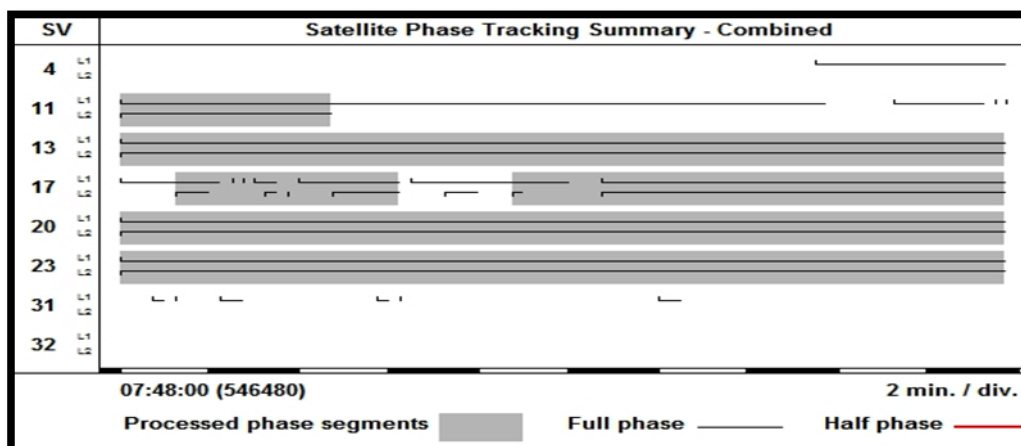
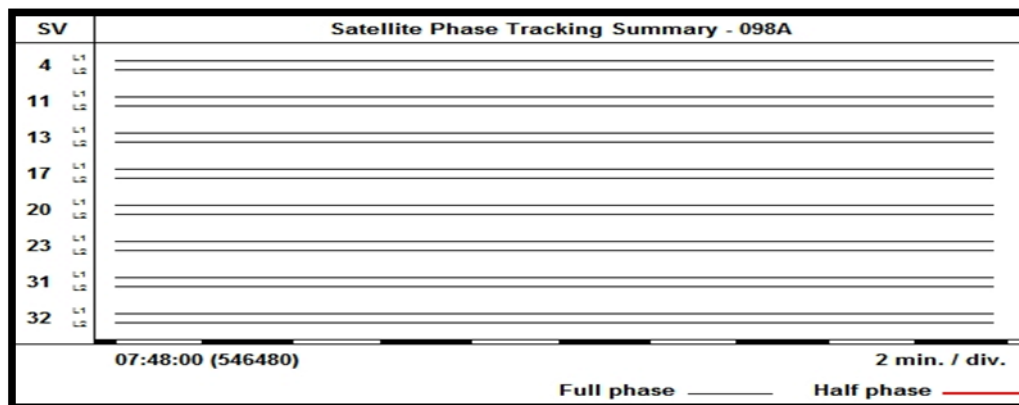
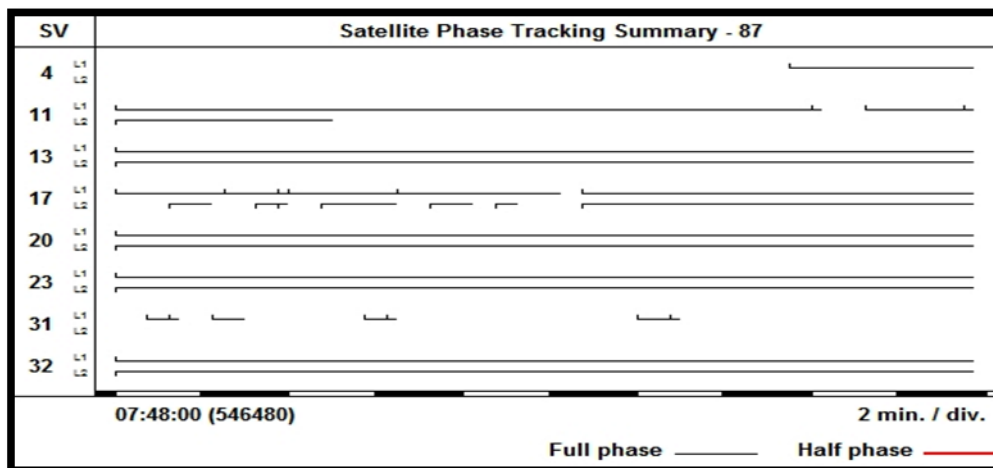
Processed:	Δευτέρα, Σεπ 20, 2010 09:32:50μμ	
Solution type:	Iono free fixed	
Solution acceptability:	Multiple failures	
Ephemeris used:	Broadcast	
Met Data:	Standard	
Baseline slope distance:	6246,714m	
Elevation mask:	13 degrees	
Variance ratio:	4,6	
Reference variance:	8,398	
RMS:	0,029m	
Horizontal Precision 1-sigma (scaled):	0,040m	
Vertical Precision 1-sigma (scaled):	0,071m	
Start time (GPS Time):	10/05/08, 07:48:00.000	1582, 546480,000
Stop time (GPS Time):	10/05/08, 08:07:45.000	1582, 547665,000
Occupation time:	00:19:45.000	

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4206385,358m	Latitude	38°00'17,88579"N	Latitude	38°00'27,22188"N
Easting	482571,321m	Longitude	23°48'05,30092"E	Longitude	23°48'11,40980"E
Elevation	206,574m	Height	216,805m	Height	245,367m
To:	87				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4203741,060m	Latitude	37°58'51,63408"N	Latitude	37°59'00,97425"N
Easting	476915,598m	Longitude	23°44'13,68880"E	Longitude	23°44'19,78847"E
Elevation	111,360m	Height	121,608m	Height	149,917m
Baseline:					
Δ Northing	-2644,298m	NS Fwd Azimuth	244°49'11"	Δ X	3707,399m
Δ Easting	-5655,723m	Ell. Distance	6245,821m	Δ Y	-4542,578m
Δ Elevation	-95,214m	Δ Height	-95,449m	Δ Z	-2154,440m

Standard Errors

Baseline Errors:					
$\sigma \Delta$ Northing	0,010m	σ NS Fwd Azimuth	0,401 seconds	$\sigma \Delta X$	0,022m
$\sigma \Delta$ Easting	0,013m	σ Ell.Distance	0,010m	$\sigma \Delta Y$	0,012m
$\sigma \Delta$ Elevation	0,025m	$\sigma \Delta$ Height	0,025m	$\sigma \Delta Z$	0,015m



Νέα κορυφή 87'

Baseline Summary B16 (098A to 133)-ΒΟΗΘΗΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ

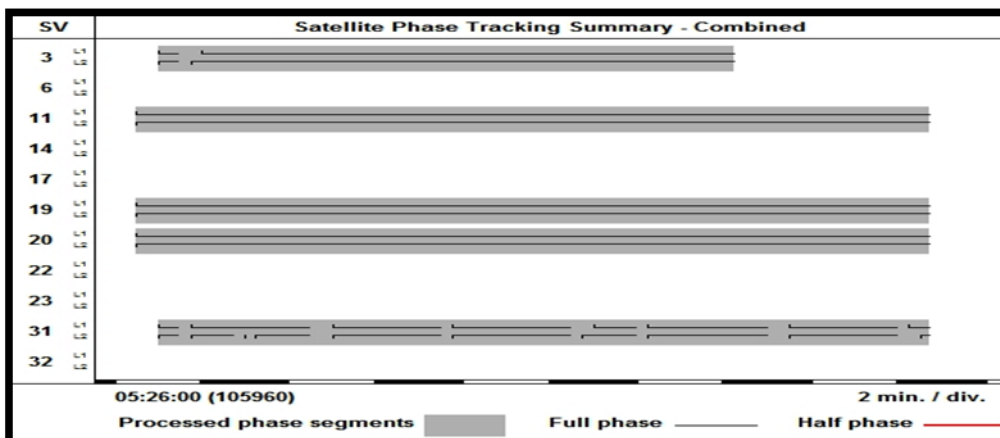
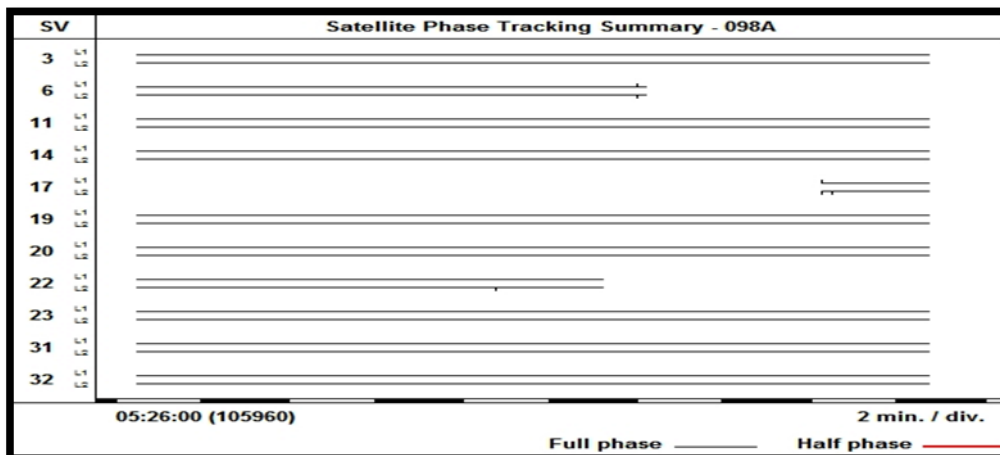
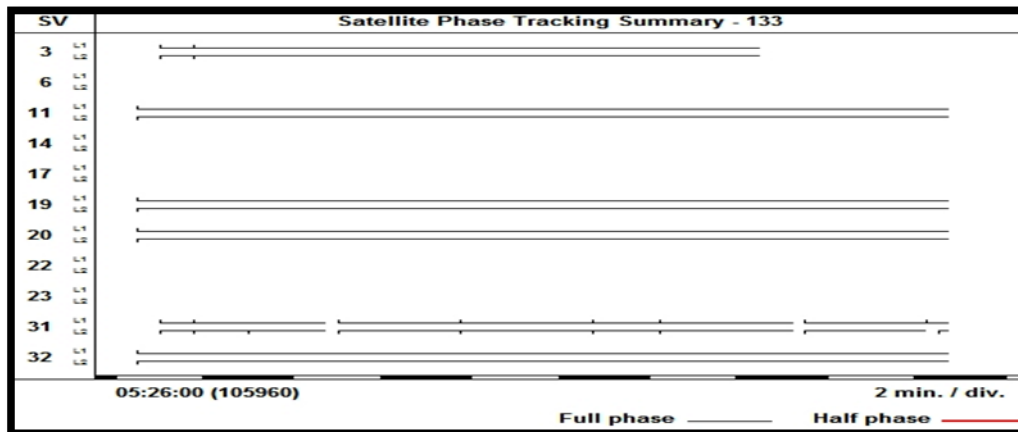
Processed: Δευτέρα, Σεπ 20, 2010 09:32:50μμ
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: High RMS
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 6531,140m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 7,7
Reference variance: 1,852
RMS: 0,021m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0,007m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0,013m
Start time (GPS Time): 10/05/10, 05:26:30.000 1583, 105990,000
Stop time (GPS Time): 10/05/10, 05:44:45.000 1583, 107085,000
Occupation time: 00:18:15.000

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4206385,358m	Latitude	38°00'17,88579"N	Latitude	38°00'27,22188"N
Easting	482571,321m	Longitude	23°48'05,30092"E	Longitude	23°48'11,40980"E
Elevation	206,574m	Height	216,805m	Height	245,367m
To:	133				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4204689,524m	Latitude	37°59'22,34781"N	Latitude	37°59'31,68830"N
Easting	476268,349m	Longitude	23°43'47,04366"E	Longitude	23°43'53,14329"E
Elevation	77,033m	Height	87,259m	Height	115,596m
Baseline:					
Δ Northing	-1695,834m	NS Fwd Azimuth	254°49'08"	Δ X	3410,777m
Δ Easting	-6302,972m	Ell. Distance	6529,698m	Δ Y	-5383,288m
Δ Elevation	-129,541m	Δ Height	-129,771m	Δ Z	-1429,192m

Standard Errors

Baseline Errors:					
$\sigma \Delta$ Northing	0,004m	σ NS Fwd Azimuth	0,103 seconds	$\sigma \Delta X$	0,009m
$\sigma \Delta$ Easting	0,004m	σ Ell.Distance	0,005m	$\sigma \Delta Y$	0,005m
$\sigma \Delta$ Elevation	0,010m	$\sigma \Delta$ Height	0,010m	$\sigma \Delta Z$	0,005m



Νέα κορυφή 133'

Baseline Summary B11 (098A to 141))-ΒΟΗΘΗΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ

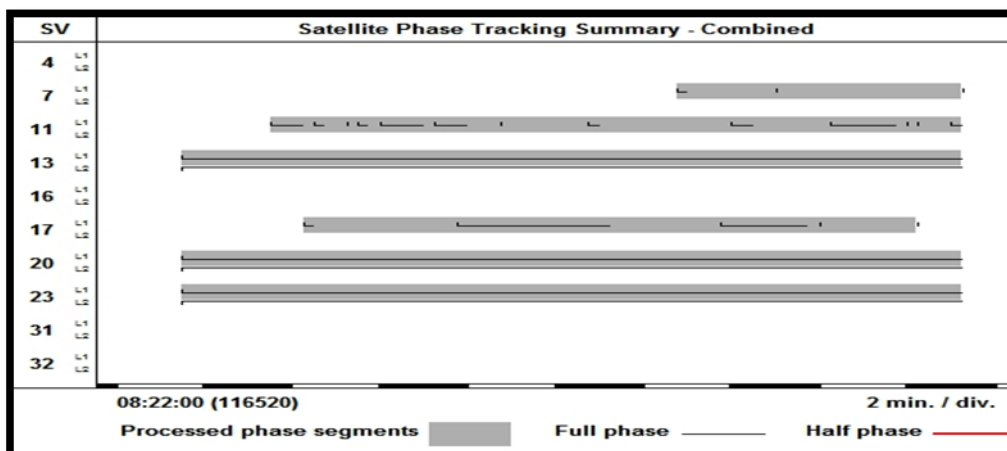
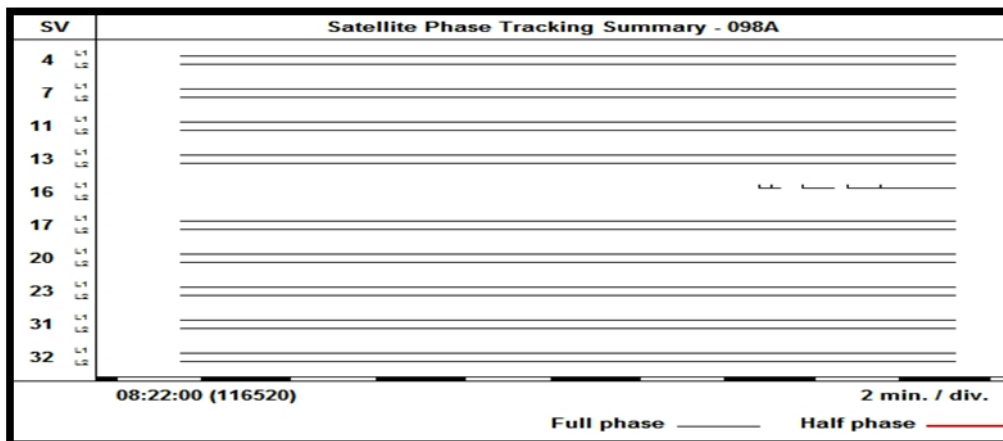
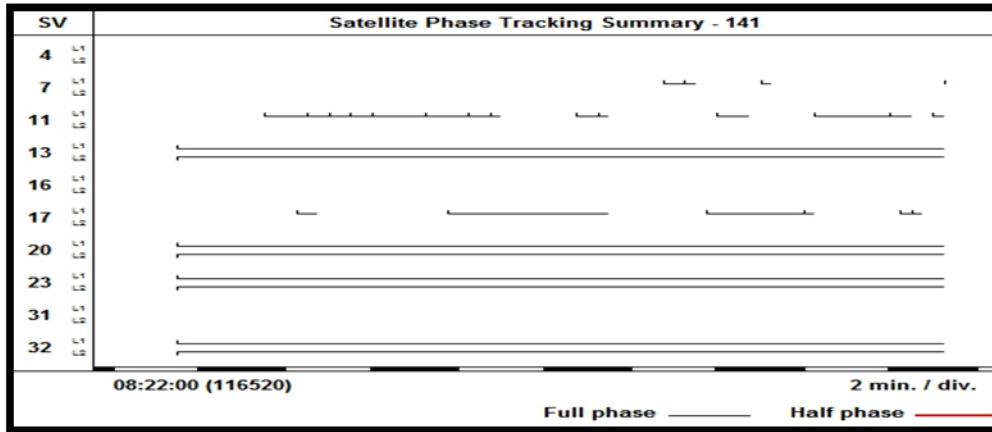
Processed:	Δευτέρα, Μαΐ 17, 2010 10:31:38πμ	
Solution type:	L1 float	
Solution acceptability:	Low ratio	
Ephemeris used:	Broadcast	
Met Data:	Standard	
Baseline slope distance:	6186,067m	
Elevation mask:	13 degrees	
Variance ratio:	0,0	
Reference variance:	3,920	
RMS:	0,004m	
Horizontal Precision 1-sigma (scaled):	1,386m	
Vertical Precision 1-sigma (scaled):	1,082m	
Start time (GPS Time):	10/05/10, 08:23:30.000	1583, 116610,000
Stop time (GPS Time):	10/05/10, 08:41:15.000	1583, 117675,000
Occupation time:	00:17:45.000	

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4206385,643m	Latitude	38°00'17,89506"N	Latitude	38°00'27,23114"N
Easting	482571,424m	Longitude	23°48'05,30510"E	Longitude	23°48'11,41398"E
Elevation	207,360m	Height	217,591m	Height	246,153m
To:	141				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4206979,492m	Latitude	38°00'36,66197"N	Latitude	38°00'46,00201"N
Easting	476417,658m	Longitude	23°43'52,89409"E	Longitude	23°43'58,99570"E
Elevation	89,744m	Height	99,926m	Height	128,370m
Baseline:					
Δ Northing	593,849m	NS Fwd Azimuth	275°23'23"	Δ X	2070,711m
Δ Easting	-6153,766m	Ell. Distance	6184,793m	Δ Y	-5816,574m
Δ Elevation	-117,616m	Δ Height	-117,782m	Δ Z	383,482m

Standard Errors

Baseline Errors:					
$\sigma \Delta$ Northing	0,049m	σ NS Fwd Azimuth	1,037 seconds	$\sigma \Delta X$	0,147m
$\sigma \Delta$ Easting	0,698m	σ Ell.Distance	0,699m	$\sigma \Delta Y$	0,823m
$\sigma \Delta$ Elevation	0,547m	$\sigma \Delta$ Height	0,547m	$\sigma \Delta Z$	0,301m



Νέα κορυφή 141'

Baseline Summary B12 (098A to 143))-ΒΟΗΘΗΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ

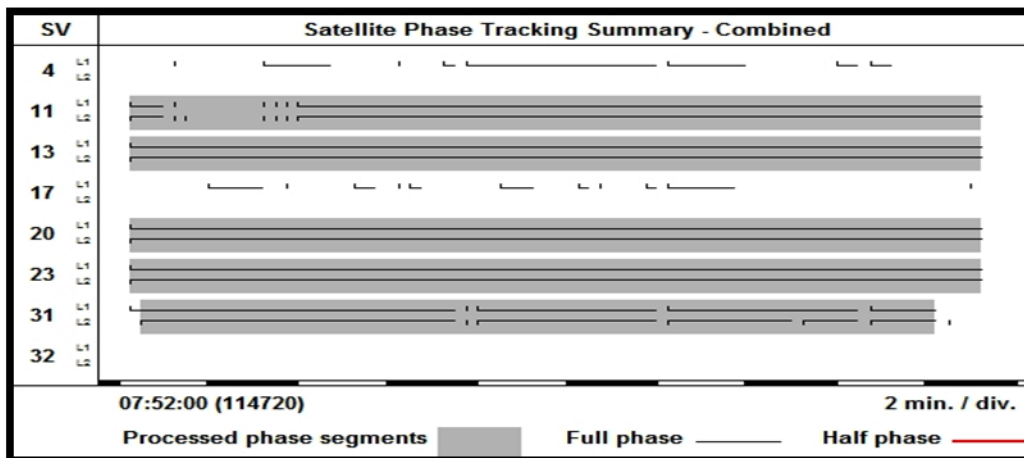
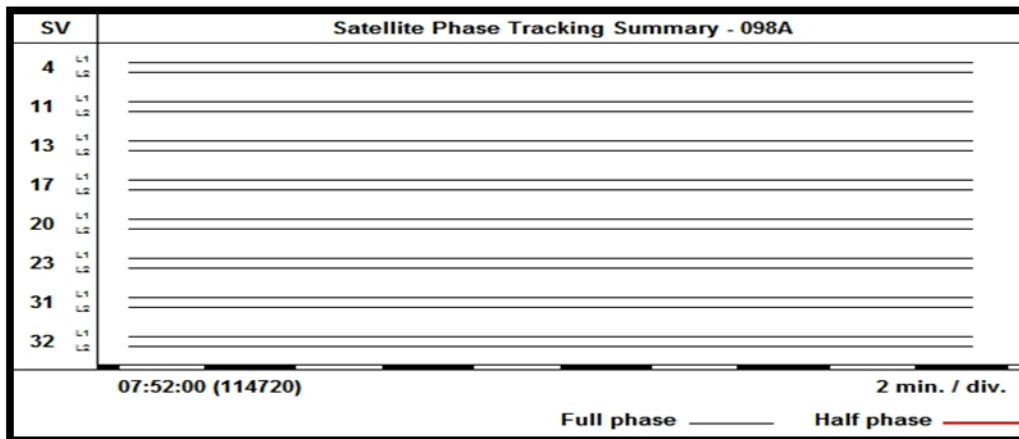
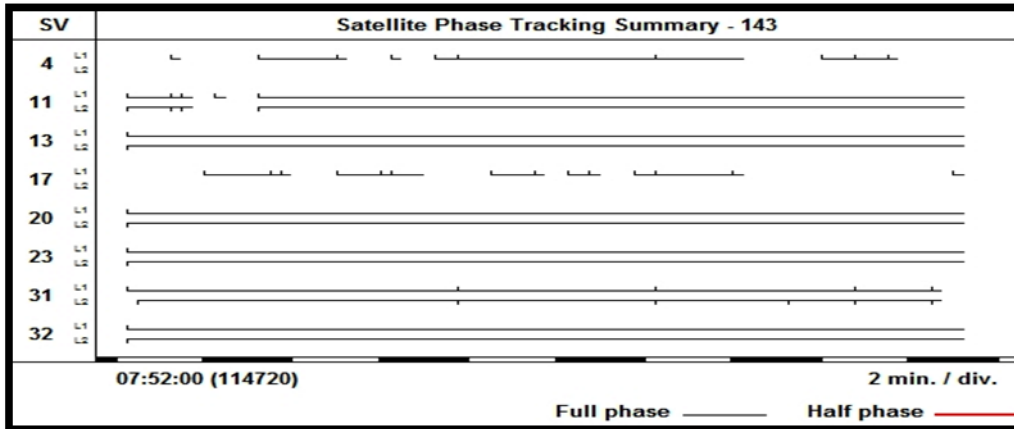
Processed: Δευτέρα, Σεπ 20, 2010 09:32:50μμ
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: Multiple failures
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 6007,585m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 6,7
Reference variance: 5,595
RMS: 0,023m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0,019m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0,031m
Start time (GPS Time): 10/05/10, 07:52:15.000 1583, 114735,000
Stop time (GPS Time): 10/05/10, 08:11:15.000 1583, 115875,000
Occupation time: 00:19:00.000

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4206385,358m	Latitude	38°00'17,88579"N	Latitude	38°00'27,22188"N
Easting	482571,321m	Longitude	23°48'05,30092"E	Longitude	23°48'11,40980"E
Elevation	206,574m	Height	216,805m	Height	245,367m
To:	143				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4207108,257m	Latitude	38°00'40,85790"N	Latitude	38°00'50,19779"N
Easting	476610,954m	Longitude	23°44'00,80585"E	Longitude	23°44'06,90780"E
Elevation	96,030m	Height	106,211m	Height	134,666m
Baseline:					
Δ Northing	722,899m	NS Fwd Azimuth	276°47'35"	Δ X	1924,999m
Δ Easting	-5960,367m	Ell. Distance	6006,414m	Δ Y	-5669,689m
Δ Elevation	-110,544m	Δ Height	-110,701m	Δ Z	489,993m

Standard Errors

Baseline Errors:					
$\sigma \Delta$ Northing	0,006m	σ NS Fwd Azimuth	0,205 seconds	$\sigma \Delta X$	0,011m
$\sigma \Delta$ Easting	0,006m	σ Ell.Distance	0,007m	$\sigma \Delta Y$	0,010m
$\sigma \Delta$ Elevation	0,013m	$\sigma \Delta$ Height	0,013m	$\sigma \Delta Z$	0,007m



Νέα κορυφή 143'

Baseline Summary B13 (098A to 144)-ΒΟΗΘΗΤΙΚΟ ΣΗΜΕΙΟ

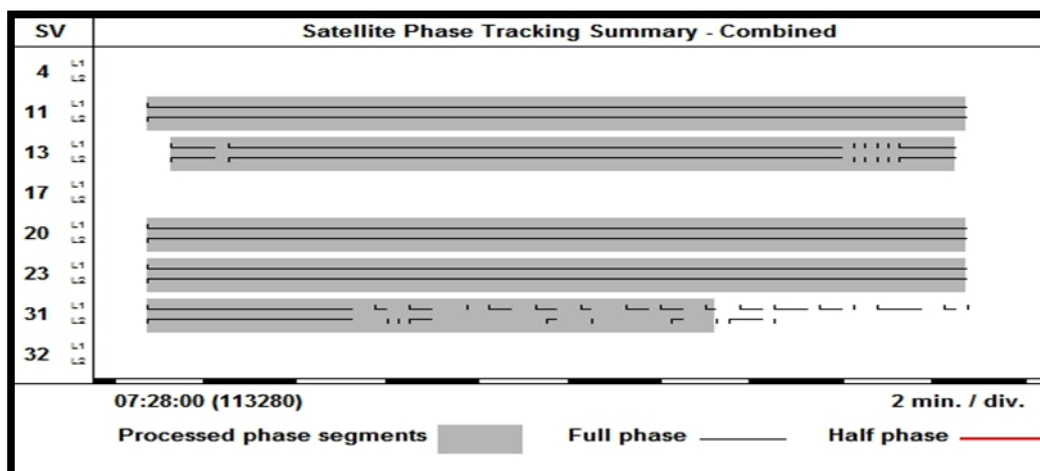
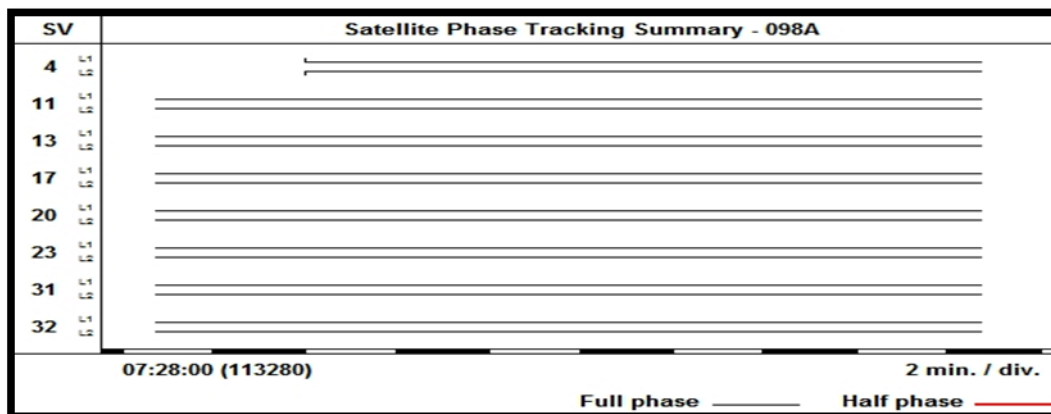
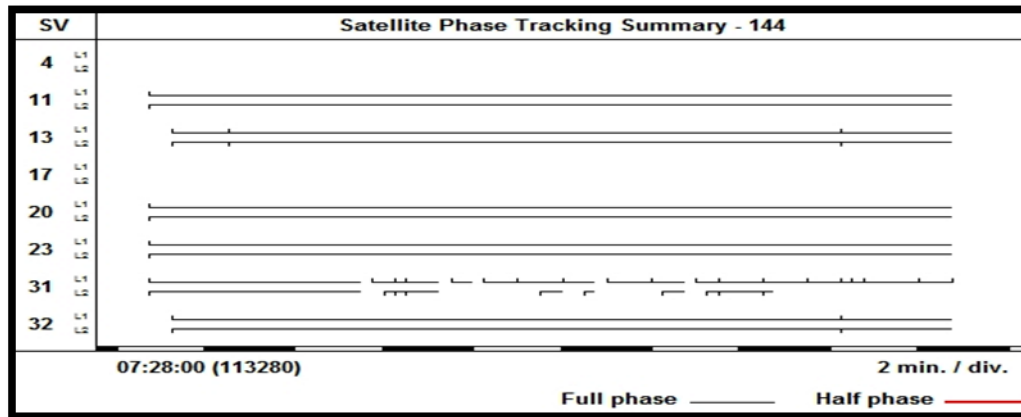
Processed: Δευτέρα, Σεπ 20, 2010 09:32:50μμ
Solution type: Iono free fixed
Solution acceptability: Multiple failures
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 6010,426m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 6,3
Reference variance: 8,230
RMS: 0,026m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0,027m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0,067m
Start time (GPS Time): 10/05/10, 07:28:45.000 1583, 113325,000
Stop time (GPS Time): 10/05/10, 07:46:45.000 1583, 114405,000
Occupation time: 00:18:00.000

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	098A				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4206385,358m	Latitude	38°00'17,88579"N	Latitude	38°00'27,22188"N
Easting	482571,321m	Longitude	23°48'05,30092"E	Longitude	23°48'11,40980"E
Elevation	206,574m	Height	216,805m	Height	245,367m
To:	144				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4207139,376m	Latitude	38°00'41,86769"N	Latitude	38°00'51,20757"N
Easting	476611,943m	Longitude	23°44'00,84275"E	Longitude	23°44'06,94473"E
Elevation	96,338m	Height	106,518m	Height	134,975m
Baseline:					
Δ Northing	754,018m	NS Fwd Azimuth	277°05'20"	Δ X	1907,306m
Δ Easting	-5959,378m	Ell. Distance	6009,260m	Δ Y	-5676,484m
Δ Elevation	-110,236m	Δ Height	-110,392m	Δ Z	514,713m

Standard Errors

Baseline Errors:					
$\sigma \Delta$ Northing	0,007m	σ NS Fwd Azimuth	0,218 seconds	$\sigma \Delta X$	0,020m
$\sigma \Delta$ Easting	0,009m	σ Ell.Distance	0,009m	$\sigma \Delta Y$	0,012m
$\sigma \Delta$ Elevation	0,023m	$\sigma \Delta$ Height	0,023m	$\sigma \Delta Z$	0,012m



Νέα κορυφή 144'