ΚΕΝΤΡΟ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ ΔΙΟΝΥΣΟΥ
ΕΜΠ - ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ
ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

DIONYSOS SATELLITE OBSERVATORY
NTUA - SCHOOL RURAL AND SURVEYING
ENGINEERING

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΔΙΠΛΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ (ΔΔ) ΚΑΙ PRECISE POINT POSITIONING (PPP) ΣΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝGPS

ΘΩΜΑΣ ΜΠΙΡΗΣ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2014

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Κ. Παραδείση για την ανάθεση τις παρούσας διπλωματικής εργασίας καθώς και για την βοήθεια και τις προτάσεις του σε διάφορα τεχνικά θέματα. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κυρίους Β. Γκίκα και Π. Μήλα για την συμμετοχή τους στην τριμελή επιτροπή, την ενασχόλησή τους με την παρούσα τεχνική έκθεση και για την αξιολόγησή τους.

Στην συνέχεια θα ήθελα ευχαριστήσω τους Ξ. Παπανικολάου, Δ. Αναστασίου και Α. Μαρίνου για την πολύτιμη παρέμβασή τους σε τεχνικά θέματα της εργασίας και την βοήθεια τους σε ειδικές γνώσεις του θέματος και της επιστήμης της γεωδαισίας γενικότερα, καθώς και σε θέματα λογισμικού. Η βοήθεια τους κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας ήταν παραπάνω από πολύτιμη

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά και την οικογένεια μου για την στήριξη της προσπάθειας μου όλα αυτά τα χρόνια, αναγνωρίζω τις θυσίες τους, ελπίζοντας αυτές να έγιναν για το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα και τους αφιερώνω την παρούσα μελέτη.

Εισαγωγή
Περίληψη
Abstract
Περιεχόμενα

1. Τεκτονική Δραστηριότητα στην Ελλάδα
   1.1 Γενικά.....σελ.1
   1.2 Σαντορίνη.....σελ.2
2. Δίκτυο Μονίμων Σταθμών GPS
   2.1 GNSS.....σελ.3
   2.2 Γενικά.....σελ.3
   2.3 Παγκόσμια δίκτυα μονίμων σταθμών και υπηρεσίες.....σελ.3
   2.4 Ελληνικά δίκτυα GPS.....σελ.4
3. Συστήματα Αναφοράς
   3.1 Γενικά.....σελ.7
   3.2 ITRF.....σελ.7
   3.3 IGS08.....σελ.8
4. Χρήσιμα Στοιχεία Θεωρίας
   4.1 Γενικά περί γεωδαισίας και GPS.....σελ.11
   4.2 Εκπεμπόμενο σήμα.....σελ.11
   4.3 Πηγές σφαλμάτων στις γεωδαιτικές μετρήσεις.....σελ.11
5. Μέθοδοι Επεξεργασίας GPS δεδομένων
   5.1 Απόλυτος Προσδιορισμός (Μέθοδος PPP).....σελ.13
   5.2 Σχετικός Προσδιορισμός (Μέθοδος Διπλών Διαφορών).....σελ.15
   5.3 Διαφορές Ανάμεσα σε PPP και διπλές Διαφορές.....σελ.16
6. Επίλυση GPS Δεδομένων στην Περιοχής της Σαντορίνης
   6.1 Δίκτυο Σαντορίνης.....σελ.17
   6.2 Χρονική περίοδος μελέτης.....σελ.18
   6.3 Πορεία Εργασιών.....σελ.18
   6.4 Γενικά για το Bernese.....σελ.18
   6.5 Διαδικασία επίλυσης του Bernese για διπλές διαφορές
      6.5.1 Επεξεργασία Δεδομένων.....σελ.19
      6.5.2 Επεξεργασία Κώδικα.....σελ.20
      6.5.3 Επεξεργασία Φάσεων.....σελ.21
      6.5.4 Πρόγραμμα GPSEST.....σελ.21
   6.6 Διαδικασία Επίλυσης με την Μέθοδο PPP
      6.6.1 Προεργασία.....σελ.22
      6.6.2 GPSEST.....σελ.22
   6.7 Προβλήματα που Αντιμετωπίσθηκαν.....σελ.23
7. Αποτελέσματα Επεξεργασίας
   7.1 Αποτελέσματα Διπλών Διαφορών.....σελ.25
   7.2 Απαραίτητες Μετατροπές.....σελ.42
   7.3 Χρονοσειρές Διπλών Διαφορών.....σελ.43
   7.4 Αποτελέσματα PPP.....σελ.70
   7.5 Χρονοσειρές PPP.....σελ.75
8. Συμπεράσματα-Προτάσεις
   8.1 Συμπεράσματα.....σελ.91
   8.2 Προτάσεις.....σελ.92

Εισαγωγή

Σε αυτό το εισαγωγικό κεφάλαιο εξετάζεται συνολικά η παρούσα διπλωματική εργασία, ως προς τον σκοπό της και ως προς την αρχική σκέψη ανάληψής της. Σκοπός της εργασίας είναι να εξετασθεί η Μέθοδος του Απόλυτου Προσδιορισμού PPP, ως βιώσιμη λύση στις σύγχρονες γεωδαιτικές εργασίες. Με άλλα λόγια το βασικό ερώτημα της εργασίας είναι το αν το PPP είναι αρκετά αξιόπιστο έτσι ώστε να πληρεί κάποια στάνταρντς, τα οποία θα επιτρέψουν την χρησιμοποίηση του αντί της κλασσικής μεθόδου των διπλών διαφορών.

Το Εργαστήριο Ανώτερης και Δορυφορικής Γεωδαισίας του Εθνικού Μετσοβείου Πολυτεχνείου έχει διαθέσιμες επιλύσεις για το δίκτυο της Σαντορίνης, αφού το τελευταίο είναι αντικείμενο μελετών εδώ και αρκετά χρόνια λόγω των γεωλογικών ιδιομορφιών που παρουσιάζει. Η περίοδος μελέτης είναι και αυτή αρκετών ετών και η μέθοδος είναι αυτή των διπλών διαφορών. Επομένως κρίθηκε κατάλληλο να επιλυθεί το δίκτυο και με τις δυο μεθόδους για μια προκαθορισμένη περίοδο που αναφέρεται παρακάτω στο κυρίως κείμενο, με σκοπό να μελετηθεί εν μέρει η σταθερότητα των λύσεων με διπλές διαφορές αλλά κυρίως για να μελετηθεί και η μέθοδος PPP, και το πόσο παρόμοια αποτελέσματα προκύπτουν από αυτήν σε σχέση με τις διπλές διαφορές. Δηλαδή κρίνεται μια καινούρια μέθοδος σε σχέση με μια παραδοσιακή, γνωστής ποιότητας.

Ωστόσο αξίζει να σημειωθεί ότι εγείρονται ερωτήματα από αυτό το εγχείρημα. Εφόσον έχουμε μια μέθοδο που ήδη λειτουργεί καλά και εξυπηρετεί με πολύ καλή ακρίβεια τους γεωδαιτικούς σκοπούς μας, κάποιος θα αναρωτηθεί γιατί αναζητείται μια καινούρια λύση, αλλά και γιατί αυτή η πιθανή εναλλακτική εξετάζεται τώρα και όχι σε κάποια άλλη περίοδο στο παρελθόν. Απαντήσεις σε αυτά τα ερωτήματα δίνονται στο κυρίως κείμενο αλλά θα μπορούσαμε περιληπτικά να πούμε ότι η μέθοδος PPP, παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα σε τομείς όπως τις απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ, τις απαιτήσεις σε αποθηκευτικό χώρο και χρόνο, και κυρίως τις απαιτήσεις σε υποδομή, εννοώντας το γεωδαιτικό υπόβαθρο μιας περιοχής. Επίσης σχετικά με το δεύτερο ερώτημα, με λίγα λόγια, η τεχνολογία σήμερα μας δίνει πρόσβαση σε δεδομένα που παλιά δεν είχαμε, δεδομένα που καθιστούν το PPP θεωρητικά μιλώντας βιώσιμη λύση.

Επομένως έγινε η ανάληψη της διπλωματικής εργασίας για προκαθορισμένο χώρο και χρόνο που αποφασίστηκε έπειτα συνεννόησης με σκοπό την απάντηση στα παραπάνω ερωτήματα. Η διπλωματική εργασία είχε τρία σκέλη. Το ένα αφορούσε την συλλογή δεδομένων και επίλυσης τους. Σε αυτό το κομμάτι επιστρατεύτηκαν διάφορες διεθνείς υπηρεσίες αλλά και το λογισμικό Bernese V5.0, ένα επιστημονικό λογισμικό επίλυσης δορυφορικών δεδομένων με πολύ περισσότερη παραμετροποίηση από τα λογισμικά του εμπορίου και με δυνατότητα εξαγωγής αποτελεσμάτων με καλύτερη ακρίβεια από τα τελευταία. Στο δεύτερο σκέλος έγινε η ανάλυση των αποτελεσμάτων και η σύγκρισή τους, κυρίως με χρονοσειρές που παράχθηκαν με το λογισμικό matlab. Το τελευταίο σκέλος αφορά την εξαγωγή συμπερασμάτων και γενικών παρατηρήσεων μετά το πέρας της εργασίας καθώς και προτάσεων για μελλοντικές εργασίες.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία διαπραγματεύεται την σύγκριση δυο μεθόδων επίλυσης δεδομένων GPS. Η πρώτη μέθοδος είναι η κλασική μέθοδος των διπλών διαφορών και δε δεύτερη είναι η μέθοδος PPP. Η μέθοδος διπλών διαφορών είναι διαδεδομένη και αξιόπιστη αλλά παρουσιάζει αδυναμίες, σε απαιτήσεις και υποδομές. Η μέθοδος του PPP είναι μια μέθοδος που πετυχαίνει απόλυτο εντοπισμό και έχει προτερήματα που αφορούν την ευκολία ενός έργου σε χρόνο και σε οικονομικές απαιτήσεις. Στην εργασία εξετάζεται το κατά πόσο η μέθοδος PPP είναι το ίδιο ακριβής και αξιόπιστη σε σχέση με την μέθοδο των διπλών διαφορών.

Η περιοχή μελέτης είναι η Σαντορίνη. Η περιοχή αυτή επιλέχθηκε λόγω της πληθώρας διαθέσιμων μετρήσεων και επειδή παρουσιάζει μεγάλο γεωλογικό ενδιαφέρον λόγω του ενεργού ηφαιστείου. Η περίοδος μελέτης αφορά 22 μήνες από τον Ιούνιο του 2011 μέχρι τον Μάρτιο του 2013 και η συχνότητα των επιλύσεων είναι μια φορά τον μήνα, στα μέσα του εκάστοτε μηνός.

Το δίκτυο που χρησιμοποιήθηκε είναι το δίκτυο της Σαντορίνης, που αποτελείται από εννέα μόνιμους σταθμούς, όπως περιγράφονται στο κυρίως κείμενο. Τα δεδομένα αντλήθηκαν είτε από πληθώρα ιστοτόπων όπου είναι ελεύθερα αναρτημένα για την επιστημονική κοινότητα ή από το Εργαστήριο Ανώτερης και Δορυφορικής Γεωδαισίας του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου. Να σημειωθεί ότι για τις επιλύσεις του PPP χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα ακριβείας από την IGS. Τέλος για τις διπλές διαφορές χρησιμοποιήθηκαν και σταθμοί εκτός του δικτύου της Σαντορίνης, επτά στο σύνολο τους σε τοποθεσίες στην Ελλάδα και σε τοποθεσίες όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφα κατανεμημένες γύρω από την περιοχή της Σαντορίνης.

Οι επιλύσεις πραγματοποιήθηκαν με το λογισμικό Bernese v5.0 του Πανεπιστημίου της Βέρνης. Τα συστήματα αναφοράς είναι για την μέθοδο των διπλών διαφορών το ITRF2008 ενώ για τη μέθοδο PPP το IGS08 που μετέπειτα μετατράπηκε στο IGB08. Επίσης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Matlab, για τις διάφορες μαθηματικές μετατροπές αλλά και για την εξαγωγή χρονοσειρών μικρομετακινήσεων.

Στην εργασία αναλύονται τα δίκτυα, είτε αυτό είναι το εσωτερικό της Σαντορίνης, είτε το εξωτερικό στον ευρύτερο ελλαδικό χώρο, οι μεθοδολογίες που ακολουθήθηκαν για την επίλυση των δορυφορικών δεδομένων, ενώ περιγράφονται και τα δεδομένα που ήταν αναγκαία για την επίλυση και σύγκριση των δύο μεθόδων. Επίσης περιγράφονται οι διαφορές και τα προτερήματα αλλά και μειονεκτήματα κάθε μεθόδου. Αναφέρονται τα στάδια επίλυσης με το λογισμικό Bernese, και σημειώνονται τα προβλήματα που αντιμετωπίσθηκαν και τέλος παρατίθενται τα αποτελέσματα και οι χρονοσειρές της εργασίας. Στο τέλος του κειμένου, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από την σύγκριση, κάποιες παρατηρήσεις και κάποιες προτάσεις για μελλοντικές εργασίες.

Abstract

The current thesis regards the comparison between two methods of GPS data analysis. The first one is the traditional double difference method and the second one is the precise point positioning (PPP). The PPP method entails advantages, such as being less time consuming and less infrastructure demanding compared to the double difference method, but its accuracy and reliability has yet to be proven.

The place of study is Santorini. Santorini was chosen due to the plethora of available data and because of its great geological interest. The time of study is 22 months, starting from June 2011 and ending in March 2013. The frequency of data resolution is one day per month, usually in the middle of the month.

The network is the permanent GPS network of Santorini, consisted of 9 stations. Data was extracted from either public websites, where it is available for the science community, or from the NTUA Laboratory of Higher and Satellite Geodesy. Also worth noting, is that high accuracy data from IGS was also used for the PPP method. Finally several stations outside of Santorini were used, seven in number, and as equally spread as possible around Santorini.

The software used for the analysis is Bernese v5.0. The reference frame is ITRF2008 for the double difference method and IGS08 for the PPP method, later named IGB08. The Matlab software was also used for mathematical transformations and time-lines creation.

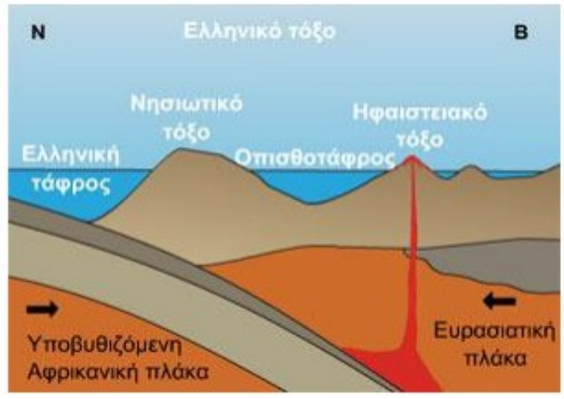
The main text involves further analysis of the used networks and data, and the the methodologies that the GPS data resolutions were based on. Also differences between the two methods and their advantages and drawbacks are mentioned. The stages of resolution on the Bernese software are investigated, along with the problems that were encountered, and the results and time-lines are listed. At the end of the thesis, several conclusions concerning the analysis, as well as suggestion for future work on this subject are seen.

1. Τεκτονική Δραστηριότητα στην Ελλάδα

1.1 Γενικά

Η Ελλάδα βρίσκεται στα όρια σύγκλισης δυο μεγάλων λιθοσφαιρικών πλακών, της Ευρασιατικής και της Αφρικανικής. Αποτελεί την πιο δραστήρια, σε τεκτονική δραστηριότητα, περιοχή της Ευρώπης. Επίσης λόγο τοποθεσίας παρουσιάζει έντονη σεισμική και ηφαιστειακή δραστηριότητα ενώ έχουν παρατηρηθεί και μελετηθεί πολλά τεκτονικά φαινόμενα.

Συγκεκριμένα η περιοχής της Σαντορίνης την οποία μελετάμε, αλλά και οι Κυκλάδες γενικότερα, βρίσκονται στο ηφαιστειακό τόξο της Ελλάδας, το οποίο αποτελείται από διάφορα ενεργά και μη ενεργά ηφαίστεια (Νίσυρος, Μήλος κοκ). Το ηφαιστειακό τόξο της Ελλάδας έχει δημιουργηθεί από την καταβύθιση της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική, που έχει αποτελέσματα την ρευστοποίηση υλικού της Αφρικανικής πλάκας όταν αυτή φτάσει σε μεγάλο βάθος. (Hollenstein, 2007)



Εικόνα 1.1: Το σχήμα του Ελληνικού τόξου
The Hellenic Arc

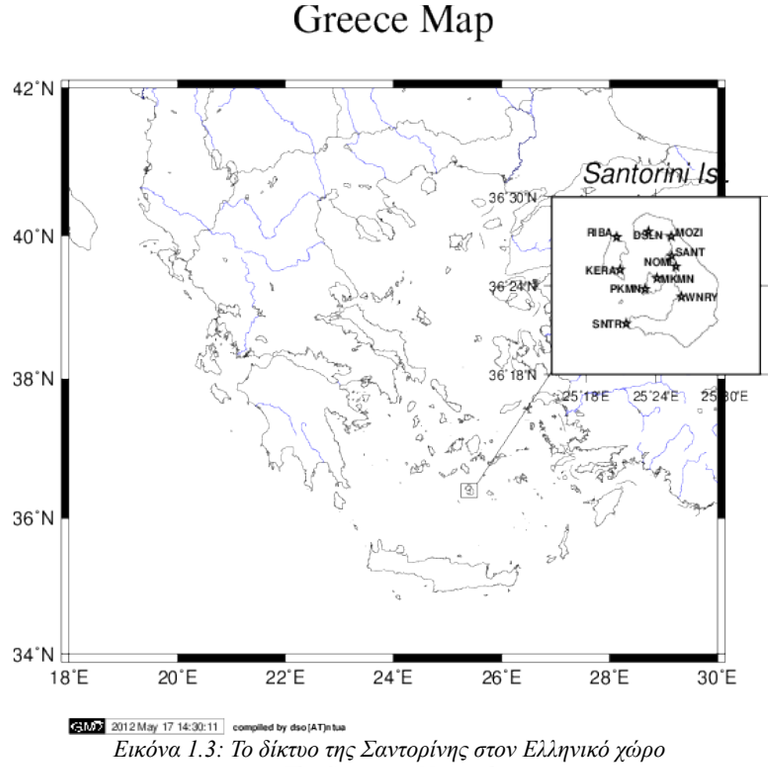
Εικόνα 1.2: Το Ελληνικό τόξο στον χώρο
The Hellenic Arc in the Area

Τις τελευταίες δυο δεκαετίες η διαστημική τεχνολογία και η δορυφορική γεωδαισία έχουν γνωρίσει μεγάλη άνθηση. Έτσι σήμερα υπάρχουν πολλές δυνατότητες παρακολούθησης και μελέτης των μετακινήσεων του φλοιού της Γης, και σε συνδυασμό με γεωλογικά δεδομένα μπορούν να εξαχθούν πολλές πληροφορίες για τα φυσικά φαινόμενα που λαμβάνουν η έχουν λάβει χώρα.

1.2 Σαντορίνη

Το ηφαιστειακό συγκρότημα της Σαντορίνης αποτελείται από τέσσερις νήσους: την Θήρα, τη Νέα Καμμένη, την Παλαιά Καμμένη και την Θηρασιά. Η Καλντέρα, όπως είναι γνωστή, της Σαντορίνης έχει πλούσια γεωλογική ιστορία και είχε πολύ ενεργή ηφαιστειακή δραστηριότητα μέχρι το 1950, όπου σημειώθηκε η τελευταία έκρηξη. Από τότε η τεκτονική δραστηριότητα της Καλντέρας έχει μπει σε μια λιγότερη ενεργή φάση, και με τη κύρια σεισμική δραστηριότητα να βρίσκεται μακριά από αυτή. Αυτή η περίοδος έληξε περί τα μέσα του 2011, όπου από τοπικά τοπογραφικά δίκτυα παρακολούθησης, καθώς και δορυφορικές παρατηρήσεις, παρατηρήθηκε έντονη τεκτονική κινητικότητα, και συγκεκριμένα με ενδείξεις διαπλάτυνσης της Καλντέρας. Η περίοδος αυτή έληξε τον Φεβρουάριο του 2012. Λόγω αυτής της πρόσφατης ενεργοποίησης του ηφαιστείου της Σαντορίνης, μελετάται τον τελευταίο καιρό η τεκτονική συμπεριφορά της Καλντέρας μέσω πυκνού δικτύου σταθμών GPS στο συγκρότημα (Papoutsis el al. 2012).

Στην Σαντορίνη έχει εγκατασταθεί δίκτυο μόνιμων σταθμών GPS από διάφορα ινστιτούτα. Αυτό το δίκτυο εγκαταστάθηκε κυρίως μετά τα μέσα του 2011 όπου και παρατηρήθηκε το φαινόμενο για το οποίο γίνεται λόγος. Σήμερα οι σταθμοί GPS είναι στον αριθμό δέκα. Στην παρούσα εργασία μελετώνται και επεξεργάζονται τα δεδομένα εννέα σταθμών, δηλαδή όλων με εξαίρεση τον σταθμού SANT για τον οποίο δεν υπήρχαν δεδομένα.



Εικόνα 1.3: Το δίκτυο της Σαντορίνης στον Ελληνικό χώρο
The Santorini Network

2. Δίκτυα μονίμων σταθμών GPS και υπηρεσίες

2.1 GNSS

Ένα σύστημα δορυφορικής πλοήγησης είναι ένα σύστημα που διαθέτει στον χρήστη προσδιορισμό θέσης σε παγκόσμιο επίπεδο. Επιτρέπει σε μικρούς δέκτες να προσδιορίσουν την θέση τους με αρκετά μεγάλη ακρίβεια, χρησιμοποιώντας σήματα που μεταφέρονται από ραδιοπομπούς σε δορυφόρους που έχουν οπτική επαφή με τον δέκτη. Το σήμα επίσης δίνει στους δέκτες την δυνατότητα υπολογισμού του χρόνου με μεγάλη ακρίβεια πετυχαίνοντας έτσι συγχρονισμό. Ένα τέτοιο σύστημα καλείται GNSS (Global Navigation Satellite System).

Τα μόνα παγκόσμια συστήματα δορυφορικής πλοήγησης εν ενεργεία σε παγκόσμιο επίπεδο είναι το Αμερικάνικο GPS και το Ρώσικο GLONASS. Η Κίνα είναι στην διαδικασία επέκτασης του τοπικού της συστήματος (Beidou) σε παγκόσμιο επίπεδο μέχρι το 2020. Το Ευρωπαϊκό Galileo είναι ακόμα στα αρχικά του στάδια και θα τεθεί σε λειτουργία μέχρι το 2020. Αντίστοιχα η Γαλλίας, η Ινδία και η Ιαπωνία αναπτύσσουν δικά τους τοπικά δορυφορικά συστήματα πλοήγησης.

Η παγκόσμια κάλυψη για κάθε σύστημα πετυχαίνεται με ένα σχηματισμό δορυφόρων 20 ως 30 στον αριθμό τους σε διάφορα τροχιακά επίπεδα. Το κάθε σύστημα έχει τους δικούς του κανόνες όμως γενικά χρησιμοποιούνται τροχιακές κλίσεις μεγαλύτερες των 50 μοιρών και τροχιακές περίοδοι περίπου 12 ωρών (σε ένα ύψος περίπου 20.000 χιλιομέτρων)

2.2 Γενικά

Με τη πρόοδο της τεχνολογίας, είναι πλέον δυνατή η ίδρυση και παρακολούθηση μόνιμων γεωδαιτικών δικτύων GPS. Τα δίκτυα αυτά χρησιμοποιούνται από διάφορες υπηρεσίες για την παραγωγή διαφορετικών αποτελεσμάτων (πχ συντεταγμένες σταθμών, τροχιακά στοιχεία δορυφόρων κλπ) και έχουν βοηθήσει σημαντικά στην βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων και των αποτελεσμάτων επεξεργασίας.

2.3 Παγκόσμια δίκτυα μόνιμων σταθμών και υπηρεσίες

IGS

Η διεθνής υπηρεσία GNSS (IGS) είναι μια εθελοντική ομοσπονδία που αποτελείται από περισσότερες από 200 υπηρεσίας ανά τον κόσμο, που συγκεντρώνει δεδομένα για σταθμούς GPS και GLONASS με σκοπό την παροχή προϊόντων ακριβείας για GPS και GLONASS αντίστοιχα. Η IGS προσφέρει τα καλύτερης ποιότητας δεδομένα και προϊόντα για τα GNSS, σε υποστήριξη των γεωεπιστημών και των διαφόρων διεπιστημονικών εφαρμογών και εκπαίδευσης. Μέχρι στιγμής η IGS υποστηρίζει το GPS και το GLONASS ενώ είναι έτοιμη να δεχθεί και μελλοντικά συστήματα GNSS. Η υπηρεσία IGS θεωρείται η πιο αξιόπιστη και ακριβής υπηρεσία για δορυφορικά δεδομένα. Η υπηρεσία παρέχει δεδομένα:

- ➔ Final -> Παρέχονται με 2 βδομάδες καθυστέρηση από την ημέρα μέτρησης και αφορούν 240 σταθμούς
- ➔ Rapid -> Παρέχονται μετά από 18 ώρες και αφορούν 130 σταθμούς
- ➔ Ultra Rapid -> Παρέχονται ανά 3 ώρες 4 φορές την ημέρα και αφορούν 85 σταθμούς

Τα προϊόντα της IGS είναι τα εξής:

- Τροχιές ακριβείας
- Παράμετροι περιστροφής Γης
- Παράμετροι τροπόσφαιρας
- Χαρτογράφηση ιονόσφαιρας (για final και rapid)
- Διορθώσεις ρολογιών στους δορυφόρους και τους σταθμούς (για final και rapid)
- Εβδομαδιαίες συντεταγμένες για τους σταθμούς (final)

Επίσης η IGS υλοποιεί το δικό της Σύστημα Αναφοράς, βασιζόμενο κάθε φορά στο τρέχον ITRF

EUREF

Το δίκτυο EPN (Euref Permanent Network) της EUREF (European Reference Frame) είναι ένα πυκνωμένο Ευρωπαϊκό δίκτυο σταθμών GNSS, που αποτελείται περίπου από 160 σταθμούς, συμπεριλαμβανομένων των Ευρωπαϊκών σταθμών της IGS. Τα δεδομένα τους είναι ανοιχτά στο ευρύ κοινό μέσω των server των υπηρεσιών. Στην Ελλάδα οι μόνιμοι σταθμοί της EUREF είναι οι εξής: AUT1 στην Θεσσαλονίκη, NOA1 στην Πεντέλη Αττικής και TUC2 στα Χανιά Κρήτης. Επίσης περιλαμβάνει τους σταθμούς LARM, DUTH, DYNG και PAT0 που δεν περιλαμβάνονται στην εργασίας μας.

Εικόνα 2.1: Οι σταθμοί της EUREF στον ελλαδικό χώρο
EUREF Stations in Greece

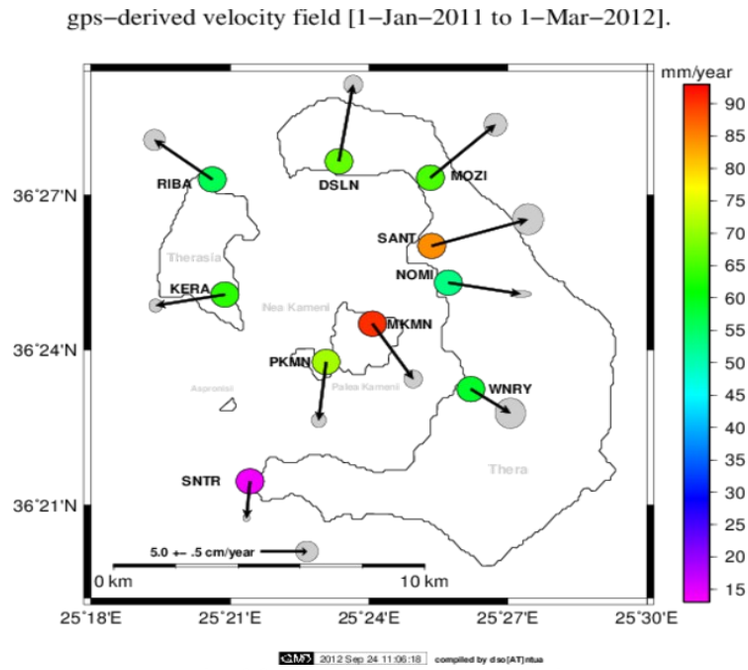
2.4 Ελληνικά δίκτυα GPS

Δίκτυο Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών

Το δίκτυο GPS μόνιμων σταθμών του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών δημιουργήθηκε στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος PREVIEW, με σκοπό τη διερεύνηση των μετακινήσεων της δυτικής Ελλάδας για διάστημα 5 χρόνων, από το 2006 έως το 2010. Η εγκατάσταση σταθμών άρχισε το 2006 και συμπεριλαμβάνει και τον σταθμό της EUREF στην Αθήνα τον NOA1. Το δίκτυο αποτελείται από 9 σταθμούς: VLSM (Βαλσαμάτα, Κεφαλλονιά), NOA1 (Πεντέλη, Αθήνα), RLS_ (Ριόλος, Αχαΐα), PONT (Πόντι, Λευκάδα), KASI (Κασσιόπη, Κέρκυρα), SPAN (Σπανοχώρι, Λευκάδα), LEMN (Λήμνος), PRKV (Αγία Παρασκευή, Λέσβος), NVRK (Νευροκόπι, Δράμα)

Περιγραφή δικτύου εργασίας

Το δίκτυο στο εσωτερικό της Σαντορίνης αποτελείται από 9 σταθμούς που καλύπτουν το σύνολο της Καλντέρας. Τα σημεία αυτά είναι τα εξής: MOZI (mouzaki bay), MKMN (Nea Kameni), PKMN (Palea Kameni), RIBA (Porta Riba), KERA (Therasia), DSLN, WNRY (Winery), NOMI (Nomikos), SNTR (South West Santorini). Στον παρακάτω χάρτη φαίνονται οι θέσεις αυτών των σημείων στην Σαντορίνη.



Εικόνα 2.2: Το μόνιμο δίκτυο της Σαντορίνης
Santorini Permanent Network

Το δίκτυο της Σαντορίνης έχει εγκατασταθεί από διάφορους συνεργαζόμενους οργανισμούς με σκοπό την επίβλεψη της τεκτονικής δραστηριότητας της Καλντέρας. Από τον Φεβρουάριο του 2013 ο αριθμός των σταθμών ανέρχεται στους 11 καθιστώντας το δίκτυο σχετικά πυκνό. Οι σταθμοί κατά κύριο λόγο έχουν εγκατασταθεί από το 2011 και μετά. Οι οργανισμοί που μετέχουν στην εν λόγω δραστηριότητα είναι το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, το Πανεπιστήμιο Πατρών, η UNAVCO, το τμήμα γεωεπιστημών του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης, και το Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Georgia, USA. Παρακάτω φαίνονται οι σταθμοί και συντεταγμένες τους όπως έχουν υπολογιστεί από Εργαστήριο Ανώτερης και Δορυφορικής Γεωδαισίας για την εποχή 2012.0:

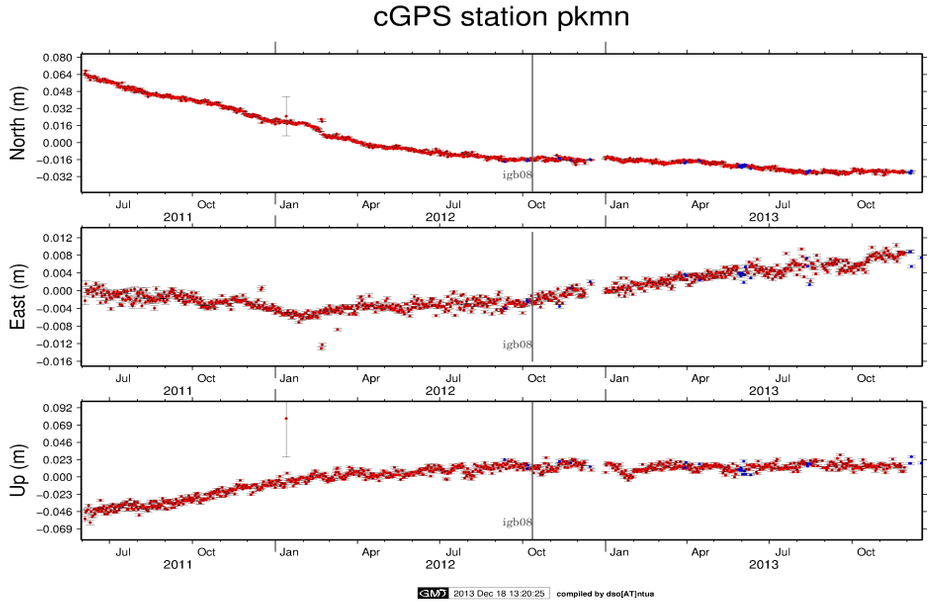
Station	X	Y	Z	Epoch
RIBA	4641874,606	2198523,547	3768942,496	2012.0
KERA	4644059,344	2200009,756	3765747,457	2012.0
DSLN	4639882,115	2202109,185	3769559,671	2012.0
MOZI	4639049,255	2204980,257	3769175,826	2012.0
NOMI	4640783,422	2206447,651	3766127,180	2012.0
MKMN	4642463,023	2204528,618	3764821,764	2012.0
PKMN	4643869,101	2203539,583	3763744,207	2012.0
WNRY	4642530,773	2208076,533	3763087,006	2012.0
SNTR	4647218,345	2202396,688	3760306,841	2012.0

Πίνακας 2.1: Οι συντεταγμένες των μονίμων σταθμών της Σαντορίνης
Santorini's Stations coordinates

Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου του ΕΜΠ

Τα τελευταία χρόνια, το Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου και το Εργαστήριο Ανώτερης και Δορυφορικής Γεωδαισίας, επεξεργάζεται σε σταθερή ημερήσια βάση, δεδομένα από τα μόνιμα δίκτυα GPS που βρίσκονται στον Ελλαδικό χώρο. Η μέθοδος επεξεργασίας είναι αυτή του σχετικού προσδιορισμού (διπλές διαφορές), ενώ παράγονται δυο διαφορετικές επιλύσεις, ανάλογα με την ποιότητα (καθυστέρηση) των χρησιμοποιούμενων προϊόντων. Έτσι παράγεται μια γρήγορη λύση, που βασίζεται σε ultra rapid δεδομένα με καθυστέρηση 1 ημέρας και μια τελική λύση που βασίζεται σε final δεδομένα με καθυστέρηση 20 ημέρων περίπου. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης περιλαμβάνουν συντεταγμένες των σταθμών, χάρτες ιονόσφαιρας, αρχεία SINEX καθώς και τροποσφαιρικές διορθώσεις. Οι εκτιμήσεις των συντεταγμένων, χρησιμοποιούνται για την παραγωγή χρονοσειρών θέσης.

Για καλύτερη ποιότητα επεξεργασίας, το ΚΔΔ διαχωρίζει τα προς επίλυση δεδομένα σε διαφορετικά δίκτυα, ανάλογα με την γεωγραφική τους θέση, πυκνότητα και ποιότητα. Έτσι, το δίκτυο μονίμων σταθμών της Σαντορίνης, επιλύεται ξεχωριστά από αυτό της κυρίως Ελλάδας, υπάρχουν όμως κοινοί σταθμοί ώστε να γίνει η υλοποίηση του συστήματος αναφοράς. Το τρέχον σύστημα που χρησιμοποιείται είναι το IGB08. Παρακάτω δίνεται ένα παράδειγμα σχετικά με τα παράγωγα του εργαστηρίου και αφορά τον σταθμό της Παλαιάς Καμμένης:



Διάγραμμα 2.1: Μικρομετακινήσεις του σταθμού PKMN
PKMN station deformantions

3. Συστήματα αναφοράς

3.1 Γενικά

Τα τελευταία χρόνια λόγω της ανάπτυξης της διαστημικής τεχνολογίας και της βελτίωσης των τεχνικών επίλυσης δορυφορικών δεδομένων, έχει παρατηρηθεί αύξηση της ακρίβειας προσδιορισμού. Επίσης έχουν αναπτυχθεί μόνιμα δίκτυα σταθμών GPS που καταγράφουν σε μόνιμη βάση και επιτρέπουν την μελέτη μακροχρόνιων φαινομένων (πχ. τεκτονικών μετακινήσεων).

Η Διεθνής Υπηρεσίας Περιστροφής της Γης, γνωστή ως IERS, έχει συμβάλλει τα μέγιστα στον σκοπό αυτό. Έχει ιδρύσει σύστημα αναφοράς το οποίο είναι ορισμένο και ανανεώνεται συνεχώς, το οποίο καλείται Διεθνές Γήινο Σύστημα αναφοράς που είναι γνωστό ως ITRS, η υλοποίηση του οποίου είναι το ITRF. Η υλοποίηση του γίνεται με χρήση διάφορων δορυφορικών τεχνικών, με τις συντεταγμένες και ταχύτητες επιλεγμένων σταθμών αναφοράς

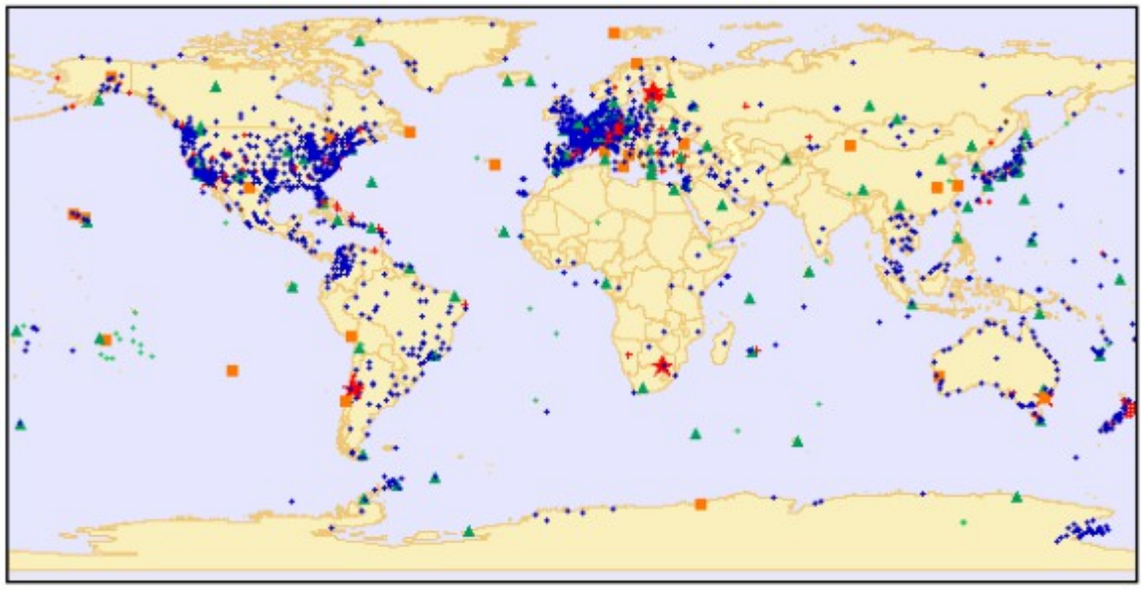
3.2 ITRF

Το 1988, με πρωτοβουλία της Διεθνούς Αστρονομικής Ένωσης και της Διεθνούς Ένωσης Γεωδαισίας και Γεωφυσικής, ιδρύθηκε η Διεθνής Υπηρεσία Περιστροφής της Γης (IERS). Στόχος της, είναι η διαρκής βελτίωση των συμβατικών πλαισίων αναφοράς, ουράνιου και γήινου, μέσω της συλλογής, ανάλυσης, προτυποποίησης παρατηρήσεων από ένα παγκόσμιο δίκτυο αστρονομικών και μόνιμων γεωδαιτικών σταθμών λειτουργίας.

Το ITRS (International Terrestial Reference System), αποτελεί το παγκόσμιο σύστημα αναφοράς. Υλοποιείται μέσω του ITRF, που είναι το Διεθνές Γήινο Πλαίσιο Αναφοράς και αυτό με τη σειρά του με ένα δίκτυο μόνιμων γεωδαιτικών σταθμών. Το σύστημα ITRS είναι γεωκεντρικό, με αρχή του συστήματος το κέντρο μάζας της Γης (συμπεριλαμβανομένων και των ωκεανών και της ατμόσφαιρας). Οι άξονες του, προσδιορίζονται με όμοιο τρόπο με ένα γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς και ταυτίζονται με αυτούς του ITRF. Γενικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι το σύστημα ITRS είναι ένα σύνολο παραδοχών μεθόδων και διαδικασιών το οποίο το οποίο μας βοηθά να φτιάξουμε συστήματα αναφοράς για μετρήσεις στην γήινη επιφάνεια και πάνω από αυτή

Το ITRF (International Terrestial Reference Frame) περιλαμβάνει έναν μεγάλο αριθμό καρτεσιανών συντεταγμένων και γραμμικών ταχυτήτων ανά το κόσμο. Οι καρτεσιανές συντεταγμένες και οι ταχύτητες, έχουν προσδιοριστεί με διαφορετικά διαστημικά γεωδαιτικά συστήματα. Για τον ταυτόχρονο προσδιορισμό των γεωδαιτικών συντεταγμένων, απαιτείται η χρήση του ελλειψοειδούς αναφοράς GRS’80 με κατάλληλη τοποθέτηση και προσανατολισμό. Το ITRF υφίσταται διαρκή αναθεώρηση, που εξαρτάται από τις νέες παρατηρήσεις που προστίθενται σε αυτό. Η πιο πρόσφατη είναι το ITRF2008 που χρησιμοποιείται σήμερα.

Τέλος να αναφερθεί ότι η πλειονότητα των σταθμών βρίσκονται στην Κεντρική Ευρώπη και στην Βόρεια Αμερική ενώ πολλοί σταθμοί υπάρχουν και στην Νότια Αμερική, Αυστραλία και Ανατολική Ασία.



Εικόνα 3.1: Το παγκόσμιο σύστημα ITRF2008
The ITRF2008

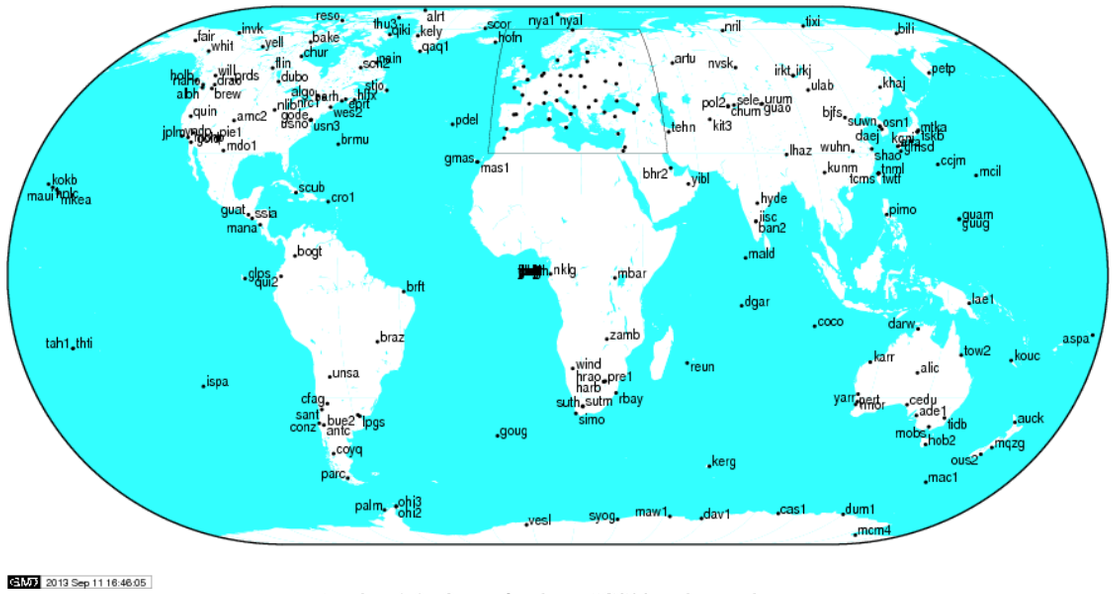
3.3 IGS08

Το 2008 η διεθνής υπηρεσία IGS άρχισε να επεξεργάζεται και να αναλύει από την αρχή όλα τα δορυφορικά δεδομένα που είχε συλλέξει από το 1994 χρησιμοποιώντας τα τότε πιο σύγχρονα μοντέλα και μεθοδολογίες. Σκοπός αυτής της πράξης ήταν να δημιουργηθεί ένα ενιαίο σύστημα αναφοράς του IGS έτσι ώστε να παρέχονται προϊόντα υψηλής ποιότητας στο κοινό. Λόγω πολλών και συνεχών αλλαγών σε συστήματα αναφορά και μεθόδων τα προϊόντα της IGS γίνονταν όλο και λιγότερο αξιόπιστα με την πάροδο του χρόνου.

Από το 2000 και μετά η IGS είχε χρησιμοποιήσει διάφορες δικές της υλοποιήσεις των εκάστοτε συστημάτων ITRF. Το 2006 η IGS είχε χρησιμοποιήσει το ITRF2005 για να σχηματίσει το δικό της IGS05. Όμως οι συνεχείς εξελίξεις στις μεθόδους είχαν αντίκτυπου στις θέσεις πολλών σταθμών GPS του ITRF, με αποτέλεσμα το IGS05 λίγους μήνες μετα την κυκλοφορία του να έχει ήδη αισθητά μειωμένες ακρίβειες.

Έτσι η ανάγκη του IGS08 που είναι η υλοποίηση του ITRF2008 από την υπηρεσία IGS έγινε υπαρκτή και τέθηκε σε εφαρμογή από την 17η Απριλίου του 2011, δηλαδη την εβδομάδα GPS (GPS Week) υπ' αριθμόν 1632. Λόγω της σημαντικής προσφοράς της IGS, και για να αποφευχθούν προβλήματα όπως αυτά του IGS05, που αφορούν την μείωση της ακρίβειας με την πάροδο του χρόνου, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι υπάρχει πια ανάγκη της αναβάθμισης του συστήματος της IGS πριν την επερχόμενη αναβάθμιση του ITRF.

Το σύστημα IGS08 είναι πρακτικά ένα υποσύνολο από 232 σταθμούς που προήλθαν από τα αποτελέσματα του ITRF2008. Ωστόσο σε 65 από αυτούς σταθμούς εφαρμόστηκαν αλλαγές ενώ οι υπόλοιποι 167 είναι ακριβώς ίδιοι με του ITRF2008. Τελικά το IGS αποτελείται από 91 βασικούς σταθμούς (core stations) και για κάθε έναν από αυτούς έχουν οριστεί τέσσερις σταθμοί αντικατάστασης σε περίπτωση μη διαθεσιμότητας. Βέβαια υπάρχουν κάποιοι σταθμοί που πλέον δεν χρησιμοποιούνται ως σημεία αναφοράς λόγω κατάργησής τους.



Εικόνα 3.2: Οι σταθμού του IGS08 ανά τον κόσμο
IGS08 worldwide stations

Μετά την κατάργηση αρκετών σταθμών του αρχικού IGS08 την εποχή 2009.5, στην πράξη έμειναν μόνο 50 από τους 91 ικανοί για χρησιμοποίηση. Αυτό οδήγησε σε μεγάλα κενά κυρίως στις περιοχές της Νότιας Αμερικής, της Αφρικής και της Ανατολικής Ασίας. Έτσι προέκυψε η ανάγκη αναβάθμισης τους IGS08 με το IGB08 να παίρνει την θέση του. Το IGB08 περιέχει αναβαθμισμένες συντεταγμένες για 36 προηγουμένως καταργηθέντα σημεία του IGS08. Από αυτά τα 15 είναι βασικοί σταθμοί (core stations). Το σύστημα IGB08 αντικατέστησε το IGS08 την εβδομάδα GPS 1709, στις 7 Οκτωβρίου 2012.

4. Χρήσιμα στοιχεία Θεωρίας

4.1 Γενικά περί Γεωδαισίας και GPS

Σκοπός της γεωδαισίας είναι ο προσδιορισμός του σχήματος και του μεγέθους της Γης, καθώς και προσδιορισμός θέσεων στην φυσική γήινη επιφάνεια και η ένταξη αυτών σε ένα κατάλληλο σύστημα αναφοράς. Οι συνήθεις γεωδαιτικές μέθοδοι είναι ο τριγωνισμός και η υψομετρία, διαδικασίες από τις οποίες παράγονται συντεταγμένες και υψόμετρα.

Πέρα από τις κλασικές επίγειες μεθόδους έχουν αναπτυχθεί και δορυφορικές μέθοδοι που άνθισαν με την ίδρυση του συστήματος GPS από τις ΗΠΑ και την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Σήμερα υπάρχει η δυνατότητα με σύντομες εργασίες υπαίθρου να έχουμε τρισδιάστατο εντοπισμό μεγάλης ακριβείας.

Το σύστημα GPS παρέχει παγκόσμια κάλυψη σε απεριόριστο αριθμό χρηστών με τυπική ακρίβεια πλοήγησης καλύτερη των 10 μέτρων, ενώ με ταυτόχρονες μετρήσεις φάσης του φέροντος κύματος η ακρίβεια βελτιώνεται για να εξυπηρετήσει τις γεωδαιτικές απαιτήσεις και γίνεται τέτοια ώστε να ανταγωνίζεται τις επίγειες μεθόδους.

Το σύστημα GPS αποτελείται από το τμήμα του διαστήματος που αποτελείται από δορυφόρους που εκπέμπουν σήμα με κωδικοποιημένες πληροφορίες, το επίγειο τμήμα ελέγχου που παρακολουθεί και κατευθύνει την λειτουργία των δορυφόρων, και το τμήμα χρηστών που χρησιμοποιεί το σύστημα για πλοήγηση, γεωδαιτικές εφαρμογές και άλλες χρήσεις. (Παραδείσης Δ., 2000)

4.2 Εκπεμπόμενο σήμα

Οι πληροφορίες, μετρητικές ή ποιοτικές, λαμβάνονται από το σήμα των δορυφόρων. Το σήμα εκπέμπεται σε δυο συχνότητες την L1 και την L2 με μεγέθη 1575.42Mhz (λ=19.05cm) και 1227.60Mhz (λ=24.45cm) αντίστοιχα. Οι συχνότητες αυτές προκύπτουν από την βασική συχνότητα 10.23Mhz.

Οι φέρουσες συχνότητες διαμορφώνονται από τον κώδικα P (Precise - ακριβής) και το κώδικα C/A (coarse acquisition - χονδροειδούς ανάκτησης) με μήκη κύματος 30 και 300m αντίστοιχα. Οι κώδικες χρησιμοποιούνται για να υπολογιστούν οι ψευδοαποστάσεις ανάμεσα στους δέκτες και τους δορυφόρους. Οι παρατηρήσεις του κώδικα δίνουν μια χονδρική ακρίβεια ικανή για πλοήγηση αλλά όχι για γεωδαιτικές μετρήσεις. Ωστόσο χρησιμεύουν για τις διορθώσεις χρονομέτρων και την επίλυση ασαφειών.

Στην συχνότητα L1 εκπέμπονται οι κώδικες P και C/A και στην συχνότητα L2 μόνο ο C/A. Το νόημα της χρησιμοποίησης δύο συχνοτήτων είναι ο προσδιορισμός της ιονοσφαιρικής διάθλασης, και για αυτό δέκτες μονής συχνότητας αντιμετωπίζουν το πρόβλημα με κάποιο μοντέλο. Εδώ να σημειωθεί ότι η υπάρχει και η συχνότητα L3 η οποία είναι ουσιαστικά γραμμικός συνδυασμός των άλλων δυο και είναι ελεύθερη από σφάλματα λόγω ιονόσφαιρας (ionosphere free).

4.3 Πηγές σφαλμάτων στις γεωδαιτικές μετρήσεις

Χρονόμετρα δορυφόρων και δεκτών

Οι μετρήσεις κώδικα και φάσεων γίνονται σε διακριτό χρονικό βήμα (30s, 15s κοκ)

στο σύστημα χρόνου του GPS. Υπάρχει όμως το θέμα ότι τα χρονόμετρα των δορυφόρων έχουν αποκλίσεις λόγω διαφορετικής κλίμακας του ρολογιού τους σε σχέση με τον γήινο χρόνο (επίδραση της θεωρίας της σχετικότητας), ενώ και οι δέκτες συνήθως έχουν χαμηλής ποιότητας χρονόμετρα. Επομένως είναι κατανοητό ότι οι μετρήσεις γίνονται σε "σχεδόν" GPS Time που όμως δεν είναι ακριβώς αυτός και πρέπει να διορθωθεί. Ακόμα και ένα μικρό σφάλμα, λόγω της ταχύτητας του φωτός, πολλαπλασιάζεται σε πολλές εκατοντάδες μέτρα και είναι σημαντικό στοιχείο των μετρήσεων GPS, η διόρθωση και ο όσο το δυνατών καλύτερος συγχρονισμός των χρονομέτρων.

Απώλειες κύκλων και ασάφειες φάσης

Ας φανταστούμε την απόσταση δορυφόρου-δέκτη χωρισμένη σε τμήματα ίσα με το μήκος κύματος της συχνότητας L1 των 19cm. Είναι εύκολο να καταλάβουμε ότι όταν ο δέκτης εγκλωβίσει έναν δορυφόρο για πρώτη ανάγνωση δεν μπορεί να ξέρει σε ποιον κύκλο βρίσκεται ανάμεσα σε αυτήν την απόσταση. Η απόσταση στην πρώτη ανάγνωση είναι το άθροισμα του τμήματος του κύκλου στο οποίο βρίσκεται το φέρον σήμα την στιγμή του εγκλωβισμού (ασάφεια φάσης) με έναν ακέραιο αριθμό κύκλων, ενώ στην συνέχεια ο επεξεργαστής του δέκτη καταγράφει τον ακέραιο αριθμό κύκλων κατά την διάρκεια της μέτρησης. Επίσης συμβαίνει κατά την διάρκεια των μετρήσεων να υπάρξει απώλεια κύματος και άρα απώλειες κύκλων, απώλειες που πρέπει να προσδιορισθούν.

Είναι σημαντικό λοιπόν στις μετρήσεις του GPS, να διορθώνεται η αρχική ασάφεια φάσης καθώς και οι απώλειες κύκλων. Για να γίνει κατανοητό αρκεί να σκεφτούμε ότι μια μόνο απώλεια κύκλων συνεπάγεται 19cm συστηματικό σφάλμα σε κάθε μέτρηση, ενώ αντίστοιχα η ασάφεια φάσης είναι σημαντική αν θέλουμε την καλύτερη δυνατή ποιότητα των μετρήσεων.

Τροχιές Δορυφόρων

Για τον προσδιορισμό της θέσης ενός δέκτη GPS απαραίτητη προϋπόθεση είναι η γνώση των τροχιακών στοιχείων των δορυφόρων συναρτήσει του χρόνου. Η πληροφορία αυτή περιλαμβάνεται στο μήνυμα ναυσιπλοΐας του κάθε δορυφόρου, και για περισσότερη ακρίβεια στις υπολογισμένες εκ των υστέρων εφημερίδες της IGS. Οι εφημερίδες των δορυφορικών τροχιών περιέχουν τα κεπλέρια στοιχεία για κάθε δορυφόρο καθώς και παραμέτρους για τον υπολογισμό διορθώσεων των κεπλέριων στοιχείων λόγω της επίδρασης των μη βαρυτικών δυνάμεων που ασκούνται στους δορυφόρους.

Ατμόσφαιρα

Η διάδοση του σήματος γίνεται αρχικά στο κενό αλλά στην συνέχεια διανύεται όπως είναι φυσικό και ένα αρκετά μεγάλο στρώμα ατμόσφαιρας. Όπως είναι φυσικό το σήμα από τις επιδράσεις της ατμόσφαιρας υπόκειται εκτροπές η οποίες μεταφράζονται σε σφάλματα στις μετρήσεις. Πρέπει λοιπόν να υπολογιστούν διάφορες ατμοσφαιρικές παράμετροι η οποίες δίνουν ένα μοντέλο ατμόσφαιρας ικανό να διορθώσει το σήμα από την καμπυλωμένη πορεία στην ατμόσφαιρα. Συνήθως οι παράμετροι εισάγονται ως άγνωστοι στο σύστημα επίλυσης από τα πακέτα λογισμικών, ωστόσο υπάρχουν και διαθέσιμα μοντέλα. Διορθώσεις λόγω ιονόσφαιρας γίνονται για βάσεις άνω των 300 χιλιομέτρων ενώ οι διορθώσεις λόγω στρατόσφαιρας. (Παραδείσης Δ., 2000)

5. Μέθοδοι Επεξεργασίας GPS δεδομένων

5.1 Απόλυτος Προσδιορισμός (Μέθοδος PPP)

Τα τελευταία χρόνια έχει αρχίσει να υιοθετείται μια νέα μέθοδος απόλυτου προσδιορισμού θέσης με χρήση τόσο των ψευδοαποστάσεων όσο και των μετρήσεων του φέροντος κύματος καθώς και προϊόντων ακριβείας. Η μέθοδος ονομάζεται Precise Point Positioning (PPP) (Zumberge et al 1997). Με τη μέθοδο αυτή, υπάρχει η δυνατότητα με την βοήθεια δεδομένων διαθέσιμων στο κοινό από διάφορα ινστιτούτα και υπηρεσίες, ακριβή δεδομένα που έχουν να κάνουν με τα χρονόμετρα και τις εφημερίδες των δορυφόρων, να προσδιορίσουμε σημεία ή και ένα ολόκληρο δίκτυο δίχως την βοήθεια γνωστών σημείων στην περιοχή ή εκτός αυτής. Συνεπώς η μέθοδος PPP παρουσιάζει ευελιξία μεγαλύτερη από την κλασική μέθοδο των διπλών διαφορών. Αξίζει να σημειωθεί ότι με την αυξανόμενη ακρίβεια των προϊόντων GNSS, η μέθοδος βελτιώνεται συνεχώς με συνέπεια να βρίσκει εφαρμογές σε όλο και πιο απαιτητικές εργασίες (Huber at al. 2010).

Από τα παραπάνω καταλαβαίνουμε ότι οι απαιτήσεις σε υποδομή, δηλαδή σε ύπαρξη ή ίδρυση σημείου αναφοράς κοντά στην περιοχή και παραπάνω δέκτες που μετρούν ταυτόχρονα, για την μέθοδο PPP είναι ανύπαρκτες. Επίσης μικρότερες, και μάλιστα με μεγάλη διαφορά, είναι οι απαιτήσεις σε υπολογιστικό χρόνο (5-6 φορές πιο σύντομη εργασία για μεγάλα δίκτυα) (Huan et al 2002) αλλά και σε υπολογιστικό φόρτο και χώρο. Κάτι που πρέπει να τονιστεί είναι ότι ακριβώς λόγω του ότι δεν υπάρχει σημείο αναφοράς, οι συντεταγμένες των σημείων προσδιορίζονται στο σύστημα αναφοράς των δορυφόρων, και επομένως για χρήση σε τοπικά η εθνικά συστήματα αναφοράς είναι αναγκαίες οι ανάλογες μετατροπές. Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι η μέθοδος PPP είναι λιγότερο ακριβής από την συμβατική μέθοδο των διπλών διαφορών, λόγω αδυναμίας επίλυσης ασαφειών άλλα και της μη εξάλειψης σφαλμάτων που στην περίπτωση των διπλών διάφορων ακυρώνονται, ωστόσο για χρονοσειρές οι ακρίβειες των μεθόδων είναι συγκρίσιμες. Η ακρίβεια συνήθως είναι της τάξεως του εκατοστού και σε μερικές περιπτώσεις του χιλιοστού αλλά λόγω της φύσης της επίλυσης του PPP, υπερεκτιμάται ελαφρώς η ακρίβεια της, και για αυτό λέμε ότι είναι χειρότερη από την μέθοδο των διπλών διαφορών.

Εφόσον δεν υπάρχει κάποια επίγεια αναφορά, η ακρίβεια της μεθόδου PPP εξαρτάται στο μεγαλύτερο βαθμό από το πόσο καλά προσδιορίζεται η θέση των δορυφόρων από τους οποίες λαμβάνονται τα δεδομένα. Δηλαδή η ποιότητα των δεδομένων που αφορούν τις εφημερίδες των δορυφόρων και τις διορθώσεις των χρονομέτρων είναι υψίστης σημασίας. Στην πράξη η υπηρεσία GNSS έχει πολύ καλή ποιότητα για τα δεδομένα που μας αφορούν. Σε περιπτώσεις όμως που χρειάζονται να λυθούν δίκτυα για παλαιότερες εποχές, που δεν υπάρχουν ικανοποιητικά δεδομένα, η μέθοδος PPP δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ικανά αποτελέσματα. Υπάρχουν όμως περιθώρια βελτίωσης που αφορούν κυρίως την ταυτόχρονη χρήση δεδομένων GLONASS, δυνατότητα που σήμερα δεν διαθέτει η GNSS αλλά έχει αποδειχθεί σε μελέτες ότι βελτιώνει αισθητά την ακρίβεια και τους χρόνους αρχικοποίησης (Seepersad 2012).

Γίνεται σαφές ότι η μέθοδος PPP σε σχέση με την συμβατική μέθοδο διπλών διαφορών παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα όσων αφορά το κόστος και την ευκολία μιας εργασίας, όμως και μειονεκτήματα σχετικά με την ακρίβεια και την απαίτηση σε ποιότητα των δεδομένων. Αξίζει να σημειωθεί ότι η μέθοδος είναι ακόμα ένας τομέας που ακόμα αναπτύσσεται και ότι έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται και για κινηματικό εντοπισμό με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Το αρνητικό είναι ότι για την χρήση της PPP για

κινηματικό εντοπισμό απαιτείται μεγάλος χρόνος αρχικοποίησης που μπορεί να φτάσει τις δύο ώρες (Ebner R., Featherstone W. E., 2010)

Παρ' ότι το PPP έχει κάποια μειονεκτήματα, κυρίως όσον αφορά την ακρίβεια του είναι μια πολύ χρήσιμη μέθοδος που δίνει λύσεις σε περιπτώσεις όπως σε αναπτυσσόμενες χώρες χωρίς υποδομή και σε απομακρυσμένα σημεία που σε άλλες περιπτώσεις ο προσδιορισμός θα ήταν είτε αδύνατος ή ασύμφορος. Επίσης να τονιστεί ότι λειτουργούν και online υπηρεσίες PPP που παρέχουν την επίλυση δεδομένων με απλή ανταλλαγή email.

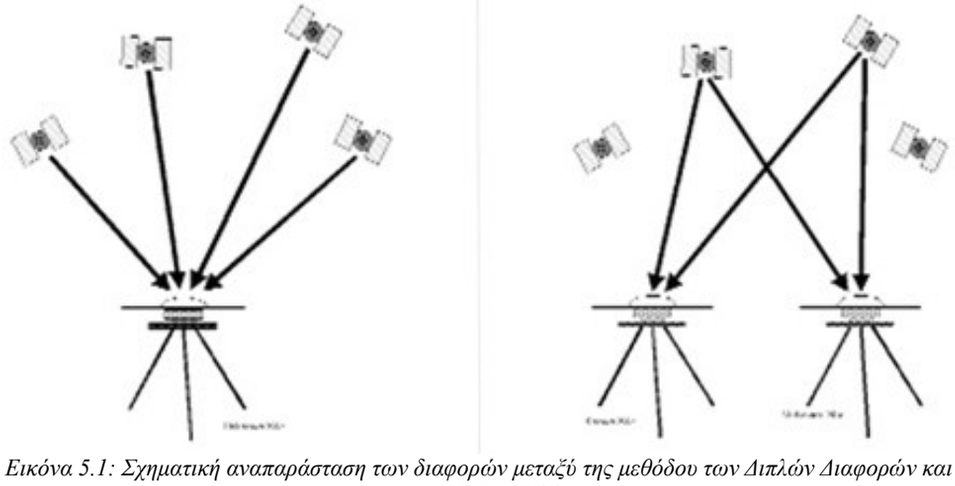
Η τρέχουσα έρευνα για την βελτίωση του PPP ως μεθόδου είτε είναι ακαδημαϊκή ή από εταιρείες εστιάζει σε συγκεκριμένα σημεία. Κατ' αρχάς μελετώνται τρόποι επίλυσης των ασαφειών φάσης που είναι το μεγαλύτερο θέμα αξιοπιστίας της μεθόδου PPP, και το ξεπέρασμα του εμποδίου αυτού θα συμβάλλει στην καλύτερη ακρίβεια εντοπισμού. Στην συνέχεια μελετάται η συμπληρωματική λειτουργία της μεθόδου PPP και με τα αδρανειακά συστήματα INS και αμοιβαία αύξηση της ακρίβειας. Πολύ σημαντικό σημείο της έρευνας είναι η μελέτη της χρήσης πολλαπλών συστημάτων GNSS, όπως το Ρωσικό GLONASS και το Κινέζικο COMPASS. Έχουν ήδη υπάρξει πειράματα τα οποία υποδεικνύουν βελτίωση της ακρίβειας και των χρόνων αρχικοποίησης με την χρήση κάποιων δορυφόρων GLONASS με μοναδικό πρόβλημα την χειρότερη ακρίβεια δεδομένων ακριβείας για τις εφημερίδες των δορυφόρων GLONASS σε σύγκριση με των αντιστοίχων του GPS. Τέλος αναζητούνται λύσεις για την χρήση του PPP σε δέκτες χαμηλού κόστους διαθέσιμων στο κοινό, με μεγαλύτερα προβλήματα τον προσδιορισμό των σφαλμάτων λόγω ιονόσφαιρας αλλά και του γενικότερου θορύβου του σήματος είτε λόγω διάχυσης ή λόγω των κυκλωμάτων εκπομπής σήματος. (Rizos et al. 2010). Συνοπτικά τα πλεονεκτήματα του PPP είναι:

- Χρειάζεται μόνο ένας δέκτης
- Μειωμένες απαιτήσεις σε υπολογιστικό χρόνο
- Μειωμένες απαιτήσεις σε υπολογιστικό χώρο

Ενώ τα μειονεκτήματα:

- Δεν μπορούμε να ορίσουμε σύστημα αναφοράς
- Χρειαζόμαστε πολύ καλής ποιότητας δεδομένα
- Αδυναμία απαλοιφής σφαλμάτων
- Αδυναμία επίλυσης ακέραιων ασαφειών κύκλων

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε την διαφορά μεταξύ της μεθόδου PPP και της συμβατικής μεθόδου διπλών διαφορών:



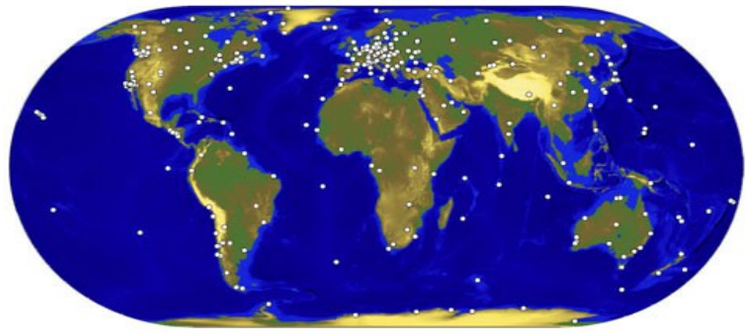
Εικόνα 5.1: Σχηματική αναπαράσταση των διαφορών μεταξύ της μεθόδου των Διπλών Διαφορών και της μεδόδου PPP
Schematics showing differences betwenn DD and PPP methods

5.2 Σχετικός Προσδιορισμός (Μέθοδος Διπλών Διαφορών)

Η συμβατική μέθοδος των διπλών διαφορών είναι η πιο διαδεδομένη και αξιόπιστη μέθοδος δορυφορικού σχετικού εντοπισμού. Το φάσμα εργασιών που καλύπτει η συγκεκριμένη μέθοδος είναι αρκετά ευρύ, καλύπτοντας απλές τοπογραφικές εργασίες, χαρτογράφηση, ελέγχο μικρομετατοπίσεων κοκ. Επίσης είναι η κύρια μέθοδος με την οποία επιλύουμε εντοπισμό σε πραγματικό χρόνο (RTK, Stop-n-Go Kinematic κλπ), επομένως για απλή ταχυμετρία σε τοπογραφικές δουλειές (Φωτίου Α., Πικριδάς Χ. 2006).

Η επίλυση διπλών διαφορών στηρίζεται στην ταυτόχρονη λήψη δεδομένων από ένα δορυφόρο, από δυο επίγειους δέκτες. Έχοντας αυτό ως δεδομένο, δημιουργούνται κάποια μειονεκτήματα και κάποια πλεονεκτήματα. Η ταυτόχρονη λήψη δεδομένων από δυο δέκτες βοηθά στο μειωθούν σφάλματα που προκύπτουν από παράγοντες όπως τα χρονόμετρα και οι τροχιές των δορυφόρων, τα χρονόμετρα των δεκτών και τις τοπικές ατμοσφαιρικές ανωμαλίες. Αυτό συμβαίνει γιατί τα σφάλματα όταν πρόκειται για την ίδια περίοδο μετρήσεων είναι κοινά και άρα εξαλείφονται. Επομένως ελαχιστοποιούνται τα σφάλματα και η μέθοδος μας παρέχει ικανοποιητική ακρίβεια για τις περισσότερες περιπτώσεις, ενώ για πιο εξειδικευμένες εργασίες που απαιτούν περισσότερη ακρίβεια, όπως η παρακολούθηση μικρομετακινήσεων, η λήψη ποιοτικών δεδομένων αλλά και η ίδια η μέθοδος της επίλυσης βοηθούν στο να επιτευχθούν ακόμα μεγαλύτερες ακρίβειες.

Το μεγάλο πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι η απαλοιφή διάφορων τύπων σφαλμάτων. Πιο συγκεκριμένα, σφάλματα που οφείλονται στις δορυφορικές τροχιές, στο χρονόμετρο του δορυφόρου άλλα και στη διάταξη του (hardware delays) ελαχιστοποιούνται η και εξαλείφονται. Επίσης, μειώνεται η επίδραση σφαλμάτων που οφείλονται στο περιβάλλον του ζεύγους των δεκτών, με την προϋπόθεση βεβαία το μήκος της βάσης να μην υπερβαίνει τα περίπου 10 km. Τέτοια σφάλματα είναι η επίδραση της ατμοσφαίρας (ιονόσφαιρα, τροπόσφαιρα), σφάλματα που προκύπτουν από τη διάταξη των κεραιών. Να σημειωθεί επίσης ότι με τη μέθοδο αυτή, χρησιμοποιούνται ελάχιστα οι μετρήσεις του κώδικα (μόνο για τον συγχρονισμό των χρονόμετρων), που έχουν σαφώς μικρότερη ακρίβεια προσδιορισμοί από αυτές του φέροντος κύματος



Εικονα 5.2: Υποδομή σε δίκτυα μονίμων σταθμών GPS ανά τον κόσμο
Permanent GPS stations wordwide infrastructure

Από την άλλη η απαίτηση δυο ταυτόχρονων δεκτών, δημιουργεί προβλήματα που είναι οικονομικής φύσεως αλλά και προβλήματα υποδομής. Είναι προφανές ότι η απαίτηση αυτή δημιουργεί την ανάγκη ύπαρξης ενός μονίμου δικτύου σταθμών GPS που θα χρησιμοποιείται σαν αναφορά. Τέτοια δίκτυα υπάρχουν πια σε παγκόσμια κλίμακα, ενώ είναι ιδιαίτερα πυκνά στην Βόρεια Αμερική και κεντρική Ευρώπη. Επίσης η μέτρηση ουσιαστικά της βάσης που προκύπτει από το γνωστό σημείο του δικτύου και του του σημείου που ιδρύει ο μηχανικός απαιτεί πολύπλοκες και χρονοβόρες υπολογιστικές διαδικασίες. Αυτό γίνεται κατανοητό αν αντιληφθεί κανείς ότι στην πραγματικότητα, ακόμα

και για σχετικά απλές εργασίες οι βάσεις που θα δημιουργηθούν θα είναι πολλές σε αριθμό.

Το ουσιαστικό πλεονέκτημα της συμβατικής μεθόδου εντοπίζεται στο γεγονός ότι με την μέθοδο αυτήν μπορούν να λυθούν οι ασάφειες φάσεις. Πρακτικά η επίλυση των ασαφειών είναι αυτή που επιτυγχάνει την ακρίβεια χιλιοστού. Αυτό γίνεται διότι οι μετρήσεις της φάσης είναι πολύ πιο ακριβείς από τις μετρήσεις κώδικα, οι οποίες ενέχουν ένα σχετικά μεγάλο ποσοστό θορύβου.

Συνοπτικά οι διπλές διαφορές έχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Απαλοιφή σφαλμάτων που οφείλονται στον δορυφόρου-δέκτη
- Απαλοιφή σφαλμάτων τροχιών
- Για μικρές βάσης απαλοιφή σφαλμάτων ατμόσφαιρας
- Δυνατότητα επίλυσης ασαφειών φάσης

Ενώ τα μειονεκτήματα:

- Απαίτηση δυο δεκτών
- Μεγάλο υπολογιστικό κόστος σε χώρο και χρόνο

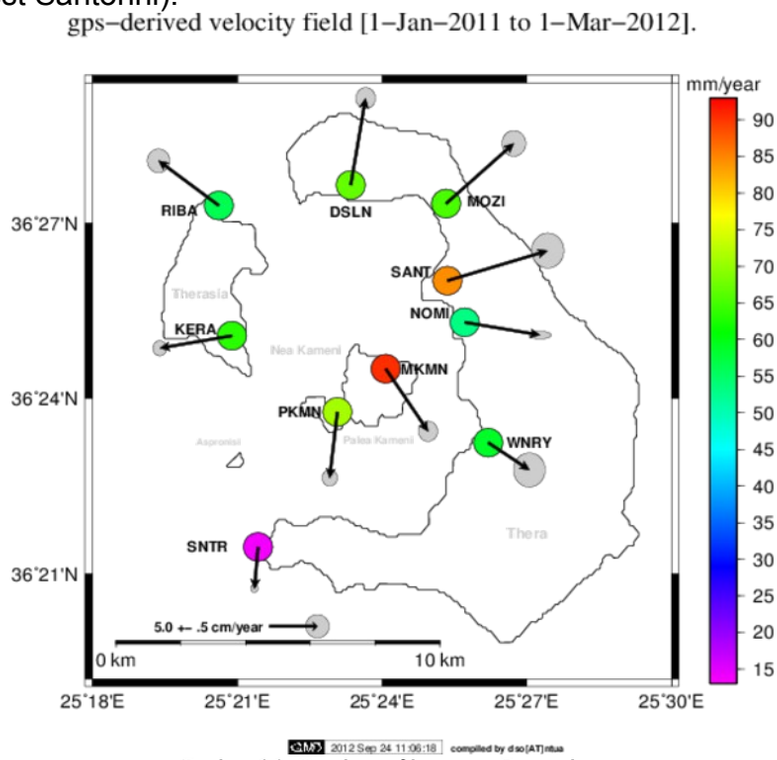
5.3 Διαφορές Ανάμεσα σε PPP και Διπλές Διαφορές

- Στις διπλές διαφορές γίνεται επεξεργασία βάσεων ενώ στο PPP γίνεται επεξεργασία των πρωτογενών παρατηρήσεων
- Στο PPP κατά την επίλυση χρησιμοποιούνται και οι μετρήσεις φάσης και οι μετρήσεις κώδικα (οι ομαλοποιημένες) ενώ στις διπλές διαφορές χρησιμοποιούνται μόνο οι μετρήσεις φάσης (οι μετρήσεις κωδικά χρησιμοποιούνται μόνο για το συγχρονισμό των χρονομέτρων).
- Λόγω του παραπάνω, ενδείκνυται κατά το PPP η χρίση “ομαλοποιημένου” smoothed κωδικά, και όχι των πρωτογενών παρατηρήσεων.
- Στις Διπλές Διαφορές τα περισσότερα κοινά σφάλματα εξαλείφονται, ενώ αντίθετα στο PPP βασιζόμαστε στην ύπαρξη και χρίση ποιοτικών μοντέλων και προϊόντων ακρίβειας
- Στις διπλές διαφορές κάνω επίλυση ασαφειών φάσης. Στην μέθοδο PPP η επίλυση ασαφειών είναι αδύνατη λόγω ύπαρξης αυξημένου θορύβου στο σήμα. Αυτός ο θόρυβος δεν μπορεί να απαλειφθεί εξ' ολοκλήρου και επομένως δεν μπορεί να διαχωριστεί το σφάλμα λόγω ασαφειών από τα υπόλοιπα σφάλματα λόγω θορύβου.

6. Επίλυση GPS Δεδομένων στην Περιοχή της Σαντορίνης

6.1 Δίκτυο Σαντορίνης

Στην παρούσα εργασία μελετάται το το δίκτυο της Σαντορίνης. Τα σημεία του δικτύου αυτά είναι τα εξής: MOZI (mouzaki bay), MKMN (Nea Kameni), PKMN (Palea Kameni), RIBA (Porta Riba), KERA (Therasia), DSLN, WNRY (Winery), NOMI (Nomikos), SNTR (South West Santorini).



Εικόνα 6.1: Το μόνιμο δίκτυο της Σαντορίνης
Santorini permanent station

Το δίκτυο της Σαντορίνης έχει εγκατασταθεί από διάφορους συνεργαζόμενους οργανισμούς με σκοπό την επίβλεψη της τεκτονικής δραστηριότητας της Καλντέρας. Από τον Φλεβάρη του 2013 ο αριθμός των σταθμών ανέρχεται στους 11 καθιστώντας το δίκτυο σχετικά πυκνό. Οι σταθμοί κατά κύριο λόγο έχουν εγκατασταθεί από το 2011 και μετά. Οι οργανισμοί που μετέχουν στην εν λόγω δραστηριότητα είναι το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, το Πανεπιστήμιο Πατρών, η UNAVCO, το τμήμα γεωεπιστημών του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης, και το Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Georgia, USA. Παρακάτω φαίνονται οι σταθμοί και συντεταγμένες τους όπως έχουν υπολογιστεί από Εργαστήριο Ανώτερης και Δορυφορικής Γεωδαισίας για την εποχή 2012.0:

Station	X	Y	Z	Epoch
RIBA	4641874,606	2198523,547	3768942,496	2012.0
KERA	4644059,344	2200009,756	3765747,457	2012.0
DSLN	4639882,115	2202109,185	3769559,671	2012.0
MOZI	4639049,255	2204980,257	3769175,826	2012.0
NOMI	4640783,422	2206447,651	3766127,180	2012.0
MKMN	4642463,023	2204528,618	3764821,764	2012.0
PKMN	4643869,101	2203539,583	3763744,207	2012.0
WNRY	4642530,773	2208076,533	3763087,006	2012.0

Πίνακας 6.1: Οι συντεταγμένες των μόνιμων σταθμών της Σαντορίνης
Santorini's Permanent Station coordinates

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα αρχεία RINEX των ζητούμενων σταθμών του εσωτερικού και εξωτερικού δικτύου μας, αρχεία που αφορούν τις τροχιές των δορυφόρων τις διορθώσεις χρονομέτρων καθώς και τους πόλους, και συνορθωμένες συντεταγμένες των σημείων του εξωτερικού δικτύου στο σύστημα αναφοράς IGS08 και αργότερα IGB08. Τα αρχεία RINEX αντλήθηκαν από διάφορες υπηρεσίες, συγκεκριμένα του Αστεροσκοπείου Αθηνών, της EUREF και της UNAVCO. Τα δεδομένα που αφορούν τα ρολόγια, τις εφημερίδες και τους πόλους αντλήθηκαν από της IGS ενώ οι συνορθωμένες συντεταγμένες αντλήθηκαν από το Εργαστήριο Ανώτερης και Δορυφορικής Γεωδαισίας του Εθνικού Μετσοβείου Πολυτεχνείου. Πρόκειται για τις τελικές λύσεις εκτός από μια περίπτωση που δεν ήταν διαθέσιμες και χρησιμοποιήθηκαν οι πρώτες λύσεις.

6.2 Χρονική περίοδος μελέτης

Η επεξεργασία έγινε για δεδομένα που αφορούν βάθος 22 μηνών. Συγκεκριμένα η πρώτη ήμερα που επιλύθηκε είναι η 15η Ιουνίου του 2011 και από κει και πέρα επιλεχθηκε να επιλύεται μια ήμερα ανά μήνα, συγκεκριμένα κάθε 15η του μήνα (σε ελάχιστες περιπτώσεις την 16η) μέχρι και τον Μάρτιο του 2013. Σε αυτόν τον χρόνο μελετάται η παραμόρφωση της Σαντορίνης στο διάστημα όπου παρατηρούνταν έντονη τεκτονική κινητικότητα αλλά και τους μήνες μετά από αυτό.

6.3 Πορεία Εργασιών

Για κάθε μια απά τις επιλεγείσες ημέρες, έγινε επεξεργασία των διαθέσιμων δεδομένων και με τις δυο τεχνικές που αναπτύχθηκαν παραπάνω. Πιο συγκεκριμένα, πρώτα έγινε η επίλυση του τοπικού δικτύου της Σαντορίνης με χρήση ΔΔ και εκτιμήθηκαν οι συντεταγμένες των σταθμών.

Έπειτα έγινε επεξεργασία των σταθμών με τη μέθοδο PPP, με τελικό αποτέλεσμα τις συντεταγμένες των σταθμών.

Σαν τελευταίο βήμα, έγινε η δημιουργία χρονοσειρών θέσης, τόσο για την μέθοδο των ΔΔ οσο και για αυτή του PPP. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν τόσο μεταξύ τους, για να εξακριβωθεί η συμβατότητά τους οσο και με τα παραγόμενα απο το Κέντρο Δορυφόρων Διονύσσου για έλεγχο της ποιότητας επίλυσης.

Αξίζει να σημειωθεί οτι στην επεξεργασία με τη μέθοδο των ΔΔ, στο δίκτυο συμετειχαν και επιλεγμένοι σταθμοί εκτός Σαντορίνης. Ο λόγος που συμπεριλήφθηκαν οι σταθμοί αυτοί είναι για την υλοποίηση του Σύστημα Αναφοράς. Ως συντεταγμένες αναφοράς των σταθμών αυτών στο βήμα της συνόρθωσης, χρησιμοποιήθηκαν οι συντεταγμένες που έχουν προκύψει από την τελική επίλυση του ΚΔΔ. Το Σύστημα Αναφοράς που υλοποιήθηκε συνεπώς, είναι το IGB08.

6.4 Γενικά για το Bernese

Το λογισμικό Bernese της GNSS, αναπτύχθηκε από το Αστρονομικό Ινστιτούτο του Πανεπιστημίου του Bern. Είναι ένα επιστημονικό πρόγραμμα επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων και χρησιμοποιείται για διεργασίες που απαιτούν μεγάλη ακρίβεια. Η διαφορά του από τα πιο διαδεδομένα πακέτα λογισμικού του εμπορίου, έγκειται στο γεγονός ότι υπάρχει δυνατότητα να ρυθμιστούν όλες οι παράμετροι της επεξεργασίας, σε αντίθεση με τα εμπορικά πακέτα που υπάρχουν συγκεκριμένες παραδοχές και συγκεκριμένες παράμετροι στους αλγόριθμους επίλυσης, της οποίες είτε δεν μπορούμε να τροποποιήσουμε ή δεν γνωρίζουμε.

Το λογισμικό Bernese του Πανεπιστημίου της Βέρνης μαζί με το Gipsy της NASA και το Gamit του Πανεπιστημίου του MIT είναι τα 3 βασικά επιστημονικά λογισμικά για την επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων.

Το λογισμικό Bernese είναι αντικείμενο συνεχούς ανάπτυξης και βελτίωσης και σήμερα βρίσκεται στην έκδοση 5.2. Ωστόσο στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 5. Το λογισμικό χρησιμοποιείται από επιστήμονες-μελετητές της γεωδαισίας και των γεωεπιστημών, από πανεπιστήμια και γενικά από χρήστες ή τοπογραφικές εταιρίες που χρειάζονται μεγάλη ακρίβεια στις εργασίες τους (πχ ίδρυση δικτύων πρώτης τάξης).

Όπως έχει ειπωθεί το Bernese προσφέρει την δυνατότητα στον χρήστη να ρυθμίσει μια πληθώρα παραμέτρων έτσι ώστε να έχει πλήρη έλεγχο της λύσης. Ωστόσο στα πλαίσια της παρούσας εργασίας ακολουθήθηκε μια κάπως πιο τυποποιημένη διαδικασία που ακολουθείται και από το Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας. Η στρατηγική της επίλυσης μπορεί να βρεθεί αναλυτικά στην ιστοσελίδα του Εργαστηρίου.

Στην πράξη το λογισμικό Bernese αποτελείται από υποπρογράμματα που το καθένα εκτελεί μια διαδικασία. Παραδείγματος χάριν ένα υποπρόγραμμα του Bernese μπορεί να υπολογίζει τις τροχιές των δορυφόρων, ένα άλλο να επιλύσει ασάφειες ή να εκτελεί συνόρθωση. Ακόμα και πιο απλές διαδικασίες όπως η μετατροπή τυποποιημένων Rinex αρχείων σε αρχεία που διαβάζονται από το Bernese είναι όλα διαδικασίες που εκτελούνται από υποπρογράμματα του λογισμικού. Ουσιαστικά η επίλυση των δορυφορικών δεδομένων είναι η χρήση των εφαρμογών αυτό με σωστή σειρά και με σωστές παραμέτρους.

6.5 Διαδικασία επίλυσης του Bernese για διπλές διαφορές

1. Επεξεργασία δεδομένων

- *Δημιουργία Καμπάνιας*

Στο στάδιο δημιουργείται η καμπάνια για κάθε επίλυση, που στην ουσία σημαίνει ότι δημιουργείται μια καμπάνια για κάθε ημέρα επεξεργασίας. Επομένως για τις 22 ημέρες έχουμε 22 καμπάνιες. Στο στάδιο δημιουργούνται φάκελοι σε προκαθορισμένες θέσεις στον χώρο αποθήκευσης των αρχείων του Bernese. Επίσης εισάγονται τα αρχικά δεδομένα (RINEX, τροχιές δορυφόρων (.sp3) και κινήσεις του πόλου(.erp) έτσι ώστε να αρχίσει η επεξεργασία. Πριν την επεξεργασία πρέπει να ορίσουμε την ημερομηνία την οποία αφορά η επίλυση.

- *Μετατροπή των αρχείων RINEX*

Τα αρχεία που προμηθευόμαστε από τις υπηρεσίες είναι σε μορφή RINEX (Receiver Independent Exchange Format). Η μορφή αυτή είναι η πλέον αποδεκτή στην παγκόσμια κοινότητα για τα δορυφορικά δεδομένα σε μορφή RAW. Στην φάση αυτή με την βοήθεια του Bernese μετατρέπονται τα αρχεία RINEX σε δυαδική μορφή που μπορεί να διαβαστεί από το λογισμικό. Δημιουργούνται αρχεία που αφορούν τις παρατηρήσεις του κώδικα (.CZO) και τις παρατηρήσεις της φάσης (.PZO) και τα αντίστοιχα header file (.CZH και .PZH) που αφορούν γενικές πληροφορίες για τον σταθμό, τον δέκτη την κεραία και στην περίπτωση των φάσεων τις ασάφειες.

- *Δημιουργία τροχιών*

Σε αυτό το στάδιο χρησιμοποιήθηκαν τα υποπρογράμματα PRETAB και ORBGEN.

Το PRETAB χρησιμοποιεί τα αρχεία τροχιών .sp3 που έχουμε εισάγει. Η λειτουργία του αφορά την μετατροπή των τροχιών από το γήινο σύστημα στο ουράνιο σε πινακοποιημένη μορφή. Παράγει ένα αρχείο .tab ενώ δημιουργεί και ένα αρχείο .clk που είναι οι διορθώσεις του χρονομέτρων τω δορυφόρων. Το δεύτερο αρχείο χρησιμοποιείται σε περίπτωση που δεν έχει εισάγει ο χρήστης δικά του αρχεία .clk, πράγμα το οποίο συμβαίνει και στην περίπτωση μας. Το ORBGEN δημιουργεί τις στάνταρ τροχιές σε αρχεία .std (standard orbits). Αυτό γίνεται για να να χρησιμοποιηθούν οι θέσεις του δορυφόρου ως ψευδοπαρατηρήσεις σε μια αρχική συνόρθωση.

2. Επεξεργασία του Κώδικα

Σε αυτό το στάδιο χρησιμοποιείται το πρόγραμμα CODSPP. Με αυτό το πρόγραμμα γίνονται οι διορθώσεις στα χρονόμετρα του δέκτη. Παρότι λόγω της μεθόδου των διπλών διάφορων τα σφάλματα λόγω των χρονομέτρων του δέκτη σχεδόν εξαλείφονται, για διαδικασίες που απαιτούν αυξημένη ακρίβεια ο χρόνος εξακολουθεί να προσδίδει ένα σχετικά μεγάλο σφάλμα στις παρατηρήσεις. Η επεξεργασία του κώδικα γίνεται στην συχνότητα L3 που στην πραγματικότητα είναι γραμμικός συνδυασμός των συχνοτήτων L1 και L2. Με το πρόγραμμα αυτό επιπλέον εξάγονται και αρχικές συντεταγμένες, δυνατότητα η οποία όμως δεν χρησιμοποιήθηκε.

3. Προεπεξεργασία Φάσεων

Σε αυτήν την φάση δημιουργούνται οι βάσεις και προσδιορίζονται οι ακέραιες απώλειες κύκλων. Οι βάσεις δημιουργούνται με βάση κάποιων αλγόριθμο για την αποφυγή δημιουργίας πολλών βάσεων και άρα απαίτησης μεγάλης επεξεργαστικής ισχύος. Οι βάσεις δημιουργούνται με έναν αλγόριθμο που έχει ως βάση την μικρότερη δυνατή απόσταση ανάμεσα στους σταθμούς. Να τονιστεί ότι επειδή το δίκτυό το οποίο χρησιμοποιείται στην εργασία ενέχει εξωτερικούς της Σαντορίνης σταθμούς αλλά και εσωτερικούς, κάθε φορά σημειώνονται οι βάσεις και το μήκος των βάσεων. Αυτό γίνεται διότι στις μεγάλες βάσεις άνω των 10 χιλιομέτρων είναι αναγκαία η διόρθωση λόγω της τροπόσφαιρας ενώ στις μικρότερες βάσης κάτι τέτοιο δεν χρειάζεται. Σε αυτό το στάδιο χρησιμοποιείται το πρόγραμμα MAUPRP. Είναι το πρόγραμμα που προσδιορίζει τις απώλειες κύκλων και κάνει μια καλύτερη εκτίμηση των συντεταγμένων. Χρησιμοποιήσαμε δυο τρεξίματα του προγράμματος MAUPRP για πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

4. Πρόγραμμα GPSEST

Το πρόγραμμα GPSEST έχει κεντρικό ρόλο στην επεξεργασία των δεδομένων μας. Τρέχεται τρεις φορές και έχει πολλές δυνατότητες που αφορούν την δημιουργία μοντέλων ατμόσφαιρας την επίλυση ασαφειών φάσης και την δημιουργία των κανονικών εξισώσεων για την συνόρθωση με MET.

- *Διόρθωση ατμόσφαιρας*

Όπως ειπώθηκε πριν, στις μεγάλες βάσεις άνω των 10 χιλιομέτρων πρέπει να κάνουμε διορθώσεις για καθυστέρηση του σήματος λόγω τροπόσφαιρας. Σε μικρότερες βάσεις δεν χρειάζεται καθώς δεν επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα. Διορθώσεις λόγω ιονόσφαιρας γενικά δεν χρειάστηκαν επειδή η βάσεις είναι σχετικά μικρές. Σε ελάχιστες περιπτώσεις ήταν αναγκαία η διόρθωση λόγω ιονόσφαιρας για να έχουμε αποδεκτά αποτελέσματα. Στις περιπτώσεις αυτές τα μοντέλα της ιονόσφαιρας αντλήθηκαν από το διαδίκτυο και δεν έγινε ξεχωριστή επίλυση στο GPSEST. Για την τροπόσφαιρα όμως έγινε. Έτσι το πρόγραμμα GPSEST για τις μεγάλες βάσεις τρέχθηκε και μια φορά για τον προσδιορισμό των διορθώσεων λόγω τροπόσφαιρας. Ενώ παράλληλα υπολογίζονται

ακόμα καλύτερα οι συντεταγμένες. Τα αρχεία που περιέχουν τις διορθώσεις είναι τα αρχεία με κατάληξη .trp και .ion για την τροπόσφαιρα και την ιονόσφαιρα αντίστοιχα.

- *Επίλυση ασαφειών*

Η επίλυση ασαφειών γίνεται πάλι με το πρόγραμμα GPSEST. Οι ασάφειες προσδιορίζονται στο δεύτερο τρέξιμο του προγράμματος. Είναι από τα πιο σημαντικά σημεία της επίλυσης καθώς όσο μεγαλύτερο ποσοστό ασαφειών επιλυθεί, τόσο καλύτερα προσδιορισμένες συντεταγμένες προκύπτουν. Ο τρόπος επίλυσης ασαφειών για τις μεγάλες βάσεις διαφέρει ελάχιστα από την ίδια διαδικασία για μικρές σε διαδικαστικό επίπεδο.

Σε αυτό το στάδιο είναι η μόνη περίπτωση στην οποία χρησιμοποιήθηκε βήμα χρονομέτρου 30 δευτερολέπτων αντί για 180 που χρησιμοποιήθηκαν σε όλα τα άλλα στάδια. Να τονισθεί ότι τα δεδομένα της IGS αφορούν χρονικό βήμα 5 λεπτών και ότι η πύκνωση του βήματος για μικρότερο βήμα γίνεται με παρεμβολή.

Όσον αφορά τις μεγάλες βάσεις, που στην περίπτωσή μας είναι οι βάσεις που έχουν δημιουργηθεί ανάμεσα στους εξωτερικούς σταθμούς η ανάμεσα στους εξωτερικούς και εσωτερικούς, ο αλγόριθμος επίλυσης είναι ο QIF (quasi ionosphere-free). Κατά την διαδικασία αυτή πρέπει να εισαχθούν οι πιο καλά προσδιορισμένες συντεταγμένες από το προηγούμενο βήμα, καθώς και το μοντέλο της τροπόσφαιρας που έχει υπολογιστεί. Σε ελάχιστες περιπτώσεις εισήχθηκε και μοντέλο ιονόσφαιρας για πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα. Σε αυτές τις βάσεις το κριτήριο είναι η επίλυση των ασαφειών να είναι σε ποσοστό πάνω από 75% ενώ σε λίγες περιπτώσεις τέθηκε ως κατώφλι το 70% επειδή τα αποτελέσματα δεν μπορούσαν να βελτιστοποιηθούν.

Οι μικρές βάσεις , που στην περίπτωση μας είναι οι βάσεις που έχουν δημιουργηθεί ανάμεσα στους σταθμούς του εσωτερικού δικτύου της Σαντορίνης, λύθηκαν με τον αλγόριθμο SIGMA. Σε αυτήν την μέθοδο όπως έχει ειπωθεί δεν χρησιμοποιήθηκε κανένα μοντέλο ατμόσφαιρας. Τα ποσοστά επίλυσης ασαφειών σε αυτό το βήμα ήταν κοντά στο 100% τις περισσότερες φορές ενώ ποτέ δεν έπεφτε κάτω από το 95%.

- *Δημιουργία κανονικών εξισώσεων*

Σε αυτό το στάδιο χρησιμοποιείται μια τελευταία φορά το πρόγραμμα GPSEST. Σε αυτό το στάδιο δημιουργούνται οι εξισώσεις που θα εξυπηρετήσουν τον χρήστη στο τελική συνόρθωση και άρα τελικό προσδιορισμό των συντεταγμένων.

Να σημειωθεί ότι στην συνέχεια θα παρατεθούν συγκεκριμένα τα αποτελέσματα σε πίνακες για καλύτερη κατανόηση της ποιότητας των αποτελεσμάτων, αλλά και σχήματα τα οποία θα εξηγούν πιο αναλυτικά τις ρυθμίσεις και τις παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν για τις επιλύσεις.

6.5 Διαδικασία επίλυσης του Bernese για PPP

Κατά την διαδικασία επίλυσης με την μέθοδο PPP, χρησιμοποιήθηκαν η καμπάνιες που είχαν ήδη δημιουργηθεί για την επίλυση με την μέθοδο διπλών διαφορών.

1. Προεργασία

- Δημιουργία αρχείων *.smt

Σε αυτό το στάδιο γίνεται η ομαλοποίηση του κώδικα με την βοήθεια των μετρήσεων της φάσης. Αυτό γίνεται διότι σε όλη την επίλυση με PPP θα χρησιμοποιηθούν και οι μετρήσεις φάσης και οι μετρήσεις κώδικα. Οι δύο αυτοί τύποι μετρήσεων έχουν μεγάλες διαφορές ακρίβειας με την φάση να είναι πολύ πιο ακριβής και τον κώδικα να είναι πολύ χειρότερης ακρίβειας. Έτσι υπάρχει αυτή η εξομάλυνση (smoothing) για να μπορούν οι δυο τύποι δεδομένων να είναι πιο συμβατοί μεταξύ τους. Όταν δημιουργηθούν τα smooth δεδομένα κώδικα (.smt) εισάγονται στην καμπάνια.

Να σημειωθεί ότι η ομαλοποίηση των δεδομένων του κώδικα γίνονται για τις περιόδους που για τις μετρήσεις φάσης δεν υπάρχει κάποια απώλεια κύκλων. Για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιούνται συνήθως γραμμικοί συνδυασμοί της L1 και L2 με χαρακτηριστικό μεγάλου μήκους κύματος για να διαχωριστούν με σαφήνεια στις μετρήσεις της φάσης οι περίοδοι στις μετρήσεις όπου υπάρχει απώλεια κύκλου.

- Εισαγωγή χρονομέτρων ακριβείας και συγχρονισμός

Στην λύση με PPP χρησιμοποιούνται αρχεία με διορθώσεις ακριβείας από την IGS σε αντίθεση με την μέθοδο των διπλών διαφορών, στην οποία οι διορθώσεις χρονομέτρων γίνονται με την επεξεργασία του κώδικα. Αυτό γίνεται γιατί όπως έχει τονιστεί η ποιότητα των δεδομένων για τις διορθώσεις χρονομέτρων είναι υψίστης σημασίας στο PPP, στο οποίο δεν εξαλείφονται σφάλματα με την χρησιμοποίηση δυο δεκτών. Τα αρχεία αυτά εισάγονται στους φακέλους της καμπάνιας στον αποθηκευτικό χώρο και έχουν κατάληξη .clk.

- Differential Code Bias και εισαγωγή αρχείων DCB

Να τονισθεί ότι για την διαδικασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν και αρχεία .dcb (differential code bias). Σε μερικούς δέκτες (cross-corellation type) ο κώδικας P2 παράγεται έμμεσα από την συχνότητα C1 (C/A ή coarse coalition) με μαθηματικό τύπο και όχι με μετρημένα δεδομένα. Αυτό δημιουργεί μια απόκλιση από τον πραγματικό κώδικα P2 όπως θα ήταν αν μετρούσαν με RAW δεδομένα πράγμα που καθιστά αναγκαίο να εφαρμοστεί μια διόρθωση για αυτό το φαινόμενο. Με τα αρχεία .dcb πετυχαίνουμε ακριβώς αυτό αφού παρέχουν τις διορθώσεις για συγκεκριμένους δέκτες.

2. GPSEST

Αφού έχουν γίνει οι αναγκαίες προεργασίες για την προετοιμασία της καμπάνιας για την λύση με την μέθοδο PPP τρέχεται κατά τα γνωστά το υποπρόγραμμα GPSEST για να υπολογισθούν οι συντεταγμένες. Το πρόγραμμα τρέχεται τρεις φορές. Πρέπει να σημειωθεί ότι στην λύση με PPP χρησιμοποιείται η συχνότητα L3 που είναι απαλλαγμένη από τα σφάλματα λόγω ιονόσφαιρας. Αυτό προφανώς είναι αναγκαίο γιατί οι μετρήσεις γίνονται με έναν δέκτη και έτσι αυτά στα σφάλματα δεν απαλείφονται. Επίσης χρησιμοποιούνται τα αρχεία κώδικα και τα αρχεία φάσης στην επίλυση σε αντίθεση με τις διπλές διαφορές που χρησιμοποιούνταν μόνοι οι μετρήσεις φάσης στην επίλυση και τα αρχεία κώδικα μόνο στα

αρχικά στάδια για την διόρθωση των χρονομέτρων.

Την πρώτη φορά υπολογίζονται οι διορθώσεις λόγω τροπόσφαιρας και παράγεται το αντίστοιχο αρχείο το οποίο χρησιμοποιείται στο επόμενο τρέξιμο. Την δεύτερη φορά χρησιμοποιείται το πρόγραμμα λαμβάνει υπ' όψιν και τις διορθώσεις που εξηγήθηκαν στην παράγραφο που αφορά τα αρχεία .dcb (differential code bias). Μετά από το δεύτερο τρέξιμο γίνεται μια στατιστική ανάλυση για να διαχωρισθούν οι μετρήσεις με μεγάλα υπόλοιπα και να μην συμπεριληφθούν στην λύση. Και τελικά γίνεται ένα τρίτο τρέξιμο χωρίς τις μετρήσεις με τα μεγάλα υπόλοιπα όπου παράγονται και οι τελικές συντεταγμένες. Το στάδιο επίλυσης ασαφειών φάσης δεν πραγματοποιείται με την μέθοδο PPP γιατί είναι αδύνατο να προσδιορισθούν λόγω του αυξημένου θορύβου που παρουσιάζει η μέθοδος.

6.6 Προβλήματα που Αντιμετωπίσθηκαν

Κατά την επίλυση των δορυφορικών δεδομένων αντιμετωπίσθηκαν κάποια προβλήματα, κάποια από τα οποία ήταν αναμενόμενα ενώ κάποια άλλα όχι, τα οποία ωστόσο μπορούσαν να επιλυθούν με γνωστούς τρόπους. Τα προβλήματα αυτά περιγράφονται επιγραμματικά παρακάτω ενώ πιο συγκεκριμένα στο κεφάλαιο 7 που παρατίθενται τα αποτελέσματα και παρατηρήσεις για αυτά.

Αρχικά για την περίοδο επεξεργασίας τα δεδομένα κάποιων σταθμών δεν ήταν διαθέσιμα και για τους 22 μήνες. Αυτό ήταν αναμενόμενο αφού κάποιοι σταθμοί άρχισαν να λειτουργούν σε χρόνο που ήταν μεταγενέστερος των πρώτων μηνών της επεξεργασίας. Έτσι παρατηρούμε και στα αποτελέσματα αλλά και στις χρονοσειρές ότι κάποια διαστήματα λείπουν κυρίως από τους πρώτου μήνες αλλά σε μερικές περιπτώσεις και ενδιάμεσα αλλά και στο τέλος της περιόδου.

Στην συνέχεια είχαμε κάποια προβλήματα στα αποτελέσματα και πιο συγκεκριμένα στα ποσοστά επίλυσης ασαφειών για τις διπλές διαφορές. Έχει ορισθεί αποδεκτό αποτέλεσμα το να λυθεί το 75 τοις εκατό των ασαφειών τουλάχιστον. Κάποιες βάσεις είχαν ποσοστό επίλυσης άνω του 80 τοις εκατό σταθερά ενώ κάποιες ήταν πιο κοντά στο όριο. Όταν το όριο αυτό κατέβαινε κοντά στο 70 τοις εκατό κάναμε διάφορες διεργασίες με την βοήθεια του προγράμματος, για να αφαιρέσουμε τις μετρήσεις με τα μεγάλα υπόλοιπα, πράγμα αύξανε κατά κάποιες μονάδες το ποσοστό επίλυσης έτσι ώστε να θεωρηθεί αποδεκτό.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η παραπάνω διεργασία κάποιες φορές δεν έδινε κάποιο καλύτερο αποτέλεσμα και σε λίγες περιπτώσεις το ποσοστό ήταν κάτω από το ορισμένο 75 τοις εκατό αλλά πάντα πάνω από 70. Σε αυτές τις περιπτώσεις έγινε αποδεκτό το τελευταίο ποσοστό.

Σε μια περίπτωση που η επίλυση ασαφειών δεν έφτασε ούτε το δεύτερο έπρεπε να εισάγουμε στην λύση μας μοντέλο ιονόσφαιρας. Γενικά για τις αποστάσεις των βάσεων του δικτύου κάτι τέτοιο δεν είναι αναγκαίο, ωστόσο η εισαγωγή του μοντέλου της ιονόσφαιρας βελτίωσε αισθητά το αποτέλεσμα για την βάση αυτή και κρίθηκε αναγκαίο το να συμπεριληφθεί στην λύση. Το φαινόμενο έλαβε χώρα σε μια μόνο περίπτωση και αναφέρεται και στο επόμενο κεφάλαιο με τα αποτελέσματα.

Τέλος κατά την κατασκευή των χρονοσειρών παρατηρήθηκαν κάποιες ανωμαλίες. Αρχικά στις διπλές διαφορές, στον άξονα των υψομέτρων των τοπικών μοντέλων (Up-DU) παρατηρούνται σταθερά πιο ασταθή αποτελέσματα από τα αντίστοιχου της οριζοντιογραφίας (North-DN, East-DE). Αυτό γιατί συμβαίνει ως επί το πλείστον κρίνεται ότι είναι ένα φυσιολογικό αποτέλεσμα. Στις χρονοσειρές του απόλυτου προσδιορισμού τα

διαγράμματα των υψομέτρων είναι επίσης πιο ασταθή και μάλιστα με πιο έντονο χαρακτήρα. Τα αποτελέσματα κρίνονται και πάλι φυσιολογικά, και είναι ένδειξη της μειωμένης ακρίβειας του απόλυτου προσδιορισμού στα υψόμετρα.

Στους άξονες της οριζοντιογραφίας τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά, εκτός ελαχίστων περιπτώσεων που κάποιες ημέρες για μερικούς σταθμούς έχουν μεγαλύτερο του φυσιολογικού σφάλματος. Δηλαδή για κάποιες ημέρες η επίλυση δεν είναι ικανοποιητική. Όμως λόγω της γενικότερης σταθερότητας και ακρίβειας των λύσεων, κρίνεται ότι αυτές είναι μεμονωμένες περιπτώσεις και εν πάσει περιπτώσει, σε μετρήσεις με πιο πυκνό δείγμα αυτές οι λύσεις θα μπορούσαν να αφαιρεθούν τελείως και η κλίση των χρονοσειρών να ήταν πολύ πιο ομαλή χωρίς αυτά.

7.1 Αποτελέσματα Διπλών Διαφορών

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα της επίλυσης των δεδομένων με την μέθοδο την διπλών διαφορών. Δίνονται πληροφορίες σχετικά με την επίλυση όπως η βάσεις και τα ποσοστά επίλυσης ασαφειών για κάθε ημέρα επίλυσης. Επίσης δίνονται οι τελικές συντεταγμένες για τα σημεία του εσωτερικού δικτύου της Σαντορίνης μετά την εκάστοτε τελική συνόρθωση καθώς και σχόλια για τυχόν προβλήματα που υπήρχαν και πως διορθώθηκαν.

- *Ημέρα 1*

Day 1			
Bases	Distance km (approx)	Unresolved Ambiguities	Resolution Rate % (approx)
AUT1-LARM	118	28/112	75
AUT1-LEMN	199	25/114	78
KATC-NOMI	217	16/83	80
KERA-NOA1	223	12/99	88
KERA-PKMN	4	0	100
LARM-NOA1	216	20/101	76
LEMN-PRKV	118	29/101	76
NOMI-PKMN	5	0	100
PKMN-SNTR	5	0	100
SNTR-TUC2	148	16/91	82

Πίνακας 7.1: Οι βάσεις της πρώτης ημέρας επίλυσης
First day's solved bases

Την πρώτη μέρα όλες οι ασάφειες φάσεις λύθηκαν με ποσοστό επιτυχίας πάνω από 75% και δεν χρειάστηκε να ρυθμιστεί η λύση περαιτέρω. Οι τελικές συντεταγμένες για τα σημεία της Σαντορίνης που συμμετείχαν είναι οι εξής:

Day 1	June 15th 2011		
SNTR	4647218,331	2202396,685	3760306,863
NOMI	4640783,424	2206447,601	3766127,172
PKMN	4643869,055	2203539,565	3763744,226
KERA	4644059,302	2200009,784	3765747,450

Πίνακας 7.2: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της πρώτης ημέρας
First day solution coordinates

- *Ημέρα 2*

Day 2			
Bases	Distance km (approx)	Unresolved Ambiguities	Resolution Rate % (approx)
AUT1-LARM	118	28/112	75
AUT1-LEMN	199	22/109	80
KATC-NOMI	218	9/81	89
KERA-NOA1	223	22/99	78
KERA-PKMN	4	1/89	98
LARM-NOA1	216	30/114	71->74
LEMN-PRKV	118	30/109	72
NOMI-PKMN	5	0	100
PKMN-SNTR	5	1/90	98
SNTR-TUC2	148	16/95	83

Πίνακας 7.3: Οι βάσεις της δεύτερης ημέρας επίλυσης
Second day's solved bases

Παρατηρούμε ότι στη βάση ανάμεσα στους σταθμούς της Λάρισας και της Αθήνας (LARM-NOA1) είχαμε στην αρχή ποσοστό επιτυχίας 71% το οποίο δεν δεχτήκαμε. Για να πετύχουμε κοντά στο 75% κάναμε μια απλή αφαίρεση των παρατηρήσεων με μεγάλα υπόλοιπα και τελικά προέκυψε ποσοστό επιτυχίας 74%. Το ίδιο κάναμε και στην βάση ανάμεσα στους σταθμούς στην Λήμνο και την Ρόδο (LEMN-PRKV) αλλά δεν υπήρξε βελτίωση. Τελικά οι συντεταγμένες προέκυψαν ως εξής:

Day 2	July 15th 2011		
SNTR	4647218,339	2202396,689	3760306,863
KERA	4644059,315	2200009,785	3765747,455
NOMI	4640783,424	2206447,609	3766127,176
PKMN	4643869,068	2203539,568	3763744,229

Πίνακας 7.4: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της δεύτερης ημέρας
Second day solution coordinates

- *Ημέρα 3*

Day 3 Bases	Distance km (approx)	Unresolved Ambiguities	Resolution Rate % (approx)
AUT1-LARM	118	24/118	78
AUT1-LEMN	199	26/108	76
DSLN-NOMI	5	1/90	98
DSLN-NOA1	222	18/101	82
KATC-WNRY	216	12/101	88
KERA-PKMN	4	0	100
LARM-NOA1	216	22/101	78
NOMI-WNRY	4	0	100
PKMN-SNTR	5	0	100
PKMN-WNRY	4	1/51	98
SNTR-TUC2	147	12/87	86

Πίνακας 7.5: Οι βάσεις της τρίτης μέρας επίλυσης
Third day's solved bases

Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει κάποια πρόβλημα με τις ασάφειες επομένως με την παραπάνω επίλυση έχουμε συντεταγμένες:

Day 3	August 15th 2011		
SNTR	4647218,320	2202396,678	3760306,841
NOMI	4640783,382	2206447,594	3766127,139
PKMN	4643869,047	2203539,560	3763744,202
WNRY	4642530,738	2208076,494	3763086,989
DSLN	4639882,109	2202109,170	3769559,619
KERA	4644059,285	2200009,762	3765747,426

Πίνακας 7.6: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της τρίτης μέρας
Third day solution coordinates

- *Ημέρα 4*

Day 4 Bases	Distance km (approx)	Unresolved Ambiguities	Resolution Rate % (approx)
AUT1-LARM	118	20/108	81
AUT1-LEMN	199	24/107	78
DSLN-MOZI	3	1/106	99
DSLN-RIBA	4	0	100
KATC-WNRY	216	6/91	93
KERA-PKMN	4	0	100
KERA-RIBA	4	1/89	98
LARM-NOA1	216	28/111	75
LEMN-PRKV	117	16/91	82
MOZI-NOMI	4	0	100
NOMI-WNRY	4	0	100
NOA1-RIBA	220	16/101	84
PKMN-SNTR	5	0	100
SNTR-TUC2	147	12/95	87

Πίνακας 7.7: Οι βάσεις της τέταρτης ημέρας επίλυσης
Fourth day's solved bases

Ούτε στην τέταρτη μέρα υπάρχει κάποιο πρόβλημα. Συνεπώς:

Day 4	September 15th 2011		
SNTR	4647218,319	2202396,678	3760306,837
DSLN	4639882,104	2202109,171	3769559,617
KERA	4644059,288	2200009,761	3765747,424
MOZI	4639049,219	2204980,213	3769175,762
NOMI	4640783,383	2206447,601	3766127,140
PKMN	4643869,049	2203539,561	3763744,198
RIBA	4641874,588	2198523,562	3768942,470
WNRY	4642530,741	2208076,500	3763086,988

Πίνακας 7.8: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της τέταρτης ημέρας
Fourth day solution coordinates

- *Ημέρα 5*

Κατά την επίλυση των δεδομένων της τέταρτης ημέρας παρατηρήθηκε ότι οι ασάφειες φάσεις είχαν σχετικά χαμηλά ποσοστά, και δεν μπορούσαν να διορθωθούν με τα υπόλοιπα ή την εισαγωγή μοντέλου ιονόσφαιρας. Δοκιμάστηκε να επιλυθεί η ημέρα χωρίς κάποιον από τους σταθμούς του εξωτερικού δικτύου. Αφαιρέθηκε ο σταθμός της Κρήτης (TUC2) και έχουμε την επίλυση:

Day 5			
Bases	Distance km (approx)	Unresolved Ambiguities	Resolution Rate % (approx)
AUT1-LARM	118	20/110	81
AUT1-LEMN	199	24/107	77
DSLN-MOZI	3	1/100	99
DSLN-RIBA	4	1/103	99
KERA-PKMN	4	2/91	98
KERA-RIBA	4	2/93	97
LARM-NOA1	216	30/123	75
LEMN-PRKV	117	10/97	89
NOA1-RIBA	220	22/115	80
PKMN-SNTR	5	0	100
PKMN-WNRY	5	2/93	97

Πίνακας 7.9: Οι βάσεις της πέμπτης ημέρας επίλυσης
Fifth day's solved bases

Και με συντεταγμένες:

Day 5	October 15th 2011		
SNTR	4647218,421	2202396,616	3760306,739
DSLN	4639882,102	2202109,173	3769559,624
KERA	4644059,294	2200009,757	3765747,426
MOZI	4639049,214	2204980,216	3769175,762
PKMN	4643869,057	2203539,566	3763744,197
RIBA	4641874,596	2198523,560	3768942,478
WNRY	4642530,734	2208076,500	3763086,980

Πίνακας 7.10: Οι συντεταγμένες της επίλυσης τηςπέμπτης ημέρας
Fifth day solution coordinates

- *Ημέρα 6*

Day 6			
Bases	Distance km (approx)	Unresolved Ambiguities	Resolution Rate % (approx)
AUT1-LARM	118	22/138	84
AUT1-LEMN	199	24/105	77
KATC-NOMI	217	8/87	90
KERA-PKMN	4	0	100
KERA-RIBA	4	2/91	98
LARM-NOA1	216	34/151	77
LEMN-PRKV	117	8/93	91
MOZI-NOMI	4	0	100
NOMI-PKMN	5	1/89	99
NOA1-RIBA	220	30/127	76
PKMN-SNTR	5	0	100
SNTR-TUC2	147	20/91	78

Πίνακας 7.11: Οι βάσεις της έκτης ημέρας επίλυσης
Sixth day's solved bases

Day 6	November 15th 2011		
SNTR	4647218,339	2202396,689	3760306,843
KERA	4644059,319	2200009,763	3765747,441
MOZI	4639049,236	2204980,235	3769175,786
NOMI	4640783,402	2206447,627	3766127,157
PKMN	4643869,078	2203539,576	3763744,204
RIBA	4641874,605	2198523,562	3768942,486

Πίνακας 7.12: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της έκτης ημέρας
Sixth day solution coordinates

Δεν υπήρξε κάποιο πρόβλημα με την έκτη ημέρα.

- *Ημέρα 7*

Κατά την επίλυση της έβδομης ημέρας που ήταν η 15η Νοεμβρίου παρατηρήσαμε μια συνέχεια σε μέτρια αποτελέσματα που πολλές φορές περιείχαν πολλές άλυτες ασάφειες. Τα αποτελέσματα δεν ήταν οριακά, και θεωρήθηκε ότι υπήρξε κάποιο σφάλμα στα δεδομένα. Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα λύθηκε η επόμενη ημερολογιακή ημέρα, δηλαδή η 16η Νοεμβρίου. Θεωρήθηκε για τις χρονοσειρές διαστήματος 22 μηνών με βήμα ενός μήνα, μια μέρα ήταν αμελητέα και δεν θα επηρέαζε το αποτέλεσμα. Έτσι η έβδομη μέρα επίλυσης θεωρήθηκε η 16ή Νοεμβρίου.

Day 7 Bases	Distance km (approx)	Unresolved Ambiguities	Resolution Rate % (approx)
AUT1-LARM	118	32/116	72
AUT1-LEMN	199	24/105	77
DSLN-MOZI	3	5/102	95
DSLN-RIBA	4	2/101	98
KATC-NOMI	217	10/87	89
KERA-PKMN	4	0	100
KERA-RIBA	4	1/89	99
LARM-NOA1	216	32/117	73
LEMN-PRKV	177	10/89	89
MOZI-NOMI	4	0	100
NOA1-RIBA	220	30/117	74
PKMN-SNTR	5	2/89	98
SNTR-TUC2	147	22/91	76

Πίνακας 7.13: Οι βάσεις της έβδομης ημέρας
Seventh day's solved bases

Οι συντεταγμένες:

Day 7	December 16th 2011		
SNTR	4647218,329	2202396,688	3760306,841
RIBA	4641874,593	2198523,554	3768942,487
NOMI	4640783,415	2206447,648	3766127,176
PKMN	4643869,082	2203539,581	3763744,206
MOZI	4639049,246	2204980,253	3769175,814
KERA	4644059,326	2200009,765	3765747,451
DSLN	4639882,109	2202109,186	3769559,657

Πίνακας 7.14: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της έβδομης ημέρας
Secenth day soltuion coordinates

Για λόγους συντομίας και επειδή στις ημέρες επίλυσης 8, 9, 10 και 11 δεν υπήρξε κάποιο πρόβλημα παρατίθενται οι πίνακες των αποτελεσμάτων χωρίς περαιτέρω σχολιασμό.

- Ημέρες 8, 9, 10, 11

Day 8			
Bases	Distance km (approx)	Unresolved Ambiguities	Resolution Rate % (approx)
AUT1-LARM	118	20/114	82
AUT1-LEMN	199	23/113	79
DSLN-MOZI	3	0	100
DSLN-RIBA	4	0	100
KATC-WNRY	216	8/97	91
KERA-PKMN	4	0	100
KERA-RIBA	4	0	100
LEMN-PRKV	117	13/105	87
MKMN-PKMN	2	0	100
MKMN-WNRY	4	0	100
MOZI-PRKV	318	6/37	83
PKMN-SNTR	5	0	100
SNTR-TUC2	147	10/94	89

Πίνακας 7.15: Οι βάσεις της όγδοης ημέρας
Eighth days solved bases

Day 9			
Bases	Distance km (approx)	Unresolved Ambiguities	Resolution Rate % (approx)
AUT1-LARM	118	16/104	85
AUT1-LEMN	199	14/103	86
KATC-WNRY	216	20/117	83
KERA-PKMN	4	0	100
KERA-RIBA	4	2/93	98
KERA-TUC2	151	12/89	87
LARM-NOA1	216	28/113	75
LEMN-PRKV	117	18/103	83
MKMN-NOMI	3	0	100
MKMN-PKMN	2	0	100
MOZI-NOMI	4	0	100
NOMI-WNRY	4	2/117	98
NOA1-RIBA	216	20/105	81

Πίνακας 7.16: Οι βάσεις της ένατης ημέρας
Ninth day's solved bases

Day 10			
Bases	Distance km (approx)	Unresolved Ambiguities	Resolution Rate % (approx)
AUT1-LARM	118	18/112	84
AUT1-LEMN	199	18/103	83
KATC-WNRY	216	10/95	89
KERA-PKMN	4	0	100
KERA-RIBA	4	0	100
LARM-NOA1	216	26/133	80
LEMN-PRKV	117	6/95	94
MKMN-NOMI	3	2/93	98
MKMN-PKMN	2	0	100
MOZI-NOMI	4	0	100
NOMI-WNRY	4	2/99	8
NOA1-RIBA	220	28/135	79
PKMN-SNTR	5	0	100
SNTR-TUC2	147	14/85	84

Πίνακας 7.17: Οι βάσεις της δέκατης ημέρας
Tenth day's solved bases

Day 11			
Bases	Distance km (approx)	Unresolved Ambiguities	Resolution Rate % (approx)
AUT1-LARM	118	27/116	77
AUT1-LEMN	199	22/111	80
KATC-WNRY	216	10/97	90
KERA-PKMN	4	0	100
KERA-RIBA	4	1/89	98
LARM-NOA1	210	28/117	76
LEMN-PRKV	117	10/99	90
MKMN-NOMI	3	4/109	96
MKMN-PKMN	2	0	100
MOZI-NOMI	4	2/111	98
NOMI-WNRY	4	0	100
NOA1-RIBA	220	20/107	81
PKMN-SNTR	5	0	100
SNTR-TUC2	147	10/35	71

Πίνακας 7.18: Οι βάσεις της ενδέκατης ημέρας
Eleventh day's solved bases

Αντίστοιχα οι συντεταγμένες:

Day 8	January 15th 2012		
SNTR	4647218,366	2202396,696	3760306,857
WNRY	4642530,787	2208076,539	3763087,017
RIBA	4641874,628	2198523,556	3768942,514
MKMN	4642463,047	2204528,627	3764821,783
MOZI	4639049,244	2204980,251	3769175,818
PKMN	4643869,115	2203539,588	3763744,219
KERA	4644059,353	2200009,757	3765747,463
DSLN	4639882,132	2202109,191	3769559,686

Πίνακας 7.19: Οι συντεταγμένες τηε επίλυσης της όγδοης ημέρας
Eigthh day solution coordinates

Day 9	February 15th 2012		
SNTR	4647218,352	2202396,690	3760306,843
WNRY	4642530,774	2208076,537	3763087,004
RIBA	4641874,614	2198523,544	3768942,502
NOMI	4640783,408	2206447,652	3766127,170
PKMN	4643869,105	2203539,582	3763744,200
MKMN	4642463,037	2204528,623	3764821,767
KERA	4644059,344	2200009,746	3765747,449
MOZI	4639049,232	2204980,250	3769175,812

Πίνακας 7.20: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της ένατης ημέρας
Ninth day solution coordinates

Day 10	March 15th 2012		
SNTR	4647218,348	2202396,687	3760306,829
WNRY	4642530,768	2208076,539	3763086,989
RIBA	4641874,614	2198523,543	3768942,501
NOMI	4640783,405	2206447,658	3766127,163
PKMN	4643869,104	2203539,584	3763744,192
MKMN	4642463,036	2204528,630	3764821,759
MOZI	4639049,224	2204980,254	3769175,807
KERA	4644059,346	2200009,744	3765747,443

Πίνακας 7.21: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της δέκατης ημέρας
Tenth day solution coordinates

Day 11	April 15th 2012		
SNTR	4647218,344	2202396,684	3760306,818
WNRY	4642530,759	2208076,541	3763086,978
RIBA	4641874,609	2198523,539	3768942,497
NOMI	4640783,396	2206447,659	3766127,153
PKMN	4643869,104	2203539,585	3763744,182
MKMN	4642463,036	2204528,632	3764821,753
MOZI	4639049,217	2204980,251	3769175,800
KERA	4644059,338	2200009,738	3765747,431

Πίνακας 7.22: οι συντεταγμένες της επίλυσης τηε ενδέκατης ημέρας
Elevent day solution coordinates

- *Ημέρα 12*

Κατά την επίλυση της 12ης ημέρας των δεδομένων τα ποσοστά επίλυσης ασαφειών φάσης ήταν σε καλά επίπεδα εκτός από την βάση ανάμεσα στην Λήμνο και στην Αθήνα (LEMN-NOA1). Το ποσοστό επίλυσης ασαφειών φάσης ήταν 69% σε καμία περίπτωση αποδεκτό για την ακρίβεια που απαιτείται για την εργασία. Η εξαίρεση των μετρήσεων με μεγάλα υπόλοιπα δεν βοήθησε στο να αυξηθεί το ποσοστό επίλυσης.

Τελικά χρησιμοποιήσαμε ιονοσφαιρικό μοντέλο. Γενικά ιονοσφαιρικό μοντέλο δεν χρειάζεται για βάσεις κάτω από 300-400 χιλιόμετρα. Σε κάποιες περιπτώσεις όμως όταν η ιονόσφαιρα αλλάζει απότομα σε ένα μικρό σχετικά χρονικό διάστημα μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα στις μετρήσεις τέτοιο ώστε να επηρεάζει την επίλυση. Όπως υποθετικά γίνεται στην δική μας περίπτωση.

Να σημειωθεί ότι στη βάση ανάμεσα στην Θεσσαλονίκη και στην Λήμνο (AUT1-LEMN) δεχθήκαμε το ποσοστό επίλυσης 71% γιατί δεν διορθωνόταν. Παρατηρούμε ότι η Λήμνος συμμετέχει και στις δυο βάσεις που υπήρξε χαμηλότερου του αναμενόμενου ποσοστό επίλυσης, και άρα υποθέτουμε ότι θα συνέβαινε κάποιο ατμοσφαιρικό φαινόμενο στην περιοχή που εν μέρει απαλείφθηκε με την χρησιμοποίηση ιονοσφαιρικού μοντέλου.

Τα αποτελέσματα επομένως είναι:

Day 12			
Bases	Distance km (approx)	Unresolved Ambiguities	Resolution Rate % (approx)
AUT1-LEMN	199	34/118	71
DSLN-MOZI	3	4/66	94
KATC-WNRY	216	8/37	78
KERA-PKMN	4	4/99	96
KERA-RIBA	4	2/97	98
KERA-TUC2	151	14/95	85
LEMN-NOA1	234	36/140	69->74
LEMN-PRKV	117	24/111	78
MKMN-NOMI	3	2/95	98
MKMN-PKMN	2	0	100
MOZI-NOMI	4	8/97	98
NOMI-WNRY	4	0	100
NOA1-RIBA	220	28/121	77

Πίνακας 7.23: Οι βάσεις της δωδέκατης ημέρας
Twelvth day's solved bases

Ενώ οι συντεταγμένες:

Day 12	May 15th 2012		
SNTR	4647218,356	2202396,692	3760306,830
WNRY	4642530,771	2208076,539	3763086,982
RIBA	4641874,621	2198523,537	3768942,500
NOMI	4640783,407	2206447,661	3766127,157
PKMN	4643869,116	2203539,584	3763744,183
MKMN	4642463,049	2204528,634	3764821,755
MOZI	4639049,224	2204980,249	3769175,801
KERA	4644059,347	2200009,734	3765747,431
DSLN	4639882,110	2202109,182	3769559,674

Πίνακας 7.24: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της δωδέκατης ημέρας
Twelvth day soltuion coordinates

- *Ημέρα 13, 14*

Για λόγους συντομίας και μιας και οι επόμενες μέρες δεν παρουσίασαν κάποια ανωμαλία στην επίλυση, τα αποτελέσματα παρατίθενται μαζί και χωρίς περαιτέρω σχόλια. Τα αποτελέσματα και τις ημέρες 13 και 14 είναι τα εξής:

Day 13			
Bases	Distance km (approx)	Unresolved Ambiguities	Resolution Rate % (approx)
AUT1-LARM	118	25/116	78
AUT1-LEMN	199	18/107	83
KATC-WNRY	216	10/99	90
KERA-PKMN	4	0	100
KERA-RIBA	4	2/95	98
KERA-TUC2	151	14/95	85
LARM-NOA1	216	28/115	76
LEMN-PRKV	117	6/97	94
MKMN-NOMI	3	1/95	99
MKMN-PKMN	2	0	100
MOZI-NOMI	4	0	100
NOMI-WNRY	4	0	100
NOA1-RIBA	220	18/105	83

Πίνακας 7.25: Οι βάσεις της δέκατης τρίτης ημέρας
Thirteen day's solved bases

Day 14			
Bases	Distance km (approx)	Unresolved Ambiguities	Resolution Rate % (approx)
AUT1-LARM	118	29/118	75
AUT1-LEMN	199	18/117	76
KATC-WNRY	216	12/93	87
KERA-PKMN	4	2/110	98
KERA-RIBA	4	2/99	98
KERA-TUC2	151	14/95	85
LARM-NOA1	216	28/115	76
LEMN-PRKV	117	14/107	87
MKMN-NOMI	3	2/97	98
MKMN-PKMN	2	0	100
MOZI-NOMI	4	0	100
NOMI-WNRY	4	2/101	98
NOA1-RIBA	220	18/105	83

Πίνακας 7.26: Οι βάσεις της δέκατης τέταρτης ημέρας
Fourtheenth day's solved bases

Day 13	June 15th 2012		
SNTR	4647218,358	2202396,694	3760306,828
WNRY	4642530,769	2208076,542	3763086,978
RIBA	4641874,628	2198523,541	3768942,508
NOMI	4640783,404	2206447,664	3766127,159
PKMN	4643869,120	2203539,588	3763744,188
MKMN	4642463,054	2204528,641	3764821,759
MOZI	4639049,221	2204980,255	3769175,804
KERA	4644059,354	2200009,734	3765747,438

Πίνακας 7.27: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της δέκατης τρίτης ημέρας
Thirtheenth day solution coordinates

Day 14	July 15th 2012		
SNTR	4647218,362	2202396,698	3760306,826
WNRY	4642530,766	2208076,546	3763086,974
RIBA	4641874,622	2198523,544	3768942,501
NOMI	4640783,397	2206447,668	3766127,154
PKMN	4643869,114	2203539,590	3763744,180
MKMN	4642463,044	2204528,640	3764821,750
MOZI	4639049,214	2204980,256	3769175,798
KERA	4644059,344	2200009,733	3765747,430

Πίνακας 7.28: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της δέκατης τέταρτης ημέρας
Fouurtheen day solution coordinates

- *Ημέρα 15*

Κατά την επίλυση της 15ης μέρας παρατηρήσαμε ότι ο σταθμός της Θεσσαλονίκης (AUT1) δημιουργούσε αστάθεια στην λύση δημιουργώντας υψηλά ποσοστά μη επιλυμένων ασαφειών στην αντίστοιχες βάσης με την Λάρισα και την Λήμνο (LARM και LEMN αντίστοιχα). Τα ποσοστά ήταν κάτω από 70% και δεν τα δεχτήκαμε. Επίσης τα ποσοστά δεν διορθώνονταν με καμία μέθοδο από αυτές που χρησιμοποιούμε.

Εφόσον η Θεσσαλονίκη είναι εξωτερικός σταθμός και δεν βρίσκεται στο δίκτυο που μας ενδιαφέρει, προτιμήσαμε να μην την εισάγουμε καθόλου στην λύση της 15ης ημέρας για να πάρουμε καλύτερα ποσοστά επίλυσης ασαφειών για την λύση στο σύνολο της. Επομένως τα αποτελέσματα για την 15η μέρα χωρίς την Θεσσαλονίκη, για την τελική λύση μας δηλαδή είναι:

Day 15			
Bases	Distance km (approx)	Unresolved Ambiguities	Resolution Rate % (approx)
KATC-WNRY	216	12/86	86
KERA-PKMN	4	2/106	98
KERA-RIBA	4	3/99	97
KERA-TUC2	151	18/97	81
LARM-NOA1	216	28/111	75
LEMN-NOA1	234	26/111	77
LEMN-PRKV	117	20/103	87
MKMN-NOMI	3	2/97	98
MKMN-PKMN	2	2/103	98
MOZI-NOMI	4	0	100
NOMI-WNRY	4	0	100
NOA1-RIBA	220	16/113	86

Πίνακας 7.29: Οι βάσεις της δέκατης πέμπτης ημέρας
Fifteenth day's solved bases

Και οι συντεταγμένες:

Day 15	August 15th 2012		
SNTR	4647218,362	2202396,698	3760306,826
WNRY	4642530,771	2208076,550	3763086,975
RIBA	4641874,626	2198523,546	3768942,502
NOMI	4640783,404	2206447,672	3766127,155
PKMN	4643869,116	2203539,592	3763744,178
MKMN	4642463,049	2204528,645	3764821,747
MOZI	4639049,220	2204980,261	3769175,801
KERA	4644059,352	2200009,739	3765747,433

Πίνακας 7.30: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της δέκατης πέμπτης ημέρας
Fifteenth day solution coordinates

- *Ημέρα 16*

Day 16			
Bases	Distance km (approx)	Unresolved Ambiguities	Resolution Rate % (approx)
AUT1-LARM	118	30/116	74
AUT1-LEMN	199	26/113	77
KATC-WNRY	216	10/99	90
KERA-PKMN	4	0	100
KERA-RIBA	4	2/97	98
KERA-TUC2	151	8/93	91
LARM-NOA1	216	22/113	80
LEMN-PRKV	117	10/99	90
MKMN-NOMI	3	1/95	99
MKMN-PKMN	2	2/95	98
MOZI-NOMI	4	1/95	99
NOMI-WNRY	4	0	100
NOA1-RIBA	220	10/105	99

Πίνακας 7.31: Οι βάσεις της δέκατης έκτης ημέρας
Sixteenth day's solved bases

Παρατηρούμε ότι η βάση ανάμεσα στην Θεσσαλονίκη και την Λάρισα, έχει ποσοστό επίλυσης 74%. Το ποσοστό αυτό δεν μπορούσε να γίνει καλύτερο αλλά το δεχθήκαμε χωρίς καμία περαιτέρω ενέργεια. Οι συντεταγμένες επομένως είναι:

Day 16	Semptember 15th 2012		
SNTR	4647218,295	2202396,663	3760306,874
WNRY	4642530,775	2208076,547	3763086,971
RIBA	4641874,637	2198523,550	3768942,507
NOMI	4640783,411	2206447,670	3766127,152
PKMN	4643869,124	2203539,598	3763744,181
MKMN	4642463,051	2204528,648	3764821,750
MOZI	4639049,227	2204980,262	3769175,800
KERA	4644059,359	2200009,739	3765747,434

Πίνακας 7.32: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της δέκατης έκτης ημέρας
Sixteenth day solution coordinates

- *Ημέρα 17*

Από τον Οκτώβριο του 2012 το IGS08 άλλαξε σε IGB08. Περισσότερες λεπτομέρειες αναφέρονται στο κεφάλαιο με τα δίκτυα. Πέρα από αυτήν την αλλαγή δεν υπήρξε κάποια περιπλοκή στην επίλυση της 17ης ημέρας.

Day 17			
Bases	Distance km (approx)	Unresolved Ambiguities	Resolution Rate % (approx)
AUT1-LARM	118	30/118	75
AUT1-LEMN	199	22/109	80
DSLN-MOZI	3	2/102	98
DSLN-RIBA	4	0	10
KATC-WNRY	216	14/101	86
KERA-PKMN	4	2/95	98
KERA-RIBA	4	2/89	98
KERA-TUC2	151	8/91	91
LARM-NOA1	216	20/103	81
LEMN-PRKV	117	14/99	86
MOZI-NOMI	4	0	100
NOMI-WNRY	4	0	100
NOA1-RIBA	220	12/97	88

Πίνακας 7.33: Οι βάσεις της δέκατης έβδομης ημέρας
Seventheenth day's solved bases

Και οι συντεταγμένες:

Day 17	October 15th 2012		
SNTR	1,000	2202396,663	3760306,874
WNRY	4642530,767	2208076,550	3763086,970
RIBA	4641874,626	2198523,548	3768942,499
NOMI	4640783,403	2206447,673	3766127,152
PKMN	4643869,114	2203539,592	3763744,175
MOZI	4639049,217	2204980,262	3769175,797
KERA	4644059,348	2200009,736	3765747,429
DSLN	4639882,113	2202109,189	3769559,678

Πίνακας 7.34: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της δέκατης έβδομης ημέρας
Seventeenth day solution coordinates

- *Ημέρα 18*

Κατά την επίλυση της ημέρας αυτής την 15η Νοεμβρίου 2012 υπήρχε πρόβλημα με τα δεδομένα και δεν επιλυόταν καμία ασάφεια. Βέβαια το πρόβλημα δεν μπορούσε να βελτιωθεί κάπως και έτσι πήγαμε στην επόμενη μέρα, την 16η Νοεμβρίου. Είναι η δεύτερη και τελευταία περίπτωση που πήραμε την επόμενη μέρα λόγω προβληματικών δεδομένων, και θεωρούμε ότι οι χρονοσειρές δεν επηρεάζονται. Την 16η Νοεμβρίου η λύση δεν είχε κάποιο πρόβλημα και τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

Day 18 Bases	Distance km (approx)	Unresolved Ambiguities	Resolution Rate % (approx)
AUT1-LARM	118	28/128	78
AUT1-LEMN	199	20/103	80
DSLN-MOZI	3	2/96	98
DSLN-RIBA	4	0	100
KATC-WNRY	216	8/91	91
KERA-PKMN	4	0	100
KERA-RIBA	4	3/91	97
KERA-TUC2	151	8/89	91
LARM-NOA1	216	23/121	81
LEMN-PRKV	117	8/93	91
MOZI-NOMI	4	2/93	98
NOMI-WNRY	4	2/93	98
NOA1-RIBA	220	18/107	83

Πίνακας 7.35: Οι βάσεις της δέκατης όγδοης ημέρας
Eighteenth day's solved bases

Με συντεταγμένες:

Day 18	November 16th 2012		
SNTR	4647218,295	2202396,663	3760306,874
WNRY	4642530,780	2208076,557	3763086,980
RIBA	4641874,630	2198523,552	3768942,506
NOMI	4640783,412	2206447,680	3766127,160
PKMN	4643869,126	2203539,602	3763744,187
MOZI	4639049,226	2204980,269	3769175,807
KERA	4644059,360	2200009,745	3765747,440
DSLN	4639882,122	2202109,198	3769559,686

Πίνακας 7.36: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της δέκατης όγδοης ημέρας
Eighteenth day solution coordinates

- *Ημέρα 19*

Την 19η ημέρα ο μόνος προβληματισμός που αντιμετωπίσθηκε είναι ότι δεν υπήρχαν τα δεδομένα της τελικής επίλυσης του Εργαστηρίου. Αυτά τα δεδομένα προκύπτουν μετά από 20 μέρες περίπου και για την συγκεκριμένη μέρα δεν ήταν διαθέσιμα. Χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα της πρώτης επίλυσης (fast rapid) τα οποία είναι ικανοποιητικής ακριβείας αλλά όχι τα ακριβέστερα που θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε. Όμως κρίθηκαν ικανοποιητικά παρ' όλα αυτά. Και όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα τα ποσοστά επίλυσης ασαφειών φάσης είναι σε αρκετά ικανοποιητικά επίπεδα με ποσοστά πάνω από 80% σε κάθε περίπτωση.

Επομένως τα αποτελέσματα είναι τα εξής:

Day 19			
Bases	Distance km (approx)	Unresolved Ambiguities	Resolution Rate % (approx)
AUT1-LARM	118	20/98	80
AUT1-LEMN	199	18/107	83
DSLN-MOZI	3	1/106	99
DSLN-NOA1	222	16/105	85
KERA-PKMN	4	1/93	99
KERA-TUC2	151	6/89	93
LARM-NOA1	216	20/101	80
LEMN-PRKV	117	4/91	96
MOZI-NOMI	4	1/65	98
NOMI-WNRY	4	0	100
PKMN-WNRY	5	2/97	98

Πίνακας 7.37: Οι βάσεις της δέκατης ένατης ημέρας
Nineteenth day's solved bases

Και οι συντεταγμένες:

Day 19	December 15th 2012		
SNTR	4647218,295	2202396,663	3760306,874
WNRY	4642530,783	2208076,560	3763086,982
NOMI	4640783,418	2206447,683	3766127,164
PKMN	4643869,130	2203539,601	3763744,187
DSLN	4639882,125	2202109,194	3769559,685
KERA	4644059,369	2200009,748	3765747,444
MOZI	4639049,234	2204980,270	3769175,809

Πίνακας 7.38: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της δέκατης ένατης ημέρας
Ninteenth day solution coordinates

- *Ημέρα 20*

Στην 20η ημέρα μπήκαμε σε ημερομηνίες του 2013. Έπρεπε να κατεβάσουμε τα αρχεία για τις τροχιές του 2013 που δεν υπήρχαν στον υπολογιστή του εργαστηρίου. Τα αποτελέσματα της 20ης ημέρας (15 Ιανουαρίου 2013) είναι τα εξής:

Day 20			
Bases	Distance km (approx)	Unresolved Ambiguities	Resolution Rate % (approx)
AUT1-LARM	118	26/118	78
AUT1-LEMN	199	16/109	85
DSLN-KERA	6	3/110	97
DSLN-MOZI	3	2/111	98
DSLN-NOA1	222	26/119	78
KERA-PKMN	4	0	100
KERA-TUC2	151	8/93	91
LARM-NOA1	216	18/109	83
LEMN-PRKV	117	10/101	90
PKMN-WNRY	5	0	100

Πίνακας 7.39: Οι βάσεις της εικοστής ημέρας
Twentieth day's solved bases

Ενώ οι συντεταγμένες:

Day 20	January 15th 2013		
SNTR	4647218,295	2202396,663	3760306,874
WNRY	4642530,790	2208076,560	3763086,990
PKMN	4643869,132	2203539,601	3763744,189
MOZI	4639049,240	2204980,272	3769175,814
DSLN	4639882,129	2202109,195	3769559,688
KERA	4644059,367	2200009,748	3765747,444

Πίνακας 7.40: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της εικοστής ημέρας
Twentieth day solution coordinates

- *Ημέρα 21*

Δεν υπήρξε κάποια ανωμαλία στην 21η ημέρα. Συνεπώς τα αποτελέσματα σχετικά με τις ασάφειες φάσης και τις συντεταγμένες από την επίλυση είναι:

Day 21 Bases	Distance km (approx)	Unresolved Ambiguities	Resolution Rate % (approx)
AUT1-LARM	118	24/116	79
AUT1-LEMN	199	29/125	77
DSLN-NOMI	5	2/102	8
DSLN-NOA1	222	22/109	80
KATC-WNRY	216	4/91	96
KERA-PKMN	4	0	100
KERA-TUC2	151	8/85	91
LARM-NOA1	216	10/97	90
LEMN-PRKV	117	12/109	89
NOMI-WNRY	4	0	100
PKMN-WNRY	5	0	100

Πίνακας 7.41: Οι βάσεις της εικοστής πρώτης ημέρας
Twenty first day's solved bases

Day 21	February 15th 2013		
SNTR	4647218,295	2202396,663	3760306,874
WNRY	4642530,783	2208076,559	3763086,984
NOMI	4640783,415	2206447,681	3766127,163
PKMN	4643869,126	2203539,599	3763744,185
KERA	4644059,363	2200009,748	3765747,442
DSLN	4639882,125	2202109,193	3769559,685

Πίνακας 7.42: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της εικοστής πρώτης ημέρας
Twenty first day solution coordinates

- *Ημέρα 22 (τελική επίλυση)*

Στην επίλυση της 22ης μέρας παρατηρήθηκε ότι ενώ τα ποσοστά επίλυσης για όλες σχεδόν τις βάσεις ήταν ικανοποιητικά, παρ' όλα αυτά σε μια βάση που περιείχε τον σταθμό της Ρόδου (PRKV) οι ασάφειες δεν λύνονταν καθόλου. Θεωρήθηκε ότι υπήρξε πρόβλημα με τα δεδομένα του σταθμού για εκείνη την ημέρα και λήφθηκε η απόφαση να γίνει επίλυση χωρίς την συμμετοχή του σταθμού. Είναι η δεύτερη και τελευταία φορά που δεν χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα ενός σταθμού εξ' ολοκλήρου προς χάριν καλύτερης λύσης συνολικά. Ο σταθμός της Ρόδου είναι εξωτερικός του δικτύου μας και δεν επηρεάζει τόσο

πολύ η ύπαρξη του.

Επομένως τα αποτελέσματα της 22ης ημέρας είναι τα εξής:

Day 22			
Bases	Distance km (approx)	Unresolved Ambiguities	Resolution Rate % (approx)
AUT1-LARM	118	18/102	82
AUT1-LEMN	199	16/99	84
DSLN-NOMI	5	1/96	99
DSLN-NOA1	222	28/129	78
KATC-WNRY	216	22/105	79
KERA-PKMN	4	0	100
KERA-TUC2	151	16/91	82
LARM-NOA1	216	94/133	74
NOMI-WNRY	4	0	100
PKMN-WNRY	5	20/103	98

Πίνακας 7.43: Οι βάσεις της εικοστής δεύτερης ημέρας
Twenty second's day solved bases

Και οι συντεταγμένες:

Day 22	March 15th 2013		
SNTR	4647218,295	2202396,663	3760306,874
WNRY	4642530,789	2208076,564	3763086,983
NOMI	4640783,420	2206447,683	3766127,162
PKMN	4643869,131	2203539,599	3763744,182
KERA	4644059,367	2200009,747	3765747,437
DSLN	4639882,126	2202109,193	3769559,681

Πίνακας 7.44: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της εικοστής δεύτερης ημέρας
Twenty second day solution coordinates

7.2 Απαραίτητες Μετατροπές

Τα αποτελέσματα μας θα πρέπει να μετατραπούν τελικώς σε τοποκεντρικό τρισδιάστατο σύστημα DN, DE, DZ για να ελεγχθούν οι μικρομετακινήσεις σε τοπικό επίπεδο. Τα αποτελέσματα μετά από την επεξεργασία τους με το λογισμικό Bernese είναι σε καρτεσιανές συντεταγμένες X, Y, Z. Τα στάδια που ακολουθούν για την επιθυμητή μετατροπή είναι τα παρακάτω:

- *Μετατροπή καρτεσιανών X, Y, Z σε γεωδαιτικές συντεταγμένες φ, λ, h*

Χρησιμοποιούνται οι παράμετροι του ελλειψοειδούς GRS80:

- a=6378137
- e^2=0.00669438002290079

Επίσης οι τύποι μετατροπής:

- λ=arctan ($\frac{y}{x}$)
- φ=arctan($\frac{Z+e^2 N sin\varphi}{\sqrt{X^2+Y^2}}$)

Χρησιμοποιήθηκε ως αρχικό φ=arctan ($\frac{Z}{(1-e^2)\sqrt{X^2+Y^2}}$) και έγινε επαναληπτική χρήση του παραπάνω τύπου μέχρι να υπάρχει τάξη σύγκλισης $0^o.000000001$.

- h= $\frac{\sqrt{X^2+Y^2}}{cos\varphi}$ - N
- N= $\frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2\varphi}}$

- *Μετατροπή σε τοποκεντρικό σύστημα*

Το τοποκεντρικό σύστημα ορίζεται κάθε φορά διαφορετικό για κάθε σημείο του δικτύου μας. Το νόημα από αυτήν την πράξη είναι η μελέτη της τεκτονικής συμπεριφοράς του σημείου στον χρόνο. Οι τρεις άξονες είναι ο U, που είναι η κάθετος του σημείου στο ελλειψοειδές, ο N που εκτείνεται προς τον Βορρά και ο E που εκτείνεται προς Ανατολάς. Η μετατροπή είναι η λύση του συστήματος:

- $\begin{bmatrix} \Delta N \\ \Delta E \\ \Delta U \end{bmatrix}$ =R $\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}$
- R= $\begin{bmatrix} -sin\varphi cos\lambda & -sin\varphi sin\lambda & cos\varphi \\ -sin\lambda & cos\lambda & 0 \\ cos\varphi cos\lambda & cos\varphi sin\lambda & sin\varphi \end{bmatrix}$

Στο παραπάνω σύστημα γίνεται αναγκαία η παρουσία ενός X0, Y0 και Z0 για κάθε

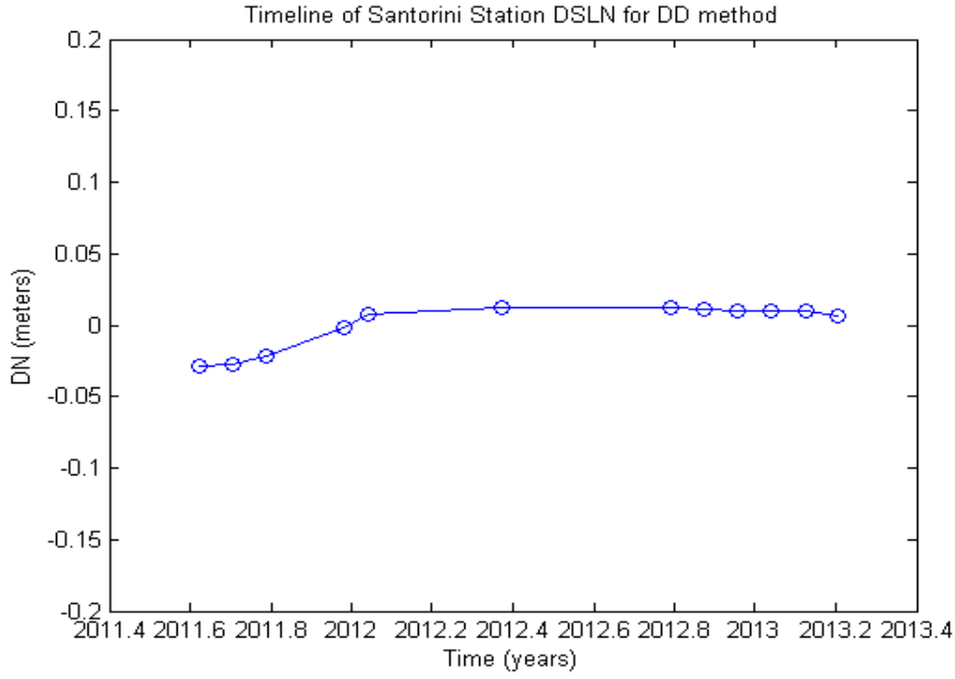
σημείο. Τα σημεία αυτά ορίστηκαν ως οι μέσοι όροι όλων των X, Y, Z που προκύπτουν από τις λύσεις. Δηλαδή δεν είναι υπαρκτές μετρημένες συντεταγμένες αλλά μαθηματικά ορισμένες έτσι ώστε να βοηθήσουν στην λύση.

Οι παραπάνω μετατροπές έγιναν με την βοήθεια του λογισμικού Matlab R2011a με την σύνταξη τριών script. Ο ένας αφορά την μετατροπή των καρτεσιανών συντεταγμένων σε γεωδαιτικές (xyz2flh.m), ο δεύτερος αφορά την λύση του συστήματος του τρισδιάστατου τοπικού συστήματος (flh2neu.m) και ο τρίτος χρησιμοποιεί ως συναρτήσεις τα παραπάνω scripts και έχοντας ως δεδομένα εισόδου τις καρτεσιανές συντεταγμένες παράγει τα τελικά DN, DE και DU σε αρχείο .txt. Υπάρχει και ένα τέταρτο script που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή των χρονοσειρών τις οποίες θα δούμε παρακάτω. Ο κώδικας παρατίθεται στο παράρτημα με ένα παράδειγμα για την κατανόηση της διαδικασίας, καθώς και για το πώς παράγεται το τελικό .txt με δεδομένα τα DN, DE, DU που θα χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό των χρονοσειρών, από τα δεδομένα X, Y, Z που παράγονται μετά την επεξεργασία με το λογισμικό Bernese.

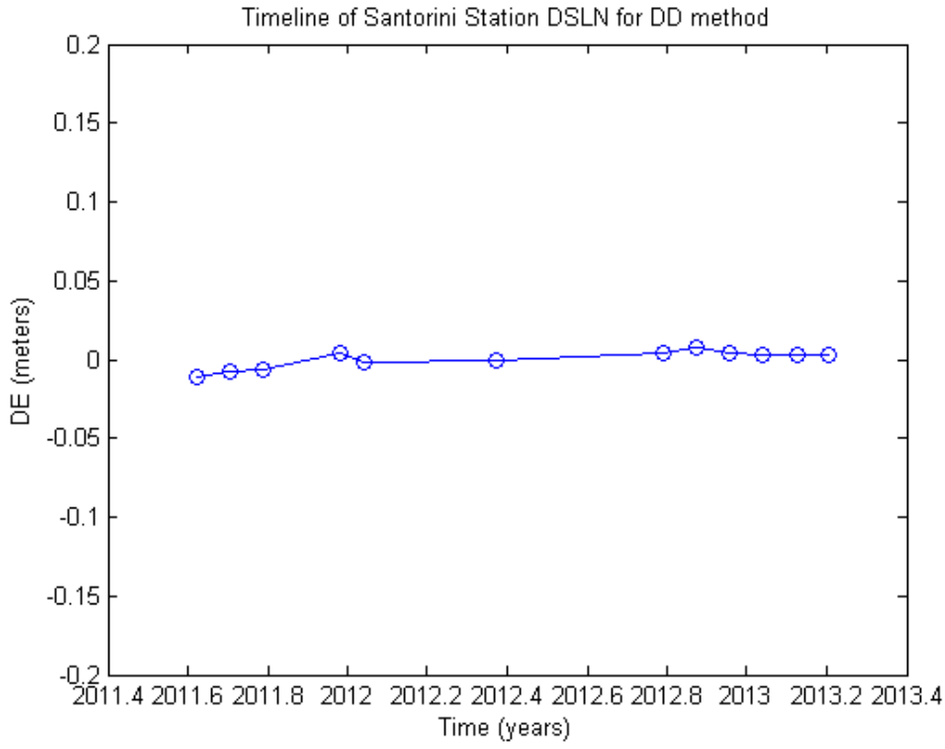
7.3 Χρονοσειρές Διπλών Διαφορών

Μετά την επεξεργασία των δεδομένων και την εξαγωγή αριθμητικών αποτελεσμάτων αυτό που ακολουθεί είναι η κατασκευή χρονοσειρών. Οι χρονοσειρές αφορούν τα σημεία του εσωτερικού δικτύου και εξηγούν τις μικρομετακινήσεις των σημείων σε τοποκεντρικό τρισδιάστατο σύστημα αναφοράς (North, East, Up). Οι μετατροπές εξηγούνται παραπάνω και έγιναν, όπως και η κατασκευή των χρονοσειρών, με το λογισμικό Matlab r2011a. Κατασκευάστηκαν και αντίστοιχες χρονοσειρές για τις λύσεις του Εργαστηρίου Ανώτερης και Δορυφορικής Γεωδαισίας, με σκοπό την σύγκριση των λύσεων, όπου με μπλέ συμβολίζονται οι λύσεις και της εργασίας και με κόκκινο του εργαστηρίου. Επομένως:

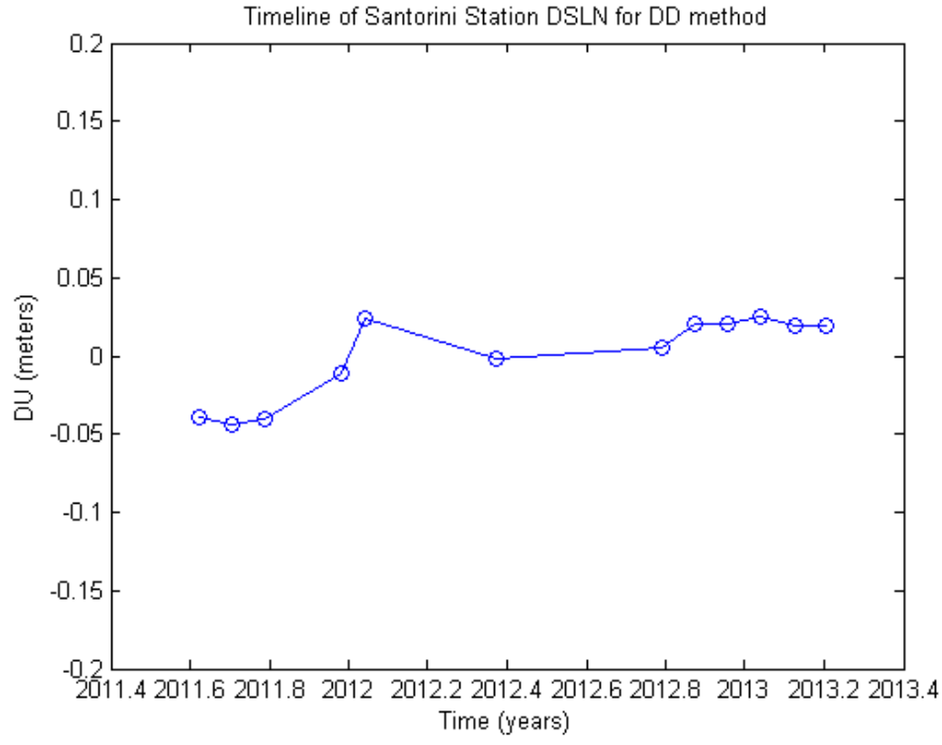
- *DSLN*



Διάγραμμα 7.1: Χρονοσειρά DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό DSLN
DN timeline DD method DSLN station



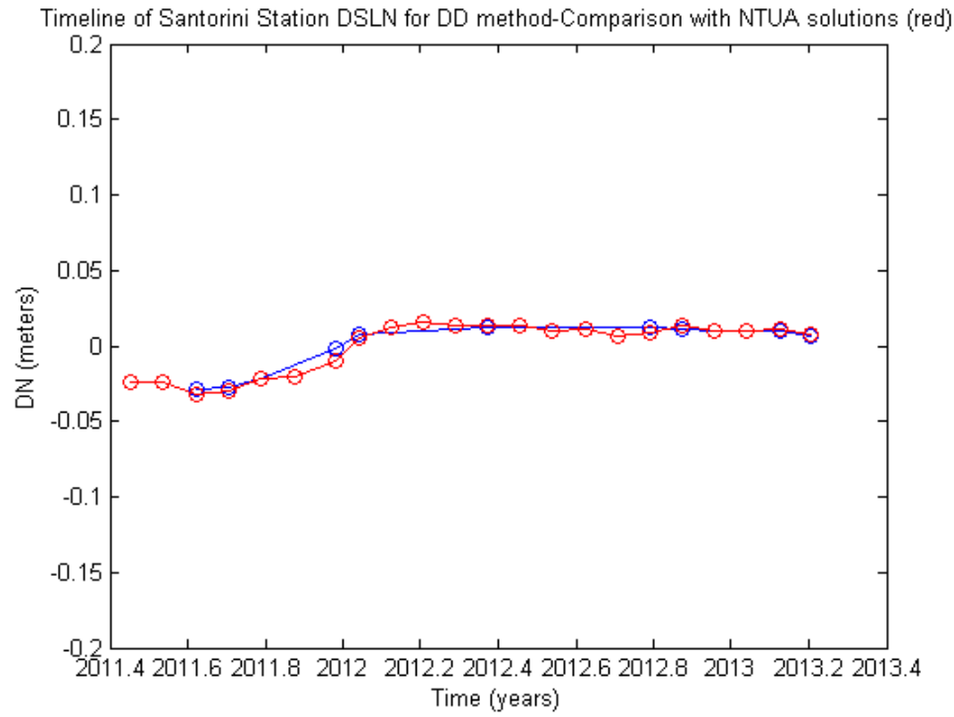
Διάγραμμα 7.2: Χρονοσειρά DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό DSLN
DE timeline DD method DSLN station



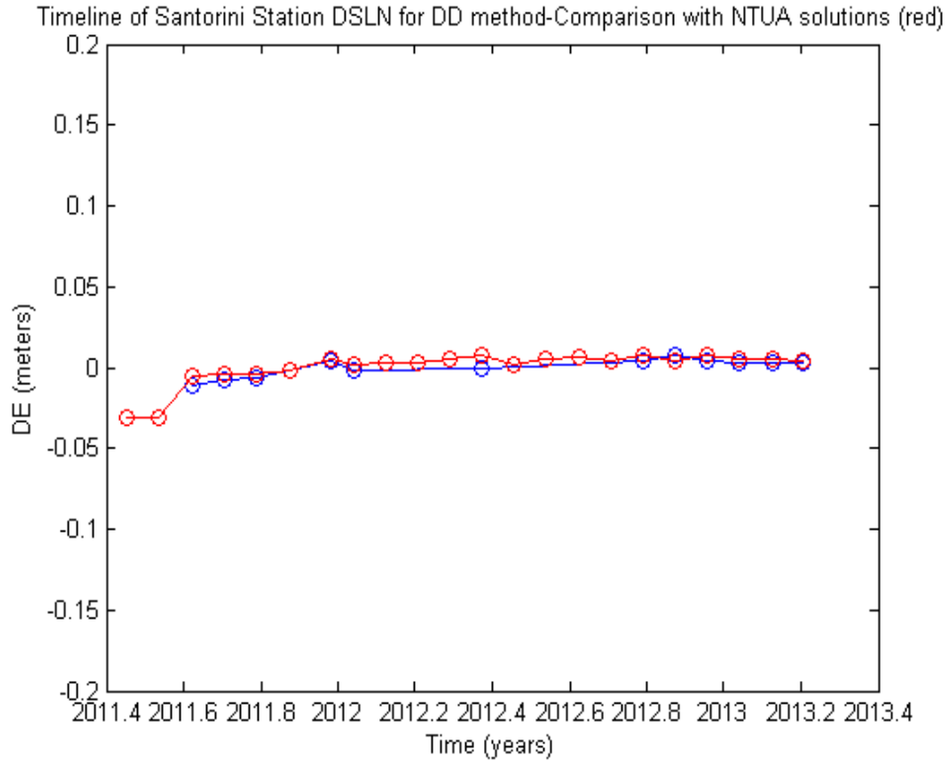
Διάγραμμα 7.3: Χρονοσειρά DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό DSLN
DU timeline DD method DSNT station

Παρατηρούμε ότι σε κάποια σημεία υπάρχει έλλειψη δεδομένων και γίνεται παρεμβολή στην καμπύλη για την καλύτερη παρουσίαση.

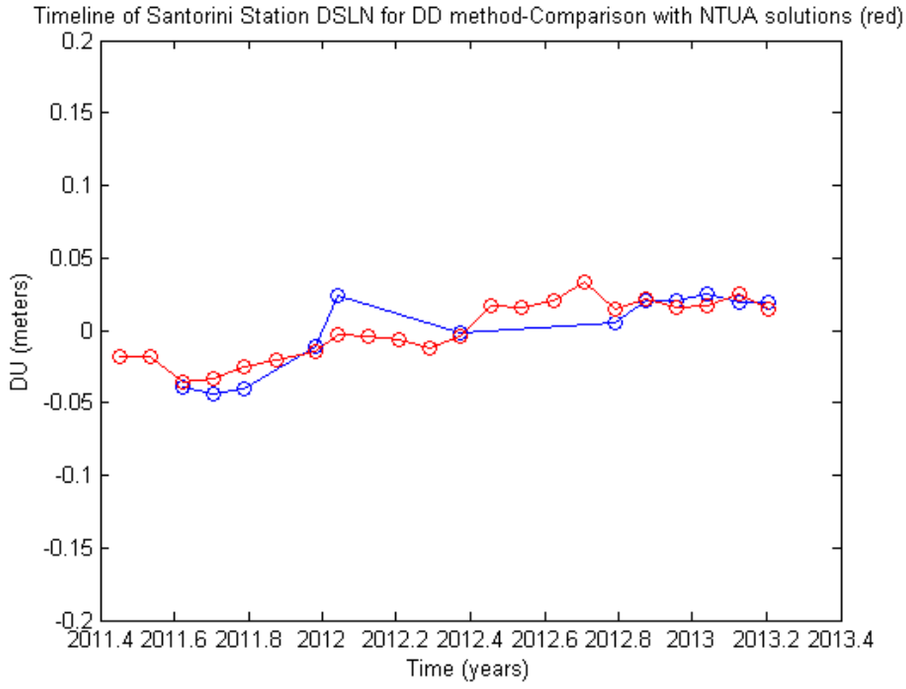
Τα αντίστοιχα διαγράμματα σύγκρισης με τις λύσεις του εργαστηρίου είναι τα εξής:



Διάγραμμα 7.4: Σύγκριση DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό DSLN με τις λύσεις του Εργαστηρίου
DN timeline DD method DSLN station differences with Lab solutions



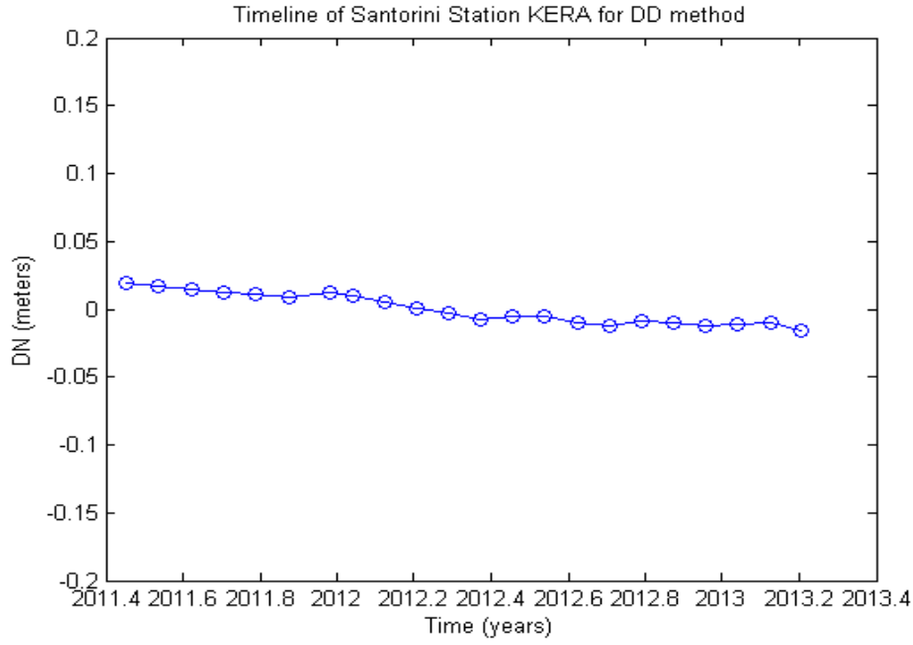
Διάγραμμα 7.5: Σύγκριση DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό DSLN με τις λύσεις του Εργαστηρίου
DE timeline DD method DSLN station differences with Lab solutions



Διάγραμμα 7.6: Σύγκριση DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό DSLN με τις λύσεις του Εργαστηρίου
DU Timeline DD method DSLN station differences with Lab solutions

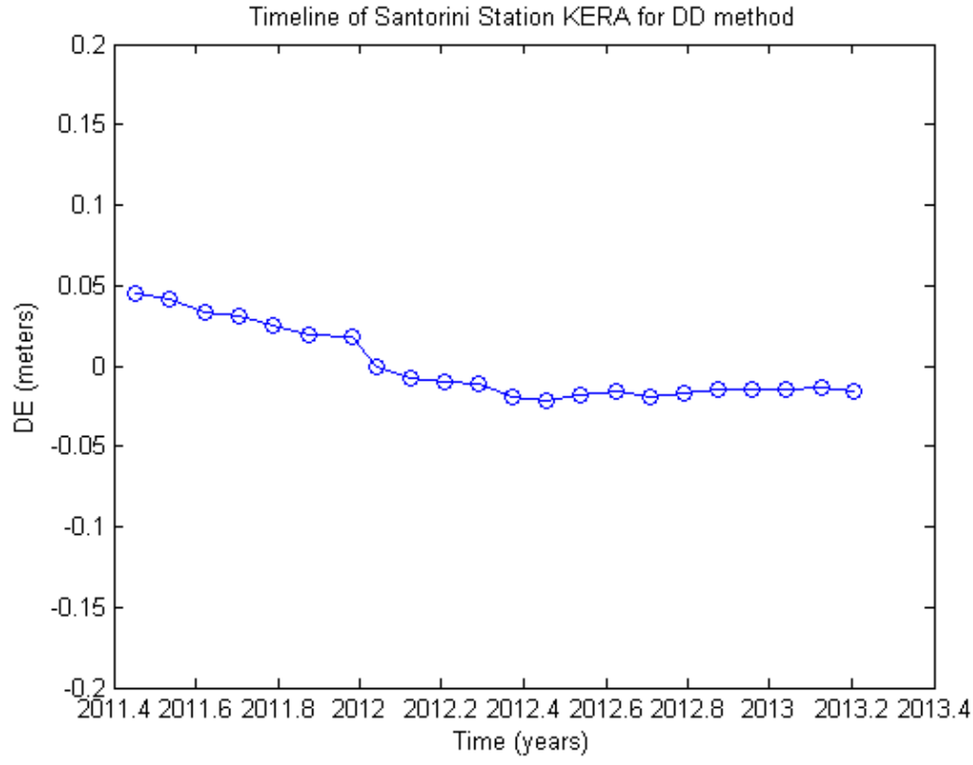
Για τις οριζόντιες μετακινήσεις (DN, DE) υπάρχει σχεδόν πλήρης ταύτιση ενώ για τα υψόμετρα (DU) υπάρχει ταύτιση αλλά ο συνδυασμός έλλειψης δεδομένων αλλά και σχετικά μειωμένη ακρίβεια που παρουσιάζει ο προσδιορισμός του υψομέτρου έχει ως αποτέλεσμα την όχι πλήρη ταύτιση. Αν παρατηρήσουμε καλύτερα στην πράξη μόνο η λύση μιας ημέρας απέχει σχετικά πολύ (περί τα 2.5 εκατοστά) και η παρεμβολή από εκείνο το σημείο χαλά την παραλληλότητα, και άρα ταύτιση των καμπύλων.

•

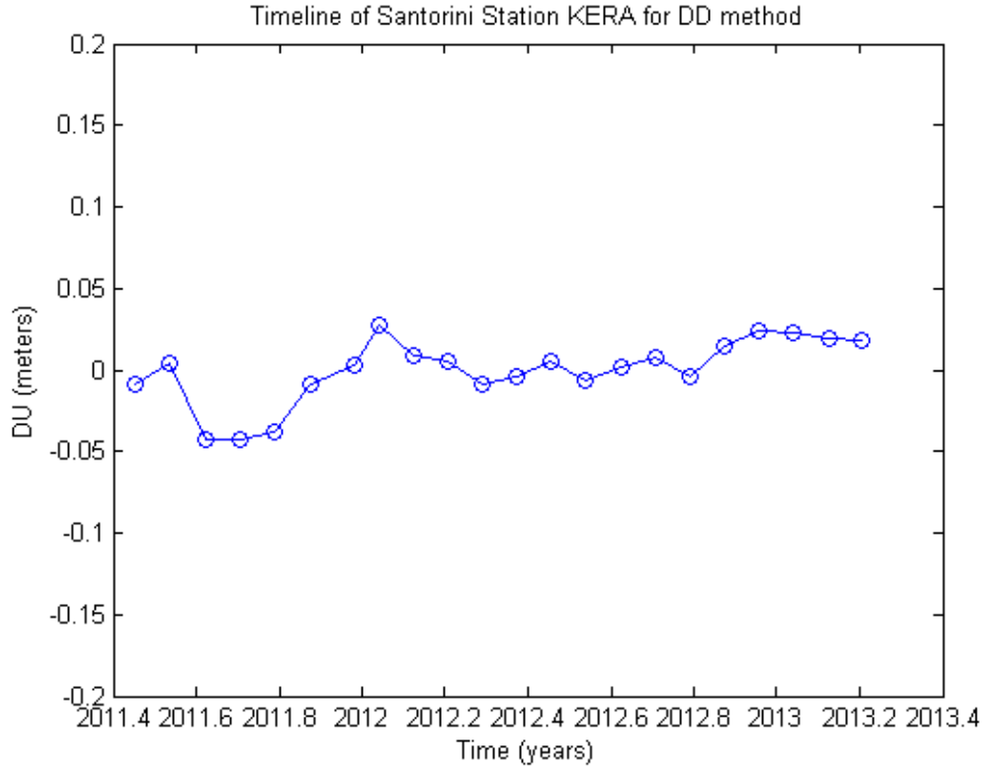


Διάγραμμα 7.7: Χρονοσειρά DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό KERA
DN timeline DD method KERA station

- *KERA*

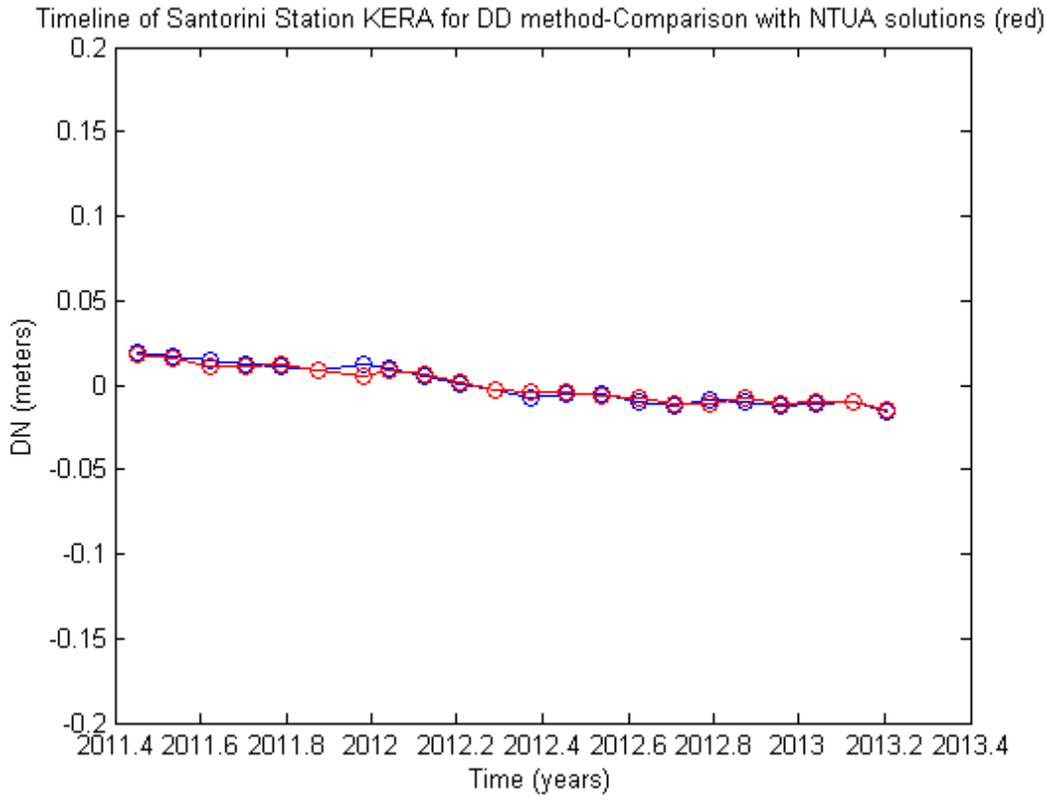


Διάγραμμα 7.8: Χρονοσειρά DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό KERA
DE timeline DD method KERA station

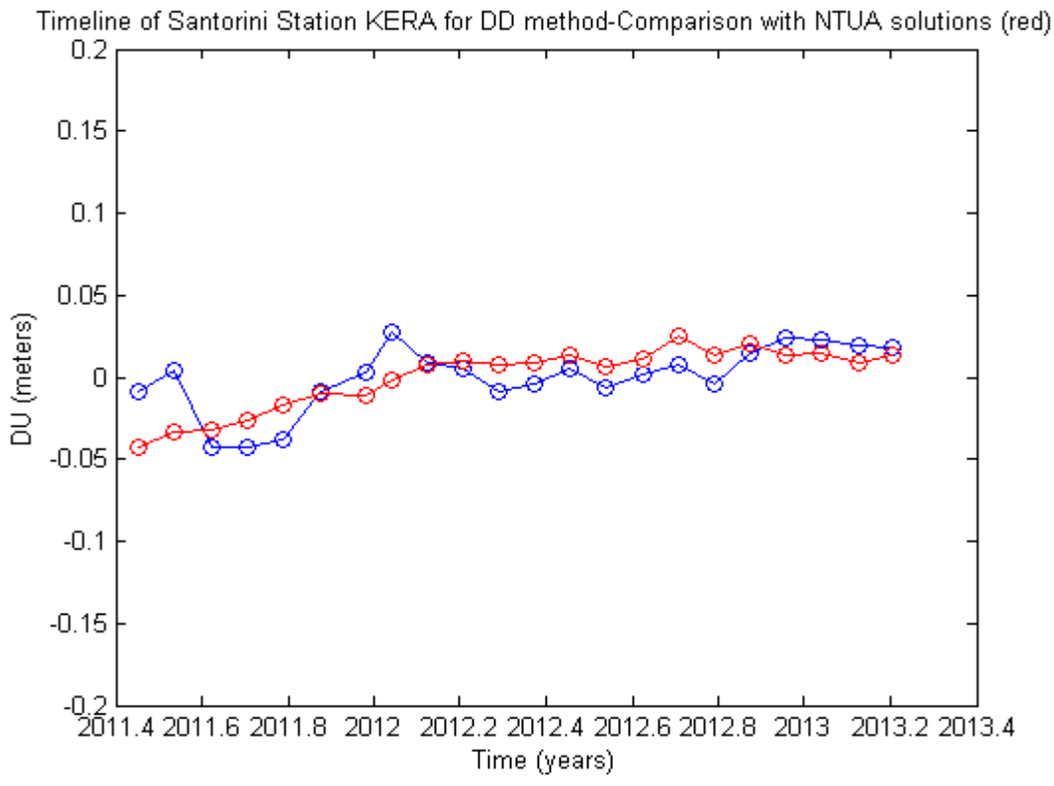


Διάγραμμα 7.9: Χρονοσειρά DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό KERA
DU timeline DD method KERA station

Ενώ τα αντίστοιχα δεδομένα για την σύγκριση είναι τα:



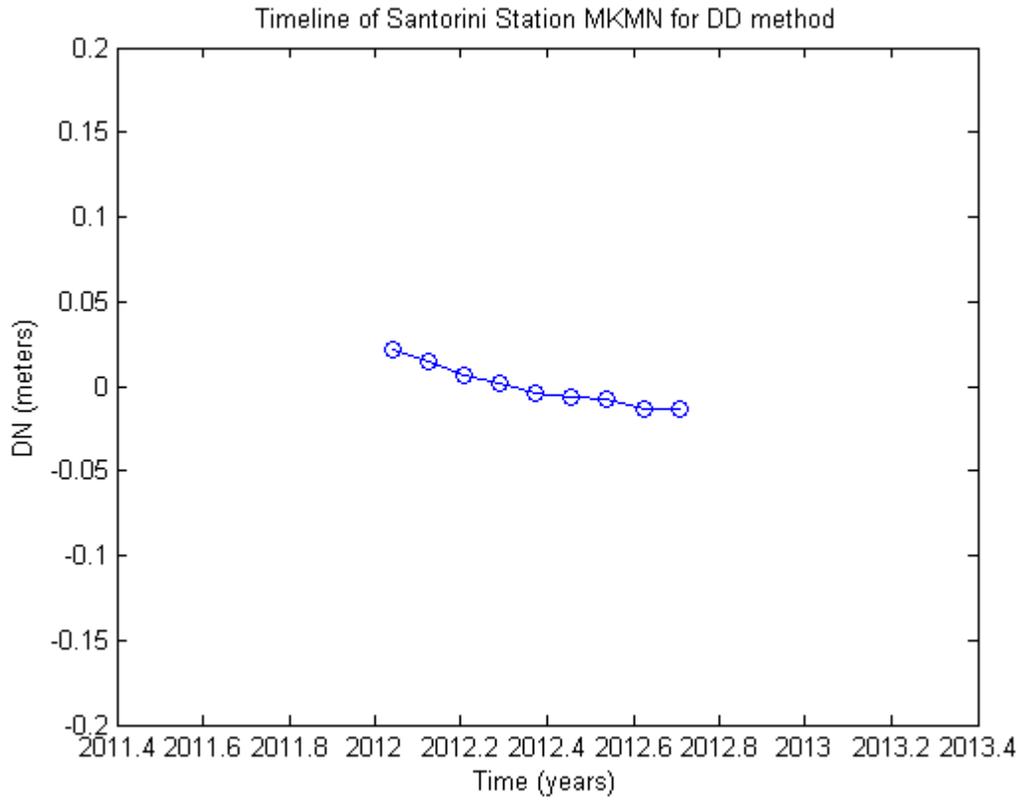
Διάγραμμα 7.10: Σύγκριση DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό KERA με τις λύσεις του Εργαστηρίου
DN timeline DD method KERA station differences with Lab solutions



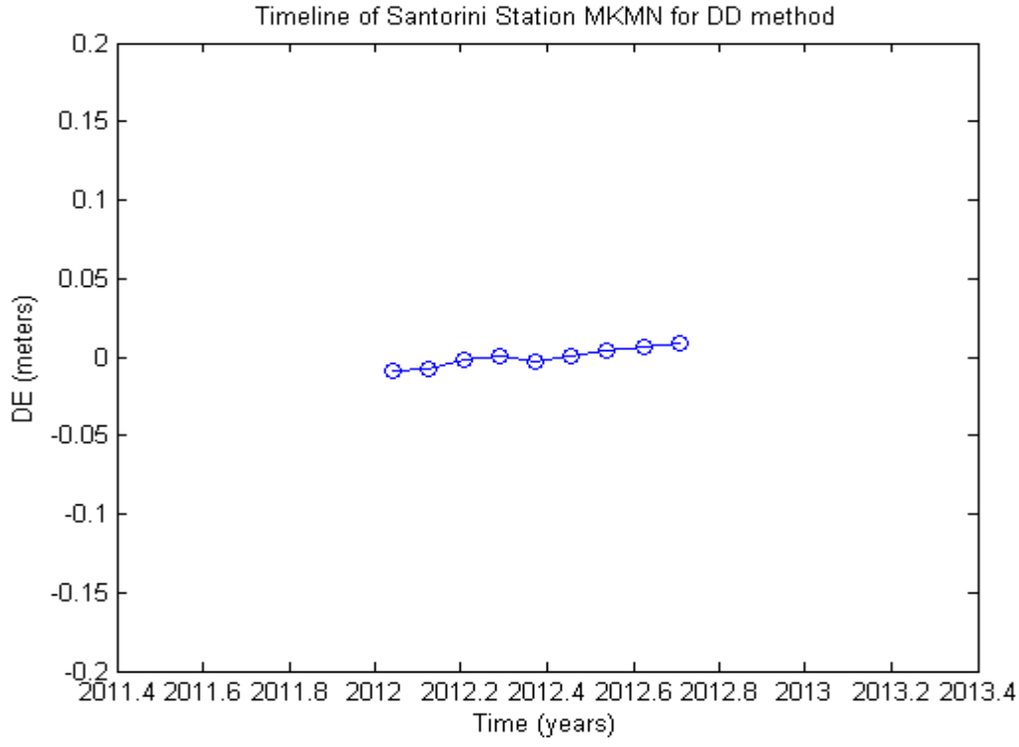
Διάγραμμα 7.12: Σύγκριση DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό KERA με τις λύσεις του Εργαστηρίου
DU timeline DD method KERA station differences with Lab solutions

Παρατηρούμε τα ίδια πράγματα με προηγουμένως. Σχεδόν πλήρης ταύτιση οριζοντιογραφικά και σχετική ταύτιση με μικρές εξαιρέσεις στα υψόμετρα.

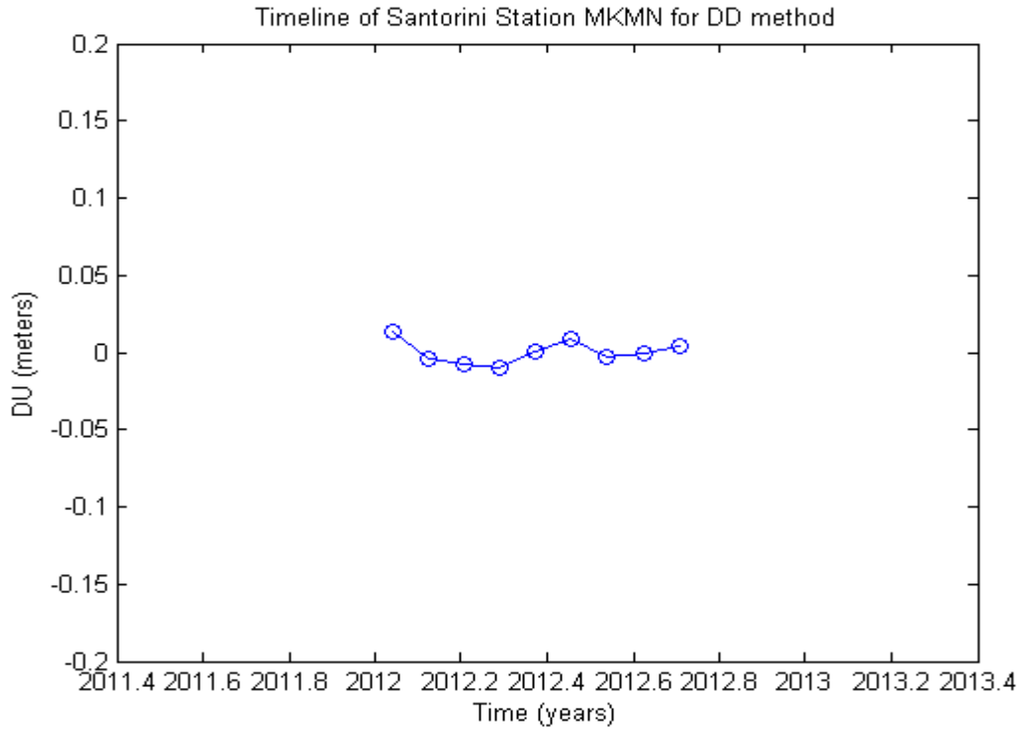
- *MKMN*



Διάγραμμα 7.13: Χρονοσειρά DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό MKMN
DN timeline DD method MKMN Station

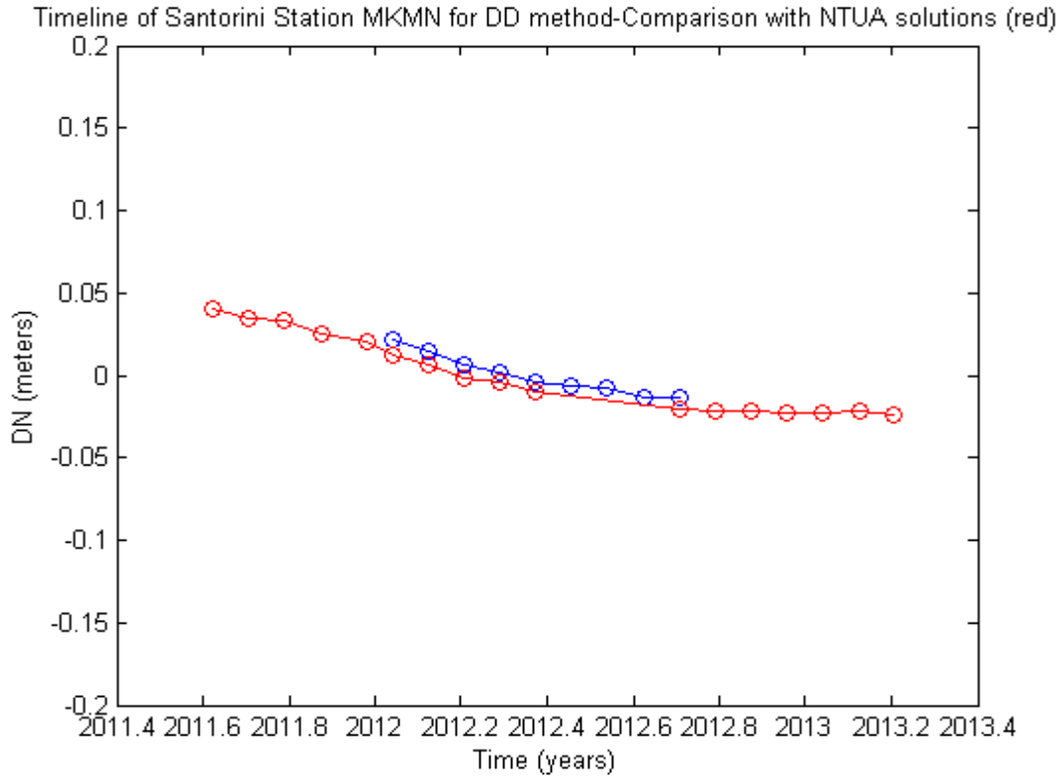


Διάγραμμα 7.14: Χρονοσειρά Deast για διπλές διαφορές για τον σταθμό MKMN
DE timeline DD method MKMN Station

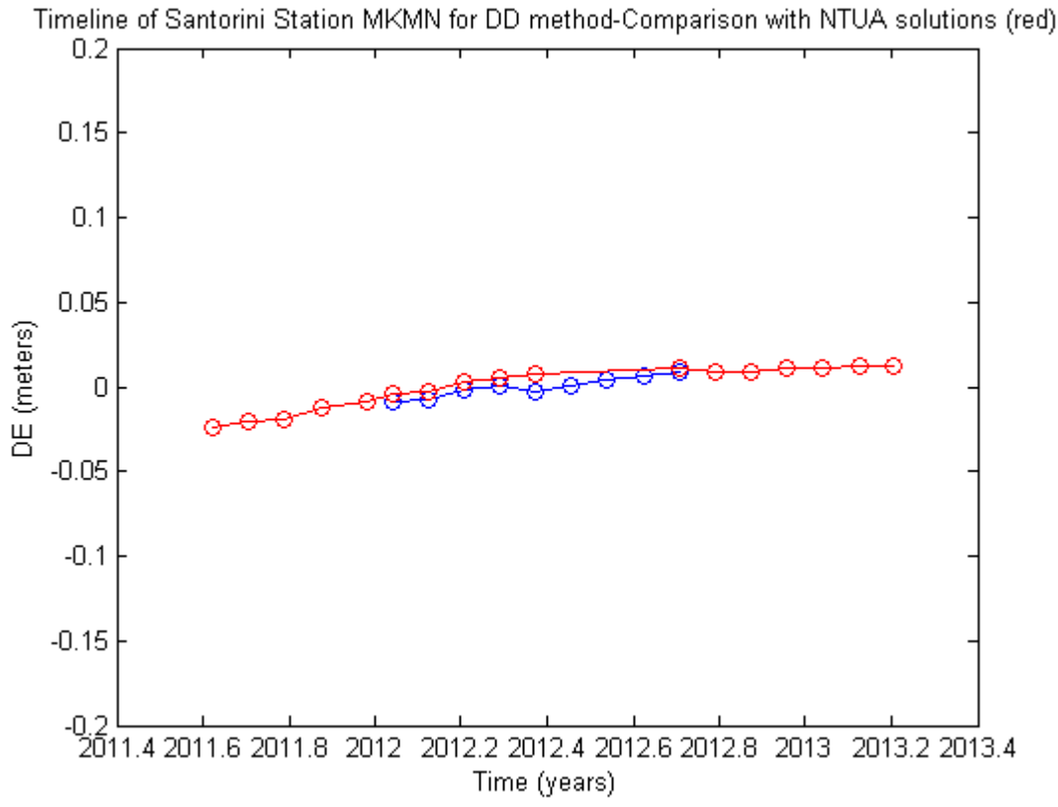


Διάγραμμα 7.15: Χρονοσειρά DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό MKMN
DU timeline DD method MKMN station

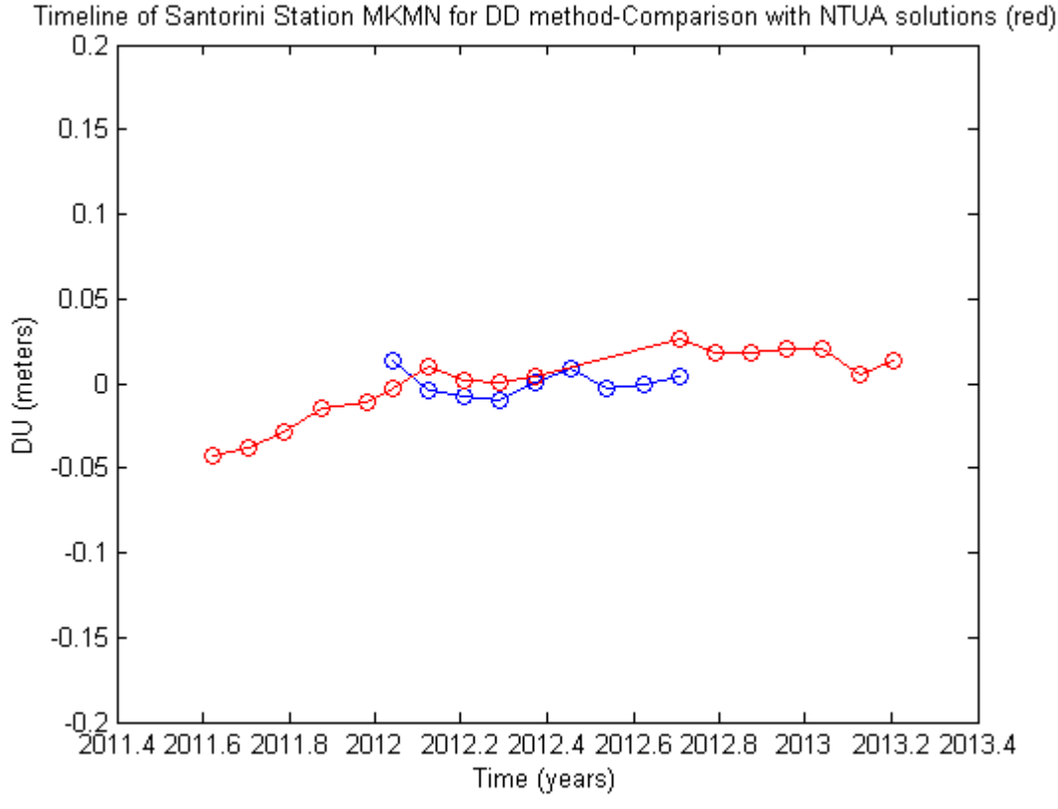
Και οι συγκρίσεις με τις λύσεις του ΕΜΠ:



Διάγραμμα 7.16: Σύγκριση DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό MKMN με τις λύσεις του Εργαστηρίου
DN timeline DD method MKMN station differences with Lab solutions



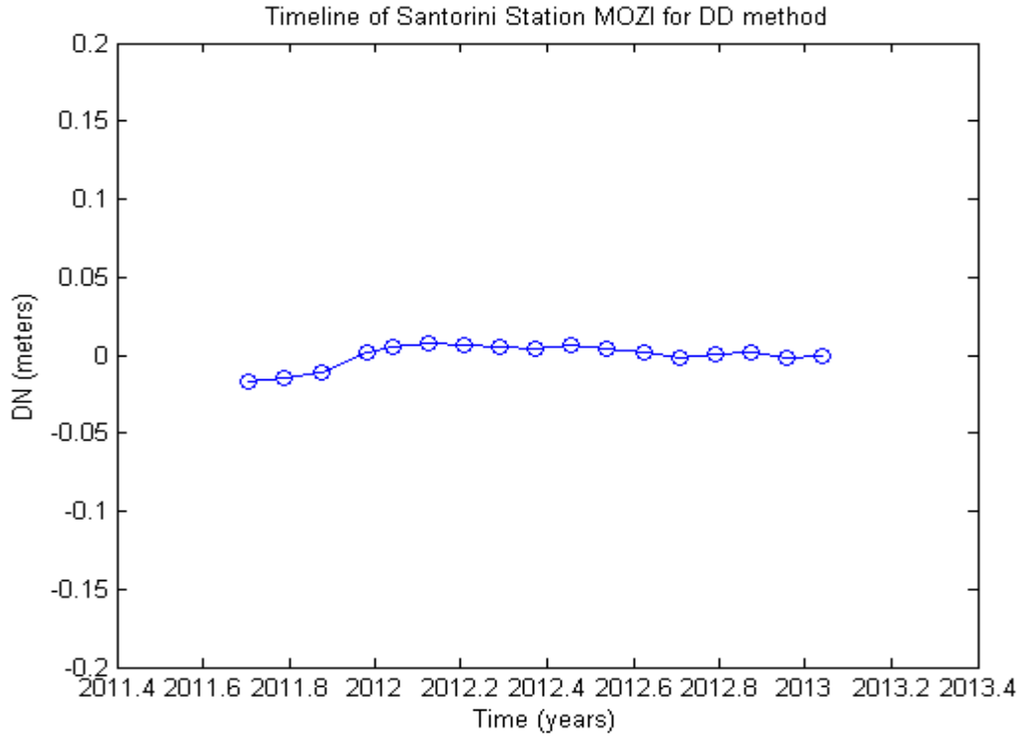
Διάγραμμα 7.17: Σύγκριση DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό MKMN με τις λύσεις του Εργαστηρίου
DE timeline DD method MKMN station differences with Lab solutions



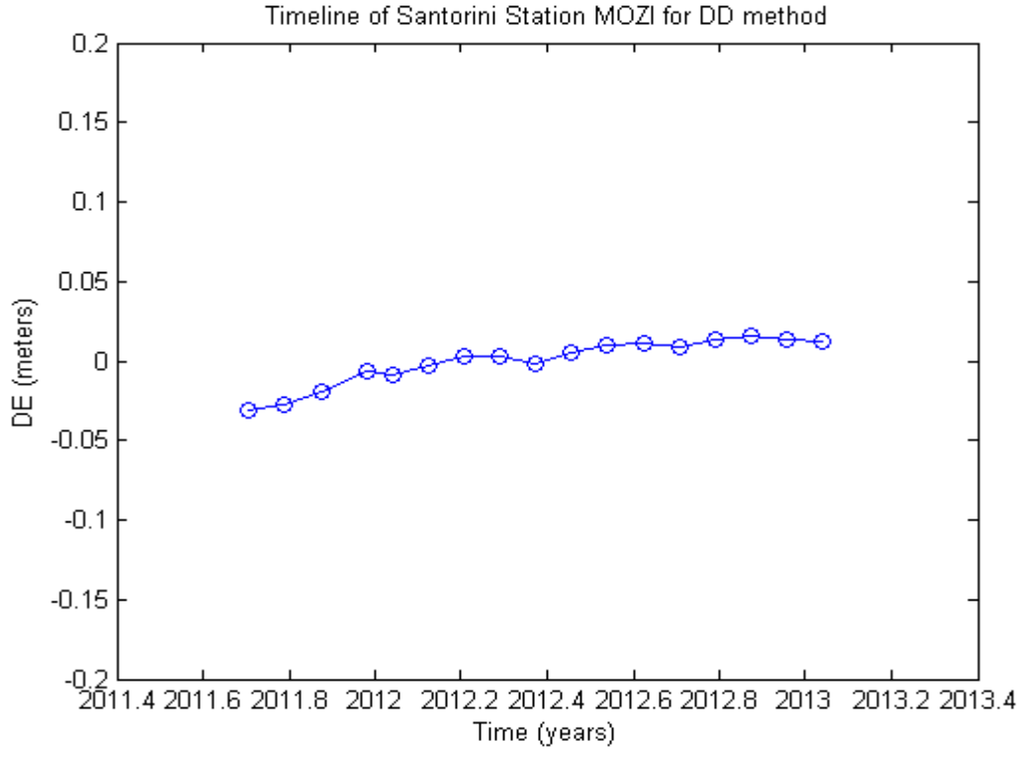
Διάγραμμα 7.18: Σύγκριση DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό MKMN με τις λύσεις του Εργαστηρίου
DU timeline DD method MKMN station differences with Lab solutions

Όμοια με προηγουμένως, οι καμπύλες είναι σχεδόν παράλληλες οριζοντιογραφικά και στα υψόμετρα υπάρχουν κάποια σημεία που δεν συμφωνούν με τις λύσεις του ΕΜΠ αλλά γενικά κρίνονται αποδεκτά. Να σημειωθεί ότι όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα δεν υπήρχαν όσα δεδομένα υπήρχαν στις λύσεις του εργαστηρίου.

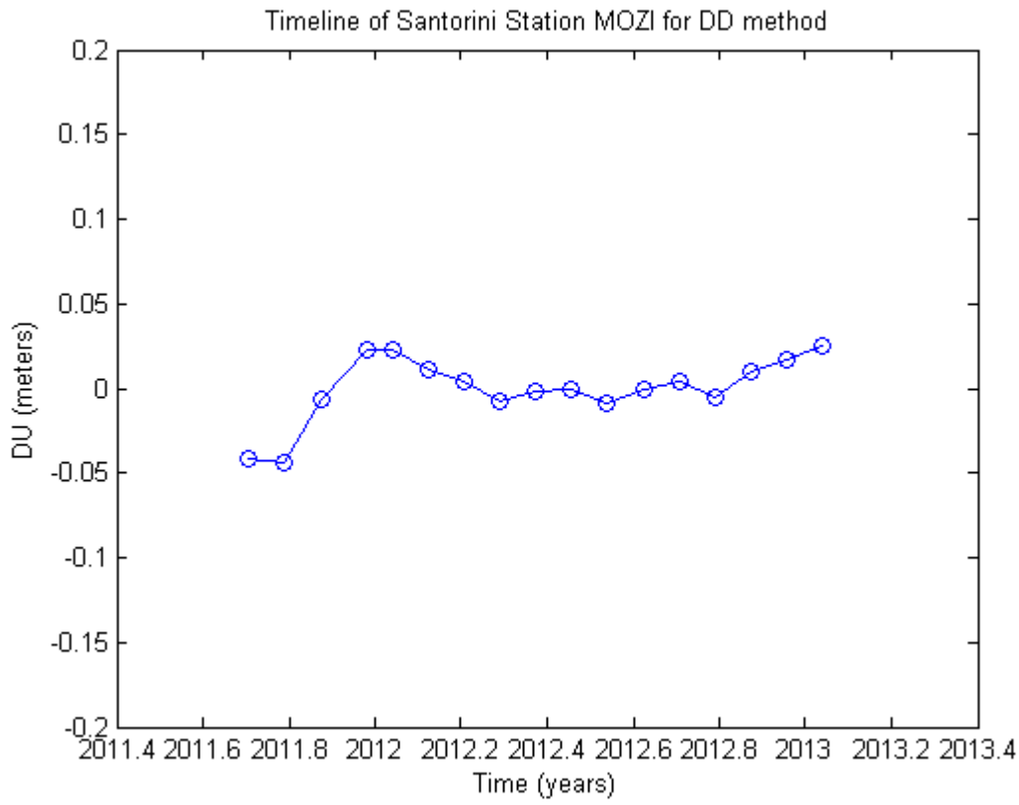
- *MOZI*



Διάγραμμα 7.19: Χρονοσειρά DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό MOZI
DN timeline DD method MOZI station

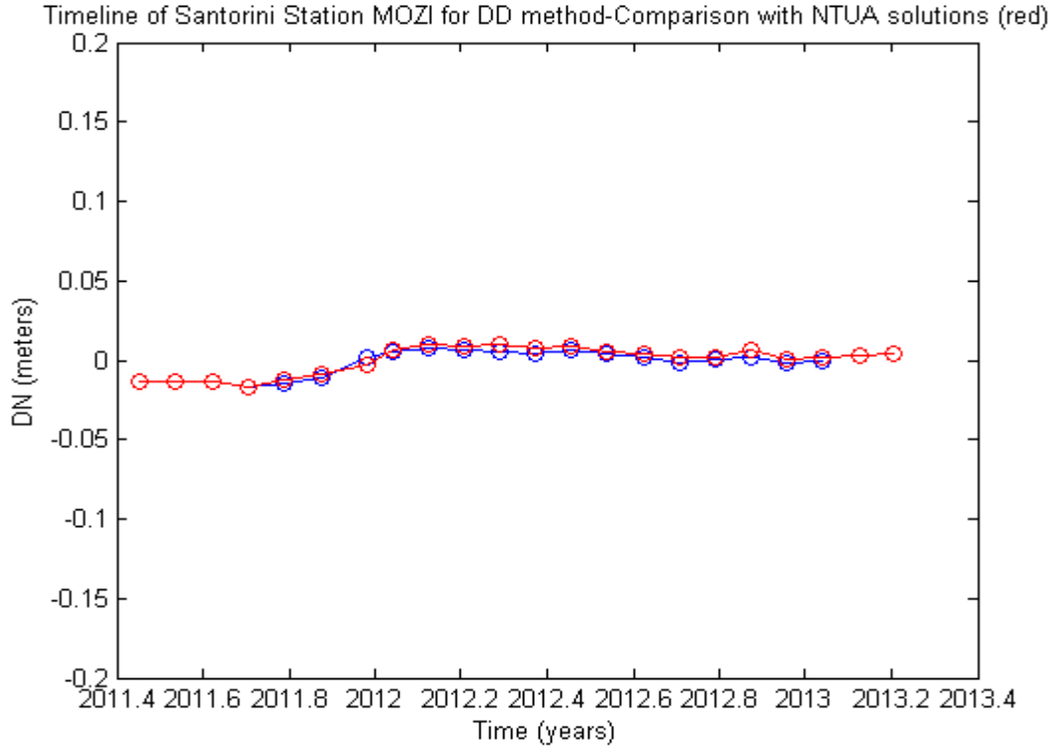


Διάγραμμα 7.20: Χρονοσειρά DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό MOZI
DE timeline DD method MOZI station

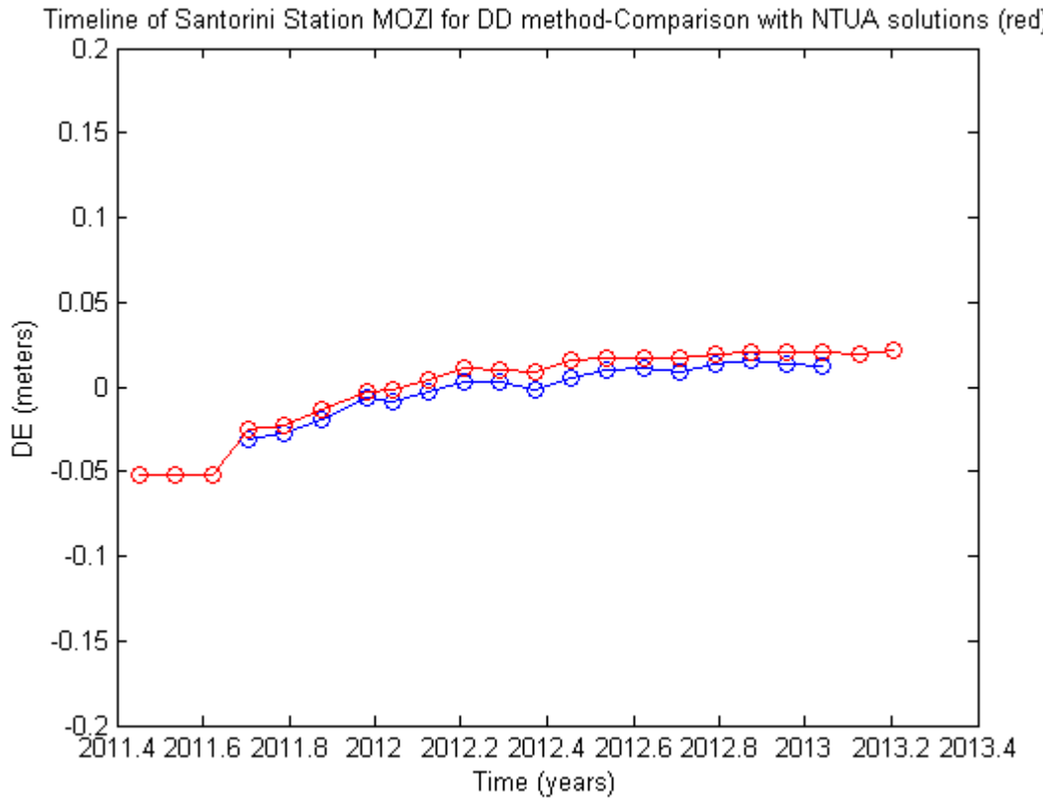


Διάγραμμα 7.21: Χρονοσειρά DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό MOZI
DU timeline DD method MOZI station

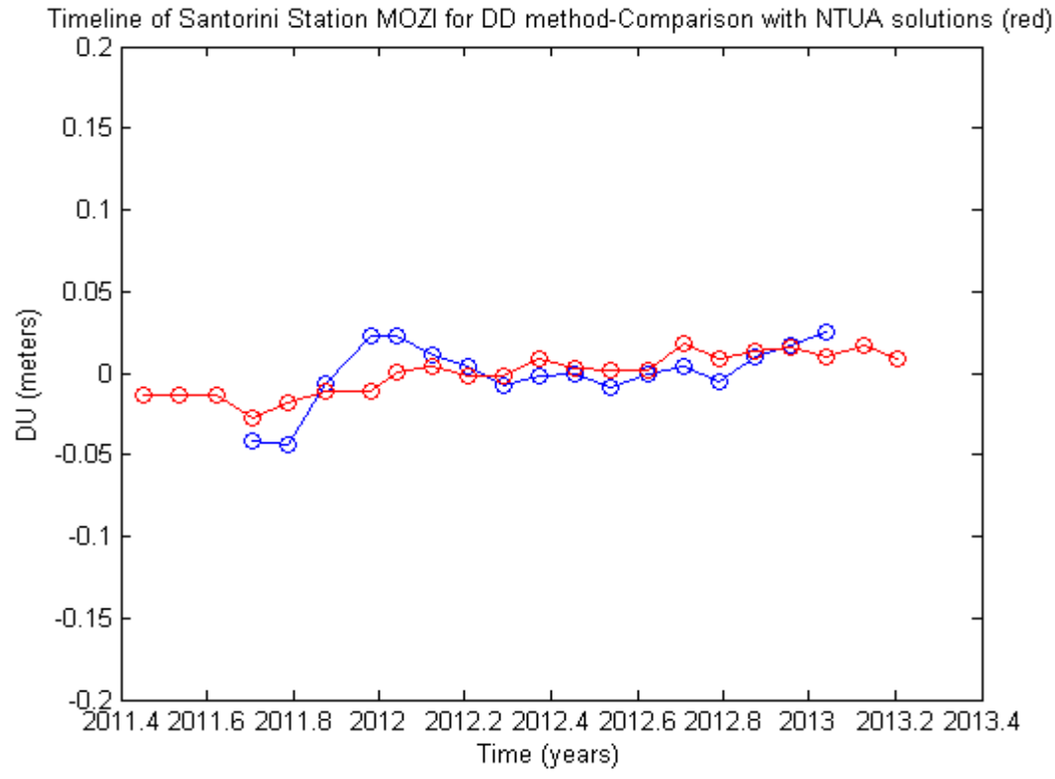
Ενώ η σύγκριση έχει ως εξής:



Διάγραμμα 7.22:Σύγκριση Dnorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό MOZI με τις λύσεις του Εργαστηρίου
DN timeline DD method MOZI station differences with Lab solutions



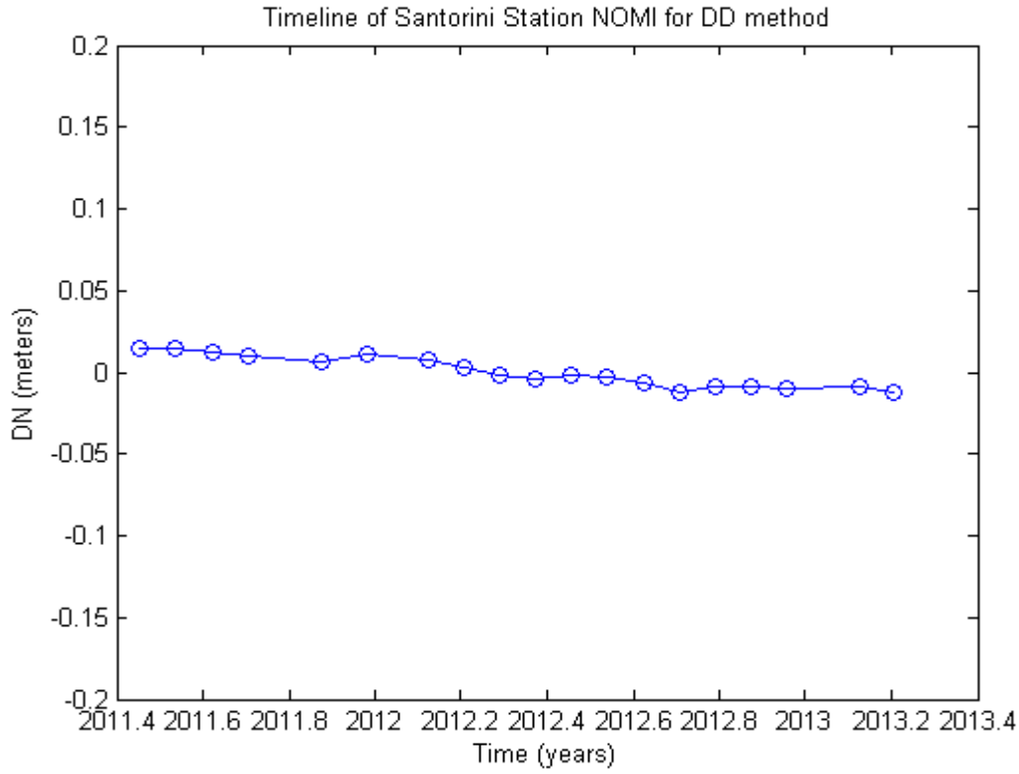
Διάγραμμα 7.23: Σύγκριση DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό MOZI με τις λύσεις του Εργαστηρίου
DE timeline DD method MOZI station differences with Lab solutions



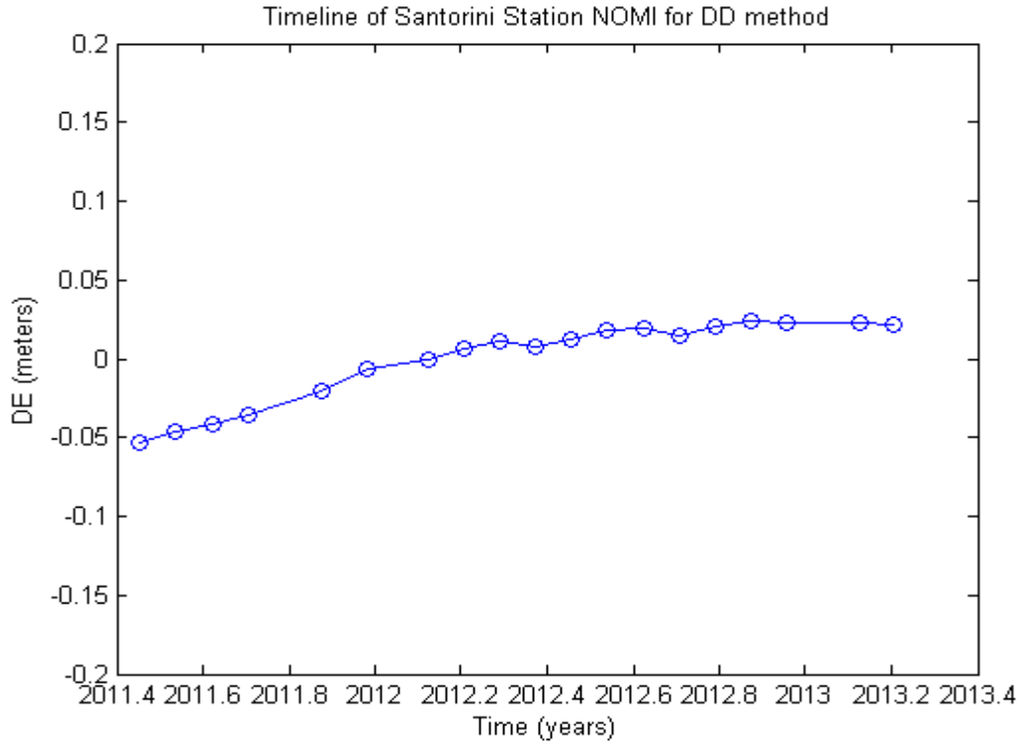
Διάγραμμα 7.24: Σύγκριση DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό MOZI με τις λύσεις του Εργαστηρίου
DU tomeline DD method MOZI station differences with Lab solutions

Οριζοντιογραφικά υπάρχει σχεδόν πλήρης ταύτιση ενώ στα υψόμετρα κάποια σημεία πριν το 2012 δεν συμφωνούν σε μεγάλο βαθμό με τις λύσεις του εργαστηρίου.

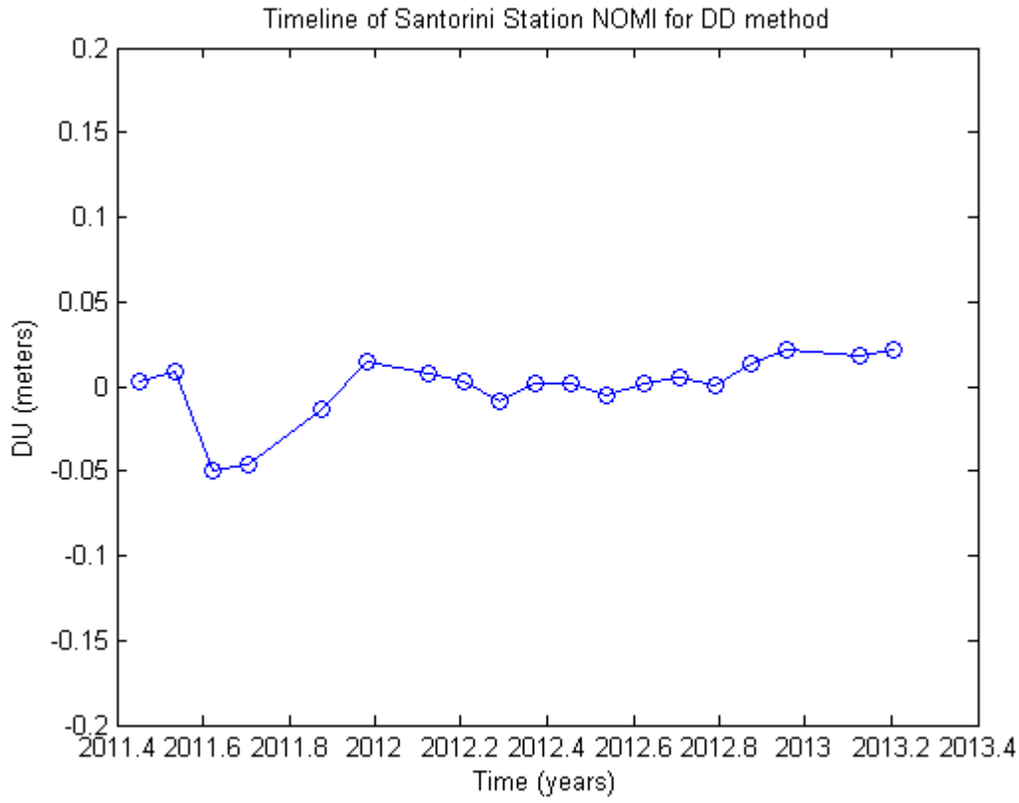
- *NOMI*



Διάγραμμα 7.25: Χρονοσειρά DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό NOMI
DN timeline DD method NOMI station

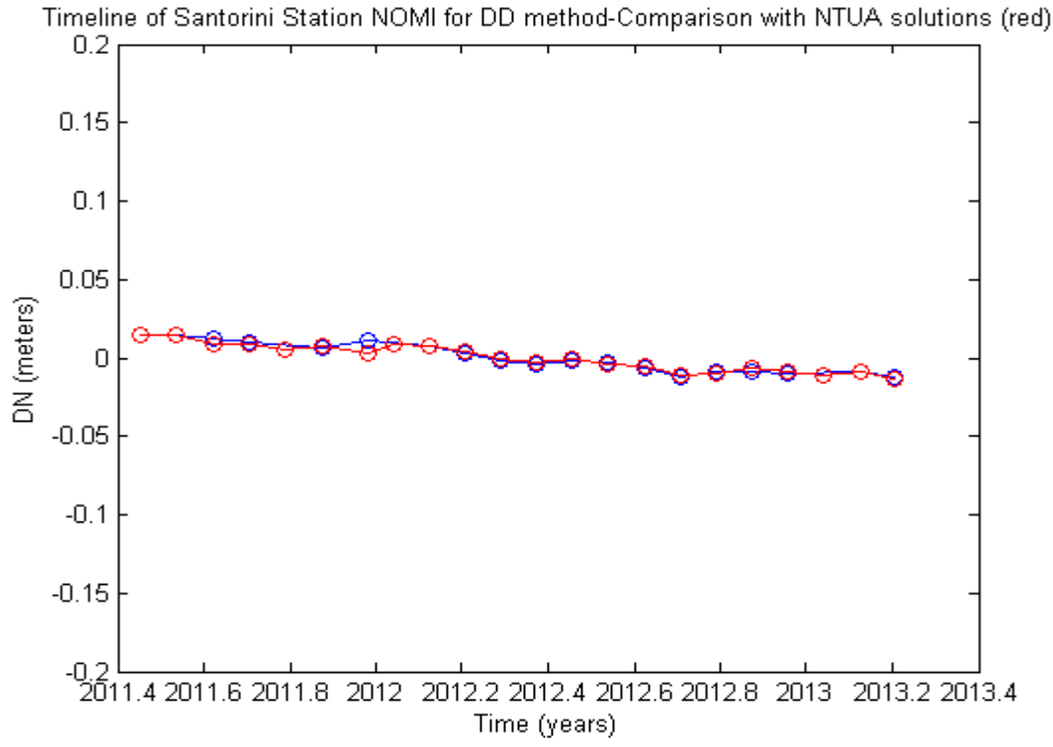


Διάγραμμα 7.26: Χρονοσειρά DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό NOMI
DE timeline DD method NOMI staion

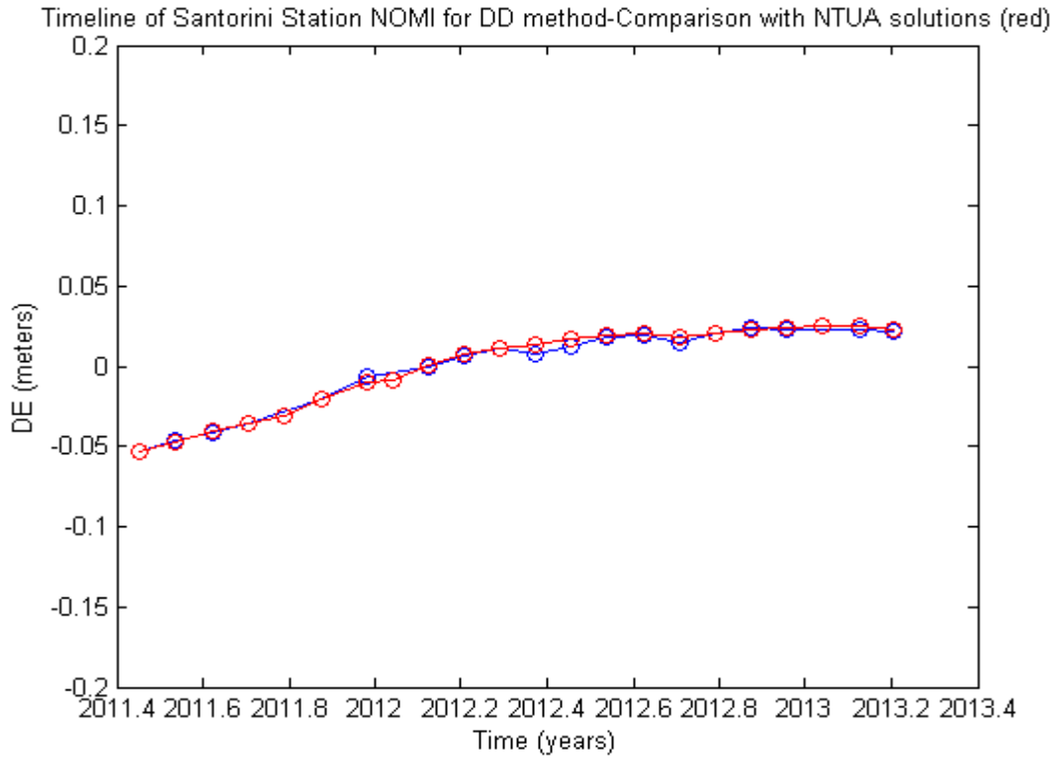


Διάγραμμα 7.27: Χρονοσειρά DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό NOMI
DU timeline DD method NOMI station

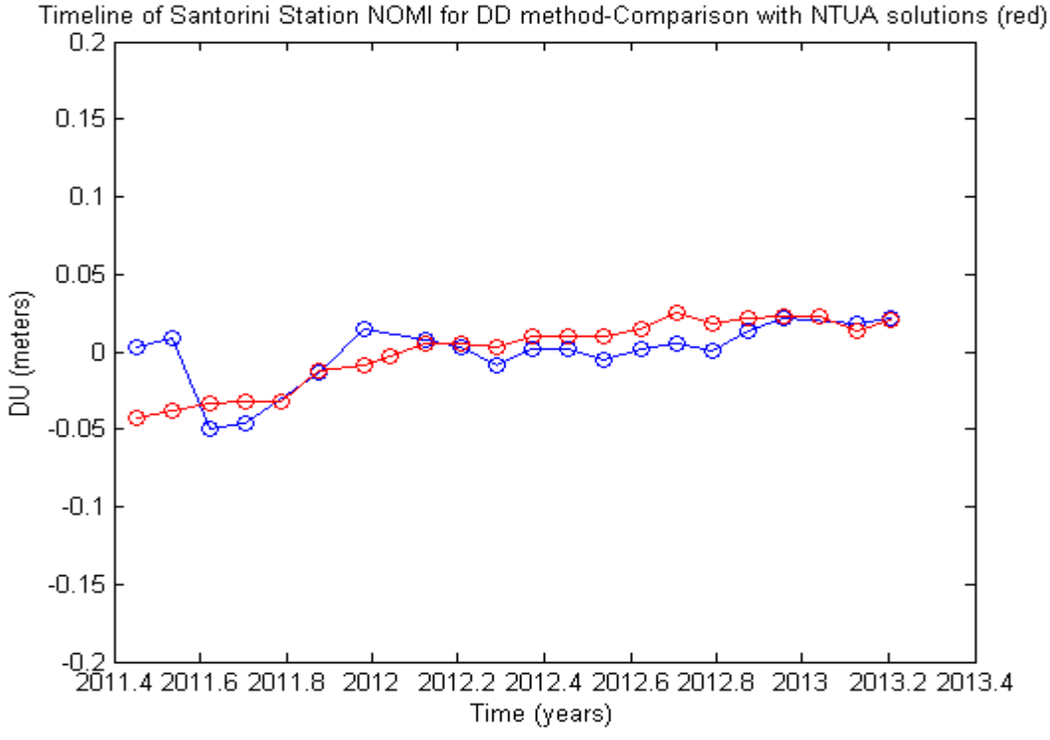
Και σε συνδυασμό με τις λύσεις του εργαστηρίου:



Διάγραμμα 7.28: Σύγκριση DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό NOMI με τις λύσεις του Εργαστηρίου
DN timeline DD method NOMI station differences with Lab solutions



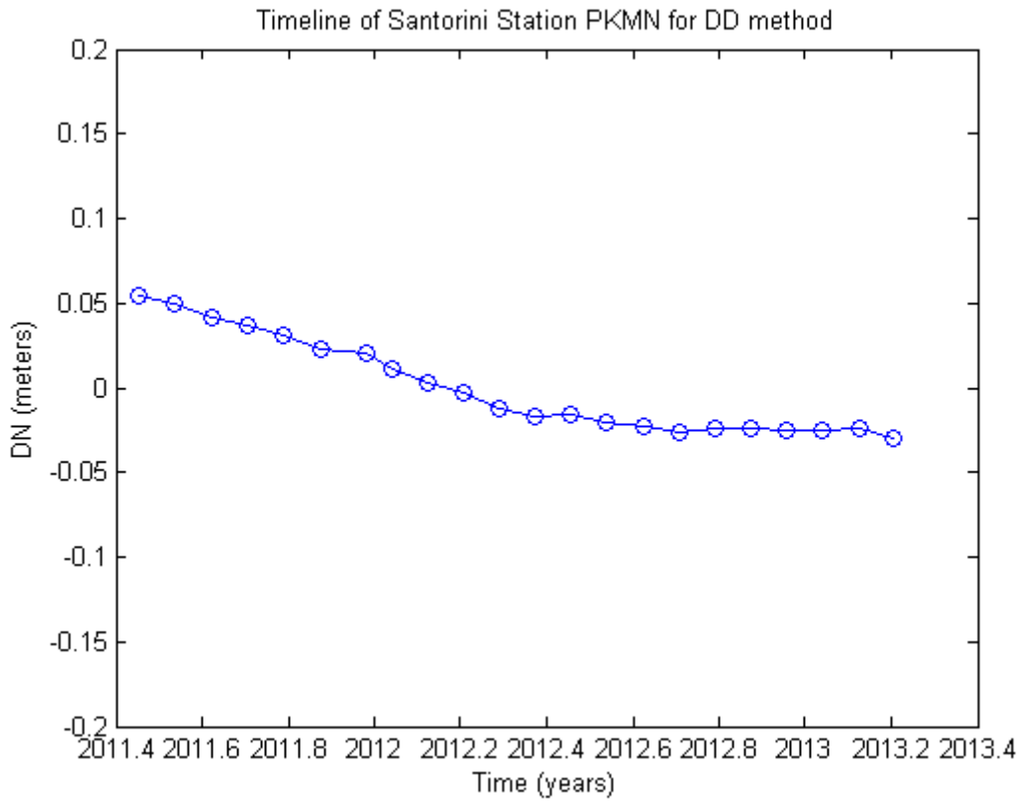
Διάγραμμα 7.29: Σύγκριση DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό NOMI με τις λύσεις του Εργαστηρίου
DE timeline DD method NOMI station differences with Lab solutions



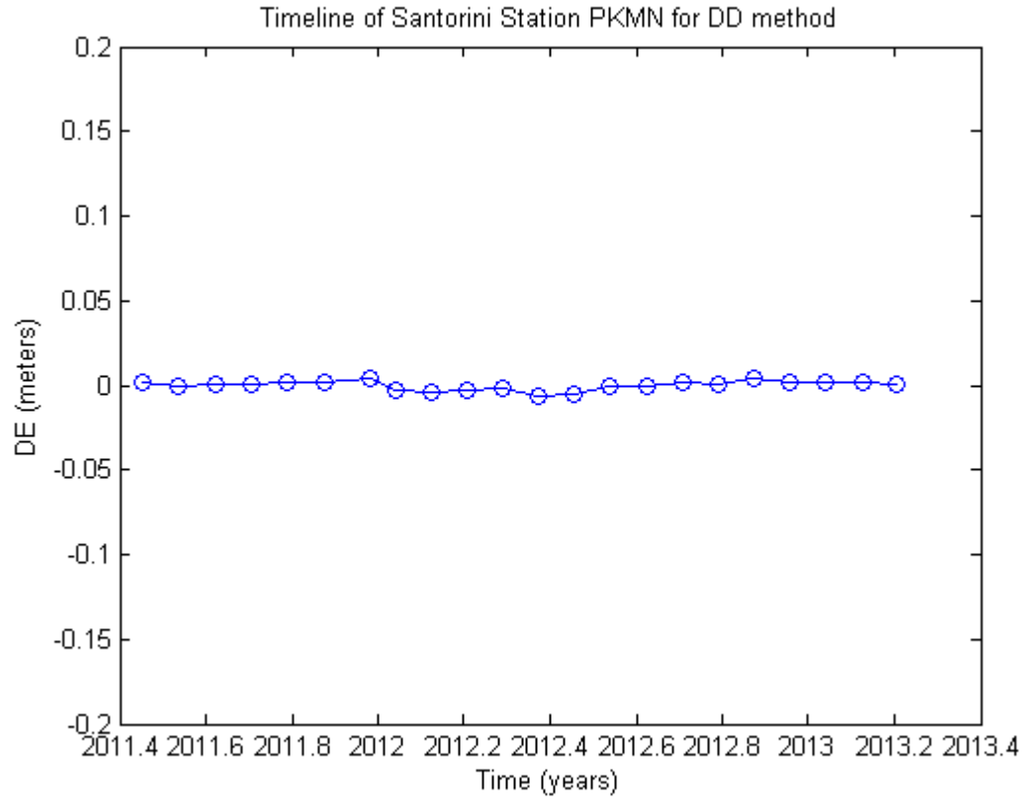
Διάγραμμα 7.30: Σύγκριση DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό NOMI με τις λύσεις του Εργαστηρίου
DU timeline DD method NOMI station differences with Lab solutions

Εξάγονται και σε αυτήν την περίπτωση τα ίδια συμπεράσματα.

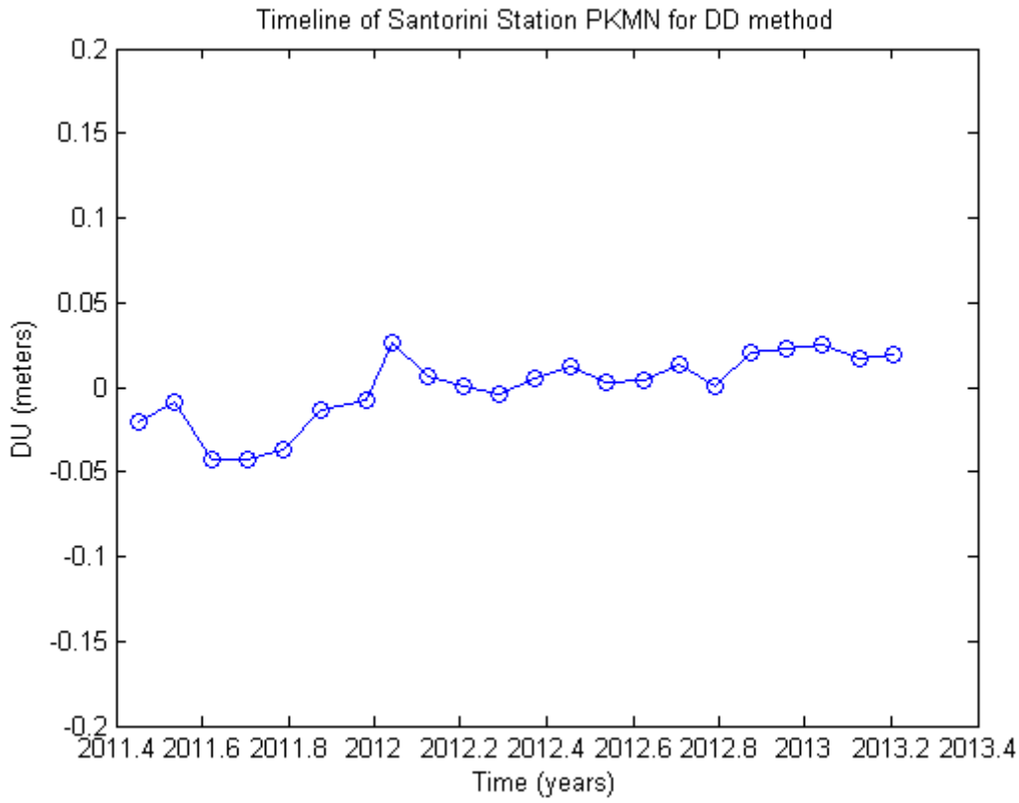
- *PKMN*



Διάγραμμα 7.31: Χρονοσειρά DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό PKMN
DN timeline DD method PKMN station

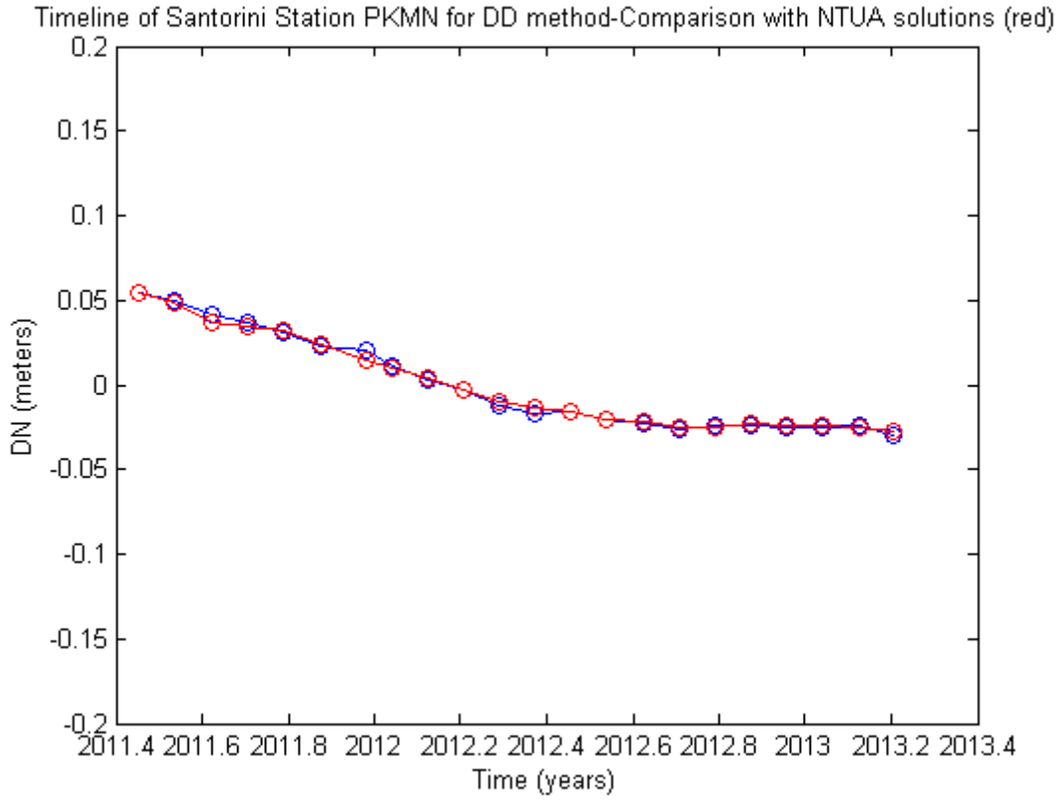


Διάγραμμα 7.32: Χρονοσειρά DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό PKMN
DE timeline DD method PKMN station

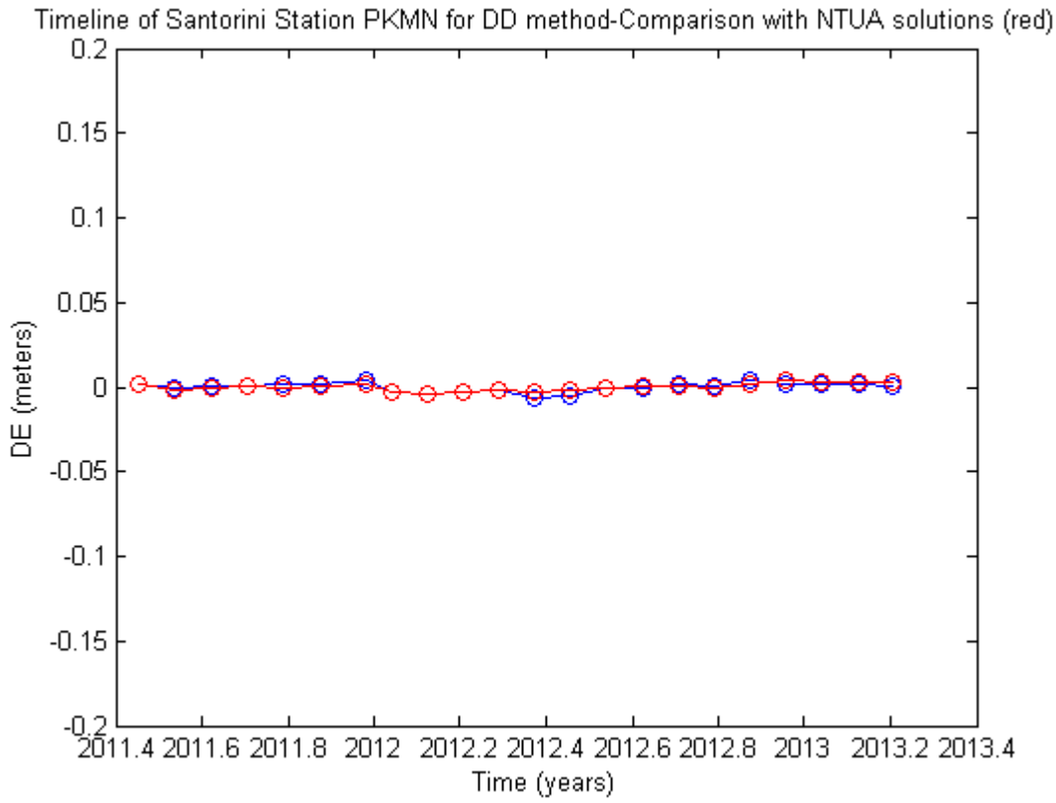


Διάγραμμα 7.33: Χρονοσειρά DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό PKMN
DU timeline DD method PKMN station

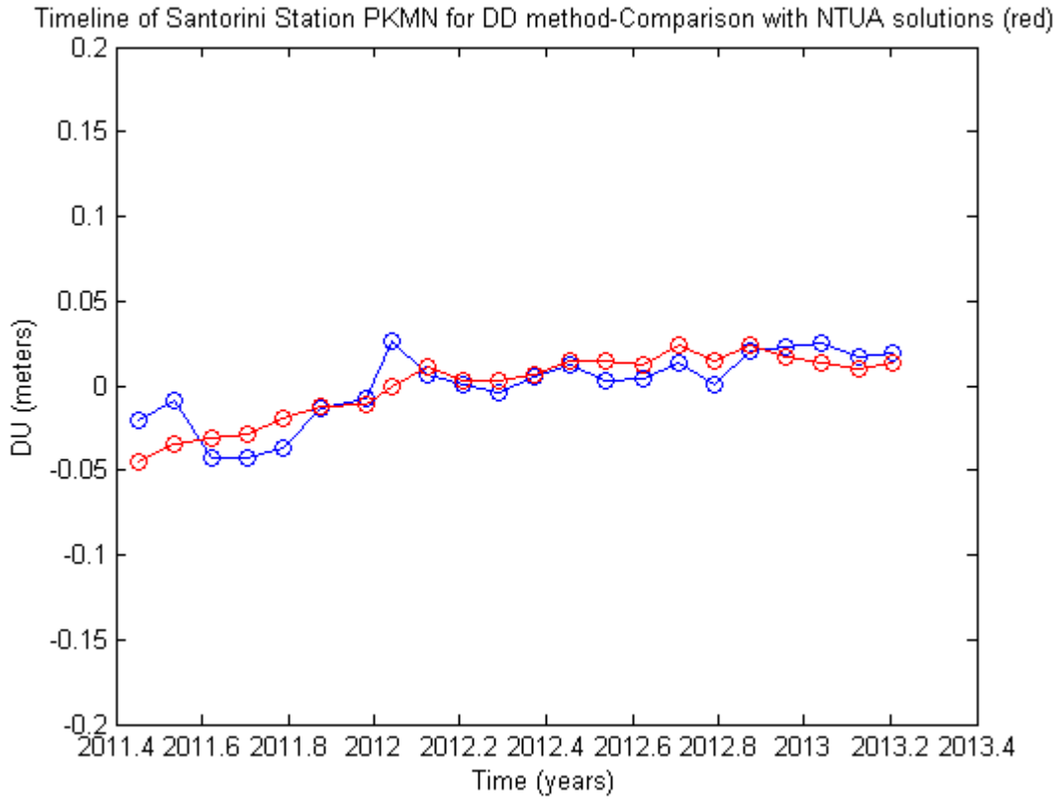
Και:



Διάγραμμα 7.34: Σύγκριση DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό PKMN με τις λύσεις του Εργαστηρίου
DN timeline DD method PKMN station differences with Lab solutions



Διάγραμμα 7.35: Σύγκριση DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό PKMN με τις λύσεις του Εργαστηρίου
DE timeline DD method PKMN station differences with Lab solutions

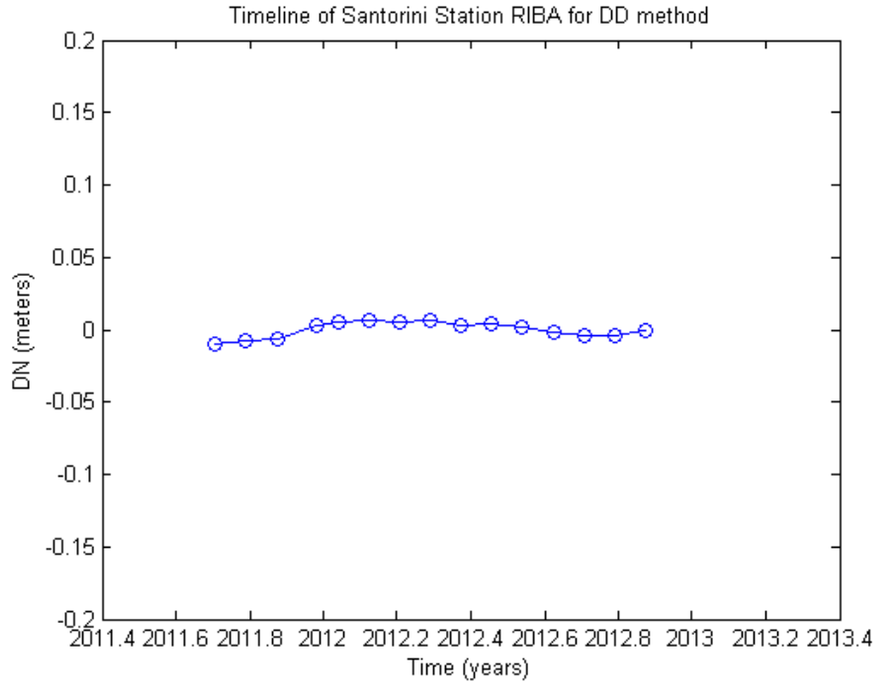


Διάγραμμα 7.36: Σύγκριση DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό PKMN με τις λύσεις του Εργαστηρίου
DU timeline DD method PKMN station differences with Lab solutions

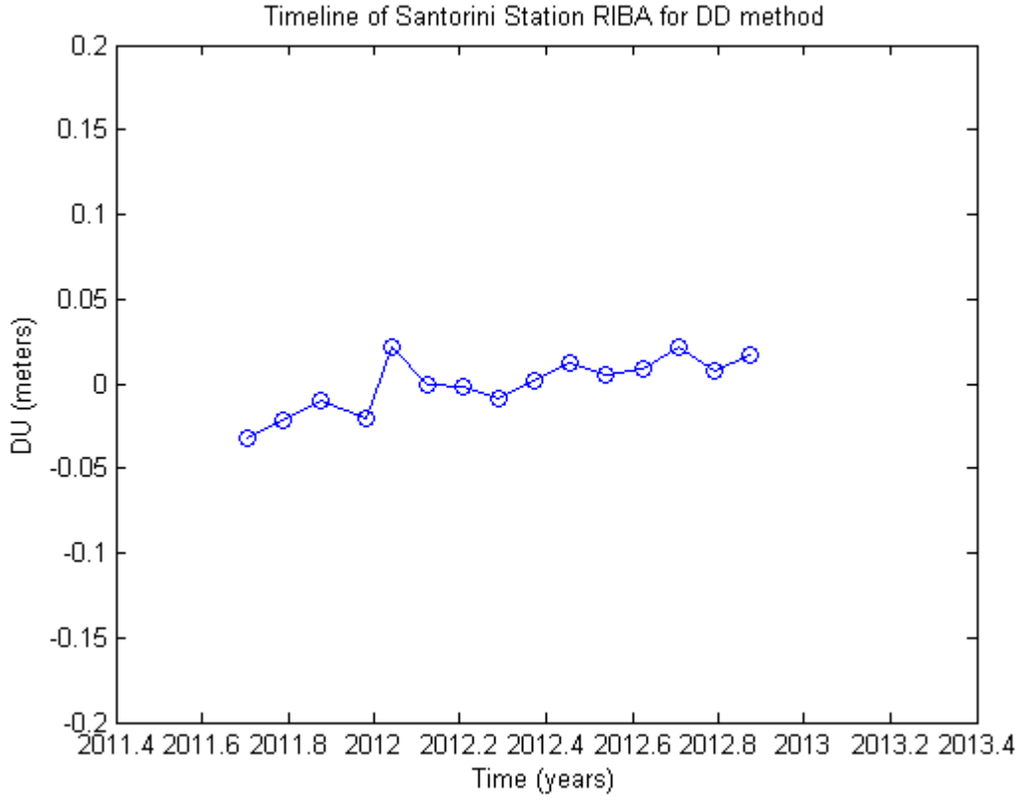
Παρομοίως, παρατηρείται πλήρης συμφωνία οριζοντιογραφικά και μια σχετική αστάθεια στις λύσεις των υψομέτρων και κρίνεται γενικά ικανοποιητική και σύμφωνη με τις

λύσεις του εργαστηρίου.

- *RIBA*

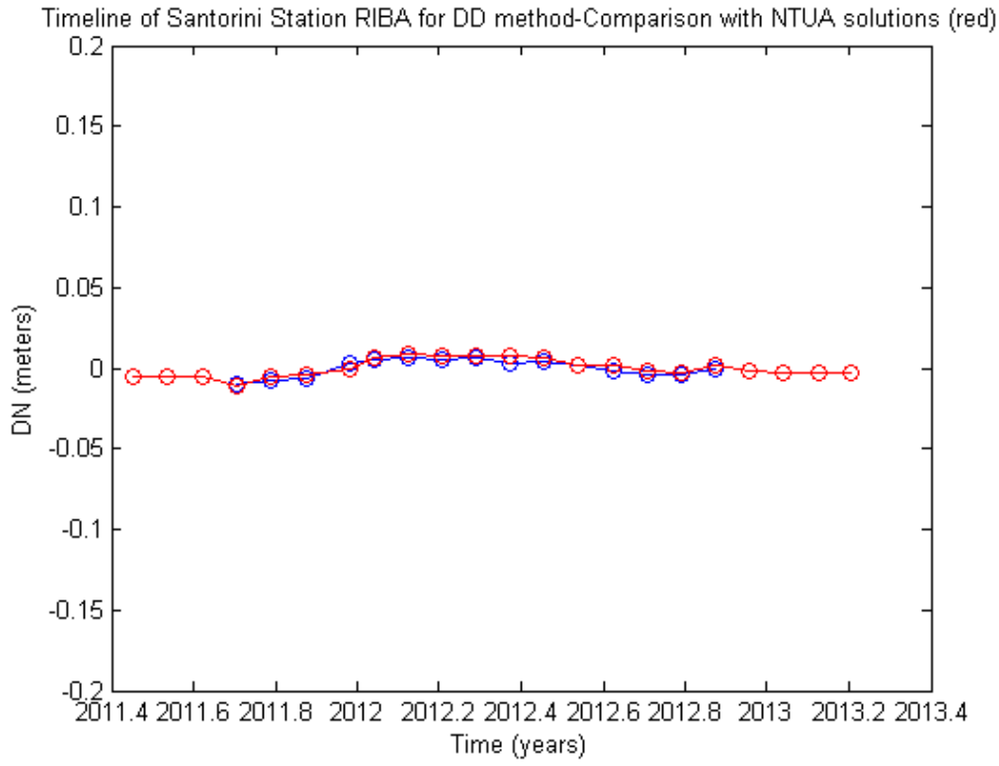


Διάγραμμα 7.37: Χρονοσειρά DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό RIBA
DN timeline DD method RIBA station

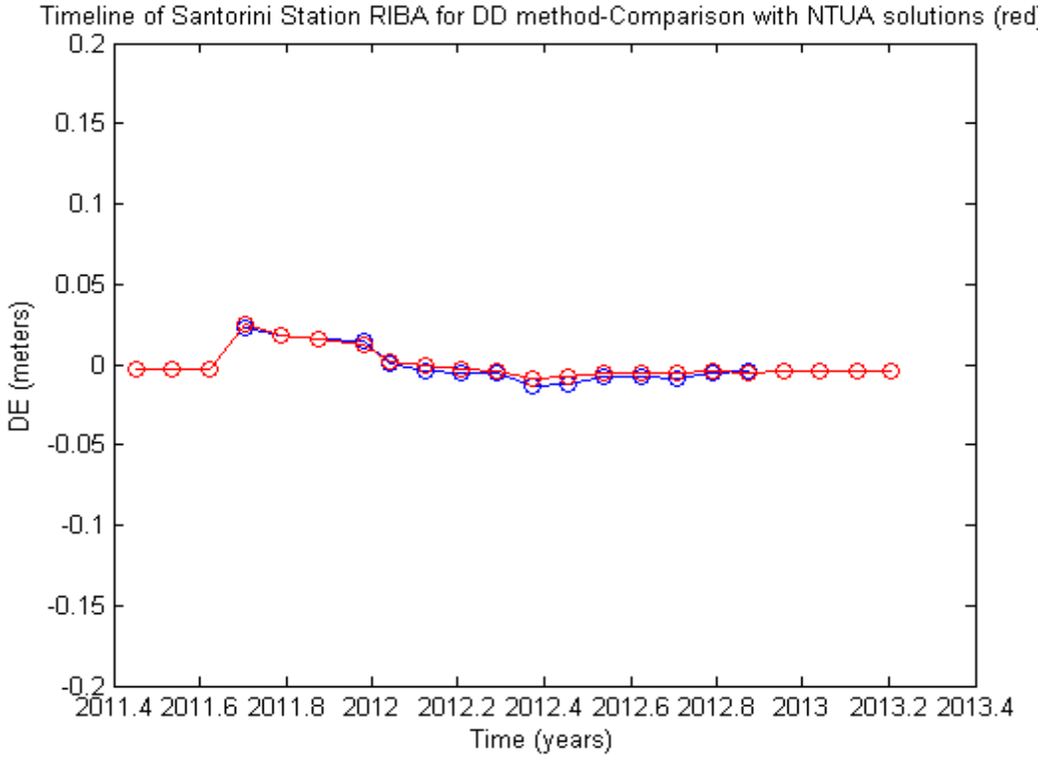


Διάγραμμα 7.39: Χρονοσειρά DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό RIBA
DU timeline DD method RIBA station

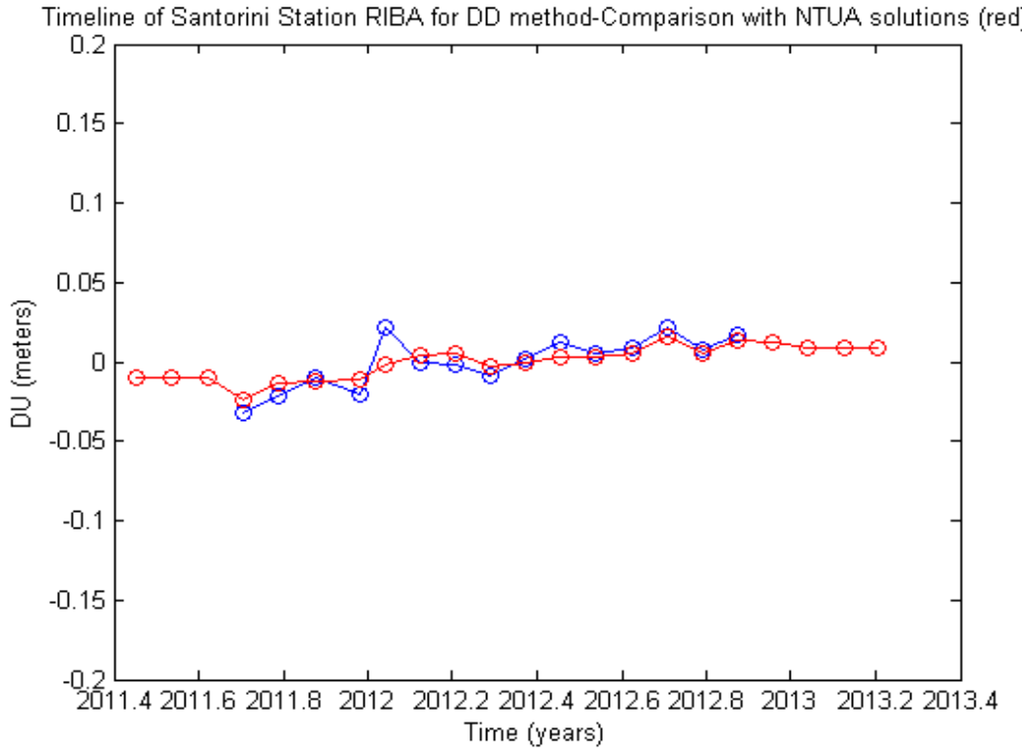
Συγκριτικά με τις λύσεις τους εργαστηρίου:



Διάγραμμα 7.40: Σύγκριση DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό RIBA με τις λύσεις του Εργαστηρίου
DN timeline DD method RIBA station differences with Lab solutions

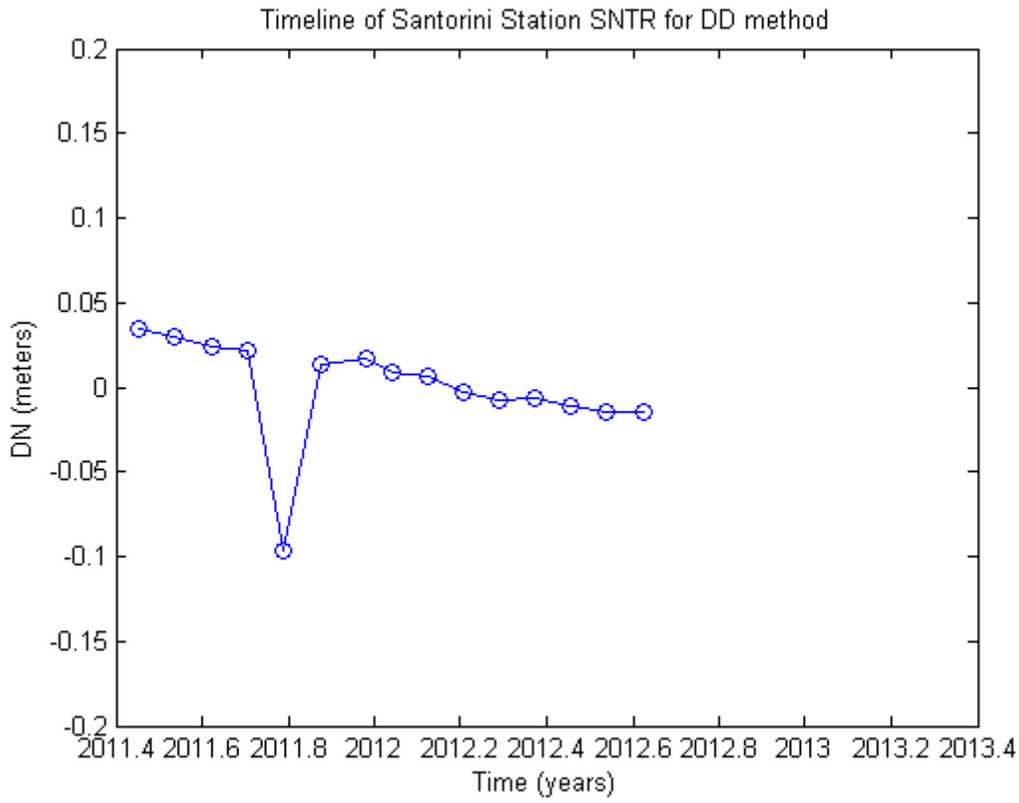


Διάγραμμα 7.41: Σύγκριση DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό RIBA με τις λύσεις του Εργαστηρίου
DE timeline DD method RIBA station differences with Lab solutions

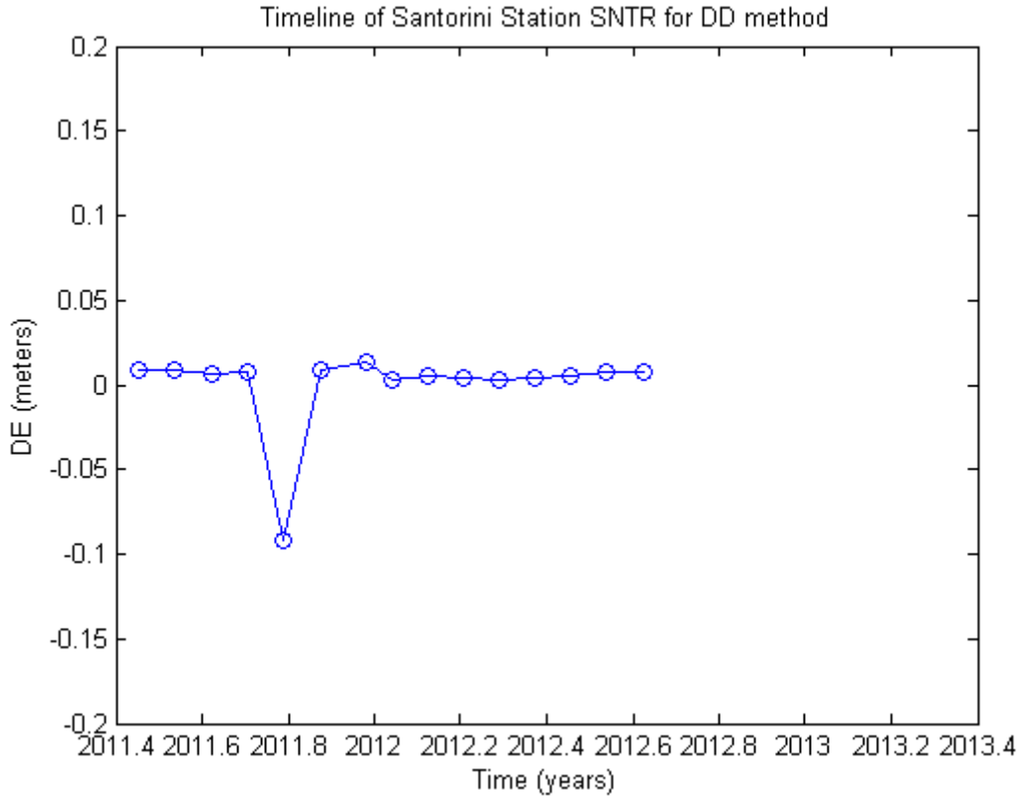


Διάγραμμα 7.42: Σύγκριση DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό RIBA με τις λύσεις του Εργαστηρίου
DU timeline DD method RIBA station differences with Lab solutions

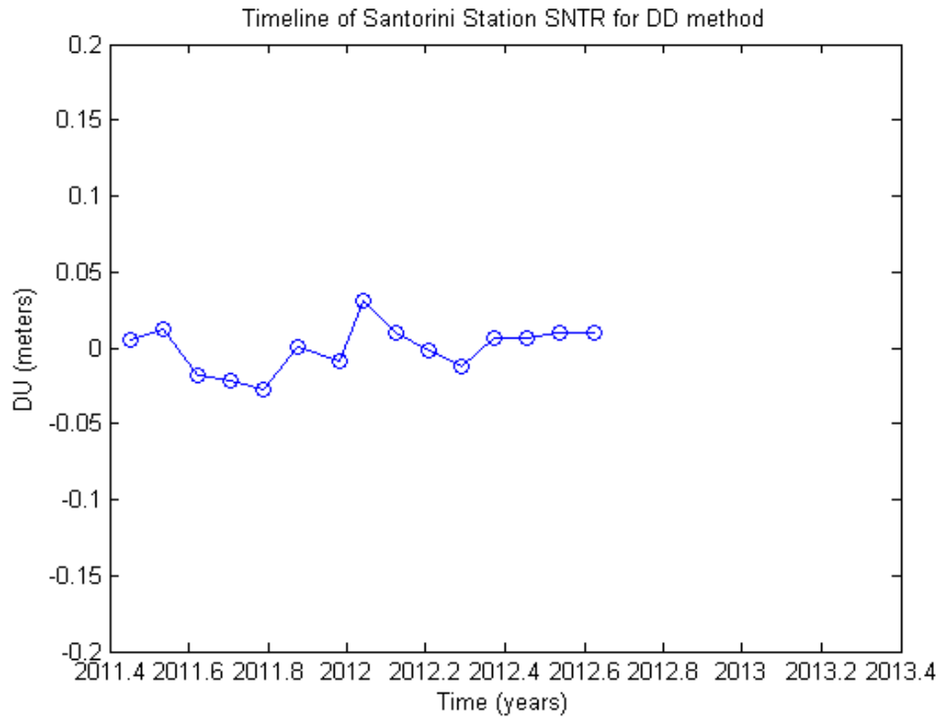
Παρατηρούμε πάλι τα ίδια πράγματα μόνο που εδώ και τα υψόμετρα εκτός μιας ημέρας είναι σχεδόν σε πλήρη ταύτισης. Η περίοδος δεδομένων και εδώ διαφέρει με αυτήν την εργαστηρίου αφού δεν ήταν διαθέσιμα παραπάνω δεδομένα από αυτά που λύθηκαν.



Διάγραμμα 7.43: Χρονοσειρά DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό SNTR
DN timeline DD method SNTR Station



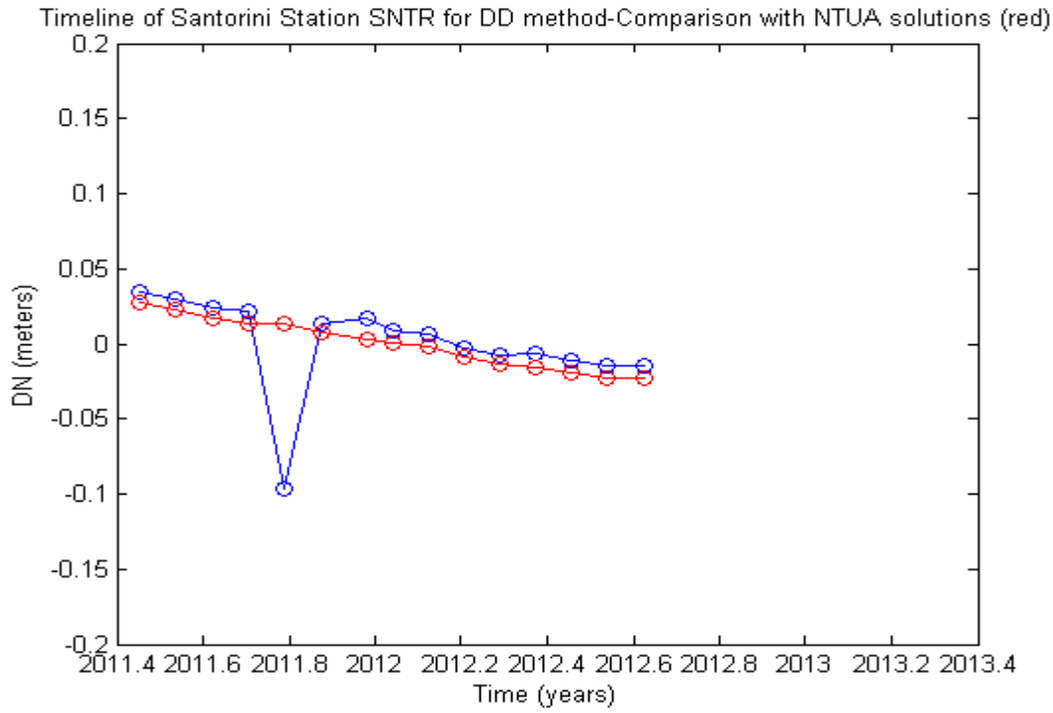
Διάγραμμα 7.44: Χρονοσειρά DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό SNTR
DE timeline DD method SNTR station



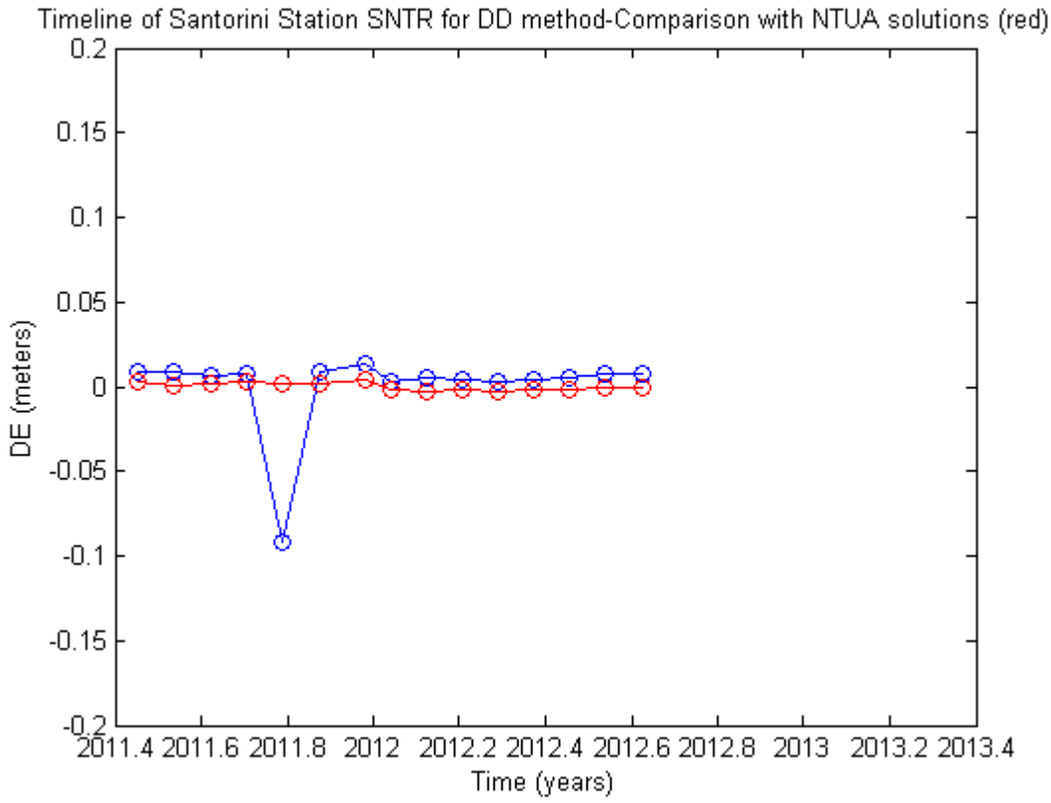
Διάγραμμα 7.45: Χρονοσειρά DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό SNTR
DU timeline DD method SNTR station

Παρατηρείται ότι για την οριζοντιογραφία (DN, DE) υπάρχει ένα μεγάλο σφάλμα την πέμπτη μέρα επίλυσης. Δεδομένης της σταθερότητας του σημείου κρίνεται ότι πρόκειται για χονδροειδές σφάλμα στα δεδομένα του σημείου. Η ημέρα δεν παρουσιάζει κάποιο πρόβλημα για τα άλλα σημεία.

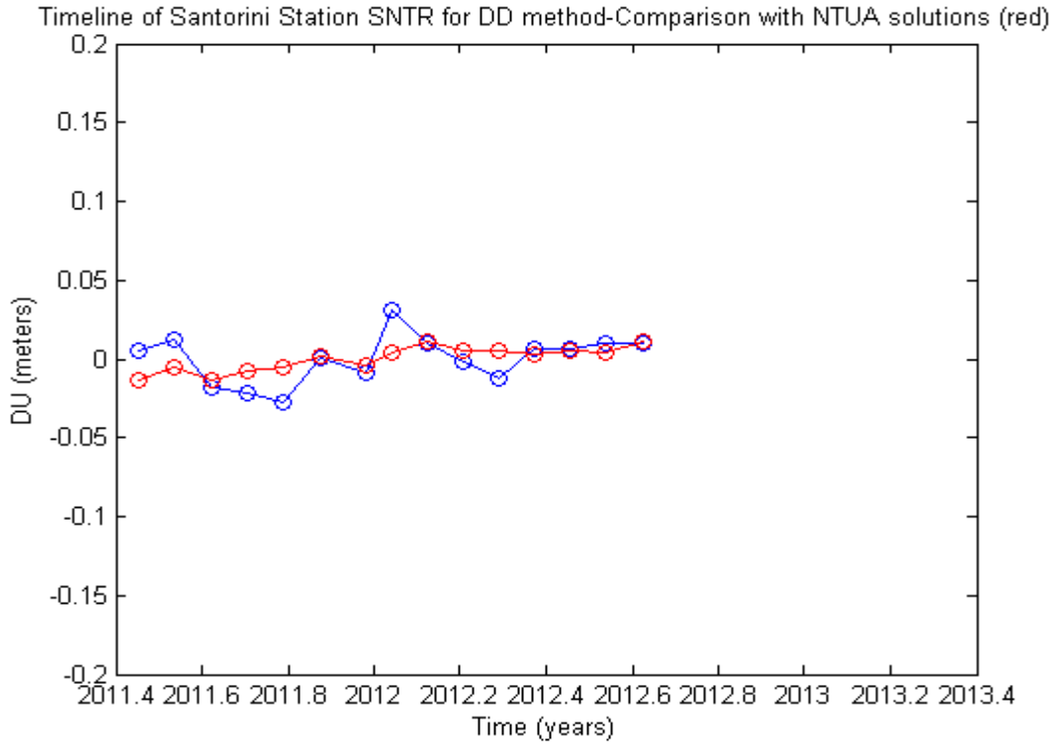
Η σύγκριση με τις επιλύσεις του εργαστηρίου:



Διάγραμμα 7.46: Σύγκριση DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό SNTR με τις λύσεις του Εργαστηρίου
DN timeline DD method SNTR station differences with Lab solutions



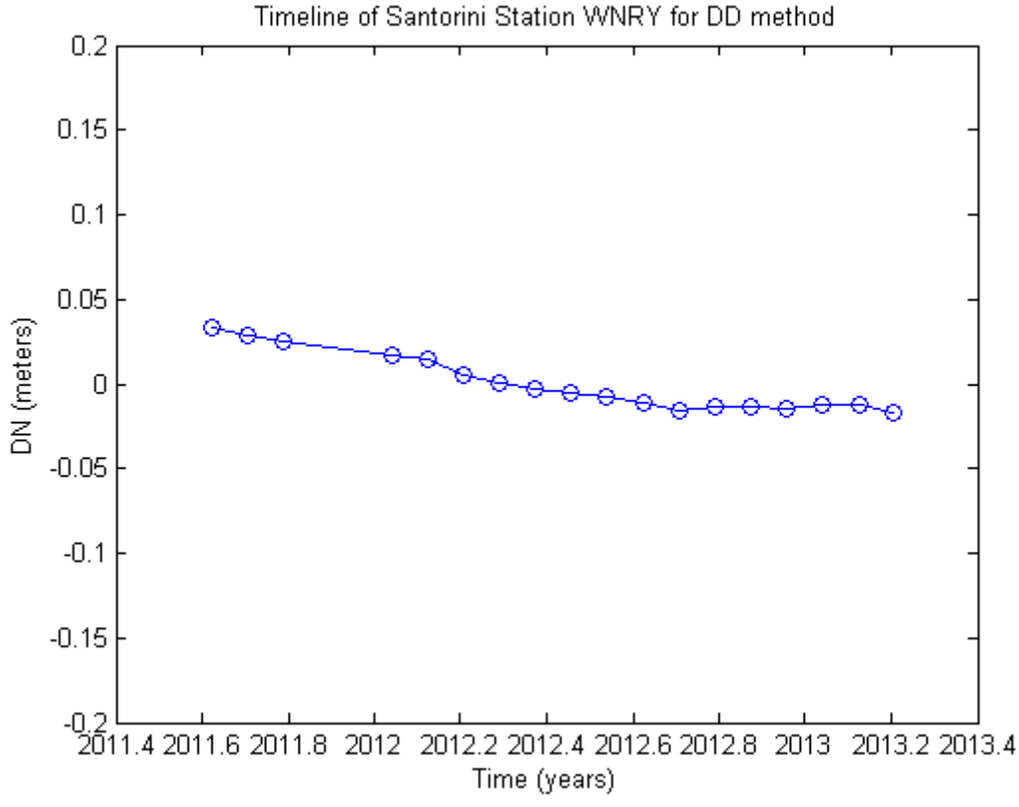
Διάγραμμα 7.47: Σύγκριση DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό SNTR με τις λύσεις του Εργαστηρίου
DE timeline DD method SNTR station differences with Lab solutions



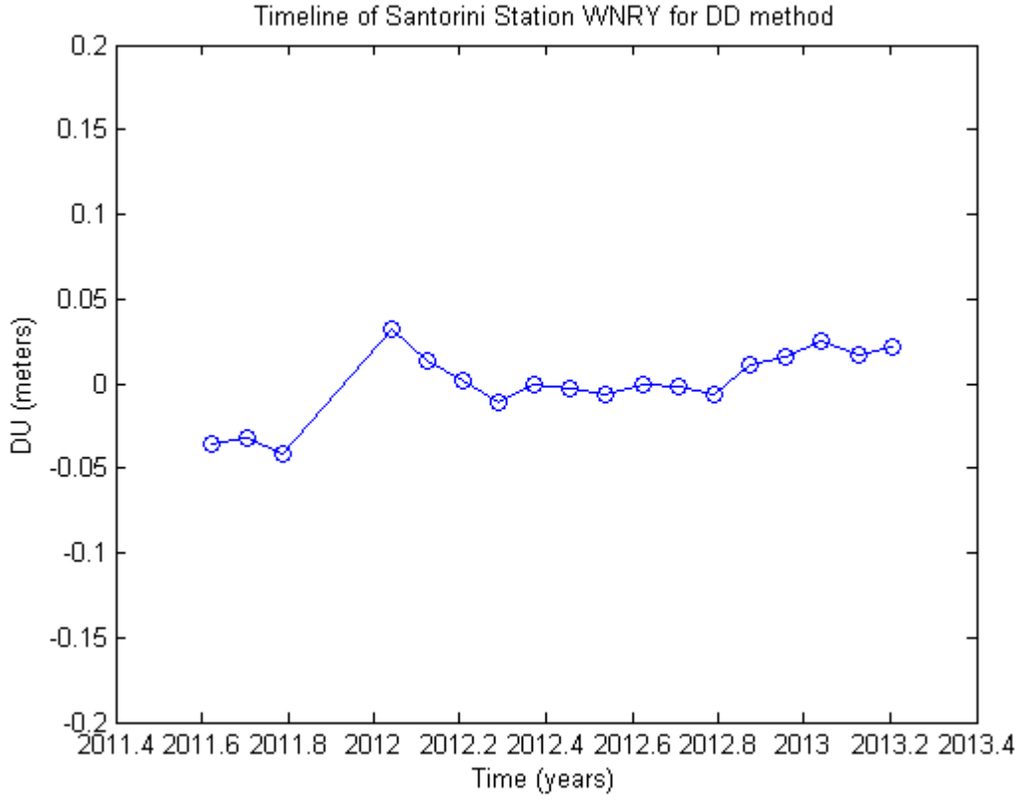
Διάγραμμα 7.48: Σύγκριση DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό SNTR με τις λύσεις του Εργαστηρίου
DU timeline DD method SNTR station differences with Lab solutions

Παρατηρούμε ότι η αντίστοιχη ανωμαλία για την πέμπτη ημέρα επίλυσης δεν εμφανίζεται στις επιλύσεις του εργαστηρίου.

- *WNRY*

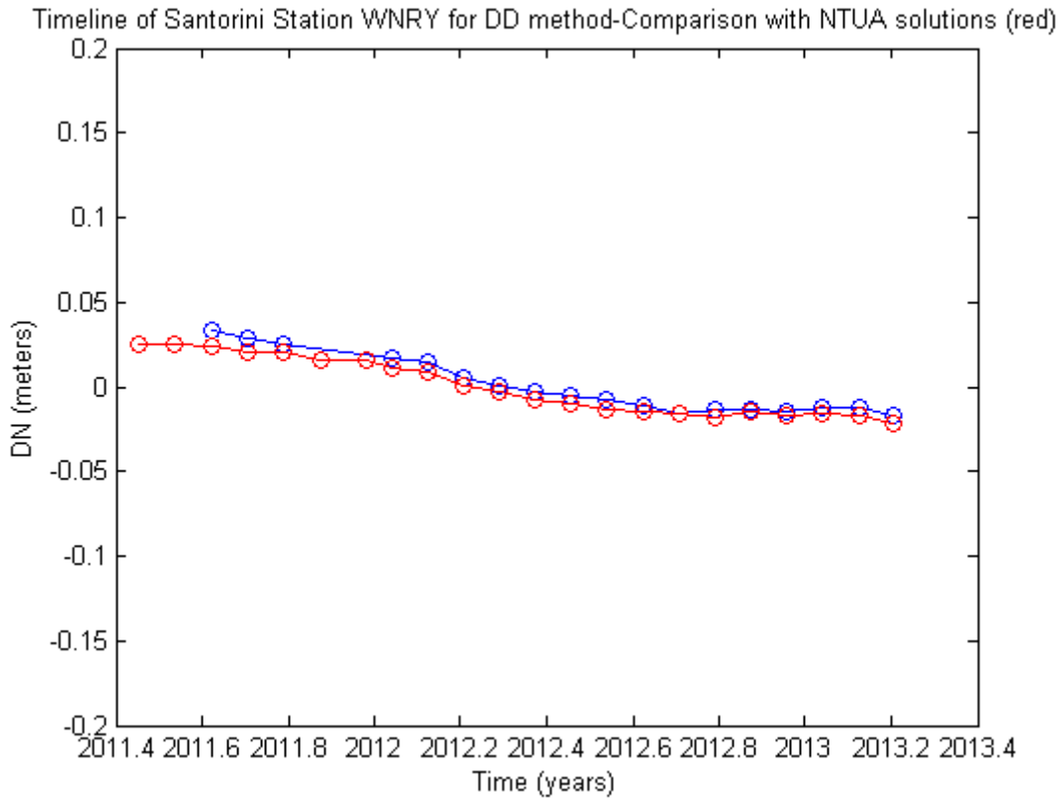


Διάγραμμα 7.49: Χρονοσειρά DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό WNRY
DN timeline DD method WNRY station

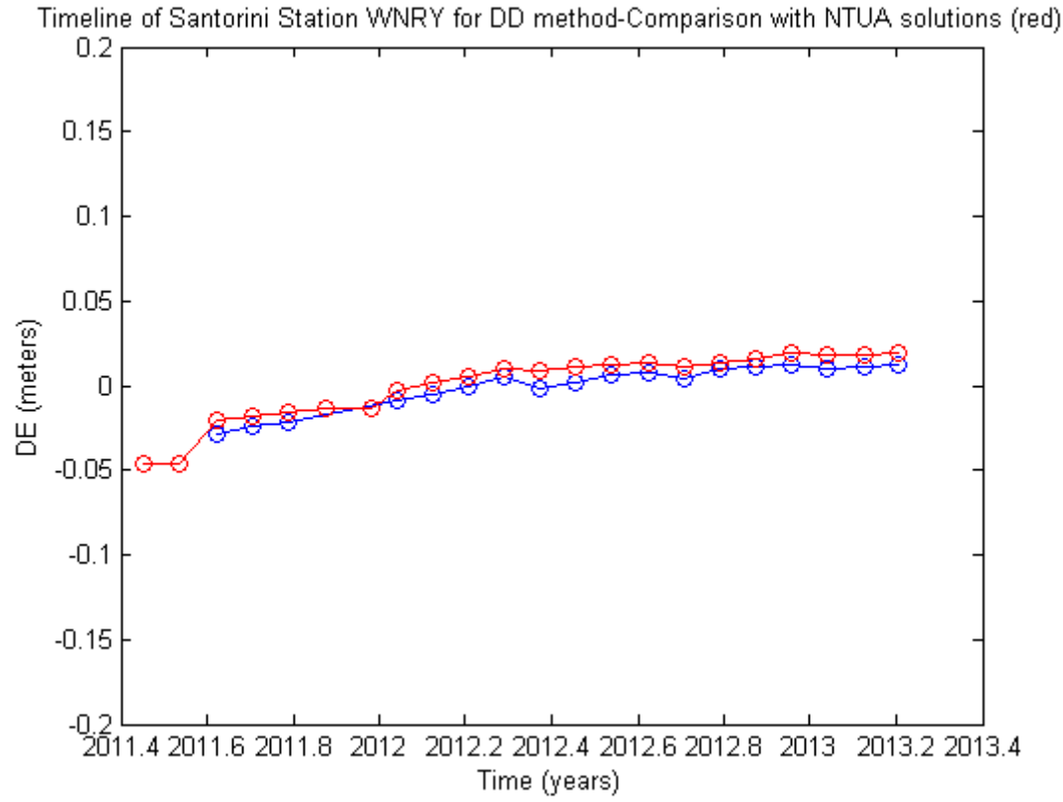


Διάγραμμα 7.51: Χρονοσειρά DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό WNRY
DU timeline DD method WNRY station

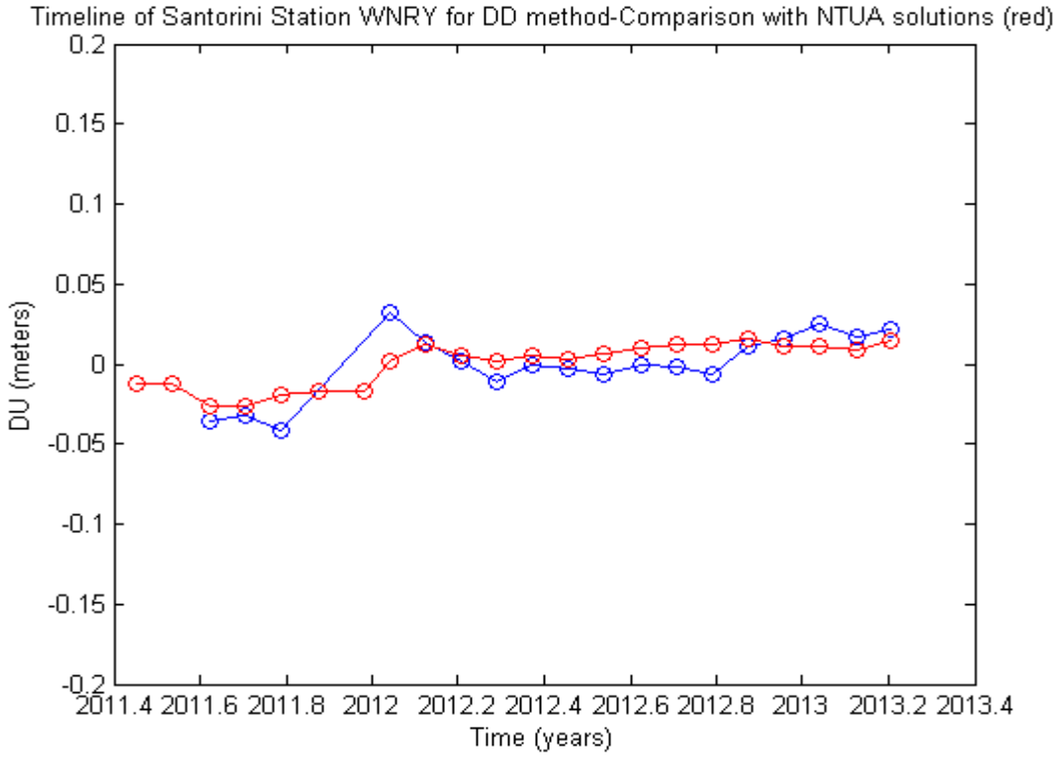
Και οι συγκρίσεις:



Διάγραμμα 7.52: Σύγκριση DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό WNRY με τις λύσεις του Εργαστηρίου
DN timeline DD method WNRY station differences with Lab solutions



Διάγραμμα 7.53: Σύγκριση DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό WNRY με τις λύσεις του Εργαστηρίου
DE timeline DD method WNRY station differences with Lab solutions



Διάγραμμα 7.54: Σύγκριση DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό WNRY με τις λύσεις του Εργαστηρίου
DU timeline DD method WNRY station differences with Lab solutions

Οι παρατηρήσεις είναι ίδιες με τις αντίστοιχες των προηγούμενων σημείων και εδώ.

7.4 Αποτελέσματα PPP

Στην συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα από την επίλυση των δεδομένων με την μέθοδο PPP. Η λύση στηρίχθηκε στις ήδη υπάρχουσες καμπάνιες που δημιουργήθηκαν για την επίλυση των διπλών διαφορών και με κάποιες αλλαγές στην επίλυση και με την προσθήκη κάποιων παραπάνω στοιχείων όπως περιγράφονται στο αντίστοιχο κεφάλαιο. Οι συντεταγμένες που προέκυψαν λοιπόν από την μέθοδο PPP είναι οι εξής:

Day 1	June 15th 2011		
SNTR	4647218,661	2202396,877	3760307,145
NOMI	4640783,756	2206447,752	3766127,440
PKMN	4643869,419	2203539,783	3763744,532
KERA	4644059,638	2200009,937	3765747,722

Πίνακας 7.45: Αποτελέσματα PPP πρώτης ημέρας
First day PPP results

Day 2	July 15th 2011		
SNTR	4647218,533	2202396,801	3760307,021
KERA	4644059,502	2200009,872	3765747,606
NOMI	4640783,593	2206447,700	3766127,313
PKMN	4643869,256	2203539,677	3763744,384

Πίνακας 7.46: Αποτελέσματα PPP δεύτερης ημέρας
Second day PPP results

Day 3	August 15th 2011		
SNTR	4647218,560	2202396,795	3760307,042
NOMI	4640783,635	2206447,706	3766127,341
PKMN	4643869,304	2203539,690	3763744,413
WNRY	4642530,980	2208076,628	3763087,188
DSLN	4639882,347	2202109,303	3769559,814
KERA	4644059,536	2200009,879	3765747,627

Πίνακας 7.47: Αποτελέσματα PPP τρίτης ημέρας
Third day PPP results

Day 4	September 15th 2011		
SNTR	4647218,482	2202396,751	3760306,959
DSLN	4639882,257	2202109,259	3769559,732
KERA	4644059,460	2200009,834	3765747,548
MOZI	4639049,386	2204980,288	3769175,885
NOMI	4640783,557	2206447,671	3766127,265
PKMN	4643869,219	2203539,633	3763744,322
RIBA	4641874,756	2198523,628	3768942,590
WNRY	4642530,894	2208076,582	3763087,103

Πίνακας 7.48: Αποτελέσματα PPP τέταρτης ημέρας
Fourth day PPP results

Day 5	October 15th 2011		
SNTR	4647218,675	2202396,878	3760307,137
DSLN	4639882,425	2202109,361	3769559,880
KERA	4644059,661	2200009,932	3765747,709
MOZI	4639049,579	2204980,405	3769176,046
PKMN	4643869,416	2203539,749	3763744,478
RIBA	4641874,949	2198523,739	3768942,757
WNRY	4642531,072	2208076,687	3763087,243

Πίνακας 7.49: Αποτελέσματα PPP πέμπτης ημέρας
Fifth day PPP results

Day 6	November 15th 2011		
SNTR	4647218,524	2202396,788	3760306,998
KERA	4644059,515	2200009,845	3765747,596
MOZI	4639049,430	2204980,328	3769175,942
NOMI	4640783,594	2206447,713	3766127,311
PKMN	4643869,271	2203539,661	3763744,358
RIBA	4641874,793	2198523,657	3768942,641

Πίνακας 7.50: Αποτελέσματα PPP έκτης ημέρας
Sixth day PPP results

Day 7	December 16th 2011		
SNTR	4647218,524	2202396,790	3760306,992
RIBA	4641874,796	2198523,641	3768942,645
NOMI	4640783,589	2206447,721	3766127,307
PKMN	4643869,279	2203539,674	3763744,359
MOZI	4639049,414	2204980,330	3769175,942
KERA	4644059,518	2200009,842	3765747,596
DSLN	4639882,301	2202109,268	3769559,802

Πίνακας 7.51: Αποτελέσματα PPP έβδομης ημέρας
Seventh day PPP results

Day 8	January 15th 2012		
SNTR	4647218,523	2202396,778	3760306,986
WNRY	4642530,953	2208076,623	3763087,145
RIBA	4641874,801	2198523,626	3768942,645
MKMN	4642463,221	2204528,700	3764821,915
MOZI	4639049,496	2204980,360	3769175,986
PKMN	4643869,288	2203539,669	3763744,354
KERA	4644059,527	2200009,833	3765747,594
DSLN	4639882,298	2202109,274	3769559,812

Πίνακας 7.52: Αποτελέσματα PPP όγδοης ημέρας
Eight day PPP results

Day 9	February 15th 2012		
SNTR	4647218,352	2202396,690	3760306,843
WNRY	4642530,905	2208076,629	3763087,121
RIBA	4641874,746	2198523,605	3768942,606
NOMI	4640783,544	2206447,716	3766127,278
PKMN	4643869,238	2203539,643	3763744,306
MKMN	4642463,168	2204528,684	3764821,871
KERA	4644059,479	2200009,809	3765747,555
MOZI	4639049,370	2204980,317	3769175,921

Πίνακας 7.53: Αποτελέσματα PPP ένατης ημέρας
Ninth day PPP results

Day 10	March 15th 2012		
SNTR	4647218,532	2202396,781	3760306,977
WNRY	4642530,948	2208076,632	3763087,131
RIBA	4641874,798	2198523,621	3768942,645
NOMI	4640783,589	2206447,740	3766127,305
PKMN	4643869,283	2203539,674	3763744,337
MKMN	4642463,214	2204528,714	3764821,899
MOZI	4639049,419	2204980,346	3769175,962
KERA	4644059,529	2200009,828	3765747,587

Πίνακας 7.54: Αποτελέσματα PPP δέκατης ημέρας
Tenth day PPP results

Day 11	April 15th 2012		
SNTR	4647218,509	2202396,765	3760306,965
WNRY	4642530,918	2208076,625	3763087,118
RIBA	4641874,778	2198523,613	3768942,642
NOMI	4640783,560	2206447,740	3766127,291
PKMN	4643869,270	2203539,665	3763744,327
MKMN	4642463,199	2204528,711	3764821,899
MOZI	4639049,391	2204980,331	3769175,949
KERA	4644059,507	2200009,810	3765747,575

Πίνακας 7.55: Αποτελέσματα PPP ενδέκατης ημέρας
Eleventh day PPP results

Day 12	May 15th 2012		
SNTR	4647218,356	2202396,692	3760306,830
WNRY	4642530,929	2208076,614	3763087,102
RIBA	4641874,796	2198523,611	3768942,648
NOMI	4640783,585	2206447,748	3766127,309
PKMN	4643869,288	2203539,670	3763744,332
MKMN	4642463,217	2204528,710	3764821,899
MOZI	4639049,400	2204980,332	3769175,953
KERA	4644059,518	2200009,815	3765747,577
DSLN	4639882,238	2202109,250	3769559,791

Πίνακας 7.56: Αποτελέσματα PPP δωδέκατης ημέρας
Twelvth day PPP results

Day 13	June 15th 2012		
SNTR	4647218,358	2202396,694	3760306,828
WNRY	4642530,985	2208076,670	3763087,162
RIBA	4641874,850	2198523,646	3768942,697
NOMI	4640783,623	2206447,785	3766127,350
PKMN	4643869,346	2203539,704	3763744,380
MKMN	4642463,280	2204528,754	3764821,953
MOZI	4639049,449	2204980,366	3769175,997
KERA	4644059,580	2200009,849	3765747,630

Πίνακας 7.57: Αποτελέσματα PPP δέκατης τρίτης ημέρας
Thirteenth day PPP results

Day 14	July 15th 2012		
SNTR	4647218,362	2202396,698	3760306,826
WNRY	4642530,958	2208076,666	3763087,147
RIBA	4641874,812	2198523,649	3768942,674
NOMI	4640783,591	2206447,784	3766127,328
PKMN	4643869,306	2203539,709	3763744,354
MKMN	4642463,237	2204528,757	3764821,925
MOZI	4639049,417	2204980,366	3769175,977
KERA	4644059,541	2200009,849	3765747,608

Πίνακας 7.58: Αποτελέσματα PPP δέκατης τέταρτης ημέρας
Fourteenth day PPP results

Day 15	August 15th 2012		
SNTR	4647218,362	2202396,698	3760306,826
WNRY	4642531,023	2208076,697	3763087,198
RIBA	4641874,894	2198523,674	3768942,739
NOMI	4640783,667	2206447,808	3766127,390
PKMN	4643869,378	2203539,727	3763744,411
MKMN	4642463,306	2204528,774	3764821,979
MOZI	4639049,484	2204980,399	3769176,033
KERA	4644059,623	2200009,867	3765747,672

Πίνακας 7.59: Αποτελέσματα PPP δέκατης πέμπτης ημέρας
Fifteenth day PPP results

Day 16	Semptember 15th 2012		
SNTR	4647218,295	2202396,663	3760306,874
WNRY	4642531,083	2208076,707	3763087,231
RIBA	4641874,956	2198523,687	3768942,770
NOMI	4640783,716	2206447,814	3766127,414
PKMN	4643869,442	2203539,742	3763744,445
MKMN	4642463,369	2204528,797	3764822,022
MOZI	4639049,536	2204980,410	3769176,066
KERA	4644059,677	2200009,878	3765747,701

Πίνακας 7.60: Αποτελέσματα PPP δέκατης έκτης ημέρας
Sixteenth day PPP results

Day 17	October 15th 2012		
SNTR	4647218,295	2202396,663	3760306,874
WNRY	4642531,135	2208076,753	3763087,261
RIBA	4641875,010	2198523,730	3768942,803
NOMI	4640783,797	2206447,871	3766127,463
PKMN	4643869,510	2203539,796	3763744,489
MOZI	4639049,608	2204980,457	3769176,110
KERA	4644059,746	2200009,936	3765747,749
DSLN	4639882,444	2202109,368	3769559,935

Πίνακας 7.61: Αποτελέσματα PPP δέκατης έβδομης ημέρας
Seventeenth day PPP results

Day 18	November 16th 2012		
SNTR	4647218,295	2202396,663	3760306,874
WNRY	4642531,076	2208076,724	3763087,210
RIBA	4641874,958	2198523,692	3768942,756
NOMI	4640783,732	2206447,828	3766127,411
PKMN	4643869,462	2203539,750	3763744,446
MOZI	4639049,560	2204980,407	3769176,059
KERA	4644059,692	2200009,886	3765747,692
DSLN	4639882,430	2202109,364	3769559,925

Πίνακας 7.62: Αποτελέσματα PPP δέκατης όγδοης ημέρας
Eighteenth day PPP results

Day 19	December 15th 2012		
SNTR	4647218,295	2202396,663	3760306,874
WNRY	4642531,011	2208076,705	3763087,172
NOMI	4640783,648	2206447,817	3766127,341
PKMN	4643869,371	2203539,731	3763744,385
DSLN	4639882,361	2202109,308	3769559,860
KERA	4644059,609	2200009,880	3765747,640
MOZI	4639049,483	2204980,399	3769176,011

Πίνακας 7.63: Αποτελέσματα PPP δέκατης ένατης ημέρας
Nineteenth day PPP results

Day 20	January 15th 2013		
SNTR	4647218,295	2202396,663	3760306,874
WNRY	4642530,978	2208076,657	3763087,127
PKMN	4643869,337	2203539,697	3763744,338
MOZI	4639049,445	2204980,362	3769175,964
DSLN	4639882,319	2202109,291	3769559,825
KERA	4644059,569	2200009,838	3765747,593

Πίνακας 7.64: Αποτελέσματα PPP εικοστής ημέρας
Twentieth day PPP results

Day 21	February 15th 2013		
SNTR	4647218,295	2202396,663	3760306,874
WNRY	4642530,971	2208076,670	3763087,124
NOMI	4640783,603	2206447,778	3766127,300
PKMN	4643869,310	2203539,701	3763744,324
KERA	4644059,550	2200009,842	3765747,580
DSLN	4639882,309	2202109,279	3769559,822

Πίνακας 7.65: Αποτελέσματα PPP εικοστής πρώτης ημέρας
Twenty first day PPP results

Day 22	March 15th 2013		
SNTR	4647218,295	2202396,663	3760306,874
WNRY	4642530,949	2208076,622	3763087,091
NOMI	4640783,571	2206447,758	3766127,267
PKMN	4643869,279	2203539,675	3763744,283
KERA	4644059,516	2200009,820	3765747,539
DSLN	4639882,265	2202109,270	3769559,773

Πίνακας 7.66: Αποτελέσματα PPP εικοστής δέυτερης ημέρας
Twenty second day PPP results

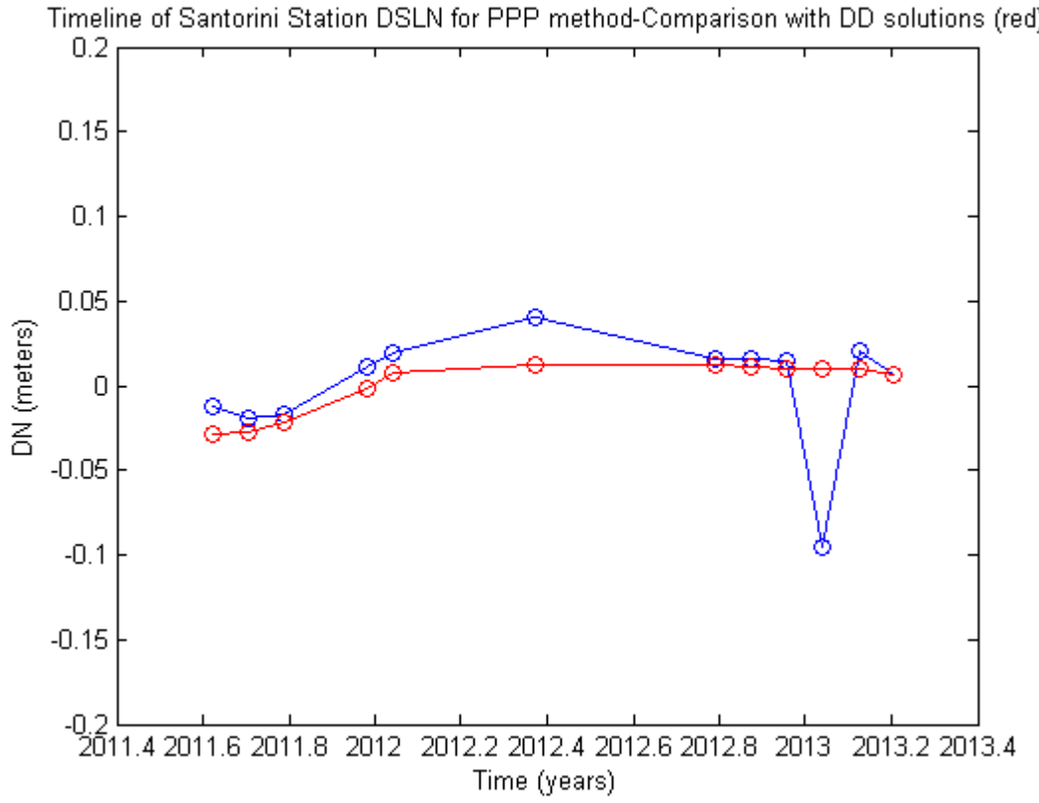
7.5 Χρονοσειρές PPP

Οι μετατροπές των συντεταγμένων σε τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς έγινε κατά τα προαναφερθέντα. Επίσης η κατασκευή των χρονοσειρών έγινε με την ίδια διαδικασία που περιγράφηκε προηγουμένως με το λογισμικό Matlab r2011a.

Τα διαγράμματα που κατασκευάστηκαν αφορούν τις χρονοσειρές για τα σημεία μας με την μέθοδο PPP και συγκριτικές χρονοσειρές με την μέθοδο των διπλών διαφορών. Για λόγους συντομίας παρατίθενται μόνο τα δεύτερα μιας και είναι μεγαλύτερης σημασίας, καθώς μας υποδεικνύουν την ακρίβεια και την σταθερότητα των λύσεων με την μέθοδο του PPP συγκριτικά με την παραδοσιακή μέθοδο διπλών διαφορών, η ακρίβεια της οποίας είναι αποδεδειγμένη. Οι χρονοσειρές χωρίς την σύγκριση περιέχονται στο αντίστοιχο κεφάλαιο του παραρτήματος.

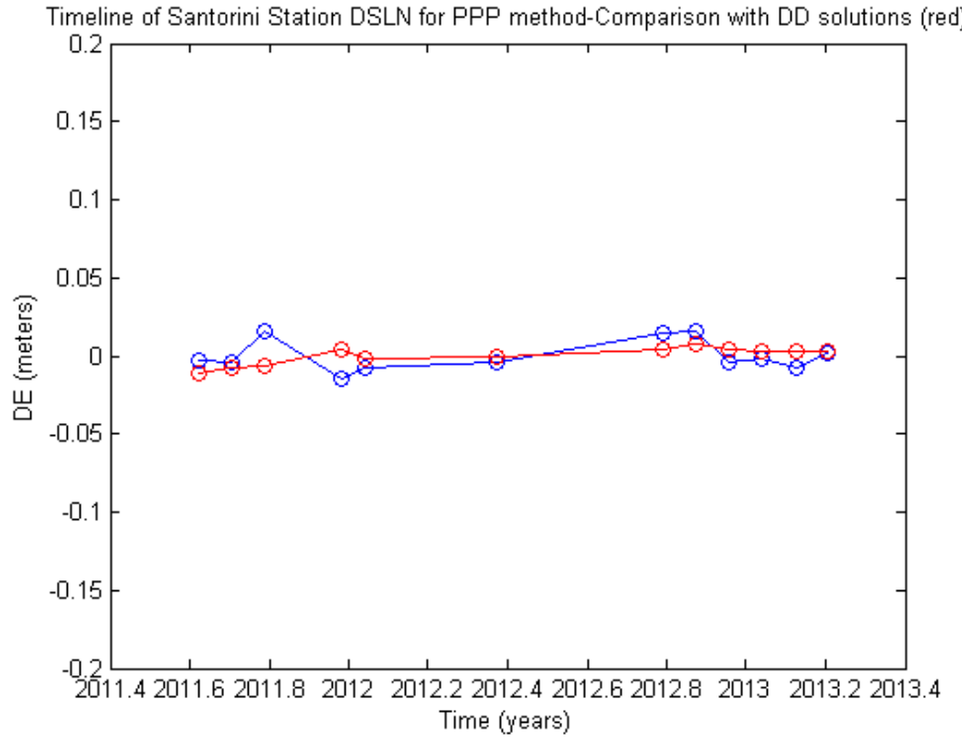
Επομένως έχουμε:

- *DSLN*



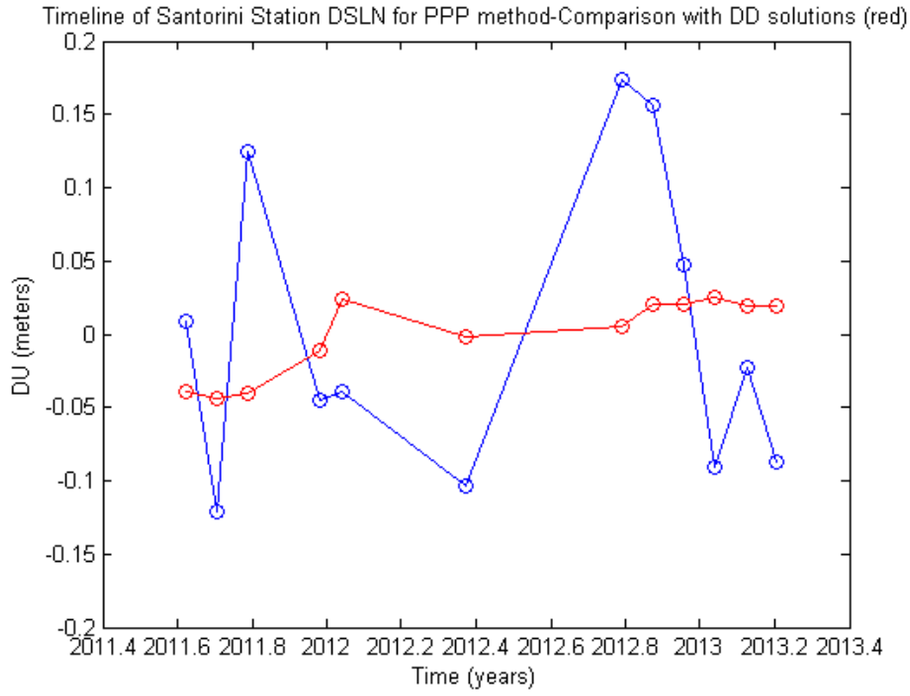
Διάγραμμα 7.55: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό DSLN στο Dnorth
DN timeline DSLN station PPP-DD differences

Σε σύγκριση με τις διπλές διαφορές παρατηρούμε ότι οι καμπύλες διαφέρουν σε δυο σημεία. Στην εποχή 2012.4 παρατηρούμε μια διαφορά μικρότερη των πέντε εκατοστών, η οποία ενώ είναι σχετικά μεγάλη κρίνεται αποδεκτή. Το σημείο της καμπύλης λίγο μετά το 2013 φεύγει αρκετά, κοντά στα 10 εκατοστά, και παρατηρείται ότι δεν ακολουθά την κλίση της καμπύλης. Επομένως κρίνεται ότι η επίλυση εκείνης της ημέρας είχε κάποιο πρόβλημα για το συγκεκριμένο σημείο μιας και το σφάλμα δεν είναι συστηματικό όπως θα δούμε για τα άλλα σημεία.



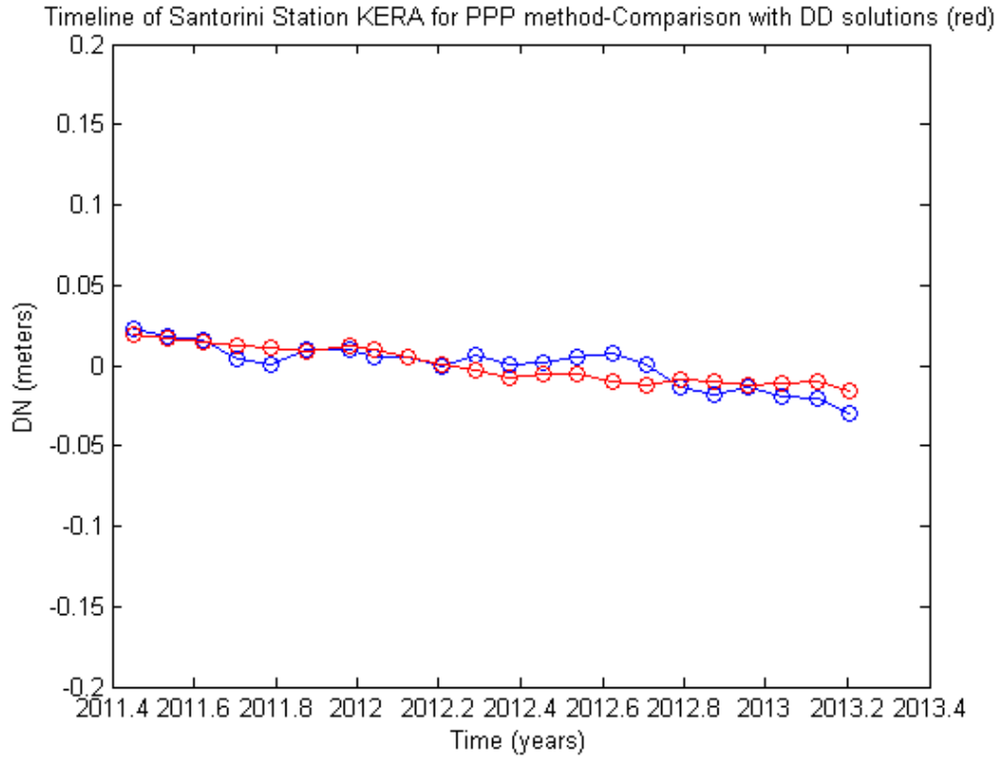
Διάγραμμα 7.56: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό DSLN στο Deast
DE timeline DSLN station PPP-DD differences

Οι διαφορές από την μέθοδο διπλών διαφορών είναι ως επί το πλείστον μικρές με μόνο μια μέρα να είναι περίπου στα δυο εκατοστά.



Διάγραμμα 7.57: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό DSLN στο Dup
DU timeline DSLN station PPP-DD differences

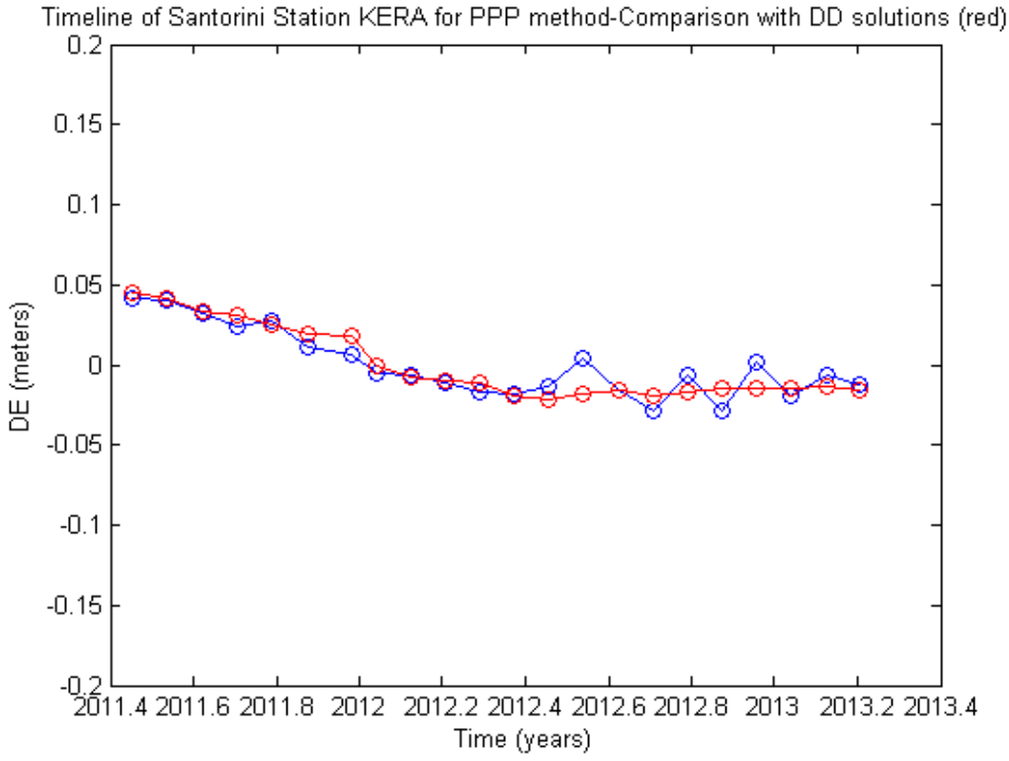
Παρατηρούμε ότι στα υψόμετρα η αστάθεια είναι μεγάλη και η ακρίβεια μειωμένη σε σχέση με την οριζοντιογραφία. Αυτό το μοτίβο παρατηρείται και στις επιλύσεις των άλλων σημείων. Επομένως κρίνεται ότι οι λύσεις δεν έχουν πρόβλημα, και είναι η φύση της επίλυσης με την μέθοδο PPP που καθιστά τον προσδιορισμό υψομέτρων μη αξιόπιστο.



Διάγραμμα 7.58: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό KERA στο Dnorth
DN timeline KERA station PPP-DD differences

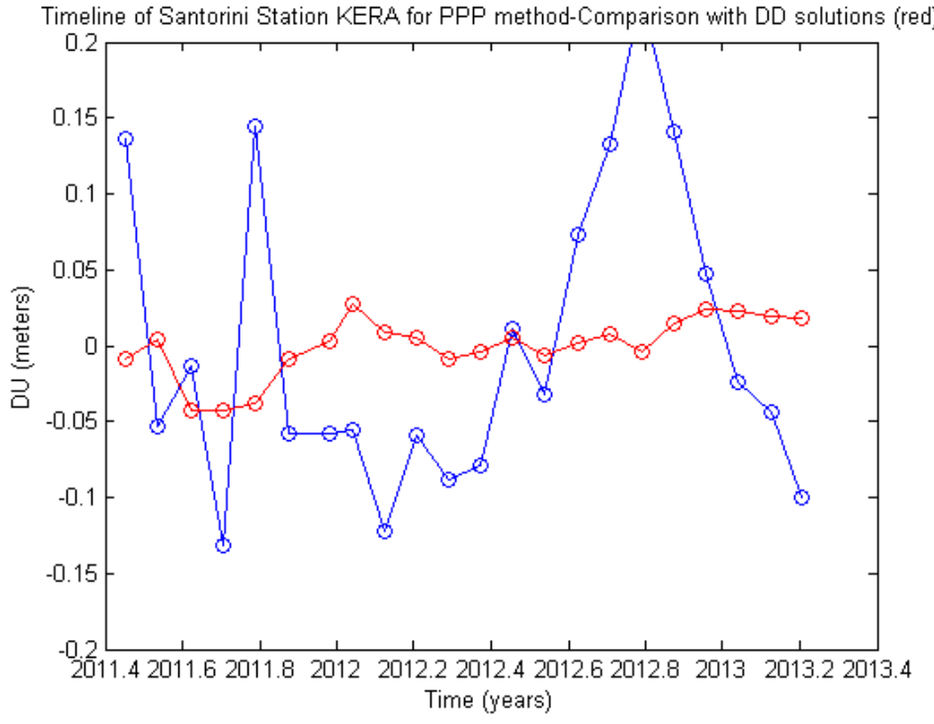
- *KERA*

Η ακρίβεια και η σταθερότητα κυμαίνονται σε πολύ ικανοποιητικά επίπεδα.



Διάγραμμα 7.59: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό KERA στο Deast
DE timeline KERA station PPP-DD differences

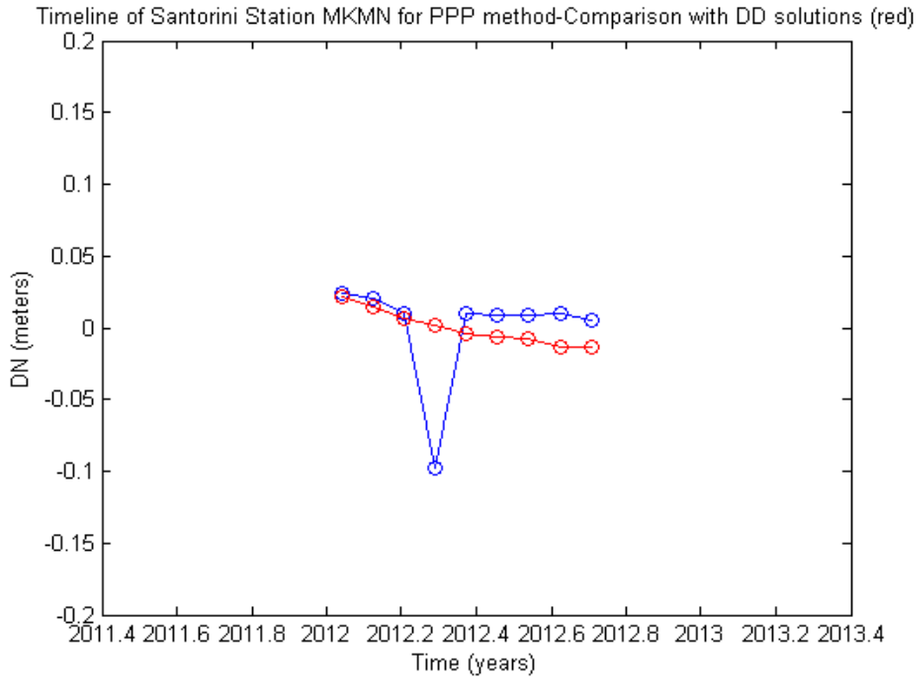
Η ακρίβεια είναι αρκετά καλή με απόκλιση μόνο λίγων εκατοστών. Παρατηρείται μια αποσταθεροποίηση της κλίσης της καμπύλης από τα μέσα του 2012 και μετά αλλά και πάλι οι αποκλίσεις είναι σε ανεκτά επίπεδα. Κρίνεται ότι με την συμπερίληψη περισσότερων μετρήσεων η καμπύλη θα ήταν πιο ομαλή και ότι η κλίση αλλάζει έντονα ακριβώς επειδή η λύση αφορά μια μέρα τον μήνα.



Διάγραμμα 7.60: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό KERA στο Dup
DU timeline KERA station PPP-DD differences

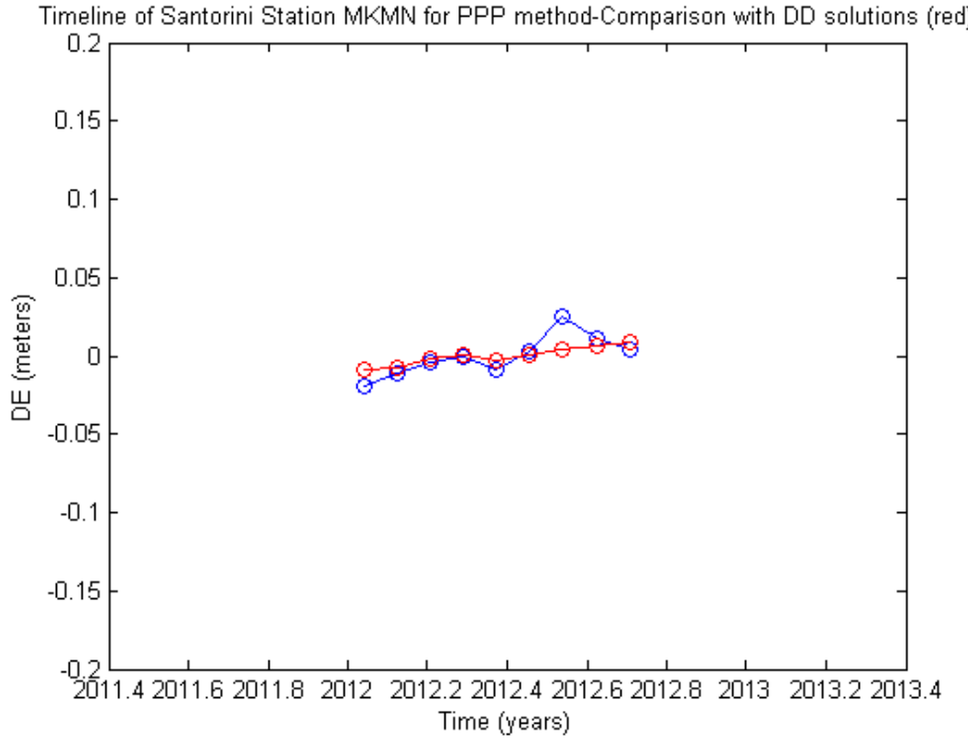
Και εδώ παρατηρείται μειωμένη ακρίβεια και σταθερότητα. Παρατηρούμε ότι η καμπύλη έχει περίπου το ίδιο σχήμα με τα άλλα σημεία με μια μεγάλη απόκλιση στο τέλος του 2012. Αυτό το μοτίβο δεν μπορεί να προσδιοριστεί γιατί υπάρχει, ωστόσο όπως θα παρατηρήσουμε και για τα επόμενα σημεία το DU παρουσιάζει σταθερά μια απότομη αύξηση περίπου στην ίδια εποχή, στο τέλος του 2012. Επίσης παρατηρείται μια σχετική σταθεροποίηση από το τέλος του 2011 μέχρι τα μέσα του 2012, με σταθερά μεγάλες διαφορές από την μέθοδο των διπλών διαφορών αλλά με σχετικά συνοχή για την μέθοδο PPP. Αυτή η παρατήρηση γίνεται και εδώ αλλά και στην συνέχεια

- *MKMN*



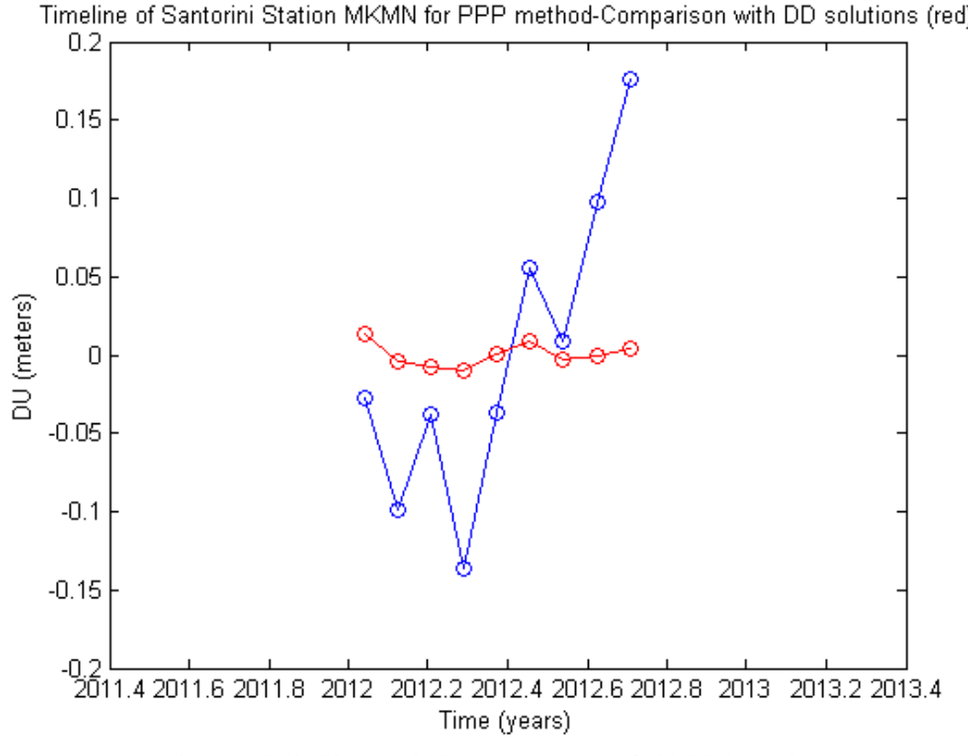
Διάγραμμα 7.61: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό MKMN στο Dnorth
DN timeline MKMN station PPP-DD differences

Με εξαίρεση την εποχή 2012.3 περίπου όπου η διαφορά από την μέθοδο διπλών διαφορών είναι της τάξεως των 10 πόντων παρατηρείται μια καλή ακρίβεια αλλά και σταθερότητα.



Διάγραμμα 7.62: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό MKMN στο Deast
DE timeline MKMN station PPP-DD differences

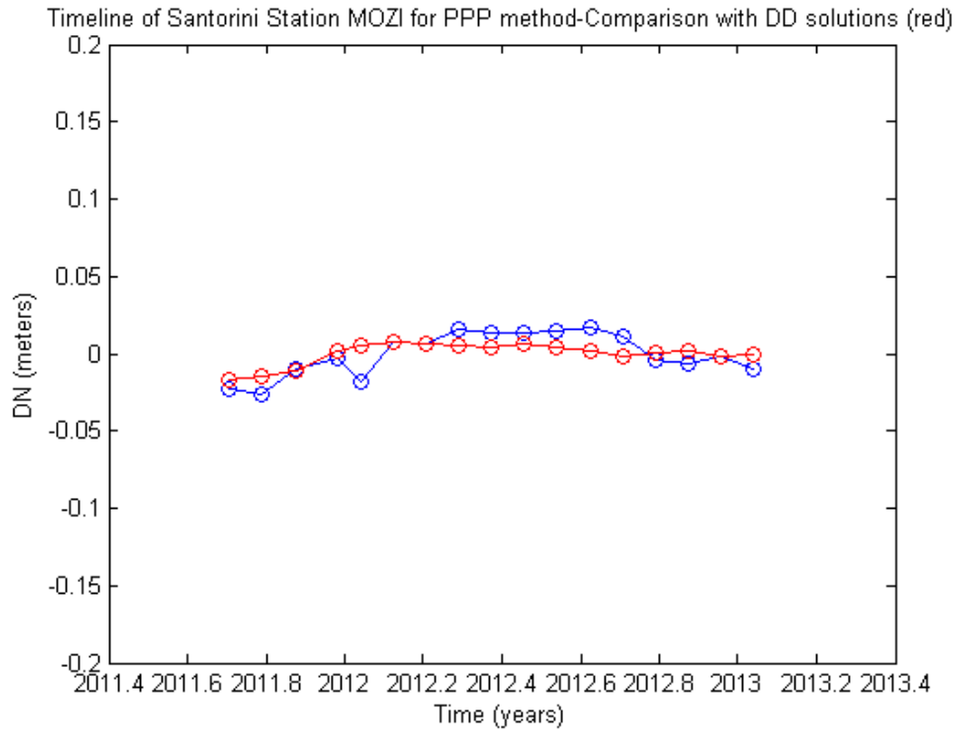
Και εδώ οι λύσεις είναι παρόμοιες ανάμεσα στις δύο μεθόδους. Έχουμε μια μικρή αποσταθεροποίηση στα μέσα του 2012 αλλά και πάλι η ακρίβεια είναι καλή.



Διάγραμμα 7.63: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό MKMN στο Dup
DU timeline MKMN station PPP-DD differences

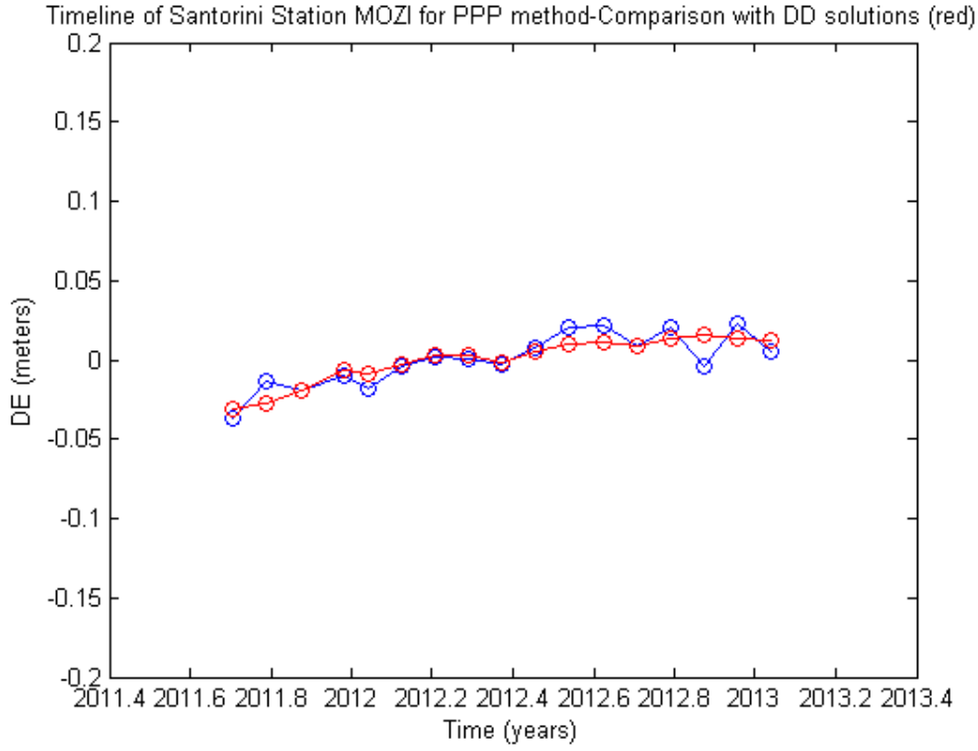
Η ακρίβεια είναι χαμηλή αλλά παρατηρείται και πάλι η σχετική σταθερότητα μέχρι τα μέσα του 2012 και η απότομη αλλαγή κλίσης προς τα τέλη του ίδιου έτους.

- *MOZI*



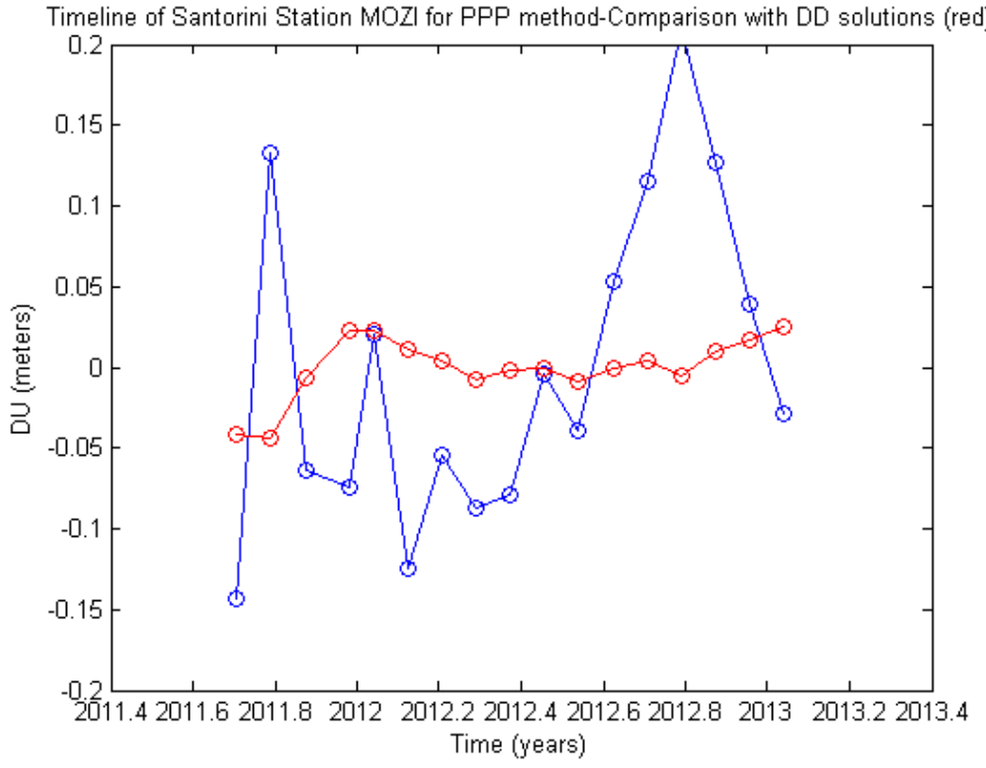
Διάγραμμα 7.64: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό MOZI στο Dnorth
DN timeline MOZI station PPP-DD differences

Η σύγκριση με τις διπλές διαφορές υποδεικνύει και εδώ την ποιότητα της λύσης με την μέθοδο PPP.



Διάγραμμα 7.65: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό MOZI στο Deast
DE timeline MOZI station PPP-DD differences

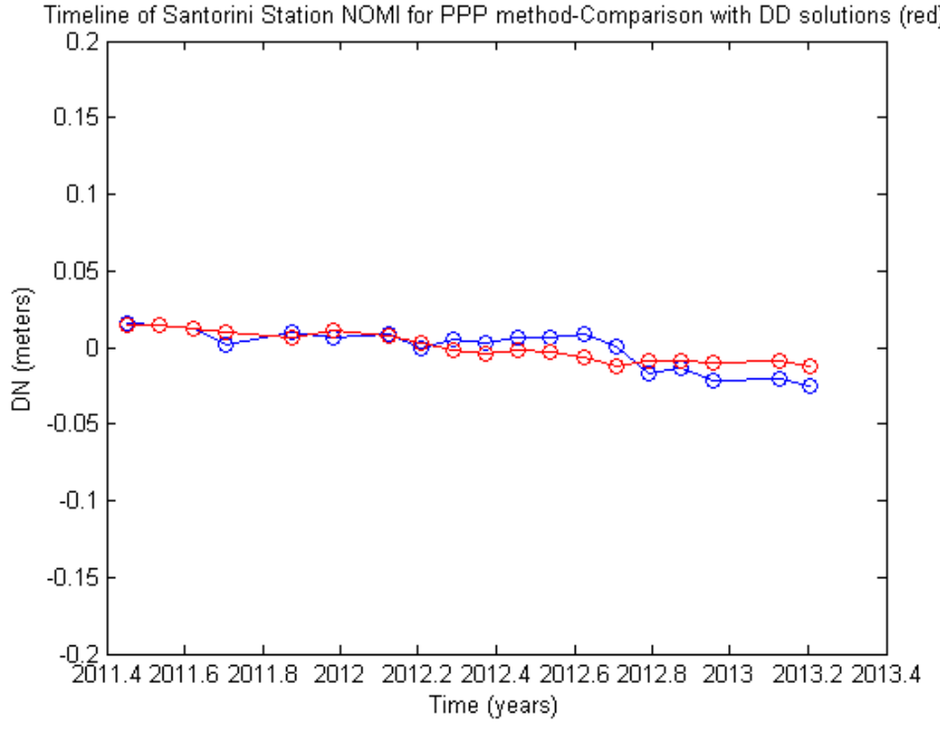
Παρόμοια συμπεράσματα βγάζουμε και εδώ.



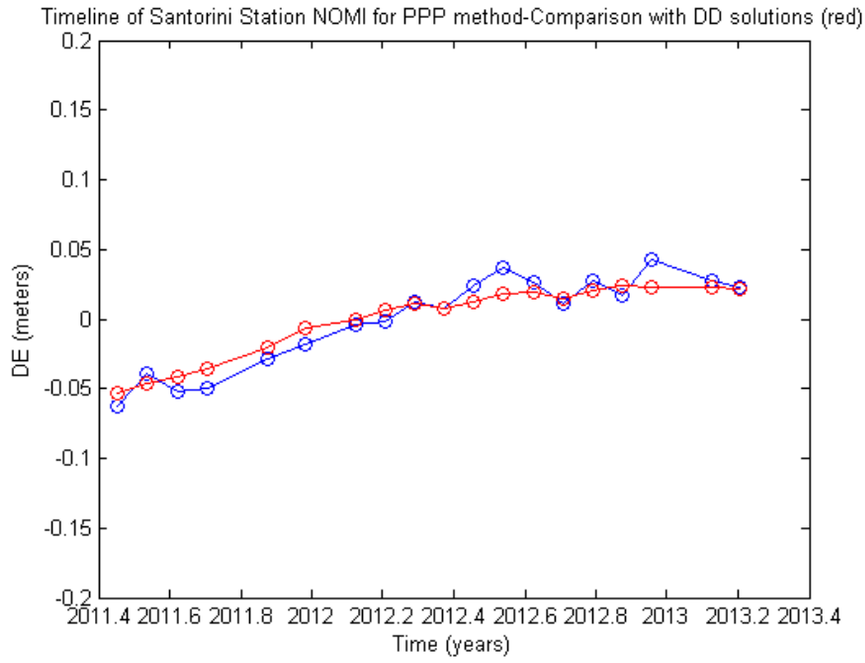
Διάγραμμα 7.66: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό MOZI στο Dup
DU timeline MOZI station PPP-DD differences

Όπως και με την αστάθεια της λύσης για τα υψόμετρα αλλά και την επιμονή του μοτίβου που περιγράφηκε πριν.

- *NOMI*

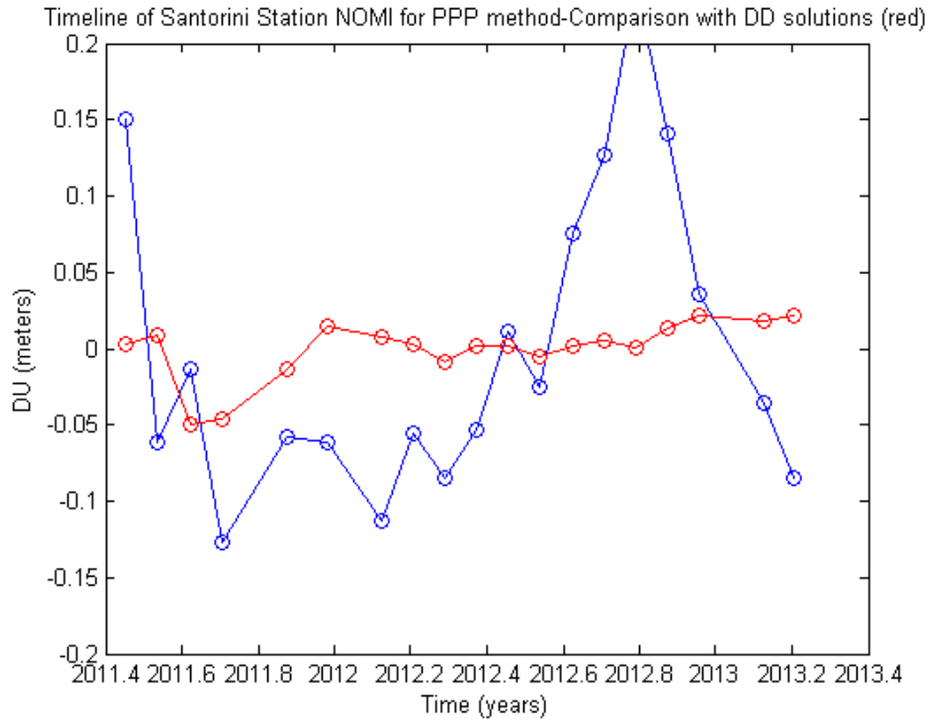


Διάγραμμα 7.67: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό NOMI στο Dnorth
DN timeline NOMI station PPP-DD differences



Διάγραμμα 7.68: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό NOMI στο Deast
DE timeline NOMI station PPP-DD differences

Παρατηρούμε ξανά ότι για την οριζοντιογραφία η ομοιότητα των δυο λύσεων είναι πολύ ικανοποιητική.

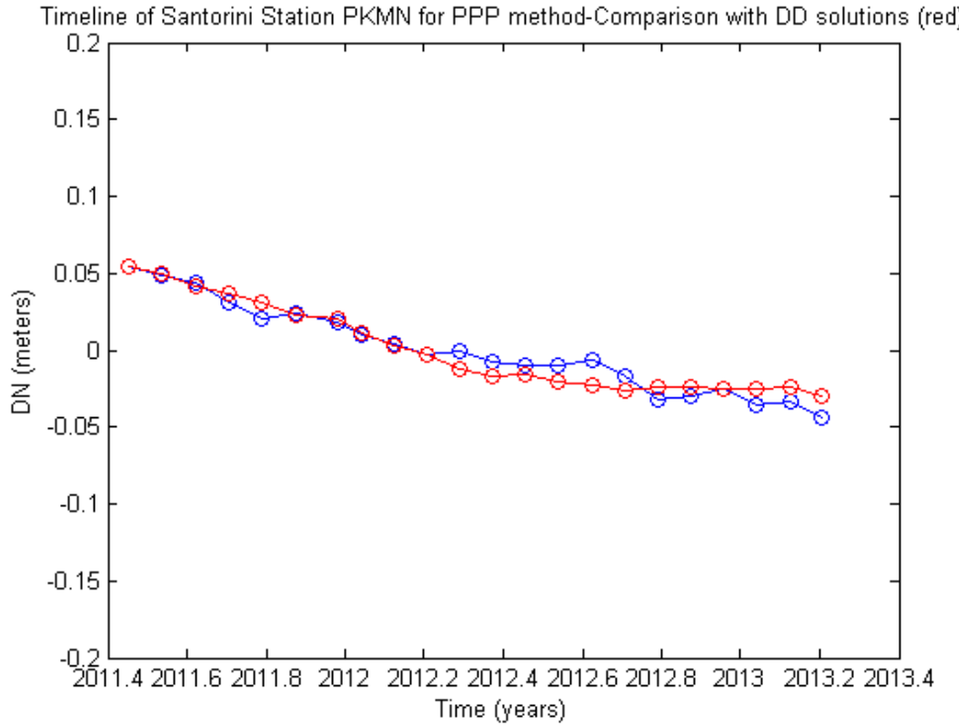


Διάγραμμα 7.69: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό NOMI στο Dup
DU timeline NOMI station PPP-DD differences

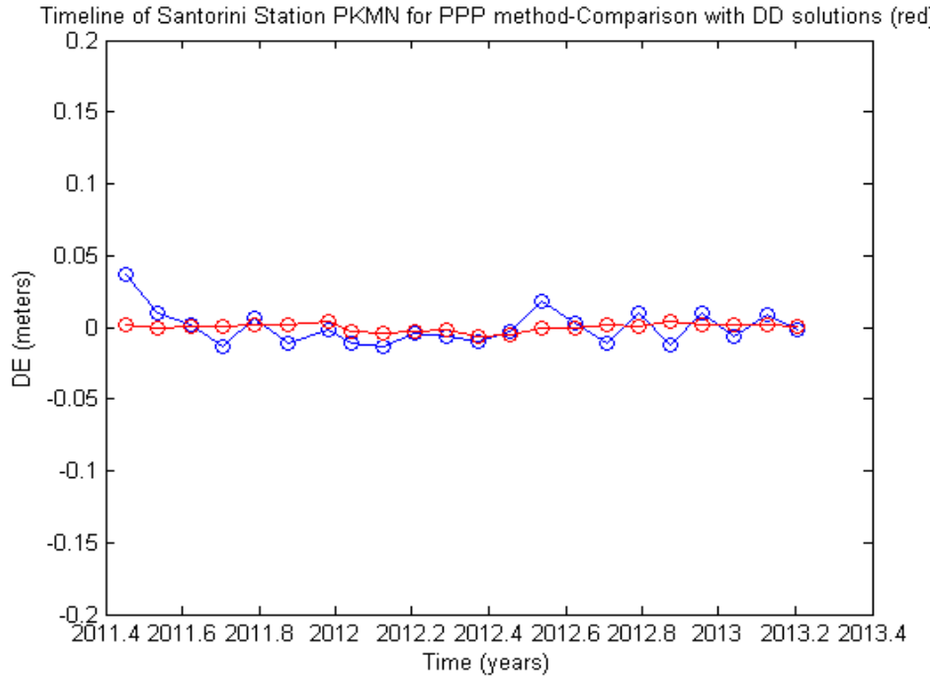
Η αστάθεια των λύσεων για τα υψόμετρα, η σταθερά μεγάλη απόκλιση από τις διπλές διαφορές, αλλά και το μοτίβο που περιγράφηκε παραμένουν. Μάλιστα η περίοδος μετρήσεων για το συγκεκριμένο σημείο καθιστά της παρατήρηση του φαινομένου ακόμα πιο εύκολη. Στα μέσα του 2011 και στο τέλος 2012 παρατηρούνται έντονες κλίσεις και θετικές διαφορές από τις διπλές διαφορές ενώ ανάμεσα σε αυτές τις δύο εποχές υπάρχει

μια σταθεροποίηση αλλά και σταθερά μεγάλες αποκλίσεις με αρνητικό πρόσημο.

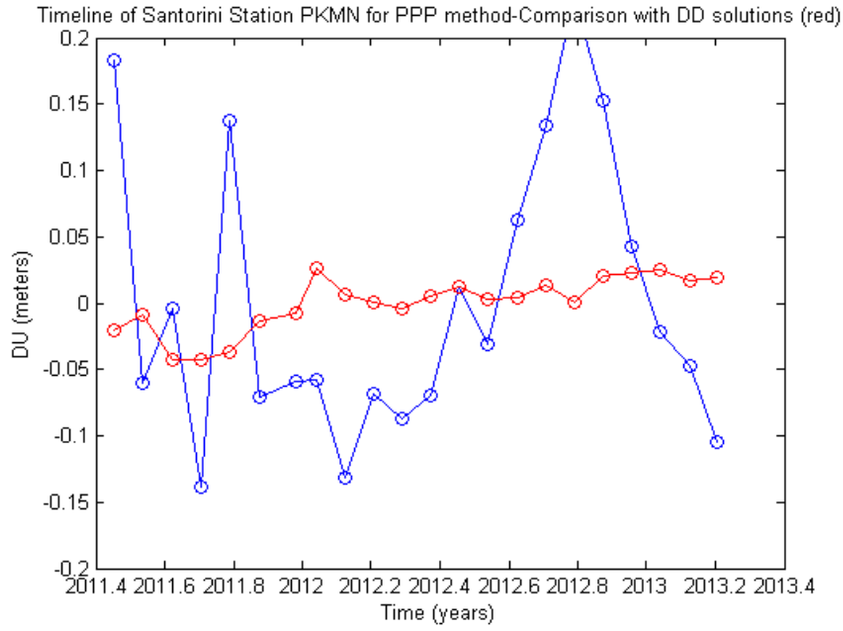
- *PKMN*



Διάγραμμα 7.70: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό PKMN στο Dnorth
DN timeline PKMN station PPP-DD differences



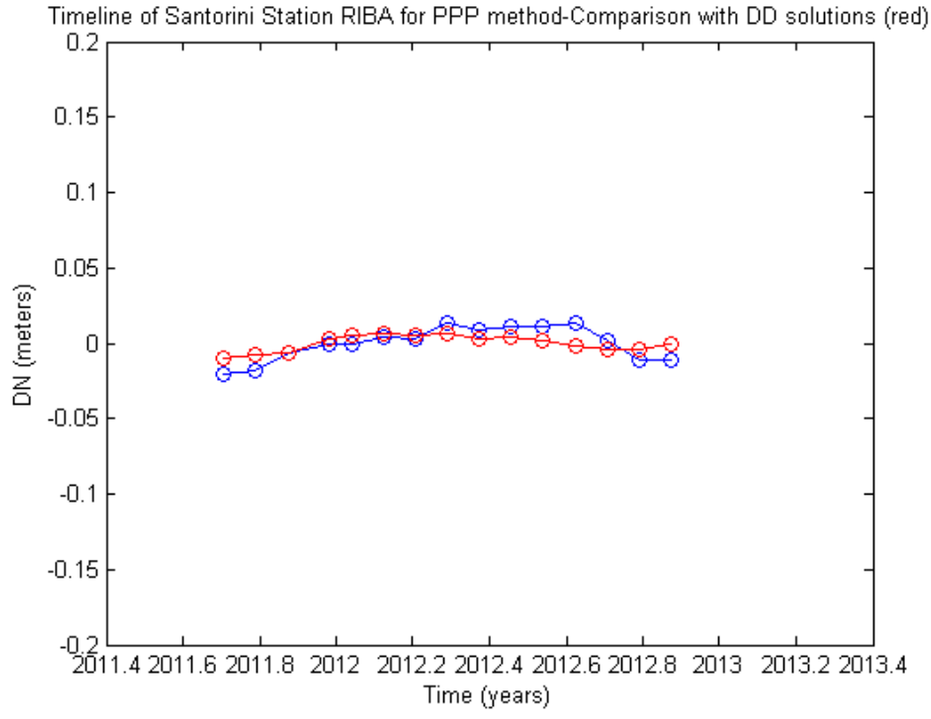
Διάγραμμα 7.71: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό PKMN στο Deast
DE timeline PKMN station PPP-DD differences



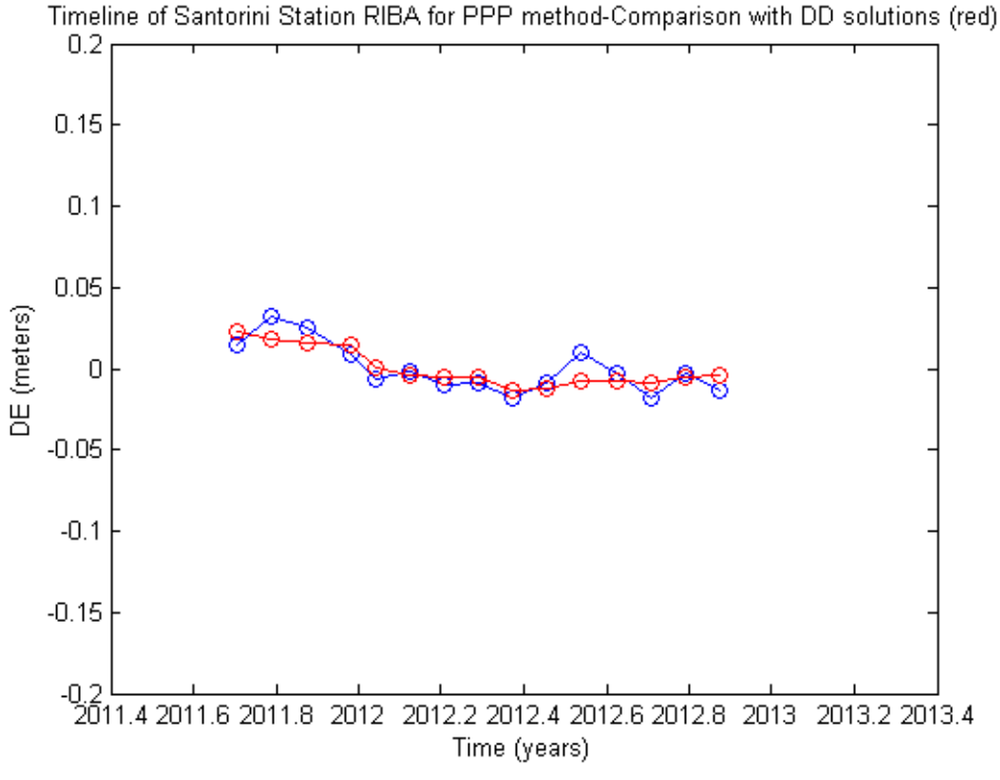
Διάγραμμα 7.72: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό PKMN στο Dup
DU timeline PKMN station PPP-DD differences

Τα συμπεράσματα είναι παρόμοια με τα προηγούμενα σημεία και για την οριζοντιογραφία αλλά και για την υψομετρία. Έχουμε πολύ καλή ακρίβεια και αποτελέσματα που συμβαδίζουν για τις δυο μεθόδους στα DN και DE ενώ μεγάλη αστάθεια και διαφορά στο DU, το οποίο ωστόσο εμφανίζει ένα σταθερό μοτίβο στα αποτελέσματα του.

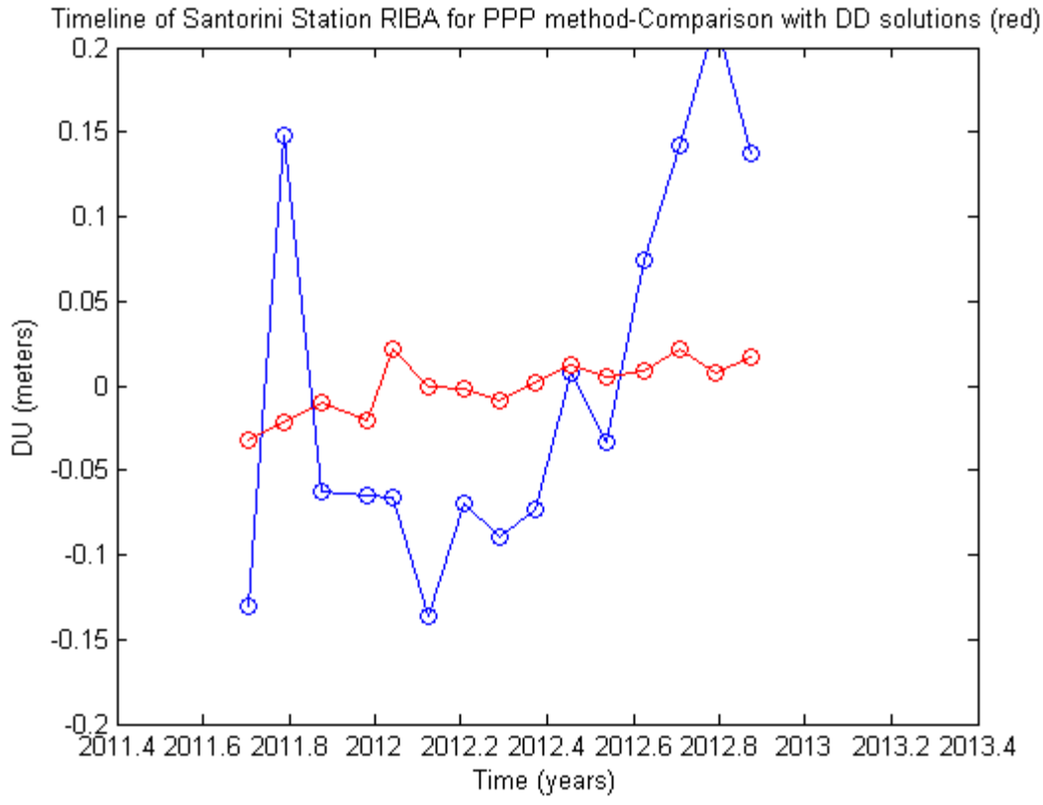
- *RIBA*



Διάγραμμα 7.73: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό RIBA στο Dnorth
DN timeline RIBA station PPP-DD differences

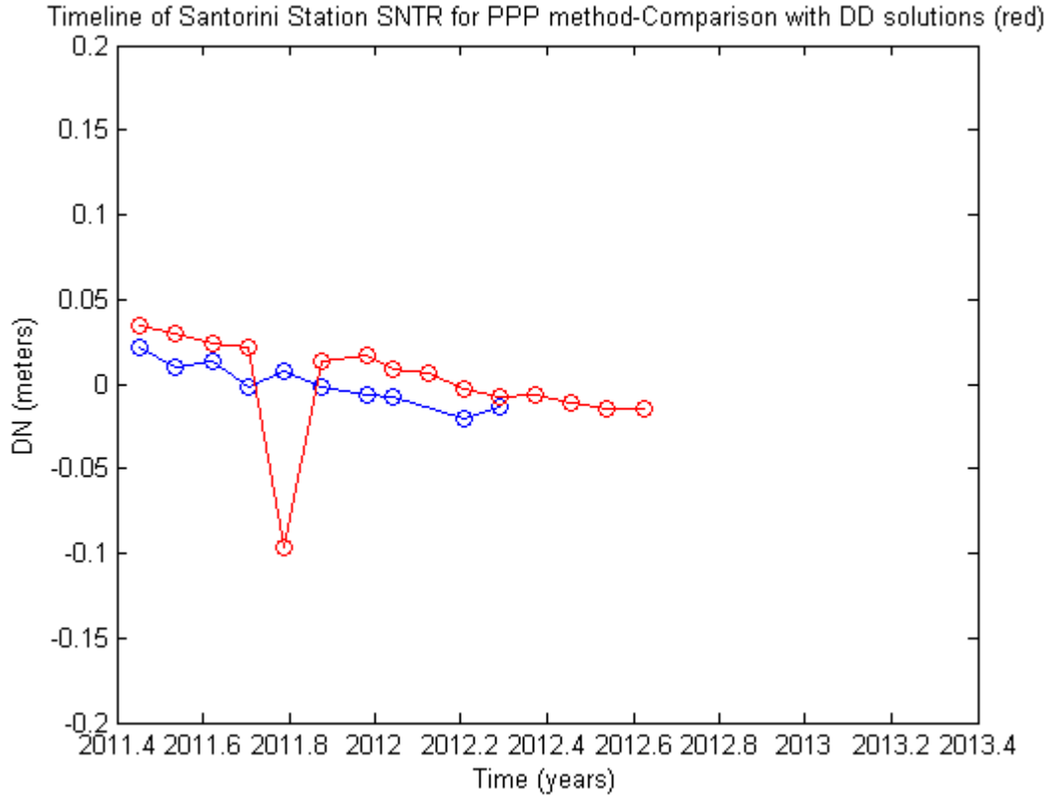


Διάγραμμα 7.75: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό RIBA στο Deast
DE imeline RIBA station PPP-DD differences

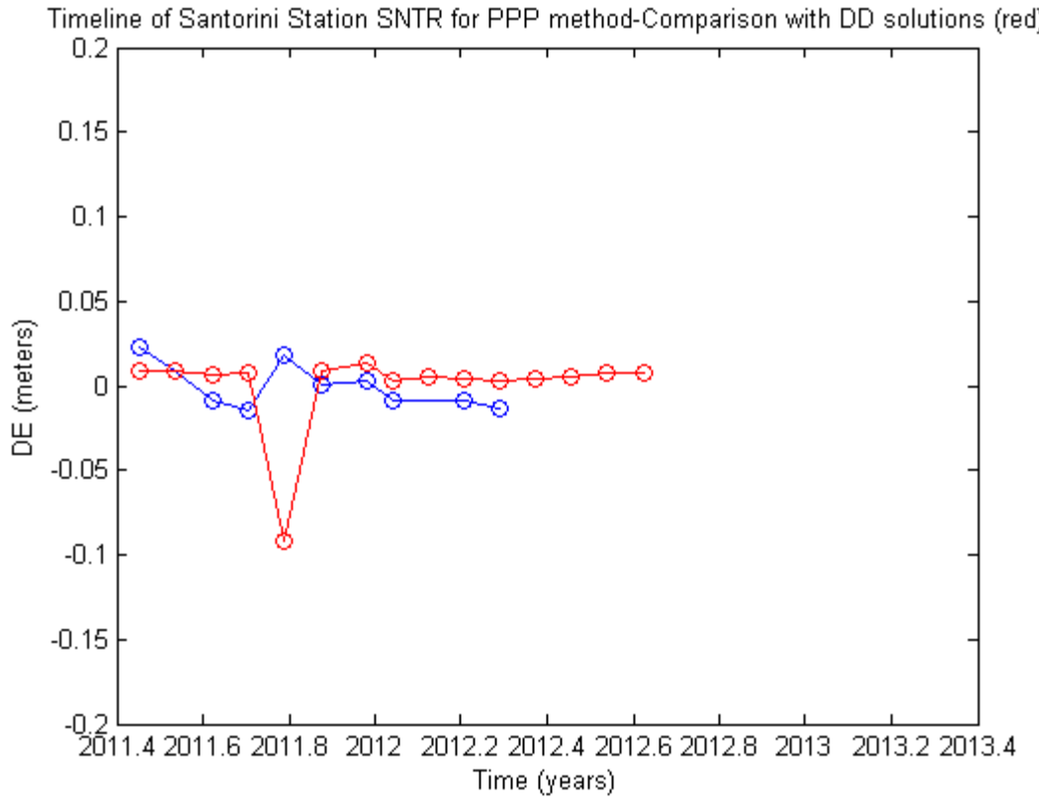


Διάγραμμα 7.75: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό RIBA στο Dup
DU timeline RIBA station PPP-DD differences

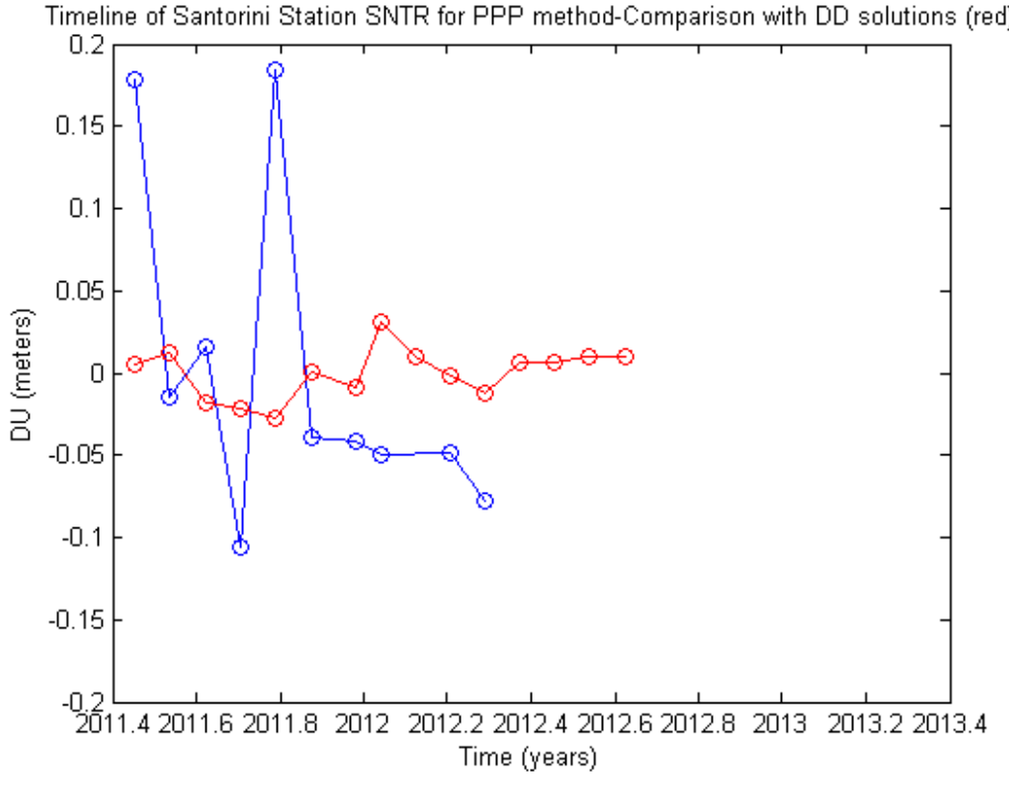
- *SNTR*



Διάγραμμα 7.76: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό SNTR στο Dnorth
DN timeline SNTR station PPP-DD differences



Διάγραμμα 7.77: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό SNTR στο Deast
DE timeline SNTR station PPP-DD differences

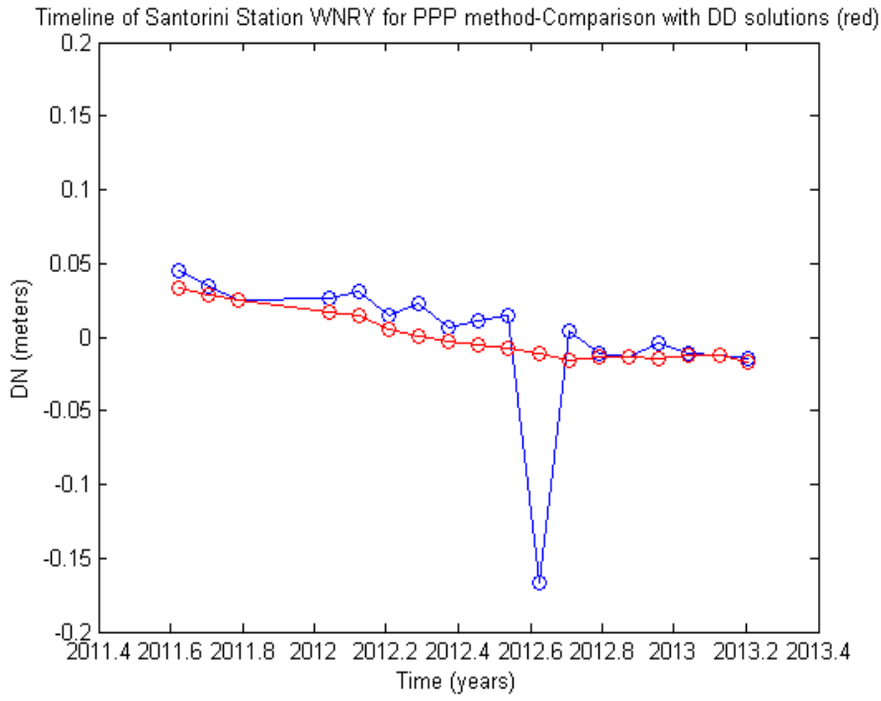


Διάγραμμα 7.78: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό SNTR στο Dup
DU timeline SNTR station PPP-DD differences

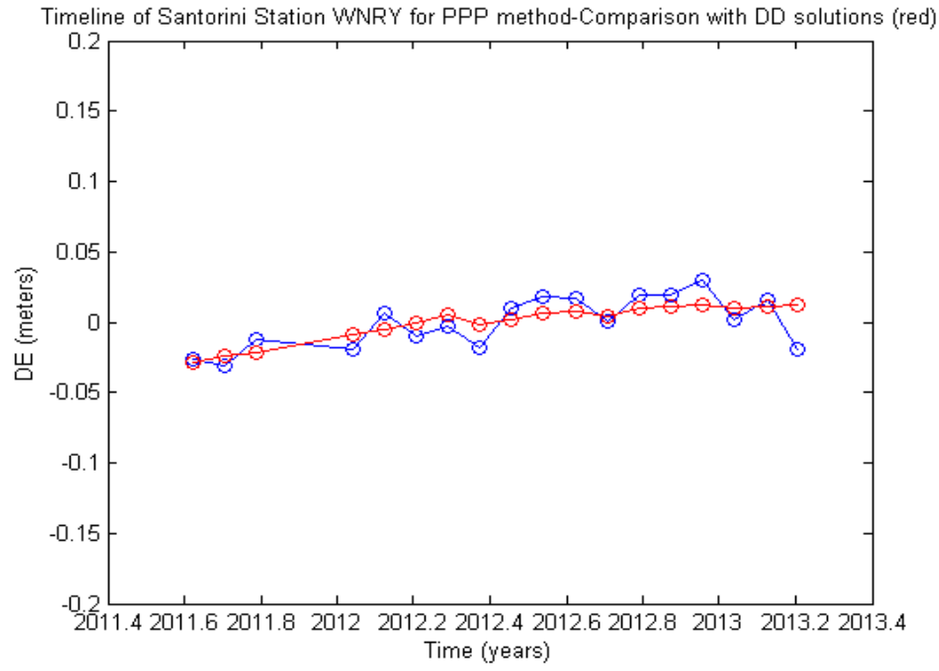
Άξιο αναφοράς εδώ είναι ότι η λύση για το εν λόγω σημείο παρουσιάζεται πιο σταθερή και από την μέθοδο διπλών διαφορών στην οποία παρατηρούμε ένα μεγάλο

σφάλμα σταθερά στην οριζοντιογραφία την εποχή 2011.8. Βέβαια για τον άξονα Z του τοπικεντρικού συστήματος οι ακρίβεια και η σύγκλιση μεταξύ των δυο διαφορών βρίσκεται σε σαφώς χειρότερα επίπεδα.

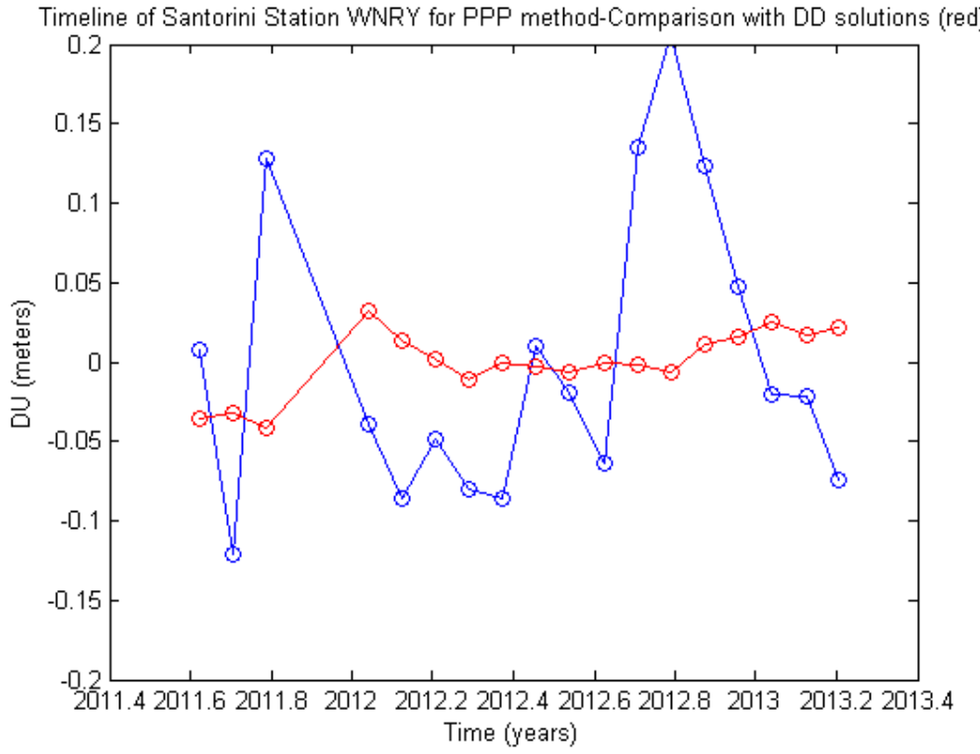
- *WNRY*



Διάγραμμα 7.79: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό WNRY στο Dnorth
DN timeline WNRY station PPP-DD differences



Διάγραμμα 7.80: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό WNRY στο Deast
DE timeline WNRY station PPP-DD differences



Διάγραμμα 7.81: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό WNRY στο Dup
DU timeline WNRY station PPP-DD differences

Και για το τελευταίο μας σημείο βγάζουμε τα ίδια ακριβώς συμπεράσματα. Άξιο αναφοράς είναι ότι για τον άξονα N έχουμε μια μεγάλη απόκλιση στα μέσα του 2012, η οποία κρίνοντας από την σταθερότητα των υπόλοιπων ημερών κρίνεται ότι οφείλεται σε κάποιο χονδροειδές σφάλμα στα δεδομένα και δεν είναι κάτι συστηματικό. Αν αφαιρούταν το σημείο η κλίσης της καμπύλης θα είχε ομαλές αλλαγές καθ' όλο το μήκος της.

8. Συμπεράσματα – Προτάσεις

Συμπεράσματα

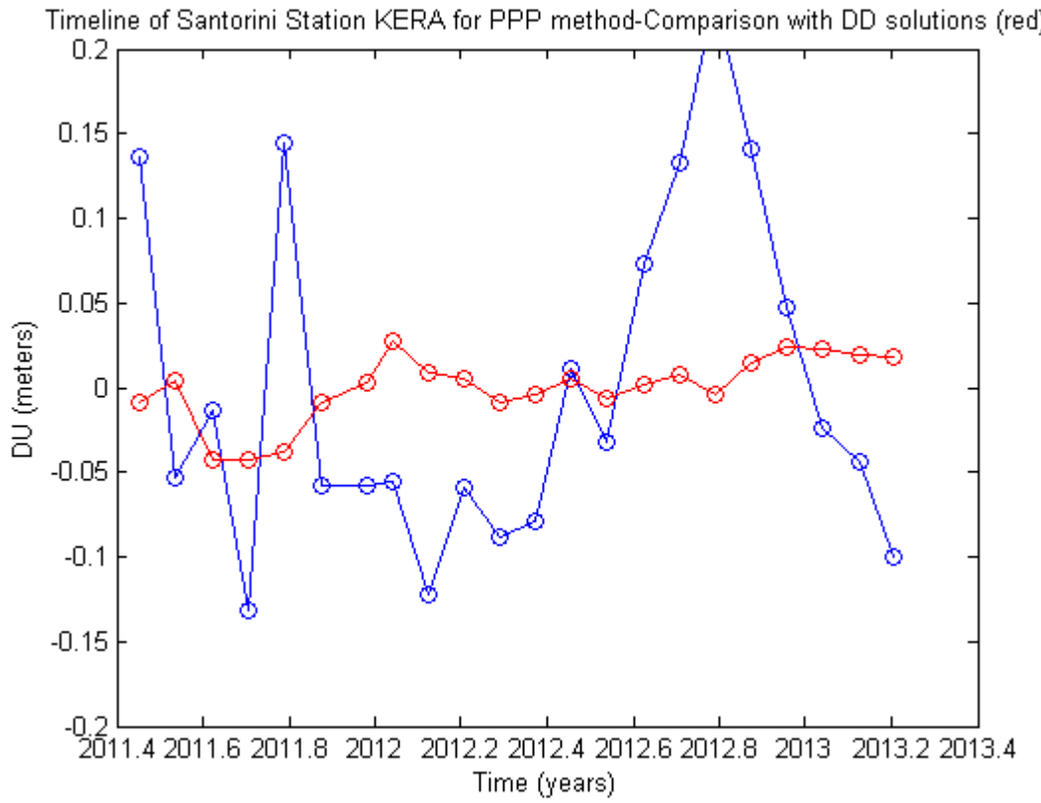
Στα προηγούμενα κεφάλαια είδαμε τα αποτελέσματα για τις δύο μεθόδους καθώς και συγκριτικές χρονοσειρές ανάμεσα στις μεθόδους. Η κλασσική μέθοδος των διπλών διαφορών έχει αναμενόμενα αποτελέσματα και είναι αποδεδειγμένα μεγάλης ακριβείας. Κυρίως όσον αφορά τα οριζοντιογραφικά χαρακτηριστικά, η λύση με τις διπλές διαφορές έχει μεγάλη συνέπεια, καθώς όπως φάνηκε από την σύγκριση με τις λύσεις του Εργαστηρίου Ανώτερης και Δορυφορικής Γεωδαισίας οι διαφορές ήταν μικρές. Το ίδιο συμβαίνει και στα υψόμετρα μόνο που εκεί οι λύσεις της εργασίας και του Εργαστηρίου διαφέρουν περισσότερο αλλά και πάλι σε αποδεκτά όρια.

Η πιστότητα της λύσης με το PPP όπως διαφαίνεται από τα αντίστοιχα συγκριτικά διαγράμματα, κυμαίνεται σε πολύ ικανοποιητικά επίπεδα όσον αφορά την οριζοντιογραφία. Παρατηρήθηκε ότι οι δύο λύσεις βρίσκονταν πολύ κοντά με μικρές διαφορές παρά μόνο ελάχιστες περιπτώσεις. Το πιο πιθανό είναι σε μια εργασία με πιο πυκνές μετρήσεις (υπενθυμίζεται ότι η παρούσα εργασία αφορά περίοδο 22 μηνών με πυκνότητα δεδομένων μιας μέρας τον μήνα) οι καμπύλες των χρονοσειρών θα ήταν σχεδόν ίδιες. Σε μεμονωμένες περιπτώσεις η κλίση αλλάζει απότομα και κάποιες λυμένες ημέρες παρεκκλίνουν από 5 ως και 10 εκατοστά σε σχέση με τις διπλές διαφορές. Το φαινόμενο όμως παρατηρήθηκε και στις διπλές διαφορές με μικρότερη συχνότητα βέβαια. Μάλιστα μια τέτοια αποσταθεροποίηση σε μια περίπτωση παρατηρήθηκε μόνο στις διπλές διαφορές, ενώ στην αντίστοιχη PPP λύση, το διάγραμμα ήταν καθ' όλο το μήκος του ομαλό. Αυτό δείχνει ότι και στο PPP και στις διπλές διαφορές κάποιες αποσταθεροποιήσεις για διάφορους λόγους που κατά πάσα πιθανότητα αφορούν τα δεδομένα, θα υπάρχουν. Αν υπήρχε η πολυτέλεια μη συμπερίληψης αυτών των περιπτώσεων, κάτι το οποίο θα πετυχαινόταν με πιο πυκνές μετρήσεις (π.χ. Μια φορά την εβδομάδα ή περισσότερες), κρίνεται ότι οι χρονοσειρές θα ήταν σταθερά όμοιες. Ωστόσο αξίζει να σημειωθεί ότι η αποσταθεροποίηση που περιγράφηκε προέκυψε πιο συχνά στις λύσεις με το PPP παρά στις αντίστοιχες με διπλές διαφορές.

Δυστυχώς για τα υψόμετρα η σύγκλιση των λύσεων δεν ικανοποίησε. Βλέπουμε σταθερά μεγάλες αποκλίσεις από τις λύσεις των διπλών διαφορών, καθώς και επιθετικές αυξομειώσεις, όταν στην αντίστοιχη λύση με τις διπλές διαφορές δεν παρατηρείται κάτι παρόμοιο. Κρίνεται ότι οι μεγάλες αποκλίσεις δεν οφείλεται σε παραμέτρους ή στον τρόπο επίλυσης, αφού οριζοντιογραφικά οι ίδιες λύσεις έδωσαν πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα. Επομένως καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ενώ το PPP μπορεί να είναι πολύ χρήσιμο για τις οριζόντιες μικρομετακινήσεις, το ίδιο δεν μπορεί να ειπωθεί για τις κάθετες.

Άξιο αναφοράς στην υψομετρία είναι ότι παρατηρήθηκε ένα μοτίβο το οποίο επαναλαμβανόταν σταθερά. Στις χρονοσειρές που αφορούν τις μετακινήσεις DU, παρατηρήθηκε ότι σε κάθε σημείο η καμπύλη είχε πολύ παρόμοιο σχήμα. Γενικά από την αρχή μέχρι τα μέσα του 2012 υπήρχε μια σχετική ομαλοποίηση και διαφορές αρνητικού πρόσημου από τις λύσεις των διπλών διαφορών. Μετά μέχρι τα τέλη του 2013 η καμπύλη ανέβαινε σε μεγάλο βαθμό σε σχέση με τις διπλές διαφορές, για να ξαναπέσει στις αρχές του 2013 σε αρνητικά πρόσημα. Μέχρι τα τέλη του 2012 υπήρχαν μεγάλες αυξομειώσεις στον άξονα U και δεν μπορεί να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα. Η ομοιότητα των καμπύλων στις χρονοσειρές που αφορούν τις μικρομετακινήσεις στον κάθετο άξονα του τοποκεντρικού συστήματος, ενώ δεν έχουν μετρητική αξία, κατά πάσα πιθανότητα υποδεικνύουν κάποιο φαινόμενο.

Ένα ενδεικτικό παράδειγμα του φαινομένου φαίνεται στην παρακάτω χρονοσειρά που αφορά τον σταθμό KERA:



Διάγραμμα 8.1: Μικρομετακίνηση του Σταθμού KERA στον κάθετο άξονα
Vertical deformation KERA station

Τελικά, αν λάβουμε υπ΄ όψιν την απλότητα, την ταχύτητα και τις μικρότερες απαιτήσεις σε υποδομή αλλά και την πολύ ικανοποιητική ακρίβεια που δίνουν οι λύσεις με την μέθοδο PPP, κρίνεται ότι είναι μια πιο συμφέρουσα μέθοδος, τουλάχιστον όσον αφορά την οριζοντιογραφική μελέτη. Το γεγονός αυτό διαφαίνεται και στο ότι τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα από εταιρίες όπως η IGS, εξυπηρετούν όλο και περισσότερο αυτόν τον σκοπό, δηλαδή την παροχή περισσότερων και πιο αξιόπιστων εργαλείων και δεδομένων για την χρησιμοποίηση του PPP. Δυστυχώς για την υψομετρία η ακρίβεια δεν είναι το ίδιο καλή. Υπάρχει όμως περίπτωση αυτό να οφείλεται σε κάποιο φαινόμενο που δεν λήφθηκε υπ' όψιν κατά την λύση. Η ύπαρξη και ο προσδιορισμός καθώς και ο μαθηματικός ορισμός ενός τέτοιου φαινομένου, θα μπορούσε να δώσει αξιόπιστες λύσεις και για την υψομετρία.

Προτάσεις

Από τα αποτελέσματα αλλά και από την θεωρητική μελέτη του PPP ως βιώσιμης λύσης επεξεργασίας και επίλυσης δορυφορικών μετρήσεων προκύπτουν κάποιες προτάσεις πιθανώς για μελλοντικές διπλωματικές εργασίες

- Λύση ενός δικτύου με πιο πυκνές λύσεις με τις δύο μεθόδους, για να αποδειχθεί αν όντως οι λύσεις πλησιάζουν όσο πολύ όσο φαίνεται στην παρούσα εργασία.
- Οι όλο και καλύτερες υπηρεσίες που παρέχουν εταιρίες σαν την IGS, καθιστούν μια μελέτη του PPP σε εργασίες πραγματικού χρόνου (RTK κοκ.) δυνατή
- Μελέτη σχετικά με την συμπεριφορά της λύσης του PPP στα υψόμετρα. Όπως

σχολιάστηκε ενώ η ακρίβεια ήταν μειωμένη, ωστόσο παρατηρήθηκε ένα σταθερό μοτίβο όσον αφορά τις μικρομετακινήσεις στον U άξονα. Η ύπαρξη η μη κάποιου φαινομένου που επηρρεάζει τα υψόμετρα είναι επιθυμητή καθώς, πέρα από την θεωρητική αξία, θα μπορούσε να χρησιμεύσει για να δώσει μετρητική αξία στις μετακινήσεις DU της μεθόδου PPP

- Θα μπορούσε να γίνει μια μελέτη οικονομικής φύσεως για τα οφέλη του PPP σε χρόνο, υπολογιστικές απαιτήσεις και σε υποδομή. Με διάφορα παραδείγματα πραγματικών εργασιών θα μπορούσε να γίνει μια εκτίμηση για τα οφέλη που πραγματικά μας παρέχει το PPP.

Παράρτημα

Κώδικες

Οι κώδικες που χρησιμοποιήθηκαν για τις απαραίτητες μετατροπές έτσι όπως περιγράφονται στο κείμενο αλλά και για την παρασκευή των χρονοσειρών πέντε. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν 3 κώδικες για την μετατροπή των συντεταγμένων που παράγονται από τις επιλύσεις του Bernese. Δύο κώδικες χρησιμοποιήθηκαν ως συναρτήσεις που επικλήθηκαν στο τελικό script. Οι δύο συναρτήσεις είναι η xyz2flh.m που μετατρέπει τις συντεταγμένες x, y, z που παράγονται από την επίλυση, και η flh2neu.m που μετατρέπει της συντεταγμένες f, l, h σε N, E, U δηλαδή σε συντεταγμένες τοπικού τρισδιάστατου συστήματος αναφοράς. Τελικά τα δυο script επικαλούνται ως συναρτήσεις στο τελικό xyz2neu.m που κάνει την συνολική μετατροπή και αποθηκεύει τα δεδομένα N, E, U του τρισδιάστατου τοπικού συστήματος αναφοράς που θα μας χρησιμεύσουν αργότερα για την κατασκευή των χρονοσειρών.

Ο κώδικας παρατίθεται στην συνέχεια:

- xyz2flh.m

```
function [f,l,h] = xyz2flh (x,y,z)

e2 = 0.00669438002290079;
a = 6378137;

[r,c] = size(x);
f = ones(r,1);
l = ones(r,1);
h = ones(r,1);

for i=1:r

  l(i) = atan(y(i)/x(i));

  f0 = atan(z(i)/((1-e2)*sqrt(x(i)*x(i)+y(i)*y(i))));

  limit = (0.00001 * 3600) * pi / 180;

  f(i) = 1000;

  while (abs(f(i)-f0)>limit)
    N = a/sqrt(1-e2*sin(f0)*sin(f0));
    f(i) = atan((z(i)+e2*N*sin(f0))/(sqrt(x(i)*x(i)+y(i)*y(i))));
    f0 = f(i);
  end

  h(i) = sqrt(x(i)*x(i)+y(i)*y(i))/cos(f(i)) - N;
end

end
```

- flh2neu.m

```
function [dn,de,du] = flh2neu(f,l,h)

e2 = 0.00669438002290079;
a = 6378137;
f0 = mean(f);
l0 = mean(l);
h0 = mean(h);

[r,c] = size(f);

dn = ones(r,1);
de = ones(r,1);
du = ones(r,1);

for i =1:r
  p = a*(1-e2) / ((1-e2*sin(f0)*sin(f0))^(3/2));
  dn(i) = (f(i)-f0)*p;

  N = a/sqrt(1-e2*sin(f0)*sin(f0));
  r = N*cos(f0);
  de(i) = (l(i)-l0)*r;

  du(i) = h(i)-h0;
end

end
```

- xyz2neu.m

```
format long g
point=importdata('SNTR_ntua2.txt');

len=length(point);
epoch=point(:,1);
x=point(:,2);
y=point(:,3);
z=point(:,4);


[f,l,h]=xyz2flh(x,y,z);


[N,E,U]=flh2neu(f,l,h);


fid=fopen('SNTR_ntua2_point.txt','w');

for i=1:len
   fprintf(fid,'%8.4f %5.4f %5.4f %5.4f\n',epoch(i),N(i),E(i),U(i))
end

fclose(fid);
```

Επομένως με τις απαραίτητες μετατροπές έγιναν διαθέσιμα τα δεδομένα που χρειάζονταν για τον υπολογισμό των χρονοσειρών. Στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν δυο καινούρια script για την παρασκευή. Ο ένας κώδικας είναι μια απλή κατασκευή μια καμπύλης και ο άλλος κώδικα είναι ουσιαστικά συνέχεια του πρώτου με την διαφοροποίηση ότι κάθε διάγραμμα περιλαμβάνει δυο καμπύλες. Αυτό έγινε για να γίνει εφικτή η απευθείας σύγκριση των δυο μεθόδων μέσω των χρονοσειρών που προκύπτουν για την ίδια περίπτωση αλλά με αλλαγή μεθόδου.

- chrono.m

```
A=load('DSLN_PPP_point_1.txt');

plot (A(:,1),A(:,2),'b-o');

axis ([2011.4 2013.4 -0.2 0.2]);
title ('Timeline of Santorini Station SNTR for PPP method');
xlabel ('Time (years)');
ylabel ('DN (meters)');
```

- chrono2.m

```
A=load('SNTR_ppp_point_1.txt');

plot (A(:,1),A(:,4),'b-o');

hold on

B=load('SNTR2_point.txt');

plot (B(:,1),B(:,4),'r-o');

axis ([2011.4 2013.4 -0.2 0.2]);
title ('Timeline of Santorini Station SNTR for PPP method-Comparison with DD solutions (red)');
xlabel ('Time (years)');
ylabel ('DU (meters)');
```

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1.1: Το σχήμα του Ελληνικού τόξου....1
Εικόνα 1.2: Το Ελληνικό τόξο στον χώρο....1
Εικόνα 1.3: Το δίκτυο της Σαντορίνης στον Ελληνικό χώρο....2
Εικόνα 2.1: Οι σταθμοί της EUREF στον ελλαδικό χώρο....4
Εικόνα 2.2: Το μόνιμο δίκτυο της Σαντορίνης....5
Εικόνα 3.1: Το παγκόσμιο σύστημα ITRF2008....8
Εικόνα 3.2: Οι σταθμού του IGS08 ανά τον κόσμο....9
Εικόνα 5.1: Σχηματική αναπαράσταση των διαφορών μεταξύ της μεθόδου των Διπλών Διαφορών και της μεδόδου PPP....14
Εικονα 5.2: Υποδομή σε δίκτυα μονίμων σταθμών GPS ανά τον κόσμο....15
Εικόνα 6.1: Το μόνιμο δίκτυο της Σαντορίνης....17

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2.1: Οι συντεταγμένες των μονίμων σταθμών της Σαντορίνης....6
Πίνακας 6.1: Οι συντεταγμένες των μόνιμων σταθμών της Σαντορίνης....17
Πίνακας 7.1: Οι βάσεις της πρώτης ημέρας επίλυσης....25
Πίνακας 7.2: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της πρώτης ημέρας....25
Πίνακας 7.3: Οι βάσεις της δεύτερης ημέρας επίλυσης....25
Πίνακας 7.4: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της δεύτερης ημέρας....26
Πίνακας 7.5: Οι βάσεις της τρίτης μέρας επίλυσης....26
Πίνακας 7.6: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της τρίτης μέρας....26
Πίνακας 7.7: Οι βάσεις της τέταρτης ημέρας επίλυσης....27
Πίνακας 7.8: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της τέταρτης ημέρας....27
Πίνακας 7.9: Οι βάσεις της πέμπτης ημέρας επίλυσης....28
Πίνακας 7.10: Οι συντεταγμένες της επίλυσης τηςπέμπτης ημέρας....28
Πίνακας 7.11: Οι βάσεις της έκτης ημέρας επίλυσης....28
Πίνακας 7.12: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της έκτης ημέρας....29
Πίνακας 7.13: Οι βάσεις της έβδομης ημέρας επίλυσης....29
Πίνακας 7.14: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της έβδομης ημέρας....29
Πίνακας 7.15: Οι βάσεις της όγδοης ημέρας....30
Πίνακας 7.16: Οι βάσεις της ένατης ημέρας....30
Πίνακας 7.17: Οι βάσεις της δέκατης ημέρας....31
Πίνακας 7.18: Οι βάσεις της ενδέκατης ημέρας....31
Πίνακας 7.19: Οι συντεταγμένες τηε επίλυσης της όγδοης ημέρας....31
Πίνακας 7.20: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της ένατης ημέρας....32
Πίνακας 7.21: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της δέκατης ημέρας....32
Πίνακας 7.22: Οι συντεταγμένες της επίλυσης τηε ενδέκατης ημέρας....32
Πίνακας 7.23: Οι βάσεις της δωδέκατης ημέρας επίλυσης....33
Πίνακας 7.24: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της δωδέκατης ημέρας....33
Πίνακας 7.25: Οι βάσεις της δέκατης τρίτης ημέρας....34
Πίνακας 7.26: Οι βάσεις της δέκατης τέταρτης ημέρας....34
Πίνακας 7.27: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της δέκατης τρίτης ημέρας....34
Πίνακας 7.28: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της δέκατης τέταρτης ημέρας....35
Πίνακας 7.29: Οι βάσεις της δέκατης πέμπτης ημέρας....35
Πίνακας 7.30: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της δέκατης πέμπτης ημέρας....36
Πίνακας 7.31: Οι βάσεις της δέκατης έκτης ημέρας....36
Πίνακας 7.32: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της δέκατης έκτης ημέρας....36
Πίνακας 7.33: Οι βάσεις της δέκατης έβδομης ημέρας....37
Πίνακας 7.34: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της δέκατης έβδομης ημέρας....37
Πίνακας 7.35: Οι βάσεις της δέκατης όγδοης ημέρας....38
Πίνακας 7.36: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της δέκατης όγδοης ημέρας....38
Πίνακας 7.37: Οι βάσεις της δέκατης ένατης ημέρας....39
Πίνακας 7.38: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της δέκατης ένατης ημέρας....39
Πίνακας 7.39: Οι βάσεις της εικοστής ημέρας....39
Πίνακας 7.40: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της εικοστής ημέρας....40
Πίνακας 7.41: Οι βάσεις της εικοστής πρώτης ημέρας....40
Πίνακας 7.42: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της εικοστής πρώτης ημέρας....40
Πίνακας 7.43: Οι βάσεις της εικοστής δεύτερης ημέρας....41
Πίνακας 7.44: Οι συντεταγμένες της επίλυσης της εικοστής δεύτερη ημέρας....41
Πίνακας 7.45: Αποτελέσματα PPP πρώτης ημέρας....70
Πίνακας 7.45: Αποτελέσματα PPP δεύτερης ημέρας....70
Πίνακας 7.45: Αποτελέσματα PPP τρίτης ημέρας....70
Πίνακας 7.45: Αποτελέσματα PPP τέταρτης ημέρας....70
Πίνακας 7.49: Αποτελέσματα PPP πέμπτης ημέρας....71
Πίνακας 7.50: Αποτελέσματα PPP έκτης ημέρας....71
Πίνακας 7.51: Αποτελέσματα PPP έβδομης ημέρας....71
Πίνακας 7.52: Αποτελέσματα PPP όγδοης ημέρας....71
Πίνακας 7.53: Αποτελέσματα PPP ένατης ημέρας....72
Πίνακας 7.54: Αποτελέσματα PPP δέκατης ημέρας....72
Πίνακας 7.55: Αποτελέσματα PPP ενδέκατης ημέρας....72

Πίνακας 7.56: Αποτελέσματα PPP δωδέκατης ημέρας.....72
Πίνακας 7.57: Αποτελέσματα PPP δέκατης τρίτης ημέρας.....73
Πίνακας 7.58: Αποτελέσματα PPP δέκατης τέταρτης ημέρας.....73
Πίνακας 7.59: Αποτελέσματα PPP δέκατης πέμπτης ημέρας.....73
Πίνακας 7.60: Αποτελέσματα PPP δέκατης έκτης ημέρας.....73
Πίνακας 7.61: Αποτελέσματα PPP δέκατης έβδομης ημέρας.....74
Πίνακας 7.63: Αποτελέσματα PPP δέκατης όγδοης ημέρας.....74
Πίνακας 7.63: Αποτελέσματα PPP δέκατης ένατης ημέρας.....74
Πίνακας 7.64: Αποτελέσματα PPP εικοστής ημέρας.....74
Πίνακας 7.65: Αποτελέσματα PPP εικοστής πρώτης ημέρας.....74
Πίνακας 7.66: Αποτελέσματα PPP εικοστής δεύτερης ημέρας.....75

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 2.1: Μικρομετακινήσεις του σταθμού PKMN....6
Διάγραμμα 7.1: Χρονοσειρά DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό DSLN....43
Διάγραμμα 7.2: Χρονοσειρά DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό DSLN....44
Διάγραμμα 7.3: Χρονοσειρά DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό DSLN....44
Διάγραμμα 7.4: Σύγκριση DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό DSLN με τις λύσεις του Εργαστηρίου....45
Διάγραμμα 7.5: Σύγκριση DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό DSLN με τις λύσεις του Εργαστηρίου....45
Διάγραμμα 7.6: Σύγκριση DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό DSLN με τις λύσεις του Εργαστηρίου....46
Διάγραμμα 7.7: Χρονοσειρά DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό KERA....46
Διάγραμμα 7.8: Χρονοσειρά DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό KERA....47
Διάγραμμα 7.9: Χρονοσειρά DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό KERA....47
Διάγραμμα 7.10: Σύγκριση DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό KERA με τις λύσεις του Εργαστηρίου....48
Διάγραμμα 7.12: Σύγκριση DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό KERA με τις λύσεις του Εργαστηρίου....48
Διάγραμμα 7.13: Χρονοσειρά DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό MKMN....49
Διάγραμμα 7.14: Χρονοσειρά DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό MKMN....49
Διάγραμμα 7.15: Χρονοσειρά DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό MKMN....50
Διάγραμμα 7.16: Σύγκριση DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό MKMN με τις λύσεις του Εργαστηρίου....50
Διάγραμμα 7.17: Σύγκριση DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό MKMN με τις λύσεις του Εργαστηρίου....51
Διάγραμμα 7.18: Σύγκριση DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό MKMN με τις λύσεις του Εργαστηρίου....51
Διάγραμμα 7.19: Χρονοσειρά DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό MOZI....52
Διάγραμμα 7.20: Χρονοσειρά DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό MOZI....52
Διάγραμμα 7.21: Χρονοσειρά DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό MOZI....53
Διάγραμμα 7.22:Σύγκριση Dnorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό MOZI με τις λύσεις του Εργαστηρίου....53
Διάγραμμα 7.23: Σύγκριση DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό MOZI με τις λύσεις του Εργαστηρίου....54
Διάγραμμα 7.24: Σύγκριση DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό MOZI με τις λύσεις του Εργαστηρίου....54
Διάγραμμα 7.25: Χρονοσειρά DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό NOMI....55
Διάγραμμα 7.26: Χρονοσειρά DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό NOMI....55
Διάγραμμα 7.27: Χρονοσειρά DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό NOMI....56
Διάγραμμα 7.28: Σύγκριση DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό NOMI με τις λύσεις του Εργαστηρίου....56
Διάγραμμα 7.29: Σύγκριση DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό NOMI με τις λύσεις του Εργαστηρίου....57
Διάγραμμα 7.30: Σύγκριση DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό NOMI με τις λύσεις του Εργαστηρίου....57
Διάγραμμα 7.31: Χρονοσειρά DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό PKMN....58
Διάγραμμα 7.32: Χρονοσειρά DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό PKMN....58
Διάγραμμα 7.33: Χρονοσειρά DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό PKMN....59
Διάγραμμα 7.34: Σύγκριση DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό PKMN με τις λύσεις του Εργαστηρίου....59
Διάγραμμα 7.35: Σύγκριση DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό PKMN με τις λύσεις του Εργαστηρίου....60

Διάγραμμα 7.36: Σύγκριση DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό PKMN με τις λύσεις του Εργαστηρίου....60
Διάγραμμα 7.37: Χρονοσειρά DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό RIBA....61
Διάγραμμα 7.38: Χρονοσειρά DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό RIBA....61
Διάγραμμα 7.39: Χρονοσειρά DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό RIBA....61

Διάγραμμα 7.40: Σύγκριση DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό RIBA με τις λύσεις του Εργαστηρίου....62
Διάγραμμα 7.41: Σύγκριση DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό RIBA με τις λύσεις του Εργαστηρίου....62
Διάγραμμα 7.42: Σύγκριση DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό RIBA με τις λύσεις του Εργαστηρίου....63
Διάγραμμα 7.43: Χρονοσειρά DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό S....63
Διάγραμμα 7.44: Χρονοσειρά DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό SNTR....64
Διάγραμμα 7.45: Χρονοσειρά DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό SNTR....64
Διάγραμμα 7.46: Σύγκριση DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό SNTR με τις λύσεις του Εργαστηρίου....65
Διάγραμμα 7.47: Σύγκριση DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό SNTR με τις λύσεις του Εργαστηρίου....65
Διάγραμμα 7.48: Σύγκριση DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό SNTR με τις λύσεις του Εργαστηρίου....66
Διάγραμμα 7.49: Χρονοσειρά DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό WNRY....67
Διάγραμμα 7.50: Χρονοσειρά DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό WNRY....67
Διάγραμμα 7.51: Χρονοσειρά DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό WNRY....68
Διάγραμμα 7.52: Σύγκριση DNorth για διπλές διαφορές για τον σταθμό WNRY με τις λύσεις του Εργαστηρίου....68
Διάγραμμα 7.53: Σύγκριση DEast για διπλές διαφορές για τον σταθμό WNRY με τις λύσεις του Εργαστηρίου....69
Διάγραμμα 7.54: Σύγκριση DUp για διπλές διαφορές για τον σταθμό WNRY με τις λύσεις του Εργαστηρίου....69
Διάγραμμα 7.55: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό DSLN στο DNorth....75
Διάγραμμα 7.56: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό DSLN στο DEast....76
Διάγραμμα 7.57: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό DSLN στο DUp....77
Διάγραμμα 7.58: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό KERA στο DNorth....75
Διάγραμμα 7.59: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό KERA στο DEast....75
Διάγραμμα 7.60: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό KERA στο DUp....75
Διάγραμμα 7.61: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό MKMN στο DNorth....75
Διάγραμμα 7.62: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό MKMN στο DEast....75
Διάγραμμα 7.63: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό MKMN στο DUp....75
Διάγραμμα 7.64: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό MOZI στο DNorth....75
Διάγραμμα 7.65: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό MOZI στο DEast....75
Διάγραμμα 7.66: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό MOZI στο DUp....75
Διάγραμμα 7.67: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό NOMI στο DNorth....75
Διάγραμμα 7.68: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό NOMI στο DEast....75
Διάγραμμα 7.69: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό NOMI στο DUp....75
Διάγραμμα 7.70: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό PKMN στο DNorth....75
Διάγραμμα 7.71: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό PKMN στο DEast....75
Διάγραμμα 7.72: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό PKMN στο DUp....75
Διάγραμμα 7.73: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό RIBA στο DNorth....75
Διάγραμμα 7.74: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό RIBA στο DEast....75
Διάγραμμα 7.75: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό RIBA στο DUp....75
Διάγραμμα 7.76: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό SNTR στο DNorth....75
Διάγραμμα 7.77: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό SNTR στο DEast....75
Διάγραμμα 7.78: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό SNTR στο DUp....75
Διάγραμμα 7.79: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό WNRY στο DNorth....75
Διάγραμμα 7.80: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό WNRY στο DEast....75
Διάγραμμα 7.81: Σύγκριση PPP με ΔΔ για τον σταθμό WNRY στο DUp....75
Διάγραμμα 8.1: Μικρομετακίνηση του Σταθμού KERA στον κάθετο άξονα....92

Βιβλιογραφία

Παραδείσης Δ. (2000) "Σημειώσεις Δορυφορικής Γεωδαισίας", ΕΜΠ

Huang C., Hu X., Chen Z. (2002) "Solution of Regional GPS Network Using Precise Point Positioing with Undifferenced Data", Chinese Astronomy and Astrophysics

Φωτίου Α., Πικριδάς Χ. (2006) "GPS και Γεωδαιτικές Εφαρμογές", ΑΠΘ, εκδ. ΖΗΤΗ

Dach R., Hugentobler U., Walser P. (2009) "Bernese Software Vesion 5.0 Tutorial"

Βέης Γ., Μπιλλήρης Χ., Παπαζήση Κ. (2005) "Κεφάλαια Ανώτερης Γεωδαισίας", ΕΜΠ

Κανελόπουλος Δ., (2012) "Γεωδαιτικός Προσδιορισμός Δικτύου Παρακολούθησης Κατολίσθησης, ΕΜΠ

Αλατζά Σ., (2013) "Γεωδαιτικός Προσδιορισμός Τεκτονικών Μετατοπίσεων στην Χαλκιδική", ΕΜΠ

Αναστασίου Δ,. (2009) "Μελέτη των Τεκτονικών Μετατοπίσεων στο Ιόνιο με Ανάλυση Χρονοσειρών GPS", ΕΜΠ

Rizos C., Janssen V., Roberts C., Grinter T, (2012) "Precise Point Positioning: Is the Era of GNSS Positioning Drawing to an End?", Survey Infrastructure and Geodesy, Australia

Huber K., Heuberger F., Abart C., Karabatic A., Weber R., Berglez P., (2010) "Precise Point Positioning – Constraints and Opportunities", Graz University of Technology, Institute of Navigation and Satellite Geodesy, Austria

Seepersad G., (2012) "Reduction of Initial Convergence Period in GPS Data Processing", York University, Toronto

Ebner R., Featherstone W. E., (2008) "How well can online GPS PPP post-processing services be used to establish survey control networks?", Graz University of Technology, Institute of Navigation and Satellite Geodesy, Austria

Gao Y., Chen K., (2004), "Performance Analysis of Precise Point Positioning Using Real-Time Orbit and Clock Products", Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Canada

Cai C., Gao Y., (2007), "Precise Point Positioning Using Combined GPS and GLONASS Observations", Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Canada

Witchayangkoon B., (2000), "Elements of GPS Precise Point Positioning", University of Maine

Papoutsis I., Papanikolaou X., Floyd M., Ji K. H., Kontoes C., Paradissis D., Zacharis V., (2012) Mapping inflation at Santorini volcano, Greece, using GPS and InSAR

Hollenstein C, (2006), "GPS deformation field and geodynamic implications for the Hellenic plate boundary region, PhD Thesis

Ιστότοποι:

https://earth.esa.int/web/guest/-/santorini-sees-growth-spurt
http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Santorini_sees_growth_spurt
http://147.102.110.73/src/santorini_project.htm
http://www.bernese.unibe.ch/
http://www.leica-geosystems.com/en/Bernese-GPS-Software_66368.htm
http://www.navipedia.net/index.php/Precise_Point_Positioning
http://www.navipedia.net/index.php/PPP_Fundamentals
http://www.navipedia.net/index.php/PPP_Systems
http://en.wikipedia.org/wiki/International_Terrestrial_Reference_Frame
http://www.navipedia.net/index.php/Carrier_Phase_Ambiguity_Fixing
http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps_survey/chap6/629.htm

http://igscb.jpl.nasa.gov/
http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10291-011-0248-2#page-1
http://igscb.jpl.nasa.gov/pipermail/igsmail/2011/006346.html
http://www.aiub.unibe.ch/content/research/satellite_geodesy/code___research/igs/index_eng.html
http://igscb.jpl.nasa.gov/pipermail/igsmail/2012/007853.html
http://xenon.colorado.edu/public_bias.html
http://www.navipedia.net/index.php/GPS_C1,_P1_and_P2_Codes_and_Receiver_Types