



Τεχνολογικό
Πανεπιστήμιο
Κύπρου

Σχολή Μηχανικής και
Τεχνολογίας

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Πτυχιακή εργασία

**ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΦΕΤΗΡΙΩΝ
ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΚΥΠΡΙΑΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ
ΠΑΛΙΡΡΟΙΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ «ΠΥΘΕΑΣ» ΣΤΑ CGRS93
ΚΑΙ ITRF14 ΜΕΣΩ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ**

ΧΡΥΣΑΝΘΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

Λεμεσός 2019

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πτυχιακή εργασία

**ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΑΦΕΤΗΡΙΩΝ
ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΚΥΠΡΙΑΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ
ΠΑΛΙΡΡΟΙΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ «ΠΥΘΕΑΣ» ΣΤΑ CGRS93
ΚΑΙ ITRF14 ΜΕΣΩ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ**

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΧΡΥΣΑΝΘΟΥ

Σύμβουλος καθηγητής
Δρ. Χριστόδουλος Δανέζης

Λεμεσός 2019

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Χρυσάνθου Παναγιώτης, 2019

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.

Ευχαριστίες

Σε αυτό το σημείο θα ήταν παράλειψη μου να μην εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε μία σειρά ατόμων που με βοήθησαν άμεσα και έμμεσα για την επιτυχείς διεκπεραίωση της πτυχιακής μου εργασίας:

-Πρώτα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου , για την σημαντική υποστήριξη και κατανόηση που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια των προπτυχιακών μου σπουδών και ιδιαίτερα κατά την περίοδο της πτυχιακής μου εργασίας.

-Στο Δρ.Δανέζη Χριστόδουλο, επίκουρο καθηγητή του ΤΕ.ΠΑ.Κ, υπεύθυνο και κύριο συντονιστή της πτυχιακής εργασίας ο οποίος με εμπιστεύτηκε για την συνεργασία και τη συγγραφή της πτυχιακής μου εργασίας. Σημαντική ήταν η καθοδήγηση, η συμβολή και οι γνώσεις του σε όλη τη διάρκεια της μελέτης.

-Στον κ.Μενδωνίδα Ευάγγελο επιστημονικό συνεργάτη του ΤΕ.ΠΑ.Κ, όπου η βοήθεια του ήταν ουσιαστική καθοδηγώντας με αμερόληπτα με τις γνώσεις του εντός και εκτός πεδίου.

-Ευχαριστίες στους φίλους, συμφοιτητές, μελλοντικούς συναδέλφους Τουλούπη Γιώργο και Νικολάου Χριστάκη για τις τόσες ώρες αλληλοβοήθειας και συμπαράστασης στο ύπαιθρο και στο γραφείο.

-Κλείνοντας, σε όλους τους καθηγητές του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής που σε αυτή την τετραετή φοίτηση συνέβαλε ο κάθε ένας με τον δικό του τρόπο στην προσπάθεια μου αυτή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες είναι από όλους αποδεκτό πως έχουν αναπτυχθεί νέες τεχνικές εντοπισμού θέσης έναντι των συμβατικών μεθόδων, αναφερόμενος στις τεχνικές προσδιορισμού θέσης με συστήματα GNSS(Global Navigation Satellite Systems). Οι τεχνικές αυτές μπορούν να λειτουργήσουν με την βοήθεια μόνιμων σταθμών δικτύου ή και χωρίς αυτών. Είναι σε θέση πλέον να καλύψουν ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών από τοπογραφικές μέχρι πολύ εξειδικευμένες εργασίες ερευνητικού περιεχομένου.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία εφαρμόστηκε η τεχνική στατικού εντοπισμού για τον ακριβή προσδιορισμό των θέσεων των υψομετρικών αφετηριών αναφοράς (reperes) του Κυπριακού Δικτύου Παλιρροιογραφικών Σταθμών «ΠΥΘΕΑΣ». Πιο συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν τέσσερις καμπάνιες συλλογής δεδομένων μεγάλης διάρκειας χρησιμοποιώντας τα δορυφορικά συστήματα GNSS (GPS, GLONASS). Οι επιλύσεις ενέταξαν τα εν λόγω σημεία στο Κυπριακό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΚΓΣΑ'93) και στο ITRF14.

Οι λήψεις των μετρήσεων για κάθε σημείο ήταν άνω των τριών ωρών με τη χρήση δεκτών Trimble® R9S και κεραιών Trimble® Zephyr® 3. Τα αποτελέσματα προέκυψαν από την επεξεργασία και επίλυση των μετρήσεων της κάθε υψομετρικής αφετηρίας ξεχωριστά μέσω του προγράμματος Trimble® Business Center V5.00.

Ο υπολογισμός των συντεταγμένων της κάθε υψομετρικής αφετηρίας, τόσο οριζοντιογραφικά όσο και κατακόρυφα πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας ως δεδομένα από το επίσημο Κυπριακό δίκτυο μόνιμων σταθμών CYPOS. Σε δεύτερο στάδιο η αρχική σύνδεση με το ITRF14 πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το μόνιμο σταθμό των δικτύων IGS και EPN NICO ο οποίος είναι εγκατεστημένος στην Αθαλάσα στη Λευκωσία. Με αυτό τον τρόπο, οι υψομετρικές αφετηρίες θα μπορούν αφενός να ελέγχονται για ενδεχόμενες μικρομετακινήσεις και αφετέρου καθίσταται δυνατός ο υπολογισμός της αποχής του γεωειδούς με σημαντική ακρίβεια.

Λέξεις κλειδιά: GNSS, Στατικός Εντοπισμός, Παλιρροιογράφοι, Reperes, ΠΥΘΕΑΣ.

ABSTRACT

In the last decades, it is widely accepted the development of new techniques of site locators in contrast to the conventional methods, referring to the positioning techniques using GNSS(Global Navigations Satellite systems). These techniques can operate either with the help of permanent network stations or without them. They are now capable to cover up a huge range of concepts from topographical to more advance investigating content.

In this current thesis, a satellite-related static positioning technique was applied for the precise identification of the positions of the altitude reference points of the tile Network "Pythaeus". More precisely there were four long term data collection campaigns with GNSS systems (GPS, GLONASS). After that, the resolutions were joined to the Cyprus Geodetic Reference System (CGRS 1993) and ITRF14.

The readings of the data measured were taken over 3 hours for each individual point using Trimble® R9S receivers and Trimble® Zephyr® 3 antennas. The results were an outcome from processing and the resolution of each elevation starting via Trimble® Business Center V5 .00.

The calculation of the coordinates of each altitude starting point was rendered, both horizontally and vertically using data from the official Cypriot network of permanent stations CYPOS. In the second stage, the initial connection to ITRF14 was carried out using the IGS and EPN NICO permanent station established in Athalassa in Nicosia. In this way, the altitude starting points can be checked for possible small displacements and, on the other hand, it is possible to calculate the abstention of the geoid with considerable accuracy.

Keywords: GNSS, Static Positioning, Tall Clips, Reperes, PYTHEA

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	vi
ABSTRACT.....	vii
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	viii
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	xii
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Γενικά.....	1
1.2 Σκοπός Πτυχιακής εργασίας	2
2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ GNSS ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	2
2.1 Εισαγωγή.....	2
3 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ-GNSS(Global Navigation Satellite Systems).....	4
3.1 Σύστημα Δορυφορικού Εντοπισμού GPS(Global Positioning System)	4
3.1.1 Το τμήμα διαστήματος.....	5
3.1.2 Τμήμα επίγειου ελέγχου	5
3.1.3 Τμήμα Χρηστών	5
3.2 Σύστημα δορυφορικού εντοπισμού GLONASS	6
3.3 Σύστημα δορυφορικού εντοπισμού GALILEO	6
4 ΔΕΚΤΕΣ GNSS	6
4.1 Αρχές λειτουργίας.....	6
4.1.1 Μέτρηση απόστασης δορυφόρου-δέκτη.....	6
4.1.2 Αποστάσεις μέσω ψευδοαποστάσεων	7
4.1.3 Αποστάσεις μέσω φάσεων.....	8
5 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ	9
5.1 Κατηγορίες με βάση το χρόνο υπολογισμού των συντεταγμένων.....	10

5.1.1	Σε πραγματικό χρόνο (Real Time Positioning)	10
5.1.2	Εκ των υστέρων (Post Processing Positioning)	10
5.2	Σχετικός εντοπισμός.....	10
5.2.1	Στατικός εντοπισμός (Static Positioning).....	11
5.2.2	Κινηματικός σε πραγματικό χρόνο(Real time Kinematic).....	11
5.2.3	Γραμμικοί Συνδυασμοί	12
5.2.4	Απλές διαφορές(single differences).....	12
5.2.5	Διπλές διαφορές(Double differences).....	13
5.2.6	Τριπλές διαφορές(Triple Differences).....	13
5.3	Απόλυτος εντοπισμός.....	14
5.3.1	Απόλυτος εκ των υστέρων επεξεργασία(post-processing).....	14
5.3.2	Απόλυτος σε πραγματικό χρόνο	15
5.3.3	Ακριβείς Απόλυτος εντοπισμός(Precise Point Positioning).....	15
5.4	Διαφορικός εντοπισμός.....	15
6	ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ	16
6.1	Συστηματικά σφάλματα	16
6.1.1	Σφάλματα δορυφόρων	16
6.1.2	Σφάλματα ατμόσφαιρας.....	16
6.1.3	Σφάλματα στο Επίπεδο του Δέκτη	17
6.2	Χονδροειδή σφάλματα	17
6.3	Τυχαία σφάλματα	17
7	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΧΡΟΝΟΥ	18
7.1	Παγκόσμιος και Αστρικός χρόνος	18
7.1.1	Παγκόσμιος χρόνος UT(Universal Time/UT0)	18
7.1.2	Αστρικός χρόνος	18
7.2	Ατομικός Χρόνος	18

7.3	Παγκόσμιος συντονισμένος χρόνος	19
7.4	Χρόνος GPS	19
7.5	Ατομικά χρονόμετρα.....	19
8	ΔΙΚΤΥΑ ΜΟΝΙΜΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (CORS-Continuously Operating Reference Station) και διαδικτυακές εφαρμογές	20
8.1	Διεθνή δίκτυα	20
8.2	Μόνιμοι Σταθμοί Αναφοράς στην Κύπρο.....	21
8.2.1	Πλεονεκτήματα τοπικών μόνιμων δικτύων	22
8.2.2	Δυνατότητες δικτύου για διαδικτυακές λύσεις.....	22
9	ΔΙΚΤΥΟ ΠΑΛΛΗΡΟΙΟΓΡΑΦΩΝ ‘‘ΠΥΘΕΑΣ’’	23
10	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	24
10.1	Γεωδαιτικά Συστήματα Αναφοράς.....	24
10.2	Κυπριακό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1993(ΚΓΣΑ '93).....	25
11	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΈΡΕΥΝΑΣ	26
11.1	Όργανο λήψης-Trimble R9S	29
11.1.1	Πληροφορίες δέκτη.....	29
11.1.2	Πληροφορίες Κεραίας Trimble® Zephyr 3 Base Antenna.....	30
11.2	Εργασίες Πεδίου.....	30
11.2.1	Σήμανση σημείων μέτρησης-εξασφαλίσεις.....	30
11.2.2	Διαδικασία μετρήσεων	31
11.2.3	Συμπλήρωση Εντύπου Δορυφορικών Μετρήσεων.....	32
11.2.4	Ενδεικτικές φωτογραφίες πεδίου	33
11.3	Εργασίες Γραφείου.....	33
11.3.1	Εξαγωγή μετρήσεων	33
11.3.2	Επεξεργασία μέσω Trimble® Business Center Version 5.00	34
12	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	48

12.1	Αποτελέσματα και Συντεταγμένες σημείων με βάση το μόνιμο σταθμό δικτύων του ΤΚΧ.....	48
12.2	Αποτελέσματα και Συντεταγμένες σημείων με βάση το μόνιμο σταθμό NICO. Πίνακας 2: REPERE-NICO	51
12.3	Δορυφορικές εικόνες-βάσεις Repere –Σταθμών	54
13	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	56
14	ΕΠΙΛΟΓΟΣ	57
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	58

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΤΕΠΑΚ.:	Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου
ΒΤΠ:	Βιβλιοθήκη Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου
ΤΚΧ:	Τμήμα Κτηματογίου και Χωρομετρίας
ΚΓΣΑ93:	Κυπριακό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1993
ΠΣ:	Παλιρροιογραφικοί Σταθμοί
EUREF:	European Reference Frame
ESA:	European Space Agency
GLONASS:	Global Navigation Satellite System
GNSS:	Global Navigation Satellite System
GPS:	Global Positioning System
ITRF:	International Terrestrial Reference System
RTK:	Real Time Kinematic
WGS84:	World Geodetic System 1984
RMS:	Root mean square
HDOP:	Horizontal Dilution of Precision
VDOP:	Vertical Dilution of Precision

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Στην εποχή που διανύουμε της ραγδαίας τεχνολογικής ανάπτυξης και εξέλιξης, η ένταξη νέων μεθόδων εντοπισμού θέσης με άλλες καινούργιες μεθόδους έναντι των συμβατικών είναι πλέον δεδομένο.

Ο διαχρονικός ανταγωνισμός μεταξύ των μεγάλων χωρών για στρατιωτικούς και πολιτικούς κυρίως λόγους ήταν και η κύρια αιτία δημιουργίας των δορυφορικών συστημάτων. Την έναρξη της εποχής αυτής χάραξε η πρώτη Ένωση Σοβιετικών Σοσιαλιστικών Δημοκρατιών(ΕΣΣΔ) κατά την διάρκεια του ψυχρού πολέμου, πιο συγκεκριμένα τη δεκαετία του '50 με τον πρώτο δορυφόρο Sputnik 1.

Στη συνέχεια ακολούθησαν ολοκληρωμένα συστήματα εντοπισμού θέσης τόσο από την Ρωσία με το GLONASS , όσο και από άλλες υπερδυνάμεις όπως η Η.Π.Α με το πιο διαδεδομένο μέχρι στιγμής GNSS το γνωστό GPS(Global Positioning System) και στη συνέχεια η Κίνα με το Compass/BeiDou. Προσεχώς θα ολοκληρωθεί το πρώτο κοινωφελές δορυφορικό σύστημα το GALILEO, το οποίο θα εξυπηρετεί τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Με την πάροδο του χρόνου γίνονταν σημαντικές εξελίξεις και αναβαθμίσεις στα συστήματα του δορυφορικού εντοπισμού αυξάνοντας συνεχώς τις ακρίβειες απόδοσης. Η εγκατάσταση όλων και περισσότερων μόνιμων επίγειων σταθμών, η μοντελοποίηση παραμέτρων σφάλματος όπως είναι τα ατμοσφαιρικά, τα τροχιακά και η χρήση περισσότερων από μία συχνότητα και κώδικες, είναι μερικά από τα σημαντικότερα βήματα για την βελτίωση του δορυφορικού εντοπισμού.

Εκτός από τις λήψεις του δέκτη GNSS ο χρήστης χρησιμοποιεί μετρήσεις και διορθώσεις οι οποίες προέρχονται από ένα σύνολο μόνιμων σταθμών όπου ανήκουν στο ίδιο δίκτυο. Αποτέλεσμα αυτού ο υπολογισμός και η εξάλειψη των σφαλμάτων που θα προκύψουν, φτάνοντας στην καλύτερη δυνατή ακρίβεια ανάλογα με την εφαρμογή.

1.2 Σκοπός Πτυχιακής εργασίας

Η πτυχιακή εργασία βασίστηκε στον συνδυασμό λήψεων μετρήσεων από δύο δορυφορικά συστήματα του GPS και του GLONASS. Έγινε χρήση καθαρά σχετικού στατικού εντοπισμού για τον όσον πιο ακριβείς προσδιορισμό τεσσάρων σημείων σε αλιευτικά καταφύγια του νησιού με τη χρήση του μόνιμου δικτύου του TKX αλλά και του παγκόσμιου μόνιμου σταθμού NICO του οργανισμού EUREF που εγκαθίσταται στην επαρχία Λευκωσίας. Στη συνέχεια έγινε η σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των δύο δικτύων που χρησιμοποιήθηκαν .

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων θα οδηγήσει σε σορό συμπερασμάτων και απάντηση ερωτημάτων σχετικά με το θεωρητικό υπόβαθρο των δορυφορικών συστημάτων, δεκτών GNSS , μεθόδου εντοπισμού και το πως επηρεάζουν μία σειρά από παραμέτρους όπως για παράδειγμα:

- Το μήκος της βάσης base και rover,.
- Η διάρκεια των μετρήσεων.
- Η χρήση ακριβέστερων εφημερίδων .
- Η γωνία αποκοπής των δορυφόρων.
- Η συχνότητα λήψης μετρήσεων .

Τέλος η απόδοση μίας υποκειμενικής άποψης για το ποιο ακριβέστερο και αξιόπιστο δορυφορικό σύστημα που είναι διαθέσιμο μέχρι στιγμής.

2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ GNSS ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Η βασική ιδέα του δορυφορικού εντοπισμού είναι ο υπολογισμός της γεωμετρικής απόστασης μεταξύ ενός γνωστού σημείου το οποίο κινείται σε συγκεκριμένη τροχιά και ταχύτητα(δορυφόρος), όπου λειτουργούν ως σημεία αναφοράς, και ενός δέκτη. Με τις μεθόδους του δορυφορικού εντοπισμού είναι δυνατόν να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες οποιουδήποτε σημείου πάνω στη ΦΓΕ(Φυσική Γήινη Επιφάνεια) σε κάποιο Σύστημα Αναφοράς.

Για να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες του δέκτη είναι απαραίτητο να μετρηθεί ο χρόνος ταξιδιού του σήματος στο κενό. Δηλαδή ο χρόνος από τη στιγμή εκπομπής του σήματος από το δορυφόρο μέχρι ο δέκτης να το λάβει. Επίσης θα πρέπει να είναι η ακριβείς συντεταγμένες του δορυφόρου(X,Y,Z) στο παγκόσμιο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς, για κάθε δεδομένη χρονική στιγμή εκπομπής σήματος .

Στην συνέχεια πρέπει να γίνουν οι διορθώσεις σε επίπεδο σήματος όσον αφορά τις καθυστερήσεις του λόγω της γήινης ατμόσφαιρας. Το σήμα διαπερνά διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα να παρατηρηθούν καθυστερείς μεταξύ χρόνου εκπομπής και λήψης του σήματος. Το σήμα κατά τη διάρκεια αυτή θα διαπεράσει από ιονόσφαιρα, τροπόσφαιρα τυγχάνοντας πολλαπλών διαδρομών και ανακλάσεων.

Τέλος οι διορθώσεις στα σφάλματα μεταξύ των χρονομέτρων δορυφόρου και δέκτη είναι εξαιρετικής σημασίας. Ως γνωστό τα χρονόμετρα των δορυφόρων είναι ατομικά φτάνοντας μεγάλες ακρίβειες και μηδαμινές αποκλίσεις σε μεγάλο διάστημα χρόνου με βασικές κλίμακες χρόνου. Σε αντίθεση με τα χρονόμετρα του δέκτη τα οποία είναι χρονόμετρα χαλαζία με καλή σταθερότητα μόνο στην αρχή.

Η αρχή λειτουργίας του δορυφορικού εντοπισμού και ο προσδιορισμός της θέσης, είναι ο τριπλευρισμός και όχι ο τριγωνισμός. Δηλαδή η εφαρμογή της κλασικής τοπογραφικής εμπροσθοτομίας εύρεσης συντεταγμένων άγνωστων σημείων από γνωστά σημεία με βάση τις αποστάσεις μεταξύ τους.

Ο τρισδιάστατες συνταγμένες σημείου(X,Y,Z) σε κλασικά τοπογραφικά προβλήματα επιτυγχάνετε μέσω τριών γνωστών σημείο προς ένα άγνωστο, εντούτοις στην περίπτωση του δορυφορικού εντοπισμού αναγκαία είναι τέσσερα γνωστά σημεία.

Οι μετρούμενες αποστάσεις δορυφόρου δέκτη αντιστοιχούν σε ακτίνες σφαίρας με κέντρο τον ίδιο το δορυφόρο. Ανάλογα με τον αριθμό παρατηρήσεων δημιουργείται και ο αντίστοιχος αριθμός σφαιρών. Σαν θεωρητικό κομμάτι ο ελάχιστος αριθμός επίλυσης και εύρεσης των συντεταγμένων είναι τρεις. Φυσικά η τομή και των τριών σφαιρών είναι σε δύο σημεία στο χώρο. Η απόφαση για το ποιο από τα δύο σημεία είναι η λύση,

χρειάζεται και μία τέταρτη παρατήρηση. Αυτό θα ήταν μία πλεονάζω μέτρηση γιατί εύκολα μπορεί να αποκληθεί δύο εκ των τριών τομών για το λόγο ότι θα βρίσκεται πολύ μακριά από το σημείο , σε κάποιο άλλο ημισφαίριο ή ακόμα και εκτός γης.

Από την άλλη μεριά μία τέταρτη μέτρηση χρειάζεται για το συγχρονισμό του ρολογιού του δορυφόρου με αυτό του δέκτη σε κάποιο παγκόσμιο χρόνο. Εύκολα πλέον με ένα σύστημα τεσσάρων αγνώστων και τεσσάρων εξισώσεων επιτυγχάνετε η εύρεση της θέσης του δέκτη. Όσο περισσότερες παρατηρήσεις έχουμε ο βαθμός ελευθερίας αυξάνετε με αποτέλεσμα να έχουμε όλο και πιο ακριβή προσδιορισμό και μικρότερες αβεβαιότητες.

Η θέση της κεραίας προσδιορίζεται αρχικά σε παγκόσμιες γεωκεντρικές συντεταγμένες της οποίες λειτουργεί το σύστημα των δορυφόρων. Στη συνέχεια αυτές μέσω του δέκτη μπορούν να μετατραπούν σε ελλειψοειδές συντεταγμένες ως προς κάποιο άλλο τοπικό σύστημα αναφοράς που επιθυμεί ο χρήστης με βάση κατάλληλου μετασχηματισμού.

3 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΟΗΓΗΣΗΣ- GNSS(Global Navigation Satellite Systems)

3.1 Σύστημα Δορυφορικού Εντοπισμού GPS(Global Positioning System)

Το παγκόσμιο σύστημα προσδιορισμού θέσης (GPS) σχεδιάστηκε από τις ΗΠΑ με αρχικό σκοπό τις στρατιωτικές ανάγκες της ναυσιπλοΐας. Αποτελείται από ένα δίκτυο δορυφόρων όπου ο κάθε ένας είναι σε αυστηρά συγκεκριμένη κυκλική τροχιά γύρο από την γη μεταδίδοντας κωδικοποιημένη πληροφορία προς όλους του διαθέσιμους δέκτες. Το σύστημα έχει την δυνατότητα παροχής σήματος για ζητήματα εντοπισμού πανταχού καιρού, οποιασδήποτε ώρας και εξυπηρέτηση απεριόριστου αριθμού χρηστών.

Το συγκεκριμένο σύστημα προσδιορισμού θέσης αποτελείται από τρία βασικά τμήματα. Το τμήμα διαστήματος, το τμήμα επίγειου ελέγχου και το τμήμα χρηστών.

3.1.1 Το τμήμα διαστήματος

Το τμήμα διαστήματος αποτελείται από μία ομάδα 30 δορυφόρων. Η πλήρης λειτουργία του απαιτεί 24 επιχειρησιακούς δορυφόρους με αποτέλεσμα να καλύπτεται με καλή γεωμετρία η κάθε θέση της ΦΓΕ σε οποιαδήποτε δεδομένη στιγμή. Οι συγκεκριμένοι δορυφόροι βρίσκονται σε 6 τροχιακά επίπεδα με 4 δορυφόρους σε κάθε ένα από αυτό, έχοντας ένα μέσο υψόμετρο τροχιάς στα 20200 χιλιόμετρα. Με αυτή τους την τροχιακή διαμόρφωση θα μπορεί ο κάθε δέκτης να λάβει σήμα από τουλάχιστον 4 δορυφόρους για τον εντοπισμό της θέσης του με βάση τις ακριβείς πληροφορίες για τη θέση, το υψόμετρο, την ταχύτητα των δορυφόρων και την κίνηση τους. Οι υπόλοιποι δορυφόροι είναι σε ετοιμότητα για αντικατάσταση οποιουδήποτε δορυφόρου σε περίπτωση βλάβης ή οποιασδήποτε άλλης έκτακτης ανάγκης.

3.1.2 Τμήμα επίγειου ελέγχου

Το τμήμα επίγειου ελέγχου είναι υπεύθυνο για την παρακολούθηση των δορυφόρων. Υπολογίζονται οι τροχιές των δορυφόρων καθώς επίσης γίνεται και ο συγχρονισμός των ρολογιών δορυφόρου δέκτη. Η διαδικασία αυτή γίνεται από 5 σταθμούς παρακολούθησης, 3 σταθμούς τηλεπικοινωνίας και ένα κεντρικό σταθμό που έχει την δυνατότητα επέμβασης στη λειτουργία των δορυφόρων ως προς την τροχιά και το σχηματισμό τους. Ανάκτηση δεδομένων και μηνύματος πλοήγησης από κάθε δορυφόρο γίνεται τρεις φορές την ημέρα.

3.1.3 Τμήμα Χρηστών

Το τμήμα χρηστών αποτελείται από όλους τους χρήστες οι οποίοι έχουν τον κατάλληλο εξοπλισμό-δέκτη. Χρήστες μπορούν να λάβουν πληροφορία σε οποιαδήποτε θέση και αν βρίσκονται είτε αυτή είναι επίγεια, θαλάσσια ή εναέρια. Ανάλογα του εξοπλισμού που διαθέτουν χωρίζεται και αυτό σε άλλες τρεις υποκατηγορίες όπου καθορίζεται και η ακρίβεια εντοπισμού θέσης. Αυτές είναι η κατηγορία καταναλωτών, χαρτογράφησης και η κατηγορία γεωδαιτικών δεκτών. Η ακρίβεια είναι κατά αύξουσα σειρά αντίστοιχα όπου επηρεάζεται από την ταχύτητα και την κατάσταση των χρονομέτρων της κάθε υποκατηγορίας.

3.2 Σύστημα δορυφορικού εντοπισμού GLONASS

Παράλληλα με την δημιουργία του GPS ακριβώς για τους ίδιους αρχικά στρατιωτικούς λόγους η ΕΣΣΔ σχεδιάζει ένα παρόμοιο τεχνολογικά σύστημα δορυφορικού εντοπισμού με το όνομα GLONASS. Η διάταξη των δορυφόρων διαφέρει, δηλαδή από τέσσερα τροχιακά επίπεδα του GPS εδώ έχουμε μόνο τρία. Το κάθε τροχιακό επίπεδο είναι εφοδιασμένο με 8 δορυφόρους, εκ των οποίων οι 6 είναι σε πλήρη λειτουργία, έχοντας στο σύνολο 24 δορυφόρους. Παρατηρείται μειωμένος αριθμός σε σχέση με το Αμερικάνο σύστημα ωστόσο οι ακρίβειες και η κάλυψη είναι ικανοποιητική για οποιοδήποτε σημείο της ΦΓΕ.

3.3 Σύστημα δορυφορικού εντοπισμού GALILEO

Το μοναδικό κοινωφελές δορυφορικό σύστημα εντοπισμού το οποίο είναι στα στάδια υλοποίησης μέχρι στιγμής, το οποίο αναπτύσσεται από τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης και θα ελέγχεται από την Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία-ESA (European Space Agency). Σκοπός του είναι καθαρά για πολιτικοκοινωνικός με μεγάλη απόδοση ακρίβεια σε παγκόσμια κλίμακα. Το σύμπλεγμα των χωρών της Ε.Ε στοχεύει εκτός από την συνήθη χρήση των δορυφορικών συστημάτων και σε άλλες εφαρμογές κοινωνικού, πολιτικού και περιβαλλοντικού χαρακτήρα. Μερικές από τις εφαρμογές είναι υπηρεσίες διάσωσης και έρευνας, προστασία του περιβάλλοντος, έλεγχος συγκοινωνιών και άλλα. Με την υλοποίηση του θα έχει στο δυναμικό του 30 δορυφόρους σε τρία τροχιακά επίπεδα και εκτιμάται πως θα παρέχεται πληροφορία για κάθε δέκτη από τουλάχιστον έξι έως οκτώ δορυφόρους την ίδια στιγμή. Το επίγειο τμήμα θα απαρτίζεται από δύο κεντρικούς σταθμούς ελέγχου και από σταθμούς παρακολούθησης.

4 ΔΕΚΤΕΣ GNSS

4.1 Αρχές λειτουργίας

4.1.1 Μέτρηση απόστασης δορυφόρου-δέκτη

Ο κάθε δορυφόρος παράγει και εκπέμπει συνεχώς δύο τύπους σήματος προς όλους τους δέκτες. Ο πρώτος τρόπος μέτρησης απόστασης είναι μέσω της φέρουσας συχνότητας

και ο δεύτερος μέσω του κώδικα εκπομπής. Η έννοια των δύο αυτών είναι πολύ σημαντική για αυτό και ο λόγος υπολογισμού της απόστασης από τους γεωδαιτικούς δέκτες και με τους δύο τρόπους.

4.1.2 Αποστάσεις μέσω ψευδοαποστάσεων

Η μέτρηση του χρόνου εκπομπής και λήψεις του σήματος, από κάποιο δορυφόρο προς ένα διαθέσιμο δέκτη, αυτό είναι αρκετό για να μετρηθεί η απόσταση ταξιδιού του. Ευκολά επιτυγχάνεται μέσω του φυσικού νόμου της ομαλής ευθύγραμμης κίνησης θεωρώντας ότι είναι γνωστοί οι χρόνοι δορυφόρου και δέκτη, καθώς και ότι το σήμα ταξιδεύει στο κενό με ταχύτητα ίση με αυτή του φωτός $c=299792458$ km/h.

Εφαρμόζοντας τη θεωρία αυτού του νόμου προκύπτει ότι: απόσταση(X)=ταχύτητα(v) * χρόνο(t). Το μόνο που είναι πλέον άγνωστο είναι η μέτρηση του χρόνου διάδοσης του σήματος από το δορυφόρο στην κεραία. Ο χρόνος που μεσολαβεί προκύπτει από το χρονόμετρο του δορυφόρου($t_{\text{satellite}}$) και από το χρονόμετρο του δέκτη(t_{receiver}). Συνεπώς η σχέση πλέον διαμορφώνεται ως εξής: $x=c*(t_{\text{receiver}}-t_{\text{satellite}})$. Έτσι με αυτό τον τρόπο γίνεται μία εκτίμηση της γεωμετρικής απόστασης δορυφόρου-δέκτη χωρίς οποιεσδήποτε διορθώσεις σφαλμάτων για αυτό και αποκαλείται και ψευδοαπόσταση. Για να θεωρηθεί η ορθή γεωμετρική απόσταση θα πρέπει να γίνει ο συγχρονισμός των χρονομέτρων δορυφόρου-δέκτη, ατμοσφαιρικές διορθώσεις καθώς και διορθώσεις τυχών ανακλάσεων του σήματος.

Κάθε δορυφορικό σύστημα για να μετρήσει την απόσταση μεταξύ δορυφόρου και δέκτη εκπέμπει μία σειρά από μετρητικούς κώδικες. Οι κώδικες αυτοί είναι δύο. Ο C/A code(Coarse Acquisition) ο οποίος είναι ανοικτός για πολιτική χρήση που μεταφέρει επίσης τη συχνότητα L1, ενώ P/Y Code(Precise/Protected) είναι καθαρά για στρατιωτική χρήση έχοντας τις συχνότητες L1 και L2.

Οι κώδικες είναι δυαδικής μορφής, από μία ακολουθία ψηφίων (0 και 1)-binary bits ή chips όπου μέσω αυτών γίνεται και η μεταφορά του δορυφορικού χρόνου. Κάθε δορυφόρος εκπέμπει τους δικούς του μοναδικούς κώδικες ενώ παράλληλα παράγονται πιστά αντίγραφα αυτών και από τους γεωδαιτικούς δέκτες. Αποτέλεσμα αυτού να μπορέσει να γίνει η αναγνώριση του κάθε δορυφόρου που μεταδίδει το σήμα.

4.1.3 Αποστάσεις μέσο φάσεων

Η μέτρηση της απόστασης δορυφόρου-δέκτη είναι σαν συνάρτηση των μετρούμενων κύκλων φάσης. Ο κάθε δορυφόρος υποστηρίζει και εκπέμπει ένα μοναδικό σήμα ναυσιπλοΐας σε μερικές διαφορετικές συχνότητες L ζώνης και μήκος κύματος λ . Οι πιο συνήθεις συχνότητες του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που εκπέμπουν οι πλείστοι δορυφόροι είναι η L1 στα 1575,42 MHz και η L2 στα 1272,60 MHz με μήκος κύματος $\lambda_1=19,029\text{m}$ και $\lambda_2=24,421$ αντίστοιχα για κάθε συχνότητα. Με την πάροδο του χρόνου και της βελτίωσης των δορυφορικών συστημάτων ορισμένοι δορυφόροι προχώρησαν σε νέες και ακριβέστερες συχνότητες για την μείωση της αβεβαιότητας του εντοπισμού θέσης.

Οι δέκτες που χρησιμοποιούνται σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει μπορούν να λαμβάνουν σήματα τουλάχιστον στην συχνότητα L1. Αυτή η κατηγορία δεκτών μπορούν να προσδιορίσουν τις σχετικές θέσεις μεταξύ των σημείων με αρκετά μεγάλες ακρίβειες. Σε περίπτωση όπου ο δέκτης υποστηρίζει και τη συχνότητα L2 έχει το πλεονέκτημα στο να διορθώσει επιδράσεις ιονόσφαιρας. Αυτό δεν έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στο σχετικό εντοπισμό όπου δημιουργούνται βάσεις μικρότερες των 50 χιλιομέτρων καθώς επίσης γίνεται χρήση κατάλληλων τεχνικών και μοντέλων ανάλυσης.

Η μέτρηση της φάσης γίνεται με μεγάλη ακρίβεια αλλά στιγμιαία δηλαδή μόνο για τη στιγμή λήψης του σήματος από το δέκτη. Με το συγκεκριμένο τρόπο μέτρησης της απόστασης υπάρχει ασάφεια για το λόγο ότι δεν είναι δυνατόν να μετρηθεί ο ακέραιος αριθμός κύκλος που δημιουργούνται κατά την διάρκεια του ταξιδιού του σήματος παρουσιάζοντας κύκλους ολίσθησης. Αναγκαίο λοιπόν η συνεχείς παρακολούθηση του αριθμού των ακέραιων κύκλων. Ο προσδιορισμός τους μπορεί να γίνει μέσω της βοήθειας των εκπεμπόμενων μετρητικών κωδίκων C/A και P και της παρατήρηση των δορυφόρων για αρκετό χρονικό διάστημα όπου είναι και η θεμελιώδης αρχή για όλες τις γεωδαιτικές εφαρμογές.

Σε περίπτωση που κάποιος κύκλος δεν μετρηθεί καθώς χαθεί το σήμα προσωρινά ή δεν λαμβάνεται υπόψη, αυτό υπολογίζεται σαν λάθος στην μετρούμενη απόσταση και τα συνέπεια στον εντοπισμό της θέσης. Ποικίλουν οι λόγοι του φαινομένου αυτού λόγω εξωγενών παραγόντων, φυσικών και τεχνικών εμποδίων όπου επηρεάζουν την ορατότητα μεταξύ δορυφόρου-δέκτη ή ακόμα από παρεμβολές στα ραδιοκύματα από την ατμόσφαιρα. Ωστόσο οι σημερινοί γεωδαιτικοί δέκτες GNSS έχουν την τεχνολογία να εντοπίζουν του χαμένους ακέραιους κύκλους και να γίνεται η άμεση αποκατάσταση αυτών. Φυσικά πάντα αναφερόμαστε σε δέκτες που είναι ικανοί να μετρούν και τα δύο είδη μεγεθών κώδικα και φάσης και την εφαρμογή της τεχνικής τριπλών διαφορών.

Η ακρίβεια μέτρησης με συνεχούς φάσης του φέροντος κύματος είναι και ακριβέστερος τρόπος μεταξύ των δύο. Η μετρήσεις με βάση κώδικα, προσδιορίζεται η απόσταση με ακρίβεια τάξης μεγέθους ενός μέτρου ενώ τη χρήση φάσης είναι της τάξης του ενός χιλιοστού. Αυτό δεν σημαίνει ότι είναι και αντιπροσωπευτική ακρίβεια προσδιορισμού θέσης εφόσον υπάρχουν σφάλματα και πάντα θα υπάρχουν όσον καλά και να γίνει ο τρόπος μοντελοποίησης.

5 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ

Η αυξανόμενες ανάγκες από τους χρήστες και η πληθώρα τύπων εργασιών για τον προσδιορισμό της θέσης με την ανάλογη απαιτούμενη ακρίβεια, οδήγησε σε διαφορετικές μεθόδους εντοπισμού και επιλογή δεκτών GNSS.

Η διάκριση των κατηγοριών εντοπισμού χωρίζεται σε τρεις βασικές κατηγορίες. Η πρώτη διάκριση των μεθόδων είναι βασικά με το χρόνο υπολογισμού της θέσης του σημείου σε πραγματικό ή εκ των υστέρων μέσο μετεπεξεργασίας, η δεύτερη κατηγορία βασίζεται στην αβεβαιότητα προσδιορισμού θέσης όπου χωρίζεται σε απόλυτο, διαφορικό και σχετικό προσδιορισμό. Τέλος μια τρίτη κατηγορία αναλόγως της κινητικής κατάστασης του δέκτη κατά την διάρκεια των μετρήσεων διακρίνοντας σε στατικό και κινηματικό.

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου δεν είναι με βάση κάποιων κανόνων ή προτύπων. Αυτό έγκειται στην γνώση και την εμπειρία του εκάστοτε μηχανικού για κάθε περίπτωση εφαρμογής.

5.1 Κατηγορίες με βάση το χρόνο υπολογισμού των συντεταγμένων

5.1.1 Σε πραγματικό χρόνο (Real Time Positioning)

Οι συντεταγμένες του σημείου προσδιορίζονται από το δέκτη την χρονική στιγμή των μετρήσεων σε διάστημα μερικών δευτερολέπτων. Η δημοφιλέστερη εφαρμογή του είναι κατά την τεχνική του σχετικού κινηματικού εντοπισμού (RTK-Real Time Kinematic) όπου είναι η ευρεία εφαρμογή κυρίως για τοπογραφικές μεθόδους.

5.1.2 Εκ των υστέρων (Post Processing Positioning)

Στην περίπτωση αυτή ο προσδιορισμός της θέσης υπολογίζεται στο γραφείο μετά το πέρας των μετρήσεων στο πεδίο. Γίνεται η επεξεργασία των μετρούμενων μεγεθών μέσω Ηλεκτρονικού Υπολογιστή ή ακόμη μπορεί να γίνει χρήση διαδικτυακών υπηρεσιών PPP(Post Processing Positioning) μέσω των υπηρεσιών NASA(National Aeronautics and Space Administrator) και NRC(National Resources Canada).

5.2 Σχετικός εντοπισμός

Τεχνική εντοπισμού όπου το σημείο προσδιορίζεται σε σχέση με κάποιο άλλο γνωστόν συντεταγμένων. Συνεπώς ο ελάχιστος αριθμός δεκτών είναι δύο. Ο ένας εκ των δύο είναι αναγκαστικά στάσιμος σε σημείο το οποίο προσδιοριστική η θέση του με εξαιρετική ακρίβεια σε κάποιο παρελθοντικό χρόνο ή ακόμα και εκείνη την στιγμή με δορυφορικές ή άλλες συμβατικές μεθόδους. Ο δέκτης αυτός έχει την ιδιότητα του δέκτη αναφοράς (base receiver) λαμβάνοντας συνεχώς μετρήσεις από δορυφορικά συστήματα. Ο δεύτερος δέκτης όπου είναι και ο κινούμενος (Rover Receiver) τοποθετείται στα σημεία ενδιαφέροντος όπου πρέπει να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες τους. Ο δέκτης Rover παραμένει σε κάθε σημείο ανάλογα με την απαιτούμενη ακρίβεια της εφαρμογής, από διάστημα 1 δευτερολέπτου μέχρι ωρών.

Αναπόσπαστο κομμάτι του συγκεκριμένου εντοπισμού είναι ο υπολογισμός του διάνυσματος που σχηματίζεται μεταξύ δέκτη base και δέκτη rover. Το διάνυσμα αυτό είναι γνωστό και ως βάση η οποία δεν πρέπει να είναι υπερβαίνει το μέγεθος των 25-30 χιλιομέτρων. Μετά από κατάλληλη επεξεργασία προσδιορίζεται το τρισδιάστατο αυτό διάνυσμα ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) της βάσης όπου αναφέρεται στο μήκος που απέχουν οι δύο δέκτες. Τέλος, η ακρίβεια με την οποία προσδιορίζεται το σημείο (rover) βασίζεται στο πόσο καλά υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες της σημείου αναφοράς (base) ανεξάρτητα με από την ακρίβεια που απόδωσε ο δέκτης τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

Στη συνέχεια ο σχετικός εντοπισμός χωρίζεται κατηγορίες όπου βασίζεται ο βαθμός αβεβαιότητας και η ακρίβεια απόδοσης των συντεταγμένων του σημείου. Η διαφοροποίηση των κατηγοριών γίνεται με βάση τη διάρκεια των μετρήσεων και το χρόνο επεξεργασίας τους. Οι κατηγορίες αυτές είναι:

5.2.1 Στατικός εντοπισμός (Static Positioning)

Ο δέκτης rover παραμένει σταθερός για όλη τη διάρκεια των μετρήσεων στο άγνωστο σημείο ενδιαφέροντος. Η διάρκεια του κυμαίνεται από περίπου 20 λεπτά έως και αρκετές μέρες και ώρες ανάλογα πάντα με την ακρίβεια της εφαρμογής. Η μέθοδος προϋποθέτει επεξεργασία των μετρήσεων στο γραφείο επιτρέποντας την επίλυση συστηματικών σφαλμάτων. Η ακρίβεια η οποία μπορεί να φθάσει είναι λίγα χιλιοστά και συγκεκριμένα $5\text{mm}+1\text{ppm}$ οριζοντιογραφικά και $10\text{mm}+1\text{ppm}$ κατακόρυφα όπου και είναι η πιο ακριβής μέθοδος προσδιορισμού θέσης. Υπάρχει επίσης και η δυνατότητα εφαρμογής στατικού σχετικού εντοπισμού της τάξεως μερικών λεπτών γνωστός και ως γρήγορος στατικός εντοπισμός με αβεβαιότητα μερικών εκατοστών.

5.2.2 Κινηματικός σε πραγματικό χρόνο (Real time Kinematic)

Ο δέκτης base είναι τοποθετημένος σε σημείο γνωστών συντεταγμένων και ο rover έχει την δυνατότητα να μετακινείται. Προφανώς είναι μία κανονική μέθοδος σχετικού εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο όσον αφορά τον υπολογισμό συντεταγμένων του κινητού δέκτη. Base και rover είναι σε επικοινωνία, έτσι ο rover μπορεί να λαμβάνει διορθώσεις από το σταθμό αναφοράς του μέσω κατάλληλου συνδέσμου κυρίως GSM και UHF. Καθώς ο κινητός δέκτης λάβει τις διορθώσεις από τη βάση του επεξεργάζεται τα δεδομένα και υπολογίζει τη θέση σημείου. Είναι η πλέον η πιο διαδεδομένη

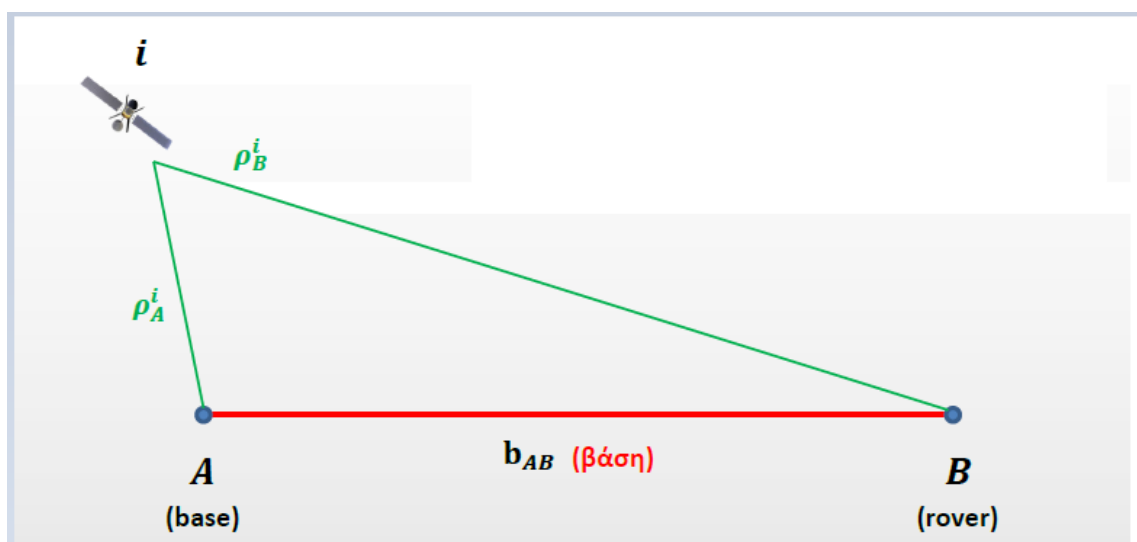
δορυφορική διαδικασία που χρησιμοποιείται ευρέως για τοπογραφικές εφαρμογές. Η ακρίβεια απόδοσης της μεθόδου είναι στα μερικά εκατοστά οριζοντιογραφικά $1\text{ cm} + \text{ppm}$ και κατακόρυφα $2\text{ cm} + 2\text{ppm}$.

5.2.3 Γραμμικοί Συνδυασμοί

Όπως προαναφέρθηκε στο σχετικό απαιτούμενος αριθμός δεκτών είναι τουλάχιστον δύο. Με επαρκείς αριθμό κοινών μετρήσεων από τους δέκτες, πραγματοποιούνται οι αντίστοιχοι γραμμικοί συνδυασμοί ανάμεσα σε δέκτες, δορυφόρους και διαφορετικού ή ίδιους χρόνους.

5.2.4 Απλές διαφορές(single differences)

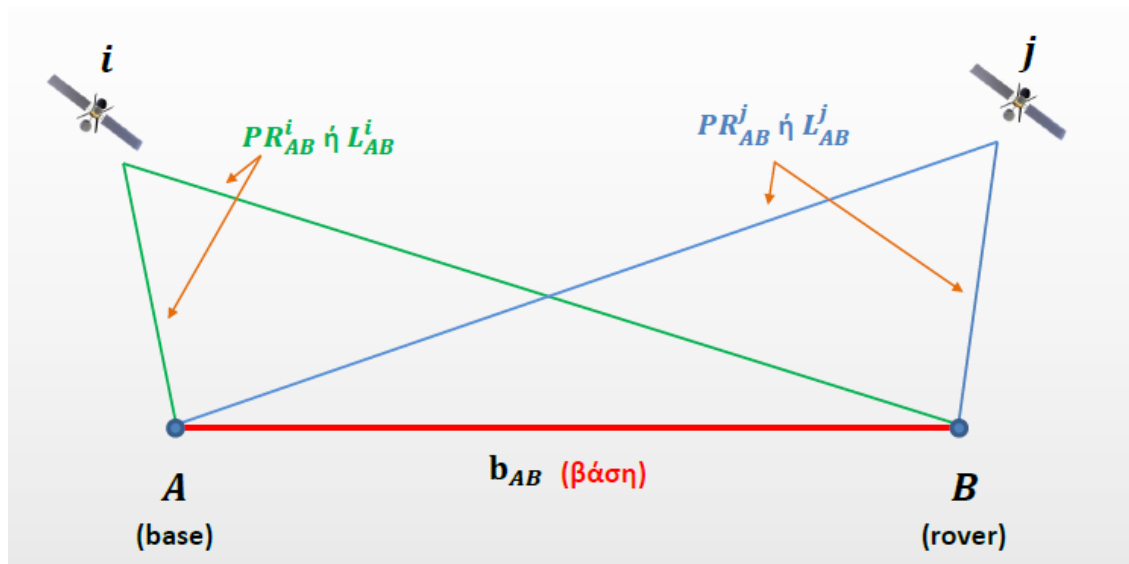
Διαφορές που αντιστοιχούν ανάμεσα σε δύο δέκτες που λαμβάνουν σήμα από ένα κοινό δορυφόρο την ίδια χρονική στιγμή. Ο συγκεκριμένος γραμμικός συνδυασμός έχει σαν αποτέλεσμα την απαλοιφή των σφαλμάτων του χρονομέτρου του δορυφόρου και την αρχή της παρατήρησης της φάσης δηλαδή των τροχιακών σφαλμάτων.



Εικόνα 1: Απλή Διαφορά

5.2.5 Διπλές διαφορές(Double differences)

Είναι το αποτέλεσμα δύο ταυτόχρονων απλών διαφορών μεταξύ δύο δεκτών και δύο δορυφόρων την ίδια χρονική στιγμή. Επίσης μπορεί να εκφραστεί και ως διπλή διαφορά δύο ταυτόχρονες διαφορές ενός δέκτη και ενός ζεύγους δορυφόρων. Κοινά σφάλματα των χρονομέτρων διορθώνονται στο τύπο της ψευδοαπόστασης λόγω μικρής απόστασης που βρίσκεται ο ένας με τον άλλο συγκριτικά με την απόσταση που απέχουν από τους δορυφόρους. Αποτέλεσμα αυτού είναι η απαλείφει του σφάλματος του χρονομέτρου του δορυφόρου και αντίστοιχα του δέκτη καθώς και η διόρθωση των αρχικών φάσεων των παρατηρήσεων. Είναι η πιο διαδεδομένη μορφή διαφορών που χρησιμοποιείται από δέκτες GNSS για τη συνόρθωση του μήκους της βάσης ή κάποιου δικτύου GNSS. Το δυσκολότερο κομμάτι των διπλών διαφορών είναι η εκτίμηση της παραμέτρου της ασάφειας φάσης στο σωστό ακέραιο αριθμό.

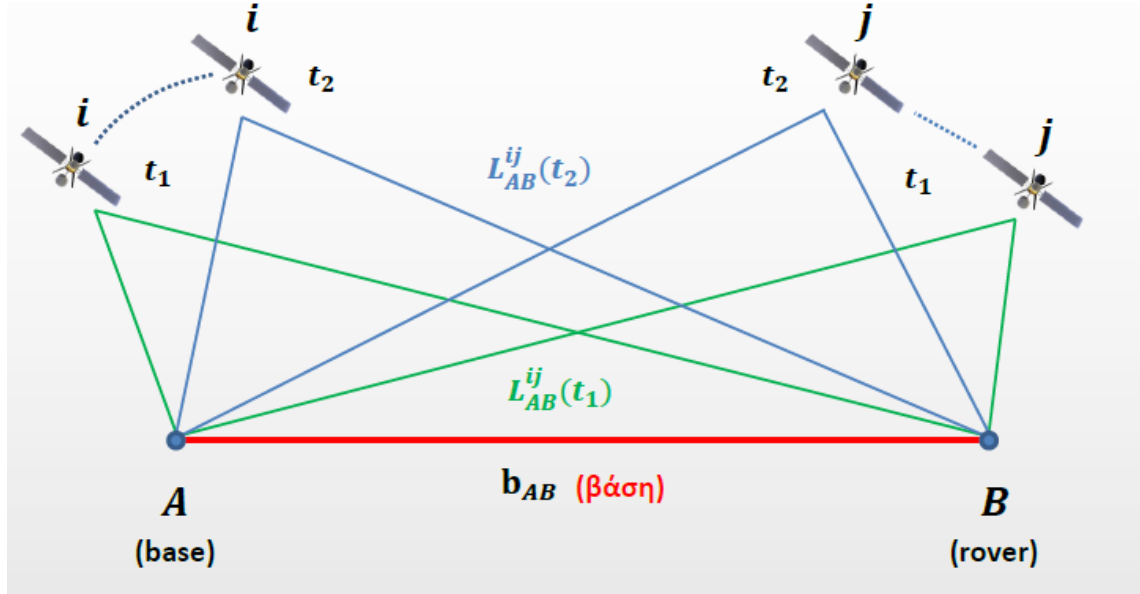


Εικόνα 2: Διπλή Διαφορά

5.2.6 Τριπλές διαφορές(Triple Differences)

Είναι το αποτέλεσμα δύο διπλών διαφορών ως προς δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές. Η ανάγκη για εύρεση τον αριθμό των ακέραιων κύκλων φάσης της σήματος ήταν και το έναυσμα δημιουργίας της τεχνικής των τριπλών διαφορών. Οι κύκλοι ολίσθησης που δημιουργούνται στις φέρουσες συχνότητες είναι ανιχνεύσιμοι λόγω της αποχής που θα

σχηματίζουν στο σήμα για κάθε δεδομένη χρονική στιγμή. Οι έκτροπες τιμές αυτές διορθώνονται ή απομακρύνονται μέσω των τριπλών καθώς η εύρεση των συντεταγμένων του σημείου γίνεται μέσω διπλών διαφορών.



Εικόνα 3: Τριπλή Διαφορά

5.3 Απόλυτος εντοπισμός

Τεχνική όπου προσδιορίζονται οι απόλυτες συντεταγμένες σημείου με τη χρήση μετρήσεων ενός μόνο δέκτη. Οι τρισδιάστατες (X,Y,Z) συντεταγμένες είναι μεγάλης αβεβαιότητας και μικρής ακρίβειας με αποτέλεσμα να μην χρησιμοποιείται για τοπογραφικές εργασίες. Από την άλλη είναι μία καλή μέθοδος για άλλες εφαρμογές όπως για παράδειγμα στην τηλεπισκόπηση και στην πλοήγηση, με τις μετρήσεις του να χρησιμοποιούνται συνήθως σε πραγματικό χρόνο.

5.3.1 Απόλυτος εκ των υστέρων επεξεργασία(post-processing)

Ο υπολογισμός θέσης σε μη πραγματικό χρόνο έχει την δυνατότητα υπολογισμού της θέσης του σημείου χρησιμοποιώντας προϊόντα ακριβέστερου περιεχομένου. Αυτά κυρίως αναφέρονται σε πιο ακριβείς θέσης-τροχιές των δορυφόρων και πληροφορία για τα χρονόμετρα των δορυφόρων. Φυσικά υπάρχει δυνατότητα χρήσης καλύτερων

ατμοσφαιρικών μοντέλων για μείωση της επίδρασης της γήινης ατμόσφαιρας. Η τελική απόδοση των σημείων γίνεται με ακρίβεια περίπου ενός μέτρου.

5.3.2 Απόλυτος σε πραγματικό χρόνο

Η εξαγωγή των συντεταγμένων γίνεται την στιγμή των μετρήσεων με τη χρήση της εκπεμπόμενης εφημερίδας από τα δορυφορικά συστήματα και του μηνύματος πλοήγησης. Η άμεση διόρθωση που μπορεί ο δέκτης είναι περιορισμένη σε σφάλματα τροχιών, χρονομέτρων και επιδράσεις ιονόσφαιρας. Έτσι οι μετρήσεις αυτές είναι μεγάλης αβεβαιότητας με οριζόντια ακρίβεια στα περίπου 9 μέτρα και λιγότερο ενώ σε κατακόρυφη συνιστώσα 15 μέτρα και κάτω.

5.3.3 Ακριβείς Απόλυτος εντοπισμός(Precise Point Positioning)

Αναγκαία η χρήση κάποιου δικτύου επίγειων σταθμών αναφοράς (CORS) για ακριβής προσδιορισμό θέσης μέσω της τεχνικής του Απόλυτου εντοπισμού. Ο χρήστης υποβάλλει των αρχείο μετρήσεων διαδικτυακά σε κάποια υπηρεσία PPP όπως είναι η NASA/JPL APPS(Automatic Precise Positioning Service) και η NRC CSRS-PPP (National Resources Canada-Canadian Spatial Reference System) όπου και πραγματοποιούν την επίλυση των μετρήσεων. Μερικές από τις επεξεργασίες των υπηρεσιών αυτών είναι η χρήση ακριβέστερων εφημερίδων, λαμβάνουν υπόψη παραμέτρους περιστροφής της γης, εφαρμογή καλύτερων ατμοσφαιρικών μοντέλων και επεξεργασία ψευδοαποστάσεων και φάσεων. Οι μετρήσεις αποστέλλονται στον χρήστη και έχει την δυνατότητα υπολογισμού θέσης σε κάθε σημείο της φυσικής γήινης επιφάνειας.

5.4 Διαφορικός εντοπισμός

Μία τρίτη τεχνική εντοπισμού θέσης με την συμβολή δύο ή περισσότερων δεκτών GNSS σε πραγματικό χρόνο. Ο ένας χρησιμοποιείται σαν σταθερός σε λειτουργία base και ο άλλος σαν κινητός-rover ο οποίος μετρά τις συντεταγμένες σημείου. Το κλειδί είναι ο δέκτης base ο οποίος συνδέει όλες τις δορυφορικές μετρήσεις σε μια σταθερή τοπική αναφορά. Λόγω της καθυστέρησης του σήματος ανάλογα με τη διαδρομή που διανύει, ο base στέλνει διορθώσεις προς τον δέκτη rover και εφαρμόζουν μαθηματικά

μοντέλα απόλυτου εντοπισμού. Τα σφάλματα λαμβάνονται υπόψη όσο το δυνατό καλύτερα γίνεται έχοντας απόλυτο εντοπισμό με καλύτερη ακρίβεια σε σχέση με τον απλό συνήθεις απόλυτο εντοπισμό όπως έχει αναλυθεί πιο πάνω.

6 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ

Κατά τη διαδικασία προσδιορισμού θέσης ενός σημείου υπάρχει μία σειρά από πηγές σφαλμάτων τα οποία πρέπει να λάβουμε υπόψη στη διαδικασία επεξεργασίας των μετρήσεων. Όλες οι μετρήσεις ανεξάρτητα τεχνικής και μεθοδολογίας επηρεάζονται από συστηματικά και τυχαία σφάλματα όπου φυσικά επηρεάζουν την ακρίβεια της θέσης ενδιαφέροντος.

6.1 Συστηματικά σφάλματα

Τα συστηματικά σφάλματα διακρίνονται στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες τα οποία και υπακούουν σε κάποιο φυσικό νόμο και μπορούν να μοντελοποιηθούν:

6.1.1 Σφάλματα δορυφόρων

Οι τροχιακές εφημερίδες που δεχόμαστε δεν περιέχουν τις ακριβείς θέσεις-τροχιές των δορυφόρων για τη δεδομένη χρονική περίοδο. Τα σφάλματα αυτά ανάλογα με τη μέθοδο εντοπισμού συνυπολογίζονται στις μετρήσεις. Στον απόλυτο πολλαπλασιάζοντας με τον συντελεστή PDOP δίνει την επίδραση στο σφάλμα θέσης του δέκτη. Στο σχετικό εντοπισμό για μικρές βάσεις επαληθεύεται με περισσότερη ευκολία μέσω των εκπεμπόμενων διορθώσεων και εφημερίδων από τους επίγειους σταθμούς. Επίσης τα χρονόμετρα των δορυφόρων δεν είναι απόλυτα συγχρονισμένα με τα χρονόμετρα του δέκτη.

6.1.2 Σφάλματα ατμόσφαιρας

Η διαδρομή του σήματος από τους δορυφόρους προς τους δέκτες διέρχεται από τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας της γης όπου αποτελείται από την Ιονόσφαιρα και την Τροπόσφαιρα. Συνεπώς τα στρώματα αυτά προκαλούν καθυστερήσεις στο χρόνο ταξιδιού του σήματος. Ένα ακόμα σημαντικό πρόβλημα που εμφανίζεται λόγω των

στρωμάτων ατμόσφαιρας είναι στις μετρήσεις φάσης του φέροντος κύματος έχοντας την ασάφεια φάσης του ακέραιου αριθμού κύκλων.

6.1.3 Σφάλματα στο Επίπεδο του Δέκτη

Οι δέκτες GNSS όπου χρησιμοποιούν χρονόμετρα χαλαζία δεν είναι απόλυτα συγχρονισμένα με τη θεμελιώδη κλίμακα του χρόνου GPS επηρεάζουν αρκετά τις μετρήσεις. Τα συγκεκριμένα σφάλματα απαλείφονται μέσο παρατηρήσεων σχετικού εντοπισμού θέσης. Ακολούθως συστηματικό σφάλμα θεωρείται όταν το ηλεκτρικό κέντρο της αντένας του δέκτη δεν συμπίπτει με το φυσικό κέντρο της αντένας. Τέλος σε αυτή την κατηγορία σημαντικό είναι το άμεσο περιβάλλον των μετρήσεων, παραδείγματος χάρι μεταλλικές επιφάνειες κοντά στην αντένα του δέκτη, αγωγοί μεταφοράς ρεύματος υψηλής τάσης δημιουργούν παρεμβολές στο σήμα.

6.2 Χονδροειδή σφάλματα

Σφάλματα τα οποία οφείλονται κυρίως από τον χρήστη κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ή κατά την διάρκεια της επεξεργασίας των μετρήσεων. Μερικά από αυτά είναι η λάθος τοποθέτηση και κέντρωση της κεραίας ή η λάθος μέτρηση του ύψους της.

6.3 Τυχαία σφάλματα

Βασική πηγή σφαλμάτων είναι αυτή των πολλαπλών διαδρομών του σήματος γνωστές και ως πολυανακλάσεις. Κοντινές επιφάνειες στην περιοχή των μετρήσεων αυξάνουν τη διαδρομή του εκπεμπόμενου σήματος, έτσι ο δέκτης δεν λαμβάνει το σήμα απευθείας από το δορυφόρο αλλά καθυστερημένα από κάποια άλλη επιφάνεια και διεύθυνση. Έτσι χαμηλές γωνίες ύψους (20°) σε περιοχές με τεχνικά και φυσικά εμπόδια μπορούν να απορριφθούν.

7 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΧΡΟΝΟΥ

7.1 Παγκόσμιος και Αστρικός χρόνος

7.1.1 Παγκόσμιος χρόνος UT(Universal Time/UT0)

Μέσος ηλιακός χρόνος όπου η ωριαία γωνία μεταξύ του μεσημβρινού του Greenwich και του μεσημβρινού ενός φανταστικού ήλιου αυξημένου κατά 12 ώρες, ώστε η αλλαγή της ημέρας να ξεκινά τα μεσάνυχτα.

7.1.2 Αστρικός χρόνος

Ορίζεται η ωριαία γωνία του εαρινού σημείου ως προς το μεσημβρινό του σημείου, δηλαδή ορίζεται ο αληθής αστρικός χρόνος όπου είναι ο μέσος αστρικός χρόνος του Greenwich με βάση το εαρινό σημείο διορθωμένος λόγω μετάπτωσης.

Ο Αστρικός χρόνος δεν είναι ομοιογενείς χρόνος άλλα είναι επηρεασμένος από την μεταβαλλόμενη γωνιακή ταχύτητα της Γης και των ταλαντώσεων του άξονα περιστροφής της Γης. Διακυμάνσεις οφείλονται κυρίως της πολικής κίνησης, παλίρροιες και μεταφορά μάζας της Γης. Η διόρθωση λόγω διακυμάνσεων του χρόνου UT δίνει το χρόνο UT1.

7.2 Ατομικός Χρόνος

Προκύπτει από μετρήσεις ατομικών ρολογιών, που όπως προαναφέρθηκε ρολόγια υψηλής σταθερότητας και ακρίβειας σε συνεχή κλίμακα χρόνου. Ο Διεθνής Ατομικός Χρόνος(TAI- Temps Atomique International) προκύπτει από ένα σύνολο δεκάδων ατομικών ρολογιών καυσίου και υδρογόνου που διατηρείται από της Διεθνή Υπηρεσία BIPM(International Bureau of Weights and Measures) σε συνεργασία με την IERS(International Earth Rotation and Reference Systems Service). Η αρχή του TAI ορίστηκε να ταυτίζεται με τον UT1 την 1/1/1958 με την σταθερότητα του TAI να είναι 6 φορές μικρότερη του UT1 και συνεπώς 6 φορές καλύτερη ακρίβεια.

7.3 Παγκόσμιος συντονισμένος χρόνος

Ο συγχρονισμός του ηλιακού και ατομικού χρόνου ήταν η αρχή δημιουργίας του παγκόσμιου συντονισμένου χρόνου UTC(Universal Coordinated Time) έτσι ώστε η διαφορά από το UT1 να είναι πάντοτε μικρότερη από 0,9 δευτερόλεπτα κατά απόλυτη τιμή. Όταν η διαφορά αυτή υπερβαίνει τα 0,9 δευτερόλεπτα προστίθεται αλγεβρικά 1 δευτερόλεπτο(άλμα δευτερολέπτου) στον UTC με ευθύνη της IERS. Ακολουθείται αυτή η πρακτική γιατί είναι και εύκολο και εφικτό να διορθώσουμε τον ατομικό χρόνο παρά το χρόνο περιστροφής της γης. Ο χρόνος UTC έχει την ίδια κλίμακα με τον TAI και αυξάνει περιοδικά κατά 1 δευτερόλεπτο όταν $|UT1-UTC|>0.9 \text{ sec}$. Τέλος ο χρόνος UTC αποτελεί τη βάση όλων των δραστηριοτήτων στον κόσμο.(βιβλιογραφία)

7.4 Χρόνος GPS

Ατομικός χρόνος από σύνολο ρολογιών των σταθμών ελέγχων και δορυφόρων GPS ο οποίος ταυτίστηκε με το UTC την 6/1/1980. Αυτό σημαίνει πως δεν διορθώνονται τα άλματα δευτερολέπτου και διαφέρει σταθερά από το χρόνο TAI κατά 19 δευτερόλεπτα.

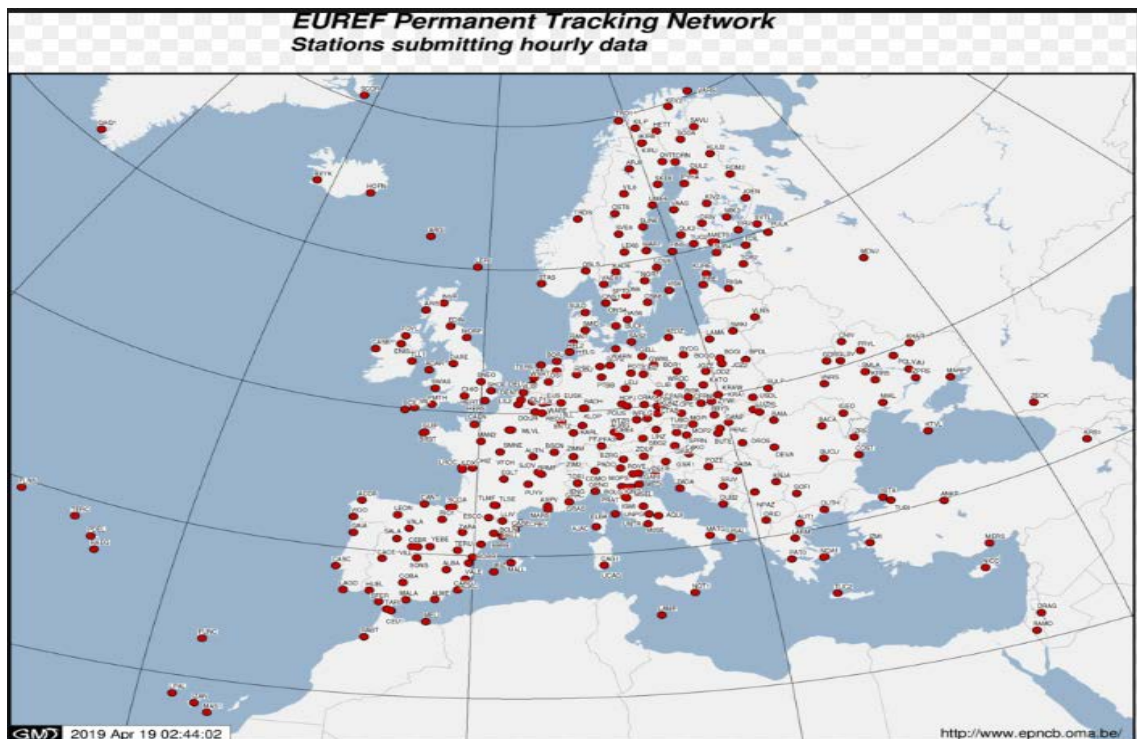
7.5 Ατομικά χρονόμετρα

Η ανάγκη μείωσης των σφαλμάτων και συνεπώς καλύτερων μετρήσεων οδήγησε σταδιακά στη δημιουργία των ατομικών χρονομέτρων. Είναι ακριβέστερη και πιο σταθερή κλίμακα χρόνου που υπάρχει μέχρι στιγμής και αποτελεί τη βάση του παγκόσμιου χρόνου UTC. Δορυφορικά συστήματα χρησιμοποιούν ατομικά χρονόμετρα καισίου, υδρογόνου και ραβδίου για εξαιρετικές ακρίβειες. Για ένα nanosecond ανακρίβειας στο ατομικό ρολόι του δορυφόρου έχουμε επίδραση στην απόσταση του σήματος κατά 30 περίπου εκατοστά. Για αυτό το λόγο και τα χρονόμετρα του δορυφόρου ελέγχονται και διορθώνονται από τους επίγειους σταθμούς ελέγχους συγκρίνοντας τα με τον κύριο σταθμό ελέγχου.

8 ΔΙΚΤΥΑ ΜΟΝΙΜΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (CORS-Continuously Operating Reference Station) και διαδικτυακές εφαρμογές

8.1 Διεθνή δίκτυα

Είναι δίκτυα μόνιμων σταθμών αναφοράς GNSS τα οποία λειτουργούν συνεχώς σε παγκόσμιο επίπεδο για την εξυπηρέτηση εφαρμογών πλοήγησης και εντοπισμού θέσης όσον αφορά από παγκόσμια μέχρι τοπική ή εθνική κλίμακα. Υπεύθυνος φορέας για την παρακολούθηση και διαχείριση των προϊόντων του Αμερικάνικου (GPS) και Ρώσικου (GLONASS) είναι η IGS(International GNSS Service). Όσον αφορά το ευρωπαϊκό δορυφορικό σύστημα (Galileo) και δίκτυο CORS υπεύθυνος για αυτά είναι η EPN(EUREF Permanent Network). Το συγκεκριμένο δίκτυο αριθμοί περισσότερους από 250 μόνιμους σταθμούς αναφοράς τα οποία είναι εγκατεστημένα σε κατάλληλες θέσεις για την καλύτερη δυνατή κάλυψη των περιοχών ενδιαφέροντος.



Εικόνα 4: EUREF Permanent Tracking Network

Από την επεξεργασία των παρατηρήσεων προκύπτουν:

- Ακριβείς εφημερίδες (Precise orbits).

- Παράμετροι περιστροφής της γης.
- Ακριβείς θέσεις και διανύσματα ταχύτητας των σταθμών παρακολούθησης.
- Χρονικές παράμετροι δεκτών μόνιμων σταθμών.
- Εκτίμηση ατμοσφαιρικών επιδράσεων.

Τα συγκεκριμένα δίκτυα αυξάνουν τις ακρίβειες μέτρησης όχι μόνο λόγω της επεξεργασίας όλων αυτών των παραμέτρων αλλά επειδή στις μετρήσεις συνυπολογίζονται όλοι οι μόνιμοι σταθμοί δικτύου και όχι μόνο ο συγκεκριμένος σταθμός της βάσης. Η κάλυψη τους αγγίζει περιοχές με απόσταση μέχρι και 50-60 χιλιόμετρα βάση (απόσταση base-rover).

Για τη συγκεκριμένη μελέτη έγινε χρήση ενός από το σύνολο των σταθμών τις υπηρεσίας EUREF Permanent Tracking Network(NICO) ο οποίος είναι εγκατεστημένος στη Λευκωσία όπως φαίνεται και στην πιο πάνω εικόνα (εικόνα 5).

8.2 Μόνιμοι Σταθμοί Αναφοράς στην Κύπρο

Εκτός από τον σταθμό NICO της EUREF υπάρχουν εγκατεστημένοι ακόμα δύο σύνολα μόνιμων δικτύων στην Κύπρο. Το πρώτο είναι το CYPOS το οποίο είναι καθαρά κρατικό και ελέγχεται από το Τμήμα Κτηματολογίου και Χωρομετρίας. Διαθέτει 7 σταθμούς αναφοράς κατανομημένους με τρόπο να καλύπτονται οι ανάγκες για κάθε σημείο του νησιού. Οι μόνιμοι σταθμοί στέλνουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο στο κέντρο ελέγχου και ακολούθως στέλνονται στους χρήστες σαν δεδομένα σταθμού αναφοράς τα οποία χρειάζονται για την τεχνική εντοπισμού θέσης.

Οι θέσεις τους είναι στα στις οροφές των κτηρίων του TKX σε όλες τις επαρχίες. Πιο συγκεκριμένα σε Πόλη Χρυσοχούς , Πάφο, Λεμεσό, Λευκωσία, Λάρνακα, Παραλίμνι και στην Ευρύχου.



Εικόνα 5:Θέσεις μόνιμων σταθμών CYPOS

8.2.1 Πλεονεκτήματα τοπικών μόνιμων δικτύων

- Ο χρήστης χρησιμοποιεί μόνον έναν δέκτη στο πεδίο. Συνεπώς επιτυγχάνεται οικονομικότητα και εξοικονόμηση χρόνου.
- Ο Τοπογράφος Μηχανικός δεν χρειάζεται να ψάξει για τυχών τριγωνομετρικό σημείο στην περιοχή.

8.2.2 Δυνατότητες δικτύου για διαδικτυακές λύσεις

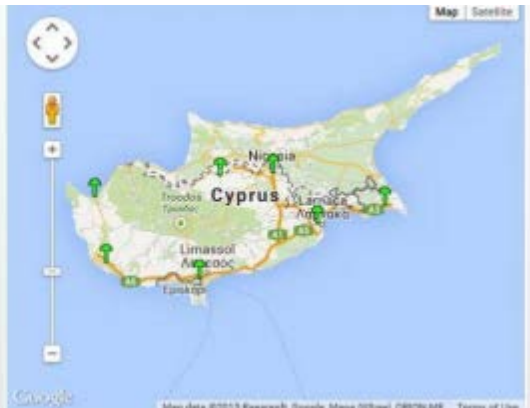
- VRS(Virtual Reference Station)

Τεχνική προσδιορισμού θέσης με βάση εικονικού σταθμού. Σε ορισμένες περιπτώσεις το μήκος βάσης μεταξύ σταθμού αναφοράς και δέκτη φθάνει σε αποστατήσεις μεγαλύτερες των 25-30 χιλιομέτρων. Το πρόβλημα αυτό έρχεται να λύσει η τεχνική αυτή ειδικά σε περιπτώσεις χρήσης ενός δέκτη από το χρήστη για κυρίως RTK εφαρμογές. Ο δέκτης επικοινωνεί με τον κοντινότερο σταθμό και του στέλνει τις προσεγγιστικές συντεταγμένες του. Με βάση το υπάρχον δίκτυο μόνιμων σταθμών δημιουργείται ένας πλασματικός σταθμός από τους τρεις κοντινότερους σταθμούς με τη μέθοδο της παρεμβολής TIN. Δηλαδή οι τρεις αυτού σταθμοί δημιουργούν το εικονικό αυτό σταθμό, στον οποίο στέλνουν μετρήσεις και διορθώσεις. Με βάση αυτών προσδιορίζεται η σχετική θέση του δέκτη σε πραγματικό χρόνο χωρίς να διαφέρει σε ακρίβεια από την πρωτότυπη διαδικασία RTK.

- iMAX
- FKP (Flächen Korrektur Parameter - Spatial Correction Parameter)
- MAC (Master-Auxiliary Concept).

Το δεύτερο δίκτυο μόνιμων σταθμών είναι το ATLAS για το οποίο διαχειριστής είναι η Αρχή Ηλεκτρισμού Κύπρου (ΑΗΚ). Οι θέσεις των μόνιμων σταθμών κατανέμονται εξίσου ομοιόμορφα. Διαθέτει επίσης 7 μόνιμους σταθμούς σε περίπου τις ίδιες περιοχές ανά επαρχία. Υποστηρίζει υπηρεσίες πραγματικού χρόνου, με επεξεργασίας αλλά και διαδικτυακής επίλυσης.

Όνομα Σταθμού	Αναγνωριστικό
ANATOLIKO	ANTL
LARNACA	LARN
LEFKOSIA	LFKS
ORUNTA	ORNT
POLEMIDIA	PLMD
POLIS	POLS
SOTIRA	STRA



Εικόνα 6: Θέσεις μόνιμων σταθμών ATLAS

9 ΔΙΚΤΥΟ ΠΑΛΙΡΡΟΙΟΓΡΑΦΩΝ ‘ΠΥΘΕΑΣ’

Το δίκτυο παλιρροιογράφων ΠΥΘΕΑΣ που έχει εγκαταστήσει το ΤΕΠΑΚ αλλά και το Τμήμα Κτηματολογίου και Χωρομετρίας (ΤΚΧ) στην Κύπρο, στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος ΘΑΛΧΩΡ2, καλύπτει όλη την ακτογραμμή των ελεύθερων περιοχών. Συγκεκριμένα, παλιρροιογραφικοί σταθμοί (ΠΣ) έχουν εγκατασταθεί στη Λεμεσό (ΤΕΠΑΚ), στη Λάρνακα (ΤΚΧ), στην Πάφο (ΤΚΧ), στον Πομό (ΤΚΧ) και στο Παραλίμνι (ΤΚΧ) .



Εικόνα 7:Θέσεις Παλλιροιογράφων ‘ΠΥΘΕΑΣ’

10 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Ως σύστημα αναφοράς ορίζεται η επιλογή της κατάλληλης επιφάνειας αναφοράς σε συνδυασμό με ένα σύστημα συντεταγμένων το οποίο θα χρησιμεύει σαν υπόβαθρο όλων των τοπογραφικών εργασιών.

Η διαδικασία υπολογισμού συντεταγμένων θέσης με τη χρήση GNSS δέκτη ανεξάρτητος μεθόδου αρχικά γίνεται σε Παγκόσμιες Γεωκεντρικές συντεταγμένες(X,Y,Z) σε κάποιο ελλειψοειδές αναφοράς(WGS ‘84 ,ITRF).

10.1 Γεωδαιτικά Συστήματα Αναφοράς

Ως γνωστό ένα ολοκληρωμένο Σύστημα Αναφοράς Συντεταγμένων αποτελείται από ένα γεωδαιτικό και κατακόρυφο datum αλλά και από ένα Σύστημα Συντεταγμένων. Το μεν γεωδαιτικό datum είναι μέσο του οποίου προσδιορίζεται η σχέση του ελλειψοειδούς με το γεωειδές και το δε κατακόρυφο περιγράφει τη σχέση μεταξύ ορθομετρικών υψομέτρων με τη Γη. Όσον αφορά το Σύστημα Συντεταγμένων, μέσο αυτού προσδιορίζεται η θέση οποιουδήποτε σημείου και στη συνέχεια το σχήμα του στο χώρο αυτό.

Τα ελλειψοειδές εκ περιστροφής δεν ταυτίζονται το ίδιο καλά σε όλα τα σημεία του γεωειδούς. Η ανάγκη για μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις για κάθε χώρας, οδήγησε στη δημιουργία δικών τους γεωδαιτικών συστημάτων αναφοράς. Αυτό έγινε με βάση τα παγκόσμια γεωδαιτικά ελλειψοειδές προσαρμόζοντας τα με βέλτιστο δυνατό τρόπο για να καλύψει τις τοπικές γεωδαιτικές ανάγκες της κάθε χώρας με το κατάλληλο μετασχηματισμό.

Τα Γεωδαιτικά Συστήματα Αναφοράς ως συνήθως δεν έχουν την αρχή του συστήματος τους στο κέντρο μάζας της Γης αλλά περίπου στο κέντρο της εκάστοτε χώρας δίνοντας τις αρχικές συντεταγμένες στο σημείο αυτό και τις διαστάσεις ενός ελλειψοειδούς.

10.2 Κυπριακό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1993(ΚΓΣΑ '93)

Το Κυπριακό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1993 διαμορφώνεται ως εξής:

- Datum :

-Ελλειψοειδές : WGS84

-Θεμελιώδες Σημείο : Χιονίστρα με καρτεσιανές τρισσορθογώνιες συντεταγμένες : $X=4398166.880, Y=2840989.683, Z=3633416.621$ και ελλειψοειδές $\Phi=34^{\circ} 56' 19.11205''$, $\Lambda=32^{\circ} 51' 37.37382$, $h=1959.621$ m



Εικόνα 8:Τριγωνομετρικό Δίκτυο πρώτης και δεύτερης τάξης

- Χαρτογραφική Προβολή : Εγκάρσια Μερκατορική σε μια ζώνη (Local Transverse Mercator – LTM 93)
 - $k = 0.99995$

- $\lambda_0 = 33^\circ \text{ E}$
- $\varphi_0 = 0^\circ$
- $\Delta E = 200\,000 \text{ m}$
- $\Delta N = -3500\,000 \text{ m}$



Εικόνα 9: Τριγωνομετρικό Δίκτυο Κύριων Σημείων

11 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΈΡΕΥΝΑΣ

Η περιοχές οι οποίες εργαστήκαμε οι καθηγητές και οι συνάδελφοι μου ήταν σε τέσσερα λιμενικά καταφύγια του νησιού. Πιο συγκεκριμένα δύο στην επαρχία Πάφου (σε Πωμό και Κάτω Πάφο), σε Λάρνακα και τέλος του Παραλιμνίου. Οι μετρήσεις ήταν όλες άνω των τριών ωρών με συχνότητα λήψης κάθε ένα δευτερόλεπτο για να πετύχουμε την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια. Οι θέσεις των σημείων φαίνονται αναλυτικά στους πιο κάτω θεματικούς χάρτες για την κάθε περίπτωση ξεχωριστά.



Εικόνα 10: Θέσεις σημείων προσδιορισμού συντεταγμένων-Ευρύτερη περιοχή

Θεματικοί χάρτες αναλυτικά για κάθε περιοχή:

- Επαρχία Πάφου-Αλιευτικό καταφύγιο Πωμού



Εικόνα 11: Αλιευτικό καταφύγιο Πωμού

- Επαρχία Πάφου-Αλιευτικό καταφύγιο Κάτω Πάφου



Εικόνα 12: Αλιευτικό καταφύγιο Κ.Πάφου

- Επαρχία Λάρνακας-Αλιευτικό καταφύγιο Λάρνακας



Εικόνα 13: Αλιευτικό καταφύγιο Λάρνακας

- Επαρχία Αμμοχώστου-Αλιευτικό καταφύγιο Παραλιμνίου



Εικόνα 14: Αλιευτικό Καταφύγιο Παραλιμνίου

11.1 Όργανο λήψης-Trimble R9S



Εικόνα 15: Trimble® R9S

11.1.1 Πληροφορίες δέκτη

- Συμβατός με όλα τα δορυφορικά συστήματα εντοπισμού(GPS, GLONASS, GALILEO, COMPASS).
- Παρακολούθηση δορυφόρων με τεχνολογία Trimble® 360.
- Σύνδεση με οποιοδήποτε μόνιμο σταθμό είτε τοπικό(TKX) είτε παγκόσμιο.
- Κάλυψη όλων των ειδών εφαρμογής: Kinematic, Static, Post-Processing, Base-Rover.
- Δυνατότητα VRS(Virtual Reference Station).
- Διαθέτει 440 κανάλια GNSS.
- Εξαιρετική εξοικονόμηση ενέργειας με συνεχείς λειτουργία στις 15 ώρες.
- Ανθεκτικό σε ακραίες καιρικές συνθήκες (σκόνη, υγρασία κτλ).
- Χαμηλή παρουσία θορύβου με ακρίβεια <1mm σε εύρος ζώνης 1 HZ.
- Ταυτόχρονη παρακολούθηση όλων των δορυφορικών σημάτων που είναι διαθέσιμα(GPS: L1 C/A, L2C, L2E, L5 – GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3 – Galileo: E1, E5A, E5B, E5 AltBOC – BeiDou: B1, B2, B3).
- Υποστήριξη Bluetooth , Ethernet , USB.

Ακρίβειες Στατικού εντοπισμού:

Στατικός υψηλής ακρίβειας:

Horizontal: 3mm+0.1ppm RMS

Vertical: 3.5+0.4ppm RMS

11.1.2 Πληροφορίες Κεραίας Trimble® Zephyr 3 Base Antenna

Η κορυφή των εξωτερικών κεραιών GNSS Trimble® Zephyr™ περιλαμβάνει προηγμένη τεχνολογία για τη μείωση των πολλαπλών διαδρομών, παρέχοντας εξαιρετική δορυφορική παρακολούθηση χαμηλής ανύψωσης και σταθερότητα όσον αφορά το κέντρο των φάσεων σε επίπεδο χιλιομέτρου.

- Πλήρης υποστήριξη GNSS, συμπεριλαμβανομένων σημάτων εκσυγχρονισμού GPS, GLONASS, BeiDou και Galileo
- Ισχυρή δορυφορική παρακολούθηση χαμηλής ανύψωσης
- Μεγάλο επίπεδο εδάφους Trimble Stealth™ για απόρριψη πολλαπλών διαδρομών
- Επαναληψιμότητα στο κέντρο χιλιοστομέτρου
- Ιδανικό για σταθερούς σταθμούς αναφοράς και δίκτυα υποδομών GNSS
- Πρόσθετο φίλτρο Iridium και ιαπωνικό LTE
- Υψηλό κέρδος σήματος (50 dB) για αξιόπιστη παρακολούθηση
- Χαμηλό προφίλ διατομής για μείωση της φόρτωσης ανέμου

11.2 Εργασίες Πεδίου

11.2.1 Σήμανση σημείων μέτρησης-εξασφαλίσεις

Με την άφιξη μας στο πεδίο σε κάθε περιοχή μελέτης το πρώτο πράγμα ήταν η εύρεση των είδη υπαρχόντων μπουλονιών-σταθερών σημείων τα οποία εγκαταστάθηκαν από το TKX σε προγενέστερο στάδιο. Αυτό έγινε μέσω της βοήθειας των χαρτών με τις εξασφαλίσεις που μας χορηγήθηκε από το φορέα. Η εύρεση τους έγινε με τη χρήση μετροταινίας από τα σημεία που υποδείκνυαν τα φύλλα εξασφαλίσεων.

Μετά την εύρεση τους έγινε μία τυπικά συντήρηση από μία διμελής ομάδα του TKX όπου ήταν στο πεδίο μαζί μας και τις τέσσερις φορές των μετρήσεων.

Οι μετρήσεις για πρακτικούς λόγους έγιναν διαδοχικά σε μη εργάσιμες ημέρες συγκεκριμένα σε τρία Σάββατα. Η πρώτη μέτρηση πραγματοποιήθηκε στο αλιευτικό καταφύγιο Λάρνακας στις 19/01/2019 με έναρξη στις 12:24 μέχρι τις 15:39. Την δεύτερη εβδομάδα μετρήσεων τις 26/01/2019 παρευρεθήκαμε στην επαρχία Πάφου. Για εξοικονόμηση χρόνου και κόπου αποφασίστηκε οι μετρήσεις τις επαρχίας Πάφου να γίνουν την ίδια μέρα (Κ.Πάφου, Πωμού). Έτσι χωριστήκαμε σε δύο ομάδες η μία εκ των δύο να αναλάβει την περιοχή μελέτης Κ.Πάφου και άλλη ομάδα να μεταβεί και να πραγματοποιήσει τις μετρήσεις Πωμού. Οι μετρήσεις Κ.Πάφου ήταν μεταξύ 11:50 και 19:04 ενώ στη περιοχή του Πωμού από 15:23 μέχρι 18:24. Την τελευταία μέρα μετρήσεων 02/02/2019 η διάρκεια των μετρήσεων στην περιοχή του Παραλιμνίου ήταν από 11:41 με 15:48.

11.2.2 Διαδικασία μετρήσεων

Η διαδικασία και η πορεία των μετρήσεων στις προαναφερθέντες περιοχές μελέτης με τη μέθοδο του σχετικού στατικού εντοπισμού με το όργανο Trimble R9S ήταν η ακόλουθη:

- Εύρεση του μόνιμου προσημασμένου σημείου της περιοχή μέσω χάρτη εξασφαλίσεων.
- Εγκατάσταση οργάνου.
- Κέντρωση και οριζοντίωση το οργάνου μέσω αεροστάθμης.
- Ενεργοποίηση δέκτη και κεραίας.
- Οι απαιτούμενες ρυθμίσεις εισάχθηκαν μέσω Smartphone και της εφαρμογής τηλεφώνου Trimble® DL.
 - Δημιουργία νέας εργασίας
 - Εισαγωγή ονόματος σημείου μέτρησης
 - Μέτρηση με μετροταινία το ύψος οργάνου μέχρι το προσημασμένο σημείο της κεραίας
 - Εισαγωγή του ύψους στην εφαρμογή
 - Μέτρηση από GPS και Galileo
 - Μετρήσεις ανά 1 δευτερόλεπτο
 - Απαιτούμενος χρόνος μετρήσεων

- Σύνδεση στο μόνιμο σταθμό δικτύου CYPOS
- Έναρξη μετρήσεων.
- Συμπλήρωση Εντύπου Δορυφορικών μετρήσεων
- Με την λήξη του χρόνου μέτρησης ο δέκτης σταματά αυτόματα να καταγράφει.
- Απεγκατάσταση του οργάνου και τρίποδα.
- Τέλος μετρήσεων.

11.2.3 Συμπλήρωση Εντύπου Δορυφορικών Μετρήσεων

Απαραίτητη η συμπλήρωση του εντύπου για κάθε περιοχή μετρήσεων καθώς περιλαμβάνει σημαντικές πληροφορίες σταθμού και εργασίας, μέτρησης, δέκτη, κεραίας, στοιχεία παρατηρητή και τέλος ένα διάγραμμα ορατότητας δορυφόρων. Η αρχειοθέτηση του εντύπου είναι εξαιρετικής σημασίας, ειδικά σε περίπτωση που παρουσιάστηκε κάποιο πρόβλημα κατά την επεξεργασία των μετρήσεων στο γραφείο.

11.2.4 Ενδεικτικές φωτογραφίες πεδίου



Εικόνα 16:Φωτογραφίες Πεδίου

11.3 Εργασίες Γραφείου

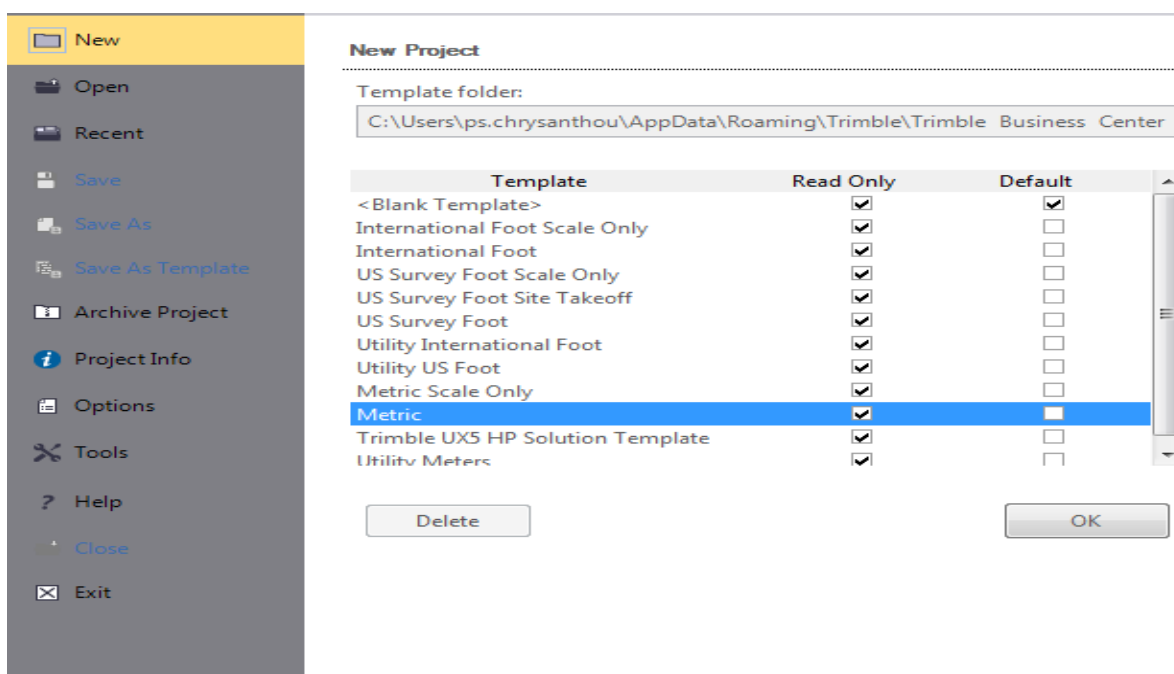
11.3.1 Εξαγωγή μετρήσεων

Σε πρώτο στάδιο στο γραφείο έγιναν οι εξαγωγή των μετρήσεων από την κάρτα μνήμης του δέκτη και φύλαξη τους στο H/Y για κάθε σημείο μέτρησης. Όπως προαναφέρθηκε η επίλυση του σχετικού στατικού εντοπισμού θα γίνει μέσω του μόνιμου σταθμού του TKX. Έτσι παράλληλα ανακτήσαμε διαδικτυακά τις μετρήσεις του πιο κοντινού δέκτη του TKX σε σχέση με σημείο ενδιαφέροντος για κάθε συγκεκριμένη μέρα μετρήσεων. Οι μετρήσεις δόθηκαν από τον διδάσκοντα οι οποίες προέρχονται από την επίσημη ιστοσελίδα του TKX(<http://portal.dls.moi.gov.cy/el-gr/homepage>). Πρόσβαση σε αυτή έχουν μόνο εξουσιοδοτημένα άτομα και ελεύθεροι επαγγελματίες-αρμόδιοι χωρομέτρες. Η προτίμηση του πιο κοντινού σταθμού είχε ως σκοπό την δημιουργία της μικρότερης βάσης για την μείωση των σφαλμάτων και έχοντας την καλύτερη εκτίμηση θέσης. Τέλος έγινε εξαγωγή των μετρήσεων και συντεταγμένες από το παγκόσμιο μόνιμο σταθμό δικτύου NICO μέσω της ιστοσελίδας (http://www.epncb.oma.be/_productsservices/coordinates/crd4station.php?station=NIC000CYP)

11.3.2 Επεξεργασία μέσω Trimble® Business Center Version 5.00

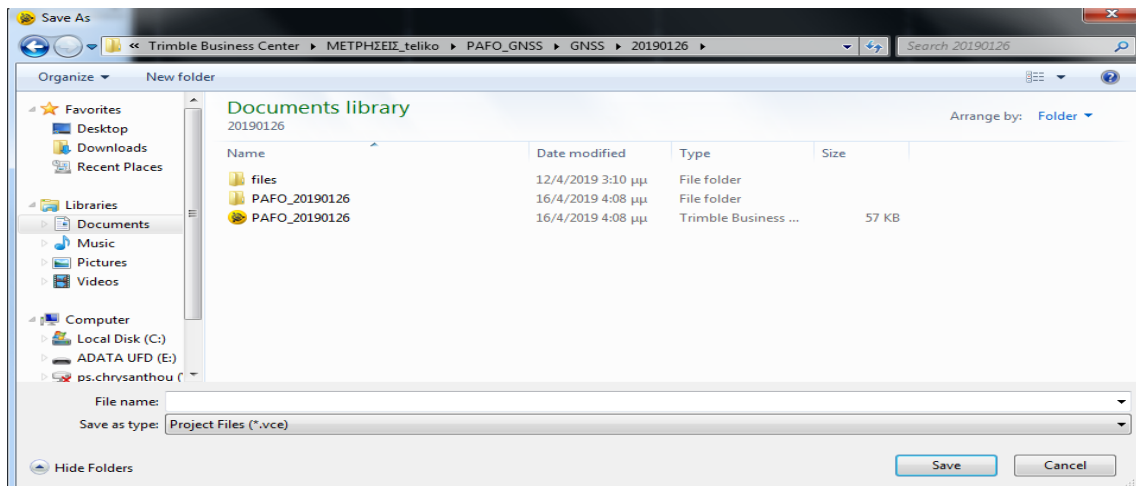
Οι επεξεργασία των μετρήσεων έγινε μέσω της τελευταίας έκδοσης λογισμικού της εταιρίας Trimble V 5.00. Έγινε η εγκατάσταση πρώτα σε Η/Υ του εργαστηρίου Γεωπληροφορικής όπου έγινε η επεξεργασία των μετρήσεων.

Μόλις ανοίξαμε την εφαρμογή δημιουργήσαμε καινούργια εργασία σε πρότυπο metric.



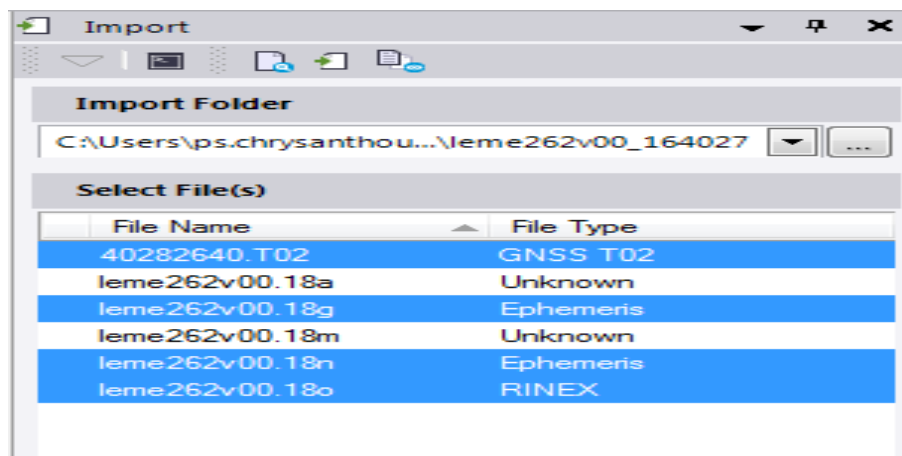
Εικόνα 17: Νέα εργασία-Metric

Αποθηκεύσαμε τη κάθε διαδικασία επεξεργασίας ανά περιοχή και τύπο επίλυσης σε ξεχωριστούς φακέλους.

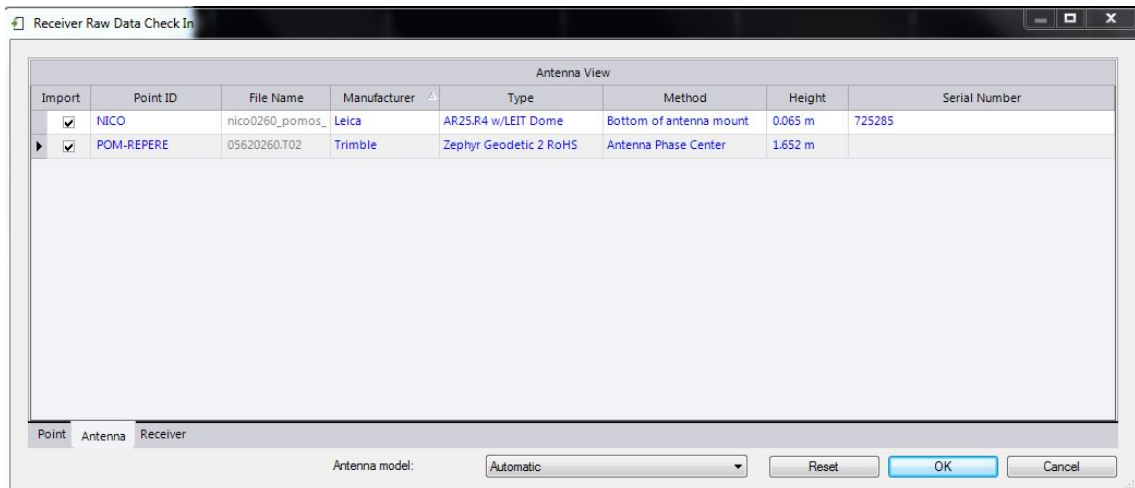


Εικόνα 18: Αποθήκευση εργασίας

Επόμενο βήμα η εισαγωγή των μετρήσεων . Αρχικά έγινε επίλυση σχετικού στατικού μέσω των μόνιμων σταθμών του TKX. Η εισαγωγή των δεδομένων τόσο του GNSS δέκτη του πανεπιστημίου όσο και τα δεδομένα του Κτηματολογίου έπρεπε να είναι στο ίδιο περιβάλλον εργασίας. Από τις μετρήσεις του δέκτη Trimble® R9S εισήχθηκε ένα και μοναδικό αρχείο το οποίο συμπεριλάμβανε πληροφορίες για το σημείο μέτρησης. Τα δεδομένα που αντιστοιχούσαν από το δέκτη του Κτηματολογίου ήταν τρία. Ένα για τις πληροφορίες και συντεταγμένες του σημείου, ένα αρχείο RINEX το οποίο περιλαμβάνει πληροφορίες για τους δορυφόρους, καθώς και δύο ακριβείς εφημερίδες.

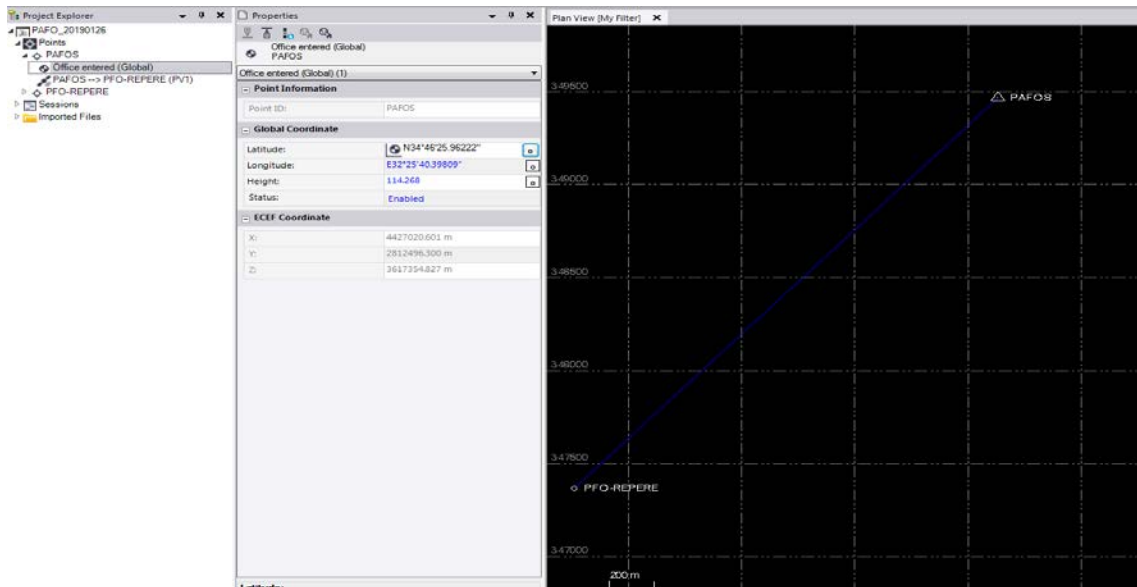


Εικόνα 19: Δεδομένα



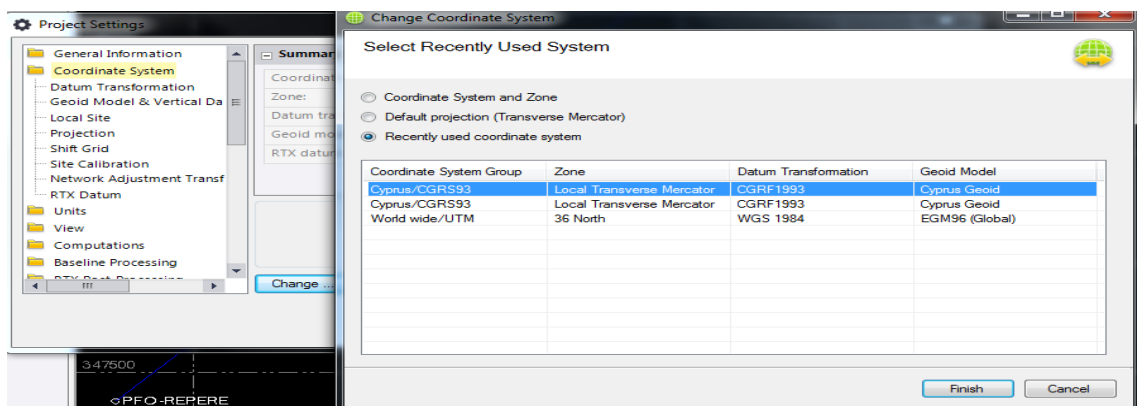
Εικόνα 20: Ύψος Κεραίας

Με την εισαγωγή των δεδομένων το λογισμικό αυτόματα δημιουργούσε μια βάση μεταξύ των σημείων δηλαδή μεταξύ του σημείου αναφοράς και του σημείου των μετρήσεων. Θέσαμε το σημείο αναφοράς του Κτηματολογίου σαν control point σε Easting, Northing και σε Height για να μπορεί να γίνει αναγνώριση από τον υπολογιστή. Για κάθε περίπτωση η επιλογή του δέκτη αναφοράς γινόταν ανάλογα με την περιοχή των μετρήσεων και τη διαθεσιμότητα του μόνιμου σταθμού μετρήσεων. Στη περίπτωση του σημείου στην Κ.Πάφο εισάχθηκαν τα δεδομένα από το σταθμό του Κτηματολογίου που εδρεύει στα Επαρχικά γραφεία του ΤΚΧ στην Πάφο με το όνομα PAFOS. Αντίστοιχα αυτό έγινε για όλα τα σημεία δηλαδή στο Πωμό με το σταθμό της Πόλης Χρυσοχούς (POLIS), το Παραλίμνι με το PARALIMNI και τέλος η Λάρνακα με το LARNACA. Φυσικά με βάση θεωρίας θα μπορούσαμε να πετύχουμε επίλυση βάσης χρησιμοποιώντας όλους τους διαθέσιμους σταθμούς με τα δεδομένα της συγκεκριμένης μέρας με την προϋπόθεση ότι η ευκλείδεια απόσταση της βάσης δεν ξεπερνά τα 25-30 χιλιόμετρα. Πειραματικά αυτό έγινε αλλά οι μετρήσεις ήταν εκτός του επιτρεπτού ορίου σφαλμάτων και ακρίβειας.



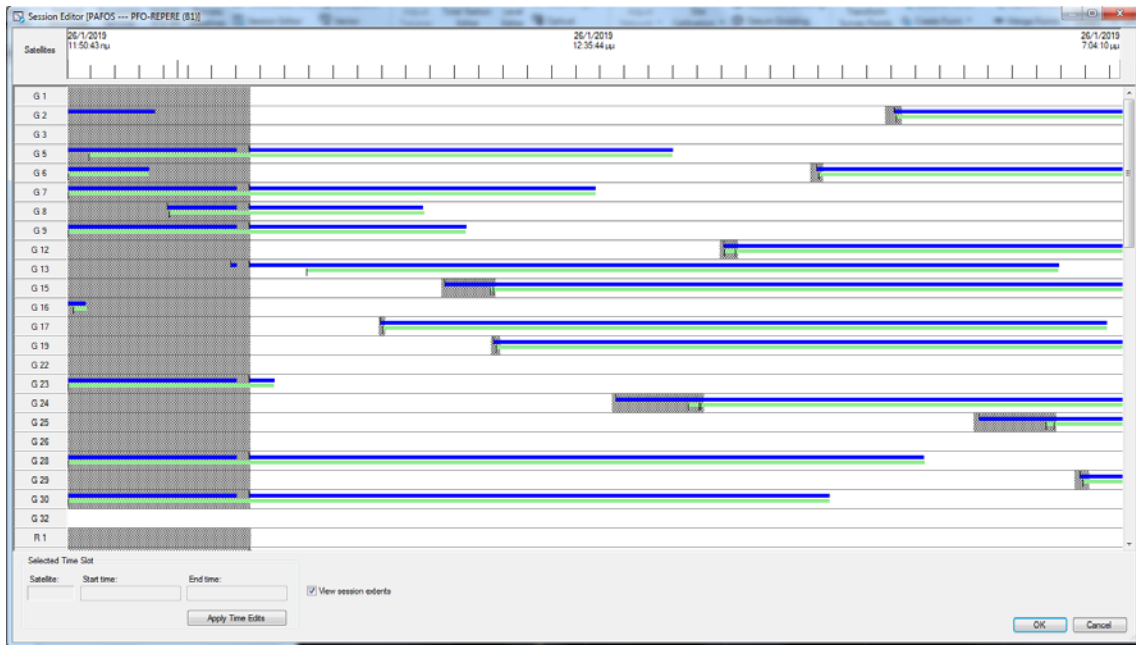
Εικόνα 21:Βάση TKX-Δέκτη

Καθορισμός του κατάλληλου Συστήματος Συντεταγμένων όπου στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι το Κυπριακό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1993(CGRS 93) με αντίστοιχη Μερκατορική Προβολή LTM '93(Local Transverse Mercator 1993).



Εικόνα 22: Καθορισμός Συστήματος Αναφοράς Συντεταγμένων

Το λογισμικό δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να αποκόψει του κύκλους ολίσθησης όπου προκαλούν μεγάλη ασάφεια στις μετρήσεις μας. Έτσι μέσω της εντολής Session Editor έγινε ο καθαρισμός τους χειροκίνητα όπου εμείς κρίναμε απαραίτητο.



Εικόνα 23: Session Editor – Κύκλοι Ολίσθησης

Σε αυτό το σημείο μας δίνεται η δυνατότητα επεξεργασίας της βάσης μέσω της εντολής process baseline. Οι ακρίβεια της μέτρησης του σημείου οριζοντιογραφικά, κατακόρυφα, το μέσο τετραφωνικό σφάλμα και η απόσταση της βάσης είναι τα αποτελέσματα της επεξεργασίας του λογισμικού όπως φαίνονται στην πιο κάτω εικόνα.

Processing Results						
Save	Observation	Solution	Horiz. Precision (Vert. Precision (9	RMS	Length
<input checked="" type="checkbox"/>	PAFOS --- PFO-REPERE	Fixed	0.002	0.011	0.007	2812.212

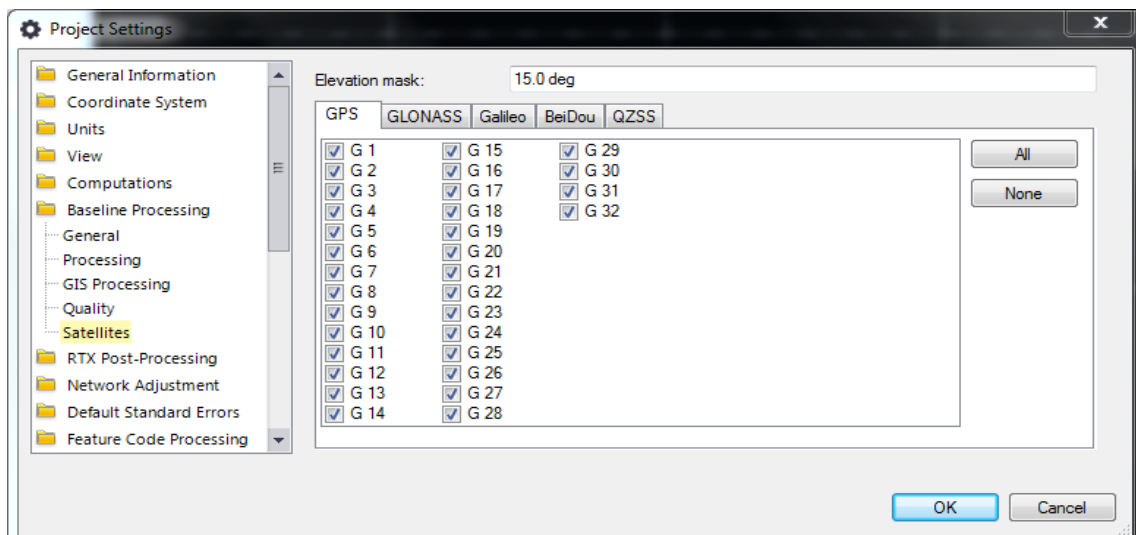
Εικόνα 24:Process Baseline

Δείκτες ποιότητας επίλυσης

- RMS:Μια μοναδιαία τιμή για την ακρίβεια χρησιμοποιώντας μόνο το ύψος. Χρησιμοποιείται για να εκφράσει την ακρίβεια της μέτρησης σημείου. Είναι η ακτίνα του κύκλου σφάλματος μέσα στον οποίο βρίσκονται περίπου το 70% των εντολών θέσης. Μπορεί να εκφραστεί σε μονάδες απόστασης ή κύκλους μήκους κύματος.

- Horizontal Precision(HDOP): Ένα μέτρο του μεγέθους των σφαλμάτων DOP σε γεωγραφικό πλάτος και γεωγραφικό μήκος.
- Vertical Precision(VDOP): Μια ενιαία τιμή για ακρίβεια χρησιμοποιώντας μόνο το ύψος.

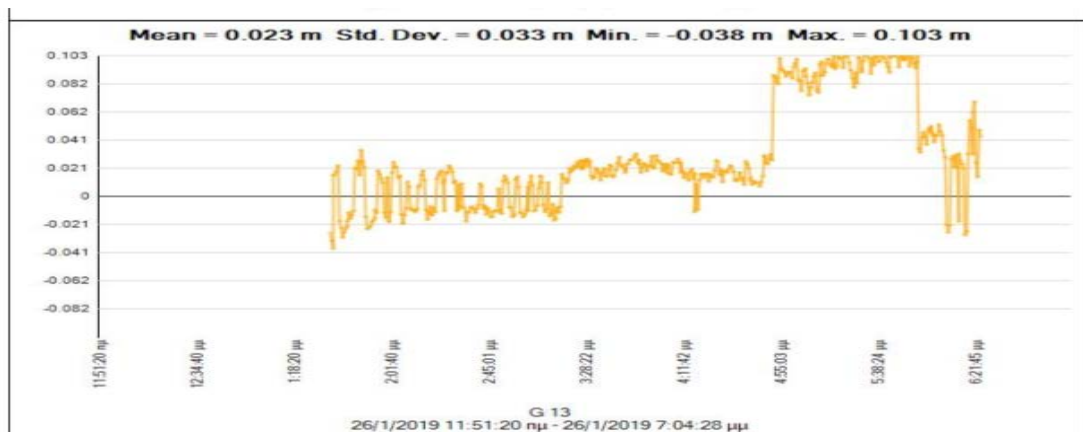
Ο χρήστης με βάση τις γνώσεις του, το είδος της εφαρμογής, τον εξοπλισμό, τη μέθοδο και την κρίση του μπορεί να αντιληφθεί αν τα αποτελέσματα είναι αποδεκτά για την κάθε περίπτωση. Έτσι μπορεί να επεξεργαστεί περαιτέρω τις μετρήσεις από τα εργαλεία του λογισμικού μέσω του project settings. Στο baseline processing/ satellites έχει την επιλογή να αλλάξει την γωνία αποκοπής των δορυφόρων(elevation mask) καθώς και να απενεργοποιήσει οποιοδήποτε δορυφόρο επιθυμεί οποιουδήποτε δορυφορικού συστήματος. Από το σύνολο των μετρήσεων τα οποία καταγραφήκαν μπορεί επίσης ο χρήστης να επιλέξει δεδομένα ανάλογα με το χρονικό διάστημα λήψεως. Δηλαδή το λογισμικό να λάβει υπόψη περισσότερα ή λιγότερα δεδομένα στην επίλυση, παραδείγματος χάρι κάθε 1 δευτερόλεπτο, κάθε 15 δευτερόλεπτα και ούτω κάθε εξής από τις γενικές ρυθμίσεις της βάσης(baseline processing/general).



Εικόνα 25: Baseline processing

Η απόφαση για το ποιους δορυφόρους θα απενεργοποιήσει ή όχι λαμβάνεται από τα διαγράμματα των δορυφόρων τα οποία εμφανίζουν την ροή των λήψεων στη διάρκεια των μετρήσεων. Τιμές οι οποίες ξεφεύγουν πολύ από το μηδέν, τις αφαιρούμε από το παράθυρο του session editor όπου 'διώξαμε' τους κύκλους ολίσθησης. Με κάθε αλλαγή-τροποποίηση της βάσης ο χρήστης θα πρέπει να ξανατρέχει την

επεξεργασία(Process baseline) για να παρακολουθεί συνεχώς αν όντως οι ακρίβειες βελτιώνονται ή όχι και ποια ήταν η αιτία των κακών αυτών αποτελεσμάτων.



Εικόνα 26:Baseline processing Report

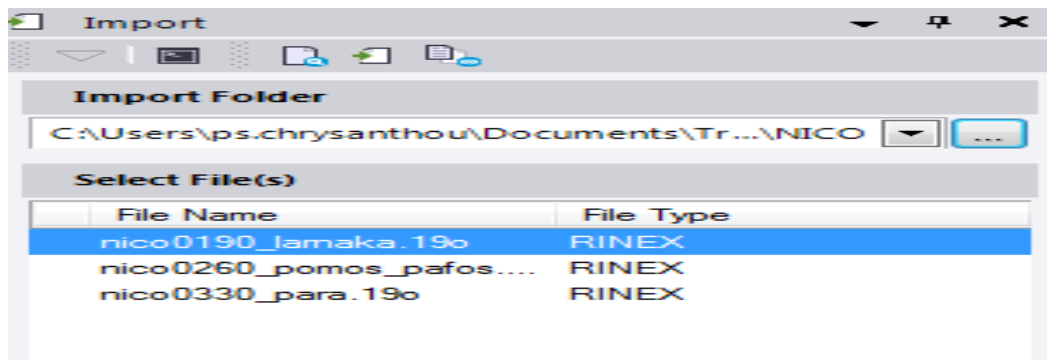
Η διαδικασία επαναλαμβάνεται από κάθε σημείο μετρήσεων προς τον αντίστοιχο μόνιμο κοντινότερο σταθμό του TKX.

Η δεύτερη και τελευταία φάση των μετρήσεων ήταν ο σχετικός εντοπισμός των θέσεων με βάση της μετρήσεις του μόνιμου σταθμού CORS-NICO(EUREF Permanent Network).

Η διαδικασία σε αυτή την περίπτωση διαφέρει μερικώς από τα προηγούμενα. Η χρήση ακριβέστερων μετρήσεων και οι μεγαλύτερες σε μήκος βάσεις αλλάζουν επίσης και τα τελικά αποτελέσματα.

Τα αρχικά στάδια του λειτουργίας του προγράμματος είναι ακριβώς τα ίδια με πιο πάνω. Πιο αναλυτικά η επιλογή metric και το σύστημα συντεταγμένων(CGRS 1993-LTM'93), ο καθορισμός του σημείου αναφοράς σαν control point και η αφαίρεση των κύκλων ολίσθησης επαναλαμβάνεται και εδώ. Τα δεδομένα εισαγωγείς του σταθμού αναφοράς διαφέρουν, εφόσον η επεξεργασία βασίζεται σε κάποιον άλλο σταθμό αναφοράς. Τα δεδομένα του NICO για τις συγκεκριμένες μέρες μετρήσεων λήφθηκαν διαδικτυακά.

Τα δεδομένα του δέκτη για κάθε περίπτωση και τα αρχεία RINEX του σταθμού NICO εισάγονται στο λογισμικό.



Εικόνα 27:RINEX NICO

Εκτός από τα αρχεία RINEX, θα πρέπει να υπολογιστούν οι συντεταγμένες του σταθμού NICO για κάθε μία ημέρα των μετρήσεων, δεδομένου ότι το ITRF14 είναι ένα δυναμικό πλαίσιο αναφοράς και είναι προσδιορισμένες οι ταχύτητες του σταθμού.

Επίσης είναι αναγκαία η μετατροπή τους σε ελλειψοειδές γεωδαιτικές συντεταγμένες φ, λ και γεωμετρικό υψόμετρο h για να μπορούν να εισαχθούν στο λογισμικό. Η μετατροπή έγινε με βάση το παγκόσμιο ελλειψοειδές εκ περιστροφής GRS80 στο ITRF14. Η μετατροπή έγινε μέσω του προγράμματος MATLAB.

Η εξαιρετικά μεγάλη ακρίβεια με την οποία μετράτε το σημείο του σταθμού NICO διαθέτετε η δυνατότητα επιλογής ακόμη και ημερομηνίας ενδιαφέροντος.

*Σημείωση: Η εισαγωγή της ημερομηνίας ενδιαφέροντος γίνεται με βάση την πρώτη ημέρα του κάθε χρόνου π.χ. 02/02/19 είναι η 33^η ημέρα του χρόνου για την εκάστων χρονιά.

Input

Frame :

Epoch :

```
# Lines starting by # are treated as comments
# Fields (in decimal format) should be separated by at least one space
#
# --> Example without velocity - StationName(no space character) X[m] Y[m] Z[m] :
StationName 4027894.006 307045.600 4919474.910
#
# --> Example with velocity - StationName(no space character) X[m] Y[m] Z[m] VX[m/yr] VY[m/yr] VZ[m/yr] :
StationName 4027894.006 307045.600 4919474.910 0.01 0.2 0.03
```

Incorrect number of fields at line 5 (different input and output epochs requires velocity information)

Output

Frame :

Epoch :

Εικόνα 28:Εισαγωγή ημερομηνίας ενδιαφέροντος

Συντεταγμένες NICO

1) Ημερομηνία-19/1/2019

- Πρωτογενείς δεδομένα για Λάρνακα

Γεωκεντρικές συντεταγμένες

X=4359415.4540 m, Y=2874117.2200 m, Z= 3650778.0026 m

Ελλειψοειδές Γεωδαιτικές συντεταγμένες(DMS-Degrees, Minutes, Seconds)

$\varphi=35^{\circ}08'27.55809''$, $\lambda=033^{\circ}23'47.21606''$, h=190.010 m

2) Ημερομηνία-26/1/2019

- Πρωτογενείς δεδομένα για Κ.Πάφο και Πωμό

Γεωκεντρικές συντεταγμένες

X=4359415.4537 m, Y= 2874117.2202 m, Z= 3650778.0029 m

Ελλειψοειδές Γεωδαιτικές συντεταγμένες(DMS-Degrees, Minutes, Seconds)

$\varphi=35^{\circ}08'27.55810''$, $\lambda=033^{\circ}23'47.21607''$, h=190.011m

3) Ημερομηνία-02/02/2019

- Πρωτογενείς δεδομένα για Παραλίμνι

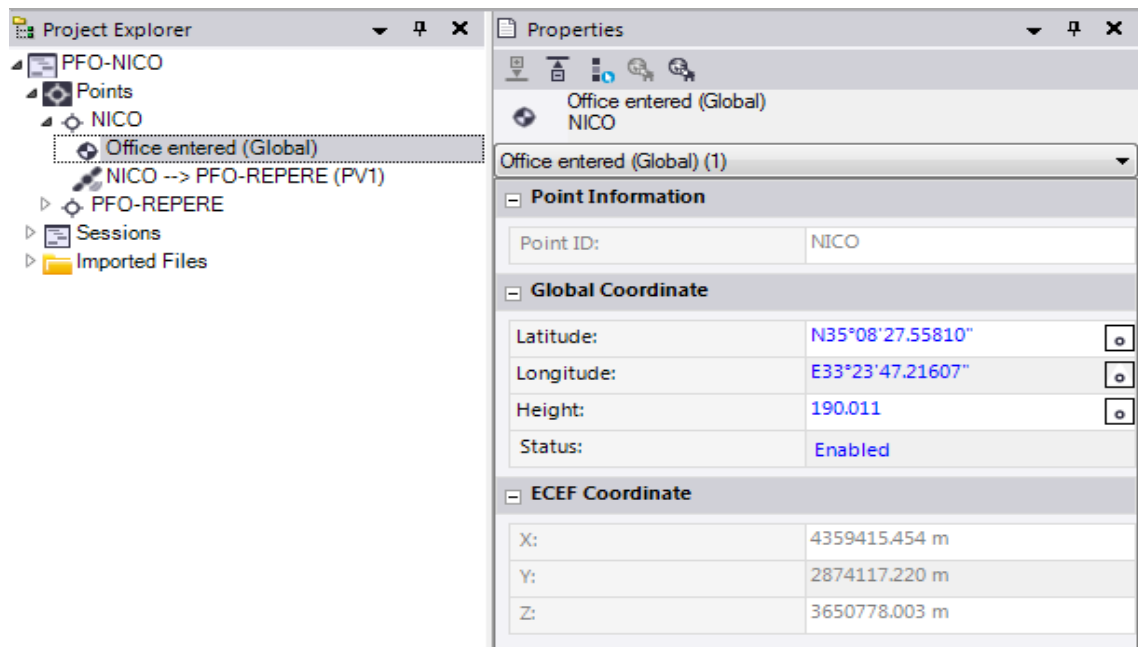
Γεωκεντρικές συντεταγμένες

X=4359415.4533 m, Y=2874117.2204 m, Z=3650778.0031m

Ελλειψοειδές Γεωδαιτικές συντεταγμένες(DMS-Degrees, Minutes, Seconds)

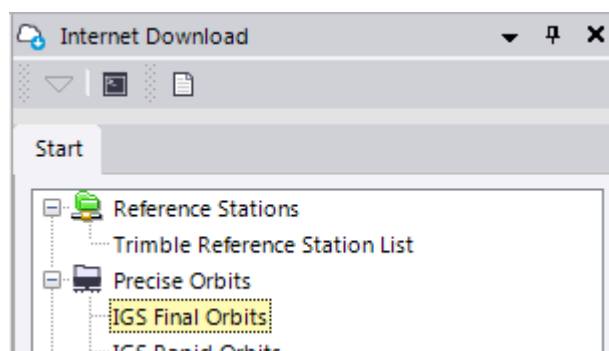
$\varphi=35^{\circ}08'27.55811''$, $\lambda=033^{\circ}23'47.21609''$, h=190.010 m

Η εισαγωγή των ελλειψοειδών γεωδαιτικών συντεταγμένων έγινε χειροκίνητα όπως παρουσιάζεται στην πιο κάτω εικόνα.

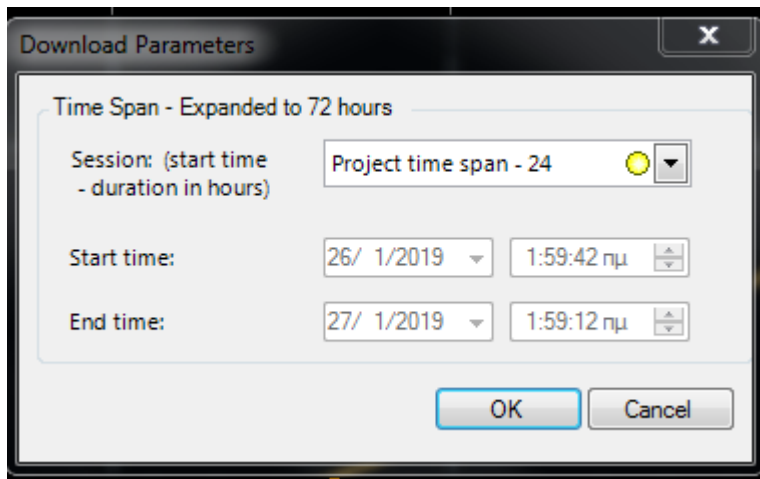


Εικόνα 29:Εισαγωγή Συντεταγμένων

Σε αυτή την περίπτωση η λύση της βάσης πραγματοποιήθηκε με δεδομένα ακριβέστερων εφημερίδων. Οι εφημερίδες αυτές διαθέτονται είτε απευθείας από το λογισμικό είτε από τη ιστοσελίδα του σταθμού αναφοράς-NICO. Επιλέχθηκε η αυτόματη ανάκτηση από το λογισμικό και εισαγωγής τους. Η αναγνώριση της ημερομηνίας είναι αυτοματοποιημένη διαδικασία καθώς το πρόγραμμα το αντιλαμβάνεται από τα ήδη δεδομένα που το εισάγαμε.

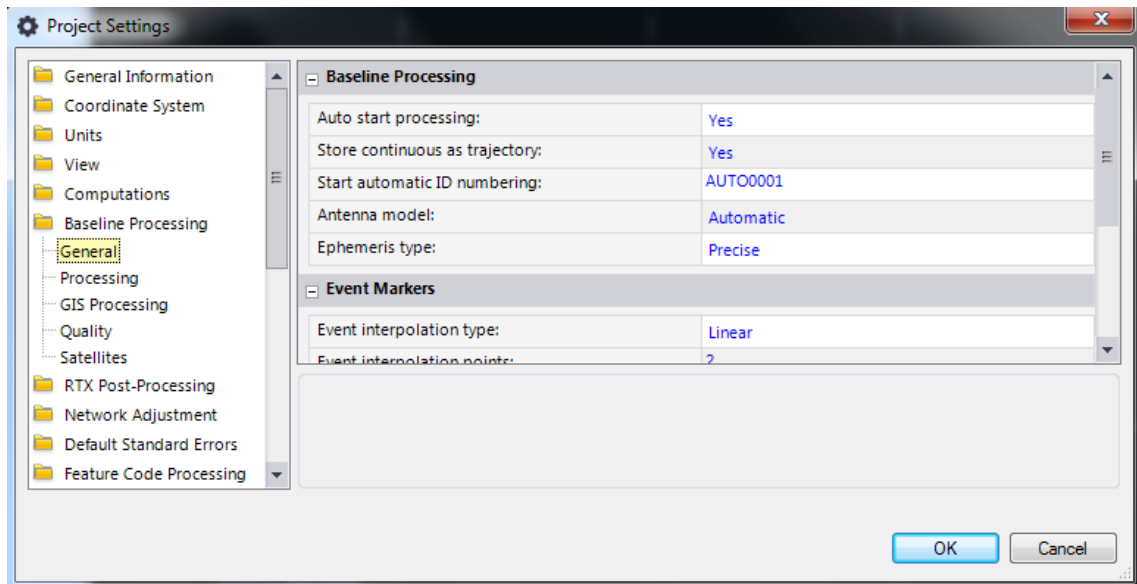


Εικόνα 30: Internet Download Precise Orbits



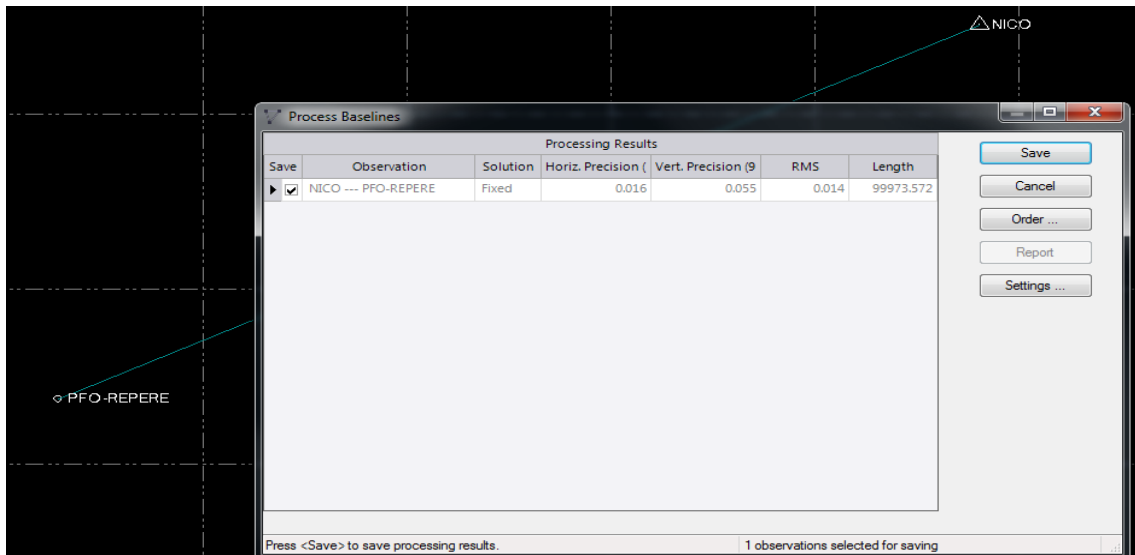
Εικόνα 31:Start-End duration

Τα δεδομένα για να μπορέσουν να υπολογιστούν στην επεξεργασία των σημείων πρέπει ένα βήμα πριν την εισαγωγή του να κάνουμε μερικές ρυθμίσεις. Από την εντολή project settings-baseline processing σαν τύπο εφημερίδων να επιλέξουμε το precise έναντι του automatic που είναι προεπιλογή, δηλαδή την ακριβή τελική εφημερίδα (final product) καθώς τα μήκη των βάσεων ξεπερνούν τα 20Km.



Εικόνα 32:Precise Ephemeris

Το λογισμικό είναι πλέον έτοιμο να υπολογίσει τη βάση και να αποδώσει τα αποτελέσματα.



Εικόνα 33:Process Baseline

Όπως και πριν έτσι και τώρα ο χρήστης έχει την ευχέρεια να επεξεργαστεί τα δεδομένα της βάσης, να ξανατρέξει την διαδικασία υπολογισμού και να καταλήξει σε επιθυμητό αποτέλεσμα.

Σε μερικές περιπτώσεις λόγω μεγάλης βάσης που σχηματιζόταν μεταξύ των υψομετρικών σημείων Repere και του σταθμού NICO οι ακρίβειες ήταν πολύ εκτός του επιτρεπτού ορίου. Έτσι έναντι αυτού στην επεξεργασία της βάσης(baseline processing) στο εργαλείο scientific mode στο processing mode επιλέξαμε τον γραμμικό συνδυασμό Melbourne Wubbena. Αμέσως μετά ξανατρέξαμε την διαδικασία υπολογισμού βάσης (process baseline) και παρατηρήσαμε πως οι ακρίβειες βελτιώθηκαν παρά πολύ

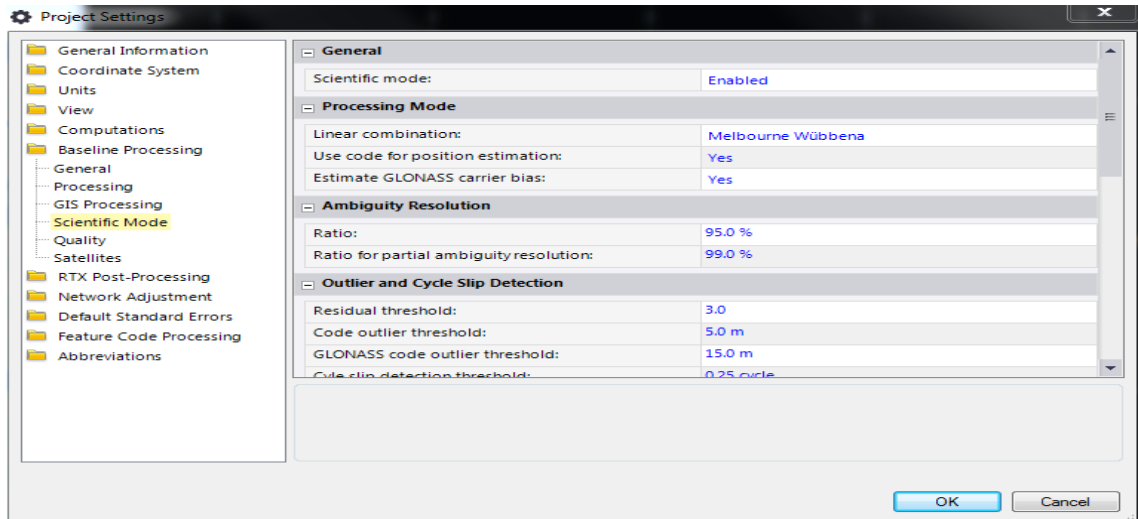
Γραμμικός συνδυασμός Melbourne Wubbena

Ο συνδυασμός Melbourne-Wübbena είναι μια λειτουργία ελεύθερης γεωμετρία ,χωρίς επιδράσεις ιονόσφαιρας πρώτης τάξης, που έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για την ανίχνευση ολίσθησης κύκλου και την ανάλυση αμφισημίας στην επεξεργασία δεδομένων διπλής συχνότητας GNSS. Αντιπροσωπεύει τις καθυστερήσεις οργάνου δορυφόρου και δέκτη και ε είναι ο θόρυβος μέτρησης, συμπεριλαμβανομένης της φάσης φορέα και του πολλαπλών διαδρομών.

Αυτός ο συνδυασμός έχει ένα διπλό όφελος, από τη μια πλευρά, ο συνδυασμός ευρείας λωρίδας έχει μεγαλύτερο μήκος κύματος από κάθε σήμα ξεχωριστά, γεγονός που οδηγεί σε διεύρυνση της απόστασης αμφιβολίας .Από την άλλη πλευρά, ο θόρυβος

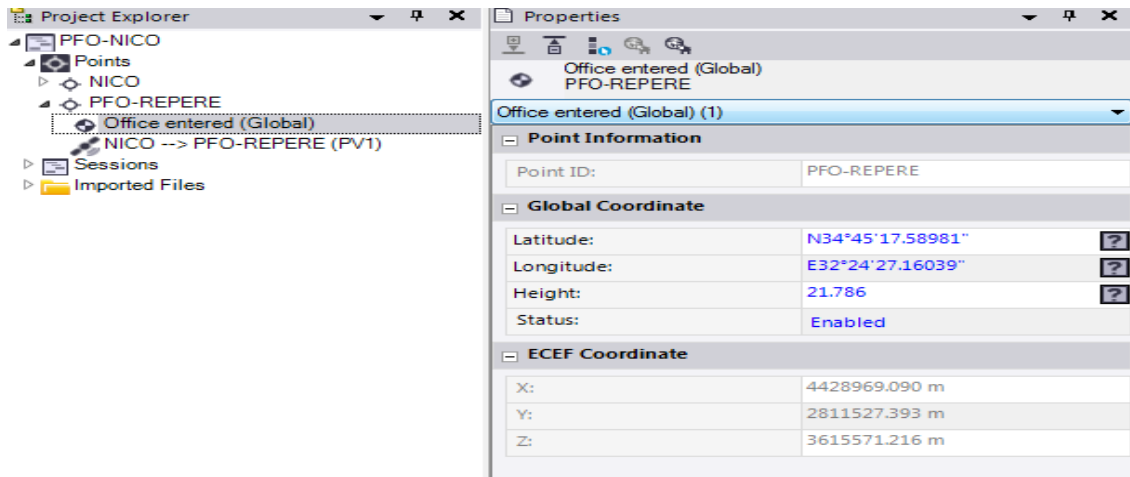
μέτρησης μειώνεται από τον συνδυασμό των μικρών διαδρομών των κωδικών μετρήσεων μειώνοντας τη διασπορά τιμών γύρω από την πραγματική μεροληψία.

Η ανίχνευση βασίζεται σε έναν υπολογισμό σε πραγματικό χρόνο των μέσων και sigma τιμών των δεδομένων δοκιμής μέτρησης BW. Ένας κύκλος-ολίσθηση δηλώνεται όταν μια μέτρηση διαφέρει από τη μέση τιμή προκατάληψης πάνω από ένα προκαθορισμένο αριθμό κατωφλίων τυπικών αποκλίσεων.



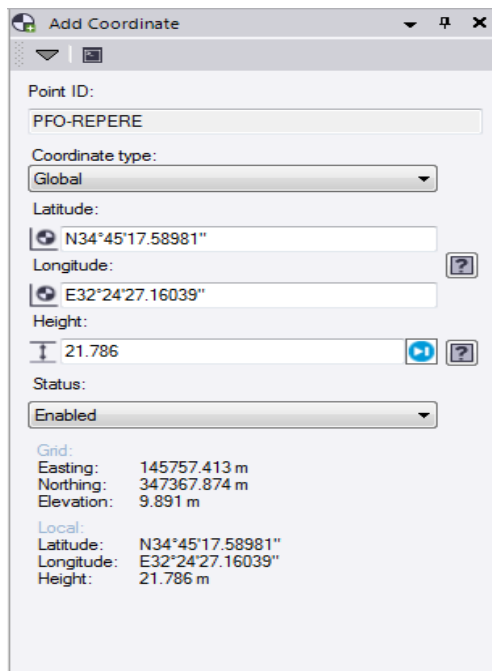
Εικόνα 34: Melbourne Wübbena

Σαν τελευταίο σκέλος αυτής της φάσης θα πρέπει να υπολογιστούν οι συντεταγμένες σημείου με βάση τις ακριβείς συντεταγμένες τις οποίες ο χρήστης εισχώρησε. Για αυτό το λόγο οι υπολογισμένες συντεταγμένες για τη θέση μέτρησης θα πρέπει να διαγραφούν και να επαναπροσδιοριστούν.



Εικόνα 35: Αρχικές συντεταγμένες σημείου

Μέσο της εντολής add coordinates για τη κάθε θέση μετρήσεων και τύπο συντεταγμένων παγκόσμιο (coordinate type/global) έχουμε τις νέες σωστές συντεταγμένες.



Εικόνα 36: Τελικές συντεταγμένες σημείου

Η διαδικασία της επεξεργασίας τελιώνει με την επίλυση και εύρεση όλων των συντεταγμένων των σημείων με βάση το σταθμού NICO.

12 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Οι τελικές ακριβείς συντεταγμένες των σημείων μέτρησης στο Κυπριακό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1993 και τελικό προϊόν του Στατικού Σχετικού Εντοπισμού παρουσιάζονται στους ακόλουθους πίνακες και εικόνες.

12.1 Αποτελέσματα και Συντεταγμένες σημείων με βάση το μόνιμο σταθμό δικτύων του ΤΚΧ

Πίνακας 1: ΤΚΧ- REPERE				
	RMS(M)	HORIZONTAL PRECISION(M)	VERTICAL PRECISION(M)	LENGTH(M)
ΛΑΡΝΑΚΑ ΤΚΧ- ΛΑΡΝΑΚΑ REPERE	0.005	0.001	0.005	1209.887
ΠΑΦΟΣ ΤΚΧ- ΠΑΦΟΣ REPERE	0.007	0.002	0.011	2812.212
ΠΟΛΗΣ ΤΚΧ- ΠΩΜΟΣ REPERE	0.018	0.005	0.028	19635.513
ΠΑΡΑΛΙΜΝΙ ΤΚΧ- ΠΑΡΑΛΙΜΝΙ	0.007	0.003	0.013	5028.379

REPERE			
	TKX-ECEF-COORDINATES(M)		
	X	Y	Z
ΛΑΡΝΑΚΑ ΤΚΧ	4358615.8	2899368.167	3631594.862
ΠΑΦΟΣ ΤΚΧ	4427020.601	2812496.3	3617354.827
ΠΟΛΗΣ ΤΚΧ	4413122.491	2803626.368	3640906.013
ΠΑΡΑΛΙΜΝΙ ΤΚΧ	4335786.572	2922709.715	3640254.345
	TKX-GLOBAL COORDINATES(DMS)		
	LATITUDE	LONGITUDE	HEIGHT(M)
ΛΑΡΝΑΚΑ ΤΚΧ	N34 55 50.57667	E33 37 55.21882	47.049
ΠΑΦΟΣ ΤΚΧ	N34 46 25.96222	E32 25 40.39809	114.268
ΠΟΛΗΣ ΤΚΧ	N35 01 58.85445	E32 25 39.05178	68.598
ΠΑΡΑΛΙΜΝΙ ΤΚΧ	N35 01 32.08753	E33 59 00.63541	110.058
	REPERE-ECEF-COORDINATES(M)		
	X	Y	Z

ΛΑΡΝΑΚΑ REPERE	4358077.023	2900422.63	3631364.087
Κ.ΠΑΦΟΣ REPERE	4428966.876	2811525.585	3645570.06
ΠΩΜΟΣ REPERE	4399165.903	2808564.224	3653803.004
ΠΑΡΑΛΙΜΝΙ REPERE	4332351.353	2926200.875	3641380.129
	REPERE-GLOBAL COORDINATES(DMS)		
	LATITUDE	LONGITUDE	HEIGHT(M)
ΛΑΡΝΑΚΑ REPERE	N34 55 41.91836	E33 38 41.56880	26.056
ΠΑΦΟΣ REPERE	N34 45 17.6147	E32 24 27.14703	18.795
ΠΩΜΟΣ REPERE	N35 10 31.40075	E32 33 19.53312	24.478
ΠΑΡΑΛΙΜΝΙ REPERE	N35 02 18.66879	E34 02 10.60582	23.557

12.2 Αποτελέσματα και Συντεταγμένες σημείων με βάση το μόνιμο σταθμό NICO. Πίνακας 2: REPERE-NICO

	RMS(M))	HORIZONTAL PRECISION(M)	VERTICAL PRECISION(M)	LENGTH(M))
NICO- ΛΑΡΝΑΚΑ REPERE	0.015	0.006	0.023	32721.34
NICO- ΠΑΦΟΣ REPERE	0.020	0.005	0.021	99973.571
NICO- ΠΩΜΟΣ REPERE	0.020	0.008	0.036	76722.611
NICO- ΠΑΡΑΛΙΜΝ I REPERE	0.013	0.004	0.0014	59443.121
	NICO-ECEF-COORDINATES(M)			
	X	Y	Z	
NICO- 19/01/2019	4359415.454	2874117.22	3650778.002	
NICO- 26/01/2019	4359415.454	2874117.22	3650778.003	

NICO- 26/01/2019	4359415.454	2874117.22	3650778.003
NICO- 02/02/2019	4359415.453	2874117.22	3650778.003
	NICO-GLOBAL COORDINATES(DMS)		
	LATITUDE	LONGITUDE	HEIGHT(M)
NICO- 19/01/2019	N35 08 27.55809	E33 23 47.21606	190.01
NICO- 26/01/2019	N35 08 27.55811	E33 23 47.21607	190.011
NICO- 26/01/2019	N35 08 27.55811	E33 23 47.21607	190.011
NICO- 02/02/2019	N35 08 27.55812	E33 23 47.21609	190.011
	REPERE-ECEF-COORDINATES(M)		
	X	Y	Z
ΛΑΡΝΑΚΑ REPERE	4358077.903	2900423.365	3631364.506
Κ.ΠΑΦΟΣ REPERE	4428969.09	2811527.393	3615571.216
ΠΩΜΟΣ REPERE	4399168.109	2808566.274	3653804.257

ΠΑΡΑΛΙΜΝ I REPERE	4332353.337	2926202.075	3641381.538	
	REPERE-GLOBAL COORDINATES(DMS)			
	LATITUDE	LONGITUDE	HEIGHT(M)	
ΛΑΡΝΑΚΑ REPERE	N34 55 41.90828	E33 38 41.57378	27.231	
ΠΑΦΟΣ REPERE	N34 45 17.58986	E32 24 27.16042	21.789	
ΠΩΜΟΣ REPERE	N35 10 31.37864	E32 33 19.55468	27.629	
ΠΑΡΑΛΙΜΝ I REPERE	N35 02 18.66307	E34 02 10.60130	26.263	

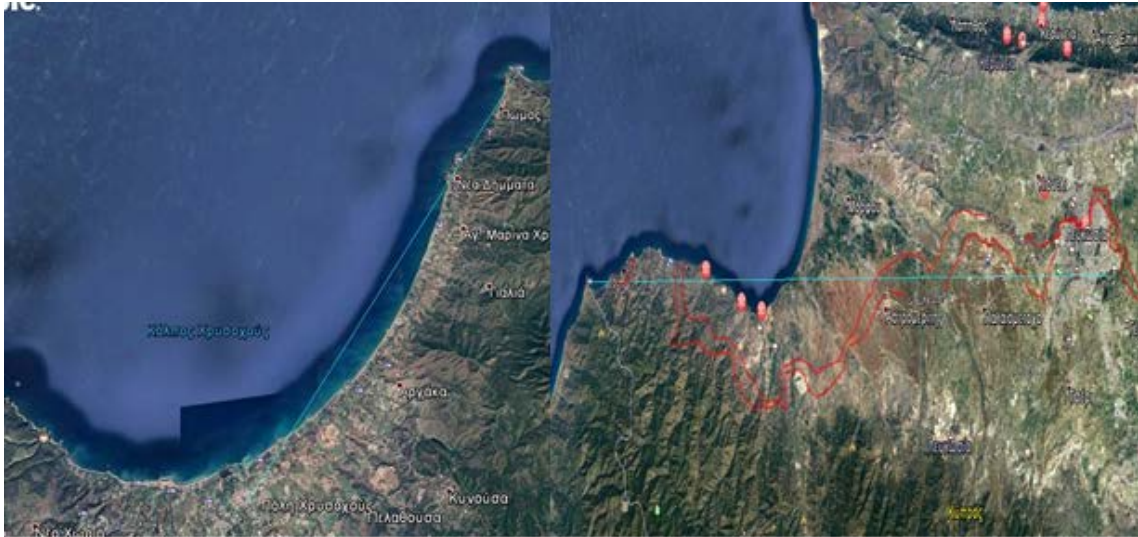
12.3 Δορυφορικές εικόνες-βάσεις Repere –Σταθμών



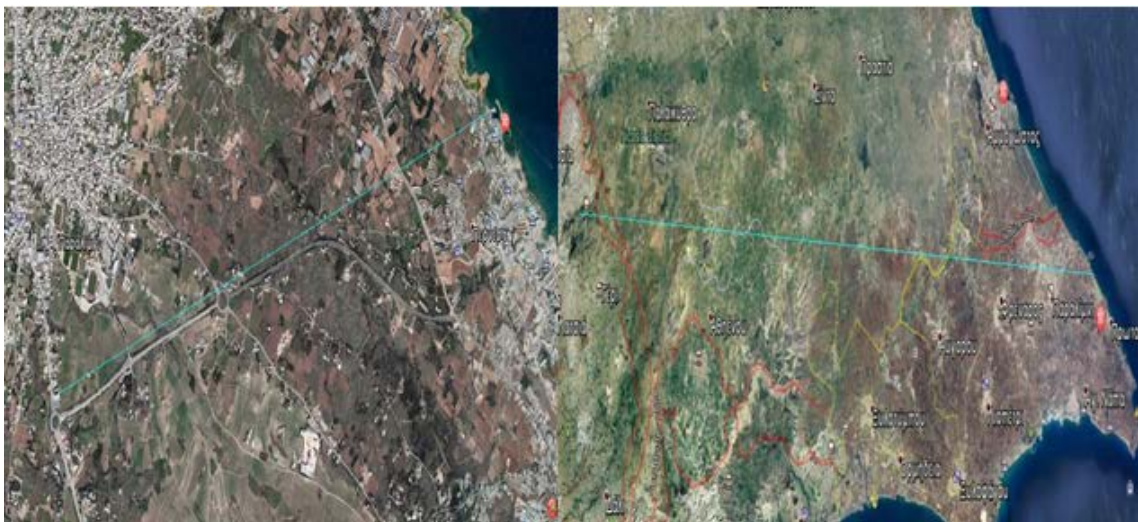
Εικόνα 37:Base Larnaka TKX-Repere, Base Larnaka Repere-NICO



Εικόνα 38: Paphos TKX-Repere, Base Paphos Repere-NICO



Εικόνα 39: Polis TKX-Repere, Base Pomos Repere-NICO



Εικόνα 40: Paralimni TKX-Repere, Base Paralimni Repere-NICO

13 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως ειπώθηκε εκ των προτέρων σκοπός της εν λόγω πτυχιακής εργασίας ήταν η εύρεση όσον των δυνατών καλύτερων συντεταγμένων των μετρούμενων σημείων με Σχετικό Στατικό Εντοπισμό. Με βάση τα πιο πάνω αποτελέσματα καταλήξαμε στα πιο κάτω συμπεράσματα:

- Η σύγκριση των αποτελεσμάτων των σημείων με κριτήριο το μήκος της βάσης Repere-μόνιμου σταθμού ,ανεξάρτητα TKX ή NICO παρατηρείται πως σημαντική είναι η επίδραση της απόστασης αυτής. Όσο μεγαλύτερη η απόσταση τόσο οι δείκτες ακρίβειας RMS, Horizontal Precision, Vertical Precision αυξάνονται.
- Σε εφαρμογές στατικού εντοπισμού που απαιτείτε υψηλής ακρίβειας μετρήσεις, αναγκαίος ο έλεγχος εκ των προτέρων ,μέσο διαδικτύου, την κίνηση και τροχιά των δορυφόρων. Έτσι ο μηχανικός μπορεί να αποφασίσει ανάλογα με την περιοχή των μετρήσεων ποια είναι θεωρητικά η καταλληλότερη μέρα μετρήσεων με την μεγαλύτερη πληρότητα δορυφόρων.
- Αναγκαία η χρήση και υπολογισμός στις μετρήσεις όσο το δυνατόν περισσότερων δορυφορικών συστημάτων τα οποία είναι διαθέσιμα(GPS, GLONASS, GALILEO).
- Παρατηρείται το πόσο διαφοροποιούνται οι συντεταγμένες των σημείων καθώς χρησιμοποιούνται ή όχι, ακριβείς εφημερίδες(Precise Ephemeris) αλλά και διορθωμένες συντεταγμένες του σταθμού NICO.
- Οι μετρήσεις στον Πωμό και στο Παραλίμνι όσον αφορά τις τιμές RMS και Vertical ακρίβειες ξεφεύγουν αρκετά από τις επιδιωκόμενες τιμές τις οποίες αναμέναμε σε κανονικά επίπεδα. Αυτό μπορεί να οφείλετε στον μόνιμο σταθμό τις κάθε επαρχίας ο οποίος ίσως να χρειάζεται κάποια συντήρηση ή από τις τροχιές των δορυφόρων για την συγκεκριμένη περίοδο της κάθε μέρας που λήφθηκαν οι μετρήσεις οι οποίες να μην ήταν και τόσο ευνοϊκές
- Επιφυλακτική η χρήση ακόμη και του στατικού εντοπισμού για εφαρμογές εξαιρετικής ακρίβειας και κινηματικού σχετικού εντοπισμού για τοπογραφικές εργασίες σε “κακές” περιοχές και μέρες

- Χρήση Γεωδαιτικών δεκτών που έχουν την δυνατότητα λήψης και των δύο συχνοτήτων(L1,L2) για μεγαλύτερες ακρίβειες
- Σημαντικός παράγοντας ο χρόνος μετρήσεων και ο ρυθμός λήψης σήματος
- Μέτρηση και παρακολούθηση των σημείων σε βάθος χρόνου
- Μη ιδανική γεωμετρία παίζει σημαντικό ρόλο στα αποτελέσματα

14 ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Ο προσδιορισμός της θέσης σημείων με εξαιρετική μεγάλη ακρίβεια αναγκάζει όλο και περισσότερο τον τομέα της Τοπογραφίας για αναζήτηση νέων μεθόδων, τεχνικών και εξοπλισμών για να καλύψει τις ανάγκες των απαιτούμενων εφαρμογών.

Η πλέον ακριβής μέθοδος εντοπισμού με δορυφορικές μετρήσεις είναι ο σχετικός στατικός εντοπισμός ο οποίος και εφαρμόστηκε στην πτυχιακή εργασία.

Ο εντοπισμός των υψομετρικών σημείων του δικτύου παλλιοιογράφων ΠΥΘΕΑΣ με μεγάλη ακρίβεια, κατά πρώτο λόγο θα μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν κατά την πάροδο του χρόνου για μελέτη μικρομετακινήσεων των σημείων και κατά δεύτερο την μελέτη της αποχής γεωειδούς από την επιφάνεια του ελλειψοειδούς με καλύτερη προσέγγιση για το νησί.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Φωτίου Α, Πικριδάς , Χ (2006):« GPS και Γεωδαιτικές Εφαρμογές» , Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Λάμπρου Ε, Πανταζής Γ(2010) «Εφαρμοσμένη Γεωδαισία» , Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Ρωσσικόπουλος, Δ (1999) : «Τοπογραφικά δίκτυα και υπολογισμοί» , Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη
- Αποστολάκης, Κ (1991) :«Τοπογραφία», Εκδόσεις Α.Σταμούλης.
- Θεόδωρος, Στρίγκος. "Εναλλακτικές Τεχνικές Εντοπισμού Θέσης." (2006).
- Σπόντου, Κατερίνα. "Εναλλακτικές Τεχνικές Εντοπισμού Θέσης." (2006).

Ξενόγλωσσες Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Seeber, G., 2003. Satellite Geodesy, 2nd ed. Walter de Gruyter, Berlin.
- Guochang, X., 2007. «GPS-Theory, Algorithms and Applications, 2nd ed. Springer.
- Chen, Zheng, Xiaobo Tan, and Mohsen Shahinpoor. "Quasi-static positioning of ionic polymer-metal composite (IPMC) actuators." Proceedings of the IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics. 2005.
- Lundberg, John B. "Alternative algorithms for the GPS static positioning solution." *Applied mathematics and computation* 119.1 (2001): 21-34.
- Wang, Jian, Jinling Wang, and Craig Roberts. "Reducing GPS carrier phase errors with EMD-wavelet for precise static positioning." *Survey Review* 41.312 (2009): 152-161.
- Blewitt, G., 1997. Basics of the GPS Technique: Observation Equations. Geodetic Applications of GPS, p. 10-54, ed. B. Johnson, Nordic Geodetic Commission, Sweden.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. and Rhind, D., 2005. Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications (Abridged Edition). John Wiley and Sons Inc., New Jersey,

- Neteler, M., Bowman, H., Landa, M. and Metz, M., 2012. GRASS GIS: A multi-purpose open source GIS. Environmental Modelling & Software, 31, 124-130.

Σημαντικοί Σύνδεσμοι

- Επίσημη ιστοσελίδα εταιρείας Trimble® <https://www.trimble.com/>
- Επίσημη ιστοσελίδα οργανισμού Αμερικανικού Δορυφορικού Συστήματος GPS <https://www.gps.gov/>
- Επίσημη ιστοσελίδα οργανισμού Ρωσικού Δορυφορικού Συστήματος GLONASS <https://www.glonass-iac.ru/en/>
- Επίσημη ιστοσελίδα οργανισμού παγκόσμιου δικτύου μόνιμων σταθμών EUREF <http://www.epncb.oma.be/>