

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ  
ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ-  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΚΕΝΤΡΟ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ ΔΙΟΝΥΣΟΥ**

**NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF  
ATHENS  
SCHOOL OF RURAL , SURVEYING AND  
GEOINFORMATICS ENGINEERING  
DIONYSOS SATELLITE OBSERVATORY**

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΤΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ  
RTK\_LIB ΜΕ ΤΟ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ BERNESSE**

**ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΚΟΥΤΑΒΑΣ**



**Αθήνα, ΙΟΥΝΙΟΣ 2021**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο τη διερεύνηση ακριβείας και τη σύγκριση του ελεύθερου λογισμικού rtklib με το επιστημονικό πακέτο Bernese. Ως δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις που διατέθηκαν από το Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας και το Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου για την τριετία 2014-2015-2016. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η πρώτη φάση διερεύνησης των βασικών παραμέτρων του λογισμικού rtk\_post, το οποίο αποτελεί υποπρόγραμμα της ευρύτερης βιβλιοθήκης rtklib, χρησιμοποιώντας σα δείγματα επτά μέρες του 2016 και μία ποικιλία βάσεων διαφόρων χιλιομέτρων. Στη συνέχεια έγινε εμβάθυνση στις επιλύσεις μία βάσης με μεσαίο μήκος για την εξαγωγή βέβαιων συμπερασμάτων για τα αποτελέσματά της και ταυτόχρονα ξεκίνησε η δεύτερη φάση διερεύνησης των παραμέτρων του προγράμματος.

Αφού προσδιορίστηκε ο βέλτιστος συνδυασμός παραμέτρων για την επίλυση βάσεων με τη μεγαλύτερη ακρίβεια, ξεκίνησε η σύγκριση των δύο προγραμμάτων με τη δημιουργία χρονοσειρών εφαρμόζοντας τη μέθοδο του σχετικού στατικού εντοπισμού για τη βάση μεσαίου μήκους που επεξεργάστηκε κατά τη διερεύνηση, χρησιμοποιώντας δεδομένα τόσο για το ελεύθερο λογισμικό rtk\_post όσο και για το επιστημονικό πακέτο Bernese. Αμέσως μετά, για την καλύτερη κατανόηση και σύγκριση των αποτελεσμάτων των χρονοσειρών της τριετίας δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα διαγράμματα και έγινε η οπτικοποίηση μερικών λύσεων μέσω του υποπρογράμματος του rtklib, το rtkplot. Ύστερα πραγματοποιήθηκαν μερικές επιλύσεις σχετικού κινηματικού εντοπισμού ώστε να εξαχθεί μία πιο σφαιρική εικόνα για τις δυνατότητες επεξεργασίας του προγράμματος rtk\_post καθώς και μία επίλυση απόλυτου εντοπισμού.

Τέλος, έγινε παρατήρηση των αποτελεσμάτων και εξάχθηκαν τα αντίστοιχα συμπεράσματα για την ποιότητά τους.

## ABSTRACT

The purpose of this dissertation is to investigate accuracy and compare the free rtklib software with the Bernese scientific package. Measurements provided by the Higher Geodesy Laboratory and the Dionysos Satellite Center for the three years 2014-2015-2016 were used as data. Initially, the first phase of exploring the basic parameters of the software rtk\_post, which is a subprogram of the wider rtklib library, was carried out, using as samples seven days of 2016 and a variety of bases of various kilometers. The solutions of a medium-length base were then deepened to draw certain conclusions about its results and at the same time the second phase of exploring the parameters of the program began.

After the optimal combination of parameters for the resolution of bases with the greatest accuracy was identified, the comparison of the two programs with the creation of time series began by applying the method of relative static positioning for the medium-length base elaborated during the investigation, using data for both the free software rtk\_post and the Bernese scientific package. Immediately afterwards, in order to better understand and compare the results of the three-year series, the corresponding diagrams were created and some solutions were visualized through the rtklib's subprogram, rtkplot. Then there were a few relative kinematic positioning solutions to extract a more global picture of the program's editing capabilities rtk\_post as well as an absolute positioning resolution.

Finally, the results were observed and the corresponding conclusions were drawn on their quality.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
ABSTRACT.....	3
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	6
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....	8
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	8
1.1 Εισαγωγή.....	8
1.2 Στόχοι εργασίας.....	8
1.3 Διάρθρωση περιεχομένων .....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....	12
ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	12
2.1 Ορισμός δορυφορικού εντοπισμού θέσης.....	12
2.1.1 Σχετικός προσδιορισμός θέσης .....	12
2.1.1.1 Σχετικός στατικός εντοπισμός .....	13
2.1.1.2 Σχετικός κινηματικός εντοπισμός .....	14
2.1.2 Επίδραση της ατμόσφαιρας και λειτουργία της συχνότητας L3.....	14
2.1.2.1 Τροπόσφαιρα .....	14
2.1.2.2 Ιονόσφαιρα .....	15
2.2 Προγράμματα επεξεργασίας .....	16
2.2.1 Επιστημονικά προγράμματα (Bernese) .....	16
2.2.2 Ελεύθερα προγράμματα (rtk_lib).....	17
2.3 Θεωρία χρονοσειρών .....	18
2.3.1 Συσχέτιση χρονοσειράς και συντελεστής προσδιορισμού.....	19
2.3.2 Παράδειγμα Χρονοσειράς.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....	24
ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ, ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ, ΔΟΚΙΜΕΣ .....	24
3.1 Γενικά στοιχεία διερεύνησης.....	24
3.1.1 Σταθμοί και ημέρες μέτρησης.....	24
3.1.2 RTK_POST .....	25
3.2 Πρώτη φάση διερεύνησης.....	32
3.3 Δεύτερη φάση διερεύνησης .....	37

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 .....	40
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ,ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ .....	40
4.1 Χρήσιμα στοιχεία χρονοσειρών .....	40
4.2 Επεξεργασία δεδομένων 2016,2015.....	40
4.2.1 Δημιουργία διαγραμμάτων .....	41
4.3 Προσθήκη δεδομένων του έτους 2014 .....	45
4.4 Συγκρίσεις χρονοσειρών Rtk_post-Bernese .....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 .....	60
ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ.....	60
5.1 Επεξεργασία δεδομένων κινηματικού εντοπισμού .....	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 .....	72
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	72
6.1 Συμπεράσματα Στατικού Εντοπισμού.....	72
6.1.2 Δεύτερη φάση Συμπερασμάτων Στατικού Εντοπισμού .....	72
6.2 Συμπεράσματα Κινηματικού Εντοπισμού.....	73
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	75

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Σε αυτό το σημείο, θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου προς όλους όσους με βοήθησαν να ολοκληρώσω τόσο τη διπλωματική μου εργασία όσο και τις προπτυχιακές μου σπουδές.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου Δρα Παραδείση Δημήτριο, ο οποίος μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα και ο οποίος με βοήθησε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας και τον Δρα Πανταζή Γεώργιο, ο οποίος με τις συμβουλές του και την καθοδήγησή του μου επέτρεψε να ολοκληρώσω άρτια και με επιτυχία αυτή τη διαδικασία.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς τον Ιορδάνη Γαλάνη, ο οποίος μου παραχώρησε ευγενικά τόσο τις πρωτογενείς μετρήσεις για τον εντοπισμό θέσης όσο και τα λογισμικά `rtk_post` και `rtk_plot`. Οι συμβουλές του ήταν καίριες και η βοήθειά του μου προσφέρθηκε απλόχερα όταν τη χρειάστηκα.

Σε αυτό το σημείο δε θα μπορούσα να παραλείψω το στενό μου φιλικό περιβάλλον και την αδερφή μου Σταυριανή, οι οποίοι με παρακινούσαν και με παρότρυναν να ασχοληθώ ενεργά με τη διπλωματική μου εργασία καθώς και καθ' όλη τη διάρκεια των προπτυχιακών σπουδών μου.

Τέλος θα ήθελα να πω ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου η οποία μου παρείχε τη συναισθηματική και ηθική ώθηση και υποστήριξη που χρειαζόμουν ώστε να φέρω εις πέρας το δύσκολο αυτό έργο.



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

### 1.1 Εισαγωγή

Τα διάφορα είδη δορυφορικού εντοπισμού αποτελούν ένα από τα βασικότερα αντικείμενα της επιστήμης της Γεωδαισίας, ενώ ταυτόχρονα καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Η μελέτη των δορυφορικών εντοπισμών περιλαμβάνει ένα μεγάλο σύνολο παραμέτρων οι οποίες αναλύονται με διάφορα προγράμματα, επιστημονικά ή ελεύθερα ανοιχτού κώδικα με σκοπό την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων.

Το μεγάλο ερώτημα που δημιουργείται, οφείλεται στην πληθώρα ελεύθερων προγραμμάτων που υπάρχουν στην αγορά, και αφορά την επιλογή του κατάλληλου ελεύθερου προγράμματος ανάλογα με τις ανάγκες και τις προϋποθέσεις της εκάστοτε εργασίας, συγκριτικά με την ακρίβεια που μπορεί να παρέχει ένα επιστημονικό πρόγραμμα.

### 1.2 Στόχοι εργασίας

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων του ελεύθερου προγράμματος Rtk\_post με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του επιστημονικού προγράμματος Bernese μέσω της δημιουργίας χρονοσειράς για την τριετία 2014/2015/2016.

Η επίτευξη του τελικού στόχου προϋποθέτει :

- Την πλήρη κατανόηση του θεωρητικού υποβάθρου που απαιτείται για την επιτυχή επεξεργασία και παρουσίαση των δεδομένων
- Την εξοικείωση με τα προγράμματα rtk\_post και rtk\_plot που χρησιμοποιήθηκαν ώστε να πραγματοποιηθούν οι επιλύσεις των δορυφορικών εντοπισμών και η οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων
- Την επίλυση και επεξεργασία των δεδομένων καθώς και την παραγωγή των αντίστοιχων διαγραμμάτων των χρονοσειρών



- Την παρατήρηση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν

### **1.3 Διάρθρωση περιεχομένων**

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται συνολικά από 5 κεφάλαια. Πιο αναλυτικά :

Στο πρώτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η παρουσίαση των στόχων της διπλωματικής καθώς και η περιγραφή των περιεχομένων της υπόλοιπης εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο θεωρητικό υπόβαθρο που απαιτείται ώστε να πραγματοποιηθεί η επεξεργασία και η επίλυση των δεδομένων. Πιο αναλυτικά, ορίζεται ο δορυφορικός εντοπισμός, αναλύεται η διαδικασία επίλυσης του σχετικού στατικού και σχετικού κινηματικού εντοπισμού καθώς και των κυριότερων παραμέτρων που τις επηρεάζουν. Στη συνέχεια γίνεται σύγκριση των ελεύθερων προγραμμάτων με τα επιστημονικά και πιο συγκεκριμένα του rtk\_post και Bernese ενώ τέλος αναλύεται η θεωρία των χρονοσειρών.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή των δεδομένων που παρέχονται, παρουσιάζεται αναλυτικά το πρόγραμμα rtk\_post που χρησιμοποιήθηκε, ύστερα ξεκινά η πρώτη φάση της διερεύνησης των παραμέτρων του προγράμματος στις διάφορες βάσεις που έχουν επιλεγεί, ενώ τέλος γίνεται η δεύτερη φάση διερεύνησης με εμβάθυνση σε μία από τις επιλεγμένες βάσεις ώστε να προκύψει ο συνδυασμός των παραμέτρων που παρέχει τα καλύτερα αποτελέσματα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δεδομένα που παρέχονται για τη δημιουργία χρονοσειρών, γίνεται αναλυτική περιγραφή της επίλυσης των δεδομένων της διετίας 2015/2016 και η παρουσίαση των αντίστοιχων διαγραμμάτων ενώ στη συνέχεια γίνεται προσθήκη και των δεδομένων του έτους 2014 ώστε να προκύψουν τα τελικά διαγράμματα των χρονοσειρών.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι επιλύσεις που έγιναν με τη μέθοδο του κινηματικού εντοπισμού καθώς και οι αντίστοιχοι πίνακες και διαγράμματα.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

#### 2.1 Ορισμός δορυφορικού εντοπισμού θέσης

Με τον όρο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού θέσης εννοείται ένα σύστημα προσδιορισμού των απόλυτων και σχετικών συντεταγμένων σημείων επί της Γης, κινητών ή ακίνητων, στην ξηρά στη θάλασσα ή επάνω από τη Γη, το οποίο βασίζεται σε ένα πλέγμα δορυφόρων της Γης και στο τμήμα χρηστών εφοδιασμένων με ειδικές συσκευές εντοπισμού τους δέκτες, οι οποίοι είτε σε πραγματικό χρόνο είτε με εκ των υστέρων επεξεργασία παρέχουν ακριβείς πληροφορίες για τη θέση ενός σημείου, το υψόμετρό του, την ταχύτητα και την κατεύθυνση κίνησής του. Μέχρι σήμερα έχουν αναπτυχθεί αρκετά τέτοια συστήματα όπως το σύστημα GPS (Global Positioning System) το οποίο αναπτύχθηκε από τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, το GLONASS από τη Ρωσία, το BEIDOU (BDS) από την Κίνα, το GALILEO από την Ευρωπαϊκή Ένωση, το QZSS από την Ιαπωνία και τέλος το IRNSS από την Ινδία.

##### 2.1.1 Σχετικός προσδιορισμός θέσης

Ο σχετικός προσδιορισμός θέσης αφορά τον προσδιορισμό της θέσης ενός σημείου ως προς ένα άλλο σημείο (συνιστώσες βάσης  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  στο χώρο). Για την εφαρμογή αυτής της μεθόδου απαιτούνται ταυτόχρονες μετρήσεις με δύο ή περισσότερους δέκτες, σε δύο ή περισσότερα σημεία αντίστοιχα. Η συνηθέστερη διαδικασία που χρησιμοποιείται στο σχετικό προσδιορισμό είναι η μέτρηση φάσης φέροντος κύματος η οποία παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια από τη διαδικασία της μέτρησης ψευδοαποστάσεων.

Οι διαφορετικές ανάγκες σε ακρίβεια και ταχύτητα που δημιουργούνται στις διάφορες εφαρμογές του δορυφορικού εντοπισμού οδήγησαν στη δημιουργία διαφόρων τεχνικών μέτρησης οι κυριότερες εκ των οποίων είναι ο

σχετικός στατικός και σχετικός κινηματικός εντοπισμός ,τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία.

### **2.1.1.1 Σχετικός στατικός εντοπισμός**

Σε αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιούνται δυο δέκτες , οι οποίοι παραμένουν σταθεροί για αρκετό χρονικό διάστημα . Ο ένας δέκτης (base) τοποθετείται σε ένα σημείο με γνωστές συντεταγμένες και ο δεύτερος (rover) στα προς μέτρηση σημεία. Ο χρόνος παραμονής σε κάθε σημείο μέτρησης για δέκτη μιας συχνότητας είναι τουλάχιστον είκοσι λεπτά για αποστάσεις μεταξύ των βάσεων μέχρι πέντε χιλιόμετρα και η σχετική του ακρίβεια είναι  $(5-10)\text{mm} + (1-2)\text{ppm}$ . Σε μεγάλες βάσεις της τάξης των δεκάδων χιλιομέτρων η διάρκεια των μετρήσεων είναι τουλάχιστον μερικές ώρες , και θα πρέπει να χρησιμοποιούνται δέκτες δύο συχνοτήτων για την αντιμετώπιση των σφαλμάτων της ατμόσφαιρας και κυρίως αυτών της ιονόσφαιρας. Η σχετική ακρίβεια για την κατακόρυφη θέση είναι συνήθως μία τάξη χειρότερη από αυτή της οριζοντιογραφικής, κάτι που οφείλεται στη γεωμετρία του δορυφορικού σχηματισμού, ο οποίος δεν είναι βέλτιστος στην κατακόρυφη συνιστώσα, αυτό όμως δεν απαγορεύει την εξαγωγή υψομετρικών αποτελεσμάτων με την κατάλληλη προσοχή. Η τάξη μεγέθους των πιο πάνω ακριβειών είναι συνάρτηση του μήκους της βάσης των δεκτών και της γεωμετρίας των δορυφόρων. Οι βάσεις μπορεί να είναι και μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα αρκεί να υπάρχουν ταυτόχρονα κοινοί παρατηρούμενοι δορυφόροι. Όσο πιο μεγάλη είναι η βάση τόσο περισσότερος χρόνος μετρήσεων απαιτείται διότι το πρόβλημα της ασάφειας φάσης γίνεται δυσκολότερο λόγω κυρίως των ατμοσφαιρικών συνθηκών. Τέλος ο ρυθμός καταγραφής των παρατηρήσεων επιλέγεται στα 10-15 sec για βάσεις έως 15 χιλιόμετρα και στα 30 sec για πολύωρες περιόδους μετρήσεων.

### **2.1.1.2 Σχετικός κινηματικός εντοπισμός**

Ο σχετικός κινηματικός εντοπισμός αφορά εφαρμογές που υπολογίζουν την τροχιά οχημάτων (πλοίων ,αεροπλάνων,drones) ,διαδρομών (οδικό δίκτυο). Αρχικά απαιτείται να λυθεί το πρόβλημα της ασάφειας φάσης για όλους τους δορυφόρους. Ο ακίνητος δέκτης μένει συνεχώς στο γνωστό σημείο και ο κινητός , στην αρχή , μένει ακίνητος για λίγα λεπτά μέχρι να συλλεχθούν οι ικανές μετρήσεις για την επίλυση των ασαφειών. Στη συνέχεια ο κινητός δέκτης λαμβάνει μετρήσεις ανά κάποια χρονικά διαστήματα και έτσι προσδιορίζονται οι σχετικές του θέσεις με την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχει απώλεια δορυφορικού σήματος. Αν συμβεί αυτό ή οι δορυφόροι είναι λιγότεροι από τέσσερις η επίλυση της ασάφειας πρέπει να επαναληφθεί όπως στην αρχή της διαδικασίας (αρχικοποίηση). Η επεξεργασία των μετρήσεων μπορεί να γίνει είτε σε πραγματικό χρόνο (rtk) είτε εκ των υστέρων (ppk).

### **2.1.2 Επίδραση της ατμόσφαιρας και λειτουργία της συχνότητας L3**

Τα τμήματα της ατμόσφαιρας που επηρεάζουν περισσότερο την πορεία του δορυφορικού σήματος και κατ' επέκταση την ακρίβεια υπολογισμού αποστάσεων (βάσεις) μεταξύ δεκτών στο σχετικό προσδιορισμό θέσης είναι η τροπόσφαιρα και η ιονόσφαιρα.

#### **2.1.2.1 Τροπόσφαιρα**

Η τροπόσφαιρα αποτελεί το κομμάτι της ατμόσφαιρας στο οποίο δημιουργούνται όλα τα μετεωρολογικά φαινόμενα του πλανήτη και εκτείνεται σε ύψος 9 χιλιομέτρων πάνω από τους πόλους και 16 χιλιομέτρων πάνω από τον ισημερινό. Η καθυστέρηση του σήματος στην τροπόσφαιρα είναι σημαντική για τον ακριβή προσδιορισμό θέσης ενός σημείου ή μιας βάσης. Η καθυστέρηση αυτή είναι συνάρτηση της απόστασης που διανύει το σήμα στην τροπόσφαιρα, της ζενίθιας γωνίας του δορυφόρου και του υψομέτρου του δέκτη, της θερμοκρασίας, της πίεσης και τέλος της υγρασίας. Η υγρασία χωρίζεται σε δυο παράγοντες, τον ξηρό και τον υγρό παράγοντα. Ο πρώτος

εκ των δύο επιδρά κατά 90% και είναι εύκολα μοντελοποιήσιμος ενώ ο δεύτερος έχει επίδραση της τάξης του 10% και μοντελοποιείται δύσκολα.

Για να περιγραφεί μαθηματικά το τροποσφαιρικό σφάλμα υπάρχουν δύο μέθοδοι. Ο ένας είναι η χρήση μόνο μετεωρολογικών μετρήσεων εδάφους δημιουργώντας τοπικά μοντέλα χωρίς τη χρήση GPS και ο άλλος είναι με τη χρήση μετρήσεων GPS προσδιορίζοντας τροποσφαιρικές παραμέτρους κατά τη διαδικασία της συνόρθωσης αυτών των μετρήσεων. Η χρήση μόνο μετεωρολογικών δεδομένων εδάφους αν και βελτιώνει την ακρίβεια έως και λίγα εκατοστά δε λύνει το πρόβλημα και δεν οδηγεί στον υπολογισμό υψηλότερων ακριβειών. Μικρά σφάλματα στις μετρήσεις αυτές χειροτερεύουν τα αποτελέσματα στην επίλυση μιας βάσης για αυτό και αντί των μετρήσεων εδάφους χρησιμοποιούνται τυπικές τιμές των μετεωρολογικών παραμέτρων. Ο προσδιορισμός τροποσφαιρικών παραμέτρων σε σχέση με ένα αρχικό σύστημα αναφοράς ενδείκνυται για αποστάσεις βάσεων μεγαλύτερες των 15-20 χιλιομέτρων. Σε περιορισμένες βάσεις μικρότερες των 10 χιλιομέτρων και για υψομετρικές διαφορές μικρότερες των 100m γίνεται χρήση μόνο των τυπικών μοντέλων ατμόσφαιρας (Saastamoinen, Hopfield).

#### **2.1.2.2 Ιονόσφαιρα**

Η ιονόσφαιρα είναι το τμήμα ατμόσφαιρας που εκτείνεται περίπου 50-1000 χιλιόμετρα πάνω από τη γήινη επιφάνεια και χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη φορτισμένων ιόντων και ηλεκτρονίων τα οποία προκαλούνται από την υπεριώδη ακτινοβολία. Αυτά με τη σειρά τους καθορίζουν την πυκνότητα της ιονόσφαιρας που επηρεάζει τη διάδοση του σήματος μεταβάλλοντας το μέτρο της ταχύτητας, τη διεύθυνση και την πολικότητα. Η ιονοσφαιρική καθυστέρηση είναι ανάλογη της πυκνότητας των ηλεκτρονίων TEC (Total Electron Content) και αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της συχνότητας  $f$  του φορέα (L1 ή L2). Αξίζει να επισημανθεί ότι η ιονόσφαιρα είναι μέσο διασποράς για το σήμα GPS δηλαδή ο δείκτης διάθλασης εξαρτάται από τη συχνότητά του. Το γεγονός αυτό κάνει τη χρήση της συχνότητας L3 (L1/L2) να μειώνει την επίδραση της ιονοσφαιρικής διάθλασης. Αυτός είναι και ο βασικός σκοπός δύο συχνοτήτων στο σήμα του GPS. Με δέκτες δυο συχνοτήτων το

ιονοσφαιρικό σφάλμα μπορεί να εξαλειφθεί αν χρησιμοποιήσουμε ένα κατάλληλο γραμμικό συνδυασμό των πρωτογενών παρατηρήσεων των δυο φορέων είτε ψευδοαποστάσεων είτε φάσεων. Στην περίπτωση των φάσεων γίνεται μία καλή προσέγγιση της τάξης των μερικών εκατοστών. Σε μικρές βάσεις το ιονοσφαιρικό σφάλμα σχεδόν απαλείφεται λόγω της ίδιας συμπεριφοράς της ιονόσφαιρας στα άκρα της μικρής βάσης (υψηλή συσχέτιση).

## **2.2 Προγράμματα επεξεργασίας**

### **2.2.1 Επιστημονικά προγράμματα (Bernese)**

Τα επιστημονικά προγράμματα είναι πολύπλοκα προγράμματα, συνήθως με δύσκολο περιβάλλον επεξεργασίας τα οποία χρησιμοποιούνται για επιστημονικούς σκοπούς μεγάλης ακρίβειας. Ένα τέτοιο πρόγραμμα είναι το Bernese από το Αστρονομικό Ινστιτούτο του πανεπιστημίου της Βέρνης ΑΙΥΒ, που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία αυτή ως μέτρο σύγκρισης για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων ενός ελεύθερου με ανοιχτό κώδικα προγράμματος.

Πιο συγκεκριμένα το πρόγραμμα αυτό είναι εφοδιασμένο με διάφορα μοντέλα τα οποία απαλείφουν διαφόρων ειδών σφάλματα, η ύπαρξη των οποίων θα δημιουργούσε μεγάλα προβλήματα στα τελικά αποτελέσματα. Το πρώτο από αυτά ονομάζεται Offset Model For Antenna Phase Center Of Satellite And Receiver. Ένα δεύτερο μοντέλο που συμβάλλει στην εξάλειψη των τροχιακών σφαλμάτων του δορυφόρου καθώς και των σφαλμάτων του χρονομέτρου του είναι το Error Of Satellite Clock And Error Of Satellite Position Model. Επόμενα μοντέλα είναι το model of Relocation From Ocean Upload και το Earth Rotation Parameters Model, τα οποία μειώνουν την επίδραση των παραμέτρων των ωκεανών και της περιστροφικής κίνησης της Γής. Τέλος το επιστημονικό πρόγραμμα Bernese περιλαμβάνει μοντέλα για τις εφημερίδες των δορυφόρων, για την επίδραση της βαρύτητας και των παλιρροιών των ωκεανών (Satellite Ephemeris Model, Earth Gravity Model, Ocean Tide Model). Οι παραπάνω διαδικασίες σε μεγαλύτερο ή μικρότερο



βαθμό χρησιμοποιούνται και από ελεύθερα/εμπορικά πακέτα χωρίς όμως να γνωρίζουμε ακριβώς την ακρίβεια των αποτελεσμάτων στην εφαρμογή τους. Μία σημαντική δυνατότητα που επίσης έχουν, είναι η δημιουργία μοντέλων ιονόσφαιρας χρησιμοποιώντας κάθε φορά τις συγκεκριμένες μετρήσεις, οπότε μας δίνεται η δυνατότητα να έχουμε ακριβέστατα αποτελέσματα σε βάσεις αρκετών εκατοντάδων χιλιομέτρων. Αυτά συνήθως εφαρμόζονται για μήκη άνω των 100km. Τέλος εφαρμόζονται εξελιγμένες μέθοδοι εντοπισμού των ασαφειών φάσης όπως η QIF (Quasi Ionosphere Free) όπου μας δίνεται η δυνατότητα να επιλύσουμε ασαφείς φάσης στην L3 συχνότητα, γεγονός που αυξάνει κατά πολύ τα μήκη των βάσεων που μπορούν να επιλυθούν.

### **2.2.2 Ελεύθερα προγράμματα (rtk\_lib)**

Τα ελεύθερα προγράμματα έχουν δημιουργηθεί για γενική χρήση και το πλεονέκτημα τους σε σχέση με τα επιστημονικά είναι ότι το προγραμματιστικό περιβάλλον τους είναι πιο απλό και εύκολο και απαιτείται λιγότερος χρόνος για την εκμάθησή τους. Ένα τέτοιο πρόγραμμα είναι και το rtk\_lib το οποίο αποτελεί μια ευρύτερη βιβλιοθήκη προγραμμάτων. Το πιο σημαντικό ζήτημα που δημιουργείται είναι αν τα ελεύθερα αυτά προγράμματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορες εργασίες με βάση την ακρίβεια που παρέχουν. Έχει αποδειχθεί ύστερα από διάφορες μελέτες ότι τα αποτελέσματα τέτοιων προγραμμάτων είναι ικανοποιητικά για μικρές περιοχές μελέτης, για απόλυτο ή σχετικό εντοπισμό ενώ αντίθετα η επεξεργασία δεδομένων που αφορούν περιοχές μερικών δεκάδων χιλιομέτρων και πάνω πρέπει να γίνεται με επιστημονικά προγράμματα, τα οποία είναι πιο λειτουργικά και περιέχουν περισσότερες παραμέτρους για δεδομένα GPS.

## 2.3 Θεωρία χρονοσειρών

Με τον όρο χρονοσειρά εννοούμε συνήθως μία ακολουθία ( $x_t$  :  $t=0,1,2,\dots$ ) όπου κάθε  $x_t$  εκφράζει την κατά τη χρονική στιγμή  $t$  κατάσταση ενός συστήματος το οποίο εξελίσσεται στο χρόνο κατά τυχαίο τρόπο (stochastic system). Οι χρονοσειρές μπορεί να αφορούν διακριτά μεγέθη σε διακριτό χρόνο, συνεχή μεγέθη σε διακριτό χρόνο και συνεχή μεγέθη σε συνεχή χρόνο.

Το πιο σημαντικό ζήτημα στην ανάλυση χρονοσειρών είναι η εκτίμηση που παράγει τη χρονοσειρά και ενδεχομένως η πρόβλεψη μελλοντικών τιμών του μεγέθους που παρατηρούμε με βάση τις μέχρι σήμερα τιμές της ίδιας χρονοσειράς ή ακόμα και σε συνδυασμό με τις μέχρι σήμερα τιμές μίας άλλης χρονοσειράς, η οποία εξελίσσεται παράλληλα με την πρώτη και επιδρά πάνω σε αυτή. Για να έχει νόημα αυτή η ανάλυση η πρώτη υπόθεση που πρέπει να απορριφθεί είναι ότι, η μεταβολή των τιμών του μεγέθους που παρατηρείται είναι εντελώς τυχαία δηλαδή το σύστημα είναι λευκός θόρυβος όπως ονομάζεται. Αν οι παρατηρήσεις της χρονοσειράς δεν είναι ανεξάρτητες, τότε τα κυριότερα χαρακτηριστικά που πρέπει να μελετηθούν πριν προχωρήσει η μοντελοποίησή της είναι η στασιμότητα, η τάση, η περιοδικότητα ή εποχικότητα, η αιτιοκρατία, η στοχαστικότητα και τέλος η γραμμικότητα ή η μη γραμμικότητα της χρονοσειράς.

Η στασιμότητα (stationarity) σημαίνει ότι οι διακυμάνσεις των τιμών της χρονοσειράς δε διαφοροποιούνται με το χρόνο. Μια μη στάσιμη χρονοσειρά μπορεί να εμφανίζει τάσεις (trends), δηλαδή αργές μεταβολές στη μέση τιμή της με το χρόνο ή και περιοδικότητα (periodicity), η οποία αναφέρεται σε διακυμάνσεις σε συγκεκριμένες περιόδους που σχετίζονται με φυσικές εποχές του έτους (μήνας, τρίμηνο, τετράμηνο) για αυτό λέγεται και εποχικότητα (seasonality). Υπό την έννοια ότι όλες οι χρονοσειρές από πραγματικά μεγέθη περιέχουν θόρυβο σημαίνει ότι είναι στοχαστικές. Αυτός είναι και ο όρος της στοχαστικότητας (stochasticity). Η μεγαλύτερη πρόκληση στην ανάλυση πραγματικών χρονοσειρών είναι η διερεύνηση και ο εντοπισμός του αιτιοκρατικού μέρους του συστήματος που την παράγει, δηλαδή η αιτιοκρατικότητα (determinism). Όταν αυτό είναι κρυμμένο μέσα στο θόρυβο ή δε κυριαρχεί στην εξέλιξη της χρονοσειράς τότε το σύστημα ονομάζεται

στοχαστικό ενώ αντίθετα αν μπορούμε να υποθέσουμε ότι το σύστημα που παράγει τη χρονοσειρά είναι κυρίως αιτιοκρατικό με στοχαστικές διαταραχές οι οποίες δε κυριαρχούν στην εξέλιξη της χρονοσειράς, αυτό ονομάζεται αιτιοκρατικό δυναμικό σύστημα. Τέλος η γραμμικότητα (linearity) τέτοιων συστημάτων σημαίνει πως οι μεταβλητές του συστήματος αλληλεπιδρούν γραμμικά ενώ όταν αυτό δε συμβαίνει τότε το σύστημα είναι μη γραμμικό.

### 2.3.1 Συσχέτιση χρονοσειράς και συντελεστής προσδιορισμού

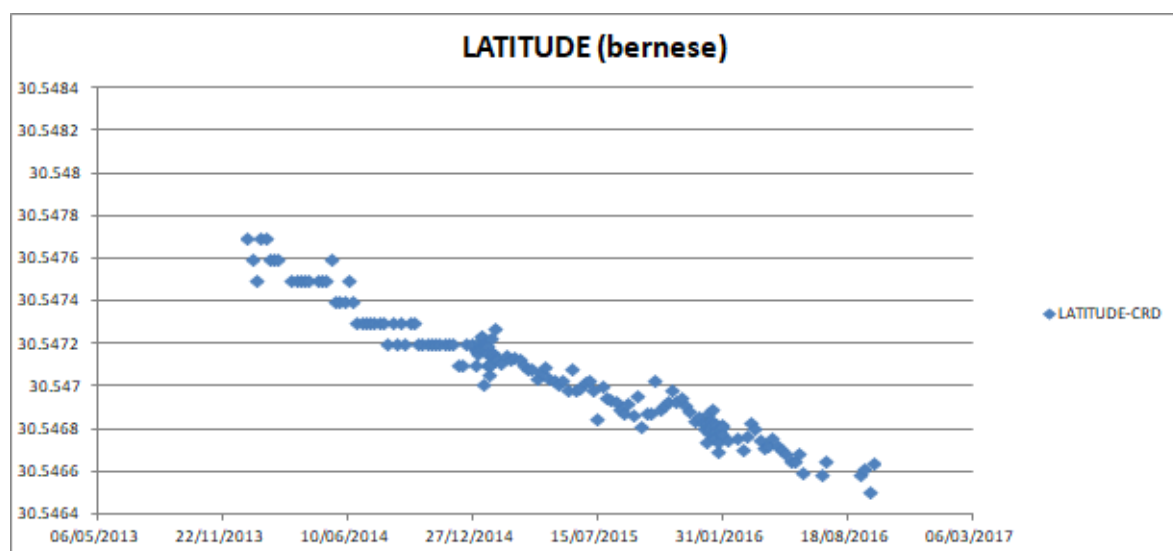
Αν υποθέσουμε ότι έχουμε δυο διαγράμματα διασποράς στα οποία προσαρμόζεται η ίδια γραμμή παλινδρόμησης, αλλά τα σημεία του σμήνους στο πρώτο διάγραμμα είναι περισσότερο συγκεντρωμένα γύρω από την ευθεία παλινδρόμησης σε αντίθεση με το δεύτερο, συμπεραίνουμε ότι, η γραμμική σχέση μεταξύ των μεταβλητών του πρώτου διαγράμματος είναι ισχυρότερη από αυτή του δεύτερου. Ένα μέτρο που μας δείχνει το μέγεθος της γραμμικής σχέσης ή το βαθμό συγκέντρωσης των σημείων του διαγράμματος διασποράς γύρω από τη ευθεία παλινδρόμησης είναι ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης (linear correlation coefficient). Ο συντελεστής αυτός αναφέρεται και ως συντελεστής του Pearson, ορίζεται με βάση ένα δείγμα  $n$  ζευγών παρατηρήσεων και συμβολίζεται με  $r$ . Η τιμή του κυμαίνεται  $-1 \leq r \leq +1$ . Όταν το  $r$  είναι  $0 < r < +1$  τότε οι μεταβλητές του διαγράμματος είναι θετικά συσχετισμένες ενώ όταν το  $r$  είναι  $-1 < r < 0$  τότε οι μεταβλητές είναι αρνητικά συσχετισμένες. Όσο η τιμή του  $r$  πλησιάζει το  $-1$  ή το  $+1$  τόσο πιο ισχυρή είναι η συσχέτιση. Όταν  $r = +1$  τότε έχουμε τέλεια θετική γραμμική συσχέτιση ενώ όταν  $r = -1$  έχουμε τέλεια αρνητική γραμμική συσχέτιση. Τέλος όταν  $r = 0$  τότε δεν υπάρχει γραμμική συσχέτιση δηλαδή οι μεταβλητές είναι γραμμικά ασυσχέτιστες.

Μέχρι τώρα έγινε λόγος στον συντελεστή γραμμικής συσχέτισης και στην ευθεία παλινδρόμησης. Όμως στη συσχέτιση μίας χρονοσειράς σημαντικό ρόλο διαδραματίζει το πόσο καλά η ευθεία παλινδρόμησης εξηγεί τα δεδομένα του δείγματος. Το μέγεθος που δίνει το ποσοστό μεταβλητότητας των τιμών της  $Y$  μεταβλητής που υπολογίζεται από τη  $X$  (και αντίστροφα) είναι

ο συντελεστής προσδιορισμού  $R^2$ , ο οποίος ορίζεται ως το άθροισμα των τετραγώνων εξαιτίας της παλινδρόμησης προς το συνολικό άθροισμα των τετραγώνων. Η μεγαλύτερη τιμή που μπορεί να πάρει το  $R^2$  είναι η μονάδα και αυτό συμβαίνει όταν ολόκληρη η μεταβλητότητα της  $Y$  ερμηνεύεται από την ανεξάρτητη μεταβλητή  $X$  ενώ η μικρότερη είναι το μηδέν πράγμα που σημαίνει ότι η ανεξάρτητη μεταβλητή  $X$  δε συμβάλλει καθόλου στην ερμηνεία της μεταβλητότητας της  $Y$ . Συνήθως όμως ισχύει  $0 \leq R^2 \leq 1$ .

### 2.3.2 Παράδειγμα Χρονοσειράς

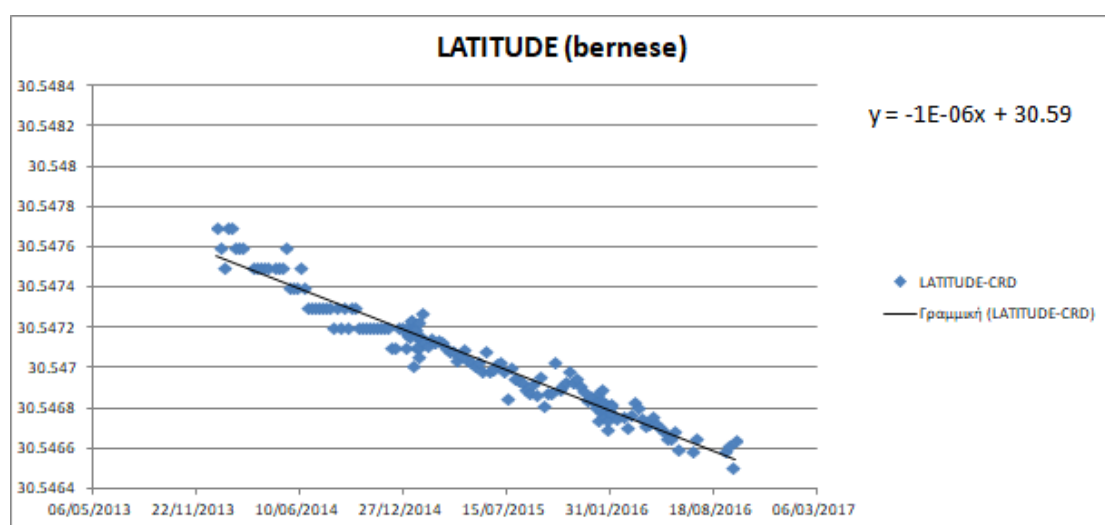
Για μεγαλύτερη κατανόηση των πιο πάνω εννοιών των στοιχείων συσχέτισης μιας χρονοσειράς δίνεται το παράδειγμα ενός μέρους της χρονοσειράς των ετών 2014-2015-2016 για το σημείο DYNG στη διεύθυνση North-South (latitude). Τα στοιχεία για τη δημιουργία των διαγραμμάτων αποτελούν μέρος των επιλύσεων που γίνονται από το Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας και Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου με το επιστημονικό πρόγραμμα Bernese.



Εικόνα 1: Αρχικό διάγραμμα Latitude (Bernese)

Το πιο πάνω διάγραμμα δείχνει την αρχική μορφή που έχουν τα δεδομένα της χρονοσειράς στη διεύθυνση North-South χωρίς καμία επεξεργασία. Ο άξονας Y εκφράζει τη μετακίνηση του σημείου DYNG στο σύστημα αναφοράς ITRF2014, εκφρασμένη σε λεπτά και δευτερόλεπτα της μοίρας σε δεκαδική μορφή ενώ ο άξονας X αντιστοιχεί στις ημερομηνίες των μετρήσεων κάθε σημείου dd/mm/yy (ημέρα/μήνας/χρόνος).

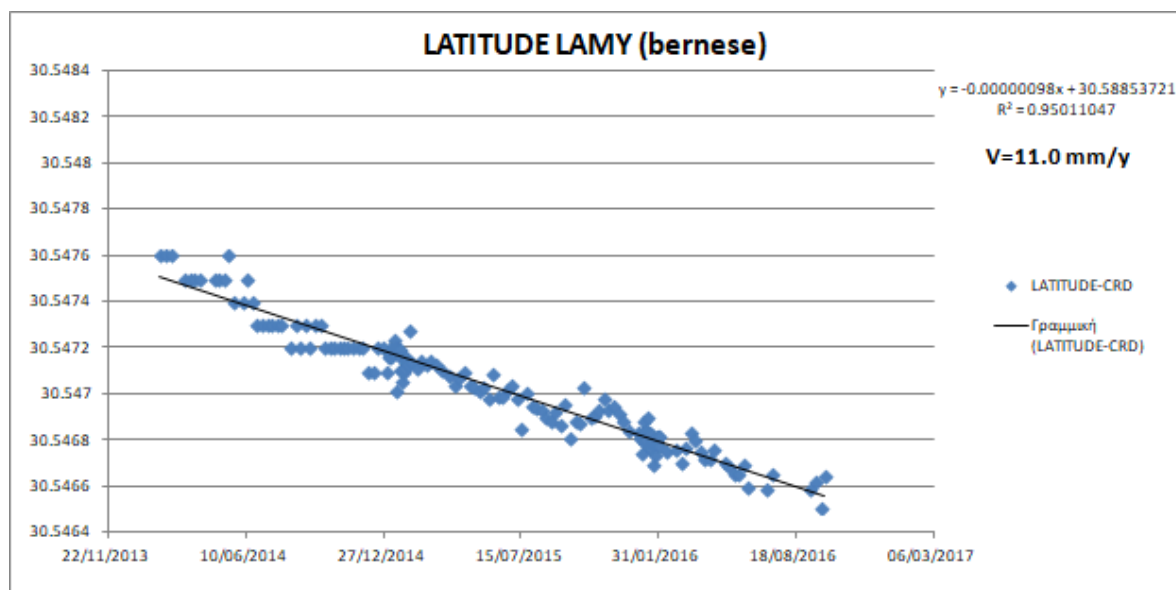
Το πρώτο βήμα στην επεξεργασία του διαγράμματος είναι ο σχεδιασμός της γραμμής παλινδρόμησης και της αντίστοιχης εξίσωσής της.



Εικόνα 2: Δεύτερο διάγραμμα Latitude (Bernese)

Παρατηρούμε ότι το σμήνος των σημείων του διαγράμματος συγκεντρώνονται κοντά στην ευθεία παλινδρόμησης, άρα οι μεταβλητές του έχουν υψηλή γραμμική συσχέτιση και βλέποντας την κλίση της ευθείας μπορούμε να πούμε ότι είναι αρνητικά συσχετισμένες αφού ο συντελεστής συσχέτισης σε αυτή την περίπτωση θα κυμαίνεται από  $-1 < r < 0$ .

Το επόμενο βήμα στην επεξεργασία, αφού έχει δημιουργηθεί η γραμμή παλινδρόμησης και έχουν εξαχθεί τα πρώτα συμπεράσματα για τη συσχέτιση της χρονοσειράς είναι να ελέγξουμε το ποσοστό μεταβλητότητας των τιμών της Y μεταβλητής που υπολογίζεται από τη X με την προσθήκη του συντελεστή προσδιορισμού  $R^2$ .

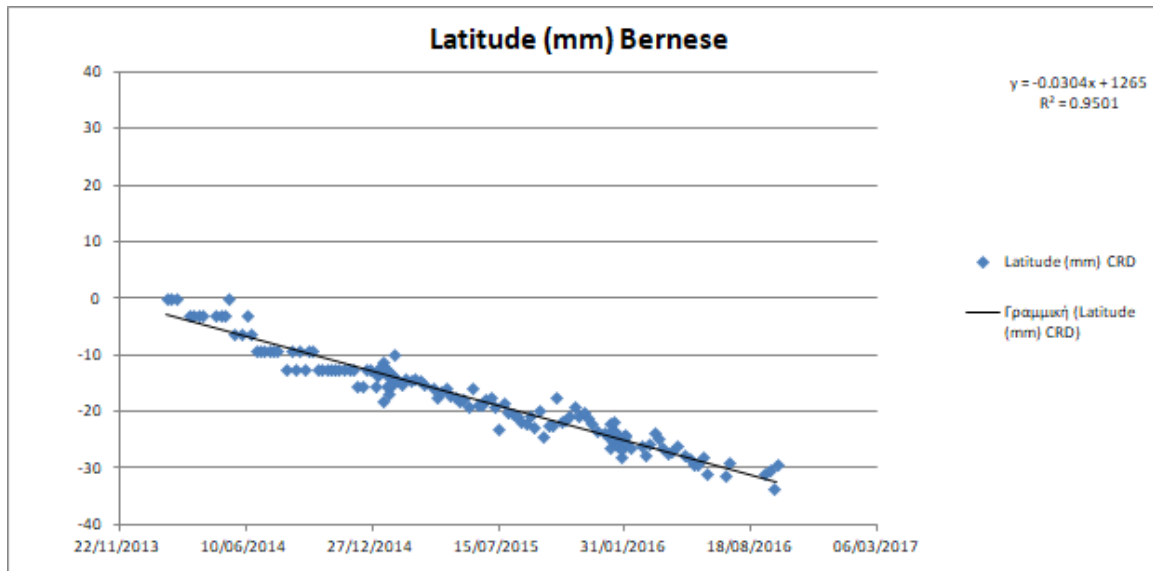


Εικόνα 3: Τρίτο διάγραμμα Latitude (Bernese)

Παρατηρώντας την τιμή του συντελεστή προσδιορισμού  $R^2=0,95$  συμπεραίνουμε ότι οι τιμές της μεταβλητής  $Y$  ερμηνεύονται σε πολύ μεγάλο ποσοστό από τη μεταβλητή  $X$ .

Το τελευταίο βήμα για την εξαγωγή της τελικής μορφής του διαγράμματος είναι οι μονάδες των αξόνων να είναι πρακτικά κατανοητές από τους αναγνώστες. Όσον αφορά τον άξονα  $Y$  αυτό δε συμβαίνει, καθώς τα λεπτά και τα δευτερόλεπτα της μοίρας σε δεκαδική μορφή δε μπορούν να μας δώσουν μια αίσθηση του αποτελέσματος της μετακίνησης της βάσης που μελετάμε με μία πρόχειρη ματιά. Για τη μετατροπή των λεπτών και δευτερολέπτων δεκαδικής μορφής σε χιλιοστά (mm) ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία. Η εξίσωση της γραμμής παλινδρόμησης είναι  $y=-0.00000098x+30.58853721$ . Το σημαντικό στοιχείο στην εξίσωση είναι ο συντελεστής του  $x$ . Αρχικά πολλαπλασιάζουμε το συντελεστή αυτό με 30,8 αφού ισχύει χοντρικά ότι κάθε λεπτό της μοίρας αντιστοιχεί σε 30,8 m στο έδαφος κατά τη διεύθυνση του μήκους και σε  $30,8 \cdot \cos\varphi$  κατά το πλάτος. Σε περίπτωση που θέλουμε μια απολύτως ακριβή μετατροπή θα πρέπει να υπολογίσουμε την ακτίνα καμπυλότητας  $N$  στο σημείο που μας ενδιαφέρει. Ύστερα το αποτέλεσμα που υπολογίστηκε πολλαπλασιάζεται με 365 ώστε να

βρούμε πόσα m/year (μέτρα/χρόνος) είναι η μετακίνηση, αφού το excel στο οποίο έγιναν οι υπολογισμοί σε μονάδα μέτρησης έχει τη μέρα, και τέλος το αποτέλεσμα των πιο πάνω πράξεων πολλαπλασιάζεται με 1000 ώστε τα μέτρα m να μετατραπούν σε χιλιοστά mm. Το τελικό αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί.



Εικόνα 4: Τελικό διάγραμμα Latitude (Bernese)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ, ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ, ΔΟΚΙΜΕΣ

#### 3.1 Γενικά στοιχεία διερεύνησης

Κατά το ξεκίνημα της διερευνητικής φάσης είναι σημαντικό να αναφερθούν βασικά στοιχεία-δεδομένα που χρησιμοποιούνται στο ξεκίνημά της, αλλά και καθ' όλη τη διάρκειά της, μέχρι την εξαγωγή του τελικού αποτελέσματος.

##### 3.1.1 Σταθμοί και ημέρες μέτρησης

Οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν για την εργασία ώστε να δημιουργηθούν οι βάσεις και να μετρηθούν οι σχετικές αποστάσεις είναι διαφόρων μηκών, οι οποίες ποικίλουν από μερικά μέτρα μέχρι κάποιες χιλιάδες χιλιόμετρα και είναι τοποθετημένες σε διάφορες χώρες της Ευρώπης. Οι κωδικές ονομασίες των σταθμών που βρίσκονται στην Ελλάδα είναι DYNG, DION G ,οι οποίες βρίσκονται στο κέντρο δορυφόρων Διονύσου και απέχουν μεταξύ τους μερικές δεκάδες μέτρα, και ο LAMY που είναι τοποθετημένος στο Λαμπαδάριο κτήριο στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Οι άλλοι δύο σταθμοί που μελετήθηκαν βρίσκονται ο ένας στην Ιταλία με το όνομα MATE και ο άλλος στη Γερμανία με όνομα WTZR. Οι βάσεις που σχηματίστηκαν είχαν ως σταθμό αναφοράς το κάθε σημείο και επιλύονταν πάντα προς το DYNG.

Για την εκτέλεση των πρώτων φάσεων της διερεύνησης χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από έξι μέρες του 2016 και συγκεκριμένα από τις 296,297,298,299,300,301,302. Ο φάκελος κάθε μιας περιέχει ένα αρχείο το οποίο περιλαμβάνει τις συντεταγμένες των σταθμών από το Bernese, τις οποίες θεωρούμε σωστές και τις χρησιμοποιούμε σα μέτρο σύγκρισης των παραγόμενων συντεταγμένων, τρία αρχεία της μορφής .sp3 , .nav , .erp τα οποία περιέχουν πληροφορίες για τις τροχιές των δορυφόρων που χρησιμοποιήθηκαν για να γίνουν οι μετρήσεις τη συγκεκριμένη μέρα, και τέλος ένα αρχείο για κάθε σταθμό που συμπεριλαμβάνει όλα τα απαραίτητα στοιχεία



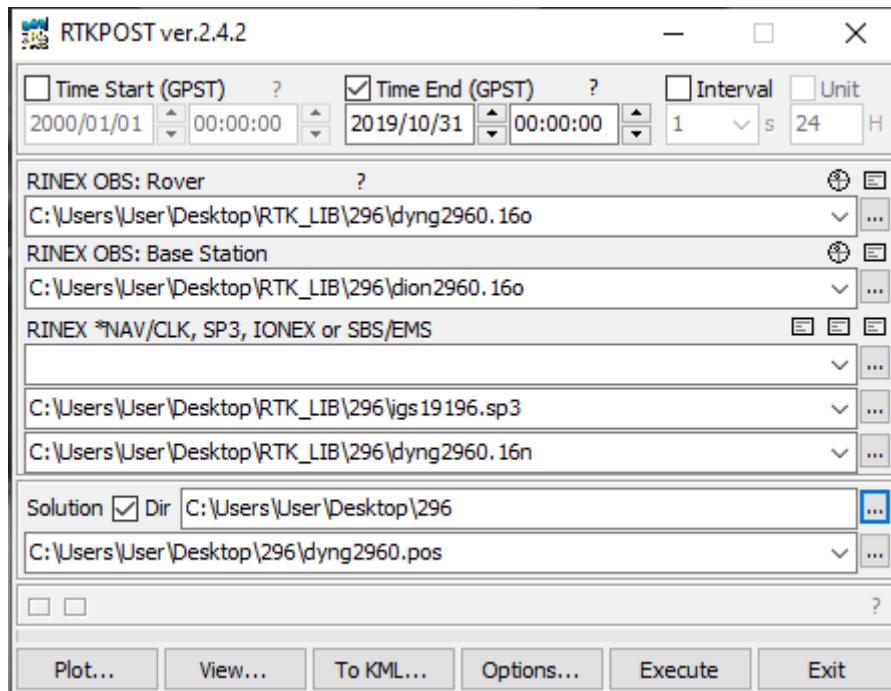
για αυτόν, όπως τις συντεταγμένες του, το είδος της κεραίας του και το ύψος της. Επομένως με όλα αυτά τα δεδομένα μετρήθηκαν οι αποστάσεις μεταξύ των βάσεων χρησιμοποιώντας μόνο τις συντεταγμένες της μέρας 296 από το Bernese, αφού η χρήση των ίδιων συντεταγμένων και για τις υπόλοιπες μέρες δε θα είχε καμία επίδραση στον υπολογισμό των αποστάσεων. Οι τελικές αποστάσεις φαίνονται στον πίνακα παρακάτω.

Αποστάσεις S(km)	
DYNG-DION G	0.019
DYNG-LAMY	17
DYNG-WTZR	1512
DYNG-MATE	685

Εικόνα 5: Αποστάσεις βάσεων

### 3.1.2 RTK\_POST

Το προγραμματιστικό περιβάλλον που χρησιμοποιήθηκε κατά κύριο λόγο είναι το υποπρόγραμμα της ευρύτερης βιβλιοθήκης ελεύθερων προγραμμάτων ανοιχτού κώδικα rtk\_lib, το rtk\_post.

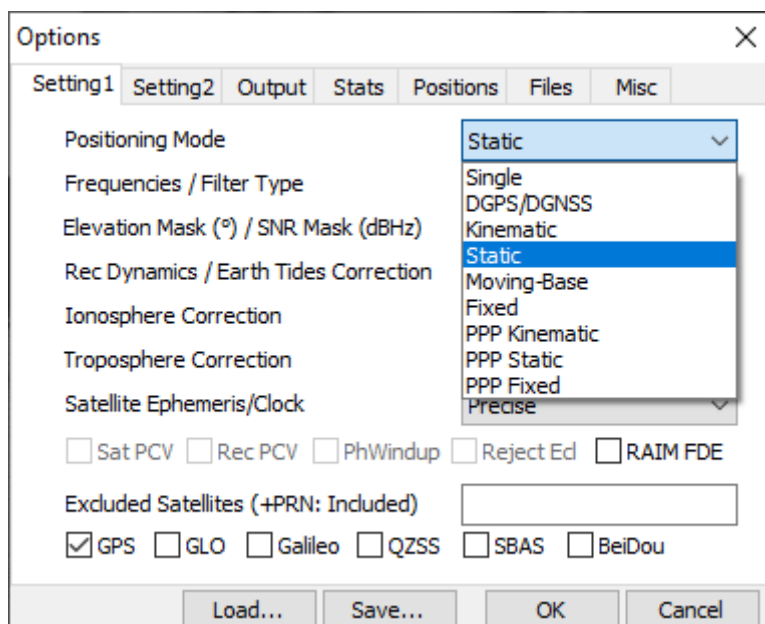


**Εικόνα 6: Βασικό περιβάλλον rtk\_post**

Όπως φαίνεται από το κυρίως περιβάλλον του προγράμματος για την επίλυση μίας βάσης τοποθετούνται τα στοιχεία για τον κινητό σταθμό rover (RINEX OBS:ROVER), καθώς επίσης και για το σταθμό αναφοράς base (RINEX OBS:Base Station), τα στοιχεία για τις τροχιές των δορυφόρων (RINEX NAV/CLK,SP3,IONEX or SBS/EMS) και τέλος το όνομα του αρχείου και ο χώρος που θα αποθηκευτεί. Στη μπάρα εντολών που βρίσκεται στο κάτω μέρος του προγράμματος υπάρχουν κάποιες εντολές που εκτελούν συγκεκριμένες λειτουργίες. Αφού τοποθετηθούν τα απαραίτητα δεδομένα στο πρόγραμμα για την επίλυση μιας βάσης χρησιμοποιείται η εντολή Execute με την οποία ξεκινά η επίλυση. Όταν η επίλυση ολοκληρωθεί τότε τη λύση μπορούμε να τη δούμε σε μορφή κειμένου πατώντας την εντολή View. Οι εντολές Plot και To KML αναφέρονται στη μορφή που μπορούμε να δούμε τη λύση καθώς με την εντολή Plot έχουμε τη δυνατότητα να δούμε γραφικά τη λύση μέσω ενός άλλου υποπρογράμματος του rtk\_lib που ονομάζεται rtk\_plot ενώ με το To KML γίνεται σύνδεση του προγράμματος με το Google Earth εμφανίζοντας τη λύση στο περιβάλλον του.

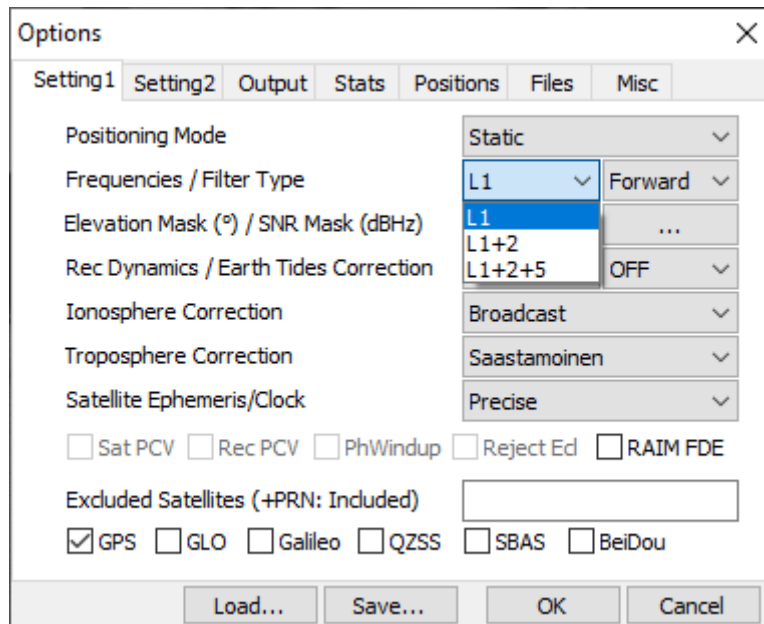
Η κυριότερη επιλογή αυτής της σειράς εντολών είναι η επιλογή Options. Με το πάτημα αυτής οδηγούμαστε σε ένα δευτερεύον περιβάλλον το οποίο περιλαμβάνει όλες τις παραμέτρους του προγράμματος. Και αυτό το περιβάλλον περιλαμβάνει μία σειρά επιλογών στο πάνω μέρος του κάθε μία από τις οποίες περιέχει διάφορες παραμέτρους. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία είναι οι εξής.

Στην πρώτη επιλογή settings 1 εμπεριέχονται οι βασικότερες παράμετροι του προγράμματος. Η πρώτη είναι το positioning mode και αφορά τη μέθοδο επίλυσης των δεδομένων. Στην εργασία χρησιμοποιήθηκε η επιλογή static και kinematic.

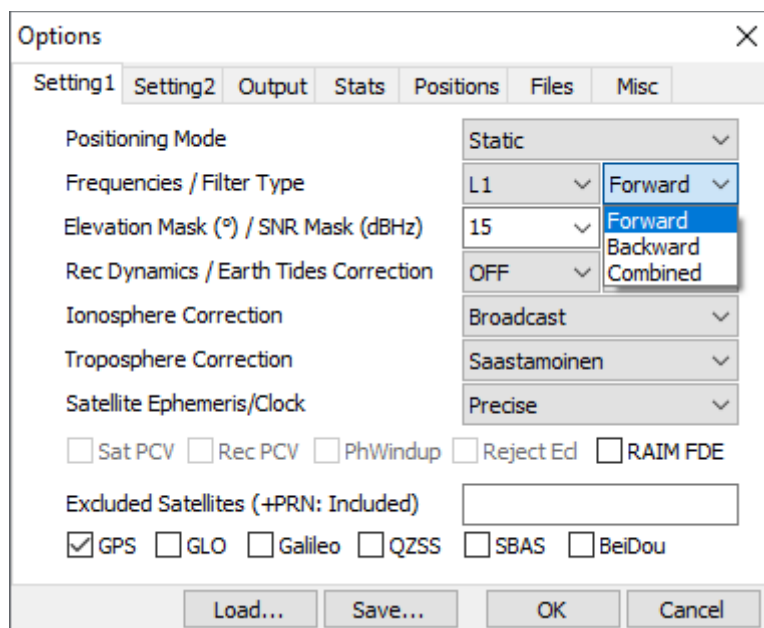


**Εικόνα 7: Επιλογή μεθόδου εντοπισμού**

Οι επόμενες παράμετροι είναι οι Frequencies που λάμβαναν τιμές L1 ή L1+L2 το Filter Type που λάμβανε τιμές Forward ή Combined και το Ionosphere correction με τιμές Broadcast και IonofreeLC οι οποίες μελετήθηκαν στην πρώτη φάση της διερεύνησης.



Εικόνα 8: Συχνότητες

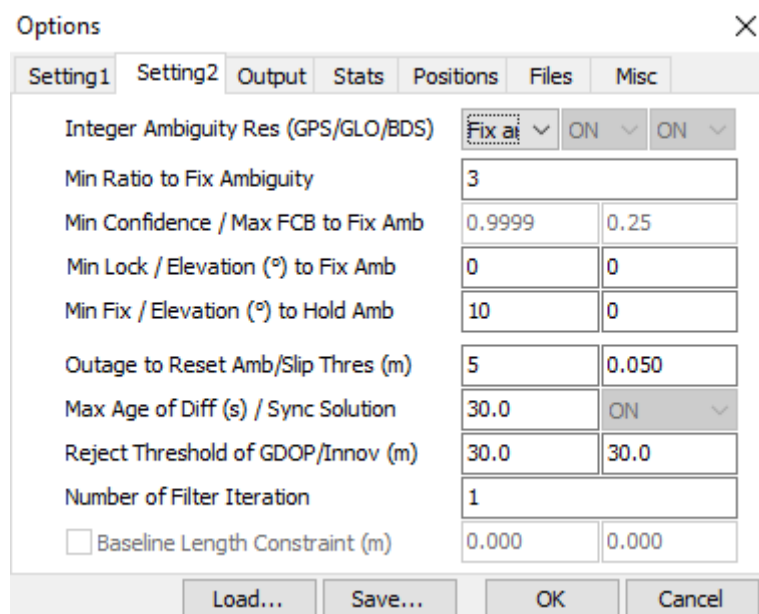


Εικόνα 9: Είδος φίλτρου

Η επόμενη παράμετρος είναι το Elevation Mask η τιμή της οποίας δοκιμάστηκε μόνο στις 10 και στις 15 μοίρες. Τέλος φαίνονται οι υπόλοιπες παράμετροι Troposphere correction, Satellite Ephemeris/Clock και Excluded

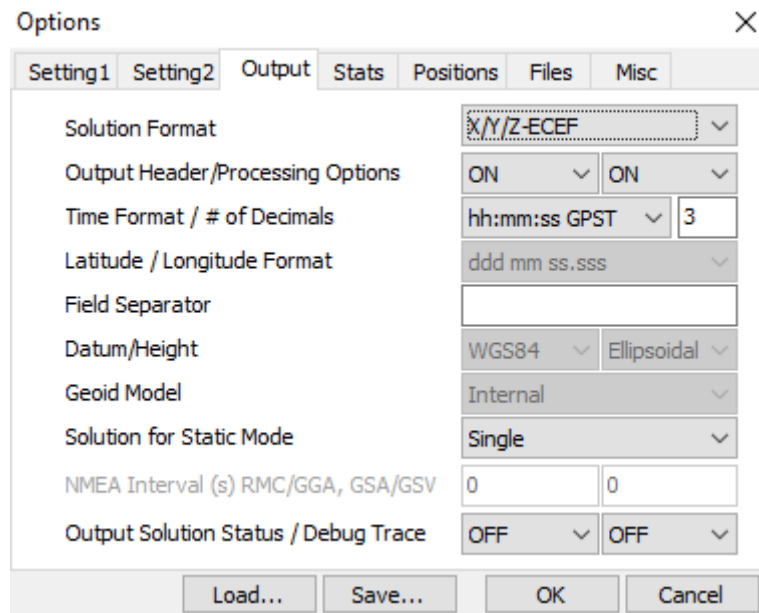
Satellites οι οποίες παρέμειναν σταθερές σε όλη τη διάρκεια της επεξεργασίας.

Στη δεύτερη επιλογή setting 2 οι παράμετροι που μελετήθηκαν είναι το Integer Ambiguity Res (GPS/GLO/BDS) που επιλέχθηκε να είναι Fix And Hold και να παραμείνει σταθερό και το Min ratio to fix Ambiguity το οποίο δοκιμάστηκε στις τιμές 3,5.



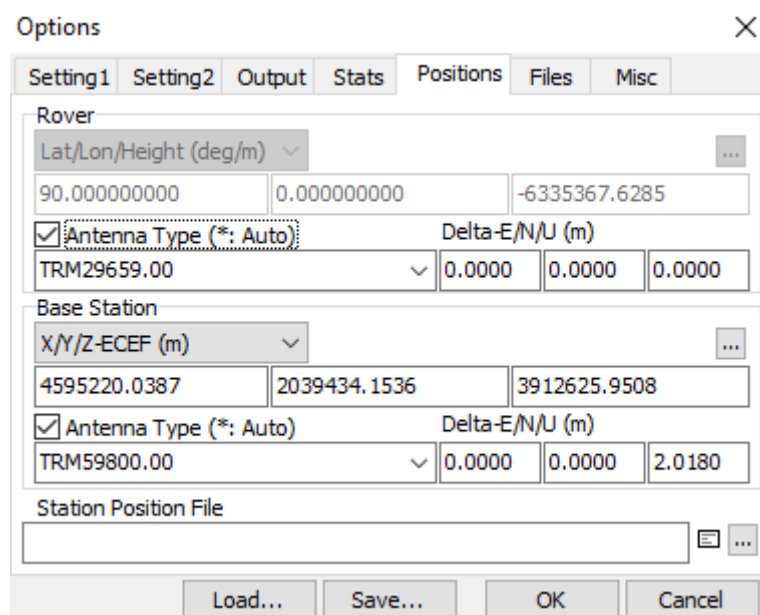
Εικόνα 10: Settings 2

Ακολουθώντας, η επιλογή Output αφορά το τελικό αποτέλεσμα και τα κυριότερα σημεία είναι το solution format το οποίο ανάλογα με τις ανάγκες της εργασίας μεταβλήθηκε από X,Y,Z-ECEF σε Lat/Lon/Height και πιο ειδικά για το στατικό εντοπισμό η εντολή Solution for static mode η οποία μεταβαλλόταν από single σε all.



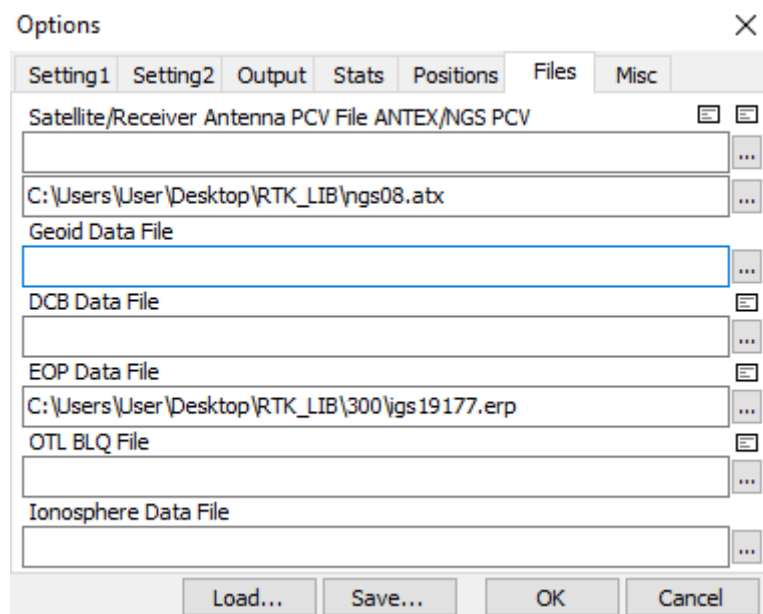
Εικόνα 11: Output

Μια ιδιαίτερα σημαντική επιλογή είναι η επιλογή Positions στην οποία συμπληρώνεται το είδος της κεραίας των δεκτών και για το σταθμό αναφοράς και για τον κινητό όπως επίσης και τα ύψη τους που είναι σημαντικά για την επίλυση. Επιπλέον για κάθε μέρα επεξεργασίας συμπληρώνονται οι συντεταγμένες της βάσης από το Bernese.



Εικόνα 12: Positions

Τέλος στην επιλογή Files υπάρχει ο φάκελος με τη λίστα των κεραιών για τους δέκτες καθώς και ο φάκελος EOP Date File που περιέχει τροχιακά στοιχεία.



Εικόνα 13: Files

### 3.2 Πρώτη φάση διερεύνησης

Στην πρώτη φάση της διερεύνησης έγιναν δοκιμές για τις πιο βασικές παραμέτρους του προγράμματος οι οποίες είναι οι συχνότητες (frequencies), το είδος του φίλτρου (filter type) και η διόρθωση της Ιονόσφαιρας ώστε να έχουμε μία εκτίμηση για το ποιες βάσεις μπορεί το rtk\_post να μετρήσει με ικανοποιητική ακρίβεια συγκρινόμενο με τα αντίστοιχα αποτελέσματα από το Bernese. Οι συχνότητες μεταβάλλονταν από L1 σε L1+L2 ανάλογα με τη δοκιμή. Η διαφορά τους έγκειται στο περιεχόμενο του μηνύματος που μεταφέρουν, με το συνδυασμό τους να μεταφέρει περισσότερες πληροφορίες και να είναι καταλληλότερος για βάσεις μεγάλων αποστάσεων ενώ η συχνότητα L1 για μικρότερες βάσεις. Όσον αφορά τον τύπο του φίλτρου (filter type) οι τιμές που μπορούσε να πάρει είναι Forward, Backward, Combined. Οι επιλογές αυτές εξηγούν πως επιλύονται οι μετρήσεις, forward όπως ακριβώς πάρθηκαν, backward από το τέλος προς την αρχή και combined ο συνδυασμός και των δυο. Οι δυο πρώτες επιλογές έχουν ακριβώς το ίδιο αποτέλεσμα οπότε επιλέχθηκε να δοκιμαστούν οι τιμές forward και combined.

Για κάθε μια βάση προέκυψαν οκτώ συνδυασμοί από αυτές τις παραμέτρους, οπότε για τις τέσσερις βάσεις της πρώτης ημέρας (296) οι συνδυασμοί στο σύνολό τους ήταν τριάντα δύο. Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε και για τις υπόλοιπες μέρες. Η επίλυση κάθε βάσης περιλαμβανόταν σε ένα αρχείο κειμένου το οποίο εκτός από τις συντεταγμένες της βάσης rover (DYNG) περιείχε και άλλα σημαντικά στοιχεία της, όπως τα σφάλματα sdx, sdy, sdz σε κάθε διεύθυνση καθώς και το ratio μία τιμή που χαρακτηρίζει πόσο αξιόπιστη είναι η λύση που υπολογίστηκε και η οποία έπαιξε τον πιο καθοριστικό ρόλο στο ποιες λύσεις θα απορριφθούν. Όσο πιο μεγάλη η τιμή του, τόσο πιο αξιόπιστη η λύση. Επόμενο βήμα μετά την ολοκλήρωση των επιλύσεων και την απόρριψη όσων είχαν χαμηλή τιμή στο ratio ήταν να υπολογιστούν οι διαφορές μεταξύ των συντεταγμένων του DYNG που υπολογίστηκαν. με τις αντίστοιχες σωστές συντεταγμένες κάθε ημέρας από το Bernese, ώστε να προκύψουν οι διαφορές και τα τελικά συμπεράσματα για το αν οι λύσεις είναι ικανοποιητικές ή όχι.



<i>DION G-DYNG</i>				
<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Παράμετροι</b>	<b>ratio</b>
4595220.0369	2039434.1501	3912625.9439	L1,Forward,Broadcast	999.9
4595220.0369	2039434.1501	3912625.9439	L1,Combined,Broadcast	999.9
4595220.0414	2039434.1425	3912625.9457	L1,Forward,IonofreeLC	1.6
4595220.0414	2039434.1425	3912625.9457	L1,Combined,IonofreeLC	1.6
4595220.0363	2039434.1506	3912625.9434	L3,Forward,Broadcast	999.9
4595220.0402	2039434.1450	3912625.9456	L3,Forward,IonofreeLC	1.4
4595220.0363	2039434.1506	3912625.9434	L3,Combined,Broadcast	999.9
4595220.0402	2039434.1450	3912625.9456	L3,Combined,IonofreeLC	1.4
<i>LAMY-DYNG</i>				
<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Παράμετροι</b>	<b>ratio</b>
4595219.9538	2039434.1087	3912625.8690	L1,Forward,Broadcast	999.9
4595219.9709	2039434.1137	3912625.8922	L1,Forward,IonofreeLC	1.3
4595219.9538	2039434.1087	3912625.8690	L1,Combined,Broadcast	999.9
4595219.9709	2039434.1137	3912625.8922	L1,Combined,IonofreeLC	1.3
4595219.9470	2039434.1051	3912625.8608	L3,Forward,Broadcast	999.9
4595219.9707	2039434.1139	3912625.8921	L3,Forward,IonofreeLC	1.3
4595219.9470	2039434.1051	3912625.8608	L3,Combined,Broadcast	999.9
4595219.9707	2039434.1140	3912625.8921	L3,Combined,IonofreeLC	1.3

Εικόνα 14: Πρώτη φάση επίλυσης DION G,LAMY

Σημεία	dx(m)	dy(m)	dz(m)	frequencies	filter type	ionosphere correction
(DYNG_296)-(DION G-DYNG)	0.0031	-0.0017	0.0031	L1	Forward	Broadcast
	0.0031	-0.0017	0.0031	L1	Combined	Broadcast
	-0.0014	0.0059	0.0013	L1	Forward	IonofreeLC
	-0.0014	0.0059	0.0013	L1	Combined	IonofreeLC
	0.0037	-0.0022	0.0036	L3	Forward	Broadcast
	-0.0002	0.0034	0.0014	L3	Forward	IonofreeLC
	0.0037	-0.0022	0.0036	L3	Combined	Broadcast
	-0.0002	0.0034	0.0014	L3	Combined	IonofreeLC
Σημεία	dx(m)	dy(m)	dz(m)	frequencies	filter type	ionosphere correction
(DYNG_296)-(LAMY-DYNG)	0.0862	0.0397	0.0780	L1	Forward	Broadcast
	0.0691	0.0347	0.0548	L1	Forward	IonofreeLC
	0.0862	0.0397	0.0780	L1	Combined	Broadcast
	0.0691	0.0347	0.0548	L1	Combined	IonofreeLC
	0.0930	0.0433	0.0862	L3	Forward	Broadcast
	0.0693	0.0345	0.0549	L3	Forward	IonofreeLC
	0.0930	0.0433	0.0862	L3	Combined	Broadcast
	0.0693	0.0344	0.0549	L3	Combined	IonofreeLC

Εικόνα 15: Πρώτη φάση επίλυσης DION G,LAMY

Όπως φαίνεται και στους πιο πάνω πίνακες για τη μέρα 296 για τις βάσεις DION G και LAMY με έντονο χρώμα είναι οι λύσεις που έχουν απορριφθεί. Μια σημαντική παρατήρηση είναι ότι στις βάσεις αυτές, που το μήκος τους είναι σημαντικά μικρότερο από των δυο άλλων βάσεων έχουν απορριφθεί όλες οι δοκιμές που περιέχουν το IonofreeLC ως επιλογή για τη διόρθωση της ιονόσφαιρας.

<b>WTZR-DYNG</b>				
<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Παράμετροι</b>	<b>ratio</b>
4595220.1899	2039433.2701	3912626.4964	L1,Forward,Broadcast	3.5
4595218.6939	2039434.9474	3912626.0176	L1,Forward,IonofreeLC	3.8
4595219.9355	2039434.1012	3912626.4896	L1,Combined,Broadcast	3.1
4595220.3616	2039433.9582	3912625.3665	L1,Combined,IonofreeLC	3.0
4595219.8821	2039433.6357	3912626.6168	L3,Forward,Broadcast	1.0
4595218.6939	2039434.9474	3912626.0176	L3,Forward,IonofreeLC	3.8
4595219.8821	2039433.6357	3912626.6168	L3,Combined,Broadcast	1.0
4595220.3616	2039433.9582	3912625.3665	L3,Combined,IonofreeLC	3.0
<b>MATE-DYNG</b>				
<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Παράμετροι</b>	<b>ratio</b>
4595220.0776	2039433.9868	3912626.0589	L1,Forward,Broadcast	3.2
4595219.7976	2039434.2890	3912625.9647	L1,Forward,IonofreeLC	8.0
4595220.0839	2039434.0628	3912626.0387	L1,Combined,Broadcast	3.1
4595213.0183	2039438.8760	3912624.3195	L1,Combined,IonofreeLC	3.1
4595220.0804	2039433.8900	3912626.0730	L3,Forward,Broadcast	2.0
4595220.0341	2039434.3756	3912626.0269	L3,Forward,IonofreeLC	4.0
4595220.0804	2039433.6900	3912626.0730	L3,Combined,Broadcast	2.0
4595220.0341	2039434.3756	3912626.0269	L3,Combined,IonofreeLC	4.0

Εικόνα 16: Πρώτη φάση επίλυσης WTZR,MATE

<b>Σημεία</b>	<b>dx(m)</b>	<b>dy(m)</b>	<b>dz(m)</b>	<b>frequencies</b>	<b>filter type</b>	<b>ionosphere correction</b>
(DYNG_296)-(WTZR-DYNG)	-0.1499	0.8783	-0.5494	L1	Forward	Broadcast
	1.3461	-0.7990	-0.0706	L1	Forward	IonofreeLC
	0.1045	0.0472	-0.5426	L1	Combined	Broadcast
	-0.3216	0.1902	0.5805	L1	Combined	IonofreeLC
	0.1579	0.5127	-0.6698	L3	Forward	Broadcast
	1.3461	-0.7990	-0.0706	L3	Forward	IonofreeLC
	0.1579	0.5127	-0.6698	L3	Combined	Broadcast
	-0.3216	0.1902	0.5805	L3	Combined	IonofreeLC
<b>Σημεία</b>	<b>dx(m)</b>	<b>dy(m)</b>	<b>dz(m)</b>	<b>frequencies</b>	<b>filter type</b>	<b>ionosphere correction</b>
(DYNG_296)-(MATE-DYNG)	-0.0376	0.1616	-0.1119	L1	Forward	Broadcast
	0.2424	-0.1406	-0.0177	L1	Forward	IonofreeLC
	-0.0439	0.0856	-0.0917	L1	Combined	Broadcast
	7.0217	-4.7276	1.6275	L1	Combined	IonofreeLC
	-0.0404	0.2584	-0.1260	L3	Forward	Broadcast
	0.0059	-0.2272	-0.0799	L3	Forward	IonofreeLC
	-0.0404	0.4584	-0.1260	L3	Combined	Broadcast
	0.0059	-0.2272	-0.0799	L3	Combined	IonofreeLC

Εικόνα 17: Πρώτη φάση επίλυσης WTZR,MATE

Αντίθετα για τις βάσεις WTZR και MATE παρατηρούμε ότι καμία από τις λύσεις δεν είναι ικανοποιητικές τόσο ως προς την τιμή του ratio όσο και στις διαφορές από τις σωστές συντεταγμένες του Bernese. Βασικός παράγοντας που επηρεάζει τις παραμέτρους και κατ' επέκταση τα αποτελέσματα σε αυτή την περίπτωση είναι το μήκος των βάσεων, αφού στις δυο αυτές βάσεις είναι πάρα πολύ μεγάλο. Το ίδιο μοτίβο αποτελεσμάτων ακολουθήθηκε και για τις υπόλοιπες μέρες επεξεργασίας οπότε δημιουργείται ένα μοντέλο που μας επιτρέπει να εξαγάγουμε κάποια συμπεράσματα για την πρώτη φάση της διερεύνησης.

Ελέγχοντας τα αποτελέσματα της βάσης DION G-DYNG που έχει μήκος 19m και της βάσης LAMY-DYNG που έχει μήκος 17km παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα με IonofreeLC απορρίπτονται λόγω μικρών τιμών της τιμής του ratio, ενώ οι καλύτερες λύσεις παρουσιάζονται στους συνδυασμούς που περιέχουν τη συχνότητα L1 μαζί με Broadcast ως επιλογή για τη διόρθωση της Ιονόσφαιρας. Πράγματι, πριν την επίλυση με μια πρόχειρη εκτίμηση οι συνδυασμοί με τα καλύτερα αποτελέσματα επαληθεύονται. Οι καλύτερες λύσεις στη βάση DION G-DYNG κυμαίνονται από (1-4)mm και στη βάση LAMY-DYNG από (3-8)cm. Αντίθετα για τις βάσεις MATE-DYNG και WTZR-DYNG όλα τα αποτελέσματα έχουν πολύ χαμηλές τιμές ratio ενώ οι λύσεις τους κυμαίνονται κατά μέσο όρο από μερικές δεκάδες εκατοστά μέχρι και μερικά μέτρα. Μία σημαντική παρατήρηση αποτελεί το γεγονός ότι οι παράμετροι Forward ή Combined ως επιλογή για το Filter type στη συντριπτική τους πλειοψηφία δεν επηρεάζουν καθόλου τα αποτελέσματα. Συμπερασματικά λοιπόν, καταλήγουμε ότι βάσεις που το μήκος τους είναι πολύ μικρό μπορούν να επιλυθούν από το rtk\_post με μεγάλη ακρίβεια όπως θα λύνονταν και από το Bernese ενώ βάσεις που οι σταθμοί τους απέχουν εκατοντάδες χιλιόμετρα απαιτούν χρήση μόνο επιστημονικών προγραμμάτων για να έχουν ικανοποιητική ακρίβεια. Άρα το πιο μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν βάσεις με ενδιάμεσο μήκος όπως η βάση LAMY-DYNG και χρίζουν μεγαλύτερης μελέτης.

### 3.3 Δεύτερη φάση διερεύνησης

Στη δεύτερη φάση της διερεύνησης γίνεται εμβάθυνση στη βάση LAMY-DYNG αφού τα αποτελέσματά της στην πρώτη φάση δεν ήταν τόσο ξεκάθαρα ώστε να εξαχθούν σίγουρα συμπεράσματα όπως στις άλλες βάσεις. Για την περαιτέρω μελέτη χρησιμοποιήθηκαν και άλλες παράμετροι καθώς και το πρόγραμμα `rtk_plot` που είναι και αυτό υποπρόγραμμα της ευρύτερης βιβλιοθήκης `rtk_lib`.

Το πρώτο βήμα αυτής της φάσης ήταν η προσθήκη τριών νέων παραμέτρων, εκτός από τις ήδη υπάρχουσες (`frequencies`, `filter type`, `ionosphere correction`). Οι νέες παράμετροι ήταν το `Elevation mask` που έπαιρνε τιμές  $10^\circ$  και  $15^\circ$  και το `Min ratio to fix Ambiguity` με τιμές 3 και 5. Επιπλέον στην επιλογή `Output` έγιναν δύο ακόμα αλλαγές. Η πρώτη έχει να κάνει με το `solution format` το οποίο από `X,Y,Z-ECEF` έγινε `Lat,Lon,Height` ώστε να διευκολύνει και τη χρήση των αποτελεσμάτων στο `rtk_plot`, και η δεύτερη με το `solution for static mode` που εκτός από την επίλυση `single` λύσεων όπως γινόταν μέχρι τώρα θα έλυσε και `all` λύσεις. Για να γίνουν πιο κατανοητές όλες οι αλλαγές χρησιμοποιούμε τη μέρα 296 ως παράδειγμα. Οι παράμετροι `elevation mask` και `min ratio to fix ambiguity` δημιουργούν 4 συνδυασμούς, κάθε ένας από τους οποίους περιέχει άλλους 8 συνδυασμούς που προκύπτουν από τις αρχικές παραμέτρους που είχαμε θέσει δηλαδή `frequencies`, `filter type`, `ionosphere correction`. Όλες αυτές οι λύσεις διπλασιάζονται αφού εκτός από τη `single` επιλογή χρησιμοποιείται και η επιλογή `all`.

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα συμπεραίνουμε ότι το `Forward` ή `Combined` δεν επηρεάζουν καθόλου τα αποτελέσματα επομένως οι συνδυασμοί που περιέχουν `combined` θα παραλειφθούν από την επεξεργασία και παρατήρηση που ακολουθεί. Επίσης οι συνδυασμοί που περιέχουν `Broadcast` έχουν πιο καλά αποτελέσματα από τους αντίστοιχους με `IonofreeLC`.

Το δεύτερο βήμα είναι να εισαχθούν στο rtk\_plot οι λύσεις ανά ζευγάρια single-all ώστε να σημειωθούν ορισμένα στοιχεία. Οι συνδυασμοί που εισάγονται είναι μόνο οι L1-FORWARD-BROADCAST, L1-FORWARD-IONOFREELC, L3-FORWARD-BROADCAST, L3-FORWARD-IONOFREELC όπου L3 είναι το L1+L2. Σε κάθε ένα από αυτούς τους συνδυασμούς και για single και για all σημειωνόταν η τιμή Ave καθώς και το ποσοστό Q1 το οποίο δείχνει το ποσοστό των λυμένων λύσεων σε κάθε ένα συνδυασμό. Όλα αυτά τα στοιχεία φαίνονται στο συγκεντρωτικό πίνακα που δημιουργήθηκε ώστε να βγει το τελικό συμπέρασμα για το ποιος συνδυασμός παραμέτρων είναι ο καλύτερος για τη συνέχεια της εργασίας.

DAY	BASE	FREQUENCY-FILTER TYPE- IONOSPHERE CORRECTION- SATELLITE EPHEMERIS	ELEVATION MASK (degrees)	MIN RATIO	SINGLE				ALL			
					RATIO	AVERAGE			Q1(%)	AVERAGE		
						E-W (m)	N-S (m)	U-D (m)		E-W (m)	N-S (m)	U-D (m)
296	LAMY-DYNG	L1-FOR-BR-PRE	15	3	999.9	-0.0020	-0.0045	-0.1162	95.2	-0.0010	-0.0037	-0.1193
		L3-FOR-BR-PRE	15	3	999.9	-0.0033	-0.0060	-0.1268	89.0	-0.0023	-0.0052	-0.1312
		L1-FOR-BR-PRE	15	5	999.9	-0.0020	-0.0045	-0.1161	91.6	-0.0008	-0.0037	-0.1195
		L3-FOR-BR-PRE	15	5	999.9	-0.0025	-0.0057	-0.1275	77.3	-0.0018	-0.0050	-0.1319
297	LAMY-DYNG	L1-FOR-BR-PRE	15	3	999.9	0.0026	-0.0035	-0.1100	99.6	0.0022	-0.0043	-0.1043
		L3-FOR-BR-PRE	15	3	999.9	0.0011	-0.0054	-0.1214	96.6	0.0007	-0.0062	-0.1151
		L1-FOR-BR-PRE	15	5	999.9	0.0026	-0.0035	-0.1100	98.4	0.0021	-0.0043	-0.1043
		L3-FOR-BR-PRE	15	5	999.9	0.0011	-0.0051	-0.1214	89.0	0.0008	-0.0060	-0.1152
299	LAMY-DYNG	L1-FOR-BR-PRE	15	3	999.9	0.0033	-0.0063	-0.1002	88.6	0.0077	0.0027	-0.1083
		L3-FOR-BR-PRE	15	3	3.6	0.0016	-0.0097	-0.1117	78.3	0.0061	-0.0016	-0.1213
		L1-FOR-BR-PRE	15	5	999.9	0.0033	-0.0072	-0.1010	80.1	0.0085	0.0017	-0.1103
		L3-FOR-BR-PRE	15	5	881.9	0.0021	-0.0091	-0.1127	54.8	0.0078	0.0007	-0.1248
300	LAMY-DYNG	L1-FOR-BR-PRE	15	3	999.9	0.0040	-0.0057	-0.0984	96.6	0.0037	-0.0076	-0.0981
		L3-FOR-BR-PRE	15	3	999.9	0.0031	-0.0075	-0.1104	89.3	0.0015	-0.0091	-0.1114
		L1-FOR-BR-PRE	15	5	999.9	0.0038	-0.0054	-0.0992	90.6	0.0059	-0.0071	-0.1005
		L3-FOR-BR-PRE	15	5	999.9	0.0026	-0.0072	-0.1108	78.0	0.0005	-0.0089	-0.1129
301	LAMY-DYNG	L1-FOR-BR-PRE	15	3	999.9	0.0036	-0.0023	-0.0913	98.4	0.0038	-0.0022	-0.0990
		L3-FOR-BR-PRE	15	3	999.9	0.0028	-0.0038	-0.1032	92.2	0.0025	-0.0042	-0.1122
		L1-FOR-BR-PRE	15	5	999.9	0.0036	-0.0023	-0.0961	96.2	0.0039	-0.0022	-0.0992
		L3-FOR-BR-PRE	15	5	999.9	0.0036	-0.0032	-0.1047	84.0	0.0029	-0.0038	-0.1132
302	LAMY-DYNG	L1-FOR-BR-PRE	15	3	999.9	0.0050	-0.0020	-0.0779	98.9	0.0047	-0.0016	-0.0808
		L3-FOR-BR-PRE	15	3	999.9	0.0045	-0.0035	-0.0899	95.9	0.0049	-0.0036	-0.0915
		L1-FOR-BR-PRE	15	5	999.9	0.0053	-0.0020	-0.0779	97.7	0.0046	-0.0016	-0.0808
		L3-FOR-BR-PRE	15	5	999.9	0.0048	-0.0032	-0.0886	89.4	0.0052	-0.0034	-0.0915

Εικόνα 18: Δεύτερη φάση διερεύνησης

Όπως γίνεται αντιληπτό και από τον πίνακα ο συνδυασμός L1-FOR-BR-PRE με elevation mask 15° και min ratio 3 είναι αυτός με τα καλύτερα αποτελέσματα τόσο στο Ave σε όλες τις διευθύνσεις, όσο και στο ποσοστό των λυμένων λύσεων Q1. Παρατηρούμε δε μια συστηματική διαφορά περίπου 10cm σε όλες τις λύσεις κατά τη διεύθυνση του υψομέτρου πράγμα που υποδηλώνει ότι υπάρχει κάποιο σφάλμα στη διαδικασία υπολογισμών του rtkplot είτε στον τρόπο που χειρίζεται τις διαστάσεις των κεραιών (Offset

Model For Antenna Phase Center), είτε στο χειρισμό που έχουν να κάνουν με σφάλματα της ατμόσφαιρας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ,ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ

#### 4.1 Χρήσιμα στοιχεία χρονοσειρών

Αφού τελείωσε το κομμάτι της διερεύνησης, ώστε να βρεθεί ο κατάλληλος συνδυασμός παραμέτρων, ξεκινά η κυρίως επεξεργασία των δεδομένων με τη δημιουργία χρονοσειρών ώστε να είμαστε σε θέση στο τέλος της επεξεργασίας να δούμε τη σχετική μετακίνηση της βάσης DYNG-LAMY ανά χρόνο.

Ανακεφαλαιώνοντας το συμπέρασμα του προηγούμενου κεφαλαίου αφού έγινε εμβάθυνση στη βάση LAMY-DYNG βρέθηκε ότι ο κατάλληλος συνδυασμός παραμέτρων για τη δημιουργία χρονοσειρών είναι L1, Forward, Broadcast, Precise, Elevation Mask 15°, Min Ratio 3, Solution For Static Mode Single, Solution Format LAT/LON/HEIGHT. Για κάθε έτος επεξεργασίας δίνεται ένας φάκελος από το Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας και το Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου με δεδομένα για τις μέρες επεξεργασίας του κάθε έτους, ο οποίος περιέχει ένα αρχείο με τις συντεταγμένες του DYNG και ένα αρχείο με τις αντίστοιχες συντεταγμένες του LAMY, ένα αρχείο με τις σωστές συντεταγμένες από το Bernese για τα σημεία αυτά για τις αντίστοιχες μέρες καθώς και ένα αρχείο με τροχιακά στοιχεία της μορφής .sp3 και .epf. Επιπρόσθετα σε αυτά δημιουργήθηκε ένα αρχείο με δεδομένα που πάρθηκαν από το site <ftp://igs.ensg.ign.fr/pub/igs/data/> το οποίο περιέχει δεδομένα για την πλοήγηση και είναι της μορφής .nav.

#### 4.2 Επεξεργασία δεδομένων 2016,2015

Το πρώτο έτος που επεξεργάστηκε ήταν το 2016. Οι μέρες επεξεργασίας δεν περιελάμβαναν όλο το έτος αλλά τα 2/3 του, δηλαδή μέχρι τη μέρα 274. Το πρώτο βήμα ήταν να επιλυθεί ολόκληρος ο πρώτος μήνας του έτους από 1/1/2016 μέχρι 31/1/2016. Αφού έγινε αυτό επιλεγόταν μία



μέρα για κάθε επόμενη εβδομάδα κατά προτίμηση η Τετάρτη ώστε οι μέρες να ισαπέχουν η μία από την άλλη κατά το δυνατό. Αν κάποια μέρα δεν τηρούσε τις προϋποθέσεις και έπρεπε να παραλειφθεί γινόταν χρήση της επόμενης ή της προηγούμενης μέρας. Βασικές προϋποθέσεις για να πραγματοποιηθούν αυτές οι επιλύσεις είναι οι συντεταγμένες που βρίσκονται στο φάκελο του έτους και χρησιμοποιούνται στην επίλυση τόσο για τα σημεία DYNG,LAMY όσο και για τις σωστές συντεταγμένες από το Bernese να είναι λυμένες. Αν κάποια από αυτές δεν είναι λυμένη παραλείπεται ολόκληρη η μέρα. Πιο συγκεκριμένα οι δυο πρώτες μέρες του έτους (001,002) δεν είχαν αρχείο για τις τροχιές της μορφής .sp3 και παραλείφθηκαν. Το ίδιο συνέβη και για τις μέρες 022 και 025 καθώς δεν υπήρχαν σωστές συντεταγμένες από το Bernese που να τους αντιστοιχούν. Τέλος τα διαστήματα των ημερών 164-184 και 200-251 δεν περιείχαν αρχεία για το σημείο DYNG, καθώς επίσης οι σωστές συντεταγμένες από το Bernese για τις μέρες εκείνες δεν ήταν λυμένες και δε συμπεριλήφθησαν στην επεξεργασία.

Το επόμενο έτος επεξεργασίας ήταν το 2015. Οι μέρες επεξεργασίας περιελάμβαναν ολόκληρο το έτος. Και σε αυτή την περίπτωση ακολουθήθηκε το ίδιο μοτίβο δηλαδή πρώτα επεξεργάστηκε ολόκληρος ο πρώτος μήνας του έτους και ύστερα επιλεγόταν μία μέρα για κάθε επόμενη εβδομάδα μέχρι το τέλος του σύμφωνα με τις προϋποθέσεις που αναφέρθηκαν πιο πάνω.

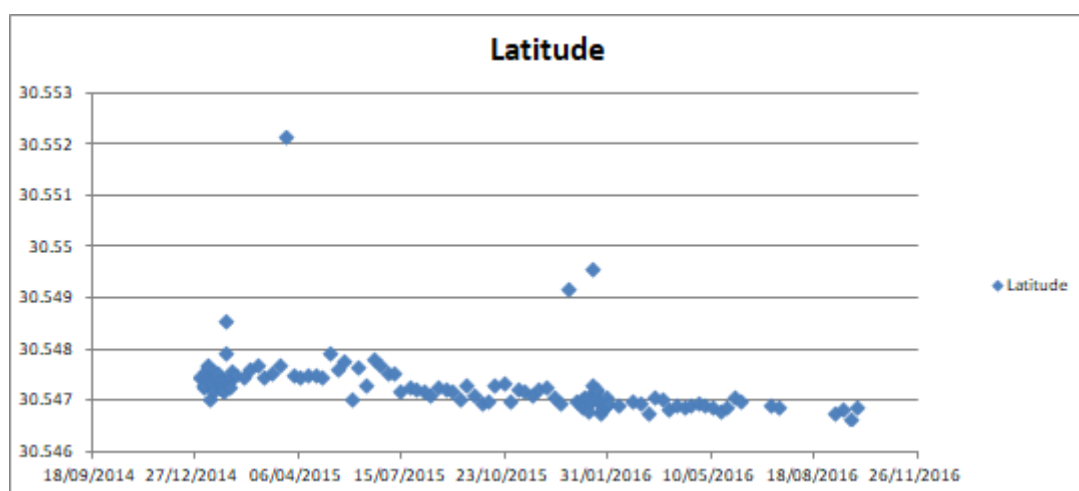
#### **4.2.1 Δημιουργία διαγραμμάτων**

Μετά την ολοκλήρωση των επιλύσεων στο rtk\_post επόμενο βήμα ήταν η ομαδοποίησή τους, ώστε να έχουν την κατάλληλη μορφή για να δημιουργηθούν τα διαγράμματα. Για κάθε έτος χωριστά δημιουργήθηκε ένα αρχείο excel, το οποίο περιείχε την κυρίως γραμμή των αποτελεσμάτων με τα πιο σημαντικά στοιχεία της επίλυσης κάθε μέρας. Κάποια από τα στοιχεία αυτά είναι οι προσδιοριζόμενες συντεταγμένες του LAMY σε μορφή φ,λ,h , τα αντίστοιχα σφάλματά τους, οι ημερομηνίες κάθε μέρας, ο δείκτης Q με τιμή 1 που δείχνει ότι η λύση είναι έγκυρη και τέλος η τιμή ratio. Ένα χαρακτηριστικό δείγμα των πινάκων που δημιουργήθηκαν για τα έτη 2016,2015 φαίνεται πιο κάτω.

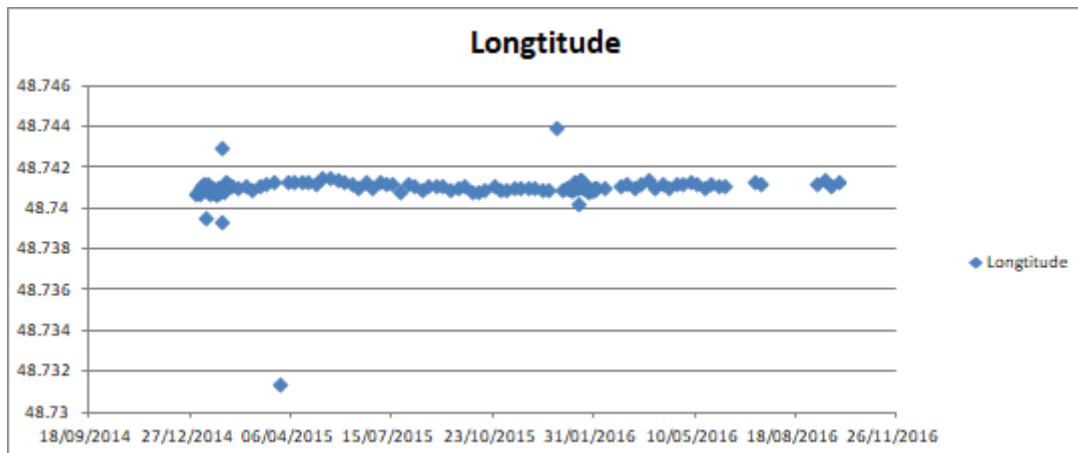
GPST	LATITUDE	LONGITUDE	HEIGHT	Q	ns	s <sub>dn</sub>	s <sub>de</sub>	s <sub>du</sub>	s <sub>dne</sub>	s <sub>deu</sub>	s <sub>due</sub>	AGE	RATIO	
03/01/2016	02:00.0	37 58 30.54697	23 46 48.74102	248.6165	1	6	0.0002	0.0001	0.0003	0	0	-0.0001	0	988.2
04/01/2016	02:00.0	37 58 30.54696	23 46 48.74103	248.6180	1	7	0.0002	0.0001	0.0003	0	0	-0.0001	0	999.9
05/01/2016	02:00.0	37 58 30.54688	23 46 48.74101	248.6293	1	7	0.0002	0.0001	0.0003	0	0	-0.0001	0	999.9
06/01/2016	02:00.0	37 58 30.54705	23 46 48.74107	248.6172	1	7	0.0002	0.0001	0.0003	0	0	-0.0001	0	576.9
07/01/2016	02:00.0	37 58 30.54710	23 46 48.74092	248.6172	1	7	0.0002	0.0001	0.0003	0	0	-0.0001	0	136
08/01/2016	02:00.0	37 58 30.54698	23 46 48.74094	248.6225	1	8	0.0002	0.0001	0.0003	0	0	-0.0001	0	150.1
09/01/2016	02:00.0	37 58 30.54692	23 46 48.74094	248.6193	1	8	0.0002	0.0001	0.0003	0	0	-0.0001	0	697.5
10/01/2016	02:00.0	37 58 30.54707	23 46 48.74101	248.6325	1	8	0.0002	0.0001	0.0003	0	0	-0.0001	0	999.9
11/01/2016	02:00.0	37 58 30.54702	23 46 48.74128	248.6404	1	8	0.0002	0.0001	0.0003	0	0	-0.0001	0	91.3
12/01/2016	02:00.0	37 58 30.54682	23 46 48.74115	248.6109	1	8	0.0002	0.0001	0.0003	0	0	-0.0001	0	970.4
13/01/2016	02:30.0	37 58 30.54714	23 46 48.74100	248.6116	1	9	0.0002	0.0001	0.0003	0	0	-0.0001	0	3.2
14/01/2016	02:00.0	37 58 30.54703	23 46 48.74104	248.6077	1	8	0.0002	0.0001	0.0003	0	0	-0.0001	0	264.1
15/01/2016	02:30.0	37 58 30.54958	23 46 48.74023	248.7398	1	5	0.0002	0.0002	0.0004	0	0	-0.0001	0	8.8
16/01/2016	02:00.0	37 58 30.54734	23 46 48.74138	248.6479	1	8	0.0002	0.0002	0.0004	0	0	-0.0001	0	999.9

Εικόνα 19: Δείγμα επιλύσεων 2016

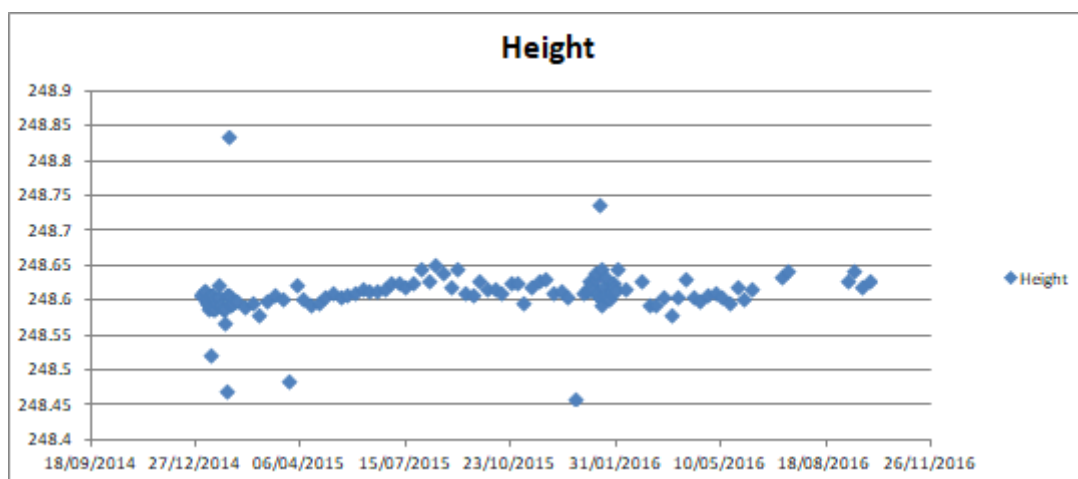
Μετά την ομαδοποίηση των δεδομένων επόμενο βήμα ήταν η απομόνωση των στοιχείων που μας ενδιαφέρουν για τη δημιουργία των διαγραμμάτων, δηλαδή των στηλών LATITUDE, LONGITUDE, HEIGHT καθώς και των αντίστοιχων ημερομηνιών (GPST). Οι στήλες για το γεωγραφικό μήκος και πλάτος διασπάστηκαν σε επιμέρους στήλες ώστε οι μοίρες τα λεπτά και τα δευτερόλεπτα για κάθε μία να είναι ανεξάρτητα. Οι μοίρες και τα λεπτά τόσο στο Latitude όσο και στο Longitude είναι ίδια και δεν επηρεάζουν το αποτέλεσμα, επομένως για διευκόλυνσή μας για τη δημιουργία των διαγραμμάτων παραλείπονται και χρησιμοποιούνται μόνο τα δευτερόλεπτα που είναι αυτά που διαφέρουν από μέρα σε μέρα. Τα αποτελέσματα αυτής της διαδικασίας φαίνονται πιο κάτω.



Εικόνα 20: Αρχικό διάγραμμα Latitude 2015/16

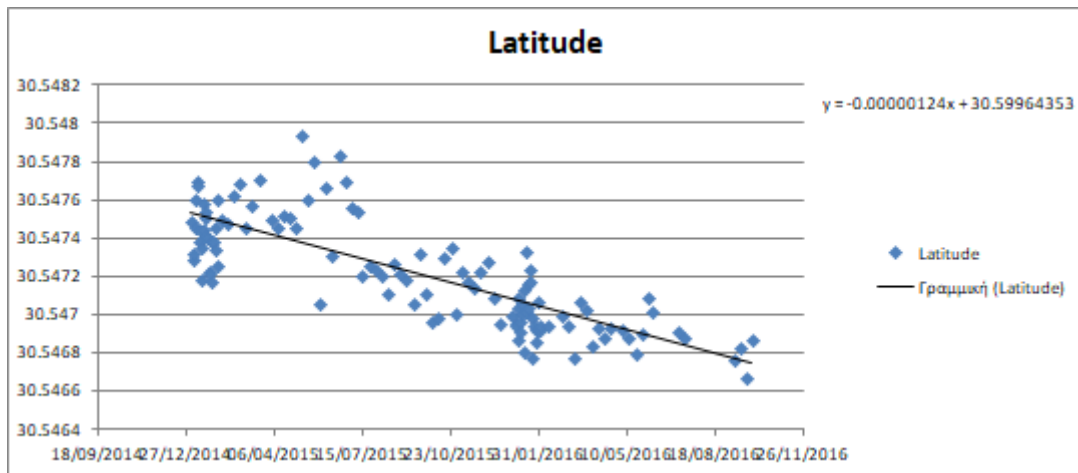


Εικόνα 21: Αρχικό διάγραμμα Longitude 2015/16

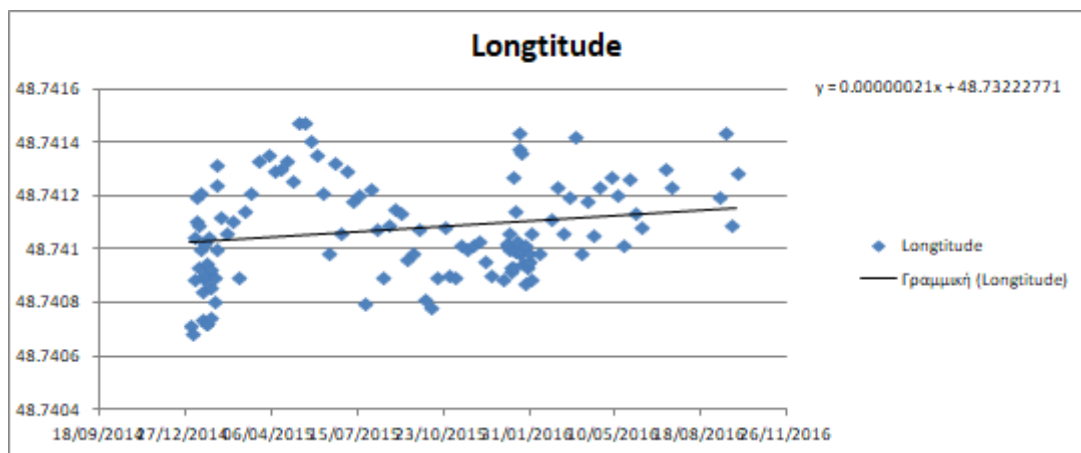


Εικόνα 22: Αρχικό διάγραμμα Height 2015//16

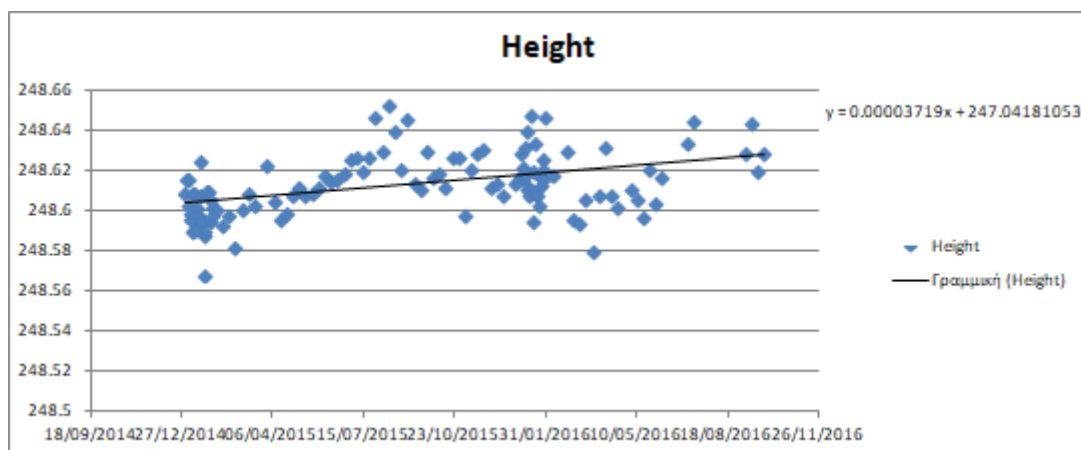
Όπως φαίνεται και στα διαγράμματα πιο πάνω, αυτή είναι η αρχική μορφή τους χωρίς να έχουν υποστεί καμία επεξεργασία. Παρατηρείται ότι, στα διαγράμματα του rtk\_post υπάρχουν κάποια σημεία που “πετάνε”, δηλαδή είναι απομακρυσμένα από το σύνολο των υπόλοιπων σημείων επηρεάζοντας όλη τη μορφή του διαγράμματος. Αυτά τα σημεία θα πρέπει να εντοπιστούν και να αφαιρεθούν από τα αρχεία excel που έχουν δημιουργηθεί στις στήλες που αντιστοιχούν στις συντεταγμένες του rtk\_post. Αφού πραγματοποιηθεί αυτό το βήμα τα διαγράμματα αρχίζουν και παίρνουν την τελική τους μορφή.



Εικόνα 23: Τελικό διάγραμμα Latitude 2015/16



Εικόνα 24: Τελικό διάγραμμα Longitude 2015/16



Εικόνα 25: Τελικό διάγραμμα Height 2015/16

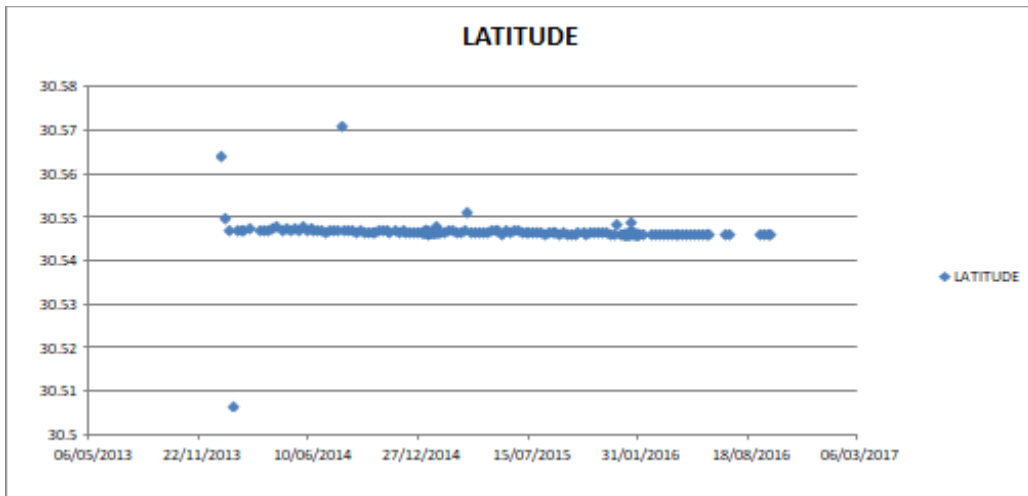
Η πιο πάνω μορφή είναι η τελική μορφή των διαγραμμάτων που αντιστοιχούν στα έτη 2015-2016. Ταυτόχρονα έχει σχεδιαστεί η γραμμή παλινδρόμησης ή γραμμή τάσης όπως ονομάζεται και η αντίστοιχη εξίσωσή της.

### **4.3 Προσθήκη δεδομένων του έτους 2014**

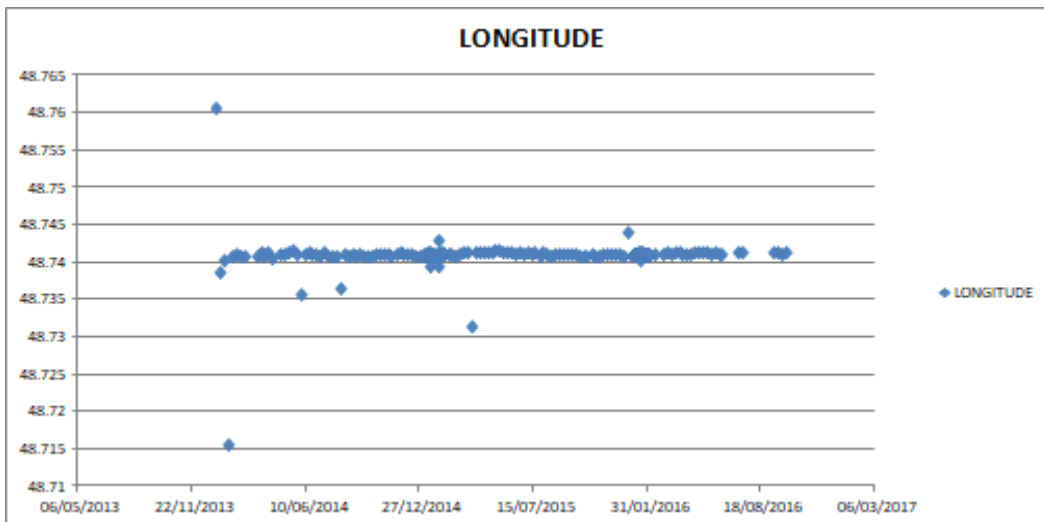
Αφού τελείωσε η πιο πάνω επεξεργασία των διαγραμμάτων για τα έτη 2015-2016 αποφασίστηκε να συμπληρωθούν σε αυτά και δεδομένα από ολόκληρο το έτος 2014 έτσι ώστε το συνολικό διάστημα επεξεργασίας δεδομένων να είναι σχεδόν 3 χρόνια. Το γεγονός αυτό βοηθάει στην εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων, αφού έχει αποδειχθεί σε μελέτες ότι για να υπάρχει αξιοπιστία θα πρέπει το χρονικό διάστημα μελέτης χρονοσειρών να είναι μεγαλύτερο των δύο χρόνων.

Για το έτος 2014 πραγματοποιήθηκε μία αλλαγή στο μοτίβο της επεξεργασίας σε σχέση με τα προηγούμενα δύο χρόνια. Αυτή η αλλαγή έγκειται στο γεγονός ότι δεν πάρθηκαν μετρήσεις για ολόκληρο τον πρώτο μήνα του έτους, αλλά μία μέτρηση για κάθε εβδομάδα πράγμα που συνεχίστηκε από την αρχή του έτους έως το τέλος. Αξίζει να σημειωθεί ότι παραλείφθηκαν οι μέρες 53-68 και 103-109 γιατί δεν υπήρχαν αρχεία με τις σωστές συντεταγμένες του Bernese για αυτές τις μέρες.

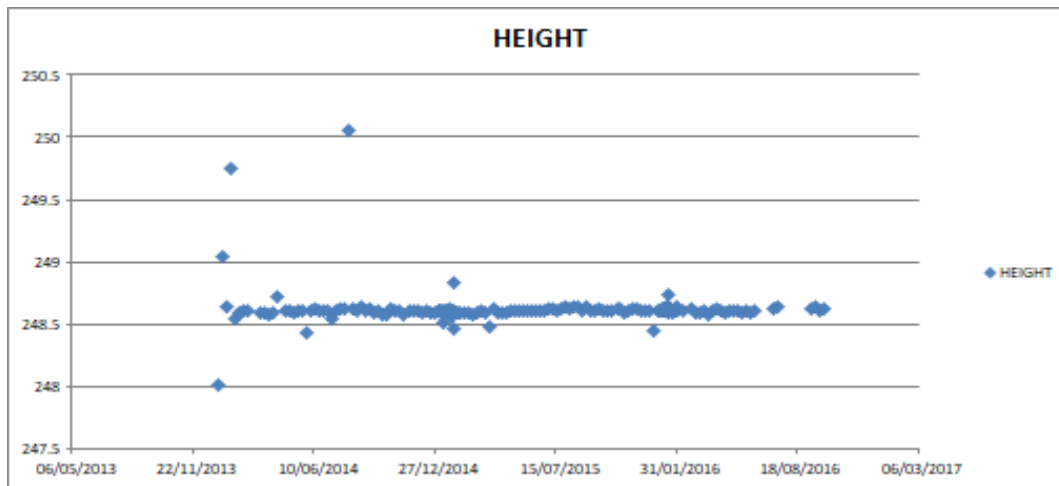
Αφού ολοκληρώθηκαν οι επιλύσεις δημιουργήθηκε αρχείο excel που περιείχε τη βασική γραμμή αποτελεσμάτων της επίλυσης για τις επεξεργασμένες μέρες, ακριβώς όπως έγινε και με τα έτη 2015-2016. Στη συνέχεια απομονώθηκαν τα στοιχεία που μας ενδιαφέρουν για τη δημιουργία των διαγραμμάτων δηλαδή το Latitude, το Longitude και το Height και αμέσως μετά διασπάστηκαν το γεωγραφικό μήκος και πλάτος σε επιμέρους στήλες, ώστε να γίνει χρήση μόνο της στήλης που περιέχει τα δευτερόλεπτα. Μετά από αυτή την επεξεργασία τα δεδομένα για το 2014 είχαν έρθει σε μορφή που επέτρεπε τη συνένωσή τους με τα αρχικά δεδομένα των προηγούμενων δύο ετών, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν τα αρχικά διαγράμματα των χρονοσειρών της τριετίας όπως φαίνονται πιο κάτω.



**Εικόνα 26: Αρχικό διάγραμμα Latitude 2014/15/16**

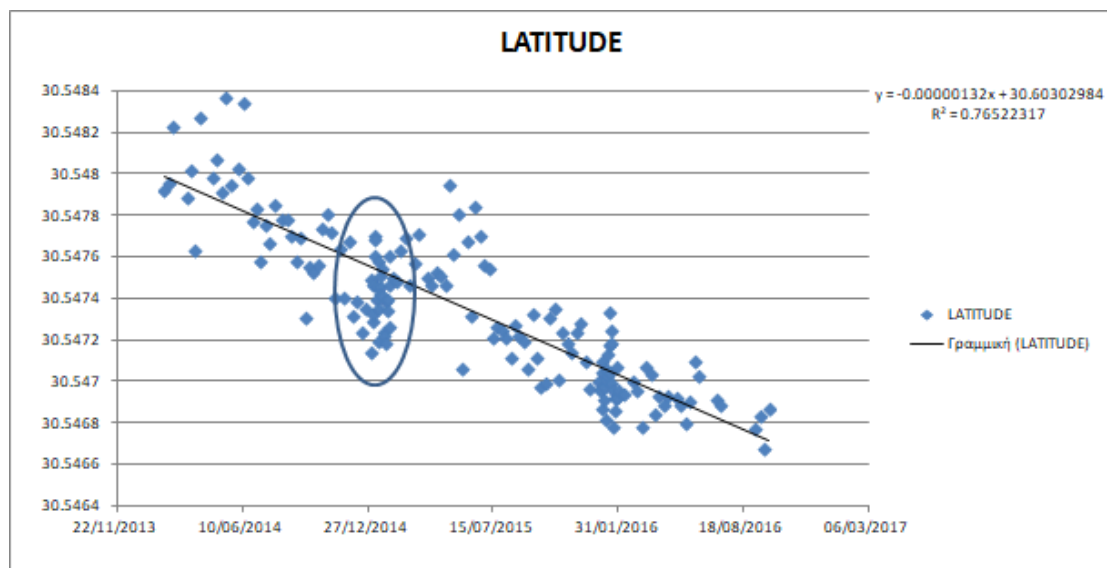


**Εικόνα 27: Αρχικό διάγραμμα Longitude 2014/15/16**

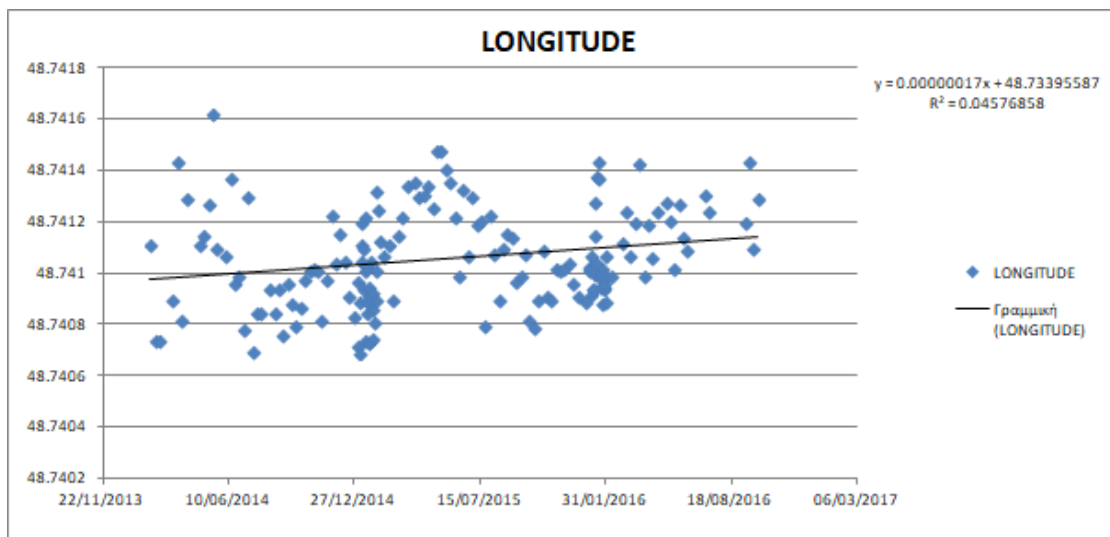


Εικόνα 28: Αρχικό διάγραμμα Height 2014/15/16

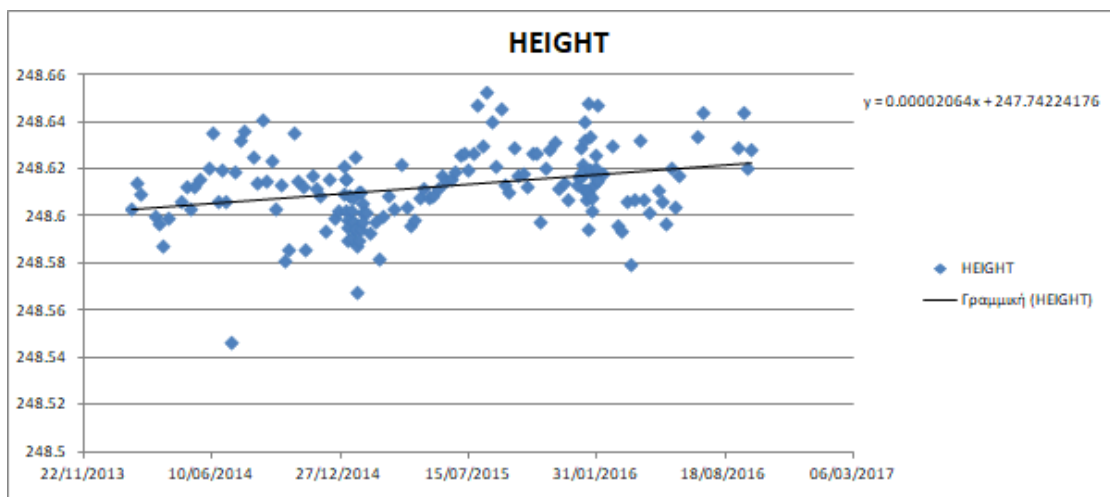
Όπως παρατηρείται στα διαγράμματα αυτά υπάρχουν στοιχεία που πρέπει να επεξεργαστούν ώστε να πάρουν τα διαγράμματα την τελική τους μορφή. Πρώτο βήμα είναι να αφαιρεθούν τα σημεία που βρίσκονται αρκετά μακριά από το σύνολο των υπολοίπων, αφαιρώντας ολόκληρη τη γραμμή των δεδομένων αυτών από το αρχείο excel, ώστε να διαμορφωθούν αντίστοιχα και τα διαγράμματα. Τέλος δημιουργούνται η γραμμή παλινδρόμησης και η αντίστοιχη εξίσωσή της καθώς και ο συντελεστής προσδιορισμού για τα διαγράμματα του γεωγραφικού μήκους και πλάτους. Τα διαγράμματα αυτά φαίνονται πιο κάτω.



Εικόνα 29: Τελικό διάγραμμα Latitude 2014/15/16



**Εικόνα 30: Τελικό διάγραμμα Longitude 2014/15/16**



**Εικόνα 31: Τελικό διάγραμμα Height 2014/15/16**

Στον κύκλο στο πρώτο διάγραμμα έχει σημειωθεί ενδεικτικά, πώς φαίνεται το σμήνος των σημείων που αντιστοιχούν στις καθημερινές μετρήσεις του πρώτου μήνα του 2015 ενώ με αντίστοιχη παρατήρηση μπορεί κάποιος να παρατηρήσει και για το έτος 2016. Το σύνολο των σημείων στους πρώτους μήνες του 2015,2016 δε φαίνεται να ακολουθούν τη γραμμή παλινδρόμησης. Αντίθετα έχουν μία κάθετη μετακίνηση ως προς τον άξονα X των διαγραμμάτων γεγονός που δε συμβάλλει ουσιαστικά στην εξαγωγή κάποιων

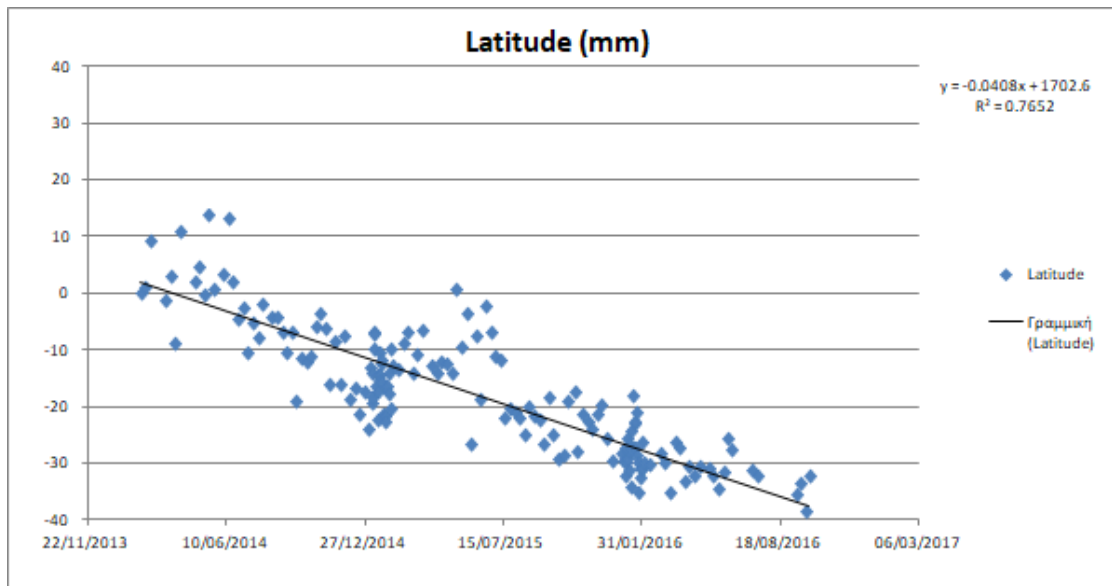


συμπερασμάτων. Στο σημείο αυτό προκύπτει η ανάγκη όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο της εργασίας, οι άξονες των διαγραμμάτων να είναι σε μία μονάδα μέτρησης η οποία θα επιτρέπει στον αναγνώστη να μπορεί να κάνει μία εκτίμηση των αποτελεσμάτων με μία πρόχειρη ματιά. Για αυτό το λόγο θα πρέπει να γίνει μία επιπλέον επεξεργασία των  $Y$  αξόνων των διαγραμμάτων που αφορούν το γεωγραφικό μήκος και πλάτος, καθώς τα διαγράμματα του υψομέτρου είναι σε μέτρα (m), έτσι ώστε τα δευτερόλεπτα της μοίρας να μετατραπούν σε χιλιοστά (mm). Για τη μετατροπή των δευτερολέπτων δεκαδικής μορφής σε χιλιοστά (mm) ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία. Από κάθε κελί της στήλης που περιείχε τα δευτερόλεπτα της μοίρας αφαιρείται η τιμή του πρώτου κελιού, ύστερα το αποτέλεσμα αυτό πολλαπλασιάζεται με 30,8 αφού ισχύει χοντρικά ότι κάθε λεπτό της μοίρας αντιστοιχεί σε 30,8 m στο έδαφος κατά τη διεύθυνση του μήκους και σε  $30,8 \cdot \cos\phi$  κατά το πλάτος. Στην παρούσα διπλωματική εργασία υπολογίστηκε από τους τύπους :

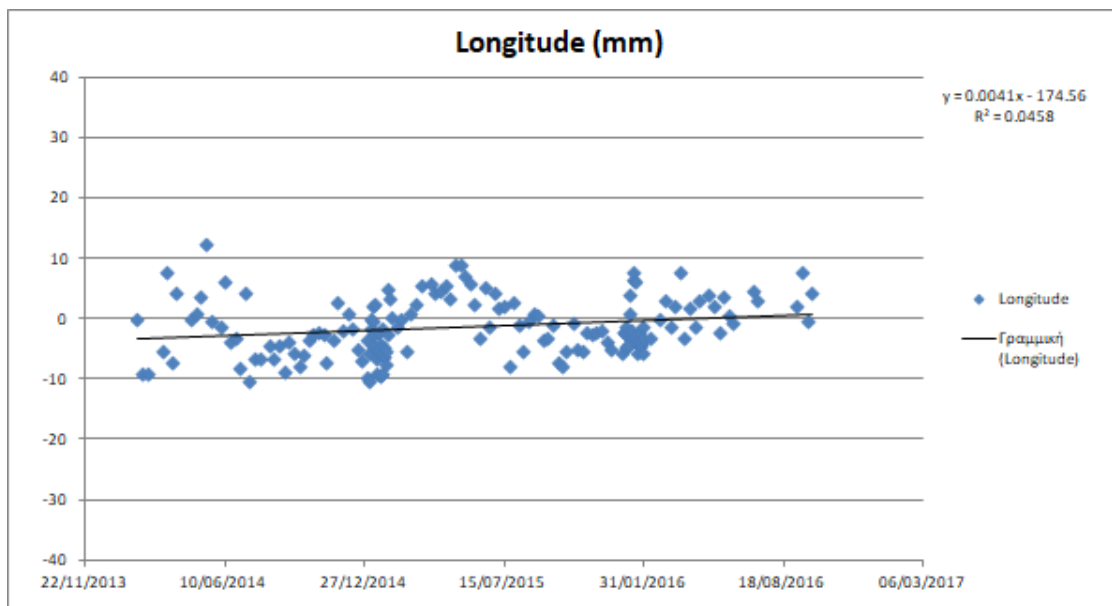
$$dM = \rho d\phi$$

$$\rho = a (1 - e^2) / \sqrt{[1 - e^2 \sin^2\phi]^3}$$

αυτή η τιμή και προέκυψε ίση με 30,78. Τέλος η τιμή που έχει προκύψει πολλαπλασιάζεται με 1000 ώστε τα μέτρα (m) να μετατραπούν σε χιλιοστά (mm). Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται δύο νέες στήλες οι τιμές των οποίων αναφέρονται σε σχετική μετακίνηση εκφρασμένη σε χιλιοστά. Τα διαγράμματα που παράχθηκαν φαίνονται πιο κάτω.



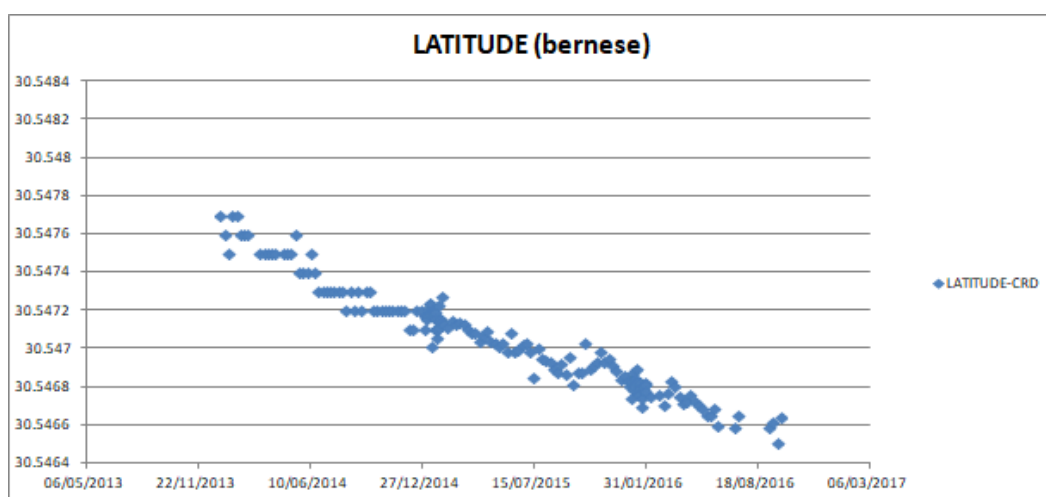
**Εικόνα 32: Τελικό διάγραμμα Latitude(mm) 2014/15/16**



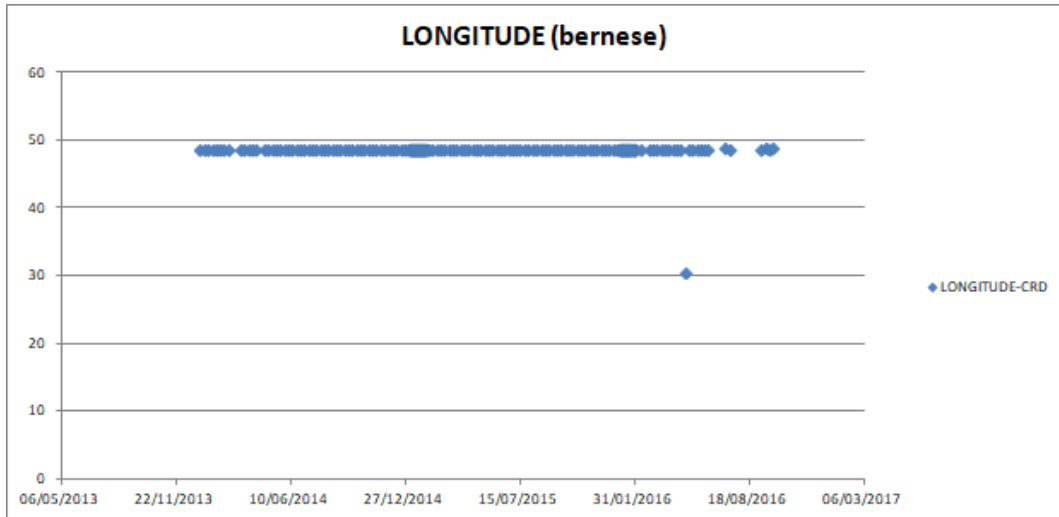
**Εικόνα 33: Τελικό διάγραμμα Longitude (mm) 2014/15/16**

## 4.4 Συγκρίσεις χρονοσειρών Rtk\_post-Bernese

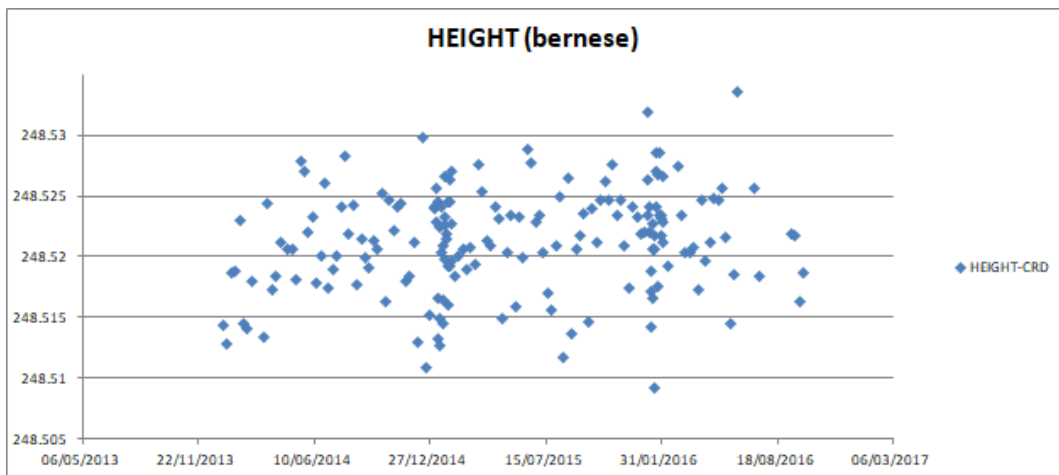
Εκτός από τις συντεταγμένες από το rtk\_post απαραίτητες για τη δημιουργία σύγκρισης είναι και οι σωστές συντεταγμένες από το Bernese για τις μέρες που έχουν επεξεργαστεί. Οι συντεταγμένες του Bernese πρέπει να έρθουν στη μορφή που είναι και οι αντίστοιχες από το rtk\_post. Πρώτα επιλέγονται οι συντεταγμένες των κατάλληλων ημερών, ύστερα μετατρέπονται από καρτεσιανές X,Y,Z σε γεωδαιτικές φ,λ,h [www.apsalin.com](http://www.apsalin.com) και τέλος διαχωρίζονται οι μοίρες από τα λεπτά και τα δευτερόλεπτα για να γίνει η περαιτέρω επεξεργασία. Τα αρχικά διαγράμματα από τα δεδομένα του προγράμματος Bernese φαίνονται πιο κάτω.



Εικόνα 34: Αρχικό διάγραμμα Latitude (Bernese) 2014/15/16



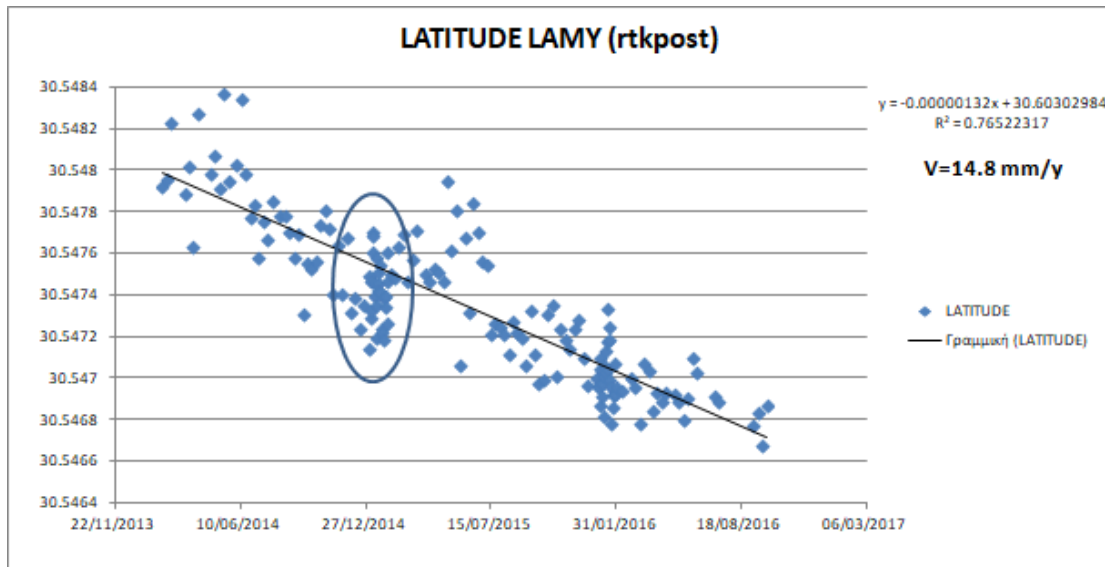
Εικόνα 35: Αρχικό διάγραμμα Longitude (Bernese) 2014/15/16



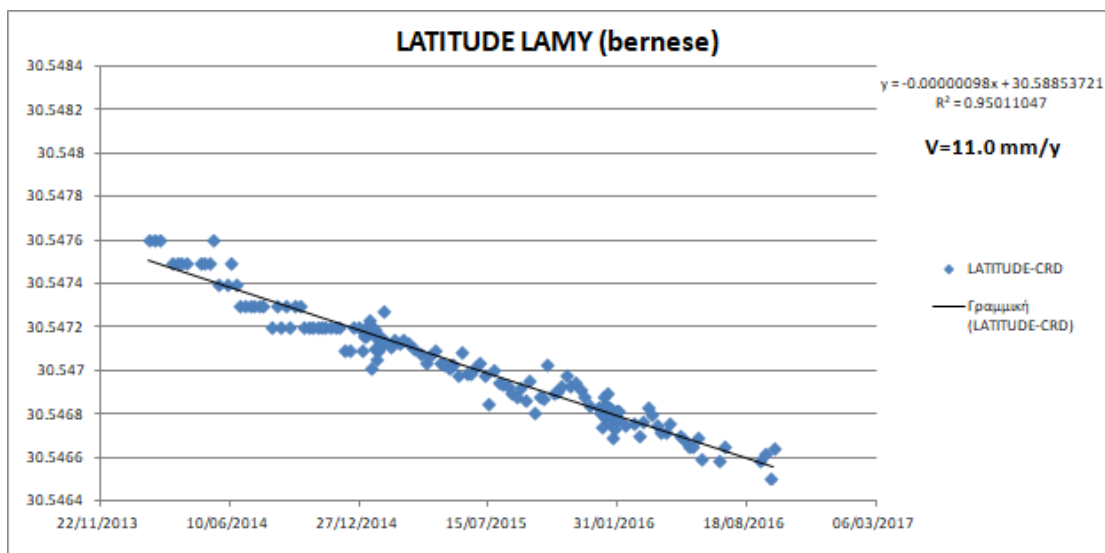
Εικόνα 36: Αρχικό διάγραμμα Height (Bernese) 2014/15/16

Επόμενα βήματα της επεξεργασίας των διαγραμμάτων αυτών είναι να αφαιρεθούν τα σημεία που βρίσκονται πιο μακριά από το υπόλοιπο σύνολο και επηρεάζουν τη μορφή τους, να διαμορφωθούν τα όρια του άξονα Υ , ώστε τόσο τα διαγράμματα του rtk\_post όσο και του Bernese να έχουν την ίδια κλίμακα γεγονός που θα βοηθήσει στη σωστή σύγκρισή τους. Ταυτόχρονα σχεδιάζονται η γραμμή παλινδρόμησης ή γραμμή τάσης καθώς και η εξίσωσή της σε κάθε ένα διάγραμμα, γίνεται προσθήκη του συντελεστή προσδιορισμού  $R^2$  και τέλος αναγράφεται σε κάθε ένα διάγραμμα η ταχύτητα σε χιλιοστά ανά

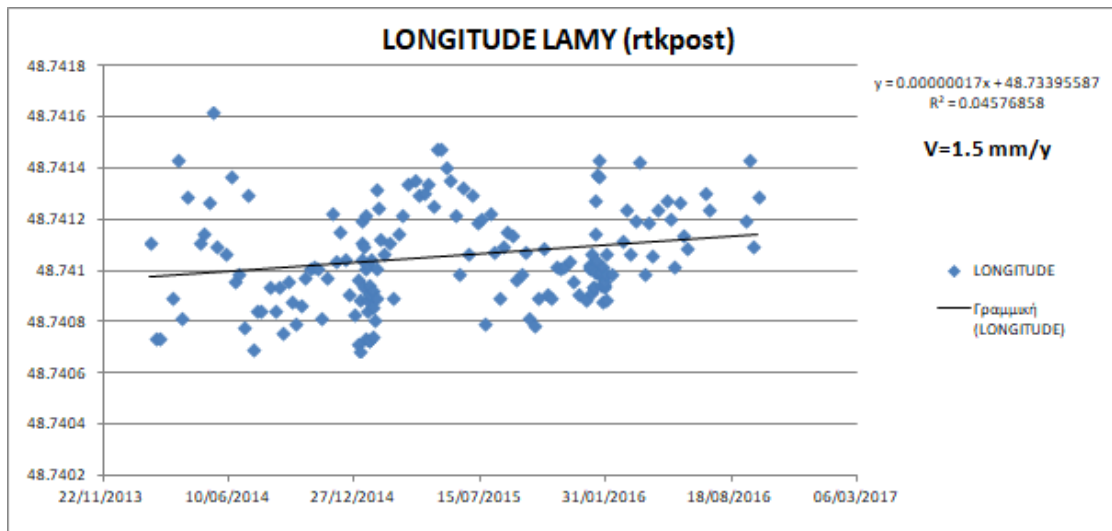
χρόνο (mm/y), που προκύπτει από το σύνολο των ενεργειών που προηγήθηκαν. Ακολουθούν ανά ζευγάρια τα διαγράμματα του γεωγραφικού μήκους και πλάτους καθώς και του υψομέτρου για ολόκληρο το χρονικό διάστημα της επεξεργασίας στην τελική τους μορφή.



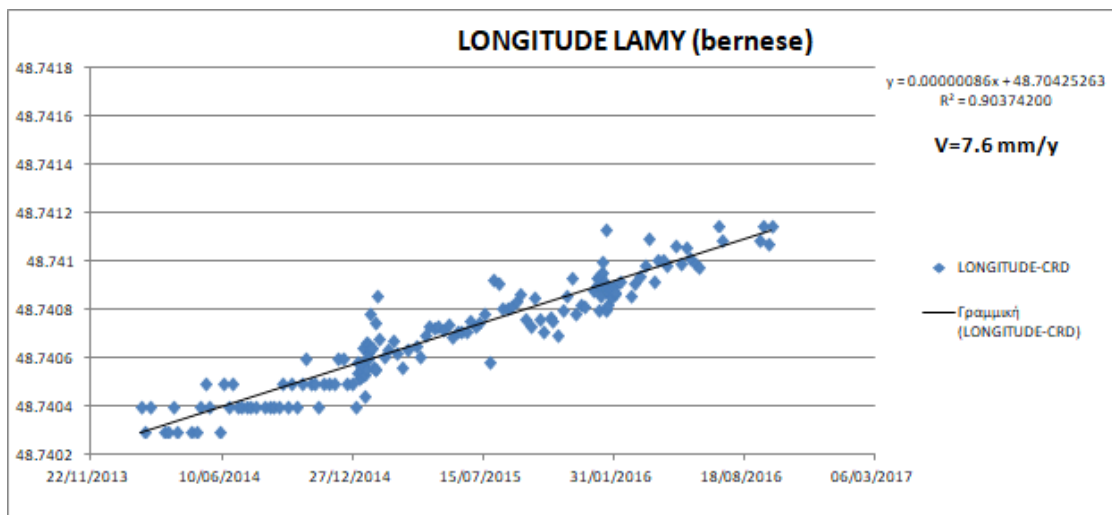
Εικόνα 37: Τελικό διάγραμμα Latitude Lamy (rtk\_post) 2014/15/16



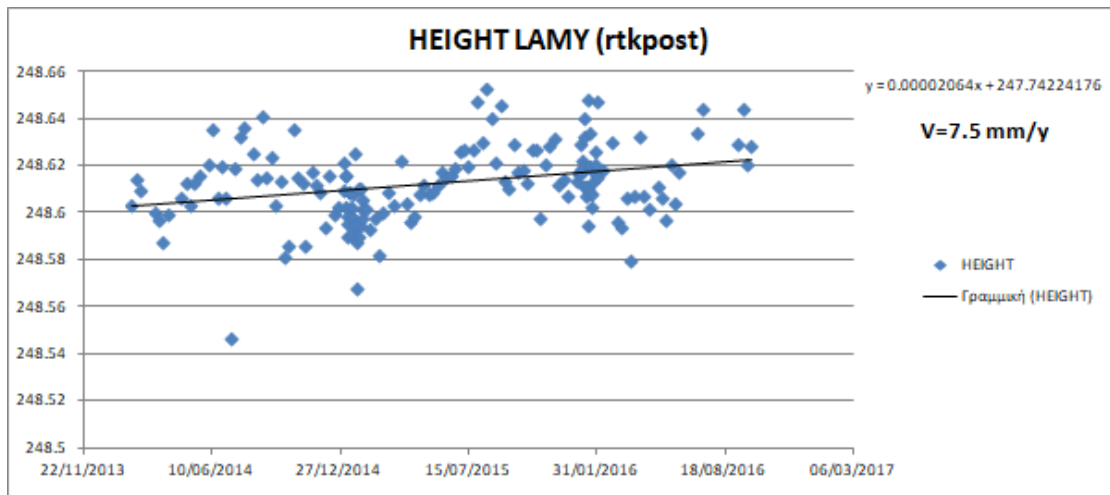
Εικόνα 38: Τελικό διάγραμμα Latitude Lamy (bernese) 2014/15/16



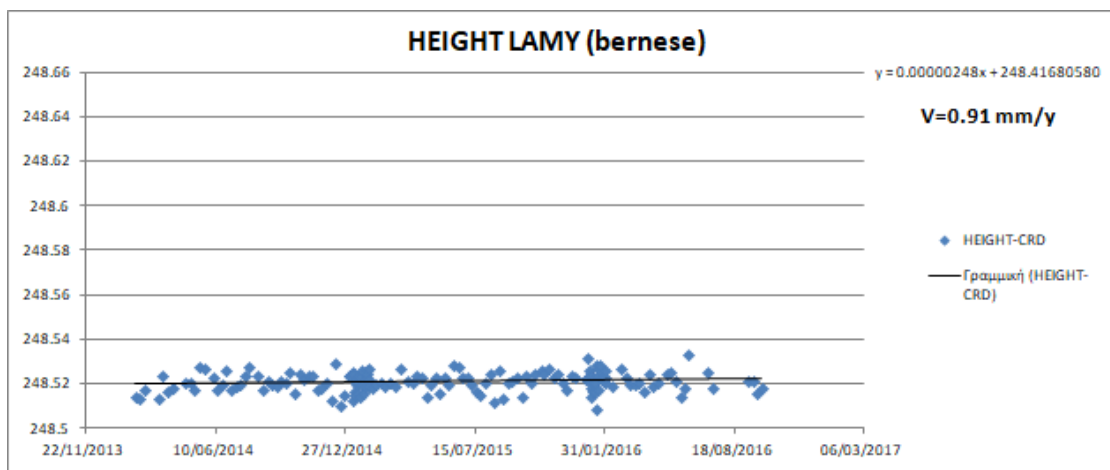
Εικόνα 39: Τελικό διάγραμμα Longitude Lamy (rtk\_post) 2014/15/16



Εικόνα 40: Τελικό διάγραμμα Longitude Lamy (bernese) 2014/15/16



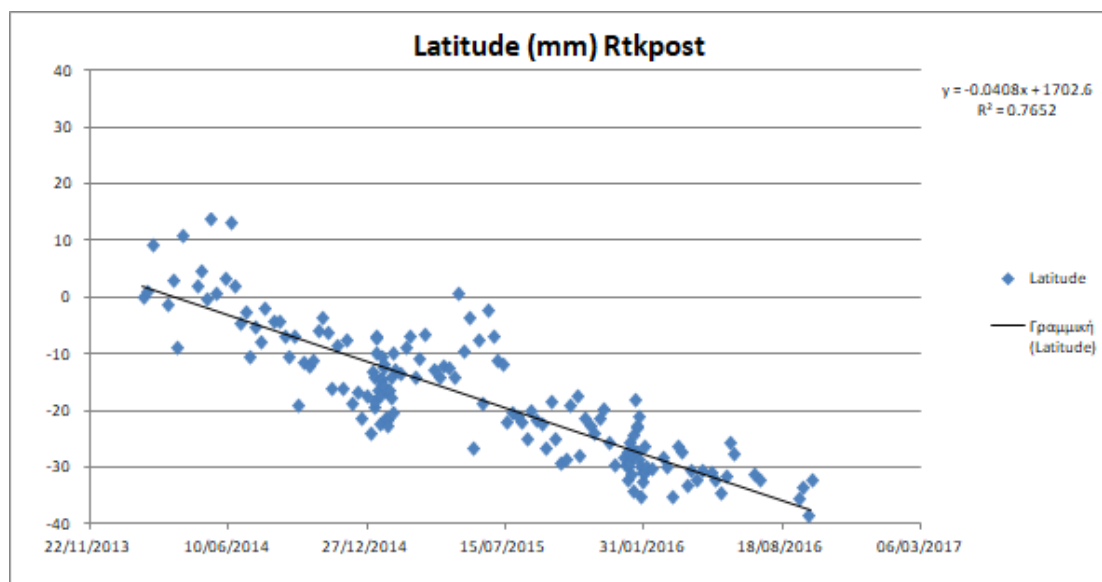
Εικόνα 41: Τελικό διάγραμμα Height Lamy (rtk\_post) 2014/15/16



Εικόνα 42: Τελικό διάγραμμα Height Lamy (bernese) 2014/15/16

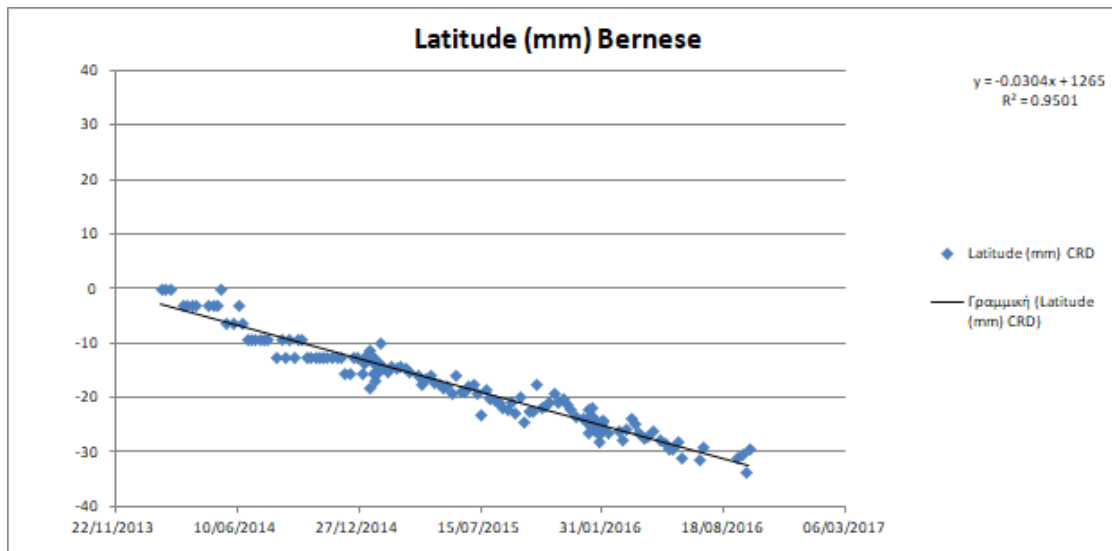
Παρατηρείται ότι το σμήνος των σημείων στα διαγράμματα από το Bernese (CRD) βρίσκεται πιο κοντά στη γραμμή παλινδρόμησης σε αντίθεση με τα αντίστοιχα διαγράμματα από το rtk\_post που είναι πιο διασκορπισμένα. Αυτό είναι ένα στοιχείο που δείχνει ότι το Bernese υπολογίζει τις επιλύσεις με μεγαλύτερη ακρίβεια από το rtk\_post που είναι ένα ελεύθερο εμπορικό πρόγραμμα. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι η κλίση των διαγραμμάτων του rtk\_post στο γεωγραφικό μήκος και πλάτος είναι αρκετά κοντά με τα αντίστοιχα του Bernese ενώ στο υψόμετρο παρατηρείται μία πιο έντονη

διαφορά στις κλίσεις. Τέλος για να γίνει η σύγκριση των αποτελεσμάτων θα πρέπει και τα αντίστοιχα διαγράμματα από το Bernese να εκφραστούν σε χιλιοστά όπως ακριβώς έγινε και με τα αντίστοιχα διαγράμματα του rtk\_post σε προηγούμενη παράγραφο. Ακολουθώντας ακριβώς την ίδια διαδικασία που περιγράφηκε για τα δεδομένα του rtk\_post πιο πάνω, προκύπτουν και οι νέες στήλες σε χιλιοστά για τα διαγράμματα του γεωγραφικού μήκους και πλάτους του Bernese και κατ' επέκταση και τα τελικά διαγράμματα σε χιλιοστά. Τα διαγράμματα του υψομέτρου δεν υφίστανται επεξεργασία ως προς τις μονάδες των αξόνων αφού είναι ήδη σε μέτρα (m).

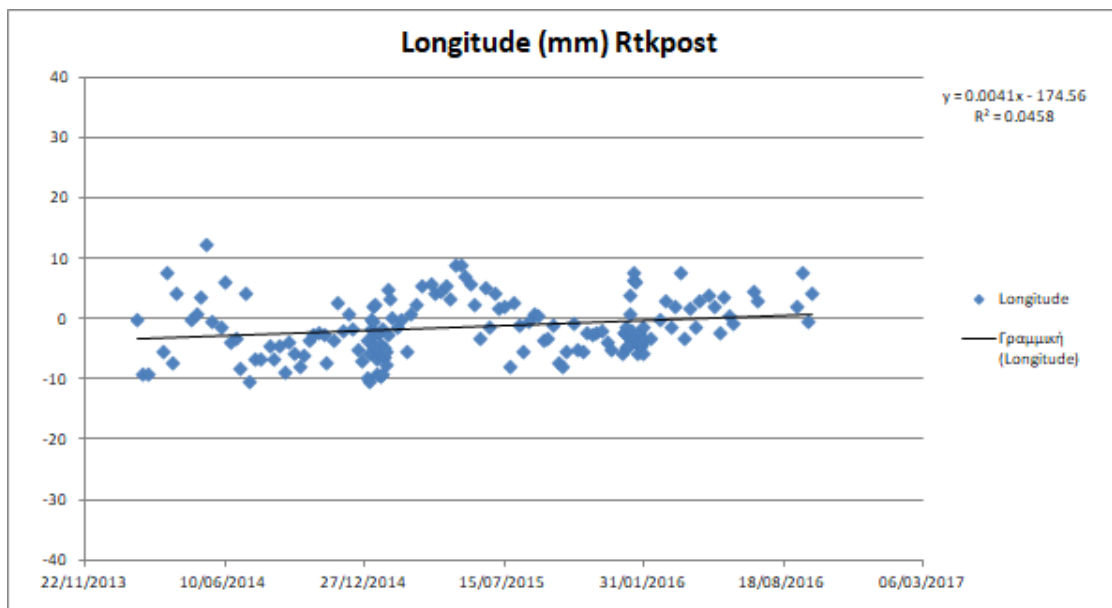


Εικόνα 43: Τελικό διάγραμμα Latitude (mm) Lamy (rtk\_post) 2014/15/16

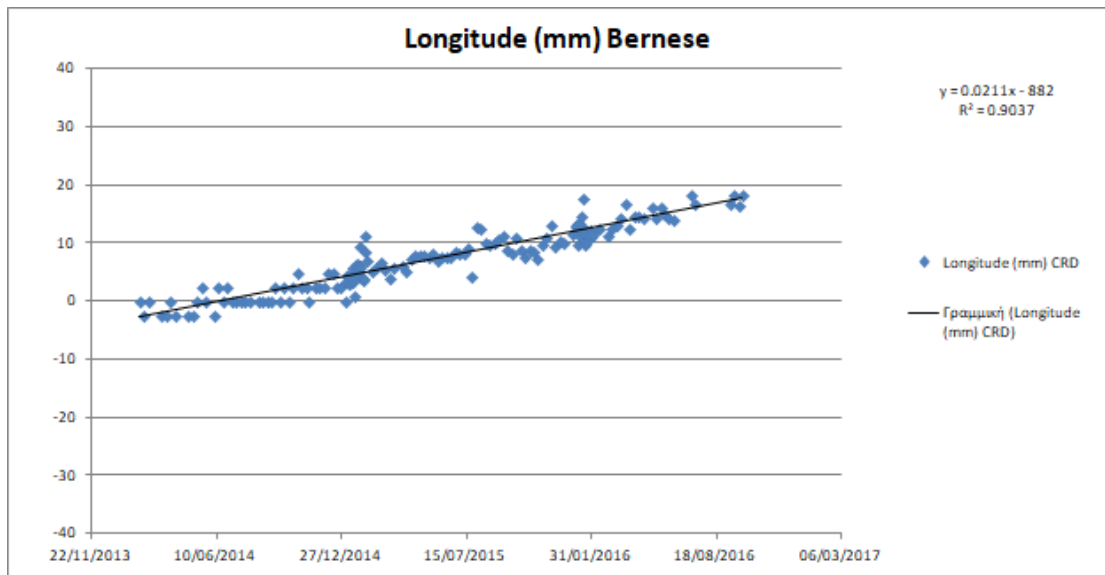




Εικόνα 44: Τελικό διάγραμμα Latitude (mm) Lamy (bernese) 2014/15/16

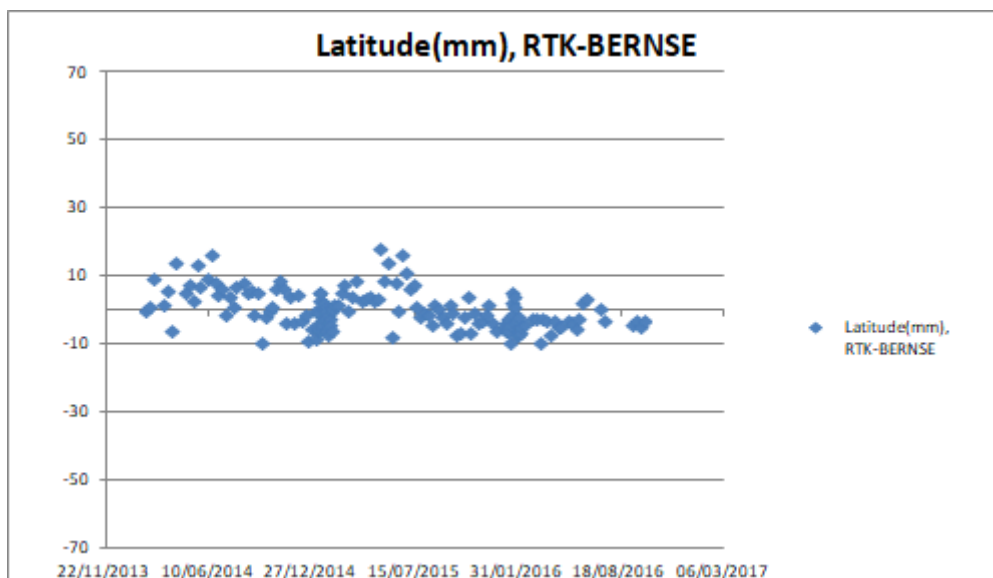


Εικόνα 45: Τελικό διάγραμμα Longitude (mm) Lamy (rtk\_post) 2014/15/16

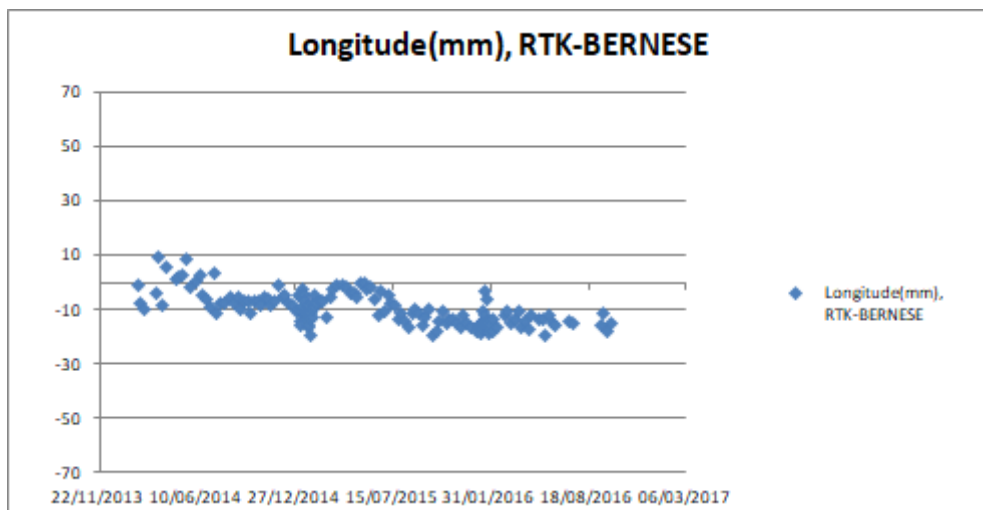


**Εικόνα 46: Τελικό διάγραμμα Longitude (mm) Lamy (bernese) 2014/15/16**

Τελευταίο στάδιο επεξεργασίας για να φανούν οι διαφορές των διαγραμμάτων ακόμα πιο έντονα ώστε να εξαχθούν τα αποτελέσματα είναι να αφαιρεθούν τα διαγράμματα που αναφέρονται στο Latitude και στο Longitude από τα δυο προγράμματα αντίστοιχα.



**Εικόνα 47: Latitude (mm) RTK-BERNSESE**



Εικόνα 48: Longitude (mm) RTK-BERNESE

Σε μία ιδανική περίπτωση που τα rtk\_post θα μπορούσε να αντικαταστήσει επαρκώς το Bernese η μορφή των διαγραμμάτων θα έπρεπε να πλησιάζει μία ευθεία γραμμή.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ

#### 5.1 Επεξεργασία δεδομένων κινηματικού εντοπισμού

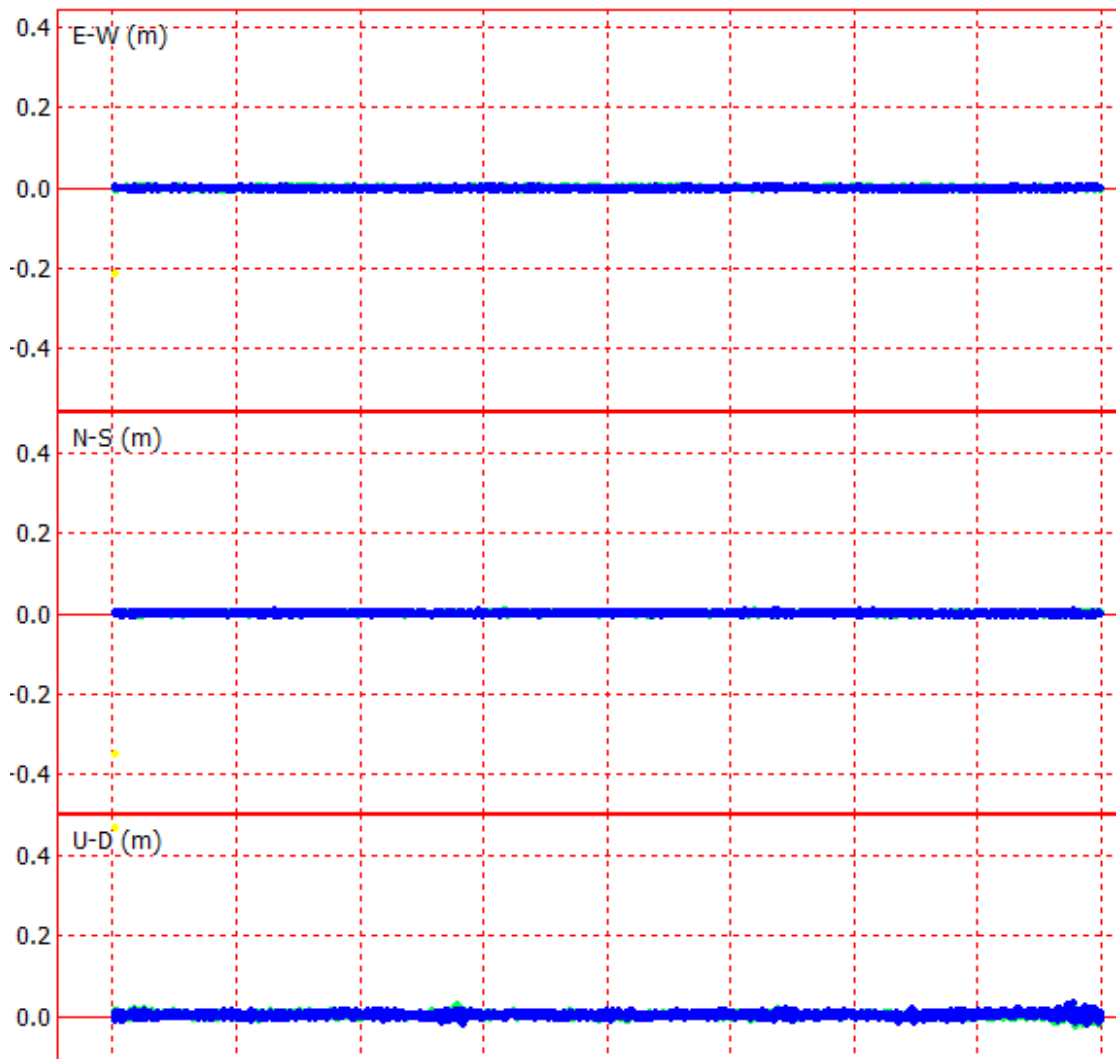
Μετά το τέλος της επεξεργασίας των δεδομένων για το σχετικό στατικό εντοπισμό, τη δημιουργία των αντίστοιχων διαγραμμάτων τόσο για το ελεύθερο εμπορικό πρόγραμμα `rtk_post` όσο και για το επιστημονικό πρόγραμμα `Bernese`, τη σύγκριση και την παρατήρησή τους ακολούθησε η επεξεργασία δεδομένων για τη μέθοδο του σχετικού κινηματικού εντοπισμού ώστε να καλυφθούν σε μεγαλύτερο εύρος οι δυνατότητες του προγράμματος `rtk_post` στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων που παράγουν.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ανήκουν στις μέρες 296,297,298,299,300. Οι μέρες αυτές είχαν χρησιμοποιηθεί και στο κομμάτι της διερεύνησης για το στατικό εντοπισμό στην αρχή της εργασίας ώστε να βρεθεί ο βέλτιστος συνδυασμός παραμέτρων για την ακριβέστερη επίλυση δεδομένων. Στοιχείο άξιο αναφοράς αποτελεί ότι η συχνότητα των μετρήσεων είναι ανά 30'' γεγονός ασυνήθιστο για τον κινηματικό εντοπισμό, αφού κάθε μέτρησή του γίνεται σε πιο πυκνό χρόνο (0.01-5)sec, καθώς για τις μέρες επεξεργασίας δεν υπήρχαν δεδομένα με την κατάλληλη συχνότητα. Ο συνδυασμός των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν είναι ο ίδιος με αυτόν του στατικού εντοπισμού (L1 ή L1+L2 -FOR-BR-PRE με elevation mask 15° και min ratio 3). Η διαφορά στο περιβάλλον του προγράμματος σε σχέση με το στατικό εντοπισμό είναι στην επιλογή της μεθόδου (Positioning Mode : Kinematic). Η μόνη εναλλαγή που θα γίνεται σε αυτά τα στοιχεία είναι αυτή των συχνοτήτων από L1 σε L1+L2. Οι βάσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τη διαδικασία που περιγράφηκε πιο πάνω είναι οι DION G-DYNG και LAMY-DYNG. Δηλαδή για κάθε μία μέρα προέκυψαν δυο συνδυασμοί, άρα οι συνολικές δοκιμές ήταν είκοσι (20). Επόμενο βήμα της επεξεργασίας είναι η εισαγωγή των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από το `rtk_post` στο άλλο υποπρόγραμμα του `rtk_lib`, το `rtk_plot` το οποίο βοηθά περισσότερο στη

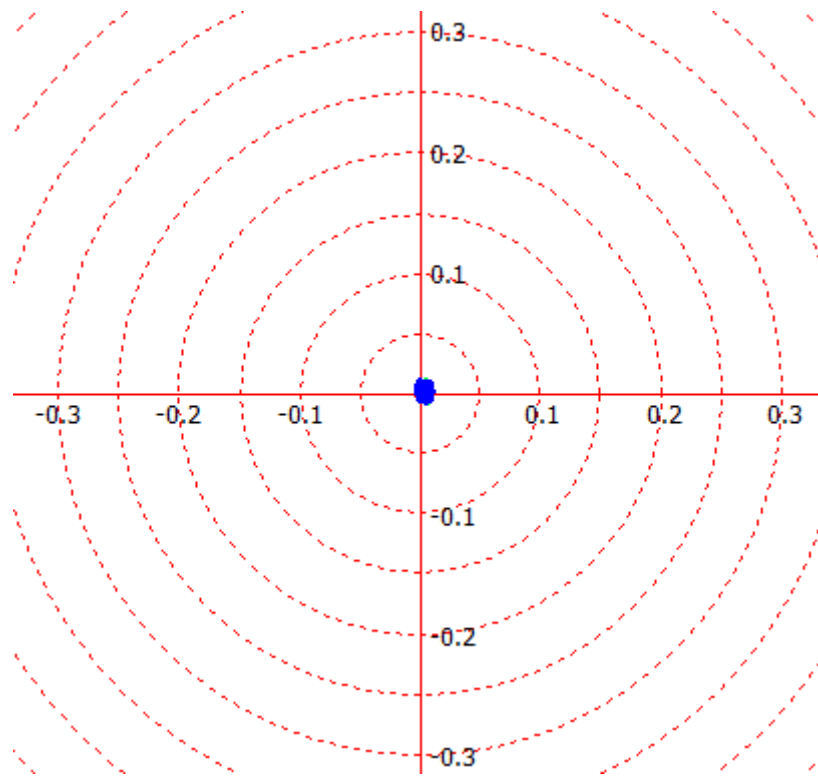
γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων αλλά και στη συλλογή κάποιων επιπλέον χρήσιμων στοιχείων. Για κάθε μία βάση δημιουργήθηκε ένας πίνακας στον οποίο αναγράφονται τα στοιχεία που μας ενδιαφέρουν περισσότερο, δηλαδή για κάθε μέρα και κάθε επιλογή συχνότητας σημειώθηκαν το ποσοστό των λυμένων λύσεων Q1, το εύρος των λύσεων στο E-W, N-S, U-D και τέλος το χρονικό διάστημα κατά το οποίο μπορεί υπάρχουν μη λυμένες λύσεις Q2 (Float) σε μία μέρα. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι float λύσεις που μας ενδιαφέρουν είναι κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου και όχι στην αρχή του. Οι πίνακες των αποτελεσμάτων φαίνονται πιο κάτω.

DION G-DYNG						
DAY	FREQUENCY	Q1	FLOAT	E-W (m)	N-S(m)	U-D(m)
296	L1	100%(2877)	-	0.015	0.010	0.030
	L1+L2	100%(2878)	-	0.010	0.010	0.030
297	L1	100%(2842)	-	0.006	0.010	0.025
	L1+L2	100%(2843)	-	0.008	0.010	0.025
298	L1	99.9%(2876)	-	0.010	0.010	0.020
	L1+L2	100%(2877)	-	0.008	0.010	0.030
299	L1	100%(2877)	-	0.010	0.010	0.025
	L1+L2	100%(2878)	-	0.008	0.010	0.025
300	L1	100%(2878)	-	0.010	0.010	0.030
	L1+L2	100%(2878)	-	0.008	0.010	0.030

Εικόνα 49: Πίνακας Κινηματικού DION G-DYNG



Εικόνα 50: Διπλό διάγραμμα Position Dion G-Dyng, 296, L1&L1+L2



Εικόνα 51: Διπλό διάγραμμα Grid Trk 5cm Dion G-Dyng, 296, L1&L1+L2

Μετά τον πίνακα με το εύρος των τιμών της βάσης DION G-DYNG ακολουθούν δύο διαγράμματα τα οποία εκφράζουν τα ίδια δεδομένα αλλά σε διαφορετική μορφή. Το πρώτο από αυτά είναι σε μορφή Position και δείχνει το εύρος των τιμών στα τμήματα E-W, N-S, U-D της πρώτης μέρας επεξεργασίας (296). Το διάγραμμα αυτό είναι διπλό διάγραμμα αφού περιέχει τη λύση τόσο για τη συχνότητα L1 όσο και για τη συχνότητα L3 (L1+L2). Ο λόγος που δε φαίνεται κάποια διαφορά στη μορφή του διαγράμματος και στα χρώματά του, καθώς οι fixed λύσεις της συχνότητας L1 έχουν χρώμα πράσινο ενώ οι αντίστοιχες της L3 μπλε, είναι γιατί τα αποτελέσματα σε αυτή τη μέρα είναι σχεδόν ίδια για αυτό και η μία λύση καλύπτει την άλλη.

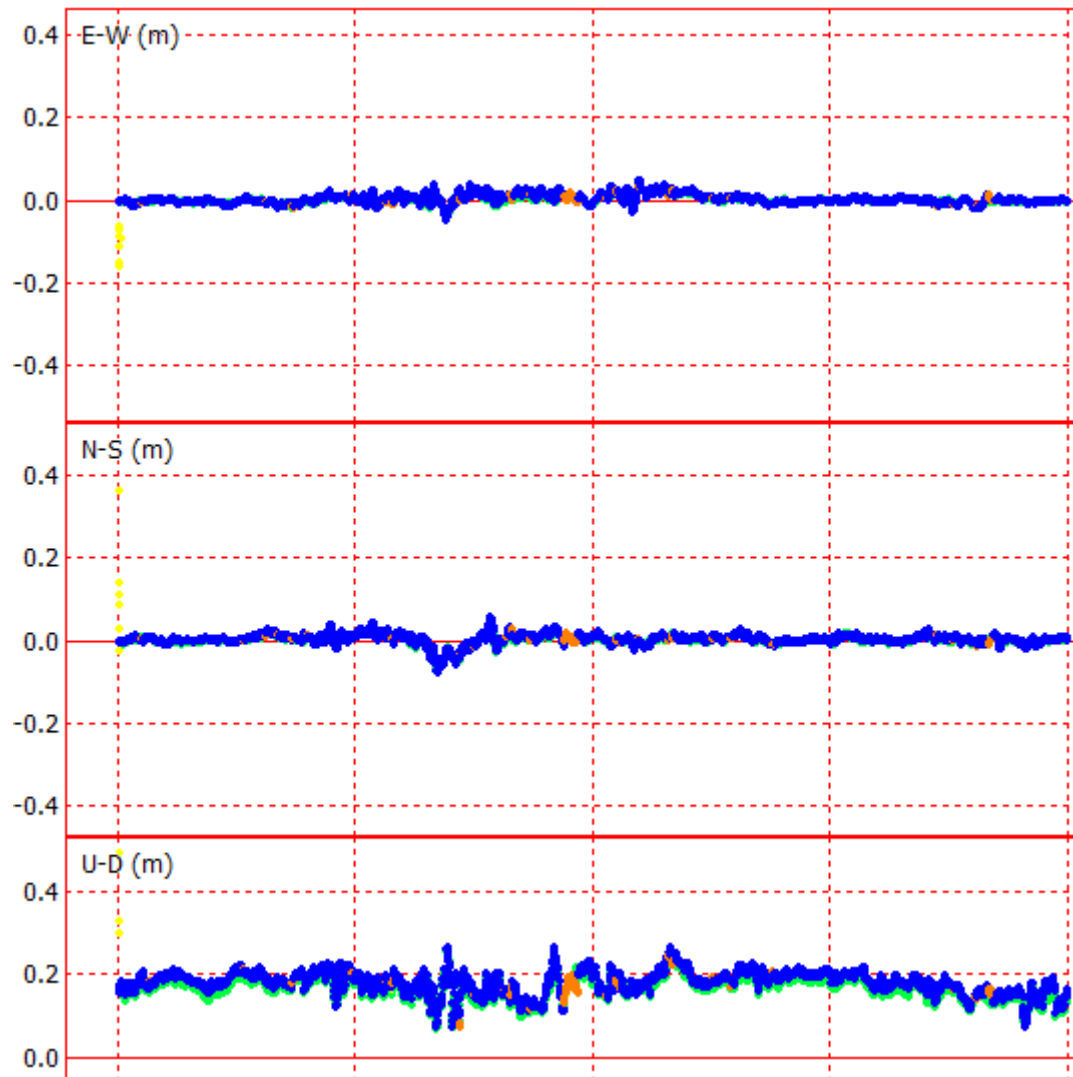
LAMY-DYNG						
DAY	FREQUENCY	Q1	FLOAT	E-W (m)	N-S(m)	U-D(m)
296	L1	98.3%(2828)	-	0.080	0.150	0.150
	L1+L2	95.2%(2754)	-	0.080	0.150	0.150
297	L1	99.6%(2866)	-	0.040	0.050	0.100
	L1+L2	98.3%(2827)	-	0.040	0.060	0.100
298	L1	97.4%(2802)	-	0.060	0.050	0.100
	L1+L2	94.9%(2730)	-	0.060	0.060	0.120
299*	L1	78.2%(2246)	-	0.300	0.250	0.400
	L1+L2	76.0%(2183)	-	0.330	0.250	0.400
300	L1	93.9%(2545)	-	0.040	0.040	0.100
	L1+L2	90.3%(2446)	-	0.050	0.040	0.100

Εικόνα 52: Πίνακας Κινηματικού LAMY-DYNG

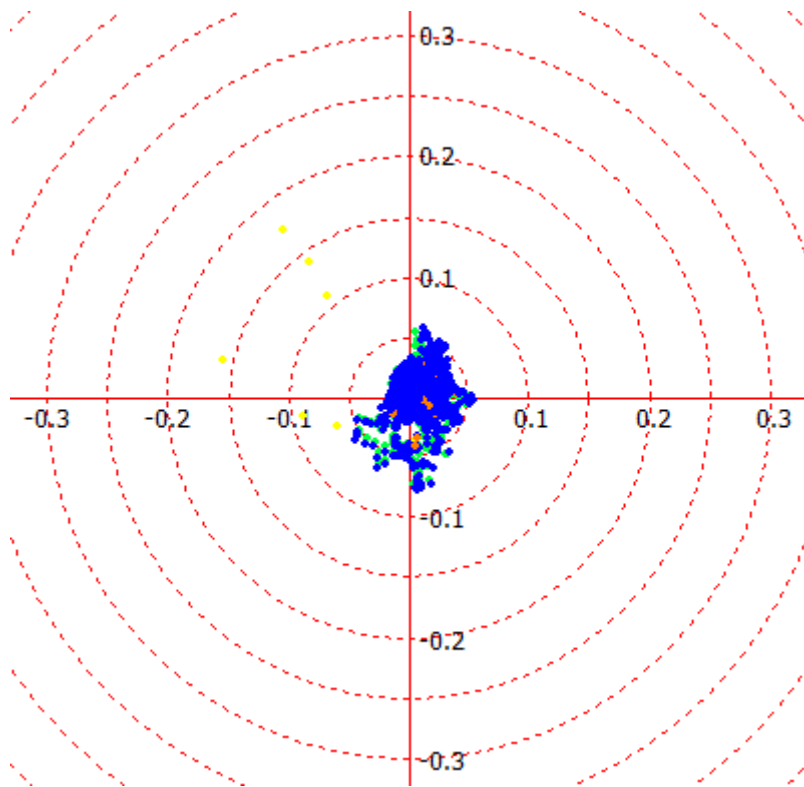
DAY	FREQUENCY	FLOAT			
		TIME(h)	RANGE(m)		
			E-W	N-S	U-D
299*	-	-			
	L1	6:32-10:29	0.25	0.15	0.3
	L1+L2	5:42-9:22	0.3	0.18	0.34

Εικόνα 53: Συμπληρωματικός πίνακας κινηματικού LAMY-DYNG





Εικόνα 54: Διπλό διάγραμμα Position LAMY-DYNG, 296, L1&L1+L2



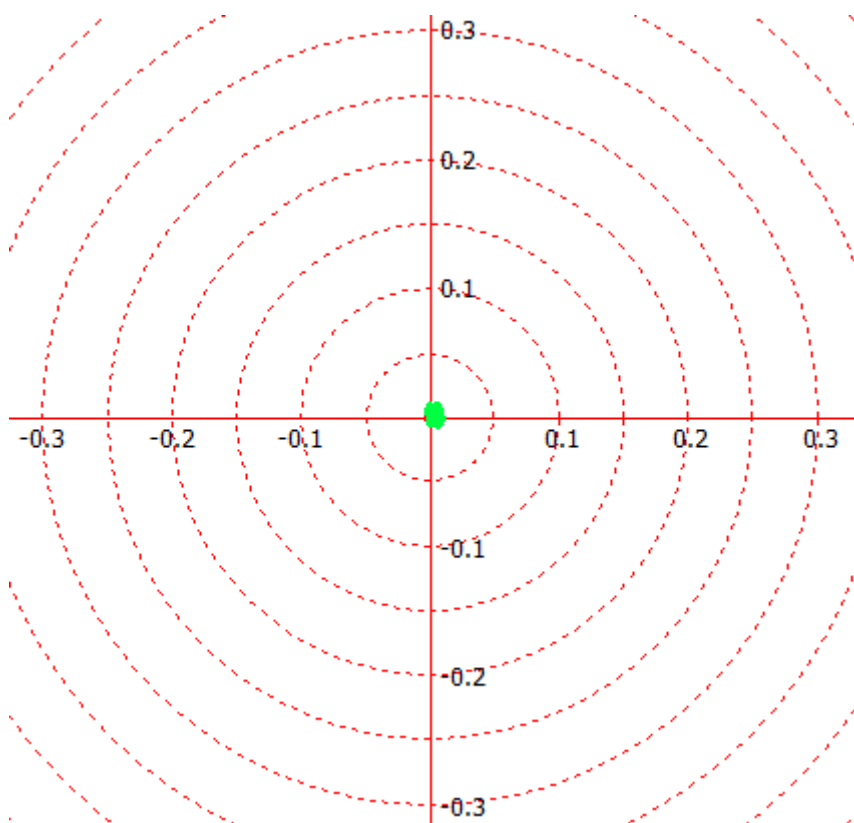
Εικόνα 55: Διπλό διάγραμμα Grid Trk 5cm LAMY-DYNG, 296, L1&L1+L2

Κατά τον ίδιο τρόπο, ύστερα από τον πίνακα με το εύρος των τιμών της βάσης LAMY-DYNG φαίνεται πρώτα το διάγραμμα Position για τις συχνότητες L1 και L3(L1+L2) και μετά το διάγραμμα Grid Trk. Στη βάση αυτή παρατηρείται μία μικρή διαφορά στα διαγράμματα των δύο συχνοτήτων καθώς ξεχωρίζουν οι πράσινες fixed λύσεις της συχνότητας L1 από τις μπλε fixed λύσεις της συχνότητας L3. Τέλος ξεχωρίζουν με κίτρινο χρώμα οι float λύσεις.

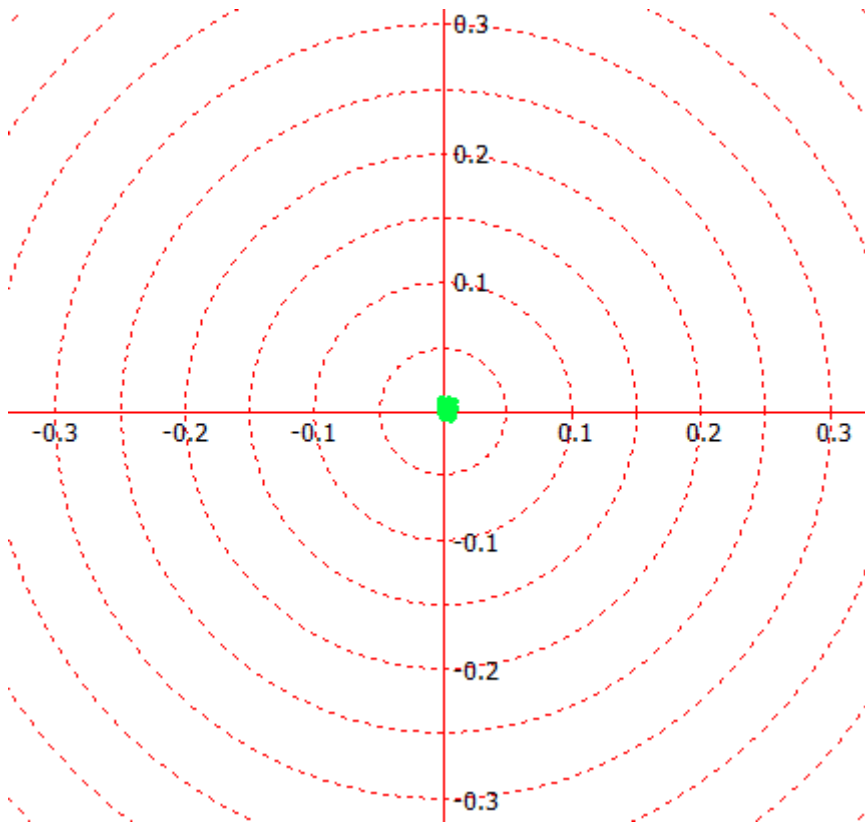
Συμπερασματικά, παρατηρείται ότι στην πιο μικρή βάση DION G-DYNG το ποσοστό των λυμένων λύσεων αγγίζει το 100% σε όλες τις μέρες και δοκιμές, ενώ στη βάση LAMY-DYNG η οποία είναι μεγαλύτερου μήκους το ποσοστό των λυμένων λύσεων είναι πιο χαμηλό αλλά και αυτό πολύ ικανοποιητικό. Εξαιρέση αποτελεί η μέρα 299 στη βάση αυτή, η οποία έχει float λύσεις στο ενδιάμεσο του εικοσιτετραώρου διάρκειας σχεδόν τεσσάρων ωρών για αυτό και το ποσοστό Q1 είναι αρκετά πιο χαμηλό. Τέλος το εύρος των τιμών στα διαστήματα E-W και N-S είναι αρκετά ικανοποιητικά στην πρώτη βάση

(6mm-1cm) ενώ στο ύψος αυξάνεται στα 3cm , ενώ αντίθετα στη βάση LAMY-DYNG το εύρος των τιμών στο E-W και N-S είναι από 3cm μέχρι κάποια δέκατα και στο ύψος U-D αυξάνεται περισσότερο από (0,1-0,15)m.

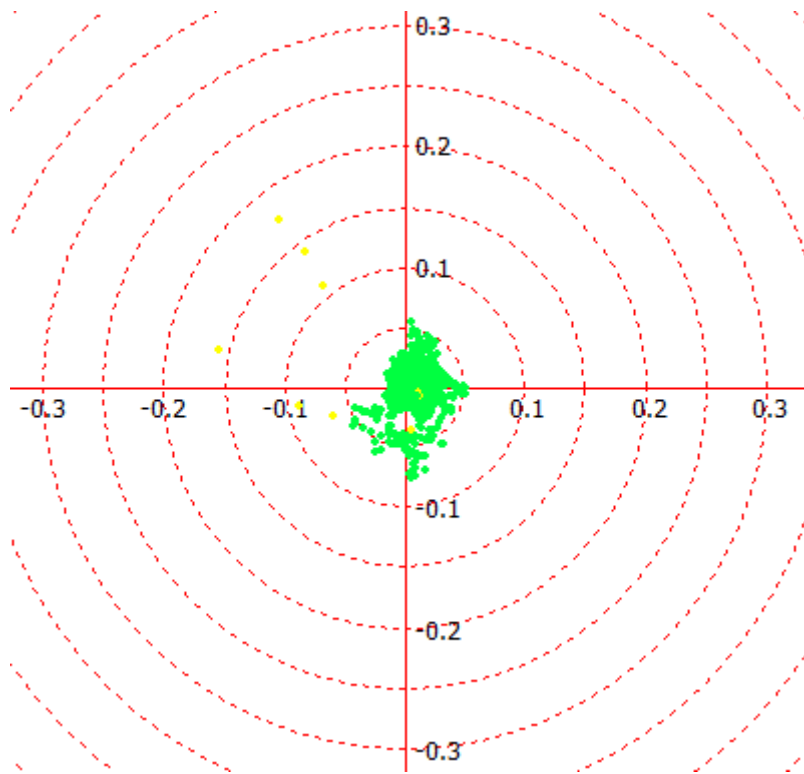
Για να κατανοηθούν περισσότερο οι παρατηρήσεις αυτές παρουσιάζονται πιο κάτω ξεχωριστά τα διαγράμματα για τη μέρα 296 σε Grid Trk μορφή και για τις δύο συχνότητες των δύο βάσεων.



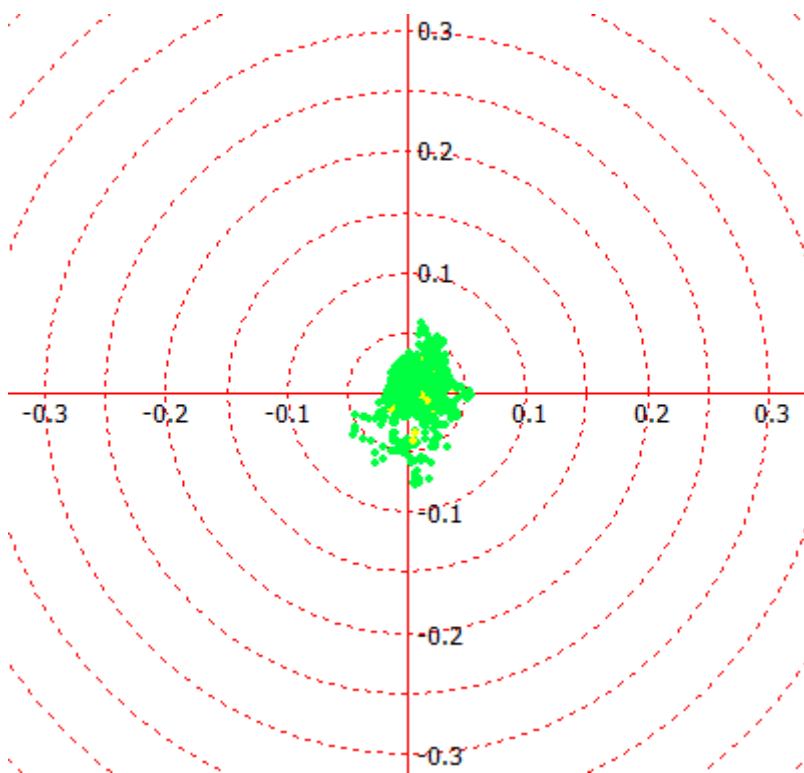
**Εικόνα 56: Διάγραμμα Dion G-Dyng 5cm, 296, L1**



Εικόνα 57: Διάγραμμα Dion G-Dyng 5cm, 296, L3

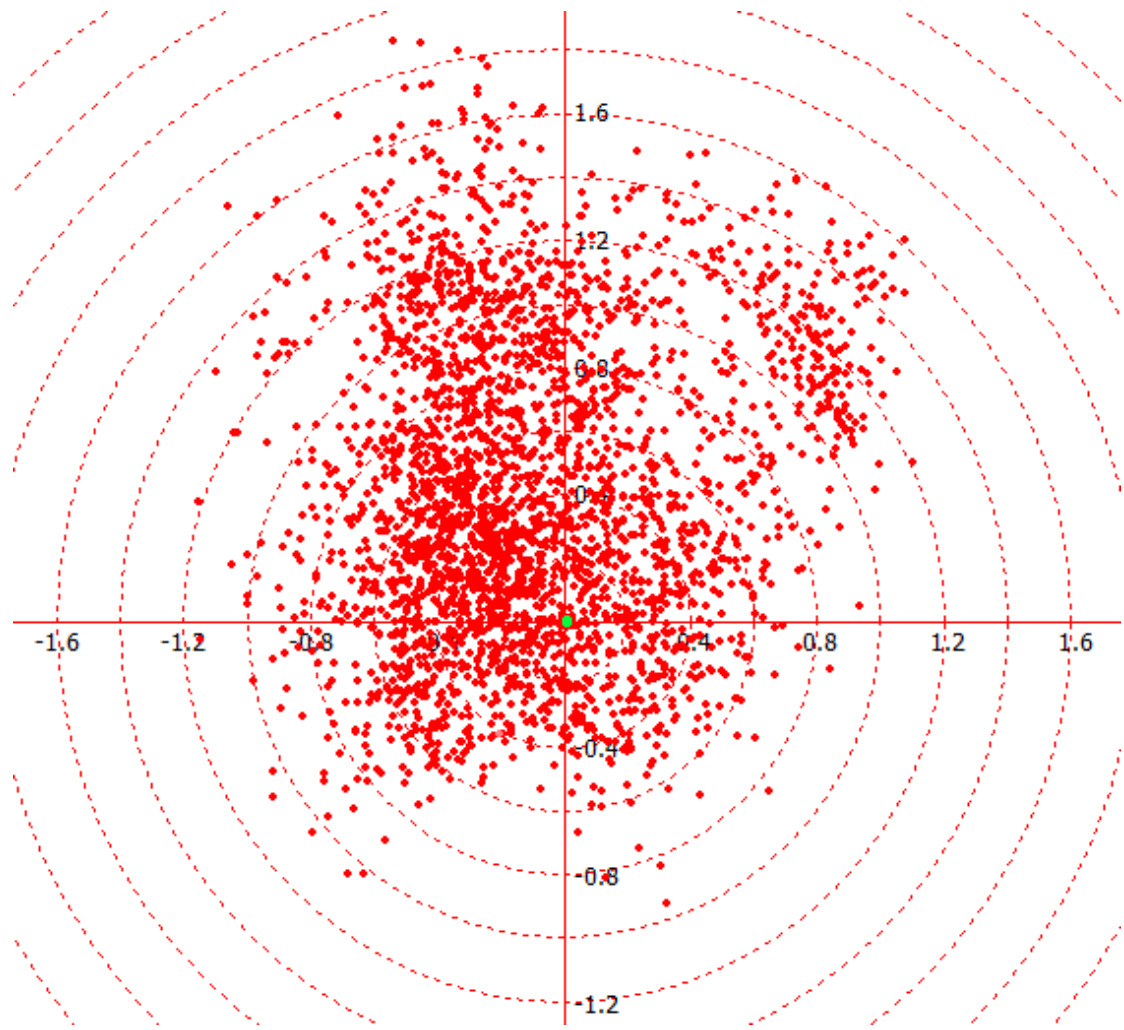


**Εικόνα 58: Διάγραμμα Lamy-Dyng 5cm, 296, L1**



**Εικόνα 59: Διάγραμμα Lamy-Dyng 5cm, 296, L3**

Τα τέσσερα αυτά διαγράμματα είναι σε κλίμακα 5cm ώστε η σύγκριση και οι παρατηρήσεις που εξάχθηκαν να έχουν υπόσταση. Τα δύο πρώτα που αναφέρονται στην πιο μικρή βάση DION G-DYNG έχουν αρκετά μεγάλη ακρίβεια και ομοιότητα μεταξύ τους ενώ τα επόμενα δύο που αναφέρονται στη βάση LAMY-DYNG που έχει μεγαλύτερο μήκος παρατηρείται ότι είναι πιο απλωμένα συγκριτικά με τα δυο προηγούμενα. Τέλος έγινε μία δοκιμή για την επίλυση απόλυτου εντοπισμού για τη μέρα 296 στη συχνότητα L1. Χρησιμοποιήθηκαν όλα τα στοιχεία της συγκεκριμένης ημέρας στο rtk\_post με μόνη αλλαγή αντί για Kinematic έγινε η επιλογή Single. Ύστερα τα δεδομένα της λύσης εισάχθηκαν στο rtkplot ώστε να φανεί γραφικά το αποτέλεσμα. Ακολουθεί το διπλό διάγραμμα της μέρας 296 που περιέχει με κόκκινο χρώμα τη λύση του απόλυτου εντοπισμού και με πράσινο τη λύση του κινηματικού σε κλίμακα 20 cm.



Εικόνα 60: Διάγραμμα Single-Kinematic 20cm, 296, L1

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

#### 6.1 Συμπεράσματα Στατικού Εντοπισμού

Ανακεφαλαιώνοντας, το πρώτο χρήσιμο συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί για το ελεύθερο πρόγραμμα `rtk_post` με τη μέθοδο του στατικού εντοπισμού που επεξεργάστηκε κατά κύριο λόγο στην εργασία είναι :

1. Για τον υπολογισμό θέσης ή σχετικής μετακίνησης μικρών βάσεων της τάξης των μερικών δεκάδων μέτρων μπορεί να αντικαταστήσει πολύ ικανοποιητικά επιστημονικά προγράμματα όπως είναι το Bernese.
2. Αντίθετα για την επεξεργασία μεγάλων βάσεων που απέχουν μεταξύ τους εκατοντάδες χιλιόμετρα και παραπάνω, συνίσταται η χρήση μόνο του επιστημονικού προγράμματος Bernese καθώς η ακρίβεια των αποτελεσμάτων του `rtk_post` σε αυτές τις βάσεις είναι πολύ χαμηλή.

#### 6.1.2 Δεύτερη φάση Συμπερασμάτων Στατικού Εντοπισμού

Τέλος το μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσίασε η βάση με ενδιάμεσο μήκος το οποίο είναι της τάξης των μερικών δεκάδων χιλιομέτρων για την οποία χρειάστηκε να γίνει εμβάθυνση, καθώς από τα αποτελέσματα της αρχικής της διερεύνησης δε μπορούσε να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα. Ύστερα από την περαιτέρω επεξεργασία συμπεραίνεται ότι, με τη χρησιμοποίηση συγκεκριμένου συνδυασμού παραμέτρων, το `rtk_post` μπορεί να αντικαταστήσει το Bernese υπό προϋποθέσεις, παρατηρώντας κάθε φορά τα αποτελέσματα για την ύπαρξη σφαλμάτων και σύμφωνα με την προσωπική κρίση του εκάστοτε μηχανικού.



## 6.2 Συμπεράσματα Κινηματικού Εντοπισμού

Όσον αφορά τον κινηματικό εντοπισμό τα αποτελέσματά του είναι αρκετά ικανοποιητικά. Πιο αναλυτικά:

1. Για τη μικρή βάση DION G-DYNG ο μέσος όρος της ακρίβειας των αποτελεσμάτων των ημερών που επεξεργάστηκαν είναι 1cm για τα X,Y και 3cm στο υψόμετρο.
2. Για τη μεσαία βάση LAMY-DYNG είναι 5cm και 0.1m αντίστοιχα.

Επομένως και σε αυτή την περίπτωση η κρίση του μηχανικού και οι ανάγκες της δουλείας είναι αυτές που θα αποφασίσουν αν η ακρίβεια του προγράμματος καλύπτει όλες τις προϋποθέσεις.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Eclass.teicrete.gr.Μετρήσεις GPS-Προβλήματα
- Φωτίου, Αριστείδης Ι. και Πικριδάς, Χρήστος Κ.,2012.GPS και ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.Θεσσαλονίκη:Ζήτη
- Ευαγγέλου Ζ., ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΙΚΡΟ-ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΤΟΠΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΤΗΣ ΑΗΚ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2012 - 2016 ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ GNSS.Λεμεσός,Κύπρος:Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου Σχολή Μηχανικής και Τεχνολογίας, 2016
- Μπαούσης Βασίλειος Αλ.,Εφαρμογή των Mobile Agents για την ανάπτυξη Virtual Home Environment και Location Dependent Services.Αθήνα,Ελλάδα:Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Πληροφορικής,2001
- Ebooks.edu.gr.Γραμμική Συσχέτιση
- Eclass.teiri.gr.Στατιστική Επιχειρήσεων Ι,Συσχέτιση και Παλινδρόμηση Εμπειρική Προσέγγιση
- Παπάνα Α., Ανάλυση γραμμικού υποδείγματος Πολυμεταβλητή παλινδρόμηση.Μεταδιδακτορική Έρευνα. [online] Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.Διαθέσιμο στο : <http://users.auth.gr/agpapana>
- Users.auth.gr.Συσχέτιση και Παλινδρόμηση
- Users.auth.gr.Χρονοσειρές
- Math.ntua.gr.Ανάλυση Χρονοσειρών
- Wikipedia.org.Satellite navigation
- Media.public.gr.Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης και Εντοπισμού Θέσης
- Wikipedia.org.Global Positioning System
- Landmark.com.gr.Μέθοδοι Εντοπισμού
- Apsalin.com.Cartesian To Geodetic Convertor