

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



Πτυχιακή εργασία

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΙΚΡΟ-ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΤΟΥ
ΤΟΠΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΗΣ ΑΗΚ ΚΑΤΑ ΤΗΝ
ΠΕΡΙΟΔΟ 2012 - 2016 ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ GNSS

Ζωή Ευαγγέλου

Λεμεσός 2016

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πτυχιακή εργασία

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΙΚΡΟ-ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΤΟΥ
ΤΟΠΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΗΣ ΑΗΚ ΚΑΤΑ ΤΗΝ
ΠΕΡΙΟΔΟ 2012 - 2016 ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ
ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ GNSS

Ζωή Ευαγγέλου

Σύμβουλος καθηγητής ή καθηγήτρια
Δρ. Χριστόδουλος Δανέζης

Λεμεσός 2016

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Ζωή Ευαγγέλου, 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την υπομονή και την κατανόηση που μου έδειξαν στις στιγμές άγχους και πίεσης που είχα στο πανεπιστήμιο και κυρίως κατά τους τελευταίους μήνες των σπουδών μου. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ.Χριστόδουλο Δανέζη Λέκτορα στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής για την πολύτιμη και πολύωρη βοήθεια του για την ολοκλήρωση της πτυχιακής αυτής μελέτης.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην ακόλουθη έρευνα παρουσιάζονται οι μετρήσεις και η επίλυση του τρισδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου στον Ηλεκτροπαραγωγικό Σταθμό ΑΗΚ στο Βασιλικό με τη χρήση δεκτών GNSS. Εφαρμόστηκε η μέθοδος του σχετικού στατικού εντοπισμού θέσης για βέλτιστη ακρίβεια στις μετρήσεις. Οι μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν είναι μετρήσεις που έγιναν από φοιτητές του ΤΕΠΑΚ το 2012 και μετρήσεις που πάρθηκαν κατά την διεξαγωγή της μελέτης, το 2016 ώστε να υπολογιστούν οι πιθανές μικρομετακινήσεις στην περιοχή το χρονικό διάστημα 2012-2016. Για καλύτερη κατανόηση της εργασίας καταγράφηκαν διάφορα σχετικά άρθρα, γενική βιβλιογραφία για τα παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης, τους δέκτες GNSS, το δορυφορικό σήμα, τις παρατηρήσεις και το χρόνο GPS, τα σφάλματα GPS και διάφορα μαθηματικά μοντέλα προσδιορισμού θέσης. Για καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων καταγράφηκαν τα δίκτυα GPS, οι σταθμοί IGS και ο σταθμός NICO. Επίσης σημειώνονται αναλυτικά οι εργασίες πεδίου, ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε, η προετοιμασία και η διαδικασία των μετρήσεων. Ακόμη καταγράφηκαν οι εργασίες γραφείου, η επίλυση του δικτύου με το λογισμικό Geo Office και η επίλυση με το λογισμικό GrafNet. Αφού έγινε η επίλυση του δικτύου και υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες για κάθε σταθμό του δικτύου υπολογίστηκαν οι μικρομετακινήσεις τις περιοχής. Επίσης έγινε σύγκριση των δύο λογισμικών που χρησιμοποιήθηκαν. Κατά την ολοκλήρωση της μελέτης διεξήλθαν κάποια συμπεράσματα και έγιναν προτάσεις σχετικά με την βέλτιστη αξιοποίηση του δικτύου σε μελλοντικές εργασίες.

Λέξεις κλειδιά: Δίκτυα GPS, Δέκτες GNSS, Σχετικός Στατικός Εντοπισμός Θέσης, Μικρομετακινήσεις, Λογισμικό Geo Office, Λογισμικό GrafNet.

ABSTRACT

The following research presents measurements and solutions of the 3D geodetic network at the Electricity Power Station AHK at Vasilikos using GNSS receivers. The method applied was the static relative positioning which is the most accurate method for GNSS measurement. The measurements used are the measurements taken by CUT students in 2012 and during 2016 while conducting a study for the calculation of possible deformation in the area during the period 2012-2016. In order to get better understanding of the subject of the research, some related articles general bibliography for Global Navigation Satellite Systems, GNSS receivers, the satellite signal, GPS time, GPS errors, some mathematical models for positioning have been reviewed and included in the study. Whereas for the results, GPS networks IGS stations and NICO station have been included. Additionally, a detailed analysis of the field work, the equipment used and the preparation and process of taking the measurements has been made. Furthermore office work performed, procedures followed for solving the network with Geo Office software and GrafNet software have been analyzed. Once network solution and coordinates have been calculated for each station of the network, the deformation of the area has been calculated. Moreover, a comparison of the two software has been made. Finally, some conclusions were reached and suggestions were made regarding the better use of the network in future jobs.

Keywords: GPS networks, GNSS receivers, Static Relative Positioning, Deformation monitoring, Geo Office Software, GrafNet Software.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	v
ABSTRACT	vi
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	xii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	xiii
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	xv
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ.....	xvi
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Στόχος.....	2
1.2 Μεθοδολογία	2
1.3 Δομή	3
1.4 Περιοχή Μελέτης – Ηλεκτροπαραγωγικός Σταθμός Βασιλικού.....	5
2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	7
3 Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης.....	13
3.1 GPS.....	14
3.2 GLONASS.....	15
3.3 Galileo	16
3.4 BeiDou.....	17
3.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα GNSS έναντι άλλων μεθόδων	17
4 Μέρη συστήματος GPS.....	18
4.1 Τμήμα Διαστήματος	18
4.2 Τμήμα Ελέγχου.....	19
4.3 Τμήμα Χρηστών	20

5	Κατηγορίες Δεκτών.....	21
5.1	Κατηγορία Καταναλωτών ή χρηστών	21
5.2	Κατηγορία Χαρτογράφησης.....	22
5.3	Γεωδαιτικοί Δέκτες.....	22
6	Δέκτες GNSS	23
6.1	Κεραία του δέκτη	23
6.2	Κυρίως δέκτης	24
6.2.1	Τμήμα ραδιοσυχνοτήτων.....	24
6.2.2	Βρόγχοι παρακολούθησης.....	25
7	Το δορυφορικό σήμα.....	26
7.1	Σκόπιμη μείωση ακρίβειας.....	27
7.2	Φαινόμενο Doppler	28
8	Παρατηρήσεις και χρόνος GPS.....	30
8.1	Παρατήρηση ψευδοαπόστασης	30
8.1.1	Εξίσωση παρατήρησης της ψευδοαπόστασης.....	30
8.2	Παρατήρηση φάσης.....	31
8.2.1	Εξίσωση παρατήρησης της φάσης	32
8.3	Χρόνοι και σφάλματα ρολογιών	33
8.3.1	Διεθνής ατομικός χρόνος (TAI)	33
8.3.2	Παγκόσμιος Συγχρονισμένος Χρόνος (UTC)	33
8.3.3	Χρόνος GPS.....	34
8.3.4	Συγχρονισμός δεκτών	35
9	Σφάλματα GPS.....	38
9.1	Σφάλματα σχετικά με τους δορυφόρους	39
9.1.1	Σφάλματα τροχιάς	39
9.1.2	Σφάλμα ρολογιού του δορυφόρου.....	39

9.2	Σφάλματα σχετικά με τους δέκτες.....	40
9.2.1	Σφάλμα ρολογιού του δέκτη.....	40
9.2.2	Θόρυβος (τυχαία σφάλματα).....	40
9.2.3	Σφάλμα μεταβολής κέντρου φάσης κεραίας.....	40
9.2.4	Αβεβαιότητα γνωστού σημείου.....	40
9.3	Σφάλματα σχετικά με τη διάδοση του σήματος.....	41
9.3.1	Ιονοσφαιρικά σφάλματα.....	41
9.3.2	Τροποσφαιρικά σφάλματα.....	41
9.3.3	Σφάλματα λόγω παρεμβολής από ραδιοσήματα.....	42
9.3.4	Σφάλμα λόγω λήψης εξασθενημένου δορυφορικού σήματος.....	42
9.3.5	Σφάλμα ολίσθησης κύκλων.....	42
9.3.6	Σφάλμα πολυανάκλασης.....	43
10	Μαθηματικά Μοντέλα Προσδιορισμού Θέσης.....	44
10.1	Απόλυτος Προσδιορισμός Θέσης.....	45
10.1.1	Απόλυτος Προσδιορισμός θέσης σε πραγματικό χρόνο.....	46
10.1.2	Απόλυτος Προσδιορισμός θέσης εκ των υστέρων.....	46
10.1.3	Ακριβής απόλυτος προσδιορισμός θέσης (PPP).....	47
10.2	Διαφορικός Εντοπισμός Θέσης (DGPS).....	50
10.3	Σχετικός Προσδιορισμός Θέσης.....	51
10.3.1	Σχετικός κινηματικός προσδιορισμός θέσης.....	52
10.3.2	Σχετικός ημικινηματικός προσδιορισμός.....	53
10.3.3	Σχετικός στατικός προσδιορισμός θέσης.....	53
10.3.4	Γρήγορος σχετικός στατικός προσδιορισμός θέσης.....	54
10.3.5	Απλές - Διπλές - Τριπλές Διαφορές στο σχετικό εντοπισμό.....	55
11	Δίκτυα GPS.....	57
11.1	Πλαίσια και Συστήματα Αναφοράς - Διεθνές Επίγειο Πλαίσιο Αναφοράς (ITRF).....	59

11.1.1	ITRF2008	62
11.2	IGS Σταθμοί.....	63
11.2.1	Σταθμός NICO (ITRF)	64
12	Εργασίες πεδίου.....	65
12.1	Εξοπλισμός.....	65
12.1.1	NovAtel ProPak6 (GPS L1 L2, Glonass L1 L2, Galileo E1, Beidou B1).....	65
12.1.2	Κεραία NovAtel 703-GGG.....	67
12.1.3	Leica GS15 Professional	68
12.2	Προετοιμασία	70
12.3	Διαδικασία μετρήσεων	71
13	Εργασίες γραφείου	76
13.1	Υπολογισμός συντεταγμένων για τον σταθμό NICO.....	76
13.2	Χρήση δορυφορικών εφημερίδων	77
13.2.1	Εφημερίδες Ακριβής τροχιάς δορυφόρων.....	77
13.2.2	Λήψη δορυφορικών εφημερίδων.....	78
13.3	Επίλυση δικτύου από το λογισμικό Geo Office	79
13.3.1	Λογισμικό Geo Office	79
13.3.2	Επίλυση Δικτύου – Geo Office	79
13.4	Επίλυση δικτύου από το λογισμικό GrafNet.....	84
13.4.1	Λογισμικό GrafNet.....	84
13.4.2	Επίλυση Δικτύου - GrafNet.....	85
14	Αποτελέσματα	89
14.1	Αποτελέσματα από λογισμικό Leica Geo Office	89
14.2	Αποτελέσματα από λογισμικό GrafNet (Version 8.60.6129).....	91
14.3	Σύγκριση λογισμικών	94
15	Συμπεράσματα.....	96

16	Προτάσεις	100
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	101
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	103
1.	HTML results from GrafNet	103
	Output Results for eac	103
	Output Results for diktio	104
2.	Export λύσης δικτύου στο Google Earth.....	105

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 -Τεχνικά χαρακτηριστικά του πολιτικού σήματος.....	27
Πίνακας 2 -Ιδιότητες του NovAtel ProPak6	66
Πίνακας 3 -Ιδιότητες της Κεραίας Novatel 703-GGG.....	67
Πίνακας 4 -Ιδιότητες του Leica GS15 Professional.....	69
Πίνακας 5 - Χρονοδιάγραμμα μετρήσεων για τις 09.03.2016	74
Πίνακας 6 – Προσεγγιστικές θέσεις XYZ για τους σταθμούς του δικτύου	74
Πίνακας 7 - Συντεταγμένες σταθμού NICO (ITRF2008 για Epoch t0 =001/2005).....	76
Πίνακας 8 - GPS Date Calendar.....	78
Πίνακας 10- Συντεταγμένες NICO+SUB για τις 13/08/2012 από Geo Office	89
Πίνακας 11- Συντεταγμένες του δικτύου για τις 13/08/2012 από Geo Office.....	89
Πίνακας 12-Συντεταγμένες NICO+SUB για τις 06/11/2012 από Geo Office	90
Πίνακας 13-Συντεταγμένες του δικτύου για τις 06/11/2012 από Geo Office.....	90
Πίνακας 14-Συντεταγμένες NICO+SUB για τις 09/03/2016 από Geo Office	90
Πίνακας 15-Συντεταγμένες του δικτύου για τις 09/03/2016 από Geo Office.....	90
Πίνακας 16-Γεωγραφικές Συντεταγμένες NICO+SUB για τις 09/03/2016 από GrafNet.....	91
Πίνακας 17-Καρτεσιανές Συντεταγμένες NICO+SUB για τις 09/03/2016 από GrafNet	91
Πίνακας 19-Γεωγραφικές Συντεταγμένες σταθμών δικτύου για τις 09/03/2016 από GrafNet	91
Πίνακας 20-Καρτεσιανές Συντεταγμένες σταθμών δικτύου για τις 09/03/2016 από GrafNet	92
Πίνακας 21-Λύση βάσεων δικτύου για τις 09/03/2016 από GrafNet	92
Πίνακας 22-DX,DY,DZ από τα δύο λογισμικά επίλυσης.....	94

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1- Φωτογραφία Σταθμού ΑΗΚ στο Βασιλικό.....	6
Διάγραμμα 2 - Σταθμός ΑΗΚ από δορυφορική εικόνα	6
Διάγραμμα 3- Τροχιές Δορυφόρων GPS.....	15
Διάγραμμα 8- Δέκτης Χρηστών	21
Διάγραμμα 10- Γεωδαιτικοί Δέκτες Leica και Trimble	22
Διάγραμμα 11- Κεραία Trimble τύπου Chock Ring	23
Διάγραμμα 12- Φαινόμενο Doppler	29
Διάγραμμα 13- Κύκλος Ολίσθησης	32
Διάγραμμα 14- Μέθοδοι Προσδιορισμού Θέσης.....	44
Διάγραμμα 15- PPP μέθοδος εντοπισμού	49
Διάγραμμα 16- Διάταξη Απλών Διαφορών.....	55
Διάγραμμα 17- Διάταξη Διπλών Διαφορών	56
Διάγραμμα 21- NovAtel ProPak6	66
Διάγραμμα 22- Κεραία Novatel 703-GGG	68
Διάγραμμα 23- Leica GS15 Professional	70
Διάγραμμα 24- Σταθμός SUB	72
Διάγραμμα 25- Κορυφή Pefka	72
Διάγραμμα 26- Κορυφή Skopia.....	72
Διάγραμμα 27- Φωτογραφία από τη Στάση Kratiras	73
Διάγραμμα 31- Φωτογραφία κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων	75
Διάγραμμα 32- ETRF/ITRF Transformation	77
Διάγραμμα 33- NICO (Reference) και Sub (Rover)	80
Διάγραμμα 34- Παράμετροι επίλυσης στο λογισμικό Geo Office.....	81
Διάγραμμα 35- Report για κύκλους ολίσθησης Σταθμού Sub	81
Διάγραμμα 36- Analyze για δορυφόρο R24.....	82

Διάγραμμα 37- Satellite Window	82
Διάγραμμα 38- Κύκλοι ολίσθησης σταθμού Pumphouse	83
Διάγραμμα 40- Convert Raw GNSS to GPB	85
Διάγραμμα 41- Add/Edit Observation του σταθμού SUB	85
Διάγραμμα 42- Add/Edit Control Point του σταθμού NICO	86
Διάγραμμα 43- Processing Differential GPS - NICO to SUB	87
Διάγραμμα 44 - Αριθμός Δορυφόρων	93
Διάγραμμα 45- DOPs (PDOP, HDOP, VDOP).....	93
Διάγραμμα 46- Traverse Map in GrafNet	94

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΤΕΠΑΚ: Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου

ΑΗΚ: Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου

Η/Σ: Ηλεκτροπαραγωγικός Σταθμός

ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ

GNSS:	Global Navigation Satellite System
GPS:	Global Positioning System
GLONASS:	Global Navigation Satellite System
WGS:	World Geodetic System
IGS:	International GNSS Service
ESA:	European Space Agency
SBAS:	Satellite-Based Augmentation System
TAI:	International Atomic Time
UTC:	Coordinated Universal Time
DOP:	Dilution of Precision
ITRF:	International Terrestrial Reference Frame
SA:	Selective Availability
RINEX:	Receiver Independent Exchange Format
RTK:	Real Time Kinematic
PPP:	Precise Point Positioning
X, Y, Z:	Καρτεσιανές Συντεταγμένες
φ, λ, h :	Γεωγραφικές Συντεταγμένες
U_x, U_y, U_z :	Velocity (ταχύτητα) κατά X,Y,Z

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το γεωδυναμικό καθεστώς της Κύπρου σε συνδυασμό με τη γεωλογία της, καθιστά επιτακτική την μελέτη των μετακινήσεων για εγκαταστάσεις πολύ κρίσιμες για τη χώρα. Η Κύπρος βρίσκεται στη σειсмоγόνο ζώνη των Άλπεων- Ιμαλαίων, μέσα στην οποία εκδηλώνονται 15% των σεισμών παγκοσμίως. Η σεισμικότητα της Κύπρου αποδίδεται κατά κύριο λόγο στο Κυπριακό Τόξο, που αποτελείται το τεκτονικό όριο μεταξύ της Αφρικανικής και Ευρασιατικής Λιθοσφαιρικής πλάκας στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου το οποίο βρίσκεται στη θάλασσα στα δυτικά και νότια της Κύπρου. Κατά μήκος του τόξου αυτού παρατηρείται συγκέντρωση πολλών επικέντρων σεισμών. Η πιο σεισμόπληκτη περιοχή της Κύπρου είναι η παράκτια ζώνη που εκτείνεται από την Πάφο έως την Αμμόχωστο, διαμέσου της Λεμεσού και της Λάρνακας.

Οι οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις σε μεγάλες κατασκευές όπως γέφυρες, σήραγγες, φράγματα και μεγάλες βιομηχανικές υποδομές όπως Ηλεκτροπαραγωγικοί Σταθμοί μπορούν να δημιουργήσουν σοβαρά προβλήματα όπως την αστοχία τους. Αυτό έχει ως συνέπεια τη διακινδύνευση ανθρώπινων ζωών όπως και της δημόσιας/ιδιωτικής περιουσίας. Η παρακολούθηση της χρονικής εξέλιξης των μετακινήσεων εξυπηρετεί την πρόβλεψη των μελλοντικών μετακινήσεων για την αποφυγή πιθανής αστοχίας που θα επιφέρει κοινωνικό και οικονομικό κόστος.

Σε πολλές περιπτώσεις οι μεγάλες αυτές βιομηχανικές υποδομές έχουν εγκαταστημένους σταθμούς και γεωδαιτικά δίκτυα για την παρακολούθηση των παραμορφώσεων. Τα δίκτυα αυτά μετριοούνται πολύ συχνά για να καταγράφονται οι παραμορφώσεις- μικρομετακινήσεις που συμβαίνουν στην περιοχή όπως και ο βαθμός επικινδυνότητας των μετακινήσεων αυτών.

1.1 Στόχος

Κύριος στόχος της πτυχιακής εργασίας είναι η εκτίμηση των μικρομετακινήσεων του τοπικού τριδιάστατου δικτύου που βρίσκεται στον Ηλεκτροπαραγωγικό Σταθμό της ΑΗΚ στο Βασιλικό κατά την χρονική περίοδο 2012-2016 με χρήση δορυφορικών μετρήσεων GNSS. Η χρήση των σύγχρονων γεωδαιτικών δεκτών με τεχνολογία GNSS μειώνει σημαντικά τη διάρκεια των εργασιών, είναι πιο αξιόπιστη μέθοδος και παρέχει ικανοποιητική ακρίβεια στις μετρήσεις. Ακόμη με τις γεωδαιτικές μεθόδους δεν καταγράφεται μόνο το μέγεθος της μετακίνησης ενός σημείου αλλά και η διεύθυνση της κίνησης του. Έτσι ύστερα από ορισμένες σειρές μετρήσεων είναι δυνατός ο υπολογισμός της ταχύτητας μετακίνησης ή η πρόβλεψη για τη θέση του Σταθμού στο μέλλον. Επίσης υπήρχε η δυνατότητα χρήσης και σύγκρισης δύο λογισμικών για την επίλυση του δικτύου, το Geo Office και το GrafNet.

1.2 Μεθοδολογία

Οι μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των μικρομετακινήσεων στην περιοχή ήταν από τρεις φάσεις μετρήσεων. Οι δύο πρώτες φάσεις έγιναν το 2012 από φοιτητές του ΤΕΠΑΚ ενώ η τρίτη φάση μετρήσεων έγινε κατά την διεκπεραίωση της πτυχιακής αυτής το 2016. Η πρώτη φάση ήταν στις 13 Αυγούστου το 2012, η δεύτερη στις 6 Νοεμβρίου το 2012 ενώ τη τελευταία στις 9 Μαρτίου του 2016. Και στις 3 φάσεις των μετρήσεων εφαρμόστηκε η μέθοδος του σχετικού στατικού εντοπισμού θέσης, η οποία είναι η πιο κατάλληλη για μετρήσεις γεωδαιτικών τριδιάστατων δικτύων ελέγχου. Οι δέκτες παράμεναν ακίνητοι στις κορυφές του δικτύου καθόλη την διάρκεια των μετρήσεων. Ο ένας από τους δέκτες μένει ακίνητος σε ένα σταθμό με γνωστές συντεταγμένες, στην περίπτωση αυτή είναι ο σταθμός SUB του οποίου οι συντεταγμένες του είναι γνωστές και διορθώνονται από το σταθμό NICO με τη χρήση του σχετικού στατικού εντοπισμού.

Το αρχικό δίκτυο αποτελείται από 8 κορυφές ενώ στις μετρήσεις που έγιναν στις 09.03.2016 επιλέχθηκαν 6 από τις 8 αυτές κορυφές του δικτύου για μέτρηση. Υπήρχαν μόνο έξι διαθέσιμοι δέκτες GNSS και η διαδικασία που χρησιμοποιήθηκε απαιτούσε ταυτόχρονες παρατηρήσεις των δορυφόρων για μεγαλύτερη ορθότητα και ακρίβεια. Οι έξι στάσεις επιλέχθηκαν με τρόπο ώστε να σχηματίζονται τρίγωνα που περιλαμβάνουν όλη την περιοχή μελέτης και να μην σχηματίζονται πολύ μεγάλες βάσεις. Οι 5 κορυφές βρίσκονται

περιμετρικά του Σταθμού (Pefk, Krat, Skop, Thal, SUB) και μία κορυφή βρίσκεται στη μέση του Σταθμού (Pump). Έχονταν κοινές παρατηρήσεις δορυφόρων και χρησιμοποιώντας μαθηματικές εξισώσεις μπορούν να μειωθούν μέχρι και να εξαληφθούν τα ιονοσφαιρικά και τα τροποσφαιρικά σφάλματα. Ακόμη με τη μέθοδο αυτή γίνεται εξοικονόμηση χρόνου καθώς μετρούν ταυτόχρονα οι δέκτες και δεν χρειάζεται συχνή επίσκεψη στο πεδίο. Συνολικά μετρήθηκαν 15 βάσεις, το βήμα καταγραφής ορίστηκε ανά 1sec και η γωνία αποκοπής στις 15 μοίρες. Δεν υπήρχαν παρεμβολές στο σήμα των δορυφόρων καθώς υπήρχε ανοικτός ορίζοντας έτσι δεν χρειαζόταν προγραμματισμός των μετρήσεων. Ο συνολικός χρόνος μετρήσεων στο πεδίο για τις 09.03.2016 ήταν περίπου έξι-εφτά ώρες. Για τον υπολογισμό των μικρομετακινήσεων αρχικά έγινε ο ακριβής υπολογισμός των συντεταγμένων για όλες τις κορυφές του δικτύου. Η επίλυση του δικτύου έγινε με το λογισμικό Leica Geo Office όπου υπολογίστηκαν οι Καρτεσιανές συντεταγμένες της κάθε κορυφής και έγινε έλεγχος της ακρίβειας των μετρήσεων βάση των Reports (DOPs+cycle slips). Ακολούθως έγινε ο υπολογισμός των DE, DN, DU δηλαδή οι μετακίνηση των κορυφών του δικτύου κατά την οριζόντια και την κατακόρυφη έννοια. Επίσης υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες του δικτύου από το λογισμικό GrafNet για τις 09 Μαρτίου 2016 για να μπορεί να γίνει σύγκριση ανάμεσα στα δύο λογισμικά.

1.3 Δομή

Κεφάλαιο 1: Καταγράφονται η εισαγωγή, ο στόχος, η μεθοδολογία, η δομή και η περιοχή μελέτης της πτυχιακής αυτής μελέτης.

Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση, καταγράφονται σχετικά άρθρα για μικρομετακινήσεις και μέτρηση δικτύων σε μεγάλα τεχνητά έργα.

Κεφάλαιο 3: Δίνεται ο όρος για τα Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης και διάφορα παραδείγματα τους όπως το GPS, το GLONASS, το Galileo, το BeiDou. Σημειώθηκε η ιστορία τους, οι διαθέσιμοι δορυφόροι και οι παροχές τους. Τέλος σημειώνονται τα μειονεκτήματα και τα πλεονεκτήματα του GNSS έναντι άλλων μεθόδων.

Κεφάλαιο 4: Αναλύονται τα τμήματα του συστήματος GPS – τμήμα διαστήματος το οποίο αποτελείται από τους δορυφόρους, το τμήμα ελέγχου το οποίο αποτελείται από επίγειες εγκαταστάσεις παρακολούθησης δορυφόρων και το τμήμα χρηστών.

Κεφάλαιο 5: Διαφοροποιούνται οι τρεις κατηγορίες δεκτών δηλαδή η κατηγορία καταναλωτών ή χρηστών που είναι κυρίως για πλοήγηση ή ψυχαγωγία, η κατηγορία χαρτογράφησης για τοπογραφικές εφαρμογές και η κατηγορία γεωδαιτικών δεκτών για εργασίες υψηλής ακρίβειας.

Κεφάλαιο 6: Περιγράφεται ο κύριος δέκτης και η κεραία του δέκτη GNSS.

Κεφάλαιο 7: Επεξήγηση του δορυφορικού σήματος και των κωδίκων που μεταφέρουν το δορυφορικό χρόνο και τα μηνύματα πλοήγησης για τον υπολογισμό του χρόνου ταξιδιού ανάμεσα στον δορυφόρο και το δέκτη. Αναφορά στο φαινόμενο Doppler και στην σκόπιμη μείωση ακρίβειας.

Κεφάλαιο 8: Σημειώνονται οι παρατηρήσεις ψευδοαποστάσεων δηλαδή η απόσταση δέκτη-δορυφόρου και παρατηρήσεις φάσης δηλαδή το άθροισμα του συνολικού αριθμού πλήρων κύκλων φορέα και κλασματικούς κύκλους δέκτη και δορυφόρου. Αναλύονται οι χρόνοι GPS (TAI, UTC, χρόνος GPS), τα ατομικά χρονόμετρα και τα χρονόμετρα δεκτών όπως επίσης και τα σφάλματα ρολογιού και ο συγχρονισμός των δεκτών.

Κεφάλαιο 9: Αναλύονται τα σφάλματα GPS τα οποία είναι σφάλματα σχετικά με τους δορυφόρους όπως σφάλματα ρολογιού ή τροχιάς· σφάλματα σχετικά με τους δέκτες όπως ρολογιού, θόρυβος και μεταβολή κέντρου φάσης της κεραίας· και σφάλματα σχετικά με τη διάδοση του σήματος όπως ιονοσφαιρικά, τροποσφαιρικά, ολίσθησης κύκλων και πολυανάκλασης.

Κεφάλαιο 10: Αναλύονται τα μαθηματικά μοντέλα προσδιορισμού θέσης όπως ο απόλυτος προσδιορισμός είτε κινητικός είτε στατικός, ο διαφορικός προσδιορισμός θέσης και ο σχετικός εντοπισμός. Η επεξεργασία των μετρήσεων μπορεί να γίνει σε πραγματικό χρόνο ή ως εκ των υστέρων.

Κεφάλαιο 11: Περιγράφονται τα Δίκτυα GPS, το Διεθνές Επίγειο Πλαίσιο Αναφοράς, το σύστημα ITRF2008, οι IGS σταθμοί και ο σταθμός NICO.

Κεφάλαιο 12: Καταγράφονται αναλυτικά οι εργασίες πεδίου δηλαδή ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε (δέκτης NovAtel Propak 6, κεραία NovAtel 703GGG, δέκτης Leica GS15 Professional) και η προετοιμασία που έγινε πριν την επίσκεψη στο πεδίο. Επίσης καταγράφεται η διαδικασία των μετρήσεων για τις 09.03.2016, οι καιρικές συνθήκες, γενικά στοιχεία του δικτύου, το χρονοδιάγραμμα των μετρήσεων και άλλες σημαντικές πληροφορίες.

Κεφάλαιο 13: Καταγράφονται αναλυτικά οι εργασίες γραφείου. Υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες για το σταθμό NICO για το ITRF2008 και έγινε η λήψη δορυφορικών εφημερίδων. Το δίκτυο επιλύθηκε με δύο λογισμικά το Geo Office και το GrafNet όπου αναφέρονται τα χαρακτηριστικά τους και καταγράφονται βήμα – βήμα η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την επίλυση της βάσης NICO-SUB και ακολούθως του SUB-δικτύου.

Κεφάλαιο 14: Στο κεφάλαιο αυτό φαίνονται σε πίνακες τα αποτελέσματα των επιλύσεων. Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενες Καρτεσιανές Συντεταγμένες για κάθε κορυφή του δικτύου και τα κριτήρια ποιότητας αποδοχής. Τέλος γίνεται η σύγκριση ανάμεσα στο λογισμικό Geo Office και το λογισμικό GrafNet.

Κεφάλαιο 15: Διεξήλθαν κάποια συμπεράσματα σχετικά με τις μικρομετακινήσεις του δικτύου (H/Σ) για τα διαστήματα 13.08.2012 με 06.11.2012, 13.08.2012 με 09.03.2016, 06.11.2012 με 09.03.2016· και κατά πόσο η χρήση των δεκτών GNSS για την μέτρηση τριδιάστατων δικτύων είναι ικανοποιητική.

Κεφάλαιο 16: Έγιναν προτάσεις σχετικά με την βέλτιστη αξιοποίηση του δικτύου σε μελλοντικές εργασίες.

1.4 Περιοχή Μελέτης – Ηλεκτροπαραγωγικός Σταθμός Βασιλικού

Η Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου βασίζεται για την παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας αποκλειστικά σε εισαγόμενα καύσιμα και κυρίως μαζούτ. Επί του παρόντος η ΑΗΚ διαθέτει 3 Ηλεκτροπαραγωγικούς Σταθμούς με συνολική εγκαταστημένη ισχύ 1478 MW. Οι τρεις σταθμοί είναι ο Σταθμός Δεκέλειας, ο Σταθμός Μονής και ο Σταθμός Βασιλικού.

Ο Ηλεκτροπαραγωγικός Σταθμός Βασιλικού είναι ο νεότερος και ο πιο σύγχρονος σταθμός και αποτελεί το μεγαλύτερο έργο υποδομής που έγινε ποτέ στην Κύπρο. Ο χώρος του Η/Σ έχει διαστάσεις 560 μέτρα κατά πλάτος δηλαδή ανατολή-δύση ενώ το μήκος του είναι 1 χιλιόμετρο κατά βορρά-νότο. Επίσης ο σταθμός εφάπτεται της ακτογραμμής και οι εγκαταστάσεις του βρίσκονται μεταξύ δύο αναχωμάτων. Η σημασία του βασικού αυτού έργου υποδομής είναι στενά συνυφασμένη με την ευρύτερη οικονομική ανάπτυξη της Κύπρου. Στις 11 Ιούλη 2011 λόγω της έκρηξης στη ναυτική βάση στο Μαρί, ο ηλεκτροπαραγωγός σταθμός του Βασιλικού που γειτνιάζει της στρατιωτικής βάσης, υπέστη βαριές απώλειες που είχαν ως αποτέλεσμα την πλήρη αναστολή των δραστηριοτήτων του. Ο

σταθμός έχει αποκατασταθεί και είναι πλέον σε πλήρη λειτουργία. Ο Σταθμός είναι έργο υψηλής τεχνολογίας και αποτελείται από τρεις συμβατικές μονάδες παραγωγής ισχύος 130 MW η κάθε μία με χρησιμοποιούμενο καύσιμο το μαζούτ. Στη μία συμβατική μονάδα των 130 MW έχει εγκατασταθεί σύστημα αποθείωσης των καυσαερίων για μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του θείου πιο κάτω από τα όρια που καθορίζονται από την Ευρωπαϊκή Οδηγία για Μεγάλες Εγκαταστάσεις Καύσης. Επίσης αποτελείται από ένα αεριοστρόβιλο ισχύος 38 MW με χρησιμοποιούμενο καύσιμο το ντίζελ και τέλος από δύο μονάδες συνδυασμένου κύκλου 220 MW έκαστη με καύσιμο το ντίζελ και δυνατότητα μετατροπής τους για να έχουν ως καύσιμο το φυσικό αέριο. (Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου 2015)



Διάγραμμα 1- Φωτογραφία Σταθμού ΑΗΚ στο Βασιλικό



Διάγραμμα 2 - Σταθμός ΑΗΚ από δορυφορική εικόνα

2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Ο Γεώργιος Σταύρου το 2013, φοιτητής στο ΤΕΠΑΚ είχε ως Πτυχιακή Εργασία την μέτρηση και επίλυση τρισδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου ακρίβειας στον Η/Σ Βασιλικό της ΑΗΚ, με χρήση ολοκληρωμένων γεωδαιτικών σταθμών. Έγινε συγκριτική αξιολόγηση από επίγειες και δορυφορικές μετρήσεις. Στόχος της εργασίας ήταν ο έλεγχος καταλληλότητας των κατεστραμμένων κτιρίων, την υποστήριξη των κατασκευαστικών εργασιών αλλά και την μελλοντική παρακολούθηση των μετακινήσεων τόσο των κατασκευών όσο και του περιβάλλοντα χώρου. Το δίκτυο αποτελείται από 9 κορυφές και επιλύθηκε μονοδιάστατα, δυσδιάστατα και τρισδιάστατα σε μία προσπάθεια βελτίωσης του τελικού προϊόντος. Τα 4 βάθρα τοποθετήθηκαν περιμετρικά του σταθμού ενώ τα άλλα 3 πέριξ του κεντρικού πυρήνα ανάπτυξης των εγκαταστάσεων. Το όγδοο τοποθετήθηκε στο πλευρό της τσιμεντένιας καμινάδας σε ύψος 30μ από το έδαφος. Το ένατο τοποθετήθηκε έξω από την περιοχή των κύριων εγκαταστάσεων πάνω σε μία μονολιθική κατασκευή ύψους 4-5μ από το έδαφος σε απόσταση 500μ από το κεντρικό πυρήνα του σταθμού. Η κατασκευή του δικτύου που κράτησε περίπου 3 εβδομάδες κόστισε σε υλικά και κόστος εργολάβου γύρω στις 13 χιλιάδες ευρώ. Ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός που χρησιμοποιήθηκε είναι ο TCR1202+ ο οποίος έχει δυνατότητα χρήσης και χωρίς ανακλαστήρα. Για καταγραφή μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε υπολογιστής πεδίου της εταιρία Getac B300. Για την μέτρηση του ύψους του οργάνου και το στόχου χρησιμοποιήθηκε ο ψηφιακός χωροβάτης και ο ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός. Κατά την επίλυση και συνόρθωση του δικτύου προσδιορίστηκαν τα υψόμετρα των κορυφών και οι αντίστοιχες αβεβαιότητες τους. Το μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε είναι η MET. Η επίλυση δικτύου του οριζόντιου ελέγχου έγινε με την μέθοδο των MET όπου έγινε και η μέθοδος μεταβολής συντεταγμένων ώστε να προσδιοριστούν αρχικά οι διορθώσεις στις προσωρινές συντεταγμένες και ακολούθως οι καλύτερες τιμές των αγνώστων και το σφάλμα προσδιορισμού τους. Για την επίλυση του τρισδιάστατου δικτύου ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία με αυτή του οριζοντιογραφικού δικτύου, θεωρώντας μία σταθερή κορυφή (x,y,z) και τη γωνία διεύθυνσης μίας πλευράς του δικτύου γνωστή. Από την σύγκριση των επίγειων και των δορυφορικών μεθόδων για τα αντίστοιχα μήκη προκύπτει ότι οι σημαντικότερες διαφορές, της τάξης του 1cm, παρατηρούνται στις συνδέσεις όλων των σημείων με το σημείο 9 καθώς το σημείο αυτό εμφανίζει δυναμική συμπεριφορά. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις οι διαφορές που

παρατηρούνται είναι οριακές και οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στην μικρή αβεβαιότητα των τιμών των μηκών που προσδιορίζονται χρησιμοποιώντας το σύστημα GPS. Υπάρχει διαφορά στα υπολογισμένα υψόμετρα από την υψομετρική επίλυση με τα υψόμετρα της τρισδιάστατης επίλυσης και του GPS. Οι τιμές μεταξύ τρισδιάστατης και δορυφορικής επίλυσης παρουσιάζουν σύγκλιση μόνο κατά 50%. Πιθανόν αυτό εξηγείται από την αδυναμία του συστήματος GPS στον προσδιορισμό της τρίτης συνιστώσας. Οι διαφορές στα περισσότερα σημεία είναι κάτω των 5mm και καμία πάνω από 8mm, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι κάτω από προϋποθέσεις το σύστημα GPS μπορεί κάλλιστα να χρησιμοποιηθεί για τέτοιες εφαρμογές νοουμένου ότι το ζητούμενο κινείται σε αυτά τα πλαίσια. Είναι επίσης ξεκάθαρο ότι για εφαρμογές κάτω των 5mm η χρήση του GPS είναι απαγορευτική. (Σταύρου 2013)

Ο Βασίλης Στουρνάρα το 2012, ως φοιτητής στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο είχε ως πτυχιακή εργασία την Μελέτη της Κινηματικής Συμπεριφοράς του Φράγματος της Λίμνης Πλαστήρα με Δορυφορικές Μεθόδους. Στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας η παρακολούθηση των οριζόντιων μετακινήσεων του φράγματος έγινε με τη χρήση της Γεωδαιτικής Μεθοδολογίας και την εφαρμογή της δορυφορικής μεθόδου. Συγκεκριμένα ανιχνεύθηκαν και προσδιορίστηκαν οι οριζόντιες μετακινήσεις κατά τα χρονικά διαστήματα Αύγουστος 2011 – Μάιος 2012. Συνολικά απαιτήθηκαν 25 ημέρες εργασιών πεδίου και 75 ημέρες εργασιών γραφείου. Για την παρακολούθηση ιδρύθηκε δορυφορικό δίκτυο 9 κορυφών, 3 από αυτές είναι υλοποιημένες στη στέψη του φράγματος. Όλα τα βάθρα φέρουν σύστημα εξαναγκασμένης κέντρωσης. Η σταθερή κορυφή του δικτύου είναι ένα τριγωνομετρικό σημείο το οποίο βρίσκεται εκτός της περιοχής επιρροής του φράγματος σε απόσταση 5km από το φράγμα στο χωριό Νεοχώρι. Οι βάσεις μεταξύ των κορυφών μετρήθηκαν με τη μέθοδο του στατικού εντοπισμού με δύο δέκτες διπλής συχνότητας. Για τις μεγαλύτερες και τις περιμετρικές βάσεις του δικτύου οι παρατηρήσεις διαρκούσαν από 45-90 λεπτά ενώ για τις υπόλοιπες βάσεις οι παρατηρήσεις διαρκούσαν 30 λεπτά. Η συνόρθωση έγινε με παρατηρήσεις τις συνιστώσες των ανεξάρτητων βάσεων και πίνακα μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας για κάθε διάνυσμα βάσης τον πίνακα 3x3, που προέκυψε από την επίλυση της κάθε βάσης χωριστά. Για επίλυση του δικτύου ελέγχου χρησιμοποιείται η μέθοδος των διαφορών τόσο με τη χρήση του κώδικά όσο και με τη χρήση της συχνότητας ή και συνδυασμό των δύο. Από τις διαφορές των συντεταγμένων των

κορυφών του δικτύου, προσδιορίστηκε το διάνυσμα της σχετικής μεταβολής των κορυφών των βάσεων. Μετά από την επεξεργασία των βάσεων, τη συνόρθωση των παρατηρήσεων και την επίλυση του δικτύου για κάθε φάση μέτρησης, εκτιμήθηκαν οι συντεταγμένες των κορυφών του δικτύου και οι αβεβαιότητες τους. Από την σύγκριση των συντεταγμένων προσδιορίστηκαν τα διανύσματα μεταβολής θέσης των κορυφών ανάμεσα στις τρεις φάσεις μέτρησης. Η συνόρθωση των παρατηρήσεων του δικτύου έγινε κατά βάση με τη Μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων MET. Σε σχέση με τις μετακινήσεις ανιχνεύονται: η ελάχιστη στατιστικά σημαντική μετακίνηση για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% είναι 15mm. Στο διάστημα Αύγουστος 2011- Νοέμβρης 2011 ανιχνεύεται σημαντική μετακίνηση της τάξης των 20mm στην κορυφή FYL του δικτύου. Το διάστημα Νοέμβριος 2011-Μάιος 2012 δεν ανιχνεύονται στατιστικά σημαντικές μετακινήσεις. Από την εξέταση του προσανατολισμού των διανυσμάτων μεταβολής θέσης των κορυφών φαίνεται ότι εκτός από τις υδροστατικές πιέσεις επιδρούν σημαντικά οι θερμοκρασιακές μεταβολές. (Στουρνάρας 2012)

Ο Κώστας Κωνσταντίνου το 2013 ως φοιτητής στο ΤΕΠΑΚ είχε ως θέμα πτυχιακής εργασίας την Παρακολούθηση μετακινήσεων του τρισδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου ελέγχου στο φράγμα του Κούρη στην Κύπρο με χρήση τεχνολογίας GNSS. Σκοπός της πτυχιακής ήταν η μέτρηση του δικτύου και η επίλυση σε δύο φάσεις μέτρησης, με σκοπό τον έλεγχο και τον προσδιορισμό των μετακινήσεων της ευρύτερης περιοχής του φράγματος. Στην πτυχιακή αυτή αναφέρεται η διαδικασία ανίχνευσης των οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων του φράγματος στο χρονικό διάστημα 2006 (Αύγουστος) μέχρι το 2012 (Ιούνιο) με μέτρηση τρισδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου ελέγχου. Εφαρμόστηκε η μέθοδος του σχετικού στατικού εντοπισμού όπου ενδείκνυται για μετρήσεις γεωδαιτικού τρισδιάστατου δικτύου ελέγχου. Χρησιμοποιήθηκαν και οι 6 δέκτες που μετρούσαν ταυτόχρονα για μεγαλύτερη ορθότητα και συμβατότητα. Συνολικά μετρήθηκαν 15 βάσεις και το βήμα καταγραφής ορίστηκε ανά 1sec. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε δύο μέρες στις 4.6.2012 με 2 ώρες και 15 λεπτά χρόνος των μετρήσεων και τη δεύτερη μέρα στις 6.6.2012 με χρόνο μετρήσεων 2 ώρες. Η επαναμέτρηση του γεωδαιτικού δικτύου ελέγχου έγινε τον Ιούνιο του 2012 όταν το φράγμα βρισκόταν σε πληρότητα 100%. Επιλέχτηκε ο δέκτης Leica Viva GNSS GS15 για τις μετρήσεις του τρισδιάστατου γεωδαιτικού δικτύου ελέγχου. Το δίκτυο αποτελείται από 6 σημεία ελέγχου όπου τα 5 από αυτά είναι τσιμεντένια βάρη. Τα 4 είναι τοποθετημένα περιμετρικά του φράγματος και το πέμπτο έξω από την περιοχή σε

απόσταση περίπου 1700μ από το φράγμα. Το έκτο σημείο υλοποιείται από μία ορειχάλκινη βάση πάνω σε τσιμεντένια κατασκευή στην μέση περίπου της στέψης του φράγματος. Η μέτρηση του δικτύου έγινε με γεωδαιτικό δέκτη υψηλής ακρίβειας και η επίλυση του δικτύου έγινε χρησιμοποιώντας γραμμικές εξισώσεις. Από την επίλυση προέκυψε το διάνυσμα των συντεταγμένων των κορυφών του δικτύου σε αυθαίρετο τοπικό σύστημα αναφοράς για τις δύο χρονικές στιγμές μέτρησης και οι αντίστοιχοι πίνακες μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας. Στη συνέχεια προσδιορίστηκαν οι απόλυτες και οι σχετικές μετακινήσεις τόσο οριζοντιογραφικά όσο και υψομετρικά για απόλυτες κατακόρυφες θέσεις σημείων τρισδιάστατου ελέγχου για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Τα αποτελέσματα της πτυχιακής ήταν πρώτα η απόλυτη οριζόντια μετακίνηση : Το σημείο T2 δεν παρουσιάζει μετακίνηση, το σημείο T3 παρουσιάζει μετακίνηση της τάξεως 8.4mm βορειοανατολική διεύθυνση, το σημείο T4 παρουσιάζει μετακίνηση της τάξεως 14.9mm ανατολική διεύθυνση, το σημείο T5 παρουσιάζει μετακίνηση της τάξεως 7mm βορειοανατολική διεύθυνση και το σημείο T6 παρουσιάζει την μεγαλύτερη μετακίνηση της τάξεως των 24.8mm νοτιοανατολική διεύθυνση. Ακολούθως υπολογίστηκε η απόλυτη κατακόρυφη μετακίνηση: Το σημείο T2 παρουσιάζει μία οριακή μετακίνηση προς τα πάνω τη τάξεως των 6.6mm, τα σημεία T5,T4,T3 παρουσιάζουν μία μετακίνηση προς τα κάτω 15.5mm, 20.8mm και 23.8 mm αντίστοιχα και τέλος το σημείο με την μεγαλύτερη απόλυτη κατακόρυφη μετακίνηση προς τα κάτω είναι το T6 με μετακίνηση της τάξεως 67.5mm. Η μεγαλύτερη μετακίνηση εντοπίστηκε στην κορυφή T6 στη στέψη του φράγματος. Η υψομετρική μεταβολή που εμφανίζεται είναι - 67.5mm άρα υπάρχει καθίζηση της στάσης αυτής. Τα σημεία που είναι δίπλα στο φράγμα έχουν υποστεί μεγαλύτερη μετακίνηση τόσο οριζοντιογραφικά όσο και υψομετρικά σε σχέση με τα σημεία που είναι απομακρυσμένα από το φράγμα. (Κωνσταντίνου 2013)

Ο Θεοδώρου Χαράλαμπος το 2010 ως φοιτητής στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο στη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών είχε ως πτυχιακή εργασία την Αξιολόγηση της χρήσης επίγειων και δορυφορικών μετρήσεων για την παρακολούθηση μετακινήσεων τεχνικών έργων σε αστική περιοχή με εφαρμογή στο νέο Γήπεδο Καραϊσκάκη. Οι μετρήσεις της διπλωματικής εργασίας έγιναν χρησιμοποιώντας δέκτες του δορυφορικού συστήματος GPS και επίγεια γεωδαιτικά όργανα. Η επεξεργασία και σύγκριση των σειρών των μετρήσεων των δύο διαφορετικών χρονικών στιγμών έγινε με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Οι πρώτες μετρήσεις πάρθηκαν από ένα τρισδιάστατο δίκτυο περιορισμένου πεδίου που δημιουργήθηκε το 2007 με την εγκατάσταση σημείων ελέγχου στον

περιβάλλοντα χώρο του γηπέδου Γεώργιος Καραϊσκάκης στο Δήμο Νέου Φαλήρου Αττικής. Το τρισδιάστατο δίκτυο παρακολούθησης του 2007 αποτελείτο από 12 σημεία για τη διαχρονική παρακολούθηση της συμπεριφοράς του γηπέδου και του περιβάλλοντα χώρου του. Οι δεύτερες μετρήσεις πάρθηκαν από την διπλωματική εργασία που εκπονήθηκε το 2010 και είχε ως στόχο την αξιολόγηση της χρήσης επίγειων και δορυφορικών μετρήσεων για την παρακολούθηση τεχνικών έργων σε αστική περιοχή. Λόγω ιδιαιτερότητας και μειωμένης ορατότητας των δορυφόρων έγιναν μετρήσεις σε συγκεκριμένες ώρες που είχαν περισσότερη ορατότητα σχεδιάζοντας πρώτα ένα planning των μετρήσεων. Με την βοήθεια του λογισμικού TGOoffice δύναται η δυνατότητα στον χρήστη να γνωρίζει εκ των προτέρων τι φαινόμενο Doppler θα συναντήσει καθώς και ποιοι θα είναι οι δορυφόροι που θα βλέπει τη χρονική στιγμή των μετρήσεων. Επίσης μέσω του λογισμικού αυτού γίνεται ο σχεδιασμός, η επεξεργασία και η επίλυση των μετρήσεων με GPS. Οι πρώτες μετρήσεις έγιναν με τους δέκτες του δορυφορικού συστήματος GPS. Η τεχνική που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις των βάσεων του δικτύου των 6 σημείων στο περιβάλλοντα χώρο του γηπέδου ήταν αυτή του σχετικού στατικού εντοπισμού. Συγκεκριμένα τοποθετήθηκαν δύο δέκτες στις δύο κορυφές μίας βάσης και παρέμειναν εκεί μετρώντας για τουλάχιστον μία ώρα. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν 13-14 Νοεμβρίου 2009 κάτω από καλές καιρικές συνθήκες. Οι δεύτερες μετρήσεις έγιναν με επίγεια γεωδαιτικά όργανα. Για τον τρισδιάστατο δίκτυο των δώδεκα σημείων ελέγχου έγιναν όλες οι μετρήσεις μηκών, οριζόντιων και κατακόρυφων γωνιών όπου ήταν εφικτό. Αρχικά τοποθετήθηκαν τα 6 φορητά βάθρα και τα 6 τρικόχλια. Έγινε η οριζοντίωση των τρικοχλίων σε όλα τα εδαφικά σημεία ελέγχου με τη βοήθεια του γεωδαιτικού σταθμού Leica TCRM 1201. Ακολούθως έγινε η μέτρηση του ύψους του οργάνου και του ύψους του στόχου. Οι μετρήσεις έγιναν στις 20 Μαρτίου με συνεργείο 4 ατόμων. Για κάθε στάση οργάνου απαιτήθηκε χρόνος 16-18 λεπτά. Η όλη διαδικασία πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τόσο broadcast όσο και precise εφημερίδες δορυφόρων. Η επίλυση δικτύου έγινε σε ένα τοπικό σύστημα αναφοράς. Οριζοντιογραφικά οι μεγάλες διαφορές παρατηρούνται στις συντεταγμένες στα σημεία Σ3 και Σ5, τα οποία δεν έχουν καλή ορατότητα με τον ορίζοντα. Ο αριθμός των παρατηρήσεων είναι 51, ο αριθμός των αγνώστων είναι 32 έτσι ο βαθμός ελευθερίας είναι 19 και μπορεί να επιλυθεί. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων GPS δεν ήταν ικανοποιητικά για τον σκοπό της εργασίας καθώς η αβεβαιότητα μέτρησης βάσεων κυμαίνεται από +5 έως +26mm. Λαμβάνοντας υπόψη ότι με τα επίγεια γεωδαιτικά όργανα οι μετρήσεις μηκών έχουν αβεβαιότητα +2mm, τότε συμπεραίνουμε ότι το σύστημα GPS δεν μπορεί να συμβάλλει ικανοποιητικά σε τέτοιου

είδους μετρήσεις. Έτσι ο λόγος των βαρών των επίγειων μετρήσεων προς των μετρήσεων GPS (για τα μήκη) είναι περίπου δεκαπλάσιος. Βρέθηκε η απόλυτη κατακόρυφη μετακίνηση (καθίζηση) στο σημείο Σ5 κατά 9.2mm, για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Η σχετική κατακόρυφη μετακίνηση ήταν της τάξης των 10mm μεταξύ των σημείων Σ5-Σ7, Σ5-Σ8 και Σ5-Σ12, για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Η απόλυτη οριζόντια μετακίνηση ήταν στα σημεία Σ6 και Σ11 10,34mm και 13,77mm αντίστοιχα για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Η σχετική οριζόντια μετακίνηση ήταν μεταξύ των σημείων Σ2-Σ6 10,94mm, Σ2-Σ11 14,38mm, Σ7-Σ11 12,76mm και Σ11-Σ12 10,11mm, για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. (Θεοδώρου 2010)

3 Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης

Ο όρος παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης (GNSS) αναφέρεται σε μία ομάδα δορυφόρων που παρέχουν σήματα από το διάστημα με μετάδοση δεδομένων για τον εντοπισμό της θέσης και δεδομένα χρόνου. Εξ ορισμού το GNSS παρέχει παγκόσμια κάλυψη και παραδείγματα του είναι το GPS, το GLONASS, το Galileo και το BeiDou. Η βάση όλων των συστημάτων GNSS είναι ότι ένας χρήστης καθορίζει τη θέση μετρώντας τουλάχιστον 4 δορυφόρους GNSS συγχρόνως. Οι μετρήσεις αυτές δίνουν στο χρήστη 4 αποστάσεις μεταξύ του ιδίου και των 4 δορυφόρους. Με τέσσερις μετρήσεις μπορεί κανείς να επιλύσει 4 αγνώστους. Για τον τελικό χρήστη οι 4 αυτές άγνωστοι είναι οι 3 άγνωστοι από τη θέση του δηλαδή το γεωγραφικό πλάτος, το γεωγραφικό μήκος και το ύψος (φ,λ,h) και το σφάλμα του ρολογιού του δέκτη GNSS του. Η απόδοση ενός συστήματος δορυφορικής πλοήγησης εκτιμάται σύμφωνα με τέσσερα κριτήρια. Την ακρίβεια η οποία αναφέρεται στη διαφορά μεταξύ της μετρούμενης και της πραγματικής θέσης, της ταχύτητας ή του χρόνου του δέκτη. Την ακεραιότητα που αναφέρεται στην ικανότητα ενός συστήματος να προβλεφθούν όρια εμπιστοσύνης, καθώς και συναγερμούς στην περίπτωση που συμβούν ανωμαλίες στα δεδομένα θέσης. Επίσης την ικανότητα ενός συστήματος να λειτουργεί χωρίς διακοπή και τη διαθεσιμότητα που αναφέρεται στο ποσοστό του χρόνου κατά τον οποίο το σήμα πληροί τα κριτήρια ακρίβειας, ακεραιότητας και συνέχειας στις μετρήσεις. Οι μετρήσεις που γίνονται στους δέκτες δεν είναι μετρήσεις απόστασης αλλά μετρήσεις χρόνου δηλαδή ο χρόνος που πήρε το σήμα να ταξιδέψει από το δορυφόρο στο δέκτη. Έτσι πρέπει να γνωρίζουμε το χρόνο που το σήμα έφυγε από τον πομπό και το χρόνο που το σήμα φτάνει στο δέκτη. Φεύγοντας από το δορυφόρο το σήμα παίρνει ένα χρόνο – tag. Με αυτό τον τρόπο ο δέκτης γνωρίζει την ακριβή ώρα της μετάδοσης του σήματος. Ο χρόνος του δέκτη δεν έχει μεγάλη ακρίβεια έτσι πρέπει να υπολογιστεί το σφάλμα του ρολογιού. Το μετρούμενο ταξίδι χρόνου πρέπει να πολλαπλασιαστεί με την ταχύτητα ταξιδιού του σήματος δηλαδή την ταχύτητα του φωτός που είναι περίπου 300km/s έτσι ώστε να πάρει την πραγματική απόσταση μεταξύ του δορυφόρου και του δέκτη. Έτσι για να υπάρχει μεγάλη ακρίβειας μέτρησης της απόστασης πρέπει η ακρίβεια του χρόνου να είναι περίπου 10 μικροδευτερόλεπτα, και για να επιτευχθεί αυτό πρέπει να γίνει χρήση ατομικών ρολογιών. Επίσης το τμήμα εδάφους παρακολουθεί τη συμπεριφορά των ρολογιών και μεταδίδει πληροφορίες σχετικά με την μετατόπιση του ρολογιού. (POSITIM 2010; Eissfeller, Ameres, Kropp and Sandroma 2015)

3.1 GPS

Το GPS (Global Positioning System) είναι ένα δορυφορικό σύστημα εντοπισμού θέσης που αναπτύχθηκε από το υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ. Το σύστημα χρησιμοποιεί μία γήινη τροχιά δορυφόρων και μεταδίδει σήματα μικροκυμάτων επιτρέποντας τους δέκτες GPS να προσδιορίζουν τη θέση, την ταχύτητα και το χρόνο. Το 1973 το υπουργείο Άμυνας αποφάσισε να αναπτύξει ένα σύστημα δορυφορικής πλοήγησης βασισμένο σε προηγούμενα συστήματα. Η έννοια του GPS γεννήθηκε το 1977 όπου πραγματοποιήθηκαν και δοκιμές με τη χρήση ψευδοδορυφόρων εγκαταστημένων στην επιφάνεια της γης. Η πρώτη λειτουργική συσκευή ξεκίνησε το 1978. Το 1989 ένα νέο είδος δορυφόρου ενεργοποιήθηκε και το πρώτο block II ξεκίνησε. Το 1993 με την χρήση 24 λειτουργικών δορυφόρων αποφασίστηκε η δωρεάν αστική χρήση του GPS. Το 2000 με την απενεργοποίηση της επιλεκτικής διαθεσιμότητας έγινε η βελτίωση της ακρίβειας για τους απλούς χρήστες, έτσι η ακρίβεια από τα 100m έφτασε τα 20m. Το 2005 έγινε η εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου τύπου IIR-M ο οποίος υποστηρίζεται από το στρατιωτικό σήμα M-signal και από το πολιτικό σήμα L2C. Από τις 12 Φεβρουαρίου 2007 το διαστημικό τμήμα χτίστηκε από 31 λειτουργικούς δορυφόρους. Το GPS χρησιμοποιεί τον κώδικα CDMA (Code Division Multiple Access), όπου στέλνονται διαφορετικά σήματα στην ίδια ραδιοσυχνότητα και η διαμόρφωση που χρησιμοποιείται είναι η BPSK (Binary Shift Phase Keying). Ο βασικός προορισμός του συστήματος ήταν ο έλεγχος της κίνησης οχημάτων, πλοίων και αεροπλάνων σε παγκόσμια κλίμακα και αρχικά ήταν κυρίως για στρατιωτικούς σκοπούς. Με την πάροδο του χρόνου και με τη βελτίωση της ακρίβειας του συστήματος οι εφαρμογές επεκτείνονται και σε άλλους τομείς, όπως είναι η παρακολούθηση μετακινήσεων του στερεού φλοιού της Γης, η παρακολούθηση μικρομετακινήσεων μεγάλων τεχνικών έργων, υδρογραφικές εφαρμογές, αποτυπώσεις, εφαρμογές στις διαστημικές επιστήμες και εφαρμογές στις μεταφορές.

Το GPS παρέχει :

- ✓ 24ωρη κάλυψη σε όλο τον κόσμο.
- ✓ 3D εντοπισμό θέσης με υψηλή ακρίβεια (φ , λ , H ή X, Y, Z).
- ✓ Παροχή χρόνου.
- ✓ Ένα παγκόσμιο σύστημα αναφοράς WGS.
- ✓ Συνεχή λειτουργία σε πραγματικό χρόνο - Χρήση χωρίς περιορισμούς.
- ✓ Πολιτική χρήση με ελαφρώς μειωμένη ακρίβεια, κατάλληλη όμως για πολλές εφαρμογές.



Διάγραμμα 3- Τροχιές Δορυφόρων GPS

(Λακάκης 2015; Eissfeller, Ameres, Kropp and Sandroma 2015)

3.2 GLONASS

Είναι ένα σύστημα δορυφορικής πλοήγησης που αναπτύχθηκε αρχικά από το σοβιετικό στρατό. Στόχος του είναι να δημιουργήσει περισσότερες ευκαιρίες στους προγραμματιστές εφαρμογών ώστε να παρέχουν περισσότερες υπηρεσίες στους τελικούς χρήστες. Η ανάπτυξη του άρχισε το 1976 έχοντας παγκόσμια κάλυψη το 1991. Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας το σύστημα έπεσε σε παρακμή με την κατάρρευση της ρώσικης οικονομίας. Οι παλιοί δορυφόροι λήφθηκαν εκτός λειτουργίας αφού ο χρόνος ζωής τους είχε ξεπεραστεί. Δεν αντικαταστάθηκαν έτσι μόνο 8 δορυφόροι παρέμειναν στις τροχιές από το 2001. Για την αλλαγή αυτής της κατάστασης η Ρωσία αποφάσισε το 2011 να επαναφέρει το σύστημα. Στις 20 Αυγούστου το 2011 η ινδική κυβέρνηση χρηματοδότησε το ομοσπονδιακό πρόγραμμα της ρώσικης κυβέρνησης με την ονομασία 'Παγκόσμιο Σύστημα Πλοήγησης' όπου τονίστηκε ότι το GLONASS θα έχει πολιτική και γεωδαιτική χρήση δωρεάν και χωρίς περιορισμούς. Οι δορυφόροι που χρησιμοποιούνται έχουν διάρκεια ζωής επτά ετών, ζυγίζουν περίπου 1.400kg και χρησιμοποιούν ρολόγια καισίου με καθημερινή σταθερότητα $5 \cdot 10^{-13}$. Οι δορυφόροι GLONASS-M είναι δορυφόροι πρώτης επιτυχημένης σειράς. Οι δορυφόροι Uragan-K είναι δορυφόροι τρίτης γενιάς οι οποία έχουν σχεδιαστεί για να έχουν διάρκεια ζωής 10-12 έτη και με βάρος 750kg οι οποίοι προσφέρουν L-Band σήμα πλοήγησης. Η ανάπτυξη και η συντήρηση του συστήματος GLONASS διεξάγεται από τον Ομοσπονδιακό Οργανισμό Διαστήματος (ROSCOSMOS,MOD). Ένα πλήρως λειτουργικό σύστημα αποτελείται από 24 δορυφόρους που έχουν αναπτυχθεί σε τρεις σχεδόν κυκλικές τροχιές με υψόμετρο 19,100km με περίοδο τροχιάς 11 ώρες και 15 λεπτά. Ένα χαρακτηριστικό του συστήματος είναι ότι

κάθε δορυφόρος περνά πάνω από το ίδιο σημείο κάθε όγδοη μέρα. (Eissfeller, Ameres, Kropp and Sandroma 2015)



Διάγραμμα 4- Δορυφόρος GLONASS-M

3.3 Galileo

Είναι το παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης της Ευρώπης το οποίο παρέχει υψηλή ακρίβεια και εγγυημένη παγκόσμια θέση υπό πολιτικό έλεγχο. Είναι διαλειτουργικός με το GPS και το GLONASS. Παρέχει σε πραγματικό χρόνο ακρίβεια κάτω από 1 μέτρο. Στις 21 Οκτωβρίου του 2011 πραγματοποιήθηκε η λειτουργία των δύο πρώτων δορυφόρων και στις 12 Οκτωβρίου του 2012 ακολούθησαν την λειτουργία τους οι υπόλοιποι 2 δορυφόροι. Μετά από τη φάση αυτή ακολούθησε μία επιπλέον φάση που ονομάστηκε FOC (Full Operational Capability). Στις 22 Αυγούστου 2014 και 27 Μαρτίου 2015 ξεκίνησαν από την Γαλλική Γουιάνα δύο ζεύγη δορυφόρων FOC. Ο δορυφόρος Galileo 9 και 10 εκτοξεύθηκαν το πρωί της 11^{ης} Σεπτεμβρίου το 2015. Οι ατομικές τους ζωές ξεκίνησαν 4 ώρες μετά την εκτόξευση τους και εποπτεύονται από την ESA στο Darmstadt της Γερμανίας. Η ομάδα των μηχανικών από την ESA και από την διαστημική υπηρεσία το CNES της Γαλλίας εκτόξευσαν στις 17 Δεκεμβρίου του 2015 τους δορυφόρους Galileo 11 και 12 οι οποίοι επιβλέπονται από το CNES στην Τουλούζη της Γαλλίας. Το πλήρως αναπτυγμένο σύστημα Galileo θα αποτελείται από 24 δορυφόρους σε λειτουργία +6 συμπληρωματικούς σε 3 σχεδόν κυκλικές τροχιές σε υψόμετρο 23.200 km πάνω από τη γη και σε κλίση 56 μοιρών προς τον ισημερινό. Η ολοκλήρωση του συστήματος προγραμματίζεται για το τέλος του 2020. Ο μεγάλος αριθμός δορυφόρων μαζί με το βελτιωμένο σχεδιασμό του αστερισμού, καθώς και η διαθεσιμότητα των τριών εφεδρικών δορυφόρων ανά επίπεδο τροχιάς, θα εξασφαλίσει ότι η απώλεια ενός δορυφόρου δεν θα επηρεάζει τον χρήστη. (ESA 2015)

3.4 BeiDou

Είναι το πιο καινούριο σύστημα δορυφορικής πλοήγησης. Βρίσκεται στην Κίνα και αναπτύχθηκε ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα συστήματα δορυφορικής πλοήγησης. Ο στόχος του συστήματος είναι να διατηρήσει την ανεξαρτησία του, να προσφέρει παγκόσμιες υπηρεσίες με μία αξιόπιστη τεχνολογία ώστε να δημιουργήσει μία βιομηχανική αλυσίδα, επεκτείνοντας το εύρος της εφαρμογής σε κοινωνικό και οικονομικό τομέα της χώρας. Στο διαστημικό τμήμα του συστήματος υπάρχουν 5 δορυφόροι σε γεωστατική τροχιά και 30 δορυφόροι σε μη γεωστατική τροχιά. Στο τμήμα ελέγχου αποτελείται από τους κύριους σταθμούς ελέγχου, τους υπολογιστικούς σταθμούς και τους σταθμούς παρακολούθησης. Παρόλο που η ιδέα ξεκίνησε το 1997, η επίσημη έγκριση από την κυβέρνηση για την ανάπτυξη του συστήματος έγινε το 2006 και αναμένεται ότι θα ολοκληρωθεί και θα παρέχει παγκόσμιες υπηρεσίες το έτος 2020. Το 2011 το σύστημα παρείχε επιχειρησιακή υπηρεσία παροχής πλοήγησης για την Ασία και τον Ειρηνικό με τον αστερισμό 10 δορυφόρων, και το 2012 ξεκίνησαν την λειτουργία τους ακόμη 5 δορυφόροι. (ESA 2014;Eissfeller, Ameres, Kropp and Sandroma 2015)

3.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα GNSS έναντι άλλων μεθόδων

Πλεονεκτήματα GNSS:

1. Χρησιμοποιείται κάτω από οποιοδήποτε καιρικές συνθήκες.
2. Γνώση θέσης ανά πάσα στιγμή σε καρτεσιανές συντεταγμένες X,Y,Z.
3. Δεν απαιτείται αμοιβαία ορατότητα μεταξύ των σημείων παρατήρησης για τον προσδιορισμό θέσης.
4. Μπορεί να συνεργαστεί με άλλα συστήματα προσδιορισμού θέσης (Αδρανειακά Συστήματα) και με άλλες εφαρμογές όπως την φωτογραμμετρία.
5. Μεγάλη ακρίβεια προσδιορισμού θέσης σε λίγο χρόνο μέτρησης.
6. Δυνατή η εκτέλεση μετρήσεων όλο το 24ωρο με μικρό αριθμό προσωπικού.

Μειονεκτήματα GNSS:

1. Απαραίτητος ανοιχτός ορίζοντας για να υπάρχει οπτική επαφή με τους δορυφόρους. Η χρήση του σε πυκνοκατοικημένες περιοχές ή δάση είναι δυσλειτουργική.
2. Μείωση της ακρίβειας του συστήματος και εισαγωγή σφαλμάτων από πλευράς των ΗΠΑ κατά χρονικά διαστήματα λόγω του στρατιωτικού χαρακτήρα του συστήματος.

(Navimania 2015)



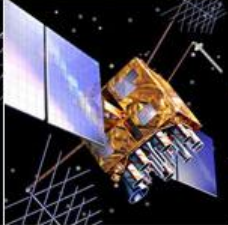
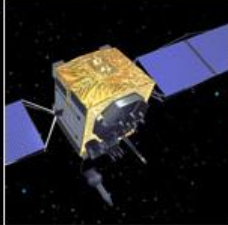

4 Μέρη συστήματος GPS

Το σύστημα GPS αποτελείται από τρία Τμήματα. Αποτελείται από το Τμήμα Διαστήματος, το Τμήμα Ελέγχου και τέλος το Τμήμα Χρηστών.

4.1 Τμήμα Διαστήματος

Το τμήμα αποτελείται από 31 δορυφόρους που βρίσκονται σε συνεχή λειτουργία. Υπάρχουν 6 τροχιακά επίπεδα με 4 δορυφόρους σε λειτουργία και ένα εφεδρικό σε κάθε τροχιακό επίπεδο. Το σύστημα μπορεί να υποστηρίξει έναν αστερισμό μέχρι και τριάντα δορυφόρων σε τροχιά. Η περίοδος τροχιάς είναι ήμισυ τις αστρικής μέρας δηλαδή 11 ώρες και 58 λεπτά. Οι τροχιές είναι σχεδόν κυκλικές και ισαπέχουν γύρω από τον ισημερινό με κλίση τροχιακού επιπέδου 55 μοίρες. Η τροχιακή ακτίνα δηλαδή η απόσταση από το κέντρο μάζας της γης προς τον δορυφόρο είναι περίπου 26,600 χιλιόμετρα. Ενώ το μέσο ύψος τροχιάς είναι περίπου 20,200 χιλιόμετρα. Οι χρήστες που έχουν πλήρες ορατότητα με τους δορυφόρους το πιο πιθανόν μπορούν να δουν 6-8 δορυφόρους.

➔ Το δορυφορικό τμήμα αποτελείται από παλαιούς και νέους δορυφόρους. Από τον Αύγουστο του 2015 υπάρχουν σε λειτουργία 31 δορυφόροι.

LEGACY SATELLITES			MODERNIZED SATELLITES	
				
BLOCK IIA	BLOCK IIR	BLOCK IIR(M)	BLOCK IIF	GPS III
2 operational	12 operational	7 operational	10 operational	In production

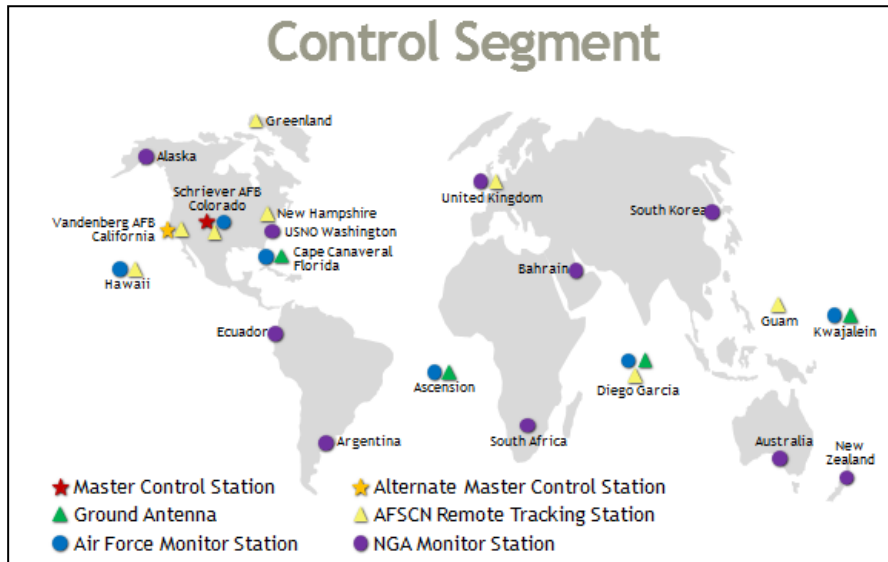
Διάγραμμα 5- Δορυφόροι κατανεμημένοι ανά τύπο

Το GPS Block IIF είναι μία προσωρινή κατηγορία δορυφόρων το οποίο χρησιμοποιείται για να κρατήσει σε λειτουργία το σύστημα Navstar Global Positioning μέχρι να τεθούν σε λειτουργία οι δορυφόροι GPS Block IIIA. Λειτουργούν υπό την εποπτεία της Πολεμικής Αεροπορίας των Ηνωμένων Πολιτειών μετά την έναρξη τους από την United Launch Alliance. Το διαστημικό αυτό σκάφος έχει μάζα 1.630 κιλά και διάρκεια ζωής 12 ετών. υψόμετρο της τροχιάς του είναι 20,460 χιλιόμετρα και έχει τροχιακή περίοδο δώδεκα ωρών.

Η επόμενη γενιά δορυφόρων ονομάζεται GPS III και είναι υπό ανάπτυξη για να φέρουν βελτιωμένη απόδοση και νέες δυνατότητες σε όλο τον κόσμο. Το Μάιο του 2008 η Lockheed Martin Space Systems Company έλαβε μία σύμβαση από την Πολεμική Αεροπορία των ΗΠΑ να αναπτύξουν μία νέα, τρίτη γενιά δορυφόρων GPS. Το διαστημικό όχημα έχει σχεδιαστεί και τώρα χτίζεται για να φέρει μελλοντικές δυνατότητες τόσο για στρατιωτικό και πολιτικό εντοπισμό θέσης, πλοήγησης και χρόνου σε χρήστες σε όλο τον κόσμο. Οι δυνατότητες που έχει το GPS III με το νέο σήμα L1C είναι ότι έχει μεγαλύτερη ισχύ σήματος, μεγαλύτερη ακρίβεια, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και υψηλότερη διαθεσιμότητα του σήματος. Οι πρώτοι δορυφόροι θα δίνουν τρεις φορές πιο ακριβή δορυφορικά σήματα από τα τρέχον διαστημικά σκάφοι και θα παρέχουν τρεις φορές περισσότερη ενέργεια για στρατιωτικούς χρήστες. Ο πρώτος δορυφόρος από τους 12 εκτοξεύτηκε το 2014 όμως μέχρι και οι 12 δορυφόροι να είναι σε τροχιά θα χρειαστεί λίγος χρόνος. (2015)

4.2 Τμήμα Ελέγχου

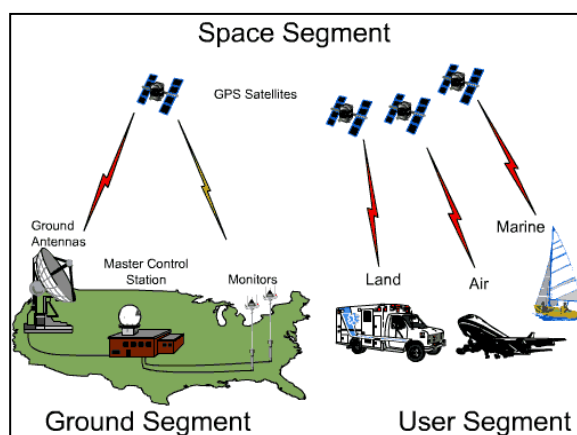
Το τμήμα αυτό αποτελείται από ένα παγκόσμιο δίκτυο επίγειων εγκαταστάσεων το οποίο παρακολουθεί τους δορυφόρους GPS. Παρακολουθούν τις μεταδόσεις, εκτελούν αναλύσεις, στέλνουν εντολές και δεδομένα στον αστερισμό που σχηματίζουν οι δορυφόροι. Ο κύριος σταθμός κεντρικού ελέγχου βρίσκεται στο Schriever Air Force Base στο Colorado Springs, Κολοράντο. Είναι υπεύθυνος για την μακρινή παρακολούθηση και αναμετάδοση των δορυφορικών εφημερίδων. Η εφημερίδα GPS είναι μία κωδικοποίηση της υπολογιζόμενης θέσης, ταχύτητας και απόκλισης των δορυφόρων σε συγκεκριμένες ώρες. Υπάρχουν 16 σταθμοί παρακολούθησης που βρίσκονται σε όλο τον κόσμο, συμπεριλαμβανομένων έξι από την Πολεμική Αεροπορία και 10 από την Εθνική NGA (Geospatial – Intelligence Agency). Ο κάθε σταθμός συλλέγει ατμοσφαιρικά δεδομένα, μετρήσεις εμβέλειας φορέα και σήματα πλοήγησης ώστε να παρακολουθεί και να ελέγχει την ακριβή θέση, ύψος, ταχύτητα και γενικά την κατάσταση των δορυφόρων που βρίσκονται σε τροχιά. Το τμήμα ελέγχου διασφαλίζει ότι οι τροχιές και τα ρολόγια των δορυφόρων GPS βρίσκονται εντός των αποδεκτών ορίων. Υπάρχουν 4 επίγειες κεραιές μεταδίδουν πληροφορίες διόρθωσης σε μεμονωμένους δορυφόρους. (GPS.gov 2015; Federal Aviation Administration 2014)



Διάγραμμα 6- Επίγειο Τμήμα Ελέγχου

4.3 Τμήμα Χρηστών

Αρχικά το τμήμα αυτό αναφερόταν κυρίως σε στρατιωτικό τομέα που λάμβανε σήματα GPS. Εκτός από τις βασικές λειτουργίες πλοήγησης το χρησιμοποιούσαν και για την δημιουργία έξυπνων όπλων. Κατά την διάρκεια των τελευταίων ετών αυξήθηκε η δημοτικότητα των δεκτών GPS με αποτέλεσμα η άμαχος κοινότητα να έχει το δικό της τμήμα χρηστών. Χρησιμοποιείται από αεροσκάφη, πλοία και αυτοκίνητα για διαδικασίες πλοήγησης όπως επίσης και για άλλες εφαρμογές ακρίβειας όπως ίδρυση γεωδαιτικών δικτύων. (Federal Aviation Administration 2014)



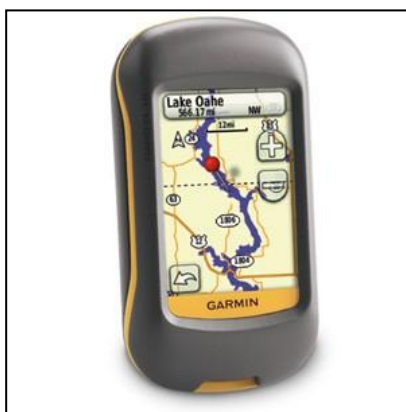
Διάγραμμα 7- Μέρη συστήματος GPS

5 Κατηγορίες Δεκτών

Το τμήμα χρηστών χωρίζεται σε 3 κατηγορίες δεκτών : κατηγορία των καταναλωτών με ακρίβεια 1-10m, κατηγορία χαρτογράφησης με ακρίβεια <1m με χρήση SBAS και DGPS, τέλος η κατηγορία των γεωδαιτικών δεκτών που φτάνουν την ακρίβεια μερικών mm-cm.

5.1 Κατηγορία Καταναλωτών ή χρηστών

Οι δέκτες αυτοί χρησιμοποιούν τον κώδικα C/A και δεν έχουν μεγάλες απαιτήσεις ακρίβειας. Χρησιμοποιούνται κυρίως για ψυχαγωγικούς σκοπούς όπως για ορειβασία, αλιεία, περιπάτους ακόμα και για την πλοήγηση πλοίων και αυτοκινήτων. Είναι φορητοί δέκτες, μικρής ακρίβειας, χαμηλού κόστους και είναι πλέον γνωστοί στο ευρύ κοινό. Το μέγεθος τους είναι μικρό όπως ενός κινητού τηλεφώνου για να μεταφέρονται εύκολα. Διαθέτουν από 1 έως 6 διαύλους ανάλογα. Σε εφαρμογές που ο δέκτης βρίσκεται σε σταθερή θέση αρκεί 1 δίαυλος ο οποίος παρατηρεί εναλλακτικά διαφορετικούς δορυφόρους ενώ σε εφαρμογές όπου ο δέκτης βρίσκεται σε κίνηση χρειάζονται τουλάχιστον τέσσερις δίαυλοι, για την ταυτόχρονη παρακολούθηση ισάριθμων δορυφόρων. Η ακρίβεια που μας παρέχουν οι δέκτες αυτοί είναι τη τάξεως των 1-10m ανάλογα με την κατασκευάστρια εταιρία. Η ακρίβεια αυτή είναι αρκετή για εφαρμογές πλοήγησης, ναυσιπλοΐας όπως επίσης και για ενημέρωση χαρτών μικρής κλίμακας.



Διάγραμμα 84- Δέκτης Χρηστών

5.2 Κατηγορία Χαρτογράφησης

Οι δέκτες αυτοί εκτελούν παρατηρήσεις ψευδοαποστάσεων από τον κώδικα C/A και φάσεων από τη φέρουσα συχνότητα L1. Διαθέτουν από 4 έως 12 διαύλους και έχουν τη δυνατότητα καταχώρησης σε μνήμη των παρατηρήσεων αποστάσεων και φάσεων, μαζί με τους αντίστοιχους χρόνους. Επίσης υπάρχουν δέκτες οι οποίοι μετρούν επίσης και φάσεις της φέρουσας συχνότητας L2 μειώνοντας έτσι την ιονοσφαιρική επίδραση από το συνδυασμό L1 και L2. Οι δέκτες αυτοί έχουν μικρότερο θόρυβο από τους δέκτες χρηστών έτσι έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τοπογραφικές εφαρμογές.



Διάγραμμα 9- Δέκτες χαρτογράφησης TOPCON + TRIMBLE

5.3 Γεωδαιτικοί Δέκτες

Οι δέκτες αυτοί έχουν τη δυνατότητα να δημιουργούν ένα αντίγραφο του κώδικα P και να το συσχετίζουν με το λαμβανόμενο σήμα που περιέχει ένα τμήμα του κώδικα πάνω στις συχνότητες L1 και L2. Με τη συσχέτιση αναγνωρίζει το συγκεκριμένο τμήμα και αφαιρείται από το σήμα, ώστε να παραμείνουν ‘καθαρές’ πλέον οι φέρουσες συχνότητες L1 και L2 για τη μέτρηση φάσεων. Οι ακρίβειες είναι πολύ ψηλές αφού είναι της τάξης των μερικών mm-cm για αποστάσεις 100km. Οι δέκτες αυτοί επιτυγχάνουν υψηλές ακρίβειες και μπορούν να χαρακτηριστούν ως γεωδαιτικοί δέκτες. (ΤΕΙ Κρήτης 2015)



Διάγραμμα 5- Γεωδαιτικοί Δέκτες Leica και Trimble

6 Δέκτες GNSS

Ο δέκτης αυτός είναι όργανο υψηλής τεχνολογίας το οποίο συντονίζεται σε δύο βασικές συχνότητες. Είναι ένα ενιαίο σύστημα που αποτελείται από δύο βασικά μέρη, την κεραία και τον κυρίως δέκτη.

6.1 Κεραία του δέκτη

Η κεραία μπορεί να είναι είτε ενσωματωμένη στην ίδια μονάδα με τον κυρίως δέκτη (εσωτερική) είτε να είναι ανεξάρτητη από τον δέκτη (εξωτερική). Η σύνδεση του με τον κυρίως δέκτη γίνεται ενσύρματα με ειδικά καλώδια 2 μέχρι δεκάδες μέτρα ή ασύρματα μέσω BT. Οι συνηθισμένες κεραίες είναι τύπου patch ή microstrip ενώ οι γεωδαιτικές κεραίες είναι τύπου radome ή turnstile. Σχεδιάζονται ώστε να λαμβάνουν είτε το σήμα στην L1(δέκτες μίας συχνότητας) είτε στην L1 και στην L2 (δέκτες δύο συχνοτήτων) που χρησιμοποιούν οι γεωδαιτικοί δέκτες. Για περιπτώσεις που χρειάζεται μεγάλη ακρίβεια και υπάρχει το σφάλμα της πολυανάκλασης χρησιμοποιούνται ειδικές γεωδαιτικές κεραίες τύπου choke ring. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιπτώσεις μόνιμων σταθμών αναφοράς και διαθέτουν βάση σπειροειδών δακτυλίων, προστατευτικό θόλο και αλεξικέραυνα.



Διάγραμμα 6- Κεραία Trimble τύπου Chock Ring

Άλλα βασικά χαρακτηριστικά της κεραίας είναι η ευαισθησία στη λήψη σημάτων διαφορετικής διεύθυνσης και διαφορετικής γωνίας ύψους καθώς και η σταθερότητα του κέντρου φάσης. Το ηλεκτρικό με το μηχανικό κέντρο μίας κεραίας δεν ταυτίζονται. Το κέντρο φάσης κεραίας (APC) είναι το ηλεκτρικό κέντρο αναφοράς των μετρήσεων GNSS και δεν είναι φυσικά προσδιορισμένο αφού εξαρτάται από τη γωνία λήψης του δορυφορικού σήματος και από τη συχνότητα του εισερχόμενου σήματος. Το σταθερό σημείο που αναφέρονται οι μετρήσεις λέγεται ARP (antenna reference point). Η θέση του ARP σε σχέση με τα APC ορίζεται μέσω μοντέλων βαθμονόμησης των κεραίων από γεωδαιτικούς φορείς και η πληροφορία αυτή στέλνεται μέσω των αρχείων ANTEX.

6.2 Κυρίως δέκτης

Ο κυρίως δέκτης χωρίζεται στο τμήμα ραδιοσυχνοτήτων που είναι υπεύθυνο για την επεξεργασία του σήματος και το τμήμα των βρόγχων παρακολούθησης που είναι υπεύθυνο για τη διεξαγωγή των μετρήσεων.

6.2.1 Τμήμα ραδιοσυχνοτήτων

Αναλαμβάνει την επεξεργασία του σήματος μετά την προενίσχυση. Περιλαμβάνει ταλαντωτές για την παραγωγή των ημιτονοειδών σημάτων αναφοράς, πολλαπλασιαστές για τη δημιουργία μεγαλύτερων συχνοτήτων, φίλτρα για την απομάκρυνση του θορύβου και μείκτες για τη μείξη δύο ή περισσότερων σημάτων. Αρχικά γίνεται η συμβολή του εισερχόμενου κύματος με ένα ημιτονοειδές σήμα αναφοράς που παράγεται από το χρονόμετρο του δέκτη προκύπτοντας έτσι ένα σήμα για κάθε δορυφόρο με δύο συνιστώσες (το άθροισμα και η διαφορά των συμβαλλόμενων συχνοτήτων). Με τη χρήση ηλεκτρονικών φίλτρων διατηρείται μόνο η συνιστώσα της διαφοράς η οποία ονομάζεται ενδιάμεση συχνότητα(IF). Στη συνέχεια το IF σήμα μεταβιβάζεται στους διαύλους/κανάλια. Οι γεωδαιτικοί δέκτες διαθέτουν αρκετούς διαύλους, έναν αποκλειστικά για κάθε δορυφόρο, οι οποίοι λειτουργούν ταυτόχρονα (παράλληλη παρακολούθηση). Στη συνέχεια πραγματοποιείται ανάκτηση των συνιστωσών του IF σήματος σε κάθε κανάλι με τη βοήθεια των βρόγχων παρακολούθησης.

6.2.2 Βρόγχοι παρακολούθησης

Αναλαμβάνουν την διεξαγωγή των μετρήσεων των κωδίκων και των φάσεων. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες βρόγχων. Πρώτοι είναι οι βρόγχοι προσδιορισμού καθυστέρησης (DLL) όπου γίνεται η συσχέτιση του εισερχόμενου σήματος με τη ρέπλικα και την εξαγωγή ψευδοαποστάσεων. Υπάρχουν οι βρόγχοι προσδιορισμού φάσης (PLL) για την εξαγωγή μετρήσεων φάσης. Τέλος υπάρχουν και οι βρόγχοι μέτρησης της συχνότητας των φορέων (FLL) οι οποίοι μετρούν ρυθμό μεταβολής της απόστασης δορυφόρου – δέκτη για χρήση δυναμικού χρήστη. Αρχικά πραγματοποιείται η συσχέτιση του εισερχόμενου σήματος με τη ρέπλικα στον βρόγχο DLL ώστε να γίνει η εξαγωγή της ψευδοαπόστασης. Από το εισερχόμενο σήμα αφαιρείται ο κώδικας και το εναπομένον σήμα προωθείται στους βρόγχους PLL όπου πραγματοποιείται η σύγκριση με ένα τοπικό αντίγραφο και ανακτάται το μήνυμα πλοήγησης. Στη συνέχεια το μήνυμα αυτό απομακρύνεται και απομένει ο ημιτονοειδής φορέας IF ο οποίος συγκρίνεται και αυτός με ένα τοπικό αντίγραφο και εξάγεται η διαφορά φάσης μεταξύ τους. (Φωτίου και Πικριδά 2006)

7 Το δορυφορικό σήμα

Κάθε δορυφόρος εκπέμπει ένα σήμα GPS που μεταφέρεται από ραδιοκύματα στο τμήμα μικροκυμάτων του ηλεκτρονικού φάσματος. Τα ατομικά χρονόμετρα των δορυφόρων παράγουν μία θεμελιώδη συχνότητα $f_0=10.23\text{MHz}$ με βάση τα οποία δημιουργούνται φέροντα κύματα:

- L1=1575,42 MHz (και για τους δύο κώδικες)
- L2=1227,60 MHz (μόνο για το στρατιωτικό κώδικα)
- L5=1176,45 MHz (νέα φέρουσα συχνότητα)

Η επικοινωνία του σήματος έχει φορά από το δορυφόρο στο δέκτη. Μέσω της εκπομπής των μετρητικών κωδίκων πραγματοποιείται η μέτρηση των αποστάσεων μεταξύ δεκτών και δορυφόρων. Υπάρχουν δύο κώδικες, ο C/A Code που χρησιμοποιείται για πολιτική χρήση και ο P(Y) Code ο οποίος χρησιμοποιείται για στρατιωτική χρήση. Η ακρίβεια του C/A κώδικα είναι 0.30m-3m ενώ του P(Y) κώδικα κυμαίνεται από 0.03m-0.3m. Οι κώδικες είναι δυαδικές ακολουθίες ψηφίων 0 και 1 και πραγματοποιούν μεταφορά του δορυφορικού χρόνου στο δέκτη προκειμένου να υπολογιστεί ο χρόνος ταξιδιού του σήματος. Επιπλέον εκπέμπεται το μήνυμα πλοήγησης στο οποίο καταγράφονται τα στοιχεία τροχιάς και παράμετροι συγχρονισμού των ρολογιών των δορυφόρων στο χρόνο του GPS.

Κάθε δορυφόρος εκπέμπει μία μοναδική μορφή κώδικα έτσι ο δέκτης μπορεί να αναγνωρίσει το δορυφόρο που εκπέμπει σήμα. Κατά τη διάρκεια της υποδοχής του σήματος, ο δέκτης δοκιμάζει διαφορετικές ρέπλικες κώδικα μέχρι να αναγνωρίσει τη σωστή συστοιχία (PRN). Ο δέκτης μεταφράζει τη δική του ρέπλικα μέχρι να την ταυτοποιήσει με αυτή του δορυφόρου. Γνωρίζοντας τη μετάθεση σε επίπεδο χρόνου, ο δέκτης υπολογίζει τη ψευδοαπόσταση προς το δορυφόρο. Η μέτρηση στους κώδικες δίνει την παρατήρηση της ψευδοαπόστασης ενώ η μέτρηση στους φορείς δίνει την παρατήρηση της φάσης. (Mio Technology UK 2012)

Signal	LI – C/A	L2CM (data)	L2CL (pilot)
Centre frequency	1575.42 MHz	1227,60 MHz	1227,60 MHz
Code type	Cold Code	Maximal Code	Maximal Code
		Length	Length
Code length (chips)	1023	10230	767250
Repetition rate	1ms	20 ms	1500 ms
Code frequency	1,023 MHz	511,5 kHz	511,5 kHz
Data rate	50 bps	25 bps	-
Repetition rate	1 ms	20 ms	1500 ms

Πίνακας 1 -Τεχνικά χαρακτηριστικά του πολιτικού σήματος

7.1 Σκόπιμη μείωση ακρίβειας

Ο κυριότερος παράγοντας που αυξάνονται τα σφάλμα στις μετρήσεις είναι το Selective Availability (SA) δηλαδή η επιλεκτική διαθεσιμότητα που επίτηδες ελαττώνεται η ακρίβεια της θέσης από το ίδιο το σύστημα. Αρχικός σκοπός του GPS ήταν στρατιωτικός και το 1980 διατέθηκε για πρώτη φορά στο κοινό. Η πλήρης λειτουργικότητα του συστήματος είναι διαθέσιμη μόνο από τον Αμερικάνικο Στρατό και λόγος ήταν για να μην χρησιμοποιηθεί το σύστημα από εχθρικές δυνάμεις. Ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ακρίβεια του GPS είναι η γεωμετρία των δορυφόρων. Αν οι 4 δορυφόροι που παίρνουμε τις μετρήσεις μας βρίσκονται στην ίδια πλευρά του ορίζοντα τότε η γεωμετρία τους δεν είναι καλή καθώς τα τριγωνομετρικά δεδομένα που λαμβάνονται από το GPS είναι ασαφή, η περιοχή που ορίζεται από τις τομές των αποστάσεων είναι πολύ μεγάλη και έτσι ο ακριβής προσδιορισμός της θέσης είναι αδύνατος. Σε τέτοιες περιπτώσεις το σφάλμα μπορεί να είναι από 90 μέχρι 150 μέτρα. Για μετρήσεις με μεγαλύτερη ακρίβεια οι δορυφόροι πρέπει να είναι κατανομημένοι στα 4 σημεία του ορίζοντα. Η ακρίβεια που δίνει κάθε κατασκευαστής για το GPS είναι θεωρητική και ισχύει μόνο κάτω από τις βέλτιστες συνθήκες. (Ελληνική Κοινότητα Δασολόγων)

7.2 Φαινόμενο Doppler

Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει όταν η συχνότητα που αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής δεν είναι ίδια με αυτήν που εκπέμπει μία πηγή καθώς ο παρατηρητής και η πηγή βρίσκονται σε σχετική κίνηση μεταξύ τους. Εάν καθόμαστε ακίνητοι στο σταθμό την ώρα που πλησιάζει ένα τρένο κινούμενο με σταθερή ταχύτητα, ακούμε τον ήχο της σειρήνας του οξύτερο (μεγαλύτερης συχνότητας), από ότι όταν το τρένο απομακρύνεται από εμάς, αφού μας έχει προσπεράσει. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στις ηλεκτρομαγνητικές συχνότητες. Δηλαδή οι συχνότητες τόσο των ραδιοκυμάτων όσο και των οπτικών κυμάτων υφίστανται μία μετατόπιση στην περίπτωση που η πηγή του κύματος (πομπός) και ο παρατηρητής (δέκτης) έχουν σχετική κίνηση. Στη περίπτωση των δορυφόρων, αν ο δορυφόρος έχει ένα σταθερό ταλαντωτή και εκπέμπει μία σταθερή συχνότητα f_s , επειδή ο δορυφόρος κινείται με μεγάλη ταχύτητα ως προς τον εκάστοτε παρατηρητή στη Γη, η συχνότητα f_r , που θα δεχθεί ο παρατηρητής στο δέκτη του είναι διαφορετική εξαιτίας του φαινομένου Doppler. Το φαινόμενο Doppler δίνεται από τη σχέση:

$$f_r = f_s / [1 + (v/c)] \quad (7.1)$$

Όπου:

$v = dS/dt \rightarrow$ ακτινική ταχύτητα του δορυφόρου

$S \rightarrow$ απόσταση μεταξύ του πομπού και του δέκτη του σήματος

$c \rightarrow$ ταχύτητα διάδοσης του σήματος (ταχύτητα φωτός στο κενό)

Στην προκειμένη περίπτωση επειδή $v \ll c$ έχουμε :

$$f_r = f_s \{1 - [(dS/dt)/c]\} \quad (7.2)$$

$$f_r - f_s = \Delta f = -[f_s (dS/dt)]/c \quad (7.3)$$

$\Delta f \rightarrow$ διαφορά της συχνότητας του σήματος που δέχεται ο παρατηρητής από τη συχνότητα του σήματος που εκπέμπεται.

Έτσι η ακτινική ταχύτητα μπορεί να προσδιοριστεί:

$$dS/dt = - (c\Delta f / f_s) \quad (7.4)$$

Οι τιμές αυτές καθορίζουν το εύρος των συχνοτήτων που ψάχνει ο δέκτης προκειμένου να κλειδώσει το σήμα. Η μετατόπιση Doppler μπορεί να μεταφραστεί σε απόσταση μέσω της σχέσης :

$$\Delta f = - (f_s \cdot u_p) / c \quad (7.5)$$

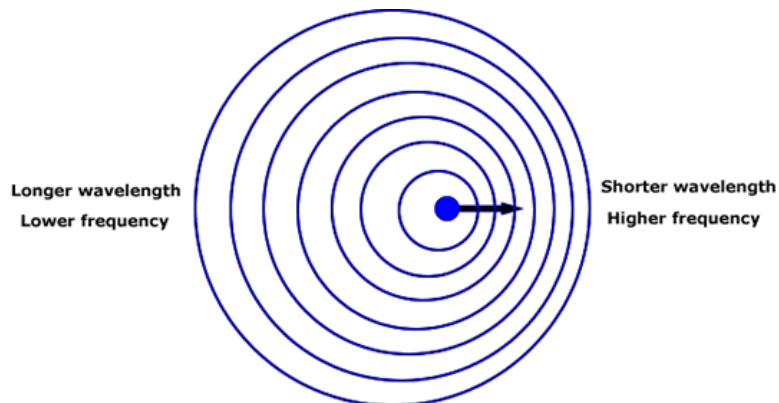
$$\rightarrow u_p = (\Delta f \cdot c) / f_s \quad (7.6)$$

όμως $u_p = dp/dt = \dot{p} = -\lambda \cdot \Delta f$

$$\Delta \rho = \int_{t_1}^{t_2} p \cdot dt = -\lambda \int_{t_1}^{t_2} \Delta f \cdot dt \quad (7.7)$$

$$\rightarrow \Delta \rho = -\lambda \cdot \Delta \varphi \quad (7.8)$$

Έτσι μία διαφορά της τάξης των 4.5KHz μεταφράζεται σε διαφορά φάσης 4500 κύκλων/s η οποία αντιστοιχεί σε $\Delta \rho = 0.2 \cdot 4500 = 900\text{m}$. Επομένως $1\text{ms} \rightarrow \Delta \rho = 0.90\text{m}$.



Διάγραμμα 7- Φαινόμενο Doppler

(Δεληκαράογλου 2008)

8 Παρατηρήσεις και χρόνος GPS

8.1 Παρατήρηση ψευδοαπόστασης

Η ψευδοαπόσταση είναι η απόσταση μεταξύ του δέκτη GPS και του δορυφόρου GPS. Για τη μέτρηση της ψευδοαπόστασης χρησιμοποιείται είτε ο P(Y) κώδικας είτε ο C/A κώδικας. Η διαδικασία προσδιορισμού της ψευδοαπόστασης περιγράφεται ως εξής: γίνεται υπόθεση ότι για μία στιγμή τα χρονόμετρα του δέκτη και του δορυφόρου είναι τέλεια συγχρονισμένα μεταξύ τους δηλαδή την ίδια χρονική στιγμή παράγουν ίδια ψηφία κώδικα. Όταν ο κώδικας PRN μεταδίδεται από το δορυφόρο τότε ο δέκτης παράγει ένα ακριβές αντίγραφο του εν λόγω κώδικα. Μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, που ισοδυναμεί με το χρόνο ταξιδιού του σήματος στο διάστημα, ο μεταδιδόμενος κώδικας θα διαβαστεί από το δέκτη. Με τη σύγκριση του μεταδιδόμενου κώδικα και της ρέπλικας ο δέκτης μπορεί να υπολογίσει το χρόνο ταξιδιού του σήματος και πολλαπλασιάζοντας με την ταχύτητα του φωτός δίνει την απόσταση μεταξύ δέκτη και δορυφόρου. Για το λόγο ότι τα ρολόγια δέκτη και δορυφόρου δεν είναι τέλεια συγχρονισμένα η μετρημένη απόσταση είναι επηρεασμένη από σφάλματα για αυτό ονομάζεται ψευδοαπόσταση και όχι απόσταση. (eBook 2015)

8.1.1 Εξίσωση παρατήρησης της ψευδοαπόστασης

Η εξίσωση αυτή εκφράζει τη σχέση μεταξύ της παρατήρησης ψευδοαπόστασης, της γεωμετρικής απόστασης και των συστηματικών και τυχαίων σφαλμάτων. Εάν τα χρονόμετρα του δέκτη και του δορυφόρου ήταν τέλεια συγχρονισμένα και αν το μέσο διάδοσης ήταν το κενό τότε η ψευδοαπόσταση θα ήταν ίση με την γεωμετρική απόσταση.

$$PR_A^i = \rho_A^i + c \cdot \delta_A - c \cdot \delta^i + I_A^i + T_A^i + M_A^i + c(D_A + D^i) + e_A^i \quad (8.1)$$

Όπου :

ρ_A^i = Γεωμετρική απόσταση μεταξύ του δορυφόρου i και του δέκτης A .

δ^i = Σφάλμα χρονομέτρου δορυφόρου.

δ_A = Σφάλμα χρονομέτρου δέκτη.

Δt = Χρονική καθυστέρηση σήματος λόγω ατμοσφαιρικής επίδρασης και φαινομένων πολυανάκλασης.

e_A^i = Θόρυβος των μετρήσεων.

Γ_A^i = Ιονοσφαιρική καθυστέρηση.

T_A^i = Τροποσφαιρική καθυστέρηση.

D^i = Χρονική καθυστέρηση σήματος από τη δημιουργία του μέχρι την εκπομπή από την κεραία.

D_A = Χρονική καθυστέρηση σήματος από τη λήψη του σήματος από την κεραία του δέκτη έως το βρόχο παρακολούθησης.

(Φωτίου και Πικριδάς 2006)

8.2 Παρατήρηση φάσης

Σε αυτή την περίπτωση η απόσταση θα είναι το άθροισμα του συνολικού αριθμού των πλήρων κύκλων φορέα συν τους κλασματικούς κύκλους του δέκτη και του δορυφόρου, πολλαπλασιασμένο με το μήκος κύματος του φορέα. Οι αποστάσεις που προσδιορίζονται από τους φορείς είναι πολύ πιο ακριβής από αυτές που υπολογίζονται από τους κώδικες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το μήκος κύματος της φάσης του φορέα είναι 19cm στην περίπτωση της συχνότητας L1 το οποίο είναι πολύ μικρότερο από εκείνες των κωδίκων. Το πρόβλημα είναι ότι όταν ο δέκτης είναι ενεργοποιημένος δεν μπορεί να καθορίσει το συνολικό αριθμό των πλήρων κύκλων μεταξύ του δορυφόρου και του δέκτη. Μπορεί να μετρηθούν οι κλασματικοί κύκλοι με ακρίβεια λιγότερη από 2 χιλιοστά όμως ο αρχικός αριθμός των πλήρων κύκλων παραμένει άγνωστος. Αυτό είναι ως γνωστό και ως αρχική ασάφεια φάσης. Η ασάφεια φάσης παραμένει σταθερή για κάθε ζεύγος δορυφόρου – δέκτη αρκεί να μην υπάρξει απώλεια σήματος. Ωστόσο από τη στιγμή του κλειδώματος του σήματος, ο δέκτης μπορεί να παρακολουθεί τις μεταβολές της φάσης λόγω αλλαγής της απόστασης δορυφόρου και δέκτη και έτσι καταγράφει τη στιγμιαία φάση.

8.2.1 Εξίσωση παρατήρησης της φάσης

$\varphi_A^i(t)$ =παρατηρούμενη φάση (σε κύκλους) μεταξύ δορυφόρου (i) και δέκτη (A)

$$\varphi_A^i(t) = \varphi_A(t_A) - \varphi^i(t^i) - n_A^i \quad (8.2)$$

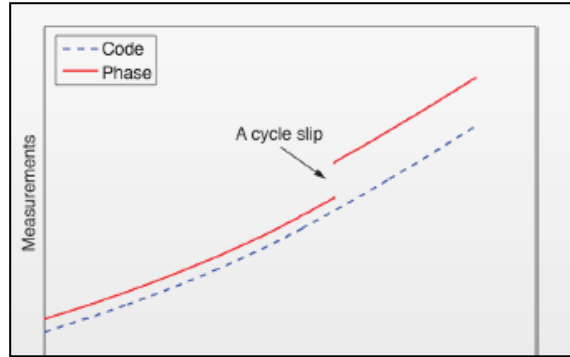
όπου:

$\varphi_A(t_A)$ = η φάση της ρέπλικας

$\varphi^i(t^i)$ = η φάση του εισερχόμενου σήματος

n_A^i = η ακέραια ασάφεια φάσης

Σε περίπτωση απώλειας του σήματος και αφού ο δέκτης επανεγκλωβίσει το σήμα μετρά πάλι την κλασματική φάση, έχοντας όμως λανθασμένο αριθμό ακέραιων κύκλων στο μετρητή επειδή έχει χάσει τον αριθμό κύκλων που μεσολάβησαν στο ενδιάμεσο. Τους κύκλους ολίσθησης τους καταλαβαίνουμε από τις επόμενες μετρήσεις από την εποχή που έλαβε χώρα η απώλεια του σήματος αφού θα παρουσιάζουν μία ασυνέχεια ως προς τις προηγούμενες.



Διάγραμμα 8- Κύκλος Ολίσθησης

Η εξίσωση παρατήρησης φάσης στην απλουστευμένη μορφή (χωρίς το σφάλμα της πολυανάκλασης) είναι :

$$\varphi_A^i(t) = \frac{1}{\lambda} \cdot (\rho_A^i - I_A^i + T_A^i) + \frac{c}{\lambda} \cdot (\delta_A - \delta^i) + n_A^i + \varepsilon_A^i \quad (8.3)$$

Πολλαπλασιάζοντας με το μήκος κύματος της φέρουσας συχνότητας προκύπτει η φάση εκφραζόμενη σε μέτρα :

$$L_A^i(t) = \rho_A^i + c \cdot \delta_A - c \cdot \delta^i - I_A^i + T_A^i + \lambda \cdot n_A^i + m_A^i + c \cdot (d_A - d^i) + \varepsilon_A^i \quad (8.4)$$

8.3 Χρόνοι και σφάλματα ρολογιών

Για την κατανόηση του χρόνου GPS εξηγούνται ο Διεθνής ατομικός χρόνος και ο Παγκόσμιος συγχρονισμένος χρόνος. Οι δορυφόροι και οι δέκτες χρησιμοποιούν διαφορετικά χρονόμετρα, τα ατομικά και τα χρονόμετρα χαλαζία αντίστοιχα. Για τον υπολογισμό των αποστάσεων γίνεται ο συγχρονισμός των ρολογιών αυτών.

8.3.1 Διεθνής ατομικός χρόνος (TAI)

Είναι συνεχής κλίμακα χρόνου που προκύπτει από ένα σύνολο περίπου 400 ατομικών ρολογιών καισίου και υδρογόνου δημόσιων υπηρεσιών και εργαστηρίων ανά τον κόσμο. Λόγω της μέσης τιμής των ρολογιών είναι πολύ πιο σταθερό από ότι οποιοδήποτε ρολόι θα ήταν μόνο του. Μονάδα μέτρησης είναι το δευτερόλεπτο το οποίο ισοδυναμεί με τη διάρκεια 1,192,631,770 περιόδων της ακτινοβολίας που εκπέμπεται κατά τη μετάπτωση μεταξύ δύο υψηλότερων ενεργειακών επιπέδων του ατόμου του Καισίου 133 στην επιφάνεια της θάλασσας. Η σταθερότητα του TAI είναι 6 φορές καλύτερη από αυτή του UT1 που συνεπάγεται με 6 φορές καλύτερη ακρίβεια. Η αρχή του TAI ορίστηκε έτσι ώστε να συμφωνεί με το UT1 την 1/1/1958. (Timeanddate 2015)

8.3.2 Παγκόσμιος Συγχρονισμένος Χρόνος (UTC)

Αποτελεί το διεθνές σημείο αναφοράς χρόνου. Ο ορισμός του UTC βασίζεται στα ατομικά ρολόγια, συγκεκριμένα στον χρόνο TAI. Προκειμένου να υπάρξει συγχρονισμός μεταξύ του Παγκόσμιου Χρόνου (UT1) και Ατομικού Χρόνου TAI θεσπίστηκε ο Παγκόσμιος Συγχρονισμένος Χρόνος (UTC). Ωστόσο, λόγω επιβράδυνσης της περιστροφής της Γης γύρω από τον άξονα της η διαφορά αυτή μπορεί να υπερβεί τα 0.9sec και έτσι προστίθεται αλγεβρικά 1s στο χρόνο UTC το οποίο ονομάζεται άλμα δευτερολέπτου. Ο UTC είναι συμβατικός χρόνος και αποτελεί τη βάση για όλες τις δραστηριότητες στον κόσμο. (Βικιπαίδεια 2014)

8.3.3 Χρόνος GPS

Ο χρόνος GPS ταυτίστηκε με το χρόνο UTC τα μεσάνυχτα 5-6 Ιανουαρίου 1980 οπότε αρχίζει και η αρίθμηση των εβδομάδων GPS, αρχής γενομένης από τη μηδενική εβδομάδα. Λόγω του αντίστοιχου format ο αριθμός αυτός μηδενίστηκε μετά από 1023 εβδομάδες στις 22 Αυγούστου 1999 ώρα 0 ως προς την αρχή του χρόνου GPS και έτσι στις επόμενες εβδομάδες προστίθεται η τιμή 1024. Η τρέχουσα εβδομάδα GPS παρέχεται στο μήνυμα δεδομένων.

GPS time = UTC+ δέσκα δευτερόλεπτα (sec)

TAI = GPS time + 19sec

GPS time = UTC +16sec

Η εποχή μέτρησης στο χρόνο GPS ορίζεται από τον αριθμό της εβδομάδας η οποία εκπέμπεται από το μήνυμα δεδομένων και από τον αριθμό των δευτερολέπτων από την αρχή της τρέχουσας εβδομάδας με μέγιστη τιμή $24*7*60*60=604800\text{sec}$.

8.3.3.1 Ατομικά χρονόμετρα

Στο τμήμα διαστήματος και στο τμήμα ελέγχου το GPS χρησιμοποιεί ατομικά χρονόμετρα. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας επιτρέπει την κατασκευή χρονομέτρων που έχουν τη δυνατότητα να μετρούν δισεκατομμυριοστά ή ακόμα και τρισεκατομμυριοστά του δευτερολέπτου, όπως είναι τα ατομικά χρονόμετρα. Τα ατομικά ρολόγια μας έδωσαν τη δυνατότητα να υπολογίζουμε με μεγάλη ακρίβεια τον χρόνο, χωρίς να καταφεύγουμε στη βοήθεια των αστρονομικών παρατηρήσεων, και ακόμα να ελέγχουμε τις μικρές ανωμαλίες του χρόνου της περιστροφής της Γης γύρω από τον άξονά της. Στις μετρήσεις GPS η ακρίβεια στη μέτρηση του χρόνου είναι πολύ σημαντική καθώς σφάλμα 1ns μπορεί να επιφέρει σφάλμα 30cm στην εκτίμηση της απόστασης, έτσι και τα μικρότερα σφάλματα στο επίπεδο των χρονομέτρων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Ένα ατομικό ρολόι καισίου μπορεί να παρουσιάζει σταθερότητα $5*10^{-14}$ κατά τη διάρκεια μίας ημέρας έτσι μπορεί να χάνει 1s σε διάρκεια 1 εκατομμύριο ετών. (Atlas wiki 2012)

8.3.3.2 Χρονόμετρα δεκτών

Τα χρονόμετρα χαλαζία κατασκευάστηκαν το 1928 από τον W.A.Marrison ο οποίος πέτυχε ακρίβεια 1/1000 του δευτερολέπτου την ημέρα. Μέχρι σήμερα χρησιμοποιούνται τα χρονόμετρα αυτά σε αρκετά αστεροσκοπεία και παρέχουν ακρίβεια μέχρι ένα εκατομμυριοστού του δευτερολέπτου όμως το μειονέκτημα τους είναι ότι αχρηστεύονται μέσα σε μερικά χρόνια. Κάθε δέκτης χρησιμοποιεί έναν συνηθισμένο ταλαντωτή, χρονόμετρο τύπου κρυστάλλου χαλαζία για την παραγωγή σήματος (αντίγραφο) και τη διατήρηση της κλίμακας του χρόνου. Προφανώς τα χρονόμετρα των δεκτών είναι μικρότερης ακρίβειας από τα ατομικά χρονόμετρα που χρησιμοποιούνται από τους δορυφόρους καθώς η χρήση ατομικού χρονομέτρου από κάθε απλό δέκτη θα εκτόξευε το κόστος χρήσης. Η χρήση παρατηρήσεων από περισσότερους από τρεις δορυφόρους, επιτρέπει την εκτίμηση της απόκλισης του χρονομέτρου του δέκτη και την εξάλειψη του σφάλματος. (Atlas wiki 2009; Αναστασίου, Παπανικολάου, Μαρίνου και Παραδείσης 2014)

8.3.4 Συγχρονισμός δεκτών

Στην πραγματικότητα, οι δέκτες GPS λαμβάνουν μια μέτρηση από έναν τέταρτο δορυφόρο, όχι όμως για τον προσδιορισμό της θέσης μας, αλλά για το συγχρονισμό των ρολογιών τους με τα ρολόγια των δορυφόρων. Είναι πολύ σημαντικό τα ρολόγια των δορυφόρων και των GPS δεκτών να είναι συγχρονισμένα. Από τη στιγμή που τα σήματα ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός, μια απόκλιση έστω και της τάξεως του 1 msec στο συγχρονισμό των ρολογιών αρκεί για να μας βγάλει 200 km έξω από την πορεία μας. Απειροελάχιστες διαφορές μεταξύ του ενσωματωμένου ρολογιού του δέκτη GPS και της ώρας GPS που συγχρονίζει ολόκληρο το παγκόσμιο σύστημα προσδιορισμού θέσης, συνεπάγονται ότι οι υπολογιζόμενες αποστάσεις μπορεί να αποκλίνουν. Οι δορυφόροι από την άλλη δεν είναι δυνατόν να χάσουν το συγχρονισμό γιατί είναι εξοπλισμένοι με ατομικά ρολόγια πάρα πολύ υψηλής ακριβείας. Υπάρχουν δύο λύσεις αυτού του προβλήματος. Η πρώτη συνίσταται στη χρήση σε κάθε δέκτη ενός ατομικού ρολογιού που κοστίζει \$100.000 το γεγονός αυτό θα ανέβαζε κατά πολύ το κόστος των δεκτών και δεν θα ήταν καθόλου πρακτικοί. Η δεύτερη συνίσταται στη χρήση ορισμένων έξυπνων μαθηματικών τρικ για την αντιμετώπιση του σφάλματος χρονομέτρησης με βάση τον τρόπο με τον οποίο τα σήματα τριών ή περισσότερων δορυφόρων ανιχνεύονται από το δέκτη, που ουσιαστικά παρέχουν στο δέκτη τη δυνατότητα να μηδενίζει το ρολόι του. Η δεύτερη αυτή μέθοδος είναι μία λιγότερο

δαπανηρή λύση που εφαρμόζεται από τους κατασκευαστές των συσκευών δορυφορικής πλοήγησης. Οι δέκτες συγχρονίζονται με το χρόνο GPS με ακρίβεια καλύτερη από 1μs. Η ακρίβεια αυτή μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά στο 1ns στην περίπτωση που η διόρθωση του δορυφορικού χρόνου δεν γίνει με βάση την εκπεμπόμενη εφημερίδα αλλά με εκ των υστέρων επεξεργασία με βάση δεδομένα ακριβείας τα οποία παρέχουν τα κέντρα της IGS (CODE).

Βασικές παράμετροι χρόνου στο GPS:

→Ο ονομαστικός χρόνος λήψης του χρονομέτρου του δέκτη A:

$$t_A = t + \delta_A \quad (8.5)$$

t: Ο χρόνος λήψης του δορυφορικού σήματος ως προς την κλίμακα του χρόνου GPST.

δ_A : Το σφάλμα του χρονομέτρου του δέκτη A ως προς το χρόνο GPST την εποχή της λήψης (t)

→Ο ονομαστικός χρόνο εκπομπής του σήματος από το δορυφόρο i:

$$t^i = t^{ri} + \delta^i \quad (8.6)$$

t^{ri} : Ο χρόνος εκπομπής του σήματος από το δορυφόρο στην κλίμακα GPST

δ^i : Το σφάλμα του χρονομέτρου του δορυφόρου ως προς την κλίμακα του GPST

→Ο χρόνος ταξιδιού του σήματος στην κλίμακα GPST είναι ο χρόνο τ .

$$\tau(t) = \tau(t_A - \delta_A) = t - t^{ri} \quad (8.7)$$

Η τιμή του τ είναι περίπου 0.07s.

→Ο χρόνος ταξιδιού είναι επηρεασμένος και από τις καθυστερήσεις του σήματος λόγω της ατμόσφαιρας και των φυσικών ή τεχνικών εμποδίων έτσι:

$$\tau = \tau_o + \Delta t \quad (8.8)$$

τ_o : Ο χρόνος διάδοσης του σήματος στο κενό

Δt : Η καθυστέρηση του σήματος

→Πραγματικός χρόνος εκπομπής δίνεται από τη σχέση:

$$t^{ri} = t - \tau \quad (8.9)$$

Ο πολλαπλασιασμός του χρόνου τα με την ταχύτητα του φωτός δίνει την γεωμετρική απόσταση η οποία είναι επηρεασμένη από τις χρονικές καθυστερήσεις. Το γινόμενο $\tau_o \times c$ δίνει την ανεπηρέαστη ή καθαρά γεωμετρική απόσταση μεταξύ δέκτη δορυφόρου η οποία χρησιμοποιείται στις εξισώσεις παρατηρήσεων. Ο υπολογισμός των χρόνων τ και το αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την αναγωγή στη σωστή εποχή εκπομπής του δορυφορικού σήματος και άρα στη σωστή θέση (X,Y,Z) του δορυφόρου.

Για διόρθωση του δορυφορικού χρόνου. Το μήνυμα πλοήγησης περιέχει όλες τις παραμέτρους που απαιτούνται για τη διόρθωση του δορυφορικού χρόνου για κάθε δορυφόρο ξεχωριστά. Οι παράμετροι αυτές έχουν προσδιορισθεί με βάση πολυωνυμικού μοντέλου πρόγνωσης 2^{ου} βαθμού. Οι χρονικές παράμετροι αποστέλλονται από το τμήμα ελέγχου στους δορυφόρους οι οποίοι τις προσθέτουν στο μήνυμα πλοήγησης που εκπέμπουν προς τους χρήστες. Η διόρθωση του δορυφορικού χρόνου δ^i είναι διαφορετική για κάθε δορυφόρο και υπολογίζεται με βάση τις χρονικές παραμέτρους από τη σχέση:

$$\delta^i(t^i) = a_o + a_1(t^{ri} - t_{oc}) + a_2(t^{ri} - t_{oc})^2 + \Delta t_R \quad (8.10)$$

9 Σφάλματα GPS

Κατά τον προσδιορισμό μίας θέσης με παρατηρήσεις GPS, υπάρχουν διάφορα σφάλματα τα οποία επηρεάζουν τον προσδιορισμό της. Όλες οι μετρήσεις GPS επηρεάζονται από διάφορα σφάλματα τα οποία αν δεν ληφθούν υπόψη κατά τη διαδικασία ανάλυσης των μετρήσεων επηρεάζουν την ακρίβεια με την οποία μπορεί να υπολογισθεί η θέση ενδιαφέροντος. Επειδή στη φύση τίποτε δεν είναι απόλυτο εάν επαναλάβουμε τη μέτρηση ενός μεγέθους περισσότερες από μία φορές τότε δεν προκύπτει πάντοτε το ίδιο αποτέλεσμα. Αυτό συμβαίνει γιατί δεν μετράμε πάντοτε το ίδιο μέγεθος και γιατί το αριθμητικό αποτέλεσμα της μέτρησης δεν αντιστοιχεί ακριβώς στο μέγεθος που μετράμε ενώ αυτό παραμένει ίδιο. Η διαφορά της αληθινής τιμής του μεγέθους που μετράμε και το μεταβαλλόμενο αριθμητικό αποτέλεσμα της μέτρησης ονομάζεται σφάλμα.

Η θεωρία σφαλμάτων μελετά τρόπους για τον ακριβή προσδιορισμό της ακρίβειας μέτρησης η ισοδύναμα τον ακριβή προσδιορισμό του σφάλματος. Το σφάλμα είναι η έλλειψη ακρίβειας που υπάρχει στα όργανα και στις μετρήσεις. Η απόκλιση του σφάλματος από την πραγματική τιμή που θέλουμε να μετρήσουμε περιορίζει την ακρίβεια της μέτρησης. Η ακρίβεια της μέτρησης είναι μέτρο της ποιότητας της. Θα πρέπει να γίνει επανάληψη της μέτρησης για να μπορεί να εκτιμηθεί η ακρίβεια της. Όσο λιγότερο αποκλίνουν οι μετρούμενες τιμές, τόσο ακριβέστερο είναι το αποτέλεσμα που θα καταγράψουμε ως τιμή της μέτρησης. Επίσης όσο επαναλαμβάνεται μία τιμή είναι πιθανότερο να είναι πιο κοντά και στην πραγματική τιμή. Είδη σφαλμάτων:

- Χονδροειδή σφάλματα : οφείλονται σε ανθρώπινα λάθη π.χ. λάθος σήμανση.
- Συστηματικά σφάλματα : αναφέρονται σε σφάλματα τα οποία εμφανίζονται λόγω μεταβολής των συνθηκών παρατήρησης για αυτό και μπορούν να μοντελοποιηθούν και κατά συνέπεια να απαλειφθούν. Πιο συνηθέστερος τρόπος απαλοιφής τους είναι με τη χρήση γραμμικών συνδυασμών. Επηρεάζουν τη ορθότητα της λύσης δηλαδή πόσο απέχουν οι μετρήσεις μεταξύ τους.
- Τυχαία σφάλματα : οι τιμές είναι απρόβλεπτες δηλαδή κάτω από ίδιες φαινομενικά συνθήκες μεταβάλλονται από μέτρηση σε μέτρηση. Η συλλογική συμπεριφορά μεγάλου αριθμού τυχαίων σφαλμάτων μπορεί να προβλεφθεί και να περιγραφεί με την έννοια της πιθανότητας εμφάνισης και την καμπύλη της κανονικής κατανομής. Αντιμετωπίζονται μέσω στατιστικής.

Η εσωτερική ακρίβεια σχετίζεται με πόσο κοντά είναι η μία μέτρηση με την άλλη και εξαρτάται από το μέγεθος των τυχαίων σφαλμάτων. Η εξωτερική ακρίβεια σχετίζεται με το πόσο κοντά βρίσκονται οι επαναλαμβανόμενες μετρήσεις από την αληθινή τιμή και εξαρτάται από το μέγεθος των συστηματικών σφαλμάτων. Τα συστηματικά και χονδροειδή σφάλματα επηρεάζουν την αξιοπιστία της μέτρησης ενώ τα τυχαία επηρεάζουν την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Κατά την ανάλυση των δεδομένων υποθέτουμε ότι οι μετρήσεις είναι απαλλαγμένες από τα χονδροειδή και τα συστηματικά σφάλματα. Τα τυχαία σφάλματα δεν μπορούν να απαλειφθούν αλλά μπορούν να περιοριστούν μέσω της διαδικασίας της συνόρθωσης των παρατηρήσεων. Για τη συνόρθωση αυτή πρέπει να υπάρχει κάποιο κριτήριο για την βελτιστοποίηση των μετρήσεων. Το κριτήριο αυτό είναι κυρίως των ελάχιστων τετραγώνων δηλαδή το άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων να γίνει ελάχιστο. Η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων (MET) επινοήθηκε το 1826 από τον μαθηματικό Carl Friedrich Gauss. (VERM 2016; Πανεπιστήμιο Αθηνών 2014)

9.1 Σφάλματα σχετικά με τους δορυφόρους

Τα σφάλματα σχετικά με τους δορυφόρους διαχωρίζονται στα σφάλματα τροχιάς και τα σφάλματα ρολογιού του δορυφόρου.

9.1.1 Σφάλματα τροχιάς

Εκφράζει τη συστηματική παρέκκλιση της θέσης και της ταχύτητας του δορυφόρου από την πραγματική του θέση. Τα σφάλματα αυτά καταγράφονται στις εφημερίδες οι οποίες στέλνονται από το δορυφόρο στο δέκτη σε σύντομο χρονικό διάστημα έτσι το σφάλμα αυτό δεν μας απασχολεί.

9.1.2 Σφάλμα ρολογιού του δορυφόρου

Οφείλεται στο μη συγχρονισμό του ρολογιού του δορυφόρου ως προς το χρόνο GPS. Τα ρολόγια ελέγχονται από το σύστημα ελέγχου ώστε να περιορίζονται αυτού του είδους σφάλματα. Επίσης χρησιμοποιώντας τις ακριβείς παραμέτρους χρόνου σε συνδυασμό με τις εφημερίδες ακριβείας.

9.2 Σφάλματα σχετικά με τους δέκτες

Τα σφάλματα σχετικά με τους δέκτες διαχωρίζονται στο σφάλμα ρολογιού του δέκτη, στα τυχαία σφάλματα, στο σφάλμα μεταβολής του κέντρου φάσης και την αβεβαιότητα του γνωστού σημείου κατά τον σχετικό εντοπισμό.

9.2.1 Σφάλμα ρολογιού του δέκτη

Επειδή τα χρονόμετρα του δέκτη είναι τύπου χαλαζία δεν είναι το ίδιο ακριβές με τα ατομικά χρονόμετρα έτσι υπάρχει μη συγχρονισμός μεταξύ τους. Το σφάλμα αυτό είναι συνάρτηση του χρόνου, υπολογίζεται σε κάθε εποχή παρατήρησης και σχεδόν απαλείφεται στον σχετικό προσδιορισμό θέσης.

9.2.2 Θόρυβος (τυχαία σφάλματα)

Οφείλονται στη λειτουργία του δέκτη. Η μέση τιμή τείνει στο μηδέν όσο αυξάνεται ο αριθμός των επαναλήψεων της μέτρησης. Εμφανίζεται κυρίως στο σχετικό εντοπισμό όπου χρησιμοποιούνται οι συνθετικές μετρήσεις μέσω γραμμικών συνδυασμών. Η τυπική απόκλιση του σφάλματος που χρησιμοποιείται στα στοχαστικά μοντέλα είναι 0,5-1m για τις ψευδοαποστάσεις και 1-2mm για τις φάσεις.

9.2.3 Σφάλμα μεταβολής κέντρου φάσης κεραίας

Οφείλονται στο ότι το κέντρο φάσης της κεραίας δεν ταυτίζεται με το μηχανικό σημείο. Λόγω των χαρακτηριστικών της κεραίας δεν είναι ένα φυσικό και σταθερό σημείο που μπορεί να μετρηθεί άμεσα. Οι μεταβολές των κέντρων φάσης γύρω από μία μέση θέση είναι της τάξης των λίγων χιλιοστών όμως αν δεν ληφθούν υπόψη το σφάλμα μπορεί να φτάσει και τα 10cm στην υψομετρική διαφορά. Για μικρές βάσεις η επίδραση της μεταβολής των κέντρων φάσης απαλείφεται αν χρησιμοποιηθούν ίδιες κεραίες στα άκρα της βάσης και με τον ίδιο προσανατολισμό. Οι μεταβολές των κέντρων φάσης εξαρτώνται από τη γωνία ύψους.

9.2.4 Αβεβαιότητα γνωστού σημείου

Αυτό συμβαίνει στις περιπτώσεις του σχετικού εντοπισμού καθώς οποιοδήποτε σφάλμα στη θέση του σταθερού σημείου κατά την επίλυση μίας βάσης GPS επηρεάζει συστηματικά τις εκτιμήσεις των συνιστωσών $\Delta_X, \Delta_Y, \Delta_Z$.

9.3 Σφάλματα σχετικά με τη διάδοση του σήματος

Σφάλματα εμφανίζονται και κατά τη διάδοση του σήματος. Τα σφάλματα αυτά διαχωρίζονται στα ιονοσφαιρικά σφάλματα, τροποσφαιρικά σφάλματα, σφάλματα λόγω παρεμβολής από ραδιοσήματα, σφάλμα λόγω λήψης εξασθενημένου δορυφορικού σήματος, σφάλμα ολίσθησης κύκλων και σφάλμα λόγω της πολυανάκλασης.

9.3.1 Ιονοσφαιρικά σφάλματα

Η υπεριώδης ακτινοβολία του ήλιου προκαλεί τη δημιουργία ελεύθερων ηλεκτρονίων των αερίων της ατμόσφαιρας και συνεπώς ιονισμό. Η ζώνη αυτή του ορίζοντα ονομάζεται ιονόσφαιρα και βρίσκεται σε ύψος 60-100km από την επιφάνεια της γης. Η ιονόσφαιρα αποτελεί μέσο επίδρασης, τόσο στην ταχύτητα διάδοσης, όσο και στη δημιουργία παρεκκλίσεων των σημάτων από την ευθεία πορεία μεταξύ δέκτη-δορυφόρου. Η επίδραση της ιονόσφαιρας μπορεί να είναι γνωστή με τη χρήση σημάτων σε δύο συχνότητες. Αυτός είναι ο λόγος που όλα τα συστήματα GNSS μεταδίδουν σε τουλάχιστον δύο συχνότητες. Δυστυχώς, επί του παρόντος με το GPS η δεύτερη συχνότητα προορίζεται για στρατιωτική χρήση. Έτσι, για απλές μονάδες πλοήγησης, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα μοντέλο για την ιονοσφαιρική διόρθωση. Στην πραγματικότητα το μήνυμα πλοήγησης, το οποίο μας δίνει τη δορυφορική θέση και τα σφάλματα των ρολογιών, μας δίνει επίσης ένα μοντέλο για την ιονόσφαιρα, που ονομάζεται Klobuchar μοντέλο. Οι ιονοσφαιρικές καθυστερήσεις στο σήμα είναι της τάξης δεκάδων μέτρων. Με το μοντέλο Klobuchar τα αποτελέσματα μπορεί να μοντελοποιηθούν με ακρίβεια στο επίπεδο του μετρητή. Το ιονοσφαιρικό σφάλμα μεταβάλλεται γρήγορα και σημαντικά κατά τη διάρκεια της μέρας. Έχει σφάλματα από 1m μέχρι αρκετές δεκάδες μέτρα ενώ στον ορίζοντα μπορεί να ξεπεράσει τα 100m. Για μείωση του ιονοσφαιρικού σφάλματος οι μετρήσεις είναι καλύτερο να γίνονται κατά τις απογευματινές προς νυχτερινές ώρες και να θέτουμε μία γωνία αποκοπής πάνω από 15 μοίρες για μείωση του ιονισμού.(Φωτίου και Πικριδάς 2003)

9.3.2 Τροποσφαιρικά σφάλματα

Η τροπόσφαιρα έχει ύψος έως 50km από τη γήινη επιφάνεια και η τροποσφαιρική καθυστέρηση οφείλεται στην διάθλαση του δορυφορικού σήματος. Δεν αποτελεί μέσο διασποράς δηλαδή η μεταβολή του δείκτη διάθλασης δεν είναι συνάρτηση της συχνότητας του σήματος όπως αντίθετα συμβαίνει με την ιονόσφαιρα. Η τροποσφαιρική καθυστέρηση εξαρτάται από τις ατμοσφαιρικές παραμέτρους που είναι η θερμοκρασία, η πίεση και η

υγρασία. Είναι επίσης συνάρτηση της απόστασης που διανύει το σήμα στην τροπόσφαιρα δηλαδή ελαττώνεται με την αύξηση του υψομέτρου. Το τροποσφαιρικό αποτέλεσμα μπορεί επίσης να εξηγηθεί από τη χρήση ενός μοντέλου. Για μια μέτρηση στο ζενίθ η τροποσφαιρική καθυστέρηση είναι της τάξης των 2 μέτρων. Για μετρήσεις χαμηλής ανύψωσης αυτή η επίδραση αυξάνεται με το επίπεδο των 10 μέτρων, λόγω του μεγαλύτερου χρόνου το σήμα πρέπει να ταξιδεύει μέσω της τροπόσφαιρας. Η κύρια άγνωστη στην τροποσφαιρική καθυστέρηση είναι η ποσότητα των υδρατμών στον αέρα. Ωστόσο, με ένα σχετικά απλό μοντέλο το αποτέλεσμα της τροπόσφαιρας μπορεί να μοντελοποιηθεί στο επίπεδο υπό-μετρητή. Το σφάλμα αυτό μειώνεται μέσω διπλών διαφορών ή με τη δημιουργία τοπικών μοντέλων τροποσφαιρικής επίδρασης. (Κουτσογιαννόπουλος και Πικριδιάς 2008)

9.3.3 Σφάλματα λόγω παρεμβολής από ραδιοσήματα

Οι δέκτες είναι δυνατό να λάβουν σήματα από άλλες πηγές εκπομπής εκτός από το δορυφορικό σήμα όπως πομπούς radar, τηλεοπτικού σήματος κτλ. Η παρεμβολή αυτή μπορεί να προκαλέσει μείωση της ακρίβειας των μετρήσεων ακόμη και αδυναμία εντοπισμού της θέσης του δέκτη. Για μείωση του προβλήματος πρέπει να χρησιμοποιούνται κατάλληλες διαμορφωμένες κεραίες που θα λαμβάνουν σήματα ορισμένου εύρους και να γίνεται χρήση ειδικών φίλτρων στους δέκτες ώστε να μειώνεται η επίδραση των παρεμβολών.

9.3.4 Σφάλμα λόγω λήψης εξασθενημένου δορυφορικού σήματος

Το σήμα λόγω διάφορων εμποδίων όπως θάμνους και δέντρα, χάνουν μέρος της ενέργειας τους. Η λήψη αυτών των σημάτων εισάγει σφάλματα στις μετρήσεις των οργάνων GPS τα οποία μπορούν να φτάσουν την τάξη των δεκάτων του μέτρου.

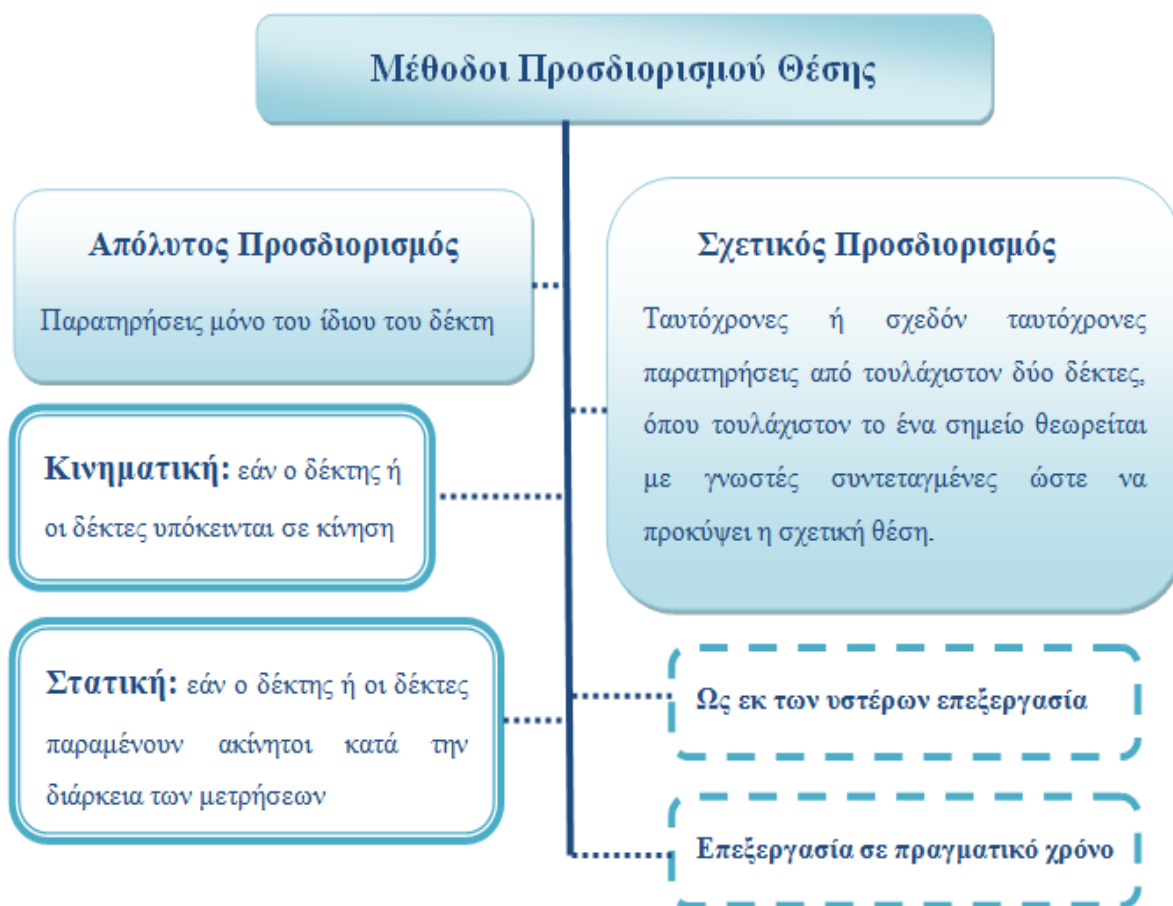
9.3.5 Σφάλμα ολίσθησης κύκλων

Σε περιπτώσεις που υπάρχουν εμπόδια κατά τη μετάδοση του δορυφορικού σήματος τότε υπάρχει απώλεια λήψης και συνεπώς σφάλμα ολίσθησης κύκλων στις δύο συχνότητες. Μετά την απώλεια λήψης σήματος, από τη στιγμή επανεγκλωβισμού του σήματος από τον δέκτη όλες οι επόμενες μετρήσεις είναι επηρεασμένες κατά τον ίδιο ακέραιο αριθμό κύκλων που μεσολάβησαν στο διάστημα της αδυναμίας λήψης. Το σφάλμα αυτό ανιχνεύεται εύκολα αλλά δύσκολα προσδιορίζεται.

9.3.6 Σφάλμα πολυανάκλασης

Είναι το φαινόμενο, όπου το δορυφορικό σήμα λαμβάνεται και από άλλη ή άλλες έμμεσες διαδρομές εκτός από την κανονική του πορεία εξαιτίας της ανάκλασής του σε γειτονικές επιφάνειες, π.χ. επιφάνειες κτιρίων. Με αυτόν τον τρόπο, το σήμα ακολουθεί μεγαλύτερη διαδρομή από την κανονική και η άφιξη του σήματος στην κεραία του δέκτη γίνεται ύστερα από πολλές ανακλάσεις. Το σφάλμα πολυανάκλασης εξαρτάται από την γωνία ύψους του δορυφόρου. Όσο πιο μικρή η γωνία ύψους, τόσο μεγαλύτερο το σφάλμα πολυανάκλασης. Κάτω από άσχημες συνθήκες η ανάκλαση μπορεί να επιφέρει μέχρι και χάσιμο του σήματος (loss of lock). Ο πιο ασφαλής τρόπος για την ελαχιστοποίηση του σφάλματος πολυανάκλασης είναι η κατάλληλη επιλογή της θέσης του δέκτη για τις στατικές εφαρμογές και η χρήση ειδικού τύπου κεραίες που είναι σχεδιασμένες ώστε να μειώνουν την πολυανάκλαση του σήματος. Σε στατικές εφαρμογές οι επιδράσεις του σφάλματος πολυανάκλασης τείνουν να εξουδετερωθούν λόγω της μεταβολής της γεωμετρίας δέκτη-δορυφόρου κατά τη διάρκεια μίας μετρητικής περιόδου που διαρκεί περισσότερο χρόνο, ενδεικτικά πάνω από μια ώρα. (Φωτίου και Πικριδάς 2006; Κατσάμπαλος 2005; NovAtel 2015)

10 Μαθηματικά Μοντέλα Προσδιορισμού Θέσης



Διάγραμμα 9- Μέθοδοι Προσδιορισμού Θέσης

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό θέσης με το GPS εξαρτάται κυρίως από την ακρίβεια που απαιτείται σε κάθε εφαρμογή και από το συνολικό χρόνο παρατήρησης. Στόχος για κάθε εργασία είναι να έχουμε τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια στον μικρότερο δυνατό χρόνο παρατήρησης. (Φωτίου και Πικριδά 2006; ΤΕΙ Κρήτης 2015)

10.1 Απόλυτος Προσδιορισμός Θέσης

Στον απόλυτο προσδιορισμό θέσης αρκεί η χρήση ενός μόνο δέκτη GPS. Ο δέκτης αυτός μετράει ψευδοαποστάσεις από 4 ή περισσότερους ορατούς δορυφόρους, χρησιμοποιώντας τον εκπεμπόμενο κώδικα. Στην περίπτωση αυτή υπολογίζονται απαυθείας οι συντεταγμένες (X,Y,Z) του σημείου, ως προς το γεωδαιτικό σύστημα WGS'84. Η αναμενόμενη οριζοντιογραφική ακρίβεια για ένα πολιτικό δέκτη C/A κώδικα, χωρίς να είναι ενεργό το SA είναι περίπου στα 22 μέτρα. Με τα νέα πολιτικά σήματα η ακρίβεια θα αυξηθεί σημαντικά επειδή θα είναι δυνατές οι μετρήσεις κωδικών σε δύο φέρουσες συχνότητες και συνεπώς θα είναι δυνατή η απαλοιφή του ιονοσφαιρικού σφάλματος. Εάν απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία σε πραγματικό χρόνο, αξιοποιούνται τα συστήματα SBAS (EGNOS) ή άλλες ισοδύναμες υπηρεσίες με την συνεργασία των συστημάτων του GNSS. Με χρήση μόνο ψευδοαποστάσεων από κώδικες PRN και παρατηρήσεις δύο συχνοτήτων η μέγιστη ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί είναι της τάξης 0,5-1 μέτρο. Η εξίσωση ψευδοαπόστασης μεταξύ του δέκτη A και του δορυφόρου i είναι:

$$P_A^i = \text{SQRT}[(X^i - X_A)^2 + (Y^i - Y_A)^2 + (Z^i - Z_A)^2] + c\delta_A + e_A^i \quad (10.1)$$

Όπου όπου X^i , Y^i και Z^i οι συντεταγμένες του δορυφόρου i και e_A^i το σφάλμα μέτρησης της ψευδοαπόστασης P_A^i . Είναι φανερό πως η ψευδοαπόσταση ισούται με την γεωμετρική απόσταση συν το σφάλμα ρολογιού του δέκτη συν το σφάλμα μέτρησης που συμπεριλαμβάνονται και τα ατμοσφαιρικά σφάλματα. Παρατηρήσεις κώδικα σε δύο συχνότητες δίνουν τη δυνατότητα της σχεδόν απαλοιφής του ιονοσφαιρικού σφάλματος. Παρατηρήσεις κώδικα σε μία ή σε δύο συχνότητες σε συνδυασμό με παρατηρήσεις φάσης μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντική βελτίωση της ακρίβειας. (Φωτίου και Πικριδά 2006; Δημόπουλου 2008)

10.1.1 Απόλυτος Προσδιορισμός θέσης σε πραγματικό χρόνο

Είναι μία τεχνική εντοπισμού που στόχο έχει τον προσδιορισμό προσδιορισμό θέσης σε κάθε χρονική στιγμή, δηλαδή σε πραγματικό χρόνο, από ταυτόχρονες παρατηρήσεις προς S δορυφόρους με βάση την εκπεμπόμενη δορυφορική εφημερίδα. Οι άγνωστες παράμετροι είναι οι τρεις συντεταγμένες του δέκτη, το σφάλμα του ρολογιού του και το σφάλμα του ρολογιού του κάθε δορυφόρου, δηλαδή για κάθε χρονική περίοδο έχουμε συνολικά $m=(4+S)$ άγνωστες παραμέτρους. Η μέση ακρίβεια της μεθόδου αυτής είναι <9 μέτρα για την οριζόντια θέση και <15 μέτρα για την κατακόρυφη συνιστώσα. Το ιονοσφαιρικό σφάλμα υπολογίζεται από ένα σύνθετο μοντέλο που περιέχεται στο μήνυμα ναυσιπλοΐας ενώ το τροποσφαιρικό σφάλμα υπολογίζεται από τα συνήθη τυπικά μοντέλα τροπόσφαιρας. Ο αριθμός των παρατηρήσεων είναι $n=S<m$ έτσι υπάρχουν πάντοτε περισσότερες άγνωστοι παράμετροι από τις παρατηρήσεις, όμως το σφάλμα του ρολογιού του κάθε δορυφόρου μπορεί να υπολογιστεί με βάση τις εκπεμπόμενες χρονικές παραμέτρους και έτσι να θεωρηθεί γνωστό στην εξίσωση παρατήρησης. Οι σύγχρονοι δέκτες χρησιμοποιούν τις ψευδοαποστάσεις όλων των δορυφόρων που λαμβάνουν σήμα για να προσδιορίσουν την βέλτιστη λύση σύμφωνα με το κριτήριο ελαχίστων τετραγώνων και ειδικότερα εφαρμόζοντας τη συνόρθωση με την μέθοδο των παραμέτρων. Ο δέκτης υπολογίζει τη θέση X,Y,Z ή (φ,λ,h) στο WGS84 ή και σε οποιοδήποτε γεωδαιτικό datum και προβολικό σύστημα αν διαθέτει η μνήμη του την πληροφορία μετασχηματισμού. Αν επίσης διαθέτει και ένα μοντέλο γεωειδούς μπορεί να υπολογίζει το υψόμετρο γεωειδούς και το ορθομετρικό υψόμετρο. Η λύση παρατηρήσεων φάσης για τη λύση πλοήγησης δεν είναι δυνατή επειδή για κάθε δορυφόρο εισάγεται η άγνωστη παράμετρος της ασάφειας φάσης και έτσι θα ισχύει $n<m$ και έτσι θα υπάρχουν λιγότερες εξισώσεις από τον αριθμό των αγνώστων. (Καρπουζιάς 2008)

10.1.2 Απόλυτος Προσδιορισμός θέσης εκ των υστέρων

Σε αυτή την περίπτωση εντοπισμού θέσης δεν είναι αναγκαία η ταυτόχρονη λήψη τεσσάρων τουλάχιστον δορυφόρων αφού μπορούν να χρησιμοποιηθούν παρατηρήσεις πολλών εποχών από διαφορετικούς δορυφόρους, λιγότερους από 4 σε κάθε εποχή. Το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ταυτόχρονα τις μετρήσεις όλων των εποχών και μάλιστα με εκ των υστέρων επεξεργασία. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ακρίβεια θέσης και χρόνου σε σχέση με τη μέθοδο του απόλυτου εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο. Η μέση ακρίβεια είναι <1 μέτρο. Επίσης υπάρχει δυνατότητα χρήσης

ακριβέστερων ατμοσφαιρικών επιδράσεων. Αν υπολογιστούν με ακρίβεια καλύτερη του 1μs τα σφάλματα των ρολογιών των δεκτών τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως κριτήριο ελέγχου του ταυτόχρονου των παρατηρήσεων φάσης καθώς και για ακριβή υπολογισμό των γεωμετρικών αποστάσεων στο σχηματισμό των διπλών διαφορών. Στην εκ των υστέρων επεξεργασία μπορεί να διορθωθεί ο δορυφορικός χρόνος με μεγάλη ακρίβεια μέσω των παραμέτρων της IGS και παράλληλη χρήση εφημερίδας ακρίβειας. Για T εποχές και S δορυφόρους που παρατηρούνται συνεχώς από έναν ακίνητο δέκτη, έχουμε αριθμό παρατηρήσεων $n=ST$ και αριθμό άγνωστων παραμέτρων $m=3+k$, όπου k ο αριθμός των σφαλμάτων του ρολογιού του δέκτη, διαφορετικών από εποχή σε εποχή. Για να υπάρχει λύση στο πρόβλημα πρέπει $n \geq m$. (Καρπουζιάς 2008)

10.1.3 Ακριβής απόλυτος προσδιορισμός θέσης (PPP)

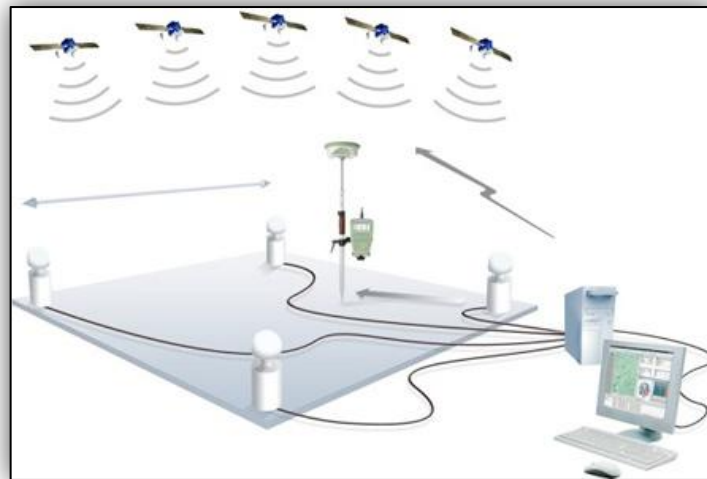
Η τεχνική αυτή μοιάζει με το σημειακό απόλυτο εντοπισμό ενός σημείου που εφαρμόστηκε από την δεκαετία του 1980 με μετρήσεις του κώδικα των σημάτων GPS δηλαδή με μετρήσεις ψευδοαποστάσεων όμως στην προκειμένη τεχνική προστίθεται και οι μετρήσεις φάσης του φέροντος κύματος. Ο μέθοδος αυτή εκτελεί τον προσδιορισμό ακριβής θέσης με τη χρήση ενός μόνο δέκτη GPS. Πραγματοποιείται μέσω δικτύων σταθμών αναφοράς. Η εφαρμογή χαρακτηρίζεται από μεγάλη ακρίβεια, συνεχή κάλυψη και γρήγορη διαθεσιμότητα. Ο χρήστης υποβάλει τα δεδομένα στην αντίστοιχη υπηρεσία που έχει δυνατότητα PPP και παραλαμβάνει τη λύση μέσω του διαδικτύου. Κάθε χρήστης μπορεί μέσω μίας απλής διαδικασίας να στείλει το αρχείο δεδομένων του δέκτη σε μορφή RINEX και να λάβει ύστερα από μερικά λεπτά μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου το αρχείο με τα σχετικά αναλυτικά αποτελέσματα. Εκτός από τη θέση προσδιορίζονται οι ασάφειες φάσης, το σφάλμα ρολογιού δέκτη και το τροποσφαιρικό σφάλμα ανά εποχή παρατήρησης μετά από τη συνόρθωση των μετρήσεων. Επιπλέον διορθώνονται μέσω κατάλληλων μοντέλων της Διεθνούς Υπηρεσίας IGS τα σφάλματα στις μετρήσεις που αφορούν τις μεταβολές του κέντρου φάσης στην κεραία του δέκτη και στις κεραίες εκπομπής του σήματος στους δορυφόρους. Αυτή η προσέγγιση έγινε για να μειωθούν τα σφάλματα τροχιάς και τα σφάλματα ρολογιού του GPS, που είναι τα πιο συνηθισμένα σφάλματα στον GPS προσδιορισμό. Συνδυάζοντας τις ακριβείς θέσεις των δορυφόρων και των ρολογιών με ένα δέκτη GPS διπλής συχνότητας αφαιρούνται τα σφάλματα της ιονόσφαιρας έτσι το PPP είναι

σε θέση να δώσει λύσεις με ακρίβεια 100×10^{-3} m. Η ακρίβεια αυτή είναι χρήσιμη για πολλές εφαρμογές από την εναέρια χαρτογράφηση.

Αρχικά γινόταν μόνο με εκ των υστέρων επεξεργασία, πλέον όμως χρησιμοποιείται και για εφαρμογές που γίνονται σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Η PPP είναι διαφορετική από την RTK η οποία απαιτεί πρόσβαση σε παρατηρήσεις από ένα ή περισσότερους σταθμούς βάσης με γνωστές συντεταγμένες. Η μέθοδος αυτή μπορεί να προσφέρει πολλά σημαντικά πλεονεκτήματα για εφαρμογές σε σύγκριση με τις ακριβείς διαφορικές τεχνικές εντοπισμού θέσης. Η PPP αφού περιλαμβάνει μόνο ένα δέκτη GPS και δεν έχει την ανάγκη των τοπικών σταθμών εξαλείφει την ανάγκη ταυτόχρονων παρατηρήσεων του rover και base δεκτών που επιβάλλεται στην τεχνική RTK. Η PPP προσεγγίζει σφαιρικά τη θέση καθώς η λύση της θέσης αναφέρεται σε ένα παγκόσμιο πλαίσιο αναφοράς. Ένα άλλο σημαντικό όφελος της μεθόδου είναι ότι μειώνει τους εργαζόμενους, το κόστος του εξοπλισμού και απλοποιεί την επιχειρησιακή επιμέλεια στις εργασίες πεδίου δεδομένου ότι καταργείται η εξάρτηση από το σταθμό βάσης. Η PPP αντιμετωπίζει αρκετές προκλήσεις για την επίτευξη του πλήρους δυναμικού στις εφαρμογές. Ένα μεγάλο χρονικό διάστημα προετοιμασίας, συνήθως πάνω από 20 λεπτά είναι απαραίτητα για την επίλυση των ασαφειών φάσης και κατά αποτέλεσμα την επίλυση της θέσης. Γενικά η ακρίβεια επεξεργασίας εκ των υστέρων για δεδομένα δύο συχνοτήτων μίας ή δύο ωρών είναι της τάξης των μερικών cm, ενώ για δεδομένα μερικών ωρών φτάνει το 1cm. Η τεχνική αυτή δεν εξαρτάται από κάποιο σταθμό αναφοράς έτσι είναι απαλλαγμένη από τους περιορισμούς που χαρακτηρίζουν τις διαδικασίες σχετικού εντοπισμού. Για εφαρμογές όπου δεν υπάρχουν δίκτυα σταθμών αναφοράς ή σε απομακρυσμένες περιοχές όπου η πρόσβαση σε υποδομές επικοινωνίας είναι περιορισμένη και η τεχνική RTK δεν μπορεί να εφαρμοστεί τότε η τεχνική αυτή είναι η ιδανικότερη. Συμπερασματικά η PPP είναι μία νέα τεχνολογία εντοπισμού θέσης με μεγάλη ακρίβεια που μπορεί να είναι μία εναλλακτική λύση για την τρέχουσα RTK μέθοδο για πολλές εφαρμογές. Η προσθήκη του GLONASS και του Galileo θα μπορούσε να ενισχύσει περαιτέρω την συνολική απόδοση του PPP όσο αφορά την ακρίβεια και την αξιοπιστία.

Για βελτίωση της τεχνικής PPP οι επιστήμονες έχουν επικεντρωθεί στον ακριβή προσδιορισμό διαθέσιμων δορυφορικών τροχιών και τροχιών που έχουν προβλεφθεί με στόχο την υποστήριξη των κινηματικών εφαρμογών PPP. Τα τελευταία χρόνια ο στόχος της υπηρεσίας IGS έχει επικεντρωθεί στην ανάλυση δεδομένων από μόνιμους σταθμούς συστημάτων GPS και GLONASS ώστε να διατίθενται αξιόπιστα δεδομένα υψηλής ακρίβειας

της τάξης <10cm στις τροχιές και <1nsec για τις διορθώσεις των χρονομέτρων. Η ακρίβεια αυτή απαιτείται για την υποστήριξη των επιστημονικών ερευνών και για την αυξημένη ζήτηση των προϊόντων όπως οι τροχιές των δορυφόρων, οι διορθωτικές παράμετροι των χρονομέτρων και παράμετροι της ατμόσφαιρας τα οποία παρέχονται σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Πρόσφατος στόχος είναι τα δεδομένα να έχουν ακρίβεια της τάξης των 5cm για τις τροχιές και 0,3nsec για τις διορθώσεις χρονομέτρων και η διάθεση των προϊόντων 10sec μετά τις μετρήσεις. Τον Απρίλιο του 2013 η Διεθνής Υπηρεσία GNSS ξεκίνησε επίσημα την IGS Real- Time Service (RTS), Είναι μία νέα υπηρεσία που διαθέτει προϊόντα ανοικτής πρόσβασης για εφαρμογές πραγματικού χρόνου όπως η PPP.



Διάγραμμα 10- PPP μέθοδος εντοπισμού

(Αγραφιώτης, Καζαμίας, Καρολεμέας, Καρτέρης, Κοτρώτση, Λαγού, Στεφανόπουλος, Τρουλλίνου και Χάρχαρος 2013; Petovello and Lachapelle 2006)

10.2 Διαφορικός Εντοπισμός Θέσης (DGPS)

Ο διαφορικός προσδιορισμός της θέσης παρατήρησης επιτυγχάνεται σε πραγματικό χρόνο με τη χρήση δύο ή περισσότερων GPS δεκτών. Ένας δέκτης βρίσκεται σε σταθερό σημείο (base) με γνωστές συντεταγμένες και ο άλλος/άλλοι είναι δέκτες χρηστών (rover) ο οποίος τοποθετείται κάθε φορά στο σημείο παρατήρησης. Γίνεται η παραδοχή ότι τα παρατηρούμενα σφάλματα στους δέκτες GPS, οι οποίοι βρίσκονται σε απόσταση <200km μεταξύ τους είναι κοινά. Βασική προϋπόθεση είναι η παρατήρηση ίδιων δορυφόρων και από τους δύο δέκτες, χωρίς όμως να είναι απαραίτητο οι μετρήσεις να είναι την ίδια χρονική περίοδο. Η ακρίβεια των μετρήσεων όταν χρησιμοποιείται το DGPS είναι 0,5cm-5m όταν χρησιμοποιείται ο κώδικας ενώ φτάνει και τα 5-10mm όταν χρησιμοποιείται η φάση. Ο προσδιορισμός της θέσης υπολογίζεται σε τρεις φάσεις:

A) Προσδιορισμός Σφαλμάτων Μέτρησης και Υπολογισμός Διορθώσεων: Ο δέκτης base τίθεται σε λειτουργία και υπολογίζει την απόσταση του από τους ορατούς δορυφόρους (>4). Έχοντας γνωστή τη θέση του σταθμού αναφοράς μπορεί να προσδιοριστεί η πραγματική απόσταση του δέκτη από κάθε δέκτη GPS. Λόγω σφαλμάτων των ρολογιών ή σφαλμάτων της ατμόσφαιρας υπάρχει απόκλιση ανάμεσα στις υπολογιζόμενες και πραγματικές αποστάσεις του δέκτη – δορυφόρου. Μέσω των διαφορών αυτών υπολογίζονται οι διορθώσεις, οι οποίες γίνονται για κάθε δορυφόρο προκειμένου να εξαλειφθούν τα σφάλματα ρολογιών του δέκτη και των δορυφόρων και να ελαχιστοποιηθούν τα ατμοσφαιρικά σφάλματα.

B) Αποστολή Διορθώσεων : Οι διορθώσεις θεωρούνται ίδιες σε ακτίνα <200km έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν και από τους φορητούς δέκτες για να διορθώσουν τις μετρούμενες αποστάσεις τους από τους δορυφόρους. Οι υπολογιζόμενες διορθώσεις μεταδίδονται από τον σταθμό αναφοράς προς τους δέκτες σε πραγματικό χρόνο μέσω modem ή μέσω διαδικτύου.

Γ) Διόρθωση Μετρήσεων : Ο φορητός δέκτης εκτελεί μετρήσεις λαμβάνοντας δεδομένα από τους δορυφόρους οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν κατά τις μετρήσεις στον σταθμό αναφοράς. Στη συνέχεια αφού έχει λάβει τις διορθώσεις από το σταθμό αναφοράς υπολογίζεται η πραγματική απόσταση του δέκτη από κάθε δορυφόρο και προσδιορίζεται η ακριβής θέση παρατήρησης. Έτσι εξαλείφονται όλα τα σφάλματα των μετρήσεων εκτός από το θόρυβο και τις πολυανακλάσεις.(Ελληνική Κοινότητα Δασολόγων)

10.3 Σχετικός Προσδιορισμός Θέσης

Με τη μέθοδο του σχετικού προσδιορισμού υπολογίζονται οι συντεταγμένες ενός ή και περισσότερων σημείων ως προς κάποιο άλλο σημείο που θεωρείται γνωστό. Δηλαδή είναι ο προσδιορισμός του διανύσματος μεταξύ δύο σημείων το οποίο ονομάζεται διάνυσμα βάσης ή βάση (baseline). Οι συντεταγμένες του γνωστού σημείου δίνονται ή προσδιορίζονται με κάποια μέθοδο, πχ με τη μέθοδο του απόλυτου προσδιορισμού. Αν (X_A, Y_A, Z_A) είναι οι συντεταγμένες του γνωστού σημείου A, προσδιορίζονται οι συντεταγμένες (X_B, Y_B, Z_B) του άγνωστου σημείου B οπότε προκύπτουν οι συνιστώσες $(\Delta X_{AB}, \Delta Y_{AB}, \Delta Z_{AB})$ του διανύσματος βάσης. Ο σχετικός προσδιορισμός προϋποθέτει ταυτόχρονες μετρήσεις προς Σ δορυφόρους από δύο ή και περισσότερους δέκτες. Χρησιμοποιούνται συνήθως γραμμικοί συνδυασμοί για να ελαχιστοποιούνται τα περισσότερα από τα συστηματικά σφάλματα όμως αυξάνεται ο θόρυβος (τυπική απόκλιση), δηλαδή μειώνεται η εσωτερική ακρίβεια και μειώνεται η πλεονάζουσα πληροφορία σε σχέση με την αρχική των πρωτογενών παρατηρήσεων. Στο στάδιο της προεπεξεργασίας ελέγχεται η ποιότητα των παρατηρήσεων, δηλαδή αν υπάρχουν σφάλματα πολυανάκλασης και οι παρατηρήσεις αυτές εξαιρούνται. Επίσης γίνεται η ανίχνευση για τον εντοπισμό πιθανών απωλειών κύκλων ολίσθησης για τις φάσεις. Στο επόμενο στάδιο προσδιορίζονται οι ακέραιες ασάφειες ανά βάση και έτσι γίνεται ο επαναπροσδιορισμός των βάσεων με τελική τη συνόρθωση του δικτύου GPS. Συνήθως σε ένα δίκτυο έχουμε περισσότερες από μία περιόδους μετρήσεων και η συνόρθωση ολοκληρώνεται σε δύο στάδια. Δηλαδή η επίλυση και η συνόρθωση γίνονται πρώτα σε επίπεδο περιόδων και στη συνέχεια όλων των περιόδων δηλαδή συνόρθωση του δικτύου. Αγνοώντας το σφάλμα πολυανάκλασης και το θόρυβο, οι εξισώσεις παρατηρήσεων για τους κώδικες και τις φάσεις σε δύο συχνότητες, γράφονται :

$$P_{1A}^i = \rho_A^i + c\delta_A - c\delta^i + I_{1A}^i + T_A \quad (10.2)$$

$$P_{2A}^i = \rho_A^i + c\delta_A - c\delta^i + I_{2A}^i + T_A \quad (10.3)$$

$$L_{1A}^i = \rho_A^i + c\delta_A - c\delta^i - I_{1A}^i + T_A + \lambda n_{1A}^i \quad (10.4)$$

$$L_{2A}^i = \rho_A^i + c\delta_A - c\delta^i - I_{2A}^i + T_A + \lambda n_{2A}^i \quad (10.5)$$

Οι παραπάνω εξισώσεις αφορούν ταυτόχρονες παρατηρήσεις για κάθε εποχή λήψης στην κλίμακα GPS, με τις δύο πρώτες να αναφέρονται στις ψευδοαποστάσεις σε κάθε φορέα και τις δύο επόμενες στις αντίστοιχες φάσεις των φορέων εκφρασμένες σε μονάδες απόστασης. Οι παρατηρήσεις φάσης είναι απαραίτητες στο σχετικό προσδιορισμό θέσης ενώ οι παρατηρήσεις ψευδοαποστάσεων είναι βοηθητικές είτε για τον προσδιορισμό καλύτερων προσεγγιστικών συντεταγμένων και τον συγχρονισμό των ρολογιών ή μερικές φορές και για την καλύτερη επίλυση των ασαφειών μαζί με τις παρατηρήσεις φάσης. Οι ψευδοαποστάσεις από κώδικες χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές GIS έχοντας ακρίβεια της τάξης 0,5-1 m. Στην μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται γραμμικοί συνδυασμοί οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την μείωση των συστηματικών σφαλμάτων. (Καρπουζιάς 2008)

10.3.1 Σχετικός κινηματικός προσδιορισμός θέσης

Ο σχετικός κινηματικός προσδιορισμός σχεδιάστηκε για εφαρμογές υπολογισμού της τροχιάς (διαδρομής) ενός οχήματος/πλοίου/αεροπλάνου ή και τις μηκοτομές αξόνων δρόμων με πολύ μεγάλη ακρίβεια σε σύγκριση με τον απόλυτο κινηματικό. Αρχικά λύνεται το πρόβλημα της ασάφειας για όλους του δορυφόρους. Ο ακίνητος δέκτης μένει συνεχώς στο γνωστό σημείο και ο κινητός στην αρχή μένει ακίνητος για λίγα λεπτά μέχρι να συλλεχθούν ικανές μετρήσεις για την επίλυση των ασαφειών. Στη συνέχεια ο κινούμενος δέκτης καθώς κινείται παίρνει μετρήσεις ανά κάποια χρονικά διαστήματα (π.χ. ανά κάποια δευτερόλεπτα) και έτσι μπορούν να προσδιορισθούν οι σχετικές θέσεις τους. Αν κατά τη διάρκεια της κίνησης του rover υπάρξει απώλεια σήματος τότε θα πρέπει να μείνει ακίνητος για κάποιες εποχές ώστε να επιλυθούν ξανά οι ασάφειες όπως στην αρχή της διαδικασίας. Απώλεια σήματος μπορεί να συμβεί όταν ο κινούμενος δέκτης διέλθει κάτω από ένα αντικείμενο ή αν οι ορατοί δορυφόροι είναι λιγότεροι από 4 και η επίλυση είναι αδύνατη. Οι ακρίβεια στις μετρήσεις φάσεων είναι 1 έως 10 ppm ενώ με μετρήσεις ψευδοαποστάσεων είναι της τάξης του 1 m. Παραλλαγή της τεχνικής αυτής είναι ο ημικινηματικός εντοπισμός «stop and go».

(ΤΕΙ Κρήτης 2015)

10.3.2 Σχετικός ημικινηματικός προσδιορισμός

Στην ημικινηματική τεχνική είναι απαραίτητοι τουλάχιστον 2 δέκτες όπου ο ένας δέκτης θα είναι ακίνητος σε ένα γνωστό σημείο (π.χ. τριγωνομετρικό) ενώ ο άλλος δέκτης (rover) θα κινείται από σημείο σε σημείο. Αρχικά ο κινούμενος δέκτης παραμένει ακίνητος για λίγα λεπτά ώστε να επιλύσει τις ασάφειες φάσης και εν συνέχεια μετακινείται στα υπόλοιπα σημεία. Σε αυτή τη μέθοδο ο δέκτης συνεχίζει να ακολουθεί τους δορυφόρους ενώ είναι σε κίνηση. Ο χρόνος παραμονής σε κάθε σημείο είναι της τάξης των μερικών δευτερολέπτων (20-40) και παρατηρήσεις καταγράφονται κάθε 5 δευτερόλεπτα, ώστε να ληφθούν μετρήσεις μερικών εποχών. Η ακρίβεια αυξάνεται όσο περισσότερες μετρήσεις ληφθούν σε κάθε σημείο. Σε αυτή τη μέθοδο μας ενδιαφέρουν μόνο τα σημεία στάσης όμως ο δέκτης συνεχίζει να λειτουργεί σε όλη τη διάρκεια τη μετακίνησης μεταξύ των σημείων ώστε να μην χάνει την ορατότητα του με τους δορυφόρους. Η μέθοδος πλεονεκτεί στο ότι είναι πολύ γρήγορη και οικονομική αντίθετα όμως μειονεκτεί στο ότι απαιτεί συνεχή λήψη του σήματος του δορυφόρου. Εάν η λήψη του σήματος διακοπεί τότε πρέπει να λυθεί ξανά το πρόβλημα της ασάφειας. Ο κινητός και σταθερός δέκτης πρέπει να παρακολουθούν τους ίδιους δορυφόρους. Η ακρίβεια της μεθόδου αυτής είναι της τάξης του εκατοστού. Χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές υδραυλικών έργων, προμελέτης οδοποιίας και γενικά σε περιπτώσεις όπου τα σημεία που πρέπει να αποτυπωθούν βρίσκονται σε κοντινές αποστάσεις. (Καρπουζιάς 2008; ΤΕΙ Κρήτης 2015)

10.3.3 Σχετικός στατικός προσδιορισμός θέσης

Με τον όρο στατικό προσδιορισμό θέσης εννοούμε τον προσδιορισμό όπου οι δέκτες παραμένουν ακίνητοι στα σημεία καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Ο ένας δέκτης παραμένει ακίνητος σε ένα σημείο με γνωστές συντεταγμένες το οποίο είναι συνήθως ένα τριγωνομετρικό. Οι συντεταγμένες που υπολογίζονται στο σχετικό προσδιορισμό αναφέρονται στο σύστημα WGS84 ή σε κάποιο από τα ITRF με υψηλή σχετική ακρίβεια και απόλυτη ακρίβεια ανάλογη αυτής του γνωστού ή των γνωστών σημείων. Η βέλτιστη απαιτούμενη χρονική διάρκεια συλλογής παρατηρήσεων εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των σημείων όπως επίσης και από τον αριθμό και τη γεωμετρία των δορυφόρων. Ο ρυθμός καταγραφής των παρατηρήσεων γίνεται συνήθως από 5-20 δευτερόλεπτα και η γωνία αποκοπής ορίζεται στις 15 μοίρες. Στις περισσότερες περιπτώσεις μετρούμε όσο το δυνατόν περισσότερες βάσεις μεταξύ των σημείων τα οποία πρέπει να σχηματίζουν κλειστά

γεωμετρικά σχήματα. Για τη μέτρηση ενός δικτύου στη πιο απλή περίπτωση διαθέτουμε δύο δέκτες, αρκεί ο ένας να τοποθετηθεί σε ένα γνωστό σημείο και ο άλλος να περιφέρεται στα υπόλοιπα σημεία. Έτσι κάθε φορά μετράμε μία βάση και στην συνέχεια συμπληρώνουμε τις παρατηρήσεις στο δίκτυο μας μετρώντας τις υπόλοιπες βάσεις. Είναι προτιμότερο να διαθέτουμε τρεις δέκτες ώστε να μετράμε κάθε φορά τρίγωνα από βάσεις και να μειώνουμε το χρόνο μετακίνησης. Στις συνήθεις γεωδαιτικές και τοπογραφικές εργασίες σχεδόν πάντα μας ενδιαφέρει η ένταξη του δικτύου GPS στο τοπικό σύστημα αναφοράς, έτσι κάποια από τα σημεία του δικτύου (τουλάχιστον 3) πρέπει να είναι κοινά ώστε να χρησιμοποιηθούν για το μετασχηματισμό. Οι ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί με αυτή τη διαδικασία είναι της τάξης των $1-2\text{cm} \pm 1\text{ppm}$ της απόστασης μεταξύ των σημείων. Για να αξιοποιήσουμε τα σημαντικά πλεονεκτήματα των διαφορών οι παρατηρήσεις πρέπει να είναι ταυτόχρονες με ικανοποιητική ακρίβεια στα σημεία κάθε βάσης που επιλύεται, ως συνήθως χρησιμοποιούνται οι διπλές διαφορές. Η διαδικασία αυτή είναι κατάλληλη για εργασίες που απαιτούν υψηλή ακρίβεια στις συντεταγμένες όπως είναι οι μετρήσεις δικτύων και οι μικρομετακινήσεις. (Φωτίου και Πικριδής 2006; Καρπουζιάς 2008)

10.3.4 Γρήγορος σχετικός στατικός προσδιορισμός θέσης

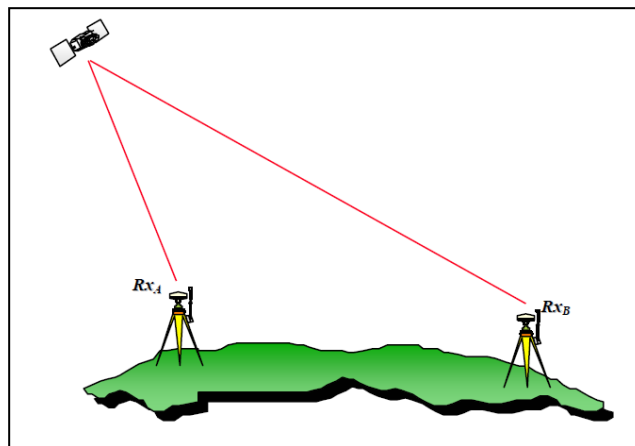
Είναι μία κλασική στατική τεχνική και μοιάζει με τον σχετικό στατικό προσδιορισμό. Γενικά χρησιμοποιεί μεγαλύτερο ρυθμό λήψης παρατηρήσεων συνήθως 1-5 δευτερόλεπτα. Η διαφορά του από το στατικό προσδιορισμό είναι ότι χρησιμοποιεί μετρήσεις λίγων λεπτών για κάθε βάση, τόσες όσες για να επιλυθεί ικανοποιητικά το πρόβλημα της ασάφειας φάσης. Ο ένας δέκτης μένει σταθερός σε γνωστό σημείο (τριγωνομετρικό) και ο άλλος περιφέρεται στα υπόλοιπα άγνωστα σημεία παραμένοντας σε αυτά 5 έως 20 λεπτά ανάλογα με το μήκος της βάσης. Οι δέκτες πρέπει να είναι διπλής συχνότητας και με δυνατότητα μέτρησης κωδικών. Κατά τη μετακίνηση των δεκτών από σημείο σε σημείο δεν χρειάζεται η λήψη δορυφορικού σήματος. Η ακρίβεια της μεθόδου είναι της τάξης $1-2\text{cm} \pm 5\text{ppm}$ ανάλογα με τον τύπο του δέκτη. Εφαρμόζεται κυρίως σε δίκτυα κατώτερης τάξης, πύκνωσης δικτύων, στην πολυγωνομετρία και στη λήψη φωτοσταθερών. (Κατσογιαννόπουλος 2015)

10.3.5 Απλές - Διπλές – Τριπλές Διαφορές στο σχετικό εντοπισμό

Στον σχετικό εντοπισμό οι δύο δέκτες καταγράφουν μετρήσεις για τις ίδιες εποχές. Για μέτρηση βάσης μερικών χιλιομέτρων στον σχετικό εντοπισμό θεωρείται ότι οι παρατηρήσεις γίνονται προς τους ίδιους δορυφόρους και επηρεάζονται από τις ίδιες πηγές σφαλμάτων όπως ιονοσφαιρικά, τροποσφαιρικά, σφάλματα τροχιάς και σφάλματα χρονομέτρων των δορυφόρων. Έτσι με τη βοήθεια γραμμικών συνδυασμών μπορούν να μειώσουν τα κοινά συστηματικά σφάλματα που εμφανίζονται. Όταν συλλεχθούν επαρκή δεδομένα κοινών μετρήσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι:

A) Απλές Διαφορές

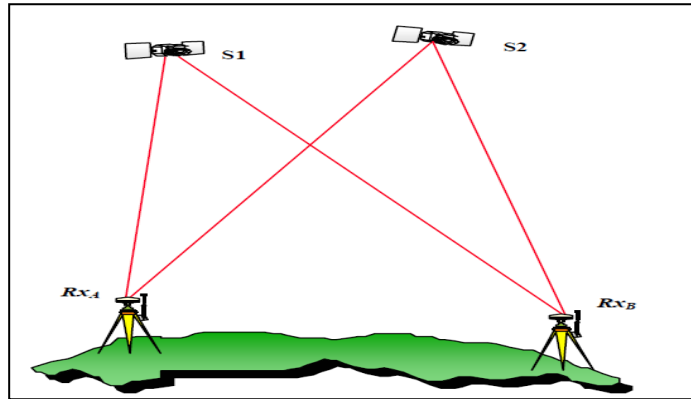
Απλή διαφορά ορίζεται η διαφορά ταυτόχρονων παρατηρήσεων μεταξύ δεκτών ως προς τον ίδιο δορυφόρο. Με αυτό το μοντέλο απαλείφονται κυρίως τα σφάλματα χρονομέτρου του δέκτη και το σφάλμα χρονομέτρου του δορυφόρου. Επιπλέον οι ατμοσφαιρικές επιδράσεις (ιονόσφαιρας και τροπόσφαιρας) μειώνονται αρκετά για αποστάσεις λίγων χιλιομέτρων. Τέλος απαλείφεται η αρχική φάση της παρατήρησης φάσης.



Διάγραμμα 11- Διάταξη Απλών Διαφορών

B) Διπλές Διαφορές

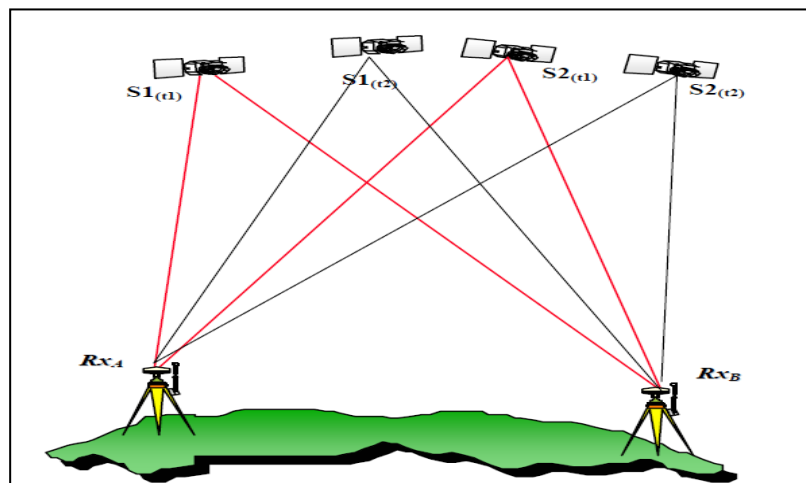
Διπλή διαφορά ορίζεται η ταυτόχρονη διαφορά δύο απλών διαφορών μεταξύ δύο δεκτών και δύο δορυφόρων. Με αυτό το μοντέλο απαλείφονται τα κοινά σφάλματα των δεκτών δηλαδή τα σφάλματα των χρονομέτρων και το σφάλμα χρονομέτρου του δορυφόρου μέσω των απλών διαφορών. Επιπλέον απαλείφονται οι αρχικές φάσεις των δεκτών όπως επίσης και οι εσωτερικές καθυστερήσεις των σημάτων στους δέκτες. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται περισσότερο για την τελική συνόρθωση μίας βάσης η ενός δικτύου GNSS.



Διάγραμμα 12- Διάταξη Διπλών Διαφορών

Γ) Τριπλές Διαφορές

Τριπλή διαφορά ορίζεται η διαφορά δύο διπλών διαφορών σε δύο διαφορετικούς χρόνους. Η διαδικασία υπολογισμού συντεταγμένων γίνεται με την εξάλειψη της ασάφειας φάσης με αποτέλεσμα να εισάγεται θόρυβος στις μετρήσεις. Οι τριπλές διαφορές παρουσιάζουν το μειονέκτημα της μειωμένης πληροφορίας με αποτέλεσμα να μην έχουν μεγάλη ακρίβεια. Για εγγύς εποχές η τροποσφαιρική επίδραση θεωρείται ίδια και απαλείφεται.



Διάγραμμα 18- Διάταξη Τριπλών Διαφορών

(Φωτίου και Πικριδά 1006; Κεμερίδης 2009)

11 Δίκτυα GPS

Τα δίκτυα GPS/GNSS διαφοροποιούνται σημαντικά ανάλογα με την απόσταση μεταξύ των σημείων ή και τη σχετική τους ακρίβεια. Τα κρατικά τριγωνομετρικά δίκτυα είναι Α', Β', Γ' και Δ' τάξης. Κάθε χώρα μπορεί να ιδρύσει ένα βασικό δίκτυο μηδενικής ή και πρώτης τάξης το οποίο θα αποτελείται από λίγα μόνο σημεία με αρκετές δεκάδες χιλιόμετρα απόσταση μεταξύ τους, και ένα δίκτυο πύκνωσης ανά λίγες δεκάδες χιλιόμετρα ώστε κάθε χρήστης να μπορεί να πυκνώσει τα κρατικά δίκτυα.

Σε ένα δίκτυο που αποτελείται από N σημεία σχηματίζονται

$$\binom{N}{2} = \frac{N(N-1)}{2} \quad \text{Δυνατές βάσεις.}$$

Η γεωμετρική μορφή του δικτύου ορίζεται από το σύνολο των μετρημένων βάσεων ή σημείων σε μία ή περισσότερες μετρητικές περιόδους. Ο ρόλος του σωστού προγραμματισμού για την οργάνωση και εκτέλεση των παρατηρήσεων σε συνδυασμό με έναν ικανοποιητικό σχεδιασμό του δικτύου είναι πολύ σημαντικός και γίνεται με κριτήρια οικονομικού κόστους, ακρίβειας και αξιοπιστίας.

1^η περίπτωση: Χρησιμοποιούνται δύο δέκτες GPS. Όλες οι βάσεις που θα επιλυθούν είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Η τεχνική αυτή απαιτεί μεγάλο χρόνο εργασιών πεδίου και χρησιμοποιείται για συνήθη δίκτυα πύκνωσης με λίγα σημεία.

2^η περίπτωση: Χρησιμοποιούνται περισσότεροι από δύο δέκτες αλλά λιγότεροι από το συνολικό αριθμό των σημείων του δικτύου. Οι δέκτες μετρούν ταυτόχρονα σε κάθε περίοδο ένα αριθμό $\frac{R(R-1)}{2}$ βάσεων από τις οποίες (R-1) είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Για την

επίλυση προτιμούνται οι βάσεις με το μικρότερο μήκος επειδή επιλύονται ευκολότερα. Για να ολοκληρωθεί η μέτρηση του δικτύου απαιτείται ένας αριθμός μετρητικών περιόδων. Σε κάθε περίοδο επιλέγονται (R-1) ανεξάρτητες ή και περισσότερες αλλά εξαρτημένες βάσεις. Από περίοδο σε περίοδο, ένας αριθμός σημείων πρέπει να παραμένει κοινός για να μπορούν να συνδέονται οι περίοδοι μεταξύ τους και να γίνεται έλεγχος της ποιότητας του συνολικού

δικτύου. Κάθε περίοδος επιλύεται χωριστά από όπου προκύπτουν οι συντεταγμένες των σημείων της κάθε περιόδου και ο πίνακας συμμεταβλητότητας τους. Η τελική συνόρθωση του δικτύου γίνεται από την συνόρθωση των επιμέρους περιόδων.

3^η περίπτωση: Διατίθενται τόσοι δέκτες GPS όσα και τα σημεία του δικτύου. Ένας αριθμός (R-1) βάσεων είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται συνήθως στα παγκόσμια και ηπειρωτικά δίκτυα μόνιμων σταθμών και σε γεωδυναμικές εφαρμογές ή μελέτες μικρομετακινήσεων. Οι μετρήσεις αυτές διαρκούν μερικές μέρες ώστε ως περίοδος μέτρησης να θεωρείται κάθε ημέρα ξεχωριστά.

Το σύνολο των βάσεων που επιλέγεται για τη συνόρθωση του δικτύου, δημιουργούν την γεωμετρική μορφή του δικτύου GPS. Σε κάθε περίοδο δημιουργούνται επιμέρους γεωμετρικά σχήματα. Για παράδειγμα αν έχουμε τρεις δέκτες Α,Β,Γ που μετρούν ταυτόχρονα για μία χρονική περίοδο τότε σχηματίζεται το τρίγωνο ΑΒΓ. Σε αυτή την περίπτωση υπάρχουν 3 δυνατές βάσεις αλλά δύο από αυτές είναι ανεξάρτητες. Κάθε εξαρτημένη βάση μπορεί να προσδιορισθεί από τη διαφορά των παρατηρήσεων των δύο άλλων ανεξαρτήτων. Για την επιλογή των ανεξαρτήτων βάσεων έχουν αναπτυχθεί διάφοροι αλγόριθμοι με βασικότερο κριτήριο επιλογής τις βάσεις με το μικρότερο μήκος ή τις βάσεις με το μέγιστο αριθμό παρατηρήσεων.

Με τρεις δέκτες το δίκτυο μετράται σε τέσσερις περιόδους, διατηρώντας δύο κοινά σημεία από περίοδο σε περίοδο και επιλέγοντας κάθε φορά μόνο τις ανεξάρτητες βάσεις. Καλύτερη επιλογή είναι η επιλογή δύο κοινών σημείων μεταξύ των περιόδων. Σχετικά με το ποια διαδρομή θα ακολουθήσουν οι δέκτες όταν εναλλάσσονται μεταξύ των σημείων για την υλοποίηση των περιόδων εξαρτάται από την επιλογή των βάσεων που πρέπει να μετρηθούν, τα εμπόδια που υπάρχουν σε κάθε σημείο καθώς και το χρόνο προσέγγισης τους.

Δίκτυο με Ν σημεία τα οποία θα μετρηθούν από Μ=2 φορές τότε έχοντας r δέκτες ο αριθμός των περιόδων S θα είναι :

$$S = \frac{N * M}{r} \quad (11.1)$$

Αυξάνοντας τον αριθμό που μετριέται το κάθε σημείο θα έχουμε περισσότερο έλεγχο της ποιότητας του δικτύου.

Κανόνες που πρέπει να τηρούνται κατά το σχεδιασμό και τη μέτρηση δικτύων GPS είναι:

- Το δίκτυο πρέπει να αποτελείται από κλειστά γεωμετρικά σχήματα ώστε να μπορούν να αξιολογηθούν τα σφάλματα κλεισίματος του κάθε βρόγχου.
- Γειτονικά σημεία πρέπει να μετριοούνται ταυτόχρονα για επίλυση ασαφειών φάσης.
- Το κάθε σημείο πρέπει να μετριέται περισσότερο από δύο φορές.
- Για δίκτυα με πολλά σημεία είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται περισσότεροι δέκτες.
- Εάν είναι εφικτό να λαμβάνονται σημεία δικτύου μόνιμων σταθμών υψηλής ακριβείας για να ελέγχονται οι διαφορές συντεταγμένων.
- Για μακροπρόθεσμες μετρήσεις αριθμός ίδιων βάσεων πρέπει να μετριέται κάθε περίοδο.

11.1 Πλαίσια και Συστήματα Αναφοράς - Διεθνές Επίγειο Πλαίσιο Αναφοράς (ITRF)

Ένα θεμελιώδες πρόβλημα, πέρα από την απόδοση συντεταγμένων στα διάφορα αντικείμενα, είναι και η γνώση της μεταβολής στο χρόνο των συστημάτων στα οποία εκφράζονται οι συντεταγμένες. Η γνώση αυτή είναι χρήσιμη για την έκφραση των συντεταγμένων σε διαφορετικές χρονικές στιγμές αλλά και για την μετατροπή συντεταγμένων από ένα σύστημα σε άλλο. Για την πληρέστερη κατανόηση των συστημάτων είναι χρήσιμοι οι ακόλουθοι ορισμοί:

1. Πλαίσιο συντεταγμένων (Coordinate frame) είναι ένα σύνολο ορθογωνίων αξόνων συντεταγμένων (ή άλλης γεωμετρικής κατασκευής) ως προς τους οποίους προσδιορίζεται η θέση ενός σημείου.
2. Σύστημα συντεταγμένων (Coordinate system) είναι μια μέθοδος έκφρασης της θέσης ενός σημείου ως προς ένα καθορισμένο πλαίσιο συντεταγμένων. Η θέση μπορεί να καθοριστεί με ορθογώνιες ή πολικές συντεταγμένες.

3. Σύστημα αναφοράς (Reference system) είναι η πλήρης προδιαγραφή για το πώς πρόκειται να διαμορφωθεί ένα σύστημα συντεταγμένων. Καθορίζει την προέλευση και τα θεμελιώδη επίπεδα (ή τους άξονες) του συστήματος συντεταγμένων και περιλαμβάνει, επίσης, το σύνολο των διαδικασιών, αλγορίθμων και σταθερών που απαιτούνται για τον μετασχηματισμό μεταξύ των παρατηρήσεων και των μοντέλων που αφορούν το εν λόγω σύστημα.
4. Πλαίσιο αναφοράς (Reference frame) είναι ένα σύνολο ευπροσδιόριστων σημείων αναφοράς (fiducial points) και των συντεταγμένων τους, που χρησιμεύει στην πρακτική υλοποίηση ενός συγκεκριμένου συστήματος αναφοράς. Οι συντεταγμένες άλλων σημείων μπορούν να προσδιοριστούν κάνοντας διαφορικές μετρήσεις των θέσεων τους ως προς τα σημεία αναφοράς. Ο όρος «πλαίσιο αναφοράς» συχνά χρησιμοποιείται ως συνώνυμος του πλαισίου συντεταγμένων που καθορίζει.
5. Εποχή αναφοράς (Epoch of reference) είναι μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή στην οποία αναφέρονται οι συντεταγμένες. Η χρήση της εποχής αναφοράς επιβάλλεται από την μεταβολή των συντεταγμένων με την πάροδο του χρόνου, λόγω κινήσεων είτε του σημείου είτε του πλαισίου αναφοράς. Στην αστρονομία οι εποχές αναφοράς εκφράζονται με βάση την Ιουλιανή Ημερομηνία (Julian Date).

Για την υλοποίηση ενός συστήματος αναφοράς απαιτείται να ακολουθηθεί μια συγκεκριμένη διαδικασία: Αρχικά πρέπει να επιλεγεί η βασική ιδέα στην οποία στηρίζεται το σύστημα. Η ιδέα αυτή μπορεί π.χ. να είναι ότι οι άξονες του συστήματος παραμένουν ακίνητοι ως προς κάποια μακρινά ουράνια σώματα. Στη συνέχεια πρέπει να καθοριστεί η φυσική δομή του συστήματος, η οποία περιλαμβάνει τα σώματα που συμμετέχουν στον ορισμό. Η επιλογή γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η δομή που δημιουργείται από τα σώματα αυτά να επαληθεύει τη βασική ιδέα. Αφού επιλεγεί η φυσική δομή του συστήματος, πρέπει να αποδοθούν τιμές στις παραμέτρους που το περιγράφουν. Η απόδοση τιμών είναι μια αυθαίρετη διαδικασία και για το λόγο αυτό το μοντέλο που αναπαριστά το σύστημα αναφοράς καλείται συμβατικό σύστημα αναφοράς (conventional reference system). Μετά τη δημιουργία του συμβατικού συστήματος πρέπει να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες ενός αριθμού σημείων από παρατηρήσεις. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός αυτών των σημείων, τόσο καλύτερα υλοποιείται το σύστημα αναφοράς. Τα σημεία αυτά πρέπει να είναι διαθέσιμα προς παρατήρηση, ώστε να είναι δυνατός ο προσδιορισμός συντεταγμένων νέων σημείων με βάση αυτά. Ο κατάλογος των συντεταγμένων αυτών των σημείων, στα οποία στηρίζεται το

σύστημα αναφοράς, καλείται συμβατικό πλαίσιο αναφοράς (conventional reference frame). Γήινα συστήματα αναφοράς :Ένα ιδεατό γήινο σύστημα αναφοράς (ideal terrestrial system) ορίζεται σαν ένα σύστημα αναφοράς προσκολλημένο στη Γη, που συμπεριστρέφεται μαζί της. Ένα τέτοιο σύστημα αναπαριστά κάποιο ιδεατό γήινο σώμα, στο οποίο οι συντεταγμένες των στάσεων είτε είναι σταθερές είτε αλλάζουν με ένα γνωστό τρόπο. Ορίζεται με βάση τις μηχανικές ιδιότητες της Γης έτσι ώστε ένα σημείο να έχει σταθερές συντεταγμένες στο σύστημα αυτό. Επειδή ένα τέτοιο σύστημα περιστρέφεται μαζί με τη Γη, είναι μη-αδρανειακό σύστημα. Το γήινο σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιείται σήμερα είναι το Διεθνές Γήινο Σύστημα Αναφοράς (International Terrestrial Reference System), που ορίζεται ως εξής:

1. Ως κέντρο του συστήματος λαμβάνεται το κέντρο μάζας της Γης.
2. Ως άξονας Z λαμβάνεται η διεύθυνση προς τον μέσο πόλο της περιόδου 1900-1905, που λέγεται Διεθνής Συμβατική Αρχή (CIO – Conventional International Origin).
3. Ο άξονας X περνάει από τον μεσημβρινό του Greenwich και ο άξονας Y συμπληρώνει το δεξιόστροφο σύστημα.

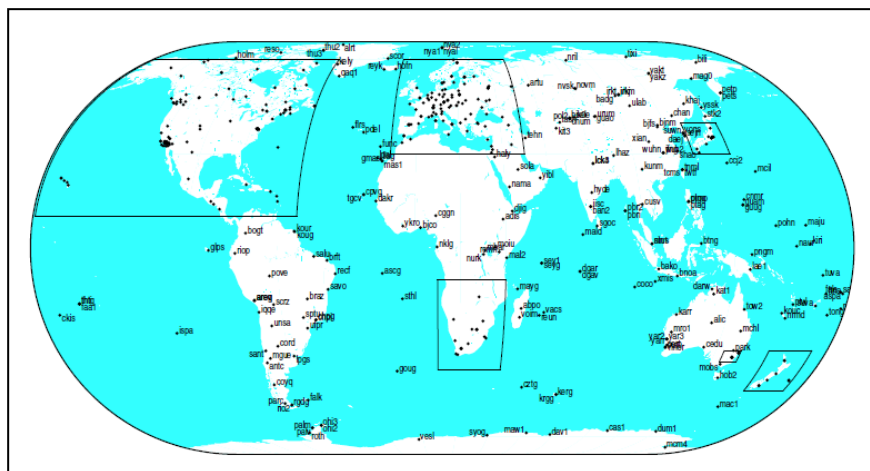
→ Ένα συμβατικό γήινο πλαίσιο αναφοράς είναι η υλοποίηση του ιδεατού συστήματος, που ορίζεται από ένα σύνολο σημείων (σταθμών) με καθορισμένες συντεταγμένες. Ως τέτοιο πλαίσιο σήμερα χρησιμοποιείται το Διεθνές Γήινο Πλαίσιο Αναφοράς (International Terrestrial Reference Frame). Το ITRF βασίζεται σε μετρήσεις συγκεκριμένης εποχής και ορίζεται από τις θέσεις (ορθογώνιες συντεταγμένες x,y,z) και τις ταχύτητες ενός δικτύου επίγειων σταθμών, οι οποίες έχουν προσδιοριστεί με μεγάλη ακρίβεια και παρακολουθούνται συνεχώς με μεθόδους δορυφορικής (π.χ. GPS, SLR, LLR, DORIS) και της διαστημικής γεωδαισίας. Σε κάθε χρονική στιγμή, το ITRS συνδέεται με το ICRS μέσω των Παραμέτρων Προσανατολισμού της Γης (Earth Orientation Parameters) που θα αναλυθούν σε επόμενα κεφάλαια.(Κορακίτης)

11.1.1 ITRF2008

ITRF2008 είναι μια βελτιωμένη έκδοση του Διεθνούς Πλαισίου Αναφοράς. Επίγεια βασίζεται σε νέα επεξεργασία λύσεων από τις τέσσερις γεωδαιτικές τεχνικές: VLBI, SLR, GPS και DORIS, που εκτείνονται σε 29, 26, 12.5 και 16 χρόνια παρατηρήσεων, αντίστοιχα. Τα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία της είναι οι χρονοσειρές των θέσεων του σταθμού και οι καθημερινοί παράμετροι προσανατολισμού της Γης (EOPS). Η συμφωνημένη κλίμακα μεταξύ των δύο λύσεων (VLBI + SLR) εκτιμάται ότι θα είναι $1,05 \pm 0,13$ ppb σε εποχή 2.005,0 και 0.049 ± 0.010 ppb / yr. Η ITRF2008 προσανατολίστηκε (σε εποχή 2005,0) και είναι ευθυγραμμισμένο με το ITRF2005 χρησιμοποιώντας 179 γεωδαιτικούς σταθμούς υψηλής ακρίβειας. Μία εκτίμηση των συστατικών προέλευσης από ITRF2008 προς ITRF2005 (και οι δύο από τις ρίζες ορίζονται SLR) δείχνει διαφορές κατά εποχή 2005.0, και συγκεκριμένα: -0,5, -0,9 και -4,7 mm κατά μήκος X, Y και Z άξονα, αντίστοιχα. Οι διαφορές σε ποσοστό απόδοσης μεταξύ των δύο πλαισίων είναι μηδέν για τα Y και Z, ενώ παρατηρούμε ένα ποσοστό X-απόδοσης 0,3 mm / yr. Τα εκτιμώμενα τυπικά σφάλματα των παραμέτρων αυτών είναι 0,2 χιλιοστά και 0,2 χιλιοστά / έτος, αντίστοιχα. Το υψηλό επίπεδο συμφωνίας μεταξύ ITRF2008 προέλευσης και ITRF2005 αποτελεί ένδειξη μιας ασαφούς προέλευσης ITRF2000 που παρουσιάζει κατά Z-απόδοση μετατόπισης 1,8 mm / yr σε σχέση με ITRF2005. Η αξιολόγηση της ακρίβειας ITRF2008 με βάση το επίπεδο της συμφωνίας της με ITRF2005 πιστεύεται ότι είναι στο επίπεδο 1 cm πάνω από το χρονικό διάστημα των παρατηρήσεων SLR. Λαμβάνοντας υπόψη το επίπεδο της κλίμακας συνοχής μεταξύ VLBI και SLR, η ακρίβεια ITRF2008 κλίμακα εκτιμάται ότι είναι στο επίπεδο του 1,2 ppb (8 mm στο ισημερινό) κατά τη διάρκεια του κοινού χρονικού διαστήματος των παρατηρήσεων και των δύο τεχνικών. Αν και η απόδοση της ITRF2008 αποδεικνύεται να είναι υψηλότερη από ό, τι ITRF2005, η μελλοντική βελτίωση του παγκόσμιου ITRF έγκειται στην βελτίωση της συνοχής μεταξύ των τοπικών δεσμών σε χώρους συνεγκατάστασης και εκτιμήσεις διαστημικής γεωδαισίας.(Altamimi 2009)

11.2 IGS Σταθμοί

Η IGS είναι μία Διεθνής Υπηρεσία εθελοντικής ομοσπονδίας που αποτελείται από περισσότερους από 200 οργανισμούς σε όλο τον κόσμο. Σκοπός τους είναι να δημιουργήσουν μόνιμους σταθμούς δεδομένων GPS και GLONASS ώστε να παράξουν ακριβή δεδομένα. Η IGS δεσμεύεται να παρέχει την υψηλότερη ποιότητα δεδομένων ως προς το πρότυπο για το GNSS, για την υποστήριξη της έρευνας της επιστήμης της Γης, τις διεπιστημονικές εφαρμογές και την εκπαίδευση. Τα προϊόντα της υπηρεσίας IGS χωρίζονται στα τελικά προϊόντα και στα προσωρινά προϊόντα. Τα τελικά προϊόντα περιλαμβάνουν δορυφορικά ημερολόγια GPS και τιμές παραμέτρων χρόνου, παραμέτρων γήινου προσανατολισμού και το μήκος της ημέρας. Ακόμη περιλαμβάνονται οι συντεταγμένες και οι ταχύτητες των σταθμών του παγκοσμίου δικτύου παρακολούθησης GPS. Στα προσωρινά προϊόντα περιλαμβάνονται τα δορυφορικά ημερολόγια GPS και τιμές παραμέτρων χρόνου, τα οποία εμπεριέχουν και την πρόβλεψη, καθώς και τους παραμέτρους κίνησης της γης.



Διάγραμμα 19- 200 μόνιμοι σταθμοί IGS σε όλο τον κόσμο

Από την επεξεργασία των μετρήσεων παράγονται υψηλής ποιότητας προϊόντα για εφαρμογές πραγματικού χρόνου και για άλλες μεθόδους προσδιορισμού θέσης. Τα προϊόντα που διατίθενται είναι τα ακόλουθα: ακριβείς εφημερίδες GPS, παράμετροι περιστροφής της γης, συντεταγμένες και διανύσματα ταχύτητας των σταθμών παρακολούθησης, χρονικές παράμετροι των δεκτών στους σταθμούς παρακολούθησης και των δορυφόρων GPS, εκτίμηση της ζενίθιας τροποσφαιρικής καθυστέρησης στους σταθμούς παρακολούθησης, και εκτίμηση της ποσότητας TEC και παραγωγή ιονοσφαιρικών χαρτών για κάθε ημέρα του έτους. (IGS 2014)

11.2.1 Σταθμός NICO (ITRF)

Ο σταθμός NICO βρίσκεται στην Λευκωσία και τέθηκε σε λειτουργία στις 14/5/1997. Έχει γεωγραφικό πλάτος 35.14089966 και γεωγραφικό μήκος 33.39640045. Ο δέκτης του σταθμού είναι τύπου LEICA GR25 με αντένα LEIAR25.R4+LEIT. Γίνεται αυτόματη βαθμονόμηση και έχει εσωτερικό ρολόι. Ο αστερισμός που χρησιμοποιείται είναι GPS GLONASS Galileo SBAS και το κέντρο δεδομένων είναι BKG. (IGS 2016)



Διάγραμμα 20 - Σταθμός NICO

12 Εργασίες πεδίου

Στις εργασίες αυτές αναφέρονται τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για την μέτρηση του δικτύου, η προετοιμασία πριν την επίσκεψη στο πεδίο και η διαδικασία μετρήσεων του δικτύου για τις 9 Μαρτίου του 2016.

12.1 Εξοπλισμός

Ο δέκτης που χρησιμοποιήθηκε για τη κορυφή SUB είναι ο NovAtel Propak6 και η κεραία που χρησιμοποιήθηκε ήταν η NovAtel 703-GGG. Ο δέκτης αυτός χρησιμοποιήθηκε για το σταθμό που θεωρήθηκε ως σταθμός αναφοράς (base) του δικτύου καθώς είναι ένας δέκτης τελευταίας τεχνολογίας που παρέχει την μέγιστη ακρίβεια κυρίως για το στατικό εντοπισμό θέσης. Για τις υπόλοιπες πέντε κορυφές χρησιμοποιήθηκε ο δέκτης Leica GS15 Professional ο οποίος παρέχει μεγάλη ακρίβεια και αξιοπιστία.

12.1.1 NovAtel ProPak6 (GPS L1 L2, Glonass L1 L2, Galileo E1, Beidou B1)

Ο ProPak6 είναι ένα υψηλής απόδοσης δέκτης Παγκόσμιου Δορυφορικού Συστήματος Πλοήγησης , ικανός να παρακολουθεί διαφορετικούς συνδυασμούς των σημάτων GNSS και ολοκληρωμένες L-Band για 240 κανάλια. Προσφέρει multi-system καθώς υποστηρίζει GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS και SBAS, έτσι μπορεί να ανταπεξέλθει σε κάθε απαίτηση εργασιών. Επιτρέπεται να λειτουργήσει σε υψηλό δυναμικό και συχνή διακοπή των δορυφορικών σημάτων. Είναι ένα ευέλικτο, ανθεκτικό και αξιόπιστο εργαλείο. Είναι το πιο πρόσφατο και εξελιγμένο προϊόν που κατασκευάστηκε από την NovAtel. Έχει ένα αδιάβροχο IP67 περίβλημα και μεγάλο εύρος θερμοκρασιών έτσι διασφαλίζεται μεγάλη αξιοπιστία στις μετρήσεις. Ο NovAtel χρειάζεται μικρότερο χρόνο ολοκλήρωσης των εργασιών λόγω του τυποποιημένου λογισμικού και της μηχανής σύνδεσης. Ο ProPak6 παρέχει πολλές διασυνδέσεις, όπως RS-232/ RS-422 σειριακές θύρες, CAN Bus, υποδοχή και συσκευή USB , Bluetooth και WIFI. Επίσης διαθέτει προηγμένη υποστήριξη Ethernet για υποστήριξη μακρινών διαμορφώσεων (remote configuration) και πρόσβαση σε καταγεγραμμένα δεδομένα. Η εγκατάσταση και ο χρόνος διαμόρφωσης μειώνεται με πολλαπλές επιλογές επικοινωνίας όπως WIFI, Bluetooth και προαιρετικά GPRS/ HSPA κυψελοειδές μόντεμ. Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι ότι έχει 240 κανάλια, ιεραρχεί επιλογές θέσης από το μέτρο

μέχρι το επίπεδο του εκατοστού, έχει μνήμη ενσωματωμένη 4GB για καταγραφή δεδομένων, έχει προαιρετικά GPRS/ HSPA κυψελοειδές μόντεμ.



Διάγραμμα 13- NovAtel ProPak6

Attributes		
System Type	Enclosed	
General Info	Length (mm)	190.00
	Width/Diameter (mm)	185.00
	Height (mm)	75.00
	Weight(g)	1790.00
	Typical Power Consumption (W)	3.50
Constellation	GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou	
Tracking	Max Num of Frequency	Triple
	L-Band	
	SBAS	
	QZSS	
Number of Com Ports	Bluetooth	1
	CAN Bus	2
	Cellular	1
	Ethernet	1
	RS – 232	3
	RS – 422	3
	USB Host	1
	USB Device	1
Performance	Accuracy	(RMS)
	Single Point L1	1.5m
	Single Point L1/L2	1.2m
	SBAS	0.6m
	DGPS	0.4m
	TERRASTAR – C	4cm
	Veripos Apex	6cm
	RT-2	1cm+1ppm

Πίνακας 2 -Ιδιότητες του NovAtel ProPak6

(NovAtel2015)

12.1.2 Κεραία NovAtel 703-GGG

Είναι υψηλής απόδοσης τριπλής συχνότητας αντένα. Μεγιστοποιεί τις δυνατότητες παρακολούθησης και απόδοσης με πολλαπλούς αστερισμούς αποδοχής (WITH MULTI-CONSTELLATION RECEPTION). Η αντένα αυτή λαμβάνει L1, L2, L5 συχνότητες από GPS· L1,L2,L3 συχνότητες από GLONASS· BI, B2 συχνότητες από BeiDou και E1, E5 a/b συχνότητες από Galileo. Το κέντρο φάσης της κεραίας παραμένει σταθερό καθώς η γωνία αζιμούθιου και η γωνία ανύψωσης των δορυφόρων αλλάζουν. Η λήψη του σήματος δεν επηρεάζεται από την περιστροφή της κεραίας ή το ύψος του δορυφόρου, έτσι η τοποθέτηση και η εγκατάσταση της κεραίας μπορεί να ολοκληρωθεί με ευκολία. Αυτή η αντένα είναι η ιδανική για βάσεις με μεγάλο μήκος καθώς το κέντρο φάσης μένει το ίδιο για τα σήματα GNSS και υπάρχει ελάχιστη διακύμανση στα κέντρα φάσης μεταξύ των κεραίων. Έχει διαχρονικό και ανθεκτικό σχέδιο. Το τραχύ μέρος της κεραίας περικλείεται από ένα ανθεκτικό, αδιάβροχο περίβλημα που πληροί MIL-STD-810G για δονήσεις. Επίσης προσφέρει αυξημένη στιβαρότητα για χρήση του υπό συνθήκες υψηλής δόνησης. Η κεραία χρησιμοποιεί την τεχνική choke ring χωρίς να επιβαρύνεται το μέγεθος και το βάρος της. Τέλος λαμβάνει όλα όσα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συχνότητες GNSS σε μια ενιαία κεραία. Τα χαρακτηριστικά του είναι ότι έχει εξαιρετική απόρριψη πολλαπλών διαδρομών, εξαιρετικά σταθερό κέντρο φάσης και το RoHS είναι συμβατό.

Attributes		
General Info	Width/Diameter (mm)	185.00
	Height (mm)	69.00
	Weight (g)	500.00
Constellation	GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou	
Tracking	Max Num of Frequency	Triple
	SBAS	
	QZSS	
Antenna form Factor	Pinwheel	
Antenna Mounting	Pole	
Performance	LNA Gain (dB)	29

Πίνακας 3 -Ιδιότητες της Κεραίας Novatel 703-GGG



Διάγραμμα 14- Κεραία Novatel 703-GGG

(NovAtel 2015)

12.1.3 Leica GS15 Professional

Είναι μία ολοκληρωμένη γκάμα ευέλικτων λύσεων GNSS που μπορεί να παρέχει ένα σύστημα για τον έλεγχο όλων των καθηκόντων του χρήστη. Είναι μία αποδεδειγμένη τεχνολογία αφού κτίστηκε στα χρόνια γνώσης και εμπειρίας της Leica με χαρακτηριστικό την ακρίβεια και την αξιοπιστία του. Έχει SmartCheck - RTK επεξεργαστή δεδομένων για την εγγύηση σωστών αποτελεσμάτων, SmartTrack για προχωρημένο εντοπισμό αστερισμών για όλους τους δορυφόρους του σήμερα και του αύριο, τέλος έχει SmartRTK το οποίο αποδίδει σταθερά αποτελέσματα σε όλα τα δίκτυα. Η Leica GS15 έχει σχεδιαστεί για να ταιριάζει σε κάθε τοπογραφικό έργο. Έχει ανταλλάξιμες συσκευές επικοινωνίας για τους σταθμούς βάσης και τους RTK rover με αφαιρούμενες κάρτες SIM. Μπορεί να αγοραστεί σε ξεχωριστά κομμάτια όταν χρειάζεται αναβάθμιση ή και για πρόσθετες λειτουργίες του οργάνου. Ο δέκτης αυτός είναι κατασκευασμένος για απαιτητικά περιβάλλοντα. Έχει IP67 προστασία από την σκόνη και την βύθιση εντός 1 μέτρου. Επίσης είναι κατασκευασμένος για ακραίες θερμοκρασίες από -40 °C έως +65 °C. Η κεραία είναι ενσωματωμένη στο δέκτη για να αποφεύγετε το σπάσιμο και η απώλεια. Επίσης ο δέκτης αυτός έχει την δυνατότητα να παρέχει δύο φορές το χρόνο λειτουργίας χρησιμοποιώντας την επιλογή διπλής μπαταρίας. Η κεραία αυτή έχει μία οικεία τεχνολογία αφής και έρχεται με μία νέα επανάσταση το Leica Cartivate το οποίο μετατρέπει σύνθετα δεδομένα σε πιο ρεαλιστική μορφή και εφαρμόζονται σε 3D μοντέλα. Εξαλείφει τις καθυστερήσεις με την ανώτερη τεχνολογική υπηρεσία, τελειώνει δουλειές γρηγορότερα με άριστη υποστήριξη συμβουλευτικής υπηρεσίας, και αποφεύγει τις δαπανηρές (site revisits) με online υπηρεσίες καθώς στέλνουν και λαμβάνουν πληροφορίες από το πεδίο.

GNSS PERFORMANCNE		
GNSS technology	Leica SmartTrack	Advanced four constellation tracking
Number of channels	120 (up to 60 satellites simultaneously on two frequencies)	
Signal Tracking	GPS(L1/L2/L2C/L5), Glonass(L1/L2), BeiDou(B1/B2), Galileo (E1/E5a/E5b/Alt-BOC), SBAS(WAAS/EGNOS/MSAS/CAGAN)	
MEASURMENT PERFORMANCE & ACCURACY		
RTK technology	Leica SmartCheck Network RTK Time for initialization	Reliability 99,99% VRS/FKP/iMAX/MAC Typically 4s
Code differential	DGPS/RTCM	Typically 25cm
Real-time kinematic	Single baseline (<30km) Network RTK	Hz 8mm+1ppm Hz 8mm+0,5ppm
Post processing	Static (phase) with long observations Static and rapid static (phase)	Hz 3mm+0,1ppm Hz 3mm+0,5ppm
COMMUNICATIONS		
Communications ports	Lemo Bluetooth	USB and RS232 serial Bluetooth v2.00+EDR, class 2
Communications protocols	RTK data protocols NMEA output	Leica/Leica 4G/CMR/CMR+/ RTCM 2.2,2.3,3.0,3.1,3.2/ MSM NMEA 0183 V 4.00 and Leica proprietary
Built – in data links	3.5G phone modem Radio modem	Fully integrated, internal or external antenna Fully integrated, receive and transmit, internal or external antenna 403-470 MHz, 1 W output power
External data links		GSM/GPRS/UMTS/CDMA and UHF/ VHF modem
GENERAL		
User Interface	Buttons and LEDs Web server	On/Off+ function button Full status information
Data recording	Storage Data type and recording rate	Removable SD card, 1GB Leica GNSS raw data and Rinex data up to 20Hz
Power management	Internal power supply External power supply Operation time	2 exchangeable Li-Ion batteries 7,4V Nominal 12V DC 7-10h
Weight and Dimensions	Weight Diameter x Height	1.34kg (GS15) 196mm x 198mm
Environmental	Temperature Proof against water, sand, dust Vibration	-40 to 65°C operating Withstands strong vibration

Πίνακας 4 -Ιδιότητες του Leica GS15 Professional



Διάγραμμα 15- Leica GS15 Professional

(Leica 2016)

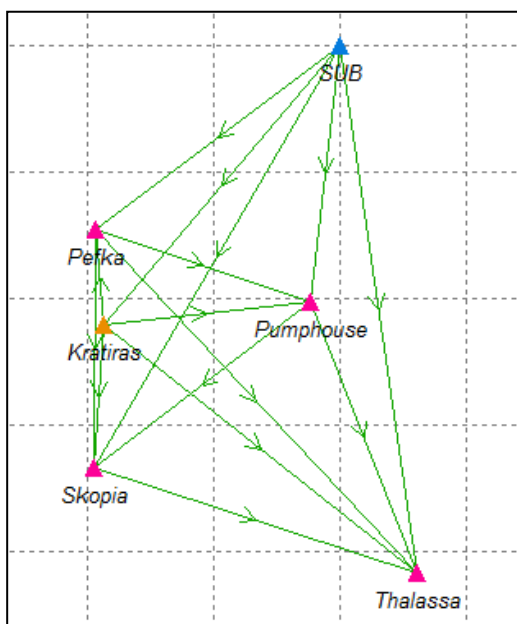
12.2 Προετοιμασία

Λίγες μέρες πριν την επίσκεψη στο πεδίο έγινε ο απαραίτητος έλεγχος των δεκτών. Χρησιμοποιήθηκε ένα δέκτης για να γίνει έλεγχος αντοχής της είδη φορτισμένης μπαταρίας του καθώς οι μετρήσεις στο πεδίο θα ήταν πολύωρες (περισσότερο από 6 ώρες). Έγινε έλεγχος αν μπορούν να καταγραφούν δεδομένα 6 ωρών σε αρχείο RINEX για να μπορεί να γίνει αργότερα η κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων. Έγινε ο κατάλληλος προγραμματισμός των δεκτών ώστε να καταγράφουν σε σχετικό στατικό εντοπισμό και οι μετρήσεις τους να καταγράφονται στην κάρτα που βρίσκεται στην κεραία. Αυτό έγινε για την εύρυθμη λειτουργία τους και για να μην υπάρχουν προβλήματα και καθυστερήσεις στο πεδίο. Αφού έγιναν οι έλεγχοι αυτοί και φάνηκαν ικανοποιητικοί φορτίστηκαν πλήρως όλες οι μπαταρίες και έγινε έλεγχος των βαλιτσών των δεκτών αν έχουν όλα τα απαραίτητα όργανα όπως το δέκτη, την κεραία, τις μπαταρίες, την κάρτα μνήμης, τα τρικόχλια, το μέτρο κ.α. Τέλος έγινε η ετοιμασία των εντύπων για τις δορυφορικές μετρήσεις ώστε να σημειώνονται στο πεδίο τα απαραίτητα βοηθητικά στοιχεία για κάθε στάση του δικτύου.

12.3 Διαδικασία μετρήσεων

Οι μετρήσεις του δικτύου έγιναν στις 9 Μαρτίου του 2016. Ο καιρός ήταν κυρίως αίθριος με λίγα σύννεφα κατά τις πρωινές ώρες. Η χαμηλότερη θερμοκρασία ήταν 18 βαθμοί Κελσίου η ώρα 18:00 το απόγευμα ενώ η ψηλότερη ήταν 23 βαθμοί Κελσίου κατά τις μεσημεριανές ώρες. Οι άνεμοι κυμαίνονταν από 4-5 Bf και η υγρασία στην ατμόσφαιρα ήταν 47%-73%.

Για την μέτρηση του δικτύου εφαρμόστηκε η μέθοδος του σχετικού στατικού εντοπισμού. Χρησιμοποιήθηκαν 6 δέκτες GNSS για τις μετρήσεις. Η επιλογή των έξι αυτών κορυφών έγινε με τρόπο ώστε να υπάρχει καλή γεωμετρία μεταξύ τους, να σχηματίζονται τρίγωνα με βάσης παρόμοιου μήκους κάθε φορά και να έχουν ορατότητα η μία κορυφή από την άλλη. Ο σταθμός αναφοράς (base) ήταν ο SUB ενώ οι άλλοι 5 σταθμοί είναι τα Pefk, η Skor, η Thal, το Pump και ο Krat.



Ο δέκτης που τοποθετήθηκε στο SUB ήταν ο Novatel ProPak6 ενώ οι δέκτες των 5 άλλων σταθμών ήταν Leica GS15 Professional. Το βήμα καταγραφής των μετρήσεων για όλους τους δέκτες ορίστηκε στο 1 δευτερόλεπτο. Η γωνία αποκοπής τέθηκε στις 15 μοίρες. Αρχικά τοποθετήθηκαν οι δέκτες σε κάθε βάθρο. Δεν χρειαζόταν να γίνει κέντρωση ή οριζοντίωση του οργάνου καθώς τα βάρη που χρησιμοποιήθηκαν για το δίκτυο έχουν εξαναγκασμένη κέντρωση και οριζοντίωση. Αυτό βοήθησε στην μείωση του χρόνου τοποθέτησης του κάθε δέκτη και αύξησε την ακρίβεια καθώς δεν υπήρχε πιθανότητα να κάνει ο χρήστης κάποιο

λάθος κατά την τοποθέτηση των δεκτών. Κατά την τοποθέτηση των δεκτών στα βάρθρα γινόταν και η ενεργοποίηση τους για έναρξη της καταγραφής των μετρήσεων αφού ο προγραμματισμός των δεκτών είχε γίνει κατά το στάδιο προετοιμασίας. Ακολούθως συμπληρωνόταν το έντυπο δορυφορικών μετρήσεων στο οποίο καταγράφονται οι πληροφορίες του σταθμού, οι πληροφορίες της εργασίας, οι προσεγγιστικές ή γνωστές συντεταγμένες του σταθμού, οι πληροφορίες της μέτρησης δηλαδή η ώρα έναρξης και λήξης, τα στοιχεία του παρατηρητή, του δέκτη και της κεραίας και το διάγραμμα ορατότητας για κάθε στάση του δικτύου.



Διάγραμμα 16- Σταθμός SUB



Διάγραμμα 17- Κορυφή Pefka



Διάγραμμα 18- Κορυφή Skopia



Διάγραμμα 19- Φωτογραφία από τη Στάση Kratiras



Διάγραμμα 28- Φωτογραφία από τη Στάση Pumphouse

Η διαδικασία των μετρήσεων άρχισε περίπου στις 10:00 το πρωί και ολοκληρώθηκε στις 18:00 το απόγευμα. Οι μετρήσεις όλων των βάσεων στο μεγαλύτερο χρονικό τους μέρος είχαν κοινές παρατηρήσεις. Ο πρώτος δέκτης άρχισε να καταγράφει παρατηρήσεις από δορυφόρους στις 08:21 και σταμάτησε στις 15: 43 σε GPS χρόνο δηλαδή 2 ώρες πριν από τον τοπικό χρόνο. Ο τελευταίος δέκτης άρχισε να καταγράφει στις 09:37 και σταμάτησε 15:51 σε GPS χρόνο. Ο δέκτης του σταθμού Skor είχε κάποιο πρόβλημα και κατέγραψε μετρήσεις από τις 08:21 μέχρι τις 11:33 δηλαδή συνολικό χρόνο μετρήσεων περίπου 3 ώρες.

Το σταθερό σημείο SUB άρχισε να καταγράφει μετρήσεις από τους δορυφόρους στις 9:15 και ολοκλήρωσε στις 16:08 (GPS χρόνο). Έτσι συνολικά απαιτήθηκαν περίπου έξι- επτά ώρες για να ολοκληρωθούν οι μετρήσεις από όλες τις στάσεις του δικτύου. Στους ακόλουθους πίνακες φαίνονται στοιχεία σχετικά με το όνομα του δέκτη, το χρόνο έναρξης και λήξης των μετρήσεων, τις προσεγγιστικές συντεταγμένες κ.α.

Όνομα Στάσης	Όνομα Δέκτη	time of first obs	time of last obs	leap seconds	(#)of satellites
Nico		0 0 0.0000000	23 59 30.0000000	17	
Submarine	ProPak6	9 15 48.0000000	16 08 26.0000000	17	
Pefka	2	08 21 34.0000000	15 43 25.0000000	17	36
Skopia	6	08 37 20.0000000	11 33 9.0000000	17	21
Thalassa	7	09 37 34.0000000	15 51 46.0000000	17	33
Pumphouse	8	09 29 1.0000000	15 57 46.0000000	17	35
Kratiras	EAC	8 49 39.0000000	15 40 18.0000000	17	

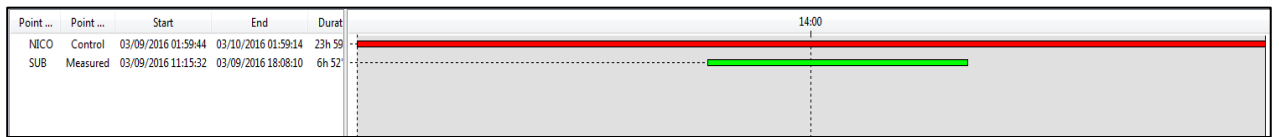
Πίνακας 5 - Χρονοδιάγραμμα μετρήσεων για τις 09.03.2016

Όνομα Στάσης	APPROX POSITION XYZ		
Nico	4359417.8800	2874117.0100	3650778.2700
Submarine	4386308.5670	2880300.8854	3613539.7820
Pefka	4386669.7225	2880075.3479	3613309.8787
Skopia	4386837.3115	2880183.8797	3612989.5934
Thalassa	4386613.3198	2880643.5165	3612842.0007
Pumphouse	4386509.3920	2880378.2275	3613193.6986
Kratiras	4386745.3517	2880138.9884	3613196.6346

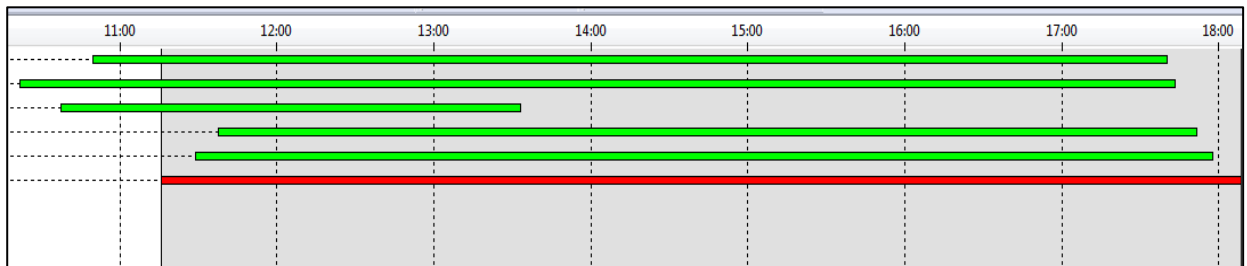
Πίνακας 6 – Προσεγγιστικές θέσεις XYZ για τους σταθμούς του δικτύου

Οι παρατηρήσεις δεν μπορούν να θεωρηθούν ανεξάρτητες αφού όλες οι βάσεις μετρήθηκαν σχεδόν ταυτόχρονα και έχουν κοινό χρόνο μετρήσεων. Στους ακόλουθους πίνακες από το λογισμικό Geo Office φαίνονται οι χρόνοι παρατηρήσεων για την κάθε στάση σε πραγματικό χρόνο. Τα σημεία με πράσινο χρώμα είναι τα Rover και το σημείο με κόκκινο χρώμα το Reference-SUB.

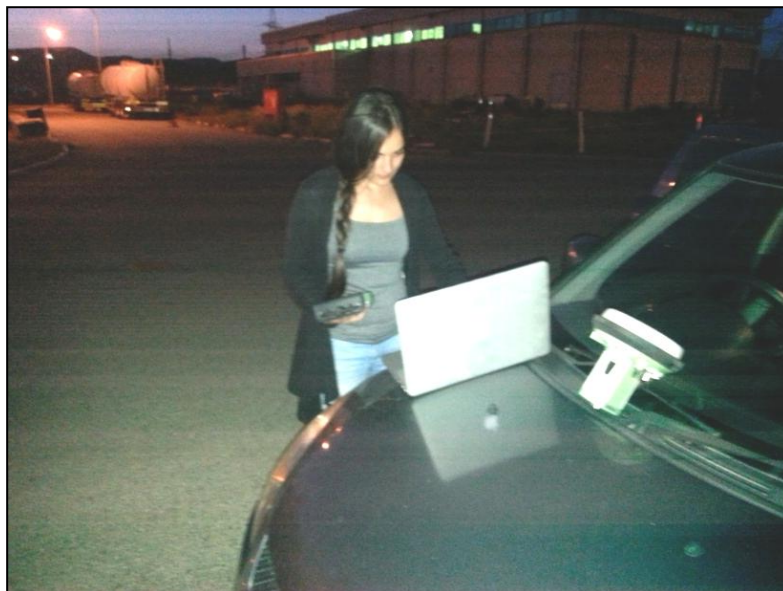
→ Μετρήσεις που πάρθηκαν στις 09/03/2016



Διάγραμμα 29- Χρόνοι παρατηρήσεων στις 09.03.2016 για τους σταθμούς NICO – SUB



Διάγραμμα 30- Χρόνοι παρατηρήσεων στις 09.03.2016 για όλο το δίκτυο



Διάγραμμα 20- Φωτογραφία κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων

13 Εργασίες γραφείου

Οι μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν είναι μετρήσεις που έγιναν κατά την επίλυση του δικτύου στην πτυχιακή εργασία του Γιώργου Σταύρου το 2012 και οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στις 9 Μαρτίου 2016 κατά την πτυχιακή αυτή εργασία. Η επεξεργασία των μετρήσεων έγινε σε δύο λογισμικά για να μπορεί να γίνει η σύγκρισή τους. Τα λογισμικά αυτά είναι το GeoOffice και το GrafNet.

13.1 Υπολογισμός συντεταγμένων για τον σταθμό NICO

Διορθώθηκαν οι συντεταγμένες του σταθμού NICO. Λήφθηκαν τα αρχεία RINEX διαδικτυακά και για τις τρεις φάσεις των μετρήσεων. Ακολούθως από την ιστοσελίδα της EUREF Permanent Network και στο PRODUCTS & SERVICES > COORDINATES > NICO00CYP - 14302M001 λήφθηκαν οι συντεταγμένες του NICO – ITRF2008 για την epoch $t_0 = 001/2005$.

ITRF2008	Epoch t_0	Position (m)			Velocity (m/year)		
		X	Y	Z	V _x	V _y	V _z
163/2008- 365/2008	001/2005	4359415.713	2874117.066	3650777.829	-0.0179	0.0116	0.0126
		±0.001	±0.001	±0.001	±0.0001	±0.0001	±0.0001

Πίνακας 7 - Συντεταγμένες σταθμού NICO (ITRF2008 για Epoch $t_0 = 001/2005$)

Από την ιστοσελίδα της EUREF Permanent Network και από το PRODUCTS & SERVICES > ETRF/ITRF TRANSFORMATION μπορεί να γίνει η μετατροπή των συντεταγμένων (θέσης και ταχύτητας) από οποιοδήποτε ETRF_{xx} σε οποιοδήποτε ITRF_{yy} (ή ITRF_{yy} να ETRF_{xx}).

Input	
Frame :	ITRF2008
Epoch :	2005-01-01
<pre>NICO00CYP 4359415.713 2874117.066 3650777.829 -0.0179 0.0116 0.0126</pre>	
Output	
Frame :	ITRF2008
Epoch :	2016-03-09
<pre>NICO00CYP 4359415.51280 2874117.19580 3650777.96990 -0.01790 0.01160 0.01260</pre>	

Διάγραμμα 21- ETRF/ITRF Transformation

Σημειώνονται X , Y , Z και U_X U_Y U_Z του Σταθμού NICO για τις 3 φάσεις των μετρήσεων:

❖ **13/08/2012:**

NICO00CYP 4359415.57670 2874117.15430 3650777.92490 -0.01790 0.01160 0.01260

❖ **6/11/2012:**

NICO00CYP 4359415.57250 2874117.09100 3650777.92790 -0.01790 0.01160 0.01260

❖ **09/03/2016:**

NICO00CYP 4359415.51280 2874117.19580 3650777.96990 -0.01790 0.01160 0.01260

13.2 Χρήση δορυφορικών εφημερίδων

Κατά την επίλυση του δικτύου χρησιμοποιήθηκαν οι SP3 δορυφορικές εφημερίδες οι οποίες έχουν πιο ακριβή δεδομένα για τις δορυφορικές τροχιές και τις διορθώσεις των δορυφορικών ρολογιών.

13.2.1 Εφημερίδες Ακριβής τροχιάς δορυφόρων

Η NGS τυποποιημένη μορφή τροχιά GPS SP1 εισήχθη το 1985. Μετά από μερικά χρόνια χρήσης, έγινε αντιληπτό ότι θα μπορούσε ενδεχομένως να απαιτούνται βελτιώσεις. Μια πιο σοβαρή παράλειψη της αρχικής μορφής τροχιά NGS ήταν οι διορθώσεις του δορυφορικού ρολογιού. Ένας χρήστης μπορεί να εργαστεί με απλό δέκτη single-δέκτη ή δέκτη πλοήγησης με βάση το broadcast (αναμεταδιδόμενο) μήνυμα. Ωστόσο, ο χρήστης μπορεί να πάρει πιο ακριβή (Μετα-επεξεργασία) αποτελέσματα, αν τα ακριβή τροχιακά δεδομένα και οι διορθώσεις του δορυφορικού ρολογιού, τα οποία προσδιορίστηκαν ταυτόχρονα με τις εν

λόγω ακριβείς τροχιές είναι διαθέσιμα. Έτσι, μια νέα μορφή τροχιά NGS προτάθηκε Remondi (1989), και τροποποιήθηκε και εγκρίθηκε το Remondi (1991). Η νεότερη τροχιακή μορφή είναι το SP3 για το Global Positioning System (GPS). Η σημαντική προσθήκη σε παλαιότερες μορφές είναι οι πληροφορίες διόρθωσης του δορυφορικού ρολογιού το οποίο υπολογίζεται ταυτόχρονα με τις τροχιές. Η βασική μορφή είναι ένα μητρώο με τη θέση και το χρόνο. Ένα δεύτερο, προαιρετικό περιλαμβάνει velocities and clock rates-of-change. Οι πληροφορίες για τη μετατροπή του χρόνου GPS για την συντονισμένη Παγκόσμια Ώρα (UTC) δεν παρέχονται ως μέρος της μορφής SP3. GPS τροχιακά δεδομένα (τροχιακές εφημερίδες):

- ✓ Τελικές Final (igsWWWD.sp3): οι τελικοί συνδυασμοί είναι διαθέσιμοι με 12- 14 ημέρες καθυστέρηση.
- ✓ Ταχείες Rapid (igrWWWD.sp3): είναι διαθέσιμες με περίπου 13-17 ώρες καθυστέρηση.
- ✓ Υπερταχείες Ultra-rapid (iguWWWD.sp3): είναι διαθέσιμες 4 φορές κάθε μέρα.

13.2.2 Λήψη δορυφορικών εφημερίδων

Εβδομάδα GPS από την ιστοσελίδα του GPS Date Calendar:

	13/08/2012	06/11/2012	09/03/2016
Calendar day of the month	13	6	9
Full GPS week since 1st epoch : day of week number	1701:1	1713:2	1887:3
GPS Week since latest epoch : seconds of week at midnight for that day	677:86400	689:172800	863:259200
Julian Day Number	226	311	69

Πίνακας 8 - GPS Date Calendar

Γίνεται η λήψη των εφημερίδων sp3 από την ιστοσελίδα IGS Products για τις 3 φάσεις των μετρήσεων. Η IGS συλλέγει αρχεία και διανέμει GPS + GLONASS σύνολα δεδομένων παρατηρήσεων με αρκετή ακρίβεια για την επίτευξη στόχων σε ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών και μηχανικών εφαρμογών. Τα δεδομένα αυτά αναλύονται και συνδυάζονται δημιουργώντας προϊόντα IGS όπως τον καθορισμό τροχιών των δορυφόρων.

13.3 Επίλυση δικτύου από το λογισμικό Geo Office

Για την επεξεργασία των μετρήσεων το 2012 χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Geo Office. Επίσης κατά την διαδικασία των μετρήσεων το 2016 οι πέντε από τους έξι δέκτες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν της εταιρίας Leica για αυτό θεωρήθηκε αναγκαίο η πρώτη επίλυση του δικτύου να γίνει στο λογισμικό Leica Geo Office.

13.3.1 Λογισμικό Geo Office

Είναι ένα ολοκληρωμένο λογισμικό γραφείου για όλα τα εργαλεία. Έχει άψογη εισαγωγή και συνδυασμό δεδομένων από όλα τα όργανα και παράγει τελικά αποτελέσματα. Διαχειρίζεται και συνδυάζει τα δεδομένα με το Leica Geo Office για τη διασφάλιση καλύτερου αποτελέσματος. Έχει Best-in-class επιλογές επεξεργασίας καθώς έχει χρόνια εμπειρίας στον τομέα της αποτύπωσης και της επεξεργασίας δεδομένων GNSS το οποίο οδήγησε στο να θεωρείται μία από τις ισχυρότερες επιλογές επεξεργασίας στον κόσμο: Γίνεται επεξεργασία δεδομένων GNSS χρησιμοποιώντας τεχνικές SmartCheck, TPS επεξεργασία από απλούς σταθμούς ενημέρωσης σε σύνθετες οδεύσεις, Level επεξεργασία, Combined network adjustments και υπολογισμούς GOGO, μετασχηματισμό Datum και υπολογισμούς όγκων. Το Leica Geo Office σας επιτρέπει να διαχειρίζεστε το πρόγραμμά σας με ολοκληρωμένο τρόπο. Δεν χρειάζεται να μεταφέρετε δεδομένα μεταξύ των διαφόρων μονάδων. Συνδυάζει GNSS και επίγεια δεδομένα. (Leica 2016)

13.3.2 Επίλυση Δικτύου – Geo Office

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την επίλυση στο λογισμικό Geo Office και για τις 3 φάσεις μετρήσεων του δικτύου έχει ως ακολούθως:

- 1) Δημιουργία κατάλληλων φακέλων για να είναι ομοιόμορφα ταξινομημένα τα δεδομένα. Για την επίλυση στο λογισμικό αυτό χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα RINEX αρχεία για κάθε ένα κορυφή του δικτύου. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν οι δορυφορικές εφημερίδες, precise για μεγάλες βάσεις (NICO-SUB) και broadcast για τις μικρές βάσεις του δικτύου.
- 2) Δημιουργία καινούριου project : File → new project.
- 3) Προστέθηκαν οι σταθμοί της πρώτης επίλυσης δηλαδή η επίλυση μεταξύ του σταθμού NICO (ITRF) και του σταθμού του δικτύου SUB : Menu → import → raw data → rinex files.

- 4) Ακολούθως γίνεται Import → precise ephemerides → GPS+GLONASS για να υπάρχουν οι δορυφορικές εφημερίδες των δορυφόρων GPS και των δορυφόρων GLONASS.
- 5) Τέθηκε ο NICO ως Reference (red color) και ο SUB ως Rover (green color).

Point ...	Point ...	Start	End	Durat
NICO	Control	03/09/2016 01:59:44	03/10/2016 01:59:14	23h 59m
SUB	Measured	03/09/2016 11:15:32	03/09/2016 18:08:10	6h 52m

Διάγραμμα 22- NICO (Reference) και Sub (Rover)

- 6) Από το edit του σταθμού NICO διορθώνονται οι συντεταγμένες για τις 09/03/2016 μετά από επεξεργασία που έγινε πιο πριν (διορθωμένα x,y,z, ux, uy,uz) : δεξί κλικ στο NICO → edit point → coordinate type =Cartesian, point class=control έτσι διορθώνεται η σταθερή βάση του δικτύου.
- 7) Έγινε αλλαγή του ύψους και του είδους της κεραίας για το σταθμό SUB από το δεξί κλικ → properties. Η κεραία τοποθετήθηκε σε τρικόγλιο έτσι το ύψος της κεραίας τέθηκε στο +0.081m. Η κεραία που χρησιμοποιήθηκε ήταν η NovAtel 703-GGG.
- 8) Από το παράθυρο Data processing parameters συμπληρώθηκαν οι κατάλληλες παράμετροι πριν γίνει η επίλυση. Για τη επίλυση της βάσης NICO-SUB η οποία είναι βάση περίπου 45km σημειώθηκαν οι ακόλουθοι παράμετροι:

A) General:

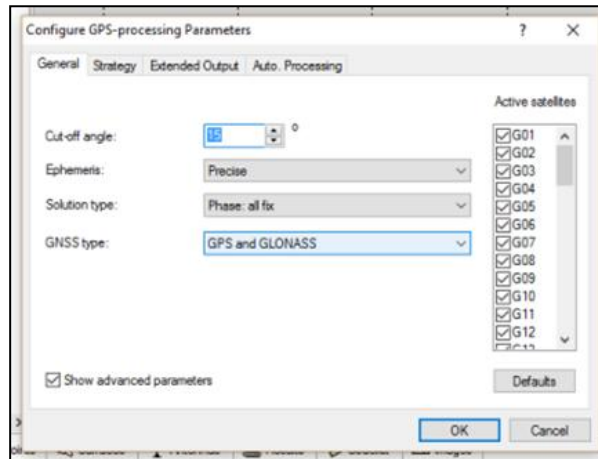
- ✓ cut off angle=15
- ✓ ephemeris=precise
- ✓ solution type=phase: all fix
- ✓ GNSS type=GPS+GLONASS

B) Strategy:

- ✓ Frequency =Iono free (L3)

Γ) Extended Output επιλογή:

- ✓ Dope Values, Azimuth/Elevation->20% of data rate
- ✓ Residuals



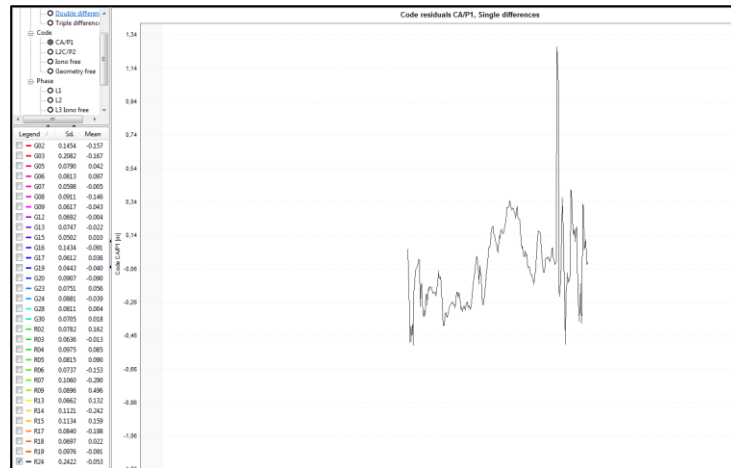
Διάγραμμα 23- Παράμετροι επίλυσης στο λογισμικό Geo Office

- 9) Έγινε Process και ακολούθως δεξί κλικ Store.
- 10) Από το report της στάσης SUB φαίνεται αν είναι καλή η επίλυση. Δηλαδή ελέγχονται οι κύκλοι ολίσθησης και η γεωμετρία των δορυφόρων, τα DOPs. Από το report φαίνεται ότι το πρόβλημα των κύκλων ολίσθησης δημιουργείται από το δορυφόρο R24 το χρονικό διάστημα 14:11-16:16.

Cycle Slip Statistics				
Total number of cycle slips:		9		
Time	Satellite	Frequency	Slip value	Flags
03/09/2016 14:11:14	R24	L1	-	ria
03/09/2016 14:21:44	R24	L2	-	ria
03/09/2016 14:31:14	R24	L2	-10.00	flagged
03/09/2016 14:34:44	R24	L2	-	flagged
03/09/2016 15:56:44	R24	L2	-22.00	flagged
03/09/2016 15:58:14	R24	L2	-5.00	flagged
03/09/2016 16:00:44	R24	L2	31.00	flagged
03/09/2016 16:11:44	R24	L1	-	flagged
03/09/2016 16:16:14	R24	L2	-	ria

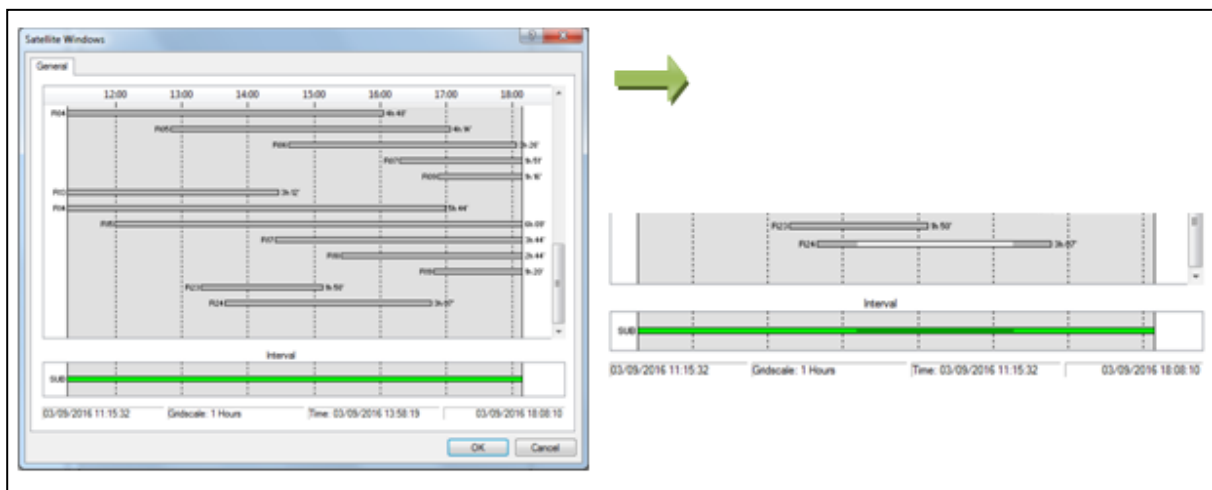
Διάγραμμα 24- Report για κύκλους ολίσθησης Σταθμού Sub

Επίσης οι κύκλοι ολίσθησης μπορούν να παρατηρηθούν από το analyze όπου για κάθε δορυφόρο φαίνεται μία γραφική παράσταση για τις single, double, triple differences για τους κώδικες CA/P1, L2C/P2, Iono free, Geometry free. Στην ακόλουθη γραφική φαίνεται ξεκάθαρα ότι ο δορυφόρος R24 δημιουργεί το πρόβλημα των κύκλων ολίσθησης.



Διάγραμμα 25- Analyze για δορυφόρο R24

11) Διαγράφονται οι κύκλοι ολίσθησης για καλύτερη επίλυση του δικτύου. Από το satellite window χρησιμοποιείται η εντολή extended για διαγραφή του χρονικού μέρους των μετρήσεων του δορυφόρου R24 που δημιουργεί τους κύκλους ολίσθησης. Με άσπρο χρώμα φαίνεται ο χρόνος μετρήσεων που διαγράφηκε από τον δορυφόρο R24.



Διάγραμμα 26- Satellite Window

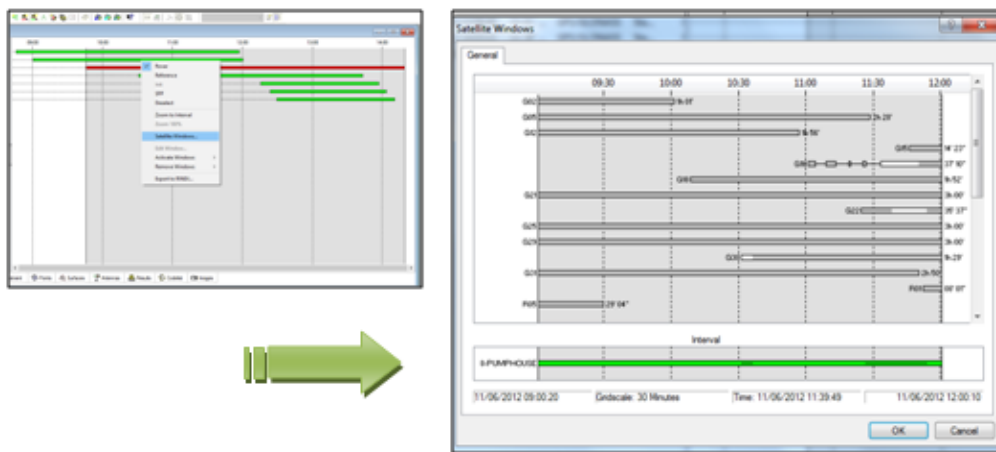
12) Έγινε ξανά η επίλυση από το process και από το report της στάσης SUB φαίνεται ότι οι κύκλοι ολίσθησης μηδενίστηκαν και τα DOPs έχουν χαμηλές τιμές (καλή γεωμετρία των δορυφόρων). Έτσι συμπεραίνεται ότι η επίλυση είναι σωστή και καταγράφονται οι νέες - διορθωμένες συντεταγμένες του σταθμού SUB και οι είδη γνωστές συντεταγμένες του σταθμού NICO σε φύλλο στην excel.

- 13) Αφού έγινε η πρώτη επίλυση μεταξύ των δύο σταθμών δημιουργήθηκε ένα καινούριο project για την επίλυση του δικτύου στον σταθμό της ΑΗΚ. Τέθηκε ο σταθμός SUB ως Reference και διορθώθηκαν οι συντεταγμένες του από τις νέες συντεταγμένες που υπολογίστηκαν από την προηγούμενη επίλυση NICO-SUB. Επίσης τέθηκαν οι υπόλοιποι πέντε σταθμοί ως Rover και προστέθηκαν οι δορυφορικές εφημερίδες.
- 14) Επειδή οι βάσεις είναι μικρές οι παράμετροι στο data processing parameters έμειναν οι ίδιες και ακολούθως έγινε process. Από το report του κάθε σταθμού παρατηρήθηκαν ποιοι δορυφόροι δημιουργούν κύκλους ολίσθησης και διορθώθηκαν όπως προηγουμένως. Διαγράφονται ένας- ένας οι δορυφόροι που δημιουργούν το πρόβλημα για να φαίνεται κατά πόσο μειώνονται οι κύκλοι ολίσθησης και αν η διαγραφή κάποιου δορυφόρου για μία χρονική στιγμή μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα στην γεωμετρία των δορυφόρων. π.χ. για τις 06/11/2012 από το report του SUB-Pump φαίνεται ότι υπάρχουν 58 κύκλοι ολίσθησης.

Overall Statistic:				
Status	From	To	Duration	
Fixed	11/06/2012 09:45:34	11/06/2012 12:00:10	2h 14' 36"	
Cycle Slip Statistics				
Total number of cycle slips:		58		
Time	Satellite	Frequency	Slip value	Flags
11/06/2012 10:31:00	G30	L1	-	na
11/06/2012 10:31:00	G30	L2	-	na
11/06/2012 10:31:08	G30	L1	-	na
11/06/2012 10:32:30	G30	L1	-	flagged
11/06/2012 10:32:30	G30	L2	8.00	flagged
11/06/2012 10:33:38	G30	L1	-	na
11/06/2012 10:34:00	G30	L1	-	flagged
11/06/2012 10:34:00	G30	L2	3.00	flagged
11/06/2012 10:34:32	G30	L1	-	flagged
11/06/2012 10:34:36	G30	L1	-	na
11/06/2012 10:34:48	G30	L1	-	flagged
11/06/2012 11:26:02	G16	L1	-	flagged
11/06/2012 11:26:08	G16	L1	-	flagged
11/06/2012 11:26:28	G16	L1	-	flagged
11/06/2012 11:33:04	G16	L2	-	na
11/06/2012 11:38:18	G16	L2	-	na
11/06/2012 11:39:28	G22	L1	-	flagged

Διάγραμμα 27- Κύκλοι ολίσθησης σταθμού Pumphouse

Έτσι διαγράφηκαν οι χρονικές περιόδοι όπου ο κάθε δορυφόρο που δημιουργούσε πρόβλημα από το satellite window.



Διάγραμμα 39- Μηδενισμός κύκλων ολίσθησης από το Satellite Window

- 15) Αφού έγινε έλεγχος όλων των report σημειώθηκαν οι συντεταγμένες που υπολογίστηκαν κατά την επίλυση σε φύλο στην excel.

13.4 Επίλυση δικτύου από το λογισμικό GrafNet

Για την δεύτερη επίλυση χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό GrafNet καθώς θεωρείται ένα από τα πιο σύγχρονα και αποτελεσματικά λογισμικά επίλυσης δικτύων για το στατικό εντοπισμό. Επίσης ο κύριος δέκτης που βρίσκεται στον σταθμό SUB είναι της ίδιας εταιρίας, της NovAtel.

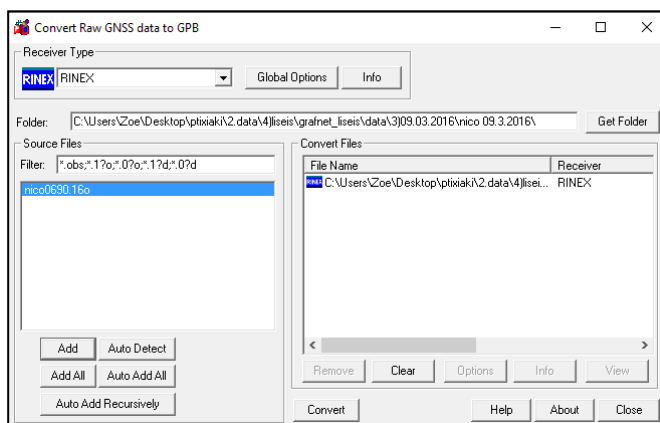
13.4.1 Λογισμικό GrafNet

Το GrafNet είναι ένα λογισμικό στατικής επεξεργασίας δικτύων. Δημιουργεί ένα ενιαίο δίκτυο συνδέοντας όλα τα άκρα των στατικών γραμμών βάσης GNSS. Μέσα σε λίγη ώρα το λογισμικό επεξεργάζεται το σύνολο των εργασιών σε μία ενιαία λειτουργία. Επιτρέπει τρεις τύπους στατικών λύσεων επεξεργασίας βάσης: Fixed static, Float, Ionospheric free. Έχει ευέλικτες και υψηλής ποιότητας λύσεις δηλαδή έχει πολλαπλές δυνατότητες ελέγχου ποιότητας. Έχει βελτιωμένη ακρίβεια για forward/reverse επεξεργασία, ακριβής fixed static solution & iono-free επεξεργασία για μεγάλες γραμμές βάσης και συμβατότητα με πολλούς κατασκευαστές δεκτών για μέγιστη ευελιξία. Τέλος υποστηρίζουν GPS L1/L2/L2C, GLONASS και BeiDou. Τα οφέλη του λογισμικού είναι στατική επεξεργασία δικτύου, παρέχει την καλύτερη δυνατή ακρίβεια στη θέση μέχρι το επίπεδο του εκατοστού, ρύθμιση δικτύου και χειροκίνητο και αυτόματο υπολογισμό κλεισίματος βρόγχων. (NovAtel 2015)

13.4.2 Επίλυση Δικτύου - GrafNet

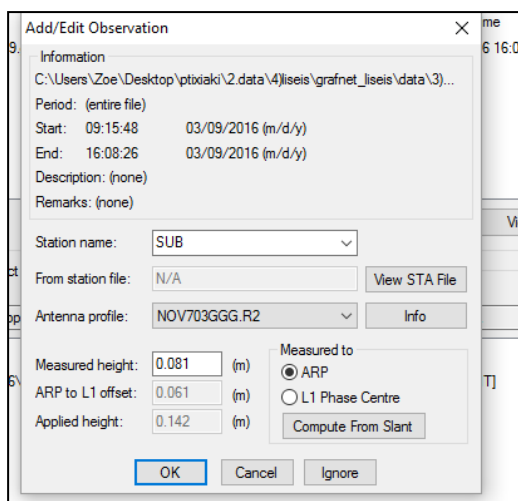
Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την επίλυση του δικτύου στο λογισμικό GrafNet για τις 09/03/2016 έχει ως ακολούθως:

- 1) Μετατροπή όλων των αρχείων RINEX σε μορφή GPB για να μπορεί να γίνει η επεξεργασία των αρχείων από το λογισμικό αυτό : file → convert → Raw GNSS to GPB.



Διάγραμμα 28- Convert Raw GNSS to GPB

- 2) Δημιουργία καινούριου project: File → new project.
- 3) Προστέθηκαν οι στάσεις της πρώτης επίλυσης δηλαδή η επίλυση μεταξύ του σταθμού NICO (ITRF) και του σταθμού του δικτύου SUB : file → add/remove observations. Για το σταθμό NICO δεν γίνεται καμία αλλαγή ενώ για το σταθμό SUB διορθώθηκε το είδος της κεραίας σε NOV703GGG και το ύψος της κεραίας από το ARP σε 0.081m.



Διάγραμμα 29- Add/Edit Observation του σταθμού SUB

- 4) Εισαγωγή δορυφορικών εφημερίδων: add precise files → GPS (sp3 ephemeris)
- 5) Τέθηκε ο NICO ως base και διορθώθηκαν οι συντεταγμένες για να είναι ο σταθμός αναφοράς δηλαδή να υπολογιστούν οι συντεταγμένες του SUB βάση αυτού, καθώς γίνεται στατικός σχετικός εντοπισμός θέσης: δεξί κλικ στο σταθμό NICO → Add as control point → add/edit control point → enter grid values → ECEF → XYZ που υπολογίστηκαν.

Διάγραμμα 30- Add/Edit Control Point του σταθμού NICO

- 6) Από το παράθυρο Process Sessions συμπληρώθηκαν οι κατάλληλες παράμετροι πριν γίνει η επίλυση:
 - A) Process
 - ✓ Sessions to process → all unsuccessful (status less than GOOD)
 - ✓ Processing Settings → Overwrite session processing settings with global values
 - B) General
 - ✓ Process Direction → Forward (σε πια κατεύθυνση θα επιλυθεί η βάση- στην περίπτωση αυτή οι διορθώσεις γίνονται από το σταθμό NICO προς το σταθμό SUB.
 - ✓ Static Solution Type → Automatic (Αποφασίζει από μόνο του το λογισμικό με πιο τρόπο από το ARTK/Float θα έχει το καλύτερο αποτέλεσμα).
 - ✓ Frequency → Automatic (επιλέγει από τα διαθέσιμα δεδομένα αν η επίλυση θα γίνει σε single (L1 only) or Dual (L1+L2).
 - ✓ Constellation Usage → Automatic (Ποιους δορυφόρους θα χρησιμοποιήσει για την επίλυση).
 - ✓ Elevation mask → 15 degrees (για να είναι καλύτερη η γεωμετρία των δορυφόρων και να απαλλάσσεται από τα ατμοσφαιρικά σφάλματα).

✓ L1 LockTime Cutoff → 4 seconds.

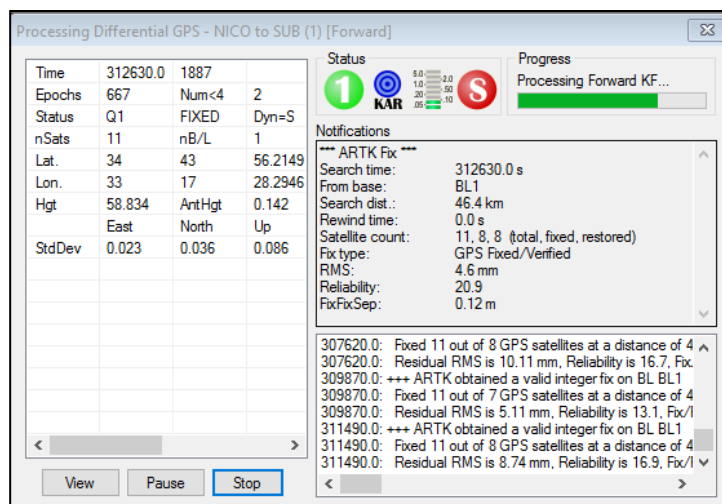
Γ) Advanced

✓ Ionospheric Options → distance tolerance → 7km

Δ) ARTK

✓ Quality Acceptance Criteria → Q0-95% (δηλαδή αν θα δεχθεί ή αν θα απορρίψει μία επίλυση ARTK).

7) Process για να γίνει η διαδικασία επίλυσης.



Διάγραμμα 31- Processing Differential GPS - NICO to SUB

8) Έλεγχος αν είναι καλή η επίλυση από το Data Manager → Project → Baselines:

- SD (mm) → Standard deviation (τυπική απόκλιση) υπολογιζόμενη από το Kalman filter. Ζητείται μικρή τυπική απόκλιση για καλύτερη λύση.
- Reliability → Reliability of the fixed static solution (αξιοπιστία της στατικής επίλυσης). Οι ψηλές τιμές δείχνουν μία ψηλή πιθανότητα η λύση να είναι σωστή.
- RMS(mm) → Root mean square και ισχύει για σταθερές γραμμές βάσης. Ζητείται μικρό RMS για καλύτερη λύση.
- Status → Επεξεργάζεται όλες τις συνεδρίες που δεν έχουν μια καλή κατάσταση (όσες δεν είναι με πράσινο χρώμα στο χάρτη).

Name	SD(mm)	Reliability	RMS(mm)	Status
NICO to SUB	28.1	196.8	8.7	GOOD

Πίνακας 9 - Baselines από το Data Manager του GrafNet

Η λύση της βάσης μεταξύ του NICO-SUB έχει μικρό SD(mm) και RMS (mm) ενώ το Reliability είναι μεγάλο και η κατάσταση της λύσης (status) είναι καλή. Έτσι συμπεραίνεται ότι η λύση της βάσης μεταξύ των δύο αυτών σταθμών είναι σωστή και καταγράφονται οι νέες - διορθωμένες συντεταγμένες του σταθμού SUB και οι είδη γνωστές συντεταγμένες του σταθμού NICO σε φύλλο στην excel.

- 9) Αφού έγινε η πρώτη επίλυση μεταξύ των δύο σταθμών δημιουργήθηκε ένα καινούριο project για την επίλυση του δικτύου στον σταθμό της ΑΗΚ. Τέθηκε ο σταθμός SUB ως control point για να υπολογιστούν οι συντεταγμένες των σταθμών του δικτύου βάση του σταθμού αυτού. Διορθώθηκαν οι συντεταγμένες του από τις νέες συντεταγμένες που υπολογίστηκαν από την προηγούμενη επίλυση NICO-SUB. Προστέθηκαν οι δορυφορικές εφημερίδες και ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία όπως πριν για να γίνει η επίλυση του δικτύου.
- 10) Αφού έγινε ο έλεγχος του SD/RMS/Reliability/Status για κάθε μία βάση που δημιουργήθηκε μεταξύ των σταθμών σημειώθηκαν οι συντεταγμένες που υπολογίστηκαν κατά την επίλυση σε φύλλο στην excel.

14 Αποτελέσματα

14.1 Αποτελέσματα από λογισμικό Leica Geo Office

Το λογισμικό Geo Office μπορεί υπολογίζει τις συντεταγμένες στο Γεωγραφικό Σύστημα Συντεταγμένων αλλά μπορεί να της υπολογίσει και άμεσα σε Καρτεσιανές Συντεταγμένες δηλαδή σε X,Y,Z. Μονάδα μέτρησης των Καρτεσιανών Συντεταγμένων είναι τα μέτρα. Όλες οι επιλύσεις ήταν Stored Status και fix (διορθωμένες) και το GNSS Type δηλαδή οι δορυφόροι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι GPS και οι GLONASS. Το Solution Type ήταν Phase: fix all. Το Frequency για τις επιλύσεις μεταξύ των σταθμών NICO-SUB ήταν Iono free(L3) δηλαδή είναι απαλλαγμένο από ιονοσφαιρικά σφάλματα και χρησιμοποιεί την L3 συχνότητα ενώ η επίλυση για τις βάσεις του δικτύου (μικρές αποστάσεις) έγινε σε L1+L2 συχνότητες.

Για τις 13/8/2012:

→ NICO to SUB

Station ID	X(m)	Y(m)	Z(m)	StdX	StdY	StdZ
NICO	4359415.5767	-2874117.1543	3650777.9249			
SUB	4386303.3185	-2880297.5730	3613531.8380	0.0008	0.0014	0.0016

Πίνακας 9- Συντεταγμένες NICO+SUB για τις 13/08/2012 από Geo Office

→ SUB to Δίκτυο

Station ID	X(m)	Y(m)	Z(m)	StdX	StdY	StdZ
SUB	4386303.3185	-2880297.5730	3613531.8380	0.0008	0.0014	0.0016
Krat	4386736.7604	-2880134.5354	3613186.8023	0.0001	0.0001	0.0001
Pefk	4386671.5504	-2880076.8088	3613308.9443	0.0001	0.0001	0.0001
Skop	4386836.4630	-2880183.0182	3612986.5998	0.0001	0.0001	0.0001
Pump	4386512.7947	-2880380.0856	3613194.3508	0.0001	0.0001	0.0002
Thal	4386613.7458	-2880648.6707	3612834.3171	0.0001	0.0001	0.0002

Πίνακας 10- Συντεταγμένες του δικτύου για τις 13/08/2012 από Geo Office

Για τις 06/11/2012:

→ NICO to SUB

Station ID	X(m)	Y(m)	Z(m)	StdX	StdY	StdZ
NICO	4359415.5725	-2874117.1570	3650777.9279			
SUB	4386303.2410	-2880297.5402	3613531.7920	0.0005	0.0008	0.0009

Πίνακας 11-Συντεταγμένες NICO+SUB για τις 06/11/2012 από Geo Office

→ SUB to Δίκτυο

Station ID	X(m)	Y(m)	Z(m)	StdX	StdY	StdZ
SUB	4386303.2410	-2880297.5402	3613531.7920	0.0005	0.0008	0.0009
Krat	4386736.6839	-2880134.5024	3613186.7568	0.0000	0.0001	0.0001
Pefk	4386671.4699	-2880076.7806	3613308.8954	0.0000	0.0001	0.0001
Skop	4386837.6982	-2880183.8446	3612987.6430	0.0000	0.0001	0.0001
Pump	4386512.7141	-2880380.0458	3613194.3060	0.0000	0.0001	0.0001
Thal	4386613.6726	-2880648.6353	3612834.2735	0.0000	0.0001	0.0001

Πίνακας 12-Συντεταγμένες του δικτύου για τις 06/11/2012 από Geo Office

Για τις 09/03/2016:

→ NICO to SUB

Station ID	X(m)	Y(m)	Z(m)	StdX	StdY	StdZ
NICO	4359415.5128	-2874117.1958	3650777.9699			
SUB	4386303.1829	-2880297.6011	3613531.8392	0.0003	0.0006	0.0007

Πίνακας 13-Συντεταγμένες NICO+SUB για τις 09/03/2016 από Geo Office

→ SUB to Δίκτυο

Station ID	X(m)	Y(m)	Z(m)	StdX	StdY	StdZ
SUB	4386303.1829	-2880297.6011	3613531.8392	0.0003	0.0006	0.0007
Krat	4386736.7081	-2880134.6160	3613186.8756	0.0000	0.0000	0.0000
Pefk	4386671.4802	-2880076.8789	3613309.0073	0.0000	0.0000	0.0000
Skop	4386837.7186	-2880183.9570	3612987.7554	0.0000	0.0001	0.0001
Pump	4386512.7411	-2880380.1608	3613194.4255	0.0000	0.0000	0.0000
Thal	4386613.6953	-2880648.7466	3612834.3934	0.0000	0.0000	0.0000

Πίνακας 14-Συντεταγμένες του δικτύου για τις 09/03/2016 από Geo Office

14.2 Αποτελέσματα από λογισμικό GrafNet (Version 8.60.6129)

Το λογισμικό GrafNet υπολογίζει τις συντεταγμένες στο Γεωγραφικό Σύστημα Συντεταγμένων δηλαδή σε Latitude/Longitude και Ellipsoid Height. Μονάδα μέτρησης των συντεταγμένων αυτών είναι οι μοίρες και οι υποδιαιρέσεις αυτών τα πρώτα, τα δεύτερα. Από την ιστοσελίδα <<http://goo.gl/F5ifkc>> γίνεται η μετατροπή των Γεωγραφικών Συντεταγμένων σε Καρτεσιανές Συντεταγμένες.

Για τις 09/03/2016:

→ NICO to SUB

Station	Latitude(φ)	Longitude(λ)	Ellipsoid height(h)
NICO	35 08 27.55656	33 23 47.21398	190.021
SUB	34 43 56.21522	33 17 28.29444	58.891

Πίνακας 15-Γεωγραφικές Συντεταγμένες NICO+SUB για τις 09/03/2016 από GrafNet

Station	X(m)	Y(m)	Z(m)
NICO	4359415.5126	-2874117.1962	3650777.9700
SUB	4386303.1666	-2880297.5879	3613531.8238

Πίνακας 16-Καρτεσιανές Συντεταγμένες NICO+SUB για τις 09/03/2016 από GrafNet

Baselines	SD(mm)	Reliability	RMS(mm)	SolType	Dist(km)	Status
NICO to Sub	28.6	282.38	4	L1L2-ARTK-Iono	46.35	GOOD

Πίνακας 18- Λύση βάσης NICO-SUB για τις 09/03/2016 από GrafNet

→ SUB to Δίκτυο

Stations	Latitude	Longitude	Ellipsoid height(h)
NICO	35 08 27.55656	33 23 47.21398	190.021
SUB	34 43 56.21522	33 17 28.29444	58.891
Krat	34 43 41.96917	33 17 13.58647	86.468
Pefk	34 43 46.82024	33 17 13.09644	85.393
Skop	34 43 34.59713	33 17 13.02850	64.690
Pump	34 43 43.14023	33 17 26.48587	47.674
Thal	34 43 29.25247	33 17 33.13199	33.099

Πίνακας 179-Γεωγραφικές Συντεταγμένες σταθμών δικτύου για τις 09/03/2016 από GrafNet

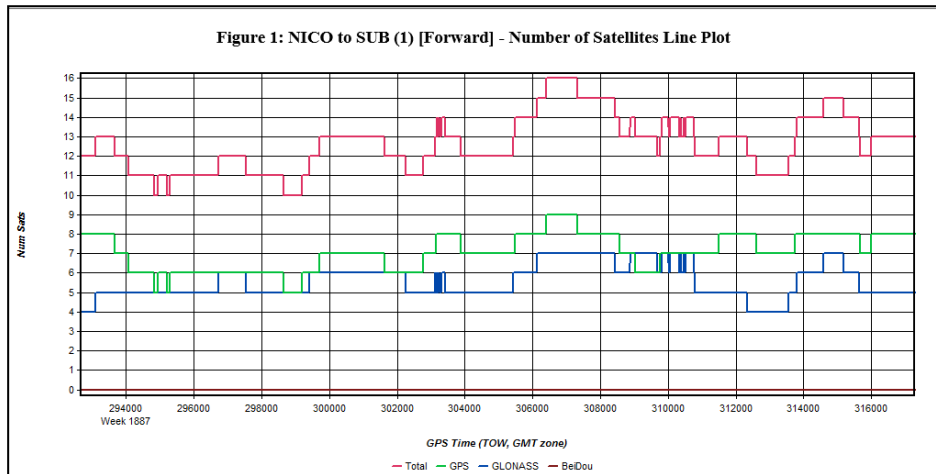
Stations	X(m)	Y(m)	Z(m)
NICO	4359415.5126	-2874117.1962	3650777.9700
SUB	4386303.1666	-2880297.5879	3613531.8238
Krat	4386736.5568	-2880134.5104	3613186.7461
Pefk	4386671.4696	-2880076.8653	3613308.9911
Skop	4386837.5691	-2880183.8474	3612987.6296
Pump	4386512.5924	-2880380.0606	3613194.3048
Thal	4386613.5507	-2880648.6404	3612834.2717

Πίνακας 18-Καρτεσιανές Συντεταγμένες σταθμών δικτύου για τις 09/03/2016 από GrafNet

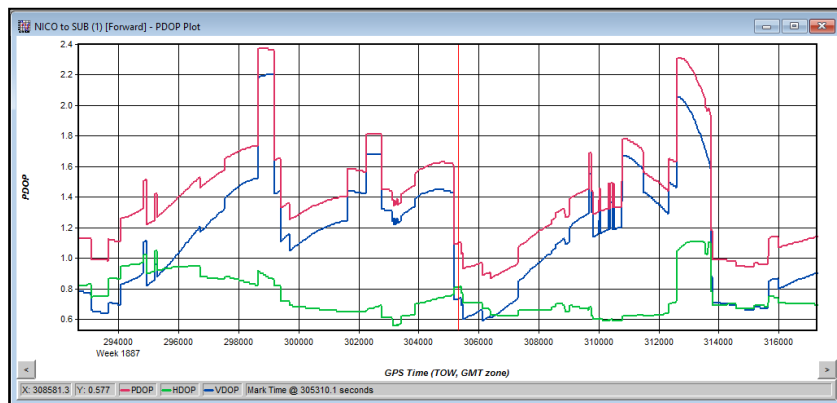
Baselines	SD(mm)	Reliability	RMS(mm)	Dist(km)
Krat to Pefk	14.2	593.8	2.2	0.15
Krat to Pump	14.4	483.29	4.5	0.33
Krat to Skop	15.5	522.77	2.4	0.23
Krat to Thal	14.2	432.13	3.2	0.64
Pefk to Pump	28.2	431.1	5	0.36
Pefk to Skop	15.2	288.44	2.2	0.38
Pefk to Thal	14	346.59	3.6	0.75
Pump to Skop	47.5	350.32	3.3	0.43
Pump to Thal	28	389.43	6.5	0.46
Skop to Thal	15.3	619.28	2.7	0.54
SUB to Krat	14	554.2	2.6	0.58
SUB to Pefk	13.8	364.29	2.5	0.48
SUB to Pump	27.6	466.14	5.2	0.41
SUB to Skop	14.7	296.61	2.1	0.77
SUB to Thal	14.3	553.66	3.7	0.84

Πίνακας 19-Λύση βάσεων δικτύου για τις 09/03/2016 από GrafNet

Το Solution Type για όλες τις βάσεις του δικτύου ήταν LIL2-ARTK (διπλής συχνότητας σταθερή λύση χωρίς ιονοσφαιρική διόρθωση καθώς οι βάσεις είναι μικρές) και το Status (κατάσταση) ήταν GOOD δηλαδή καλή. Δεν υπάρχουν loop ties καθώς η επίλυση των βάσεων είναι καλή και τα cycle slips υπολογίστηκαν και αφαιρέθηκαν απευθείας από το λογισμικό. Από το πιο πάνω πίνακα φαίνεται ότι όλες οι βάσεις έχουν μικρό SD(mm) και πολύ μικρό RMS ενώ το Reliability τους είναι μεγάλο έτσι συμπεραίνεται ότι η επίλυση είναι δεκτή και πληρούνται τα κριτήρια ποιότητας αποδοχής.

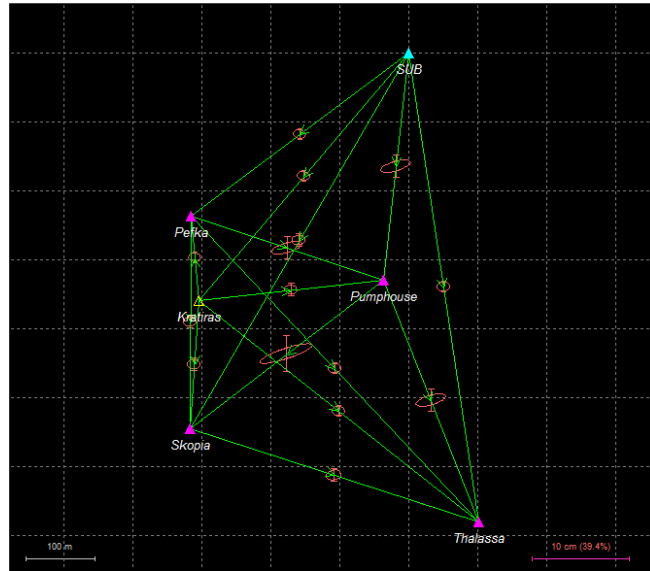


Διάγραμμα 32 - Αριθμός Δορυφόρων



Διάγραμμα 33- DOPs (PDOP, HDOP, VDOP)

Στην ακόλουθη εικόνα φαίνεται ο χάρτης της επίλυσης του δικτύου. Επίσης από το χάρτη φαίνονται οι ελλείψεις σφάλματος μεταξύ των βάσεων. Φαίνεται ότι μεγαλύτερη έλλειψη σφάλματος βρίσκεται στην βάση Pump to Skor. Αυτό ίσως να συμβαίνει επειδή οι δύο αυτές κορυφές δεν έχουν αρκετό χρόνο κοινών παρατηρήσεων. Οι κοινές παρατηρήσεις των δύο αυτών σταθμών είναι συνολικά δύο ώρες. Με ανοικτό μοβ χρώμα είναι τα Tie point - Two or more sessions are connected as remotes to this station via the traverse solution. Με κυανό χρώμα είναι ο σταθμός αναφοράς με είδη γνωστές συντεταγμένες. Με κίτρινο χρώμα είναι το Traverse point - No tie information can be computed as there is only one avenue for establishing coordinates for this station. Οι βάσεις με πράσινο χρώμα είναι οι βάσεις που επιλύθηκαν με επιτυχία και πέρασαν όλες τις εξετάσεις αξιοπιστίας. Έγινε εξαγωγή HTML αρχείων (Παράρτημα 1) και export στο Google Earth (Παράρτημα 2).



Διάγραμμα 34- Traverse Map in GrafNet

14.3 Σύγκριση λογισμικών

Από την excel μπορούμε να υπολογίσουμε τα DX,DY,DZ μεταξύ των υπολογιζόμενων συντεταγμένων των κορυφών από το λογισμικό Geo Office και από το λογισμικό GrafNet. Οι μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν για να γίνει η σύγκριση είναι από τις 9 Μαρτίου 2016.

- $DX = X_{GeoOffice} - X_{GrafNet}$
- $DY = Y_{GeoOffice} - Y_{GrafNet}$
- $DZ = Z_{GeoOffice} - Z_{GrafNet}$

Stations	DX	DY	DZ
NICO	0.0002	0.0004	-0.0001
SUB	0.0163	-0.0132	0.0154
Pefk	0.0106	-0.0136	0.0162
Krat	0.1513	-0.1056	0.1295
Skop	0.1495	-0.1096	0.1258
Pump	0.1487	-0.1002	0.1207
Thal	0.1446	-0.1062	0.1217

Πίνακας 20-DX,DY,DZ από τα δύο λογισμικά επίλυσης

Στον πιο πάνω πίνακα φαίνεται ότι οι συντεταγμένες που βρέθηκαν στα δύο λογισμικά επίλυσης έχουν μεγάλες διαφορές της τάξεως των 15cm. Η λύση NICO to SUB από το Geo Office έγινε στην συχνότητα Ionο free (L3) δηλαδή σε L3 συχνότητα απαλλαγμένο από ιονοσφαιρικά σφάλματα ανεξάρτητα από το μήκος της βάσης που δημιουργείται. Η λύση SUB to δίκτυο από το Geo Office έγινε στην συχνότητα L1+L2 και ο τύπος της επίλυσης είναι fix all (διορθωμένα). Η λύση NICO-SUB από το GrafNet έγινε με τη μέθοδο του L1L2-ARTK-Iono δηλαδή διπλής συχνότητας σταθερή λύση με ιονοσφαιρική διόρθωση. Η λύση SUB-δίκτυο από το GrafNet έγινε με τη μέθοδο L1L2-ARTK δηλαδή σταθερή λύση σε δύο συχνότητες χωρίς απαλλαγή των ιονοσφαιρικών σφαλμάτων καθώς οι βάσεις του δικτύου είναι μικρές και δεν επηρεάζονται από ιονοσφαιρικά σφάλματα. Σε όλες τις επιλύσεις χρησιμοποιήθηκε γωνία αποκοπής στις 15 μοίρες για να απαλλάσσεται το σήμα από ιονοσφαιρικά σφάλματα και από τους κύκλους ολίσθησης που δημιουργούνται λόγω του εξασθενημένου δορυφορικού σήματος. Το Leica Geo Office ανιχνεύει τους κύκλους ολίσθησης και αν είναι δυνατό τους επιδιορθώνει. Στις περισσότερες περιπτώσεις είναι απαραίτητη η παρέμβαση του χρήστη για την διαγραφή των κύκλων ολίσθησης. Οι κύκλοι ολίσθησης φαίνονται σε τμήμα της τελικής έκθεσης όπου παρουσιάζεται ο συνολικός τους αριθμός, η ώρα και το όνομα του δορυφόρου που τους δημιουργεί. Για διαγραφή των κύκλων ολίσθησης χρησιμοποιείται το satellite window και μέσω της εντολής extended γίνεται η διαγραφή τους. Η κατάσταση (status) της επίλυσης από το λογισμικό GrafNet είναι GOOD που σημαίνει ότι η επίλυση έχει απαλλαγή αυτόματα από τους κύκλους ολίσθησης χωρίς να χρειάζεται η ανθρώπινη παρέμβαση. Οι κύκλοι ολίσθησης για όλα τα αρχεία GPB φαίνονται από τα διαγράμματα satellite lock-cycle slips με κόκκινο χρώμα. Το λογισμικό GrafNet μας δίνει περισσότερες δυνατότητες όσο αφορά τις παραμέτρους που θέτουμε για κάθε επίλυση, διορθώνει από μόνο του τους κύκλους ολίσθησης, έχει περισσότερα κριτήρια ποιότητας αποδοχής των λύσεων και περισσότερα output αρχεία (HTML, Google Earth, Plots).

15 Συμπεράσματα

Από το 1993 χρησιμοποιείται γεωδαιτική δορυφορική μέθοδος που αποτυπώνει την οριζοντιογραφική παραμόρφωση και τη βύθιση ή την ανύψωση του εδάφους. Τα δεδομένα χρησιμοποιούνται για συσχέτιση με τους σεισμούς που προκαλούν τις ανατάξεις αυτές στις περιοχές γύρω από τα ρήγματα χωρίς να χρειάζεται να γνωρίζει κανείς εκ των προτέρων τη θέση ή το χρόνο έλευσης των σεισμών. Σήμερα δεν υπάρχει κανένα αξιόπιστο εργαλείο πρόγνωσης σεισμών και ο προσδιορισμός της μελλοντικής θέσης των τεχνητών έργων δεν μπορεί να είναι γνωστός από στοιχεία μίας μόνο σειράς μετρήσεων των δικτύων. Έτσι πρέπει να γίνεται συχνή μέτρηση των δικτύων κυρίως για μεγάλα βιομηχανικά έργα για να υπάρχει πρόγνωση της μελλοντικής θέσης και την αποφυγή μεγάλων αστοχιών ή και απώλειας ανθρώπινων ζώων. Με τις γεωδαιτικές μεθόδους δεν καταγράφεται μόνο το μέγεθος της μετακίνησης ενός σημείου αλλά και η διεύθυνση της κίνησης του. Επίσης ύστερα από κάποιες σειρές μετρήσεων είναι δυνατός ο υπολογισμός της ταχύτητας μετακίνησης ή η πρόβλεψη για τη θέση στο μέλλον. Η μέθοδος του σχετικού στατικού εντοπισμού με τη χρήση των δεκτών GNSS αποδείχτηκε ότι είναι μία γρήγορη και εύκολη διαδικασία για τον ακριβή προσδιορισμό θέσης κορυφών ενός τριδιάστατου δικτύου. Η χρήση των σύγχρονων δεκτών GNSS και των κατάλληλων λογισμικών μείωσε σημαντικά τη διάρκεια των εργασιών των μετρήσεων στο πεδίο και της επεξεργασίας στο γραφείο με μεγαλύτερη αξιοπιστία και ακρίβεια των μετρήσεων και των αποτελεσμάτων. Οι καιρικές συνθήκες δεν εμποδίζουν τις μετρήσεις και δεν είναι απαραίτητη η ορατότητα μεταξύ των κορυφών του δικτύου έτσι επιταχύνεται η διαδικασία των μετρήσεων σε κάθε φάση. Από όλες τις κορυφές υπήρχε ανοικτός ορίζοντας έτσι δεν χρειαζόταν ο προγραμματισμός των μετρήσεων και δεν υπήρχαν μεγάλες απώλειες σήματος. Ακόμη δεν είναι απαραίτητος μεγάλος αριθμός προσωπικού στο πεδίο καθώς οι εργασίες που γίνονται είναι ο προγραμματισμός και η τοποθέτηση/ενεργοποίηση των δεκτών στα βάρθρα. Τα ατμοσφαιρικά σφάλματα μειώνονται καθώς οι βάσεις του δικτύου είναι μικρές. Μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι υπάρχει ένδειξη για την ποιότητα των μετρήσεων την στιγμή που παίρνονται οι μετρήσεις και υπάρχει μείωση ακρίβειας από το στρατό των ΗΠΑ. Στοιχεία για την αβεβαιότητα μπορούν να παρθούν κατά τις εργασίες γραφείου. Έτσι κατά τον στατικό εντοπισμό για να επιτευχθεί η μέγιστη ακρίβεια ο χρήστης πρέπει να είναι έμπειρος και εξοικειωμένος με τους δέκτες GNSS. Μικρά λάθη και απροσεξίες στον χειρισμό των δεκτών κατά την διαδικασία των μετρήσεων

μπορούν να επιφέρουν μεγάλα προβλήματα κατά την επεξεργασία των μετρήσεων. Για αυτό θα είναι αναγκαία η επιστροφή στο πεδίο και η επαναμέτρηση όλων των κορυφών του δικτύου με αποτέλεσμα να επιβαρύνεται η διαδικασία τόσο χρονικά όσο και οικονομικά. Κρίνεται σημαντικό πριν από την επίσκεψη στο πεδίο να γίνεται μία προετοιμασία για την χρήση των δεκτών και ο χρήστης να έχει γνώση των εντολών που πρέπει να χρησιμοποιήσει για να παρθούν μετρήσεις στατικού εντοπισμού.

1. Μικρομετακινήσεις την περίοδο 13 Αυγούστου 2012 με 6 Νοεμβρίου του 2012:

Μετακίνηση κατά την οριζόντια έννοια (DE,DN):

Η κορυφή Pefk παρουσιάζει την μεγαλύτερη οριζοντιογραφική μετακίνηση της τάξεως των +15.8mm προς τα Ανατολικά. Η κορυφή Thal παρουσιάζει την μικρότερη μετακίνηση +5.1mm προς τα Ανατολικά. Οι κορυφές Krat, Pump, Skor παρουσιάζουν μετακίνηση προς τα Ανατολικά της τάξεως των +9.5mm, +6.1mm, +10.3mm και +8mm αντίστοιχα. Μεγαλύτερη μετακίνηση προς τα Βόρεια παρουσιάζει η κορυφή Pump με +9mm ενώ μικρότερη μετακίνηση προς την διεύθυνση αυτή έχει η κορυφή Pefk με +2mm. Οι κορυφές Krat, Skor, Sub, Thal παρουσιάζουν μετακίνηση της τάξεως των +4.3mm, +5.8mm, +4.4mm, +5.1mm προς τα Βόρεια αντίστοιχα.

Μετακίνηση κατά την κατακόρυφη έννοια (DU):

Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι ο σταθμός Skor παρουσιάζει μετακίνηση της τάξεως +1.8157m δηλαδή ανύψωση σε σχέση με το NICO κοντά στα 1.9m. Η μετακίνηση αυτή δεν είναι στα απητρεπτά όρια μετακινήσεων σε τόσο μικρό χρονικό διάστημα έτσι συμπεράνεται ότι έγινε κάποιο χονδροειδή σφάλμα κατά την πρώτη σειρά των μετρήσεων στις 13 Αυγούστου του 2012 στην κορυφή Skor και για αυτό έγινε η δεύτερη σειρά μετρήσεων στις 6 Νοεμβρίου του 2012. Επομένως η μεγαλύτερη κατακόρυφη μετακίνηση προς τα κάτω εμφανίζεται στο σταθμό Pump της τάξεως των -98.8mm ενώ η μικρότερη κατακόρυφη μετακίνηση προς το κάτω παρουσιάζεται στην κορυφή Thal με -91.1mm. Οι κορυφές Krat, Pefk, Sub παρουσιάζουν κατακόρυφη μετακίνηση της τάξεως -93.4mm, -95.9mm, -94.2mm αντίστοιχα.

Παρατηρείται ότι όλες οι κορυφές του δικτύου παρουσιάζουν καθίζηση γύρω στα 9-10cm που είναι μία αρκετά μεγάλη καθίζηση για το χρονικό διάστημα που μελετήθηκε έτσι μπορεί να υποθέσουμε ότι έγιναν κάποια χονδροειδή σφάλματα κατά την πρώτη σειρά των

μετρήσεων και για αυτό άλλωστε έγινε η δεύτερη σειρά των μετρήσεων. Ο σταθμός Pump παρουσιάζει την μεγαλύτερη μετακίνηση κατά DN και κατά DU και αυτό είναι πιθανόν να συμβαίνει καθώς η κορυφή αυτή βρίσκεται σε ένα πρανές και είναι πολύ κοντά στα φουγάρα του Σταθμού της ΑΗΚ που πιθανόν να δημιουργούν κάποιες δονήσεις.

→ Βορειοανατολική μετακίνηση και καθίζηση του Σταθμού

2. Μικρομετακινήσεις την περίοδο 13 Αυγούστου 2012 με 9 Μαρτίου του 2016:

Μετακίνηση κατά την οριζόντια έννοια (DE,DN):

Η μεγαλύτερη μετακίνηση κατά την οριζόντια έννοια παρουσιάζεται από το σταθμό SUB της τάξεως των +27.7 mm ,μετακίνηση προς τα Ανατολικά. Η κορυφή Thal παρουσιάζει την μικρότερη μετακίνηση προς τα Ανατολικά με μετακίνηση +21mm. Οι κορυφές Krat, Pump, Pefk, Skor παρουσιάζουν μετακίνηση προς τα Ανατολικά +25.9mm, +22.1mm, +26.9mm, +25.5mm αντίστοιχα. Οι μετακινήσεις όλων των κορυφών ήταν προς τα Βόρεια. Η κορυφή Pump παρουσιάζει την μεγαλύτερη μετακίνηση κατά DN της τάξεως των +6.9mm ενώ η κορυφή Sub την μικρότερη με μετακίνηση +0.3mm. Οι κορυφές Krat, Skor, Pefk, Thal παρουσιάζουν μετακίνηση προς τα Βόρεια με +3.4mm, +1.8mm, +6.8mm, +6.5mm αντίστοιχα.

Μετακίνηση κατά την κατακόρυφη έννοια (DU):

Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι ο σταθμός Skor παρουσιάζει μετακίνηση της τάξεως +1.9444m δηλαδή ανύψωση σε σχέση με το NICO κοντά στα 2m. Η μετακίνηση αυτή όπως και πριν δεν είναι λογική έτσι και από τα αποτελέσματα αυτά συμπερένεται ότι υπήρχαν σφάλματα κατά την διαδικασία ή την επίλυση των βάσεων στην πρώτη σειρά μετρήσεων. Η μεγαλύτερη κατακόρυφη μετακίνηση προς τα κάτω εμφανίζεται στο σταθμό SUB ο οποίος παρουσιάζει μετακίνηση της τάξεως των -80.2mm. Άρα η καθίζηση της στάσης αυτήν είναι σχεδόν στα 8cm. Η κορυφή Thal παρουσιάζει την μεγαλύτερη ανύψωση στα +42,6mm ενώ μικρότερη ανύψωση παρουσιάζεται στην κορυφή Pefk της τάξεως των +18.9mm. Οι κορυφές Krat, Pump έχουν κατακόρυφη μετακίνηση προς τα πάνω δηλαδή ανύψωση κατά +41.8mm , +39.3mm αντίστοιχα.

→ Βορειοανατολική μετακίνηση και ανύψωση του Σταθμού

3. Μικρομετακινήσεις την περίοδο 6 Νοεμβρίου 2012 με 9 Μαρτίου του 2016:

Μετακίνηση κατά την οριζόντια έννοια (DE,DN):

Η κορυφή Sub παρουσιάζει την μεγαλύτερη μετακίνηση +17.5mm προς τα Ανατολικά. Αντιθέτως η κορυφή Pefk παρουσιάζει την μικρότερη μετακίνηση προς τα Ανατολικά με +11.2mm. Οι κορυφές Krat, Pump,Thal, Skor παρουσιάζουν μετακίνηση προς τα Ανατολικά της τάξεως +16.3mm, +16mm, +15.2mm, +17.4mm αντίστοιχα. Οι μετακινήσεις DN έχουν θετικό και αρνητικό πρόσημο έτσι κάποιες από τις κορυφές μετακινήθηκαν κατά τον Βορά ενώ άλλες κατά τον Νότο. Η κορυφή Pefk παρουσιάζει την μεγαλύτερη μετακίνηση προς τα Βόρεια της τάξεως των +4.8mm ενώ η κορυφή SUB παρουσιάζει την μεγαλύτερη μετακίνηση προς τα Νότια της τάξεως των -4.1mm. Οι κορυφές Krat ,Pump, Skor παρουσιάζουν μετακίνηση προς τα Νότια με -0.9mm,-2.1mm, -4mm αντίστοιχα ενώ η κορυφή Thal παρουσιάζει μετακίνηση προς τα Βόρεια με +1.4mm.

Μετακίνηση κατά την κατακόρυφη έννοια (DU):

Η κορυφή που παρουσιάζει την μεγαλύτερη μετακίνηση κατά την κατακόρυφη έννοια είναι η κορυφή Pump που έχει μετακίνηση προς τα πάνω της τάξεως των +138.1mm δηλαδή υπάρχει ανύψωση του σημείου περίπου στα 14cm ενώ η κορυφή Sub παρουσιάζει την μικρότερη ανύψωση στα +14mm. Όλες οι κορυφές παρουσιάζουν ανύψωση μεταξύ του χρονικού διαστήματος αυτού. Οι κορυφές Krat, Pefk, Skor, Thall παρουσιάζουν μετακινήσεις +135.2mm, +114.8mm, +128.4mm, +133.7mm αντίστοιχα.

→Νοτιανατολική μετακίνηση και ανύψωση του Σταθμού

✓ Στο διάστημα 13 Αυγούστου 2012 με 6 Νοεμβρίου του 2012 ο Σταθμός μετατοπίζεται συνεχώς προς τα Βορειοανατολικά και έχει καθίζηση ενώ το διάστημα 6 Νοεμβρίου 2012 με 9 Μαρτίου του 2016 παρουσιάζεται Νοτιοανατολική μετατόπιση και ανύψωση του Σταθμού. Χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις της δεύτερης φάσης και τη τρίτης φάσης των μετρήσεων συμπεραίνεται ότι η περιοχή ανυψώθηκε περίπου στα 13cm στην διάρκεια 4 χρόνων. Αυτό συμβαίνει λόγω των σεισμών που έγιναν τα τελευταία χρόνια και μπορούν να αλλάξουν την μετατόπιση του χώρου προς την αντίθετη κατεύθυνση και να επιφέρουν μεγάλες μετατοπίσεις στην περιοχή. Ο τελευταίος ισχυρός σεισμός που έγινε στην Κύπρο ήταν στις 15 Απριλίου του 2015 με 5.6Ms (Surface magnitude), με μετασεισμούς τις υπόλοιπες μέρες. Ο ισχυρός αυτός σεισμός είχε επίκεντρο το θαλάσσιο χώρο δυτικά της Κισσόνεργας στην Πάφο όμως ήταν έντονα αισθητός στην επαρχία Λεμεσού.

16 Προτάσεις

- 1) Προτείνεται η περιοδική μέτρηση του δικτύου για να παρακολουθείται η ταχύτητα των επιφανειακών μετακινήσεων κατά την διάρκεια του χρόνου. Δηλαδή θα διεξάγονται αποτελέσματα για την κινηματική συμπεριφορά του σταθμού στο Βασιλικό (καθιζήσεις, ανυψώσεις, οριζόντιες μετακινήσεις). Η αποτελεσματικότερη παρακολούθηση του σταθμού ΑΗΚ προτείνεται τουλάχιστον 2 φορές το χρόνο για να υπάρχουν συμπεράσματα μετακινήσεων ανά εξάμηνο. Επίσης να γίνεται η μέτρηση του δικτύου μετά από σεισμούς για να παραχθούν συμπεράσματα για τις επιπτώσεις του σεισμού.
- 2) Προτείνεται η παρακολούθηση του δικτύου με ρομποτικούς γεωδαιτικούς σταθμούς οι οποίοι μπορούν να λειτουργήσουν από μακριά με αυτόματη μετάδοση των μετρήσεων σε υπολογιστές και υπολογισμό των συντεταγμένων μπορεί να γίνει σε πραγματικό χρόνο.
- 3) Προτείνεται η μέτρηση του δικτύου με συνδυασμό διπλής γεωμετρικής χωροστάθμησης και τριγωνομετρικής υψομετρίας για πιο αξιόπιστο έλεγχο της κινηματικής συμπεριφοράς του Σταθμού κατά την κατακόρυφη διεύθυνση.
- 4) Προτείνεται η σύγκριση των ακολούθων :
 - Κατά τη διαδικασία των μετρήσεων μπορεί να γίνει σύγκριση διαφορετικών δεκτών GNSS από τις εταιρίες Trimble, Leica, NovAtel, Topcon, Ashtech κ.α. Δηλαδή πόσο φιλικό είναι προς τους χρήστες, πόση ακρίβεια μπορούν να παρέχουν και αν είναι κατάλληλοι για πολύωρες μετρήσεις ανάλογα με το κόστος αγοράς τους.
 - Κατά την διαδικασία επίλυσης του δικτύου μπορεί να γίνει σύγκριση ανάμεσα στα λογισμικά επεξεργασίας των μετρήσεων. Δηλαδή πόσο αξιόπιστα είναι τα αποτελέσματα, πόσο γρήγορα μπορούν να γίνουν οι επιλύσεις και τα παραγόμενα αρχεία (πίνακες, DOPs, cycle slips, διαθέσιμοι δορυφόροι) ανάλογα με κόστος τους.
 - Σύγκριση αποτελεσμάτων ανάλογα με τη χρήση διαφορετικών δορυφορικών εφημερίδων (Final, Rapid, UltraRapid) και χρήση διαφορετικών συνδυασμών δορυφόρων (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) κατά την επίλυση.
- 5) Το δίκτυο του Σταθμού μπορεί να γίνει ακόμη και σημείο παρατήρησης της Αφρικανικής και Ευρασιακής λιθσφαιρικής πλάκας οι οποίες συνιστώνται σε αυτή την εξαιρετικά σεισμογενή περιοχή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Αγραφιώτης Π., Καζαμιάς Π., Καρολεμέας Χ., Καρτέρης Σ., Κοτρώτση Ε., Λαγού Χ., Στεφανόπουλος Σ., Τρουλλινού Α και Χάρχαρος Χ. (2013) , “ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ Δείγματα & Παραδείγματα”, Τεύχος 11
- 2) Bernhard Hofmann-Wellenhof, Herbert Lichtenegger, Elmar Wasle(2007). “GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more.” SpringerWienNewYork, New York
- 3) Φωτίου Αριστείδης και Πικριδιάς Χρήστος (2006). “ GPS και Γεωδαιτικές Εφαρμογές. ” ΖΗΤΗ, Ελλάδα
- 4) Γεώργιος Σταύρου (2013). “Μέτρηση και Επίλυση Τριδιάστατου Γεωδαιτικού Δικτύου Ακριβείας στον Η/Σ Βασιλικό της ΑΗΚ, με χρήση Ολοκληρωμένων Γεωδαιτικών Σταθμών. Συγκριτική Αξιολόγηση από Επίγειες και Δορυφορικές Μετρήσεις.” Bachelor’s Thesis ,Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου (ΤΕΠΑΚ)
- 5) Στουρνάρας, Βασίλης(2013). “Μελέτη της μελέτη της κινηματικής συμπεριφοράς του φράγματος της λίμνης Πλαστήρα σε Δορυφορικές Μεθόδους.” Bachelor’s Thesis, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Ε.Μ.Π), Αθήνα
- 6) Κώστας Κωνσταντίνου (2013). “Παρακολούθηση Μετακινήσεων του Τριδιάστατου Γεωδαιτικού Δικτύου Ελέγχου στο Φράγμα του Κούρη στην Κύπρο με χρήση Τεχνολογίας GNSS.”Bachelor’s Thesis, ΤΕΠΑΚ, Κύπρος
- 7) Κεμερίδης, Θεόδωρος (2009). “Γεωδαιτικές Μετρήσεις και Υπολογισμοί στην Κεντρική και Νότια Ελλάδα.” Bachelor’s Thesis, Ε.Μ.Π, Αθήνα
- 8) Θεοδώρου Χαράλαμπος (2010). “Αξιολόγηση της χρήσης επίγειων και δορυφορικών μετρήσεων για την παρακολούθηση μετακινήσεων τεχνικών έργων σε αστική περιοχή. Εφαρμογή στο νέο γήπεδο Καραϊσκάκη.” Bachelor’s Thesis, Ε.Μ.Π, Αθήνα
- 9) Δημόπουλου Μαρία (2008). “GPS PPP.” Bachelor’s Thesis, Ε.Μ.Π, Αθήνα
- 10) Καρπουζιάς Ηρακλής (2008). “Εφαρμογές Παγκόσμιου Δορυφορικού Συστήματος Εντοπισμού Θέσης GPS.” Bachelor’s Thesis, ΤΕΙ Θεσσαλονίκης
- 11) Ahmed El-Rabbany (2002). “Introduction to GPS,The Global Positioning System.” Artech House Boston, London
- 12) Hexagon AB (2016). “Leica Viva GS15.” Hexagon Geosystems,< <http://goo.gl/2097tO>> (Feb.2, 2016)
- 13) IGS (2014). “International GNSS Service, Formerly the International GPS Service.”< <https://igsb.jpl.nasa.gov/>>(Oct. 10, 2015)
- 14) IGS (2014). “NICO Station Information.” IGS < <https://goo.gl/pB6JSV>> (Oct. 10, 2015)
- 15) ΑΗΚ (2014). “Παραγωγή”, Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου, < <https://goo.gl/pB6JSV>> (March 7, 2016)
- 16) POSITIM (2010). “GNSS Overview.” POSITIM-High Accuracy GNSS Solution and Services, <<http://goo.gl/IPTbwQ>> (Sept. 19, 2015)
- 17) ESA (2015). “What is Galileo.” ESA-Galileo Navigation, <<http://goo.gl/YLeFS>> (Sept. 29, 2015)
- 18) ESA (2015). “Galileo Satellites Handed Over to Operator.” ESA-Galileo Navigation, <<http://goo.gl/vjGft1>> (Sept. 20, 2015)
- 19) ESA (2011). “BeiDou General Introduction.” European Space Agency, <<http://bit.ly/1O0eVq2>> (Nov. 1, 2015)
- 20) (2015). “Τεχνικά Χαρακτηριστικά του GPS.” NaviMania <<http://www.navimania.gr/forum.php>> (Sept. 30,2015)

- 21) NOAA(2015). “Control Segment, Space Segment.” GPS.gov <<http://1.usa.gov/1gfEAru>>(Dec. 1, 2015)
- 22) FAA(2014).“Satellite Navigation - GPS - User Segment.” Federal Aviation Administration, <<http://bit.ly/1rwQfvo>> (Nov. 1,2015)
- 23) Mio Technology UK (2012). “Περιγραφή GPS Τεχνολογίας”<<http://bit.ly/1rwQfvo>>(Dec. 10,2015)
- 24) Ελληνική Κοινότητα Δασολόγων (2015). “Συστήματα Εντοπισμού Θέσης.” <<http://bit.ly/24AiJSZ>> (Nov. 5,2015)
- 25) VERM(2016). “Θεωρία Σφαλμάτων & MET.” Δίκτυα, <http://www.verm.gr/topo_diktia.html>(Jan. 8, 2016)
- 26) TimeAndDate (2015).“What is International Atomic Time (TAI) .” Time Zones,<<http://bit.ly/1q2j15y>> (Nov. 10, 2015)
- 27) NovAtel (2016). “GrafNet.” NovAtel, <<http://bit.ly/1YbhPsj>> (April 20,2016)
- 28) Πανεπιστήμιο Αθηνών (2014). “Θεωρία Σφαλμάτων.”<<http://bit.ly/1SPSi7Z>> (Jan. 8, 2016)
- 29) Κωνσταντίνος Λεκάκης. “Το Παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού θέσης (GPS).”<<http://bit.ly/1VLD3zm>> (Oct. 19, 2015)
- 30) FAA (2014).“GNSS Frequently Asked Questions - GPS”<<http://www.faa.gov/>>(Sept. 30,2015)
- 31) Mark Petovello and Gerand Lachapelle (2006). “PPP”, GNSS Solutions, <<http://bit.ly/100mNI9>>(Oct. 5,2015)
- 32) Zuheir Altamimi(2009). “The International Terrestrial Reference Frame.”<<http://bit.ly/1TLDKoM>>(Jan. 21,2016)
- 33) Κωνσταντίνος Κατσάμπαλος (2005). “Παγκόσμια Συστήματα Εντοπισμού Θέσης.” <http://users.auth.gr/kvek/2_GPS_2005.pdf> (Oct. 9, 2015)
- 34) NovAtel (2015). “Rugged Enclosure Delivers Scalable GNSS with Heading and Wireless Communication Options.”Enclosures ProPak6,<<http://bit.ly/26XQwI2>>(Feb. 2,2016)
- 35) NovAtel (2015). “ProPak6™Installation & Operation-User Manual.”NovAtel, <<http://bit.ly/1T3QFFK>>(Feb. 15,2016)
- 36) Ρ.Κορακίτης (2013). “Συστήματα Αναφοράς στην Ουράνια Σφαίρα.” Γεωδαιτική Αστρονομία, <<http://bit.ly/1Tq43hl>> (Jan. 1, 2016)
- 37) Δημήτρης Δεληκαράογλου (2008). “Δορυφορικές και Διαστημικές Μέθοδοι και Συστήματα Γεωδαιτικού Εντοπισμού.” Διδάσκων Σημειώσεις, <<http://bit.ly/1TuWypB>> (Oct. 19, 2015)
- 38) Αναστασίου Δημήτριος ,Παπανικολάου Ξάνθος, Μαρίνου Αγγελική και Παραδείσης Δημήτριος(2014). “Εισαγωγικές σημειώσεις στο Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Global Positioning System (GPS).” Επιμορφωτικό Σεμινάριο - Εισαγωγή στη Γεωπληροφορική, <<http://bit.ly/1mlsTXd>>(Oct. 19, 2015)
- 39) Κατσουγιαννόπουλος(2015). “Εφαρμογές Παγκοσμίου Δορυφορικού Συστήματος Εντοπισμού Θέσης (GPS).” Σημειώσεις Δορυφορικής Γεωδαισίας <<http://bit.ly/1TLEE4A>>(Oct. 26, 2015)
- 40) Κατσουγιαννόπουλος και Πικριδάς(2006)“Προσδιορισμός συνάρτησης απεικόνισης για τον υπολογισμό της τροποσφαιρικής υστέρησης στα σήματα GPS με χρήση δεδομένων ραδιοβόλισης. Εφαρμογή στον Ελλαδικό χώρο.”,<<http://bit.ly/1Wb52Zb>>(Oct. 9, 2015)
- 41) Πικριδάς και Φωτίου (2003). “Μελέτη της Ιονοσφαιρικής Επίδρασης στο Σχετικό Προσδιορισμό Θέσης με το Σύστημα GPS: Εφαρμογή στην Ευρύτερη Περιοχή της Θεσσαλονίκης από Δεδομένα Μόνιμου Σταθμού GPS.” <<http://bit.ly/1TuXjiE>> (Oct. 9, 2015)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

1. HTML results from GrafNet

Output Results for eac

GrafNet Version 8.60.6129
05/02/2016

Figure 1: Traverse - Map

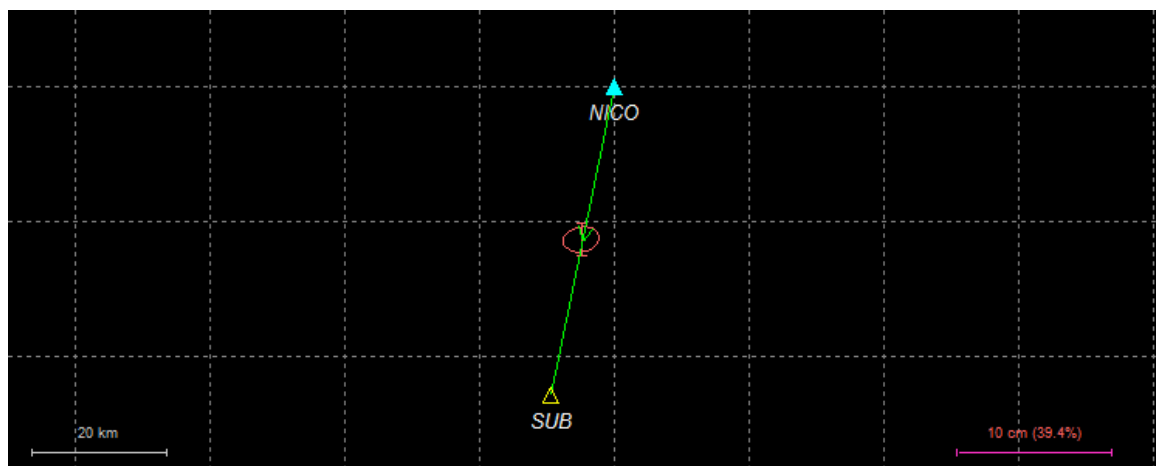


Table 1: Station Coordinates

Coordinate datum is WGS84

Grid coordinates in ECEF

ID	Latitude (D M S)	Longitude (D M S)	Ell-Hgt (m)	Grid-X (m)	Grid-Y (m)
NICO	35 08 27.55656	33 23 47.21398	0.000	4359285.783	2874031.666
SUB	34 43 56.16287	33 17 28.28114	-131.144	4386173.574	2880212.082

Output Results for diktio

GrafNet Version 8.60.6129

04/29/2016

Figure 1: Traverse - Map

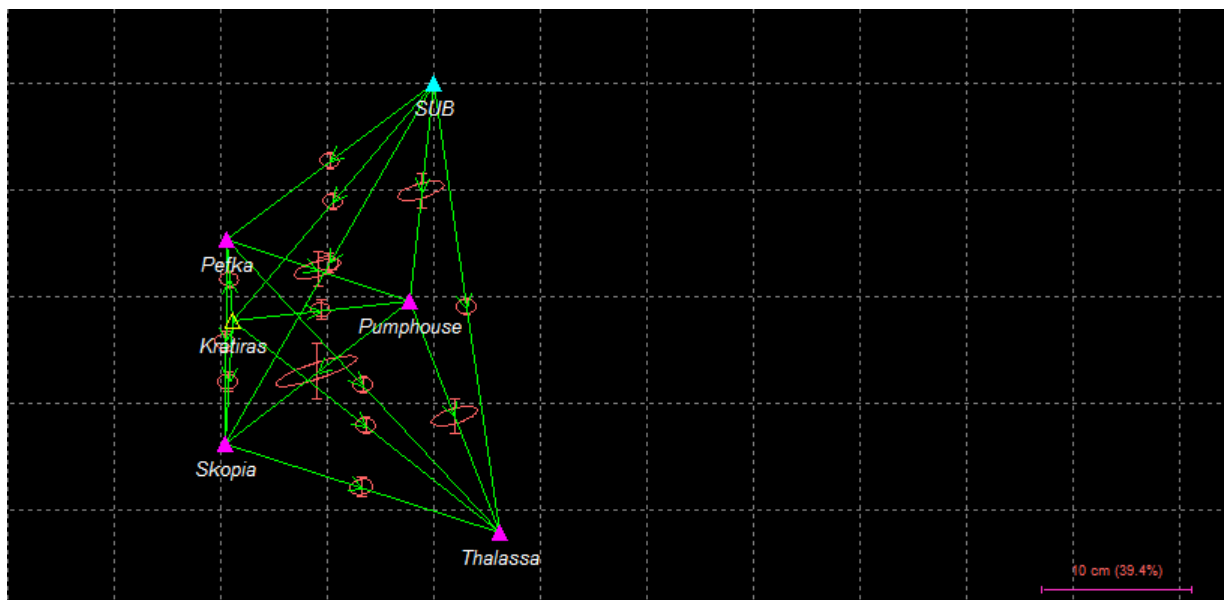


Table 1: Station Coordinates

Coordinate datum is WGS84

Grid coordinates in ECEF

ID	Latitude(D M S)	Longitude (D M S)	Ell-Hgt (m)	Grid-X (m)	Grid-Y (m)
Krat	34 43 41.96917	33 17 13.58647	86.468	4386736.556	2880134.512
Pefk	34 43 46.82024	33 17 13.09644	85.393	4386671.469	2880076.865
Pump	34 43 43.14023	33 17 26.48587	47.674	4386512.593	2880380.060
Skop	34 43 34.59713	33 17 13.02850	64.690	4386837.567	2880183.849
SUB	34 43 56.21522	33 17 28.29444	58.891	4386303.166	2880297.584
Thal	34 43 29.25247	33 17 33.13199	33.099	4386613.550	2880648.643

2. Export λύσης δικτύου στο Google Earth

