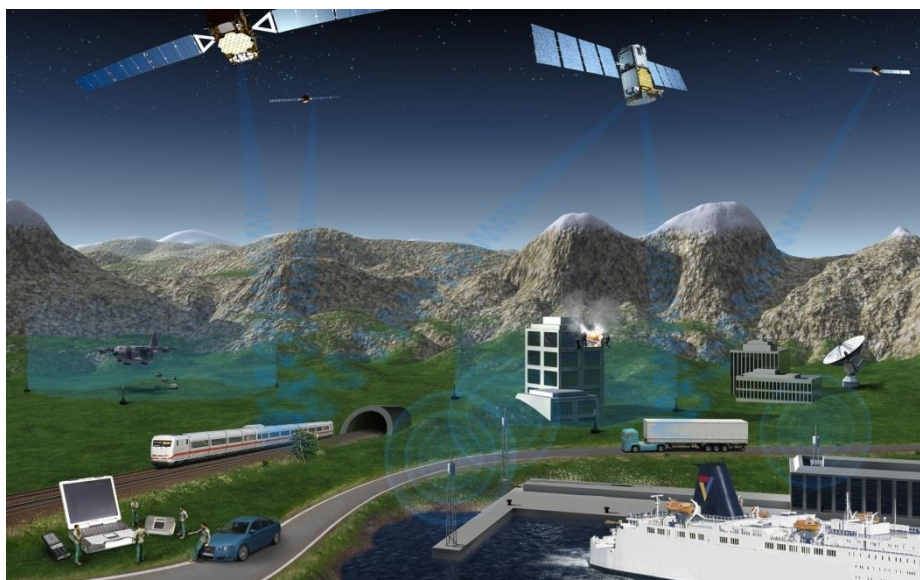




**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΩΤΕΡΗΣ ΚΑΙ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ**

**Διερεύνηση και ανάλυση τεχνικών βελτίωσης της  
ακρίβειας της μεθόδου εντοπισμού PPP με τη χρήση  
πολλαπλών συστημάτων GNSS**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Ψύχας Δημήτριος – Βασίλειος**

Επιβλέπων: **Δεληκαράογλου Δημήτριος**  
Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

**Αθήνα, Ιούλιος 2015**





**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΩΤΕΡΗΣ ΚΑΙ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ**

**Διερεύνηση και ανάλυση τεχνικών βελτίωσης της  
ακρίβειας της μεθόδου εντοπισμού PPP με τη χρήση  
πολλαπλών συστημάτων GNSS**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Ψύχας Δημήτριος – Βασίλειος**

Παρουσιάστηκε δημόσια, εξετάστηκε και εγκρίθηκε  
από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις 15/07/2015:

**Δουλάμης Νικόλαος**  
Επίκ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

**Δεληκαράογλου Δημήτριος**  
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.  
(Επιβλέπων)

**Γκίκας Βασίλειος**  
Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Copyright © Ψύχας Δημήτριος – Βασίλειος, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση ότι αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό ή άλλο σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.



*Αφιερωμένο στη μνήμη του ξαδέρφου μου  
Δημήτριου Ζαμπέτα*

*«Γιά νά πατᾶς στέρεα στή γῆ, πρέπει τό ἕνα πόδι σου νά εἶναι ἔξω ἀπό τή γῆ.»  
Οδυσσεύς Ελύτης*



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα τελευταία χρόνια, τα Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης και Εντοπισμού Θέσης GNSS (Global Navigation Satellite Systems) αποτελούν αναπόσπαστο μέρος των σύγχρονων τεχνολογικών υποδομών και υπηρεσιών. Κάθε δορυφόρος GNSS εκπέμπει διαμορφωμένα σήματα που αναγνωρίζονται και αποκωδικοποιούνται από κατάλληλους γεωδαιτικούς δέκτες, με αποτέλεσμα να παρέχουν στους χρήστες πληροφορίες θέσης, ταχύτητας και χρόνου. Την παρούσα χρονική στιγμή, υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για τον προσδιορισμό θέσης του εκάστοτε δέκτη με χρήση της τεχνολογίας των δορυφορικών συστημάτων.

Μία από αυτές είναι ο *απόλυτος εντοπισμός θέσης* (absolute positioning, single point positioning), για τον οποίο γίνεται χρήση ενός μόνο δέκτη GNSS. Η τεχνική αυτή, που αναπτύχθηκε πρώτη, αφορά μόνο μετρήσεις ψευδοαπόστασης (γεωμετρικής απόστασης μεταξύ δορυφόρου και δέκτη) και παρέχει ακρίβεια θέσης καλύτερη των 100 μέτρων για το ευρύ κοινό και περίπου 15 μέτρα για στρατιωτική χρήση. Επειδή, όμως, η ακρίβεια αυτή είναι ιδιαίτερα χαμηλή για ένα σημαντικό πλήθος εφαρμογών, έγινε στροφή στον *σχετικό εντοπισμό θέσης* (relative positioning) ο οποίος έχει τη δυνατότητα απαλοιφής των περισσότερων σφαλμάτων που επηρεάζουν τον απόλυτο εντοπισμό. Δύο είναι οι κύριες τεχνικές για την υλοποίηση του συγκεκριμένου εντοπισμού, εκ των οποίων η μία βασίζεται στις μετρήσεις ψευδοαπόστασης και η άλλη στις μετρήσεις φάσης του φέροντος κύματος, ενώ παράλληλα παρέχουν ακρίβεια καλύτερη των 2-3 μέτρων και μερικών εκατοστών αντίστοιχα.

Παρ' όλα αυτά, η συγκεκριμένη τεχνική εντοπισμού θέσης χαρακτηρίζεται από ορισμένα μειονεκτήματα, μεταξύ των οποίων είναι η εξάρτηση από έναν τουλάχιστον σταθμό αναφοράς, η ανάγκη για ταυτόχρονες παρατηρήσεις στο άγνωστο σημείο και στον σταθμό αναφοράς, και τέλος η απαίτηση να βρίσκεται ο δέκτης GNSS σε εγγύς απόσταση από τον τελευταίο. Ως αποτέλεσμα, είναι μεγάλη η ανάγκη τόσο σε υλικοτεχνικό εξοπλισμό και περισσότερο εργατικό δυναμικό στο πεδίο, όσο και σε επεξεργαστικό χώρο και χρόνο. Την λύση στο πρόβλημα αυτό, έδωσε η ανάπτυξη του *υψηλής ακρίβειας απόλυτου εντοπισμού θέσης*, εναλλακτικά PPP (Zumberge et al. 1997), ο οποίος βασίζεται στην επεξεργασία μετρήσεων ψευδοαπόστασης και φέρουσας φάσης από έναν μόνο δέκτη GNSS, σε συνδυασμό με τα υψηλής ακρίβειας προϊόντα τροχιών και χρονομέτρων της Διεθνούς Υπηρεσίας GNSS. Εφόσον, λοιπόν, δεν υπάρχει εξάρτηση από έναν σταθμό αναφοράς, η τεχνική PPP ξεπερνάει τις δυσκολίες του σχετικού εντοπισμού θέσης, ενώ παράλληλα μειώνει αισθητά τον υλικοτεχνικό εξοπλισμό που χρησιμοποιείται στο πεδίο.

Βάσει των παραπάνω, η τεχνική εντοπισμού PPP αποτελεί μία εναλλακτική αποδοτική λύση του σχετικού εντοπισμού θέσης, και παράλληλα παρέχει σχεδόν ίδια ακρίβεια θέσης. Η συγκεκριμένη τεχνική χρησιμοποιείται σήμερα σε πολυάριθμες εφαρμογές, όπως στην τηλεπισκόπηση, την παρακολούθηση φυσικών καταστροφών, στην αυτόνομη πλοήγηση, στην ρομποτική, στην γεωργία ακριβείας, στον εντοπισμό αισθητήρων καθώς και στην ενάερα χαρτογράφηση. Ωστόσο, η τεχνική παρουσιάζει ένα σημαντικό μειονέκτημα, τον λεγόμενο χρόνο σύγκλισης, τον χρόνο δηλαδή που απαιτούν οι PPP λύσεις για να συγκλίνουν στο επίπεδο των μερικών (κάτω των δέκα) εκατοστών.

Σήμερα, η πλειονότητα των εφαρμογών που υιοθετούν την τεχνική PPP ως τεχνική επεξεργασίας βασίζονται σε δεδομένα παρατηρήσεων μόνο από το αμερικανικό δορυφορικό σύστημα GPS. Αν και με τον τρόπο αυτό μπορεί να επιτευχθεί σύγκλιση των λύσεων στο συνήθως επιθυμητό επίπεδο των 10 εκατοστών εντός 20 – 30 λεπτών, η ακρίβεια προσδιορισμού θέσης και η διαθεσιμότητα εντοπισμού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον αριθμό των ορατών δορυφόρων που με τη σειρά τους εξαρτάται από το περιβάλλον και τις συνθήκες των μετρήσεων στο εκάστοτε σημείο ενδιαφέροντος. Σε αντίθετα περιβάλλοντα, όπου παρατηρείται είτε μειωμένος αριθμός των ορατών δορυφόρων είτε κακή δορυφορική γεωμετρία, η ακρίβεια εντοπισμού PPP θέσης μειώνεται αισθητά. Ένας τρόπος βελτίωσης της, που συγκεντρώνει υψηλό ενδιαφέρον από την επιστημονική και ακαδημαϊκή κοινότητα, είναι η δυνατότητα παρατήρησης περισσότερων δορυφόρων και σημάτων μέσω του συνδυασμού δεδομένων από πολλαπλά συστήματα GNSS, όπως το ρωσικό GLONASS, το ευρωπαϊκό Galileo και το κινεζικό BeiDou. Αυτή η τεχνική βελτίωσης αποτέλεσε το βασικό αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, για την οποία πραγματοποιήθηκε ενδελεχής διερεύνηση μέσω διαφορετικών σεναρίων συνδυαστικής χρήσης των διαφόρων

συστημάτων GNSS και ανάλυσης πραγματικών δεδομένων από τους διαθέσιμους σήμερα δορυφόρους.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Ανώτερης και Δορυφορικής Γεωδαισίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. εντός του ακαδημαϊκού έτους 2014-2015, υπό την επίβλεψη του Αν. Καθηγητή Ε.Μ.Π. κ. Δημήτρη Δεληκαράογλου.

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου, κ. Δημήτρη Δεληκαράογλου, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου τη συγκεκριμένη εργασία. Τον ευχαριστώ, επίσης, για την πολύτιμη καθοδήγηση και τις στοχευμένες παρατηρήσεις του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της, καθώς και την άψογη συνεργασία μας όλο αυτό το διάστημα. Όχι μόνο κατάφερε να διευρύνει το γνωστικό μου πεδίο στον τομέα του δορυφορικού εντοπισμού και πλοήγησης, αλλά μου δίδαξε μαθήματα ζωής που θα μου χρησιμεύσουν στο εγγύς μέλλον.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές κ. Βασίλη Γκίκα (Αν. Καθηγητή Ε.Μ.Π.) και κ. Νίκο Δουλάμη (Επίκ. Καθηγητή Ε.Μ.Π.) για τις υποδείξεις τους όποτε χρειάστηκε, καθώς και για τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις τους για τη βελτίωση του τελικού κειμένου της διπλωματικής μου εργασίας.

Θα ήθελα, στη συνέχεια, να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κ. Κυριάκο Φράγκο (Υποψήφιο Διδάκτορα ΣΑΤΜ), τον κ. David Kelley (Διευθυντή των Προγραμμάτων για Ευφυή Συστήματα Μεταφορών της εταιρείας SubCarrier Systems στην Glendora, California) και το Καναδικό Υπουργείο NRCan (Natural Resources Canada) για τη βοήθεια τους, η οποία ήταν πολύτιμη για την εύρεση κινηματικών πορειών που εξετάστηκαν στο ερευνητικό μέρος της παρούσας μελέτης. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Διεθνή Υπηρεσία GNSS και το πιλοτικό πρόγραμμα MGEX για την ελεύθερη παροχή δεδομένων πολλαπλών συστημάτων GNSS, τα οποία αποτέλεσαν βασικό συντελεστή για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Ακολούθως, ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον ερευνητή κ. Tomoji Takasu, από το Πανεπιστήμιο Θαλάσσιας Επιστήμης και Τεχνολογίας στο Τόκιο, τόσο για την ελεύθερη παροχή του ελεύθερου λογισμικού RTKLIB που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη όσο και την τεχνική υποστήριξη που μου παρείχε σε όποιο εμπόδιο παρουσιάσθηκε κατά την επεξεργασία δεδομένων με αυτό.

Θα ήθελα, έπειτα, να ευχαριστήσω τον Διδάκτορα κ. Xingxing Li, από το ερευνητικό κέντρο GFZ (GeoForschungsZentrum – Helmholtz Centre Potsdam), για τις εποικοδομητικές συζητήσεις που είχα μαζί του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας μελέτης, σχετικά με την χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS στη μέθοδο εντοπισμού PPP.

Ακολούθως, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για τη συμπαράσταση, υποστήριξη και υπομονή που μου έδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, αλλά και τους φίλους μου για την κατανόηση και συμπαράστασή τους καθώς και τις πολύτιμες συμβουλές τους.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην Αίγλη, της οποίας η πίστη στις δυνατότητες μου αποτέλεσε αρωγός σε όλους τους στόχους και τα όνειρα μου.

Σας ευχαριστώ όλους

Ψύχας Δημήτριος - Βασίλειος



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τη διερεύνηση και ανάλυση των τεχνικών βελτίωσης της ακρίβειας της μεθόδου εντοπισμού PPP (Precise Point Positioning), με χρήση πολλαπλών δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού και πλοήγησης GNSS (Global Navigation Satellite Systems). Συγκεκριμένα, εστιάζει στον συνδυασμό δεδομένων παρατηρήσεων από τα πλήρως λειτουργικά (GPS, GLONASS) και αναδυόμενα (Galileo, BeiDou) συστήματα GNSS, προκειμένου να διαπιστωθεί η βελτίωση τόσο στην ακρίβεια προσδιορισμού θέσης όσο και στον χρόνο σύγκλισης των λύσεων στο επίπεδο των 10 ή μερικών εκατοστών. Για τον σκοπό αυτό, έγινε χρήση των ελεύθερα διατιθέμενων δεδομένων του πρόσφατα υλοποιημένου πιλοτικού προγράμματος MGEX (Multi-GNSS Experiment) της Διεθνούς Υπηρεσίας GNSS, καθώς και του ελεύθερου λογισμικού ανοικτού κώδικα RTKLIB.

Ειδικότερα, η παρούσα μελέτη απαρτίζεται από πέντε (5) επιμέρους κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο, τίθεται το πρόβλημα που αποτέλεσε το έναυσμα εκπόνησης της έρευνας, καθορίζονται ο σκοπός και οι στόχοι της, και γίνεται περιγραφή της δομής και του περιεχομένου της διπλωματικής εργασίας. Ακολούθως, στο δεύτερο κεφάλαιο αποτυπώνεται πλήρως το θεωρητικό και μαθηματικό υπόβαθρο της μεθόδου εντοπισμού PPP (με λεπτομερή διερεύνηση της σχετικής βιβλιογραφίας), και παράλληλα παρουσιάζεται η πολλά υποσχόμενη χρήση της τεχνικής PPP με δεδομένα μίας μόνο συχνότητας (Single-Frequency PPP). Παρέχονται, επίσης, πληροφορίες για τις διαθέσιμες διαδικτυακές υπηρεσίες επίλυσης δορυφορικών δεδομένων με την εν λόγω τεχνική εντοπισμού, ενώ στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται εμβάθυνση στις τεχνικές βελτίωσης ακρίβειας της μεθόδου Precise Point Positioning που μελετώνται σε μεγάλο βαθμό από την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα. Στο τρίτο κεφάλαιο προσδιορίζεται και αναλύεται ο ρόλος της Διεθνούς Υπηρεσίας GNSS, IGS, και παρουσιάζεται το πιλοτικό της πρόγραμμα MGEX μέσω του οποίου συλλέγονται και αναλύονται τα δορυφορικά σήματα όλων των διαθέσιμων σήμερα δορυφορικών συστημάτων. Το τέταρτο κεφάλαιο αποτελεί τη θεμέλια βάση του ερευνητικού μέρους της παρούσας μελέτης, καθώς σε αυτό περιλαμβάνεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εξέταση των τιθέμενων στόχων. Στο ίδιο κεφάλαιο, λαμβάνει χώρα μία συνοπτική περιγραφή του ελεύθερου λογισμικού RTKLIB, που αποτέλεσε το βασικό μέσο επεξεργασίας με την μέθοδο εντοπισμού PPP. Κατόπιν, στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα σενάρια και τα αποτελέσματα που εξετάστηκαν και αναλύθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία, τα οποία προέκυψαν ύστερα από επεξεργασία δεδομένων πραγματικών κινηματικών πορειών και στατικών δεδομένων με πολλαπλά δορυφορικά συστήματα GNSS από μόνιμους σταθμούς του δικτύου MGEX. Τέλος, παρουσιάζονται διάφορα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρούσα μελέτη και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

## ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

PPP, Precise Point Positioning, Δορυφορικός Εντοπισμός, GNSS, Πολλαπλά Συστήματα GNSS, GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, MGEX, IGS, Χρόνος Σύγκλισης, Ακρίβεια Εντοπισμού, Επίλυση Ακέραιων Ασαφειών Φάσης, RTKLIB, CSRS-PPP

## **ABSTRACT**

This diploma thesis presents an investigation and analysis of accuracy improvement techniques in the so-called Precise Point Positioning (PPP) method using signals from multiple GNSS constellations. In particular, the study focuses on the combination of observation data from the fully operational (GPS, GLONASS), as well as the emerging (Galileo, BeiDou) GNSS systems, in order to determine the improvement in both the positioning accuracy achieved and the time convergence it takes to achieve a geodetic level (10 cm or less) accuracy. To this end, freely available observation data of the recent pilot project MGEX of the International GNSS Service, as well as the open source program RTKLIB were used.

The thesis consists of five individual chapters. The first chapter provides a statement of the problem that motivated the undertaking of the research that was carried out, defines its scope and purposes, and describes the structure and contents of the thesis. The theoretical and mathematical background of the PPP technique are fully described in the second chapter (together with a thorough account of the relevant literature on the subject), while at the same time the promising use of single-frequency PPP is presented. What follows in the same chapter is information concerning the available online PPP services and the accuracy improvement techniques of Precise Point Positioning which are currently attracting the attention of the global scientific community. The role of International GNSS Service is presented and analyzed in the third chapter, together with a presentation of the ongoing pilot project MGEX whose purpose is to collect and analyze observations from all the available GNSS systems. The fourth chapter provides the groundwork for this study's research part, as this includes the methodology that was used in order to serve the scope and objectives set out for the study. The same chapter includes a brief description of the open source program package for GNSS positioning, RTKLIB, which served as the main processing engine that allowed us to test various data processing aspects of the PPP technique. Finally, various scenarios and results are presented and analyzed in the fifth chapter. These resulted from the processing of actual tracks of kinematic observations and static multi-GNSS observation data from permanent MGEX stations. Various conclusions and recommendations for further research are also presented.

## **KEY WORDS**

PPP, Precise Point Positioning, Satellite Positioning, GNSS, Multi-GNSS, GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, MGEX, IGS, Convergence Time, Positioning Accuracy, Integer Ambiguity Resolution, RTKLIB, CSRS-PPP



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b> .....	<b>viii</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>x</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xi</b>
<b>ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ</b> .....	<b>xv</b>
<b>1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Καθορισμός του Προβλήματος.....	1
1.2 Σκοπός και Στόχοι της Διπλωματικής Εργασίας .....	2
1.3 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας .....	2
1.4 Συνεισφορά.....	3
<b>2 ΜΕΘΟΔΟΣ PRECISE POINT POSITIONING</b> .....	<b>5</b>
2.1 Εισαγωγή.....	5
2.2 Σφάλματα και Διορθώσεις Μετρήσεων .....	6
2.2.1 Σφάλματα δορυφορικών τροχιών και χρονομέτρων .....	7
2.2.2 Επίδραση phase windup .....	8
2.2.3 Ιονοσφαιρικό σφάλμα .....	9
2.2.4 Τροποσφαιρικό σφάλμα.....	10
2.2.5 Σφάλμα πολυκλαδικής ανάκλασης .....	11
2.2.6 Ανοχή του κέντρου φάσης της κεραίας του δέκτη .....	13
2.2.7 Ανοχή του κέντρου φάσης της δορυφορικής κεραίας .....	13
2.2.8 Γήινες παλίρροιες .....	13
2.2.9 Ωκεάνιες παλίρροιες .....	14
2.2.10 Πολικές παλίρροιες .....	15
2.2.11 Ατμοσφαιρική πίεση .....	16
2.2.12 Παράμετροι περιστροφής της γης .....	16
2.2.13 Επίδραση σχετικότητας .....	17
2.2.14 Επίδραση Sagnac .....	18
2.2.15 Ασάφεια φάσης.....	19
2.2.16 Σφάλματα απόκλισης μεταξύ κωδίκων .....	19
2.3 Μαθηματικό Μοντέλο .....	20
2.3.1 Πρότυπο μοντέλο .....	20
2.3.2 Μοντέλο πολλαπλών συστημάτων.....	22
2.4 PPP Μονής Συχνότητας (Single-Frequency PPP) .....	24
2.5 Διαδικτυακές Υπηρεσίες PPP.....	27
2.5.1 Υπηρεσία APPS.....	28
2.5.2 Υπηρεσία CSRS-PPP .....	30
2.5.3 Υπηρεσία GAPS .....	32
2.5.4 Υπηρεσία magicPPP .....	34

2.5.5	Συγκεντρωτικός πίνακας υπηρεσιών PPP.....	37
2.6	Τεχνικές Βελτίωσης PPP .....	38
2.6.1	Πολλαπλά συστήματα GNSS .....	38
2.6.2	Επίλυση αθέριων ασαφειών φάσης.....	42
2.6.3	Χρήση αδρανειακών συστημάτων INS .....	46
2.6.4	Χρήση ατμοσφαιρικών μοντέλων ακριβείας .....	47
2.6.5	Μείωση πολυκλαδικής ανάκλασης και θορύβου.....	48
<b>3</b>	<b>ΔΙΕΘΝΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑ GNSS.....</b>	<b>51</b>
3.1	Υπηρεσία IGS .....	51
3.1.1	Προϊόντα IGS .....	52
3.1.2	Υπηρεσία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο .....	54
3.1.3	Πρότυπες μορφές αρχείων .....	57
3.2	Πιλοτικό Πρόγραμμα MGEX .....	57
3.2.1	Εξέλιξη συστημάτων GNSS .....	58
3.2.2	Δίκτυο MGEX .....	63
3.2.3	Προϊόντα.....	67
3.2.4	Εκπεμπόμενες εφημερίδες .....	68
3.2.5	Σφάλματα μεταξύ κωδίκων .....	69
3.2.6	Προϊόντα πραγματικού χρόνου .....	70
3.2.7	Τυποποίηση και συμβάσεις.....	70
<b>4</b>	<b>ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....</b>	<b>73</b>
4.1	Προέλευση Δεδομένων .....	73
4.2	Πρόγραμμα RTKLIB .....	74
4.2.1	Εισαγωγή .....	74
4.2.2	Δομή RTKLIB .....	75
4.2.3	Ανάπτυξη εφαρμογών .....	79
4.2.4	Μοντέλο PPP.....	80
4.3	Επεξεργασία .....	85
4.4	Γεωμετρικοί Δείκτες DOP.....	90
4.5	Στατιστικοί Δείκτες .....	93
<b>5</b>	<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>95</b>
5.1	Πραγματικές Κινηματικές Πορείες .....	95
5.1.1	Κινηματική πορεία πλοίου: Αλεξανδρούπολη – Σαμοθράκη.....	95
5.1.2	Κινηματική πορεία πλοίου: Ηράκλειο – Πειραιάς.....	98
5.1.3	Κινηματική πορεία πλοίου: Πειραιάς – Θήρα .....	100
5.1.4	Κινηματική πορεία πλοίου: Πειραιάς – Χίος.....	101
5.1.5	Κινηματική πορεία πλοίου: Θεσσαλονίκη – Μυτιλήνη .....	103
5.1.6	Κινηματική πορεία αεροπλάνου: Hall Beach, Canada .....	105
5.1.7	Κινηματική πορεία αυτοκινήτου: Glendora, California .....	106
5.2	Διάστημα Παρατήρησης .....	109

5.2.1	Στατικές PPP λύσεις .....	109
5.2.2	Κινηματικές PPP λύσεις (forward) .....	133
5.2.3	Κινηματικές PPP λύσεις (backward).....	147
5.2.4	Κινηματικές PPP λύσεις (combined) .....	155
5.3	Γωνία Αποκοπής Δορυφόρων .....	164
5.3.1	Στατικές PPP λύσεις .....	164
5.3.2	Κινηματικές PPP λύσεις (forward) .....	176
5.3.3	Κινηματικές PPP λύσεις (backward).....	184
5.3.4	Κινηματικές PPP λύσεις (combined) .....	190
5.4	Επίλυση Ακέραιων Ασαφειών Φάσης .....	195
5.4.1	Στατικές PPP λύσεις .....	195
5.4.2	Κινηματικές PPP λύσεις .....	207
	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>219</b>
	<b>ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....</b>	<b>223</b>
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>227</b>
	<b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ .....</b>	<b>235</b>
	<b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ .....</b>	<b>237</b>
	<b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>239</b>
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....</b>	<b>245</b>
A.	Αποτελέσματα .....	245
B.	Κώδικας MATLAB .....	274

## AKPΩNYMIA

AC	Analysis Centre
AIUB	Astronomical Institute at the University of Bern
APPS	Automatic Precise Positioning Service
BKG	German Federal Agency for Cartography and Geodesy
CDDIS	Crustal Dynamics Data Information System
CLS	Collecte Localisation Satellites
CNES	National Centre for Space Studies
CODE	Centre for Orbit Determination in Europe
CONGO	Cooperative Network for GNSS Observation
CORS	Continuous Operating Reference Stations
CSRS	Canadian Spatial Reference System
DLR	German Aerospace Center
DOP	Dilution of Precision
ESA	European Space Agency
ESA/ESOC	European Space Agency's Space Operations Centre
FOC	Full Operational Capability
FTP	File Transfer Protocol
GA	Geoscience Australia
GAPS	GPS Analysis Positioning Software
GFZ	German Research Centre for Geosciences
GIM	Global Ionosphere Maps
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
IAG	International Association of Geodesy
IERS	International Earth Rotation and Reference Systems Service
IGN	Institut Geographique National
IGS	International GNSS Service
IGSO	Inclined Geo-synchronous Orbit
IOC	Initial Operational Capability
IONEX	Ionosphere Map Exchange format
IOV	In-Orbit Validation
IRNSS	Indian Regional Navigation Satellite System
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
ITRS	International Terrestrial Reference System
IUGG	International Union of Geodesy and Geophysics
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
JPL	Jet Propulsion Laboratory
LEX	L-band Experimental
MEO	Medium Earth Orbit
GEO	Geostationary Earth Orbit
MGEX	Multi-GNSS Experiment
MGWG	Multi-GNSS Working Group
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MSM	Multiple Signal Message
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NGS	National Geodetic Survey

NRCan	Natural Resources Canada
NRT	Near Real-Time
NTRIP	Networked Transport of RTCM via Internet Protocol
PPP	Precise Point Positioning
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System
RINEX	Receiver Independent Exchange Format
RT	Real Time
RTAC	Real-Time Analysis Centre
RTCM	Radio Technical Commission for Maritime Services
RTS	Real Time Service
RTWG	Real-Time Working Group
SBAS	Space-Based Augmentation System
SSR	State Space Representation
TEC	Total Electron Content
TUW	Vienna University of Technology
UNB	University of New Brunswick
WHU	Wuhan University

## **ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ:**

Στα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, χρησιμοποιούνται οι συμβολισμοί G, R, E, C για να δηλώσουν τα δορυφορικά συστήματα GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou αντίστοιχα. Αυτό γίνεται τόσο για την ευανάγνωστη και εποπτική δημιουργία και ερμηνεία των διαγραμμάτων απεικόνισης των PPP λύσεων, όσο και την άμεση αναφορά τους στο κείμενο. Στις περιπτώσεις συνδυασμού συστημάτων, χρησιμοποιείται το σύμβολο “/” (π.χ. ο συμβολισμός G/R δηλώνει τον συνδυασμό των συστημάτων GPS και GLONASS).



# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο, γίνεται η εισαγωγή στο πρόβλημα που αποτέλεσε το έναυσμα για την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας και παρατίθενται οι στόχοι που τέθηκαν για την προσέγγιση του. Στη συνέχεια, ακολουθεί μία συνοπτική αναφορά στην δομή της παρούσας εργασίας, καθώς και στην συνεισφορά της στον τομέα της δορυφορικής γεωδαισίας.

## 1.1 Καθορισμός του Προβλήματος

Η ανάπτυξη της τεχνικής Precise Point Positioning (Zumberge et al. 1997) έχει επιφέρει σημαντική πρόοδο σε ένα εκτενές εύρος εφαρμογών που απαιτούν υψηλή ακρίβεια θέσης και διαθεσιμότητα εντοπισμού σε ακραία και αντίξοα περιβάλλοντα. Η υψηλή ακρίβεια, που παρέχει η συγκεκριμένη τεχνική, οφείλεται στη χρήση τόσο των μετρήσεων ψευδοαπόστασης όσο και των μετρήσεων φάσης στις δύο συχνότητες, L1 και L2.

Παρ' όλα αυτά, η ακρίβεια και η διαθεσιμότητα του προσδιορισμού θέσης με την τεχνική PPP εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον αριθμό των παρατηρούμενων δορυφόρων (Cai & Gao 2007). Σε αντίξοα περιβάλλοντα όπως αστικά φαράγγια, όπου ο αριθμός των ορατών δορυφόρων μειώνεται, καθώς και σε περιοχές με κακή γεωμετρία των τελευταίων, η παρεχόμενη ακρίβεια θέσης δεν είναι η μέγιστη δυνατή. Έτσι, η αύξηση των διαθέσιμων ορατών δορυφόρων καθίσταται αναγκαία προκειμένου να αντιμετωπισθεί το προαναφερθέν πρόβλημα. Αυτό μπορεί εύκολα να πραγματοποιηθεί μέσω της συνδυασμένης χρήσης των παρατηρήσεων τόσο από τα πλήρως λειτουργικά (GPS, GLONASS) όσο και από τα αναδυόμενα δορυφορικά συστήματα GNSS (Galileo, BeiDou).

Ενώ τα δορυφορικά συστήματα Galileo και BeiDou βρίσκονται ακόμα σε ανάπτυξη, η Διεθνής Υπηρεσία GNSS προχώρησε στην δημιουργία του πιλοτικού προγράμματος MGEX (Multi-GNSS Experiment) έτσι ώστε να εξοικειώσει την επιστημονική κοινότητα με τα δεδομένα από τα εν εξελίξει δορυφορικά συστήματα GNSS. Η ανάδυση των συγκεκριμένων συστημάτων πρόκειται να επιφέρει σημαντικές αλλαγές στον τομέα του δορυφορικού εντοπισμού και πλοήγησης, καθώς ο συνδυασμός πολλαπλών συστημάτων GNSS θα οδηγήσει σε σημαντική αύξηση του αριθμού των ορατών δορυφόρων, θα βελτιστοποιήσει την χωρική γεωμετρία τους και θα βελτιώσει τη συνέχεια και την αξιοπιστία του εντοπισμού θέσης (Li et al. 2015).

Η χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS για τον προσδιορισμό θέσης με την τεχνική PPP ξεκίνησε από τους Cai & Gao (2007), η μελέτη των οποίων περιελάμβανε δύο σχηματισμούς, τον αμερικανικό GPS και τον ρωσικό GLONASS. Αν και ο αριθμός των τότε δορυφόρων GLONASS δεν ήταν μεγάλος, παρατηρήθηκε βελτίωση της ακρίβειας θέσης. Προκαταρκτικά αποτελέσματα από το συνδυασμό όλων των διαθέσιμων δορυφορικών συστημάτων GNSS (Li et al. 2015a, Li et al. 2015b, Cai et al. 2015, Tegedor et al. 2014) δείχνουν ότι υπάρχει σημαντική βελτίωση τόσο στην παρεχόμενη ακρίβεια θέσης όσο και στον χρόνο σύγκλισης των λύσεων.

## 1.2 Σκοπός και Στόχοι της Διπλωματικής Εργασίας

Βασικός σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση και ανάλυση της χρήσης πολλαπλών δορυφορικών συστημάτων GNSS (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) υπό τις παρούσες συνθήκες λειτουργίας των εν λόγω συστημάτων για την βελτίωση της παρεχόμενης ακρίβειας της τεχνικής εντοπισμού θέσης PPP (Precise Point Positioning). Έτσι, οι στόχοι που τέθηκαν διακρίνονται σε δύο κύριες συνιστώσες:

- *Πρώτον, η διερεύνηση και εξοικείωση με το ελεύθερο λογισμικό ανοικτού κώδικα, RTKLIB, που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη καθώς και η ανάδειξη των δυνατοτήτων του. Το εν λόγω λογισμικό συνίσταται από μία ομάδα εφαρμογών που καθιστούν δυνατή την λήψη, οπτικοποίηση και επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων με την τεχνική εντοπισμού PPP στο περιβάλλον του. Σημαντικό χαρακτηριστικό του RTKLIB είναι ότι επιτρέπει στον χρήστη την τροποποίηση και διαμόρφωση του πηγαίου κώδικα του πρώτου ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη.*
- *Δεύτερον, η διερεύνηση και ανάλυση των τεχνικών βελτίωσης της ακρίβειας της μεθόδου PPP με τη χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS. Συγκεκριμένα, πραγματοποιείται σύγκριση της ακρίβειας θέσης που παρέχεται από διαφορετικούς συνδυασμούς δορυφορικών σχηματισμών ως προς διάφορα σενάρια που μελετήθηκαν, μέσω των δεδομένων και προϊόντων πολλαπλών συστημάτων GNSS που παρέχονται σήμερα από το πιλοτικό πρόγραμμα MGEX της Διεθνούς Υπηρεσίας GNSS.*

## 1.3 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

Για την κάλυψη των παραπάνω στόχων, η παρούσα διπλωματική εργασία διαρθρώνεται σε έξι επιμέρους κεφάλαια. Στο παρόν κεφάλαιο, αναφέρονται ορισμένα εισαγωγικά στοιχεία. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι βασικοί στόχοι που τέθηκαν στην παρούσα μελέτη, καθώς και η δομή των κεφαλαίων που την απαρτίζουν.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, δίνεται μία πλήρης περιγραφή για το θεωρητικό υπόβαθρο της τεχνικής εντοπισμού PPP (Precise Point Positioning) και γίνεται επεξήγηση των σφαλμάτων και των αναγκαίων διορθωτικών μοντέλων των μετρήσεων, γενικά για τον δορυφορικό εντοπισμό θέσης και ειδικότερα για την τεχνική PPP. Ακολούθως, παρουσιάζεται το μαθηματικό της μοντέλο για τον προσδιορισμό θέσης με τη χρήση δεδομένων από ένα και περισσότερα συστήματα GNSS, όπου εισάγονται σφάλματα μεταξύ των διαφορετικών δορυφορικών σχηματισμών. Επίσης, γίνεται μία σύντομη αναφορά στις διαθέσιμες διαδικτυακές υπηρεσίες επίλυσης δορυφορικών δεδομένων με την εν λόγω τεχνική, καθώς και στην τεχνική PPP με δεδομένα μίας μόνο συχνότητας (single-frequency PPP) η οποία παρουσιάζει μεγάλη χρησιμότητα και ενδιαφέρον. Τέλος, γίνεται μία πλήρης αναφορά στις τεχνικές βελτίωσης ακρίβειας της μεθόδου PPP, με ειδικότερη εμβάθυνση στη χρήση πολλαπλών δορυφορικών συστημάτων και την τεχνική επίλυσης των ακέραιων ασαφειών φάσης, ενώ παρουσιάζονται ενδεικτικά συγκριτικά αποτελέσματα που αντλήθηκαν από τη βιβλιογραφία.

Το τρίτο κεφάλαιο αφορά την Διεθνή Υπηρεσία παροχής δεδομένων και προϊόντων GNSS, την IGS (International GNSS Service). Συγκεκριμένα, περιγράφεται ο ρόλος και τα χαρακτηριστικά της υπηρεσίας IGS καθώς και τα δεδομένα και προϊόντα που αυτή παρέχει ελεύθερα στους χρήστες της. Επίσης, γίνεται αναφορά στην πρόσφατη υπηρεσία RTS (Real-Time Service) διάθεσης προϊόντων για την υποστήριξη εφαρμογών σε πραγματικό χρόνο, καθώς και στις πρότυπες μορφές αρχείων που έχει υιοθετήσει η υπηρεσία IGS για την διάθεση των πληροφοριών της. Ακολούθως, γίνεται γνωριμία με το νέο πιλοτικό πρόγραμμα MGEX της υπηρεσίας IGS, το οποίο δημιουργήθηκε για την υποστήριξη δεδομένων από πολλαπλά δορυφορικά συστήματα GNSS και αποτέλεσε τη βάση για την επεξεργασία της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ειδικότερα, περιγράφεται η εξέλιξη των πλήρως λειτουργικών (GPS, GLONASS) και των νέων και επερχόμενων (Galileo, BeiDou, QZSS, IRNSS) συστημάτων GNSS, καθώς και τα αντίστοιχα δεδομένα και προϊόντα που παρέχει την παρούσα στιγμή η καμπάνια MGEX. Επίσης, γίνεται μία συνοπτική αναφορά στην πλατφόρμα διάθεσης προϊόντων πολλαπλών συστημάτων GNSS σε πραγματικό χρόνο, καθώς και στις συμβάσεις που υιοθετήθηκαν από το πρόσφατα υλοποιηθούν πρόγραμμα.



Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία για την εκπλήρωση των τιθέμενων στόχων. Ειδικότερα, περιγράφονται τα δεδομένα που λήφθηκαν για την πραγματοποίηση διάφορων σεναρίων, και γίνεται μία σύντομη ανασκόπηση της δομής και των χαρακτηριστικών του ελεύθερου λογισμικού RTKLIB που αποτέλεσε το μέσο επεξεργασίας των εν λόγω δεδομένων. Έπειτα, περιγράφεται πλήρως η επεξεργασία των δεδομένων που έλαβε χώρα στην παρούσα μελέτη τόσο με το λογισμικό RTKLIB όσο και με την διαδικτυακή υπηρεσία, CSRS-PPP, επίλυσης δορυφορικών δεδομένων με την τεχνική PPP, καθώς και ορισμένες α-priori αποφάσεις που λήφθηκαν. Τέλος, γίνεται σύντομη αναφορά στους στατιστικούς δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν για την ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Το πέμπτο κεφάλαιο αποτελεί το ερευνητικό μέρος της παρούσας εργασίας, στο οποίο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων. Αρχικά, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία δεδομένων πραγματικών κινηματικών πορειών με το λογισμικό RTKLIB και την διαδικτυακή υπηρεσία CSRS-PPP, ώστε να αναδειχθεί η απόδοση και οι δυνατότητες του πρώτου. Εν συνεχεία, ακολουθούν τα αποτελέσματα της επεξεργασίας δεδομένων μόνιμων σταθμών του δικτύου MGEX ως προς μεταβλητές χρονικές διάρκειες παρατηρήσεων και γωνίες αποκοπής δορυφόρων, έτσι ώστε να διαπιστωθεί η συμβολή της χρήσης πολλαπλών συστημάτων GNSS στην βελτίωση ακρίβειας της τεχνικής PPP. Τέλος, γίνεται προσπάθεια επίλυσης των ακέραιων ασαφειών φάσης με το λογισμικό RTKLIB και ειδικά προϊόντα πληροφοριών, με απώτερο σκοπό την διερεύνηση βελτίωσης ακρίβειας των PPP λύσεων.

Εν συνεχεία, παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από το βιβλιογραφικό και ερευνητικό μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς και ένας αριθμός προτάσεων για μελλοντικές μελέτες.

Τέλος, παρατίθενται οι βιβλιογραφικές αναφορές που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη, ενώ στο παράρτημα βρίσκονται ορισμένα από τα αποτελέσματα που δεν παρουσιάστηκαν στο πέμπτο κεφάλαιο.

## 1.4 Συνεισφορά

Η συγκεκριμένη ενότητα παρουσιάζει τους στόχους που τέθηκαν από τον συγγραφέα για κάθε ένα από τα επόμενα πέντε κεφάλαια και απαριθμεί την πραγματική συνεισφορά, κατά την άποψη του συγγραφέα, που περιλαμβάνεται σε κάθε κεφάλαιο.

Στόχος του δεύτερου κεφαλαίου είναι η γνωριμία με το θεωρητικό υπόβαθρο της τεχνικής εντοπισμού θέσης PPP και τις δυνατότητες που αυτή παρέχει. Αρχικά, γίνεται μία πλήρης περιγραφή των σφαλμάτων και μοντέλων διόρθωσης της (2.2), και του μαθηματικού μοντέλου της με χρήση ενός (2.3.1) και πολλαπλών συστημάτων GNSS (2.3.2). Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στη διαδικασία υλοποίησης της τεχνικής PPP με δεδομένα μονής συχνότητας (2.4), ενώ παρουσιάζονται οι διαθέσιμες διαδικτυακές υπηρεσίες (2.5) για την επίλυση δεδομένων με την τεχνική PPP. Τέλος, λαμβάνει χώρα μία λεπτομερής βιβλιογραφική αναζήτηση σχετική με τις τεχνικές βελτίωσης ακρίβειας της μεθόδου PPP (2.6), οι οποίες αποτελούν κεντρικό σημείο της επιστημονικής έρευνας σε διεθνές επίπεδο.

Στόχος του τρίτου κεφαλαίου είναι η ανάδειξη του ρόλου της υπηρεσίας IGS (3.1), καθώς και η γνωριμία με τη χρήση δεδομένων από πολλαπλά συστήματα GNSS (3.2) μέσω του πρόσφατα υλοποιημένου πιλοτικού προγράμματος MGEX.

Στόχος του τέταρτου κεφαλαίου είναι η παρουσίαση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία των δεδομένων, και η ανάδειξη των δυνατοτήτων του ελεύθερου λογισμικού RTKLIB (4.2). Ειδικότερα, γίνεται επισκόπηση της ομάδας εφαρμογών που το αποτελούν (4.2.2) καθώς και της δυνατότητας ανάπτυξης διασυνδεδεμένων ή αυτόνομων εφαρμογών (4.2.3) ανάλογα με την εργασία του χρήστη. Έπειτα, ακολουθεί η διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων (4.3) και η συσχέτιση των αποτελεσμάτων θέσης μέσω στατιστικών δεικτών (4.5).

Στόχος του πέμπτου κεφαλαίου είναι η επικύρωση του λογισμικού RTKLIB από άποψη ακρίβειας και δυνατοτήτων σε σύγκριση με την διαδικτυακή υπηρεσία CSRS-PPP (5.1), και η συστηματική διερεύνηση της παρεχόμενης ακρίβειας της τεχνικής PPP μέσω της χρήσης δεδομένων παρατηρήσεων από πολλαπλά συστήματα GNSS (5.2, 5.3). Επιπλέον,

παρουσιάζεται η βελτίωση των PPP λύσεων μέσω της επίλυσης των ακέραιων ασαφειών φάσης (5.4).

# 2 ΜΕΘΟΔΟΣ PRECISE POINT POSITIONING

Το παρόν κεφάλαιο έχει ως στόχο την περιγραφή και ανάλυση των βασικών θεωρητικών εννοιών που διέπουν την τεχνική δορυφορικού εντοπισμού PPP (Precise Point Positioning). Ειδικότερα, το κεφάλαιο αυτό διαχωρίζεται σε έξι επιμέρους ενότητες με βάση το περιεχόμενό τους. Στην πρώτη ενότητα, επιχειρείται μία εισαγωγή στην τεχνική PPP και τα βασικά χαρακτηριστικά της. Έπειτα, στην δεύτερη ενότητα παρουσιάζεται ο στρατηγικός χειρισμός των σφαλμάτων στην εν λόγω τεχνική εντοπισμού θέσης, με βάση διορθωτικά μοντέλα και συμβάσεις που έχουν υιοθετηθεί παγκοσμίως. Στην τρίτη ενότητα του κεφαλαίου, παρουσιάζεται το μαθηματικό υπόβαθρο της τεχνικής PPP τόσο με τη χρήση ενός μόνο δορυφορικού συστήματος όσο και με τον συνδυασμό περισσότερων συστημάτων GNSS. Ακολούθως, στην τέταρτη και πέμπτη ενότητα γίνεται αναφορά στην τεχνική PPP με δεδομένα μίας συχνότητας (Single-Frequency PPP) καθώς και στις διαθέσιμες διαδικτυακές υπηρεσίες επίλυσης δορυφορικών δεδομένων με την μέθοδο PPP. Τέλος, η έκτη ενότητα πραγματεύεται τις τεχνικές βελτίωσης της εξεταζόμενης τεχνικής δορυφορικού εντοπισμού ως προς την αξιοπιστία και την παρεχόμενη ακρίβεια θέσης.

## 2.1 Εισαγωγή

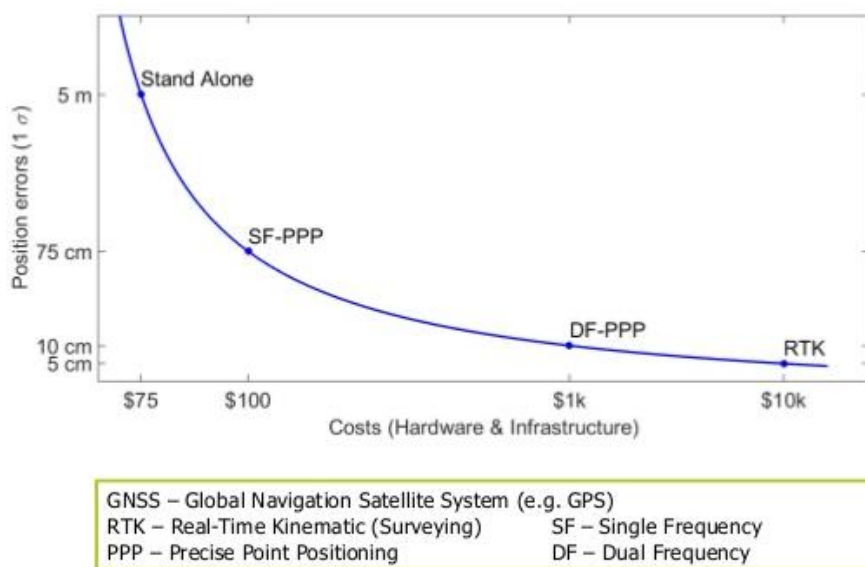
Η μέθοδος υψηλής ακρίβειας απόλυτου προσδιορισμού θέσης, εναλλακτικά PPP (Precise Point Positioning), αποτελεί μία σχετικά πρόσφατη και ευρέως διαδεδομένη τεχνική δορυφορικού εντοπισμού θέσης, χρησιμοποιώντας τα διαθέσιμα δορυφορικά συστήματα εντοπισμού και πλοήγησης GNSS (Global Navigation Satellite Systems). Η διαφορά της με τον σημειακό απόλυτο εντοπισμό θέσης έγκειται στο γεγονός ότι η πρώτη, εκτός από τις μετρήσεις του κώδικα των δορυφορικών σημάτων, χρησιμοποιεί και τις μετρήσεις φάσης του φέροντος κύματος (carrier phase observables) στις δύο συχνότητες L1 και L2, οι οποίες προσδίδουν μεγαλύτερη ακρίβεια στον εντοπισμό θέσης.

Ο πρότυπος αλγόριθμος της τεχνικής PPP βασίζεται στην επεξεργασία του γραμμικού συνδυασμού των διαθέσιμων παρατηρήσεων φάσης και κώδικα στις δύο συχνότητες L1 και L2, ο οποίος οδηγεί στον υπολογισμό και την απαλοιφή της πρώτης τάξης επίδρασης της ιονόσφαιρας. Μετά το στάδιο της μετεπεξεργασίας και συνόρθωσης όλων των μετρήσεων προσδιορίζονται, εκτός από τις καρτεσιανές συντεταγμένες του δέκτη, η επίδραση της τροπόσφαιρας, το σφάλμα χρονομέτρου του δέκτη και οι πραγματικές ασάφειες φάσης (real-valued ambiguities). Παράλληλα, η συγκεκριμένη τεχνική έχει τη δυνατότητα να παρέχει ακρίβεια προσδιορισμού θέσης μερικών εκατοστών και σε επίπεδο δεκατόμετρου σε στατικό και κινηματικό τύπο εντοπισμού αντίστοιχα (Zumberge et al. 1997, Bisnath & Gao 2009, Seepersad 2012).

Η ακρίβεια και η ποιότητα των PPP λύσεων εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την ακρίβεια των προϊόντων των δορυφορικών τροχιών και χρονομέτρων που παρέχει η Διεθνής Υπηρεσία GNSS, IGS (International GNSS Service). Επιπλέον, ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι η ποσότητα, καθώς και η ποιότητα, των παρατηρήσεων φάσης και κώδικα που λαμβάνει ο δέκτης GNSS. Στην περίπτωση, δηλαδή, που υπάρχουν εμπόδια στη γραμμή θέασης των δορυφόρων (satellite line-of-sight obstructions) ή δεν παρακολουθούνται αρκετοί δορυφόροι, η ποιότητα της λύσης είναι αρκετά χαμηλή, ακόμα και αν γίνεται χρήση των υψηλής ακρίβειας προϊόντων τροχιών και χρονομέτρων. Παρ' όλα αυτά, καθίσταται απαραίτητη η διόρθωση των παρατηρήσεων για την επίδραση των τροχιακών σφαλμάτων και των χρονομέτρων του εκάστοτε δορυφόρου που ενυπάρχουν στο μαθηματικό μοντέλο της εν λόγω τεχνικής, κάνοντας χρήση των τελικών προϊόντων ακριβείας (precise orbit and clock products) που παρέχει η υπηρεσία IGS.

Επιπλέον, σε αντίθεση με τις τεχνικές σχετικού εντοπισμού (differential positioning techniques) όπου απαιτούνται παρατηρήσεις από έναν ή περισσότερους σταθμούς αναφοράς με γνωστές συντεταγμένες, η τεχνική PPP κάνει χρήση ενός μόνο δέκτη GNSS, τον οποίο μπορεί να χειρίζεται ένα άτομο στις εργασίες πεδίου για τον προσδιορισμό της ζητούμενης

θέσης του (Gao 2006). Με τον τρόπο αυτό, η συγκεκριμένη τεχνική επιτρέπει τον απόλυτο εντοπισμό θέσης οπουδήποτε στον κόσμο με έναν οικονομικά αποδοτικό τρόπο, εφόσον το εργατικό δυναμικό και ο όγκος του υλικότεχνικού εξοπλισμού μειώνεται αισθητά. Αντίθετα, η μέθοδος σχετικού εντοπισμού παρέχει εντοπισμό θέσης σε σχέση με έναν σταθμό αναφοράς, ενώ παράλληλα απαιτεί την ταυτόχρονη χρήση τουλάχιστον δύο δεκτών, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται προβλήματα υποδομής και οικονομικής φύσεως. Το πλεονέκτημα της τελευταίας μεθόδου είναι ότι με την τεχνική των διπλών διαφορών φάσης καθίσταται δυνατή η μείωση και απαλοιφή αρκετών σφαλμάτων, που οδηγεί την ακρίβεια στο επίπεδο των μερικών χιλιοστών σε ορισμένες περιπτώσεις.



**Εικόνα 2-1:** Γραφική απεικόνιση της παρεχόμενης ακρίβειας θέσης από διάφορους τύπους δορυφορικού εντοπισμού σε συνάρτηση με το λειτουργικό τους κόστος  
**Πηγή: TU Delft Transport Institute, 2014**

Επίσης, λόγω του γεγονότος ότι δεν έχουν αντιμετωπισθεί προς το παρόν όλες οι αδυναμίες της τεχνικής PPP, όπως η αδυναμία επίλυσης των ακέραιων ασαφειών φάσης, αυτή απαιτεί ένα χρονικό διάστημα αρχικοποίησης ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση της λύσης. Πρόσφατες μελέτες (Bisnath & Gao 2009) έχουν δείξει ότι απαιτείται χρονικό διάστημα περίπου 20 με 30 λεπτών, ώστε η λύση από την επεξεργασία PPP να συγκλίνει στο επίπεδο των δέκα ή μερικών εκατοστών. Μετά την επίτευξη της σύγκλισης, η ακρίβεια της οριζόντιας συνιστώσας είναι καλύτερη του εκατοστού, ενώ η αντίστοιχη της κατακόρυφης συνιστώσας βρίσκεται στο επίπεδο του εκατοστού ή των μερικών εκατοστών.

Τα τελευταία χρόνια η τεχνική δορυφορικού εντοπισμού PPP αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο για γεωδαιτικές εφαρμογές, καθώς και μία ελκυστική για πολλούς χρήστες και εναλλακτική αποδοτική λύση αντί της μεθόδου σχετικού εντοπισμού, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου η κάλυψη των σταθμών αναφοράς είναι ανεπαρκής.

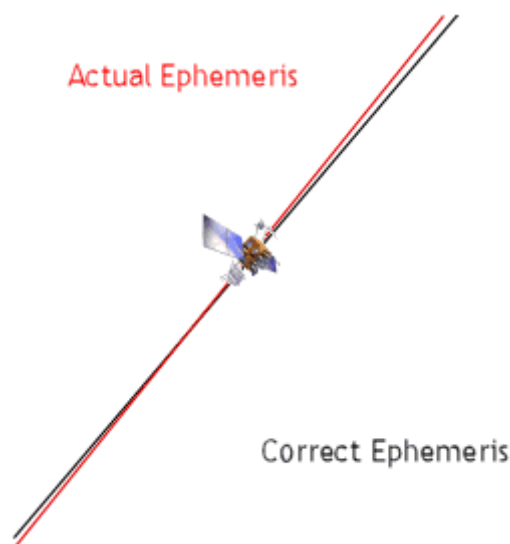
## 2.2 Σφάλματα και Διορθώσεις Μετρήσεων

Καθοριστικός παράγοντας για την επίτευξη υψηλής ακρίβειας θέσης με την τεχνική PPP είναι η μείωση και απαλοιφή ορισμένων σφαλμάτων που περιλαμβάνονται στο διαστημικό τμήμα (space segment), στην διάδοση του σήματος (signal propagation), στο περιβάλλον των μετρήσεων και το τμήμα του δέκτη (receiver segment). Ορισμένα από αυτά τα σφάλματα μπορούν να απαλειφθούν πλήρως, ή έστω να μειωθούν σε σημαντικό βαθμό, στον διαφορικό εντοπισμό θέσης μέσω της τεχνικής των διπλών διαφορών των πρωτογενών ταυτόχρονων μετρήσεων ανά ζεύγος δορυφόρων και δεκτών. Ωστόσο, κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει στην τεχνική PPP καθώς λαμβάνονται παρατηρήσεις από έναν μόνο δέκτη. Προκειμένου, λοιπόν, να επιτευχθεί ακρίβεια στο επίπεδο των δέκα ή μερικών εκατοστών, είναι αναγκαίο να ληφθούν υπόψη τα σφάλματα αυτά.

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται οι πηγές αυτών των σφαλμάτων καθώς και η στρατηγική χειρισμού και μοντελοποίησης τους. Από αυτά, ορισμένα αποτελούν τυπικά σφάλματα που πρέπει να διαχειρισθούν γενικά στον δορυφορικό εντοπισμό (σφάλματα τροχιών και χρονομέτρων δορυφόρων, επίδραση ιονόσφαιρας και τροπόσφαιρας, σφάλματα πολυκλαδικής ανάκλασης και θόρυβος μετρήσεων), και άλλα που πρέπει να αντιμετωπισθούν ειδικά στην τεχνική PPP (ανοχή στη θέση του κέντρου φάσης της κεραίας δορυφόρων και δεκτών, επίδραση phase windup, επίδραση σχετικότητας, γήινες παλίρροιες, ωκεάνιες παλίρροιες, ατμοσφαιρική πίεση, επίδραση Sagnac και σφάλματα απόκλισης μεταξύ κωδικών).

### 2.2.1 Σφάλματα δορυφορικών τροχιών και χρονομέτρων

Το σφάλμα τροχιάς του δορυφόρου είναι η συστηματική παρέκκλιση της θέσης (και της ταχύτητας) του δορυφόρου από την πραγματική θέση, την θέση με βάση τις παρατηρήσεις για τον υπολογισμό των τροχιών και των μαθηματικών μοντέλων που χρησιμοποιούνται (Φωτίου & Πικριδάς 2006). Αν και η τοποθέτηση των δορυφόρων λαμβάνει χώρα σε υψηλής ακρίβειας καθορισμένες τροχιές, οι διαταρακτικές δυνάμεις του πεδίου βαρύτητας της Γης προκαλούν μετατοπίσεις και αποκλίσεις σε αυτές. Ανάλογες βαρυτικές επιδράσεις στις τροχιές προκαλούνται από τον Ήλιο και την Σελήνη.



**Εικόνα 2-2:** Αποκλίσεις από την πραγματική τροχιά του δορυφόρου  
**Πηγή:** <http://www.developerfusion.com/>

Το σφάλμα των δορυφορικών τροχιών έχει άμεση επίδραση στον απόλυτο εντοπισμό θέσης, συνεπώς και στην τεχνική PPP. Συγκεκριμένα, η ακρίβεια προσδιορισμού θέσης κατά τη διεύθυνση East είναι ελαφρώς μικρότερη από την αντίστοιχη κατά τη διεύθυνση North. Αυτό οφείλεται στον σχεδιασμό των τροχιών και της κίνησης των δορυφόρων (Rizos 1999). Έπειτα, συγκριτικά με τις προηγούμενες διευθύνσεις, η ακρίβεια προσδιορισμού θέσης κατά τη διεύθυνση Up είναι μικρότερη, καθώς δεν παρατηρούνται δορυφόροι κάτω από το επίπεδο του ορίζοντα.

Ακολούθως, το σφάλμα χρονομέτρου του δορυφόρου οφείλεται στην αδυναμία του ταλαντωτή του ατομικού χρονομέτρου, που διαθέτει κάθε δορυφόρος, να συγχρονιστεί ως προς τον χρόνο GNSS που αποτελεί την κλίμακα χρόνου του εκάστοτε συστήματος. Η απόκλιση αυτή μεταξύ του ατομικού χρονομέτρου και του χρόνου GNSS είναι γνωστή ως το σφάλμα χρονομέτρου του δορυφόρου (Wells et al. 1986). Για κάθε δορυφόρο, το σφάλμα αυτό υπολογίζεται από μία πολυωνυμική σχέση με βάση τρεις συντελεστές  $\alpha_0$  (bias, clock offset),  $\alpha_1$  (drift, scale),  $\alpha_2$  (drift rate) που εκπέμπονται με το μήνυμα πλοήγησης και με ακρίβεια της τάξης των 20 ns ή 6 μέτρων (Φωτίου & Πικριδάς 2006).

Οι πληροφορίες για την διόρθωση των δορυφορικών τροχιών και χρονομέτρων περιλαμβάνονται στα υψηλής ακρίβειας προϊόντα τροχιών και χρονομέτρων (precise orbit and clock products), που παρέχονται από τα κέντρα ανάλυσης της υπηρεσίας IGS.

Ωστόσο, η χρήση των προϊόντων αυτών είναι δυνατή μόνο σε στάδιο μετεπεξεργασίας, καθώς απαιτούνται αρκετές (π.χ. για τα final products 12-18) προκειμένου να γίνει η συλλογή, επεξεργασία και διανομή τους στους χρήστες. Η ακρίβεια των προϊόντων αυτών είναι περίπου 2.5 εκατοστά και 75 ps για τις τροχιές και τα χρονόμετρα αντίστοιχα.

### 2.2.2 Επίδραση phase windup

Τα σήματα που εκπέμπουν οι δορυφόροι GNSS είναι δεξιόστροφα κυκλικά πολωμένα ραδιοκύματα (right circularly polarized radio waves), με αποτέλεσμα οι παρατηρήσεις φέρουσας φάσης να εξαρτώνται από τον αμοιβαίο προσανατολισμό μεταξύ των κεραιών των δορυφόρων και δέκτων. Μία σχετική περιστροφή μεταξύ της κεραίας του δέκτη GNSS και της δορυφορικής κεραίας μπορεί να αλλάξει την παρατηρούμενη φάση μέχρι και έναν κύκλο. Η επίδραση αυτή καλείται "τύλιγμα φάσης" (phase wind-up) (Wu et al. 1993).

Στην περίπτωση στατικών εφαρμογών, όπου ο δέκτης είναι σταθερός, δεν υπάρχει περιστροφή της κεραίας του με αποτέλεσμα αυτός να μένει προσανατολισμένος σε μία σταθερή διεύθυνση αναφοράς (συνήθως κατά τον βορρά). Αντίθετα, δεν συμβαίνει το ίδιο με τον δορυφόρο καθώς αυτός υπόκειται σε αργές περιστροφές ώστε να διατηρεί τους ηλιακούς συλλέκτες του (solar panels) συνεχώς προσανατολισμένους προς τον ήλιο για να αποκτήσει τη μέγιστη ενέργεια του, ενώ η κεραία του είναι προσανατολισμένη προς το κέντρο της Γης.

Ως αποτέλεσμα, οι περιστροφές αυτές προκαλούν μία μεταβολή στις μετρήσεις φάσης (phase variations), τις οποίες ο δέκτης εκλαμβάνει ως μεταβολές απόστασης (range variations). Επιπλέον, το ίδιο συμβαίνει και σε περιόδους σκίασης (period of eclipsing, shadow periods) όπου η κεραία του δορυφόρου μπορεί να υποστεί μία πλήρη περιστροφή σε λιγότερο από μισή ώρα, το οποίο οφείλεται στην ταχύτητα περιστροφή του δορυφόρου για να επαναπροσανατολίσει τους ηλιακούς του συλλέκτες προς την διεύθυνση του ήλιου (Kouba & Heroux 2001).

Αν και το συγκεκριμένο σφάλμα αγνοείται στην μέθοδο του σχετικού εντοπισμού, κάτι τέτοιο δεν μπορεί να συμβεί στον απόλυτο προσδιορισμό θέσης με την τεχνική PPP, καθώς το σφάλμα αυτό μπορεί να φθάσει να ισούται με μισό μήκος κύματος (Kouba & Heroux 2001). Παρ' όλα αυτά, έχει αποδειχθεί ότι το συγκεκριμένο σφάλμα μπορεί να φθάσει μέχρι και τα 4 εκατοστά σε μία γραμμή βάσης 4000 χιλιομέτρων (Wu et al. 1993).

Η διόρθωση για τη συγκεκριμένη επίδραση χαρακτηρίζεται από την εξίσωση (2.1), σύμφωνα με τη μελέτη των Wu et al. (1993):

$$\Delta\varphi = \text{sign}(\zeta) \cos^{-1} \left( \frac{\vec{D}' \cdot \vec{D}}{|\vec{D}'| |\vec{D}|} \right) \quad (2.1)$$

με 
$$\zeta = \hat{k} \cdot (\vec{D}' \times \vec{D}) \quad (2.2)$$

$$\vec{D}' = \hat{x}' - \hat{k}(\hat{k} \cdot \hat{x}') - \hat{k} \times \hat{y}' \quad (2.3)$$

$$\vec{D} = \hat{x} - \hat{k}(\hat{k} \cdot \hat{x}) + \hat{k} \times \hat{y} \quad (2.4)$$

όπου:

- $\hat{k}$  το μοναδιαίο διάνυσμα από τον δορυφόρο προς τον δέκτη
- $\vec{D}'$  το επιδρούν διάνυσμα (effective dipole vector) του δορυφόρου, υπολογισμένο από τα μοναδιαία διανύσματα  $(\hat{x}', \hat{y}', \hat{z}')$
- $\vec{D}$  το επιδρούν διάνυσμα (effective dipole vector) του δέκτη, υπολογισμένο από τα μοναδιαία διανύσματα  $(\hat{x}, \hat{y}, \hat{z})$

### 2.2.3 Ιονοσφαιρικό σφάλμα

Η ιονόσφαιρα αποτελεί το ανώτατο στρώμα της γήινης ατμόσφαιρας και εκτείνεται από περίπου 50 έως 1000 km ύψος πάνω από την επιφάνεια της Γης. Στο εν λόγω στρώμα, υπάρχει υψηλή πυκνότητα ελεύθερων φορτισμένων σωματιδίων (ηλεκτρονίων αλλά και θετικών ιόντων), η ύπαρξη των οποίων οφείλεται στην υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία που ανάλογα με την δραστηριότητα της καθορίζει την πυκνότητα (βαθμό ιονισμού) της ιονόσφαιρας. Συνεπώς, τα εν λόγω σωματίδια επηρεάζουν τη διάδοση των δορυφορικών σημάτων, και συγκεκριμένα την ταχύτητα, διεύθυνση και πολικότητα τους, με μεγαλύτερη επίδραση στην ταχύτητα και συνεπώς στην απόσταση δορυφόρου – δέκτη.

Ανάλογα λοιπόν με την θέση του δέκτη, την χρονική στιγμή εντός της ημέρας και τις μεταβολές της ιονόσφαιρας, η απόσταση μεταξύ δορυφόρου και δέκτη μπορεί να διαφέρει από μερικά έως και περισσότερα από 20 μέτρα εντός μίας ημέρας (Wells et al. 1986). Σε συνθήκες εξαιρετικά υψηλής ηλιακής δραστηριότητας, η διαφορά μπορεί να ξεπεράσει τα 150 μέτρα (El-Rabbany 2006). Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι η ιονόσφαιρα έχει διαφορετική επίδραση στις μετρήσεις ψευδοαπόστασης και φέρουσας φάσης (Hoffman-Wellenhof et al. 2001, Leick 2004).

Η καθυστέρηση λόγω της ιονόσφαιρας είναι ανάλογη της πυκνότητας TEC (Total Electron Content, αριθμός ηλεκτρονίων/m<sup>2</sup>) των ηλεκτρονίων, και μπορεί να προσεγγισθεί από την εξίσωση (2.5) για παρατηρήσεις φάσης:

$$I = -40.3 \frac{TEC}{f^2} \quad (2.5)$$

όπου:

$I$	η ιονοσφαιρική καθυστέρηση (m)
$TEC$	η πυκνότητα των ηλεκτρονίων (TECU = 10 <sup>16</sup> electrons/m <sup>2</sup> )
$f$	η φέρουσα συχνότητα (Hz)

Σημειώνεται ότι το αρνητικό πρόσημο στην παραπάνω εξίσωση σημαίνει ότι η απόσταση δορυφόρου – δέκτη μειώνεται λόγω της επίδρασης της ιονόσφαιρας στις παρατηρήσεις φάσης. Το αντίθετο συμβαίνει στις παρατηρήσεις κώδικα, για τις οποίες ισχύει η παραπάνω εξίσωση αλλά με θετικό πρόσημο.

Μία ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για την απαλοιφή τέτοιων σφαλμάτων είναι η χρήση δεκτών διπλής συχνότητας, και έπειτα ο σχηματισμός του κατάλληλου γραμμικού συνδυασμού των πρωτογενών παρατηρήσεων κώδικα και φάσης των δύο συχνοτήτων. Μέσω του γραμμικού αυτού συνδυασμού των παρατηρήσεων GPS στις συχνότητες L1 και L2, δίνεται η δυνατότητα υπολογισμού και απαλοιφής της πρώτης τάξης επίδρασης της ιονόσφαιρας, και έτσι απαλείφεται μέχρι και το 99.9% της ιονοσφαιρικής επίδρασης (Hofmann-Wellenhof et al. 2001, Collins 2008). Παρ' όλα αυτά, η μελέτη των Elsobeiey & El-Rabbany (2009) έδειξε ότι η αδυναμία απαλοιφής της δεύτερης τάξης επίδρασης της ιονοσφαιρικής διάθλασης εισάγει σφάλμα της τάξης των 2 εκατοστών.

Ο απαλλαγμένος από τις επιδράσεις της ιονόσφαιρας (Ionosphere-Free, IF) γραμμικός συνδυασμός των παρατηρήσεων, εφόσον αυτές είναι διαθέσιμες και στις δύο συχνότητες L1 και L2, ορίζεται ως εξής (σε μονάδες απόστασης):

$$P_{IF} = \frac{(f_1^2 P_1 - f_2^2 P_2)}{f_1^2 - f_2^2} \quad (2.6)$$

$$L_{IF} = \frac{f_1^2 L_1 \lambda_1 - f_2^2 L_2 \lambda_2}{f_1^2 - f_2^2} \quad (2.7)$$

όπου:

$f_1$	η συχνότητα του φορέα L1	(=1575.42 MHz)
$f_2$	η συχνότητα του φορέα L2	(=1227.60 MHz)
$\lambda_1$	το μήκος κύματος του φορέα L1	(=19.0 cm)
$\lambda_2$	το μήκος κύματος του φορέα L2	(=24.4 cm)

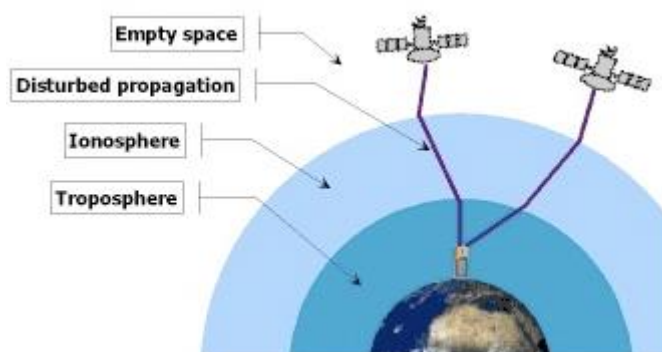
Το μειονέκτημα που δημιουργείται λόγω του παραπάνω γραμμικού συνδυασμού είναι ότι ο θόρυβος των μετρήσεων σχεδόν τριπλασιάζεται σε σχέση με τον θόρυβο στις συχνότητες L1 και L2 (Leandro 2009).

Στην περίπτωση, όμως, που δεν είναι διαθέσιμοι δέκτες διπλής συχνότητας, τότε η διόρθωση του ιονοσφαιρικού σφάλματος θα πρέπει να γίνει μέσω του μοντέλου ιονόσφαιρας Klobuchar. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιεί μία ημιτονοειδή καμπύλη που προσαρμόζεται στην μέση ημερήσια μεταβολή της ιονόσφαιρας, οι παράμετροι του οποίου εκπέμπονται μέσω του μηνύματος πλοήγησης. Το μειονέκτημα του συγκεκριμένου μοντέλου είναι ότι μπορεί να εξαλείψει μόνο το 50–60% της συνολικής επίδρασης της ιονόσφαιρας (Klobuchar 1996).

Το συγκεκριμένο μοντέλο Klobuchar διερευνήθηκε στην μελέτη των Chen & Gao (2005), και συγκρίθηκε ως προς την απόδοση του με τους παγκόσμιους χάρτες μοντελοποίησης της ιονόσφαιρας GIM (Global Ionosphere Maps) που παρέχονται από την Διεθνή Υπηρεσία GNSS, και του μοντέλου εκτίμησης της ιονοσφαιρικής επίδρασης κατά την οποία υπολογίζεται η ζενίθια ιονοσφαιρική επίδραση κάνοντας χρήση μετρήσεων ψευδοαπόστασης και φέρουσας φάσης (Schaefer et al. 1998). Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν το μοντέλο Klobuchar υστερεί αρκετά σε απόδοση σε σύγκριση με τους χάρτες GIM και το μοντέλο εκτίμησης της ιονόσφαιρας.

## 2.2.4 Τροποσφαιρικό σφάλμα

Η τροπόσφαιρα αποτελεί το κατώτερο στρώμα της γήινης ατμόσφαιρας και εκτείνεται από την γήινη επιφάνεια έως και περίπου 50 km πάνω από αυτήν. Αν και το συγκεκριμένο στρώμα είναι ουδέτερο (μη ιονισμένο), προκαλείται μία χρονική καθυστέρηση στην διάδοση του σήματος λόγω της τροποσφαιρικής διάθλασης του, με αποτέλεσμα να αλλάζει η διεύθυνση του σε σχέση με την ευθύγραμμη διαδρομή που θα είχε σε κενό χώρο.



**Εικόνα 2-3:** Επίδραση των ιονοσφαιρικών και τροποσφαιρικών σφαλμάτων στα δορυφορικά σήματα

Πηγή: <http://gic1.cs.drexel.edu/>

Επιπλέον, το συγκεκριμένο σφάλμα εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την πίεση και την υγρασία, ή διαφορετικά από τον ξηρό/υδροστατικό (dry component) και τον υγρό παράγοντα (wet component). Η επίδραση των παραγόντων αυτών είναι διαφορετική, με ποσοστά 90% και 10% αντίστοιχα, ενώ παράλληλα η μοντελοποίηση του πρώτου είναι πιο εύκολη σε αντίθεση με του δεύτερου. Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι, το τροποσφαιρικό σφάλμα επιδρά το ίδιο στους κώδικες και στις φάσεις ανεξάρτητα από τη συχνότητα L1 και L2 (Φωτίου & Πικριδής 2006).



Σε αντίθεση με το ιονοσφαιρικό σφάλμα που με συγκεκριμένες τεχνικές (χρήση δεκτών διπλής συχνότητας) μπορεί να μειωθεί ή ακόμα και να εξαλειφθεί, δεν συμβαίνει το ίδιο και με το τροποσφαιρικό σφάλμα, καθώς αυτή εξαρτάται από την γωνία ύψους του δορυφόρου, το υψόμετρο του δέκτη, την ατμοσφαιρική θερμοκρασία, πίεση και υγρασία. Για τον λόγο αυτό, έχουν δημιουργηθεί μοντέλα για τον μερικό υπολογισμό του, τα οποία βασίζονται σε δεδομένα και μετρήσεις της θερμοκρασίας, πίεσης και υγρασίας της ατμόσφαιρας στη θέση του δέκτη. Αν και η υγρή συνιστώσα αντιπροσωπεύει μικρότερο ποσοστό της συνολικής επίδρασης της τροπόσφαιρας, αυτή είναι που προκαλεί την κύρια δυσκολία στην απαλοιφή της τροποσφαιρικής επίδρασης μέσω μοντελοποίησης (Cai 2009). Αυτό οφείλεται στην ακανόνιστη μεταβολή του υγρού νερού και των υδρατμών συναρτήσεως του χώρου και του χρόνου στην τροπόσφαιρα (Misra & Enge 2001).

Η συνήθης τακτική που ακολουθείται είναι η μοντελοποίηση, αρχικά, της ξηρής και υγρής συνιστώσας της τροποσφαιρικής επίδρασης στο ζενίθ και έπειτα η κλιμάκωση τους στη γωνία ύψους των δορυφόρων μέσω κατάλληλων συναρτήσεων απεικόνισης (mapping functions), όπως φαίνεται στην σχέση (2.8).

$$\Delta d_{trop} = \Delta d_{dry} M_{dry} + \Delta d_{wet} M_{wet} \quad (2.8)$$

όπου:

$\Delta d_{dry}$	η ξηρή συνιστώσα στο ζενίθ
$\Delta d_{wet}$	η υγρή συνιστώσα στο ζενίθ
$M_{dry}$	η συνάρτηση απεικόνισης της ξηρής συνιστώσας
$M_{wet}$	η συνάρτηση απεικόνισης της υγρής συνιστώσας

Τα ευρέως χρησιμοποιούμενα μοντέλα είναι το Saastamoinen και το Hopfield. Το δεύτερο, για παράδειγμα, συντελείται από έναν μεγάλο αριθμό τομών (profiles) που δημιουργούνται μέσω μετεωρολογικών οργάνων από αερόστατα (meteorological radiosonde balloon profiles). Στο συγκεκριμένο μοντέλο, η τροποσφαιρική καθυστέρηση μοντελοποιείται με μία σταθερή θερμοβαθμίδα και ένα ολοκλήρωμα του υψομέτρου, που είναι μία γραμμική συνάρτηση της πίεσης που μετράται στην γήινη επιφάνεια (Cai 2009).

Όσο αφορά τις συναρτήσεις απεικόνισης, υπάρχουν αρκετές σε χρήση με την πλέον συνηθισμένη αυτή του Niell (Niell Mapping Function, NMF). Η συνάρτηση αυτή είναι εμπειρική, αλλά παρέχει αντίστοιχη ακρίβεια με άλλες συναρτήσεις απεικόνισης που απαιτούν ακριβείς μετεωρολογικές μετρήσεις στην γήινη επιφάνεια. Επίσης, η συγκεκριμένη συνάρτηση εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος του δέκτη και τον χρόνο των μετρήσεων.

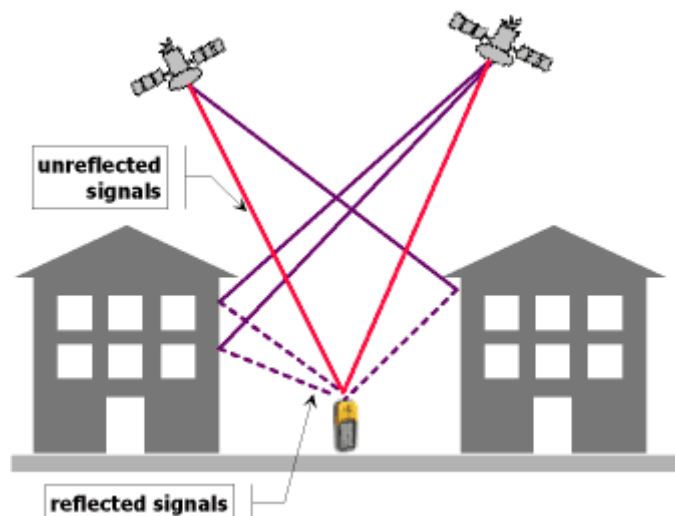
Η μελέτη των Boehm et al. (2007), στην οποία έλαβε χώρα σύγκριση διάφορων συναρτήσεων απεικόνισης (όπως IMF, VMF NMF) για εντοπισμό θέσης και μεγάλου μήκους βάσης συμβολομετρία, έδειξε ότι κοντά στον ισημερινό και σε μεγάλο γεωγραφικό πλάτος οι συντελεστές έχουν ατέλειες που θα μπορούσαν να επηρεάσουν το μέσο ύψος του σταθμού κατά 4 χιλιοστά. Οι Kouba & Hegoux (2001), εκτός από την χρήση ενός τροποσφαιρικού μοντέλου, πρότειναν τον υπολογισμό της υγρής συνιστώσας μαζί με τις άλλες παραμέτρους που υπολογίζονται στην PPP επεξεργασία, ώστε να μειωθούν τα υπόλοιπα (residuals) της υγρής τροποσφαιρικής καθυστέρησης.

## 2.2.5 Σφάλμα πολυκλαδικής ανάκλασης

Το σφάλμα πολυκλαδικής ανάκλασης εμφανίζεται όταν το ίδιο δορυφορικό σήμα διαδίδεται μέσω πολλαπλών διαδρομών, λόγω αντανάκλασης και διάθλασης, μέχρι να φθάσει από τον πομπό στον δέκτη (Bisnath & Langley 2001). Ως αποτέλεσμα, υπάρχει μείωση της ακρίβειας τόσο στις μετρήσεις ψευδοαπόστασης όσο και φέρουσας φάσης (Weill 2003), καθώς τα ανακλώμενα σήματα ακολουθούν μεγαλύτερη διαδρομή από την κανονική μεταξύ δορυφόρου και δέκτη.

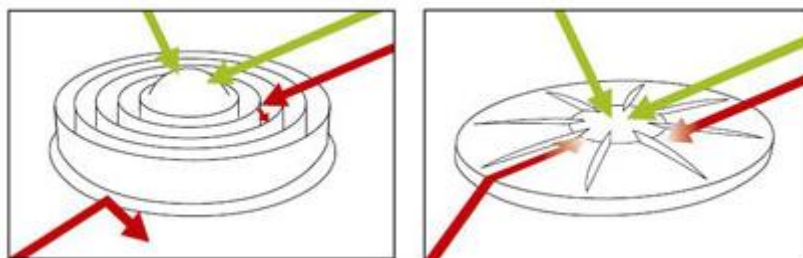
Παρά την ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας στην κατασκευή των δεκτών GNSS, το σφάλμα λόγω πολυκλαδικής ανάκλασης αποτελεί μία κύρια πηγή σφάλματος στον τομέα του δορυφορικού εντοπισμού και πλοήγησης. Συγκεκριμένα, το μέτρο του συγκεκριμένου σφάλματος μπορεί να φθάσει μέχρι τα 20 μέτρα και 5 εκατοστά για μετρήσεις κώδικα και φάσης αντίστοιχα (Wells et al. 1986, Shen 2002). Για την μείωση και αποφυγή τέτοιου

είδους σφαλμάτων, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι που βασίζονται είτε στον σχεδιασμό των κεραιών των δεκτών, είτε σε κατάλληλους αλγορίθμους επεξεργασίας ή ακόμα και στην επιλογή κατάλληλης θέσης για την τοποθέτηση της κεραιάς στο περιβάλλον εργασίας.



**Εικόνα 2-4:** Επίδραση της πολυκλαδικής ανάκλασης (multipath) στην διάδοση του σήματος  
**Πηγή:** <http://garrett.seepersad.org/>

Ο σχεδιασμός της κεραιάς των δεκτών GNSS είναι ιδιαίτερα σημαντικός και αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την λήψη δορυφορικών σημάτων χωρίς την μεσολάβηση ανακλάσεων σε γειτονικά αντικείμενα. Όπως φαίνεται στην Εικ. 2-5, η κεραιά τύπου σπειροειδών δακτυλίων (choke ring antenna) δημιουργεί ένα στρώμα προστασίας στο κέντρο λήψης των δορυφορικών σημάτων και παράλληλα απορρίπτει τα σήματα που προέρχονται από πολυκλαδική ανάκλαση σε γειτονικά αντικείμενα. Αντίστοιχη αντιμετώπιση στα σήματα αυτά παρέχουν και οι κεραιές τύπου εκτεταμένου επιπέδου (extended ground plane) καθώς και η χρήση πολλαπλών κεραιών.



**Εικόνα 2-5:** Λήψη δορυφορικών σημάτων σε κεραιά τύπου choke-ring (αριστερά) και Zephyr Geodetic 2 (δεξιά). Τα επιθυμητά και μη σήματα εμφανίζονται με πράσινο και κόκκινο χρώμα αντίστοιχα.  
**Πηγή:** [www.trimble.com](http://www.trimble.com)

Προκειμένου, επίσης, να αποφευχθεί η λήψη δορυφορικών σημάτων από πολυκλαδική ανάκλαση, κρίνεται απαραίτητο να επιλεγεί με μεγάλη προσοχή η θέση τοποθέτησης της κεραιάς. Το περιβάλλον, δηλαδή, τοποθέτησης της κεραιάς GNSS δεν θα πρέπει να περιλαμβάνει αντικείμενα που προκαλούν ανάκλαση, όπως ψηλά κτήρια και δέντρα. Σε αντίθετη περίπτωση, θα πρέπει να γίνει χρήση των προαναφερθέντων τύπων κεραιών ώστε να απορρίπτονται τα μη επιθυμητά σήματα.

Παράλληλα, η αντιμετώπιση των παραπάνω σφαλμάτων μπορεί να γίνει μέσω του ορισμού μίας συγκεκριμένης γωνίας ύψους δορυφόρων στον δέκτη, πάνω από την οποία θα λαμβάνονται τα σήματα των δορυφόρων. Επίσης, το τελευταίο διάστημα έχουν αναπτυχθεί διάφοροι αλγόριθμοι για την μείωση των σφαλμάτων λόγω πολυκλαδικής ανάκλασης, μεταξύ των οποίων η επεξεργασία και το φιλτράρισμα του εν λόγω θορύβου και η χρήση

του αυτόνομου συστήματος παρακολούθησης της ακεραιότητας RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring) στον δέκτη.

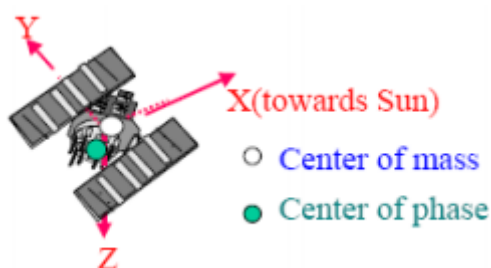
### 2.2.6 Ανοχή του κέντρου φάσης της κεραίας του δέκτη

Το ηλεκτρικό κέντρο φάσης της κεραίας των δεκτών GNSS, το οποίο είναι το σημείο αναφοράς των δορυφορικών μετρήσεων, δεν αποτελεί ένα φυσικό και σταθερό σημείο που μπορεί να μετρηθεί άμεσα. Ειδικότερα, το κέντρο φάσης των κεραιών υπόκειται σε ορισμένες μεταβολές, γνωστές ως μεταβολές PCV (Phase Center Variations) του κέντρου φάσης, που εξαρτώνται από την κατεύθυνση του δορυφορικού σήματος (αζιμούθιο και γωνία ύψους) καθώς ο δορυφόρος κινείται ως προς τον δέκτη. Η ανοχή PCO (Phase Center Offset) που δημιουργείται στην θέση του κέντρου φάσης της κεραίας (PCO receiver phase center offset) μπορεί να προκαλέσει σφάλμα έως και 10 εκατοστά στην κατακόρυφη συνιστώσα και μερικά εκατοστά στην οριζόντια (Mader 1999).

Για τον λόγο αυτό, η συγκεκριμένη ανοχή θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στην επεξεργασία με την τεχνική PPP. Εφόσον η τεχνική PPP οδηγεί στον προσδιορισμό θέσης ενός επιθυμητού σημείου σε ένα παγκόσμιο δίκτυο IGS, καθίσταται απαραίτητη η χρήση των κατάλληλων προϊόντων για τη βαθμονόμηση των κεραιών έτσι ώστε να επιτευχθεί η απόλυτη συμβατότητα με τις συμβάσεις βαθμονόμησης κεραιών της IGS (Kouba 2009). Τέτοια προϊόντα είναι τα ANTEX αρχεία (πρόσφατο igs08.atx αρχείο) που παρέχονται από την υπηρεσία IGS.

### 2.2.7 Ανοχή του κέντρου φάσης της δορυφορικής κεραίας

Η ανάγκη για την διόρθωση θέσης του ηλεκτρικού κέντρου φάσης της δορυφορικής κεραίας πηγάζει από το γεγονός ότι αυτό δεν ταυτίζεται με το κέντρο μάζας του δορυφόρου. Συγκεκριμένα, ενώ οι παρατηρήσεις ψευδοαπόστασης και φέρουσας φάσης αναφέρονται στο κέντρο φάσης της κεραίας, η μοντελοποίηση και ο προσδιορισμός των δορυφορικών τροχιών (και συνεπώς τα υψηλής ακρίβειας προϊόντα τροχιών και χρονομέτρων) αναφέρονται στο κέντρο μάζας του δορυφόρου. Έτσι, η ανοχή που δημιουργείται στο κέντρο φάσης της κεραίας του δορυφόρου πρέπει να ληφθεί υπόψη στην τεχνική PPP.



**Εικόνα 2-6:** Η ανοχή στη θέση του κέντρου φάσης της δορυφορικής κεραίας  
**Πηγή: Kouba and Heroux 2001**

Η πλειονότητα των συγκεκριμένων ανοχών στη θέση του κέντρου φάσης της δορυφορικής κεραίας βρίσκονται κατά την κατακόρυφη διεύθυνση από τον δορυφόρο (δηλαδή προς την Γη, άξονας Z), ενώ για ορισμένους και στον άξονα X (επίπεδο που περιλαμβάνει τον Ήλιο). Ωστόσο, στους δορυφόρους GPS τύπου Block IIR μεταγενέστερης γενιάς, υπάρχει ταύτιση μεταξύ του κέντρου μάζας και του κέντρου φάσης της κεραίας του δορυφόρου. Συνεπώς, δεν υπάρχει ανάγκη διόρθωσης της ανοχής για αυτούς.

### 2.2.8 Γήινες παλίρροιες

Δεδομένου ότι η Γη δεν αποτελεί ένα άκαμπτο σώμα, υπόκειται σε ορισμένες παραμορφώσεις που προκαλούνται από άλλα ουράνια σώματα. Οι παραμορφώσεις αυτές στον στερεό φλοιό της Γης, που ονομάζονται γήινες παλίρροιες (solid earth tides), οφείλονται στη βαρυτική έλξη και τις χρονικές διακυμάνσεις της που ασκούν ο Ήλιος και η Σελήνη στη Γη. Σε αντίθεση με τις ωκεάνιες, οι γήινες παλίρροιες μπορούν εύκολα να υπολογισθούν, και μάλιστα με υψηλή ακρίβεια μέσω συγκεκριμένων μοντέλων

(Leick 2004). Συγκεκριμένα, οι εκποίσεις θέσης (site displacements) σε οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο αντιπροσωπεύονται από σφαιρικές αρμονικές συναρτήσεις βαθμού  $n$  και τάξης  $m$ , που χαρακτηρίζονται από τον αριθμό Love,  $h_{nm}$ , και τον αριθμό Shida,  $l_{nm}$ . Οι τιμές αυτές εξαρτώνται από το γεωγραφικό πλάτος του σταθμού και την συχνότητα των παλίρροιών (tidal frequency), και είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη προκειμένου να επιτευχθεί ακρίβεια 1 χιλιοστού.

Στην περίπτωση, όμως, που η επιθυμητή ακρίβεια είναι της τάξης των 5 χιλιοστών, τότε απαιτούνται μόνο οι δευτέρου βαθμού παλίρροιες (second-degree tides) και ο διορθωτικός όρος για το ύψος (height correction term) (IERS 1989). Αξίζει να σημειωθεί ότι το σφάλμα που προκαλείται από τις παλίρροιες του γήινου φλοιού είναι μεγαλύτερο έναντι του αντίστοιχου των ωκεάνιων και πολικών παλίρροιών.

Έτσι, για την παραπάνω περίπτωση το διάνυσμα εκποίσιμου θέσης,  $\Delta\vec{r} = |\Delta x, \Delta y, \Delta z|$ , σε καρτεσιανές συντεταγμένες περιγράφεται από την παρακάτω σχέση:

$$\Delta\vec{r} = \sum_{j=2}^3 \frac{GM_j r^4}{GM R_j^3} \left\{ [3 l_2 (\hat{R}_j \cdot \hat{r})] \hat{R}_j + \left[ 3 \left( \frac{h_2}{2} - l_2 \right) (\hat{R}_j \cdot \hat{r})^2 - \frac{h_2}{2} \right] \hat{r} \right\} + [-0.025m \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi \cdot \sin(\theta_g + \lambda)] \cdot \hat{r} \quad (2.9)$$

όπου:

$GM$	η βαρυτημετρική σταθερά της Γης
$GM_j$	η βαρυτημετρική σταθερά της Σελήνης ( $j=2$ ) και του Ήλιου ( $j=3$ )
$r$	το γεωκεντρικό διάνυσμα του σταθμού
$R_j$	το γεωκεντρικό διάνυσμα της Σελήνης ( $j=2$ ) και του Ήλιου ( $j=3$ )
$l_2$	ο ονομαστικός αριθμός Love δευτέρου βαθμού (περίπου 0.609)
$h_2$	ο ονομαστικός αριθμός Shida δευτέρου βαθμού (περίπου 0.085)
$\varphi, \lambda$	το γεωγραφικό πλάτος και μήκος του σημείου
$\theta_g$	ο μέσος αστρικός χρόνος GMST (Greenwich Mean Sidereal Time)

Η επίδραση των παλίρροιών αυτών μπορεί να φθάσει τα 5 και 30 εκατοστά στην οριζόντια και κατακόρυφη συνιστώσα αντίστοιχα (Leick 2004, Kouba 2009). Σε περίπτωση που δεν ληφθούν υπόψη, ακόμα και σε μεγάλο χρονικό διάστημα παρατηρήσεων, τότε το συστηματικό σφάλμα στον εντοπισμό θέσης ενδέχεται να αγγίξει τα 12 και 5 εκατοστά στις ακτινικές και κατά βόρρα διευθύνσεις (Kouba 2009).

### 2.2.9 Ωκεάνιες παλίρροιες

Οι ωκεάνιες παλίρροιες είναι παρόμοιες με τις γήινες, με τη διαφορά ότι προκύπτουν από την ίδια την έλξη των υδάτινων μαζών και την ανακατανομή του νερού της θάλασσας, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα την δημιουργία ενός φορτίου στον θαλάσσιο πυθμένα και την παραμόρφωση του (Kouba 2009, Torge 1991). Η μέτρηση των παλίρροιών αυτών πραγματοποιείται μέσω παλιρροιομέτρων και ειδικών αλτιμέτρων.

Οι ωκεάνιες παλίρροιες διαχωρίζονται σε δύο συνιστώσες, τις ημερήσιες (diurnal) και τις ημι-ημερήσιες (semi diurnal) παλίρροιες, η γεωγραφική κατανομή των οποίων φαίνεται στην Εικ. 2-7. Αν και το μέτρο της επίδρασης των ωκεάνιων παλίρροιών είναι μίας τάξης μικρότερο από το αντίστοιχο των γήινων παλίρροιών, η επίδραση τους είναι περισσότερο τοπική και δεν μπορεί να περιγραφεί από μία σταθερή σχέση. Για τον λόγο αυτό, το συγκεκριμένο σφάλμα θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στην τεχνική PPP, και συγκεκριμένα σε σταθμούς που βρίσκονται κατά μήκος ακτογραμμών και για διάστημα παρατήρησης κατά πολύ μικρότερο των 24 ωρών.

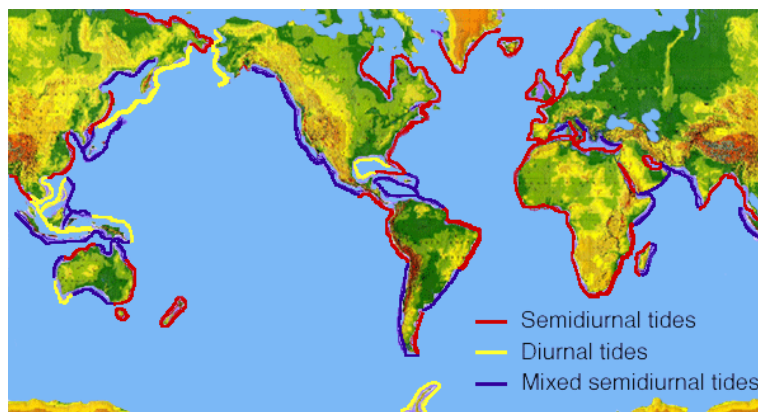
Η παρακάτω εξίσωση περιγράφει το μοντέλο διόρθωσης για τις επιδράσεις του φορτίου των ωκεάνιων παλίρροιών (IERS 2003):

$$\Delta_c = \sum_j f_j A_{cj} \cos(\omega_j t + \chi_j + u_j - \Phi_{cj}) \quad (2.10)$$

όπου:

- $j$  ο δείκτης που αντιπροσωπεύει τα 11 σημαντικά παλίρροιακά κύματα
- $f_j$  όρος που εξαρτάται από το γεωγραφικό μήκος του σεληνιακού δεσμού (συνήθως  $f_j = 1$  για ακρίβεια 1-3 χιλιοστών)
- $u_j$  όρος που εξαρτάται από το γεωγραφικό μήκος του σεληνιακού δεσμού (συνήθως  $u_j = 0$  για ακρίβεια 1-3 χιλιοστών)
- $A_{cj}$  το πλάτος για κάθε συνιστώσα της εκτόπισης
- $\Phi_{cj}$  η φάση για κάθε συνιστώσα της εκτόπισης
- $\omega_j$  η συχνότητα της παλίρροιας  $j$  (δηλαδή η γωνιακή της ταχύτητα)
- $\chi_j$  το αστρονομικό στοιχείο τη χρονική στιγμή  $t = 0h$

Στην παραπάνω εξίσωση ο δείκτης  $j$  αναφέρεται στα 11 σημαντικά παλίρροιακά κύματα, που είναι τα  $M_2, S_2, N_2, K_2, K_1, O_1, P_1, Q_1, M_f, M_m, S_{sa}$ .



**Εικόνα 2-7:** Παγκόσμια γεωγραφική κατανομή των ωκεάνιων παλίρροιών κατά μήκος των ακτογραμμών

**Πηγή:** <http://oceanservice.noaa.gov/>

Συγκεκριμένα, το μέτρο της εκτόπισης της επιφάνειας της θάλασσας (surface displacement) που προκαλείται από τις συγκεκριμένες επιδράσεις μπορεί να φθάσει τα 5 και 2 εκατοστά στην κατακόρυφη και οριζόντια συνιστώσα αντίστοιχα (Kouba & Heroux 2001). Ωστόσο, όταν η απόσταση των σταθμών από την πλησιέστερη ακτογραμμή είναι μεγαλύτερη από 1000 χιλιόμετρα και όταν η επιθυμητή ακρίβεια είναι στο επίπεδο των 5 εκατοστών, οι επιδράσεις των ωκεάνιων παλίρροιών μπορούν να αγνοηθούν (Kouba 2009).

### 2.2.10 Πολικές παλίρροιες

Οι μεταβολές του άξονα περιστροφής της Γης, όπως είναι η κίνηση του πόλου, σε σχέση με ένα σταθερό γήινο σύστημα αναφοράς προκαλούν περιοδικές παραμορφώσεις λόγω των αλλαγών του φυγόκεντρου δυναμικού της Γης ανά λεπτό (Kouba 2009). Αυτές οι παραμορφώσεις ονομάζονται πολικές παλίρροιες, για τις οποίες οι διορθώσεις στο γεωγραφικό πλάτος  $\phi$ , γεωγραφικό μήκος  $\lambda$  και ελλειψοειδές υψόμετρο  $h$  χαρακτηρίζονται από τις παρακάτω εξισώσεις (2.11), (2.12) και (2.13):

$$\Delta\phi = -9 \cos 2\phi [(X_p - \bar{X}_p) \cos \lambda - (Y_p - \bar{Y}_p) \sin \lambda] \quad (2.11)$$

$$\Delta\lambda = 9 \sin \phi [(X_p - \bar{X}_p) \sin \lambda + (Y_p - \bar{Y}_p) \cos \lambda] \quad (2.12)$$

$$\Delta h = -33 \sin 2\phi [(X_p - \bar{X}_p) \cos \lambda - (Y_p - \bar{Y}_p) \sin \lambda] \quad (2.13)$$

όπου:

$\bar{X}_p, \bar{Y}_p$	οι μέσες συντεταγμένες του πόλου σε δευτερόλεπτα τόξου
$X_p, Y_p$	οι συνιστώσες της κίνησης του πόλου

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί ο εντοπισμός θέσης σε ακρίβεια μερικών εκατοστών ή καλύτερη του εκατοστού, καθώς και να είναι συμβατός με το πλαίσιο ITRF, είναι αναγκαίο να ληφθεί υπόψη το συγκεκριμένο σφάλμα κατά την επεξεργασία των δεδομένων. Σήμερα, η επίδραση των πολικών παλιρροιών λαμβάνεται υπόψη, καθώς τα περισσότερα κέντρα ανάλυσης της υπηρεσίας IGS χρησιμοποιούν τέτοιους διορθωτικούς όρους για την παραγωγή των υψηλής ακρίβειας προϊόντων τροχιών και χρονομέτρων των δορυφόρων. Οι επιδράσεις των πολικών παλιρροιών μπορούν να φθάσουν τα 7 και 25 χιλιοστά στην οριζόντια και κατακόρυφη συνιστώσα αντίστοιχα (Kouba 2009).

### 2.2.11 Ατμοσφαιρική πίεση

Οι χωρικές και χρονικές μεταβολές της μάζας της ατμόσφαιρας προκαλούν τη δημιουργία του ατμοσφαιρικού φορτίου. Αυτό έχει μία έμμεση επίδραση στις γήινες και ωκεάνιες παλιρροίες που προκαλεί την παραμόρφωση της γήινης επιφάνειας (Witchayangkoon 2000). Απόρροια του φαινομένου αυτού είναι η πρόκληση οριζόντιων και κατακόρυφων εκτοπίσεων θέσης, οι οποίες μπορεί να φθάσουν τα 3 και 20 χιλιοστά αντίστοιχα (Petron & Boy 2004).

Επιπλέον, οι συγκεκριμένες μετατοπίσεις αποτελούν συνάρτηση των μεταβολών της ατμοσφαιρικής πίεσης και της γεωγραφικής θέσης του δέκτη GNSS, και εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές σε περιοχές με μεσαία γεωγραφική πλάτη (IERS 1996). Υπάρχει μεγάλος αριθμός διαθέσιμων μοντέλων για την επίδραση του ατμοσφαιρικού φορτίου, με το πιο απλό να περιγράφεται από την παρακάτω εξίσωση (Rabbel & Schuh 1986):

$$\Delta r = -0.35 p - 0.55 p' \quad (2.14)$$

όπου:

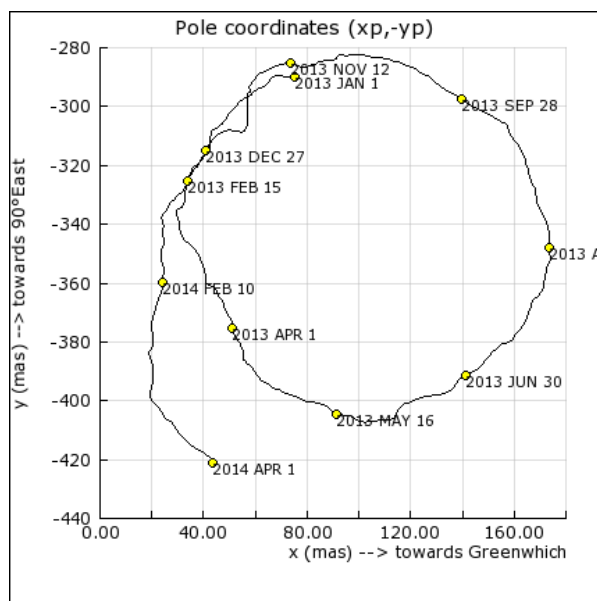
$\Delta r$	ο διορθωτικός όρος για την εκτόπιση λόγω ατμοσφαιρικού φορτίου (σε χιλιοστά)
$p$	η διαφορά πίεσης στην εκάστοτε τοποθεσία σε σχέση με την σταθερή τιμή (101.3 KPA)
$p'$	η ανωμαλία πίεσης σε ακτίνα 2000 χιλιομέτρων από την εκάστοτε τοποθεσία

Αν και η επίδραση του ατμοσφαιρικού φορτίου είναι γνωστή, κανένα κέντρο ανάλυσης της IGS δεν την λαμβάνει υπόψη στην επεξεργασία και ανάλυση δορυφορικών δεδομένων. Παρ' όλα αυτά, η μελέτη του Urquhart (2009) έδειξε βελτίωση των PPP λύσεων μεταξύ 3.6% και 5.6% για τους περισσότερους από τους εξεταζόμενους σταθμούς με εφαρμογή διαφορετικών μοντέλων.

### 2.2.12 Παράμετροι περιστροφής της γης

Οι παράμετροι περιστροφής της Γης (δηλαδή η θέση του πόλου  $X_p, Y_p, UT1 - UTC$ ), μαζί με τις συμβάσεις για τον αστρικό χρόνο (sidereal time), μετάπτωση και κλόνιση, καθιστούν δυνατούς τους ακριβείς μετασχηματισμούς μεταξύ επίγειων και αδρανειακών πλαισίων αναφοράς που χρησιμοποιούνται σε αναλύσεις δεδομένων των δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού και πλοήγησης (Kouba 2009). Συνεπώς, η διαδικασία παραγωγής των

προϊόντων δορυφορικών τροχιών, που διατίθενται από την υπηρεσία IGS και αναφέρονται στο πλαίσιο ITRF, έχει συμπεριλάβει αυτές τις παραμέτρους.



**Εικόνα 2-8:** Κίνηση της θέσης του γήινου πόλου από τον Ιανουάριο του 2013 έως τον Απρίλιο του 2014

**Πηγή:** <http://poleshift.ning.com/>

Έτσι, οι χρήστες που χρησιμοποιούν τα προϊόντα δορυφορικών τροχιών της υπηρεσίας IGS και αναφέρουν τα αποτελέσματα τους στο σύστημα ITRF, δεν είναι απαραίτητο να εφαρμόσουν διορθώσεις για τις παραμέτρους περιστροφής της Γης. Αυτό συμβαίνει καθώς στην επεξεργασία για την παραγωγή των συγκεκριμένων τροχιών συμπεριλαμβάνονται οι εν λόγω παράμετροι. Ωστόσο, σε περίπτωση που γίνεται χρήση λογισμικού που αναφέρει τα αποτελέσματα του σε αδρανειακό πλαίσιο αναφοράς, τότε καθίσταται απαραίτητο να γίνει χρήση των παραπάνω παραμέτρων, καθώς και να γίνει επαύξηση τους με μοντέλα περιστροφής της Γης (ERP models) διάρκειας μικρότερης των 24 ωρών. Η διόρθωση για κάθε συνιστώσα της θέσης του πόλου ( $\delta X_p$ ,  $\delta Y_p$ ,  $\delta UT1$ ) δίνεται από την παρακάτω προσεγγιστική σχέση, που στην προκειμένη περίπτωση αφορά την συνιστώσα  $X_p$  του πόλου:

$$\delta X_p = \sum_{j=1}^8 (F_j \sin \xi_j + G_j \cos \xi_j) \quad (2.15)$$

όπου:

- $j$  ο δείκτης που αντιπροσωπεύει τα 8 σημαντικά παλιρροιακά κύματα
- $\xi$  το αστρονομικό στοιχείο την συγκεκριμένη εποχή για κάθε κύμα  $j$
- $F, G$  οι συντελεστές των παλιρροιακών κυμάτων που προέρχονται από το τελευταίο παγκόσμιο μοντέλων ωκεάνιων παλιρροιών, για καθεμία από τις τρεις συνιστώσες θέσης του πόλου

### 2.2.13 Επίδραση σχετικότητας

Η αρχή του δορυφορικού εντοπισμού βασίζεται στην μέτρηση του χρονικού διαστήματος που απαιτεί το δορυφορικό σήμα να ταξιδέψει από τον δορυφόρο στον δέκτη. Ωστόσο, λόγω του φαινομένου της σχετικότητας που προκαλείται από το δυναμικό της βαρύτητας και της διαφοράς μεταξύ των χρονόμετρων του κινούμενου δορυφόρου και του δέκτη, ο χρόνος αυτός επηρεάζεται. Συνεπώς, το σφάλμα αυτό θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στην τεχνική PPP, διότι σε αντίθετη περίπτωση το σφάλμα που μπορεί να προκύψει είναι της τάξης των 12 km ανά ημέρα για τον προσδιορισμό θέσης ή 39  $\mu$ s για τον χρονικό προσδιορισμό (Haustein 2009).

Συγκεκριμένα, τα χρονόμετρα των δορυφόρων υπόκεινται σε δύο επιδράσεις της σχετικότητας, στην γενική και την ειδική σχετικότητα. Σύμφωνα με τη θεωρία της ειδικής σχετικότητας το δορυφορικό χρονόμετρο που κινείται με σταθερή ταχύτητα εμφανίζεται πιο αργό απ' ότι ένα χρονόμετρο στο έδαφος λόγω της διαστολής του χρόνου που προκαλείται από την σχετική τους κίνηση (Ταο 2008). Η διόρθωση για την συγκεκριμένη επίδραση περιγράφεται από την εξής σχέση (GPS ICD, 2000):

$$\Delta t_{s,rel} = \frac{-2 \vec{X}_s \cdot \vec{V}_s}{c^2} \quad (2.16)$$

όπου:

$\vec{X}_s$	το διάνυσμα θέσης του δορυφόρου
$\vec{V}_s$	το διάνυσμα ταχύτητας του δορυφόρου
$c$	η ταχύτητα του φωτός

Έπειτα, σύμφωνα με τη θεωρία της γενικής σχετικότητας, ένα δορυφορικό χρονόμετρο φαίνεται να είναι πιο γρήγορο απ' ότι ένα στο έδαφος λόγω της διαφοράς του βαρυτικού δυναμικού. Για την συγκεκριμένη επίδραση, η διόρθωση που πρέπει να γίνει περιγράφεται από την εξής σχέση (Rothacher & Beutler 2002):

$$\Delta t_{g,rel} = \frac{2 G M}{c^2} \ln \left( \frac{r^s + r_r + r_r^s}{r^s + r_r - r_r^s} \right) \quad (2.17)$$

όπου:

$G$	η παγκόσμια σταθερά έλξης
$M$	η μάζα της Γης
$r^s$	η απόσταση μεταξύ του δορυφόρου και του κέντρου της Γης
$r_r$	η απόσταση μεταξύ του δέκτη και του κέντρου της Γης
$r_r^s$	η απόσταση μεταξύ δορυφόρου και δέκτη

## 2.2.14 Επίδραση Sagnac

Η επίδραση Sagnac προκαλείται από την περιστροφή της Γης κατά τη διάρκεια διέλευσης του δορυφορικού σήματος από τον δορυφόρο στον δέκτη. Συγκεκριμένα, ο δέκτης GNSS που βρίσκεται στην επιφάνεια της Γης, ενώ φαίνεται να είναι σταθερός, κινείται με ταχύτητα περίπου 500 m/s (στον ισημερινό) λόγω της γήινης περιστροφής. Ενώ, λοιπόν, το σήμα διαδίδεται από τον δορυφόρο στον δέκτη, ο τελευταίος κινείται με αποτέλεσμα να δημιουργείται η επίδραση Sagnac.

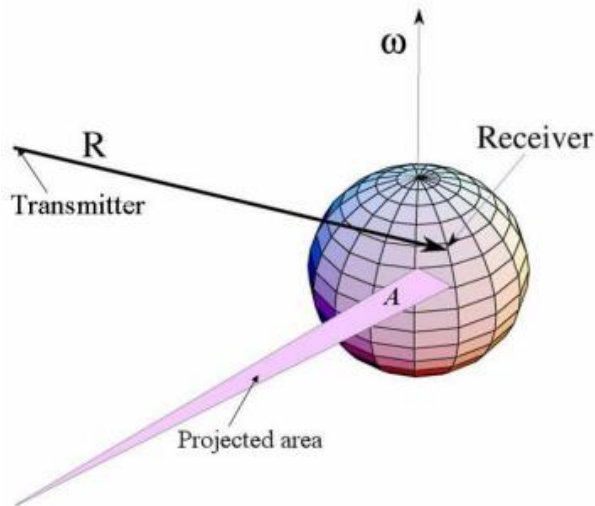
Σύμφωνα με τους Parkinson & Ashby (1996), η συγκεκριμένη επίδραση είναι ανάλογη με το χωρίο που σαρώνεται από το διάνυσμα μεταξύ του κέντρου της Γης και του παλμού του σήματος κατά τη διάδοση του τελευταίου, προβαλλόμενο στο επίπεδο του ισημερινού. Η διόρθωση για την επίδραση Sagnac περιγράφεται από την εξής σχέση:

$$\Delta t_s = \frac{2 \Omega_e A_e}{c^2} \quad (2.18)$$

όπου:

$\Omega_e$	η γωνιακή ταχύτητας της Γης (στο σύστημα WGS84)
$A_e$	το χωρίο που σαρώνεται από το διάνυσμα μεταξύ του κέντρου της Γης και του παλμού του σήματος, κατά τη διάδοση του τελευταίου από τον δορυφόρο στον δέκτη
$c$	η ταχύτητα του φωτός





**Εικόνα 2-9:** Το χωρίο που σαρώνεται από το διάνυσμα μεταξύ του κέντρου της Γης και του παλμού του σήματος, κατά τη διάδοση του τελευταίου από τον δορυφόρο στον δέκτη  
**Πηγή: Ashby 1997**

### 2.2.15 Ασάφεια φάσης

Η ασάφεια φάσης στη συχνότητα συμβολής είναι ο άγνωστος ακέραιος αριθμών κύκλων (μηκών κύματος) που εισάγεται σαν συστηματικό σφάλμα σε όλες τις συνεχείς μετρήσεις και μέχρι κάποια διακοπή (Παραδείσης 2000). Ο προσδιορισμός, αρχικά, των πραγματικών ασαφειών φάσης βασίζεται στις πληροφορίες του κώδικα C/A (στην περίπτωση του GPS), αλλά η αξιοπιστία του είναι χαμηλή λόγω της μικρής ακρίβειας που παρέχει ο εν λόγω κώδικας (της τάξης του 1 m).

Στην μέθοδο του σχετικού εντοπισμού θέσης, οι ασάφειες φάσης επιλύονται πλήρως με την τεχνική των διπλών διαφορών των παρατηρήσεων, το οποίο όμως δεν συμβαίνει και στην τεχνική PPP. Η φύση των ασαφειών φάσης στην περίπτωση της τεχνικής PPP δεν είναι ακέραια λόγω της ύπαρξης των δεκαδικών αρχικών φάσεων στον δέκτη και δορυφόρο, όπως φαίνεται στην επόμενη σχέση:

$$N'_i = N_i + \varphi_i^r(t_0) + \varphi_i^s(t_0) \quad (2.19)$$

όπου:

$N'_i$	οι πραγματικές ασάφειες φάσης (real-valued ambiguity term)
$N_i$	οι ακέραιες ασάφειες φάσης (integer ambiguity term)
$\varphi_i^r(t_0)$	η δεκαδική αρχική φάση στον δέκτη (receiver initial phase bias)
$\varphi_i^s(t_0)$	η δεκαδική αρχική φάση στον δορυφόρο (satellite initial phase bias)

Η μελέτη των Geng et al. (2010) έδειξε ότι η επίλυση των ακέραιων ασαφειών φάσης στην τεχνική PPP μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική βελτίωση της παρεχόμενης ακρίβειας θέσης, ειδικά κατά τη διεύθυνση East, όπου οι πραγματικές ασάφειες φάσης επηρεάζουν αρνητικά τις τελικές λύσεις. Σήμερα, η επίλυση αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω των προϊόντων, για τις δεκαδικές αρχικές φάσεις των δορυφόρων, που παρέχει η διαστημική υπηρεσία CNES.

### 2.2.16 Σφάλματα απόκλισης μεταξύ κωδίκων

Οι παρατηρήσεις ψευδοαπόστασης επηρεάζονται από σφάλματα που εξαρτώνται από το δορυφορικό σήμα και τη συχνότητα, και αναφέρονται ως σφάλματα DCB (Differential Code Biases) απόκλισης μεταξύ κωδίκων, τα οποία είναι απαραίτητα να συμπεριληφθούν στο μοντέλο επεξεργασίας PPP. Τα σφάλματα αυτά προσδιορίζονται τακτικά για τα σήματα των δορυφόρων GPS και GLONASS, ενώ περιορισμένη είναι προς το παρόν η γνώση για τα

σφάλματα DCB των δορυφόρων και δεκτών που σχετίζονται με τα εκσυγχρονισμένα σήματα του GPS, καθώς και των αναδυόμενων δορυφορικών σχηματισμών Galileo, BeiDou, QZSS, IRNSS (Montenbruck et al. 2014).

Ο υπολογισμός των σφαλμάτων DCB αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της παρακολούθησης της ιονόσφαιρας μέσω παρατηρήσεων από τα συστήματα GPS και GLONASS, και γίνεται από τα κέντρα ανάλυσης της υπηρεσίας IGS. Έτσι, η διανομή τους γίνεται είτε μέσω των παγκόσμιων ιονοσφαιρικών χαρτών GIM σε μορφότυπο IONEX, είτε ως ανεξάρτητα προϊόντα DCB ώστε να γίνεται διόρθωση των εν λόγω σφαλμάτων.

## 2.3 Μαθηματικό Μοντέλο

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζεται και αναλύεται το μαθηματικό μοντέλο της τεχνικής PPP τόσο για τη χρήση ενός (πρότυπο μοντέλο) όσο και περισσότερων δορυφορικών συστημάτων. Το μαθηματικό αυτό μοντέλο, ή μοντέλο παρατηρήσεων, αποτελεί τη μαθηματική σχέση μεταξύ των δεδομένων GNSS και των αγνώστων παραμέτρων. Όσο αφορά τη συνδυασμένη χρήση δεδομένων από πολλαπλά συστήματα GNSS, αναλύονται δύο μαθηματικά μοντέλα, εκ των οποίων το πρώτο αποτελεί το σύννηθες και το δεύτερο το πιο λεπτομερές μοντέλο.

### 2.3.1 Πρότυπο μοντέλο

Οι παρατηρήσεις ψευδοαπόστασης και φάσης στις συχνότητες L1 και L2 μεταξύ ενός δέκτη και δορυφόρου GNSS μπορούν να περιγραφούν από τις ακόλουθες εξισώσεις παρατήρησης:

$$P_i^s = \rho^s + c dt^s - c dT^s + d_{orb}^s + d_{trop}^s + d_{ion/P_i}^s + d_{mult/P_i}^s + \varepsilon_{P_i}^s \quad (2.20)$$

$$\Phi_i^s = \rho^s + c dt^s - c dT^s + d_{orb}^s + d_{trop}^s - d_{ion/\Phi_i}^s + \lambda_i^s N_i^s + d_{mult/\Phi_i}^s + \varepsilon_{\Phi_i}^s \quad (2.21)$$

όπου:

$s$	ο εκθέτης που δηλώνει το χρησιμοποιούμενο δορυφορικό σύστημα
$P_i$	η μέτρηση ψευδοαπόστασης στη συχνότητα $L_i$ (m)
$\Phi_i$	η μέτρηση φάσης στη συχνότητα $L_i$ (m)
$\rho$	η πραγματική (γεωμετρική) απόσταση δορυφόρου – δέκτη (m)
$c$	η ταχύτητα του φωτός (m/s)
$dt$	το σφάλμα χρονομέτρου του εκάστοτε δέκτη (s)
$dT$	το σφάλμα χρονομέτρου του εκάστοτε δορυφόρου (s)
$d_{orb}$	το τροχιακό σφάλμα του δορυφόρου (m)
$d_{trop}$	το σφάλμα λόγω της τροπόσφαιρας (m)
$d_{ion/L_i}$	το σφάλμα λόγω της ιονόσφαιρας στις μετρήσεις ψευδοαπόστασης, στην συχνότητα $L_i$ (m)
$d_{ion/\Phi_i}$	το σφάλμα λόγω της ιονόσφαιρας στις μετρήσεις φάσης, στην συχνότητα $L_i$ (m)
$\lambda_i$	το μήκος κύματος στην συχνότητα $L_i$ (m/cycle)
$N_i$	οι ακέραιες τιμές της ασάφειας στην μέτρηση φάσης, στην συχνότητα $L_i$ (m)
$d_{mult/P_i}$	το σφάλμα στην μέτρηση ψευδοαπόστασης λόγω των πολυκλαδικών ανακλάσεων του σήματος (m)
$d_{mult/\Phi_i}$	το σφάλμα στην μέτρηση φάσης λόγω των πολυκλαδικών ανακλάσεων του σήματος (m)
$\varepsilon_{P_i}$	το τυχαίο σφάλμα της μέτρησης ψευδοαπόστασης (m)
$\varepsilon_{\Phi_i}$	το τυχαίο σφάλμα της μέτρησης φάσης (m)

Προτού, όμως, χρησιμοποιηθούν οι παραπάνω εξισώσεις για τον προσδιορισμό της ζητούμενης θέσης, θα πρέπει να διορθωθούν για την επίδραση των τροχιακών σφαλμάτων,  $d_{orb}$ , και των χρονομέτρων,  $dT$ , του εκάστοτε δορυφόρου κάνοντας χρήση των υψηλής ακρίβειας προϊόντων τροχιών και χρονομέτρων (precise orbit and clock products) που διαθέτει η υπηρεσία IGS.

Επιπλέον, στις εφαρμογές PPP συνηθίζεται να χρησιμοποιούνται δέκτες GNSS δύο συχνοτήτων (L1 και L2 στην περίπτωση του συστήματος GPS), έτσι ώστε με τον γραμμικό συνδυασμό των διαθέσιμων παρατηρήσεων κώδικα και φάσης να μπορεί να υπολογιστεί και να αφαιρεθεί η πρώτης τάξης επίδραση της ιονοσφαιρικής διάθλασης. Παράλληλα, η μέθοδος αυτή παρέχει τη δυνατότητα ακριβούς εκτίμησης των τιμών για τις ασάφειες φάσης και της επίδρασης της τροπόσφαιρας.

Στη συνόρθωση, λοιπόν, των παραπάνω μετρήσεων για τον προσδιορισμό της ζητούμενης θέσης, χρησιμοποιούνται οι παρακάτω εξισώσεις που περιγράφουν τις απαλλαγμένες από τις επιδράσεις της ιονόσφαιρας (Ionosphere-Free, IF) διορθωμένες μετρήσεις ψευδοαπόστασης ( $P_{IF}^s$ ) και φάσης ( $\Phi_{IF}^s$ ):

$$P_{IF}^s = (f_{s1}^2 P_1^s - f_{s2}^2 P_2^s) / (f_{s1}^2 - f_{s2}^2) = \rho^s + c dt^s + d_{trop}^s + \varepsilon_{P_{IF}}^s \quad (2.22)$$

$$\Phi_{IF}^s = (f_{s1}^2 \Phi_1^s - f_{s2}^2 \Phi_2^s) / (f_{s1}^2 - f_{s2}^2) = \rho^s + c dt^s + d_{trop}^s + N_{IF}^s + \varepsilon_{\Phi_{IF}}^s \quad (2.23)$$

όπου:

$f_i$	οι συχνότητες $L_i$
$N_{IF}^s$	οι συνδυασμένες ασάφειες φάσης (m)
$\varepsilon_{IF}^s$	τα τυχαία σφάλματα των μετρήσεων κώδικα και φάσης, καθώς και υπολειπόμενα πολυκλαδικά σφάλματα

Οι άγνωστες παράμετροι, σύμφωνα με το παραπάνω μαθηματικό μοντέλο, είναι οι καρτεσιανές συντεταγμένες της ζητούμενης θέσης, το σφάλμα χρονομέτρου του δέκτη, η τροπόσφαιρική καθυστέρηση (zenith wet tropospheric delay) και οι πραγματικές ασάφειες φάσης (real-valued carrier-phase ambiguities).

Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι ο σχηματισμός του γραμμικού συνδυασμού μετρήσεων ψευδοαπόστασης και φάσης απαλείφει μεν την πρώτης τάξης επίδραση της ιονοσφαιρικής διάθλασης, έχει δε ορισμένα μειονεκτήματα. Αρχικά, οι διορθωμένες μετρήσεις ψευδοαπόστασης ( $P_{IF}^s$ ) και φάσης ( $\Phi_{IF}^s$ ) δεν είναι πλήρως απαλλαγμένες από το ιονοσφαιρικό σφάλμα, καθώς οι μεγαλύτερης τάξης επιδράσεις της ιονόσφαιρας δεν μπορούν να απαλειφθούν μέσω του γραμμικού συνδυασμού των παρατηρήσεων. Αν και οι τελευταίες συνήθως επιδρούν λιγότερο από το 0.1% του συνόλου των ιονοσφαιρικών επιπτώσεων, μπορεί το σφάλμα που επιφέρουν στην μετρούμενη απόσταση μεταξύ δορυφόρου και δέκτη να είναι αρκετές δεκάδες εκατοστά κατά τη διάρκεια περιόδων υψηλής ηλιακής δραστηριότητας.

Ακολουθώς, ο σχηματισμός του γραμμικού συνδυασμού των παρατηρήσεων αυξάνει το επίπεδο θορύβου τους περίπου στο τριπλάσιο, σε σύγκριση με το υπάρχον επίπεδο θορύβου των πρωτογενών παρατηρήσεων. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, οι διορθωμένες μετρήσεις ψευδοαπόστασης εκφράζονται σύμφωνα με την εξίσωση (2.24).

$$P_{IF} = (f_1^2 P_1 - f_2^2 P_2) / (f_1^2 - f_2^2) \quad (2.24)$$

Με την αντικατάσταση των παραπάνω συχνοτήτων για την περίπτωση του συστήματος GPS ( $f_1 = 1.57542 \text{ GHz}$  και  $f_2 = 1.2276 \text{ GHz}$ ), προκύπτει:

$$P_{IF} = 2.546 P_1 - 1.546 P_2 \quad (2.25)$$

Παρατηρείται, δηλαδή, ότι τόσο ο θόρυβος όσο και το σφάλμα λόγω πολυκλαδικής ανάκλασης στη συχνότητα L1 πολλαπλασιάζεται με το συντελεστή 2.546 (~3). Παράλληλα, και ο όρος 1.546 στην μέτρηση ψευδοαπόστασης στην συχνότητα L2 επηρεάζει τον υπάρχον θόρυβο.

Ένα επιπλέον μειονέκτημα της συγκεκριμένης τεχνικής είναι ότι η ασάφεια φάσης,  $N_{IF}$ , για τη συνδυασμένη μέτρηση φάσης,  $\Phi_{IF}$ , μπορεί να εκτιμηθεί μόνο ως δεκαδικός αριθμός, καθώς οι συντελεστές στον γραμμικό συνδυασμό δεν είναι ακέραιοι αριθμοί. Ως αποτέλεσμα, απαιτείται σημαντική διάρκεια παρατηρήσεων έτσι ώστε να επιτευχθεί σύγκλιση των PPP λύσεων.

### 2.3.2 Μοντέλο πολλαπλών συστημάτων

Στη συνδυασμένη χρήση μετρήσεων από πολλαπλά συστήματα GNSS απαιτείται όμοια λογική όπως και προηγουμένως, αν και απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στη δημιουργία του μαθηματικού μοντέλου. Το μαθηματικό μοντέλο που θα αναλυθεί στη συνέχεια αφορά τον συνδυασμό GPS/GLONASS, το οποίο μπορεί περαιτέρω να αναπτυχθεί για τα συστήματα Galileo και BeiDou.

Βάσει των εξισώσεων (2.20) και (2.21), οι εξισώσεις παρατήρησης για τις μετρήσεις ψευδοαπόστασης και φάσης στις συχνότητες L1 και L2 μεταξύ δέκτη και δορυφόρων GPS και GLONASS είναι οι εξής:

$$P_i^g = \rho^g + c dt^g - c dT^g + d_{orb}^g + d_{trop}^g + d_{ion/P_i}^g + d_{mult/P_i}^g + \varepsilon_{P_i}^g \quad (2.26)$$

$$\Phi_i^g = \rho^g + c dt^g - c dT^g + d_{orb}^g + d_{trop}^g - d_{ion/\Phi_i}^g + \lambda_i^g N_i^g + d_{mult/\Phi_i}^g + \varepsilon_{\Phi_i}^g \quad (2.27)$$

$$P_i^r = \rho^r + c dt^r - c dT^r + d_{orb}^r + d_{trop}^r + d_{ion/P_i}^r + d_{mult/P_i}^r + \varepsilon_{P_i}^r \quad (2.28)$$

$$\Phi_i^r = \rho^r + c dt^r - c dT^r + d_{orb}^r + d_{trop}^r - d_{ion/\Phi_i}^r + \lambda_i^r N_i^r + d_{mult/\Phi_i}^r + \varepsilon_{\Phi_i}^r \quad (2.29)$$

όπου g και r δηλώνουν τα δορυφορικά συστήματα GPS και GLONASS αντίστοιχα.

Επειδή η διαφορά στις κλίμακες του χρόνου που χρησιμοποιούν τα δύο συστήματα δεν είναι γνωστή, θα πρέπει να συμπεριληφθεί στο διάνυσμα των αγνώστων παραμέτρων κατά τη συνόρθωση των μετρήσεων. Συνεπώς, το σφάλμα χρονομέτρου του δέκτη μπορεί να εκφραστεί ως η απόκλιση της χρονικής κλίμακας  $t$  στην οποία μετράει ο δέκτης από τη χρονική κλίμακα του εκάστοτε δορυφορικού συστήματος:

$$dt = t - t_{sys} \quad (2.30)$$

όπου  $t_{sys}$  δηλώνει είτε χρόνο GPS,  $t_{GPS}$ , είτε χρόνο GLONASS,  $t_{GLONASS}$ .

Επομένως, για τη συνδυασμένη χρήση μετρήσεων GPS και GLONASS θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν δύο άγνωστες παράμετροι για το σφάλμα χρονομέτρου του δέκτη, μία για το σφάλμα χρονομέτρου σε σχέση με την κλίμακα χρόνου του GPS και μία διαφορετική για το σφάλμα χρονομέτρου σε σχέση με την κλίμακα χρόνου του GLONASS.

Το σφάλμα χρονομέτρου του εκάστοτε δέκτη σε σχέση με την κλίμακα χρόνου του GLONASS,  $dt^r$ , μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$dt^r = t - t_{GLONASS} = (t - t_{GPS}) + (t_{GPS} - t_{GLONASS}) = dt^g + dt_{sys} \quad (2.31)$$

Εκφράζεται δηλαδή ως μία συνάρτηση του σφάλματος χρονομέτρου του εκάστοτε δέκτη σε σχέση με την κλίμακα χρόνου του GPS και της διαφοράς μεταξύ των χρονικών κλιμάκων των συστημάτων GPS και GLONASS.

Συνεπώς, οι εξισώσεις παρατήρησης για το σύστημα GLONASS μετατρέπονται ως εξής:

$$P_i^r = \rho^r + c dt^g + c dt_{sys} - c dT^r + d_{orb}^r + d_{trop}^r + d_{ion/P_i}^r + d_{mult/P_i}^r + \varepsilon_{P_i}^r \quad (2.32)$$

$$\Phi_i^r = \rho^r + c dt^g + c dt_{sys} - c dT^r + d_{orb}^r + d_{trop}^r - d_{ion/\Phi_i}^r + \lambda_i^r N_i^r + d_{mult/\Phi_i}^r + \varepsilon_{\Phi_i}^r \quad (2.33)$$

Ακολουθώς, με την χρήση των υψηλής ακρίβειας προϊόντων τροχιών και χρονομέτρων (precise orbit and clock products) και τον γραμμικό συνδυασμό των μετρήσεων ψευδοαπόστασης και φάσης στις συχνότητες L1 και L2 προκύπτει:

$$P_{IF}^g = \rho^g + c dt^g + d_{trop}^g + \varepsilon_{P_{IF}}^g \quad (2.34)$$

$$\Phi_{IF}^g = \rho^g + c dt^g + d_{trop}^g + N_{IF}^g + \varepsilon_{\Phi_{IF}}^g \quad (2.35)$$

$$P_{IF}^r = \rho^r + c (dt^g - dt_{sys}) + d_{trop}^r + \varepsilon_{P_{IF}}^r \quad (2.36)$$

$$\Phi_{IF}^r = \rho^r + c (dt^g - dt_{sys}) + d_{trop}^r + N_{IF}^r + \varepsilon_{\Phi_{IF}}^r \quad (2.37)$$

Οι άγνωστες παράμετροι, σύμφωνα με τις παραπάνω εξισώσεις παρατήρησης, είναι οι τρισδιάστατες καρτεσιανές συντεταγμένες, το σφάλμα χρονομέτρου του δέκτη, η ζενίθια υγρή συνιστώσα της τροποσφαιρικής καθυστέρησης (zenith wet tropospheric delay), η διαφορά μεταξύ των χρονικών κλιμάκων των συστημάτων GPS και GLONASS, και οι πραγματικές ασάφειες φάσης.

Στην περίπτωση χρήσης δεδομένων και από τα συστήματα Galileo και BeiDou ακολουθείται το ίδιο μαθηματικό μοντέλο, με την επιπλέον προσθήκη δύο αγνώστων παραμέτρων, των διαφορών μεταξύ των χρονικών κλιμάκων των συστημάτων GPS και Galileo,  $dt_{sys(GPS-GAL)}$ , και των συστημάτων GPS και BeiDou,  $dt_{sys(GPS-BDS)}$ .

Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι το μαθηματικό μοντέλο για την επεξεργασία δεδομένων με την τεχνική PPP διαφέρει από μελέτη σε μελέτη. Για παράδειγμα, αν και το μαθηματικό μοντέλο των Tegedor et al. (2014) είναι ίδιο με το παραπάνω, οι διαφορές μεταξύ των χρονικών κλιμάκων των δορυφορικών συστημάτων αναφέρονται ως σφάλματα ISB (Inter-System Biases), δηλαδή σφάλματα μεταξύ των συστημάτων.

Επίσης, σημειώνεται ότι τα σφάλματα ISB μεταξύ των GPS και GLONASS εξαρτώνται από τον εκάστοτε σταθμό και δορυφόρο, λόγω της μεθόδου FDMA (Frequency Division Multiple Access) που έχει υιοθετήσει το σύστημα GLONASS, σύμφωνα με την οποία κάθε δορυφόρος GLONASS εκπέμπει διαφορετική συχνότητα σε ένα κανάλι συχνοτήτων (frequency band). Ως αποτέλεσμα, δημιουργούνται σφάλματα IFB (Inter-Frequency Biases) μεταξύ των συχνοτήτων τόσο στους δέκτες όσο και τους δορυφόρους. Αντίθετα, τα συστήματα Galileo και BeiDou έχουν υιοθετήσει την μέθοδο CDMA (Code Division Multiple Access), όπως και το σύστημα GPS, σύμφωνα με την οποία όλοι οι δορυφόροι από τον ίδιο σχηματισμό χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα. Έτσι, τα σφάλματα ISB μεταξύ των Galileo, BeiDou και GPS εξαρτώνται μόνο από τον εκάστοτε δέκτη.

Ακολουθώς, ένα διαφορετικό μοντέλο παρατηρήσεων υιοθετήθηκε στην μελέτη των Chen et al. (2015):

$$P_{IF}^g = \rho^g + c \overline{dt}^g + d_{trop}^g + \varepsilon_{P_{IF}}^g \quad (2.38)$$

$$\Phi_{IF}^g = \rho^g + c \overline{dt}^g + d_{trop}^g + \overline{N}_{IF}^g + \varepsilon_{\Phi_{IF}}^g \quad (2.39)$$

$$P_{IF}^r = \rho^r + c \overline{dt}^r + ISB^{g-r} + d_{trop}^r + \varepsilon_{P_{IF}}^r \quad (2.40)$$

$$\Phi_{IF}^r = \rho^r + c \overline{dt}^r + ISB^{g-r} + \overline{N}_{IF}^r + d_{trop}^r + \varepsilon_{\Phi_{IF}}^r \quad (2.41)$$

με

$$c \overline{dt}^g = c dt^g + b^g \quad (2.42)$$

$$\overline{N}_{IF}^g = N_{IF}^g + B^g + b^g \quad (2.43)$$

$$c \overline{dt}^r = c dt^r + b_{avg}^r \quad (2.44)$$

$$ISB^{g-r} = c \overline{dt}^r - c \overline{dt}^g = c dt^r - c dt^g + b_{avg}^r - b^g \quad (2.45)$$

$$\overline{N}_{IF}^r = N_{IF}^r + B_{avg}^r - b_{avg}^r + \delta B^r \quad (2.46)$$

όπου:

$\overline{x}$	τα αναμορφωμένα εκάστοτε μεγέθη $x$
$b^g$	τα σφάλματα στις απαλλαγμένες από την ιονόσφαιρα μετρήσεις ψευδοαπόστασης λόγω των κυκλωμάτων των δεκτών (IF pseudo-range hardware delay bias for receivers)
$B^g$	τα σφάλματα στις απαλλαγμένες από την ιονόσφαιρα μετρήσεις φάσης λόγω των κυκλωμάτων των δεκτών (IF carrier-phase hardware delay bias for receivers)
$b_{avg}^r$	το μέσο σφάλμα στις απαλλαγμένες από την ιονόσφαιρα μετρήσεις ψευδοαπόστασης λόγω των κυκλωμάτων των δεκτών (mean hardware delay for pseudo-range observations)
$B_{avg}^r$	το μέσο σφάλμα στις απαλλαγμένες από την ιονόσφαιρα μετρήσεις φάσης λόγω των κυκλωμάτων των δεκτών (mean hardware delay for phase observations)
$\delta B^r$	όρος που αναφέρεται στα σφάλματα μεταξύ των συχνοτήτων (inter-frequency biases) και εξαρτάται από τον δορυφόρο

Η παράμετρος ISB θα πρέπει να υπολογίζεται ανά εποχή σε εξειδικευμένες αναλύσεις δεδομένων, αν και η τακτική αυτή οδηγεί σε μεγάλη αύξηση του διανύσματος των αγνώστων. Αν και στο παραπάνω μοντέλο περιλαμβάνεται η παράμετρος ISB των σφαλμάτων μεταξύ των συστημάτων GNSS, αυτή δεν είναι απαραίτητη. Η μελέτη των Chen et al. (2015) έδειξε ότι ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των σφαλμάτων ISB και της παρεχόμενης λύσης από την τεχνική PPP είναι σχεδόν μηδενικός, που σημαίνει ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ τους. Συνεπώς, η παράμετρος ISB θα μπορούσε να αφαιρεθεί από το μαθηματικό μοντέλο με τη χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS.

## 2.4 PPP Μονής Συχνότητας (Single-Frequency PPP)

Στην περίπτωση που δεν είναι διαθέσιμοι δέκτες GNSS διπλής συχνότητας, αλλά μονής, τότε δεν υπάρχει η δυνατότητα σχηματισμού του απαλλαγμένου από την ιονόσφαιρα γραμμικού συνδυασμού των παρατηρήσεων για τον προσδιορισμό θέσης με την τεχνική PPP, όπως περιγράφηκε παραπάνω. Ωστόσο, οι δέκτες μονής συχνότητας μπορούν να παρέχουν ακρίβεια θέσης στο επίπεδο του δεκατόμετρου σε αρκετά μικρότερο κόστος, και παράλληλα η σύγκλιση στην ακρίβεια αυτή επιτυγχάνεται πιο γρήγορα απ' ό,τι στη χρήση δεκτών GNSS δύο συχνοτήτων.

Η επεξεργασία δεδομένων μονής συχνότητας με τη μέθοδο PPP (single-frequency PPP) αντιμετωπίζεται με δύο τρόπους. Ο πρώτος περιλαμβάνει τον γραμμικό συνδυασμό των διαθέσιμων παρατηρήσεων ψευδοαπόστασης ( $P_1$ ) και φάσης ( $\Phi_1$ ) στη συχνότητα L1 ως εξής:

$$\Phi'_{IF} = 0.5 P_1 + 0.5 \Phi_1 = \rho - c dt + d_{trop} + \frac{1}{2} \lambda_1 N_1 + \varepsilon_{\Phi'_{IF}} \quad (2.47)$$

όπου:

$\Phi'_{IF}$	η μέτρηση φάσης απαλλαγμένη από την επίδραση της ιονόσφαιρας
$P_1$	η πρωτογενής μέτρηση ψευδοαπόστασης στη συχνότητα L1
$\Phi_1$	η πρωτογενής μέτρηση φάσης στη συχνότητα L1
$\varepsilon_{\Phi'_{IF}}$	τα τυχαία σφάλματα των διορθωμένων μετρήσεων φάσης, καθώς και υπολειπόμενα πολυκλαδικά σφάλματα

Μέσω της παραπάνω σχέσης μπορεί να υπολογιστεί και να αφαιρεθεί η πρώτη τάξης επίδραση της ιονοσφαιρικής διάθλασης, και παράλληλα μειώνεται κατά τη μισή του ποσότητα ο θόρυβος που ενυπάρχει στις μετρήσεις κώδικα.

Ακολουθώς, ο δεύτερος και πιο συνήθης τρόπος είναι η χρήση προϊόντων για την μοντελοποίηση της ιονοσφαιρικής επίδρασης που διατίθενται από την υπηρεσία IGS. Τα προϊόντα αυτά αποτελούν τους παγκόσμιους χάρτες ιονόσφαιρας GIM (Global Ionosphere Maps) και διατίθενται σε μορφή IONEX (Ionosphere Map Exchange).

Πιο συγκεκριμένα, τα προϊόντα αυτά αποτελούν χάρτες της συνολικής πυκνότητας των ηλεκτρονίων στην ατμόσφαιρα, εναλλακτικά TEC (Total Electron Content), σε παγκόσμια κλίμακα. Προκειμένου αυτά να δημιουργηθούν, χρησιμοποιείται ένα μεγάλο ποσοστό των δεκτών από το υπάρχον δίκτυο της υπηρεσίας IGS. Οι εν λόγω χάρτες έχουν χωρική ανάλυση  $5^\circ \times 2.5^\circ$  κατά το γεωγραφικό μήκος και πλάτος αντίστοιχα, και χρονική ανάλυση 2 ωρών. Σημειώνεται, επίσης, ότι την παρούσα φάση υπάρχουν δύο είδη των προϊόντων αυτών, τα τελικά (final) και γρήγορα (rapid) προϊόντα, με χρονική καθυστέρηση 11 ημερών και σχεδόν 1 ημέρας αντίστοιχα. Με την συμπερίληψη τους στην επεξεργασία PPP μονής συχνότητας, τα προϊόντα αυτά λειτουργούν ως η δεύτερη συχνότητα L2 και διορθώνουν το σφάλμα που οφείλεται στην ιονόσφαιρα. Σε συνδυασμό με την εξομάλυνση της φέρουσας φάσης, προκύπτουν οι ακόλουθες ψευδοαποστάσεις εξομαλυσμένες από τις μετρήσεις φάσης:

$$\begin{aligned} \bar{P}_{IF}[i] &= \frac{1}{i} (P_1[i] - I_{ext}[i]) + \frac{i-1}{i} (\bar{P}_{IF}[i-1] + \Phi_1[i] - \Phi_1[i-1] + \\ &+ I_{ext}[i] - I_{ext}[i-1]) = \\ &= \rho - c dt + d_{trop} + \varepsilon_{\bar{P}_{IF}} \end{aligned} \quad (2.48)$$

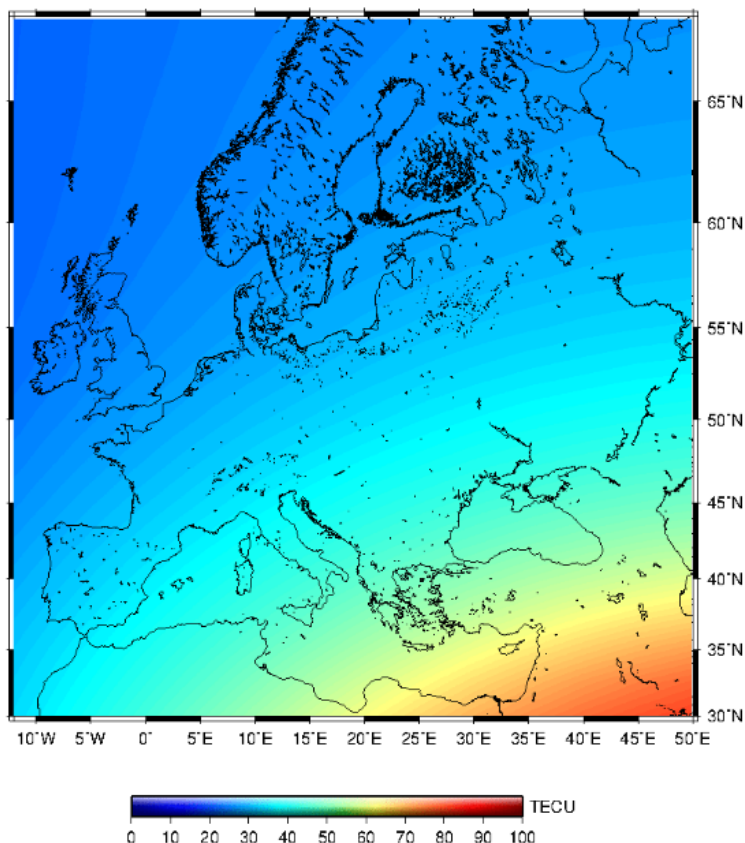
όπου:

$i$	η κάθε εποχή μετρήσεων [1, N]
$\bar{P}_{IF}$	η μέτρηση ψευδοαπόστασης απαλλαγμένη από την επίδραση της ιονόσφαιρας
$P_1$	η πρωτογενής μέτρηση ψευδοαπόστασης στη συχνότητα L1
$\Phi_1$	η πρωτογενής μέτρηση φάσης στη συχνότητα L1
$I_{ext}$	οι τιμές διόρθωσης για την επίδραση της ιονόσφαιρας από εξωτερική πηγή (χάρτες GIM των προϊόντων TEC)
$\varepsilon_{\bar{P}_{IF}}$	τα τυχαία σφάλματα των διορθωμένων μετρήσεων κώδικα, καθώς και υπολειπόμενα πολυκλαδικά σφάλματα

Η διαφορά μεταξύ των δύο παραπάνω τρόπων αντιμετώπισης της PPP επεξεργασίας μονής συχνότητας βασίζεται στο είδος των αγνώστων παραμέτρων που ενυπάρχουν στο μαθηματικό μοντέλο. Συγκεκριμένα, στο δίδανυμα των αγνώστων παραμέτρων του πρώτου τρόπου περιλαμβάνονται τουλάχιστον η θέση του δέκτη, το σφάλμα χρονομέτρου του δέκτη και οι τιμές για τις ασάφειες φάσης. Το κύριο μειονέκτημα, λοιπόν, της μεθόδου αυτής είναι ότι απαιτείται ο προσδιορισμός των ασαφειών φάσης, με αποτέλεσμα οι αρχικές

υπολογισθείσες θέσεις να μην χαρακτηρίζονται από υψηλή ακρίβεια και η σύγκλιση στην τελική θέση να απαιτεί μεγάλο χρονικό διάστημα (van der Marel & Bakker 2012).

Αντίθετα, ο δεύτερος τρόπος αντιμετώπισης δεν απαιτεί την ακριβή εκτίμηση των τιμών ασαφειών φάσης, καθώς το διάνυσμα των αγνώστων παραμέτρων αποτελείται μόνο από την ζητούμενη θέση και το σφάλμα χρονομέτρου του εκάστοτε δέκτη. Αυτό συμβαίνει καθώς η διαδικασία εξομάλυνσης των μετρήσεων κώδικα που λαμβάνει χώρα στην επεξεργασία PPP απαλείφει τις τιμές ασαφειών φάσης. Έτσι, αντίθετα με προηγούμενως, η σύγκλιση στην τελική θέση γίνεται σε σημαντικά μικρότερο χρονικό διάστημα.

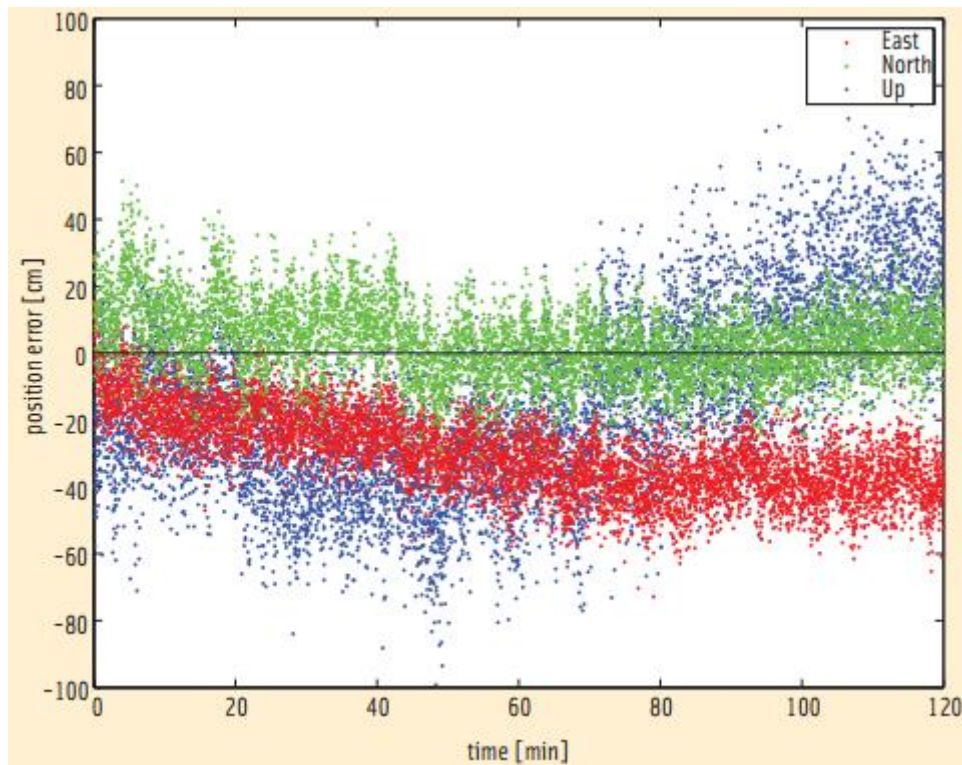


**Εικόνα 2-10:** Περιφερειακός χάρτης της πυκνότητας των ηλεκτρονίων (TEC) στην ιονόσφαιρα στις 20/04/2015 και ώρα 10:00:00  
**Πηγή:** <http://dionysos.survey.ntua.gr/>

Όπως προαναφέρθηκε, η επεξεργασία PPP μονής συχνότητας μπορεί να παρέχει ακρίβεια θέσης στο επίπεδο του δεκατόμετρου, ενώ παράλληλα η σύγκλιση σε αυτήν την ακρίβεια επιτυγχάνεται πιο γρήγορα απ' ό,τι στη χρήση δεκτών GNSS δύο συχνοτήτων. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο υψηλό επίπεδο θορύβου που δημιουργείται από τον σχηματισμό του γραμμικού συνδυασμού των παρατηρήσεων στις δύο συχνότητες L1 και L2. Από την εξίσωση (2.25) φαίνεται ότι ο θόρυβος και το σφάλμα πολυκλαδικής ανάκλασης στις μετρήσεις ψευδοαπόστασης σχεδόν τριπλασιάζεται στην συχνότητα L1 και διπλασιάζεται στη συχνότητα L2.

Συνεπώς, σε πολλές περιπτώσεις η διορθωμένη μέτρηση ψευδοαπόστασης που χρησιμοποιείται στην επεξεργασία PPP μονής συχνότητας υπερτερεί του απαλλαγμένου από την ιονόσφαιρα γραμμικού συνδυασμού των μετρήσεων ψευδοαπόστασης (van der Marel & Bakker 2012). Επιπλέον, η τεχνική PPP μονής συχνότητας παρουσιάζεται ως αποδοτικότερη μέθοδος στα αρχικά στάδια επεξεργασίας των δεδομένων, καθώς η σύγκλιση λύσης με την επεξεργασία PPP διπλής συχνότητας στα στάδια αυτά βασίζεται στον γραμμικό συνδυασμό των μετρήσεων ψευδοαπόστασης. Ωστόσο, με την πάροδο του χρόνου ο γραμμικός συνδυασμός των μετρήσεων φάσης αποτελεί τον καθοριστικό παράγοντα για την ακρίβεια του εντοπισμού θέσης, και έτσι η χρήση δύο συχνοτήτων παρουσιάζεται πιο αποδοτική.

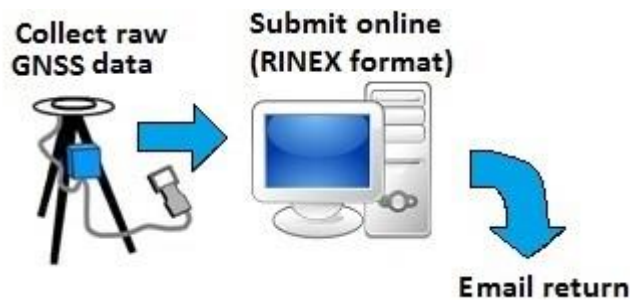




**Εικόνα 2-11:** Κινηματικές PPP λύσεις από δεδομένα GPS μονής συχνότητας σε ένα δέκτη στο Delft (Ολλανδία) στις 20/05/2012 και 0:00-2:00, με χρήση του παγκόσμιου ιονοσφαιρικού χάρτη GIM και των υψηλής ακρίβειας προϊόντων τροχιών και χρονομέτρων της IGS  
**Πηγή: van der Marel and Bakker 2012**

## 2.5 Διαδικτυακές Υπηρεσίες PPP

Η τεχνική εντοπισμού PPP έχει γίνει ιδιαίτερα δημοφιλής τα τελευταία χρόνια στην επιστημονική κοινότητα, λόγω των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει: προσδιορισμός θέσης με χρήση ενός δέκτη GNSS, μείωση απαιτήσεων σε υπολογιστικό χρόνο και χώρο, και υψηλή ακρίβεια θέσης για μεγάλο εύρος εφαρμογών. Ως αποτέλεσμα, αρκετά πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα προχώρησαν στην ανάπτυξη λογισμικών για την επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων με την τεχνική PPP, αλλά και στην δημιουργία διαδικτυακών υπηρεσιών επίλυσης δεδομένων με την ίδια τεχνική εντοπισμού που διατίθενται ελεύθερα στο ευρύ κοινό.



**Εικόνα 2-12:** Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας επίλυσης δορυφορικών δεδομένων μέσω των διαδικτυακών PPP υπηρεσιών  
**Πηγή: www.nrcan.gc.ca**

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζονται οι διαθέσιμες διαδικτυακές υπηρεσίες (APPS, CSRS-PPP, GAPS, magicPPP) επίλυσης δορυφορικών δεδομένων με την τεχνική PPP, και περιγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά καθώς και σύντομες οδηγίες χρήσης τους.

### 2.5.1 Υπηρεσία APPS

Η APPS<sup>1</sup> αποτελεί μία διαδικτυακή υπηρεσία επίλυσης δορυφορικών δεδομένων που παρέχεται δωρεάν από το Εργαστήριο JPL της NASA. Αυτή εφαρμόζει την πιο προηγμένη τεχνολογία στον προσδιορισμό θέσης ενός δέκτη GPS, είτε αυτός είναι στατικός, είτε κινείται, είτε βρίσκεται στο έδαφος ή στον αέρα. Επιπλέον, η εν λόγω υπηρεσία χρησιμοποιεί προϊόντα τροχιών και χρονομέτρων GPS πραγματικού χρόνου από το σύστημα GDGPS του Εργαστηρίου JPL, ημερήσια και εβδομαδιαία προϊόντα τροχιών και χρονομέτρων ακριβείας, καθώς και το λογισμικό GIPSY-OASIS για την επεξεργασία των δορυφορικών μετρήσεων.

Μέχρι σήμερα, η APPS έχει εξυπηρετήσει ένα μεγάλο φάσμα χρηστών, από περιστασιακούς έως επαγγελματίες χρήστες με σημαντικό όγκο δεδομένων. Στους πρώτους, παρέχεται η δυνατότητα μεταφόρτωσης των αρχείων παρατηρήσεων μέσω της ιστοσελίδας της υπηρεσίας, με τον ορισμό της διαδρομής αποθήκευσης του επιθυμητού αρχείου. Αντίθετα, στους δεύτερους παρέχεται πρόσβαση στον διακομιστή (server) της υπηρεσίας μέσω ασφαλούς σύνδεσης, στον οποίο μπορούν να μεταφορτώσουν τα δεδομένα τους και έτσι η διαδικασία καθίσταται πιο εύκολη. Υπάρχει, ακόμη, η δυνατότητα χρήσης της υπηρεσίας μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου.

#### *Δεδομένα μετρήσεων*

Τα αρχεία μετρήσεων που υποβάλλονται στην υπηρεσία θα πρέπει να έχουν ρυθμό καταγραφής 1 δευτερόλεπτο και να βρίσκονται σε RINEX μορφή (RINEX 2, RINEX 2.11). Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να συμπεριλάβει δεδομένα με διάρκεια που ξεπερνά τις 24 ώρες. Παράλληλα, η υπηρεσία υπογραμμίζει ότι σε περίπτωση που συμπεριλαμβάνονται δεδομένα GLONASS στα αρχεία παρατηρήσεων, αυτά θα αφαιρεθούν από την επεξεργασία.

Σημειώνεται, ακόμη, ότι ο μέγιστος όγκος των υποβληθέντων αρχείων που υποστηρίζει η υπηρεσία είναι 10MB και 5MB για εγγεγραμμένους και μη χρήστες αντίστοιχα. Τέλος, η ελάχιστη διάρκεια παρατηρήσεων που προϋποθέτει η υπηρεσία APPS για την επίτευξη της μέγιστης δυνατής ακρίβειας είναι η 1 ώρα.

#### *Μορφή αρχείων*

Τα υποβληθέντα αρχεία των μετρήσεων οφείλουν να βρίσκονται σε RINEX μορφή, και συγκεκριμένα μέχρι και την έκδοση 2.11. Η υπηρεσία δεν θέτει ως περιορισμό το κατά IGS πρότυπο ονοματολογία τους, συνεπώς το όνομα των αρχείων δεδομένων μπορεί να είναι αυθαίρετο. Επίσης, τα αρχεία μπορούν να βρίσκονται σε συμπιεσμένη (πρότυπη ή Hatanaka) ή μη μορφή.

#### *Υποβολή αρχείων*

Στην υπηρεσία APPS, η υποβολή των αρχείων γίνεται με τρεις (3) τρόπους:

- α. με τη χρήση του περιηγητή δικτύου, όπου γίνεται μεταφόρτωση (upload) ενός μόνο αρχείου κάθε φορά, με τον ορισμό της διεύθυνσης αποθήκευσης του επιθυμητού αρχείου. Η επιλογή αυτή είναι διαθέσιμη για εγγεγραμμένους και μη χρήστες, με την διαφορά ότι οι πρώτοι έχουν την δυνατότητα να διαμορφώσουν την γωνία αποκοπής των δορυφόρων.
- β. με την αποστολή μηνύματος ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, στο οποίο ο χρήστης καλείται να δηλώσει την διεύθυνση ftp που έχει μεταφορτώσει τα αρχεία δεδομένων του
- γ. με τη χρήση του πρωτοκόλλου μεταφοράς αρχείων (ftp), η οποία είναι διαθέσιμη μόνο κατόπιν συνεννόησης με την υπηρεσία για επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων.

---

<sup>1</sup> Η ηλεκτρονική διεύθυνση της υπηρεσίας είναι: <http://apps.gdgps.net/>

### *Μέθοδος επεξεργασίας*

Η υπηρεσία APPS παρέχει τέσσερις (4) μεθόδους εντοπισμού:

- Στατικός
- Κινηματικός
- Σε σχεδόν πραγματικό χρόνο (NRT, Near Real-Time)
- Υψηλής ακρίβειας

Η επεξεργασία των δεδομένων GPS που λαμβάνει χώρα στην εν λόγω υπηρεσία πραγματοποιείται με την τεχνική PPP. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται μέσω του λογισμικού GIPSY – OASIS (Version 5) του εργαστηρίου JPL, προκειμένου να γίνει επεξεργασία των μετρήσεων φάσης και ψευδοαπόστασης. Οι παράμετροι που υπολογίζονται παρατίθενται παρακάτω:

- Συντεταγμένες θέσης του δέκτη (στην περίπτωση κινηματικής μεθόδου προκύπτει χρονοσειρά των λύσεων)
- Σφάλμα χρονομέτρου του δέκτη
- Ζενίθια υγρή συνιστώσα της τροποσφαιρικής επίδρασης
- Πραγματικές ασάφειες φάσης

### *Πλαίσιο αναφοράς αποτελεσμάτων*

Η υπηρεσία APPS παρέχει καρτεσιανές και γεωδαιτικές συντεταγμένες των επιθυμητών σημείων, συνοδευόμενες από τα τυπικά τους σφάλματα, στο σύστημα ITRF2008 και WGS84.

### *Παράδοση αποτελεσμάτων*

Τα αποτελέσματα της υπηρεσίας APPS λαμβάνονται άμεσα από νέο παράθυρο στην ιστοσελίδα της υπηρεσίας, μόλις ολοκληρωθεί η επεξεργασία. Συγκεκριμένα, το παράθυρο αυτό περιλαμβάνει τις γεωδαιτικές συντεταγμένες του επιθυμητού σημείου καθώς και την θέση του γραφικά απεικονισμένη σε χάρτη της Google. Κάτω από τον προαναφερόμενο χάρτη, παρατίθεται μία λίστα από συμπιεσμένα αρχεία, μαζί με αντίστοιχα επεξηγηματικά αρχεία, τα οποία ο χρήστης μπορεί να λάβει. Μεταξύ αυτών υπάρχει:

- Ένα αρχείο περιλήψης που περιλαμβάνει συνοπτικά στοιχεία της επεξεργασίας.
- Ένα αρχείο XYZ που περιλαμβάνει τις καρτεσιανές συντεταγμένες X, Y, Z του εκάστοτε σημείου με τα τυπικά τους σφάλματα.
- Ένα αρχείο LLH που περιλαμβάνει τις γεωδαιτικές συντεταγμένες φ, λ, h του σημείου με τα τυπικά τους σφάλματα.
- Δύο αρχεία GIPSY που περιλαμβάνουν τις συντεταγμένες σε ειδική μορφοποίηση και την συμμεταβλητότητα μεταξύ τους
- Ένα αρχείο καταγραφής
- Ένα σύνδεσμο που οδηγεί σε γραφική απεικόνιση της θέσης του σημείου, στο περιβάλλον Google Earth

### *Οδηγίες χρήσης*

Προκειμένου να γίνει χρήση της υπηρεσίας APPS, ο χρήστης οφείλει, αρχικά, να επιλέξει το επιθυμητό αρχείο προς επεξεργασία μέσω ορισμού της διεύθυνσης αποθήκευσης του, να το υποβάλλει μέσω συγκεκριμένης επιλογής και εντός λίγων δευτερολέπτων λαμβάνει τα αποτελέσματα του. Στην περίπτωση μη εγγεγραμμένου χρήστη, αυτός έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας μόνο δεδομένων που συλλέχθηκαν με στατική μέθοδο και με προεπιλεγμένη γωνία αποκοπής 7.5 μοιρών. Αντίθετα, ένας εγγεγραμμένος χρήστης έχει την επιπλέον δυνατότητα επεξεργασίας δεδομένων που συλλέχθηκαν με κινηματική μέθοδο. Ακόμη, έχει τη δυνατότητα να επιλέξει μεταξύ των κωδικών στη συχνότητας L1 (P και C/A) που θέλει να συμμετέχουν στη διαδικασία, καθώς και να επιλέξει τη γωνία αποκοπής.

Επιπρόσθετα, η υπηρεσία παρέχει τη δυνατότητα υποβολής μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Σε αυτήν την περίπτωση, ο χρήστης καλείται να αποστείλει ηλεκτρονικό μήνυμα στην υπηρεσία, όπου θα αναγράφει το είδος συλλογής των δεδομένων (στατική ή κινηματική) στο θέμα του μηνύματος, ενώ στον κύριο κορμό αυτού θα πρέπει να δηλώσει

τις διευθύνσεις ftp όπου έχει μεταφορτώσει τα αρχεία του. Σημειώνεται ότι για την κινηματική μέθοδο, είναι απαραίτητο ο χρήστης να έχει εγγραφεί στην υπηρεσία, καθώς στο θέμα του μηνύματος οφείλει να συμπεριλάβει την κωδική του ονομασία (UserID). Σε αυτήν την περίπτωση, η αναφορά των αποτελεσμάτων γίνεται με αποστολή μηνύματος στο ηλεκτρονικό ταχυδρομείο του χρήστη.

## 2.5.2 Υπηρεσία CSRS-PPP

Η υπηρεσία CSRS – PPP<sup>2</sup> είναι η διαδικτυακή υπηρεσία επίλυσης δορυφορικών δεδομένων που παρέχεται από το Υπουργείο της Καναδικής Κυβέρνησης NRCan (Natural Resources Canada). Συγκεκριμένα, παρέχει στους χρήστες εκτιμήσεις απόλυτου προσδιορισμού θέσης με μετεπεξεργασία των υποβληθέντων δεδομένων GNSS, επιτρέποντας τον προσδιορισμό θέσης με υψηλή ακρίβεια. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης των GNSS εφημερίδων ακριβείας, ώστε να προκύψουν ακριβείς συντεταγμένες του εκάστοτε σημείου, ανεξάρτητα της θέσης του στη Γη και της εγγύτητας του σε γνωστούς σταθμούς αναφοράς.

Προκειμένου να γίνει χρήση της συγκεκριμένης υπηρεσίας, είναι αρχικά απαραίτητο ο χρήστης να εγγραφεί στην υπηρεσία. Στη συνέχεια, χρειάζεται γεωδαιτικά δεδομένα σε μορφή RINEX, μονής ή διπλής συχνότητας συλλεχθέντα με την τεχνική του στατικού ή κινηματικού εντοπισμού, πρόσβαση σε έναν περιηγητή δικτύου μέσω σύνδεσης με το διαδίκτυο και έναν λογαριασμό ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Η επεξεργαστική ισχύς του υπολογιστή του χρήστη δεν παίζει κανένα ρόλο στη διαδικασία, καθώς η επεξεργασία εκτελείται αποκλειστικά στον διακομιστή (server) της υπηρεσίας. Η έκθεση αναφοράς των αποτελεσμάτων αποστέλλεται στον λογαριασμό ηλεκτρονικού ταχυδρομείου του χρήστη που δηλώθηκε κατά την υποβολή των αρχείων.

### *Δεδομένα μετρήσεων*

Τα αρχεία μετρήσεων που υποβάλλονται στην υπηρεσία για επεξεργασία μπορούν, αρχικά, να έχουν συλλεχθεί είτε με στατικό είτε με κινηματικό τύπο εντοπισμού, και έπειτα αυτά έχουν την δυνατότητα να περιέχουν δεδομένα παρατήρησης είτε σε μία είτε και στις δύο συχνότητες (L1 και L2). Το σημαντικό πλεονέκτημα που παρέχει η εν λόγω υπηρεσία, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες, είναι ότι έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας τόσο δεδομένων GPS όσο και δεδομένων GLONASS. Επιπλέον, ενώ η υπηρεσία CSRS-PPP δεν θέτει ελάχιστη διάρκεια παρατηρήσεων, σημειώνει ότι το ασυμπίεστο RINEX αρχείο που θα υποβληθεί δεν πρέπει να ξεπερνά τα 100MB, που μπορεί να συνεπάγεται μέχρι και 6 ημέρες συνεχών παρατηρήσεων.

### *Μορφή αρχείων*

Τα αρχεία των μετρήσεων που υποβάλλονται στην εν λόγω υπηρεσία οφείλουν να βρίσκονται σε RINEX μορφή, και συγκεκριμένα είτε σε συμπιεσμένη είτε σε μη συμπιεσμένη μορφή. Οι τύποι συμπίεσης που υποστηρίζει η υπηρεσία βρίσκονται στον Πίν. 2-1.

Τύπος συμπίεσης	Επέκταση
UNIX	*.Z
Hatanaka	*.YYd
ZIP	*.zip
gzip	*.gz

**Πίνακας 2-1:** Υποστηριζόμενοι τύποι συμπίεσης RINEX αρχείων από την CSRS-PPP

**Πηγή:** <http://www.nrcan.gc.ca/>

### *Υποβολή αρχείων*

Στην υπηρεσία CSRS-PPP, η υποβολή των αρχείων γίνεται μέσω μεταφόρτωσης (upload) με χρήση του περιηγητή δικτύου, όπου ο χρήστης καλείται να επιλέξει τη διαδρομή αποθήκευσης του επιθυμητού για επεξεργασία αρχείου. Η υπηρεσία επιτρέπει την υποβολή ενός αρχείου κάθε φορά, ενώ δεν τίθεται μέγιστο όριο όσον αφορά τον συνολικό αριθμό υποβολών δεδομένων από κάθε χρήστη.

<sup>2</sup> Η ηλεκτρονική διεύθυνση της υπηρεσίας είναι: <http://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php?locale=en>

### *Μέθοδος επεξεργασίας*

Η επεξεργασία των δεδομένων GPS από την υπηρεσία CSRS-PPP υλοποιείται μέσω της τεχνικής PPP, η οποία εκτελεί υψηλής ακρίβειας απόλυτο προσδιορισμό θέσης. Συγκεκριμένα, γίνεται επεξεργασία των ψευδοαποστάσεων και της φέρουσας φάσης παρατηρήσεων στις L1 και L2 συχνότητες. Σε περίπτωση αποτυχίας, η επεξεργασία λαμβάνει χώρα στις μετρήσεις ψευδοαποστάσεων μόνο στην συχνότητα L1. Σε περίπτωση αποτυχίας και αυτής της επεξεργασίας, τότε η διαδικασία τερματίζεται ανεπιτυχώς και δεν προκύπτει λύση. Η διαδικασία της μετεπεξεργασίας των δεδομένων μπορεί να υλοποιηθεί τόσο στην στατική (σταθερός δέκτης) όσο και στην κινηματική μέθοδο (κινούμενος δέκτης). Το αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η θέση ενός μοναδικού σημείου και η χρονοσειρά της θέσης αντίστοιχα.

### *Πλαίσιο αναφοράς αποτελεσμάτων*

Η εν λόγω υπηρεσία παρέχει καρτεσιανές και γεωδαιτικές συντεταγμένες των επιθυμητών σημείων σε δύο (2) συστήματα αναφοράς, το ITRF2008 και το NAD83. Ο χρήστης καλείται να επιλέξει ανάμεσα στα δύο παραπάνω συστήματα στην φόρμα υποβολής των αρχείων, με μόνο κριτήριο την καταλληλότητα τους για τον σκοπό της εργασίας του.

### *Παράδοση αποτελεσμάτων*

Με το πέρας της επεξεργασίας των παρατηρήσεων, αποστέλλεται μήνυμα στην διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου που δήλωσε κατά την υποβολή ο χρήστης, το οποίο περιλαμβάνει τα παρακάτω στοιχεία:

- Τρεις συνδέσμους από τους οποίους ο χρήστης μπορεί να λάβει, εντός 24 ωρών, τα τελικά αρχεία που προέκυψαν από τη διαδικασία υπολογισμού των συντεταγμένων των επιθυμητών σημείων, τα οποία περιλαμβάνουν το σύνολο των αποτελεσμάτων.
- Γεωδαιτικές συντεταγμένες μαζί με τα τυπικά τους σφάλματα
- Συντεταγμένες στην Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή
- Ορθομετρικό υψόμετρο
- Καρτεσιανές συντεταγμένες
- Είδος τροχιών και χρονομέτρων που χρησιμοποιήθηκαν
- Ελλειψοειδές αναφοράς που χρησιμοποιήθηκε για την μετατροπή των καρτεσιανών (X, Y, Z) σε γεωδαιτικές συντεταγμένες ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ )
- Έκδοση λογισμικού επεξεργασίας
- Στοιχεία επικοινωνίας με την υπηρεσία

Η έκθεση αναφοράς αποτελεσμάτων που περιλαμβάνεται στους παραπάνω συνδέσμους περιέχει, εκτός από τις γεωδαιτικές συντεταγμένες και τις τυπικές αποκλίσεις τους, πληροφορίες σχετικά με:

- Τις παρατηρήσεις που υποβλήθηκαν (διάρκεια και είδος παρατηρήσεων, τύπος δορυφορικού εντοπισμού, γωνία αποκοπής, τύπος και ύψος κεραίας)
- Το διάγραμμα ορατότητας δορυφόρων που απεικονίζει τα υπόλοιπα μετρήσεων ψευδοαπόστασης
- Τις συγκλίσεις διορθώσεων της αρχικής θέσης
- Την συμπεριφορά χρονομέτρου δέκτη
- Τις ασάφειες και τα υπόλοιπα μετρήσεων φάσης

Στην περίπτωση που η επεξεργασία δεν είναι δυνατή, παρέχονται ηλεκτρονικά μηνύματα αναφοράς σφάλματος, τα οποία σε ορισμένες περιπτώσεις βοηθούν στην αντιμετώπιση των πιθανών σφαλμάτων.

### *Οδηγίες χρήσης*

Προκειμένου να γίνει χρήση της CSRS-PPP, είναι απαραίτητο να γίνει εγγραφή στην υπηρεσία από τον χρήστη, διαφορετικά δεν δίνεται η δυνατότητα επίλυσης των δεδομένων. Μετά την εγγραφή και την επιλογή του εργαλείου CSRS-PPP, ο χρήστης καλείται αρχικά να δηλώσει την διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου που επιθυμεί να αποσταλούν τα αποτελέσματα. Εν συνέχεια, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει μεταξύ της στατικής και κινηματικής μεθόδου επεξεργασίας, καθώς και να επιλέξει το σύστημα αναφοράς στο

οποίο θέλει να προσδιορισθούν οι τελικές του συντεταγμένες. Σημειώνεται, ότι στην περίπτωση που επιλεγεί το σύστημα NAD83, ο χρήστης καλείται να επιλέξει την εποχή στην οποία θα προκύψουν οι συντεταγμένες. Αντίθετα, στην περίπτωση που επιλεγεί το ITRF ως σύστημα αναφοράς, η εποχή θα είναι ίδια με τα δεδομένα GNSS από προεπιλογή. Ακολούθως, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει και να υποβάλλει το αρχείο του, τα αποτελέσματα του οποίου θα αποσταλούν στη διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου που δήλωσε.

### 2.5.3 Υπηρεσία GAPS

Η υπηρεσία GAPS<sup>3</sup> αποτελεί μία από τις διαδικτυακές υπηρεσίες επίλυσης δεδομένων GPS που χρησιμοποιούν την τεχνική PPP. Η συγκεκριμένη υπηρεσία αναπτύχθηκε και παρέχεται δωρεάν από το Πανεπιστήμιο New Brunswick στον Καναδά, ενώ με τον καιρό παρουσιάστηκαν σημαντικές βελτιώσεις και προσθήκες στον πηγαίο κώδικα της διαδικτυακής έκδοσης. Σημαντικό στοιχείο της υπηρεσίας είναι ότι αν και χρησιμοποιείται κυρίως για εντοπισμό θέσης, σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε για επεξεργασία δεδομένων GPS, δίνοντας τη δυνατότητα στον χρήστη να υπολογίζει ιονοσφαιρικές καθυστερήσεις, σφάλματα κώδικα, χρονομέτρων δορυφόρου καθώς και πολυκλαδικής ανάκλασης. Επιπλέον, η υπηρεσία δεν έχει στάσιμο χαρακτήρα καθώς αποτελεί ένα εν εξελίξει έργο στο παραπάνω πανεπιστήμιο, προκειμένου να βελτιωθεί η μοντελοποίηση των σφαλμάτων και να καταστεί έτοιμο για εντοπισμό θέσης με συνδυασμό δεδομένων από τα επερχόμενα συστήματα GNSS.

Η υπηρεσία GAPS, όπως προαναφέρθηκε, έχει υιοθετήσει την τεχνική PPP, έτσι ώστε με παρατηρήσεις από έναν και μόνο δέκτη GPS να παρέχει στον χρήστη ακριβή και αξιόπιστο προσδιορισμό θέσης είτε σε στατικό είτε σε κινηματικό τύπο εντοπισμού. Η ακρίβεια που παρέχεται από την υπηρεσία είναι της τάξης των εκατοστών και των δεκατόμετρων για προσδιορισμό θέσης σε στατική και κινηματική μέθοδο επεξεργασίας αντίστοιχα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης προϊόντων ακριβείας που αφορούν εφημερίδες και χρονόμετρα, τα οποία παράγονται την Διεθνή Υπηρεσία GNSS.

Το μόνο που χρειάζεται ο χρήστης για να κάνει χρήση της συγκεκριμένης υπηρεσίας είναι τα διπλής συχνότητας γεωδαιτικά δεδομένα του σε RINEX μορφή, συλλεχθέντα με την τεχνική του στατικού ή κινηματικού δορυφορικού εντοπισμού, πρόσβαση σε ένα περιηγητή δικτύου μέσω σύνδεσης με το διαδίκτυο και ένας λογαριασμός ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Η επεξεργαστική ισχύς του υπολογιστή του χρήστη δεν παίζει κανένα ρόλο στη διαδικασία, καθώς όλη η επεξεργασία εκτελείται αποκλειστικά στον διακομιστή (server) της υπηρεσίας. Η έκθεση αναφοράς αποτελεσμάτων αποστέλλεται στον λογαριασμό ηλεκτρονικού ταχυδρομείου που δήλωσε ο χρήστης, συνήθως σε σύντομο χρονικό διάστημα.

#### *Δεδομένα μετρήσεων*

Τα αρχεία μετρήσεων που υποβάλλονται στην υπηρεσία για επεξεργασία οφείλουν, αρχικά, να έχουν συλλεχθεί με τη μέθοδο του στατικού ή κινηματικού εντοπισμού, και να περιέχουν παρατηρήσεις φέρουσας φάσης και κώδικα στις δύο συχνότητες L1 και L2. Επίσης, οι παρατηρήσεις που υποστηρίζει η υπηρεσία GAPS είναι μόνο του συστήματος GPS. Όσο αφορά την διάρκεια των παρατηρήσεων, η υπηρεσία υπογραμμίζει ότι δεν υπάρχει ελάχιστο χρονικό διάστημα, όμως η ποιότητα της λύσης θα εξαρτηθεί από αυτήν. Επιπλέον, σημειώνεται ότι η υπηρεσία GAPS δέχεται ως μέγιστη διάρκεια παρατηρήσεων τις 24 ώρες, στην ίδια ημέρα GPS.

#### *Μορφή αρχείων*

Τα υποβληθέντα αρχεία των μετρήσεων οφείλουν να βρίσκονται σε RINEX μορφή (2.10, 2.11) καθώς και να ακολουθείται υποχρεωτικά η ονοματολογία τους σύμφωνα με τις συμβάσεις κατά την υπηρεσία IGS. Επίσης, τα δεδομένα μπορούν να υποβληθούν είτε υπό RINEX συμπιεσμένη μορφή, σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα, είτε υπό μη συμπιεσμένη μορφή.

<sup>3</sup> Η ηλεκτρονική διεύθυνση της υπηρεσίας είναι: <http://gaps.gge.unb.ca/indexv520a.php>

Τύπος συμπίεσης	Επέκταση
UNIX	*.Z
Hatanaka	*.YYd
gzip	*.gz

**Πίνακας 2-2:** Υποστηριζόμενοι τύποι συμπίεσης RINEX αρχείων από την GAPS

**Πηγή:** <http://gaps.gge.unb.ca/>

#### *Υποβολή αρχείων*

Στην υπηρεσία GAPS, η υποβολή των αρχείων γίνεται μέσω μεταφόρτωσης (upload) με χρήση του περιηγητή δικτύου, όπου ο χρήστης καλείται απλώς να επιλέξει την διαδρομή αποθήκευσης του επιθυμητού αρχείου. Αξίζει να σημειωθεί ότι η υπηρεσία επιτρέπει την υποβολή ενός αρχείου κάθε φορά, ενώ δεν υπάρχει μέγιστο όριο όσον αφορά τον συνολικό αριθμό υποβολών αρχείων από κάθε χρήστη.

#### *Μέθοδος επεξεργασίας*

Η μέθοδος επεξεργασίας που υιοθετεί η υπηρεσία GAPS είναι η τεχνική υψηλής ακρίβειας απόλυτου εντοπισμού θέσης, PPP, ενώ το λογισμικό που χρησιμοποιεί είναι το GAPS v.5.2.0. Επίσης, ο τύπος δορυφορικού εντοπισμού για την συλλογή των δεδομένων μπορεί να είναι είτε στατικός είτε κινηματικός.

#### *Πλαίσιο αναφοράς αποτελεσμάτων*

Η υπηρεσία GAPS παρέχει καρτεσιανές και γεωδαιτικές συντεταγμένες των επιθυμητών σημείων στο σύστημα αναφοράς IGS05. Σημειώνεται, ότι για τις καρτεσιανές συντεταγμένες παρέχονται και τα τυπικά σφάλματά τους.

#### *Παράδοση αποτελεσμάτων*

Μετά την υποβολή των επιθυμητών αρχείων και το πέρας της επεξεργασίας, η υπηρεσία αποστέλλει ένα ηλεκτρονικό μήνυμα στην ηλεκτρονική διεύθυνση του χρήστη, το οποίο περιλαμβάνει δύο συνδέσμους με τα αποτελέσματα που προκύπτουν. Ο πρώτος οδηγεί σε ένα HTML έγγραφο που περιέχει βασικά στοιχεία και αποτελέσματα για τη ζητούμενη θέση, ενώ ο δεύτερος οδηγεί στην λήψη ενός συμπίεσμένου αρχείου. Αυτό περιέχει, εκτός από το παραπάνω έγγραφο, μία σειρά από γραφήματα σχετικά με το χρόνο σύγκλισης της λύσης και τις ιονοσφαιρικές παραμέτρους, καθώς και πληροφορίες σχετικά με τις ασάφειες που επιλύθηκαν.

#### *Οδηγίες χρήσης*

Προκειμένου να γίνει χρήση της υπηρεσίας GAPS, ο χρήστης καλείται αρχικά να επιλέξει την διαδρομή αποθήκευσης του προς επεξεργασία αρχείου παρατηρήσεων. Στη συνέχεια, έχει τη δυνατότητα να εισάγει τις a-priori συντεταγμένες του σημείου, ενώ σε διαφορετική περίπτωση θα χρησιμοποιηθούν οι κατά προσέγγιση συντεταγμένες (approximate coordinates) από το υποβληθέν RINEX αρχείο. Ακολούθως, δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει στοιχεία σχετικά με την επεξεργασία των δεδομένων, όπως τον χρόνο έναρξης και λήξης παρατηρήσεων, τον τύπο δορυφορικού εντοπισμού (στατικός ή κινηματικός) και την γωνία αποκοπής.

Χωρίς αυτό να είναι υποχρεωτικό για την επεξεργασία, η υπηρεσία παρέχει στον χρήστη την επιλογή να καθορίσει ορισμένες ατμοσφαιρικές παραμέτρους καθώς και να συμπεριλάβει στην επίλυση συντελεστές για τις ωκεάνιες και γήινες παλίρροιες. Επιπλέον, ο χρήστης μπορεί να μεταφορτώσει δικό του αρχείο BLQ για τον συντελεστή των ωκεάνιων παλίρροιών. Μπορεί, ακόμη, να καθορίσει ακόμα τον τύπο της εικόνας που περιλαμβάνεται στην αναφορά αποτελεσμάτων (EMF ή JPEG), ενώ υποχρεωτική είναι η δήλωση της διεύθυνσης ηλεκτρονικού του ταχυδρομείου που η αναφορά θα αποσταλεί.

## 2.5.4 Υπηρεσία magicPPP

Η υπηρεσία magicPPP<sup>4</sup> αποτελεί διαδικτυακή υπηρεσία επίλυσης δορυφορικών δεδομένων, η οποία αναπτύχθηκε από την εταιρεία GMV ύστερα από 25 χρόνια εμπειρίας στον εντοπισμό θέσης και στον ακριβή προσδιορισμό τροχιών βασισμένο στα συστήματα GNSS. Η υπηρεσία έχει υιοθετήσει την τεχνική PPP ως τεχνική επεξεργασίας, η οποία επιτρέπει στους χρήστες της τον ακριβή προσδιορισμό θέσης ή της τροχιάς με ακρίβεια εκατοστού χρησιμοποιώντας έναν μόνο δέκτη GNSS. Η τεχνική που εφαρμόζεται στην εν λόγω υπηρεσία δεν απαιτεί δεδομένα από σταθμούς αναφοράς συνεχούς λειτουργίας (CORS) σε εγγύς απόσταση από τον χρήστη, σε αντίθεση με άλλες παραδοσιακές τεχνικές για εντοπισμό θέσης με υψηλή ακρίβεια όπως την τεχνική RTK. Για τον λόγο αυτό, η συγκεκριμένη υπηρεσία αποτελεί την ιδανική λύση για ακριβή απεικόνιση τροχιάς (trajectory) σε μεγάλες αποστάσεις ή/και σε περιοχές εκτός κάλυψης των σταθμών CORS.

Κύριος σκοπός της υπηρεσίας είναι να καταστήσει πιο απλή και γρήγορη την επεξεργασία δεδομένων GNSS, να αυξήσει την παραγωγικότητα και να επιταχύνει τον ρυθμό απόκτησης εμπειρίας στη συγκεκριμένη διαδικασία από τους χρήστες της. Ο χρήσης μπορεί, εντός λίγων βημάτων, να μεταφορτώσει τα αρχεία του, να επιλέξει την μέθοδο επεξεργασίας και να αποκτήσει τελικά την ακριβή θέση ή τροχιά του. Η υπηρεσία παρέχει, μαζί με τα τελικά αποτελέσματα, μία πλήρη έκθεση αναφοράς αποτελεσμάτων με συνοπτικές πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα των υποβληθέντων δεδομένων, την διαδικασία υπολογισμού και την ποιότητα του προσδιορισμού θέσης.

### *Δεδομένα μετρήσεων*

Τα αρχεία μετρήσεων που υποβάλλονται στην υπηρεσία για επεξεργασία οφείλουν, αρχικά, να περιέχουν διπλής συχνότητας παρατηρήσεις φέρουσας φάσης και κώδικα και να έχουν συλλεχθεί με τη μέθοδο του στατικού ή κινηματικού εντοπισμού. Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι η υπηρεσία magicPPP υποστηρίζει δεδομένα από τους δορυφορικούς σχηματισμούς GPS, GLONASS και Galileo. Υπογραμμίζει, ωστόσο, ότι δεδομένα GPS προγενέστερα της 01/01/2009 και δεδομένα GLONASS/Galileo προγενέστερα της 01/01/2014 δεν μπορούν να υποστούν επεξεργασία.

Ακολουθως, η εν λόγω υπηρεσία δεν θέτει όριο όσον αφορά την ελάχιστη διάρκεια των παρατηρήσεων, όμως ο μέγιστος όγκος αρχείων που μπορεί να επεξεργαστεί είναι τα 100MB. Επιπλέον, ο ρυθμός καταγραφής τους θα πρέπει να είναι ίσος με έναν από τους επόμενους: 1, 2, 5, 10, 15, 30, 60 ή 300 δευτερόλεπτα.

### *Μορφή αρχείων*

Τα υποβληθέντα αρχεία των μετρήσεων οφείλουν να βρίσκονται στην συμβατική ή Hatanaka μορφή RINEX, ενώ οι εκδόσεις που υποστηρίζονται είναι οι εξής: 2.00, 2.10, 2.11, 3.00, 3.01 και 3.02. Επιπλέον, αναγκαία προϋπόθεση που θέτει η συγκεκριμένη υπηρεσία για τα RINEX αρχεία της είναι αυτά να ακολουθούν υποχρεωτικά τις συμβάσεις ονοματολογίας κατά IGS. Σε διαφορετική περίπτωση, τα αρχεία θα απορριφθούν από την υπηρεσία και θα διακοπεί η επεξεργασία τους.

Τα αρχεία δεδομένων μπορούν, επίσης, να υποβληθούν σε συμπιεσμένη μορφή, με μία από τις παρακάτω συμπιέσεις που υποστηρίζει η εν λόγω υπηρεσία.

Τύπος συμπίεσης	Επέκταση
UNIX	*.Z
ZIP	*.zip
gzip	*.gz

**Πίνακας 2-3:** Υποστηριζόμενοι τύποι συμπίεσης RINEX αρχείων από την magicPPP

**Πηγή:** <http://magicgnss.gmv.com/>

<sup>4</sup> Η ηλεκτρονική διεύθυνση της υπηρεσίας είναι: <http://magicgnss.gmv.com/>



Όμως, στη συγκεκριμένη περίπτωση θα πρέπει το αρχείο να διατηρεί την επέκταση του μαζί με την επέκταση της συμπίεσης (π.χ. gar10750.14o.gz). Τέλος, η υπηρεσία υποστηρίζει (εκτός της μορφής RINEX) και δυαδικές μορφές δεδομένων από τους περισσότερους κατασκευαστές δεκτών.

#### *Υποβολή αρχείων*

Στην υπηρεσία magicPPP, η υποβολή των αρχείων προς επεξεργασία πραγματοποιείται είτε μέσω μεταφόρτωσης (upload) με τον ορισμό της διεύθυνσης αποθήκευσης του αρχείου στην φόρμα υποβολής της υπηρεσίας, είτε με αποστολή ηλεκτρονικού μηνύματος. Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα υπολογισμού θέσης σε πραγματικό χρόνο, όπου παράγονται και αποστέλλονται στον χρήστη οι απαραίτητες διορθώσεις για την θέση του.

#### *Μέθοδος επεξεργασίας*

Η υπηρεσία magicPPP χρησιμοποιεί ως τεχνική επεξεργασίας την τεχνική PPP, ώστε να επιτρέπει τον απόλυτο προσδιορισμό θέσης με υψηλή ακρίβεια (επιπέδου εκατοστού), με την χρήση ενός μόνο δέκτη GPS και χωρίς την βοήθεια δεδομένων από σταθμούς CORS. Η τεχνική αυτή απαιτεί πρόσβαση σε ακριβή προϊόντα εφημερίδων και χρονόμετρων δορυφόρων και σε άλλες διορθώσεις για τους δορυφόρους GPS, GLONASS, Galileo. Συγκεκριμένα, οι ακρίβειες για τις τροχιές και τα χρονόμετρα θα πρέπει να είναι 2 με 4 cm και 0.15 ns αντίστοιχα, για την επίτευξη ικανοποιητικής ακρίβειας.

Προκειμένου, λοιπόν, η υπηρεσία να παρέχει στον χρήστη άμεση ανταπόκριση, μέγιστη αυτονομία και δυνατότητες χρήσης πολλαπλών συστημάτων GNSS, χρησιμοποιεί προϊόντα που παράγονται από το λογισμικό magicODTS της ίδιας εταιρείας, που πραγματοποιεί ακριβή προσδιορισμό τροχιών και διαφοράς χρόνου των συστημάτων. Η παραγωγή τους είναι αυτόματη, μέσω της επεξεργασίας δεδομένων από ένα δίκτυο 50 σταθμών κατανεμημένων στη Γη. Οι προβλέψεις τροχιών ενημερώνονται αυτόματα κάθε 15 λεπτά και οι διορθώσεις χρονόμετρων κάθε δευτερόλεπτο. Ακόμη, οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να επιλέξουν αντίστοιχα προϊόντα από την IGS, στην περίπτωση που επιθυμούν να προβούν σε μετεπεξεργασία των δεδομένων τους.

#### *Πλαίσιο αναφοράς αποτελεσμάτων*

Με το πέρας της επεξεργασίας, παρέχονται στον χρήστη οι καρτεσιανές και γεωδαιτικές συντεταγμένες του επιθυμητού σημείου, στα συστήματα ITRF2005 και WGS84.

#### *Παράδοση αποτελεσμάτων*

Τα αποτελέσματα, που παρέχονται από την μετεπεξεργασία της υπηρεσίας magicPPP, αποστέλλονται στην διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου που έχει δηλώσει ο χρήστης. Συγκεκριμένα, παρέχεται μία έκθεση αναφοράς αποτελεσμάτων σε μορφή PDF, ένα αρχείο SINEX με την προσδιορισμένη θέση, ένα αρχείο KML με την απεικόνιση της τροχιάς του σημείου, και τέλος ένα αρχείο RINEX CLK σχετικό με τα σφάλματα του χρονόμετρου.

#### *Οδηγίες χρήσης*

Η διαδικασία χρήσης της συγκεκριμένης υπηρεσίας ποικίλλει ανάλογα με τον τρόπο που ο χρήστης επιθυμεί να υποβάλλει τα δεδομένα του. Συγκεκριμένα, η magicPPP παρέχει τρεις δυνατές χρήσεις:

1. Η πρώτη περίπτωση περιλαμβάνει την υπηρεσία μετεπεξεργασίας, για την χρήση της οποίας θα πρέπει ο χρήστης να εγγραφεί στην υπηρεσία. Στη συνέχεια, του δίνεται η δυνατότητα να μεταφορτώσει, να αποθηκεύσει και να διαχειριστεί τα αρχεία δεδομένων του στο διαδικτυακό περιβάλλον εργασίας που παρέχει η magicPPP, καθώς και να χρησιμοποιήσει έναν αριθμό εργαλείων για την επεξεργασία των δεδομένων του και την απεικόνιση των τελικών αποτελεσμάτων. Τα αρχεία δεδομένων που υποστηρίζει η υπηρεσία, στην συγκεκριμένη περίπτωση, είναι δυαδικής και RINEX μορφής.

2. Η δεύτερη περίπτωση περιλαμβάνει την επεξεργασία των αρχείων δεδομένων του χρήστη μέσω αποστολής ηλεκτρονικού μηνύματος, χωρίς την απαίτηση εγγραφής στην υπηρεσία. Το μήνυμα αυτό πρέπει να περιλαμβάνει στο θέμα του τον τύπο δορυφορικού εντοπισμού που χρησιμοποιήθηκε κατά τη συλλογή των μετρήσεων, καθώς και το επιθυμητό αρχείο παρατηρήσεων ως επισύναψη στο ίδιο μήνυμα. Έτσι, ο χρήστης λαμβάνει ένα μήνυμα στο ηλεκτρονικό του ταχυδρομείο με τα αποτελέσματα, μετά από σύντομο χρονικό διάστημα.
3. Η τρίτη περίπτωση περιλαμβάνει την χρήση της υπηρεσίας σε πραγματικό χρόνο, σύμφωνα με την οποία παράγονται PPP διορθώσεις, τις οποίες μπορεί να λάβει ο χρήστης ύστερα από την εγγραφή του στην υπηρεσία. Οι διορθώσεις αυτές μπορούν να ληφθούν είτε μέσω του διαδικτύου είτε μέσω δορυφορικού διαύλου επικοινωνίας, αν η χρήση διαδικτύου δεν είναι εφικτή.

### 2.5.5 Συγκεντρωτικός πίνακας υπηρεσιών PPP

Στη συγκεκριμένη ενότητα, παρατίθεται ο συγκεντρωτικός πίνακας των βασικών χαρακτηριστικών των διαδικτυακών υπηρεσιών PPP.

Υπηρεσία	Διάρκεια παρατηρήσεων	Τρόπος υποβολής αρχείων	Μορφή αρχείων	Πρόγραμμα επίλυσης	Αποτελέσματα	Τύπος εντοπισμού
<b>APPS</b>	Ελάχιστη 1 ώρα. Max 10MB	Browser upload, ftp, e-mail	RINEX v.2 ή 2.11 και GIPSY, ασυμπίεστα ή σε συμπιεσμένη μορφή *.zip, *.Z, *.gz	GIPSY/OASIS-II (GOA-II)	Καρτεσιανές και γεωδαιτικές συντ/νες στα συστήματα ITRF08 και WGS84	Στατικός ή κινηματικός
<b>CSRS-PPP</b>	Δεν υπάρχει ελάχιστη. Μέγιστη μέχρι 6 μέρες. (Max 100MB)	Browser upload	RINEX ή Compact (Hatanaka) RINEX, ασυμπίεστα ή σε συμπιεσμένη μορφή *.zip, *.Z, *.gz.	-	Καρτεσιανές και γεωδαιτικές συντ/νες στα συστήματα ITRF05 ή NAD83 (τοπικό καναδικό)	Στατικός ή κινηματικός
<b>GAPS</b>	Δεν υπάρχει ελάχιστη. Μέγιστη μέχρι 24 ώρες (στην ίδια ημέρα GPS)	Browser upload	RINEX ή Compact (Hatanaka) RINEX, ασυμπίεστα ή σε συμπιεσμένη μορφή *.zip, *.Z, *.gz.	GAPS v.5.2.0	Καρτεσιανές και γεωδαιτικές συντ/νες στο σύστημα IGS05.	Στατικός ή κινηματικός
<b>magicPPP</b>	Δεν υπάρχει ελάχιστη. Ρυθμός καταγραφής 1, 2, 5, 10, 15, 30, 60 ή 300 δευτερόλεπτα. Max 100MB	Browser upload ή από ftp του χρήστη ή μέσω e-mail	RINEX ή Compact (Hatanaka) RINEX, ασυμπίεστα ή σε συμπιεσμένη μορφή *.zip, *.Z, *.gz. Δεκτές και δυαδικές μορφές δεδομένων.	-	Καρτεσιανές και γεωδαιτικές συντ/νες στα συστήματα ITRF05 και WGS84	Στατικός ή κινηματικός

## 2.6 Τεχνικές Βελτίωσης PPP

Αν και η μέθοδος εντοπισμού PPP παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα για ένα εκτενές εύρος εφαρμογών από την άποψη ευελιξίας και αποδοτικότητας σε κόστος, δεν μπορεί να παρέχει άμεσες λύσεις καθώς απαιτεί ένα ικανό χρονικό διάστημα ώστε αυτές να συγκλίνουν στο επίπεδο των δέκα ή μερικών εκατοστών. Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζονται οι τεχνικές που εξετάζονται τα τελευταία χρόνια από την επιστημονική κοινότητα, καθώς έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνουν την απόδοση της τεχνικής PPP και αυξάνουν το επίπεδο της παρεχόμενης ακρίβειας. Αυτές είναι η χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS, η επίλυση των αθέσιμων ασαφειών φάσης, ο συνδυασμός με αδρανειακά συστήματα INS, η χρήση ατμοσφαιρικών μοντέλων ακριβείας και η μείωση της πολυκλαδικής ανάκλασης και του θορύβου στις μετρήσεις ψευδοαπόστασης. Μεγαλύτερη βιβλιογραφική εμβάθυνση υπήρξε για τις δύο πρώτες τεχνικές, καθώς αποτελούν τις τεχνικές βελτίωσης που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία.

### 2.6.1 Πολλαπλά συστήματα GNSS

Η εξέλιξη των προϊόντων της υπηρεσίας IGS έχει συμβάλλει καθοριστικά στην παρεχόμενη ακρίβεια προσδιορισμού θέσης από την τεχνική PPP με χρήση δεδομένων μόνο από το σύστημα GPS, καθώς η λύση συγκλίνει στο επίπεδο των 10 εκατοστών στα πρώτα 20 με 30 λεπτά, και σε μερικά εκατοστά σε χρονικό διάστημα τουλάχιστον 1 ώρας. Ωστόσο, η ακρίβεια και η αξιοπιστία του προσδιορισμού θέσης με την τεχνική PPP εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον αριθμό των παρατηρούμενων δορυφόρων (Cai & Gao 2007).

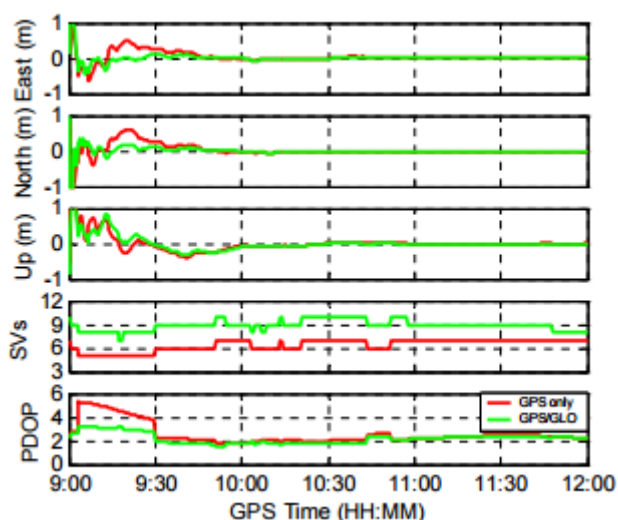
Έτσι, αν και η ακρίβεια που παρέχεται από τη χρήση δεδομένων μόνο GPS είναι ικανοποιητική για ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών, ο μικρός (και ορισμένες φορές ανεπαρκής) αριθμός δορυφόρων του αποτελεί σοβαρό περιορισμό στη χρήση της τεχνικής PPP, ειδικά σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Συγκεκριμένα, σε περιβάλλον αντίξωων συνθηκών (όπως αστικά φαράγγια ή περιοχές με υψηλά κτήρια) όπου ο αριθμός των ορατών δορυφόρων μειώνεται αισθητά, καθώς και σε περιοχές με κακή γεωμετρία δορυφόρων, η παρεχόμενη ακρίβεια θέσης δεν είναι η μέγιστη δυνατή. Έτσι, η αύξηση του αριθμού των διαθέσιμων δορυφόρων είναι απαραίτητη προκειμένου να αλλάξει αυτή η κατάσταση.

Η εν εξελίξει εκτόξευση των δορυφόρων Galileo και BeiDou πρόκειται να χαράξει ένα καινούριο μέλλον στον τομέα του υψηλής ακρίβειας εντοπισμού θέσης και πλοήγησης. Αυτό, αναμφισβήτητα, θα συμβεί τα επόμενα χρόνια καθώς ο συνδυασμός των πολλαπλών συστημάτων GNSS θα οδηγήσει σε σημαντική αύξηση του αριθμού των παρατηρούμενων δορυφόρων, βελτιστοποίηση της χωρικής γεωμετρίας τους και βελτίωση της συνέχειας και αξιοπιστίας του εντοπισμού θέσης (Li et al. 2015). Το βασικό πλεονέκτημα της χρήσης δεδομένων από πολλαπλούς δορυφορικούς σχηματισμούς είναι ότι το μαθηματικό μοντέλο προσδιορισμού θέσης γίνεται πιο ισχυρό και αξιόπιστο λόγω του υψηλού αριθμού δορυφόρων και συχνοτήτων (Odijk 2014). Για τον λόγο αυτό, η Διεθνής Υπηρεσία IGS προχώρησε στην ίδρυση του πιλοτικού προγράμματος MGEX (Multi-GNSS Experiment), έτσι ώστε να φέρει σε επαφή την επιστημονική, και όχι μόνο, κοινότητα με τα αναδυόμενα δορυφορικά συστήματα πλοήγησης.

Παρ' όλα αυτά, η χρήση πολλαπλών δορυφορικών συστημάτων συνεπάγεται δεδομένα φέρουσας φάσης από πολλαπλές συχνότητες, με αποτέλεσμα η πιθανότητα να προκύψουν περισσότερες ολισθήσεις κύκλων να είναι μεγάλη. Για τον λόγο αυτό, θα πρέπει να βελτιωθούν οι υπάρχουσες τεχνικές διόρθωσης ολισθήσεων κύκλων (Odijk 2014).

Επιπρόσθετα, κατά τον συνδυασμό δεδομένων από όλα τα διαθέσιμα δορυφορικά συστήματα θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στα σφάλματα (biases) που υπάρχουν μεταξύ των δορυφορικών σχηματισμών. Μεταξύ αυτών είναι οι διαφορές στα πλαίσια συντεταγμένων που χρησιμοποιεί κάθε σύστημα GNSS, αν και αυτές θεωρούνται μικρές καθώς όλα αυτά τα πλαίσια αποτελούν υλοποιήσεις του Διεθνούς Γήινου Συστήματος Αναφοράς ITRS (International Terrestrial Reference System). Εκτός από αυτές, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι ανοχές (time offsets) στην κλίμακα χρόνου μεταξύ των δορυφορικών συστημάτων. Αυτό συμβαίνει είτε με τον υπολογισμό τους κατά την επεξεργασία PPP είτε επιβάλλοντας διορθώσεις στα δεδομένα παρατηρήσεων. Προκειμένου, λοιπόν, οι παρατηρήσεις από πολλαπλά συστήματα να συγχωνευθούν σε ένα ενιαίο μοντέλο, είναι απαραίτητο να γίνει διόρθωση των σφαλμάτων αυτών (inter-system biases).

Αρκετές μελέτες έχουν γίνει στο παρελθόν με σκοπό την αξιολόγηση της συμβολής περισσότερων δορυφορικών συστημάτων για την βελτίωση ακρίβειας της τεχνικής PPP. Αρχικά, οι Shen & Gao (2006), μετά τη σύγκριση των PPP λύσεων από τη χρήση μόνο του συστήματος GPS και του συνδυασμού GPS/Galileo σε επίπεδο προσομοίωσης, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η χρήση του συνδυασμού συστημάτων οδηγεί σε μείωση του χρόνου σύγκλισης κατά 50% σε σχέση με τη χρήση μόνο του GPS. Έπειτα, παρόμοια μελέτη πραγματοποιήθηκε από τους Cai & Gao (2007), στην οποία όμως έλαβε χώρα συνδυασμός παρατηρήσεων από τα συστήματα GPS και GLONASS. Σε αυτήν παρατηρήθηκε ότι η προσθήκη των δεδομένων GLONASS στο μοντέλο επεξεργασίας είχε σημαντική βελτίωση τόσο στην ακρίβεια εντοπισμού θέσης όσο και τον απαιτούμενο χρόνο σύγκλισης της λύσης. Αν και την συγκεκριμένη χρονική στιγμή υπήρχε μικρός αριθμός δορυφόρων GLONASS σε τροχιά, η βελτίωση της χωρικής γεωμετρίας του συνόλου των δορυφόρων συνέβαλλε στην μείωση του χρόνου σύγκλισης της λύσης.



**Εικόνα 2-13:** Αποτελέσματα επεξεργασίας (στατικές PPP λύσεις κατά North/East/Up, αριθμός δορυφόρων και απεικόνιση δείκτη PDOP) από δεδομένα GPS και GLONASS στον μόνιμο σταθμό HERT της IGS στις 26/04/2007 και 9:00-12:00

**Πηγή: Cai & Gao 2007**

Ακολουθώντας, η εργασία του Cai (2009) επιβεβαίωσε τα παραπάνω αποτελέσματα, αφού έδειξε ότι ο συνδυασμός των συστημάτων GPS και GLONASS στην τεχνική PPP βελτιώνει σε σημαντικό βαθμό την ακρίβεια θέσης, καθώς και τον χρόνο σύγκλισης, συγκριτικά με τη χρήση μόνο του GPS. Στη συγκεκριμένη έρευνα, μελετήθηκαν δεδομένα στατικού χαρακτήρα, συλλεχθέντα σε έξι παγκόσμια καταναμημένους σταθμούς της υπηρεσίας IGS, καθώς και πραγματικών κινηματικών πορειών. Τα ποσοστά βελτίωσης της ακρίβειας θέσης ήταν 40%, 28% και 24% κατά τις διευθύνσεις East, North και Up αντίστοιχα, ενώ παράλληλα παρατηρήθηκε βελτίωση του χρόνου σύγκλισης στις ίδιες διευθύνσεις κατά 21%, 24% και 19% αντίστοιχα. Όσο αφορά τις κινηματικές πορείες, βρέθηκε ότι η επιπρόσθετη χρήση των δεδομένων GLONASS οδήγησαν στην βελτίωση της παρεχόμενης ακρίβειας θέσης κατά 50% στις οριζόντιες διευθύνσεις και 30% στην κατακόρυφη διεύθυνση.

Παρόμοια μελέτη έγινε από τους Anquela et al. (2012), με τη διαφορά ότι στη μελέτη τους συμπεριλήφθηκε και η σύγκριση με τις λύσεις που προέκυψαν από τη χρήση μόνο του συστήματος GLONASS. Στην εν λόγω μελέτη, παρατηρήθηκε ότι η χρήση του συνδυασμένου δορυφορικού σχηματισμού GPS/GLONASS οδηγεί σε μείωση των τιμών RMS (Root Mean Square), που στην προκειμένη περίπτωση αναφέρονται στην ακρίβεια προσδιορισμού θέσης με την τεχνική PPP, κατά 40% στην πλειονότητα των δοκιμών που έλαβαν χώρα σε δυναμικό περιβάλλον. Όσο αφορά τον στατικό PPP προσδιορισμό θέσης, φάνηκε ότι η χρήση των δεδομένων GLONASS δεν συμβάλλει πάντοτε στην βελτίωση του χρόνου σύγκλισης της λύσης.

Μία ακόμη προσέγγιση στη μελέτη του συνδυασμού παρατηρήσεων GPS και GLONASS για την βελτίωση της τεχνικής PPP έγινε από τους Cai & Gao (2013). Με το πέρας της επεξεργασίας τους τόσο σε στατικό όσο και κινηματικό τύπο εντοπισμού, κατέληξαν στο

συμπέρασμα ότι ο συνδυασμός των δύο δορυφορικών σχηματισμών παρέχει σημαντικά βελτιωμένη ακρίβεια θέσης μόνο στην περίπτωση περιορισμένου αριθμού και κακής γεωμετρίας δορυφόρων GPS. Σε αντίθετη περίπτωση, τα αποτελέσματα από τη χρήση μόνο του GPS και αυτά από τη χρήση του συνδυασμού GPS/GLONASS δεν παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές μεταξύ τους.

Εν συνεχεία, μία ολοκληρωμένη έρευνα ανάλυσης και αξιολόγησης της επίδοσης των στατικών PPP λύσεων πραγματοποιήθηκε από τους Yigit et al. (2014), στην οποία έλαβαν χώρα όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί συστημάτων, δηλαδή η χρήση μόνο των συστημάτων GPS και GLONASS καθώς και ο συνδυασμός τους. Στην εν λόγω εργασία, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από 11, ορθά κατανομημένους στην υφήλιο, σταθμούς της Διεθνούς Υπηρεσίας GNSS, και δόθηκε έμφαση τόσο σε μεγάλα όσο και σε μικρά χρονικά διαστήματα παρατηρήσεων. Με το πέρας της εν λόγω ανάλυσης, προέκυψε ότι και οι τρεις δορυφορικοί σχηματισμοί παρέχουν υψηλό επίπεδο ακρίβειας και συνέπεια αποτελεσμάτων μεταξύ τους σε μεγάλα χρονικά διαστήματα (24 και 8 ώρες). Αντίθετα, με την μείωση της χρονικής διάρκειας των παρατηρήσεων, φάνηκε ότι ο συνδυασμός των παρατηρήσεων GPS και GLONASS παρουσιάζει βελτιωμένη ακρίβεια (23% και 62% των δεδομένων διάρκειας 1 ώρας παρουσίασαν ακρίβεια καλύτερη των 2 και 4 εκατοστών αντίστοιχα) στον εντοπισμό θέσης σε σύγκριση με τη χρήση μόνο του συστήματος GPS (17% και 38%) ή μόνο του συστήματος GLONASS (12% και 31%).

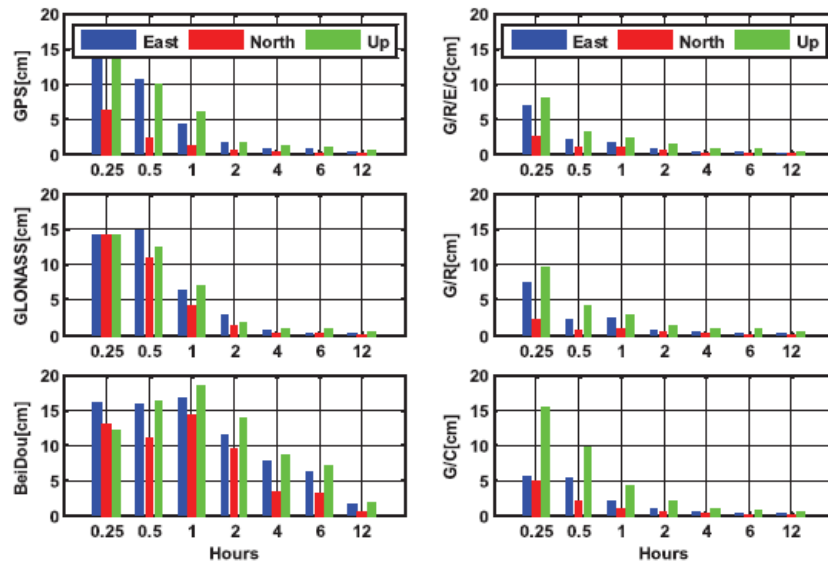
Προκειμένου, ακόμη, να επιταχυνθεί η σύγκλιση και αρχικοποίηση των PPP λύσεων, οι Li & Zhang (2014) εφάρμοσαν ένα διαφορετικό μοντέλο της τεχνικής PPP ώστε να αξιοποιήσουν τα δεδομένα παρατηρήσεων από τα δορυφορικά συστήματα GPS και GLONASS. Το μοντέλο αυτό δεν αποτελεί τον γνωστό γραμμικό συνδυασμό των διαθέσιμων παρατηρήσεων κώδικα και φάσης στις δύο συχνότητες (L1 και L2), αλλά την απλή διαφορά (SD, Single-Difference) των πρωτόλειων δεδομένων φάσης στις δύο συχνότητες. Ο δορυφόρος αναφοράς που χρησιμοποιήθηκε, για τον σχηματισμό των απλών διαφορών των μετρήσεων μεταξύ δορυφόρων, ήταν ο δορυφόρος GPS με την μεγαλύτερη γωνία ύψους. Μέσω της παραπάνω ανάλυσης, παρατηρήθηκε αισθητή μείωση στον μέσο χρόνο σύγκλισης των λύσεων από 22.9 σε 12.4 λεπτά και από 40.6 σε 17.7 λεπτά σε στατικό και κινηματικό τύπο εντοπισμού αντίστοιχα. Επιπλέον, τα πειραματικά αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι όσο λιγότεροι δορυφόροι GPS χρησιμοποιούνται στο μοντέλο επεξεργασίας PPP, τόσο πιο αισθητή είναι η μείωση του χρόνου σύγκλισης της λύσης με την προσθήκη των δεδομένων GLONASS (Li & Zhang 2014).

Σήμερα, η ανάδυση των νέων δορυφορικών σχηματισμών, Galileo και BeiDou, μαζί με την πιλοτική λειτουργία της καμπάνιας MGEX από την Διεθνή Υπηρεσία GNSS, ώθησε την επιστημονική κοινότητα να ασχοληθεί με αυτά, καθώς η αύξηση του αριθμού των δορυφόρων σε τροχιά θα οδηγήσει σε σημαντική βελτίωση των λύσεων από την τεχνική PPP (Li et al. 2015, Cai & Gao 2007).

Συγκεκριμένα, στη μελέτη των Li et al. (2015a) αναπτύχθηκε ένα PPP μοντέλο επεξεργασίας GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou, έτσι ώστε να χρησιμοποιηθούν δεδομένα παρατηρήσεων από όλα τα διαθέσιμα συστήματα GNSS και να διερευνηθεί η συμβολή τους στον εντοπισμό θέσης υψηλής ακρίβειας. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε δεδομένα 100 ημερών (01/09/2014 – 09/12/2014) σε συγκεκριμένους σταθμούς, τα οποία λήφθηκαν από τα δίκτυα MGEX και BETN. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι η χρήση πολλαπλών συστημάτων (GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou) συμβάλλει καθοριστικά στην απόδοση της τεχνικής PPP τόσο σε στατικό όσο και κινηματικό τύπο εντοπισμού, καθώς παρατηρήθηκε βελτίωση στην ακρίβεια θέσης, αισθητή μείωση του χρόνου σύγκλισης της λύσης και πιο σταθερή εξέλιξη των εν λόγω χρονοσειρών.

Επιπλέον, βρέθηκε ότι σε διαστήματα παρατηρήσεων ίδιας διάρκειας, η ακρίβεια που επιτυγχάνεται από τη χρήση πολλαπλών συστημάτων ήταν αισθητά υψηλότερη από αυτή που προέκυψε από τη χρήση ενός μόνο συστήματος GNSS. Για παράδειγμα, σε διάστημα 15 λεπτών και στατικό τύπο εντοπισμού παρατηρήθηκε αύξηση της ακρίβειας της PPP λύσης με χρήση πολλαπλών συστημάτων κατά 55%, 60% και 44% σε σύγκριση με τη χρήση μόνο του συστήματος GPS κατά τις διευθύνσεις East, North και Up αντίστοιχα. Επιπλέον, σε διάστημα 24 ωρών και κινηματικό τύπο εντοπισμού παρατηρήθηκε αντίστοιχη αύξηση κατά 35%, 25% και 30%. Τέλος, παρατηρήθηκε ότι ακόμα και σε μεγάλες γωνίες αποκοπής δορυφόρων, που συνήθως οδηγούν σε σημαντική απώλεια ακρίβειας των PPP λύσεων από

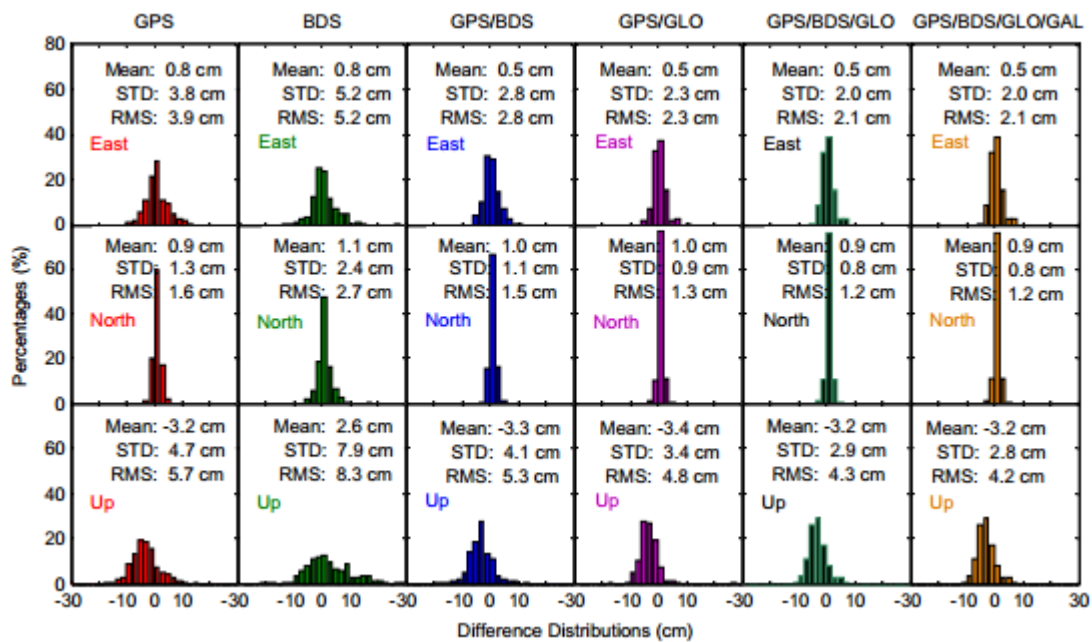
τη χρήση μόνο του συστήματος GPS, η χρήση πολλαπλών συστημάτων μπορεί να παρέχει ακρίβεια μερικών εκατοστών.



**Εικόνα 2-14:** Τιμές RMS των στατικών PPP λύσεων για μεταβλητές χρονικές διάρκειες παρατηρήσεων (15, 30 λεπτά και 1, 2, 4, 6 και 12 ώρες) από συνδυασμένη χρήση δεδομένων GNSS (G: GPS, R: GLONASS, E: Galileo, C: BeiDou)

**Πηγή: Li et al. 2015**

Επιπρόσθετα, πραγματοποιήθηκε ακόμα μία μελέτη (Cai et al. 2015) με σκοπό την διερεύνηση και αξιολόγηση της συμβολής περισσότερων του ενός δορυφορικών συστημάτων στην τεχνική επεξεργασία PPP. Στη μελέτη αυτή λήφθηκαν δεδομένα, τα οποία περιλαμβάνουν παρατηρήσεις από πολλαπλά δορυφορικά συστήματα από 5 σταθμούς, και η επεξεργασία έγινε για το χρονικό διάστημα 08/03/2014 – 23/03/2014. Τα αποτελέσματα της έδειξαν ότι οι προκύπτουσες στατικές PPP λύσεις από τη χρήση μόνο του συστήματος BeiDou έχουν σαφώς μικρότερη ακρίβεια από τις αντίστοιχες με χρήση μόνο του GPS, ενώ ο συνδυασμός των δύο συστημάτων οδηγεί σε βελτίωση της ακρίβειας κατά 28%, 6% και 7% κατά τις διευθύνσεις East, North και Up αντίστοιχα.



**Εικόνα 2-15:** Κατανομές των σφαλμάτων RMS από την PPP επεξεργασία δεδομένων διάρκειας 3 ωρών, συλλεχθέντα σε 5 σταθμούς και για συνολικό διάστημα 16 ημερών, με χρήση των δορυφορικών σχηματισμών GPS, BDS, GPS/BDS, GPS/GLO, GPS/BDS/GLO και GPS/BDS/GLO/GAL (BDS: BeiDou, GLO: GLONASS, GAL: Galileo)

**Πηγή: Cai et al. 2015**

Έπειτα, παρατηρήθηκε ότι ο συνδυασμός συστημάτων GPS/GLONASS παρουσιάζει ελαφρώς καλύτερη ακρίβεια από το συνδυασμό GPS/BeiDou, ενώ παράλληλα ο συνδυασμός των 3 συστημάτων, GPS/GLONASS/BeiDou μειώνει σημαντικά τον χρόνο σύγκλισης της λύσης και παρέχει τη βέλτιστη ακρίβεια σε σύγκριση με τα προηγούμενα. Ωστόσο, η προσθήκη των δορυφόρων Galileo στον προηγούμενο συνδυασμό δεν φάνηκε να οδηγεί σε σημαντική αύξηση της ακρίβειας, λόγω του μικρού αριθμού λειτουργικών δορυφόρων του συστήματος Galileo. Όσο αφορά τον κινηματικό τύπο εντοπισμού, παρατηρήθηκε ότι ο συνδυασμός των τεσσάρων δορυφορικών συστημάτων συμβάλλει αισθητά στη βελτίωση της παρεχόμενης ακρίβειας εντοπισμού θέσης σε σύγκριση με τη χρήση ενός μόνο ή και δύο συστημάτων.

Τέλος, ο συνδυασμός των τεσσάρων προαναφερόμενων δορυφορικών σχηματισμών χρησιμοποιήθηκε και σε μία άλλη έρευνα (Li et al. 2015b), στην οποία όμως δεν πραγματοποιήθηκε μετεπεξεργασία των μετρήσεων, αλλά εντοπισμός σε πραγματικό χρόνο. Στην εν λόγω μελέτη, φάνηκε ότι η ενσωμάτωση δεδομένων από πολλαπλά συστήματα στο μοντέλο επεξεργασίας PPP μειώνει αισθητά το χρόνο σύγκλισης της λύσης (κατά 70%), ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται βελτίωση της ακρίβειας θέσης κατά 25%. Επιπλέον, ο θόρυβος που ενυπάρχει στη χρονοσειρά λύσης που προκύπτει από τη χρήση μόνο του συστήματος GPS φαίνεται να εξομαλύνεται σε μεγάλο βαθμό από τη χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS.

### 2.6.2 Επίλυση ακέραιων ασαφειών φάσης

Η τεχνική PPP έχει τη δυνατότητα να παρέχει σήμερα ακρίβεια προσδιορισμού θέσης στο επίπεδο των δέκα ή ακόμα και μερικών εκατοστών, κάνοντας χρήση του γραμμικού συνδυασμού των διαθέσιμων παρατηρήσεων ψευδοαπόστασης και φάσης. Ωστόσο, για την επίτευξη αυτής της ακρίβειας, απαιτείται ένα σημαντικό χρονικό διάστημα παρατηρήσεων. Την λύση στο πρόβλημα αυτό μπορεί να δώσει η επίλυση των ακέραιων ασαφειών φάσης κατά την επεξεργασία PPP, η οποία θα συμβάλλει αναμφισβήτητα στην ταχύτερη σύγκλιση των εν λόγω λύσεων σε μερικά μόνο λεπτά ή ακόμα και δευτερόλεπτα (Bisnath & Gao 2007).

Όπως φαίνεται στην εξίσωση (2.19), ο όρος των ασαφειών φάσης που ενυπάρχει στο μαθηματικό μοντέλο της τεχνικής PPP δεν αποτελεί ακέραιο, αλλά δεκαδικό αριθμό. Αυτό οφείλεται στις δεκαδικές αρχικές φάσεις FCB (Fractional Cycle Biases) – στην διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται και ως UPD (Uncalibrated Phase Delays) – που δημιουργούνται στα ηλεκτρονικά κυκλώματα των δορυφόρων και δεκτών. Οι συγκεκριμένες φάσεις δεν μπορούν να διαχωριστούν από τις ακέραιες ασάφειες φάσης, και έτσι οι τελικές ασάφειες που υπολογίζονται είναι πραγματικές (δεκαδικές) τιμές με αποτέλεσμα να περιορίζεται η απόδοση της τεχνικής PPP (Pan et al. 2014).

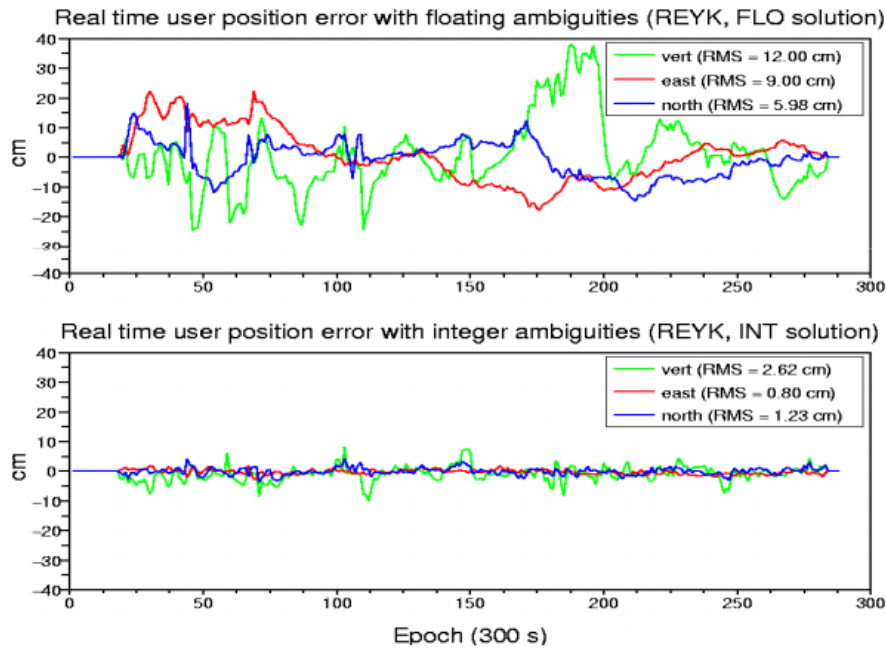
Προκειμένου, λοιπόν, να λάβει χώρα η επίλυση των ακέραιων ασαφειών φάσης στην τεχνική PPP, πρέπει να υπάρξει ένας κατάλληλος χειρισμός των δεκαδικών αρχικών φάσεων στους δορυφόρους και δέκτες. Την παρούσα φάση, χρησιμοποιούνται δύο τρόποι, εκ των οποίων ο πρώτος αφορά τον υπολογισμό τους μέσω ενός δικτύου σταθμών αναφοράς που συχνά αναφέρεται ως PPP-RTK στη βιβλιογραφία (Ge et al. 2008, Geng et al. 2009, Li et al. 2012, Zhang et al. 2013), ενώ ο δεύτερος αφορά την μέθοδο IRC (Integer Recoverable Clock). Μέσω της μεθόδου αυτής, οι δεκαδικές αρχικές φάσεις των δορυφόρων αφομοιώνονται στις διορθώσεις χρονομέτρων των δορυφόρων κατά την δημιουργία των αντίστοιχων προϊόντων (clock products) από τα κέντρα ανάλυσης της Διεθνούς Υπηρεσίας GNSS (Collins 2008, Laurichesse et al. 2009). Σημειώνεται στο σημείο αυτό ότι οι δύο αυτές μέθοδοι βασίζονται, προς το παρόν, στην επεξεργασία μετρήσεων μόνο από το σύστημα GPS.

Η τεχνική PPP-RTK βασίζεται στο συνδυασμό των μεθόδων PPP και δικτυακού RTK και έχει τη δυνατότητα βελτίωσης της απόδοσης της μεθόδου PPP σε πραγματικό χρόνο. Η συγχώνευση των δύο τεχνικών δεν θα συμβάλλει μόνο στην αύξηση της ακρίβειας προσδιορισμού θέσης, αλλά και στην επίτευξη σύγκλισης της PPP λύσης σε αρκετά σύντομο χρονικό διάστημα. Μία τέτοιου είδους συγχώνευση περιγράφηκε στη μελέτη των Wubbena et al. (2005).

Πιο συγκεκριμένα, η ολοκληρωμένη τεχνική PPP-RTK αποτελεί την τεχνική PPP, αλλά με επίλυση των ακέραιων ασαφειών φάσης μέσω ενός δικτύου σταθμών αναφοράς (Wubbena et al. 2005, Teunissen et al. 2010). Προκειμένου, επίσης, η λύση να συγκλίνει σε λιγότερο



από 10 λεπτά, απαιτούνται ακριβείς ιονοσφαιρικές διορθώσεις (Odijk 2014), η παραγωγή των οποίων βασίζεται σε ένα δίκτυο αναφοράς που μπορεί να τις μεταδίδει σε πραγματικό χρόνο.



**Εικόνα 2-16:** Κινηματικές PPP λύσεις σε πραγματικό χρόνο από επεξεργασία πραγματικών ασαφειών φάσης (επάνω) και ακέραιων ασαφειών φάσης (κάτω)  
**Πηγή: Laurichesse & Mercier 2010**

Προς το παρόν, πληροφορίες για τις δεκαδικές αρχικές φάσεις των δορυφόρων (satellite FCB) παρέχονται μόνο από την γαλλική διαστημική υπηρεσία CNES από τον Νοέμβριο του 2009 (προϊόντα "grg"). Συγκεκριμένα, οι δορυφορικές δεκαδικές φάσεις ενσωματώνονται στις διορθώσεις των χρονομέτρων GPS κατά την δημιουργία των αντίστοιχων προϊόντων μέσω λύσης που προκύπτει από δίκτυο αναφοράς βασισμένο σε μετρήσεις φέρουσας φάσης και κάτω από ορισμένες υποθέσεις (Laurichesse 2010, 2011). Ωστόσο, αυτό δεν καθίσταται πλήρως εφικτό στην περίπτωση των δορυφόρων GLONASS, καθώς η φύση των δεκαδικών αρχικών φάσεων των δορυφόρων αυτών είναι ιδιαίτερα σύνθετη (Laurichesse 2011).

Στο σημείο αυτό, κρίθηκε σκόπιμο να περιγραφεί η μεθοδολογία που ακολουθείται από το κέντρο ανάλυσης CNES-CLS της υπηρεσίας IGS για την επίλυση των ακέραιων ασαφειών, καθώς τα προϊόντα FCB της υπηρεσίας CNES χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία. Η μέθοδος αυτή αποτελείται από 2 βήματα, τα οποία περιγράφονται στη συνέχεια. Αρχικά, παρατίθενται οι εξισώσεις παρατηρήσεων για έναν δορυφόρο  $j$  και έναν δέκτη  $i$ , όπως φαίνεται παρακάτω:

$$P_1 = D_1 + e + \Delta h_{P1} \quad (2.49)$$

$$P_2 = D_2 + \gamma e + \Delta h_{P2} \quad (2.50)$$

$$\lambda_1 L_1 = D_1 + \lambda_1 d_w - e + \Delta h_{L1} - \lambda_1 N_1 \quad (2.51)$$

$$\lambda_2 L_2 = D_2 + \lambda_2 d_w - \gamma e + \Delta h_{L2} - \lambda_2 N_2 \quad (2.52)$$

όπου:

- $P_i$  η μέτρηση ψευδοαπόστασης στις συχνότητες L1, L2 (m)
- $L_i$  η μέτρηση φέρουσας φάσης στις συχνότητες L1, L2 (cycles)
- $\lambda_i$  το μήκος κύματος των συχνοτήτων L1, L2
- $D_i$  η γεωμετρική απόσταση μεταξύ δορυφόρου και δέκτη, που περιλαμβάνει τις επιδράσεις διάδοσης του σήματος (m)

$e$	η πρώτη τάξης επίδραση της ιονόσφαιρας
$N_i$	οι ακέραιες ασάφειες φάσης στις συχνότητες L1, L2 (cycles)
$d_w$	η επίδραση phase windup
$\Delta h$	το σφάλμα χρονομέτρου του δέκτη (m) [ $\Delta h = h_i - h^j$ ]
$\gamma$	ο λόγος $\lambda_2^2/\lambda_1^2$

Το πρώτο, λοιπόν, βήμα της μεθοδολογίας για την επίλυση των ακέραιων ασαφειών φάσης στην τεχνική PPP περιλαμβάνει την μετατροπή της wide-lane ασάφειας, δηλαδή της διαφοράς των δύο ασαφειών (μία για κάθε συχνότητα L1, L2), σε ακέραια τιμή μέσω του συνδυασμού Melbourne-Wubben των τεσσάρων παραπάνω εξισώσεων παρατήρησης, ως εξής:

$$L_2 - L_1 - f(P_1, P_2) = -N_w + \Delta h_w \quad (2.53)$$

με

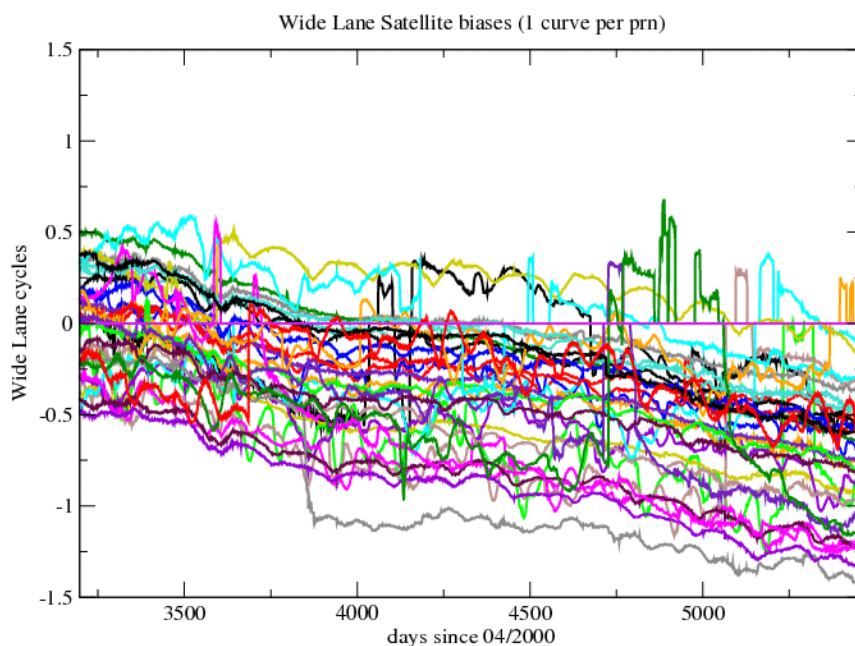
$$\Delta h_w = \mu_i - \mu^j \quad (2.54)$$

όπου:

$N_w$	η ακέραια wide-lane ασάφεια [ $N_w = N_2 - N_1$ ]
$\mu^j$	η wide-lane δεκαδική αρχική φάση του δορυφόρου (satellite bias)
$\mu_i$	η wide-lane δεκαδική αρχική φάση του δέκτη (receiver bias)

Οι wide-lane δεκαδικές αρχικές φάσεις των δορυφόρων και των δεκτών εξαρτώνται μόνο από τον χρόνο, με τις πρώτες να μεταβάλλονται πιο αργά και να παρουσιάζουν διαφορές μικρότερες του κύκλου κατά τη διάρκεια μίας ημέρας (Mercier & Laurichesse 2008). Όσο αφορά τις δεκαδικές φάσεις των δεκτών, αυτές χαρακτηρίζονται από μεγάλη σταθερότητα σε καλής ποιότητας γεωδαιτικούς δέκτες και σε καλές περιβαλλοντικές συνθήκες.

Στην Εικ. 2-17, απεικονίζονται οι δεκαδικές αρχικές φάσεις των δορυφόρων GPS από την 1<sup>η</sup> Απριλίου 2000. Τα διαφορετικά χρώματα απεικονίζουν διαφορετικούς GPS δορυφόρους. Όπως φαίνεται, υπάρχει μεγάλη σταθερότητα των δεκαδικών αρχικών φάσεων των GPS δορυφόρων από μέρα σε μέρα, ενώ συνολικά παρατηρείται μία φθίνουσα πορεία συναρτήσει του χρόνου.



**Εικόνα 2-17:** Οι δεκαδικές αρχικές φάσεις FCB των δορυφόρων GPS από 01/04/2000  
**Πηγή:** <http://igsac-cnes.cls.fr/>

Σε συνέχεια των προηγουμένων, ο συνδυασμός Melbourne-Wubben επιτρέπει στην ασάφεια  $N_w$  να μετατραπεί σε ακέραια τιμή στη φάση προ-επεξεργασίας. Ακολούθως, το δεύτερο βήμα περιλαμβάνει τον συνδυασμό των απαλλαγμένων από την ιονόσφαιρα μετρήσεων φάσης, όπως φαίνεται στη σχέση (2.55).

$$\frac{\gamma \lambda_1 L_1 - \lambda_2 (L_2 + N_w)}{\gamma - 1} = D_c + \lambda_c d_w + \Delta h_c - \lambda_c N_1 \quad (2.55)$$

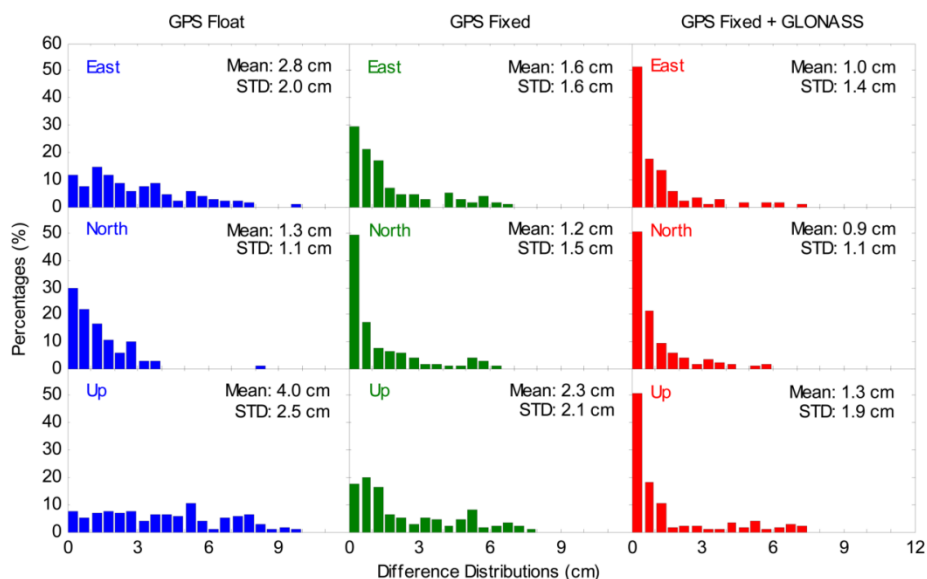
όπου:

$D_c$	ο απαλλαγμένος από την ιονόσφαιρα συνδυασμός της γεωμετρικής απόστασης δορυφόρου - δέκτη [ $D_c = (\gamma D_1 - D_2)/(\gamma - 1)$ ]
$N_1$	η υπολειπόμενη ασάφεια φάσης
$\lambda_c$	το μήκος κύματος που προκύπτει από τον συνδυασμό των παρατηρήσεων [ $\lambda_c = (\gamma \lambda_1 - \lambda_2)/(\gamma - 1) = 10.7 \text{ cm}$ ]
$\Delta h_c$	η διαφορά των ακέραιων φάσεων χρονομέτρου (integer phase clocks) μεταξύ δορυφόρου και δέκτη

Εφόσον, λοιπόν, η wide-lane ασάφεια είναι γνωστή, τότε ο μόνος άγνωστος προς υπολογισμό είναι η υπολειπόμενη ασάφεια φάσης (narrow-lane ασάφεια),  $N_1$ , η οποία μπορεί να υπολογισθεί από το συνδυασμό των μετρήσεων φάσης. Έτσι, το παραπάνω μοντέλο μετατρέπεται σε ένα απλό πρόβλημα με μία συχνότητα, μήκους κύματος  $\lambda_c$ , και χωρίς τη συνεισφορά ιονοσφαιρικών διορθώσεων. Με τον τρόπο αυτό, οι υπολογισθείσες φάσεις χρονομέτρων (phase clocks) χαρακτηρίζονται από την ακέραια φύση τους, η οποία επιτρέπει τον υψηλής ακρίβειας προσδιορισμό θέσης με την τεχνική PPP. Συμπεραίνει, λοιπόν, κανείς ότι η επίλυση ακέραιων ασαφειών φάσης, χωρίς να ληφθούν διαφορές μεταξύ των μετρήσεων (zero-difference), καθίσταται δυνατή στους δέκτες.

Ωστόσο, στην περίπτωση χρήσης πολλαπλών συστημάτων GNSS, η παραπάνω τεχνική επίλυσης των ακέραιων ασαφειών φάσης αντιμετωπίζει το πρόβλημα της μεγάλης διάστασης που αποκτά το διάνυσμα των ασαφειών. Για παράδειγμα, στην περίπτωση λήψης δεδομένων από τρεις δορυφορικούς σχηματισμούς με 3 συχνότητες και 8 δορυφόρους ανά σχηματισμό, το διάνυσμα των ασαφειών αποκτά διάσταση ίση με 63 ( $3 \times 3 \times (8 - 1)$ ) (Odijk 2014). Αντίθετα, στη χρήση μόνο του συστήματος GPS όπως γίνεται στις πρόσφατες μελέτες, το αντίστοιχο διάνυσμα έχει διάσταση 14. Απόρροια, λοιπόν, των παραπάνω είναι ότι η επίλυση ακέραιων ασαφειών φάσης θα πραγματοποιηθεί με πιο αργό ρυθμό, λόγω της μεγάλης διάστασης του διανύσματος των ασαφειών που καθυστερήσει σημαντικά τις εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Παρ' όλα αυτά, το συγκεκριμένο πρόβλημα μπορεί να ξεπεραστεί μέσω τεχνικών που δεν θα επιλύουν ολόκληρο το εν λόγω διάνυσμα, αλλά ένα βέλτιστο υποσύνολο του (Odijk 2014).

Η πρόσφατη μελέτη των Pan et al. (2014), με στόχο την διερεύνηση βελτίωσης της ακρίβειας της τεχνικής PPP με την επίλυση των ακέραιων ασαφειών φάσης, έδειξε ότι η τελευταία παρέχει σημαντικά καλύτερα αποτελέσματα σε σύγκριση με τις PPP λύσεις με πραγματικές ασάφειες φάσης. Συγκεκριμένα, στη εν λόγω μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα GPS και GLONASS από 20 παγκόσμια κατανεμημένους σταθμούς της υπηρεσίας IGS για την περίοδο 01/02/2014 - 02/02/2014. Τα προϊόντα δορυφορικών τροχιών και χρονομέτρων που χρησιμοποιήθηκαν λήφθηκαν από την υπηρεσία CNES, καθώς στα προϊόντων διόρθωσης των χρονομέτρων έχουν ενσωματωθεί οι δεκαδικές αρχικές ασάφειες των δορυφόρων. Τα αποτελέσματα της μελέτης, με την χρήση αρχικά δεδομένων GPS, έδειξαν ότι με την τεχνική επίλυσης ακέραιων ασαφειών φάσης επιτυγχάνεται βελτίωση κατά 43%, 8% και 43% στην ακρίβεια εντοπισμού θέσης, ενώ παράλληλα βελτιώνεται ο χρόνος σύγκλισης της λύσης κατά 47%, 6% και 50% στις διευθύνσεις East, North και Up αντίστοιχα.



**Εικόνα 2-18:** Κατανομή των σφαλμάτων θέσης (positioning errors) από PPP επεξεργασία δεδομένων GPS με πραγματικές ασάφειες φάσης (GPS Float), δεδομένων GPS με ακέραιες ασάφειες φάσης (GPS Fixed) και δεδομένων GPS και GLONASS με ακέραιες ασάφειες φάσης για το σύστημα GPS (GPS Fixed + GLONASS).

**Πηγή: Pan et al. 2014**

Στη συνέχεια, εξετάστηκε το ίδιο σενάριο, αλλά με προσθήκη των δεδομένων GLONASS. Θεωρητικά, ο συνδυασμός των δύο συστημάτων βελτιώνει την λύση που προκύπτει από δεδομένα μόνο GPS με επίλυση των ακέραιων ασαφειών φάσης, καθώς στην περίπτωση των πραγματικών τιμών ασαφειών φάσης έχει αποδειχθεί ότι ο συνδυασμός των δεδομένων GPS και GLONASS βελτιώνει την ακρίβεια εντοπισμού θέσης (Cai & Gao 2007, Anquela et al. 2013, Cai & Gao 2013, Yigit et al. 2014, Li & Zhang 2014, Li et al. 2015a, Li et al. 2015b, Cai et al. 2015). Με το πέρας της επεξεργασίας, αποδείχθηκε ότι το συνδυασμένο μοντέλο GPS και GLONASS με επίλυση των ακέραιων ασαφειών φάσης του συστήματος GPS βελτιώνει σημαντικά την απόδοση της τεχνικής PPP, καθώς παρατηρήθηκε 38%, 25% και 44% αύξηση της ακρίβειας θέσης και 36%, 36% και 29% μείωση του χρόνου σύγκλισης κατά τις τρεις διευθύνσεις αντίστοιχα, σε σύγκριση με τη χρήση μόνο του συστήματος GPS και την επίλυση ασαφειών φάσης.

Στην πρόσφατη μελέτη του Tergedor (2015) πραγματοποιήθηκε η διερεύνηση της χρήσης της τεχνικής PPP-RTK σε συνδυασμό με δεδομένα παρατηρήσεων από όλα τα διαθέσιμα δορυφορικά συστήματα GNSS. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην εν λόγω μελέτη λήφθηκαν από τα δίκτυα MGEX και EPN (EUREF Permanent GNSS Network), ενώ παράλληλα έγινε προσπάθεια προσδιορισμού των δεκαδικών αρχικών φάσεων των δορυφόρων Galileo και BeiDou. Τα αποτελέσματα των δοκιμών, που έλαβαν χώρα σε κινούμενο πλοίο, έδειξαν ότι η επίλυση των ακέραιων ασαφειών φάσης μέσω δικτύου αναφοράς συμβάλλει στην αισθητή αύξηση της ακρίβειας προσδιορισμού θέσης. Παράλληλα, η χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS φάνηκε ότι παρέχει τη βέλτιστη ακρίβεια, αν και η προσθήκη των δορυφόρων Galileo και BeiDou είχε μικρή επίδραση στην βελτίωση αυτή (Tergedor 2015).

### 2.6.3 Χρήση αδρανειακών συστημάτων INS

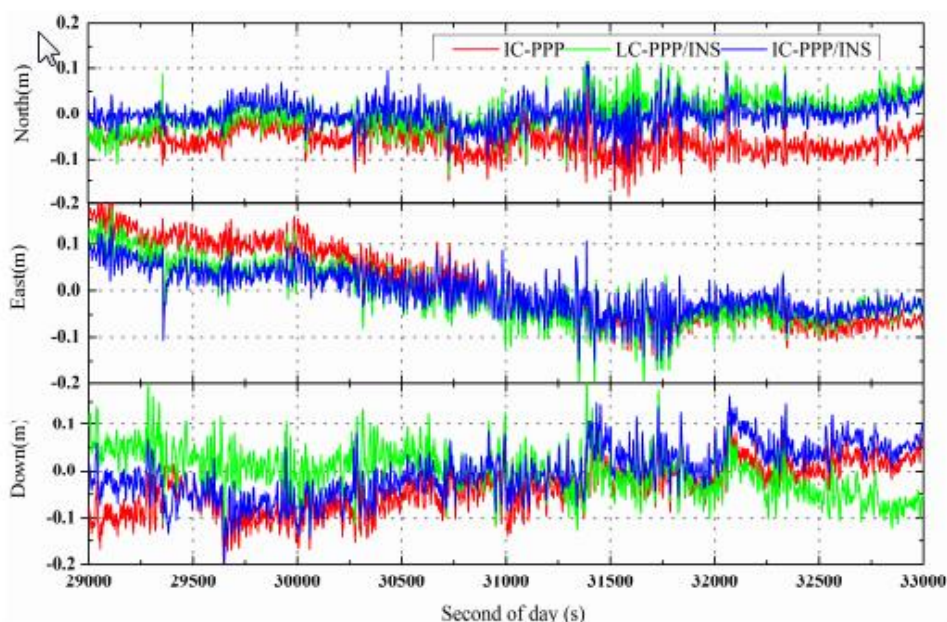
Στο παρελθόν, έχουν υπάρξει αρκετές μελέτες σχετικά με το συνδυασμό συστημάτων GNSS και αδρανειακών συστημάτων πλοήγησης INS (Inertial Navigation System), καθώς αυτός παρέχει ορισμένα πλεονεκτήματα. Μεταξύ των βασικότερων είναι ο βελτιωμένος προσδιορισμός ολισθήσης κύκλων, η εξομαλυμένη εξαγωγή τροχιάς και η αυξημένη αξιοπιστία.

Συγκεκριμένα, ο συνδυασμός των αδρανειακών και δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης μπορεί να επιφέρει σημαντικά αποτελέσματα στην τεχνική PPP. Ένα από αυτά είναι η μείωση του χρόνου αρχικοποίησης της λύσης, καθώς τα αδρανειακά συστήματα INS μπορούν να παρέχουν ακριβείς πληροφορίες θέσης και ταχύτητας σε μικρές χρονικές περιόδους, γεγονός το οποίο οδηγεί σε μείωση του χρόνου σύγκλισης των PPP λύσεων

(Bisnath & Gao 2007). Η υλοποίηση αυτή είναι σημαντική στις εφαρμογές εντοπισμού θέσης, και ιδιαίτερα σε κινηματικές εφαρμογές πραγματικού χρόνου καθώς στοιχεία του περιβάλλοντος, όπως υψηλά κτήρια και δέντρα, προκαλούν αποκλεισμό στη λήψη σημάτων. Παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών είναι τα UAV (Unmanned Air Vehicles) συστήματα πλοήγησης, η αυτοματοποίηση επίγειων οχημάτων (land vehicle/machine automation) και συστήματα κινητής χαρτογράφησης (Du & Gao 2012).

Στα πλαίσια της μελέτης των Zhang & Gao (2005), αναπτύχθηκε ένα ολοκληρωμένο σύστημα GPS/INS με την τεχνική PPP, έτσι ώστε να λάβει χώρα η διαδικασία της γεωαναφοράς σε εναέρια χαρτογράφηση. Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι το προαναφερόμενο σύστημα παρείχε ακρίβεια ισοδύναμη με αυτή που επιτυγχάνεται σε ένα διαφορικό σύστημα GPS/INS.

Παρόμοια μελέτη έγινε από τους Du & Gao (2012), με στόχο την πιο ακριβή ανίχνευση και ταυτοποίηση των ολισθήσεων κύκλων. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής έδειξαν ότι οι τελευταίες μπορούν να προσδιορισθούν με μεγάλο επίπεδο εμπιστοσύνης τόσο με υψηλής όσο και χαμηλής ποιότητας μονάδες αδρανειακών μετρήσεων IMU (Inertial Measurement Unity). Ως αποτέλεσμα, μπορεί να υπάρξει σημαντική βελτίωση της απόδοσης του ολοκληρωμένου συστήματος GPS/INS ως προς την πλοήγηση.



**Εικόνα 2-19:** Διαφορές θέσης κατά τις διευθύνσεις North, East, Down από PPP επεξεργασία δεδομένων με χρήση ιονοσφαιρικών διορθώσεων (IC-PPP, κόκκινη γραμμή), με τον γραμμικό συνδυασμό των διαθέσιμων παρατηρήσεων σε συνδυασμό με αδρανειακό σύστημα (LC-PPP/INS, πράσινη γραμμή) και με χρήση ιονοσφαιρικών διορθώσεων σε συνδυασμό με αδρανειακό σύστημα (IC-PPP/INS, μπλε γραμμή)

**Πηγή: Gao et al. 2015**

Τέλος, η πρόσφατη μελέτη των Gao et al. (2015) επαληθεύει τα παραπάνω αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, η διαφορά με τις προηγούμενες είναι ότι στην προκειμένη περίπτωση δεν χρησιμοποιήθηκε ο γραμμικός συνδυασμός των διαθέσιμων δεδομένων (LC, Linear Combination), αλλά τα πρωτογενή δεδομένα με εφαρμογή ιονοσφαιρικών διορθώσεων (IC, Ionosphere-Constrained). Με το πέρας της επεξεργασίας των δεδομένων, που συλλέχθηκαν από εναέρια και επίγεια οχήματα, παρατηρήθηκε σημαντική βελτίωση σε σύγκριση με το συμβατικό ολοκληρωμένο σύστημα PPP/INS, που χρησιμοποιήθηκε στις προηγούμενες μελέτες.

#### 2.6.4 Χρήση ατμοσφαιρικών μοντέλων ακριβείας

Όπως φάνηκε σε προηγούμενη ενότητα, μία από τις άγνωστες παραμέτρους του μοντέλου επεξεργασίας της μεθόδου PPP είναι η επίδραση της τροπόσφαιρας. Το μοντέλο αυτό μπορεί να υποστεί μία μείωση του αριθμού των παραμέτρων του, μέσω της εφαρμογής ατμοσφαιρικών μοντέλων ακριβείας. Η μέθοδος αυτή οδηγεί αφενός στην αποφυγή

δημιουργίας του γραμμικού συνδυασμού των διαθέσιμων παρατηρήσεων ψευδοαπόστασης και φέρουσας φάσης (μέσω του οποίου ο θόρυβος σχεδόν τριπλασιάζεται), και αφετέρου στην βελτίωση της ακρίβειας προσδιορισμού θέσης (Dodd et al. 2006). Επιπλέον, η παραπάνω μέθοδος παρέχει τη δυνατότητα μείωσης του χρόνου σύγκλισης των PPP λύσεων.

Η συγκεκριμένη τεχνική βελτίωσης της ακρίβειας της μεθόδου PPP μελετήθηκε από τους Yao et al. (2013), οι οποίοι διερεύνησαν την χρήση περιφερειακών μοντέλων ιονόσφαιρας για την επιτάχυνση σύγκλισης των PPP λύσεων. Συγκεκριμένα, η προσέγγιση τους δεν βασίστηκε σε ιονοσφαιρικά μοντέλα χωρικού επιπέδου (όπως οι χάρτες ιονόσφαιρας GIM), αλλά στην μοντελοποίηση της επίδρασης της ιονόσφαιρας για κάθε δορυφόρο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χρήση τέτοιων μοντέλων συμβάλλει καθοριστικά στη μείωση του χρόνου σύγκλισης της λύσης, καθώς το 50% των εξεταζόμενων σταθμών παρουσίασε σύγκλιση στα 20 εκατοστά εντός 5 λεπτών. Επιπλέον, θετικά ήταν τα αποτελέσματα και για τις λύσεις PPP με τη χρήση δεκτών GNSS μονής συχνότητας (single-frequency PPP), καθώς σημειώθηκε αισθητή αύξηση της ακρίβειας τους.

Εν αντιθέσει με την προηγούμενη, η μελέτη των Zhang et al. (2013) έκανε χρήση των ιονοσφαιρικών παγκόσμιων μοντέλων σε μορφή χάρτη GIM, προκειμένου να διαπιστώσει τις τυχόν βελτιώσεις που υπάρχουν στο χρόνο σύγκλισης των PPP λύσεων. Στη μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από 300 σταθμούς του δικτύου της IGS, ενώ οι χάρτες ιονόσφαιρας λήφθηκαν από την υπηρεσία IGS. Με το πέρας της διερεύνησης, παρατηρήθηκε ότι η εφαρμογή τέτοιων μοντέλων στην επεξεργασία PPP, και όχι η χρήση του γραμμικού συνδυασμού των διαθέσιμων παρατηρήσεων για την απαλοιφή της πρώτης τάξης επίδρασης της ιονόσφαιρας, προκαλεί αισθητή βελτίωση στο χρόνο σύγκλισης της λύσης, της τάξης του 28%. Σημειώνεται, ωστόσο, ότι περιφερειακά και πιο πυκνά δίκτυα GNSS μπορούν να παρέχουν ακόμα πιο ακριβείς διορθώσεις της ιονόσφαιρας, με αποτέλεσμα να βελτιώνεται ακόμα περισσότερο η σύγκλιση των PPP λύσεων. Πειραματικά αποτελέσματα από την συγκεκριμένη μελέτη έδειξαν ότι ο χρόνος σύγκλισης, με χρήση ιονοσφαιρικών διορθώσεων από δίκτυο αναφοράς, μειώνεται κατά 30%.

### **2.6.5 Μείωση πολυκλαδικής ανάκλασης και θορύβου**

Μία από τις τεχνικές βελτίωσης της μεθόδου PPP, που δεν έχει μελετηθεί εκτενώς στο παρελθόν αλλά μπορεί να συμβάλλει στη μείωση του χρόνου σύγκλισης των λύσεων, είναι η μείωση της πολυκλαδικής ανάκλασης και του θορύβου των μετρήσεων ψευδοαπόστασης.

Η πολυκλαδική ανάκλαση προκύπτει όταν το σήμα ταξιδεύει από το δορυφόρο έως τον δέκτη μέσω πολλαπλών διαδρομών λόγω ανάκλασης του πρώτου (Bisnath & Langley 2001), και εισάγει σφάλμα τόσο στις μετρήσεις ψευδοαπόστασης όσο και στις μετρήσεις φάσης. Το μέτρο αυτών των σφαλμάτων μπορεί να φθάσει τα 10 με 20 μέτρα για τις μετρήσεις ψευδοαπόστασης και τα 5 εκατοστά για τις μετρήσεις φέρουσας φάσης (Wells et al. 1986). Όσο αφορά τον θόρυβο στις μετρήσεις ψευδοαπόστασης, αυτός προέρχεται από τα ηλεκτρονικά κυκλώματα ή την κεραία του δέκτη (Seepersad 2012).

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, η τεχνική επεξεργασίας PPP απαιτεί ένα χρονικό διάστημα 20 – 30 λεπτών προκειμένου οι ασάφειες φάσης να συγκλίνουν σε σταθερές τιμές και να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ακρίβεια των PPP λύσεων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο προσδιορισμός των προαναφερθεισών ασαφειών πραγματοποιείται μέσω των μετρήσεων ψευδοαπόστασης που εμπεριέχουν θόρυβο. Συνεπώς, καταλήγει κανείς στο συμπέρασμα ότι χρησιμοποιώντας μετρήσεις ψευδοαπόστασης με λιγότερο ή και καθόλου θόρυβο, ο χρόνος σύγκλισης των PPP λύσεων θα ήταν σημαντικά μικρότερος. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω κατάλληλων τεχνικών μείωσης της πολυκλαδικής ανάλυσης και του θορύβου των εν λόγω μετρήσεων.

Στην πρόσφατη μελέτη του Seepersad (2012), έλαβε χώρα η παραπάνω διερεύνηση με στόχο την μείωση του χρόνου που απαιτείται ώστε να επιτευχθεί σύγκλιση της PPP λύσης. Για την μείωση των σφαλμάτων πολυκλαδικής ανάλυσης και θορύβου στις μετρήσεις ψευδοαπόστασης, εφαρμόστηκαν τρεις μέθοδοι: α) ο κινητός μέσος όρος (running average), β) η χρήση των τιμών πολυκλαδικής ανάλυσης (multipath observable) της προηγούμενης από την εξεταζόμενη ημέρα και γ) η χρήση των τιμών πολυκλαδικής ανάλυσης της ίδιας ημέρας. Από τις δοκιμές που έλαβαν χώρα, παρατηρήθηκε ότι η τρίτη μέθοδος ήταν η πιο αποτελεσματική καθώς αφαιρέθηκε επιτυχώς το σφάλμα πολυκλαδικής

ανάλυσης και ο θόρυβος των μετρήσεων ψευδοαπόστασης, ενώ παράλληλα υπήρξε βελτίωση στην απόδοση της τεχνικής PPP κατά 47%. Επιπλέον, ο Seepersad διερεύνησε την τεχνική αντιστάθμισης της πολυκλαδικής ανάκλασης στις μετρήσεις ψευδοαπόστασης (pseudorange multipath de-weighting), κάνοντας χρήση είτε της γωνίας ύψους είτε των τιμών πολυκλαδικής ανάκλασης (multipath observables). Τα αποτελέσματα από την τεχνική αυτή έδειξαν ότι υπάρχει αισθητή μείωση στο χρόνο σύγκλισης των PPP λύσεων κατά 39% και 36% με τη χρήση της γωνίας ύψους και των τιμών πολυκλαδικής ανάκλασης αντίστοιχα. Σε σύγκριση με τις προηγούμενες μεθόδους, η τελευταία αποδείχθηκε περισσότερο αποδοτική, καθώς έχει τη δυνατότητα να μειώνει τις επιδράσεις της πολυκλαδικής ανάκλασης και του θορύβου των μετρήσεων κώδικα σε πραγματικό χρόνο.





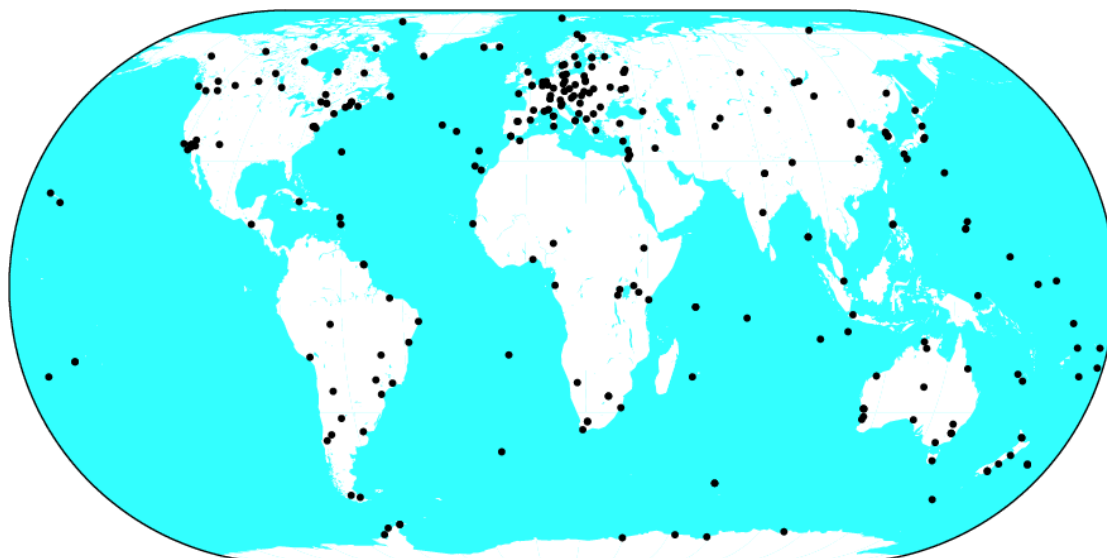
# 3 ΔΙΕΘΝΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑ GNSS

Στόχος του κεφαλαίου αυτού είναι η παρουσίαση και περιγραφή των χαρακτηριστικών και των βασικών λειτουργιών της Διεθνούς Υπηρεσίας IGS (International GNSS Service), της οποίας αντικείμενο είναι η συλλογή, επεξεργασία, ανάλυση και διανομή δεδομένων GNSS. Ειδικότερα, το κεφάλαιο αυτό διαχωρίζεται σε δύο επιμέρους ενότητες με βάση το περιεχόμενό τους. Στην πρώτη ενότητα, γίνεται μία σύντομη αναφορά στην υπηρεσία IGS και τις λειτουργίες της. Ακολούθως, στην δεύτερη ενότητα παρουσιάζεται το πρόσφατα υλοποιημένο πιλοτικό πρόγραμμα της υπηρεσίας IGS, MGEX (Multi-GNSS Experiment), το οποίο αποτελεί μία πρώιμη πλατφόρμα παροχής δεδομένων από πολλαπλά δορυφορικά συστήματα GNSS.

## 3.1 Υπηρεσία IGS

Η Διεθνής Υπηρεσία GNSS, εναλλακτικά IGS, αποτελεί μία εθελοντική ομοσπονδία που αποτελείται από περισσότερες από 200 υπηρεσίες, πανεπιστήμια και ερευνητικά ιδρύματα παγκοσμίως, και έχει ως κύριο στόχο την συγκέντρωση, επεξεργασία και διάθεση δεδομένων από μόνιμους σταθμούς και προϊόντων των συστημάτων GNSS.

Η υπηρεσία IGS ιδρύθηκε το 1993 από την Διεθνή Ένωση Γεωδαισίας IAG (International Association of Geodesy), και ξεκίνησε επίσημα την λειτουργία της τον Ιανουάριο του 1994. Παρ' όλα αυτά, η υπηρεσία παρέιχε ελεύθερα δορυφορικές τροχιές ακριβείας, διορθώσεις χρονομέτρων του συστήματος GPS και άλλα προϊόντα στην διεθνή επιστημονική κοινότητα από τον Ιούνιο του 1992, όποτε και ονομαζόταν Διεθνής Υπηρεσία GPS (International GPS Service for Geodynamics). Η σύγχρονη ονομασία της υπηρεσίας υιοθετήθηκε το 2005 με την πρόθεση να ενσωματώσει, εκτός από το αμερικάνικο σύστημα GPS (Global Positioning System), και άλλα δορυφορικά συστήματα GNSS, όπως το ρωσικό GLONASS, το ευρωπαϊκό Galileo, το κινεζικό BeiDou και το ιαπωνικό QZSS.



**Εικόνα 3-1:** Η παγκόσμια κατανομή των σταθμών GPS/GLONASS του δικτύου της IGS  
**Πηγή:** [www.igs.org](http://www.igs.org) (2015)

Η IGS λειτουργεί ως μία εθελοντική, μη εμπορική και αυτοδιοικήτη συνομοσπονδία από περίπου 200 υπηρεσίες και ιδρύματα σε περισσότερες από 100 χώρες, τα οποία συνεισφέρουν με δικούς τους πόρους καθώς δεν υπάρχει κεντρική πηγή χρηματοδότησης (Dow et al. 2009). Σήμερα, το δίκτυο της αποτελείται από περισσότερους από 400 μόνιμους

συνεχώς λειτουργικούς σταθμούς που παρακολουθούν τόσο το δορυφορικό σύστημα GPS όσο και το GLONASS, το οποίο φαίνεται στην Εικ. 3-1. Μέσω των κέντρων ανάλυσης AC (Analysis Centers) και των ομάδων εργασίας WG (Working Groups) που την συνιστούν, η υπηρεσία εξελίσσεται και αναπτύσσεται συνεχώς. Αξίζει να σημειωθεί ότι η υπηρεσία IGS αποτελεί την κύρια πηγή για γενική πρόσβαση και συνεχή ανάπτυξη του υψηλής ακρίβειας πλαισίου αναφοράς ITRF (International Terrestrial Reference Frame) της υπηρεσίας IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service) που παρέχει δεδομένα για τον προσανατολισμό της γης, τα διεθνή γήινα και ουράνια συστήματα αναφοράς.

Τα δορυφορικά δεδομένα παρατηρήσεων και τα υψηλής ακρίβειας προϊόντα που παρέχει η IGS χρησιμοποιούνται κυρίως για την υποστήριξη ερευνών σχετικά με της γήινες επιστήμες και διεπιστημονικών εφαρμογών. Επίσης, η εν λόγω υπηρεσία αποτελείται από 4 παγκόσμια κέντρα δεδομένων (Global Data Centers), 6 περιφερειακά κέντρα δεδομένων (Regional Data Centers), 17 λειτουργικά κέντρα δεδομένων (Operational Data Centers), 12 κέντρα ανάλυσης (Analysis Centers) και ένα σημαντικό αριθμό περιφερειακών συνεργατικών κέντρων ανάλυσης.

### 3.1.1 Προϊόντα IGS

Ως μέρος του Παγκόσμιου Γεωδαιτικού Συστήματος Παρατήρησης GGOS (Global Geodetic Observing System), η υπηρεσία IGS διαχειρίζεται ένα παγκόσμιο δίκτυο μόνιμων σταθμών GPS και GLONASS, κέντρων δεδομένων και κέντρων ανάλυσης προκειμένου να συλλέγει, αρχειοθετεί, αναλύει και διανέμει δεδομένα από μόνιμους σταθμούς των παραπάνω πλήρως επιχειρησιακών δορυφορικών συστημάτων. Τα δεδομένα αυτά, εν συνεχεία, αποτελούν τη βάση για την παραγωγή υψηλής ακρίβειας προϊόντων (products) που περιλαμβάνουν πληροφορίες, απαραίτητες για τις γεωεπιστήμες, τις εφαρμογές εντοπισμού, πλοήγησης και χρόνου PNT (Positioning, Navigation, Timing), καθώς και εκπαιδευτικές και διεπιστημονικές εφαρμογές.

Συγκεκριμένα, τα προϊόντα αυτά περιλαμβάνουν:

- Δορυφορικές εφημερίδες GNSS
- Παραμέτρους περιστροφής της Γης
- Συντεταγμένες και ταχύτητες των μόνιμων σταθμών
- Πληροφορίες για τα χρονόμετρα δορυφόρων και μόνιμων σταθμών
- Τιμές για την ζενίθια τροποσφαιρική καθυστέρηση
- Παγκόσμιους ιονοσφαιρικούς χάρτες

Ο ρόλος των παραπάνω είναι ιδιαίτερα καθοριστικός για τις εξής επιστημονικές δραστηριότητες (IGS 2015):

- Βελτίωση και επέκταση του Διεθνούς Γήινου Πλαισίου Αναφοράς ITRF, για το οποίο είναι υπεύθυνη η Διεθνής Υπηρεσία IERS για την Περιστροφή της Γης και τα Συστήματα Αναφοράς.
- Παρακολούθηση των παραμορφώσεων του στερεού φλοιού της Γης και των μεταβολών του υγρού μέρους της (στάθμη θάλασσας, παγόβουνα, κ.ά.).
- Παρακολούθηση της γήινης περιστροφής
- Παρακολούθηση της συμπεριφοράς της ιονόσφαιρας και της τροπόσφαιρας
- Προσδιορισμός των δορυφορικών τροχιών

Στους παρακάτω πίνακες παρατίθενται ενδεικτικά το είδος (type), η ακρίβεια (accuracy), η χρονική καθυστέρηση (latency), η ανανέωση (update) και ο ρυθμός δειγματοληψίας των προϊόντων τροχιών και χρονομέτρων GPS και GLONASS, που παρέχει η Διεθνής Υπηρεσία GNSS. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι τα τελικά προϊόντα που παρέχει η IGS χαρακτηρίζονται από υψηλή ακρίβεια (<3 cm στις τροχιές και <1 nsec για τις διορθώσεις των χρονομέτρων), με απώτερο σκοπό την υποστήριξη μεγάλους εύρος εφαρμογών ακρίβειας. Επιπλέον, φαίνεται ότι τα γρήγορα (rapid) προϊόντα δεν υστερούν ουσιαστικά σε ακρίβεια σε σχέση με τα τελικά (final), παρά μόνο στον χρόνο διάθεσης τους. Αυτό αποτελεί και έναν από τους κύριους στόχους της IGS, δηλαδή την παροχή προϊόντων υψηλής ακρίβειας (συγκρίσιμης με τα τελικά) αλλά σε πραγματικό ή σχεδόν πραγματικό χρόνο.

Type		Accuracy	Latency	Updates	Sample Interval
Broadcast	Orbits	~100 cm	Real Time	--	Daily
	Sat. Clocks	~5 ns RMS ~2.5 ns SDev			
Ultra-Rapid (predicted half)	Orbits	~5 cm	Real Time	at 03, 09, 15, 21 UTC	15 min
	Sat. Clocks	~3 ns RMS ~1.5 ns SDev			
Ultra-Rapid (observed half)	Orbits	~3 cm	3-9 hours	at 03, 09, 15, 21 UTC	15 min
	Sat. Clocks	~150 ps RMS ~50 ps SDev			
Rapid	Orbits	~2.5 cm	17-41 hours	at 17 UTC daily	15 min
	Sat. & Stn. Clocks	~75 ps RMS ~25 ps SDev			5 min
Final	Orbits	~2.5 cm	12-18 days	every Thursday	15 min
	Sat. & Stn. Clocks	~75 ps RMS ~20 ps SDev			Sat.: 30s Stn.: 5m

**Πίνακας 3-1:** Γεωδαιτικά προϊόντα δορυφορικών τροχιών GPS και χρονομέτρων των δορυφόρων GPS και των μόνιμων σταθμών, διαθέσιμα από την υπηρεσία IGS

Πηγή: [www.igs.org](http://www.igs.org)

Type		Accuracy	Latency	Updates	Sample Interval
Final	Orbits	~3 cm	12-18 days	every Thursday	15 min

**Πίνακας 3-2:** Γεωδαιτικά προϊόντα δορυφορικών τροχιών GLONASS, διαθέσιμα από την υπηρεσία IGS

Πηγή: [www.igs.org](http://www.igs.org)

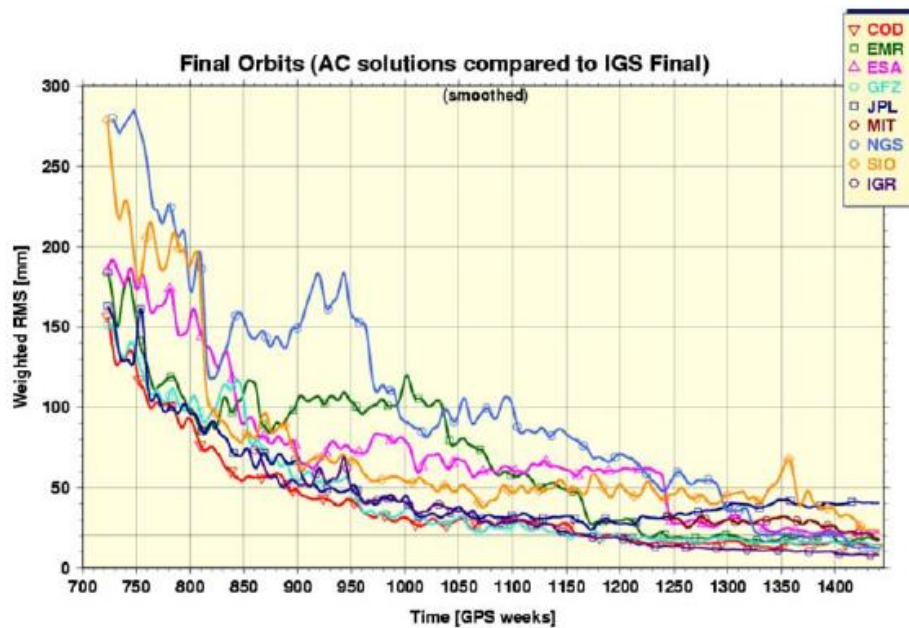
Σήμερα, τα τελικά προϊόντα απαιτούν χρονικό διάστημα 18 ημερών προκειμένου να γίνουν διαθέσιμα. Όπως γίνεται αντιληπτό, η χρήση τους είναι δυνατή μόνο για την μετεπεξεργασία των δεδομένων, δηλαδή την επεξεργασία των παρατηρήσεων μετά την συλλογή τους, και όχι σε πραγματικό χρόνο. Συνεπώς, οι χρήστες που εκτελούσαν μέχρι πρότινος εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο, ήταν περιορισμένοι όσο αφορά την ακρίβεια των παρεχόμενων δεδομένων, καθώς τα μόνα διαθέσιμα προϊόντα σε πραγματικό χρόνο ήταν το προβλεπόμενο μέρος (predicted part) των πολύ γρήγορων (ultra-rapid) προϊόντων (Hadas & Bosy 2014). Ωστόσο, τα τελευταία υστερούν αρκετά σε ακρίβεια, καθώς αποτελούν προβλεπόμενα προϊόντα (predicted products) και δεν προέρχονται από πραγματικές παρατηρήσεις.

Έτσι, η υπηρεσία IGS προχώρησε το 2001 στην δημιουργία της ομάδας εργασίας για την δημιουργία πλατφόρμας εκπομπής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, IGS Real-Time Working Group (RTWG), έτσι ώστε να εξυπηρετήσει τις εφαρμογές πραγματικού χρόνου, το οποίο περιγράφεται στην ενότητα (3.1.2).

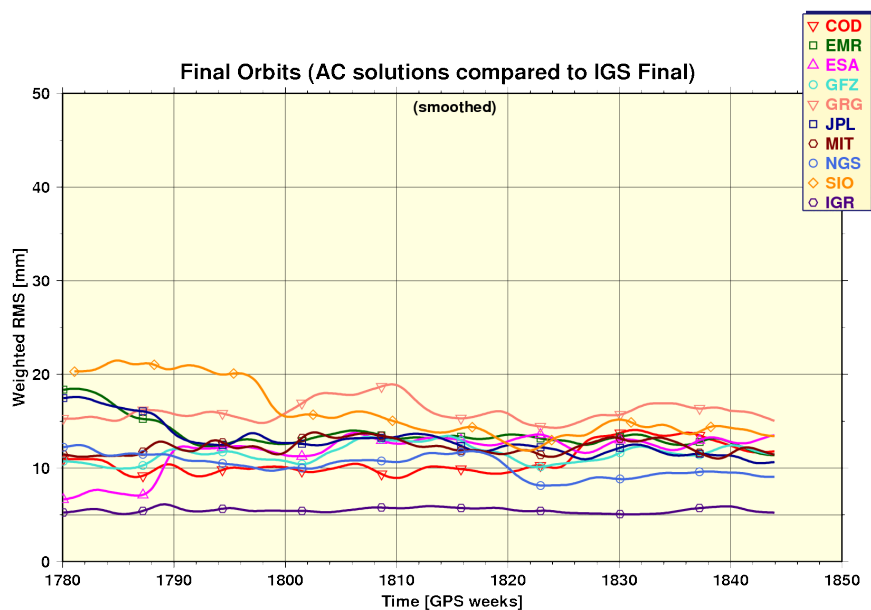
Στις Εικ. 3-2 και Εικ. 3-3, απεικονίζεται η πρόσφατη εξέλιξη στην ακρίβεια των προϊόντων δορυφορικών τροχιών από τα διάφορα κέντρα ανάλυσης της υπηρεσίας IGS. Μπορεί, εύκολα, κανείς να διακρίνει ότι υπάρχει φθίνουσα πορεία των σφάλματα RMS των εν λόγω προϊόντων, με αποτέλεσμα την σημαντική αύξηση της ακρίβειας τους τα τελευταία χρόνια.

Συγκεκριμένα, φαίνεται ότι προς το τέλος του 2009 τα περισσότερα κέντρα ανάλυσης της IGS παρείχαν ακρίβεια τροχιών καλύτερη των 5 εκατοστών, ενώ ορισμένα και καλύτερη των 2 εκατοστών. Όσο αφορά το διάστημα 2014 – 2015, δεν παρατηρείται ουσιαστική βελτίωση της ακρίβειας των συγκεκριμένων προϊόντων. Παρ' όλα αυτά, είναι εμφανές ότι τα

σφάλματα RMS των τροχιών από τα περισσότερα κέντρα ανάλυσης δεν ξεπερνούν το 1.5 εκατοστό, με τη μέγιστη ακρίβεια να παρέχεται από τα γρήγορα προϊόντα της IGS (IGR, rapid).



**Εικόνα 3-2:** Η βελτίωση των τελικών προϊόντων τροχιών (final orbits) από τα κέντρα ανάλυσης της IGS κατά τη διάρκεια 1994-2009, σε σχέση με τα αντίστοιχα από την IGS  
**Πηγή:** [www.igs.org](http://www.igs.org)



**Εικόνα 3-3:** Η βελτίωση των τελικών προϊόντων τροχιών (final orbits) από τα κέντρα ανάλυσης της IGS κατά τη διάρκεια 2014-2015, σε σχέση με τα αντίστοιχα από την IGS  
**Πηγή:** [www.igs.org](http://www.igs.org)

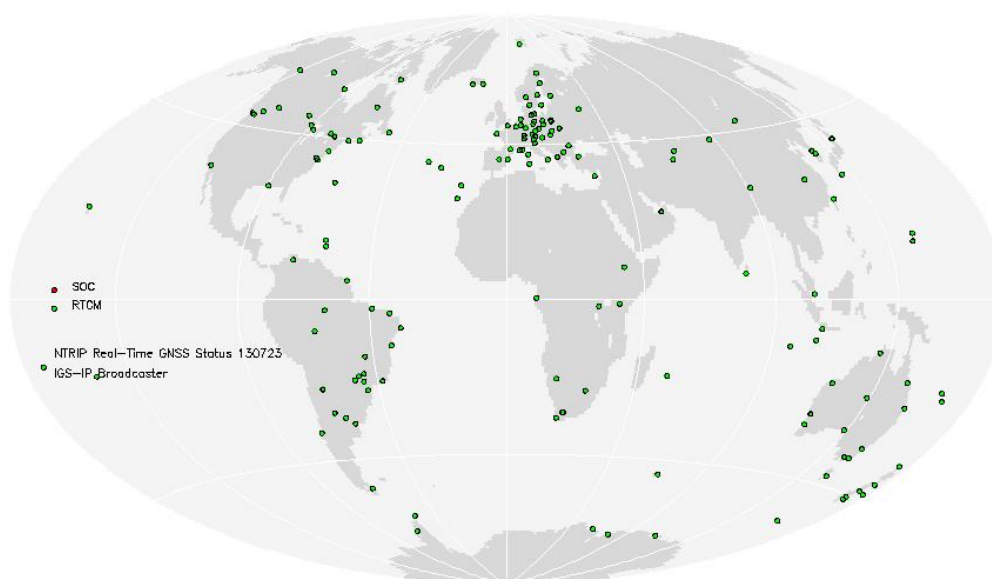
### 3.1.2 Υπηρεσία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο

Προκειμένου η Διεθνής Υπηρεσία GNSS να υποστηρίξει και να προωθήσει την ανάπτυξη εφαρμογών σε πραγματικό χρόνο, προέβη το 2001 στην δημιουργία της ομάδας εργασίας IGS Real-Time Working Group (RTWG), με απώτερο σκοπό την δημιουργία μίας

πλατφόρμας ικανής να παρέχει δεδομένα και προϊόντα σε πραγματικό χρόνο. Τον Αύγουστο του 2011, η ομάδα RTWG προχώρησε στην πιλοτική υλοποίηση της συγκεκριμένης πλατφόρμας με αρχική επιχειρησιακή ικανότητα, ενώ τον Απρίλιο του 2013 ξεκίνησε επίσημα η διανομή δεδομένων, προϊόντων τροχιών και χρονομέτρων των δορυφόρων στους χρήστες. Αξίζει να σημειωθεί ότι η υλοποίηση της νέας αυτής υπηρεσίας, που ονομάζεται RTS (Real-Time Service), κατέστη δυνατή ύστερα από την συνεργασία των οργανισμών NRCan, BKG και ESA/ESOC.

Όπως προαναφέρθηκε, στόχος της νέας αυτής υπηρεσίας είναι η διάθεση προϊόντων ελεύθερης πρόσβασης, όπως υψηλής ακρίβειας τροχιές και διορθώσεις για τα χρονόμετρα των δορυφόρων GPS και GLONASS, για την υποστήριξη εφαρμογών PPP σε πραγματικό χρόνο. Όπως γίνεται αντιληπτό, η διαθεσιμότητα τέτοιων προϊόντων είναι εξαιρετικά σημαντική για την τεχνική PPP σε πραγματικό χρόνο (Collins et al. 2005), καθώς ο χρήστης έχει τη δυνατότητα (με ένα δέκτη GNSS) να λαμβάνει την στιγμή των μετρήσεων τα προϊόντα τροχιών και χρονομέτρων των δορυφόρων που είναι απαραίτητα για τον υψηλής ακρίβειας απόλυτο εντοπισμό της θέσης του. Μεταξύ των εφαρμογών που βρίσκει εφαρμογή η τεχνική PPP με τη χρήση προϊόντων σε πραγματικό χρόνο είναι οι γεωφυσικές διασκοπήσεις, η ανίχνευση και προειδοποίηση για φυσικές καταστροφές, η πρόβλεψη καιρού, ο συγχρονισμός, η παρακολούθηση των δορυφορικών συστημάτων GNSS, καθώς και άλλες εφαρμογές που εξυπηρετούν το δημόσιο κοινό.

Η υπηρεσία RTS βασίζεται στην υποδομή ενός δικτύου 350 μόνιμων σταθμών, τα κέντρα ανάλυσης και τα κέντρα διάθεσης δεδομένων που παρέχουν τα υψηλής ακρίβειας προϊόντα τροχιών και χρονομέτρων GNSS. Την επιχειρησιακή ευθύνη για την παραγωγή των υψηλής ακρίβειας προϊόντων έχει το κέντρο λειτουργίας ESA/ESOC (European Space Agency's Space Operations Centre) της ευρωπαϊκής διαστημικής υπηρεσίας. Επιπρόσθετα, για να υπάρχει περισσότερη αξιοπιστία και ακρίβεια στα εν λόγω προϊόντα, τα τελευταία παράγονται από την συνδυασμένη επεξεργασία των ατομικών λύσεων από όλα τα κέντρα ανάλυσης RTAC (Real Time Analysis Centers) που συμμετέχουν στην νέα υπηρεσία RTS.



**Εικόνα 3-4:** Δίκτυο μόνιμων σταθμών GPS και GLONASS που συνεισφέρουν στην υπηρεσία RTS (Real-Time Service) της Διεθνούς Υπηρεσίας GNSS

**Πηγή:** <http://igs.bkg.bund.de/>

Ο τρόπος λειτουργίας της βασίζεται στη διανομή των προϊόντων μέσω μηνυμάτων διόρθωσης (corrections streams) τύπου RTCM SSR (Radio Technical Commission for Maritime Services, State Space Representation), που εκπέμπονται μέσω του διαδικτύου και της χρήσης του πρωτοκόλλου NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol). Οι εν λόγω διορθώσεις εκφράζονται στο σύστημα αναφοράς ITRF2008 (Altamimi 2011). Ακόμη, η νέα αυτή υπηρεσία είναι ανοικτή και ελεύθερη προς όλους, ενώ για την χρήση της απαιτείται μόνο μία απλή εγγραφή. Την παρούσα φάση, παρέχονται προϊόντα πραγματικού χρόνου μόνο για το σύστημα GPS, ενώ αντίστοιχα δεδομένα για το σύστημα GLONASS παρέχονται ακόμα σε πειραματικό στάδιο. Η πλήρης διάθεση των τελευταίων προβλέπεται

να γίνει προς το τέλος του 2015, όταν η υπηρεσία RTS καταστεί πλήρως επιχειρησιακή. Τέλος, προϊόντα από τους νέους και επερχόμενους δορυφορικούς σχηματισμούς, όπως το ευρωπαϊκό Galileo και το κινέζικο BeiDou, θα προστεθούν όταν αυτά γίνουν πλήρως διαθέσιμα και επιχειρησιακά.

Οι στόχοι που έθεσε η υπηρεσία IGS, σχετικά με την ακρίβεια των προϊόντων πραγματικού χρόνου ήταν τα 5 εκατοστά για τις τροχιές και τα 0.3 ns για τα χρονόμετρα. Επίσης, τα προϊόντα αυτά χαρακτηρίζονται από μία τυπική χρονική καθυστέρηση, η οποία προκύπτει από τον απαιτούμενο χρόνο για την αποστολή των δεδομένων, την επεξεργασία των παρατηρήσεων, την ανανέωση των μηνυμάτων διόρθωσης και τον συνδυασμό των λύσεων από κάθε κέντρο ανάλυσης AC, στην περίπτωση συνδυασμένων προϊόντων (Hadas and Bosy 2014). Επιπλέον, τα προϊόντα τροχιών και χρονομέτρων από την υπηρεσία RTS συγκρίνονται σε καθημερινή βάση με τα γρήγορα (rapid) προϊόντα της IGS, και φαίνεται ότι τα πρώτα πράγματι πληρούν τους στόχους που τέθηκαν σχετικά με την ακρίβεια.

Ακολουθώντας, η σύγκριση που έγινε μεταξύ των προϊόντων πραγματικού χρόνου από την υπηρεσία RTS και των τελικών προϊόντων από το κέντρο ESA/ESOC στην μελέτη των Hadas and Bosy (2014) οδήγησε στο συμπέρασμα ότι τα πρώτα προϊόντα χαρακτηρίζονται από ικανοποιητική ακρίβεια. Συγκεκριμένα, η ακρίβεια για τις τροχιές πραγματικού χρόνου των δορυφόρων GPS βρέθηκε ίση με 4.8 εκατοστά, ενώ για τις αντίστοιχες των δορυφόρων GLONASS ίση με 13.2 εκατοστά. Επιπλέον, η ακρίβεια των προϊόντων χρονομέτρων πραγματικού χρόνου για τα συστήματα GPS και GLONASS βρέθηκε ίση με 0.28 ns και 0.82 ns αντίστοιχα. Συνεπώς, οδηγείται κανείς στο συμπέρασμα ότι απαιτείται περαιτέρω βελτίωση στον υπολογισμό των χρονομέτρων του συστήματος GLONASS, έτσι ώστε να φθάσει το επίπεδο των 0.3 ns.

<b>Κέντρο Ανάλυσης</b>	<b>Περιγραφή προϊόντων</b>
BKG	Τροχιές και χρονόμετρα GPS σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας τις πολύ γρήγορες τροχιές (IGU orbits) Τροχιές και χρονόμετρα GPS και GLONASS σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας τις πειραματικές τροχιές (IGV orbits)
CNES	Τροχιές και χρονόμετρα GPS σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας πολύ γρήγορες τροχιές (IGU orbits) Τροχιές και χρονόμετρα GPS και GLONASS
DLR	Τροχιές και χρονόμετρα GPS σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας πολύ γρήγορες τροχιές (IGU orbits) Τροχιές και χρονόμετρα GPS και GLONASS
ESA/ESOC	Τροχιές και χρονόμετρα GPS σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας τροχιές σχεδόν πραγματικού χρόνου από το κέντρο ESOC (NRT orbits) Τροχιές και χρονόμετρα GPS σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας τις πολύ γρήγορες τροχιές (IGU orbits)
GFZ	Τροχιές και χρονόμετρα GPS σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας τις πολύ γρήγορες τροχιές (IGU orbits)
GMV	Τροχιές και χρονόμετρα GPS σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας τροχιές σχεδόν πραγματικού χρόνου (NRT orbits) Τροχιές και χρονόμετρα GPS και GLONASS
NRCan	Τροχιές και χρονόμετρα GPS σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας τροχιές σχεδόν πραγματικού χρόνου (NRT orbits)
WUHAN	Χρονόμετρα GPS σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας τις πολύ γρήγορες τροχιές (IGU orbits)
Geo++	Δεν συνεισφέρει προς το παρόν.
TUW	Δεν συνεισφέρει προς το παρόν.

**Πίνακας 3-3:** Περιγραφή των προϊόντων που παρέχουν τα συμμετέχοντα κέντρα ανάλυσης της RTS

**Πηγή:** [www.igs.org](http://www.igs.org)

### 3.1.3 Πρότυπες μορφές αρχείων

Προκειμένου η υπηρεσία IGS να καταστεί λειτουργική και να υποστηρίξει τους χρήστες της, προχώρησε στην τυποποίηση μορφής των πληροφοριών που παρέχει, σύμφωνα με τον Πίν. 3-4.

Μορφή αρχείων	Έκδοση	Περιγραφή
RINEX	v.2.10	Παρατηρήσεις GPS και GLONASS / Μετεωρολογικά δεδομένα / Δεδομένα πλοήγησης
	v.2.11	Παρατηρήσεις GPS, GLONASS, Galileo / Μετεωρολογικά δεδομένα / Δεδομένα πλοήγησης (υποστηρίζονται οι κώδικες C2, L2C/L5 και του Galileo)
	v.3.01	Παρατηρήσεις GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS, SBAS
	v.3.02	Βελτιωμένη μορφή της έκδοσης v.3.01 (έχει αλλάξει η ονοματολογία των RINEX αρχείων)
Hatanaka Compact RINEX		Παρατηρήσεις GNSS σε συμπιεσμένη μορφή
RINEX clock	v.3.00	Λύσεις χρονομέτρων σταθμών και δορυφόρων
	v.3.02	Λύσεις χρονομέτρων σταθμών και δορυφόρων (έχουν προστεθεί οι κώδικες των συστημάτων QZSS και BeiDou)
SP3	version a	Πληροφορίες τροχιών δορυφόρων GPS και GLONASS (διεκδόη η διανομή τους τον Ιανουάριο 2006)
	version c	Πληροφορίες τροχιών δορυφόρων GPS και GLONASS
ERP		Παράμετροι περιστροφής Γης
SINEX		Λύσεις θέσης και ταχύτητας σταθμών
Tropo SINEX		Προϊόντα ζενίθιας τροποσφαιρικής καθυστέρησης
IONEX		Μοντέλα – χάρτες ιονόσφαιρας
ANTEX		Βαθμονόμηση κεραιών
Site Log		Καταγραφή ιστορικού σταθμών

**Πίνακας 3-4:** Τυποποιημένες μορφές αρχείων που παρέχονται από την υπηρεσία IGS  
**Πηγή:** [www.igs.org](http://www.igs.org)

Σημειώνεται ότι ορισμένες μορφές αρχείων (RINEX, SP3 και SINEX) υπόκεινται σε αναθεωρήσεις ανά τακτά χρονικά διαστήματα ώστε να συμβαδίζουν με την αναβάθμιση των δεκτών και των δορυφόρων.

### 3.2 Πιλοτικό Πρόγραμμα MGEX

Μέχρι το 2011 η υπηρεσία IGS είχε περιοριστεί στα δύο πλήρως επιχειρησιακά συστήματα, GPS και GLONASS, όσον αφορά την παροχή των δεδομένων και προϊόντων της. Τα τελευταία χρόνια, όμως, επήλθαν σημαντικές αλλαγές στον παγκόσμιο τομέα εντοπισμού και πλοήγησης. Συγκεκριμένα, η έλευση των νέων δορυφορικών συστημάτων, κυρίως του ευρωπαϊκού Galileo και του κινεζικού BeiDou, ώθησε την IGS στην δημιουργία της καμπάνιας MGEX (Multi-GNSS Experiment), ώστε να φέρει σε επαφή την επιστημονική κοινότητα με τα νέα συστήματα και τις προκλήσεις που θα πρέπει να ξεπεραστούν, καθώς και να την προετοιμάσει ως προς την χρήση προϊόντων από αυτά (Rizos et al. 2013).

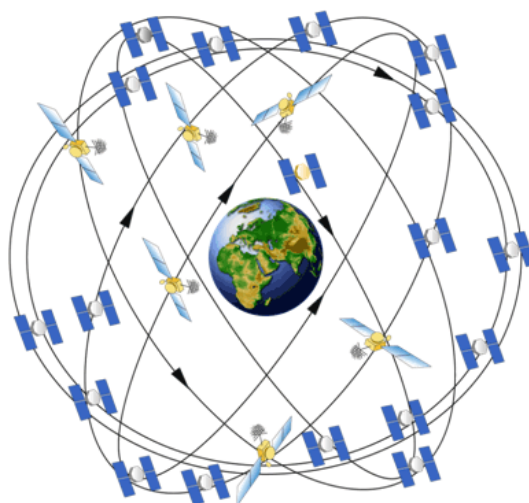
Ειδικότερα, το πιλοτικό πρόγραμμα MGEX δημιουργήθηκε ώστε να συλλέγονται και να αναλύονται πληροφορίες από τα σήματα όλων των διαθέσιμων συστημάτων GNSS, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται τα Galileo, BeiDou, QZSS, IRNSS καθώς και τα εκσυγχρονισμένα GPS, GLONASS και κάθε σύστημα επαύξησης SBAS. Η καμπάνια αυτή συντονίζεται από την ομάδα εργασίας MGWG (Multi-GNSS Working Group), η οποία έχει στενή συνεργασία με άλλες ομάδες, αρμόδιες για τα αρχεία RINEX (RINEX Working Group),

τις κεραιές (Antenna Working Group), τα κέντρα δεδομένων (Data Center Working Group) καθώς και την επιτροπή υποδομών (Infrastructure Committee).

### 3.2.1 Εξέλιξη συστημάτων GNSS

Τα τελευταία 30 χρόνια, κατά τη διάρκεια των οποίων το δορυφορικό σύστημα GPS εξελίχθηκε από ένα στρατιωτικό σύστημα πλοήγησης σε ένα απαραίτητο εργαλείο για επιστημονική έρευνα και την παγκόσμια παρακολούθηση της Γης, έχουν επέλθει σημαντικές αλλαγές στον τομέα του δορυφορικού εντοπισμού και πλοήγησης (Rizos et al. 2013).

Το αμερικανικό σύστημα GPS ήταν το πρώτο πλήρως λειτουργικό δορυφορικό σύστημα, ενώ τα τελευταία χρόνια έχει προχωρήσει στην εκπομπή νέων και εξελιγμένων σημάτων εντοπισμού. Συγκεκριμένα, το διαστημικό τμήμα του εν λόγω συστήματος αποτελείται ονομαστικά από 24 δορυφόρους, οι οποίοι είναι καταναμημένοι σε 6 τροχιακά επίπεδα σε υψόμετρο περίπου 20.200 χιλιομέτρων πάνω από τη γήινη επιφάνεια. Τα τροχιακά αυτά επίπεδα έχουν γωνία κλίσης  $55^\circ$  ως προς τον Ισημερινό, και κάθε ένα από αυτά περιλαμβάνει 4 δορυφόρους. Ωστόσο, ο συνολικός αριθμός των δορυφόρων GPS σε τροχιά αλλάζει συνεχώς, με την εκτόξευση νέων και την διακοπή παλαιών δορυφόρων. Την παρούσα φάση, ο δορυφορικός σχηματισμός GPS αποτελείται από 32 λειτουργικούς δορυφόρους (τύπου Block II/IIA/IIR/IIR-M).



**Εικόνα 3-5:** Ο δορυφορικός σχηματισμός GPS  
**Πηγή:** <http://www.azavea.com/>

Σήμερα, το σύστημα GPS έχει εκσυγχρονιστεί έχοντας ήδη σε τροχιά 9 λειτουργικούς δορυφόρους τελευταίας γενιάς Block IIF, οι οποίοι εκπέμπουν το λειτουργικό L5 σήμα για τις αερομεταφορές, ενώ παράλληλα διαθέτουν χρονόμετρα ρουβιδίου υψηλής ακρίβειας και σταθερότητας. Αν και τα σήματα L2C και L5 δεν εκπέμπονται από ολόκληρο το δορυφορικό σχηματισμό, οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να εξοικειωθούν σταδιακά με τα νέα αυτά σήματα, καθώς επιτρέπουν την πλοήγηση με χρήση δύο συχνοτήτων για ένα εκτενές εύρος εφαρμογών. Η νέα γενιά των δορυφόρων GPS, GPS III, που θα εκτοξευθεί εντός του 2016 προβλέπεται να συμβάλλει καθοριστικά στον εντοπισμό θέσης λόγω της υψηλής αξιοπιστίας, ακρίβειας και ακεραιότητας των σημάτων τους.

Ακολουθώντας, το ρωσικό δορυφορικό σύστημα GLONASS αποτελεί το δεύτερο πλήρως επιχειρησιακό σύστημα δορυφορικού εντοπισμού και πλοήγησης από το 2011, του οποίου ο σχηματισμός αποτελείται ονομαστικά από 24 πλήρως λειτουργικούς δορυφόρους. Οι δορυφόροι αυτοί κατανομούνται σε 3 τροχιακά επίπεδα, με υψόμετρο περίπου 19.100 χιλιομέτρων, που έχουν γωνία κλίσης  $64.8^\circ$  ως προς τον Ισημερινό. Επιπλέον, σε κάθε τροχιακό επίπεδο βρίσκονται 8 δορυφόροι GLONASS που απέχουν μεταξύ τους κατά  $45^\circ$ .

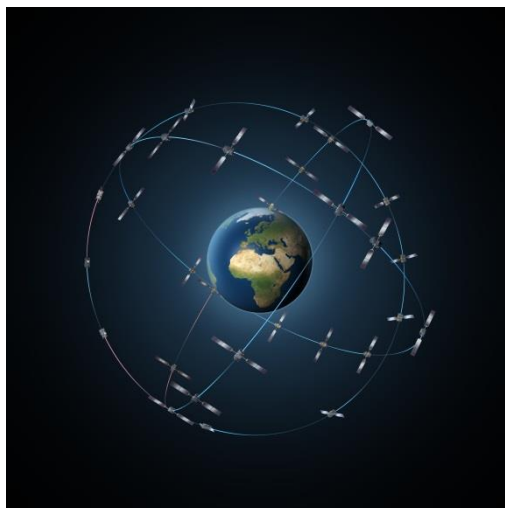




**Εικόνα 3-6:** Ο δορυφορικός σχηματισμός GLONASS  
**Πηγή:** [www.navipedia.net](http://www.navipedia.net)

Τα τελευταία χρόνια, λαμβάνει χώρα σταδιακά ο εκσυγχρονισμός του ρωσικού GLONASS μέσω της τοποθέτησης σε τροχιά των βελτιωμένων τύπων δορυφόρων τελευταίας γενιάς, GLONASS-M και -K. Οι δορυφόροι αυτοί παρέχουν σήματα βελτιωμένης ποιότητας σε μία νέα συχνότητα, L3, τα οποία είναι περιορισμένα σε ένα μικρό αριθμό δορυφόρων.

Τον Οκτώβριο του 2011, έπειτα, έλαβε χώρα η εκτόξευση των δύο από τους τέσσερις επιχειρησιακών δορυφόρων του ευρωπαϊκού δορυφορικού συστήματος Galileo στο διάστημα. Μετά από περίπου ένα χρόνο, εκτοξεύθηκαν και οι υπόλοιποι δύο ώστε το σύστημα να βρεθεί στην φάση επικύρωσης του (IOV, In-Orbit Validation phase). Την φάση αυτή ακολούθησε η εκτόξευση επιπρόσθετων δορυφόρων ώστε το Galileo να φθάσει την αρχική επιχειρησιακή του ικανότητα (IOC, Initial Operational Capability).

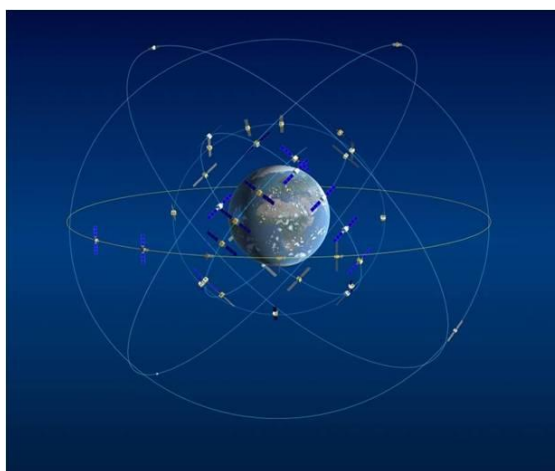


**Εικόνα 3-7:** Ο δορυφορικός σχηματισμός Galileo  
**Πηγή:** [www.esa.int](http://www.esa.int)

Συγκεκριμένα, στις 22 Αυγούστου 2014 έλαβε χώρα η εκτόξευση δύο δορυφόρων (Galileo 5 & 6), οι οποίοι όμως τοποθετήθηκαν σε εσφαλμένη τροχιά λόγω αποτυχίας του οχήματος εκτόξευσης Soyuz να τους θέσει σε σωστές κυκλικές τροχιές. Οι δύο δορυφόροι, μέσω κατάλληλων χειρισμών του κέντρου λειτουργίας της ευρωπαϊκής διαστημικής υπηρεσίας ESA, τοποθετήθηκαν στις σωστές τους τροχιές τον Δεκέμβριο του 2014 και τον Μάρτιο του 2015 αντίστοιχα. Επιπρόσθετα, στις 27 Μαρτίου 2015 εκτοξεύθηκαν ακόμα δύο δορυφόροι (Galileo 7 & 8), οι οποίοι τέθηκαν στις ορθές τους τροχιές, με αποτέλεσμα ο ευρωπαϊκός σχηματισμός Galileo να αποτελείται σήμερα από 8 δορυφόρους.

Ο πλήρης σχηματισμός του Galileo θα αποτελείται από 30 δορυφόρους, 27 λειτουργικούς και 3 ενεργούς ανταλλακτικούς, κατανομημένοι σε 3 κυκλικά τροχιακά επίπεδα μέσης τροχιάς (ΜΕΟ, Medium Earth Orbit), τα οποία βρίσκονται σε υψόμετρο 23.222 χιλιομέτρων επάνω από τη γήινη επιφάνεια και με γωνία κλίσης 56° ως προς τον Ισημερινό. Οι δορυφόροι του Galileo εκπέμπουν σήματα σε 4 συχνότητες (E1, E5a, E5b, E6), ενώ παράλληλα το εν λόγω δορυφορικό σύστημα επιτρέπει την παρακολούθηση του σήματος AltBOC στα κανάλια E1 και E5a+E5b, που παρέχει καλύτερη απόδοση όσο αφορά το θόρυβο και την πολυκλαδική ανάκλασης (Rizos et al. 2013, Montenbruck & Langley 2013, Montenbruck et al. 2014).

Παράλληλα, το κινεζικό δορυφορικό σύστημα BeiDou, που έχει δημιουργηθεί ανεξάρτητα στην Κίνα, έχει ολοκληρώσει το πρώτο στάδιο της ανάπτυξης του, αποτελεί ήδη ένα αυτόνομο περιφερειακό σύστημα δορυφορικού εντοπισμού και πλοήγησης για την περιοχή Ασίας-Ειρηνικού Ωκεανού, ενώ παράλληλα οδεύει σταθερά προς την ολοκλήρωση του ως ένα παγκόσμιο και πλήρως επιχειρησιακό σύστημα GNSS (Rizos et al. 2013, Li et al. 2015).



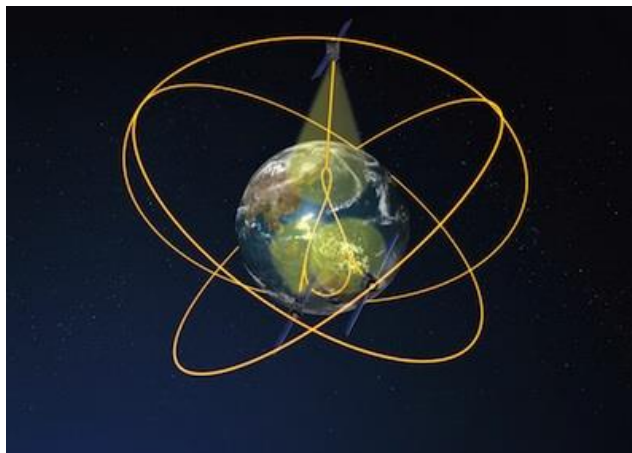
**Εικόνα 3-8:** Ο δορυφορικός σχηματισμός BeiDou  
**Πηγή:** [www.navipedia.net](http://www.navipedia.net)

Το εν λόγω σύστημα έχει σχεδιασθεί ώστε να αποτελείται από 5 γεωστατικής τροχιάς GEO (Geostationary Earth Orbit), 3 γεωσύγχρονης IGSO (Inclined Geo-Synchronous Orbit) και 27 μέσης ΜΕΟ (Medium Earth Orbit) τροχιάς δορυφόρους μέχρι το 2020, ώστε να προσφέρει παγκόσμια κάλυψη. Προς το παρόν, υπάρχουν 14 λειτουργικοί δορυφόροι BeiDou σε τροχιά, μεταξύ των οποίων 5 βρίσκονται σε γεωστατική τροχιά (GEO), 5 σε κεκλιμένη γεωσύγχρονη τροχιά (IGSO) και 4 σε μεσαίου υψόμετρου τροχιά (ΜΕΟ).

Οι δορυφόροι αυτοί εκπέμπουν σήματα σε 3 συχνότητες (B1, B2, B3) – είναι το μοναδικό δορυφορικό σύστημα που επιτρέπει τον εντοπισμό με χρήση τριών συχνοτήτων – ενώ η παρακολούθησή τους υποστηρίζεται ήδη από ένα μεγάλο εύρος δεκτών GNSS (Montenbruck et al. 2012). Με την έκδοση του εγγράφου ελέγχου διεπαφής B1 O/S ICD (Interface Control Document) στο τέλος του 2012, το μήνυμα πλοήγησης του συστήματος BeiDou έγινε προσιτό και έτσι οι χρήστες από την περιοχή της Ασίας και του Ειρηνικού Ωκεανού μπορούν να επωφεληθούν από το σύστημα BeiDou ως ένα συμπληρωματικό ή ακόμα και αυτόνομο σύστημα (Rizos et al. 2013).

Έπειτα, το αναδυόμενο σύστημα QZSS αποτελεί ένα περιφερειακό δορυφορικό σύστημα πλοήγησης που αναπτύχθηκε από την Κυβέρνηση της Ιαπωνίας και εξυπηρετεί την περιοχή της ανατολικής Ασίας και Ωκεανίας. Προς το παρόν, ο δορυφορικός σχηματισμός του αποτελείται από μόνο έναν δορυφόρο, τον «Michibiki», αλλά η λήψη πρόσφατων πολιτικών αποφάσεων έχει δώσει την ώθηση για την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου σχηματισμού που θα αποτελείται από δορυφόρους σε κεκλιμένη γεωσύγχρονη τροχιά IGSO και γεωστατική τροχιά GEO. Συγκεκριμένα, το πλήρως επιχειρησιακό σύστημα που σχεδιάζεται θα περιλαμβάνει τουλάχιστον 3 δορυφόρους σε κεκλιμένη γεωσύγχρονη τροχιά (IGSO), και έναν σε γεωστατική τροχιά (GEO).

Το εν λόγω δορυφορικό σύστημα δεν είναι σχεδιασμένο ώστε να λειτουργεί αυτόνομα αλλά μαζί με δεδομένα από άλλα συστήματα GNSS. Συνεπώς, αυτό λειτουργεί περισσότερο ως σύστημα επαύξησης των συστημάτων GNSS. Κύριος στόχος του είναι η αύξηση διαθεσιμότητας του συστήματος GPS στα πολυάριθμα αστικά φαράγγια (urban canyons) της Ιαπωνίας, όπου οι δορυφόροι γίνονται ορατοί μόνο σε μεγάλες γωνίες ύψους.



**Εικόνα 3-9:** Ο δορυφορικός σχηματισμός QZSS  
**Πηγή:** [www.spaceflightnow.com](http://www.spaceflightnow.com)

Έτσι, χαρακτηρίζεται από το υψηλό επίπεδο συμβατότητας με το GPS καθώς εκπέμπει σήματα συμβατά με τα GPS σήματα L1 C/A, L1C, L2C και L5, ενώ παράλληλα έχει εισάγει νέα σήματα, όπως είναι το LEX στο κανάλι E6 (Kogure 2012). Παράλληλα, το QZSS παρέχει ορισμένες καινοτόμες υπηρεσίες, όπως είναι το L1S και το L6b (γνωστό παλιά ως LEX) μήνυμα με διορθωτικές πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο, ώστε να υποστηρίξει εφαρμογές εντοπισμού θέσης υψηλής ακρίβειας. Επιπλέον, υπερτερεί σε ένα βαθμό από το σύστημα GPS καθώς παρέχει το νέο μήνυμα πλοήγησης CNAV στα L2C και L5, καθώς και το CNAV2 στο L1C. Η αρχική λειτουργική φάση του συστήματος, που ξεκίνησε τον Σεπτέμβριο του 2010 με την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου «Michibiki», ολοκληρώθηκε στα μέσα του 2011 μετά από την επιβεβαίωση τόσο του δορυφορικού όσο και του επίγειου τμήματος.

Στο σκηνικό των αλλαγών στον τομέα της πλοήγησης εισήλθε η Ινδία, τον Ιούλιο του 2013, η οποία έθεσε σε τροχιά τον πρώτο δορυφόρο της, IRNSS-1A, για την ανάπτυξη του περιφερειακού της δορυφορικού συστήματος εντοπισμού και πλοήγησης. Ακολούθησε η εκτόξευση 3 ακόμα δορυφόρων (IRNSS-1B, IRNSS-1C, IRNSS-D) τον Απρίλιο 2014, Οκτώβριο 2014 και Μάρτιο 2015 αντίστοιχα, με μόνο τον πρώτο να έχει τεθεί με ακρίβεια στην τροχιά του. Με την ολοκλήρωση του σχηματισμού, το σύστημα IRNSS θα αποτελείται από 4 δορυφόρους σε κεκλιμένη γεωσύγχρονη τροχιά και 3 σε γεωστατική τροχιά. Σημειώνεται στο σημείο αυτό ότι ο δορυφόρος IRNSS-1A εκπέμπει σήματα στα κανάλια L5 και S, τα οποία όμως δεν είναι ακόμα ανιχνεύσιμα από τους κοινούς δέκτες GNSS. Επιπλέον, δεν είναι ακόμα γνωστό εάν θα προστεθεί η συχνότητα L1 στους δορυφόρους IRNSS ώστε το τελευταίο να λειτουργεί με τα υπόλοιπα διαθέσιμα συστήματα GNSS.

Τα παραπάνω δορυφορικά συστήματα πλοήγησης συμπληρώνουν οι δορυφόροι SBAS που βρίσκονται σε γεωστατική τροχιά και χρησιμοποιούνται ως συστήματα επαύξησης της ακρίβειας, αξιοπιστίας και διαθεσιμότητας των πρώτων. Μεταξύ αυτών είναι τα WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN, QZSS που βρίσκονται σε συντονισμό από τις ΗΠΑ, Ευρώπη, Ινδία, Ιαπωνία αντίστοιχα.

Αν και τα συστήματα αυτά δεν βρίσκονται στο επίκεντρο της IGS και της επιστημονικής κοινότητας, ο αναπτυσσόμενος αριθμός τους ήδη προσφέρει σήματα από 2 συχνότητες (L1, L5), τα οποία ανιχνεύονται από τους νέους δέκτες GNSS, και στο μέλλον θα συμβάλλουν σημαντικά σε εφαρμογές υψηλής ακρίβειας (Montenbruck et al. 2014). Στον Πίν. 3-5 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα σήματα των δορυφόρων από κάθε σύστημα GNSS, καθώς και το είδος και ο αριθμός των λειτουργικών δορυφόρων.



**Εικόνα 3-10:** Ο δορυφορικός σχηματισμός IRNSS, με την προβολή της τροχιάς των δορυφόρων τους στη Γη

**Πηγή:** <https://directory.eoportal.org>

Σύστημα GNSS	Είδος δορυφόρων	Σήματα	Αριθμός λειτουργικών δορυφόρων
GPS	IIA	L1 C/A, L1/L2 P(Y)	3
	IIR-A/B	L1 C/A, L1/L2 P(Y)	12
	IIR-M	+L2C	7
	IIF	+L5	9
GLONASS	M	L1/L2 C/A + P	24
	K	L3	[2]
BeiDou	GEO	B1, B2, B3	5
	IGSO	B1, B2, B3	5, [1]
	MEO	B1, B2, B3	4, [1]
Galileo	IOV	E1, (E6), E5a, E5b, E5ab	3, [1]
	FOC	E1, (E6), E5a, E5b, E5ab	4
QZSS	n/a	L1 C/A, L1C, L2C, E6 LEX, L5	1
IRNSS	n/a	L5, S	[4]

**Πίνακας 3-5:** Κατάσταση υλοποίησης των παγκόσμιων και περιφερειακών δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού και πλοήγησης (Μάιος 2015). Οι αριθμοί δορυφόρων που βρίσκονται σε παρενθέσεις είτε δεν έχουν ανακηρυχθεί λειτουργικοί, είτε δεν είναι λειτουργικοί προσωρινά.

**Πηγή:** <https://en.wikipedia.org> , **Montenbruck & Steigenberger 2015**

### 3.2.2 Δίκτυο MGEX

Το κάλεσμα για συμμετοχή στην καμπάνια MGEX, που εξαγγέλθηκε το 2011, αποτέλεσε την έναρξη ενός νέου δικτύου αποτελούμενου από μόνιμους σταθμούς που υποστηρίζουν δεδομένα από όλα τα διαθέσιμα δορυφορικά συστήματα GNSS, ενώ παράλληλα υπήρξε σημαντική πρόοδος σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Συγκεκριμένα, το δίκτυο MGEX αποτελούταν από περίπου 50 σταθμούς προς το τέλος του 2012, ενώ σήμερα ο αριθμός τους ξεπερνάει τους 100, με κάθε έναν από αυτούς να υποστηρίζει τουλάχιστον ένα από τα νέα συστήματα GNSS (Galileo, BeiDou, QZSS). Επιπλέον, το σύστημα GLONASS υποστηρίζεται από την πλειοψηφία των σταθμών, ενώ επίσης ένας σημαντικός αριθμός αυτών υποστηρίζει τις συχνότητες L1, L5 των συστημάτων επαύξησης SBAS. Αντίθετα, κανένας προς το παρόν σταθμός του δικτύου MGEX δεν υποστηρίζει το σύστημα IRNSS, λόγω της πρόσφατης ανάπτυξης του και της έλλειψης τεκμηρίωσης των σημάτων του. Το μεγαλύτερο μέρος - σχεδόν τα 2/3 - των ήδη υπάρχοντων μόνιμων σταθμών, που παρέχονται από τις συμμετέχουσες στην IGS υπηρεσίες όπως τα ινστιτούτα BKG, CNES, GFZ, έχουν αναβαθμιστεί ως προς την τεχνολογία των δεκτών και των κεραιών τους ώστε να αναγνωρίζουν και να λαμβάνουν σήματα από όλα τα διαθέσιμα GNSS.

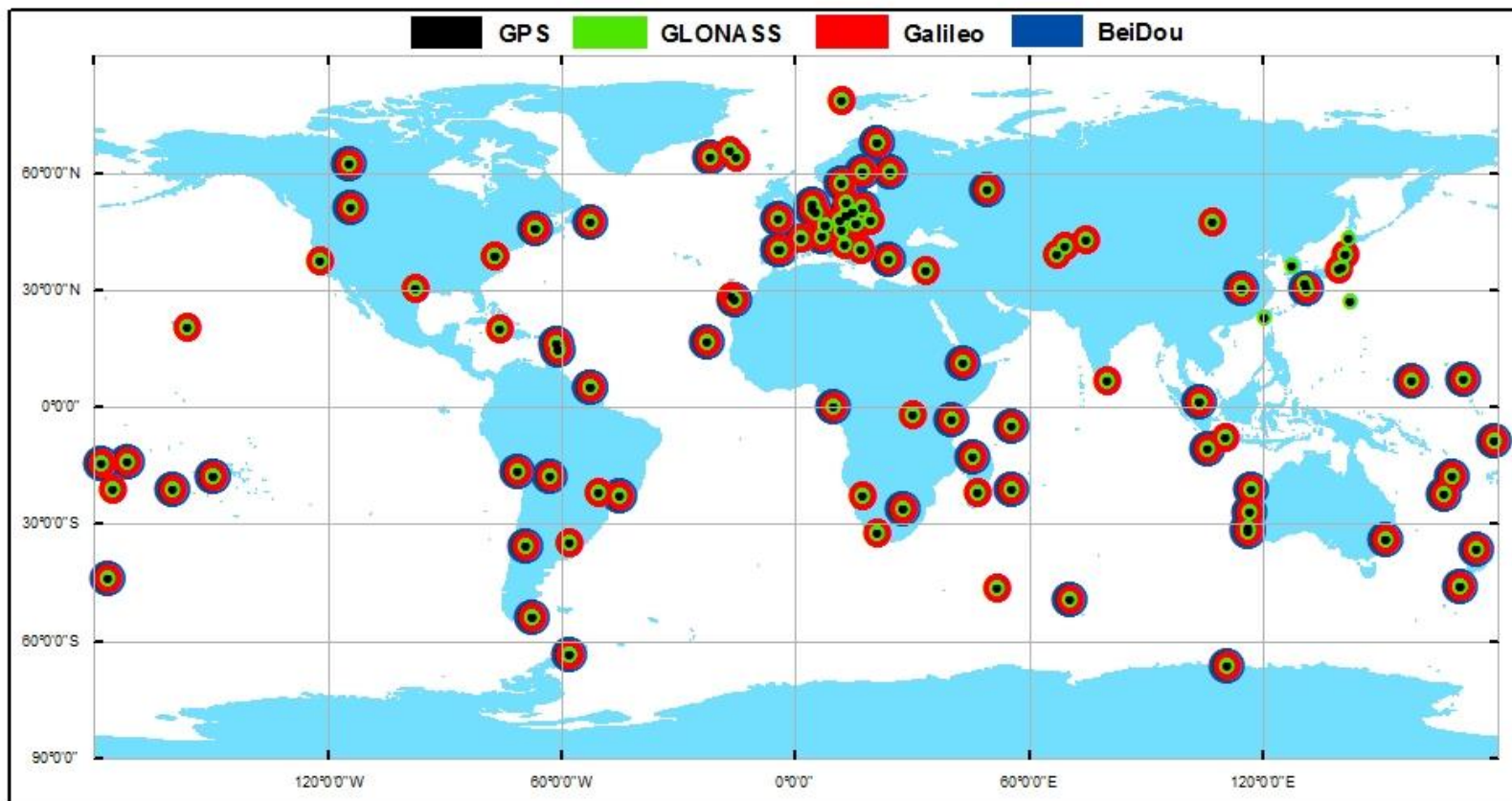
Όπως φαίνεται στην Εικ. 3-11, υπάρχει σχεδόν παγκόσμια κάλυψη από τους μόνιμους σταθμούς MGEX, με μεγαλύτερη τη συγκέντρωση στην Ευρώπη και μικρότερη αυτή στην Αμερική. Ωστόσο, οι συνεισφορές από το δίκτυο CONGO (Cooperative Network for GIOVE Observations) του Γερμανικού Αεροδιαστημικού Κέντρου DLR, την Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία ESA, το δίκτυο MGM-net (Multi-GNSS Monitoring Network) της Ιαπωνικής Διαστημικής Υπηρεσίας JAXA και των σταθμών της κυβερνητικής υπηρεσίας της Αυστραλίας GA (Geoscience Australia) θα συμβάλλει καθοριστικά στην κατάσταση αυτή και συνεπώς στην ορθά κατανεμημένη παγκόσμια κάλυψη.

Επιπλέον, φαίνεται από την ίδια εικόνα ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των σταθμών MGEX υποστηρίζουν το σύστημα Galileo, κάτι που δεν συμβαίνει με τα QZSS και BeiDou τα οποία υποστηρίζονται προς το παρόν από ένα μικρό σύνολο σταθμών. Συγκεκριμένα, οι δορυφόροι γεωστατικής GEO και κεκλιμένης γεωσύγχρονης IGSO τροχιάς του BeiDou δεν καλύπτονται επαρκώς από το υπάρχον δίκτυο. Όσο αφορά τα συστήματα GPS και GLONASS, είναι εμφανές ότι υποστηρίζονται πλήρως από τους σταθμούς του δικτύου MGEX.

Η αρχειοθέτηση και διανομή τόσο των δεδομένων παρατήρησης όσο και των εκπεμπόμενων μηνυμάτων εφημερίδας (broadcast ephemerides), που συλλέγονται από το δίκτυο MGEX, πραγματοποιείται μέσω των κέντρων δεδομένων CDDIS, IGN και BKG. Προκειμένου να καταστεί αυτό δυνατό, η καμπάνια MGEX υιοθέτησε το πρότυπο μορφής αρχείων δεδομένων RINEX 3, ώστε να υπάρχει ορθή καταγραφή των παρατηρήσεων από όλα τα διαθέσιμα συστήματα GNSS. Τα αρχεία αυτά έχουν διατηρήσει την κλασική μορφή ονομασίας (DOS-style, 8+3) ώστε να υπάρχει συμβατότητα με την υπάρχουσα υποδομή επεξεργασίας δεδομένων.

Ακολουθώντας, η δημιουργία της πρότυπης μορφής αρχείων RINEX 3.02, με βάση την οποία θα εισαχθεί νέα ονοματολογία των αρχείων και εκτεταμένα πεδία πληροφοριών, σχεδιάζεται σε μετέπειτα στάδιο σε συνεργασία με τους χρήστες δεδομένων MGEX και την επιτροπή υποδομής της υπηρεσίας IGS. Σημειώνεται ότι η έκδοση 3.03 των RINEX αρχείων θα περιλαμβάνει και πληροφορίες από τους δορυφόρους IRNSS. Την συγκεκριμένη χρονική στιγμή, το πρόγραμμα MGEX παρέχει ημερήσια (daily) αρχεία δεδομένων από όλους τους μόνιμους σταθμούς με ρυθμό καταγραφής δεδομένων 30 δευτερόλεπτα, ενώ ωραία (hourly) αρχεία δεδομένων παρέχονται σε συγκεκριμένους μόνο σταθμούς.





**Εικόνα 3-11:** Κατανομή των μόνιμων σταθμών του δικτύου MGEX (Μάιος 2015). Οι υποστηριζόμενοι δορυφορικοί σχηματισμοί παρουσιάζονται με διαφορετικό χρώμα: το GPS με μαύρο, το GLONASS με πράσινο, το Galileo με κόκκινο και το BeiDou με μπλε.

Επιπρόσθετα, το πρόγραμμα MGEX βασίζεται σε ένα υψηλής ετερογένειας δίκτυο μόνιμων σταθμών καθώς οι τελευταίοι χρησιμοποιούν ένα εκτενές εύρος εξοπλισμού. Συγκεκριμένα, έχουν υιοθετηθεί 6 βασικοί τύποι δεκτών και 5 βασικοί τύποι κεραιών, οι οποίοι παρατίθενται στους Πίν. 3-10 και Πίν. 3-11. Στον πρώτο, φαίνονται επίσης και οι τύποι των παρατηρήσεων που υποστηρίζονται από τους δέκτες. Η σύνταξη των παρακάτω έγινε από τις συνοπτικές εκθέσεις του Ινστιτούτου ΑΙΥΒ και την ιστοσελίδα του προγράμματος MGEX.

Τύπος Δέκτη	Αριθμός σταθμών	Παρατηρήσεις
IFEN SX_NSR_RT_800	1	E: 1X, 5X, 7X, 8X, 6X C: 2I, 7I
JAVAD TR_G3TH	1	
JAVAD TRE_G2T DELTA	3	
JAVAD TRE_G3T DELTA	2	E: 1X, 5X
JAVAD TRE_G3TH DELTA	29	
LEICA GR10	6	
LEICA GR25	11	E: 1X, 5X, 7X, 8Q
LEICA GRX1200+GNSS	4	
NOV OEM6	2	E: 1C, 5Q
SEPT ASTERX3	1	
SEPT POLARX4	10	E: 1C, 5Q, 7Q, 8Q
SEPT POLARX4TR	5	C: 2I, 7I
TRIMBLE NETR9	47	E: 1X, 5X, 7X, 8X C: 2I, 7I, 6I J: 1C, 1X, 2X, 5X, 6X

**Πίνακας 3-6:** Χρησιμοποιούμενοι τύποι δεκτών στο δίκτυο MGEX (Απρίλιος 2015). Οι τύποι των παρατηρήσεων για το Galileo (E), το BeiDou (C) και το QZSS (J) βασίζονται στους κώδικες παρατηρήσεων των αρχείων RINEX 3 (συχνότητες: 1=L1/E1, 2=L2/B1, 5=L5/E5a, 6=E6/B3, 7=E5b/B2, 8=E5ab; Σήματα: C=C/A, I=δεδομένα (data), Q=πιλοτικά (pilot), X=δεδομένα+πιλοτικά (data+pilot))

Τύπος κεραιάς		Σταθμοί
AOAD/M_T	NONE	2
JAV_RINGANT_G3T	NONE	19
JAVRINGANT_DM	NONE/SCIS	4
LEIAR10	NONE	1
LEIAR20	LEIM	1
LEIAR25	NONE	1
LEIAR25.R3	LEIT	17
LEIAR25.R4	LEIT/NONE	20
SEPCHOKE_MC	NONE/SPKE	6
TRM55971.00	NONE	5
TRM57971.00	NONE	13
TRM59800.00	SCIS	33

**Πίνακας 3-7:** Χρησιμοποιούμενοι τύποι κεραιών στο δίκτυο MGEX (Απρίλιος 2015)

Αν και, όπως παρατηρείται, υπάρχει μεγάλη ποικιλία στους χρησιμοποιούμενες δέκτες και κεραιές των μόνιμων σταθμών του δικτύου MGEX, το οποίο μπορεί να ερμηνευθεί ως αδυναμία, αυτό αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο του εν λόγω δικτύου. Μέσω του εκτεταμένου αυτού εύρους δεκτών και κεραιών, και παράλληλα τεχνικών παρακολούθησης και είδος δεδομένων, καθίσταται δυνατή η λεπτομερής κατανόηση των νέων σημάτων πλοήγησης. Επιπρόσθετα, η σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών ειδών εξοπλισμού παρέχει τη δυνατότητα αναβάθμισης και βελτίωσης των δεκτών GNSS από τους κατασκευαστές (Montenbruck et al. 2014).

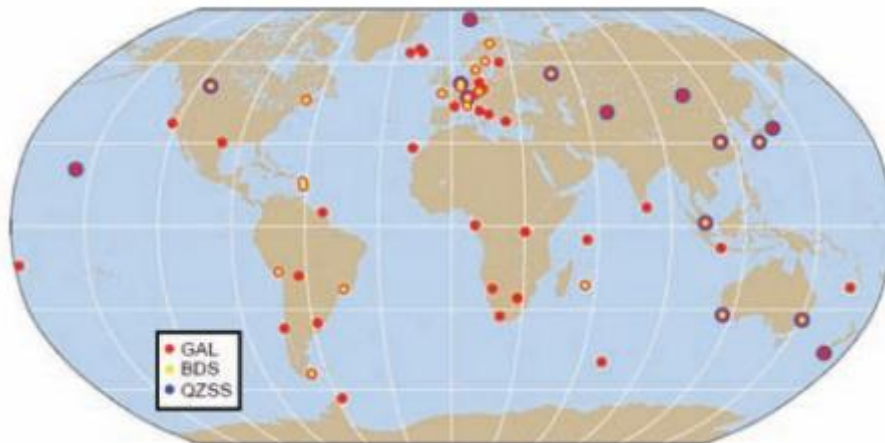
Τοποθεσία	Σταθμός	Τύπος δέκτη
Concepcion	CONX CONZ	Javad TRE_G3TH Delta Leica GRX1200+GNSS
Singapore	SIN0 SIN1	Javad TRE_G3TH Delta Trimble NETR9
University of New Brunswick	UNBD UNBS	Javad TRE_G2T Delta SeptentrioPolarXS
University of New South Wales	UNX2 UNX3	Javad TRE_G3TH Delta Septentrio AsteRx3
U.S. Naval Observatory	USN4 USN5	Septentrio PolarXR4 NovAtel OEM6
Wettzell	WTZ2 WTZ3	Leica GRX1200+GNSS Javad TRE_G3TH Delta

**Πίνακας 3-8:** Μόνιμοι σταθμοί του δικτύου MGEX με εγκατεστημένους δέκτες σε κοινές κεραίες

**Πηγή: Montenbruck et al. 2014**

Την παρούσα φάση, υπάρχουν 6 μόνιμοι σταθμοί στο δίκτυο MGEX που έχουν εγκατεστημένους δέκτες διαφορετικού τύπου, συνδεδεμένους όμως με την ίδια κεραία. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το γεγονός αυτό συμβάλλει στη σύγκριση και αξιολόγηση μεταξύ των δεκτών ως προς την συμπεριφορά παρακολούθησής τους, ενώ παράλληλα μπορεί να γίνει εκτίμηση των σφαλμάτων μεταξύ των κωδίκων και της φέρουσας φάσης (receiver-specific differential code and carrier phase biases), που συσχετίζονται με το είδος του δέκτη για τα σήματα GNSS.

Παράλληλα, εκτός από τα δεδομένα που παρέχουν όλοι οι σταθμοί MGEX στις βάσεις δεδομένων των CDDIS, IGS, BKG για εφαρμογές μετεπεξεργασίας, ένα σημαντικό υποσύνολο τους παρέχουν δεδομένα και σε πραγματικό χρόνο. Για την εκπομπή τους χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο μεταφοράς NTRIP, το οποίο αποτελεί εδώ και καιρό την πρότυπη μορφή ανταλλαγής δεδομένων GNSS σε πραγματικό χρόνο. Σήμερα, υπάρχει ένα ειδικό σύστημα εκπομπής<sup>5</sup> δεδομένων από πολλαπλά συστήματα GNSS, στο κέντρο BKG στην Φρανκφούρτη, όπου τα ληφθέντα πρωτόλεια δεδομένα από τους μόνιμους σταθμούς μετατρέπονται στην μορφή μηνύματος RTCM3 MSM (Multiple-Signal-Message) (Rizos et al. 2013).



**Εικόνα 3-12:** Κατανομή των μόνιμων σταθμών του δικτύου MGEX, που υποστηρίζουν δεδομένα πραγματικού χρόνου (Σεπτέμβριος 2013)

**Πηγή: Montenbruck et al. 2014**

<sup>5</sup> Περισσότερες πληροφορίες υπάρχουν στην ιστοσελίδα <http://mgex.igs-ip.net/home>



### 3.2.3 Προϊόντα

Το πρώτο βήμα προς την ενσωμάτωση των νέων δορυφορικών συστημάτων στην καμπάνια MGEX της υπηρεσίας IGS, πραγματοποιήθηκε με την απόφαση ορισμένων κέντρων ανάλυσης να ξεκινήσουν την παραγωγή υψηλής ακρίβειας προϊόντων τροχιών και χρονομέτρων για τα συστήματα Galileo και BeiDou, μέσω των παρατηρήσεων από το δίκτυο MGEX ή ακόμα και από τοπικά δίκτυα.

Οι πληροφορίες αυτές διανέμονται ελεύθερα στους ενδιαφερόμενους χρήστες και είναι διαθέσιμες από το αρχείο προϊόντων της MGEX, που διατηρείται από το πληροφοριακό σύστημα CDDIS της NASA. Στον Πίν. 3-9, συνοψίζονται τα διαφορετικά είδη προϊόντων<sup>6</sup> που διατίθενται από ινστιτούτα που συμμετέχουν στην καμπάνια MGEX.

Ινστιτούτο	Προϊόντα		Δορυφορικοί σχηματισμοί
CNES/CLS	grmyyyd.sp3	GNSS orbits and clocks (15 min)	GAL(+GPS+GLO)
CODE	comyyyyd.sp3	GNSS orbits and clocks (15 min)	GPS+GLO+GAL
	comyyyyd.clk	GNSS and station clocks (5 min)	(+BDS+QZS)
	comyyyyd.bia/dcb	Biases	GPS (DCBs) GAL (ISBs)
	comyyyyd.erp	Earth rotation parameters	
GFZ	gfmyyyyd.sp3	GNSS orbits and clocks (15 min)	GPS+GAL
	gfmyyyyd.clk	GNSS and station clocks (5 min)	
	gfmyyyyd.bia	Inter-system Biases	
	gbmyyyyd.sp3	GNSS orbits and clocks (15 min)	GPS+BDS(+GLO+GAL)
	gbmyyyyd.clk	GNSS and station locks (5 min)	
gbmyyyyd.erp	Earth rotation parameters		
ESA/ESOC	esmyyyd.sp3	GNSS orbits and clocks (15 min)	GPS+GAL
	esmyyyd.clk	GNSS and station clocks (5 min)	(+GLO+BDS+QZS)
JAXA	qzfyyyyd.sp3	GNSS orbits and clocks (5 min)	GPS+QZS
TUM	tumyyyyd.sp3	GNSS orbits and clocks (15 min)	GAL+QZS
WHU	wumyyyyd.sp3	GNSS orbits and clocks (15 min)	BDS(+GPS+GLO)
	wumyyyyd.clk	GNSS clocks (15min)	

**Πίνακας 3-9:** Γεωδαιτικά προϊόντα τροχιών και χρονομέτρων που παρέχονται από τα ινστιτούτα που συμμετέχουν στο δίκτυο MGEX

**Πηγή:** [www.igs.org](http://www.igs.org) , *Montenbruck & Steigenberger 2015*

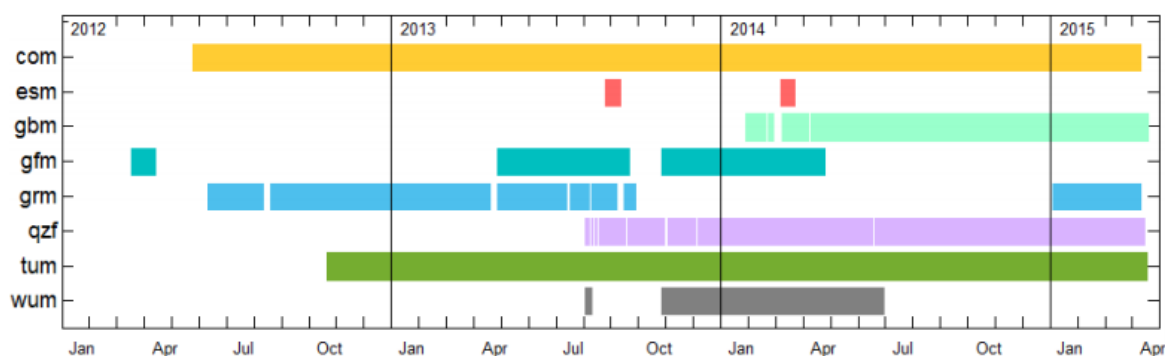
Τα προϊόντα τροχιών και χρονομέτρων για το σύστημα Galileo (GAL) παρέχονται, σήμερα, από τα ινστιτούτα CNES (Centre National D' Etudes Spatiales), CODE (Center for Orbit Determination in Europe), GFZ (GeoForschungsZentrum), ESA (European Space Agency) και TUM (Technische Universität München). Προς το παρόν, τα προϊόντα αυτά αφορούν τους 4 λειτουργικούς δορυφόρους Galileo (PRN E11, E12, E19, E20) και διατίθενται με χρονική καθυστέρηση 3 έως 6 ημερών. Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι μερικά από τα παραπάνω προϊόντα δημιουργούνται και από τη συμμετοχή συμπληρωματικών δικτύων ώστε να εξασφαλίζεται συνεχώς η υψηλή ποιότητα των προϊόντων. Επιπλέον, υπογραμμίζεται ότι η διανομή των προϊόντων τύπου gfm από το κέντρο GFZ έχει προσωρινώς διακοπεί.

<sup>6</sup> Σημειώνεται ότι η περιγραφή των προϊόντων MGEX στην ιστοσελίδα <http://igs.org/mgex/products> δεν είναι ανανεωμένη. Η ανανέωση έγινε από προσωπική αναζήτηση και τη μελέτη των Montenbruck & Steigenberger (2015).

Ακολουθώντας, τα υψηλής ακρίβειας προϊόντα τροχιών και χρονομέτρων για το σύστημα QZSS (QZS) παρέχονται μόνο από το πανεπιστήμιο TUM από τον Οκτώβριο του 2012, μέσω των παρατηρήσεων από το δίκτυο MGEX. Ωστόσο, από τον Αύγουστο του 2013 η υπηρεσία JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) διαθέτει τελικά προϊόντα για το ίδιο σύστημα, τα οποία βασίζονται σε ένα ειδικό δίκτυο παρακολούθησης και παρέχονται ως συμπληρωματικά για τα προϊόντα του TUM.

Όσον αφορά το κινεζικό σύστημα BeiDou (BDS), τα προϊόντα του παρέχονται από τα κέντρα GFZ και WHU (Wuhan University), κάνοντας χρήση τόσο του δικτύου MGEX όσο και ιδιωτικών τοπικών δικτύων. Παράλληλα, έχει παρατηρηθεί ότι και το κέντρο CODE έχει ξεκινήσει να παρέχει αντίστοιχα προϊόντα.

Στην Εικ. 3-13, απεικονίζεται η χρονολογική διαθεσιμότητα των παραπάνω προϊόντων από τα ινστιτούτα που συμμετέχουν στο πρόγραμμα MGEX, μέχρι τον Απρίλιο του 2015.



**Εικόνα 3-13:** Χρονολογική διαθεσιμότητα (μέχρι τον Απρίλιο 2015) των προϊόντων τροχιών και χρονομέτρων από τα συμμετέχοντα ινστιτούτα στο πιλοτικό πρόγραμμα MGEX της υπηρεσίας IGS  
**Πηγή: Montenbruck & Steigenberger (2015)**

### 3.2.4 Εκπεμπόμενες εφημερίδες

Προκειμένου οι χρήστες να διαθέτουν πληροφορίες σχετικές με τις τροχιές και τα χρονόμετρα όλων των δορυφόρων GNSS που υποστηρίζει το δίκτυο MGEX, το πανεπιστήμιο TUM σε συνεργασία με το κέντρο DLR (German Aerospace Center), και το κέντρο BKG παράγουν και διαθέτουν ένα συγχωνευμένο αρχείο εκπεμπόμενης εφημερίδας (broadcast ephemeris file) σε καθημερινή βάση, με πληροφορίες από όλα τα διαθέσιμα συστήματα GNSS. Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στον Πίν. 3-10, το BKG παρέχει εκπεμπόμενες εφημερίδες των δορυφόρων GPS και GLONASS, ενώ τα TUM/DLR εφημερίδες των δορυφόρων από όλα τα διαθέσιμα δορυφορικά συστήματα. Το αρχείο με πληροφορίες για τους δορυφόρους GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou/QZSS/SBAS περιλαμβάνει τις τροχιές περισσότερων από 80 δορυφόρων, ενώ ο αριθμός αυτός ολοένα και θα αυξάνεται με την εκτόξευση και τοποθέτηση περισσότερων δορυφόρων σε τροχιά.

Ινστιτούτο	Προϊόντα	Δορυφορικοί σχηματισμοί
BKG	brdcdddn.yyp	Merged broadcast ephemerides GPS+GLO
TUM/DLR	brdmdddn.yyp	Merged broadcast ephemerides GPS+GLO+GAL+ BDS+QZS+SBAS

**Πίνακας 3-10:** Συγχωνευμένες εκπεμπόμενες εφημερίδες των δορυφόρων GNSS που παρέχονται από τα ινστιτούτα BKG και TUM/DLR

**Πηγή: [www.igs.org](http://www.igs.org)**

Επιπλέον, η υπηρεσία IGS πρόκειται να παρέχει αντίστοιχα αρχεία εφημερίδας σε μορφότυπο SP3, έτσι ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη συμβατότητα με τα υπάρχοντα λογισμικά καθώς μερικά από αυτά δεν υποστηρίζουν τα μοντέλα εκπεμπόμενης εφημερίδας όλων των δορυφόρων GNSS. Προς το παρόν, έχει ξεκινήσει μία επέκταση για το μορφότυπο SP3c, ο οποίος μπορεί να περιλαμβάνει περισσότερους από 85 δορυφόρους, και βρίσκεται υπό αξιολόγηση από την υπηρεσία IGS (Montenbruck et al. 2014).

Αν και οι πληροφορίες των εκπεμπόμενων εφημερίδων και χρονομέτρων (broadcast orbit and clock information) υστερούν αρκετά σε ακρίβεια σε σχέση με τα υψηλής ακρίβεια προϊόντα (precise orbit and clock products), βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή στην ανάλυση ορατότητας δορυφόρων, στον έλεγχο ποιότητας δεδομένων παρατηρήσεων καθώς και στην πλοήγηση με χρήση μεθόδων σχετικού εντοπισμού. Επιπλέον, σημαντική είναι η συμβολή των πληροφοριών αυτών στον προσδιορισμό των ανοχών κλίμακας χρόνου (system time offsets) μεταξύ των διαφορετικών δορυφορικών σχηματισμών για τους οποίους προς το παρόν δεν παρέχονται εναλλακτικά προϊόντα από την MGEX.

### 3.2.5 Σφάλματα μεταξύ κωδίκων

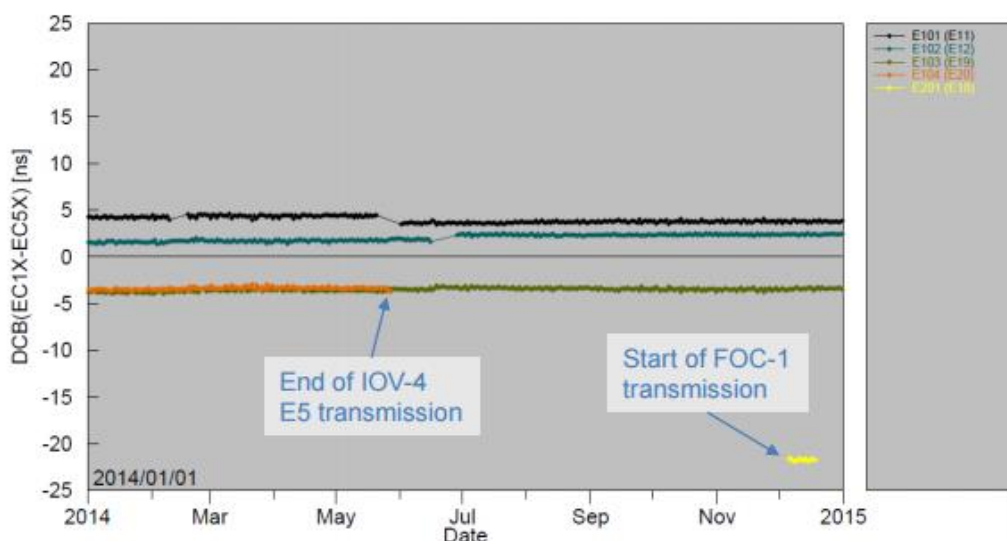
Σε αρκετές εφαρμογές πλοήγησης, αλλά και σε αναλύσεις της ιονόσφαιρας, είναι απαραίτητη η γνώση των σφαλμάτων DCB (Differential Code Biases) μεταξύ των κωδίκων. Λόγω, λοιπόν, της συγκεκριμένης ανάγκης, το πρόγραμμα MGEX προχώρησε στην δημιουργία ενός προϊόντος DCB, που παρέχεται από τα κέντρα δεδομένων CDDIS και IGN.

Ο προσδιορισμός των σφαλμάτων αυτών γίνεται μέσω των διαφορών των μετρήσεων ψευδοάποστασης, απαλλαγμένων από την ιονοσφαιρική επίδραση. Σημειώνεται ότι τα προϊόντα DCB καλύπτουν τα σήματα από όλα τα διαθέσιμα συστήματα GNSS, με μοναδική εξαίρεση αυτά του ιαπωνικού συστήματος QZSS, καθώς η διαθεσιμότητα ενός μόνο δορυφόρου σε τροχιά και η έλλειψη βαθμονόμησης ενός σταθμού αναφοράς δεν επιτρέπουν τον διαχωρισμό μεταξύ των σφαλμάτων DCB που οφείλονται στο τμήμα του δορυφόρου και σε αυτό του δέκτη. Στον Πίν. 3-11, παρατίθενται τα προϊόντα DCB που παρέχουν τα κέντρα CDDIS και IGN. Το προϊόν που περιλαμβάνει μόνο τα δορυφορικά σφάλματα DCB προέρχεται από εβδομαδιαίους μέσους όρους των ημερήσιων σφαλμάτων DCB, και παρέχεται σε αρχεία μορφής bsx (Bias SINEX) για κάθε έτος. Αντίθετα, το προϊόν που περιλαμβάνει τα σφάλματα τόσο των δορυφόρων όσο και των μόνιμων σταθμών περιέχει το σύνολο των εν λόγω σφαλμάτων για κάθε ημέρα του έτους.

Κέντρα Δεδομένων	Προϊόντα
CDDIS, IGN	MGEXyyyy.bsx      GNSS satellite biases
	MGEXyyyy_all.bsx      GNSS satellite and station biases

**Πίνακας 3-11:** Τυπικά προϊόντα σφαλμάτων DCB μεταξύ κωδίκων για τα διαθέσιμα δορυφορικά συστήματα GNSS

**Πηγή:** [www.igs.org](http://www.igs.org)



**Εικόνα 3-14:** Σφάλματα DCB μεταξύ των κωδίκων C1X και C5X των δορυφόρων Galileo  
**Πηγή:** *Montenbruck & Steigenberger (2015)*

Σημειώνεται ότι για καθημερινές εφαρμογές εντοπισμού και πλοήγησης, δεν απαιτούνται τα σφάλματα DCB που οφείλονται στους σταθμούς, καθώς αυτά απορροφούνται στα σφάλματα χρονομέτρου του σταθμού ή στα σφάλματα ISB (Inter-System Biases) μεταξύ των συστημάτων. Ωστόσο, σε μελέτες και αναλύσεις με δεδομένα πολλαπλών συστημάτων GNSS κρίνεται αναγκαία η χρήση τους.

### 3.2.6 Προϊόντα πραγματικού χρόνου

Εκτός από τα δεδομένα πολλαπλών συστημάτων GNSS σε πραγματικό χρόνο, η καμπάνια MGEX παρέχει και εκπεμπόμενες εφημερίδες σε πραγματικό χρόνο. Αυτό πραγματοποιείται μέσω του καναλιού RTCM3EPH-MGEX και του ειδικού συστήματος εκπομπής πληροφοριών που διαχειρίζεται το κέντρο ανάλυσης BKG σε συνεργασία με το πρόγραμμα MGEX. Οι πληροφορίες αυτές προέρχονται από ένα παγκόσμια κατανομημένο δίκτυο μόνιμων σταθμών και καλύπτουν πλήρως τους δορυφορικούς σχηματισμούς GPS, GLONASS και Galileo, όπως φαίνεται στον Πίν. 3-12.

Διεύθυνση (IP:Port) πομπού	Σημείο προσάρτησης (mountpoint)	Συστήματα GNSS	Μηνύματα
mgex.igs-ip.net:2101	RTCM3EPH-MGEX	GPS+GLO+GAL	1019(5)
			1020(5)
			1045(5)
			1046(5)

**Πίνακας 3-12:** Πληροφορίες για την εκπομπή προϊόντων σε πραγματικό χρόνο μέσω του πιλοτικού προγράμματος MGEX

**Πηγή:** <http://igs.bkg.bund.de/>

Για την χρήση των πληροφοριών αυτών, είναι απαραίτητη η χρήση του εξυπηρετητή BNC (BKG NTRIP Client) πρωτοκόλλου μεταφοράς δεδομένων NTRIP, που διατίθεται από το κέντρο ανάλυσης BKG. Ο συγκεκριμένος εξυπηρετητής μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε επιτραπέζιο όσο και φορητό υπολογιστή, και επιτρέπει τη λήψη πληροφοριών από όλους τους διαθέσιμους πομπούς (NTRIP broadcasters). Στο σημείο αυτό, σημειώνεται ότι η χρήση αυτή είναι δυνατή ύστερα από εγγραφή<sup>7</sup> του χρήστη στην υπηρεσία, προκειμένου να διασφαλισθεί η ορθή χρήση των παραπάνω δεδομένων.

### 3.2.7 Τυποποίηση και συμβάσεις

Προκειμένου η ομάδα εργασίας MGWG, αρμόδια για την παροχή δεδομένων από πολλαπλά δορυφορικά συστήματα, να διασφαλίσει την ορθή χρήση όλων των προαναφερθέντων προϊόντων, προέβη σε στενή συνεργασία με άλλες ομάδες εργασίας της IGS έτσι ώστε να υπάρξει συντονισμός ως προς τον μορφότυπο των δεδομένων και τα πρότυπα επεξεργασίας τους. Παραδείγματα από αυτήν τη συνεργασία αποτελούν τα αρχεία δεδομένων RINEX έκδοσης 3 και τα διορθωτικά μηνύματα RTCM3, τα οποία υποστηρίζουν πλήρως τα σήματα από όλα τα διαθέσιμα συστήματα GNSS.

	$x_{s/c}$	$y_{s/c}$	$z_{s/c}$
Galileo IOV	+0.2 m	+0.0 m	+0.6 m
BeiDou	+0.6 m	+0.0 m	+1.1 m

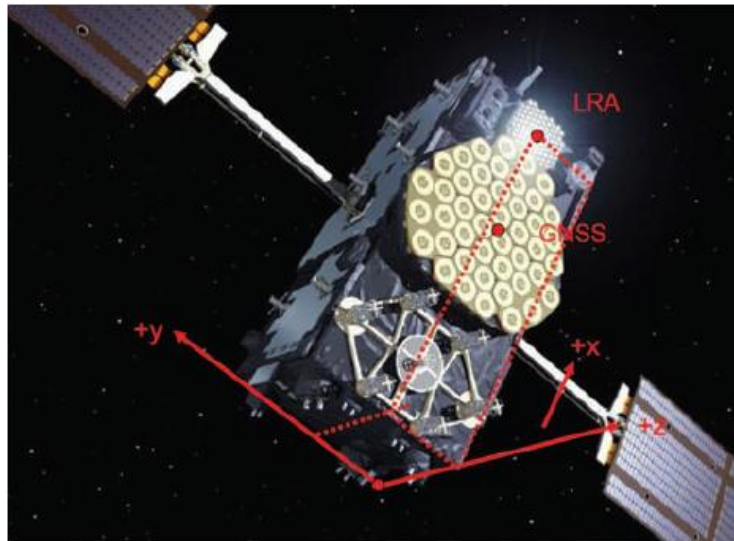
**Πίνακας 3-13:** Συμβατικές ανοχές στη θέση του κέντρου φάσης των κεραιών από το κέντρο μάζας των δορυφόρων, για την επεξεργασία δεδομένων των συστημάτων Galileo και BeiDou. Όλες οι τιμές αναφέρονται στο σύστημα συντεταγμένων των διαστημικών σκαφών

**Πηγή:** [www.igs.org](http://www.igs.org)

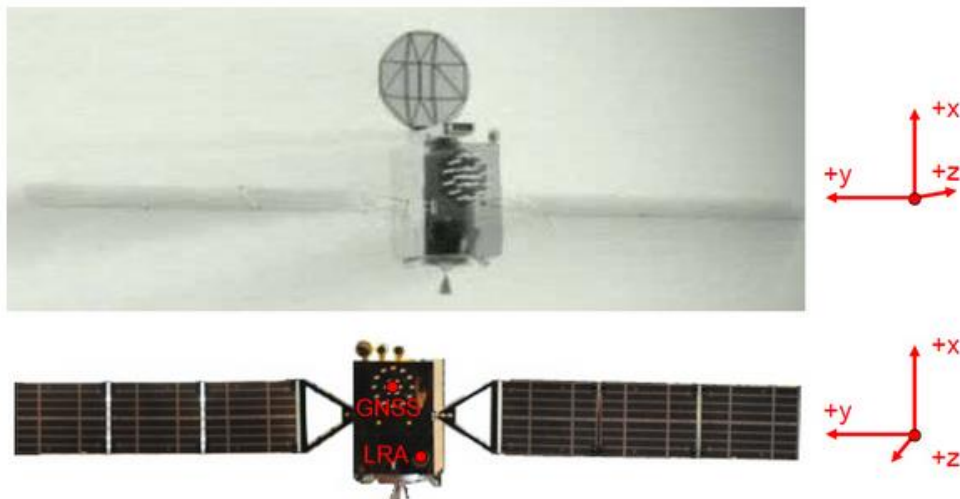
Επιπλέον, η τρέχουσα έρευνα εστιάζει στην κατάλληλη μοντελοποίηση των ανοχών στη θέση του κέντρου φάσης των κεραιών και των μοτίβων φάσης των κεραιών δεκτών και δορυφόρων, καθώς και στην τεκμηρίωση του συστήματος συντεταγμένων των δορυφόρων για κάθε δορυφορικό σχηματισμό (Rizos et al. 2013). Στον Πίν. 3-13, παρατίθενται οι

<sup>7</sup> Η εγγραφή του χρήστη στην συγκεκριμένη υπηρεσία γίνεται στην εξής ιστοσελίδα: <http://register.rtcn-ntrip.org/cgi-bin/registration.cg>

συμβατικές ανοχές στη θέση του κέντρου φάσης των κεραιών που έχουν υιοθετηθεί από το πρόγραμμα MGEX, οι οποίες θα επιτρέψουν μία συντονισμένη επεξεργασία των παρατηρήσεων από πολλαπλά συστήματα GNSS, έως ότου εκδοθούν επίσημα οι παραπάνω πληροφορίες για τα συστήματα Galileo και BeiDou. Οι τιμές αυτές αναφέρονται στον προσανατολισμό του συστήματος συντεταγμένων των δορυφόρων, όπως φαίνεται στις Εικ. 3-15 και Εικ. 3-16.



**Εικόνα 3-15:** Προσανατολισμός του συστήματος συντεταγμένων και θέση της κεραίας GNSS και του ανακλαστήρα LRA στους δορυφόρους Galileo IOV  
 Πηγή: [www.igs.org](http://www.igs.org)



**Εικόνα 3-16:** Προσανατολισμός του συστήματος συντεταγμένων και θέση της κεραίας GNSS και του ανακλαστήρα LRA στους δορυφόρους BeiDou γεωστατικής GEO (επάνω σχήμα) και κεκλιμένης γεωσύγχρονης IGSO και μέσου ύψους MEO τροχιάς (κάτω σχήμα)  
 Πηγή: [www.igs.org](http://www.igs.org)



# 4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία για την επίτευξη των στόχων που τέθηκαν. Αρχικά, περιγράφονται τα δεδομένα παρατηρήσεων καθώς και το ελεύθερο λογισμικό RTKLIB που χρησιμοποιήθηκαν στην εν λόγω μελέτη. Έπειτα, παρουσιάζεται και τεκμηριώνεται ο τρόπος επεξεργασίας των δεδομένων, ενώ στο τέλος αναφέρονται οι στατιστικοί δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν για την ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

## 4.1 Προέλευση Δεδομένων

Στην ενότητα αυτή, λαμβάνει χώρα μία συνοπτική αναφορά σχετικά με τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Το πρώτο στάδιο της επεξεργασίας περιλαμβάνει την διερεύνηση και επικύρωση της απόδοσης του ελεύθερου λογισμικού ανοικτού κώδικα, RTKLIB, που χρησιμοποιήθηκε στην εν λόγω μελέτη για τον εντοπισμό θέσης με την τεχνική PPP. Για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά δεδομένα από πραγματικές κινηματικές πορείες πλοίου, αεροπλάνου και αυτοκινήτου, με απώτερο σκοπό την σύγκριση των αποτελεσμάτων που παρέχει το παραπάνω λογισμικό και η διαδικτυακή PPP υπηρεσία CSRS-PPP. Συγκεκριμένα, τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον Πίν. 4-1.

Μέσο μεταφοράς	Διαδρομή - Περιοχή	Διάρκεια	Χρονικό βήμα	Δορυφορικός σχηματισμός
Πλοίο	Αλεξ/πολη - Σαμοθράκη	2hr 39min (aller) 2hr 19min (retour)	15sec	GPS
	Ηράκλειο - Πειραιάς	8hr 37min 30sec	15sec	GPS
	Πειραιάς - Θήρα	9hr 20min 30sec	15sec	GPS
	Πειραιάς - Χίος	6hr 2min 30sec	10sec	GPS
	Θεσ/νίκη - Μυτιλήνη	15hr 17min 30sec	15sec	GPS
Αεροπλάνο	Hall Beach, Canada	4hr 33min 29sec (aller – retour)	1sec	GPS
Αυτοκίνητο	Glendora, California	17min 4sec	1sec	GPS

Πίνακας 4-1: Πληροφορίες δεδομένων πραγματικών κινηματικών πορειών

Στο σημείο αυτό, σημειώνεται ότι τα δεδομένα παρατηρήσεων από τις κινηματικές πορείες πλοίου Πειραιάς – Θήρα και Θεσσαλονίκη – Μυτιλήνη δεν αποτελούν συνεχείς παρατηρήσεις, καθώς προέκυψαν από συνένωση επιμέρους RINEX αρχείων των οποίων ο χρόνος λήξης του ενός και έναρξης του επομένου δεν συνέπιπταν. Το γεγονός αυτό πιθανώς οφείλεται στην προσωρινή διακοπή του δέκτη του πλοίου. Η διαδικασία της συνένωσης πραγματοποιήθηκε με το ελεύθερο λογισμικό TEQC, του οποίου τα χαρακτηριστικά συνοψίζονται στην ενότητα (4.3).

Όσο αφορά τα δεδομένα από την κινηματική πορεία αεροπλάνου, αυτά συλλέχθηκαν στο ταξίδι μετ' επιστροφής από το Hall Beach έως το Baffin Island του Καναδά. Το χρονικό βήμα των παρατηρήσεων είναι 1 δευτερόλεπτο, ενώ η διάρκεια τους 4 ώρες και 33 λεπτά. Επιπρόσθετα, τα δεδομένα από την κινηματική πορεία με αυτοκίνητο συλλέχθηκαν στην αστική περιοχή Glendora της Καλιφόρνια και έχουν διάρκεια περίπου 17 λεπτών. Αν και οι παραπάνω κινηματικές πορείες περιλαμβάνουν μόνο δεδομένα GPS, ήταν ο μόνος τρόπος διερεύνησης της απόδοσης του RTKLIB με πραγματικά κινηματικά δεδομένα.

Εν συνεχεία, προκειμένου να διερευνηθεί η ακρίβεια θέσης που παρέχουν οι διαδικτυακές υπηρεσίες επίλυσης δορυφορικών δεδομένων με την τεχνική PPP, λήφθηκαν δορυφορικά δεδομένα από την ιστοσελίδα της υπηρεσίας IGS. Συγκεκριμένα, λήφθηκαν δεδομένα παρατηρήσεων GPS/GLONASS, συλλεχθέντα στον μόνιμο σταθμό NICO στις 10/01/2014 και 11/01/2014. Τα αρχεία μετρήσεων που παρέχει ο εν λόγω σταθμός περιέχουν παρατηρήσεις φέρουσας φάσης και κώδικα και στις δύο συχνότητες, L1 και L2, ενώ ο ρυθμός καταγραφής τους είναι 30 δευτερόλεπτα. Σημειώνεται εδώ ότι ο εν λόγω σταθμός έχει τη δυνατότητα λήψης επιπλέον δεδομένων, από το δορυφορικό σύστημα Galileo και το σύστημα επαύξησης SBAS. Παρ' όλα αυτά, οι διαδικτυακές υπηρεσίες επίλυσης επεξεργάζονται προς το παρόν μόνο δεδομένα GPS, με εξαίρεση τις υπηρεσίες CSRS-PPP και magicPPP που έχουν τη δυνατότητα επεξεργασίας και δεδομένων GLONASS.

Έπειτα, ακολούθησε η λήψη δεδομένων παρατηρήσεων από το πιλοτικό πρόγραμμα MGEX της υπηρεσίας IGS, προκειμένου να διερευνηθεί η βελτίωση στην παρεχόμενη ακρίβεια θέσης με τη χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS. Όπως προαναφέρθηκε, το συγκεκριμένο πρόγραμμα έχει στόχο τη συλλογή, ανάλυση και διανομή δορυφορικών δεδομένων από όλα τα διαθέσιμα δορυφορικά συστήματα, έτσι ώστε να προετοιμάσει το επιστημονικό, και όχι μόνο, κοινό ως προς την χρήση προϊόντων από πολλαπλά συστήματα GNSS. Συγκεκριμένα, λήφθηκαν δεδομένα παρατηρήσεων GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou, συλλεχθέντα στους μόνιμους σταθμούς UNB3 και CUT0 την περίοδο 05/01/2014 – 14/01/2014. Η συγκεκριμένη λήψη δεδομένων πραγματοποιήθηκε αυτόματα, μέσω της εφαρμογής RTKGET του λογισμικού RTKLIB (λεπτομέρειες δίνονται στην ενότητα (4.2.2)).

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά των παραπάνω σταθμών, όπως η τοποθεσία, ο τύπος του δέκτη και της κεραίας.

Σταθμός	Τοποθεσία	Συντεταγμένες		Δέκτης	Κεραία
		φ	λ		
NICO	Λευκωσία, Κύπρος	35° 08' 27"	33° 23' 47"	LEICA GR25	LEIAR25.R4
UNB3	Fredericton, Καναδάς	45° 57' 00"	-66° 38' 24"	TRIMBLE NETR9	TRM57971.00 NONE
CUT0	Perth, Αυστραλία	-32° 00' 00"	115° 53' 24"	TRIMBLE NETR9	TRM59800.00

**Πίνακας 4-2:** Πληροφορίες των χρησιμοποιούμενων μόνιμων σταθμών

Σημειώνεται εδώ ότι ο σταθμός NICO στη Λευκωσία συμμετέχει εδώ και λίγο καιρό στην καμπάνια MGEX, όμως δεν έχει ξεκινήσει ακόμα η διανομή δεδομένων από πολλαπλά συστήματα GNSS.

Εκτός, όμως, από τα παραπάνω δεδομένα πολλαπλών συστημάτων που λήφθηκαν από την καμπάνια MGEX, λήφθηκαν και άλλα αρχεία δεδομένων έτσι να γίνει ορθά η επεξεργασία των δεδομένων με την τεχνική PPP στο ελεύθερο λογισμικό ανοικτού κώδικα, RTKLIB. Συγκεκριμένα, τα αρχεία αυτά περιέχουν πληροφορίες σχετικά με τις τροχιές των δορυφόρων (SP3 αρχεία), τις διορθώσεις στα χρονόμετρα τους (CLK αρχεία), τις εκπεμπόμενες εφημερίδες (NAV αρχεία), τις παραμέτρους περιστροφής της γης (ERP αρχεία), διορθώσεις στο κέντρο φάσης κεραίων του εκάστοτε δέκτη και δορυφόρου (ANTEX αρχεία) και διορθώσεις μεταξύ των κωδίκων (DCB αρχεία). Οι πληροφορίες αυτές, τα λεγόμενα προϊόντα, παρέχονται ελεύθερα από την υπηρεσία IGS και το πιλοτικό πρόγραμμα MGEX σύμφωνα με τους μορφότυπους που αναφέρθηκαν στην ενότητα 3.1.3.

## 4.2 Πρόγραμμα RTKLIB

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζονται και αναλύονται η δομή και τα χαρακτηριστικά του λογισμικού RTKLIB, που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη.

### 4.2.1 Εισαγωγή

Το RTKLIB αποτελεί ένα ελεύθερο λογισμικό ανοικτού κώδικα για τον πρότυπο και υψηλής ακρίβειας εντοπισμό θέσης με τη χρήση των διαθέσιμων δορυφορικών συστημάτων GNSS.



Το εν λόγω πρόγραμμα αναπτύχθηκε από τον ερευνητή T. Takasu και διατίθεται ελεύθερα<sup>8</sup> από το 2006. Από τότε, έχουν γίνει σημαντικές διορθώσεις και βελτιώσεις στο λογισμικό (τελευταία έκδοση v.2.4.2), τόσο από τον ίδιο ερευνητή όσο και από χρήστες του RTKLIB.

Συγκεκριμένα, το λογισμικό RTKLIB αποτελείται από μία φορητή βιβλιοθήκη προγραμμάτων και ορισμένες εφαρμογές AP (Application Programs) που χρησιμοποιούν την πρώτη, με σκοπό να διευκολύνει την επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων για τον προσδιορισμό της ζητούμενης θέσης. Αρκετοί είναι οι τύποι εντοπισμού που υποστηρίζονται στο εν λόγω λογισμικό, τόσο σε πραγματικό χρόνο όσο και σε στάδιο μετεπεξεργασίας, μεταξύ των οποίων είναι ο απόλυτος (single point positioning), ο σχετικός (DGNSS) και ο υψηλής ακρίβειας απόλυτος (PPP) προσδιορισμός θέσης.

Παράλληλα, το συγκεκριμένο λογισμικό είναι από τα μόνα που υποστηρίζουν δεδομένα από όλα τα δορυφορικά συστήματα (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS, SBAS), με αποτέλεσμα η διερεύνηση που λαμβάνει χώρα στην παρούσα διπλωματική εργασία να καθίσταται δυνατή. Επιπλέον, το RTKLIB υποστηρίζει αρκετούς μορφότυπους (formats) αρχείων, όπως είναι τα αρχεία RINEX, RTCM, NTRIP, ANTEX και IONEX, ενώ παράλληλα παρέχει τη δυνατότητα επεξεργασίας και μετατροπής των δεδομένων, οπτικοποίησης του αριθμού και των τροχιών των ορατών δορυφόρων καθώς και εξαγωγής των αποτελεσμάτων θέσης.

Ακολουθώς, οι εφαρμογές που απαρτίζουν το συγκεκριμένο λογισμικό λειτουργούν τόσο σε γραφικό περιβάλλον χρήστη GUI (Graphical User Interface) όσο και σε περιβάλλον γραμμών εντολών CUI (Command-line User Interface). Επίσης, οι εφαρμογές αυτές λειτουργούν κατά βάση στο λειτουργικό σύστημα Microsoft Windows, αν και η χρήση τους είναι δυνατή και σε άλλα συστήματα (LINUX, UNIX, MAC OS X) με τη μεταγλώττιση (compile) των εφαρμογών CUI από τον χρήστη.

Στο σημείο αυτό, θεωρείται σκόπιμο να αναφερθεί ότι το RTKLIB είναι ένα λογισμικό ανοικτού κώδικα, το οποίο επιτρέπει στους χρήστες του την ανάγνωση, μετατροπή, διαφοροποίηση και βελτίωση των εφαρμογών με βάση τις ανάγκες τους.

#### **4.2.2 Δομή RTKLIB**

Η δομή του RTKLIB χωρίζεται σε τρία βασικά μέρη, μέσω των οποίων πραγματοποιούνται όλες οι απαιτούμενες εργασίες. Αυτά είναι η βιβλιοθήκη του λογισμικού, οι εφαρμογές σε γραφικό περιβάλλον GUI και οι εφαρμογές σε περιβάλλον CUI.

Συγκεκριμένα, η βιβλιοθήκη του RTKLIB αποτελεί τον πυρήνα όλων των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε αυτό. Αποτελεί το σύνολο πολλών συναρτήσεων (library functions), γραμμένων σε γλώσσα προγραμματισμού ANSI C (C89), που εκτελούν διεργασίες όπως είναι η ανάγνωση των αρχείων εισόδου (αρχεία παρατηρήσεων, εκπεμπόμενες εφημερίδες, προϊόντα τροχιών και χρονομέτρων των δορυφόρων, διορθωτικά μοντέλα για τις κεραίες δεκτών και δορυφόρων), η επεξεργασία τους ανάλογα με τον τύπο εντοπισμού που επιθυμεί ο χρήστης, η μετατροπή συντεταγμένων μεταξύ συστημάτων αναφοράς καθώς και η λήψη δεδομένων από το διαδίκτυο.

Έπειτα, οι εφαρμογές GUI AP και CUI AP δημιουργήθηκαν με βάση την παραπάνω βιβλιοθήκη συναρτήσεων, στις γλώσσες προγραμματισμού C++ και ANSI C αντίστοιχα. Η οπτικοποίηση των εφαρμογών σε γραφικό περιβάλλον χρήστη GUI πραγματοποιήθηκε μέσω της βιβλιοθήκης οπτικοποίησης Embarcadero/Borland VCL (Visual Component Library).

Στον Πίν. 4-3, παρουσιάζονται οι εφαρμογές που περιλαμβάνει το RTKLIB, ανάλογα με το περιβάλλον διεπαφής που επιλέγει ο χρήστης.

---

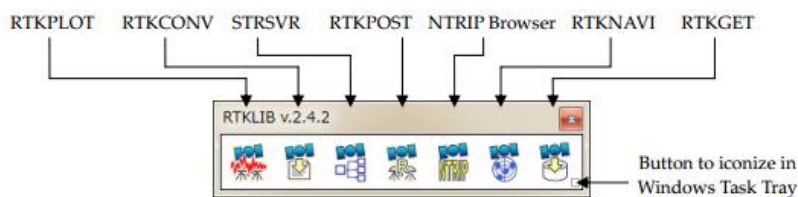
<sup>8</sup> Η λήψη του λογισμικού RTKLIB γίνεται στην εξής ιστοσελίδα: <http://www.rtklib.com/>

Function	GUI AP	CUI AP
(a) AP Launcher	RTKLAUNCH	-
(b) Real-Time Positioning	RTKNAVI	RTKRCV
(c) Communication Server	STRSVR	STR2STR
(d) Post-Processing Analysis	RTKPOST	RNX2RTKP
(e) RINEX Converter	RTKCONV	CONVBIN
(f) Plot Solutions and Observation Data	RTKPLOT	-
(g) Downloader for GNSS Products and Data	RTKGET	-
(h) NTRIP Browser	SRCTBLBROWS	-

**Πίνακας 4-3:** Εφαρμογές GUI και CUI που περιλαμβάνονται στο λογισμικό RTKLIB

**Πηγή:** [www.rtklib.com](http://www.rtklib.com)

Αρχικά, η εφαρμογή RTKLAUNCH δημιουργήθηκε προκειμένου να διευκολύνει τους χρήστες, καθώς με τη λειτουργία της εμφανίζεται ένα παράθυρο στην οθόνη μέσω του οποίου ο χρήστης μπορεί να μεταβεί σε οποιαδήποτε από τις υπόλοιπες εφαρμογές του λογισμικού.

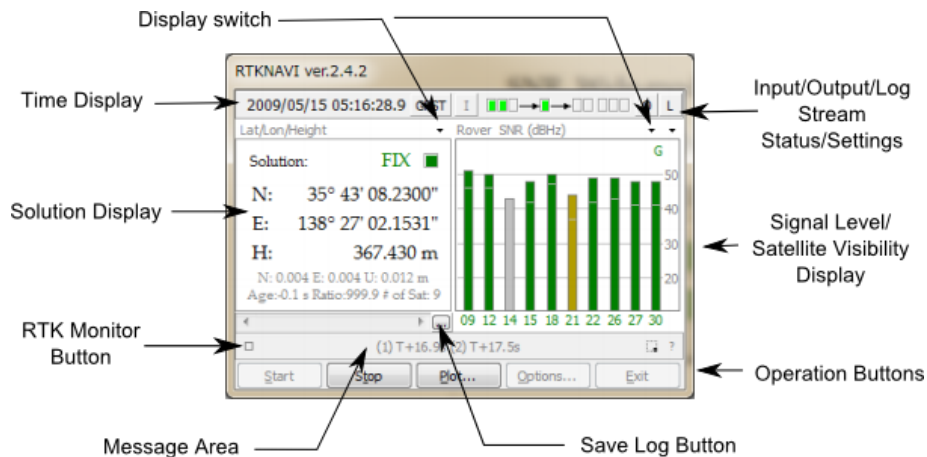


**Εικόνα 4-1:** Μενού της εφαρμογής RTKLAUNCH

**Πηγή:** [www.rtklib.com](http://www.rtklib.com)

Η δεύτερη εφαρμογή, RTKNAVI, που θεωρείται από τις κύριες εφαρμογές του λογισμικού, επιτρέπει στους χρήστες τον προσδιορισμό θέσης τους σε πραγματικό χρόνο μέσω της εισαγωγής πρωτόλειων δεδομένων παρατηρήσεων από δορυφορικούς δέκτες. Ο χρήστης, αρχικά, καλείται να δηλώσει τα επιθυμητά αρχεία εισόδου (αρχεία παρατηρήσεων, σταθμός αναφοράς, διορθώσεις) καθώς και τον τρόπο εισαγωγής τους (σειριακή θύρα, FTP, NTRIP, κ.ά.). Επιπλέον, επιθυμητό είναι ο χρήστης να δηλώσει τον μορφότυπο των αρχείων αυτών, αν και στις περισσότερες περιπτώσεις το πρόγραμμα έχει τη δυνατότητα να τον αναγνωρίζει αυτόματα. Στην περίπτωση λήψης δεδομένων μέσω εξυπηρετητών τύπου TCP Client και NTRIP Client, ο χρήστης θα πρέπει να δηλώσει ορισμένα στοιχεία του διακομιστή εκπομπής δεδομένων (caster host) έτσι ώστε η σύνδεση σε αυτόν να καταστεί δυνατή.

Εν συνεχεία, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δηλώσει τον τρόπο εξαγωγής των αποτελεσμάτων της θέσης του (π.χ. σε αρχείο), και να εκκινήσει τη διαδικασία εντοπισμού. Το γραφικό περιβάλλον της συγκεκριμένης εφαρμογής είναι αρκετά φιλικό προς τον χρήστη, καθώς του επιτρέπει την παρακολούθηση των προκυπτουσών λύσεων με το είδος της λύσης (fix, float, κτλ.) και ταυτόχρονα ορισμένων βασικών στοιχείων στο ίδιο παράθυρο. Συγκεκριμένα, μεταξύ αυτών των στοιχείων είναι ο λόγος σήματος προς θόρυβο SNR (Signal to Noise Ratio), η παρακολούθηση των ορατών δορυφόρων τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή καθώς και η παρακολούθηση της τρέχουσας θέσης του κινούμενου δέκτη.

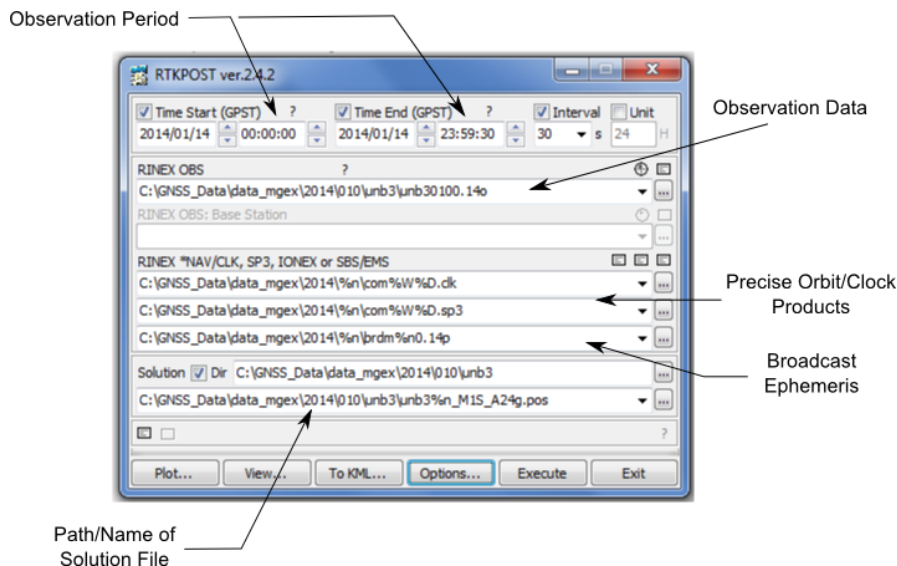


**Εικόνα 4-2:** Κεντρικό παράθυρο της εφαρμογής RTKNAVI  
**Πηγή: [www.rtklib.com](http://www.rtklib.com)**

Η τρίτη εφαρμογή, STRSVR, αποτελεί έναν διακομιστή επικοινωνίας που επιτρέπει την αποστολή των αποτελεσμάτων θέσης από τη θέση του δέκτη, που λαμβάνει και επεξεργάζεται τα δορυφορικά δεδομένα με την προηγούμενη εφαρμογή RTKNAVI, σε θέση που επιθυμεί ο χρήστης. Η συγκεκριμένη εφαρμογή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη, καθώς ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να μην παρευρίσκεται στον τοποθεσία του δέκτη και να λαμβάνει τα αποτελέσματα θέσης του σε απομακρυσμένη τοποθεσία. Επιπλέον, ο χρήστης μπορεί να διαμορφώσει έναν σύνδεσμο επικοινωνίας μέσω ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή, ο οποίος να λαμβάνει δεδομένα από σταθμούς αναφοράς και να τα αποστέλλει στον κινούμενο δέκτη. Προκειμένου, όμως, αυτό να καταστεί δυνατό θα πρέπει να διαμορφωθεί κατάλληλα ο σύνδεσμος επικοινωνίας μεταξύ του δέκτη και του χρήστη. Αρχικά, ο χρήστης πρέπει να δηλώσει τον τρόπο εισαγωγής και εξαγωγής των δεδομένων, όπως ακριβώς και στην εφαρμογή RTKNAVI. Με την εκκίνηση της εφαρμογής, έπειτα, του δίνεται η δυνατότητα να παρακολουθεί την κατάσταση της επικοινωνίας μέσω κατάλληλων μηνυμάτων.

Η τέταρτη εφαρμογή, RTKPOST, αποτελεί μία από τις κύριες εφαρμογές του λογισμικού RTKLIB και επιτρέπει τον εντοπισμό της εκάστοτε θέσης σε στάδιο μετεπεξεργασίας. Οι τεχνικές εντοπισμού που υποστηρίζονται στην εν λόγω εφαρμογή είναι ο απόλυτος (single-point), ο σχετικός (DGNSS) και ο υψηλής ακρίβειας (PPP) προσδιορισμός θέσης τόσο σε στατικό όσο και κινηματικό τύπο εντοπισμού. Το πρώτο βήμα για την χρήση της συγκεκριμένης εφαρμογής περιλαμβάνει την δήλωση του RINEX αρχείου δεδομένων του δέκτη και του αρχείου μηνύματος πλοήγησης από τον χρήστη. Στην συνέχεια, ο χρήστης καλείται να εισάγει τα υψηλής ακρίβειας αρχεία τροχιών και χρονομέτρων των δορυφόρων (precise orbit and clock data) για την εφαρμογή της τεχνικής PPP, ενώ στην περίπτωση του σχετικού εντοπισμού απαραίτητη είναι η εισαγωγή του αρχείου παρατηρήσεων από έναν σταθμό αναφοράς (base station).

Έπειτα, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα διαμορφώσει τον τρόπο επεξεργασίας των δεδομένων του μέσω κατάλληλου μενού επιλογών (Options). Μέσω αυτού, ο χρήστης μπορεί να τροποποιήσει την δορυφορική τεχνική εντοπισμού, της χρησιμοποιούμενες συχνότητες (L1, L2), την γωνία αποκοπής των δορυφόρων, τις ατμοσφαιρικές διορθώσεις, τα διορθωτικά μοντέλα της τεχνικής PPP καθώς και να επιλέξει τα επιθυμητά συστήματα GNSS για την λύση του, με την προϋπόθεση ότι υπάρχουν αντίστοιχες παρατηρήσεις στα αρχεία δεδομένων του. Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να καθορίσει το είδος των συντεταγμένων της λύσης του (γεωδαιτικές, καρτεσιανές, ή τοποκεντρικές συντεταγμένες), να διαμορφώσει το αρχείο εξόδου, να τροποποιήσει τα σφάλματα των μετρήσεων κώδικα και φάσης καθώς και να εισάγει περαιτέρω αρχεία πληροφοριών (διορθώσεις σχετικές με το κέντρο φάσης κεραιών, σφάλματα μεταξύ των κωδίκων, παράμετροι περιστροφής της γης, μοντέλα διόρθωσης ωκεάνιων παλιρροιών και ιονοσφαιρικές διορθώσεις). Σημειώνεται στο σημείο αυτό ότι οι ίδιες επιλογές είναι διαθέσιμες και στην εφαρμογή RTKNAVI.



**Εικόνα 4-3:** Κεντρικό παράθυρο της εφαρμογής RTKPOST

Η πέμπτη εφαρμογή, RTKCONV, δίνει τη δυνατότητα στους χρήστες να μετατρέψουν τα πρωτόλεια δορυφορικά δεδομένα τους σε RINEX αρχεία. Η μορφή RINEX αποτελεί έναν πρότυπο μορφότυπο αρχείων δεδομένων που υποστηρίζεται από ένα μεγάλο πλήθος δεκτών και λογισμικών ανάλυσης δορυφορικών δεδομένων. Προκειμένου, λοιπόν, ο χρήστης να μην καταφεύγει σε άλλου είδους λογισμικά ή προγράμματα για την μετατροπή των πρωτόλειων δεδομένων του σε RINEX αρχεία, το RTKLIB περιλαμβάνει την συγκεκριμένη εφαρμογή. Τα δεδομένα που υποστηρίζει το RTKCONV για μετατροπή στην μορφή RINEX είναι τα πρωτόλεια δεδομένα (raw data), καθώς και τα μηνύματα RTCM και BINEX. Αρχικά, ο χρήστης καλείται να δηλώσει την διαδρομή και το είδος του αρχείου δεδομένων που επιθυμεί να μετατρέψει. Στη συνέχεια, δηλώνει τη διαδρομή εξόδου και την ονομασία των τελικών αρχείων, στα οποία συμπεριλαμβάνονται το αρχείο παρατηρήσεων (RINEX OBS) και τα μηνύματα πλοήγησης (RINEX NAV, GNAV, HNAV, QNAV, LNAV) ανάλογα με τα χρησιμοποιούμενα δορυφορικά συστήματα.

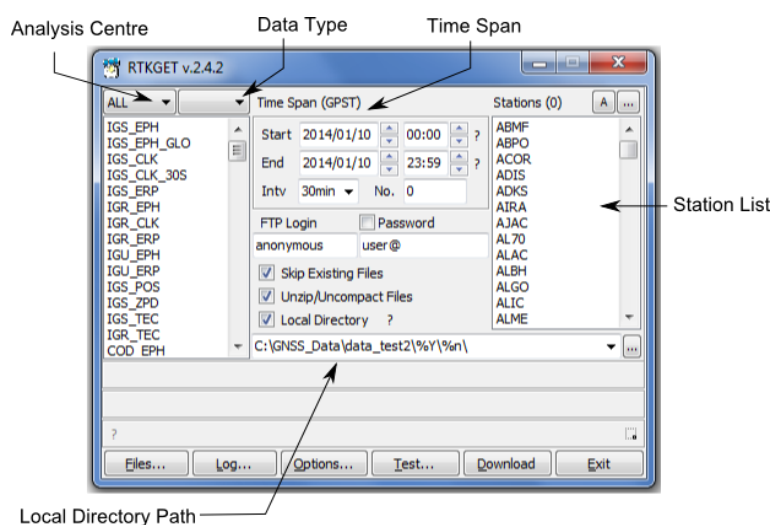
Επιπρόσθετα, η εφαρμογή RTKCONV επιτρέπει στον χρήστη την διαμόρφωση ορισμένων στοιχείων για τα τελικά αρχεία, μέσω κατάλληλου μενού επιλογών (Options). Συγκεκριμένα, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει την έκδοση του RINEX αρχείου που επιθυμεί να εξαγει, να εισάγει στο τελικό αρχείο σχόλια και πληροφορίες σχετικά με τον δέκτη και την κεραία, καθώς και να επιλέξει τις παρατηρήσεις που θα συμπεριληφθούν στο αρχείο του ανάλογα με τα δορυφορικά συστήματα που χρησιμοποίησε. Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι η εφαρμογή RTKCONV δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να επιλέξει και το είδος των παρατηρήσεων που επιθυμεί να συμπεριλαμβάνονται στο τελικό RINEX αρχείο του. Για παράδειγμα, ο χρήστης μπορεί να αφαιρέσει μετρήσεις κώδικα και φάσης, καθώς και να συμπεριλάβει ορισμένες ή όλες τις συχνότητες των σημάτων που λαμβάνει ο δέκτης.

Η έκτη εφαρμογή, RTKPLOT, παρέχει τη δυνατότητα στους χρήστες να οπτικοποιήσουν τις λύσεις και τα δεδομένα παρατηρήσεων τους. Συγκεκριμένα, με το πέρας της επεξεργασίας των δεδομένων στην εφαρμογή RTKPOST, υπάρχει η δυνατότητα άμεσης οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων μέσω κατάλληλης εντολής (Plot). Διαφορετικά, ο χρήστης μπορεί να εισέλθει στο γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής RTKPLOT και να εισάγει το αρχείο λύσεων του μέσω κατάλληλης επιλογής (File-Open Solution). Με την εισαγωγή, λοιπόν, του αρχείου λύσης (μπορούν να εισαχθούν ταυτόχρονα δύο) ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να παρατηρήσει τις λύσεις του κατά τις διευθύνσεις North, East και Up, καθώς και το ίχνος τους στο έδαφος (ground track). Επιπλέον, στην τελευταία έκδοση του RTKLIB (v.2.4.2) υπάρχει η δυνατότητα αποτύπωσης της εκάστοτε λύσης στο περιβάλλον των Google Earth και Google Maps.

Μία, ακόμη, λειτουργία της εφαρμογής RTKPLOT είναι η οπτικοποίηση των δεδομένων παρατηρήσεων και η ανάλυση ορατότητας των δορυφόρων. Συγκεκριμένα, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εισάγει το αρχείο παρατηρήσεων στην εν λόγω εφαρμογή, καθώς και το αρχείο μηνύματος πλοήγησης, και να παρατηρήσει τον αριθμό των ορατών δορυφόρων και

τις τροχιές τους σε στερεογραφική προβολή (skyplot). Εκτός, όμως, από αυτά δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να παρατηρήσει διάφορα μεγέθη, όπως είναι οι δείκτες DOP, ο λόγος σήματος προς θόρυβο SNR (Signal to Noise Ratio) και το μέγεθος της πολυκλαδικής ανάκλασης (multipath). Μία νέα λειτουργία, που έχει συμπεριληφθεί στην τελευταία έκδοση του λογισμικού (v.2.4.2), είναι η ανάλυση ορατότητας των δορυφόρων. Δίνεται, δηλαδή, η δυνατότητα στον χρήστη να προβλέψει την ορατότητα των δορυφόρων GNSS οπουδήποτε και οποτεδήποτε μέσω των δεδομένων TLE (Two Line Elements), τα οποία αποτελούν τα προσεγγιστικά τροχιακά στοιχεία των δορυφόρων.

Η έβδομη εφαρμογή, RTKGET, επιτρέπει τη λήψη δεδομένων (π.χ. αρχείων OBS, NAV, EPH, CLK, ATX) από διάφορα κέντρα ανάλυσης δορυφορικών δεδομένων και μόνιμους σταθμούς μέσω του διαδικτύου. Η χρησιμότητα της εν λόγω εφαρμογής είναι μεγάλη, καθώς παρέχει τη δυνατότητα στους χρήστες να επιλέξουν το είδος των δεδομένων, αλλά και το χρονικό διάστημα στο οποίο τα επιθυμούν, γεγονός που διευκολύνει ιδιαίτερα τους χρήστες που στόχο έχουν την επεξεργασία δεδομένων με την τεχνική PPP.



**Εικόνα 4-4:** Κεντρικό παράθυρο της εφαρμογής RTKGET

Η τελευταία εφαρμογή, NTRIP Browser, επιτρέπει την περιήγηση στα δεδομένα που παρέχονται από τους διακομιστές NTRIP. Το πρωτόκολλο επικοινωνίας NTRIP χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή δεδομένων GNSS, όπως πρωτογενή αρχεία παρατηρήσεων, αρχεία εφημερίδων και διορθώσεις, έτσι ώστε να υποστηρίζονται ο διαφορικός εντοπισμός (DGNSS) και ο εντοπισμός σε πραγματικό χρόνο (RTK, Real-Time PPP). Το μόνο που έχει να κάνει ο χρήστης είναι να δηλώσει τα στοιχεία του πομπού δεδομένων (NTRIP caster).

Σημειώνεται στο σημείο αυτό ότι οι παραπάνω αποτελούν εφαρμογές σε γραφικό περιβάλλον χρήστη GUI. Αντίστοιχες εφαρμογές των RTKNAVI, RTKPOST, RTKCONV και STRSVR σε περιβάλλον γραμμών εντολών CUI αποτελούν οι RTKRCV, RNX2RTKP, CONVBIN και STR2STR αντίστοιχα. Οι τελευταίες χρησιμοποιούνται στα λειτουργικά συστήματα LINUX, UNIX και MAC OS X, στα οποία η χρήση των εφαρμογών GUI είναι επίσης δυνατή ύστερα από τη μεταγλώττιση τους (compiler). Οι εντολές, βάσει των οποίων εκτελούνται οι τελευταίες εφαρμογές, βρίσκονται αναλυτικά στο εγχειρίδιο του λογισμικού RTKLIB.

### 4.2.3 Ανάπτυξη εφαρμογών

Όπως προαναφέρθηκε, το RTKLIB αποτελεί λογισμικό ανοικτού κώδικα και επιτρέπει στον χρήστη την τροποποίηση και διαμόρφωση του κώδικα με βάση τις ανάγκες της εργασίας του. Έτσι, το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα διόρθωσης πιθανών σφαλμάτων που υπάρχουν στις εφαρμογές του, καθώς και ανάπτυξης αυτόνομων ή διασυνδεδεμένων με το RTKLIB εφαρμογών. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μίας σειράς συναρτήσεων σε γλώσσα προγραμματισμού C, οι οποίες παρέχονται από το εν λόγω λογισμικό και μπορούν να κληθούν εύκολα από τις εφαρμογές των χρηστών.

Μερικές από τις βασικές συναρτήσεις είναι οι εξής:

- Μαθηματικές πράξεις μεταξύ πινάκων και διανυσμάτων
- Μετατροπές συντεταγμένων
- Επεξεργασία πλοήγησης
- Διορθωτικά μοντέλα εντοπισμού (ιονόσφαιρα, κέντρο φάσης κεραιών, κ.ά.)
- Απόλυτος εντοπισμός θέσης
- Σχετικός εντοπισμός βασισμένος σε μετρήσεις είτε φάσης είτε κώδικα
- Επίλυση αέριων ασαφειών φάσης OTF (On the Fly)
- Εισαγωγή, ανάγνωση και εξαγωγή RINEX αρχείων δεδομένων
- Εισαγωγή και ανάγνωση αρχείων εφημερίδας
- Βιβλιοθήκη επικοινωνίας για διασύνδεση δεδομένων
- Βιβλιοθήκη NTRIP
- Χειρισμός μηνυμάτων RTCM
- Λήψη δεδομένων από το διαδίκτυο

Αναλυτικές οδηγίες για τον χειρισμό των παραπάνω συναρτήσεων και για την ανάπτυξη περαιτέρω εφαρμογών βρίσκονται στο εγχειρίδιο του RTKLIB.

#### 4.2.4 Μοντέλο PPP

Στην παρούσα ενότητα, γίνεται σύντομη αναφορά στο μοντέλο επεξεργασίας PPP που χρησιμοποιεί το ελεύθερο λογισμικό RTKLIB, καθώς η εν λόγω τεχνική εντοπισμού θέσης αποτέλεσε το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Το μαθηματικό μοντέλο εξισώσεων παρατήρησης, που υιοθετεί το λογισμικό RTKLIB για την τεχνική εντοπισμού PPP, είναι ίδιο με αυτό που περιγράφηκε στην ενότητα 2.3.1. Στην περίπτωση χρήσης πολλαπλών συστημάτων GNSS, γίνεται επέκταση του παραπάνω μοντέλου εξισώσεων για αυτά, χωρίς όμως να λαμβάνεται υπόψη η διαφορά μεταξύ των κλιμάκων χρόνου του εκάστοτε συστήματος (όπως περιγράφηκε στην 2.3.2). Στην περίπτωση χρήσης δεδομένων GPS και GLONASS, για παράδειγμα, το διάλυμα των αγνώστων θα περιλαμβάνει – εκτός από τις συντεταγμένες θέσης, την επίδραση της τροπόσφαιρας και τις πραγματικές ασάφειες φάσης – δύο επιπλέον αγνώστους αντί για έναν, οι οποίοι είναι το σφάλμα χρονομέτρου του δέκτη σε σχέση με την κλίμακα χρόνου του GPS και το σφάλμα χρονομέτρου του δέκτη σε σχέση με την κλίμακα χρόνου του GLONASS.

Την παρούσα χρονική στιγμή, επιπλέον, δεν γίνεται υπολογισμός των αντίστοιχων σφαλμάτων για τα συστήματα Galileo και BeiDou στην περίπτωση χρήσης αντίστοιχων δεδομένων, καθώς αυτός βρίσκεται ακόμα σε στάδιο επεξεργασίας. Για τον λόγο αυτό, αν και έχει ήδη δημιουργηθεί πεδίο πληροφοριών για τα συγκεκριμένα σφάλματα στο αρχείο εξόδου των συντεταγμένων, οι τιμές αυτές είναι μηδενικές από προεπιλογή.

Παράλληλα, οι μετρήσεις ψευδοαπόστασης και φέρουσας φάσης στο παραπάνω PPP μοντέλο του λογισμικού RTKLIB υπόκεινται στην πλειονότητα των διορθώσεων, που αναφέρθηκαν στην ενότητα 2.2, για την ορθό εντοπισμό με την τεχνική PPP. Συγκεκριμένα, οι διορθώσεις αυτές αφορούν:

- την ανοχή στη θέση του κέντρου φάσης της κεραίας των δεκτών και των δορυφόρων,
- τις εκτοπίσεις θέσης (site displacements) λόγω γήινων, ωκεάνιων και πολικών παλιρροιών, και
- την επίδραση του φαινομένου “phase windup”.

Η πρώτη διόρθωση γίνεται με βάση τα πρότυπα αρχεία βαθμονόμησης των κεραιών δεκτών και δορυφόρων, που βρίσκονται είτε σε μορφότυπο NGS PCV είτε σε ANTEX. Για την διόρθωση των κεραιών στους δέκτες ισχύει:

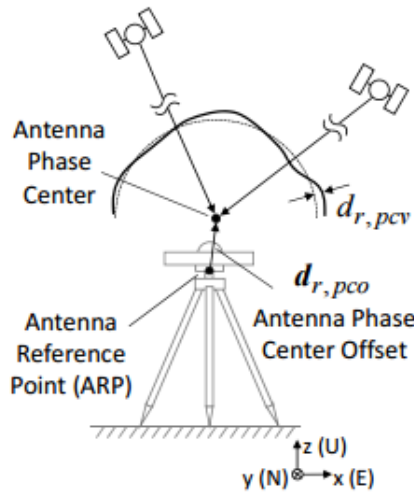
$$d_{r,pc0,i} = E_r^T d_{r,pc0,i,enu} \quad (4.1)$$

με

$$E_r = \begin{bmatrix} -\sin \lambda_r & \cos \lambda_r & 0 \\ -\sin \phi_r \cos \lambda_r & -\sin \phi_r \sin \lambda_r & \cos \phi_r \\ \cos \phi_r \cos \lambda_r & \cos \phi_r \sin \lambda_r & \sin \phi_r \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

όπου:

- $d_{r,pcv,i}$  η ανοχή του κέντρου φάσης της κεραίας του δέκτη στο ECEF σύστημα (γεωκεντρικό και σταθερό με τη Γη) στη συχνότητα  $L_i$
- $E_r$  ο πίνακας στροφής των συντεταγμένων από το ECEF στο τοποκεντρικό ENU σύστημα
- $d_{r,pcv,i,enu}$  η ανοχή του κέντρου φάσης της κεραίας του δέκτη στο τοποκεντρικό ENU σύστημα (όπως παρέχεται από τα αρχεία NGS PCV, ANTEX) στη συχνότητα  $L_i$



**Εικόνα 4-5:** Κέντρο φάσης της κεραίας του δέκτη  
**Πηγή:** [www.rtklib.com](http://www.rtklib.com)

Όσον αφορά τις μεταβολές της θέσης του κέντρου φάσης,  $d_{r,pcv,i}(El)$ , της κεραίας του δέκτη σε γωνία ύψους  $El$ , αυτές προέρχονται από την γραμμική παρεμβολή των τιμών PCV, από τα αρχεία βαθμονόμησης, με βάση τη γωνία ύψους ως εξής:

$$d_{r,pcv,i}(El) = \frac{(El - El_i) d_{r,pcv,i}(El_i) + (El_{i+1} - El) d_{r,pcv,i}(El_{i+1})}{El_{i+1} - El_i} \quad (4.3)$$

όπου:

$$El_i < El < El_{i+1}$$

Στο σημείο αυτό, σημειώνεται ότι το ίδιο αρχείο ANTEX μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για το κέντρο φάσης της κεραίας των δορυφόρων, καθώς οι τιμές ανοχής PCO της θέσης του τελευταίου περιλαμβάνονται στο εν λόγω αρχείο. Συγκεκριμένα, οι τιμές αυτές δίνονται στο σύστημα συντεταγμένων του δορυφόρου σε σχέση με το κέντρο μάζας του, όπως φαίνεται στην Εικ. 4-6. Έτσι, οι δοθείσες τιμές θα πρέπει να μεταφερθούν στο ECEF σύστημα (γεωκεντρικό και σταθερό με τη Γη) αντίστοιχα με προηγουμένως, με τη διαφορά ότι χρησιμοποιείται διαφορετικός πίνακας στροφής,  $E_s$ :

$$E_s = (e_x^s, e_y^s, e_z^s) \quad (4.4)$$

με

$$e_z^s = -\frac{r^s}{|r^s|} \quad (4.5)$$



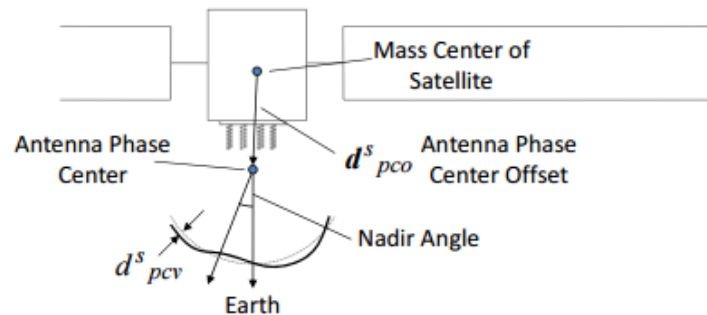
$$\mathbf{e}_s = \frac{\mathbf{r}_{sun} - \mathbf{r}^s}{|\mathbf{r}_{sun} - \mathbf{r}^s|} \quad (4.6)$$

$$\mathbf{e}_y^s = \frac{\mathbf{e}_z^s \times \mathbf{e}_s}{|\mathbf{e}_z^s \times \mathbf{e}_s|} \quad (4.7)$$

$$\mathbf{e}_x^s = \mathbf{e}_y^s \times \mathbf{e}_z^s \quad (4.8)$$

όπου:

$\mathbf{r}^s$  το διάνυσμα θέσης του δορυφόρου στο σύστημα ECEF  
 $\mathbf{r}_{sun}$  το διάνυσμα θέσης του ήλιου στο σύστημα ECEF



**Εικόνα 4-6:** Κέντρο φάσης της κεραίας του δορυφόρου  
**Πηγή:** [www.rtklib.com](http://www.rtklib.com)

Όσον αφορά τις μεταβολές της θέσης του κέντρου φάσης,  $d_{s,pcv,i}(\theta)$ , της κεραίας του δορυφόρου, αυτές προκύπτουν με την σχέση (4.3) όπως και προηγουμένως, με τη διαφορά ότι οι πρώτες προέρχονται από γραμμική παρεμβολή των τιμών PCV με βάση τη ναδίρια γωνία (nadir angle), που προκύπτει ως εξής:

$$\theta = \arccos \frac{\mathbf{e}_r^{sT} \mathbf{r}^s}{|\mathbf{r}^s|} \quad (4.9)$$

Ακολουθώντας, οι διορθώσεις για τις εκτοπίσεις θέσης (site displacements) και για την επίδραση phase windup πραγματοποιούνται στο λογισμικό RTKLIB όπως περιγράφηκαν στην ενότητα 2.2 της παρούσας μελέτης. Προκειμένου, όμως, να γίνουν αυτές οι διορθώσεις, είναι απαραίτητο ο χρήστης να τις ενεργοποιήσει μέσα από το παράθυρο επιλογών (Options) στις εφαρμογές εντοπισμού θέσης RTKPOST και RTKNAVI.

Έπειτα, ενώ η διόρθωση για τις γήινες και πολικές παλίρροιες γίνεται εσωτερικά του λογισμικού RTKLIB σύμφωνα με την σύμβαση της IERS (1996), η αντίστοιχη για τις ωκεάνιες παλίρροιες απαιτεί την εισαγωγή αρχείου OTL BLQ από τον χρήστη. Η παραγωγή τέτοιων αρχείων μπορεί να γίνει μέσω του Διαστημικού Παρατηρητηρίου στην Onsala (Onsala Space Observatory<sup>9</sup>). Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι η διόρθωση για τις γήινες παλίρροιες μπορεί να γίνει σύμφωνα με την σύμβαση της IERS (2010), αφού ο χρήστης καθορίσει μία συγκεκριμένη επιλογή στον μεταγλωττιστή.

Επιπρόσθετα, το τροποσφαιρικό σφάλμα στο λογισμικό RTKLIB μπορεί να αντιμετωπισθεί με τρεις τρόπους:

- το μοντέλο Saastamoinen,
- το μοντέλο που προέρχεται από συστήματα επαύξησης SBAS και
- το μοντέλο τροπόσφαιρας με χρήση της συνάρτησης απεικόνισης του Niell

<sup>9</sup> Η ιστοσελίδα για την παροχή OTL BLQ αρχείων από το Onsala Space Observatory είναι η εξής: <http://holt.oso.chalmers.se/loading/>



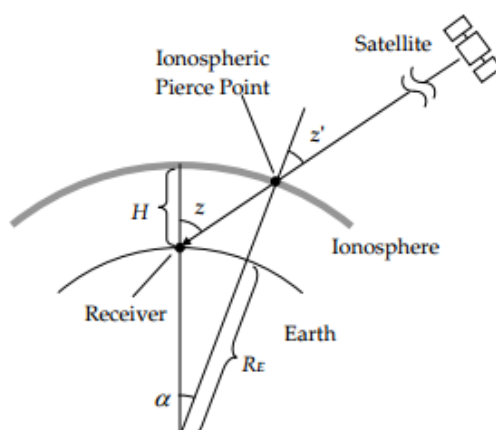
Από αυτούς, όμως, μόνο ο τελευταίος παρέχει υψηλή ακρίβεια καθώς παρέχει εκτίμηση της τροποσφαιρικής καθυστέρησης υπό τη χρήση της ακριβούς συνάρτησης απεικόνισης του Niell, NMF (Niell Mapping Function). Ειδικότερα, η εκτίμηση αυτή γίνεται με βάση τη σχέση (2.8) που περιγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Παράλληλα, ύστερα από κατάλληλη επιλογή στον μεταγλωττιστή, ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει την συνάρτηση απεικόνισης GMF (Global Mapping Function). Στο σημείο αυτό, σημειώνεται ότι η ξηρή συνιστώσα της τροποσφαιρικής επίδρασης προσδιορίζεται στο RTKLIB μέσω του μοντέλου Saastamoinen. Δίνεται, επίσης, η δυνατότητα στον χρήστη να προσδιορίσει τις παραμέτρους βαθμίδας (gradient parameters) της τροποσφαιρικής επίδρασης σε συνδυασμό με τον υπολογισμό της τελευταίας.

Εν συνεχεία, το ιονοσφαιρικό σφάλμα στο λογισμικό RTKLIB μπορεί να αντιμετωπισθεί με τέσσερις τρόπους:

- τις παραμέτρους ιονόσφαιρας που περιλαμβάνονται στο μήνυμα πλοήγησης,
- το ιονοσφαιρικό μοντέλο που προέρχεται από τα συστήματα επαύξησης SBAS,
- το μονοστρωματικό μοντέλο (single layer model) και
- τον γραμμικό συνδυασμό των διαθέσιμων παρατηρήσεων (linear combination)

Η πρώτη μέθοδος αναφέρεται, κυρίως, σε χρήστες δεκτών με δεδομένα GNSS μίας μόνο συχνότητας. Τέτοιες παράμετροι ιονόσφαιρας περιλαμβάνονται στα μηνύματα πλοήγησης των δορυφόρων GPS και QZSS και καθιστούν δυνατό τον υπολογισμό της ιονοσφαιρικής καθυστέρησης. Το μοντέλο αυτό καλείται συχνά μοντέλο Klobuchar.

Όσον αφορά τον δεύτερο τρόπο, τα συστήματα επαύξησης SBAS εκπέμπουν ορισμένα μηνύματα διόρθωσης (message type 18 and 26), τα οποία με την εισαγωγή τους στο περιβάλλον του RTKLIB λειτουργούν ως μοντέλο ιονόσφαιρας.



**Εικόνα 4-7:** Μονοστρωματικό μοντέλο ιονόσφαιρας (Single Layer Ionosphere Model)  
**Πηγή:** [www.rtklib.com](http://www.rtklib.com)

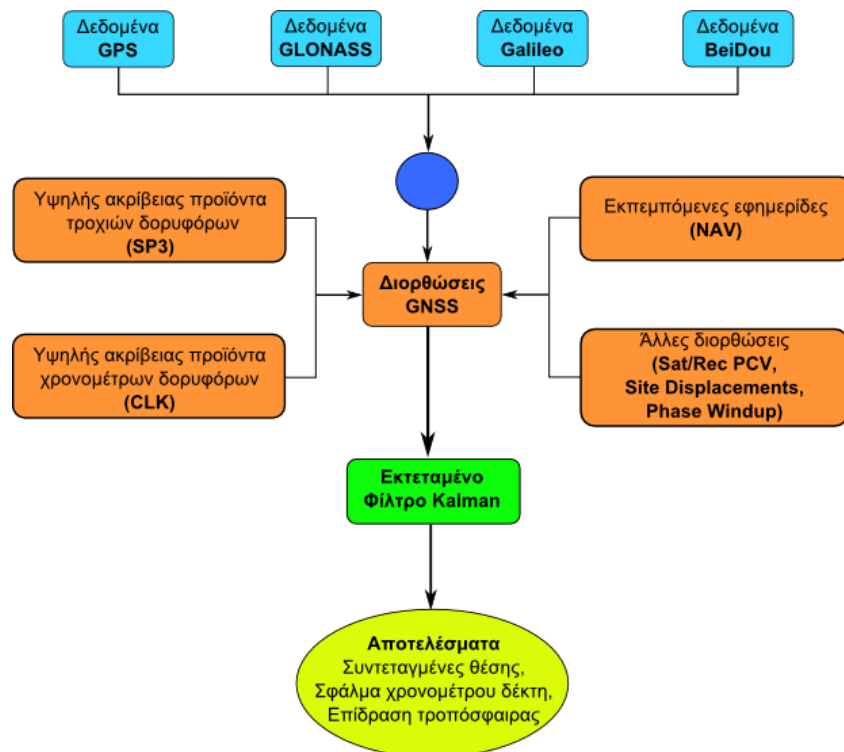
Ακολουθώντας, μία ακόμη μέθοδος που περιλαμβάνει το RTKLIB για την απαλοιφή του ιονοσφαιρικού σφάλματος είναι η χρήση του μονοστρωματικού μοντέλου. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, η ιονόσφαιρα θεωρείται ως ένα μοντέλο λεπτού στρώματος το οποίο είναι διάτρητο από τα δορυφορικά σήματα. Με τη χρήση των IONEX αρχείων, που περιλαμβάνουν τις τιμές της κατακόρυφης πυκνότητας VTEC των ηλεκτρονίων της ιονόσφαιρας σε ένα πλέγμα σημείων, το RTKLIB μπορεί να παρεμβάλλει τις τιμές αυτές στις θέσεις διάτρησης μέσω διγραμμικής παρεμβολής. Συνεπώς, γίνεται προσδιορισμός της ιονοσφαιρικής καθυστέρησης, η ακρίβεια του οποίου δεν είναι η μέγιστη δυνατή καθώς η ακρίβεια των προϊόντων ιονόσφαιρας (TEC grid products) είναι της τάξης των 2-9 TECU (1 TECU = 16 cm στη συχνότητα L1).

Η τελευταία μέθοδος αφορά τον γραμμικό συνδυασμό των διαθέσιμων παρατηρήσεων κώδικα και φάσης στις συχνότητες L1 και L2, όπως περιγράφηκε στο μαθηματικό μοντέλο της τεχνικής PPP (ενότητα 2.3). Σύμφωνα με τον συνδυασμό αυτό, καθίσταται δυνατή η εκτίμηση και απαλοιφή της πρώτης τάξης της ιονοσφαιρικής επίδρασης, αν και ο θόρυβος των μετρήσεων ψευδοαπόστασης σχεδόν τριπλασιάζεται σύμφωνα με την εξίσωση (2.25).

Το τελικό στάδιο του RTKLIB είναι ο υπολογισμός του διανύσματος των αγνώστων, το οποίο περιλαμβάνει τη θέση του δέκτη, το σφάλμα χρονομέτρου του δέκτη, την συνολική τροποσφαιρική επίδραση (μαζί με τις βαθμίδες της σε περίπτωση επιλογής τους στις εφαρμογές εντοπισμού RTKNAVI και RTKPOST) και οι πραγματικές ασάφειες φάσης. Ο παραπάνω υπολογισμός πραγματοποιείται μέσω του εκτεταμένου φίλτρου Kalman (Extended Kalman Filter, EKF), το οποίο αποτελεί τη μη γραμμική έκδοση του φίλτρου Kalman.

Το φίλτρο Kalman αποτελεί τη μέθοδο γραμμικής τετραγωνικής εκτίμησης (Linear Quadratic Estimation, LQE), δηλαδή έναν αλγόριθμο που χρησιμοποιεί μία σειρά παρατηρήσεων με θόρυβο συναρτήσεως του χρόνου, και προσδιορίζει αγνώστες παραμέτρους. Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι το φίλτρο Kalman λειτουργεί αναδρομικά στα δεδομένα με μεγάλο θόρυβο, προκειμένου να προσδιορίσει τη στατιστικά βέλτιστη λύση του διανύσματος των αγνώστων.

Στην παρακάτω εικόνα, παρουσιάζεται σχηματικά η διαδικασία επεξεργασίας των δορυφορικών δεδομένων από πολλαπλά συστήματα GNSS, με την τεχνική εντοπισμού PPP από το λογισμικό RTKLIB.



**Εικόνα 4-8:** Σχηματική ροή των διαδικασιών που εφαρμόζονται στην τεχνική PPP από το λογισμικό RTKLIB

### 4.3 Επεξεργασία

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζεται και περιγράφεται η διαδικασία της επεξεργασίας των δορυφορικών δεδομένων που έλαβε χώρα στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Συγκεκριμένα, η επεξεργασία βασίστηκε σε τρία διαφορετικά είδη δεδομένων:

- στα δεδομένα GPS των πραγματικών κινηματικών πορειών με πλοίο, αεροπλάνο και αυτοκίνητο,
- στα δορυφορικά δεδομένα GPS και GLONASS από τον μόνιμο σταθμό NICO του δικτύου IGS και
- στα δορυφορικά δεδομένα GPS, GLONASS, Galileo και BeiDou από τους μόνιμους σταθμούς UNB3 και CUT0 του δικτύου MGEX.

Το πρώτο στάδιο, λοιπόν, αφορούσε την επεξεργασία των δεδομένων από τις πραγματικές κινηματικές πορείες μέσω του ελεύθερου λογισμικού RTKLIB και της διαδικτυακής υπηρεσίας CSRS-PPP, προκειμένου να εξακριβωθεί η απόδοση του RTKLIB ως προς την τεχνική εντοπισμού PPP. Η συγκεκριμένη τακτική ακολουθήθηκε καθώς η καναδική διαδικτυακή υπηρεσία παρέχει υψηλή ακρίβεια προσδιορισμού θέσης, λόγω της επίλυσης των ακέραιων ασαφειών φάσης που λαμβάνει χώρα εντός του λογισμικού της.

Έτσι, έγινε υποβολή των RINEX αρχείων δεδομένων των κινηματικών πορειών στην CSRS-PPP, η οποία σε σύντομο χρονικό διάστημα απέστειλε τα αποτελέσματα θέσης στην δηλωθείσα διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Το επόμενο βήμα περιελάμβανε την επεξεργασία των ίδιων αρχείων δεδομένων με το λογισμικό RTKLIB. Προκειμένου να γίνει αυτή η επεξεργασία με την τεχνική PPP, έγινε λήψη απαραίτητων πληροφοριών και προϊόντων μέσω της εφαρμογής RTKGET του RTKLIB. Συγκεκριμένα, λήφθηκαν υψηλής ακρίβειας προϊόντα τροχιών και χρονομέτρων των δορυφόρων (αρχεία SP3 και CLK), αρχεία βαθμονόμησης των κεραιών δεκτών και δορυφόρων (αρχείο ANTEX) και προϊόντα σφαλμάτων μεταξύ κωδικών (αρχεία DCB) και παραμέτρων περιστροφής της γης (αρχεία ERP).

Με την εισαγωγή των προαναφερθέντων αρχείων στο περιβάλλον του λογισμικού, ακολούθησε η επεξεργασία των δεδομένων παρατηρήσεων με κινηματικό τύπο PPP εντοπισμού και όλες τις απαραίτητες διορθώσεις. Με το τέλος της επεξεργασίας στο RTKLIB, προέκυψαν οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των κινηματικών PPP λύσεων τόσο από το RTKLIB όσο και την CSRS-PPP. Στη συνέχεια, λήφθηκαν οι διαφορές μεταξύ όλων των κινηματικών λύσεων και της πρώτης λύσης ανά πορεία, κατά γεωγραφικό πλάτος  $\delta\phi$  και γεωγραφικό μήκος  $\delta\lambda$ . Οι τιμές αυτές, έπειτα, μετατράπηκαν σε μήκη τόξου μεσημβρινού  $\Delta\phi$  (m) και παραλλήλου  $\Delta\lambda$  (m) αντίστοιχα, ώστε να γίνει οπτικοποίηση και σύγκριση των πραγματικών πορειών που προέκυψαν από το ελεύθερο λογισμικό και την διαδικτυακή υπηρεσία. Ο μετασχηματισμός έγινε ως εξής:

$$\Delta\phi = \rho \delta\phi \quad (4.10)$$

$$\Delta\lambda = r \delta\lambda \quad (4.11)$$

με

$$\rho = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 \phi)^{3/2}} \quad (4.12)$$

$$r = N \cos \phi = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \phi)^{3/2}} \cos \phi \quad (4.13)$$

όπου:

$\rho$	η ακτίνα καμπυλότητας μεσημβρινής τομής
$r$	η ακτίνα καμπυλότητας παράλληλου κύκλου
$N$	η ακτίνα καμπυλότητας κυρίας καθέτου τομής
$e$	η εκκεντρότητα
$a$	ο ημιάξονας της έλλειψης

Έπειτα, ακολούθησε η επεξεργασία των δεδομένων GPS και GLONASS στον σταθμό NICO μέσω της διαδικτυακής υπηρεσίας CSRS-PPP. Τα συγκεκριμένα δεδομένα έχουν χρονική διάρκεια 24 ωρών και ρυθμό καταγραφής 30 δευτερολέπτων. Για της ανάγκες, ωστόσο, της παρούσας έρευνας ήταν απαραίτητο να δημιουργηθούν μία σειρά από επιμέρους RINEX αρχεία παρατηρήσεων, τα οποία να αποτελούν υποσύνολα μετρήσεων διαφορετικής διάρκειας και περιόδου. Επιπλέον, κρίθηκε απαραίτητο τα προς διερεύνηση αρχεία να περιλαμβάνουν τόσο μετρήσεις GPS/GLONASS όσο και μόνο GPS, ώστε να λάβει χώρα σύγκριση μεταξύ τους και να διαπιστωθεί η βελτίωση στην ακρίβεια θέσης με την προσθήκη των μετρήσεων GLONASS.

Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκε το ελεύθερο λογισμικό **TEQC** (Translation, Editing, Quality Check), το οποίο αποτελεί μία ολοκληρωμένη εργαλειοθήκη για την προεπεξεργασία των δεδομένων GNSS. Συγκεκριμένα, οι βασικές λειτουργίες του TEQC, από τις οποίες παίρνει και το όνομα του, είναι:

- Ανάγνωση, μετάφραση και μετατροπή των πρωτόλειων δορυφορικών δεδομένων των δεκτών GNSS σε RINEX αρχεία παρατηρήσεων (obs) και πλοήγησης (nav)
- Μετατροπή των συμβατικών RINEX σε συμπιεσμένα RINEX αρχεία (Hatanaka Compact RINEX)
- Επεξεργασία και διόρθωση της κεφαλίδας και των πεδίων πληροφοριών του RINEX αρχείου. Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να επέμβει στο κύριο σώμα του RINEX αρχείου, να προβεί σε αποκοπή ή/και συνένωση αρχείων, να απομονώσει παρατηρήσεις, καθώς και να δημιουργήσει νέα αρχεία με μεγαλύτερο ρυθμό καταγραφής (sample interval).
- Έλεγχος και αξιολόγηση της ποιότητας των δεδομένων που υπάρχουν στα RINEX αρχεία, όπως προσδιορισμός ύπαρξης σφαλμάτων πολυκλαδικών ανακλάσεων (multipath).

Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι οι παραπάνω βασικές λειτουργίες μπορούν να εκτελεστούν ξεχωριστά, σε ζεύγη, ή όλες μαζί. Η χρήση των λειτουργιών γίνεται με τη σύνταξη απλών εντολών σε περιβάλλον γραμμών εντολών CUI, επιταχύνοντας την εκτέλεση επαναλαμβανόμενων λειτουργιών επεξεργασίας, ενώ παράλληλα αποφεύγονται οι επαναλαμβανόμενες επιλογές σε συγκεκριμένο μενού όπως γίνεται σε ένα γραφικό περιβάλλον χρήστη GUI.

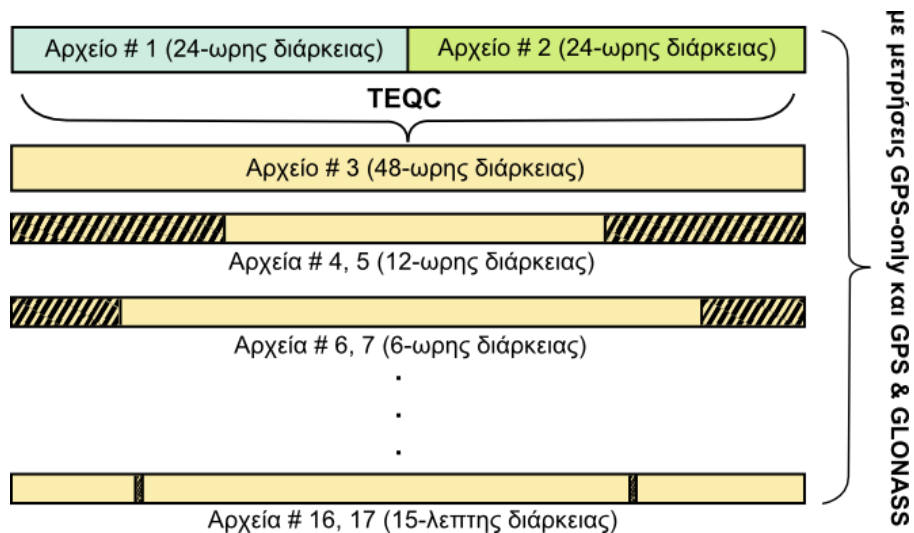
Το προκαταρκτικό στάδιο, λοιπόν, της συγκεκριμένης διερεύνησης περιελάμβανε την δημιουργία των επιμέρους RINEX αρχείων με μεταβλητή χρονική διάρκεια ως υποσύνολα των αρχικών αρχείων, όπως φαίνεται στην Εικ. 4-9. Αρχικά, έγινε συνένωση των δύο RINEX αρχείων 24ωρης διάρκειας (συνεχόμενες ημέρες, 10/01/2014-11/01/2014) ώστε να προκύψει ένα συμβατικό RINEX αρχείο 48ωρης διάρκειας. Έπειτα, από το συγκεκριμένο αρχείο προέκυψαν δύο συμβατικά RINEX αρχεία για κάθε χρονική διάρκεια που μελετήθηκε (12, 6, 4, 2 ώρες και 60, 30, 15 λεπτά). Οι περίοδοι, εντός της 48ωρης διάρκειας, με τις εν λόγω χρονικές διάρκειες επιλέχθηκαν με τυχαίο τρόπο.

Η εντολή που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία των παραπάνω αρχείων είναι η εξής:

**teqc -st YYYYMMDDhhmmss +dm x όνομα\_αρχείου > νέο\_όνομα\_αρχείου**

όπου:

- st επιλογή που επιτρέπει στον χρήστη να εισάγει, αμέσως μετά, την ημερομηνία (YYYY το έτος, MM ο μήνας, DD η ημέρα) και την ώρα έναρξης (hh η ώρα, mm τα πρώτα λεπτά, ss τα δευτερόλεπτα) των παρατηρήσεων που θα περιέχει το νέο αρχείο παρατηρήσεων
- +dm επιλογή για τον προσδιορισμό της χρονικής διάρκειας (x), σε λεπτά, των παρατηρήσεων αμέσως μετά την ώρα έναρξης



**Εικόνα 4-9:** Τυπικά RINEX αρχεία μεταβλητής χρονικής διάρκειας και περιόδων που χρησιμοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη μελέτη

Το επόμενο στάδιο περιελάμβανε την υποβολή όλων των παραπάνω αρχείων στην καναδική διαδικτυακή υπηρεσία επίλυσης δορυφορικών δεδομένων CSRS-PPP, σύμφωνα με τις οδηγίες χρήσης που περιγράφηκαν στην ενότητα 2.5.2. Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε χρήση μόνο της υπηρεσίας CSRS-PPP, καθώς είναι η μόνη διαθέσιμη υπηρεσία που παρέχει τη δυνατότητα επεξεργασίας δεδομένων GLONASS και δεν θέτει ελάχιστη διάρκεια για τις παρατηρήσεις.

Με το πέρας της επεξεργασίας, η υπηρεσία απέστειλε τα αποτελέσματα των συντεταγμένων του σταθμού στην διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου που δηλώθηκε κατά την υποβολή των αρχείων. Προκειμένου, όμως, να γίνει αξιολόγηση της παρεχόμενης ακρίβειας θέσης από την CSRS-PPP, λήφθηκαν οι επίσημες συντεταγμένες θέσης του σταθμού NICO από την υπηρεσία IGS. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι σε τέτοιες συγκρίσεις απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή μεταξύ των διαφορετικών συστημάτων αναφοράς των συντεταγμένων και της εποχής των τελευταίων. Στην συγκεκριμένη εργασία, δεν υπάρχει τέτοιου είδους πρόβλημα καθώς οι συντεταγμένες του σταθμού από την υπηρεσία IGS δίνονται στο σύστημα ITRF2008 για την εποχή που δηλώνει ο χρήστης (010/2014 στην προκειμένη περίπτωση), ενώ στο ίδιο σύστημα εξάγει τις συντεταγμένες του σταθμού η υπηρεσία CSRS-PPP. Σε διαφορετική περίπτωση, όμως, ο χρήστης πρέπει να μεταφέρει τις προς εξέταση συντεταγμένες στο ίδιο σύστημα αναφοράς για την εποχή των μετρήσεων.

Έπειτα, αφού λήφθηκαν οι διαφορές των καρτεσιανών συντεταγμένων ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ) μεταξύ των τελικών λύσεων από την υπηρεσία CSRS-PPP και της υπηρεσίας IGS, ακολούθησε ο μετασχηματισμός τους στο τοποκεντρικό σύστημα σύμφωνα με την εξίσωση (4.14). Οι καρτεσιανές συντεταγμένες ενός σημείου αποτελούν την θέση του τελευταίου σε ένα παγκόσμιο σύστημα αναφοράς, το οποίο όμως δεν είναι εύκολα εύληπτο για την ερμηνεία αποτελεσμάτων. Για τον λόγο αυτό έλαβε χώρα ο παρακάτω μετασχηματισμός, ώστε οι διαφορές των καρτεσιανών συντεταγμένων να αναχθούν σε διαφορές κατά North, East και Up σε τοπικό σύστημα.

$$\begin{bmatrix} \Delta N \\ \Delta E \\ \Delta U \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \varphi \cos \lambda & -\sin \varphi \sin \lambda & \cos \varphi \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ \cos \varphi \cos \lambda & \cos \varphi \sin \lambda & \sin \varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

όπου:

- $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  οι διαφορές των καρτεσιανών (γεωκεντρικών) συντεταγμένων του σημείου ενδιαφέροντος (m)
- $\Delta N, \Delta E, \Delta U$  οι διαφορές κατά τις διευθύνσεις North, East, Up (m)
- $\varphi, \lambda$  οι γεωδαιτικές συντεταγμένες του σημείου (rad)

Η σύγκριση και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στην αρχή της ενότητας 6.2.1, ενώ τα αποτελέσματα συντεταγμένων θέσης παρατίθενται στο Παράρτημα.

Εν συνεχεία, ακολούθησε η επεξεργασία των δεδομένων των μόνιμων σταθμών του δικτύου MGEX, UNB3 και CUT0, που περιέχουν παρατηρήσεις από πολλαπλά συστήματα GNSS (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou). Οι συγκεκριμένες παρατηρήσεις έχουν χρονική διάρκεια 24 ωρών και ρυθμό καταγραφής 30 δευτερολέπτων. Η διαφορά με την προηγούμενη περίπτωση είναι ότι από τα εν λόγω RINEX (version 3.XX) αρχεία δεν μπορούν να προκύψουν επιμέρους RINEX αρχεία μεταβλητής χρονικής διάρκειας μέσω του ελεύθερου λογισμικού TEQC, λόγω του γεγονότος ότι το τελευταίο δεν έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας RINEX 3 αρχείων. Ωστόσο, η διεργασία αυτή συντελείται εντός του λογισμικού RTKLIB, το οποίο αποτέλεσε το βασικό λογισμικό επεξεργασίας των εν λόγω δεδομένων, καθώς επιτρέπει στον χρήστη να καθορίσει τον χρόνο έναρξης και λήξης των προς επεξεργασία δεδομένων.

Σκοπός της συγκεκριμένης έρευνας, όπως αναφέρθηκε και στους στόχους της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η διερεύνηση της βελτίωσης ακρίβειας που παρέχεται στην μέθοδο PPP με την χρήση πολλαπλών δορυφορικών συστημάτων. Για τον λόγο αυτό, εξετάστηκαν διάφορες χρονικές διάρκειες παρατηρήσεων (24, 12, 6, 4, 2 ώρες και 60, 30, 15 λεπτά) και γωνίες αποκοπής δορυφόρων (10°, 20°, 30°, 40°), έτσι ώστε να δημιουργηθεί μία συνολική και σαφής εικόνα σχετικά με τη σημασία της χρήσης πολλαπλών συστημάτων GNSS στον εντοπισμό θέσης με την τεχνική PPP. Επιπλέον, εξετάστηκε η τεχνική επίλυσης αέριων ασαφειών φάσης στην τεχνική PPP, σε συνδυασμό με τη χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS, ώστε να διαπιστωθεί εάν υπάρχει περαιτέρω βελτίωση στον προσδιορισμό θέσης.

Σημειώνεται στο σημείο αυτό ότι η παραπάνω διερεύνηση έλαβε χώρα σε διάστημα 9 ημερών, 06/01/2014 – 14/01/2014, ενώ οι παραπάνω περίοδοι μεταβλητής χρονικής διάρκειας επιλέχθηκαν με τυχαίο δειγματοληπτικό τρόπο. Αυτό αποτέλεσε μία από τις α-riori αποφάσεις που λήφθηκαν στην εν λόγω διπλωματική εργασία, καθώς η επεξεργασία όλων των παραπάνω χρονικών διαστημάτων εντός των 9 ημερών ήταν σημαντικά χρονοβόρα. Έτσι, ακολούθησε η εισαγωγή των αρχείων παρατηρήσεων στο λογισμικό RTKLIB ώστε να ξεκινήσει η επεξεργασία τους με την τεχνική εντοπισμού PPP. Στην επεξεργασία αυτή συμπεριλήφθηκαν επιπλέον πληροφορίες, καθώς και στρατηγικές χειρισμού σφαλμάτων στην τεχνική PPP, οι οποίες συνοψίζονται στον Πίν. 4-4.

Η πλειονότητα των παρακάτω προϊόντων λήφθηκε από την ιστοσελίδα παροχής δεδομένων και προϊόντων του πιλοτικού προγράμματος MGEX. Μία εκ των εξαιρέσεων αφορά το αρχείο πληροφοριών για τις διορθώσεις του κέντρου φάσης των κεραιών των δορυφόρων και δεκτών (αρχείο τύπου ANTEX, igs08.atx) που λήφθηκε άμεσα από την ιστοσελίδα της IGS. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το πρόγραμμα MGEX δεν έχει προς το παρόν δημοσιεύσει ANTEX αρχείο που να περιλαμβάνει αντίστοιχες διορθώσεις για τους δορυφόρους των νέων συστημάτων (Galileo, BeiDou), το οποίο σχεδιάζεται να γίνει το επόμενο διάστημα από τον υπεύθυνο της ομάδας εργασίας Antenna Working Group, Ralf Schmid (προσωπική επικοινωνία με το κεντρικό γραφείο Central Bureau της IGS). Ωστόσο, έχουν προταθεί ανεπίσημα τέτοιες διορθώσεις που δεν συμπεριλήφθηκαν στην εν λόγω μελέτη.

Εν συνεχεία, η δεύτερη εξαίρεση αφορά το αρχείο πληροφοριών για τις διορθώσεις των σφαλμάτων μεταξύ των κωδικών (αρχείο τύπου DCB, P1C1γγmm\_RINEX.DCB), το οποίο λήφθηκε από το κέντρο CODE. Ενώ το πρόγραμμα MGEX παρέχει αντίστοιχου τύπου αρχεία, αυτά είναι ημερήσιας βάσης και δεν αναγνωρίζονται αυτόματα από το λογισμικό RTKLIB στην περίπτωση επεξεργασίας πολλαπλών αρχείων δεδομένων σε διάστημα μεγαλύτερο της μίας ημέρας (δεν έχει υλοποιηθεί η αυτόματη ανάγνωση αρχείων με λέξεις κλειδιά). Έτσι, χρησιμοποιήθηκαν τα αρχεία πληροφοριών του κέντρου CODE, που περιλαμβάνουν διορθώσεις για τα σφάλματα μεταξύ κωδικών GPS και GLONASS σε μηνιαία βάση.

Επιπλέον, τα υψηλής ακρίβειας προϊόντα τροχιών (comwwwd.sp3) και χρονομέτρων των δορυφόρων (comwwwd.clk) που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη, λήφθηκαν από το πρόγραμμα MGEX μέσω της συνεισφοράς του κέντρου CODE. Η προτίμηση στα συγκεκριμένα προϊόντα οφείλεται στο γεγονός ότι αυτά ήταν τα μόνα που υποστήριζαν τα εξεταζόμενα συστήματα GNSS (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) κατά το διάστημα εκπόνησης της παρούσας μελέτης. Τέλος, έγινε χρήση συγχωνευμένων μηνυμάτων πλοήγησης (brdmddn.γγp) που παρέχονται από το κέντρο TUM/DLR.

<b>Στρατηγική &amp; Μοντέλα</b>	
<b>Συχνότητες</b>	L1/L2 (GPS/GLONASS), L1/L5 (Galileo), B1/B2 (BeiDou)
<b>Δεδομένα</b>	Μετρήσεις φάσης και κώδικα
<b>Ρυθμός καταγραφής</b>	30 δευτερόλεπτα
<b>Γωνία αποκοπής</b>	10° (20°, 30°, 40°)
<b>Τροχιές δορυφόρων</b>	Διορθωμένες (comwwwwd.sp3)
<b>Χρονόμετρα δορυφόρων</b>	Διορθωμένα (comwwwwd.clk)
<b>Επίδραση ιονόσφαιρας</b>	Γραμμικός συνδυασμός μετρήσεων φάσης και κώδικα στις δύο συχνότητες
<b>Επίδραση τροπόσφαιρας</b>	Υπολογίζεται με τη συνάρτηση NMF
<b>Κέντρο φάσης κεραίας δορυφόρων</b>	Διορθωμένο (igs08.atx)
<b>Κέντρο φάσης κεραίας δεκτών</b>	Διορθωμένο (igs08.atx)
<b>Εκτοπίσεις θέσης</b>	Διορθώσεις παλιρροιών με βάση τις Συμβάσεις IERS 1996 (2010)
<b>Επίδραση phase windup</b>	Διορθωμένη
<b>Σφάλματα μεταξύ κωδίκων</b>	Διορθώσεις P1-C1 (P1C1yymm_RINEX.DCB)
<b>Παράμετροι περιστροφής γης</b>	Διορθωμένες (comwwwwd.erp)
<b>Συντεταγμένες θέσης</b>	Υπολογίζονται σε στατικό και κινηματικό τύπο εντοπισμού
<b>Πλαίσιο αναφοράς</b>	ITRF
<b>Σφάλμα χρονομέτρου δέκτη</b>	Υπολογίζεται ως προς την κλίμακα χρόνου κάθε συστήματος GNSS
<b>Ασάφειες φάσης</b>	Υπολογίζονται ως πραγματικές τιμές (ακέραιες τιμές με χρήση προϊόντων CNES)

**Πίνακας 4-4:** Στρατηγική επεξεργασίας και μοντελοποίηση σφαλμάτων για τα δορυφορικά δεδομένα πολλαπλών συστημάτων GNSS στο λογισμικό RTKLIB

Με το πέρασ, έπειτα, της επεξεργασίας των δεδομένων, προέκυψαν ορισμένα αρχεία εξόδου (με επέκταση *pos*) τα οποία περιλαμβάνουν τα αποτελέσματα θέσης στο σύστημα ITRF08 και μπορούν εύκολα να αναγνωστούν με έναν επεξεργαστή κειμένου *wordpad*. Το επόμενο βήμα, όπως και προηγουμένως, ήταν η σύγκριση των προκύπτουσών συντεταγμένων θέσης με τις επίσημες συντεταγμένες των εξεταζόμενων σταθμών. Όμως, το πιλοτικό πρόγραμμα MGEX δεν έχει ακόμη προχωρήσει στον προσδιορισμό επίσημων συντεταγμένων θέσης των σταθμών του εν λόγω δικτύου, καθώς αυτός βρίσκεται ακόμα σε πρώιμο στάδιο.

Προκειμένου, λοιπόν, να υπάρξουν σταθερές συντεταγμένες των εξεταζόμενων σταθμών για την διερεύνηση της βελτίωσης ακρίβειας θέσης με τη χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS, ακολουθήθηκε η συνήθης τακτική του προσδιορισμού θέσης σημείου από τον συνδυασμό δεδομένων πολλών ημερών. Συγκεκριμένα, έγινε επεξεργασία δεδομένων σε ένα συνεχόμενο διάστημα 10 ημερών, 05/01/2014 – 10/01/2014, με την τεχνική επεξεργασίας PPP-static, και οι προκύπτουσες λύσεις αποτέλεσαν τις σταθερές συντεταγμένες θέσης των εξεταζόμενων σταθμών στην παρούσα διπλωματική εργασία. Σημειώνεται ότι η παραπάνω επεξεργασία πραγματοποιήθηκε τόσο με τη χρήση δεδομένων μόνο GPS όσο και δεδομένων GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou. Η σύγκριση μεταξύ τους έδειξε ότι υπάρχει μία μικρή μόνο διαφορά, της τάξης των 4 χιλιοστών, και έτσι αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθεί η λύση από τη χρήση πολλαπλών συστημάτων, ως η

θεωρητικά πιο ισχυρή. Έτσι, οι προκύπτουσες ανά εποχή συντεταγμένες θέσης από κάθε ένα εξεταζόμενο σενάριο συγκρίθηκαν με το σταθερό μοντέλο PPP λύσεων που προέκυψε από την επεξεργασία 10 συνεχόμενων ημερών.

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 4.2, το λογισμικό RTKLIB έχει τη δυνατότητα οπτικοποίησης των λύσεων κατά τις διευθύνσεις North, East και Up, μέσω της εφαρμογής RTKPLOT που διαθέτει. Ωστόσο, δεν έγινε χρήση αυτής της εφαρμογής για δύο λόγους:

- Η οπτικοποίηση των λύσεων στο RTKPLOT γίνεται με βάση τις διαφορές που δημιουργούνται μεταξύ της κάθε λύσης ανά εποχή και της πρώτης (λύση πρώτης εποχής), της τελευταίας (λύση τελευταίας εποχής), της μέσης (μέση τιμή όλων των λύσεων), ή της γραμμικά προσαρμοσμένης λύσης. Με τον παραπάνω τρόπο, ο χρήστης μπορεί μεν να αξιολογήσει τον χρόνο σύγκλισης, αλλά μόνο ως προς τις προκύπτουσες λύσεις και όχι από ένα σταθερό μοντέλο λύσεων.
- Η εφαρμογή RTKPLOT, υπεύθυνη για την οπτικοποίηση των λύσεων στο λογισμικό RTKLIB, επιτρέπει την ταυτόχρονη απεικόνιση δύο μόνο χρονοσειρών λύσεων ανά διεύθυνση. Συνεπώς, ήταν αδύνατη η συγκριτική παρουσίαση μεταξύ των λύσεων που προέκυψαν από τους εξεταζόμενους δορυφορικούς σχηματισμούς (GPS, GLONASS, GPS/GLONASS, GPS/Galileo, GPS/BeiDou, GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou).

Για τους παραπάνω λόγους, δημιουργήθηκε ένα module στο λογισμικό MATLAB το οποίο έχει τις εξής δυνατότητες:

- Εισαγωγή των αρχείων αποτελεσμάτων (με επέκταση pos), που εξάγονται από την εφαρμογή RTKPOST του λογισμικού RTKLIB, και ανάγνωση τιμών
- Λήψη διαφορών μεταξύ των προκυπτουσών λύσεων ανά εποχή και του σταθερού μοντέλου λύσεων από την επεξεργασία δεδομένων GNSS σε διάστημα 10 ημερών
- Μετασχηματισμός των διαφορών των καρτεσιανών συντεταγμένων σε τοποκεντρικές διαφορές ανά διεύθυνση, σύμφωνα με την σχέση (4.14)
- Οπτικοποίηση των χρονοσειρών των PPP λύσεων ανά δορυφορικό σχηματισμό και διεύθυνση
- Υπολογισμός στατιστικών δεικτών των παραπάνω λύσεων και εξαγωγή τους σε αρχείο κειμένου (επέκταση txt), για την εισαγωγή σε λογιστικό φύλλο εργασίας

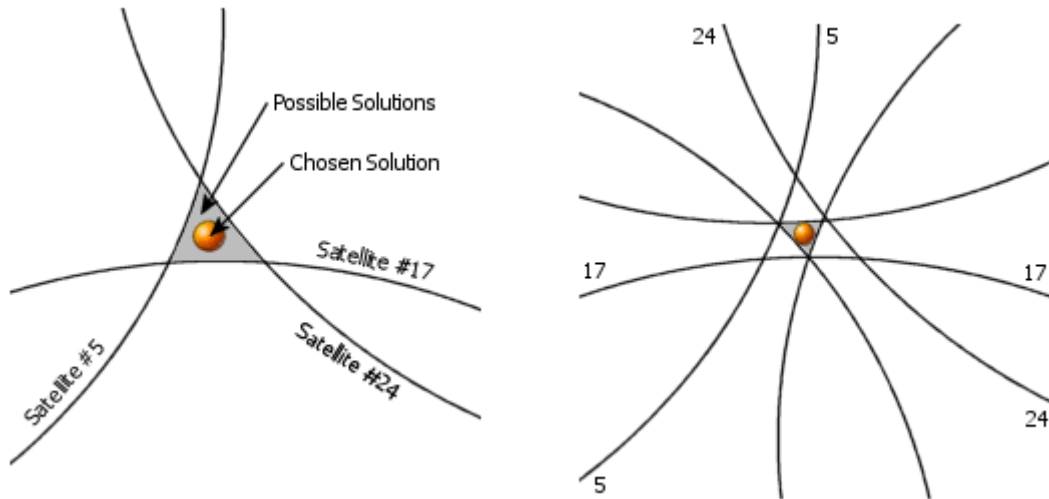
#### 4.4 Γεωμετρικοί Δείκτες DOP

Ο δείκτης DOP (Dilution of Precision) αποτελεί έναν γεωμετρικό δείκτη που αντιπροσωπεύει τη συμβολή της γεωμετρίας των δορυφόρων στην τελική ακρίβεια προσδιορισμού θέσης. Εφόσον, λοιπόν, στην παρούσα μελέτη διερευνείται η συμβολή της χρήσης πολλαπλών συστημάτων GNSS (άρα και περισσότερων δορυφόρων) στην ακρίβεια θέσης με την τεχνική PPP, κρίθηκε απαραίτητο να γίνει υπολογισμός του εν λόγω δείκτη.

Συγκεκριμένα, η γεωμετρία των δορυφόρων που σχηματίζεται κατά την λήψη των δορυφορικών δεδομένων από έναν δέκτη GNSS αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην ακρίβεια προσδιορισμού θέσης του εν λόγω δέκτη. Η τεχνική που χρησιμοποιούν οι δέκτες GNSS για τον υπολογισμό της θέσης τους βασίζεται στον "τρισδιάστατο πολυπλευρισμό", σύμφωνα με τον οποίο η θέση προσδιορίζεται ως τομή διάφορων σφαιρών. Στο κέντρο των σφαιρών αυτών βρίσκεται ο εκάστοτε δορυφόρος, ενώ η ακτίνα τους είναι η υπολογισμένη απόσταση μεταξύ δορυφόρου και δέκτη.

Η τομή των σφαιρών αυτών, θεωρητικά, θα αποτελούσε ένα μοναδικό σημείο, με αποτέλεσμα να υπάρχει μία μόνο πιθανή λύση στην τρέχουσα θέση. Ωστόσο, αυτό δεν συμβαίνει στην πραγματικότητα, αφού οι τομές των σφαιρών διαμορφώνουν μία περιοχή σφαιρικού πολυέδρου, σε κάποιο σημείο της οποίας βρίσκεται η πραγματική λύση. Συμπεραίνει, εύκολα, κανείς ότι η αύξηση της συγκεκριμένης περιοχής οδηγεί σε μείωση της ακρίβεια θέσης. Ο προσδιορισμός, λοιπόν, του συντελεστή γεωμετρικής ακρίβειας DOP είναι απαραίτητος σε εφαρμογές υψηλής ακρίβειας.





**Εικόνα 4-10:** Οι πιθανές θέσεις του δέκτη GNSS σε σφαιρικό πολύεδρο που σχηματίζεται από 3 δορυφόρους (αριστερά) και 6 δορυφόρους (δεξιά)  
**Πηγή:** <http://www.developerfusion.com/>

Ειδικότερα, ο δείκτης DOP μπορεί να εκφρασθεί ως μία σειρά ξεχωριστών μετρήσεων, και αναλύεται στους δείκτες HDOP (Horizontal DOP), VDOP (Vertical DOP), PDOP (Position DOP), TDOP (Time DOP) και GDOP (Geometric DOP).

Η ιδανική γεωμετρία δορυφόρων, θεωρητικά, προκύπτει από τέσσερις κατάλληλα επιλεγμένους και ορθά κατανεμημένους δορυφόρους GNSS που σχηματίζουν, μαζί με το σημείο ενδιαφέροντος, ένα κανονικό τετράεδρο στον χώρο, όπως φαίνεται στην Εικ. 4-11. Μία από τις μεθόδους προσδιορισμού του δείκτη DOP περιλαμβάνει τη χρήση των μετρήσεων ψευδοαπόστασης μεταξύ δεκτών και δορυφόρων, οι οποίες εκφράζονται προσεγγιστικά ως προς τις γεωκεντρικές συντεταγμένες αυτών σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$P \approx \sqrt{(X^s - X_r)^2 + (Y^s - Y_r)^2 + (Z^s - Z_r)^2} - c dt \quad (4.15)$$

όπου:

- $s$  ο εκάστοτε δορυφόρος GNSS
- $r$  ο εκάστοτε δέκτης GNSS
- $X, Y, Z$  οι γεωκεντρικές συντεταγμένες δορυφόρου και δέκτη
- $c$  η ταχύτητα του φωτός
- $dt$  το σφάλμα χρονομέτρου του δέκτη

Ωστόσο, η πραγματική μέτρηση ψευδοαπόστασης, δηλαδή η γεωμετρική, δεν περιλαμβάνει το σφάλμα χρονομέτρου του δέκτη:

$$\rho = \sqrt{(X^s - X_r)^2 + (Y^s - Y_r)^2 + (Z^s - Z_r)^2} \quad (4.16)$$

Στη συνόρθωση των μετρήσεων είναι απαραίτητη η δημιουργία του πίνακα σχεδιασμού  $A$ , ο οποίος διαμορφώνεται μετά τη γραμμικοποίηση της παραπάνω σχέσης όπως φαίνεται στη συνέχεια:

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial P^1}{\partial X_r} & \frac{\partial P^1}{\partial Y_r} & \frac{\partial P^1}{\partial Z_r} & \frac{\partial P^1}{\partial dt_r} \\ \frac{\partial P^2}{\partial X_r} & \frac{\partial P^2}{\partial Y_r} & \frac{\partial P^2}{\partial Z_r} & \frac{\partial P^2}{\partial dt_r} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial P^i}{\partial X_r} & \frac{\partial P^i}{\partial Y_r} & \frac{\partial P^i}{\partial Z_r} & \frac{\partial P^i}{\partial dt_r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{X^1 - X_r}{\rho_r^1} & \frac{Y^1 - Y_r}{\rho_r^1} & \frac{Z^1 - Z_r}{\rho_r^1} & -c \\ \frac{X^2 - X_r}{\rho_r^2} & \frac{Y^2 - Y_r}{\rho_r^2} & \frac{Z^2 - Z_r}{\rho_r^2} & -c \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{X^i - X_r}{\rho_r^i} & \frac{Y^i - Y_r}{\rho_r^i} & \frac{Z^i - Z_r}{\rho_r^i} & -c \end{bmatrix} \quad (4.17)$$

Οι τιμές των διαφόρων δεικτών DOP προσδιορίζονται από τα στοιχεία της διαγωνίου του πίνακα μεταβλητότητας - συμμεταβλητότητας,  $C_X$ , για τον προσδιορισμό θέσης από το σχηματισμό των δορυφόρων:

$$C_X = (A^T A)^{-1} \quad (4.18)$$

$$C_X = \begin{bmatrix} \sigma_\phi^2 & \sigma_{\phi\lambda} & \sigma_{\phi h} & \sigma_{\phi t} \\ \sigma_{\lambda\phi} & \sigma_\lambda^2 & \sigma_{\lambda h} & \sigma_{\lambda t} \\ \sigma_{h\phi} & \sigma_{h\lambda} & \sigma_h^2 & \sigma_{ht} \\ \sigma_{t\phi} & \sigma_{t\lambda} & \sigma_{th} & \sigma_t^2 \end{bmatrix} \quad (4.19)$$

$$C_X = \begin{bmatrix} \sigma_X^2 & \sigma_{XY} & \sigma_{XZ} & \sigma_{Xt} \\ \sigma_{YX} & \sigma_Y^2 & \sigma_{YZ} & \sigma_{Yt} \\ \sigma_{ZX} & \sigma_{ZY} & \sigma_Z^2 & \sigma_{Zt} \\ \sigma_{tX} & \sigma_{tY} & \sigma_{tZ} & \sigma_t^2 \end{bmatrix} \quad (4.20)$$

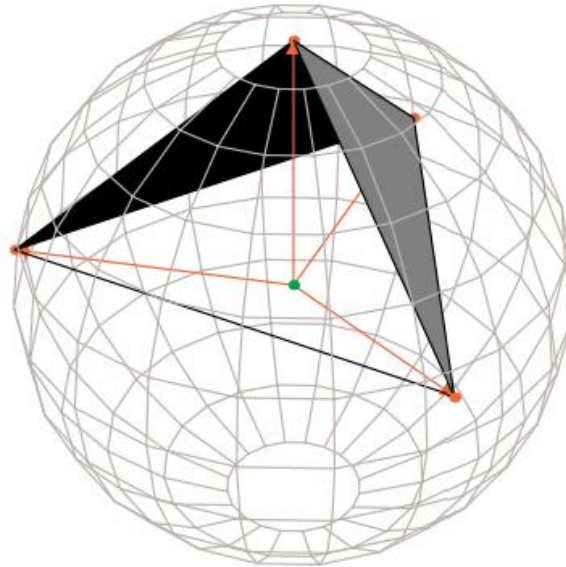
Ο πρώτος πίνακας αφορά γεωδαιτικές, ενώ ο δεύτερος καρτεσιανές συντεταγμένες. Από τους παραπάνω, λοιπόν, πίνακες είναι δυνατός ο υπολογισμός των δεικτών DOP ως εξής:

DOP		Καρτεσιανές (X, Y, Z)	Γεωδαιτικές (φ, λ, h)
HDOP	horizontal	$(\sigma_X^2 + \sigma_Y^2)^{1/2}$	$(\sigma_\phi^2 + \sigma_\lambda^2)^{1/2}$
VDOP	vertical	$\sigma_Z$	$\sigma_h$
PDOP	positional	$(\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + \sigma_Z^2)^{1/2}$	$(\sigma_\phi^2 + \sigma_\lambda^2 + \sigma_h^2)^{1/2}$
TDOP	time	$\sigma_t$	$\sigma_t$
GDOP	geometrical	$(\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + \sigma_Z^2 + \sigma_t^2)^{1/2}$	$(\sigma_\phi^2 + \sigma_\lambda^2 + \sigma_h^2 + \sigma_t^2)^{1/2}$

**Πίνακας 4-5:** Είδη διαφορετικών δεικτών DOP

Τιμή DOP	Εκτίμηση	Περιγραφή
<1	Ιδανικό	Αποτελεί το υψηλότερο επίπεδο εμπιστοσύνης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές που απαιτούν την υψηλότερη ακρίβεια κάθε χρονική στιγμή.
1-2	Εξαιρετικό	Σε αυτό το επίπεδο εμπιστοσύνης, οι μετρήσεις θεωρούνται ακριβείς για όλες τις εφαρμογές εκτός από τις πολύ ευαίσθητες.
2-5	Καλό	Απεικονίζει το επίπεδο που χαρακτηρίζεται ως λιγότερο κατάλληλο για εκτέλεση εφαρμογών ακριβείας. Οι μετρήσεις θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία αξιόπιστων προτάσεων στις διαδρομές πλοήγησης.
5-10	Μέτριο	Οι μετρήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για υπολογισμούς.
10-20	Επαρκές	Αναπαριστά ένα χαμηλό επίπεδο εμπιστοσύνης και θα χρησίμευε σε μία πολύ χονδρική εκτίμηση της θέσης.
>20	Φτωχό	Σε αυτό το επίπεδο, οι μετρήσεις είναι ανακριβείς και πρέπει να απορρίπτονται.

**Πίνακας 4-6:** Ερμηνεία των τιμών DOP  
**Πηγή:** <https://en.wikipedia.org>



**Εικόνα 4-11:** Ίδανική περίπτωση γεωμετρίας, με τους 4 δορυφόρους και το σημείο ενδιαφέροντος να σχηματίζουν ένα κανονικό τετράεδρο στο χώρο  
**Πηγή: Langley 1999**

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, υπολογίστηκαν οι δείκτες PDOP και GDOP για διάφορους δορυφορικούς σχηματισμούς, με αυτόματο τρόπο μέσω του λογισμικού RTKLIB.

#### 4.5 Στατιστικοί Δείκτες

Ο έλεγχος της ακρίβειας των PPP λύσεων, που προέκυψαν από όλα τα εξεταζόμενα σενάρια, πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια των δεικτών RMSD (Root Mean Square Deviation ή Root Mean Square Error) και RMSd (Root Mean Square difference).

Η απόκλιση της μέσης τετραγωνικής ρίζας, εναλλακτικά RMSD, αποτελεί έναν συνήθη δείκτη για την σύγκριση μεταξύ τιμών που υπολογίζονται από ένα μοντέλο ή έναν εκτιμητή τιμών και αντίστοιχων πραγματικών τιμών που προκύπτουν από παρατηρήσεις. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο δείκτης RMSD χρησιμοποιείται για την σύγκριση μεταξύ δύο συνόλων τιμών που ενδέχεται να διαφέρουν, αλλά κανένα από αυτά δεν γίνεται αποδεκτό ως το "πρότυπο" (standard). Όταν, για παράδειγμα, εξετάζεται η μέση διαφορά δύο χρονοσειρών  $x_{1,t}$  και  $x_{2,t}$  η σχέση υπολογισμού του δείκτη RMSD έχει την μορφή:

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (x_{1,t} - x_{2,t})^2}{n}} \quad (4.21)$$

όπου:

- $t$  η χρονική στιγμή που αντιστοιχεί στην συγκεκριμένη παρατήρηση
- $n$  ο συνολικός αριθμός των παρατηρήσεων

Στην συγκεκριμένη μελέτη, ο δείκτης RMSD χρησιμοποιήθηκε για τη σύγκριση μεταξύ της σταθερής χρονοσειράς λύσης,  $x_{1,t}$ , που προέκυψε από την επεξεργασία δεδομένων 10 ημερών και της εκάστοτε χρονοσειράς λύσης,  $x_{2,t}$ , που προέκυψε από κάθε εξεταζόμενο σενάριο. Αν και ενδέχεται η σταθερή χρονοσειρά PPP λύσεων να μην αποτελεί την πρότυπη λύση, η πρώτη συγκλίνει στο επίπεδο των μερικών εκατοστών στα πρώτα μόλις λεπτά ενώ παράλληλα η συμπεριφορά της από την  $2^{\text{η}}$  (06/01/2014) έως την  $10^{\text{η}}$  (14/01/2014) ημέρα χαρακτηρίζεται από μεγάλη σταθερότητα κατά τη διάρκεια του εξεταζόμενου διαστήματος. Έτσι, η αύξηση και μείωση της ακρίβειας της PPP θέσης με τη χρήση πολλαπλών

συστημάτων GNSS ερμηνεύθηκε με βάση το αν η μέση διαφορά (RMSD) μεταξύ της σταθερής χρονοσειράς και των λύσεων ανά σενάριο μειώνεται ή αυξάνεται.

Εν συνεχεία, ο δείκτης RMSd (Root Mean Square difference) αποτελεί έναν στατιστικό δείκτη που δίνει ένα μέτρο της συμφωνίας της εκάστοτε χρονοσειράς σεναρίου και σταθερής ("fix") λύσης, παρόμοιος με τον προηγούμενο. Ο εν λόγω δείκτης περιγράφεται από την εξής σχέση:

$$RMSd = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (\Delta X_t - \overline{\Delta X})^2}{n - 1}} \quad (4.22)$$

όπου:

$t$	η χρονική στιγμή που αντιστοιχεί στη συγκεκριμένη παρατήρηση
$n$	ο συνολικός αριθμός των παρατηρήσεων
$\Delta X$	η διαφορά μεταξύ των δύο χρονοσειρών (σταθερής λύσης και ανά σενάριο) κατά τις διευθύνσεις North, East, Up
$\overline{\Delta X}$	η μέση τιμή της παραπάνω διαφοράς χρονοσειρών

# 5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν στην παρούσα διπλωματική εργασία, με βάση τη μεθοδολογία που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Τα αποτελέσματα αυτά χωρίζονται σε τέσσερις (4) βασικές κατηγορίες, με βάση την επεξεργασία:

1. Δεδομένων πραγματικών κινηματικών πορειών σε πλοίο, αεροπλάνο και αυτοκίνητο, με χρήση του ελεύθερου λογισμικού RTKLIB και της διαδικτυακής υπηρεσίας CSRS-PPP (**Κεφ. 5.1**).
2. Δεδομένων πολλαπλών συστημάτων GNSS (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) από τους μόνιμους σταθμούς UNB3 και CUT0 του δικτύου MGEX για μεταβλητές χρονικές διάρκειες παρατηρήσεων, με χρήση του λογισμικού RTKLIB. Στην ίδια ενότητα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την επεξεργασία δεδομένων GPS και GLONASS του σταθμού NICO του δικτύου IGS, με χρήση της υπηρεσίας CSRS-PPP (**Κεφ. 5.2**).
3. Δεδομένων πολλαπλών συστημάτων GNSS (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) από τους μόνιμους σταθμούς UNB3 και CUT0 του δικτύου MGEX για μεταβλητές γωνίες αποκοπής δορυφόρων, με χρήση του λογισμικού RTKLIB (**Κεφ. 5.3**).
4. Δεδομένων πολλαπλών συστημάτων GNSS (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) από τους μόνιμους σταθμούς UNB3, CUT0 και DYNG του δικτύου MGEX με επίλυση των ακέραιων ασαφειών φάσης, με χρήση του λογισμικού RTKLIB (**Κεφ. 5.4**).

## 5.1 Πραγματικές Κινηματικές Πορείες

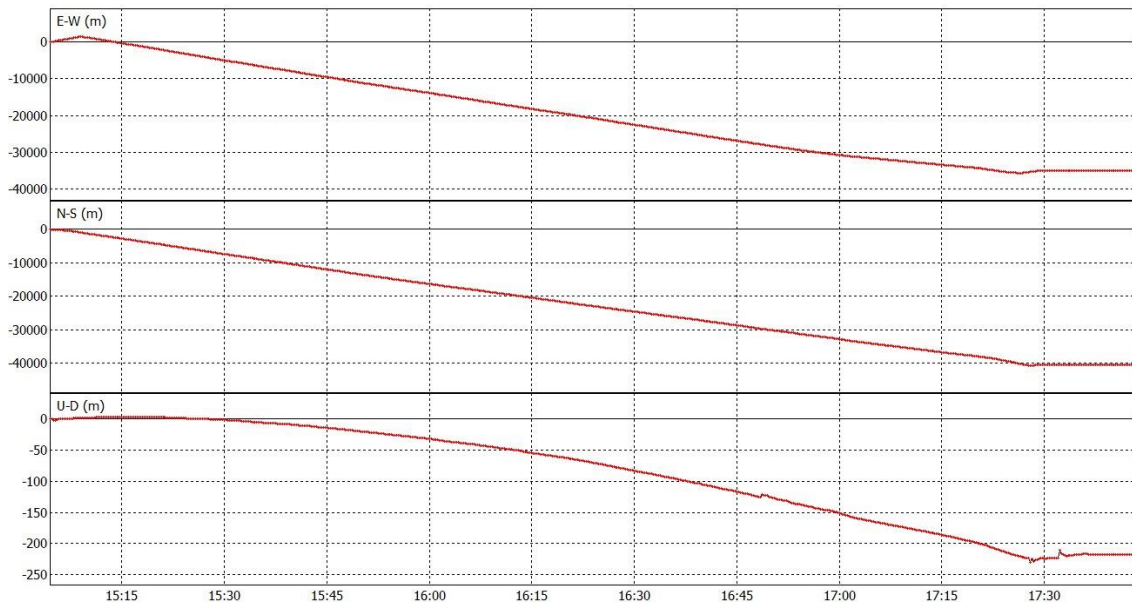
Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των διαφόρων πραγματικών κινηματικών πορειών.

### 5.1.1 Κινηματική πορεία πλοίου: Αλεξανδρούπολη – Σαμοθράκη

Η πρώτη κινηματική πορεία που εξετάστηκε ήταν η διαδρομή πλοίου Αλεξανδρούπολη – Σαμοθράκη. Στα Σχ. 5-1 και Σχ. 5-2, βρίσκονται το διάγραμμα σύγκλισης των κινηματικών PPP λύσεων και η οπτικοποίηση της πορείας του πλοίου στο περιβάλλον του Google Earth αντίστοιχα, όπως προέκυψαν από το λογισμικό RTKLIB.

Από το Σχ. 5-1, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι το πλοίο έχει σταματήσει να κινείται κατά τις 17:28, καθώς από αυτήν την χρονική στιγμή και έπειτα οι κινηματικές λύσεις κατά North και East παραμένουν ίδιες. Όσο αφορά την κατακόρυφη διεύθυνση, δεν παρατηρείται πλήρης σταθερότητα στο πλοίο, γεγονός που οφείλεται στην ύπαρξη μικρών κυματισμών εντός του λιμανιού. Προκειμένου, όμως, να διαπιστωθεί η απόδοση της λύσης από το λογισμικό RTKLIB, έγινε υποβολή του εν λόγω αρχείου δεδομένων στην διαδικτυακή υπηρεσία επίλυσης CSRS-PPP. Στο Σχ. 5-3, παρουσιάζεται η πορεία του πλοίου από τις λύσεις που παρέχουν η υπηρεσία CSRS-PPP και το λογισμικό RTKLIB.

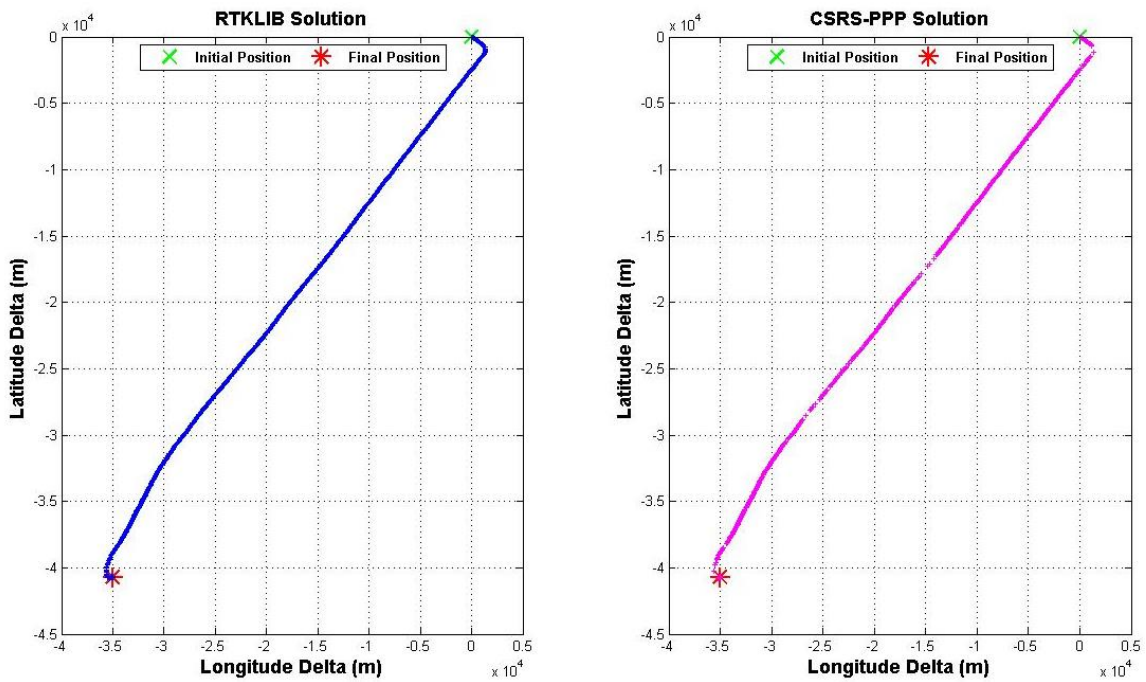
Όπως φαίνεται στο σχήμα αυτό, δεν παρατηρείται σημαντική διαφορά στις λύσεις που προέκυψαν από την υπηρεσία CSRS-PPP και το ελεύθερο λογισμικό RTKLIB. Σημειώνεται, ωστόσο, ότι η υπηρεσία CSRS-PPP απέρριψε το 16% των εποχών παρατηρήσεων (rejected epochs), γι' αυτό υπάρχουν ορισμένα διαστήματα χωρίς λύση. Αυτό συμβαίνει καθώς η εν λόγω υπηρεσία δεν προβαίνει σε επεξεργασία εποχών με ατελή δεδομένα. Επιπλέον, η οπτικοποίηση που παρέχει το RTKLIB, σε περιβάλλον είτε του Google Earth είτε του Google Maps, είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τον χρήστη καθώς αυτός μπορεί να έχει μία χωρική αντίληψη της λύσης του.



**Σχήμα 5-1:** Κινηματικές PPP λύσεις ανά διεύθυνση για την διαδρομή πλοίου Αλεξ/πολη - Σαμοθράκη

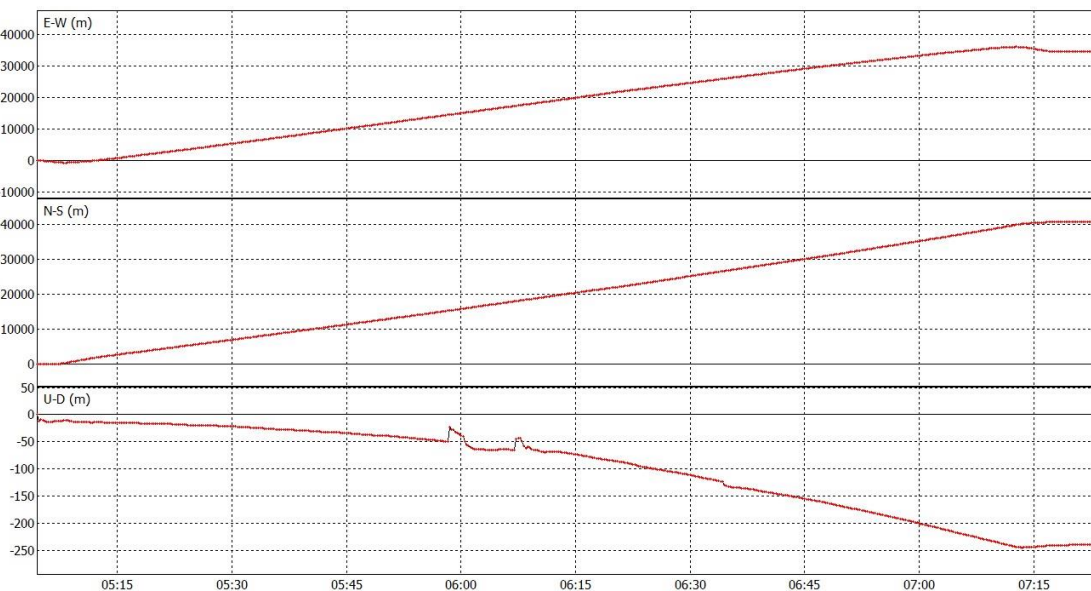


**Σχήμα 5-2:** Απεικόνιση πορείας πλοίου Αλεξ/πολη - Σαμοθράκη στο περιβάλλον του RTKPLOT/Google Earth



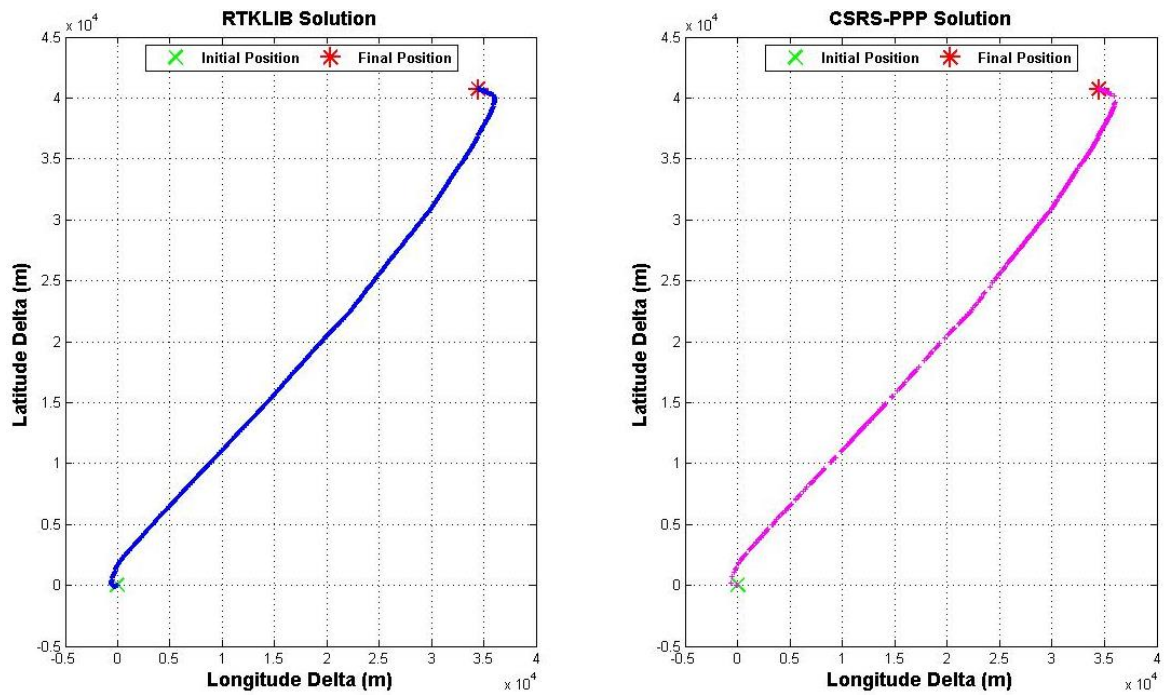
**Σχήμα 5-3:** Σύγκριση της πορείας πλοίου Αλεξ/πολη - Σαμοθράκη μεταξύ των λύσεων RTKLIB και CSRS-PPP

Η ίδια επεξεργασία ακολουθήθηκε και για την αντίθετη διαδρομή, από Σαμοθράκη προς Αλεξ/πολη. Παρακάτω, βρίσκονται το διάγραμμα σύγκλισης των κινηματικών PPP λύσεων, καθώς και η πορεία του πλοίου όπως προκύπτει από τις λύσεις που παρέχουν η υπηρεσία CSRS-PPP και το λογισμικό RTKLIB.



**Σχήμα 5-4:** Κινηματικές PPP λύσεις ανά διεύθυνση για την διαδρομή πλοίου Σαμοθράκη - Αλεξ/πολη



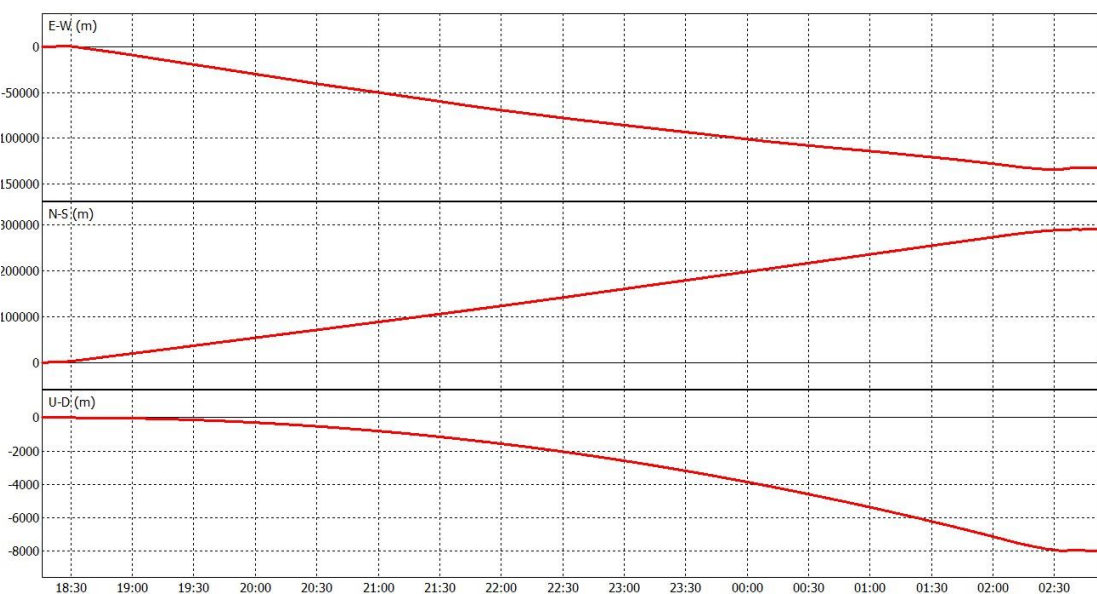


**Σχήμα 5-5:** Σύγκριση της πορείας πλοίου Σαμοθράκη - Αλεξ/πολη μεταξύ των λύσεων RTKLIB και CSRS-PPP

Από το παραπάνω σχήμα, φαίνεται ότι οι πορείες του πλοίου, όπως προέκυψαν από την υπηρεσία CSRS-PPP και το λογισμικό RTKLIB, δεν παρουσιάζουν ουσιαστική διαφορά μεταξύ τους. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι η υπηρεσία CSRS-PPP απέρριψε το 26% των παρατηρούμενων εποχών (rejected epochs), με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν PPP λύσεις σε ορισμένες χρονικές στιγμές.

### 5.1.2 Κινηματική πορεία πλοίου: Ηράκλειο - Πειραιάς

Η δεύτερη κινηματική πορεία που εξετάστηκε ήταν η διαδρομή πλοίου Ηράκλειο - Πειραιάς. Στα Σχ. 5-6 και Σχ. 5-7, βρίσκονται το διάγραμμα σύγκλισης των κινηματικών PPP λύσεων και η οπτικοποίηση της πορείας του πλοίου στο Google Earth, όπως προέκυψαν από το λογισμικό RTKLIB.



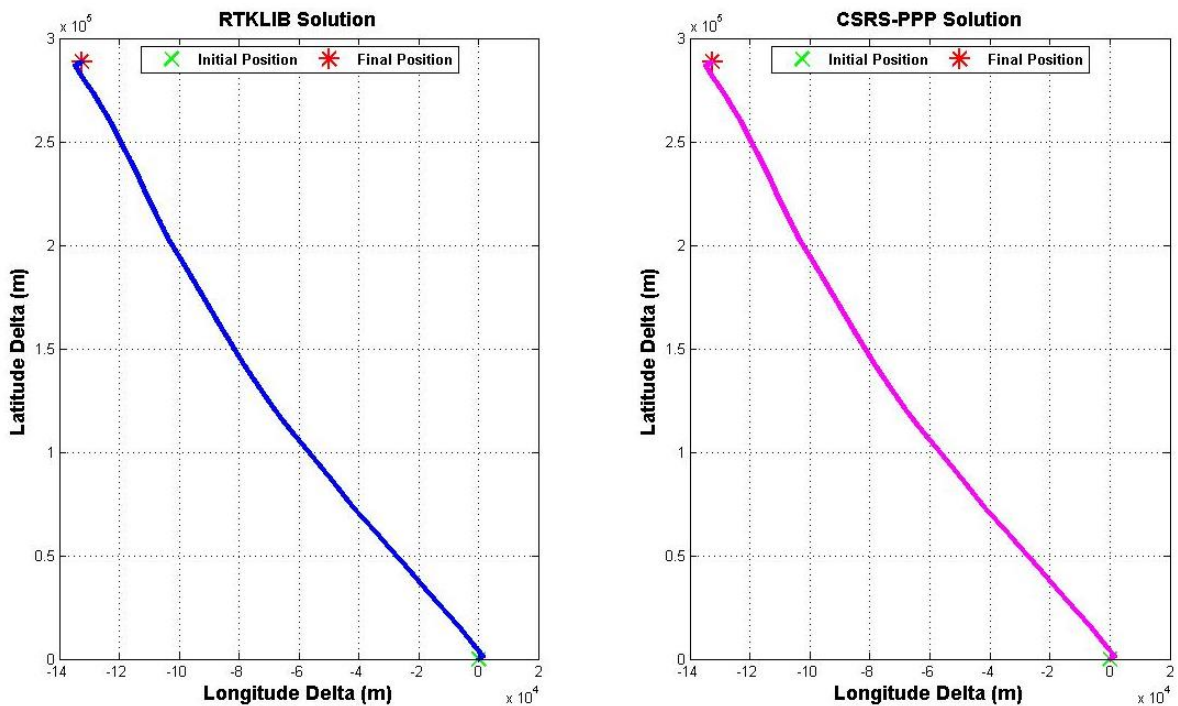
**Σχήμα 5-6:** Κινηματικές PPP λύσεις ανά διεύθυνση για την διαδρομή πλοίου Ηράκλειο - Πειραιάς





**Σχήμα 5-7:** Απεικόνιση πορείας πλοίου Ηράκλειο - Πειραιάς στο περιβάλλον του RTKPLOT/Google Earth

Όπως φαίνεται στο Σχ. 5-6, το πλοίο είναι στάσιμο στην αρχή και το τέλος του εξεταζόμενου χρονικού διαστήματος εφόσον υπάρχει σταθερότητα στις PPP λύσεις κατά τις διευθύνσεις North και East. Επιπλέον, σταθερότητα υπάρχει και στις λύσεις κατά τη διεύθυνση Up στα ίδια χρονικά διαστήματα. Για την διερεύνηση της απόδοσης της λύσης που προκύπτει από το λογισμικό RTKLIB, έγινε υποβολή του εν λόγω αρχείου δεδομένων στην διαδικτυακή υπηρεσία επίλυσης CSRS-PPP. Στο επόμενο σχήμα, παρουσιάζεται η πορεία του πλοίου από τις λύσεις που παρέχουν η υπηρεσία CSRS-PPP και το λογισμικό RTKLIB.

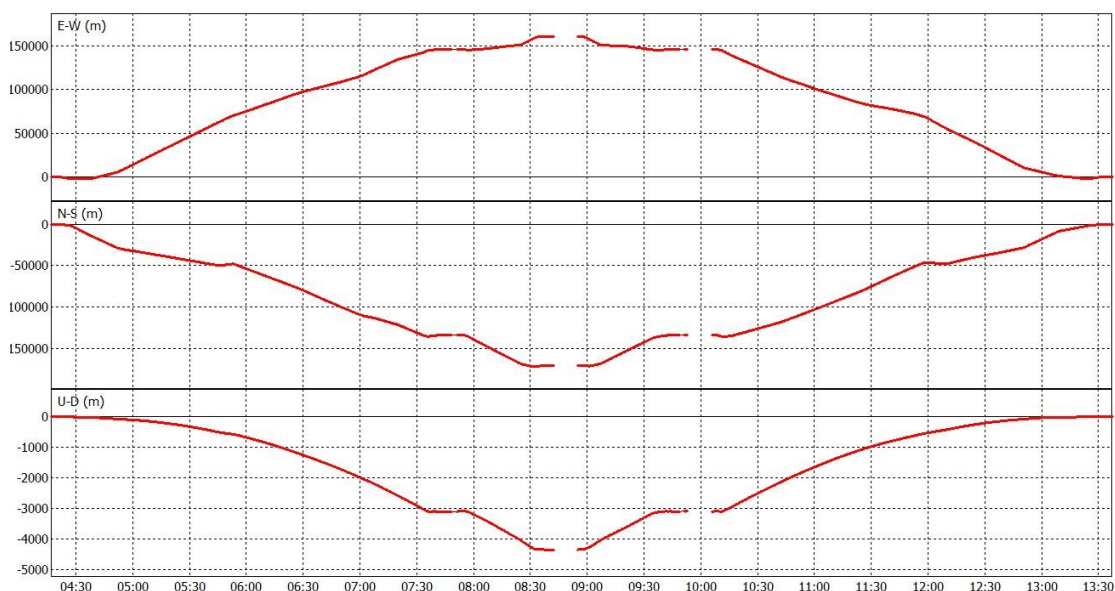


**Σχήμα 5-8:** Σύγκριση της πορείας πλοίου Ηράκλειο - Πειραιάς μεταξύ των λύσεων RTKLIB και CSRS-PPP

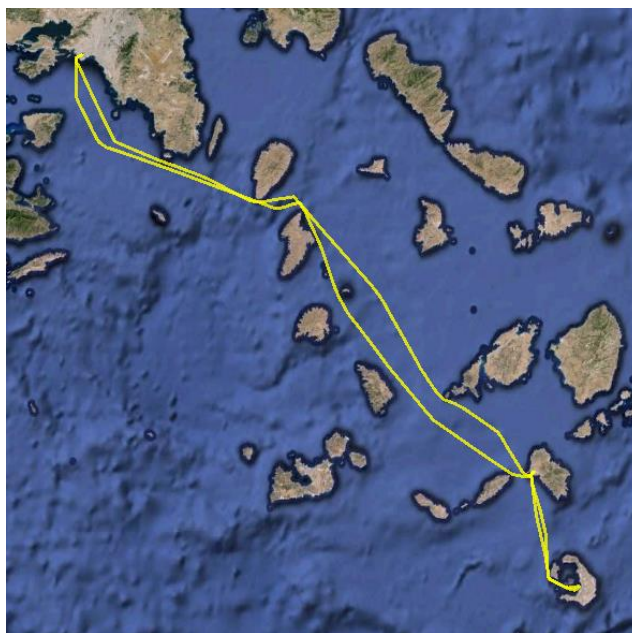
Από το Σχ. 5-8, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η πορεία του πλοίου, όπως προκύπτει από την CSRS-PPP και το RTKLIB, ταυτίζονται. Στην προκειμένη περίπτωση, μόνο 0.14% των παρατηρούμενων εποχών απορρίφθηκε (rejected epochs).

### 5.1.3 Κινηματική πορεία πλοίου: Πειραιάς – Θήρα

Η τρίτη κινηματική πορεία που εξετάστηκε ήταν η διαδρομή πλοίου Πειραιάς – Θήρα μετ' επιστροφής. Παρακάτω, βρίσκονται το διάγραμμα σύγκλισης των κινηματικών PPP λύσεων και η οπτικοποίηση της πορείας του πλοίου στο Google Earth, όπως προέκυψαν από το λογισμικό RTKLIB.



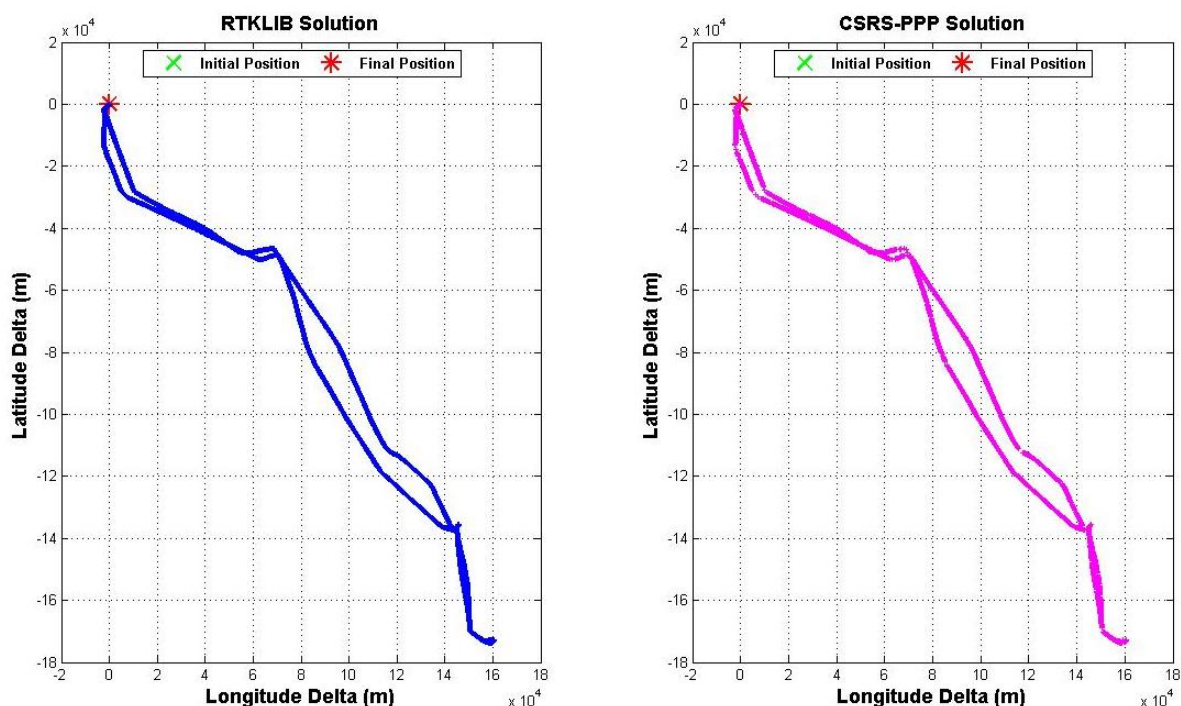
**Σχήμα 5-9:** Κινηματικές PPP λύσεις ανά διεύθυνση για την διαδρομή πλοίου Πειραιάς – Θήρα



**Σχήμα 5-10:** Απεικόνιση πορείας πλοίου Πειραιάς – Θήρα μετ' επιστροφής στο περιβάλλον του RTKPLOT/Google Earth

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 4, η συνολική διαδρομή Πειραιάς – Θήρα διήρκησε περίπου 9 ώρες, αν και από το Σχ. 5-9 φαίνεται ότι δεν υπάρχουν PPP λύσεις καθ' όλη τη διάρκεια του εν λόγω διαστήματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το αρχείο δεδομένων που επεξεργάστηκε προέκυψε από την συνένωση 5 επιμέρους RINEX αρχείων, των οποίων η λήξη του ενός και η έναρξη του επομένου δεν συνέπιπτε. Αυτό πιθανώς να οφείλεται είτε στην απενεργοποίηση του δέκτη GPS, είτε σε κάποιο τεχνικό πρόβλημα του πλοίου.

Για την διερεύνηση της απόδοσης της λύσης που προκύπτει από το λογισμικό RTKLIB, έγινε υποβολή του εν λόγω αρχείου δεδομένων στην διαδικτυακή υπηρεσία επίλυσης CSRS-PPP. Στο επόμενο σχήμα, παρουσιάζεται η πορεία του πλοίου από τις λύσεις που παρέχουν η υπηρεσία CSRS-PPP και το λογισμικό RTKLIB.



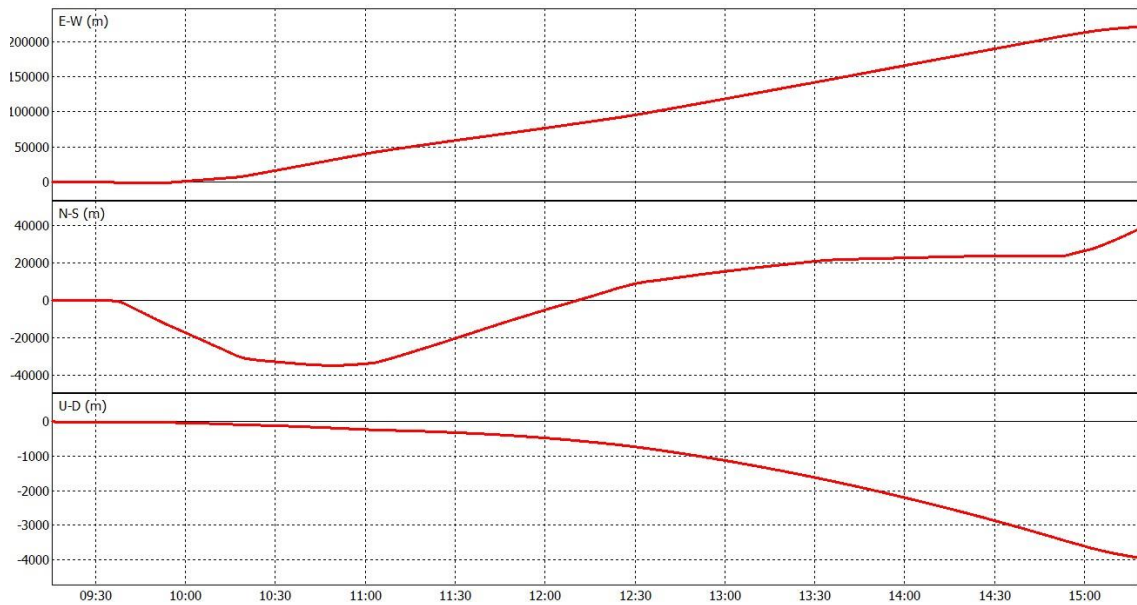
**Σχήμα 5-11:** Σύγκριση της πορείας πλοίου Πειραιάς – Θήρα μετ' επιστροφής μεταξύ των λύσεων RTKLIB και CSRS-PPP

Όπως και στις προηγούμενες διαδρομές, παρουσιάζεται ικανοποιητική ταύτιση στις προκύπτουσες πορείες πλοίων που προέκυψαν από το λογισμικό RTKLIB και την διαδικτυακή υπηρεσία CSRS-PPP. Παρ' όλα αυτά, η CSRS-PPP κατά τη διαδικασία της επεξεργασίας των δεδομένων προχώρησε σε 10.36% απόρριψη εποχών (rejected epochs).

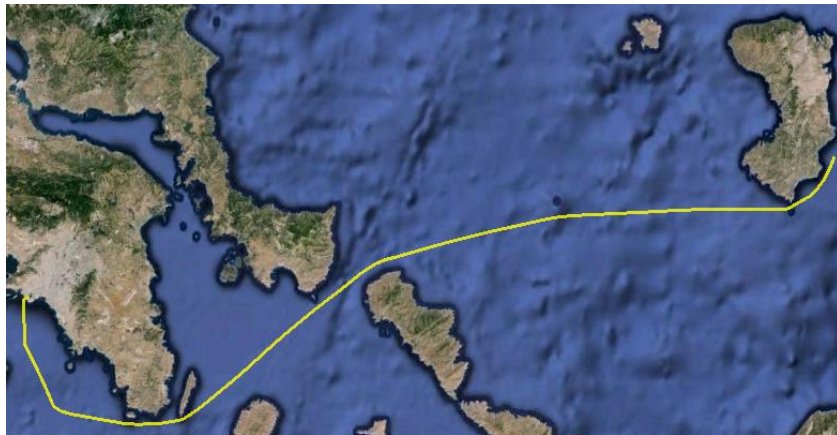
#### 5.1.4 Κινηματική πορεία πλοίου: Πειραιάς – Χίος

Η τέταρτη κινηματική πορεία που εξετάστηκε ήταν η διαδρομή πλοίου Πειραιάς – Χίος. Στα Σχ. 5-12 και Σχ. 5-13, βρίσκονται το διάγραμμα σύγκλισης των κινηματικών PPP λύσεων και η οπτικοποίηση της πορείας του πλοίου στο Google Earth, όπως προέκυψαν από το λογισμικό RTKLIB.

Σύμφωνα με το πρώτο σχήμα, παρατηρείται ότι το πλοίο ξεκίνησε την πορεία του για τη Χίο μετά τις 09:40, καθώς στο προηγούμενο διάστημα οι κινηματικές PPP λύσεις ήταν σταθερές στο μηδενικό επίπεδο κατά τις διευθύνσεις North, East, Up.



**Σχήμα 5-12:** Κινηματικές PPP λύσεις ανά διεύθυνση για τη διαδρομή πλοίου Πειραιάς – Χίος

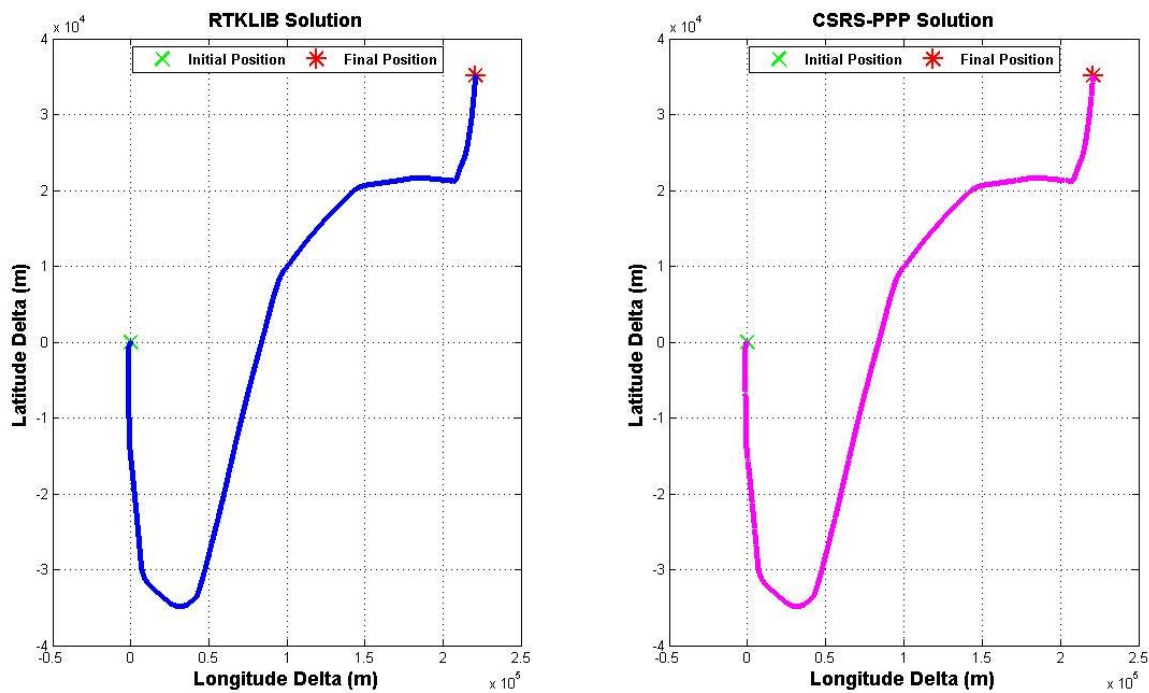


**Σχήμα 5-13:** Απεικόνιση πορείας πλοίου Πειραιάς - Χίος στο περιβάλλον του RTKPLOT/Google Earth

Για την διερεύνηση της απόδοσης της λύσης που προκύπτει από το λογισμικό RTKLIB, έγινε υποβολή του ίδιου αρχείου δεδομένων στην διαδικτυακή υπηρεσία επίλυσης CSRS-PPP. Στο επόμενο σχήμα, παρουσιάζεται η πορεία του πλοίου από τις λύσεις που παρέχουν η υπηρεσία CSRS-PPP και το λογισμικό RTKLIB.

Όπως φαίνεται από το Σχ. 5-14, δεν παρατηρείται διαφορά μεταξύ των λύσεων που προέκυψαν από την επίλυση με την διαδικτυακή υπηρεσία CSRS-PPP και το ελεύθερο λογισμικό RTKLIB για την διαδρομή Πειραιάς – Χίος. Σημειώνεται στο σημείο αυτό ότι δεν υπήρξαν εποχές παρατηρήσεων που να απορριφθούν (rejected epochs) από την διαδικτυακή υπηρεσία, συνεχώς υπήρξαν λύσεις καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων.

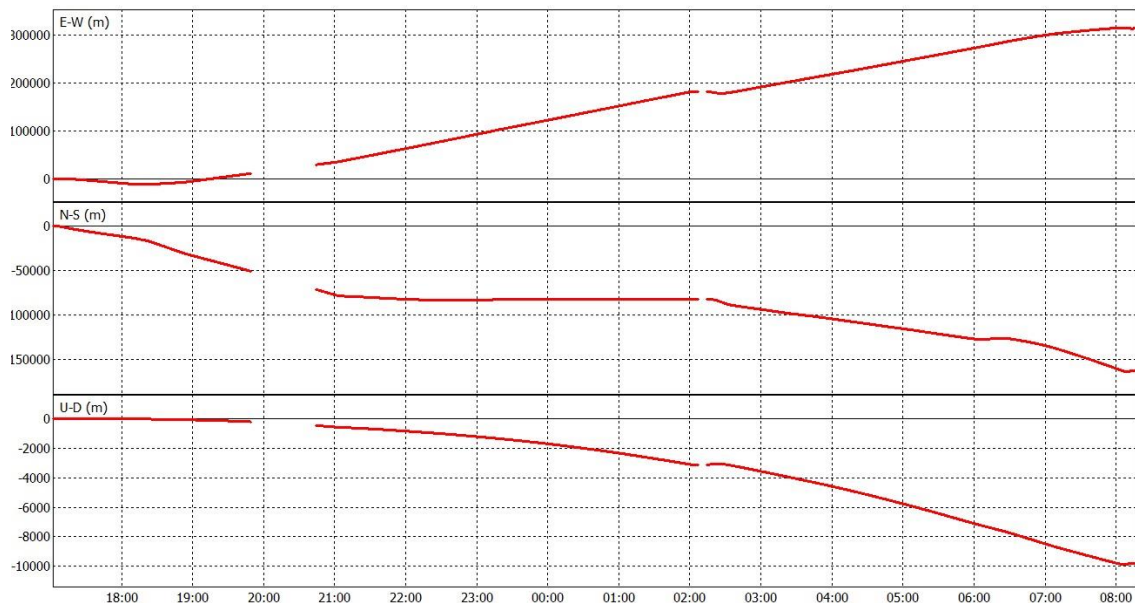




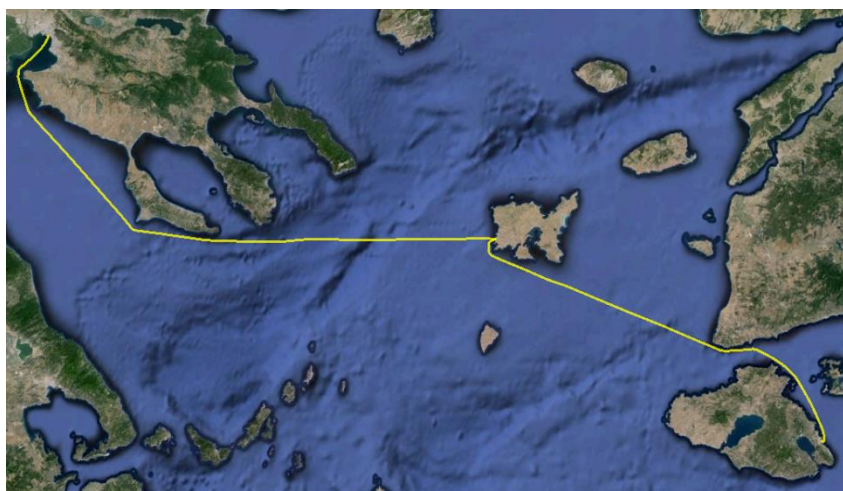
Σχήμα 5-14: Σύγκριση της πορείας πλοίου Πειραιάς - Χίος μεταξύ των λύσεων RTKLIB και CSRS-PPP

### 5.1.5 Κινηματική πορεία πλοίου: Θεσσαλονίκη - Μυτιλήνη

Η πέμπτη κινηματική πορεία που εξετάστηκε ήταν η διαδρομή πλοίου Θεσσαλονίκη - Μυτιλήνη. Στα Σχ. 5-15 και Σχ. 5-16, βρίσκονται το διάγραμμα σύγκλισης των κινηματικών PPP λύσεων και η οπτικοποίηση της πορείας του πλοίου στο Google Earth, όπως προέκυψαν από το λογισμικό RTKLIB.



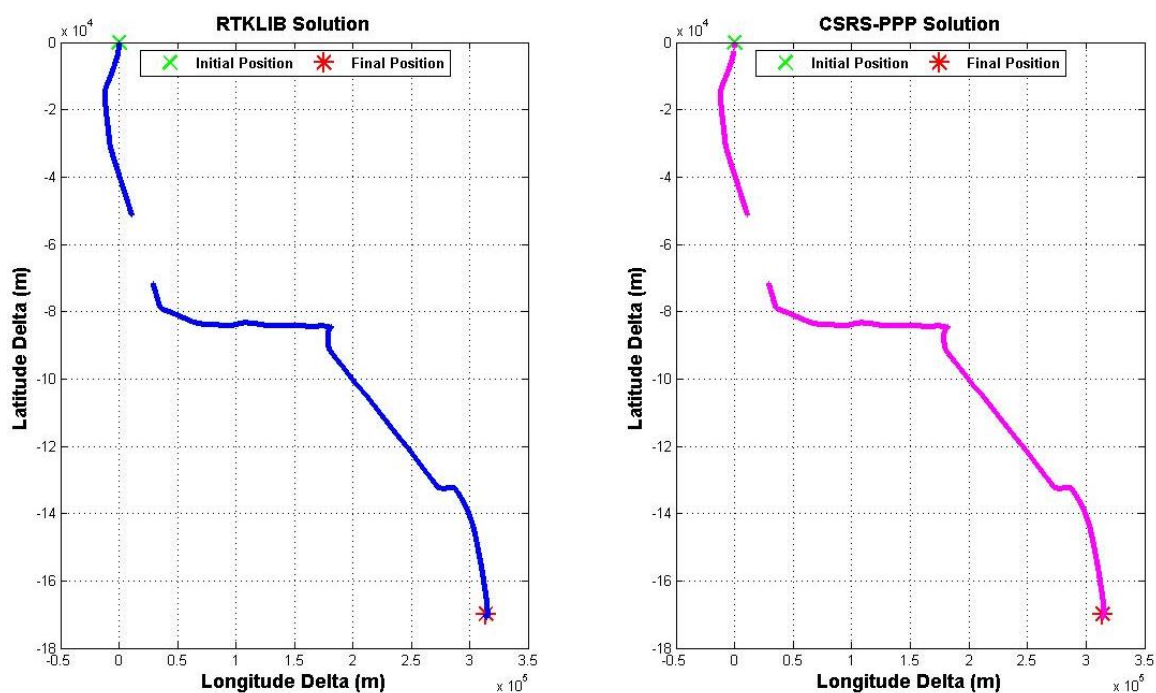
Σχήμα 5-15: Κινηματικές PPP λύσεις ανά διεύθυνση για την διαδρομή πλοίου Θεσ/νίκη - Μυτιλήνη



**Σχήμα 5-16:** Απεικόνιση πορείας πλοίου Θεοσ/νίκη - Μυτιλήνη στο περιβάλλον του RTK/PLOT/Google Earth

Όπως φαίνεται στο Σχ. 5-15, δεν υπήρξαν PPP λύσεις στα χρονικά διαστήματα 19:50 – 20:44 και 2:07 – 2:14, καθώς το αρχείο δεδομένων που επεξεργάστηκε προέκυψε από τη συνένωση 4 επιμέρους RINEX αρχείων παρατηρήσεων, των οποίων η λήξη του ενός και η έναρξη του επομένου δεν συνέπιπτε. Αυτό πιθανώς να οφείλεται είτε στην απενεργοποίηση του δέκτη GPS, είτε σε κάποιο τεχνικό πρόβλημα στο πλοίο.

Όπως και προηγουμένως, για να διερευνηθεί η απόδοση του λογισμικού RTKLIB, έγινε υποβολή του ίδιου αρχείου δεδομένων στην διαδικτυακή υπηρεσία επίλυσης CSRS-PPP. Στο παρακάτω σχήμα, παρουσιάζεται η πορεία του πλοίου, όπως προέκυψε από τις λύσεις που παρέχουν η υπηρεσία CSRS-PPP και το λογισμικό RTKLIB.

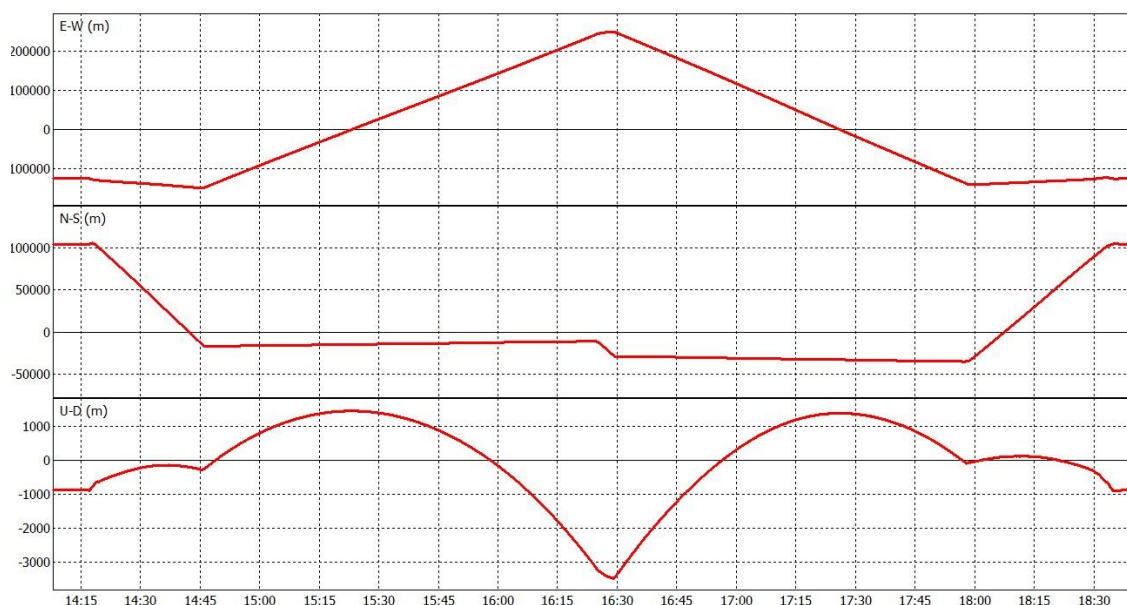


**Σχήμα 5-17:** Σύγκριση της πορείας πλοίου Θεοσ/νίκη - Μυτιλήνη μεταξύ των λύσεων RTKLIB και CSRS-PPP

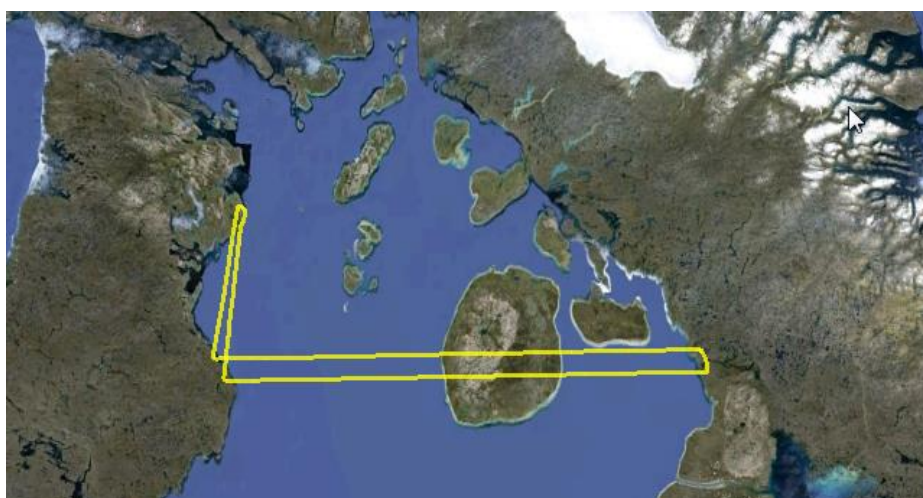
Γίνεται εύκολα αντιληπτό από το Σχ. 5-17, ότι οι PPP λύσεις που προκύπτουν από την υπηρεσία CSRS-PPP και το λογισμικό RTKLIB είναι σχεδόν ίδιες για την διαδρομή Θεσ/νίκη – Μυτιλήνη. Σημειώνεται στο σημείο αυτό ότι μόνο το 2% των εποχών παρατηρήσεων απορρίφθηκαν κατά την επεξεργασία από την υπηρεσία CSRS-PPP. Ο λόγος για τον οποίο δεν υπάρχουν PPP λύσεις σε τμήμα της παραπάνω πορείας είναι ο ίδιος όπως και για το διάγραμμα σύγκλισης.

### 5.1.6 Κινηματική πορεία αεροπλάνου: Hall Beach, Canada

Η έκτη κινηματική πορεία που εξετάστηκε αφορά μία πορεία αεροπλάνου στην τοποθεσία Hall Beach του Καναδά, τα δεδομένα της οποίας διατίθενται ελεύθερα από το Καναδικό Υπουργείο NRCan (Natural Resources Canada). Παρακάτω, βρίσκονται το διάγραμμα σύγκλισης των κινηματικών PPP λύσεων και η οπτικοποίηση της πορείας του αεροπλάνου στο Google Earth, όπως προέκυψαν από το λογισμικό RTKLIB.



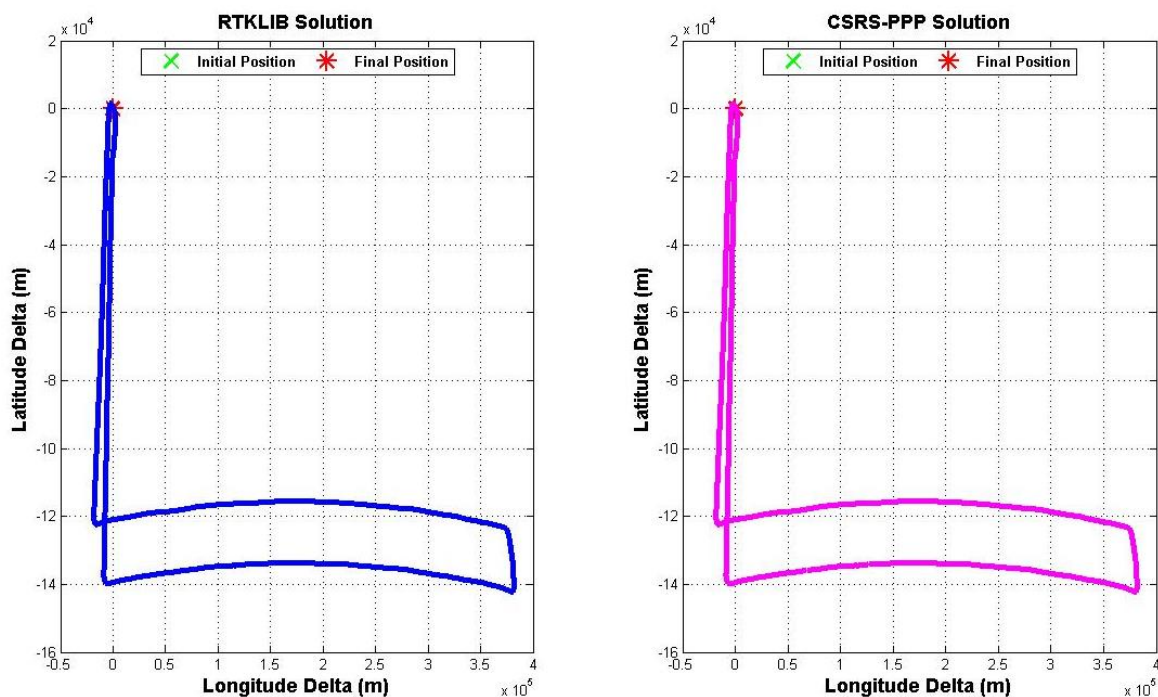
**Σχήμα 5-18:** Κινηματικές PPP λύσεις ανά διεύθυνση για τη διαδρομή αεροπλάνου στο Hall Beach



**Σχήμα 5-19:** Απεικόνιση πορείας αεροπλάνου στην περιοχή Hall Beach στο περιβάλλον του RTKPlot/Google Earth

Όπως φαίνεται στο Σχ. 5-19, το αεροπλάνο πραγματοποιεί μία πορεία μετ' επιστροφής στο Hall Beach του Καναδά, γεγονός το οποίο φαίνεται και από την συμμετρία της σύγκλισης των PPP λύσεων στο Σχ. 5-18.

Έπειτα, για να διερευνηθεί η απόδοση του λογισμικού RTKLIB, έγινε υποβολή του ίδιου αρχείου δεδομένων στην διαδικτυακή υπηρεσία επίλυσης CSRS-PPP. Στο Σχ. 5-20, παρουσιάζεται η πορεία του αεροπλάνου από τις λύσεις που παρέχουν η υπηρεσία CSRS-PPP και το λογισμικό RTKLIB.



**Σχήμα 5-20:** Σύγκριση της πορείας του αεροπλάνου στην περιοχή Hall Beach μεταξύ των λύσεων RTKLIB και CSRS-PPP

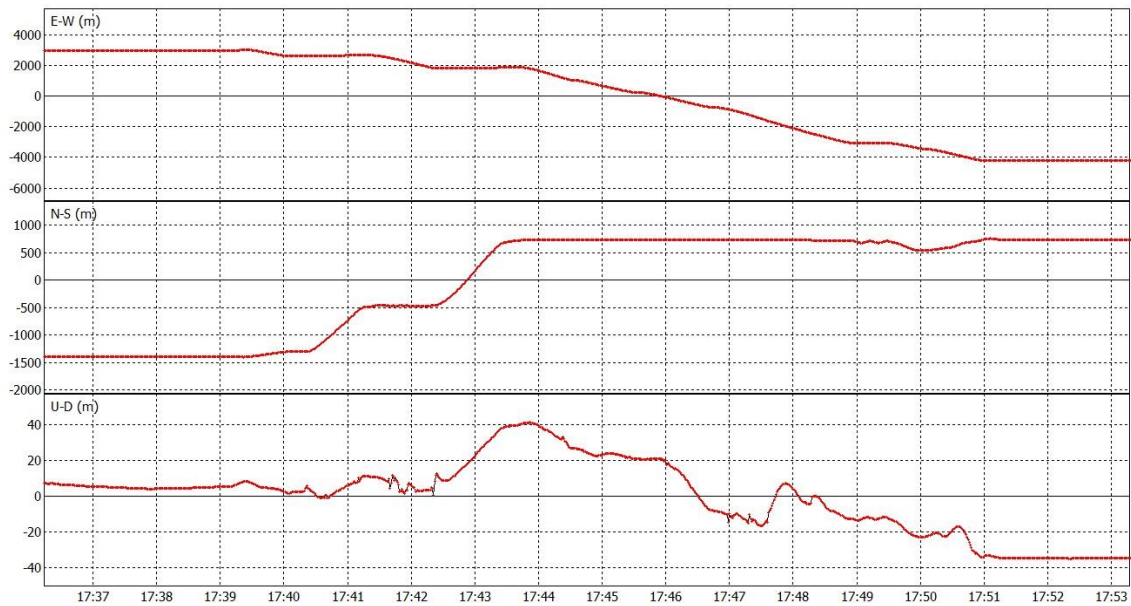
Είναι εμφανές ότι οι λύσεις που προκύπτουν από την υπηρεσία CSRS-PPP και το λογισμικό RTKLIB είναι σχεδόν ίδιες για την εξεταζόμενη εναέρια διαδρομή μετ' επιστροφής στο Hall Beach του Καναδά. Σημειώνεται στο σημείο αυτό ότι μόνο το 2% των εποχών παρατηρήσεων απορρίφθηκαν κατά την επεξεργασία από την υπηρεσία CSRS-PPP.

### 5.1.7 Κινηματική πορεία αυτοκινήτου: Glendora, California

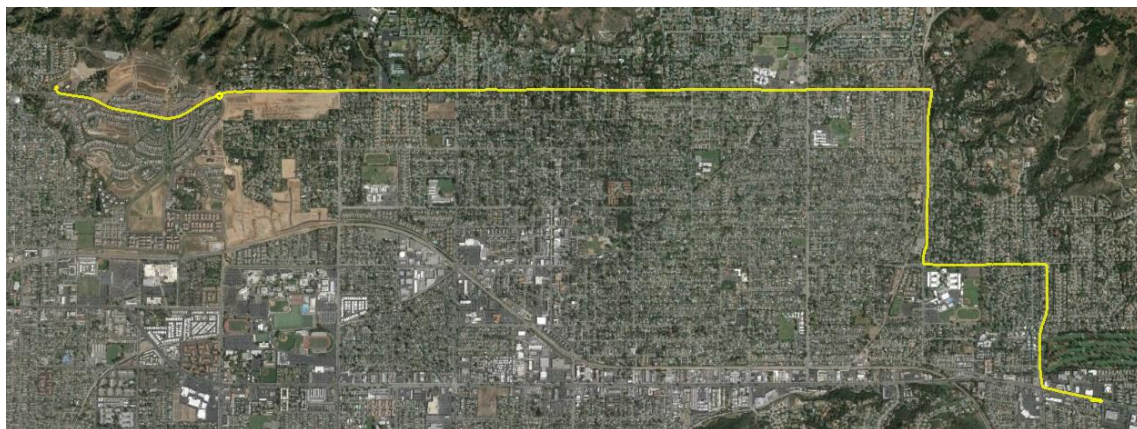
Η τελευταία κινηματική πορεία που εξετάστηκε αφορά μία αυτοκίνητη πορεία στην αστική περιοχή Glendora, που βρίσκεται στην Καλιφόρνια των Ηνωμένων Πολιτειών. Παρακάτω, βρίσκονται το διάγραμμα σύγκλισης των κινηματικών PPP λύσεων και η οπτικοποίηση της συνολικής καθώς και μέρους της αυτοκίνητης πορείας στο Google Earth, όπως προέκυψαν από το λογισμικό RTKLIB.

Σύμφωνα με την οπτικοποίηση της πορείας του αυτοκινήτου στο Σχ. 5-23, είναι εμφανές ότι οι προκύπτουσες PPP λύσεις παρουσιάζουν ικανοποιητικό επίπεδο ακρίβειας αφού αυτές οδηγούν σε "ομαλή διέλευση" του αυτοκινήτου γύρω από τον κυκλικό κόμβο. Για την περαιτέρω εξακρίβωση της απόδοσης των λύσεων αυτών, υποβλήθηκε το ίδιο αρχείο δεδομένων στην διαδικτυακή υπηρεσία CSRS-PPP. Η σύγκριση μεταξύ των δύο λύσεων παρουσιάζεται στο Σχ. 5-24.





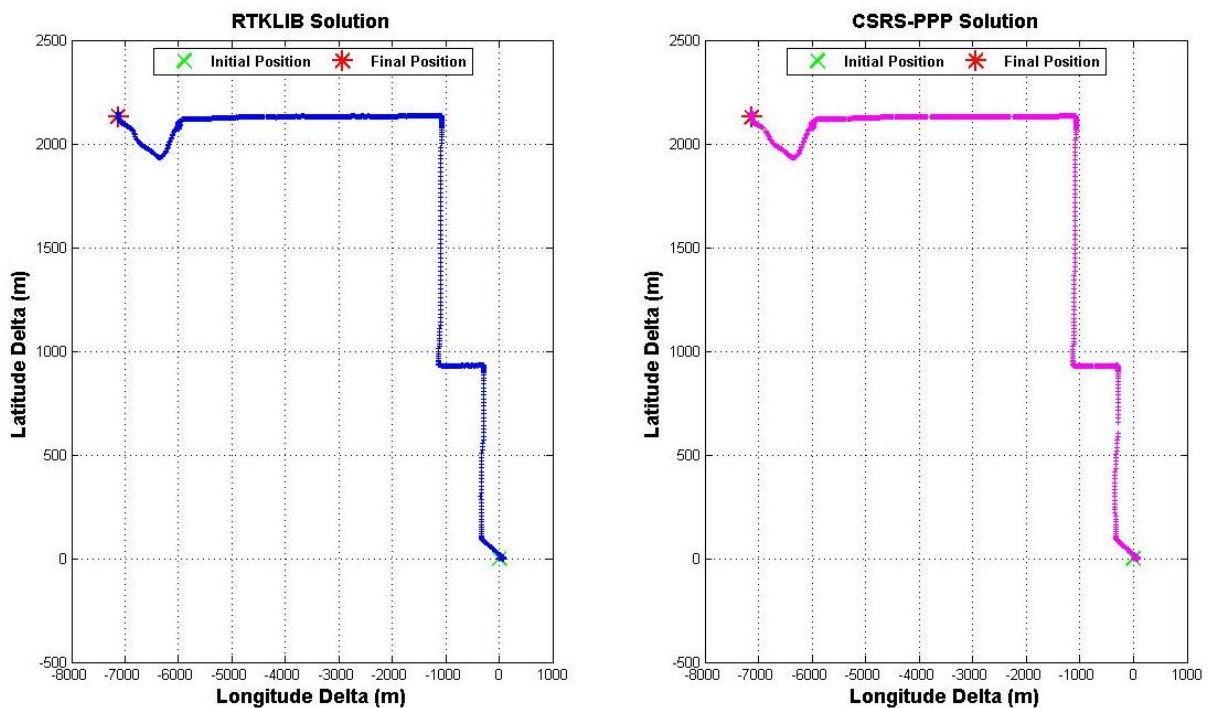
**Σχήμα 5-21:** Κινηματικές PPP λύσεις ανά διεύθυνση για την πορεία αυτοκινήτου στην περιοχή Glendora της Καλιφόρνια



**Σχήμα 5-22:** Απεικόνιση της συνολικής πορείας του αυτοκινήτου στην περιοχή Glendora της Καλιφόρνια στο περιβάλλον του RTKPLOT/Google Earth



**Σχήμα 5-23:** Απεικόνιση του κυκλικού κόμβου που περιλαμβάνεται στην πορεία του αυτοκινήτου στην περιοχή Glendora της Καλιφόρνια στο περιβάλλον του RTKPLOT/Google Earth



**Σχήμα 5-24:** Σύγκριση της πορείας αυτοκινήτου στην περιοχή Glendora της Καλιφόρνια μεταξύ των λύσεων RTKLIB και CSRS-PPP

Είναι εμφανές ότι η λύση που προκύπτει από το RTKLIB σχεδόν συμπίπτει με την αντίστοιχη από τη διαδικτυακή υπηρεσία CSRS-PPP. Καταλήγει, λοιπόν, κανείς στο συμπέρασμα ότι το ελεύθερο λογισμικό ανοικτού κώδικα RTKLIB παρέχει PPP λύσεις σχεδόν ίδιου επιπέδου ακρίβειας με την καναδική διαδικτυακή υπηρεσία επίλυσης CSRS-PPP. Επιπλέον, παρέχει ένα αρκετά φιλικό προς τον χρήστη περιβάλλον οπτικοποίησης των λύσεων και της κινηματικής πορείας, γεγονός που συμβάλλει στην σαφή χωρική αντίληψη της τελευταίας. Για τον λόγο αυτό, το RTKLIB κρίθηκε κατάλληλο για την περαιτέρω επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων από πολλαπλά συστήματα GNSS.

## 5.2 Διάστημα Παρατήρησης

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων πολλαπλών δορυφορικών συστημάτων GNSS συναρτήσει μεταβλητών χρονικών διαστημάτων παρατήρησης.

### 5.2.1 Στατικές PPP λύσεις

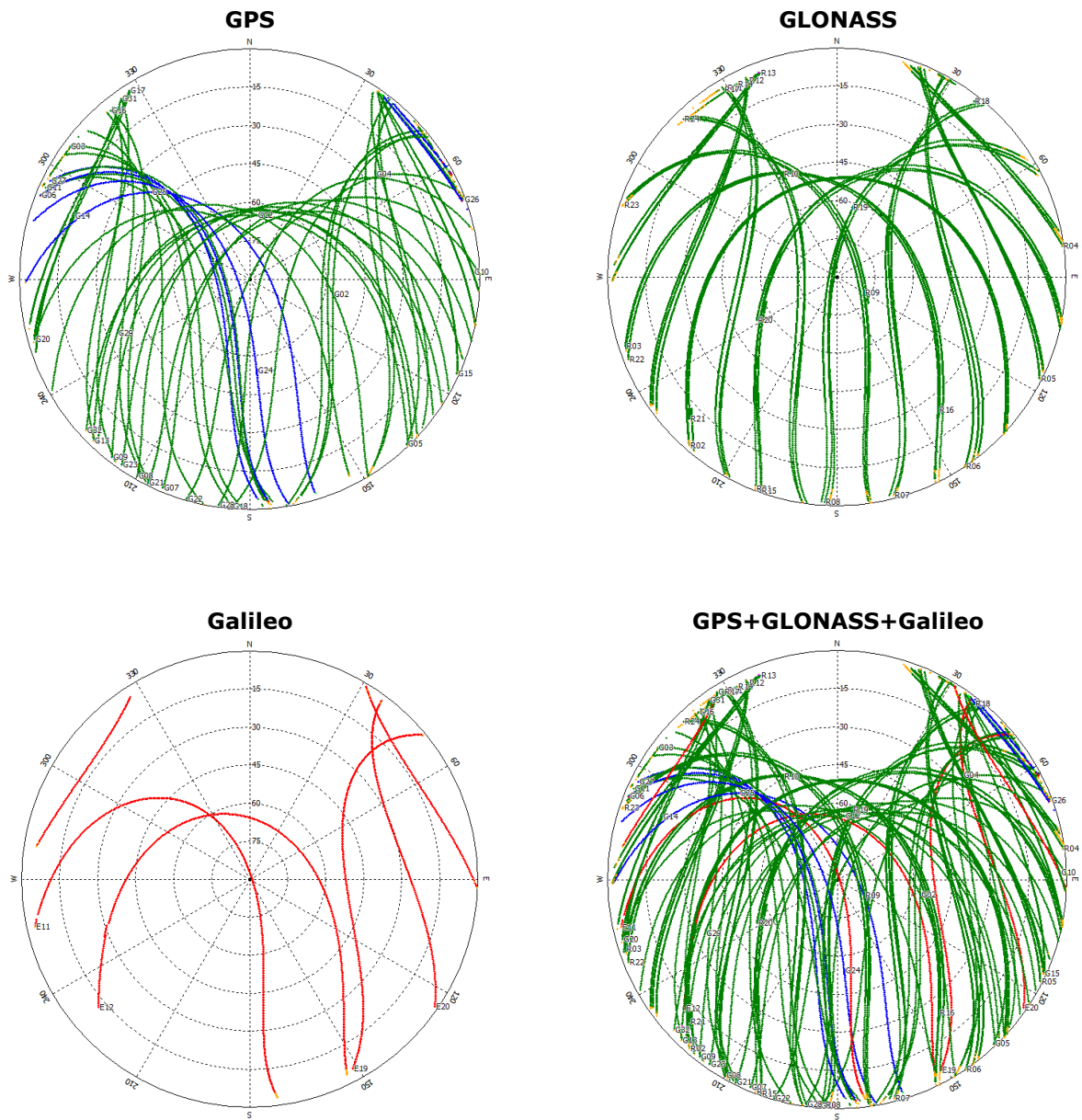
Στην υποενότητα αυτή, λαμβάνει χώρα η ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων με την τεχνική επεξεργασίας PPP-static και τη χρήση πολλαπλών συστημάτων για διαφορετικά διαστήματα παρατηρήσεων. Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η διερεύνηση στον μόνιμο σταθμό NICO του δικτύου της υπηρεσίας IGS, ο οποίος βρίσκεται στη Λευκωσία της Κύπρου. Ο συγκεκριμένος σταθμός έχει τη δυνατότητα παρακολούθησης των δορυφορικών συστημάτων GPS, GLONASS και Galileo. Στο Σχ. 5-25, απεικονίζονται οι ορατές τροχιές των δορυφόρων GNSS στις 10/01/2014 από τον εν λόγω σταθμό. Είναι φανερό πως η ορατότητα προς τους δορυφόρους GPS και GLONASS είναι αρκετά υψηλή, ενώ παράλληλα παρατηρούνται και οι 4 λειτουργικοί δορυφόροι Galileo. Επιπλέον, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η συνδυασμένη χρήση των παραπάνω συστημάτων παρέχει σημαντικά βελτιωμένη ορατότητα δορυφόρων, με αποτέλεσμα να μην τίθενται θέματα αξιοπιστίας στον εντοπισμό θέσης.

Ωστόσο, στη συγκεκριμένη περίπτωση αναλύθηκαν μόνο τα δεδομένα μετρήσεων από τα συστήματα GPS και GLONASS, καθώς η επεξεργασία τους έγινε με τη διαδικτυακή υπηρεσία CSRS-PPP, η οποία δεν έχει προς το παρόν τη δυνατότητα επεξεργασίας δεδομένων Galileo. Συγκεκριμένα, έγινε υποβολή των αρχείων παρατηρήσεων στη συγκεκριμένη υπηρεσία, η οποία μετά την επεξεργασία τους απέστειλε στην διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου του χρήστη τα αποτελέσματα των συντεταγμένων του εκάστοτε σταθμού. Στο Σχ. 5-26, παρουσιάζονται τα τυπικά σφάλματα (σε μέτρα) των γεωδαιτικών συντεταγμένων του σταθμού NICO σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, από μετρήσεις (GPS μόνο και GPS/GLONASS) διαφορετικής διάρκειας που έλαβαν χώρα στις 10 και 11 Ιανουαρίου 2014. Σημειώνεται στο σημείο αυτό οι διάρκειες παρατηρήσεων που εμφανίζονται δύο φορές στα παρακάτω διαγράμματα, αναφέρονται στις δύο ημέρες 10/01/2014 και 11/01/2014 αντίστοιχα.

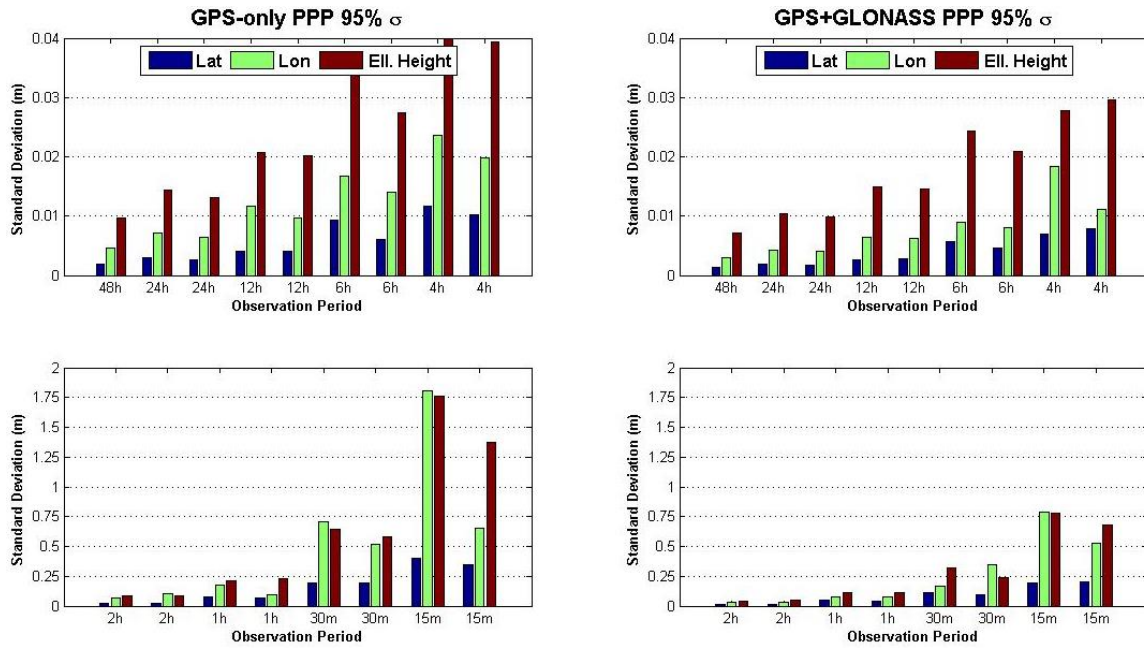
Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, η μείωση του διαστήματος παρατηρήσεων οδηγεί σε αύξηση των τυπικών σφαλμάτων των συντεταγμένων. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι στις διάρκειες παρατηρήσεων 48 και 24 ωρών, η ακρίβεια που επιτυγχάνεται σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% είναι της τάξης των 2-3, 5-7 και 9-14 χιλιοστών κατά το γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος και ελλειψοειδές ύψος αντίστοιχα. Παράλληλα, φαίνεται ότι στις χρονικές διάρκειες 12, 6 και 4 ωρών τα τυπικά σφάλματα δεν ξεπερνούν τα 3 εκατοστά, με εξαίρεση το ελλειψοειδές υψόμετρο. Με την περαιτέρω μείωση, όμως, του διαστήματος παρατήρησης, υπάρχει σταδιακή αύξηση των τυπικών σφαλμάτων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η χρονική διάρκεια 15-λεπτου της ημέρας 10/01/2014, όπου η ακρίβεια που επιτυγχάνεται αγγίζει τα 1.8 μέτρα.

Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι με την προσθήκη των μετρήσεων GLONASS υπάρχει μείωση των παραπάνω τυπικών σφαλμάτων. Συγκεκριμένα, η βελτίωση αυτή είναι ιδιαίτερα αισθητή για χρονικές διάρκειες μετρήσεων μικρότερες των 6 ωρών. Παράδειγμα αυτού αποτελεί η εξεταζόμενη χρονική διάρκεια 30-λεπτου της ημέρας 10/01/2014, όπου με τη χρήση μόνο των μετρήσεων GPS η ακρίβεια που επιτυγχάνεται στο γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος και ελλειψοειδές υψόμετρο είναι 20, 70 και 64 εκατοστά. Με την προσθήκη των μετρήσεων GLONASS, η παρεχόμενη ακρίβεια ισούται με 15, 17 και 32 εκατοστά. Παρ' όλα αυτά, τα τυπικά σφάλματα των συντεταγμένων που παρέχονται από την υπηρεσία CSRS-PPP δεν αποτελούν το πιο αντιπροσωπευτικό μέτρο για την διαπίστωση βελτίωσης της ακρίβειας θέσης με τη χρήση των δεδομένων GLONASS. Για τον λόγο αυτό, πραγματοποιήθηκαν συγκρίσεις των παρεχόμενων συντεταγμένων θέσης του σταθμού NICO με τις επίσημες συντεταγμένες του σταθμού, που παρέχει η υπηρεσία IGS σε εβδομαδιαία βάση (IGS weekly solution), και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχ. 5-27.

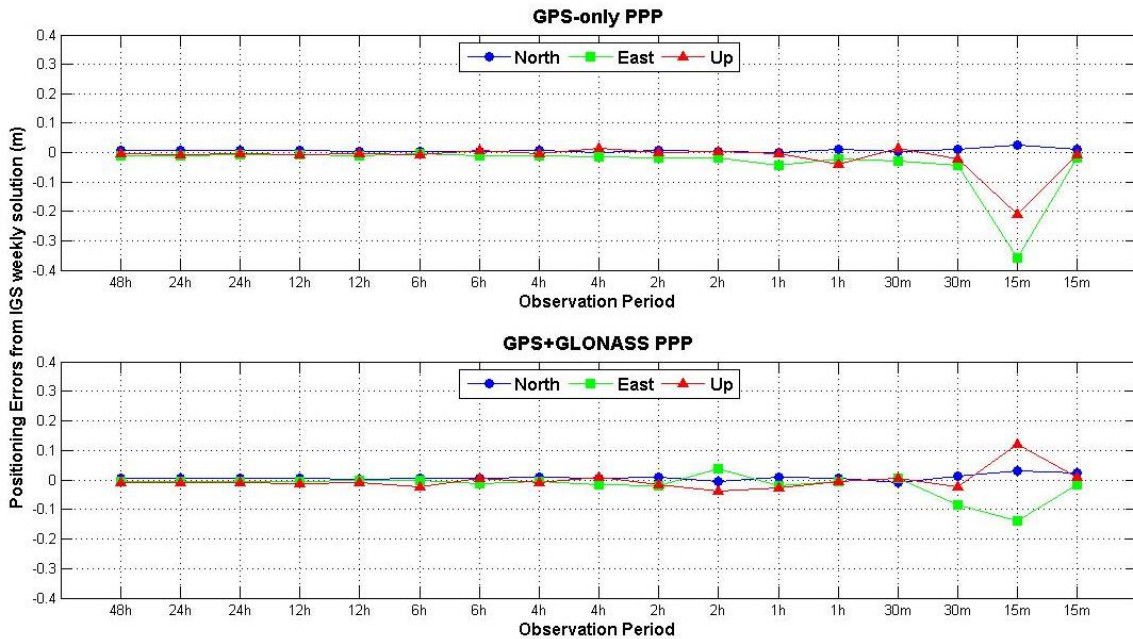




**Σχήμα 5-25:** Ορατές τροχιές των δορυφόρων GPS, GLONASS και Galileo από τον μόνιμο σταθμό NICO στις 10/01/2014, σε στερεογραφική προβολή



**Σχήμα 5-26:** Τυπικά σφάλματα των υπολογισμένων γεωδαιτικών συντεταγμένων του σταθμού NICO, από μετρήσεις διαφορετικής διάρκειας



**Σχήμα 5-27:** Διαφορές (σε m) των υπολογισμένων συντεταγμένων του σταθμού NICO από μετρήσεις διαφορετικής χρονικής διάρκειας σε σχέση με τις επίσημες συντεταγμένες του σταθμού που δίνονται από την υπηρεσία IGS σε εβδομαδιαία βάση (IGS weekly solution), εκφρασμένες κατά τις διευθύνσεις North, East, Up.

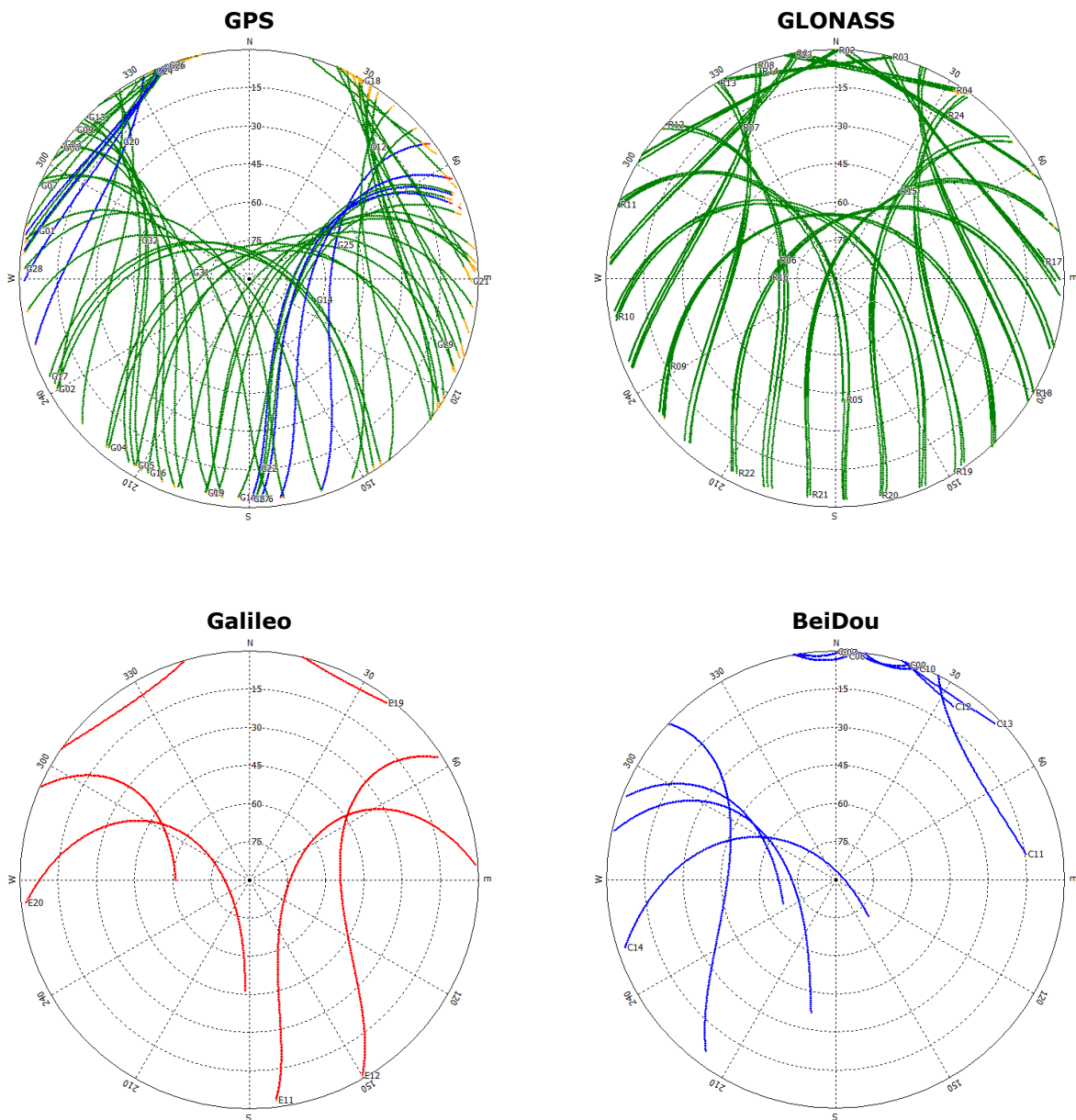
Σύμφωνα με το Σχ. 5-27, παρατηρείται ότι οι PPP λύσεις που προκύπτουν από τη χρήση μόνο δεδομένων GPS παρουσιάζουν υψηλή ακρίβεια θέσης, καθώς ακόμα και σε μικρά χρονικά διαστήματα οι διαφορές θέσης δεν υπερβαίνουν τα 10 εκατοστά. Συγκεκριμένα, γίνεται αντιληπτό ότι σε όλα τα εξεταζόμενα χρονικά διαστήματα, οι διαφορές θέσης κατά North, East και Up δεν υπερβαίνουν τα 5 εκατοστά. Εξαιρέση αποτελεί μόνο η διάρκεια 15 λεπτών της ημέρας 10/01/2014, όπου οι διαφορές θέσης κατά East και Up είναι ίσες με 35 και 21 εκατοστά αντίστοιχα. Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι οι διαφορές θέσης κατά East αυξάνονται με τη μείωση της χρονικής διάρκειας μετρήσεων από τις 4 ώρες στη 1 ώρα. Αυτό πιθανώς οφείλεται στη γεωμετρία των δορυφόρων GPS στα συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, καθώς η διεύθυνση East είναι η λιγότερο ακριβής σε σχέση με τις διευθύνσεις North και Up λόγω της διαμόρφωσης του δορυφορικού σχηματισμού και της ύπαρξης των δεκαδικών αρχικών φάσεων στους δορυφόρους και δέκτες (Ge et al. 2008).

Με την προσθήκη των μετρήσεων GLONASS στην επεξεργασία PPP, παρατηρείται ότι υπάρχει μικρή βελτίωση της ακρίβειας προσδιορισμού θέσης, εφόσον οι αποκλίσεις θέσης που προέκυψαν από τη χρήση μόνο μετρήσεων GPS ήταν ήδη μικρές. Συγκεκριμένα, γίνεται αντιληπτό ότι η βελτίωση αυτή αφορά κυρίως τη διεύθυνση East, όπου η μείωση των αποκλίσεων θέσης ήταν μεταξύ 1 χιλιοστού και 22 εκατοστών. Η τελευταία βελτίωση αναφέρεται στο διάστημα διάρκειας 15 λεπτών της ημέρας 10/01/2014, όπου η διαφορά θέσης ήταν 35 εκατοστά. Καταλήγει, λοιπόν, κανείς στο συμπέρασμα ότι η χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS μπορεί να βελτιώσει τις διαφορές θέσης κατά τη διεύθυνση East, η οποία υστερεί σε ακρίβεια σε σχέση με τις υπόλοιπες. Όσο αφορά τις διαφορές θέσης κατά τις διευθύνσεις North και Up, παρατηρήθηκαν βελτιώσεις μόνο σε ορισμένες περιπτώσεις, με χαρακτηριστικότερη να είναι αυτή του διαστήματος 15 λεπτών της ημέρας 10/01/2014, όπου παρατηρήθηκε ότι η διαφορά θέσης κατά τη διεύθυνση Up μειώθηκε κατά 9 εκατοστά.

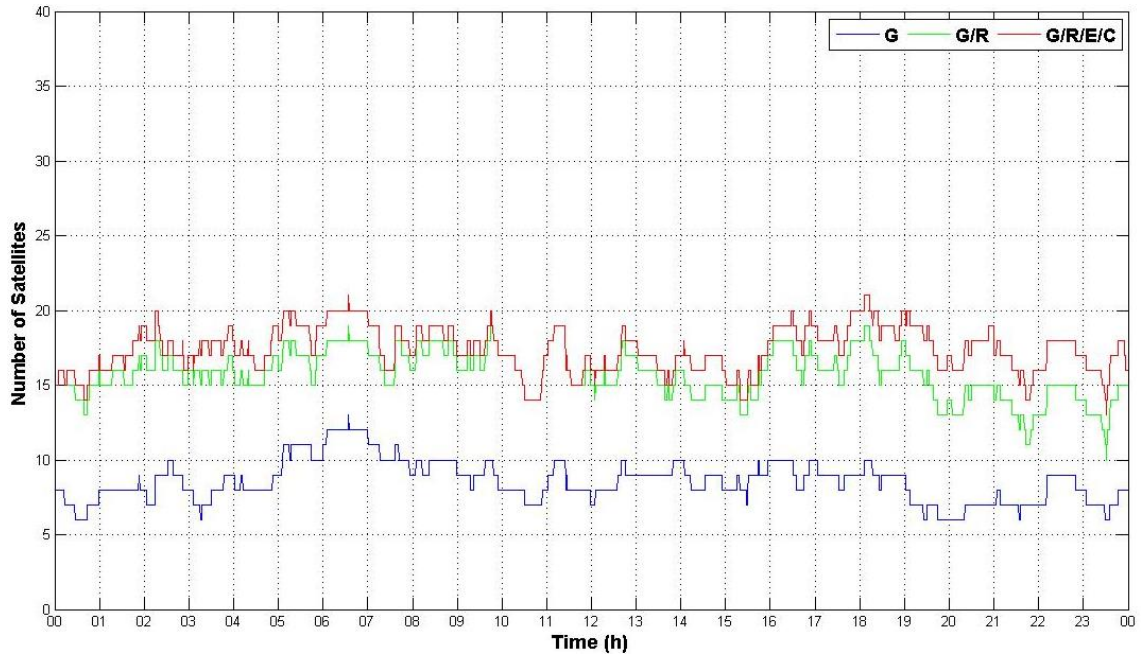
Βάσει των παραπάνω, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η τεχνική PPP είναι σε θέση να παρέχει ικανοποιητική ακρίβεια, είτε με δεδομένα μετρήσεων μόνο GPS είτε με δεδομένα GPS/GLONASS. Παράλληλα, φαίνεται ότι οι PPP λύσεις από μετρήσεις χρονικής διάρκειας 48, 24 και 12 ωρών είναι σε θέση να παρέχουν αρκετά υψηλή ακρίβεια, εφόσον βρέθηκε ότι οι διαφορές των PPP λύσεων με τις επίσημες συντεταγμένες του σταθμού NICO είναι της τάξης των μερικών χιλιοστών. Επιπλέον, παρατηρείται ότι η μείωση του χρονικού διαστήματος παρατηρήσεων οδηγεί σε αύξηση των τυπικών σφαλμάτων των συντεταγμένων, καθώς και σε αύξηση, ορισμένες φορές, των διαφορών θέσης με τις επίσημες συντεταγμένες του εκάστοτε σταθμού. Ωστόσο, με τη χρήση περισσότερων δορυφορικών συστημάτων, η μέθοδος PPP μπορεί να παρέχει καλύτερα αποτελέσματα, και μερικές φορές συγκρίσιμα με αυτά που προκύπτουν από μεθόδους σχετικού εντοπισμού. Για τον λόγο αυτό, ακολούθησε η ίδια διερεύνηση σε σταθμούς του δικτύου MGEX, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα παρακολούθησης των δορυφόρων Galileo και BeiDou.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η διερεύνηση στον σταθμό UNB3, ο οποίος βρίσκεται στο Πανεπιστήμιο New Brunswick και έχει τη δυνατότητα παρακολούθησης των τεσσάρων εξεταζόμενων συστημάτων GNSS. Στο Σχ. 5-28, απεικονίζονται οι ορατές τροχιές των δορυφόρων GNSS στις 07/01/2014 από τον εν λόγω σταθμό. Είναι φανερό πως η ορατότητα στους δορυφόρους GPS και GLONASS είναι αρκετά υψηλή, ενώ δεν παρατηρείται κάτι αντίστοιχο με το δορυφορικό σύστημα BeiDou. Όσο αφορά το σύστημα Galileo, παρατηρούνται όλοι οι λειτουργικοί του δορυφόροι (μόνο οι IOV).

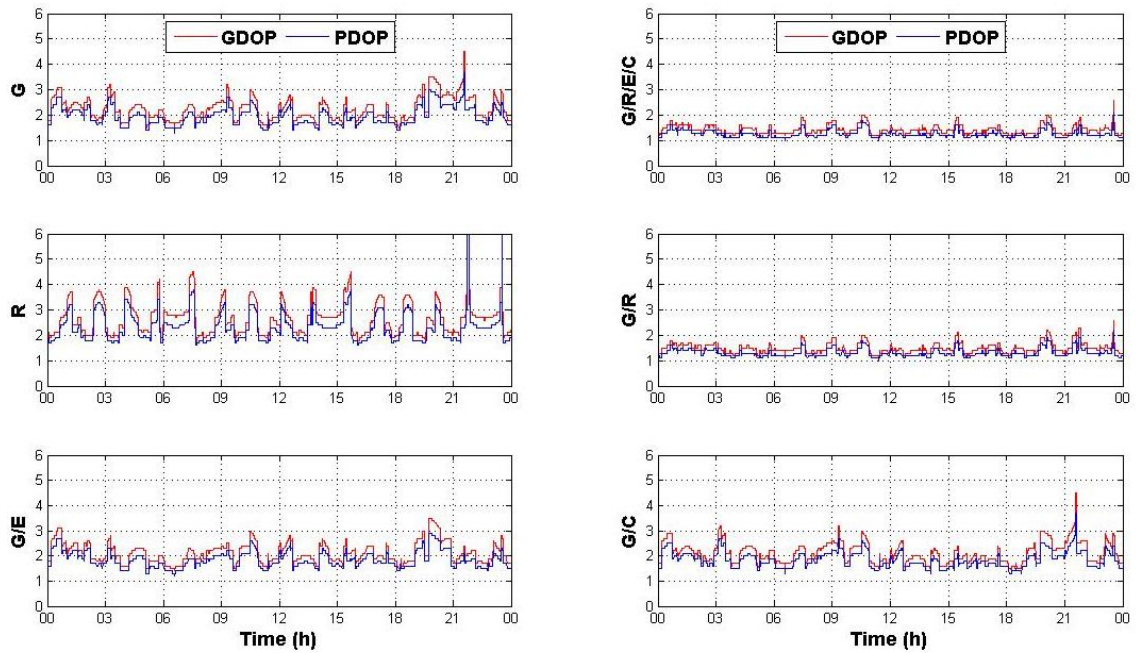
Αν και στο συγκεκριμένο σταθμό παρατηρείται ήδη μεγάλη κάλυψη από τους δορυφόρους GPS και GLONASS, αυτό δεν συνεπάγεται απαραίτητα ότι δεν υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης με τη χρήση των υπολοίπων δορυφορικών συστημάτων. Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται στο Σχ. 5-29, μέσω της συνδυασμένης χρήσης των συστημάτων GPS και GLONASS αυξάνεται κατά περίπου το διπλάσιο ο αριθμός των παρατηρούμενων δορυφόρων σε σχέση μόνο με τους δορυφόρους GPS. Γίνεται, επίσης, αντιληπτό ότι στην συνδυασμένη περίπτωση των τεσσάρων δορυφορικών συστημάτων, υπάρχει μία μικρή μόνο αύξηση στον αριθμό τους σε ορισμένα χρονικά διαστήματα της ημέρας, σε σχέση με το συνδυασμό G/R.



**Σχήμα 5-28:** Ορατές τροχιές των δορυφόρων GNSS (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) από τον μόνιμο σταθμό UNB3 στις 07/01/2014, σε στερεογραφική προβολή



**Σχήμα 5-29:** Αριθμός ορατών δορυφόρων από τον μόνιμο σταθμό UNB3 στις 07/01/2014. Ο αριθμός των δορυφόρων GPS, GPS+GLONASS και GPS+GLONASS+Galileo+BeiDou φαίνονται με μπλε, πράσινο και κόκκινο χρώμα αντίστοιχα.



**Σχήμα 5-30:** Δείκτες PDOP και GDOP για τους δορυφορικούς σχηματισμούς στον σταθμό UNB3 στις 07/01/2014



Εν ολίγοις, είναι φανερό ότι η χρήση περισσότερων του ενός δορυφορικών συστημάτων επιφέρει ικανοποιητική αύξηση στον συνολικό αριθμό των ορατών δορυφόρων, και συνεπώς στην διαθεσιμότητα τους σε δύσκολα περιβάλλοντα. Εκτός, όμως, από την αύξηση στον αριθμό των δορυφόρων, υπάρχει και βελτίωση στην τιμή των δεικτών DOP. Σύμφωνα με το Σχ. 5-30, παρατηρείται ότι ενώ οι τιμές PDOP και GDOP στην περίπτωση χρήσης μόνο του GPS βρίσκονται ήδη σε χαμηλό επίπεδο (μεταξύ 1.5 και 4.5), τόσο η προσθήκη των δορυφόρων GLONASS όσο και των Galileo και BeiDou ξεχωριστά συμβάλλουν στην μείωση των εν λόγω δεικτών. Συγκεκριμένα, η προσθήκη των δορυφόρων GLONASS οδηγεί σε εύρος τιμών GDOP 1.1 – 2.6, ενώ η προσθήκη ξεχωριστά των δορυφόρων Galileo και BeiDou οδηγεί σε εύρη 1.4 – 3.5 και 1.4 – 4.5 αντίστοιχα. Στον συνδυασμό των τεσσάρων δορυφορικών συστημάτων παρατηρούνται σχεδόν ίδιες τιμές DOP με το συνδυασμό G/R.

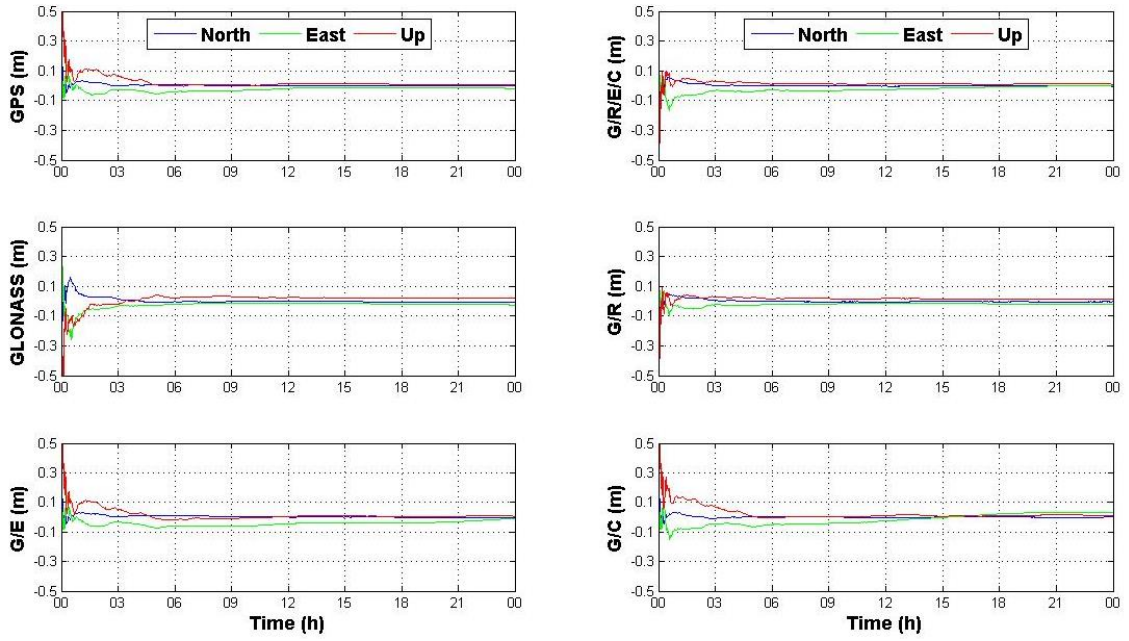
Με το πέρας της διερεύνησης του αριθμού των δορυφόρων και των τιμών DOP, ακολούθησε η επεξεργασία των παραπάνω δεδομένων με τον τύπο εντοπισμού PPP-static τόσο με την αυτόνομη χρήση των συστημάτων όσο και στην συνδυαστική χρήση, ώστε να διαπιστωθεί εάν και κατά πόσο υπάρχει βελτίωση της ακρίβειας στον εντοπισμό θέσης. Στο Σχ. 5-31, απεικονίζονται οι στατικές PPP λύσεις που προέκυψαν από την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/E, G/C, G/R/E/C) στον σταθμό UNB3 στις 07/01/2014.

Σε γενικές γραμμές παρατηρείται ότι οι στατικές PPP λύσεις από τη συνδυασμένη χρήση συστημάτων (G/R και G/R/E/C) παρουσιάζουν σημαντικά καλύτερη συμπεριφορά από τη χρήση μόνο του GPS, τόσο στην ταχύτητα σύγκλισης της λύσης όσο και στο τελικό επίπεδο ακρίβειας που αυτή αποκτά. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με το Σχ. 5-32, φαίνεται ότι η λύση που προκύπτει από το GPS απαιτεί χρονικό διάστημα τουλάχιστον 5, 5 και 20 λεπτών προκειμένου να συγκλίνει στο επίπεδο των 10 εκατοστών στις διευθύνσεις North, East και Up αντίστοιχα, ενώ για ακρίβεια καλύτερη των 5 εκατοστών απαιτείται τουλάχιστον 1 ώρα και στις τρεις διευθύνσεις.

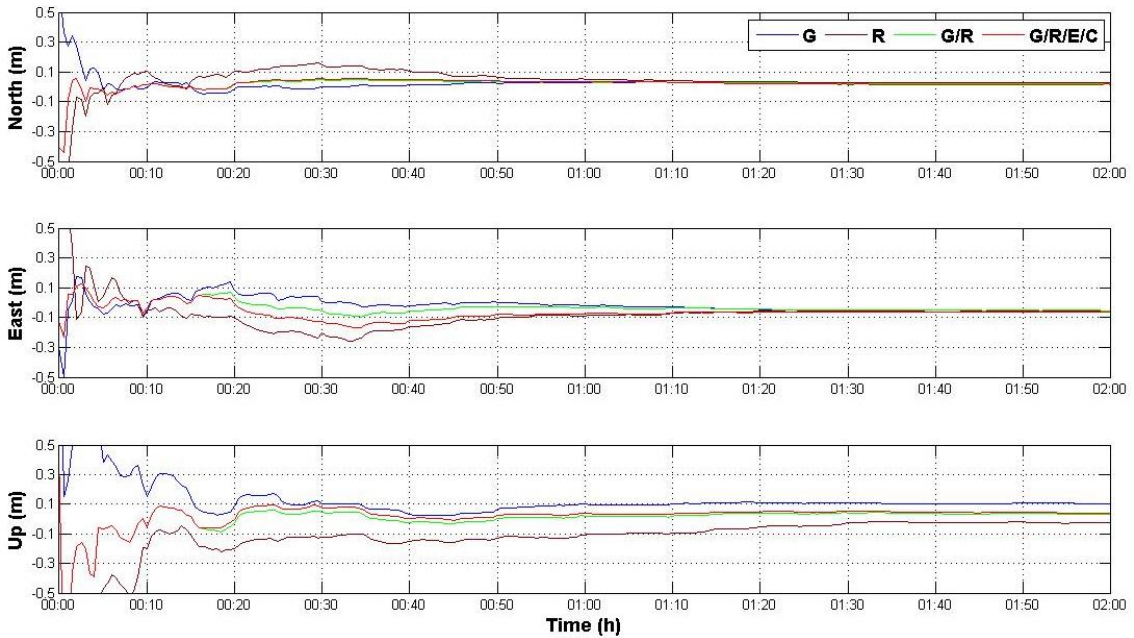
Αντίθετα, οι PPP λύσεις από τους συνδυασμούς G/R και G/R/E/C απαιτούν χρονικό διάστημα 2, 2 και 5 λεπτών προκειμένου να συγκλίνουν στο επίπεδο κάτω των 10 εκατοστών. Το γεγονός αυτό είναι λογικό, καθώς με την παρακολούθηση περισσότερων δορυφόρων το μαθηματικό μοντέλο της τεχνικής PPP γίνεται πιο ισχυρό. Ωστόσο, δεν παρατηρείται ουσιαστική διαφορά μεταξύ των PPP λύσεων που προκύπτουν από τα συστήματα G/R και G/R/E/C κατά το στάδιο σύγκλισης, πιθανώς λόγω του μικρού αριθμού δορυφόρων Galileo και BeiDou που παρατηρούνται από τον εν λόγω σταθμό. Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι οι PPP λύσεις που προκύπτουν από το σύστημα G/R/E/C απαιτούν περισσότερο διάστημα για να επιτευχθεί σύγκλιση κατά τη διεύθυνση East, σε σύγκριση με τις αντίστοιχες PPP λύσεις από το σύστημα G/R. Αυτό πιθανώς οφείλεται στην κακή γεωμετρία που δημιουργείται στο συγκεκριμένο σταθμό από το συνδυασμό των διαθέσιμων συστημάτων GNSS, ενώ παράλληλα είναι γνωστό ότι η διεύθυνση East είναι η λιγότερο ακριβής διεύθυνση στην τεχνική επεξεργασίας PPP λόγω της διαμόρφωσης που έχουν τα δορυφορικά συστήματα.

Όσο αφορά την αυτόνομη χρήση του συστήματος GLONASS, παρατηρείται ότι η προκύπτουσα λύση του μειονεκτεί σε ποιότητα σε όλες τις διευθύνσεις σε σύγκριση με τις παραπάνω λύσεις, καθώς η σύγκλιση στο επίπεδο των 10 εκατοστών επιτυγχάνεται σε 40, 50 και 60 λεπτά αντίστοιχα. Προκύπτει, λοιπόν, το συμπέρασμα ότι το σύστημα GLONASS δεν είναι σε θέση να παρέχει μόνο του ικανοποιητική ποιότητα λύσης. Επιπλέον, το σύστημα Galileo δεν φαίνεται να συμβάλλει ουσιαστικά στην βελτίωση της λύσης σε σχέση με αυτήν που προκύπτει από τη χρήση μόνο του GPS, λόγω του γεγονότος ότι ο αριθμός των δορυφόρων Galileo που βρίσκονται σε τροχιά και παράλληλα παρακολουθούνται από τον εν λόγω σταθμό είναι σχετικά μικρός. Επιπλέον, στην περίπτωση του συνδυασμού G/C, δεν φαίνεται να υπάρχει ουσιαστική βελτίωση όσο αφορά τον χρόνο σύγκλισης της λύσης.

Εν συνεχεία, εξετάστηκαν διάφορα διαστήματα παρατήρησης, εκτός του 24ώρου, ώστε να διαπιστωθεί εάν και κατά πόσο συμβάλλει ο συνδυασμός συστημάτων GNSS στην παρεχόμενη ακρίβεια της μεθόδου PPP σε μικρές χρονικές διάρκειες. Στον Πίν. 5-1, παρατίθενται οι τιμές RMSD των στατικών PPP λύσεων για διαφορετικά διαστήματα παρατήρησης.



**Σχήμα 5-31:** Στατικές PPP λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/E, G/C, G/R/E/C) στον σταθμό UNB3 στις 07/01/2014



**Σχήμα 5-32:** Πρώτο δίωρο των στατικών PPP λύσεων από την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) στον σταθμό UNB3 στις 07/01/2014

Direction	System	Observation Period							
		24h	12h	6h	4h	2h	1h	0.5h	0.25h
North	G	1,92	2,70	6,90	6,52	22,33	16,28	17,02	31,08
	R	5,12	7,21	13,15	12,34	7,96	32,01	45,17	37,08
	G/R	1,50	2,09	7,64	7,55	14,96	18,56	18,71	12,62
	G/E	1,96	2,77	6,90	6,57	11,05	16,28	17,02	31,08
	G/C	1,88	2,65	6,03	5,52	19,87	13,01	54,15	76,16
	G/R/E/C	1,48	2,09	6,39	6,53	6,58	15,19	23,47	77,94
East	G	3,11	4,10	3,84	8,88	6,55	7,57	19,50	39,16
	R	5,60	7,65	12,50	8,16	24,49	29,83	123,66	146,24
	G/R	2,43	2,98	2,88	7,94	5,72	5,20	9,24	61,98
	G/E	4,73	5,75	3,85	8,71	41,06	7,57	19,50	39,16
	G/C	4,36	5,68	7,87	41,07	27,29	18,83	46,38	111,26
	G/R/E/C	3,37	4,59	6,50	20,06	42,91	15,62	49,25	69,46
Up	G	7,21	10,14	15,55	6,20	39,43	37,59	40,90	26,53
	R	15,86	22,26	14,39	42,82	73,73	34,80	54,30	101,94
	G/R	3,80	5,17	12,07	12,08	25,67	29,43	37,05	39,47
	G/E	7,11	10,02	15,55	6,66	39,75	37,59	40,90	26,53
	G/C	7,74	10,87	11,23	33,92	48,89	23,83	92,38	97,30
	G/R/E/C	3,79	5,21	9,54	37,38	44,32	22,59	79,33	61,45

**Πίνακας 5-1:** Τιμές RMSD (σε cm) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διαφορετικά χρονικά διαστήματα, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων, στις 07/01/2014

Σύμφωνα με τον Πίν. 5-1, είναι φανερό ότι η μείωση του διαστήματος παρατήρησης συνεπάγεται και μείωση στην παρεχόμενη ακρίβεια των στατικών PPP λύσεων. Παρ' όλα αυτά, ο συνδυασμός των συστημάτων GNSS επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα σε αρκετές περιπτώσεις σε σύγκριση με τη χρήση μόνο του GPS.

Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι κατά τη διεύθυνση North ο συνδυασμός G/R/E/C παρέχει τη μεγαλύτερη ακρίβεια θέσης, με εξαίρεση τα χρονικά διαστήματα 30 και 15 λεπτών. Στα συγκεκριμένα διαστήματα είναι φανερό πως οι συνδυασμοί G/R και G/E παρέχουν καλύτερη ακρίβεια από το συνδυασμό G/R/E/C, ενώ δεν ισχύει το ίδιο με το σύστημα G/C. Φαίνεται, δηλαδή, ότι ακόμα και οι μετρήσεις των 4 δορυφόρων Galileo είναι σε θέση να συμβάλλουν στην ακρίβεια των παρεχόμενων στατικών PPP λύσεων. Παράλληλα, αξίζει να σημειωθεί ότι οι τιμές RMSD των λύσεων από το σύστημα G/R δεν διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό από τις αντίστοιχες του G/R/E/C.

Αντίθετα, κατά τη διεύθυνση East δεν παρατηρείται κάτι αντίστοιχο. Συγκεκριμένα, η χρήση του συστήματος G/R παρουσιάζει καλύτερη ακρίβεια σε σχέση με τους υπόλοιπους συνδυασμούς συστημάτων, ενώ παράλληλα οι τιμές RMSD των PPP λύσεων δεν υπερβαίνουν τα 10 εκατοστά με εξαίρεση το διάστημα των 15 λεπτών. Στο συγκεκριμένο διάστημα, η μικρότερη τιμή RMSD παρέχεται από τα συστήματα G και G/E. Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι η χρήση μόνο των μετρήσεων GLONASS στις χρονικές διάρκειες 30 και 15 λεπτών οδηγεί σε τιμές RMSD 1.2 και 1.5 μέτρα.

Εν συνεχεία, κατά τη διεύθυνση Up ο συνδυασμός G/R/E/C είναι αυτός παρέχει την μεγαλύτερη ακρίβεια σε σύγκριση με τους υπόλοιπους συνδυασμούς στα μεγάλα χρονικά διαστήματα (24h, 12h, 6h), ενώ σε πιο μικρά διαστήματα (30 και 15 λεπτών) δεν συμβαίνει το ίδιο. Το γεγονός αυτό οφείλεται προφανώς στη γεωμετρία των δορυφόρων τα συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, όπου όπως φαίνεται η γεωμετρία του σχηματισμού G/R/E/C υστερούσε στα μικρά χρονικά διαστήματα. Στα παραπάνω διαστήματα, οι μικρότερες τιμές RMSD παρουσιάστηκαν στα συστήματα G/R και G αντίστοιχα, ίσες με 37 και 27 εκατοστά αντίστοιχα. Φαίνεται, ωστόσο, ότι το σύστημα G/E παρέχει ίδια ακρίβεια με αυτή του συστήματος G στη διάρκεια των 15 λεπτών, το οποίο δείχνει ότι οι μετρήσεις Galileo δεν συνέβαλλαν σε κανέναν βαθμό στη βελτίωση της ακρίβειας θέσης. Στο σημείο αυτό, σημειώνεται ότι επειδή οι τιμές RMSD που υπολογίστηκαν για τις ίδιες λύσεις δεν παρουσίασαν ουσιαστικές διαφορές με τις τιμές RMSD, αυτές δεν παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία.

Προκειμένου, όμως, να υπάρξει μία γενικότερη εικόνα της συμβολής των διαθέσιμων συστημάτων GNSS στη βελτίωση της προκύπτουσας λύσης, έλαβε χώρα η ίδια επεξεργασία σε διάστημα 9 ημερών. Στους επόμενους πίνακες, παρουσιάζονται οι τιμές RMSD των στατικών PPP λύσεων για διάστημα παρατήρησης 24 ωρών, 1 ώρα και 15 λεπτών, την περίοδο 06 - 14/01/2014.

Βάσει του Πίν. 5-2, είναι φανερό ότι η συνδυασμένη χρήση συστημάτων, είτε G/R είτε G/R/E/C, δεν παρουσιάζει ουσιαστική βελτίωση στην ακρίβεια εντοπισμού θέσης σε σύγκριση με την αυτόνομη χρήση του GPS σε διάστημα 24 ωρών, με εξαίρεση ορισμένες μόνο ημέρες (006, 007, 011). Συγκεκριμένα, κατά τη διεύθυνση North παρατηρείται ότι ο συνδυασμός των GPS και GLONASS υπερτερεί σε ακρίβεια από τις λύσεις που προέρχονται από το GPS μόνο σε ορισμένες ημέρες. Παράλληλα, στην ίδια διεύθυνση δεν παρατηρείται περαιτέρω βελτίωση στο συνδυασμό των τεσσάρων συστημάτων GNSS, λόγω του γεγονότος ότι δεν υπάρχει σημαντική αύξηση των δορυφόρων σε σύγκριση με το συνδυασμό G/R. Στη συγκεκριμένη διεύθυνση, λοιπόν, ο συνδυασμός συστημάτων δεν παρέχει βελτιωμένη ακρίβεια σε σχέση με τη χρήση μόνο του GPS, καθώς η διεύθυνση North αποτελεί την διεύθυνση που υπολογίζεται με την μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με τις υπόλοιπες διευθύνσεις στην τεχνική PPP (Li et al. 2015).

Επιπλέον, παρατηρείται ότι αν και η χρήση μόνο του συστήματος GLONASS οδηγεί σε αρκετά μειωμένη ακρίβεια θέσης, οι προκύπτουσες λύσεις του βρίσκονται κάτω από το επίπεδο των 10 εκατοστών στην πλειονότητα των περιπτώσεων. Αξίζει, ωστόσο, να σημειωθεί ότι η ακρίβεια που επιτυγχάνεται από το συνδυασμό G/C υπερτερεί στις περισσότερες περιπτώσεις από την αντίστοιχη του συνδυασμού G/R, ενώ κάτι αντίστοιχο συμβαίνει με τον συνδυασμό G/E.

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	3,17	1,92	4,85	1,60	1,21	2,58	1,81	2,18	1,88
	R	6,35	5,12	7,76	7,64	11,13	5,08	11,26	8,57	7,39
	G/R	2,42	1,50	5,56	4,30	5,37	1,41	4,34	4,23	3,66
	G/E	3,22	1,96	15,31	1,61	1,21	11,35	5,56	2,16	1,88
	G/C	3,19	1,88	4,85	1,84	1,53	2,59	1,89	2,26	3,20
	G/R/E/C	2,42	1,48	12,05	4,40	5,55	8,06	3,09	4,23	4,90
East	G	3,25	3,11	3,22	3,85	3,10	3,54	5,41	1,80	2,81
	R	5,22	5,60	4,95	5,30	2,63	2,00	9,48	3,13	1,99
	G/R	2,95	2,43	2,07	2,50	1,80	2,29	3,59	1,86	1,73
	G/E	2,80	4,73	9,37	3,39	3,86	4,65	13,45	2,55	3,31
	G/C	3,51	4,36	5,89	5,49	5,22	4,93	5,48	3,21	3,13
	G/R/E/C	2,90	3,37	6,11	2,76	2,99	3,34	9,93	2,37	2,14
Up	G	7,89	7,21	1,61	3,75	2,94	8,49	12,65	3,67	2,71
	R	4,14	15,86	8,32	10,46	5,64	18,62	6,38	13,79	3,59
	G/R	5,29	3,80	4,48	3,63	2,91	6,40	14,86	8,56	2,80
	G/E	7,98	7,11	2,81	4,03	2,88	12,79	19,36	3,63	2,73
	G/C	8,09	7,74	2,23	4,14	3,81	8,89	12,65	3,69	10,62
	G/R/E/C	5,47	3,79	3,23	3,73	3,09	4,03	20,80	8,57	5,80

**Πίνακας 5-2:** Τιμές RMSD (σε cm) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	7,37	16,28	11,45	15,42	12,39	11,13	14,88	15,13	13,44
	R	17,71	32,01	68,47	107,21	7,15	25,73	30,91	76,85	25,02
	G/R	6,21	18,56	16,52	39,73	9,42	13,16	17,09	33,64	13,75
	G/E	7,47	16,28	31,57	35,14	12,39	15,53	18,07	15,13	13,44
	G/C	43,49	13,01	11,45	30,76	22,98	54,74	74,09	50,81	24,63
	G/R/E/C	30,32	15,19	8,88	18,58	16,52	32,17	43,95	58,05	9,18
East	G	13,01	7,57	20,33	7,51	12,57	9,95	8,03	10,46	15,07
	R	10,44	29,83	15,36	18,23	9,33	47,00	15,84	10,53	17,47
	G/R	7,23	5,20	14,03	7,83	4,21	8,74	5,11	8,99	15,00
	G/E	12,97	7,57	59,59	12,30	12,57	44,24	10,24	10,46	15,07
	G/C	50,58	18,83	20,33	16,95	67,72	55,19	29,51	35,59	45,03
	G/R/E/C	32,90	15,62	43,39	13,35	45,09	40,27	9,63	27,77	35,09
Up	G	16,04	37,59	43,01	37,36	30,56	43,48	40,16	43,67	40,79
	R	121,31	34,80	15,02	21,73	105,62	42,21	20,85	59,41	66,28
	G/R	27,10	29,43	20,36	38,93	10,24	32,61	23,24	50,89	20,71
	G/E	15,98	37,59	82,11	23,25	30,56	50,28	56,39	43,67	40,79
	G/C	42,42	23,83	43,01	16,49	58,74	35,00	58,60	56,39	28,58
	G/R/E/C	44,64	22,59	49,66	8,15	18,07	17,91	28,17	61,18	25,48

**Πίνακας 5-3:** Τιμές RMSD (σε cm) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 1 ώρας, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 - 14/01/2014)

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	156,32	31,08	30,76	29,50	29,04	25,08	34,62	11,45	20,51
	R	434,73	37,08	85,80	18,08	77,59	41,52	49,45	29,73	103,28
	G/R	226,09	12,62	48,22	21,00	44,26	19,11	39,50	12,80	35,53
	G/E	183,61	31,08	34,63	118,98	26,24	25,08	21,34	15,57	20,51
	G/C	169,84	76,16	78,81	29,50	29,04	81,73	82,88	34,24	38,16
	G/R/E/C	241,73	77,94	31,18	89,56	42,71	61,41	25,30	24,54	16,35
East	G	120,07	39,16	34,53	25,81	50,02	31,07	41,34	31,46	45,61
	R	238,29	146,24	20,99	48,54	17,75	92,32	11,31	17,36	37,98
	G/R	59,82	61,98	26,30	15,05	36,24	42,46	31,59	25,24	43,90
	G/E	90,03	39,16	34,59	34,78	24,21	31,07	15,65	52,23	45,61
	G/C	53,10	111,26	107,58	25,81	50,02	89,69	59,86	72,53	88,63
	G/R/E/C	139,73	69,46	98,87	37,70	16,59	88,64	27,97	82,77	63,41
Up	G	187,34	26,53	60,42	25,58	31,89	35,17	53,94	24,20	80,80
	R	269,73	101,94	25,14	79,49	15,63	55,96	56,27	85,50	71,46
	G/R	159,44	39,47	48,61	29,08	21,05	30,28	29,12	20,19	27,32
	G/E	100,43	26,53	66,51	100,64	55,07	35,19	61,49	34,64	80,76
	G/C	160,64	97,30	162,85	25,58	31,89	58,80	166,16	53,72	150,28
	G/R/E/C	132,27	61,45	133,21	65,21	41,19	39,12	92,35	17,99	97,47

**Πίνακας 5-4:** Τιμές RMSD (σε cm) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 15 λεπτών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

Αντίθετα, είναι ξεκάθαρο ότι κατά τη διεύθυνση East ο συνδυασμός G/R επιφέρει μεγαλύτερη ακρίβεια θέσης σε σύγκριση με τη χρήση μόνο του GPS, ενώ παράλληλα ο συνδυασμός των τεσσάρων GNSS δεν προσφέρει βελτίωση της ακρίβειας για τον ίδιο λόγο όπως προηγουμένως. Επίσης, σε αντίθεση με την προηγούμενη διεύθυνση, εδώ οι συνδυασμοί G/E και G/C δεν προσφέρουν καλύτερη ακρίβεια από το συνδυασμό G/R. Παρατηρείται, λοιπόν, ότι ενώ το σύστημα G/R δεν παρέχει βελτιωμένη ακρίβεια κατά τη διεύθυνση North, αυτό αντιστρέφεται στη διεύθυνση East, η οποία έχει αρκετά περιθώρια βελτίωσης.

Όσο αφορά τη διεύθυνση Up, παρατηρείται ότι άλλοτε ο συνδυασμός G/R προσφέρει την βέλτιστη ακρίβεια, και άλλοτε ο συνδυασμός G/R/E/C. Παράλληλα, όμως, φαίνεται ότι τόσο το σύστημα G όσο και το R είναι σε θέση να παρέχουν ικανοποιητικά αποτελέσματα σε ορισμένες περιπτώσεις. Φαίνεται, λοιπόν, ότι σε διάστημα 24 ωρών δεν μπορεί να προκύψει συμπέρασμα σχετικά με την παρεχόμενη βέλτιστη ακρίβεια κατά τη διεύθυνση Up.

Έτσι, υπολογίσθηκαν οι τιμές RMSD για το ίδιο διάστημα ημερών και για χρονικές διάρκειες μίας ώρας και 15 λεπτών, ενώ αποτελέσματα για τις υπόλοιπες διάρκειες βρίσκονται στο Παράρτημα. Συγκεκριμένα, είναι φανερό ότι στο χρονικό διάστημα 1 ώρας ο συνδυασμός G/R/E/C δεν παρέχει την βέλτιστη ακρίβεια σε σύγκριση με τη χρήση μόνο του GPS, με εξαίρεση τη διεύθυνση Up όπου υπερτερεί η ακρίβεια των λύσεων του G/R/E/C στις περισσότερες περιπτώσεις.

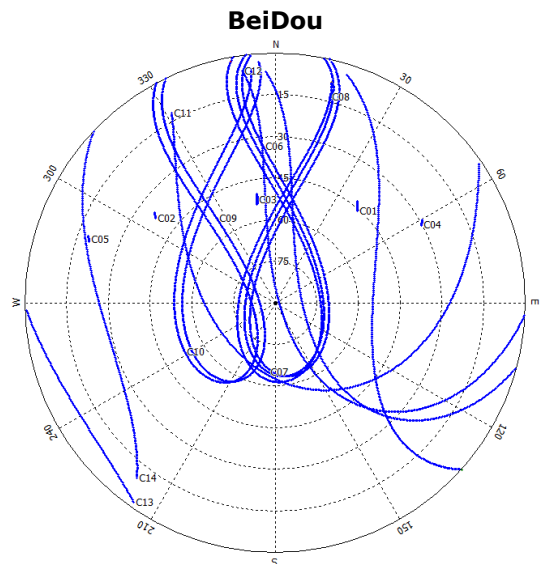
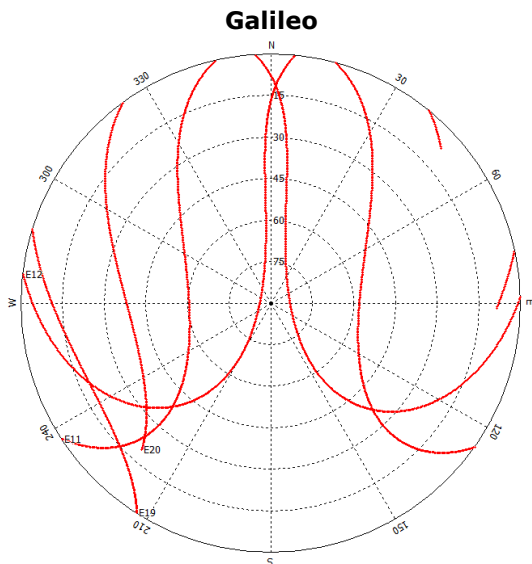
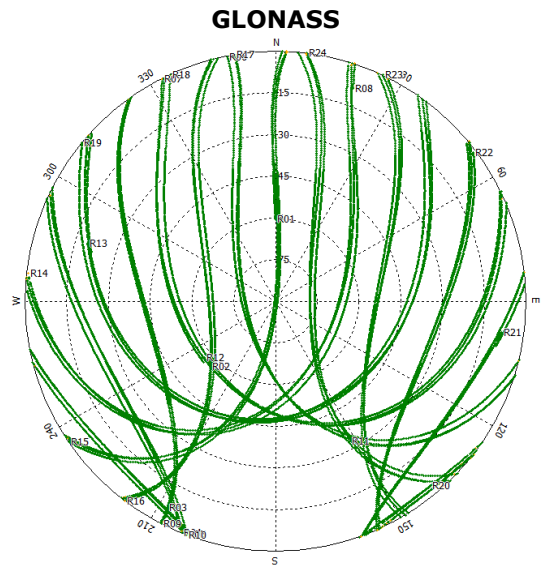
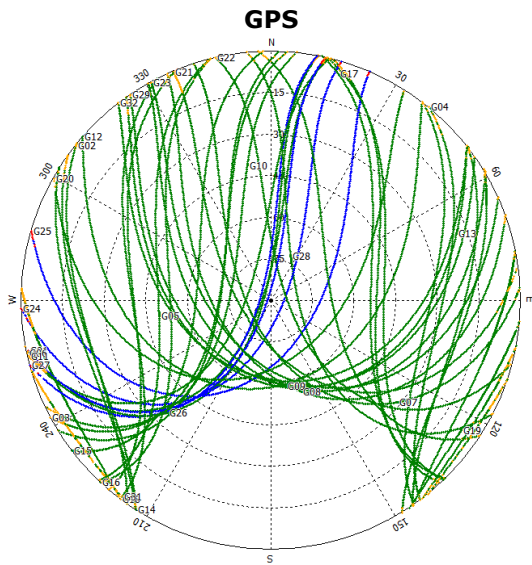
Συγκεκριμένα, μετά από σύντομη ανάγνωση του πίνακα, παρατηρείται ότι στη διεύθυνση North δεν υπάρχει ουσιαστική βελτίωση από τους συνδυασμούς των διαθέσιμων συστημάτων. Αντίθετα, φαίνεται ότι ο συνδυασμός G/R παρέχει την βέλτιστη ακρίβεια κατά τη διεύθυνση East, όπου όπως φαίνεται η γεωμετρία των δορυφόρων είναι ο καθοριστικός παράγοντας για την βελτίωση στη συγκεκριμένη διεύθυνση. Όσο αφορά τη διεύθυνση Up, παρατηρείται ότι ο συνδυασμός των μετρήσεων από τα 4 συστήματα GNSS παρέχει αρκετά μειωμένες τιμές RMSD σε σχέση με τα υπόλοιπα συστήματα σε μεγάλο μέρος του εξεταζόμενου διαστήματος ημερών. Παράλληλα, μπορεί κανείς να διακρίνει ότι ο συνδυασμός G/E παρουσιάζει ελαφρώς καλύτερη ακρίβεια σε αρκετές περιπτώσεις απ' ότι ο συνδυασμός G/R.

Ακολουθώντας, σύμφωνα με τον Πίν. 5-4 είναι φανερό ότι στο διάστημα ενός τετάρτου της ώρας δεν μπορεί να επιτευχθεί υψηλή ακρίβεια, συγκεκριμένα στο επίπεδο των 10 εκατοστών. Αυτό βασίζεται στο γεγονός ότι η τεχνική PPP απαιτεί ένα ικανό χρονικό διάστημα προκειμένου να γίνει αρχικοποίηση και έπειτα σύγκλιση της λύσης. Παρ' όλα αυτά, φαίνεται ότι ο συνδυασμός G/R παρέχει τις βέλτιστες λύσεις στις διευθύνσεις North και Up, ενώ παράλληλα σε ορισμένες περιπτώσεις ικανοποιητικά αποτελέσματα για τόσο μικρό χρονικό διάστημα. Για παράδειγμα, το σύστημα G/R παρουσιάζει τιμή RMSD ίση με περίπου 13 εκατοστά κατά τη διεύθυνση North την ημέρα 007, ενώ τα συστήματα G και G/R/E/C έχουν τιμή RMSD ίση με 31 και 78 εκατοστά. Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και την ημέρα 013, όπου όμως ακόμα και η χρήση μόνο του GPS προσφέρει ακρίβεια ίση με 11.5 εκατοστά.

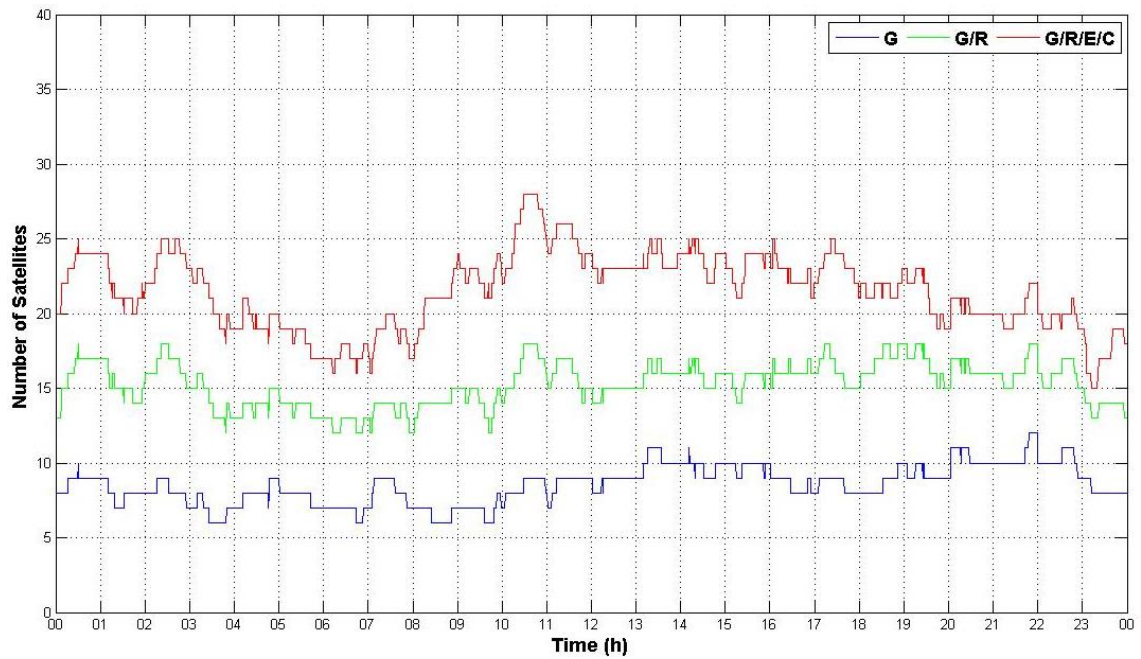
Έπειτα, πραγματοποιήθηκε η ίδια διερεύνηση στον σταθμό CUT0, ο οποίος υποστηρίζει την παρακολούθηση από όλα τα διαθέσιμα συστήματα GNSS. Όπως φαίνεται στο Σχ. 5-33, η ορατότητα στους δορυφόρους των συστημάτων GPS, GLONASS και BeiDou είναι αρκετά υψηλή από τον εν λόγω σταθμό, ενώ παρατηρείται μεγαλύτερο μέρος της τροχιάς των λειτουργικών δορυφόρων Galileo. Επιπλέον, σε αντίθεση με τον σταθμό UNB3, στο συγκεκριμένο σταθμό είναι ορατό μεγαλύτερο μέρος των τροχιών των δορυφόρων BeiDou, κάτι που πιθανώς θα έχει θετικά αποτελέσματα στις στατικές PPP λύσεις.

Επιπλέον, στην προκειμένη περίπτωση ο συνολικός αριθμός των ορατών δορυφόρων αυξάνεται σημαντικά σε σχέση με τη χρήση μόνο του GPS ή ακόμα και το συνδυασμό G/R. Αυτό φαίνεται από το Σχ. 5-34, όπου η συνδυασμένη χρήση των συστημάτων GPS και GLONASS αυξάνει κατά το διπλάσιο τον αριθμό των παρατηρούμενων δορυφόρων σε σχέση μόνο με τους δορυφόρους GPS. Επιπλέον, αυτό που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι υπάρχει περαιτέρω αύξηση των δορυφόρων στην περίπτωση του συστήματος G/R/E/C και σε ορισμένες περιπτώσεις υπάρχει διπλάσιος αριθμός δορυφόρων απ' ότι στο σύστημα G/R. Για παράδειγμα, στο χρονικό διάστημα 08:00 – 11:00 ο αριθμός των δορυφόρων στα συστήματα G, G/R, G/R/E/C κυμαίνεται μεταξύ 7 – 9, 13 – 17 και 16 – 27 αντίστοιχα.

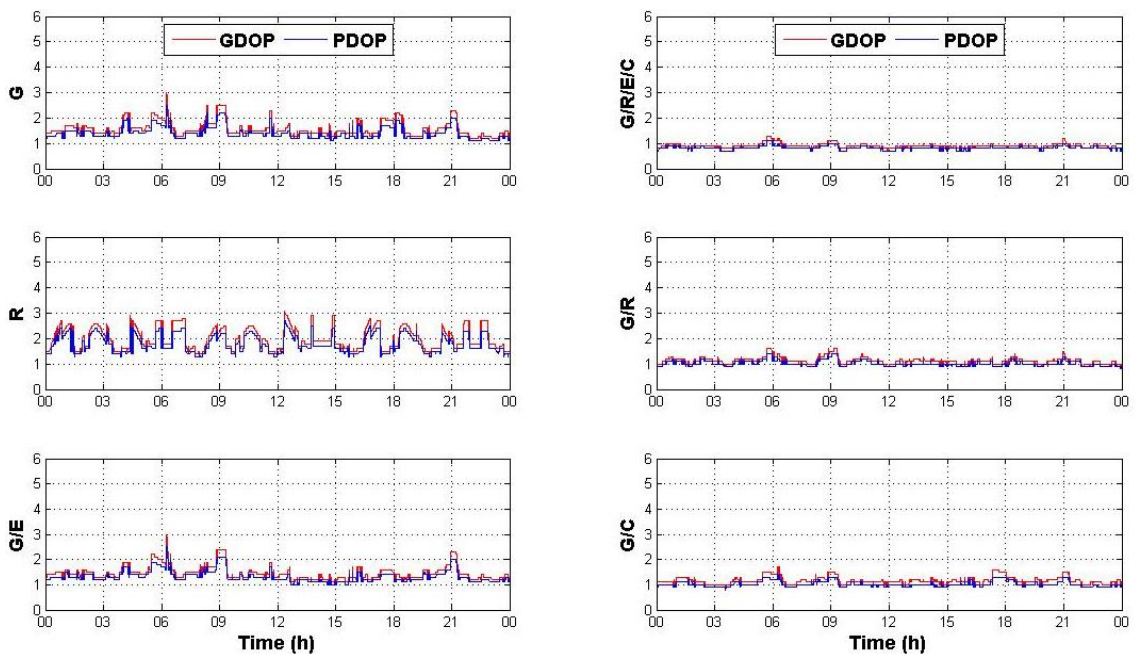




**Σχήμα 5-33:** Ορατές τροχιές των δορυφόρων GNSS (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) από τον μόνιμο σταθμό CUT0 στις 07/01/2014



**Σχήμα 5-34:** Αριθμός ορατών δορυφόρων από τον μόνιμο σταθμό CUT0 στις 07/01/2014. Ο αριθμός των δορυφόρων GPS, GPS+GLONASS και GPS+GLONASS+Galileo+BeiDou φαίνονται με μπλε, πράσινο και κόκκινο χρώμα αντίστοιχα.



**Σχήμα 5-35:** Δείκτες PDOP και GDOP για τους δορυφορικούς σχηματισμούς στον σταθμό CUT0 στις 07/01/2014

Εν ολίγοις, στην συγκεκριμένη περίπτωση η χρήση πολλαπλών δορυφορικών συστημάτων επιφέρει σημαντική αύξηση στον συνολικό αριθμό των ορατών δορυφόρων. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην πλήρη κάλυψη που παρέχει το σύστημα BeiDou στην περιοχή της Ασίας και του Ειρηνικού Ωκεανού, με αποτέλεσμα στο συγκεκριμένο μόνιμο σταθμό να παρακολουθούνται αρκετοί δορυφόροι BeiDou.

Έτσι, ακολούθησε ο υπολογισμός των δεικτών PDOP και GDOP προκειμένου να διερευνηθεί κατά πόσο βελτιώνονται αυτοί με τη χρήση πολλαπλών συστημάτων. Σύμφωνα με το Σχ. 5-35, παρατηρείται ότι οι τιμές PDOP και GDOP στην περίπτωση του GPS και του GLONASS βρίσκονται στο εύρος 1.2 – 3.0 και 1.3 – 3.1 αντίστοιχα. Ο συνδυασμός, ωστόσο, των δύο συστημάτων οδηγεί σε μείωση του εν λόγω εύρους, και συγκεκριμένα στο 0.9 – 1.6. Ίδιο εύρος τιμών DOP επιτυγχάνεται στην περίπτωση του συστήματος G/C, ενώ στην περίπτωση G/E οι τιμές DOP βρίσκονται στο εύρος 1.1 – 3.0. Χρησιμοποιώντας, όμως, όλα τα διαθέσιμα συστήματα GNSS, παρατηρείται σημαντική βελτίωση στους δείκτες, καθώς οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0.7 και 1.3.

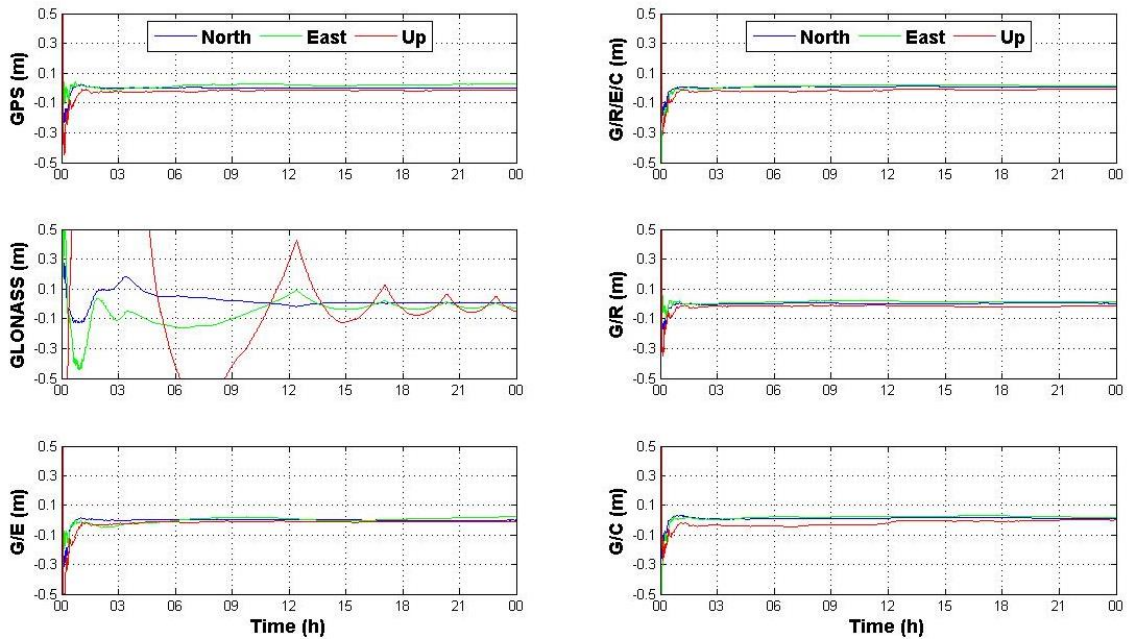
Στη συνέχεια, ακολούθησε η επεξεργασία των παραπάνω δεδομένων με την τεχνική επεξεργασίας PPP-static τόσο με την αυτόνομη χρήση των συστημάτων όσο και με την συνδυαστική χρήση, ώστε να διαπιστωθεί εάν και κατά πόσο υπάρχει βελτίωση της ακρίβειας στον εντοπισμό θέσης. Στο Σχ. 5-36, απεικονίζονται οι στατικές PPP λύσεις που προέκυψαν από την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/E, G/C, G/R/E/C) στον σταθμό CUT0 στις 07/01/2014.

Παρατηρείται, αρχικά, ότι η χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C παρουσιάζει βελτιωμένη ποιότητα στις στατικές PPP λύσεις σε σχέση με τις αντίστοιχες από τη χρήση δεδομένων μόνο GPS. Αντίστοιχη ποιότητα παρέχουν και οι συνδυασμοί G/E και G/C, με τον δεύτερο να υστερεί ελαφρώς κατά τη διεύθυνση Ur. Αντίθετα, οι PPP λύσεις από τη χρήση δεδομένων GLONASS δεν είναι ικανοποιητικές, ειδικά κατά τη διεύθυνση Ur, όπου απαιτείται χρονικό διάστημα 15 ωρών προκειμένου να επιτευχθεί σύγκλιση στο επίπεδο των 10 εκατοστών.

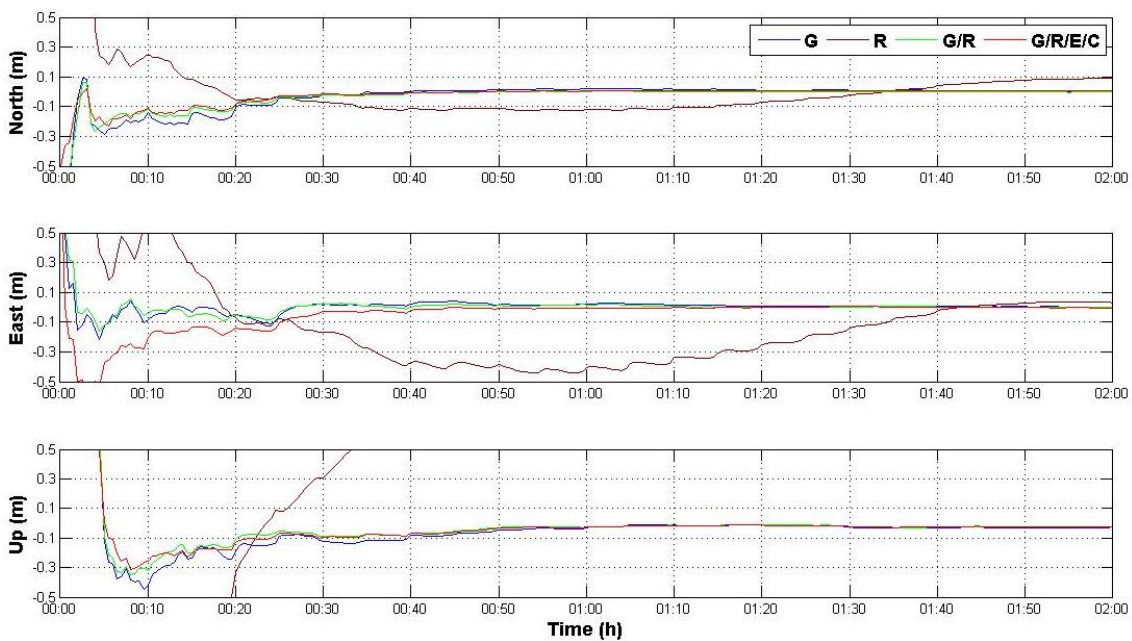
Σύμφωνα με το Σχ. 5-37, γίνεται αντιληπτό ότι η χρήση μόνο του GPS παρουσιάζει ικανοποιητικό χρόνο σύγκλισης στις στατικές PPP λύσεις, ίσο με 20, 5 και 40 λεπτά. Ωστόσο, φαίνεται να υπάρχει βελτίωση του χρόνου αυτού από τη χρήση του συστήματος G/R, καθώς αυτός ισούται με 20, 5 και 20 λεπτά στις τρεις διευθύνσεις. Ο χρόνος σύγκλισης των PPP λύσεων από το σύστημα G/R/E/C δεν φαίνεται να βελτιώνεται περαιτέρω, αλλά κατά τη διεύθυνση East απαιτείται μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, ίσο με 25 λεπτών.

Όπως προαναφέρθηκε, η χρήση μόνο του GLONASS απαιτεί αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα προκειμένου να υπάρξει σύγκλιση στις λύσεις κατά τις διευθύνσεις North και East (1 και 1-μισή ώρα αντίστοιχα). Κατά τη διεύθυνση Ur δεν επιτυγχάνεται σύγκλιση καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Επιπρόσθετα, οι λύσεις από τους συνδυασμούς G/E και G/C φθάνουν το επίπεδο των 10 εκατοστών σε σύντομο χρονικό διάστημα, σε σύγκριση με τη λύση του GPS, ενώ μία μικρή αστάθεια παρατηρείται στο δεύτερο συνδυασμό κατά τη διεύθυνση Ur η οποία προς το τέλος του 24ώρου εξαλείφεται. Έτσι, είναι φανερό πως σε όλες τις διευθύνσεις, εκτός της East, ο συνδυασμός G/R/E/C παρουσιάζει την ταχύτερη σύγκλιση στο επίπεδο των 10 εκατοστών και στην τελική λύση.

Προκειμένου να υπάρξει μία ποσοτική αξιολόγηση της βελτίωσης της παρεχόμενης ακρίβειας θέσης από την τεχνική PPP, υπολογίσθηκαν οι τιμές RMSD των στατικών PPP λύσεων για διαφορετικές χρονικές διάρκειες και συνδυασμούς συστημάτων GNSS. Οι τιμές αυτές παρατίθενται στον Πίν. 5-5.



**Σχήμα 5-36:** Στατικές PPP λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/E, G/C, G/R/E/C) στον σταθμό CUT0 στις 07/01/2014



**Σχήμα 5-37:** Πρώτο δίωρο των στατικών PPP λύσεων από την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) στον σταθμό CUT0 στις 07/01/2014

Direction	System	Observation Period							
		24h	12h	6h	4h	2h	1h	0.5h	0.25h
North	G	4,34	6,14	13,49	14,56	27,13	32,91	34,53	39,80
	R	15,63	22,11	401,57	322,79	50,66	980,01	276,91	95,35
	G/R	3,53	4,98	4,40	10,09	15,35	10,63	29,55	30,61
	G/E	4,81	6,80	13,76	19,68	27,13	33,58	19,10	38,77
	G/C	2,60	3,33	18,55	11,43	24,52	45,07	23,91	30,46
	G/R/E/C	2,28	3,09	10,68	8,61	17,17	25,95	11,09	24,43
East	G	4,76	6,36	11,87	12,99	12,91	26,30	29,76	47,47
	R	15,02	21,04	1549,05	282,55	192,14	3780,61	532,25	194,11
	G/R	3,92	5,35	7,95	8,23	7,63	17,56	28,95	41,84
	G/E	4,74	6,59	5,79	13,43	12,91	12,13	17,46	55,12
	G/C	4,92	6,48	6,47	14,78	8,43	15,16	38,81	48,35
	G/R/E/C	4,20	5,67	5,24	9,68	8,75	12,36	29,53	43,67
Up	G	10,27	14,43	36,44	29,48	16,66	88,81	42,27	59,76
	R	188,63	266,69	6553,08	4678,35	1696,70	15993,73	5136,71	9298,40
	G/R	8,58	12,01	17,08	24,74	8,60	41,48	40,28	61,36
	G/E	9,75	13,73	38,79	17,87	16,66	94,60	27,48	38,24
	G/C	6,75	9,53	13,67	35,41	23,52	33,20	69,34	52,66
	G/R/E/C	6,51	9,15	11,26	20,17	14,16	27,12	40,50	42,74

**Πίνακας 5-5:** Τιμές RMSD (σε cm) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό CUTO για διαφορετικά χρονικά διαστήματα με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων στις 07/01/2014

Όπως φαίνεται από τον Πίν. 5-5, η μείωση του χρονικού διαστήματος παρατηρήσεων μειώνει σημαντικά την ακρίβεια των PPP λύσεων. Ωστόσο, η χρήση πολλαπλών συστημάτων βελτιώνει αισθητά τις λύσεις αυτές, ενώ παράλληλα προσφέρει στις περισσότερες περιπτώσεις ικανοποιητικό επίπεδο ακρίβειας για αρκετές εφαρμογές.

Συγκεκριμένα, είναι φανερό πως κατά τη διεύθυνση North ο συνδυασμός συστημάτων G/R/E/C βελτιώνει αισθητά το επίπεδο ακρίβειας των PPP λύσεων σε σύγκριση με την αυτόνομη χρήση του GPS, ή και του συνδυασμού G/R. Αν και η συγκεκριμένη διεύθυνση θεωρείται ως η διεύθυνση που προσδιορίζεται με την μεγαλύτερη ακρίβεια στην τεχνική PPP με δεδομένα GPS, φαίνεται ότι υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης με τη χρήση δεδομένων από περισσότερα δορυφορικά συστήματα. Για παράδειγμα, η χρήση μόνο του GPS παρέχει ακρίβεια της τάξης των 4.3 εκατοστών στο διάστημα 24 ωρών, ενώ οι συνδυασμοί G/R και G/R/E/C παρέχουν ακρίβεια 3.5 και περίπου 2.3 εκατοστών αντίστοιχα. Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι ο συνδυασμός G/C παρέχει καλύτερη ακρίβεια από το συνδυασμό G/R κατά 1 εκατοστό στη συγκεκριμένη διάρκεια, πιθανόν λόγω καλύτερης γεωμετρίας του σχηματισμού G/C από τον G/R.

Σε μικρές χρονικές διάρκειες (1h, 0.5h, 0.25h) φαίνεται ότι είτε ο συνδυασμός G/R είτε G/R/E/C παρουσιάζουν μικρότερες τιμές RMSD από τις PPP λύσεις με χρήση μόνο του GPS. Για παράδειγμα, στο διάστημα 1 ώρας η ακρίβεια που παρέχει το σύστημα G είναι της τάξης των 32 εκατοστών, ενώ οι συνδυασμοί G/R και G/R/E/C παρέχουν ακρίβεια 16 και 26 εκατοστών αντίστοιχα. Ο λόγος που ο συνδυασμός G/R παρέχει καλύτερη ακρίβεια σε σύγκριση με τη χρήση πολλαπλών συστημάτων G/R/E/C οφείλεται στο γεγονός ότι η γεωμετρία των δορυφόρων από τα τέσσερα συστήματα GNSS που σχηματίζεται την συγκεκριμένη διάρκεια μειονεκτεί σε σχέση με την αντίστοιχη του συνδυασμού G/R.

Ακολούθως, κατά τη διεύθυνση East και στα μεγάλα χρονικά διαστήματα (24 και 12 ωρών) η βέλτιστη ακρίβεια θέσης δεν παρέχεται από τη χρήση πολλαπλών συστημάτων G/R/E/C, αλλά από το συνδυασμό G/R. Ωστόσο, σε μικρότερα χρονικά διαστήματα (1 ώρα και 30 λεπτών) οι μικρότερες τιμές RMSD παρατηρούνται από το συνδυασμό G/E. Παρ' όλα αυτά, γίνεται αντιληπτό ότι στο σύνολο των εξεταζόμενων διαστημάτων η χρήση πολλαπλών συστημάτων (G/R και G/R/E/C) παρέχει καλύτερη ακρίβεια συγκριτικά με τις PPP λύσεις από τους υπόλοιπους συνδυασμούς.

Όσο αφορά τη διεύθυνση Up, μπορεί κανείς εύκολα να διακρίνει ότι η χρήση πολλαπλών συστημάτων βελτιώνει καθοριστικά την ακρίβεια της λύσης στην πλειονότητα των περιπτώσεων. Για παράδειγμα, στην διάρκεια του 24ώρου τα συστήματα G, G/R και G/R/E/C παρέχουν ακρίβεια της τάξης των 10, 9 και 7 εκατοστών αντίστοιχα. Σε μικρότερα χρονικά διαστήματα, όπως στην 1 ώρα, η λύση από το GPS έχει ακρίβεια 89 εκατοστών, ενώ τα συστήματα G/R και G/R/E/C έχουν ακρίβεια 41 και 27 εκατοστά αντίστοιχα.

Η συμβολή των διαθέσιμων συστημάτων GNSS στη βελτίωση της προκύπτουσας λύσης μπορεί να φανεί από την εξέταση ενός μεγαλύτερου διαστήματος ημερών. Στον Πίν. 5-6, παρουσιάζονται οι τιμές RMSD των στατικών PPP λύσεων για την περίοδο ημερών 06 - 14/01/2014 και διάστημα παρατηρήσεων 24 ωρών.

Σύμφωνα με τον πίνακα αυτόν, φαίνεται ότι η χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C παρουσιάζει τη βέλτιστη ακρίβεια στην πλειονότητα των εξεταζόμενων ημερών σε σύγκριση με τους υπόλοιπους συνδυασμούς. Συγκεκριμένα, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι οι τιμές RMSD των στατικών PPP λύσεων που προκύπτουν από το σύστημα G/R κατά τη διεύθυνση North είναι αισθητά χαμηλότερες σε σχέση με τις αντίστοιχες του συστήματος GPS και παρουσιάζουν μέση μείωση κατά 21%. Επιπλέον, η προσθήκη των μετρήσεων Galileo και BeiDou οδηγεί σε περαιτέρω μείωση των παραπάνω τιμών κατά περίπου 37%.

Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι και οι PPP λύσεις από το σύστημα G/C παρουσιάζουν αύξηση της ακρίβειας θέσης τους σε σχέση με τη χρήση μόνο του GPS. Η αύξηση αυτή οφείλεται στον μεγάλο αριθμό των δορυφόρων BeiDou που παρατηρούνται από τον μόνιμο σταθμό CUT0.

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	6,55	4,34	7,00	6,38	2,42	8,25	3,46	3,45	5,29
	R	87,00	15,63	25,56	114,01	66,93	18,22	31,75	74,35	44,51
	G/R	5,52	3,53	4,49	5,09	2,86	5,35	2,77	2,09	4,28
	G/E	3,56	4,81	6,96	2,69	3,74	8,17	3,45	1,93	5,30
	G/C	3,41	2,60	5,35	1,56	2,34	5,14	1,67	3,77	2,61
	G/R/E/C	1,85	2,28	3,94	1,53	1,78	3,45	1,50	2,23	2,54
East	G	4,03	4,76	3,42	2,37	2,75	6,94	4,78	5,66	4,68
	R	169,28	15,02	14,24	131,55	71,21	32,40	45,39	124,47	143,41
	G/R	4,03	3,92	2,73	1,98	1,98	4,36	3,54	4,59	3,89
	G/E	4,07	4,74	2,98	3,22	9,24	6,09	4,98	5,08	4,79
	G/C	6,97	4,92	2,96	3,13	3,95	5,77	8,72	4,67	7,66
	G/R/E/C	4,70	4,20	3,08	1,81	7,06	3,79	7,05	3,88	6,16
Up	G	9,35	10,27	9,00	4,13	9,68	9,79	12,83	6,00	7,24
	R	1332,39	188,63	352,13	2081,85	903,49	313,50	439,55	1296,23	1038,92
	G/R	5,63	8,58	7,67	2,83	8,76	7,66	8,76	3,54	7,33
	G/E	6,55	9,75	8,90	7,10	4,96	10,61	12,81	3,84	7,23
	G/C	6,04	6,75	9,04	5,72	5,84	15,82	14,54	5,90	6,65
	G/R/E/C	3,15	6,51	7,45	6,39	3,51	11,88	10,82	3,92	5,62

**Πίνακας 5-6:** Τιμές RMSD (σε cm) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό CUT0 για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)



Επιπρόσθετα, η μέγιστη ακρίβεια θέσης που επιτυγχάνεται κατά τη διεύθυνση East παρέχεται από τα συστήματα G/R και G/R/E/C. Συγκεκριμένα, μπορεί κανείς εύκολα να διακρίνει από τον Πίν. 5-6 ότι υπάρχει σημαντική βελτίωση με τη χρήση δεδομένων GPS/GLONASS απ' ότι με τη χρήση μόνο δεδομένων GPS, καθώς υπάρχει μέση αύξηση της ακρίβειας θέσης κατά 20%. Ενώ κανείς θα περίμενε ότι η προσθήκη των δεδομένων Galileo και BeiDou θα βελτιώνει ακόμα περισσότερο την ακρίβεια στη συγκεκριμένη διεύθυνση, αυτό δεν συμβαίνει παρά μόνο σε ορισμένες ημέρες. Παράλληλα, ικανοποιητική ακρίβεια φαίνεται να παρέχεται από τους συνδυασμούς G/E και G/C καθώς στις περισσότερες περιπτώσεις οι συνδυασμοί αυτοί παρέχουν ακρίβεια καλύτερη των 5 εκατοστών.

Επιπλέον, είναι φανερό ότι κατά τη διεύθυνση Up η χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C οδηγεί σε αρκετά μικρότερες τιμές RMSD από την χρήση μόνο δεδομένων GPS, ενώ παράλληλα και οι συνδυασμοί G/E και G/C παρέχουν ικανοποιητική ακρίβεια. Αυτό που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι η αυτόνομη χρήση του GLONASS παρέχει πολύ χαμηλή ακρίβεια καθώς, με ελάχιστες εξαιρέσεις, οι τιμές RMSD υπερβαίνουν τα 50 εκατοστά και φθάνουν έως και δεκάδες μέτρα.

Στη συνέχεια, παρατίθενται οι Πίν. 5-7 και Πίν. 5-8, οι οποίοι παρουσιάζουν τις τιμές RMSD για το ίδιο διάστημα ημερών και για τις χρονικές διάρκειες μίας ώρας και 15 λεπτών, αποτελέσματα για τις υπόλοιπες διάρκειες βρίσκονται στο Παράρτημα.

Σύμφωνα με τον Πίν. 5-7, η μέγιστη ακρίβεια που επιτυγχάνεται στο διάστημα 1 ώρας κατά τη διεύθυνση North παρέχεται από τη χρήση του συνδυασμού G/R, ενώ στις υπόλοιπες δύο διευθύνσεις από το συνδυασμό G/R/E/C στην πλειονότητα των περιπτώσεων. Συγκεκριμένα, υπάρχει 43% αύξηση της ακρίβειας θέσης στις PPP λύσεις από το σύστημα G/R σε σύγκριση με τις αντίστοιχες λύσεις από τη χρήση δεδομένων μόνο GPS. Στη συγκεκριμένη διεύθυνση δεν παρατηρείται περαιτέρω βελτίωση με τη προσθήκη δεδομένων Galileo και BeiDou.

Κατά τη διεύθυνση East, έπειτα, είναι ξεκάθαρο αφενός ότι η χρήση του συνδυασμού G/R βελτιώνει την ακρίβεια θέσης σε σχέση με την χρήση μόνο του GPS και αφετέρου η συνδυασμένη χρήση των συστημάτων G/R/E/C την βελτιώνει ακόμα περισσότερο. Συγκεκριμένα, υπάρχει μέση αύξηση 46% στην ακρίβεια θέσης των PPP λύσεων που προκύπτουν από το σύστημα G/R/E/C σε σχέση με την αντίστοιχη που προκύπτει από τη χρήση μόνο του GPS. Αυτό οφείλεται προφανώς στο γεγονός ότι η γεωμετρία των δορυφόρων βελτιώθηκε σημαντικά με την προσθήκη των δορυφόρων Galileo και BeiDou στην συγκεκριμένη επεξεργασία. Παράλληλα, ικανοποιητικές είναι οι τιμές RMSD των PPP λύσεων από τα συστήματα G/E και G/C, καθώς οι μέγιστες τιμές που παρατηρούνται είναι τα 29 και 25 εκατοστά.

Σημαντική είναι, επίσης, η βελτίωση των τιμών RMSD κατά τη διεύθυνση Up, όπου μία σύντομη ανάγνωση του ίδιου πίνακα οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η χρήση του συστήματος G/R/E/C παρέχει τη μέγιστη ακρίβεια θέσης στην πλειονότητα των εξεταζόμενων ημερών. Επιπλέον, βελτίωση φαίνεται να υπάρχει και από τη χρήση του συστήματος G/R, καθώς υπάρχει 38% αύξηση της ακρίβειας στη συγκεκριμένη διεύθυνση σε σχέση με τη χρήση μόνο του GPS. Η επιπλέον προσθήκη των μετρήσεων Galileo και BeiDou συμβάλλει στην περαιτέρω αύξηση της ακρίβειας, καθώς παρατηρείται 42% αύξηση της σε σχέση με τη χρήση δεδομένων μόνο από το GPS.

Επιπρόσθετα, γίνεται αντιληπτό ότι στη χρονική διάρκεια 15 λεπτών οι τιμές RMSD έχουν αυξηθεί ελαφρώς. Η βέλτιστη ακρίβεια που επιτυγχάνεται στο διάστημα αυτό παρέχεται από τα συστήματα G/R και G/R/E/C στις διευθύνσεις North και East, ενώ στην τρίτη διεύθυνση από το σύστημα G/R/E/C. Αν και σε τόσο μικρό χρονικό διάστημα η ακρίβεια που παρέχεται από το σύστημα GPS δεν μπορεί να φθάσει τα 10 εκατοστά, αυτό μπορεί να επιτευχθεί από τη χρήση πολλαπλών συστημάτων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η τιμή RMSD των 8.6 εκατοστών κατά διεύθυνση North με χρήση του συστήματος G/R/E/C την ημέρα 010, και η τιμή RMSD 14.1 εκατοστά κατά τη διεύθυνση East με χρήση του συστήματος G/R την ημέρα 014.

Σχετικά με τις υπόλοιπες διάρκειες παρατηρήσεων, προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα συστήματα G/R και G/R/E/C είναι αυτά που παρέχουν την βέλτιστη ακρίβεια στις τρεις διευθύνσεις σε σχέση με τους υπόλοιπους σχηματισμούς.



Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	31,75	32,91	36,25	41,15	34,29	7,63	18,35	15,03	22,66
	R	16,59	980,01	337,12	109,42	62,79	36,77	220,74	38,07	89,68
	G/R	16,03	10,63	10,69	18,28	10,25	7,64	10,19	18,39	11,22
	G/E	28,35	33,58	36,25	29,99	14,24	12,22	18,35	18,72	49,69
	G/C	34,02	45,07	29,81	31,78	34,59	39,99	29,70	19,56	42,07
	G/R/E/C	26,46	25,95	24,43	21,86	11,67	25,81	20,03	11,43	39,33
East	G	17,22	26,30	26,32	16,35	27,87	24,06	28,91	37,52	29,99
	R	39,78	3780,61	660,46	463,05	103,49	98,40	554,11	200,45	618,03
	G/R	11,23	17,56	18,06	10,50	19,00	14,22	22,66	24,87	20,18
	G/E	20,16	12,13	26,32	12,57	16,89	20,86	28,91	23,88	22,60
	G/C	9,44	15,16	12,34	25,18	15,45	12,72	14,11	19,38	13,24
	G/R/E/C	11,58	12,36	11,68	15,84	11,31	13,69	13,76	14,20	13,24
Up	G	31,60	88,81	103,57	41,43	39,22	43,41	54,35	18,94	24,57
	R	110,59	15993,73	6687,14	5112,71	1657,15	623,46	6095,80	1496,29	4332,39
	G/R	12,87	41,48	49,30	22,91	18,00	41,01	36,25	14,53	19,87
	G/E	20,83	94,60	103,57	18,14	24,61	22,28	54,35	22,87	24,86
	G/C	24,63	33,20	28,69	52,46	32,80	34,80	25,51	13,60	19,48
	G/R/E/C	16,11	27,12	24,13	42,50	15,54	38,35	19,20	10,19	24,80

**Πίνακας 5-7:** Τιμές RMSD (σε cm) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό CUTO για διάρκεια παρατηρήσεων 1 ώρα, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 - 14/01/2014)

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	29,40	39,80	24,93	37,20	15,34	21,30	33,41	29,68	41,89
	R	42,34	95,35	1026,81	303,25	962,81	495,79	80,79	386,21	197,10
	G/R	38,28	30,61	21,05	37,40	17,44	28,11	21,25	22,69	27,26
	G/E	29,40	38,77	26,69	37,20	23,43	16,74	33,41	28,85	57,05
	G/C	13,86	30,46	20,72	30,69	25,15	29,79	60,79	38,89	40,04
	G/R/E/C	21,52	24,43	12,06	23,30	8,63	20,31	43,45	22,28	37,30
East	G	23,25	47,47	36,42	38,49	29,58	42,72	32,15	24,47	24,62
	R	101,98	194,11	767,28	278,02	1121,12	1853,51	409,79	233,03	274,93
	G/R	22,95	41,84	29,19	32,25	26,11	40,33	27,85	16,14	14,11
	G/E	23,25	55,12	61,86	38,49	35,55	28,45	32,15	25,86	21,46
	G/C	37,21	48,35	22,84	30,71	32,46	32,69	21,81	30,17	27,07
	G/R/E/C	36,05	43,67	31,45	24,52	29,58	24,64	21,54	23,83	16,72
Up	G	62,15	59,76	29,92	26,68	56,49	103,82	84,20	124,12	43,65
	R	2390,22	9298,40	14789,10	4971,41	15076,13	17724,24	4355,52	3779,11	2959,51
	G/R	27,40	61,36	23,93	27,95	51,35	75,75	43,86	74,92	59,03
	G/E	62,15	38,24	28,52	26,68	48,69	76,05	84,20	124,69	47,75
	G/C	26,91	52,66	32,66	71,47	67,15	31,00	75,46	90,19	37,20
	G/R/E/C	44,18	42,74	30,57	62,86	39,96	27,04	43,64	45,75	54,29

**Πίνακας 5-8:** Τιμές RMSD (σε cm) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό CUT0 για διάρκεια παρατηρήσεων 0,25h, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

## 5.2.2 Κινηματικές PPP λύσεις (forward)

Στην υποενότητα αυτή, λαμβάνει χώρα η ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων με την τεχνική επεξεργασίας PPP-kinematic (forward) και τη χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS για διαφορετικά διαστήματα παρατηρήσεων.

Στο Σχ. 5-38, απεικονίζονται οι ορατές τροχιές των δορυφόρων GNSS στις 13/01/2014 από τον σταθμό UNB3, από τον οποίο ξεκίνησε η συγκεκριμένη διερεύνηση. Είναι φανερό πως παρατηρούνται αρκετοί δορυφόροι GPS και GLONASS από τον εν λόγω σταθμό, ενώ παράλληλα η κατανομή τους στο χώρο επιτρέπει τον εντοπισμό θέσης με μεγάλη ακρίβεια. Επίσης, παρατηρείται ότι υπάρχει μέτρια ορατότητα προς τους δορυφόρους Galileo και BeiDou.

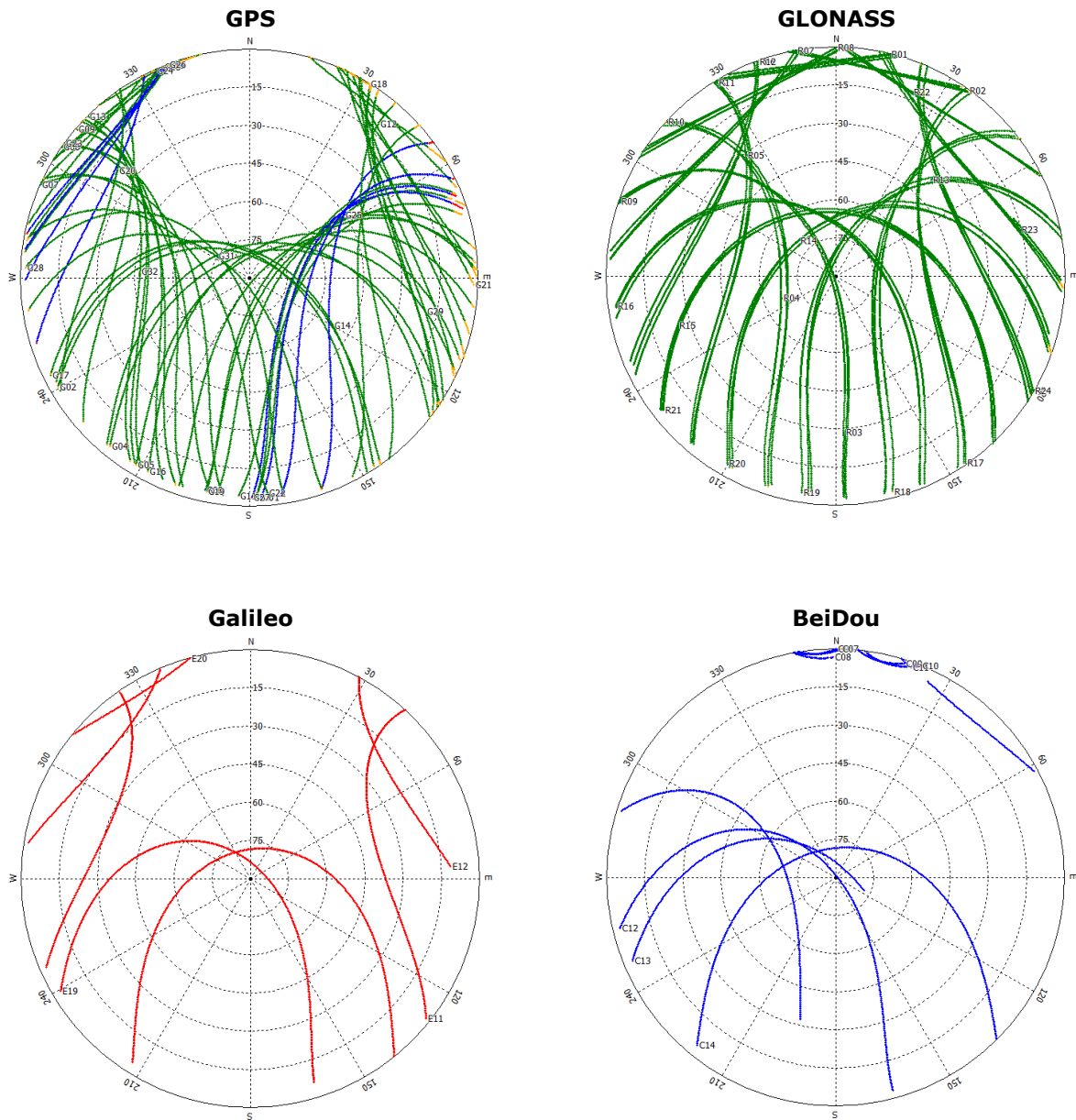
Προκειμένου, όμως, να δημιουργηθεί μία πιο ξεκάθαρη εικόνα σχετικά με την αύξηση του αριθμού των δορυφόρων GNSS, δημιουργήθηκε ένα διάγραμμα απεικόνισης τους. Όπως φαίνεται στο Σχ. 5-39, η συνδυασμένη χρήση των συστημάτων GPS και GLONASS οδηγεί σε σημαντική αύξηση του αριθμού των δορυφόρων απ' ό,τι αν γινόταν χρήση μόνο του συστήματος GPS. Ωστόσο, παρατηρείται ότι με τη χρήση των τεσσάρων διαθέσιμων συστημάτων GNSS, ο αριθμός των δορυφόρων αυξάνεται περισσότερο σε ορισμένα χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης ημέρας.

Όσο αφορά τις τιμές των δεικτών DOP (Σχ. 5-40), παρατηρείται ότι τόσο το σύστημα G/R όσο και το G/R/E/C οδηγεί σε σημαντική μείωση των εν λόγω δεικτών. Συγκεκριμένα, το εύρος τιμών GDOP με τη χρήση μόνο του GPS είναι 1.5 – 4.6, ενώ όταν γίνεται προσθήκη των δορυφόρων GLONASS το εύρος αυτό γίνεται 1.2 – 2.7. Φαίνεται, επίσης, ότι με την προσθήκη των δορυφόρων Galileo και BeiDou, υπάρχει μικρή μείωση στο εύρος 1.1 – 2.5. Όσο αφορά τους σχηματισμούς G/E και G/C τα εύρη τιμών GDOP είναι ίσα με 1.4 – 3.5 και 1.4 – 4.6 αντίστοιχα. Γίνεται, δηλαδή, αντιληπτό ότι οι δορυφόροι BeiDou δεν έχουν συμβάλει ουσιαστικά στη μείωση του δείκτη GDOP λόγω της μικρής τους ορατότητας. Αντίθετα, οι δορυφόροι GLONASS φαίνεται να οδηγούν σε σημαντική μείωση του εν λόγω δείκτη, το οποίο οφείλεται στον υψηλό αριθμό δορυφόρων GLONASS που είναι ορατός από τον σταθμό UNB3. Έπειτα, αν και ο αριθμός των δορυφόρων του περιορίζεται ακόμα στους 4, το σύστημα Galileo φαίνεται να παρέχει καλές τιμές GDOP σε συνδυασμό με τους δορυφόρους GPS.

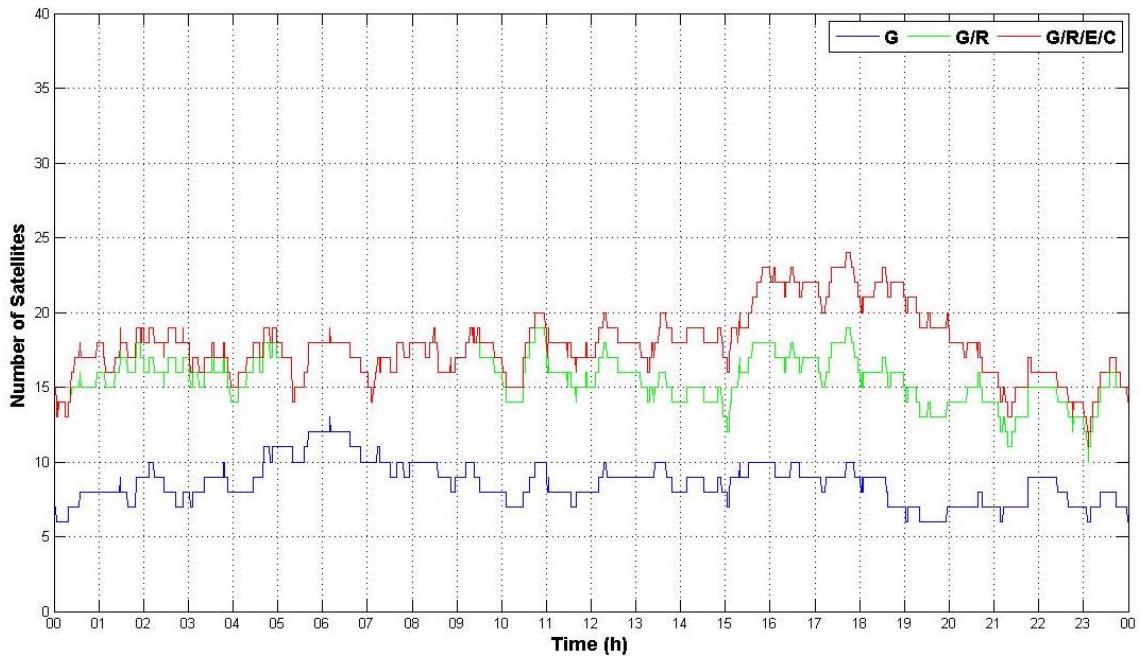
Με το πέρας της συγκεκριμένης διερεύνησης, ακολούθησε η επεξεργασία των παραπάνω δεδομένων με την τεχνική επεξεργασίας PPP-kinematic και φίλτρο forward τόσο με την αυτόνομη χρήση των συστημάτων όσο και στην συνδυαστική χρήση, ώστε να διαπιστωθεί εάν και κατά πόσο υπάρχει βελτίωση της ακρίβειας στον εντοπισμό θέσης. Στο Σχ. 5-41, απεικονίζονται οι κινηματικές PPP λύσεις που προέκυψαν από την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/E, G/C, G/R/E/C) στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014.

Σε γενικές γραμμές παρατηρείται ότι οι PPP λύσεις που προκύπτουν από τους συνδυασμούς G/R και G/R/E/C παρουσιάζουν την καλύτερη ποιότητα σε σχέση με τα υπόλοιπα συστήματα, καθώς υπάρχει μεγαλύτερη σταθερότητα στη χρονοσειρά της λύσης τους. Παράλληλα, φαίνεται ότι η χρήση των συστημάτων αυτών, όπως αντίστοιχα και του G/E, έχουν τη δυνατότητα εξομάλυνσης του θορύβου που παρατηρείται στις PPP λύσεις που προκύπτουν από τη χρήση δεδομένων μόνο του GPS. Επιπλέον, γίνεται αντιληπτό ότι οι εν λόγω χρονοσειρές των λύσεων είναι οι μόνες που καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων κυμαίνονται στο επίπεδο των 10 εκατοστών.

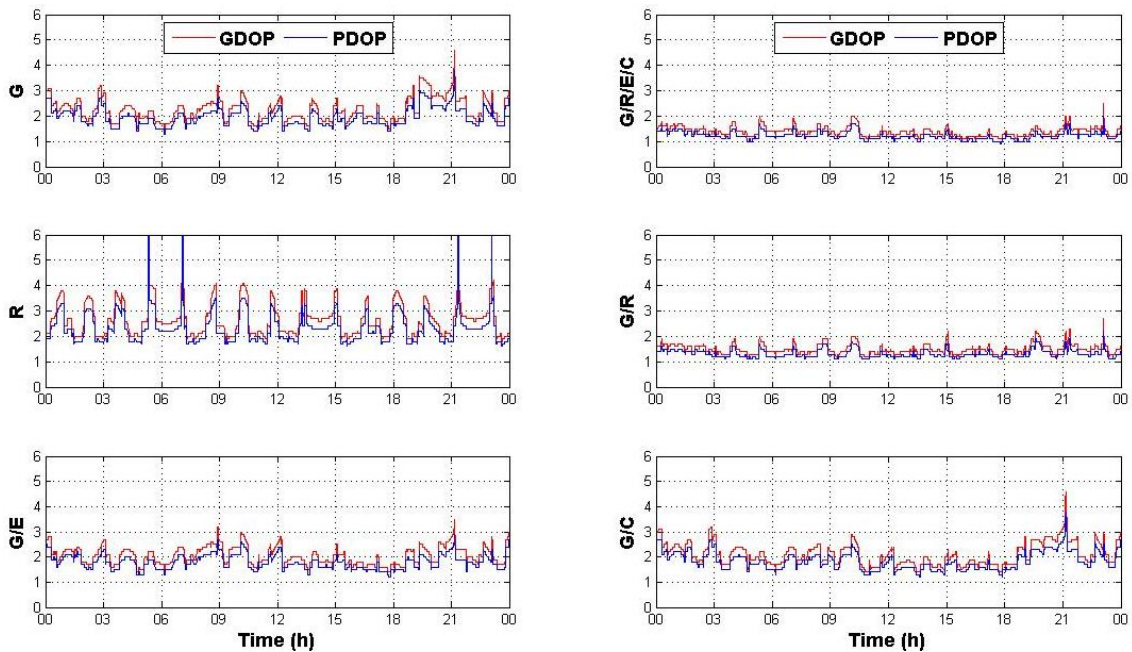
Ακολούθως, η αυτόνομη χρήση του GLONASS δεν παρουσιάζει μία σταθερή χρονοσειρά, καθώς δημιουργούνται αρκετές αποκλίσεις, ενώ παράλληλα δεν επιτυγχάνεται ικανοποιητική σύγκλιση, κυρίως κατά τη διεύθυνση East. Σε αντίθεση με το σύστημα G/E, του οποίου οι PPP λύσεις είναι καλής ποιότητας, το σύστημα G/C δεν φαίνεται να παρέχει εξίσου καλή ποιότητα λύσεων, ειδικά μετά τις 12:00. Πιθανώς αυτό να οφείλεται στην κακή γεωμετρία και την έλλειψη ορατότητας αρκετών δορυφόρων BeiDou το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, με αποτελέσματα να δημιουργείται αυτή η αστάθεια. Όσο αφορά το χρόνο σύγκλισης των λύσεων αυτών, αυτός φαίνεται από το Σχ. 5-42, στο οποίο απεικονίζονται οι χρονοσειρές λύσης των συστημάτων G, R, G/R και G/R/E/C ανά διευθύνσεις στο πρώτο δίωρο επεξεργασίας.



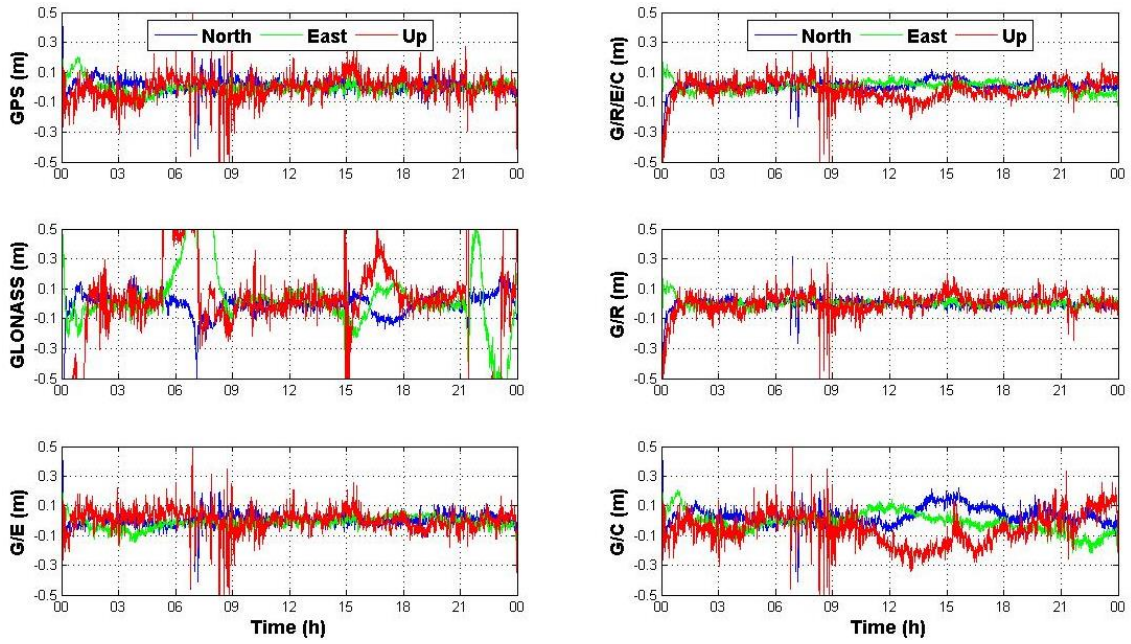
**Σχήμα 5-38:** Ορατές τροχιές των δορυφόρων GNSS (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) από τον μόνιμο σταθμό UNB3 στις 13/01/2014, σε στερεογραφική προβολή



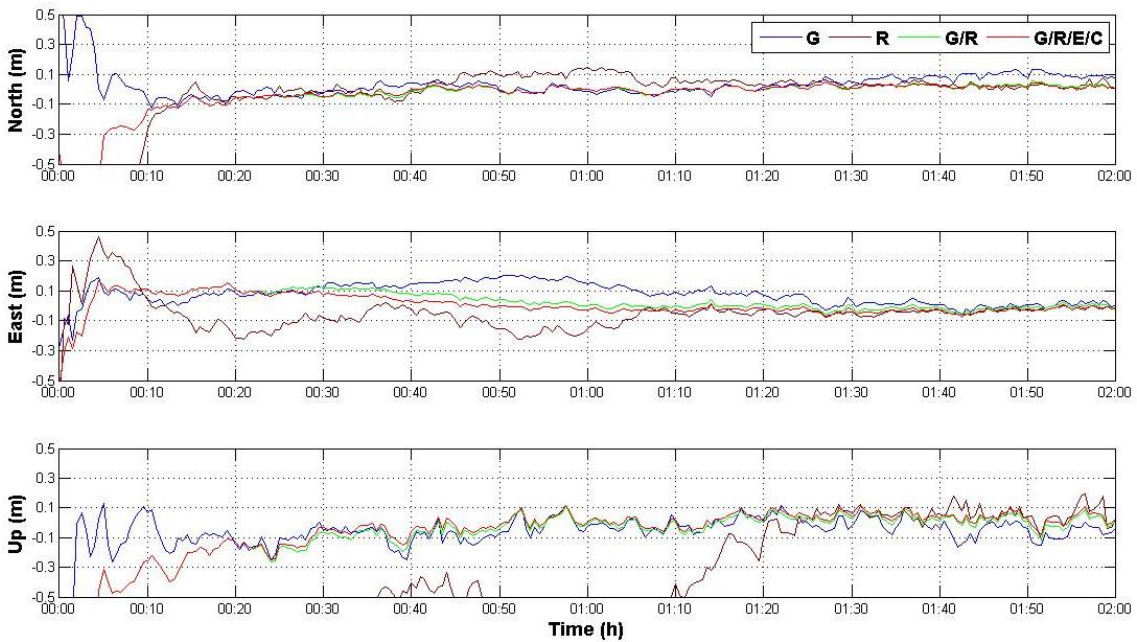
**Σχήμα 5-39:** Αριθμός ορατών δορυφόρων από τον μόνιμο σταθμό UNB3 στις 13/01/2014. Ο αριθμός των δορυφόρων GPS, GPS+GLONASS και GPS+GLONASS+Galileo+BeiDou φαίνονται με μπλε, πράσινο και κόκκινο χρώμα αντίστοιχα.



**Σχήμα 5-40:** Δείκτες PDOP και GDOP για τους δορυφορικούς σχηματισμούς στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014



**Σχήμα 5-41:** Κινηματικές PPP (forward) λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/E, G/C, G/R/E/C) στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014



**Σχήμα 5-42:** Πρώτο δώρο των κινηματικών PPP (forward) λύσεων ανά διεύθυνση για την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014

Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι ο χρόνος σύγκλισης μεταξύ των συστημάτων G, G/R και G/R/E/C δεν διαφέρει ιδιαίτερα κατά την διεύθυνση North, το οποίο όμως δεν ισχύει για τις άλλες δύο διευθύνσεις. Συγκεκριμένα, κατά τη διεύθυνση East οι PPP λύσεις των συστημάτων G/R και G/R/E/C απαιτούν χρονικό διάστημα 20 λεπτών προκειμένου να συγκλίνουν στο επίπεδο των 10 εκατοστών και λιγότερο από 30 λεπτά για να πετύχουν καλύτερη ακρίβεια. Αντίθετα, οι PPP λύσεις από χρήση του GPS απαιτούν χρονικό διάστημα 1 ώρας για να συγκλίνουν στο επίπεδο των 10 εκατοστών, γεγονός το οποίο δυσχεραίνει τις εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Επιπλέον, οι PPP λύσεις που προκύπτουν από τη χρήση δεδομένων μόνο GLONASS δεν φαίνεται να παρέχουν ιδιαίτερη ακρίβεια. Ενώ κατά τη διεύθυνση North απαιτείται διάστημα μόνο 10-12 λεπτών προκειμένου να επιτευχθεί σύγκλιση στα 10 εκατοστά, κατά τις διευθύνσεις East και Up απαιτείται διάστημα 1 ώρας και 1 ώρας και 20 λεπτών αντίστοιχα.

Εν συνεχεία, εξετάστηκαν οι PPP λύσεις που προκύπτουν από διάστημα παρατήρησης 24 ωρών, 1 ώρας και 15 λεπτών ώστε να διαπιστωθεί εάν και κατά πόσο συμβάλλει ο συνδυασμός συστημάτων GNSS στην παρεχόμενη ακρίβεια της μεθόδου PPP σε μεγάλες και μικρές χρονικές διάρκειες. Στον Πίν. 5-9, παρατίθενται οι τιμές RMSD των κινηματικών PPP λύσεων για διαφορετικά διαστήματα παρατήρησης.

Direction	System	Observation Period		
		24h	1h	0.25h
North	G	5,41	18,70	21,53
	R	10,29	81,82	29,51
	G/R	5,22	34,54	13,77
	G/E	5,22	18,70	23,82
	G/C	7,58	54,57	44,61
	G/R/E/C	5,60	59,97	33,60
East	G	4,40	10,28	34,12
	R	22,84	27,29	16,67
	G/R	3,15	8,66	27,05
	G/E	4,16	10,28	56,68
	G/C	7,09	49,15	81,48
	G/R/E/C	3,69	34,99	92,92
Up	G	9,56	49,04	27,43
	R	48,29	70,28	100,89
	G/R	10,41	52,03	21,18
	G/E	8,76	49,04	36,23
	G/C	13,24	62,50	55,29
	G/R/E/C	10,63	63,06	22,52

**Πίνακας 5-9:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών (forward) PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διαφορετικά χρονικά διαστήματα, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων, στις 13/01/2014

Από τον παραπάνω πίνακα, φαίνεται ότι κατά τη διάρκεια του 24ώρου της ημέρας 13/01/2014 επιτυγχάνεται μικρή βελτίωση της ακρίβειας κατά τη διεύθυνση North από το σύστημα G/R. Αντίστοιχη ακρίβεια επιτυγχάνεται και με το σύστημα G/E, ενώ ο συνδυασμός G/R/E/C δεν παρέχει περαιτέρω βελτίωση στη λύση, προφανώς λόγω μικρού αριθμού ορατών δορυφόρων Galileo και BeiDou. Κατά τη διεύθυνση East, έπειτα, φαίνεται ότι τα συστήματα G/R και G/R/E/C παρέχουν καλύτερη ακρίβεια από τη χρήση μόνο του GPS, με το πρώτο να υπερτερεί μεταξύ τους για περίπου 5 χιλιοστά. Τέλος, κατά τη διεύθυνση Up παρατηρείται ότι μόνο το σύστημα G/E παρέχει μικρότερη τιμή RMSD από την περίπτωση χρήσης μόνο του GPS, με τις ακρίβειες των συστημάτων G/R και G/R/E/C να μην είναι οι βέλτιστες.



Όσο αφορά τις μικρότερες χρονικές διάρκειες, φαίνεται ότι ο συνδυασμός G/R παρέχει τη βέλτιστη ακρίβεια στις περισσότερες περιπτώσεις. Εξαιρέση αποτελεί η ακρίβεια θέσης που επιτυγχάνεται στο χρονικό διάστημα 1 ώρας και κατά τις διευθύνσεις North και Up, όπου η χρήση μόνο του συστήματος GPS παρέχει τις βέλτιστες PPP λύσεις. Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι σε χρονικό διάστημα 15 λεπτών, το σύστημα GLONASS είναι αυτό που παραδόξως παρέχει τη μικρότερη τιμή RMSD κατά τη διεύθυνση East. Προφανώς στο συγκεκριμένο διάστημα παρατήρησης, φαίνεται ότι η γεωμετρία των δορυφόρων GLONASS ήταν η βέλτιστη δυνατή σε σύγκριση με τους υπόλοιπους σχηματισμούς με αποτέλεσμα να προκύψει αυτή η ακρίβεια. Όπως φάνηκε, όμως, στις προηγούμενες περιπτώσεις το σύστημα GLONASS από μόνο του δεν είναι σε θέση να παρέχει τη βέλτιστη ακρίβεια θέσης με την τεχνική PPP. Καταλήγει, λοιπόν, κανείς στο συμπέρασμα ότι η γεωμετρία των δορυφόρων που σχηματίζεται σε κάθε διάστημα παρατήρησης είναι καθοριστικής σημασίας.

Προκειμένου, ωστόσο, να σχηματισθεί μία γενικότερη εικόνα των παραπάνω, κρίθηκε απαραίτητο να επεξεργασθούν δορυφορικά δεδομένα στο διάστημα ημερών 06/01/2014 – 14/01/2014. Στον Πίν. 5-10, παρατίθενται οι τιμές RMSD των κινηματικών (forward) PPP λύσεων από την αυτόνομη και συνδυαστική χρήση συστημάτων για διάστημα παρατηρήσεων 24 ωρών.

Με μία σύντομη ανάγνωση του εν λόγω πίνακα, μπορεί κανείς να διακρίνει ότι ο συνδυασμός G/R οδηγεί σε σημαντική βελτίωση της ακρίβειας σε σχέση με τη χρήση μόνο του GPS, ενώ παράλληλα πετυχαίνει τη βέλτιστη ακρίβεια και στις τρεις διευθύνσεις στην πλειονότητα των εξεταζόμενων ημερών. Επιπλέον, το σύστημα G/R/E/C παρέχει στις περισσότερες περιπτώσεις καλύτερη ακρίβεια από τη χρήση του GPS, χωρίς όμως να υπερτερεί του συστήματος G/R, καθώς όπως προαναφέρθηκε ο αριθμός των δορυφόρων Galileo και BeiDou που παρατηρούνται από τον σταθμό UNB3 είναι σχετικά μικρός. Αξίζει να σημειωθεί, επίσης, ότι οι τιμές RMSD που προκύπτουν από τη χρήση του συνδυασμού G/R κατά τις διευθύνσεις North και East δεν ξεπερνούν τα 6.2 και 4.5 εκατοστά αντίστοιχα. Συνεπώς, καταλήγει κανείς στο συμπέρασμα ότι αυτές οι PPP λύσεις χαρακτηρίζονται από υψηλή ακρίβεια στον κινηματικό τύπο εντοπισμού.

Οι αντίστοιχοι πίνακες για τα διαστήματα παρατηρήσεων 1 ώρας και 15 λεπτών παρατίθενται στο Παράρτημα. Από αυτούς, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι στο διάστημα παρατήρησης 1 ώρας τα συστήματα G/R και G/R/E/C είναι αυτά που παρέχουν τη βέλτιστη ακρίβεια θέσης σε όλες τις διευθύνσεις με ελάχιστες εξαιρέσεις. Συγκεκριμένα, σημαντική βελτίωση επιτυγχάνεται κατά τη διεύθυνση East, όπου η χρήση δεδομένων του σχηματισμού G/R παρουσιάζει βελτίωση κατά 6 εκατοστά στην ακρίβεια θέσης σε σχέση με τη χρήση δεδομένων μόνο GPS. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι κατά τη συγκεκριμένη διεύθυνση οι τιμές RMSD που προκύπτουν από το σύστημα G/R δεν υπερβαίνουν τα 10 εκατοστά ασχέτως αν το διάστημα είναι μικρής διάρκειας. Στις υπόλοιπες διευθύνσεις, τα συστήματα G/R και G/R/E/C παρέχουν γενικά καλύτερη ακρίβεια σε σύγκριση με αυτή που προκύπτει από τη χρήση μόνο του GPS, με μεγαλύτερη βελτίωση όμως αυτή κατά τη διεύθυνση Up.

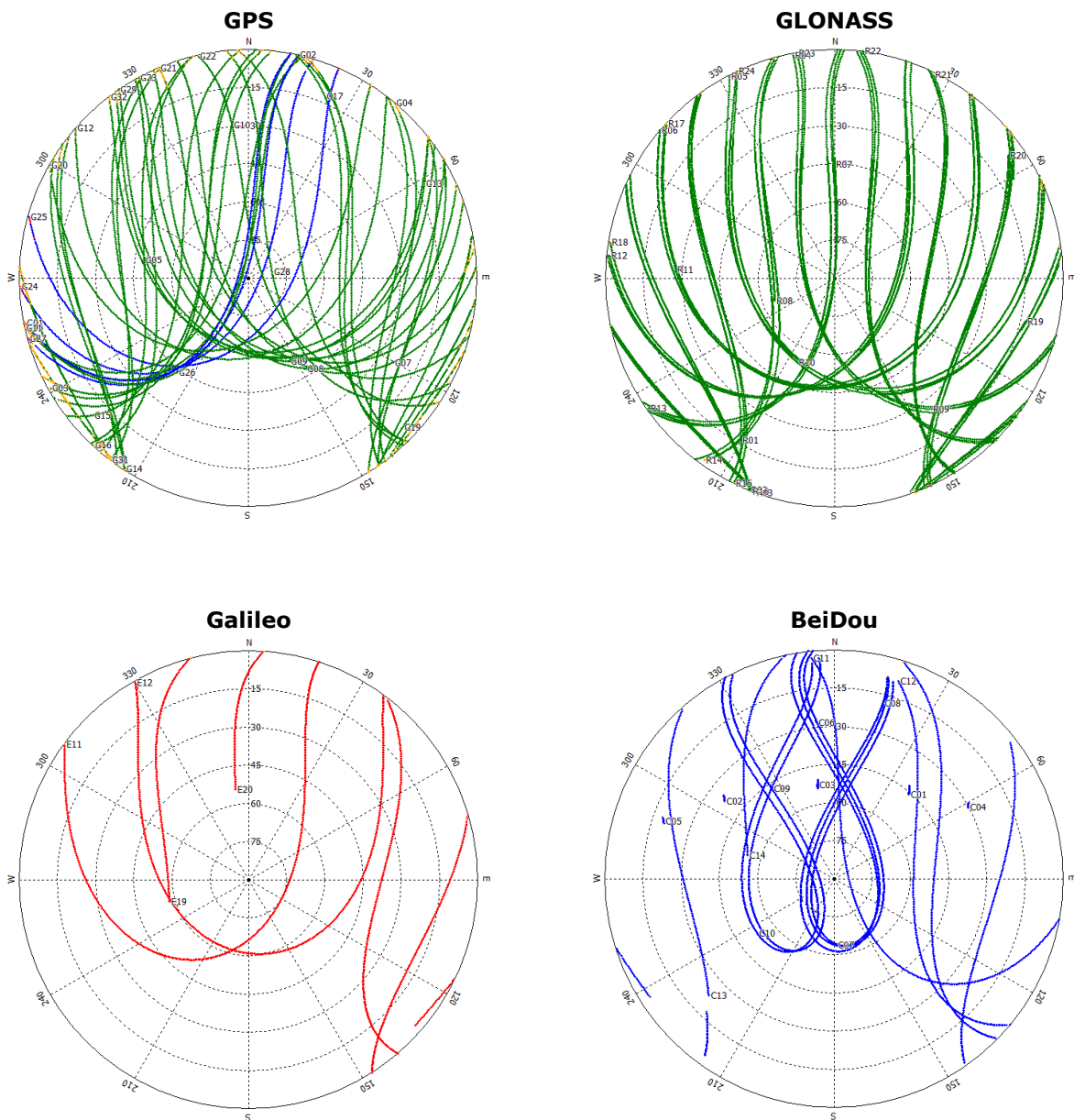
Αντίστοιχα είναι τα αποτελέσματα για τη χρονική διάρκεια 15 λεπτών, όπου όμως το σύστημα G/R είναι αυτό που παρέχει τη βέλτιστη ποιότητα λύσης στην πλειονότητα των περιπτώσεων. Αξίζει, ωστόσο, να σημειωθεί ότι η ακρίβεια που παρέχεται από το σύστημα GLONASS κατά τη διεύθυνση Up είναι η βέλτιστη σε ορισμένες περιπτώσεις. Το γεγονός αυτό παρατηρήθηκε και προηγουμένως, με αποτέλεσμα να συμπεραίνει κανείς ότι η προσωρινή γεωμετρία δορυφόρων που δημιουργείται σε τόσο μικρό χρονικό διάστημα είναι καθοριστικής σημασίας.

Η διερεύνηση βελτίωσης της ακρίβειας των PPP λύσεων συνεχίστηκε στον μόνιμο σταθμό CUT0. Στο Σχ. 5-43, απεικονίζονται οι ορατές τροχιές των δορυφόρων GNSS στις 13/01/2014 από τον σταθμό CUT0. Είναι φανερό πως, εκτός από τον σημαντικό αριθμό δορυφόρων GPS και GLONASS που παρατηρούνται από τον εν λόγω σταθμό, υπάρχει ικανοποιητική ορατότητα και ευρεία κατανομή των δορυφόρων Galileo και BeiDou. Ωστόσο, μία πιο σαφής εικόνα της ορατότητας των δορυφόρων κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης ημέρας μπορεί να δημιουργηθεί από το Σχ. 5-44, όπου φαίνεται η σημασία χρήσης πολλαπλών συστημάτων GNSS.

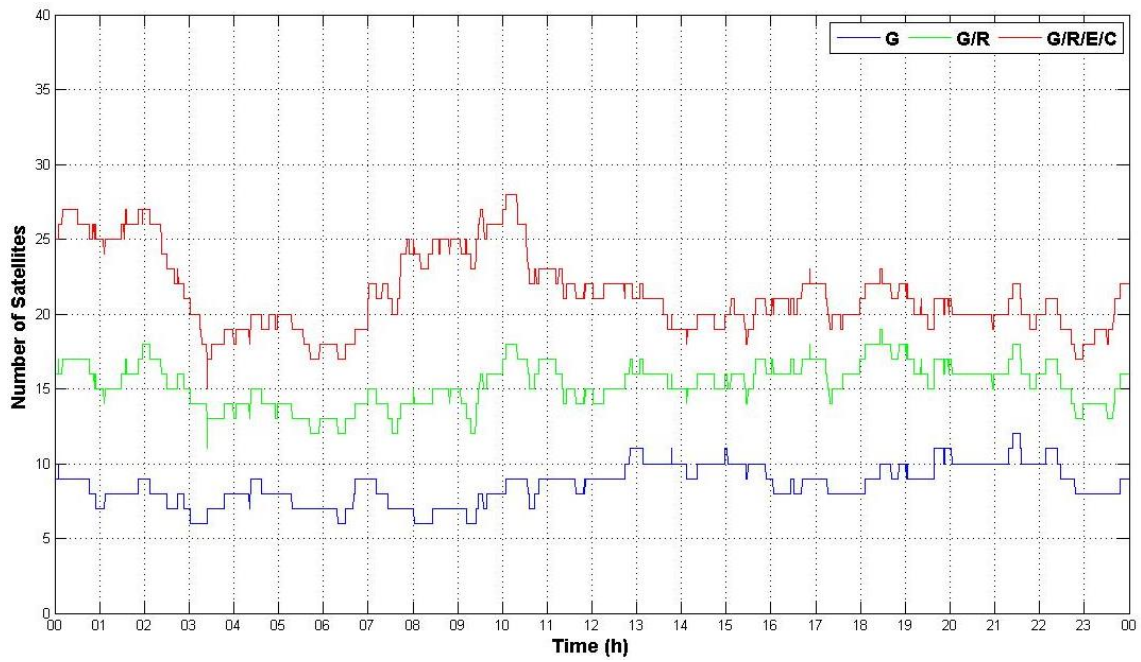


Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	5,54	5,37	6,91	5,14	4,72	6,03	5,38	5,41	4,96
	R	48,39	13,63	22,00	15,82	22,71	26,20	31,38	10,29	11,07
	G/R	4,02	3,18	6,21	5,47	6,45	3,09	5,08	5,22	5,20
	G/E	5,18	9,49	17,91	5,33	4,64	14,26	11,28	5,22	16,44
	G/C	7,06	6,23	8,33	6,16	6,92	6,42	6,64	7,58	10,63
	G/R/E/C	4,56	5,29	13,13	5,66	6,93	9,32	5,58	5,60	6,75
East	G	6,21	4,11	4,91	5,80	4,91	6,60	8,20	4,40	6,23
	R	43,53	46,63	53,14	26,67	76,21	78,81	52,02	22,84	26,54
	G/R	4,00	2,74	2,47	3,79	2,76	3,59	4,52	3,15	3,68
	G/E	5,48	7,47	12,50	5,76	6,08	8,84	21,06	4,16	9,67
	G/C	7,13	8,69	12,98	9,22	9,01	9,88	10,14	7,09	7,55
	G/R/E/C	4,57	5,16	8,03	4,68	4,36	5,92	12,98	3,69	4,02
Up	G	14,55	12,96	7,99	9,45	9,03	13,91	14,97	9,56	8,72
	R	72,06	83,36	85,11	55,58	113,69	157,53	81,39	48,29	41,38
	G/R	10,34	7,79	7,69	6,32	7,58	9,12	16,89	10,41	6,42
	G/E	15,19	14,62	18,21	10,14	8,63	15,24	22,74	8,76	10,16
	G/C	17,22	21,83	13,23	11,40	14,44	15,68	18,44	13,24	19,54
	G/R/E/C	10,53	8,69	8,47	6,61	8,73	8,88	23,64	10,63	10,99

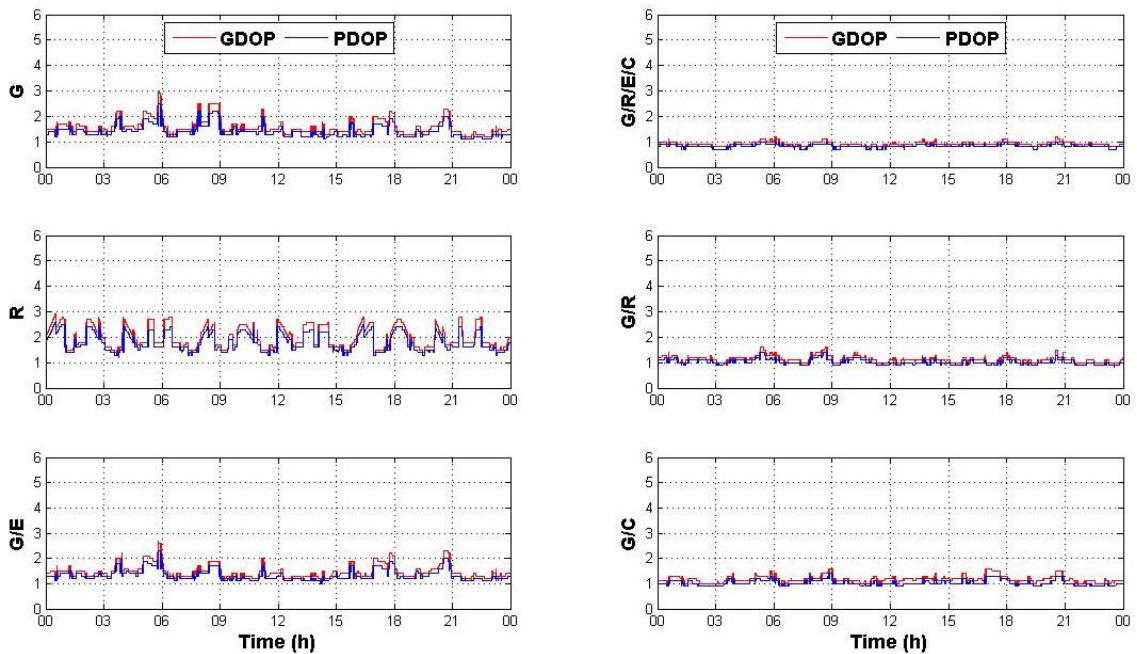
**Πίνακας 5-10:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών (forward) PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 - 14/01/2014)



**Σχήμα 5-43:** Ορατές τροχιές των δορυφόρων GNSS (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) από τον μόνιμο σταθμό CUT0 στις 13/01/2014, σε στερεογραφική προβολή



**Σχήμα 5-44:** Αριθμός ορατών δορυφόρων από τον μόνιμο σταθμό CUT0 στις 13/01/2014. Ο αριθμός των δορυφόρων GPS, GPS+GLONASS και GPS+GLONASS+Galileo+BeiDou φαίνονται με μπλε, πράσινο και κόκκινο χρώμα αντίστοιχα.



**Σχήμα 5-45:** Δείκτες PDOP και GDOP για τους δορυφορικούς σχηματισμούς στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014

Όπως φαίνεται στο Σχ. 5-44, ο αριθμός των δορυφόρων GPS κυμαίνεται μεταξύ 6 και 12 κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης ημέρας. Η προσθήκη των δορυφόρων GLONASS οδηγεί σε σημαντική αύξηση στο συνολικό αριθμό τους, ο οποίος είναι σχεδόν διπλάσιος του προηγούμενου. Η μετέπειτα προσθήκη των δορυφόρων Galileo και BeiDou οδηγεί σε περαιτέρω αύξηση του συνολικού αριθμού των δορυφόρων, ο οποίος κυμαίνεται μεταξύ 15 και 27. Με την ολοκλήρωση των δορυφορικών σχηματισμών Galileo και BeiDou, ο αριθμός αυτός θα αυξηθεί ακόμα περισσότερο, με αποτέλεσμα το μοντέλο της τεχνικής PPP να γίνει πολύ ισχυρό και να προσφέρει ικανοποιητική ακρίβεια θέσης σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών.

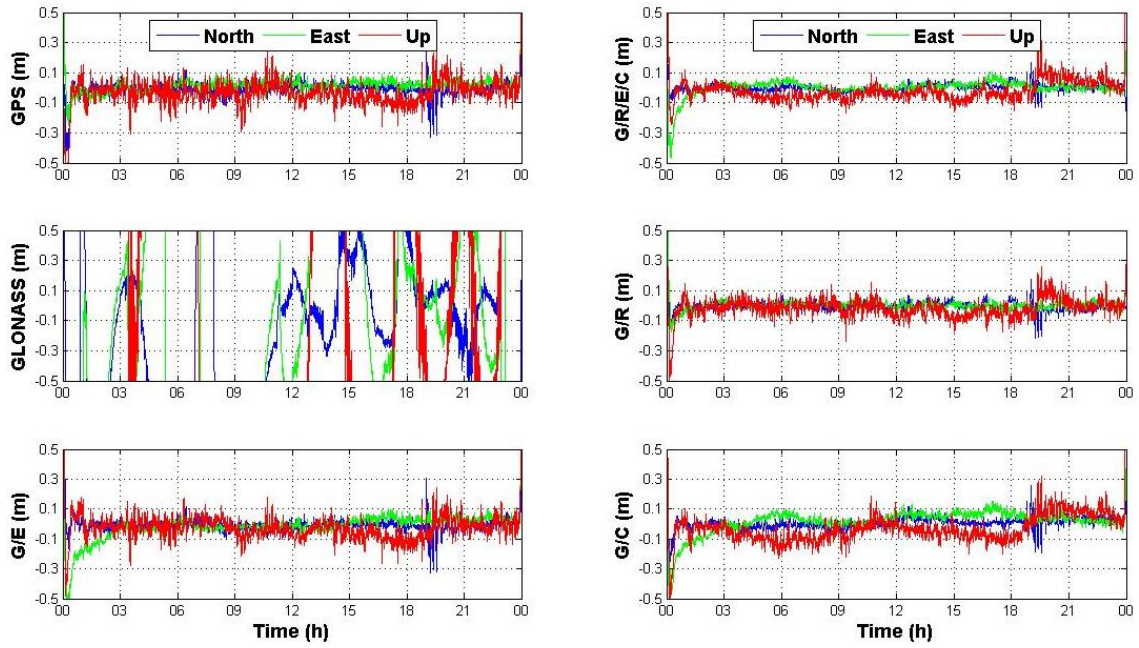
Το αποτέλεσμα που προκύπτει από αυτήν την σημαντική αύξηση του αριθμού των δορυφόρων μπορεί αρχικά να αποτυπωθεί στους δείκτες DOP. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με το Σχ. 5-45, παρατηρείται ότι οι τιμές PDOP και GDOP στην περίπτωση του GPS και του GLONASS βρίσκονται στο εύρος 1.1 – 3.0 και 1.3 – 2.9 αντίστοιχα. Ο συνδυασμός, ωστόσο, των δύο συστημάτων οδηγεί σε μείωση του εν λόγω εύρους, εφόσον οι δείκτες αυτοί κυμαίνονται μεταξύ 0.9 και 1.6. Ίδιο εύρος τιμών DOP επιτυγχάνεται στην περίπτωση του συστήματος G/C, ενώ στην περίπτωση G/E οι τιμές DOP βρίσκονται στο εύρος 1.1 – 2.7. Χρησιμοποιώντας, όμως, όλους τους διαθέσιμους δορυφόρους GNSS, λαμβάνει χώρα μία ιδιαίτερη μείωση στους δείκτες DOP, οι οποίοι κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 0.8 και 1.2 με αποτέλεσμα να υπάρχει μεγαλύτερο επίπεδο εμπιστοσύνης για τον προσδιορισμό θέσης με μεγάλη ακρίβεια.

Με το πέρας της συγκεκριμένης διερεύνησης, ακολούθησε η επεξεργασία των παραπάνω δεδομένων με την τεχνική επεξεργασίας PPP-kinematic και φίλτρο forward τόσο με την αυτόνομη χρήση των συστημάτων όσο και στην συνδυαστική χρήση, ώστε να διαπιστωθεί εάν και κατά πόσο υπάρχει βελτίωση της ακρίβειας στον εντοπισμό θέσης. Στο Σχ. 5-46, απεικονίζονται οι κινηματικές PPP λύσεις που προέκυψαν από την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/E, G/C, G/R/E/C) στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014.

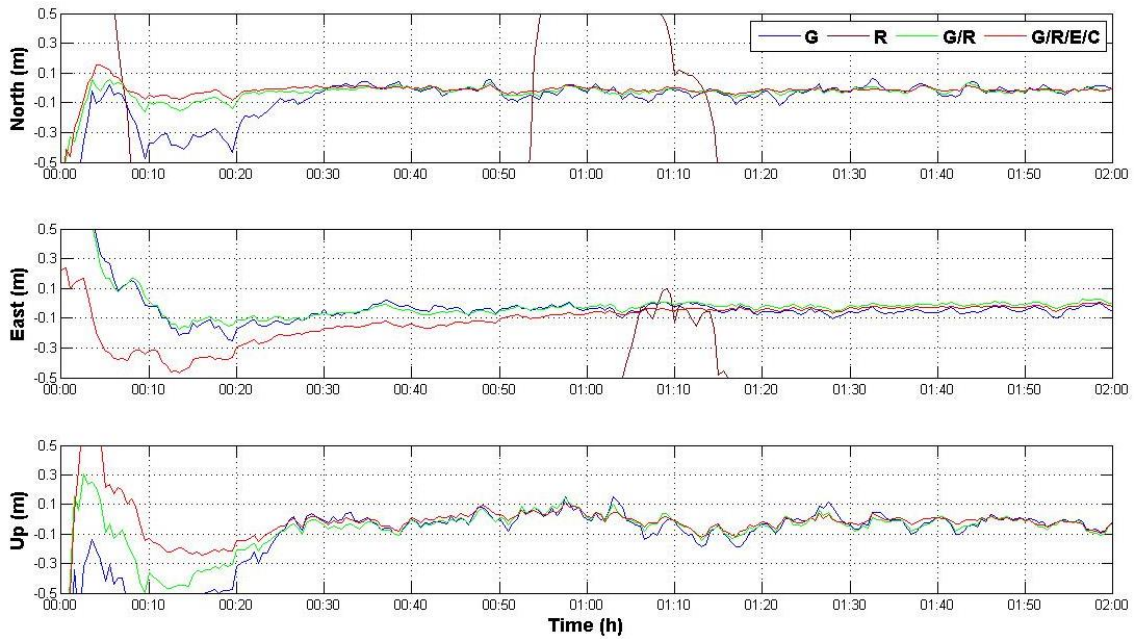
Από το Σχ. 5-46, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι με την αυτόνομη χρήση του συστήματος GLONASS δεν επιτυγχάνεται προσδιορισμός θέσης με υψηλή ακρίβεια, καθώς δεν έχει επιτευχθεί σύγκλιση της λύσης καθ' όλη τη διάρκεια του εξεταζόμενου 24ώρου. Αντίθετα, η χρήση μόνο του GPS παρέχει καλύτερη ποιότητα λύσης, καθώς φαίνεται ότι η αντίστοιχη χρονοσειρά παραμένει εντός του επιπέδου των 10 εκατοστών. Ωστόσο, παρατηρείται ότι με τη προσθήκη των μετρήσεων GLONASS το σύστημα G/R παρουσιάζει αρκετά καλύτερη συμπεριφορά σε σχέση με τη χρήση μόνο του GPS, καθώς έχει ελαττωθεί σε μεγάλο βαθμό ο θόρυβος της χρονοσειράς, η οποία χαρακτηρίζεται από μεγάλη σταθερότητα ως προς το χρόνο. Παράλληλα, είναι ξεκάθαρο ότι αντίστοιχη συμπεριφορά παρουσιάζει ο συνδυασμός των τεσσάρων δορυφορικών σχηματισμών, G/R/E/C, του οποίου η χρονοσειρά είναι αρκετά ομαλοποιημένη και στο μεγαλύτερο διάστημα επεξεργασίας βρίσκεται κάτω από το επίπεδο των 10 εκατοστών.

Όσο αφορά τους συνδυασμούς G/E και G/C, αυτοί οδηγούν σε μικρή βελτίωση της ποιότητας των κινηματικών PPP λύσεων, καθώς και στις δύο περιπτώσεις η χρονοσειρά λύσης είναι πιο σταθερή. Όμως, παρατηρείται ότι στους συγκεκριμένους συνδυασμούς ο χρόνος σύγκλισης των λύσεων κατά τη διεύθυνση East είναι πιο μεγάλος τόσο από τις λύσεις που προκύπτουν από τη χρήση μόνο του GPS όσο και από τους συνδυασμούς G/R και G/R/E/C.

Με μία σύντομη ανάγνωση του Σχ. 5-47, μπορεί κανείς να διακρίνει ότι οι PPP λύσεις από το σύστημα GPS απαιτούν χρονικό διάστημα 25, 28 και 25 λεπτών προκειμένου να συγκλίνουν στο επίπεδο των 10 εκατοστών. Με τη προσθήκη των μετρήσεων GLONASS, οι χρόνοι αυτοί μειώθηκαν στα 20, 20 και 24 λεπτά αντίστοιχα. Παρ' όλα αυτά, παρατηρείται ότι αυτοί οι χρόνοι σύγκλισης μπορούν να μειωθούν περαιτέρω με τη προσθήκη των μετρήσεων Galileo και BeiDou στο προηγούμενο συνδυασμό, με εξαίρεση τη διεύθυνση East. Στην τελευταία διεύθυνση απαιτείται μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, περίπου 50 λεπτά, για να επιτευχθεί σύγκλιση, ενώ στις υπόλοιπες απαιτούνται 2.5 και 23 λεπτά αντίστοιχα. Φαίνεται, δηλαδή, ότι υπάρχει αισθητή μείωση του χρόνου σύγκλισης με τη χρήση του συστήματος G/R/E/C κατά τη διεύθυνση North.



**Σχήμα 5-46:** Κινηματικές PPP (forward) λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/E, G/C, G/R/E/C) στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014



**Σχήμα 5-47:** Πρώτο δίκωρο των κινηματικών PPP (forward) λύσεων ανά διεύθυνση για την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014

Εν συνεχεία, εξετάστηκαν δύο επιπλέον χρονικά διαστήματα παρατήρησης (1 ώρα και 15 λεπτών), όπως και στον προηγούμενο σταθμό, έτσι ώστε να διερευνηθεί η συμβολή του συνδυασμού των διαθέσιμων συστημάτων GNSS στην παρεχόμενη ακρίβεια της μεθόδου PPP σε μικρές χρονικές διάρκειες. Στον Πιν. 5-11, παρατίθενται οι τιμές RMSD των κινηματικών (forward) PPP λύσεων για διαφορετικά διαστήματα παρατήρησης.

Direction	System	Observation Period		
		24h	1h	0.25h
North	G	6,08	19,45	37,88
	R	1310,30	1511,90	453,87
	G/R	3,44	18,38	25,01
	G/E	4,50	18,72	35,77
	G/C	5,02	25,48	46,15
	G/R/E/C	3,21	11,89	25,54
East	G	6,75	45,24	22,93
	R	2141,75	1062,04	701,06
	G/R	5,01	31,04	15,54
	G/E	8,59	25,47	22,47
	G/C	7,81	20,97	28,93
	G/R/E/C	5,48	16,39	22,98
Up	G	10,80	24,48	130,04
	R	5898,96	5479,14	5397,71
	G/R	7,14	19,78	78,98
	G/E	8,58	20,00	129,50
	G/C	18,16	24,62	90,78
	G/R/E/C	12,17	13,67	45,81

**Πίνακας 5-11:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών (forward) PPP λύσεων στον σταθμό CUT0 για διαφορετικά χρονικά διαστήματα με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων, στις 13/01/2014

Με μία σύντομη ανάγνωση του παραπάνω πίνακα, συμπεραίνει κανείς ότι οι συνδυασμοί G/R και G/R/E/C παρέχουν τις μικρότερες τιμές RMSD και στις 3 διευθύνσεις, για τα τρία διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι οι τιμές RMSD που προκύπτουν από την επεξεργασία μόνο δεδομένων GPS, σε διάστημα 24 ωρών, μειώνονται περίπου κατά το μισό όταν γίνεται προσθήκη των δεδομένων GLONASS (σύστημα G/R) όσο και των δεδομένων Galileo και BeiDou (σύστημα G/R/E/C). Επιπλέον, στο χρονικό διάστημα 1 ώρα παρατηρείται μείωση 5.5% και 38.9% στις τιμές RMSD που προκύπτουν από τη χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C αντίστοιχα, σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές από το GPS. Όσο αφορά το χρονικό διάστημα 15 λεπτών, παρατηρείται μείωση στην τιμή RMSD που παρέχεται από το GPS κατά 34% τόσο από τη χρήση του συστήματος G/R όσο και του G/R/E/C. Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι το σύστημα G/E παρέχει παραπλήσιες τιμές RMSD με αυτές των δύο παραπάνω συστημάτων.

Κατά τη διεύθυνση East, παρατηρείται ότι το σύστημα G/R είναι αυτό που παρέχει τη βέλτιστη ακρίβεια θέσης στα χρονικά διαστήματα 24 ωρών και 15 λεπτών, με την μείωση των τιμών RMSD να είναι της τάξης του 26% και 32% αντίστοιχα σε σχέση με τη χρήση μόνο του GPS. Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι στο χρονικό διάστημα 1 ώρα υπάρχει μεν μείωση των τιμών RMSD από το σύστημα G/R κατά 31% σε σχέση με τη χρήση δεδομένων μόνο GPS, αλλά με την προσθήκη μετρήσεων Galileo και BeiDou η μείωση αυτή σχεδόν διπλασιάζεται (64%). Φαίνεται, δηλαδή, όπως και στην προηγούμενη διεύθυνση, ότι η χρήση δεδομένων από πολλαπλά συστήματα βελτιώνει την ακρίβεια θέσης κατά τη διεύθυνση East, η οποία υστερεί σε ακρίβεια στην τεχνική PPP (Ge et al. 2008).



Όσο αφορά τη διεύθυνση Up, τα αποτελέσματα είναι παρόμοια στο διάστημα παρατηρήσεων 1 ώρας, καθώς η χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C οδηγούν σε μείωση των τιμών RMSD κατά 19% και 44% αντίστοιχα σε σχέση με τη χρήση μόνο των δεδομένων GPS. Επιπλέον, στη χρονική διάρκεια 24 ωρών φαίνεται να υπερτερεί σε ακρίβεια το σύστημα G/R, ενώ στη χρονική διάρκεια 15 λεπτών το σύστημα G/R/E/C.

Προκειμένου, ωστόσο, να σχηματισθεί μία γενικότερη εικόνα των παραπάνω, κρίθηκε απαραίτητο να επεξεργασθούν δεδομένα από το διάστημα ημερών 06/01/2014 – 14/01/2014. Στον Πίν. 5-12, παρατίθενται οι τιμές RMSD των κινηματικών (forward) PPP λύσεων από την αυτόνομη και συνδυαστική χρήση συστημάτων για διάστημα παρατηρήσεων 24 ωρών.

Σύμφωνα με τον Πίν. 5-12, γίνεται αντιληπτό ότι τα συστήματα G/R και G/R/E/C παρέχουν τη βέλτιστη ακρίβεια θέσης κατά τη διεύθυνση North και κατά τη διάρκεια των εξεταζόμενων ημερών, εφόσον υπάρχει μείωση των τιμών RMSD κατά 44% και 51% αντίστοιχα σε σύγκριση με τις τιμές που προκύπτουν από τη χρήση μόνο του GPS. Φαίνεται, λοιπόν, ότι αν και η διεύθυνση North είναι η διεύθυνση που υπολογίζεται με τη μεγαλύτερη ακρίβεια από την τεχνική PPP, υπάρχει περιθώριο αύξησης αυτής με τη χρήση δεδομένων από περισσότερα του ενός δορυφορικά συστήματα. Όσο αφορά τα υπόλοιπα συστήματα, γίνεται αντιληπτό ότι παρέχουν καλύτερη ακρίβεια θέσης από τη χρήση μόνο του GPS, με εξαίρεση το σύστημα GLONASS με το οποίο η μέγιστη ακρίβεια θέσης που επιτυγχάνεται είναι τα 6.5 μέτρα.

Έπειτα, μπορεί κανείς να διακρίνει ότι κατά τη διεύθυνση East το σύστημα G/R/E/C δεν είναι αυτό που παρέχει τη βέλτιστη ακρίβεια, αλλά το G/R το οποίο παρουσιάζει μείωση 37% στις τιμές RMSD με τις αντίστοιχες από τη χρήση μόνο του GPS. Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι η χρήση μόνο του GPS παρέχει καλύτερη ακρίβεια από τα συστήματα G/E και G/C, που μπορεί να οφείλεται κυρίως στον προσανατολισμό των δορυφορικών συστημάτων.

Όπως και στην προηγούμενη διεύθυνση, το σύστημα G/R είναι αυτό που υπερέχει σε ακρίβεια εντοπισμού θέσης από τα υπόλοιπα συστήματα κατά τη διεύθυνση Up, ενώ η ακρίβεια του συστήματος G/R/E/C είναι παραπλήσια του πρώτου. Επιπλέον, φαίνεται ότι το σύστημα GLONASS δεν είναι σε θέση να παρέχει μόνο του υψηλή ακρίβεια, καθώς η ακρίβεια που παρέχει κυμαίνεται από μερικά έως και δεκάδες μέτρα.

Όσο αφορά τα χρονικά διαστήματα 1 ώρας και 15 λεπτών, αντίστοιχοι πίνακες με τις τιμές RMSD παρατίθενται στο Παράρτημα. Όπως φαίνεται από τους πίνακες αυτούς, υπάρχει βελτίωση της ακρίβειας με τη χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS στην πλειονότητα των περιπτώσεων. Συγκεκριμένα, υπάρχει 48% μέση μείωση των τιμών RMSD με τη χρήση του συστήματος G/R κατά τη διεύθυνση North, ενώ με τη χρήση του συστήματος G/R/E/C η μείωση είναι της τάξης του 20% στο μεγαλύτερο μέρος των εξεταζόμενων ημερών. Κατά τη διεύθυνση East, ωστόσο, η προσθήκη δεδομένων από όλο και περισσότερα δορυφορικά συστήματα οδηγεί σε σημαντική μείωση των τιμών RMSD των κινηματικών PPP λύσεων, το οποίο φάνηκε και στις προηγούμενες περιπτώσεις. Αναλυτικά, η μείωση των τιμών αυτών είναι της τάξης του 33% και 50% με τη χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C αντίστοιχα σε σύγκριση με τη χρήση μόνο του GPS. Όσο αφορά τη διεύθυνση Up, παρατηρείται ότι υπάρχει μείωση των τιμών RMSD, η οποία όμως είναι ίδια (38%) για τα συστήματα G/R και G/R/E/C.

Παρόμοια είναι τα αποτελέσματα και στο χρονικό διάστημα 15 λεπτών, με τη διαφορά ότι στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα οι τιμές RMSD είναι σχετικά αυξημένες σε σχέση με μεγαλύτερες χρονικές διάρκειες. Αυτό προφανώς οφείλεται στο γεγονός ότι η τεχνική PPP απαιτεί χρονικό διάστημα τουλάχιστον 15-30 λεπτών προκειμένου να επιτευχθεί σύγκλιση της λύσης στο επίπεδο των 10 εκατοστών. Ως αποτέλεσμα, η διάρκεια των 15 λεπτών δυσχεραίνει τον προσδιορισμό θέσης με υψηλή ακρίβεια με χρήση της τεχνικής PPP.

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	9,99	8,08	10,71	10,21	8,86	11,25	6,72	6,08	7,64
	R	650,04	1536,34	1566,93	804,01	1069,47	2823,98	1000,38	1310,30	1515,70
	G/R	6,25	4,37	5,24	5,74	4,34	5,96	3,94	3,44	5,18
	G/E	6,93	7,99	10,64	5,19	6,62	11,07	10,48	4,50	7,55
	G/C	6,71	5,31	8,24	4,44	4,65	8,17	4,54	5,02	6,51
	G/R/E/C	5,57	3,94	5,66	3,40	3,67	4,40	3,75	3,21	4,50
East	G	7,15	6,63	7,01	5,68	6,53	9,85	6,71	6,75	6,99
	R	898,71	2379,06	2154,99	1612,86	2009,26	3382,40	2332,84	2141,75	2490,56
	G/R	4,54	4,48	3,88	3,43	4,07	5,53	4,07	5,01	4,94
	G/E	10,11	6,83	7,19	6,21	13,19	8,96	7,34	8,59	7,36
	G/C	10,60	8,08	6,67	7,63	9,42	10,01	11,87	7,81	10,36
	G/R/E/C	8,15	5,84	4,71	5,03	9,58	5,59	8,38	5,48	7,17
Up	G	16,34	16,17	17,82	13,71	18,95	18,26	16,60	10,80	12,82
	R	4219,43	6538,10	7943,79	5344,90	5050,17	19794,12	8490,29	5898,96	6336,80
	G/R	8,32	10,16	10,86	7,38	11,99	10,71	10,69	7,14	11,26
	G/E	25,98	14,52	18,22	16,16	13,62	18,63	24,40	8,58	11,97
	G/C	18,20	16,89	23,30	19,43	16,82	29,74	16,62	18,16	16,44
	G/R/E/C	17,89	11,89	17,02	14,52	10,36	19,07	12,77	12,17	10,87

**Πίνακας 5-12:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών (forward) PPP λύσεων στον σταθμό CUT0 για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)



### 5.2.3 Κινηματικές PPP λύσεις (backward)

Στην υποενότητα αυτή, λαμβάνει χώρα η ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων με την τεχνική επεξεργασίας PPP-kinematic (backward) και τη χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS για διαφορετικά διαστήματα παρατηρήσεων.

Στην προκειμένη περίπτωση, χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια δεδομένα που επεξεργάστηκαν με την τεχνική PPP-kinematic (forward), ώστε να διαπιστωθεί ο βέλτιστος τρόπος επεξεργασίας σε κινηματικό τύπο εντοπισμού. Έτσι, έγινε επεξεργασία των δεδομένων με την τεχνική επεξεργασίας PPP-kinematic και φίλτρο backward, το οποίο αρχικά σαρώνει τα δεδομένα και τα επεξεργάζεται από το τέλος προς την αρχή ώστε να εξομαλύνει τον τυχόν θόρυβο που υπάρχει. Στο Σχ. 5-48, απεικονίζονται οι κινηματικές PPP λύσεις που προέκυψαν από την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/E, G/C, G/R/E/C) στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014.

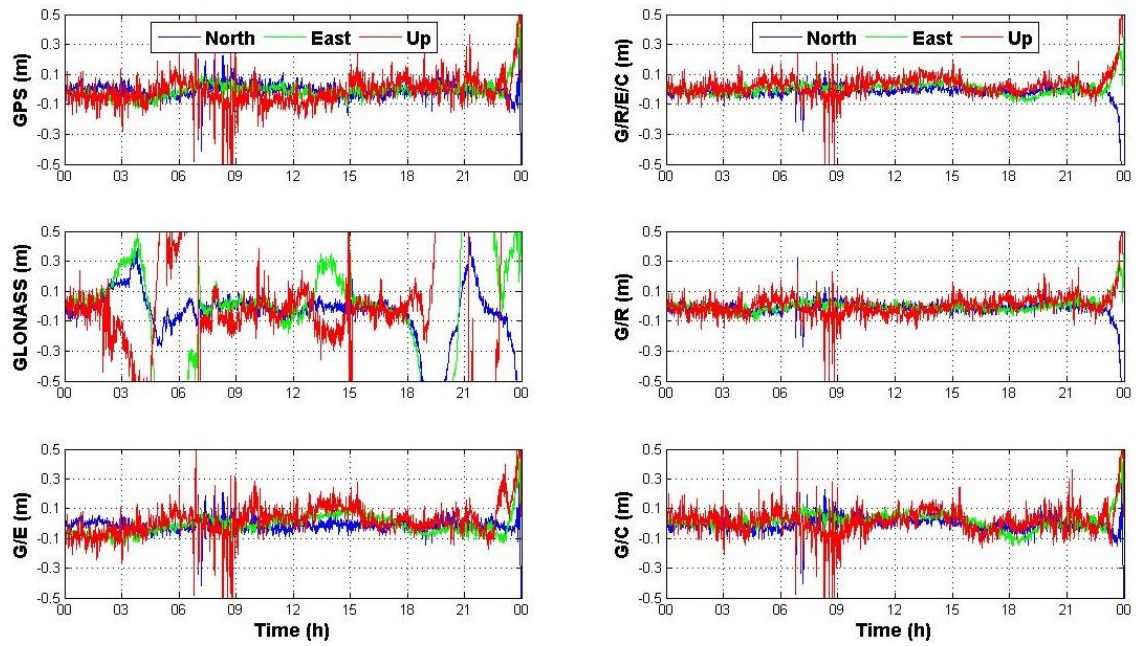
Το γενικό συμπέρασμα από το συγκεκριμένο σχήμα είναι ότι οι προκύπτουσες κινηματικές PPP λύσεις με φίλτρο backward έχουν εξομαλυνθεί μερικώς σε σχέση με τις αντίστοιχες λύσεις που προέκυψαν με το φίλτρο forward. Η εξομαλυνση αυτή είναι ιδιαίτερα αισθητή στις PPP λύσεις από τα συστήματα G, G/R, G/C και G/R/E/C. Παράλληλα, φαίνεται ότι τη βέλτιστη ποιότητα κινηματικών PPP λύσεων παρέχουν τα συστήματα G/R και G/R/E/C, αφού είναι τα μόνα που χαρακτηρίζονται από υψηλή σταθερότητα κατά την εξέλιξη της λύσης τους ενώ παράλληλα δεν υπάρχουν πολλές αποκλίσεις από το επίπεδο των 10 εκατοστών.

Ακολουθως, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η αυτόνομη χρήση του GLONASS δεν παρέχει ικανοποιητικές PPP λύσεις, καθώς δεν επιτυγχάνεται η σύγκλιση τους στο εξεταζόμενο διάστημα, ενώ παράλληλα δημιουργούνται αρκετά spikes κατά την εξέλιξη των λύσεων. Όσο αφορά τις λύσεις των συστημάτων G/E και G/C, αυτές χαρακτηρίζονται από περισσότερη σταθερότητα σε σχέση με τη χρήση μόνο του GPS, το οποίο είναι αποτέλεσμα της προσθήκης των δορυφόρων Galileo και BeiDou. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν ορισμένα χρονικά διαστήματα στα οποία οι εν λόγω λύσεις αποκλίνουν από το επίπεδο των 10 εκατοστών.

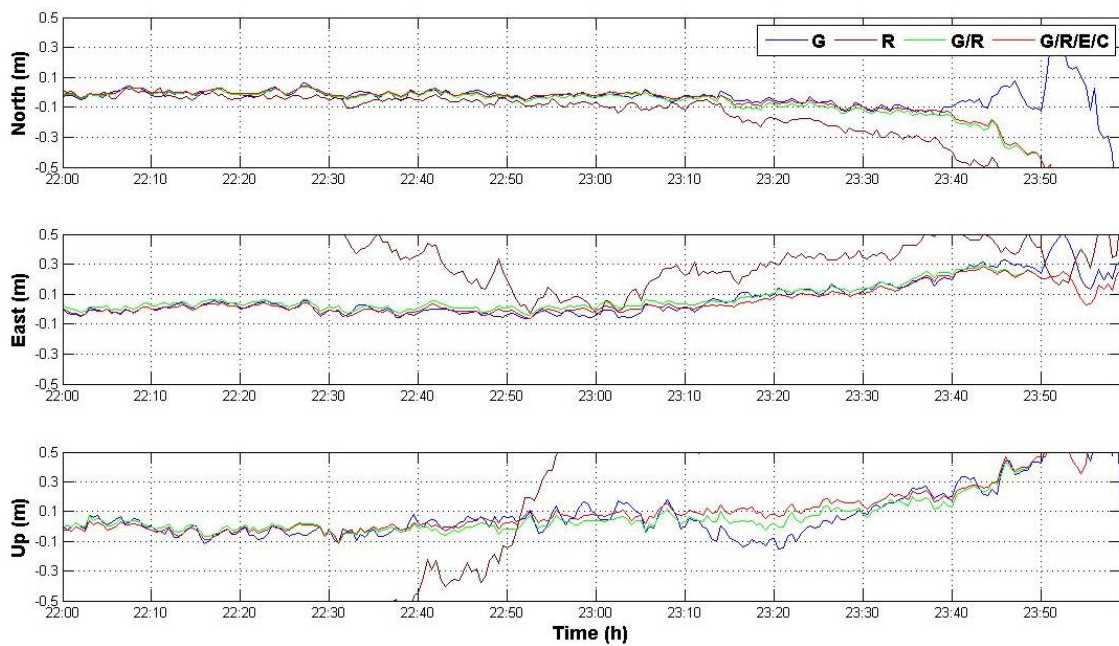
Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι η τεχνική επεξεργασίας PPP-kinematic με το φίλτρο backward δεν μπορεί να εφαρμοσθεί σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου, καθώς αυτή απαιτεί την εκ των προτέρων ύπαρξη των δεδομένων προκειμένου να γίνει σάρωση και επεξεργασία από το τέλος προς την αρχή τους. Παρ' όλα αυτά, η συγκεκριμένη τεχνική φαίνεται να εξομαλύνει σε μεγάλο βαθμό τον θόρυβο που δημιουργείται σε κινηματικές λύσεις με φίλτρο forward.

Όπως φαίνεται στο Σχ. 5-49, οι PPP λύσεις που προκύπτουν από τη χρήση μόνο του GPS απαιτούν χρονικό διάστημα 10, 40 και 30 λεπτά προκειμένου να επιτευχθεί η σύγκλιση τους στο επίπεδο των 10 εκατοστών κατά τις διευθύνσεις North, East και Up αντίστοιχα. Αν και δεν υπάρχει βελτίωση στον χρόνο σύγκλισης με τη χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C, παρατηρείται ότι οι PPP λύσεις που προκύπτουν από τα τελευταία συστήματα χαρακτηρίζονται από μεγάλη σταθερότητα κατά τη διάρκεια του χρόνου, ενώ δεν φαίνεται να αποκλίνουν από το επίπεδο των 10 εκατοστών.

Προκειμένου να γίνει μία ποσοτική αξιολόγηση των παραπάνω, κρίθηκε απαραίτητος ο υπολογισμός των τιμών RMSD των κινηματικών PPP λύσεων. Επειδή, όμως, το χρονικό διάστημα των 24 ωρών είναι σχετικά μεγάλο, ακολούθησε η επεξεργασία των ίδιων δορυφορικών δεδομένα για διαστήματα διάρκειας 1 ώρας και 15 λεπτών. Στον Πίν. 5-13, λοιπόν, παρατίθενται οι τιμές RMSD των κινηματικών (backward) PPP λύσεων για διαφορετικά διαστήματα παρατήρησης και διαφορετικούς συνδυασμούς συστημάτων.



**Σχήμα 5-48:** Κινηματικές PPP (backward) λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/E, G/C, G/R/E/C) στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014



**Σχήμα 5-49:** Πρώτο δώρο των κινηματικών PPP (backward) λύσεων ανά διεύθυνση για την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014

Direction	System	Observation Period		
		24h	1h	0.25h
North	G	6,22	28,23	37,18
	R	22,37	49,00	34,62
	G/R	8,79	22,41	17,20
	G/E	5,86	28,23	54,82
	G/C	6,19	29,82	87,83
	G/R/E/C	8,69	27,07	60,61
East	G	5,63	10,52	35,90
	R	55,39	79,36	26,40
	G/R	4,22	8,94	21,93
	G/E	6,84	10,52	58,96
	G/C	6,29	49,55	78,04
	G/R/E/C	4,47	32,73	96,14
Up	G	11,93	66,65	61,36
	R	62,49	122,55	183,15
	G/R	9,20	31,97	76,77
	G/E	12,55	66,65	28,04
	G/C	11,54	101,04	51,08
	G/R/E/C	9,36	69,41	28,20

**Πίνακας 5-13:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών (backward) PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διαφορετικά χρονικά διαστήματα, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων, στις 13/01/2014

Με μία γρήγορη επισκόπηση του παραπάνω πίνακα, φαίνεται ότι η μείωση του διαστήματος παρατηρήσεων οδηγεί σε αύξηση των τιμών RMSD των κινηματικών PPP λύσεων. Συγκεκριμένα, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι στη διάρκεια των 24 ωρών όλα τα συστήματα, εκτός από το GLONASS, παρέχουν τιμές RMSD μικρότερες των 10 εκατοστών. Επιπλέον, είναι εμφανές ότι τα συστήματα G/R και G/R/E/C παρέχουν την βέλτιστη ακρίβεια κατά τις διευθύνσεις East και Up, μεταξύ των οποίων οι διαφορές είναι αμελητέες. Κατά τη διεύθυνση North, η βέλτιστη ακρίβεια παρέχεται από το σύστημα G/E, ενώ παραπλήσια ακρίβεια παρέχουν τα συστήματα G/C και το GPS μόνο του.

Όσο αφορά τη διάρκεια 1 ώρας, φαίνεται ότι το σύστημα G/R παρέχει τη βέλτιστη ακρίβεια θέσης εφόσον παρουσιάζεται 21%, 15% και 52% μείωση των τιμών RMSD κατά τις διευθύνσεις North, East και Up αντίστοιχα, σε σύγκριση με τη χρήση μόνο του συστήματος GPS. Ωστόσο, αν και στις προηγούμενες περιπτώσεις η προσθήκη δεδομένων από περισσότερα του ενός δορυφορικά συστήματα συνέβαλλε στην αύξηση ακρίβειας θέσης κατά τη διεύθυνση East, δεν συμβαίνει το ίδιο στη συγκεκριμένη διάρκεια. Το γεγονός αυτό οφείλεται πιθανώς στη κακή γεωμετρία των δορυφόρων Galileo και BeiDou που δημιουργείται στο συγκεκριμένο διάστημα.

Στο διάστημα 15 λεπτών, παρατηρείται ότι η βέλτιστη ακρίβεια θέσης κατά τις διευθύνσεις North και East παρέχεται από το σύστημα G/R, ενώ κατά τη διεύθυνση Up από το σύστημα G/E. Συγκεκριμένα, η μείωση που παρατηρείται στις τιμές RMSD των κινηματικών PPP λύσεων από τη χρήση μόνο του GPS είναι της τάξης του 53%, 39% και 54% αντίστοιχα. Έπειτα, δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια περαιτέρω βελτίωση με τη χρήση του συστήματος G/R/E/C καθώς φαίνεται ότι η χρήση του συστήματος G/C παρέχει χειρότερα αποτελέσματα σε σχέση με το σύστημα GPS. Συνεπώς, φαίνεται ότι είτε η γεωμετρία των δορυφόρων BeiDou ήταν κακή στο συγκεκριμένο διάστημα, είτε τα δεδομένα τους εμπεριείχαν σημαντικό επίπεδο θορύβου.

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	5,05	6,73	5,29	6,47	6,91	8,20	5,30	6,22	5,42
	R	31,13	14,19	26,56	25,09	17,25	20,82	35,24	22,37	15,44
	G/R	3,64	5,36	6,42	7,04	3,60	9,51	7,09	8,79	6,74
	G/E	4,85	29,43	4,90	6,23	16,65	32,18	5,28	5,86	36,41
	G/C	5,58	21,64	12,59	12,22	7,19	9,09	7,07	6,19	23,75
	G/R/E/C	4,20	11,61	4,62	13,17	9,61	12,15	7,20	8,69	12,92
East	G	7,31	5,90	6,98	6,38	6,13	8,46	6,18	5,63	5,42
	R	50,01	25,63	67,96	74,83	43,57	70,55	87,90	55,39	32,84
	G/R	3,68	3,92	5,01	4,21	4,19	4,22	4,60	4,22	3,44
	G/E	4,82	14,52	5,91	5,66	8,05	16,95	6,27	6,84	6,61
	G/C	6,24	10,03	28,40	15,48	11,03	9,64	8,75	6,29	8,31
	G/R/E/C	3,98	14,53	17,60	9,30	6,82	7,06	4,61	4,47	11,94
Up	G	14,58	13,31	12,72	12,74	10,79	17,09	9,06	11,93	14,03
	R	81,81	58,89	95,70	134,85	103,20	132,42	161,94	62,49	57,71
	G/R	8,28	8,16	7,01	9,37	14,33	16,36	8,78	9,20	11,35
	G/E	13,23	266,68	13,62	12,42	14,77	174,79	9,94	12,55	74,03
	G/C	13,64	12,91	67,31	43,38	12,11	21,28	12,43	11,54	17,98
	G/R/E/C	9,91	73,30	32,97	10,83	11,15	29,66	9,49	9,36	12,25

**Πίνακας 5-14:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών (backward) PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 - 14/01/2014)

Προκειμένου να υπάρξει μία πιο συνολική εικόνα των παραπάνω, κρίθηκε απαραίτητο να επεξεργασθούν δεδομένα από το διάστημα ημερών 06/01/2014 – 14/01/2014. Στον Πίν. 5-14, παρατίθενται οι τιμές RMSD των κινηματικών (backward) PPP λύσεων από την αυτόνομη και συνδυαστική χρήση συστημάτων για διάστημα παρατηρήσεων 24 ωρών.

Από τον παραπάνω πίνακα, μπορεί εύκολα να συμπεράνει κανείς ότι η βέλτιστη ακρίβεια σε όλες τις διευθύνσεις παρέχεται από τη χρήση του συστήματος G/R στην πλειονότητα των περιπτώσεων. Ωστόσο, αισθητή βελτίωση παρατηρείται μόνο κατά τη διεύθυνση East, όπου υπάρχει μείωση των τιμών RMSD κατά 35% σε σύγκριση με τη χρήση μόνο του GPS. Επιπλέον, είναι εμφανές ότι η χρήση μόνο δεδομένων GLONASS δεν μπορεί να παρέχει υψηλή ποιότητα λύσεων, καθώς οι τιμές RMSD που παρουσιάζουν οι κινηματικές PPP λύσεις του αγγίζουν τα 35, 88 και 135 εκατοστά αντίστοιχα.

Ακολούθως, έλαβε χώρα η ίδια επεξεργασία στον μόνιμο σταθμό CUT0 στον οποίο, όπως φάνηκε προηγουμένως, η χρήση των δεδομένων Galileo και BeiDou συνέβαλλε ουσιαστικά στην αύξηση της ακρίβειας προσδιορισμού θέσης με τη μέθοδο PPP. Με το πέρας της επεξεργασίας των δεδομένων του συγκεκριμένου σταθμού με την τεχνική PPP-kinematic και το φίλτρο backward, προέκυψε το Σχ. 5-50. Σε αυτό απεικονίζονται οι κινηματικές PPP λύσεις που προέκυψαν από την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/E, G/C, G/R/E/C) στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014.

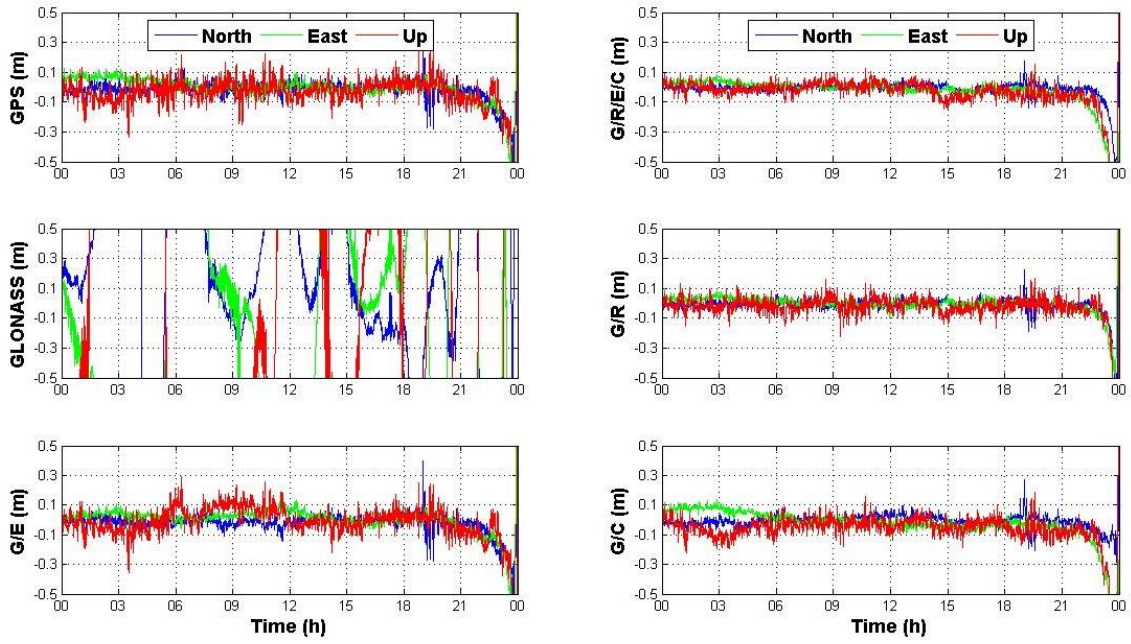
Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα, είναι εμφανής η βελτίωση στις κινηματικές PPP λύσεις με τη χρήση του φίλτρου backward, καθώς ένα μεγάλο μέρος του θορύβου που υπήρχε στις κινηματικές PPP λύσεις με φίλτρο forward έχει εξομαλυνθεί. Ωστόσο, δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια βελτίωση στις PPP λύσεις που προκύπτουν από τη χρήση του GLONASS, καθώς δεν έχει επιτευχθεί σύγκλιση ούτε με το φίλτρο αυτό. Η επιπλέον, όμως, προσθήκη των μετρήσεων GLONASS, Galileo και BeiDou φαίνεται να έχει θετική επίδραση στις PPP λύσεις. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι οι κινηματικές PPP λύσεις που προκύπτουν από τα συστήματα G/R, G/C και G/R/E/C παρουσιάζουν αισθητά καλύτερη ποιότητα σε σχέση με τη χρήση μετρήσεων μόνο από το GPS.

Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι οι προκύπτουσες κινηματικές PPP λύσεις με τη χρήση του φίλτρου backward από τα συστήματα G/R και G/R/E/C παρουσιάζουν υψηλή σταθερότητα κατά τη διάρκεια του χρόνου, ενώ παράλληλα δεν παρατηρείται να υπάρχει απόκλιση των λύσεων από το επίπεδο των 10 εκατοστών. Δεν παρατηρείται κάτι αντίστοιχο για τις PPP λύσεις του συστήματος G/E, καθώς φαίνεται ότι υπάρχει απόκλιση από το επίπεδο των 10 εκατοστών κατά τη διεύθυνση Up στο χρονικό διάστημα 06:00 – 12:00.

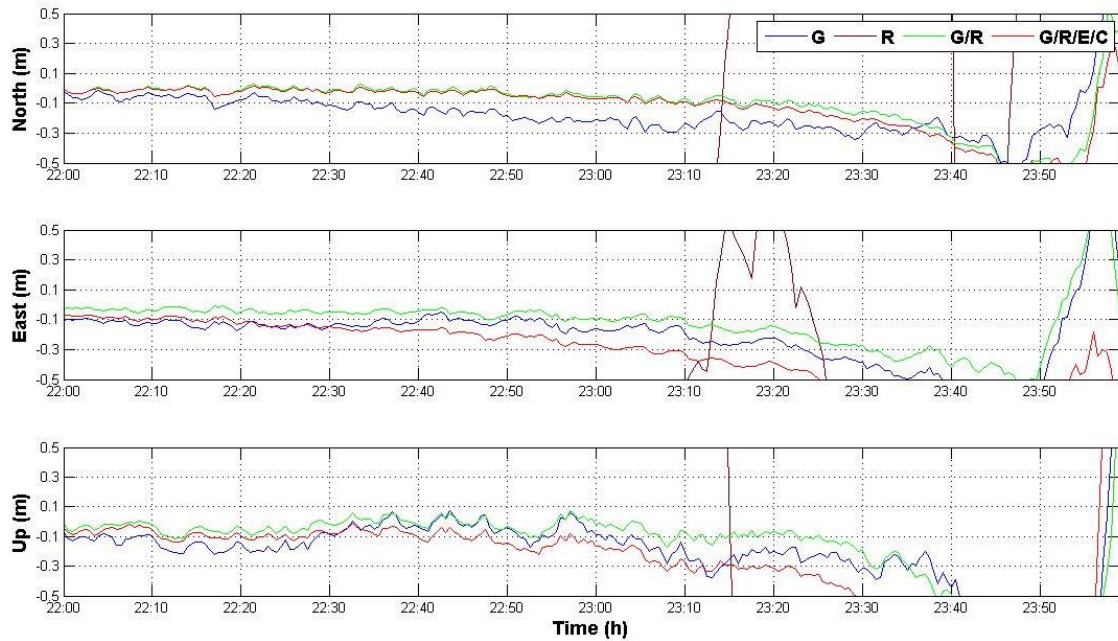
Όπως φαίνεται στο Σχ. 5-51, οι PPP λύσεις που προκύπτουν από τη χρήση μόνο του GPS απαιτούν χρονικό διάστημα 90, 70 και 60 λεπτών προκειμένου να επιτευχθεί η σύγκλιση τους στο επίπεδο των 10 εκατοστών κατά τις διευθύνσεις North, East και Up αντίστοιχα. Με την προσθήκη, όμως, των μετρήσεων GLONASS φαίνεται να υπάρχει βελτίωση στον απαιτούμενο χρόνο σύγκλισης. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι οι PPP λύσεις από το σύστημα G/R απαιτούν χρονικό διάστημα 40, 50 και 35 λεπτών, δηλαδή υπάρχει μείωση 55%, 29% και 42% στον χρόνο σύγκλισης κατά τις διευθύνσεις North, East και Up.

Παρ' όλα αυτά, δεν υπάρχει περαιτέρω βελτίωση του χρόνου σύγκλισης των λύσεων με την προσθήκη των μετρήσεων Galileo και BeiDou, ενώ κατά τη διεύθυνση East φαίνεται να αυξάνεται ο συγκεκριμένος χρόνος αντί να μειώνεται. Όσο αφορά τη χρήση μόνο του συστήματος GLONASS, είναι εμφανές ότι δεν επιτυγχάνεται σύγκλιση των PPP λύσεων.

Για να υπάρξει, ωστόσο, ποσοτική αξιολόγηση των παραπάνω, κρίθηκε απαραίτητο να υπολογισθούν οι τιμές RMSD των κινηματικών PPP λύσεων τόσο στο διάστημα 24 ωρών, όσο και σε μικρότερα διαστήματα (1 ώρα και 15 λεπτών) ώστε να διαπιστωθεί η συμβολή των πολλαπλών συστημάτων στην επεξεργασία PPP. Στον Πίν. 5-15, παρατίθενται οι τιμές RMSD των κινηματικών (backward) PPP λύσεων για διαφορετικά διαστήματα παρατήρησης και διαφορετικούς συνδυασμούς συστημάτων GNSS, για την ημέρα 13/01/2014.



**Σχήμα 5-50:** Κινηματικές PPP (backward) λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/E, G/C, G/R/E/C) στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014



**Σχήμα 5-51:** Πρώτο δώρο των κινηματικών PPP (backward) λύσεων ανά διεύθυνση για την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014

Direction	System	Observation Period		
		24h	1h	0.25h
North	G	8,13	13,55	22,45
	R	1347,53	1928,74	257,10
	G/R	6,34	6,45	16,25
	G/E	8,09	8,85	27,96
	G/C	4,53	16,99	21,78
	G/R/E/C	6,41	7,38	15,31
East	G	10,04	30,10	56,19
	R	2531,61	1807,79	450,18
	G/R	6,72	24,81	57,72
	G/E	9,93	50,94	42,03
	G/C	12,29	24,71	38,17
	G/R/E/C	11,46	29,87	38,32
Up	G	16,08	11,11	62,21
	R	5168,88	11167,21	3840,30
	G/R	15,38	13,03	75,83
	G/E	16,40	35,53	80,36
	G/C	35,52	23,67	45,75
	G/R/E/C	31,27	33,91	78,73

**Πίνακας 5-15:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών (backward) PPP λύσεων στον σταθμό CUT0 για διαφορετικά χρονικά διαστήματα, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων, στις 13/01/2014

Σύμφωνα με τον Πίν. 5-15, είναι φανερό ότι στη διάρκεια του 24ώρου η βέλτιστη ακρίβεια θέσης κατά τις διευθύνσεις East και Up παρέχεται από το σύστημα G/R, και κατά τη διεύθυνση North από το σύστημα G/C. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, δεν φαίνεται η προσθήκη των μετρήσεων Galileo και BeiDou (σύστημα G/R/E/C) να συμβάλλει στην μείωση των τιμών RMSD των κινηματικών PPP λύσεων που προκύπτουν από το σύστημα G/R, όπως γινόταν στις λύσεις με το φίλτρο forward. Καταλήγει, δηλαδή, κανείς στο συμπέρασμα ότι με τη χρήση του φίλτρου backward επιτυγχάνεται αισθητή εξομάλυνση του θορύβου στις κινηματικές λύσεις, και το επίπεδο ακρίβειας μπορεί να φθάσει αυτό του φίλτρου forward με τη χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS.

Αντίστοιχα είναι τα αποτελέσματα και στη διάρκεια 1 ώρας, με εξαίρεση τη διεύθυνση Up όπου η μικρότερη τιμή RMSD παρέχεται από τη χρήση μόνο του GPS. Αυτό πιθανώς οφείλεται στην αρχική επιλογή που έγινε για τα διαστήματα παρατήρησης που επρόκειτο να εξετασθούν. Όπως φαίνεται στο συγκεκριμένο διάστημα παρατήρησης, η σταδιακή προσθήκη μετρήσεων από τα δορυφορικά συστήματα GLONASS, Galileo και BeiDou οδηγεί σε αύξηση των τιμών RMSD. Συνεπώς, φαίνεται ότι η γεωμετρία των δορυφόρων των σχηματισμών G/R, G/E, G/C και G/R/E/C το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα δεν είναι η βέλτιστη δυνατή, με αποτέλεσμα η χρήση μετρήσεων μόνο GPS να παρέχει τα βέλτιστα αποτελέσματα.

Όσο αφορά το χρονικό διάστημα 15 λεπτών, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι τα συστήματα G/C και G/R/E/C παρέχουν τις μικρότερες τιμές RMSD, άρα και μεγαλύτερη ακρίβεια θέσης σε σύγκριση με τους υπόλοιπους συνδυασμούς συστημάτων. Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι οι προκύπτουσες τιμές RMSD των κινηματικών PPP λύσεων με φίλτρο backward από το σύστημα G/R/E/C κατά τις διευθύνσεις North και East είναι 15 και 38 εκατοστά αντίστοιχα. Προκύπτει, δηλαδή, το συμπέρασμα ότι σε περιοχές όπου ο αριθμός των δορυφόρων που παρατηρείται είναι μεγάλος, μπορεί να επιτευχθεί υψηλή ακρίβεια προσδιορισμού θέσης με κινηματικό τύπο εντοπισμού, ακόμα και σε 15 λεπτά της ώρας.

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	9,70	7,70	7,55	6,51	4,90	4,81	5,96	11,79	8,13
	R	1062,54	648,58	2322,28	3602,46	1432,01	1639,19	5301,61	1485,14	1347,53
	G/R	8,48	6,63	4,25	5,81	4,30	3,25	4,95	6,46	6,34
	G/E	21,61	19,74	6,54	6,48	40,19	4,33	5,88	55,02	8,09
	G/C	14,39	7,64	8,40	7,18	5,36	7,21	9,49	12,52	4,53
	G/R/E/C	9,05	9,05	6,82	6,58	13,91	4,78	7,13	3,81	6,41
East	G	10,72	6,84	6,70	5,86	4,67	5,86	7,59	11,47	10,04
	R	1457,70	1684,43	3997,73	4561,81	2359,43	3141,28	4294,29	3283,87	2531,61
	G/R	10,30	5,60	3,57	3,56	5,40	6,14	5,58	7,81	6,72
	G/E	17,80	41,26	5,43	10,50	39,68	6,91	7,88	16,99	9,93
	G/C	24,51	14,04	18,00	25,67	13,71	12,28	21,29	16,12	12,29
	G/R/E/C	10,23	38,80	17,20	19,76	25,88	10,35	18,65	16,81	11,46
Up	G	12,02	14,59	15,59	18,86	12,16	12,67	17,29	26,64	16,08
	R	7048,26	2733,44	29173,10	48641,71	17887,49	23604,23	46068,23	22776,97	5168,88
	G/R	11,20	9,93	13,59	13,17	9,03	8,81	13,43	16,09	15,38
	G/E	36,78	66,79	13,11	19,07	29,22	12,42	17,17	41,57	16,40
	G/C	22,57	20,38	19,69	34,45	28,54	32,26	51,38	35,14	35,52
	G/R/E/C	20,46	41,06	18,62	26,66	14,92	33,85	41,96	39,06	31,27

**Πίνακας 5-16:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών (backward) PPP λύσεων στον σταθμό CUTO για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 - 14/01/2014)



Για να υπάρξει σαφέστερη εικόνα των παραπάνω, κρίθηκε αναγκαίο να επεξεργασθούν δεδομένα από τον σταθμό CUT0 στο διάστημα ημερών 06/01/2014 – 14/01/2014. Στον Πίν. 5-16, παρατίθενται οι τιμές RMSD των κινηματικών (backward) PPP λύσεων από την αυτόνομη και συνδυαστική χρήση συστημάτων για διάστημα παρατηρήσεων 24 ωρών.

Μία σύντομη ανάγνωση του Πίν. 5-16 αρκεί για να διακρίνει κανείς ότι το σύστημα G/R παρέχει τη βέλτιστη ακρίβεια θέσης στις τρεις διευθύνσεις, με την τεχνική επεξεργασίας PPP-kinematic και φίλτρο backward. Συγκεκριμένα, παρατηρείται μία μέση μείωση 27%, 23% και 26% των τιμών RMSD με την προσθήκη των μετρήσεων GLONASS. Ωστόσο, δεν παρατηρείται περαιτέρω βελτίωσης της ακρίβειας θέσης με τη χρήση του συστήματος G/R/E/C, κάτι που φάνηκε και στις προηγούμενες διερευνήσεις με το φίλτρο backward. Όσο αφορά το σύστημα GLONASS, φαίνεται ότι παρέχει αρκετά μεγάλες τιμές RMSD, το οποίο είναι λογικό καθώς δεν επιτεύχθηκε σύγκλιση των αντίστοιχων κινηματικών λύσεων στο επίπεδο των 10 εκατοστών κατά τη διάρκεια των ημερών που εξετάστηκαν.

Οι τιμές RMSD των κινηματικών PPP λύσεων, με χρήση φίλτρου backward, για τα χρονικά διαστήματα 1 ώρας και 15 λεπτών παρατίθενται σε πίνακες στο Παράρτημα. Σύμφωνα με αυτούς, παρατηρείται ότι η χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS συμβάλλει αισθητά στη βελτίωση των κινηματικών PPP λύσεων. Συγκεκριμένα, με την προσθήκη των μετρήσεων GLONASS υπάρχει μείωση των τιμών RMSD που προκύπτουν από τη χρήση μόνο GPS κατά 32%, 22% και 23% στις τρεις διευθύνσεις αντίστοιχα. Παράλληλα, το σύστημα G/R/E/C παρέχει 20% και 42% μείωση κατά τις διευθύνσεις North και East, ενώ κατά τη διεύθυνση Up υπάρχει μείωση των τιμών RMSD μόνο σε ορισμένες περιπτώσεις. Καλής ποιότητας αποτελέσματα φαίνεται, επίσης, να παρέχουν τα συστήματα G/E και G/C σε ορισμένες περιπτώσεις.

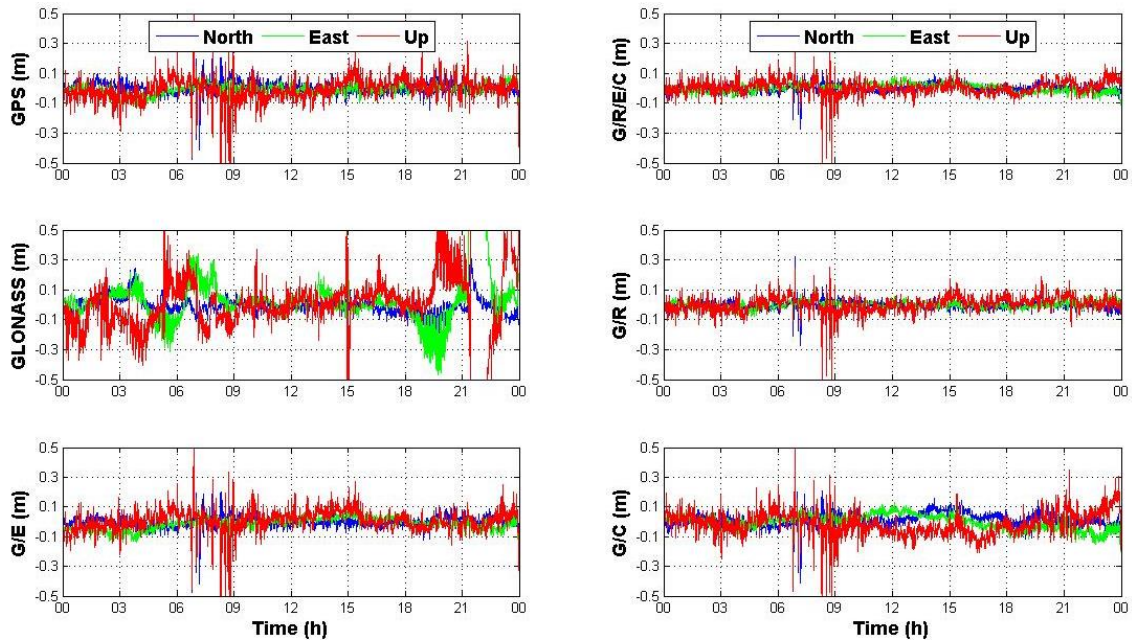
Όσο αφορά το χρονικό διάστημα 15 λεπτών, φαίνεται ότι οι τιμές RMSD των κινηματικών PPP λύσεων που προκύπτουν είναι αρκετά μεγαλύτερες σε σύγκριση με αυτές που προκύπτουν από τα υπόλοιπα χρονικά διαστήματα. Παρ' όλα αυτά, η χρήση των G/R και G/R/E/C φαίνεται να βελτιώνει αυτήν την κατάσταση σε όλες της διευθύνσεις. Συγκεκριμένα, με τη χρήση του συστήματος G/R υπάρχει μείωση των τιμών RMSD κατά 29%, 19% και 32%, ενώ με τη χρήση του συστήματος G/R/E/C οι τιμές RMSD μειώνονται κατά 13%, 20% και 26%.

#### **5.2.4 Κινηματικές PPP λύσεις (combined)**

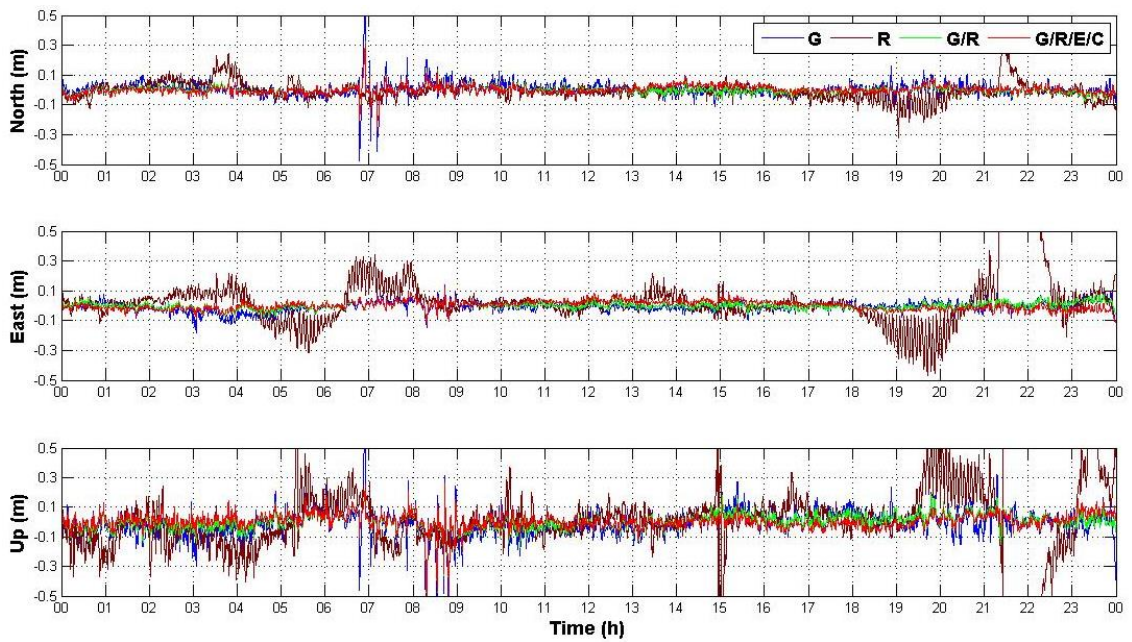
Στην υποενότητα αυτή, λαμβάνει χώρα η ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων με την τεχνική επεξεργασίας PPP-kinematic (combined) και τη χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS για διαφορετικά διαστήματα παρατηρήσεων.

Στην προκειμένη περίπτωση, χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια δεδομένα που επεξεργάστηκαν με την τεχνική PPP-kinematic και τα φίλτρα forward και backward, ώστε να διαπιστωθεί ο βέλτιστος τρόπος επεξεργασίας των δεδομένων σε κινηματικό τύπο εντοπισμού. Οπότε, ακολούθησε η επεξεργασία των δεδομένων με την τεχνική επεξεργασίας PPP-kinematic και φίλτρο combined, το οποίο αποτελεί συνδυασμό των δύο προηγούμενων φίλτρων καθώς αρχικά λύνει τα δεδομένα προς τα εμπρός (forward) και στη συνέχεια τα λύνει προς τα πίσω ώστε να υπάρξει εξομάλυνση τυχόν θορύβου. Στο Σχ. 5-52, απεικονίζονται οι κινηματικές PPP λύσεις που προέκυψαν από την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/E, G/C, G/R/E/C) στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014.

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό από το Σχ. 5-52, υπάρχει σημαντική βελτίωση στις κινηματικές PPP λύσεις με φίλτρο combined, καθώς φαίνεται ότι ο θόρυβος που υπήρχε στις λύσεις με τα φίλτρα forward και backward έχει εξομαλυνθεί, και έτσι όλες οι χρονοσειρές λύσης έχουν ομαλοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού είναι οι κινηματικές PPP λύσεις που προκύπτουν από τη χρήση μετρήσεων GLONASS. Ενώ οι λύσεις αυτές με τα προηγούμενα φίλτρα παρουσίαζαν μεγάλη αστάθεια με αποτέλεσμα να μην είναι αξιόπιστες για τον εντοπισμό θέσης, φαίνεται ότι με το φίλτρο combined χαρακτηρίζονται από καλή ποιότητα, ενώ παράλληλα παρατηρείται ότι οι λύσεις κατά τις διευθύνσεις North και East αποκλίνουν από το επίπεδο των 10 εκατοστών μόνο σε ορισμένα διαστήματα.



**Σχήμα 5-52:** Κινηματικές PPP (combined) λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/E, G/C, G/R/E/C) στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014



**Σχήμα 5-53:** Κινηματικές PPP (combined) λύσεις ανά διεύθυνση για την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014

Ωστόσο, βελτίωση στην ποιότητα των λύσεων παρατηρείται και στους υπόλοιπους συνδυασμούς, κυρίως όμως στις λύσεις των συστημάτων G/R και G/R/E/C. Γίνεται αντιληπτό ότι οι λύσεις αυτές παρέχουν πολύ καλή ακρίβεια, ενώ απόκλιση από το επίπεδο των 10 εκατοστών παρατηρείται μόνο στο διάστημα 07:00 – 09:00.

Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι το συγκεκριμένο φίλτρο μπορεί να εφαρμοσθεί μόνο σε στάδιο μετεπεξεργασίας των δεδομένων, και όχι σε πραγματικό χρόνο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το φίλτρο combined απαιτεί την ύπαρξη των δεδομένων, προκειμένου να λύσει αρχικά προς τα εμπρός (forward) τα δεδομένα και στη συνέχεια να τα λύσει προς τα πίσω (backward) έτσι ώστε να επιτευχθεί η εξομάλυνση τυχόν θορύβου. Έτσι, στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν τίθεται θέμα σύγκλισης των PPP λύσεων εφόσον η επεξεργασία είναι αμφίδρομη.

Παρ' όλα αυτά, μέσω του Σχ. 5-53, μπορεί να γίνει εμφανής η βελτίωση τόσο της ποιότητας των κινηματικών PPP λύσεων με εφαρμογή του φίλτρου combined όσο και της ακρίβειας που επιτυγχάνεται. Συγκεκριμένα, στο συγκεκριμένο σχήμα απεικονίζονται οι κινηματικές λύσεις των συστημάτων G, R, G/R και G/R/E/C ανά διεύθυνση κατά τη διάρκεια ολόκληρου του 24-ώρου. Μία σύντομη επισκόπηση στο εν λόγω σχήμα είναι αρκετή προκειμένου να διακρίνει κανείς ότι οι κινηματικές PPP λύσεις από όλα τα εξεταζόμενα δορυφορικά συστήματα δεν αποκλίνουν από το επίπεδο των 10 εκατοστών, με εξαίρεση αυτές από τη χρήση του συστήματος GLONASS. Αν και υπάρχει βελτίωση στις PPP λύσεις του τελευταίου, υπάρχουν διαστήματα όπου υπάρχει αισθητή απόκλιση από το επίπεδο των 10 εκατοστών, κυρίως κατά τις διευθύνσεις East και Up.

Προκειμένου να γίνει μία ποσοτική αξιολόγηση των παραπάνω αποτελεσμάτων, κρίθηκε απαραίτητος ο υπολογισμός των τιμών RMSD των κινηματικών PPP λύσεων με το φίλτρο combined. Στην διερεύνηση αυτή, επεξεργάστηκαν και μετρήσεις διάρκειας 1 ώρας και 15 λεπτών, ώστε να διαπιστωθεί η συμβολή του συνδυασμού των διαθέσιμων συστημάτων GNSS στην παρεχόμενη ακρίβεια της μεθόδου PPP σε μικρές χρονικές διάρκειες.

Direction	System	Observation Period		
		24h	1h	0.25h
North	G	4,63	15,30	29,18
	R	5,81	42,73	14,38
	G/R	2,75	17,71	14,22
	G/E	4,43	15,30	31,05
	G/C	5,35	20,37	48,30
	G/R/E/C	2,86	25,84	39,84
East	G	3,41	7,20	35,18
	R	25,33	26,42	10,44
	G/R	2,31	6,28	23,34
	G/E	4,35	7,20	51,85
	G/C	5,06	35,21	73,38
	G/R/E/C	2,81	22,39	88,63
Up	G	8,92	33,25	28,38
	R	25,77	52,03	88,45
	G/R	5,96	21,49	17,18
	G/E	8,47	33,25	21,30
	G/C	9,56	27,24	21,96
	G/R/E/C	5,52	22,22	21,14

**Πίνακας 5-17:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών (combined) PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διαφορετικά χρονικά διαστήματα, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων, στις 13/01/2014

Σύμφωνα με τον Πίν. 5-17, είναι εμφανές ότι τα συστήματα G/R και G/R/E/C είναι αυτά που παρέχουν τη βέλτιστη ακρίβεια θέσης κατά τις τρεις διευθύνσεις σε χρονική διάρκεια 24 ωρών. Η βελτίωση που επιτυγχάνεται με τη χρήση του συστήματος G/R, σε σύγκριση με τις τιμές RMSD που προκύπτουν από τη χρήση μόνο του GPS, είναι της τάξης του 41%, 32% και 33% κατά τις διευθύνσεις North, East και Up αντίστοιχα, ενώ με τη χρήση του συστήματος G/R/E/C είναι 38%, 18% και 38% αντίστοιχα.

Όσο αφορά τη χρονική διάρκεια 1 ώρας, παρατηρείται ότι οι μικρότερες τιμές RMSD κατά τη διεύθυνση East και Up παρέχονται από το σύστημα G/R (6 και 21 εκατοστά αντίστοιχα), ενώ κατά τη διεύθυνση North από τη χρήση μόνο του συστήματος GPS (15 εκατοστά). Παρόμοια είναι τα αποτελέσματα στο χρονικό διάστημα 15 λεπτών, με εξαίρεση τη διεύθυνση East, στην οποία η μικρότερη τιμή RMSD παρατηρείται από τη χρήση του συστήματος GLONASS. Ωστόσο, το αποτέλεσμα αυτό είναι πλασματικό καθώς όπως παρατηρείται από το Σχ. 5-53, οι κινηματικές PPP λύσεις του παρουσιάζουν αρκετές αποκλίσεις από το επίπεδο των 10 εκατοστών.

Προκειμένου όμως να εξαχθούν γενικά συμπεράσματα, κρίθηκε απαραίτητο να επεξεργασθούν δεδομένα στο διάστημα ημερών 06/01/2014 – 14/01/2014. Στον Πίν. 5-18, παρατίθενται οι τιμές RMSD των κινηματικών (combined) PPP λύσεων από την αυτόνομη και συνδυαστική χρήση συστημάτων για διάστημα παρατηρήσεων 24 ωρών.

Σύμφωνα με τον Πίν. 5-18, λοιπόν, προκύπτει το συμπέρασμα ότι σε όλες τις διευθύνσεις το σύστημα G/R παρουσιάζει τη βέλτιστη ακρίβεια στον εντοπισμό θέσης με την τεχνική PPP-kinematic και το φίλτρο combined. Συγκεκριμένα, υπάρχει 38%, 36% και 35% μείωση των τιμών RMSD των κινηματικών PPP λύσεων που προκύπτουν από τη χρήση μόνο του GPS κατά τις διευθύνσεις North, East και Up αντίστοιχα. Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι το σύστημα G/R/E/C παρουσιάζει μεν καλύτερη ακρίβεια από τη χρήση μόνο του GPS, αλλά παραπλήσια και ελαφρώς χειρότερη από αυτή του συστήματος G/R. Επιπρόσθετα, γίνεται αντιληπτό ότι οι κινηματικές PPP λύσεις που προκύπτουν από τα συστήματα G/E και G/C παρουσιάζουν μέγιστη τιμή RMSD ίση με 15 εκατοστά σε όλες τις διευθύνσεις στην πλειονότητα των ημερών.

Αντίστοιχη διερεύνηση πραγματοποιήθηκε και για τις χρονικές διάρκειες 1 ώρας και 15 λεπτών, τα αποτελέσματα της οποίας βρίσκονται στο Παράρτημα της παρούσας εργασίας. Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα της χρονικής διάρκειας 1 ώρας, υπάρχει 52%, 37% και 60% μείωση των τιμών RMSD των κινηματικών PPP λύσεων με τη χρήση του συστήματος G/R στις διευθύνσεις North, East και Up αντίστοιχα. Παράλληλα, με την επιπλέον προσθήκη των μετρήσεων Galileo και BeiDou, παρατηρείται μείωση των τιμών RMSD των λύσεων που προκύπτουν από τη χρήση μόνο του GPS μόνο κατά τις διευθύνσεις North και Up (20% και 47% αντίστοιχα). Ωστόσο, δεν παρατηρείται βελτίωση της ακρίβειας θέσης κατά τη διεύθυνση East με την επιπλέον χρήση μετρήσεων Galileo και BeiDou. Κάτι αντίστοιχο παρουσιάστηκε και στις κινηματικές PPP λύσεις με φίλτρο backward, όπου η χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS δεν συμβάλλει στην βελτίωση ακρίβειας θέσης κατά τη διεύθυνση East.

Όσο αφορά τη χρονική διάρκεια 15 λεπτών, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι υπάρχει γενικά αύξηση των τιμών RMSD σε σχέση με τις μεγαλύτερες χρονικές διάρκειες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι PPP λύσεις συχνά απαιτούν χρονικό διάστημα τουλάχιστον 20-30 λεπτών προκειμένου να επιτευχθεί η σύγκλιση τους στο επίπεδο των 10 εκατοστών. Έτσι, δεν καθίσταται δυνατό να επιτευχθεί υψηλού επιπέδου ακρίβεια στο διάστημα των 15 λεπτών. Ωστόσο, φαίνεται ότι η χρήση πολλαπλών συστημάτων μπορεί να συμβάλλει στην βελτίωση της συγκεκριμένης κατάστασης. Συγκεκριμένα, φαίνεται ότι με την προσθήκη των μετρήσεων GLONASS λαμβάνει χώρα μείωση των τιμών RMSD των κινηματικών PPP λύσεων κατά 11%, 12% και 18% στις διευθύνσεις North, East και Up αντίστοιχα. Ωστόσο, η περαιτέρω προσθήκη μετρήσεων Galileo και BeiDou δεν φαίνεται να παρέχει βελτίωση των τιμών RMSD. Παρ' όλα αυτά, αξίζει να σημειωθεί ότι τα συστήματα G/R και G/E παρέχουν τιμές RMSD μικρότερες των 10 εκατοστών σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμα και σε διάστημα διάρκειας 15 λεπτών.

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	6,11	4,20	4,49	4,52	4,41	4,26	4,60	4,45	4,63
	R	9,95	24,14	8,33	12,83	6,82	7,71	12,63	19,02	5,81
	G/R	4,33	2,96	2,87	2,88	2,71	2,68	2,58	2,64	2,75
	G/E	6,03	3,93	9,66	4,77	4,17	4,63	7,41	4,43	4,43
	G/C	6,77	4,99	5,02	6,32	5,59	4,42	4,86	5,41	5,35
	G/R/E/C	4,39	3,53	4,96	3,71	3,37	2,84	3,77	2,87	2,86
East	G	10,11	4,49	3,84	4,57	4,64	4,11	5,02	3,44	3,41
	R	49,26	27,61	32,04	44,38	18,18	39,51	65,65	43,82	25,33
	G/R	9,59	2,72	2,66	2,78	3,00	2,66	2,62	2,33	2,31
	G/E	8,25	4,32	6,32	4,20	3,80	5,63	7,23	5,95	4,35
	G/C	11,22	5,14	7,05	14,45	10,48	6,62	6,38	6,68	5,06
	G/R/E/C	8,87	3,36	4,21	6,40	5,26	3,95	5,52	3,71	2,81
Up	G	8,41	8,64	8,82	7,07	7,74	7,44	8,93	7,14	8,92
	R	84,57	54,80	60,54	76,18	40,83	68,46	129,20	90,48	25,77
	G/R	5,62	6,19	5,37	5,02	4,87	4,82	4,98	4,86	5,96
	G/E	8,25	8,48	37,78	8,32	7,61	8,26	32,19	8,34	8,47
	G/C	11,93	9,44	10,74	13,44	12,57	7,38	10,18	11,66	9,56
	G/R/E/C	5,87	7,05	12,20	6,01	5,50	4,75	9,08	5,75	5,52

**Πίνακας 5-18:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών (combined) PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 - 14/01/2014)

Η παραπάνω διερεύνηση συνεχίστηκε στον μόνιμο σταθμό CUT0, στον οποίο παρατηρήθηκε ότι η χρήση πολλαπλών συστημάτων βελτιώνει αισθητά την ποιότητα της λύσης. Με το πέρας, λοιπόν, της επεξεργασίας των δεδομένων του σταθμού για την ημέρα 13/01/2014 με την τεχνική PPP-kinematic και φίλτρο combined προέκυψε το Σχ. 5-54. Στο συγκεκριμένο σχήμα, απεικονίζονται οι κινηματικές PPP λύσεις που προέκυψαν από την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/E, G/C, G/R/E/C) στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014.

Από το Σχ. 5-54, παρατηρείται ότι υπάρχει σημαντική βελτίωση στην ποιότητα των κινηματικών PPP λύσεων με τη χρήση του φίλτρου combined, όπως και προηγουμένως. Το συγκεκριμένο φίλτρο έχει εξομαλύνει σε σημαντικό βαθμό τον θόρυβο των κινηματικών λύσεων, τόσο με το φίλτρο forward όσο και το backward. Παράλληλα, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η προσθήκη των μετρήσεων GLONASS, Galileo και BeiDou συμβάλλει στην περαιτέρω μείωση του θορύβου.

Συγκεκριμένα, οι κινηματικές PPP λύσεις που προκύπτουν από το σύστημα G/R/E/C χαρακτηρίζονται από μεγάλη σταθερότητα, και δεν αποκλίνουν από το επίπεδο των 10 εκατοστών, παρά μόνο στα διαστήματα 19:00 – 20:00 και 23:00 – 24:00. Οι αποκλίσεις αυτές πιθανόν προκαλούνται από τις μετρήσεις Galileo και BeiDou, καθώς οι PPP λύσεις από το σύστημα G/R δεν παρουσιάζουν αντίστοιχες αποκλίσεις. Όσο αφορά το σύστημα GLONASS, παρατηρείται ότι οι κινηματικές PPP λύσεις του παρουσιάζουν μεγάλη αστάθεια και δεν παρέχουν αξιόπιστο εντοπισμό θέσης, σε αντίθεση με τον σταθμό UNB3 όπου υπήρχε βελτίωση των εν λόγω λύσεων με το φίλτρο combined.

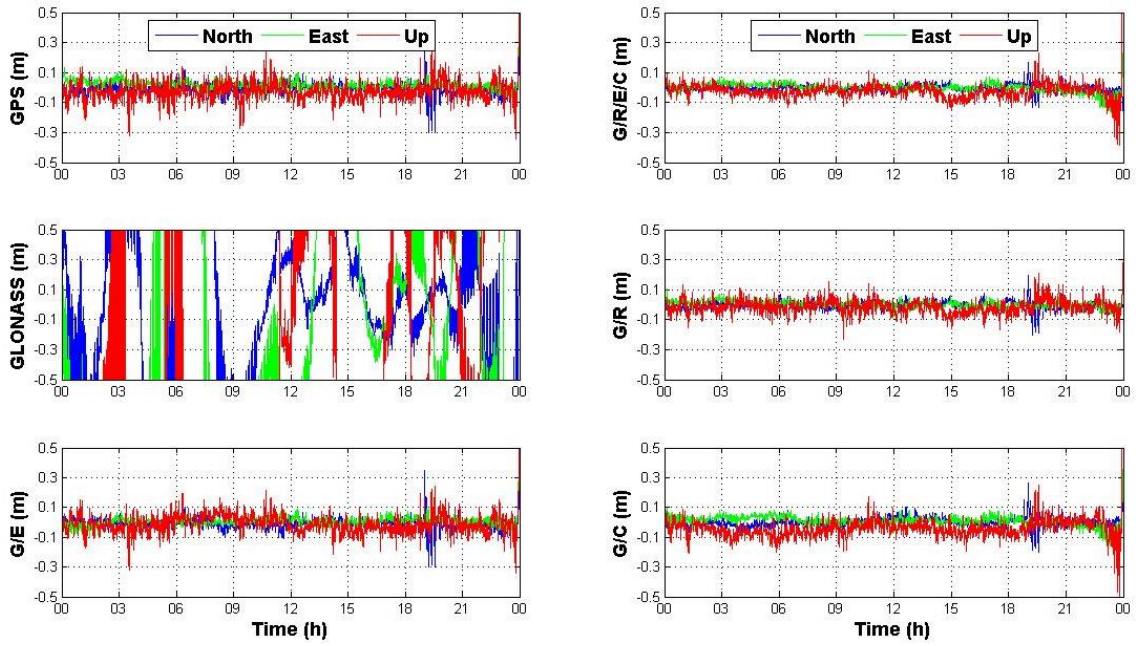
Για να υπάρξει, όμως, ποσοτική σύγκριση μεταξύ των παραπάνω λύσεων, κρίθηκε απαραίτητος ο υπολογισμός των τιμών RMSD για καθεμία από αυτές. Στην συγκεκριμένη διερεύνηση, μελετήθηκαν και μικρότερα χρονικά διάστημα (1 ώρα και 15 λεπτών), προκειμένου να διαπιστωθεί η συμβολή του συνδυασμού των διαθέσιμων συστημάτων GNSS στην παρεχόμενη ακρίβεια της μεθόδου PPP σε διαφορετικές χρονικές διάρκειες. Στον Πίν. 5-19, παρατίθενται οι τιμές RMSD των κινηματικών (combined) PPP λύσεων για διαφορετικά διαστήματα παρατήρησης.

Σύμφωνα με τον Πίν. 5-19, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι σε χρονικό διάστημα 24 ωρών η μέγιστη ακρίβεια θέσης παρέχεται από τα συστήματα G/R και G/R/E/C και δεν ξεπερνά τα 5 εκατοστά. Συγκεκριμένα, φαίνεται ότι κατά τις διευθύνσεις North και East η μείωση των τιμών RMSD των κινηματικών PPP λύσεων που προκύπτουν από το GPS υπόκεινται σε 50% μείωση με τη προσθήκη μετρήσεων GLONASS, και Galileo και BeiDou αντίστοιχα. Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι το σύστημα GLONASS παρέχει αρκετά μεγάλες τιμές RMSD, από μερικά έως δεκάδες μέτρα, στη διάρκεια 24 ωρών και έτσι δεν θεωρείται ιδιαίτερα αξιόπιστο όταν χρησιμοποιείται μόνο του.

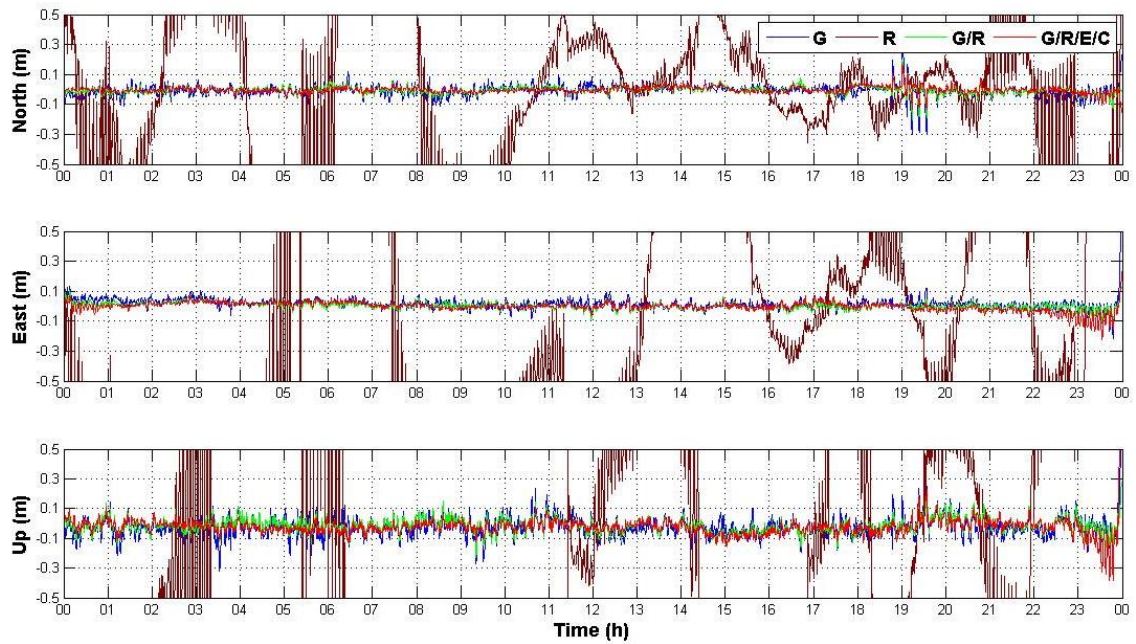
Όσο αφορά το διάστημα παρατήρησης 1 ώρα, φαίνεται ότι οι μικρότερες τιμές RMSD παρατηρούνται από τα συστήματα G/R, G/R/E/C και G αντίστοιχα. Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό, ότι κατά τη διεύθυνση East η προσθήκη των μετρήσεων GLONASS μειώνει την τιμή RMSD των κινηματικών PPP λύσεων που προκύπτουν από το GPS κατά 46%, ενώ η επιπλέον προσθήκη των μετρήσεων Galileo και BeiDou οδηγεί σε περαιτέρω μείωση 47%. Φαίνεται δηλαδή, όπως και σε προηγούμενες περιπτώσεις, ότι υπάρχουν σημαντικά περιθώρια βελτίωσης της ακρίβειας θέσης κατά τη διεύθυνση East, το οποίο επιτυγχάνεται με τη χρήση πολλαπλών συστημάτων.

Στο διάστημα 15 λεπτών, φαίνεται ότι οι μικρότερες τιμές RMSD κατά τη διεύθυνση North και East παρέχονται από το σύστημα G/E, ενώ κατά τη διεύθυνση Up από το σύστημα G/R/E/C. Στη συγκεκριμένη χρονική διάρκεια δεν παρατηρείται η ίδια βελτίωση, όπως προηγουμένως, κατά τη διεύθυνση East. Το γεγονός αυτό πιθανόν οφείλεται στην κακή γεωμετρία του δορυφορικού σχηματισμού G/R/E/C που σχηματίζεται στο συγκεκριμένο διάστημα.





**Σχήμα 5-54:** Κινηματικές PPP (combined) λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/E, G/C, G/R/E/C) στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014



**Σχήμα 5-55:** Κινηματικές PPP (combined) λύσεις ανά διεύθυνση για την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014

Direction	System	Observation Period		
		24h	1h	0.25h
North	G	3,99	11,93	13,00
	R	242,67	1676,30	228,96
	G/R	2,58	2,28	4,95
	G/E	3,81	5,90	3,74
	G/C	2,90	17,29	22,50
	G/R/E/C	2,15	5,30	7,26
East	G	4,01	20,86	21,53
	R	735,95	1397,10	545,64
	G/R	2,23	11,23	20,13
	G/E	3,57	24,74	7,50
	G/C	3,61	14,12	12,22
	G/R/E/C	3,09	5,96	14,05
Up	G	7,31	5,65	63,13
	R	1114,92	6871,32	4132,52
	G/R	5,01	9,21	38,59
	G/E	6,90	8,11	50,61
	G/C	16,41	11,45	34,20
	G/R/E/C	10,92	7,48	12,68

**Πίνακας 5-19:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών (combined) PPP λύσεων στον σταθμό CUTO για διαφορετικά χρονικά διαστήματα, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων, στις 13/01/2014

Για να υπάρξει μία συνολική εικόνα των παραπάνω, κρίθηκε απαραίτητο να επεξεργασθούν δεδομένα στο διάστημα ημερών 06/01/2014 – 14/01/2014. Στον Πίν. 5-20, παρατίθενται οι τιμές RMSD των κινηματικών (combined) PPP λύσεων από την αυτόνομη και συνδυαστική χρήση συστημάτων για διάστημα παρατηρήσεων 24 ωρών.

Μία σύντομη ανάγνωση του Πίν. 5-20 οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το σύστημα G/R παρέχει τη βέλτιστη ακρίβεια θέσης σε όλες τις διευθύνσεις, καθώς οι κινηματικές PPP λύσεις που προκύπτουν από το συγκεκριμένο σύστημα παρουσιάζουν τις μικρότερες τιμές RMSD. Σε σύγκριση με τις τιμές RMSD που προκύπτουν από τη χρήση του GPS, η προσθήκη των μετρήσεων GLONASS οδηγεί σε 36% μείωση των τιμών αυτών. Παρόμοιες τιμές RMSD παρατηρούνται και στις κινηματικές λύσεις που προκύπτουν από το σύστημα G/R/E/C, με εξαίρεση τη διεύθυνση Up όπου οι τιμές RMSD από το τελευταίο σύστημα είναι μικρότερες στην πλειονότητα των περιπτώσεων από αυτές του συστήματος G/R.

Όσο αφορά το χρονικό διάστημα 1 ώρας, παρατηρήθηκε αισθητή βελτίωση των τιμών RMSD του συστήματος GPS με τη χρήση μετρήσεων από περισσότερα δορυφορικά συστήματα. Συγκεκριμένα, υπάρχει 48%, 41% και 33% μείωση των εν λόγω τιμών με χρήση του συστήματος G/R, και 29%, 65% και 39% μείωση με χρήση του συστήματος G/R/E/C στις διευθύνσεις North, East και Up αντίστοιχα. Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρούνται και στο χρονικό διάστημα 15 λεπτών, με τη διαφορά ότι υπάρχει γενική αύξηση των τιμών RMSD λόγω του μικρού διαστήματος παρατήρησης των δορυφόρων.



Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	3,70	3,52	4,18	3,77	3,98	3,80	4,00	3,99	4,09
	R	247,26	927,93	1326,66	669,90	618,75	748,45	865,44	242,67	1058,21
	G/R	2,44	2,29	2,84	2,28	2,48	2,52	2,60	2,58	2,52
	G/E	5,65	3,23	5,03	8,56	3,55	3,62	14,92	3,81	3,82
	G/C	3,79	3,54	5,11	2,74	2,71	4,43	4,22	2,90	4,32
	G/R/E/C	5,31	2,70	3,93	4,11	2,51	2,45	3,14	2,15	2,84
East	G	4,24	3,88	4,47	3,39	3,24	3,48	4,23	4,01	3,30
	R	307,48	1098,70	1226,56	874,03	980,75	679,17	964,88	735,95	938,30
	G/R	3,53	2,53	2,32	2,31	2,00	1,86	2,54	2,23	2,08
	G/E	10,81	3,72	5,67	8,58	4,57	3,77	6,73	3,57	3,54
	G/C	5,01	3,85	9,31	3,97	4,04	3,99	4,40	3,61	4,96
	G/R/E/C	8,91	3,12	7,16	5,41	2,76	2,57	3,77	3,09	3,61
Up	G	8,14	8,33	9,03	7,65	8,39	7,05	9,48	7,31	8,45
	R	946,42	5268,58	6675,75	2841,32	3973,69	3743,77	7797,11	1114,92	4884,73
	G/R	5,39	5,43	6,24	5,73	5,04	4,58	6,05	5,01	5,57
	G/E	28,95	7,41	9,63	11,93	6,94	6,67	20,71	6,90	7,32
	G/C	15,65	13,99	17,36	16,02	12,17	14,16	8,23	16,41	14,73
	G/R/E/C	17,74	9,53	12,89	11,60	6,86	8,26	8,60	10,92	9,19

**Πίνακας 5-20:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών (combined) PPP λύσεων στον σταθμό CUTO για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

## 5.3 Γωνία Αποκοπής Δορυφόρων

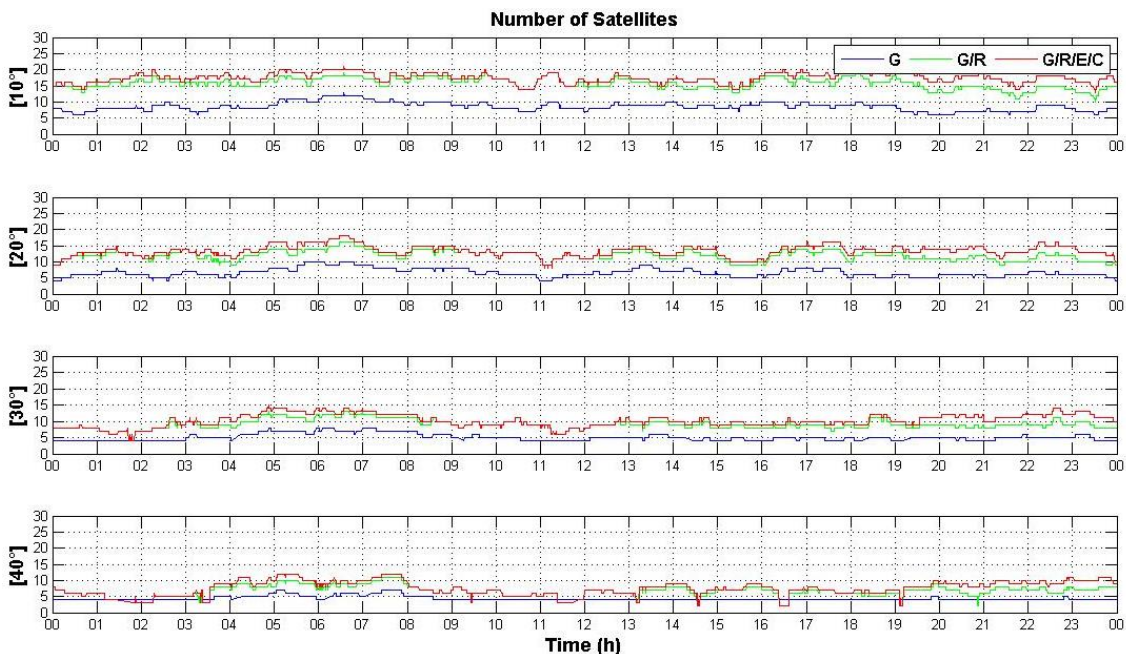
Στην ενότητα αυτή, εξετάζονται και αναλύονται τα σενάρια που έλαβαν χώρα προκειμένου να διερευνηθεί η συμβολή της χρήσης πολλαπλών συστημάτων GNSS στην ακρίβεια της μεθόδου PPP για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων.

### 5.3.1 Στατικές PPP λύσεις

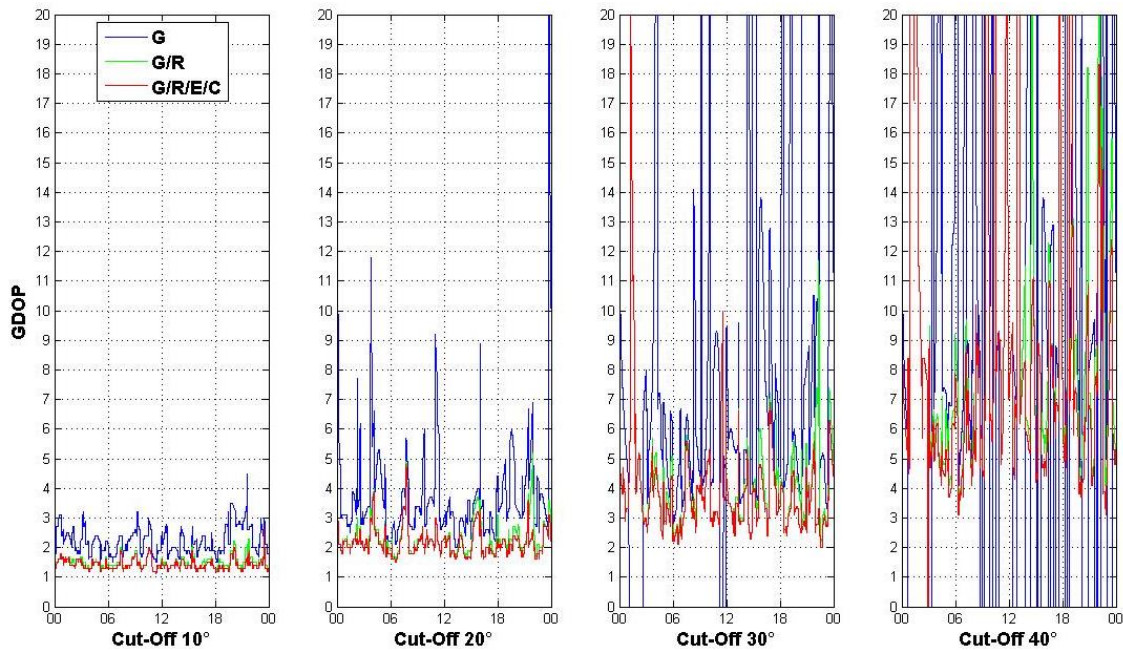
Η υποενότητα αυτή πραγματεύεται την ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων με την τεχνική επεξεργασίας PPP-static. Η διερεύνηση για τη συμβολή των πολλαπλών συστημάτων GNSS σε υψηλές γωνίες αποκοπής δορυφόρων ξεκίνησε στον σταθμό UNB3. Στο Σχ. 5-56, απεικονίζεται ο αριθμός των δορυφόρων GNSS συναρτήσει διαφορετικών γωνιών αποκοπής δορυφόρων κατά τη διάρκεια της ημέρας 07/01/2014.

Σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα, είναι ξεκάθαρο ότι η αύξηση της γωνίας αποκοπής οδηγεί σε μείωση του αριθμού των ορατών δορυφόρων. Τέτοιες καταστάσεις δημιουργούνται σε δύσκολα περιβάλλοντα, όπως σε αστικό περιβάλλον με υψηλά κτήρια όπου η δυνατότητα παρακολούθησης αρκετών δορυφόρων μειώνεται αισθητά. Κάτι τέτοιο δεν είναι επιθυμητό σε εφαρμογές εντοπισμού θέσης, καθώς υπάρχει μεγάλη πιθανότητα ο τελευταίος να μην είναι δυνατός, ενώ σε αντίθετη περίπτωση η παρεχόμενη ακρίβεια θα είναι αρκετά μειωμένη.

Παρ' όλα αυτά, παρατηρείται ότι ο συνδυασμός των διαθέσιμων συστημάτων GNSS μπορεί να αντιστρέψει την κατάσταση αυτή. Συγκεκριμένα, μέσω της χρήσης πολλαπλών δορυφορικών συστημάτων, ο αριθμός των παρατηρούμενων δορυφόρων αυξάνεται σε σημαντικό βαθμό, με αποτέλεσμα ο προσδιορισμός θέσης σε δύσκολα περιβάλλοντα να είναι πιο αξιόπιστος. Όπως φαίνεται από το Σχ. 5-56, ο αριθμός των παρατηρούμενων δορυφόρων GPS σε γωνία αποκοπής 30° κυμαίνεται μεταξύ 4 και 7, ενώ με τη χρήση πολλαπλών συστημάτων μεταξύ 5 και 15. Στον εξεταζόμενο σταθμό υπάρχει μικρή ορατότητα προς τους δορυφόρους Galileo και BeiDou, και έτσι ο αριθμός των δορυφόρων του σχηματισμού G/R/E/C είναι μεγαλύτερος από αυτόν του σχηματισμού G/R μόνο σε ορισμένα διαστήματα.



**Σχήμα 5-56:** Αριθμός ορατών δορυφόρων από τον μόνιμο σταθμό UNB3 στις 07/01/2014 συναρτήσει των γωνιών αποκοπής δορυφόρων. Ο αριθμός των δορυφόρων GPS, GPS+GLONASS και GPS+GLONASS+Galileo+BeiDou φαίνονται με μπλε, πράσινο και κόκκινο χρώμα αντίστοιχα.



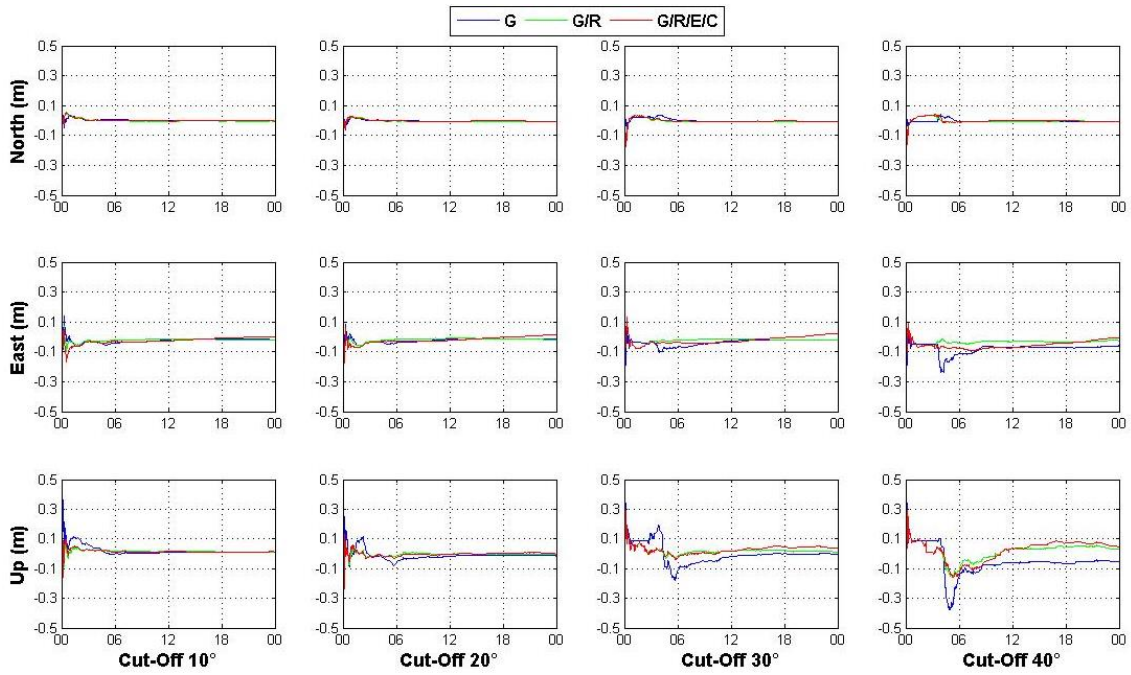
**Σχήμα 5-57:** Δείκτης GDOP για τους δορυφορικούς σχηματισμούς GPS, GPS+GLONASS, GPS+GLONASS+Galileo+BeiDou για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων στον σταθμό UNB3 στις 07/01/2014

Παρατηρώντας τον δείκτη GDOP στο Σχ. 5-57, είναι εύκολο να ξεχωρίσει κανείς ότι σε μεγάλες γωνίες αποκοπής δορυφόρων ( $30^\circ$  και  $40^\circ$ ) το σύστημα GPS παρουσιάζει αρκετές αποκλίσεις από την τιμή 10. Ως αποτέλεσμα, υπάρχει χαμηλό επίπεδο εμπιστοσύνης ως προς τον ακριβή προσδιορισμό θέσης με τη χρήση μετρήσεων μόνο GPS. Παρ' όλα αυτά, παρατηρείται ότι με τη χρήση των σχηματισμών G/R και G/R/E/C, ο δείκτης GDOP μειώνεται σε μεγάλο βαθμό. Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό, ότι στη γωνία αποκοπής  $40^\circ$  ο δείκτης GDOP για το σχηματισμό G/R/E/C υπερβαίνει την τιμή 9 μόνο σε ορισμένα χρονικά διαστήματα, όπου πραγματοποιείται αναπροσαρμογή στον αριθμό των ορατών δορυφόρων εξ αιτίας της καθόδου και της ανόδου τους από τον ορίζοντα.

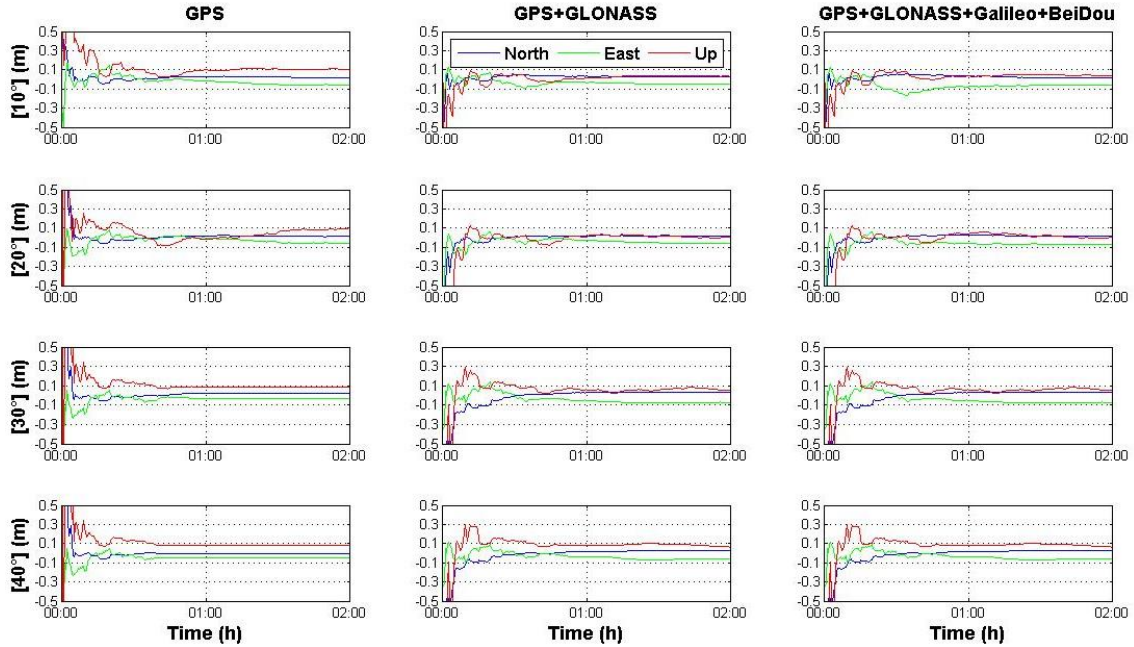
Ακολούθως, έλαβε χώρα η επεξεργασία των παραπάνω δεδομένων με τον τύπο εντοπισμού PPP-static τόσο με την αυτόνομη χρήση των συστημάτων όσο και στην συνδυαστική χρήση, ώστε να διαπιστωθεί εάν και κατά πόσο υπάρχει βελτίωση της ακρίβειας στον εντοπισμό θέσης σε διάφορες γωνίες αποκοπής δορυφόρων. Στο Σχ. 5-58, απεικονίζονται οι στατικές PPP λύσεις που προέκυψαν από την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/E, G/C, G/R/E/C) στον σταθμό UNB3 στις 07/01/2014.

Σύμφωνα με το Σχ. 5-58, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η αύξηση της γωνίας αποκοπής των δορυφόρων έχει επίδραση στις στατικές PPP λύσεις, ακόμα και με τη χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS. Όσο αφορά τη διεύθυνση North, δεν φαίνεται να επηρεάζονται οι στατικές PPP λύσεις από την αύξηση της γωνίας αποκοπής, αν και η χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C παρέχουν καλύτερη ποιότητα λύσης καθώς η σύγκλιση των λύσεων τους επιτυγχάνεται σε πιο σύντομο χρονικό διάστημα.

Κατά τη διεύθυνση East, όμως, φαίνεται ότι η αύξηση της γωνίας αποκοπής έχει αρνητικά αποτελέσματα στις PPP λύσεις. Συγκεκριμένα, όσο αυξάνεται η γωνία αποκοπής τόσο επιβραδύνεται ο χρόνος σύγκλισης των PPP λύσεων, ειδικά στη γωνία  $40^\circ$  όπου η σύγκλιση επιτυγχάνεται σε διάρκεια 6 ωρών. Ωστόσο, με τη χρήση των σχηματισμών G/R και G/R/E/C δεν φαίνεται να επηρεάζονται οι στατικές λύσεις, οι οποίες παρουσιάζουν μικρό χρόνο σύγκλισης στο επίπεδο των 10 εκατοστών. Αντίστοιχα είναι τα αποτελέσματα και κατά τη διεύθυνση Up, στην οποία όμως η αύξηση της γωνίας αποκοπής έχει ακόμα πιο αρνητικά αποτελέσματα. Φαίνεται ότι δημιουργούνται μεγάλες αποκλίσεις των PPP λύσεων στο πρώτο 6-ωρο, οι οποίες όμως εξαλείφονται σε μεγάλο βαθμό από τα συστήματα G/R και G/R/E/C.



**Σχήμα 5-58:** Στατικές PPP λύσεις ανά διεύθυνση από την αυτόνομη χρήση (GPS) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων στον σταθμό UNB3 στις 07/01/2014

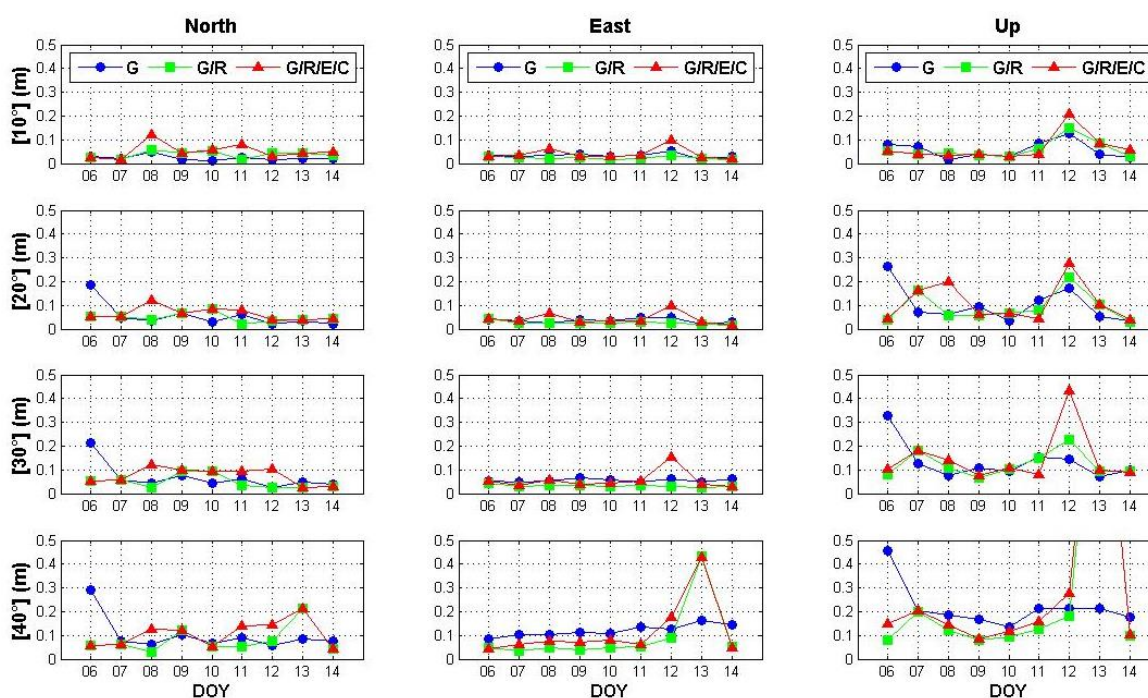


**Σχήμα 5-59:** Πρώτο δίκυκλο των στατικών PPP λύσεων από την αυτόνομη χρήση (GPS) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων στον σταθμό UNB3 στις 07/01/2014



Επιπλέον, από το Σχ. 5-59 μπορεί να διακρίνει κανείς την βελτίωση που επιτυγχάνεται στον χρόνο σύγκλισης των στατικών PPP λύσεων με τη χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS, τόσο σε μικρές (10° και 20°) όσο και μεγάλες (30° και 40°) γωνίες αποκοπής δορυφόρων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι στατικές PPP λύσεις κατά τη διεύθυνση East από τη χρήση μόνο του συστήματος GPS σε γωνία 20° και 30°, όπου απαιτείται διάστημα τουλάχιστον 12 λεπτών για να επιτευχθεί σύγκλιση στο επίπεδο των 10 εκατοστών. Με την προσθήκη τόσο των μετρήσεων GLONASS όσο και των μετρήσεων Galileo και BeiDou ο χρόνος αυτός μειώνεται στα πρώτα 2 λεπτά. Αντίστοιχες βελτιώσεις παρατηρούνται και κατά τη διεύθυνση Up, ενώ κατά τη διεύθυνση North δεν φαίνεται να υπάρχει ουσιαστική βελτίωση.

Εν συνεχεία, ακολούθησε η ποσοτική αξιολόγηση των παραπάνω λύσεων, με τον υπολογισμό των τιμών RMSD των στατικών PPP λύσεων για χρονική διάρκεια 24 ωρών στην περίοδο 06/01/2014 – 14/01/2014. Επειδή, όμως, ο αριθμός των αποτελεσμάτων είναι μεγάλος, δημιουργήθηκαν κατάλληλα διαγράμματα έτσι ώστε να γίνει πιο εποπτική η παρουσίαση τους. Στο Σχ. 5-60, απεικονίζονται οι τιμές RMSD των στατικών PPP λύσεων για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων και το παραπάνω εξεταζόμενο διάστημα ημερών.



**Σχήμα 5-60:** Τιμές RMSD (σε m) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών και διαφορετικές γωνίες αποκοπής, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

Όπως φαίνεται από το παραπάνω σχήμα, η αύξηση της γωνίας αποκοπής δορυφόρων έχει σημαντικές επιδράσεις στις τιμές RMSD των στατικών PPP λύσεων, και συνεπώς στην παρεχόμενη ακρίβεια του προσδιορισμού θέσης.

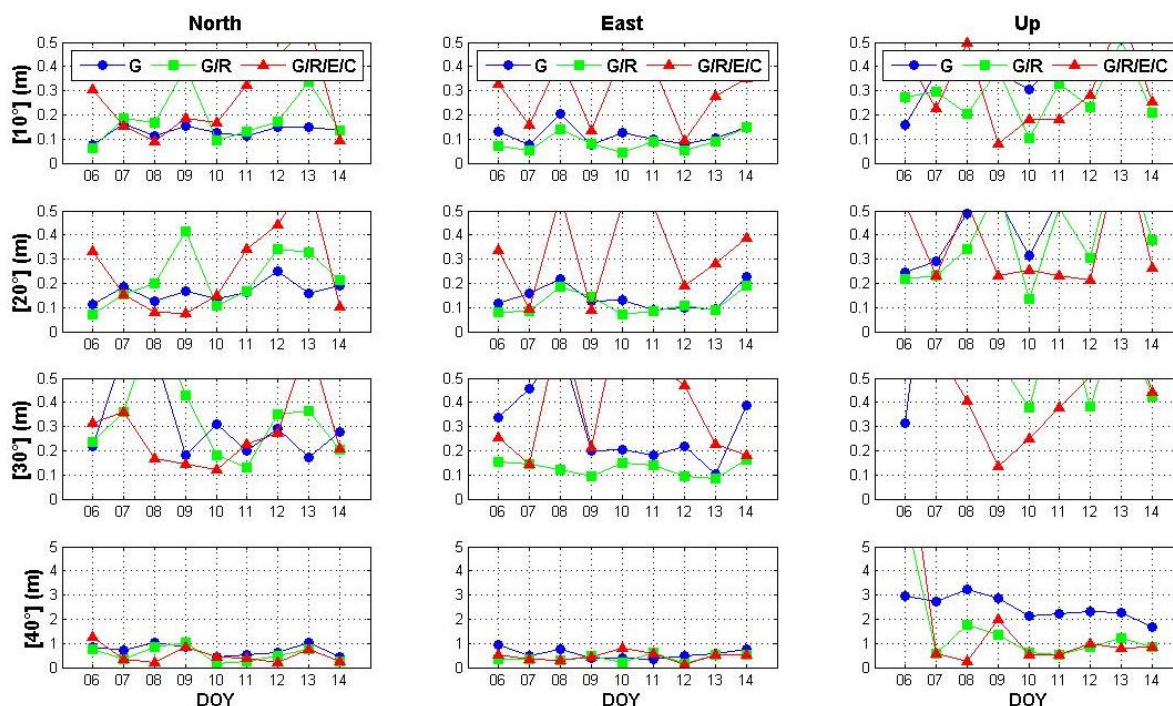
Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι κατά τη διεύθυνση North και τις μικρές γωνίες αποκοπής (10° και 20°) η ακρίβεια θέσης παραμένει κάτω από το επίπεδο των 10 εκατοστών στην πλειονότητα των ημερών. Εξαιρεση αποτελεί η τιμή RMSD των στατικών λύσεων που προκύπτουν από τη χρήση μόνο του GPS την ημέρα 06/01/2014 καθώς αυτή ισούται με 16 εκατοστά. Φαίνεται, λοιπόν, ότι σε μικρές γωνίες αποκοπής η χρήση μόνο του συστήματος GPS παρέχει ικανοποιητική ακρίβεια, αν και η προσθήκη μετρήσεων από τα υπόλοιπα συστήματα GNSS φαίνεται να συμβάλλουν στην βελτίωση της. Όσο αφορά, έπειτα, τις μεγάλες γωνίες αποκοπής (30° και 40°), φαίνεται ότι η ακρίβεια θέσης παραμένει κάτω από το επίπεδο των 20 εκατοστών στην πλειονότητα των ημερών, με τους συνδυασμούς G/R και G/R/E/C να παρέχουν την υψηλότερη ακρίβεια. Όμως, ακόμα και η χρήση μόνο του GPS παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα στις γωνίες αυτές. Αυτό οφείλεται προφανώς στο

γεγονός ότι η χρονική διάρκεια των παρατηρήσεων είναι μεγάλη, με αποτέλεσμα να μην προκύπτουν προβλήματα ακόμα και με τη χρήση μόνο του GPS.

Αντίστοιχα αποτελέσματα παρατηρούνται και κατά τη διεύθυνση East, όπου οι τιμές RMSD για τις μικρές ( $10^\circ$  και  $20^\circ$ ) και μεγάλες ( $30^\circ$  και  $40^\circ$ ) γωνίες αποκοπής δορυφόρων παραμένουν κάτω από τα 10 και 20 εκατοστά αντίστοιχα στις περισσότερες περιπτώσεις. Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι η χρήση πολλαπλών συστημάτων, είτε G/R είτε G/R/E/C, παρέχει σημαντικά καλύτερη ακρίβεια από τη χρήση μόνο του GPS στη γωνία  $40^\circ$ , καθώς φαίνεται ότι οι τιμές RMSD των PPP λύσεων από τη χρήση του τελευταίου συστήματος υπερβαίνουν τα 10 εκατοστά κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου. Αντίθετα, οι τιμές RMSD που προκύπτουν από τους σχηματισμούς G/R και G/R/E/C παραμένουν κάτω από το επίπεδο των 10 εκατοστών στην πλειονότητα των περιπτώσεων.

Όσο αφορά τη διεύθυνση Up, παρατηρούνται γενικά διαφορετικά αποτελέσματα σε σχέση με τις υπόλοιπες διευθύνσεις. Συγκεκριμένα, η παρεχόμενη ακρίβεια κατά τη διεύθυνση Up είναι μειωμένη συγκριτικά με την αντίστοιχη κατά τις διευθύνσεις East και Up, καθώς η αύξηση της γωνίας αποκοπής παρουσιάζει σημαντικές επιδράσεις στην πρώτη. Αυτό φαίνεται εύκολα στις γωνίες  $30^\circ$  και  $40^\circ$ , όπου η ακρίβεια ορισμένες φορές ξεπερνά τα 25 εκατοστά με χρήση του συστήματος GPS. Ωστόσο, στις γωνίες αυτές τα συστήματα G/R και G/R/E/C παρουσιάζουν μικρότερες τιμές RMSD και βελτιώνουν αισθητά την ακρίβεια προσδιορισμού θέσης με την τεχνική PPP.

Εν συνεχεία, εξετάστηκαν και μικρότερα χρονικά διαστήματα παρατηρήσεων, 1 ώρα και 15 λεπτών, ώστε να διαπιστωθούν οι επιδράσεις της γωνίας αποκοπής των δορυφόρων και η συμβολή της χρήσης πολλαπλών συστημάτων GNSS στην παρεχόμενη ακρίβεια προσδιορισμού θέσης με τη μέθοδο PPP. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται οι τιμές RMSD των στατικών PPP λύσεων για χρονική διάρκεια 1 ώρας και το εξεταζόμενο διάστημα ημερών 06/01/2014 – 14/01/2014.



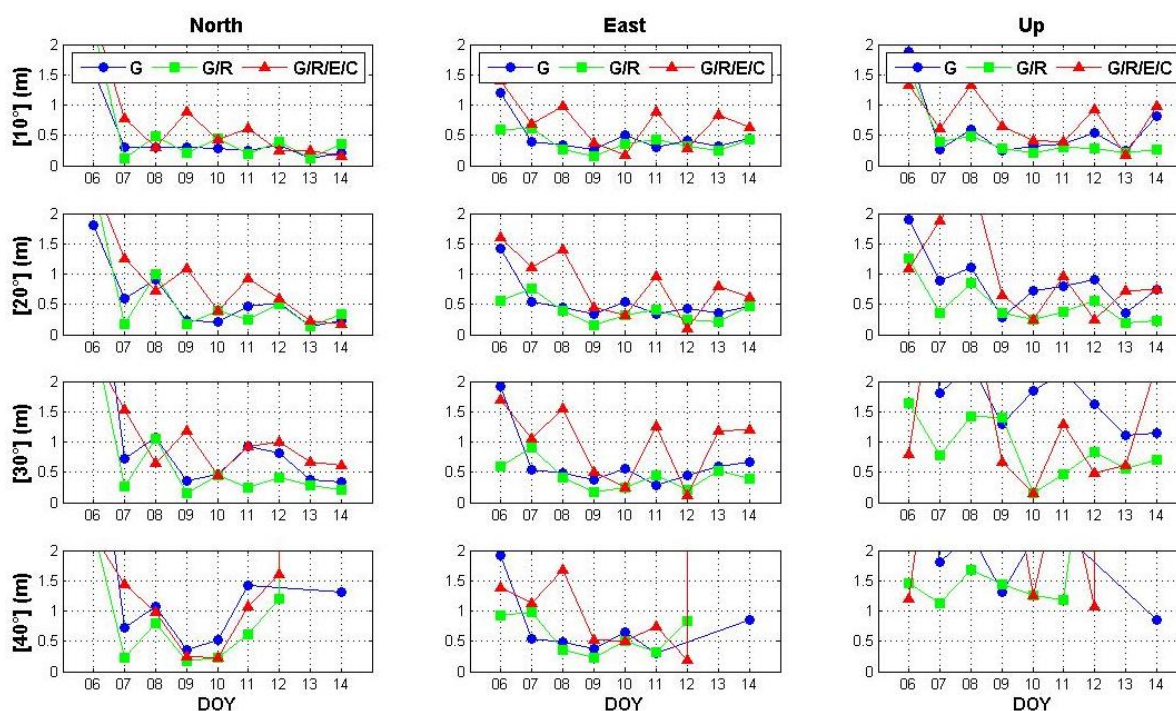
**Σχήμα 5-61:** Τιμές RMSD (σε m) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 1 ώρας και διαφορετικές γωνίες αποκοπής, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

Σύμφωνα με το Σχ. 5-61, γίνεται αντιληπτό ότι η αύξηση της γωνίας αποκοπής δορυφόρων σε χρονική διάρκεια 1 ώρας έχει σημαντικές επιπτώσεις στις παρεχόμενες τιμές RMSD. Συγκεκριμένα, οι τιμές RMSD των στατικών PPP λύσεων κατά τη διεύθυνση North από τη χρήση μόνο του GPS ανήκουν στο εύρος 10 – 15 εκατοστών, ενώ στις γωνίες  $20^\circ$  και  $30^\circ$  στο εύρος 10 – 25 και 20 – 60 εκατοστών αντίστοιχα. Ωστόσο, η προσθήκη των μετρήσεων

GLONASS, Galileo και BeiDou οδηγεί σε μείωση των παραπάνω τιμών στην πλειονότητα των περιπτώσεων.

Αντίστοιχα είναι τα αποτελέσματα και κατά τη διεύθυνση East, όπου παρατηρείται ότι σε γωνία 30° οι τιμές RMSD των λύσεων που προκύπτουν από το σύστημα G/R δεν ξεπερνούν τα 15 εκατοστά. Φαίνεται, δηλαδή, ότι σε χρονικό διάστημα 1 ώρας και γωνία αποκοπής 30°, το σύστημα G/R είναι σε θέση να παρέχει υψηλή ακρίβεια θέσης κατά τη διεύθυνση East, καθώς όπως φάνηκε και σε προηγούμενα σενάρια η διεύθυνση East έχει αρκετά περιθώρια βελτίωσης με τη χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS. Ωστόσο, η επιπλέον προσθήκη των μετρήσεων Galileo και BeiDou δεν φαίνεται να συμβάλλει σε περαιτέρω βελτίωση, πιθανώς λόγω κακής γεωμετρίας του σχηματισμού G/R/E/C. Όσο αφορά τη διεύθυνση Up, παρατηρούνται αρκετά μεγάλες τιμές RMSD από τη χρήση μόνο του συστήματος GPS. Με την προσθήκη μετρήσεων από τα διαθέσιμα συστήματα GNSS, φαίνεται να υπάρχει βελτίωση των τιμών αυτών αλλά όχι σημαντική.

Στα διαγράμματα του Σχ. 5-61 για τη γωνία αποκοπής 40° υπάρχει διαφορετική κλίμακα στον κατακόρυφο άξονα, επειδή οι προκύπτουσες τιμές RMSD ήταν αρκετά μεγάλες. Συγκεκριμένα, οι τελευταίες κατά τη διεύθυνση North υπερβαίνουν το 1 μέτρο, ενώ η χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C οδηγεί σε περίπου 50% μείωση αυτών. Αντίστοιχα είναι τα αποτελέσματα στην διεύθυνση East, όχι όμως στη διεύθυνση Up. Στην τελευταία παρατηρείται ότι οι τιμές RMSD από χρήση του GPS είναι της τάξης των 3 μέτρων, οι οποίες μειώνονται σε μεγάλο βαθμό με την επιπλέον προσθήκη των μετρήσεων GLONASS, Galileo και BeiDou. Αν και δεν φαίνεται η βελτίωση αυτή να οδηγεί σε υψηλής ακρίβειας προσδιορισμό θέσης, τα συστήματα G/R και G/R/E/C παρέχουν τιμές RMSD της τάξης του μισού μέτρου σε ορισμένες περιπτώσεις.



**Σχήμα 5-62:** Τιμές RMSD (σε m) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 15 λεπτών και διαφορετικές γωνίες αποκοπής, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

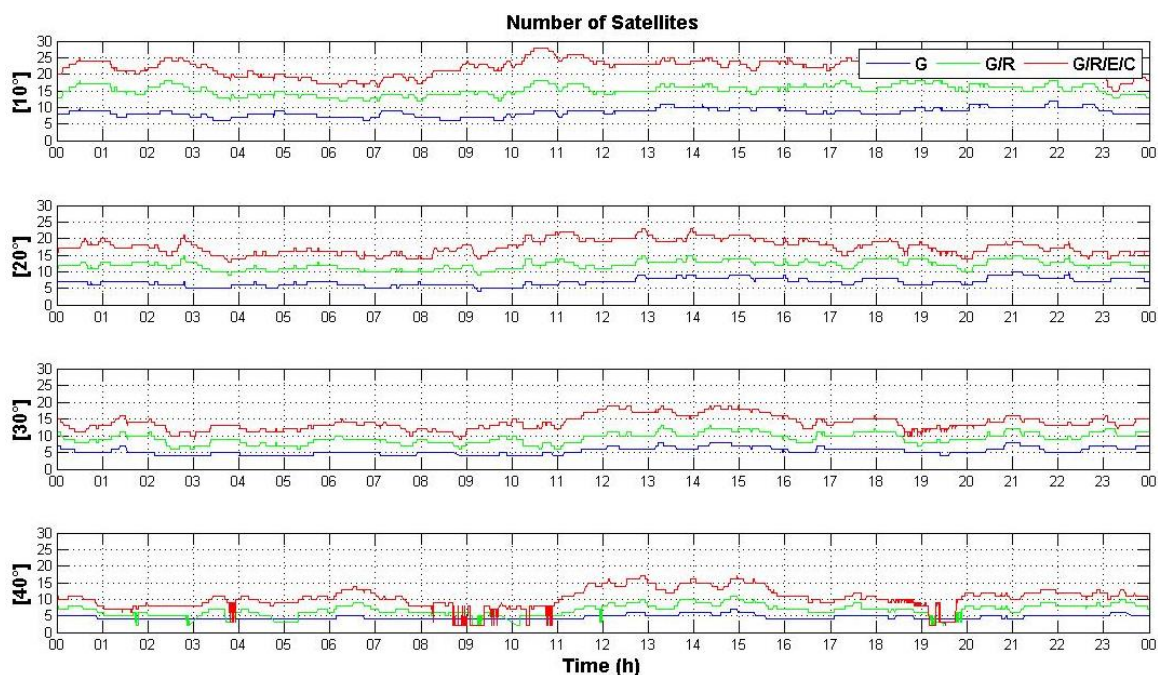
Σύμφωνα με το Σχ. 5-62, φαίνεται ότι υπάρχει αύξηση των τιμών RMSD σε χρονικό διάστημα 15 λεπτών, σε σύγκριση με τις αντίστοιχες σε διάρκεια 1 ώρας. Για τον λόγο αυτό, η κλίμακα του κατακόρυφου άξονα όλων των εσωτερικών διαγραμμάτων του σχήματος έχει διαμορφωθεί κατάλληλα ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη εποπτεία των αποτελεσμάτων.

Με μία σύντομη ανάγνωση του παραπάνω σχήματος, μπορεί κανείς εύκολα να διακρίνει ότι η αύξηση της γωνίας αποκοπής έχει σημαντικές επιπτώσεις στις στατικές PPP λύσεις, ιδιαίτερα στις διευθύνσεις North και Up. Φαίνεται, ακόμα, ότι σε γωνία 30° και 40° δεν



μπορεί να επιτευχθεί υψηλή ακρίβεια με τη χρήση μόνο του GPS, με εξαίρεση τη διεύθυνση East όπου η παρεχόμενη ακρίβεια είναι της τάξης των 50 εκατοστών. Παρ' όλα αυτά, η χρήση πολλαπλών συστημάτων οδηγεί σε βελτίωση των τιμών RMSD, με το σύστημα G/R να παρέχει τις μικρότερες τιμές στην πλειονότητα των περιπτώσεων. Αυτό που αξίζει να σημειωθεί εδώ είναι ότι σε γωνία 40° η χρήση μόνο μετρήσεων GPS δεν οδήγησε σε εντοπισμό θέσης τις ημέρες 12/01/2014 και 13/01/2014, το οποίο διορθώθηκε με τη χρήση των μετρήσεων GLONASS, Galileo και BeiDou.

Η διερεύνηση για τη συμβολή των πολλαπλών συστημάτων GNSS σε υψηλές γωνίες αποκοπής δορυφόρων συνέχισε με τον σταθμό CUT0. Στο Σχ. 5-63, απεικονίζεται ο αριθμός των δορυφόρων GNSS συναρτήσει διαφορετικών γωνιών αποκοπής δορυφόρων κατά τη διάρκεια της ημέρας 07/01/2014.



**Σχήμα 5-63:** Αριθμός ορατών δορυφόρων από τον μόνιμο σταθμό CUT0 στις 07/01/2014 συναρτήσει των γωνιών αποκοπής δορυφόρων. Ο αριθμός των δορυφόρων GPS, GPS+GLONASS και GPS+GLONASS+Galileo+BeiDou φαίνονται με μπλε, πράσινο και κόκκινο χρώμα αντίστοιχα.

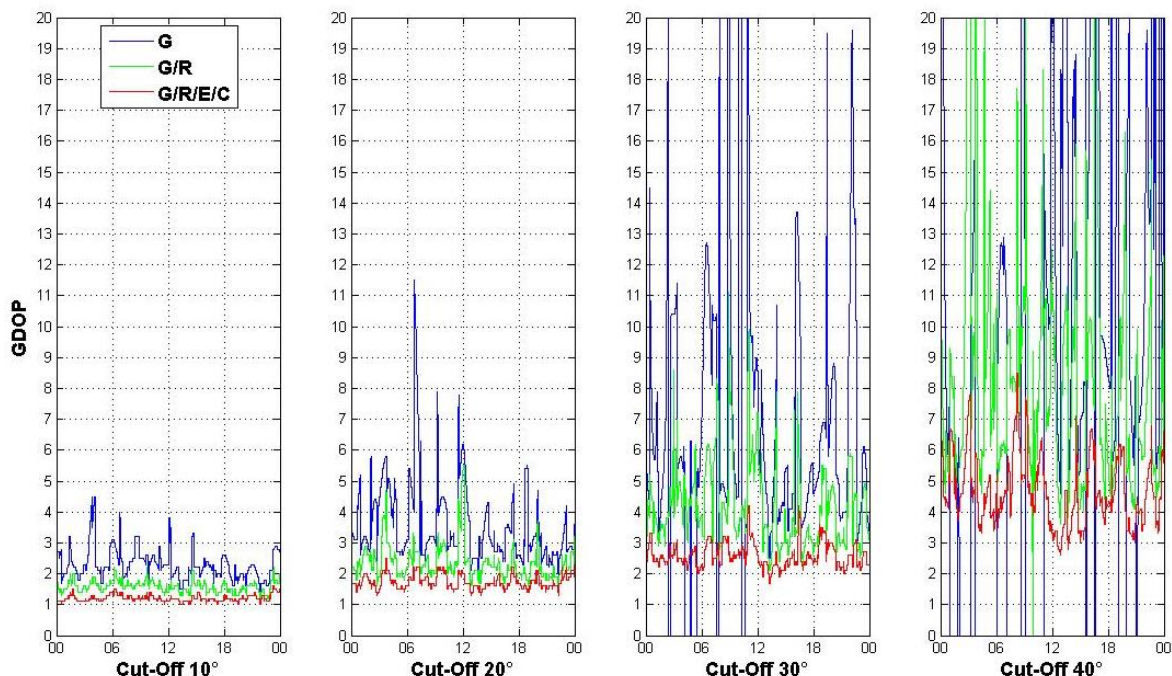
Όπως και προηγουμένως, παρατηρείται ότι η αύξηση της γωνίας αποκοπής οδηγεί σε μείωση του αριθμού των παρατηρούμενων δορυφόρων GPS από τον εν λόγω σταθμό. Σε αντίθεση με τον προηγούμενο, ο εν λόγω μόνιμος σταθμός CUT0 παρακολουθεί αρκετούς δορυφόρους BeiDou, με αποτέλεσμα ο συνολικός αριθμός των δορυφόρων να αυξάνεται σημαντικά, και να αγγίζει τους 15 ακόμα και σε γωνία 40°.

Παρατηρώντας τον δείκτη GDOP στο Σχ. 5-64, είναι εύκολο να ξεχωρίσει κανείς ότι η αύξηση της γωνίας αποκοπής των δορυφόρων οδηγεί σε αύξηση του δείκτη GDOP, καθώς παρατηρούνται όλο και λιγότεροι δορυφόροι με μικρή διασπορά μεταξύ τους. Φαίνεται, όμως, ότι η χρήση δορυφόρων από περισσότερα του ενός δορυφορικά συστήματα μπορεί να επιφέρει σημαντικές βελτιώσεις στον εν λόγω δείκτη.

Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι ο δείκτης GDOP στις γωνίες 10° και 20° δεν υπερβαίνει την τιμή 4 και 6 αντίστοιχα με χρήση μόνο του συστήματος GPS. Παρ' όλα αυτά, με την περαιτέρω αύξηση της γωνίας αποκοπής ο δείκτης αυτός αυξάνεται, με αποτέλεσμα να μειώνεται αισθητά το επίπεδο εμπιστοσύνης της ακρίβειας εντοπισμού θέσης με την μέθοδο PPP. Η συμβολή της χρήσης πολλαπλών συστημάτων GNSS, και συγκεκριμένα του σχηματισμού G/R/E/C, γίνεται εμφανής ιδιαίτερα στις μεγάλες γωνίες αποκοπής, 30° και 40°, όπου οι δείκτες GDOP δεν ξεπερνούν τις τιμές 3 και 5.5 στο μεγαλύτερο μέρος της εξεταζόμενης διάρκειας. Αντίστοιχες, αλλά ελαφρώς μεγαλύτερες, είναι οι τιμές GDOP για το σύστημα G/R οι οποίες όμως υπερέχουν σε σχέση με τη χρήση μόνο του GPS.



Ακολουθως, έλαβε χώρα η επεξεργασία των παραπάνω δεδομένων με τον τύπο εντοπισμού PPP-static τόσο με την αυτόνομη χρήση των συστημάτων όσο και στην συνδυαστική χρήση, ώστε να διαπιστωθεί εάν και κατά πόσο υπάρχει βελτίωση της ακρίβειας στον εντοπισμό θέσης σε διάφορες γωνίες αποκοπής δορυφόρων. Στο Σχ. 5-65, απεικονίζονται οι στατικές PPP λύσεις που προέκυψαν από την αυτόνομη χρήση (GPS) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) στον σταθμό CUT0 στις 07/01/2014.



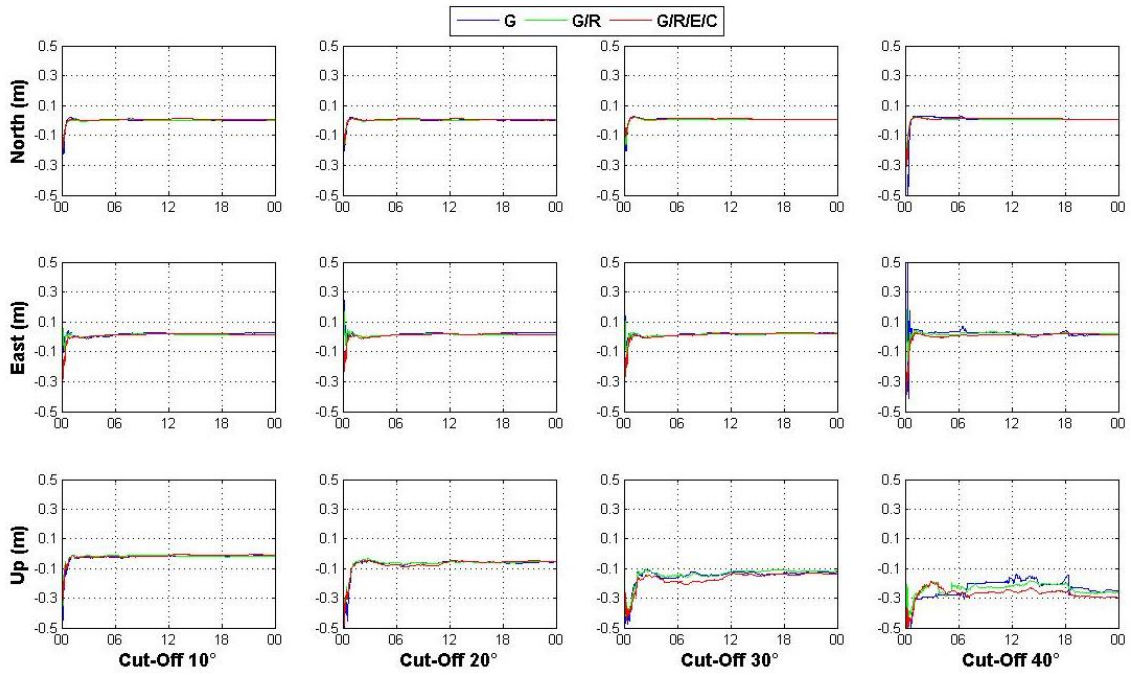
**Σχήμα 5-64:** Δείκτης GDOP για τους δορυφορικούς σχηματισμούς GPS, GPS+GLONASS, GPS+GLONASS+Galileo+BeiDou για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων στον σταθμό CUT0 στις 07/01/2014

Όπως φαίνεται από το Σχ. 5-65, η αύξηση της γωνίας αποκοπής από 10° έως 40° έχει επίδραση στις στατικές PPP λύσεις, και ειδικότερα στις διευθύνσεις East και Up, αν και όχι τόσο σημαντική όπως στην προηγούμενη περίπτωση. Συγκεκριμένα, είναι εμφανές ότι η ποιότητα των PPP λύσεων, που προκύπτουν από το GPS, κατά τη διεύθυνση North δεν επηρεάζεται από την αύξηση της γωνίας αποκοπής των δορυφόρων, παρά μόνο ο χρόνος σύγκλισης τους στη γωνία αποκοπής 40°. Επιπλέον, δεν φαίνεται να υπάρχει βελτίωση στη ποιότητα των λύσεων με την προσθήκη μετρήσεων από τα υπόλοιπα δορυφορικά συστήματα GNSS.

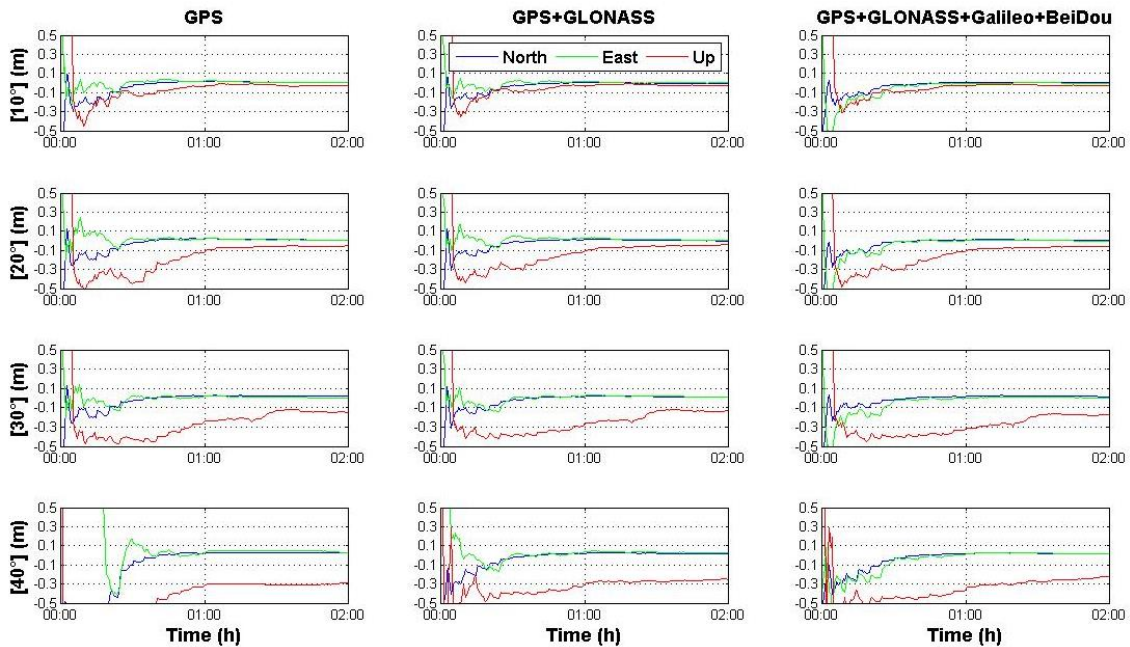
Αντίστοιχα είναι τα αποτελέσματα κατά τη διεύθυνση East, όπου μόνο στη γωνία 40° παρατηρείται να επηρεάζονται οι στατικές PPP λύσεις από τη χρήση μόνο του GPS. Συγκεκριμένα, γίνεται αντιληπτό ότι έχει αυξηθεί ο χρόνος σύγκλισης των τελευταίων στη συγκεκριμένη γωνία αποκοπής, ενώ παράλληλα παρουσιάζονται ορισμένες αποκλίσεις από το επίπεδο των 10 εκατοστών κατά την εξέλιξη της λύσης.

Η κύρια επίδραση της αύξησης της γωνίας αποκοπής παρουσιάζεται κατά τη διεύθυνση Up, εφόσον η αύξηση αυτή οδηγεί σε μείωση της ποιότητας των στατικών PPP λύσεων. Αξίζει να σημειωθεί ότι στις γωνίες 30° και 40° οι στατικές PPP λύσεις που προκύπτουν από τη χρήση μόνο του GPS δεν συγκλίνουν στο επίπεδο των 10 εκατοστών. Παράλληλα, ούτε η προσθήκη των μετρήσεων GLONASS, Galileo και BeiDou φαίνεται να συμβάλλει στην βελτίωση της προηγούμενης κατάστασης.

Μία μεγέθυνση στο πρώτο δίωρο της στατικής επεξεργασίας PPP, μέσω του Σχ. 5-66, είναι αρκετή για να διαπιστωθεί η βελτίωση που υπάρχει στον χρόνο σύγκλισης των στατικών λύσεων με τη χρήση δεδομένων από πολλαπλά συστήματα GNSS.



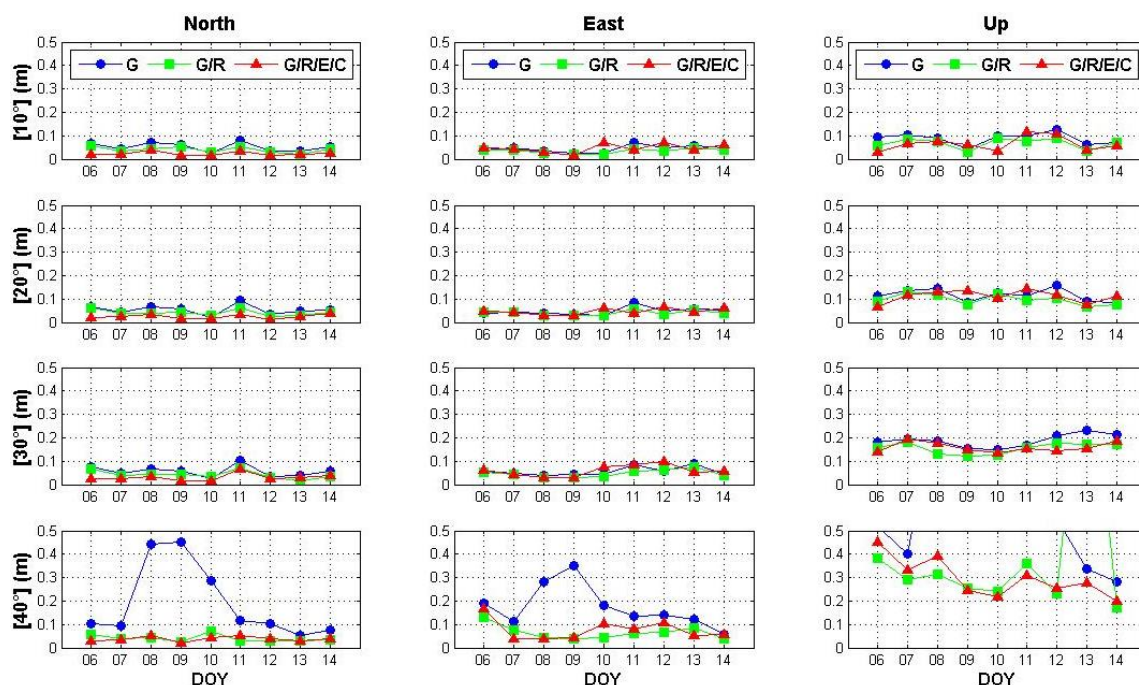
**Σχήμα 5-65:** Στατικές PPP λύσεις ανά διεύθυνση από την αυτόνομη χρήση του GPS και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων στον σταθμό CUT0 στις 07/01/2014



**Σχήμα 5-66:** Πρώτο δώρο των στατικών PPP λύσεων από την αυτόνομη χρήση του GPS και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων στον σταθμό CUT0 στις 07/01/2014

Συγκεκριμένα, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι υπάρχει βελτίωση του χρόνου σύγκλισης των στατικών PPP λύσεων κατά τη διεύθυνση North στις γωνίες αποκοπής 10° και 20° με τη χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C. Παράλληλα, αντίστοιχη βελτίωση υπάρχει και κατά τη διεύθυνση East, με τη διαφορά ότι ο χρόνος σύγκλισης των PPP λύσεων από το σύστημα G/R/E/C κατά τη συγκεκριμένη διεύθυνση έχει αυξηθεί ελαφρώς, αντί να μειωθεί, σε σχέση με το σύστημα G/R. Η αύξηση αυτή πιθανώς οφείλεται είτε στην κακή γεωμετρία του δορυφορικού σχηματισμού G/R/E/C στη συγκεκριμένη γωνία αποκοπής, είτε στο γεγονός ότι η διεύθυνση East είναι η λιγότερο ακριβής διεύθυνση που προσδιορίζεται με την τεχνική PPP. Όσο αφορά τη γωνία 40°, φαίνεται ότι τα συστήματα G/R και G/R/E/C παρέχουν μικρότερο χρόνο σύγκλισης σε σχέση με τη χρήση του GPS, εφόσον αυτός έχει υποστεί 38% και 35% μείωση κατά τις διευθύνσεις North και East αντίστοιχα.

Εν συνεχεία, ακολούθησε η ποσοτική αξιολόγηση των παραπάνω λύσεων, με τον υπολογισμό των τιμών RMSD των στατικών PPP λύσεων για χρονική διάρκεια 24 ωρών στην περίοδο 06/01/2014 – 14/01/2014. Για τον ίδιο λόγο όπως προηγουμένως, δημιουργήθηκαν κατάλληλα διαγράμματα έτσι ώστε να γίνει πιο εποπτική η παρουσίαση τους. Στο Σχ. 5-67, απεικονίζονται οι τιμές RMSD των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό CUT0 για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων και το παραπάνω εξεταζόμενο διάστημα ημερών.



**Σχήμα 5-67:** Τιμές RMSD (σε m) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό CUT0 για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών και διαφορετικές γωνίες αποκοπής, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

Από το παραπάνω σχήμα προκύπτει το συμπέρασμα ότι η χρήση μόνο του GPS παρέχει ικανοποιητική ακρίβεια θέσης μέχρι και τη γωνία αποκοπής 30°. Ωστόσο, με την περαιτέρω αύξηση της εν λόγω γωνίας, υπάρχει σαφής μείωση της παρεχόμενης ακρίβειας προσδιορισμού θέσης. Όμως, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS μπορεί να επιφέρει σημαντική αύξηση της ακρίβειας θέσης ακόμα και σε γωνία 40°.

Συγκεκριμένα, μπορεί κανείς εύκολα να διακρίνει ότι οι τιμές RMSD των στατικών PPP λύσεων από το σύστημα GPS και κατά τη διεύθυνση North δεν υπερβαίνουν τα 10 εκατοστά μέχρι και τη γωνία αποκοπής 30°, το οποίο όμως συμβαίνει στη γωνία 40°. Αν και στις μικρότερες γωνίες αποκοπής το σύστημα GPS παρέχει ικανοποιητική ακρίβεια θέσης, υπάρχει αισθητή βελτίωση αυτής με τη χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS. Πιο αναλυτικά, το σύστημα G/R παρέχει μείωση της τάξης του 21%, 18%, 21% στις τιμές RMSD κατά τη διεύθυνση North και στις γωνίες 10°, 20° και 30° αντίστοιχα σε σύγκριση με



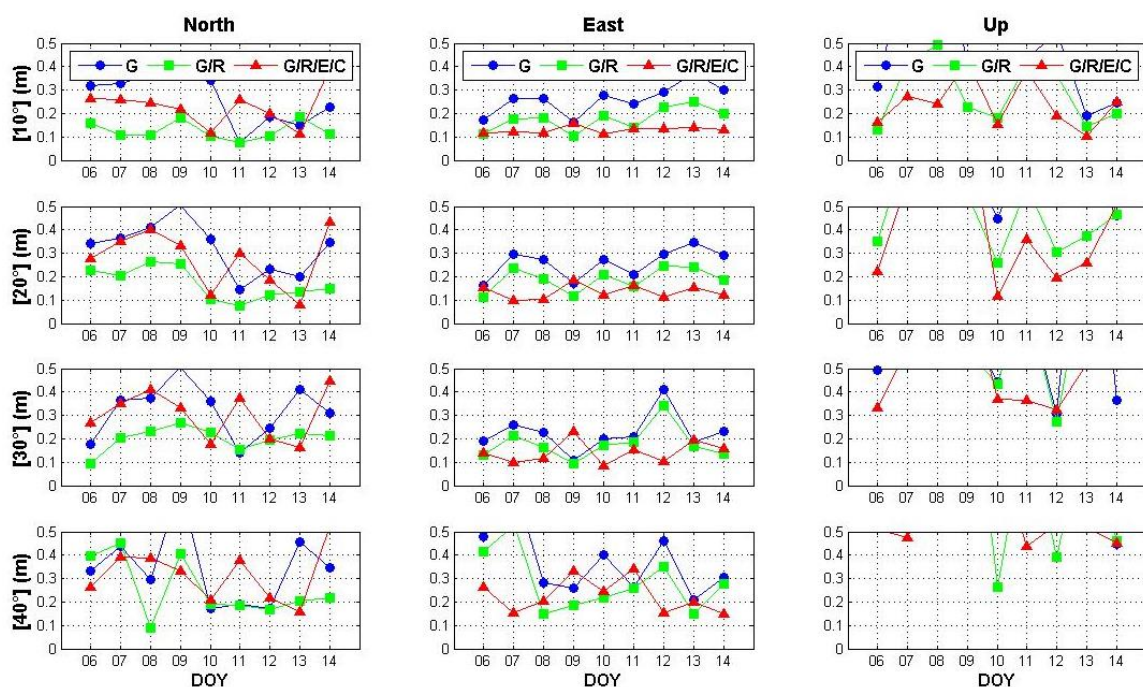
τις τιμές RMSD που προκύπτουν από τη χρήση μόνο του GPS. Επιπλέον, η προσθήκη των μετρήσεων Galileo και BeiDou οδηγεί σε 51%, 52% και 44% μείωση των τιμών RMSD στις παραπάνω γωνίες σε σχέση πάλι με τις παρεχόμενες τιμές RMSD από τη χρήση μόνο του GPS. Όσο αφορά τη γωνία 40°, φαίνεται ότι οι τιμές RMSD από το σύστημα GPS αυξάνονται και υπερβαίνουν τα 10 εκατοστά, ενώ σε ορισμένες ημέρες αγγίζουν τα 45 εκατοστά. Ωστόσο, τις τιμές αυτές φαίνεται να βελτιώνουν αισθητά τα συστήματα G/R και G/R/E/C καθώς η μείωση είναι της τάξης του 67% και 68% αντίστοιχα.

Αντίστοιχη βελτίωση της ακρίβειας θέσης παρατηρείται και κατά τη διεύθυνση East με τη χρήση πολλαπλών συστημάτων. Συγκεκριμένα, υπάρχει 20%, 16%, 16% και 54% μείωση των τιμών RMSD στις εξεταζόμενες γωνίες με τη χρήση του συστήματος G/R, ενώ το σύστημα G/R/E/C φαίνεται να παρουσιάζει ουσιαστική βελτίωση μόνο στη γωνία αποκοπής 40° όπου η μείωση των εν λόγω τιμών είναι της τάξης του 46%.

Όσο αφορά τη διεύθυνση Up, μπορεί κανείς εύκολα να διακρίνει ότι το σύστημα GPS είναι σε θέση να παρέχει μόνο του ικανοποιητική ακρίβεια ακόμα και σε γωνία 30°. Η προσθήκη, όμως, των μετρήσεων GLONASS, Galileo και BeiDou οδηγεί σε περαιτέρω αύξηση της παρεχόμενης ακρίβειας, εφόσον υπάρχει 23%, 18%, 17% και 20%, 5%, 14% μείωση των τιμών RMSD από τα συστήματα G/R και G/R/E/C στις γωνίες 10°, 20° και 30° αντίστοιχα. Παρ' όλα αυτά, το σύστημα GPS δεν φαίνεται να είναι αξιόπιστο σε γωνία 40°, καθώς οι προκύπτουσες τιμές RMSD υπερβαίνουν τα 50 εκατοστά. Με τη χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C υπάρχει 5% και 43% μέση μείωση των τιμών αυτών.

Όπως φαίνεται, λοιπόν, από τα παραπάνω αποτελέσματα, η χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS συμβάλλει καθοριστικά στην αύξηση της ακρίβειας προσδιορισμού θέσης με την τεχνική PPP. Αυτό που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι η μέγιστη τιμή RMSD που παρέχει το σύστημα GPS είναι περίπου 45 εκατοστά, ενώ η αντίστοιχη από τα συστήματα G/R και G/R/E/C είναι 7 και 5 εκατοστά αντίστοιχα.

Εν συνεχεία, εξετάστηκαν και μικρότερα χρονικά διαστήματα παρατηρήσεων, 1 ώρας και 15 λεπτών, ώστε να διαπιστωθούν οι επιδράσεις της γωνίας αποκοπής των δορυφόρων και η συμβολή της χρήσης πολλαπλών συστημάτων GNSS στην παρεχόμενη ακρίβεια προσδιορισμού θέσης με τη μέθοδο PPP. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται οι τιμές RMSD των στατικών PPP λύσεων για χρονική διάρκεια 1 ώρας και το εξεταζόμενο διάστημα ημερών 06/01/2014 – 14/01/2014.



**Σχήμα 5-68:** Τιμές RMSD (σε m) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό CUTO για διάρκεια παρατηρήσεων 1 ώρας και διαφορετικές γωνίες αποκοπής, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

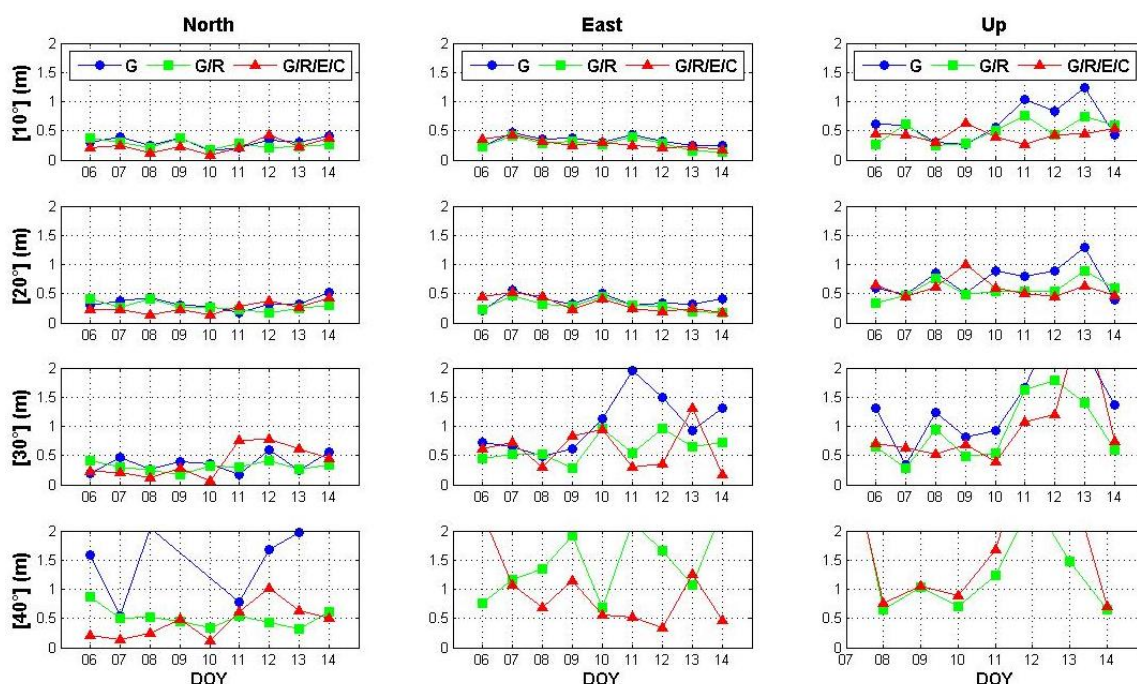
Όπως φαίνεται από το Σχ. 5-68, η αύξηση της γωνίας αποκοπής των δορυφόρων οδηγεί σε αύξηση των τιμών RMSD, ιδιαίτερα κατά την διεύθυνση Up. Ωστόσο, φαίνεται ότι στην πλειονότητα των περιπτώσεων τα συστήματα G/R και G/R/E/C παρέχουν αρκετά μικρότερες τιμές RMSD.

Συγκεκριμένα, μπορεί κανείς εύκολα να διακρίνει ότι οι τιμές RMSD των στατικών PPP λύσεων από το σύστημα GPS δεν υπερβαίνουν τα 40 εκατοστά κατά τη διεύθυνση North, με εξαίρεση τη γωνία αποκοπής 40°. Ωστόσο, φαίνεται ότι υπάρχει μείωση των εν λόγω τιμών με χρήση του συστήματος G/R, της τάξης του 43%, 46%, 33% και 20% στις γωνίες 10°, 20°, 30° και 40° αντίστοιχα. Δεν συμβαίνει, όμως, το ίδιο με το σύστημα G/R/E/C το οποίο παρουσιάζει μεν βελτίωση της ακρίβειας σε σύγκριση με τη χρήση μόνο του GPS, αλλά μόνο σε ορισμένες περιπτώσεις.

Όσο αφορά τη διεύθυνση East, παρατηρούνται παρόμοια αποτελέσματα με την προηγούμενη διεύθυνση, με τη διαφορά ότι η επιπλέον προσθήκη των μετρήσεων Galileo και BeiDou συμβάλλει σε περαιτέρω μείωση των τιμών RMSD. Συγκεκριμένα, ενώ το σύστημα G/R παρέχει 33%, 27%, 20% και 25% μείωση των τιμών RMSD των λύσεων με χρήση μόνο του GPS στις γωνίες 10°, 20°, 30° και 40° αντίστοιχα, το σύστημα G/R/E/C παρέχει 46%, 42%, 23% και 28% μείωση στις αντίστοιχες γωνίες. Όπως φάνηκε, λοιπόν, και στα σενάρια όπου γινόταν διερεύνηση των διαστημάτων παρατήρησης, έτσι και στην προκειμένη περίπτωση η χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS συμβάλλει καθοριστικά στην αύξηση της ακρίβειας θέσης κατά τη διεύθυνση East.

Ακολουθώντας, φαίνεται ότι κατά τη διεύθυνση Up η αύξηση της γωνίας αποκοπής έχει σημαντικές επιπτώσεις στην παρεχόμενη ακρίβεια θέσης, καθώς στις γωνίες 30° και 40° οι αντίστοιχες τιμές RMSD υπερβαίνουν τα 50 εκατοστά στην πλειονότητα των περιπτώσεων. Παράλληλα, σε σύγκριση με τις τιμές RMSD που προκύπτουν από το σύστημα GPS, προκύπτει 38%, 29%, 7%, 22% μείωση με προσθήκη των μετρήσεων GLONASS και 42%, 39%, 13%, 41% μείωση με την επιπλέον προσθήκη των μετρήσεων Galileo και BeiDou στις γωνίες 10°, 20°, 30°, 40° αντίστοιχα.

Εν συνεχεία, ακολούθησε η ίδια επεξεργασία σε χρονική διάρκεια 15 λεπτών, τα αποτελέσματα της οποίας παρατίθενται στο παρακάτω σχήμα. Σε αυτό, έχει διαμορφωθεί κατάλληλα η κλίμακα στον κατακόρυφο άξονα έτσι ώστε να είναι ορατά περισσότερα αποτελέσματα.

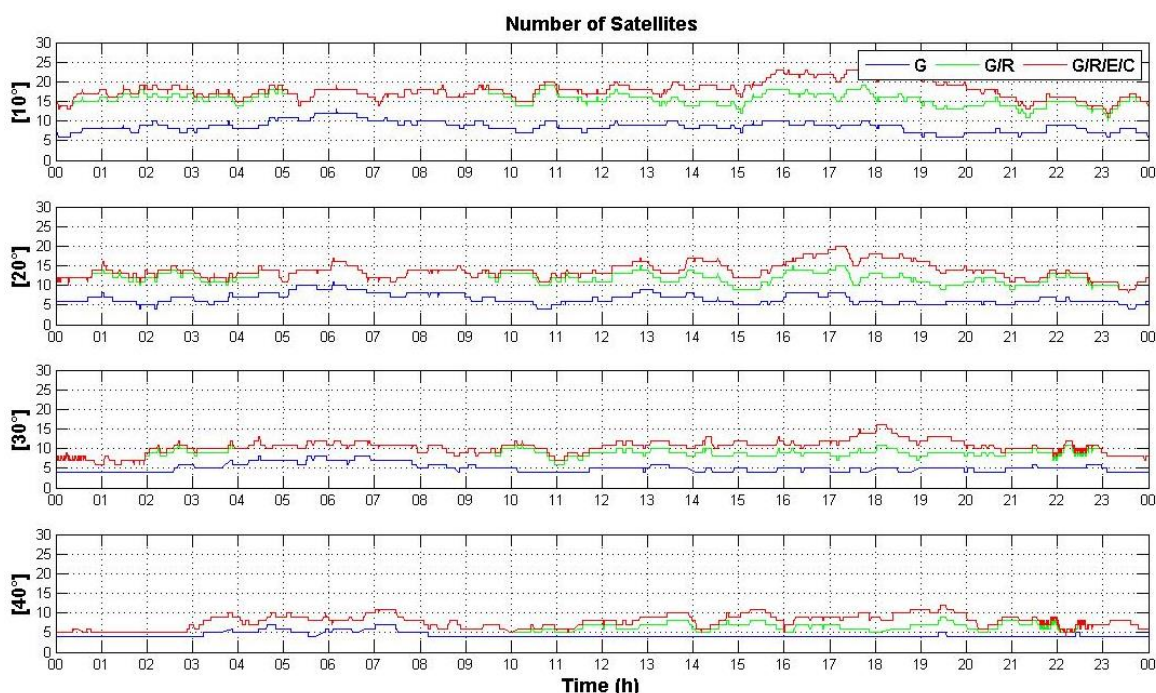


**Σχήμα 5-69:** Τιμές RMSD (σε m) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό CUT0 για διάρκεια παρατηρήσεων 15 λεπτών και διαφορετικές γωνίες αποκοπής, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

Όπως φαίνεται στο Σχ. 5-69, παρατηρούνται παρόμοια αποτελέσματα με την προηγούμενη διάρκεια παρατηρήσεων, με την διαφορά ότι στην προκειμένη περίπτωση υπάρχει γενική αύξηση των τιμών RMSD λόγω της μικρής χρονικής διάρκειας παρατηρήσεων. Χαρακτηριστική είναι η βελτίωση κατά τη διεύθυνση North, όπου με τη χρήση του συστήματος G/R/E/C μπορεί να επιτευχθεί σε ορισμένες περιπτώσεις προσδιορισμός θέσης με ακρίβεια καλύτερη των 20 εκατοστών.

### 5.3.2 Κινηματικές PPP λύσεις (forward)

Η υποενότητα αυτή πραγματεύεται την ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων με την τεχνική επεξεργασίας PPP-kinematic και φίλτρο forward. Η διερεύνηση για τη συμβολή των πολλαπλών συστημάτων GNSS σε υψηλές γωνίες αποκοπής δορυφόρων ξεκίνησε στον σταθμό UNB3. Στο Σχ. 5-70, απεικονίζεται ο αριθμός των δορυφόρων GNSS συναρτήσει διαφορετικών γωνιών αποκοπής δορυφόρων κατά τη διάρκεια της ημέρας 13/01/2014.

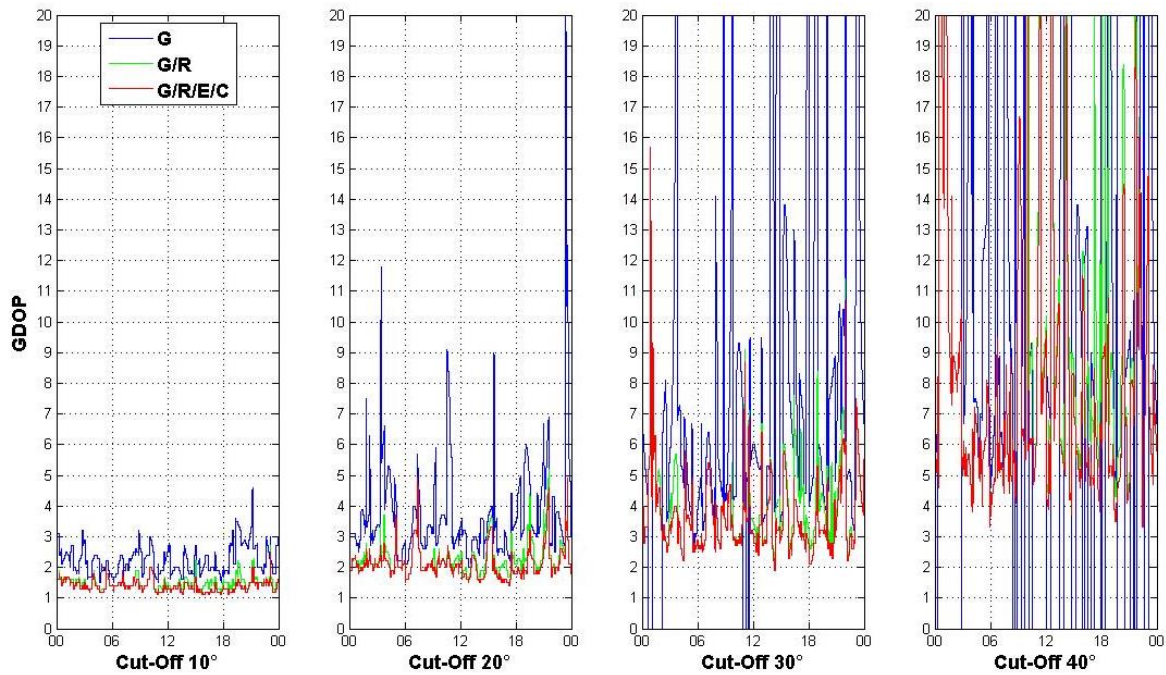


**Σχήμα 5-70:** Αριθμός ορατών δορυφόρων από τον μόνιμο σταθμό UNB3 στις 13/01/2014 συναρτήσει των γωνιών αποκοπής δορυφόρων. Ο αριθμός των δορυφόρων GPS, GPS+GLONASS και GPS+GLONASS+Galileo+BeiDou φαίνονται με μπλε, πράσινο και κόκκινο χρώμα αντίστοιχα.

Όπως φαίνεται από το παραπάνω σχήμα, η σταδιακή αύξηση της γωνίας αποκοπής από 10° σε 40° οδηγεί σε αισθητή μείωση των δορυφόρων GPS κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης ημέρας, οι οποίοι στη μέγιστη εξεταζόμενη γωνία είναι μεταξύ 4 και 7. Γίνεται εύκολα αντιληπτό, ωστόσο, ότι με τη χρήση δορυφόρων από περισσότερα δορυφορικά συστήματα ο αριθμός αυτός αυξάνεται, έτσι ώστε να μην τίθεται θέμα αξιοπιστίας σε ακραία περιβάλλοντα.

Παρατηρώντας, ακόμη, τον δείκτη GDOP στο Σχ. 5-71, είναι εύκολο να ξεχωρίσει κανείς ότι σε μεγάλες γωνίες αποκοπής δορυφόρων (30° και 40°) το σύστημα GPS παρουσιάζει αρκετές αποκλίσεις από την τιμή 10. Ως αποτέλεσμα, υπάρχει χαμηλό επίπεδο εμπιστοσύνης ως προς τον ακριβή προσδιορισμό θέσης με τη χρήση μετρήσεων μόνο GPS. Παρ' όλα αυτά, παρατηρείται ότι με τη χρήση των σχηματισμών G/R και G/R/E/C, ο δείκτης GDOP μειώνεται σε μεγάλο βαθμό. Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό, ότι στη γωνία αποκοπής 40° ο δείκτης GDOP για το σχηματισμό G/R/E/C υπερβαίνει την τιμή 9 μόνο σε ορισμένες χρονικά διαστήματα, όπου πραγματοποιείται αναπροσαρμογή στον αριθμό των ορατών δορυφόρων εξ αιτίας της καθόδου και της ανόδου αυτών από τον ορίζοντα.





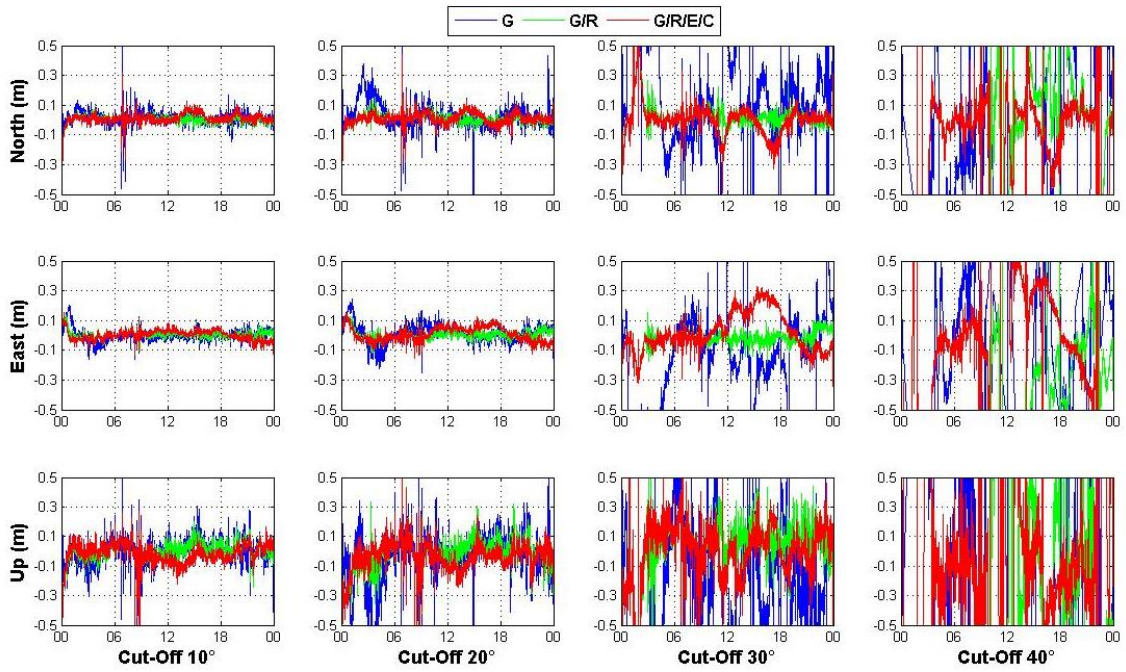
**Σχήμα 5-71:** Δείκτης GDOP για τους δορυφορικούς σχηματισμούς GPS, GPS+GLONASS, GPS+GLONASS+Galileo+BeiDou για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014

Ακολουθως, έλαβε χώρα η επεξεργασία των παραπάνω δεδομένων με τον τύπο εντοπισμού PPP-kinematic και φίλτρο forward, τόσο με την αυτόνομη χρήση των συστημάτων όσο και στην συνδυαστική χρήση, ώστε να διαπιστωθεί εάν και κατά πόσο υπάρχει βελτίωση της ακρίβειας στον εντοπισμό θέσης σε διάφορες γωνίες αποκοπής δορυφόρων. Στο Σχ. 5-72, απεικονίζονται οι κινηματικές PPP λύσεις που προέκυψαν από την αυτόνομη χρήση (GPS) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014.

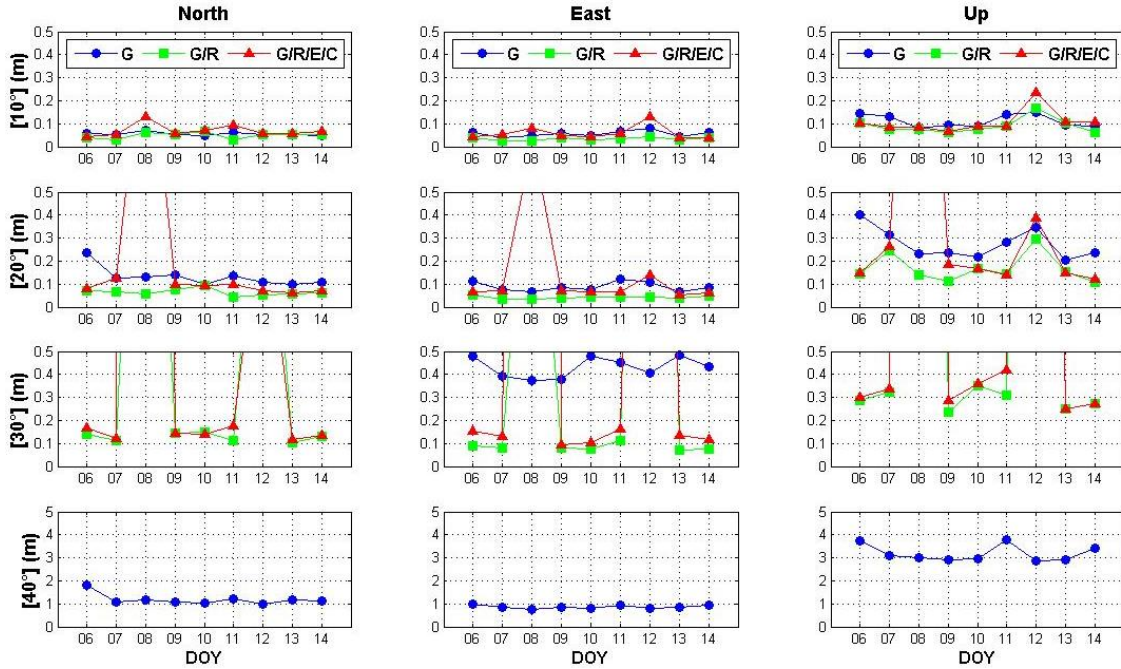
Όπως φαίνεται από το παρακάτω σχήμα, όσο αυξάνεται η γωνία αποκοπής των δορυφόρων, τόσο περισσότερος θόρυβος δημιουργείται στις κινηματικές PPP λύσεις. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι οι λύσεις που προκύπτουν από τη χρήση μόνο του GPS παρουσιάζουν καλή ποιότητα στις μικρές γωνίες αποκοπής (10° και 20°), στις οποίες τα συστήματα G/R και G/R/E/C εξομαλύνουν σε καλό βαθμό τον υπάρχον θόρυβο και παρέχουν πιο σταθερές λύσεις. Έπειτα, γίνεται αντιληπτό ότι στη γωνία 30° οι κινηματικές λύσεις με χρήση του GPS είναι πολύ ασταθείς και αποκλίνουν από το επίπεδο των 10 εκατοστών.

Η επιπλέον προσθήκη των μετρήσεων GLONASS, Galileo και BeiDou οδηγεί σε πιο σταθερές λύσεις, αν και το σύστημα G/R/E/C δεν παρέχει τη βέλτιστη λύση κατά τη διεύθυνση East. Η πιο σταθερή λύση στη συγκεκριμένη διεύθυνση παρέχεται από το σύστημα G/R, του οποίου οι λύσεις παραμένουν εντός του επιπέδου των 10 εκατοστών και δεν παρουσιάζουν αποκλίσεις από αυτό. Με την περαιτέρω αύξηση της γωνίας αποκοπής σε 40°, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι το σύστημα GPS δεν μπορεί να παρέχει ικανοποιητικές λύσεις καθώς αυτές χαρακτηρίζονται από μεγάλη αστάθεια. Αν και οι κινηματικές λύσεις από τα συστήματα G/R και G/R/E/C παρουσιάζουν αρκετή αστάθεια, παρέχουν σαφώς καλύτερη ποιότητα σε σύγκριση με τη χρήση δεδομένων μόνο GPS.

Εν συνεχεία, ακολούθησε η ποσοτική αξιολόγηση των παραπάνω λύσεων, με τον υπολογισμό των τιμών RMSD των κινηματικών PPP λύσεων για χρονική διάρκεια 24 ωρών στην περίοδο 06/01/2014 – 14/01/2014. Για τον ίδιο λόγω όπως προηγουμένως, δημιουργήθηκαν κατάλληλα διαγράμματα έτσι ώστε να γίνει πιο εποπτική η παρουσίαση τους. Στο Σχ. 5-73, απεικονίζονται οι τιμές RMSD των κινηματικών PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων και το παραπάνω εξεταζόμενο διάστημα ημερών.



**Σχήμα 5-72:** Κινηματικές PPP (forward) λύσεις ανά διεύθυνση από την αυτόνομη χρήση του GPS και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων, στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014



**Σχήμα 5-73:** Τιμές RMSD (σε m) των κινηματικών PPP (forward) λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών και διαφορετικές γωνίες αποκοπής, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 - 14/01/2014)



Από το παραπάνω σχήμα, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η αύξηση της γωνίας αποκοπής οδηγεί σε σημαντική αύξηση των τιμών RMSD των κινηματικών λύσεων που προκύπτουν από τους εξεταζόμενους δορυφορικούς σχηματισμούς. Συγκεκριμένα, είναι εμφανές ότι οι τιμές RMSD των λύσεων από το σύστημα GPS δεν υπερβαίνουν τα 15 εκατοστά στην πλειονότητα των περιπτώσεων σε γωνία 10°. Ωστόσο, υπάρχει μείωση των τιμών αυτών κατά 10%, 40% και 66% στις διευθύνσεις North, East και Up αντίστοιχα με την προσθήκη των μετρήσεων GLONASS. Όσο αφορά το σύστημα G/R/E/C, δεν φαίνεται να συμβάλλει στην περαιτέρω βελτίωση των τιμών αυτών.

Καθώς η γωνία αποκοπής αυξάνεται στις 20°, φαίνεται ότι υπάρχει αύξηση των τιμών RMSD των λύσεων από το σύστημα GPS, ιδιαίτερα κατά τη διεύθυνση Up. Όπως και προηγουμένως, η χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C οδηγεί σε 47%, 51%, 18% και 29%, 24% και 3% μείωση των παραπάνω τιμών κατά τις διευθύνσεις North, East και Up αντίστοιχα στην πλειονότητα των εξεταζόμενων ημερών. Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι σε γωνία αποκοπής 20° το σύστημα G/R/E/C παρέχει αρκετά μεγάλη τιμή RMSD στις τρεις διευθύνσεις την ημέρα 08 (08/01/2014). Αυτό πιθανώς οφείλεται στην κακή γεωμετρία του σχηματισμού G/R/E/C που δημιουργήθηκε τη συγκεκριμένη ημέρα, καθώς απαραίτητο στοιχείο για τον αξιόπιστο και ακριβή προσδιορισμό θέσης αποτελεί η ορθή κατανομή και διασπορά των δορυφόρων.

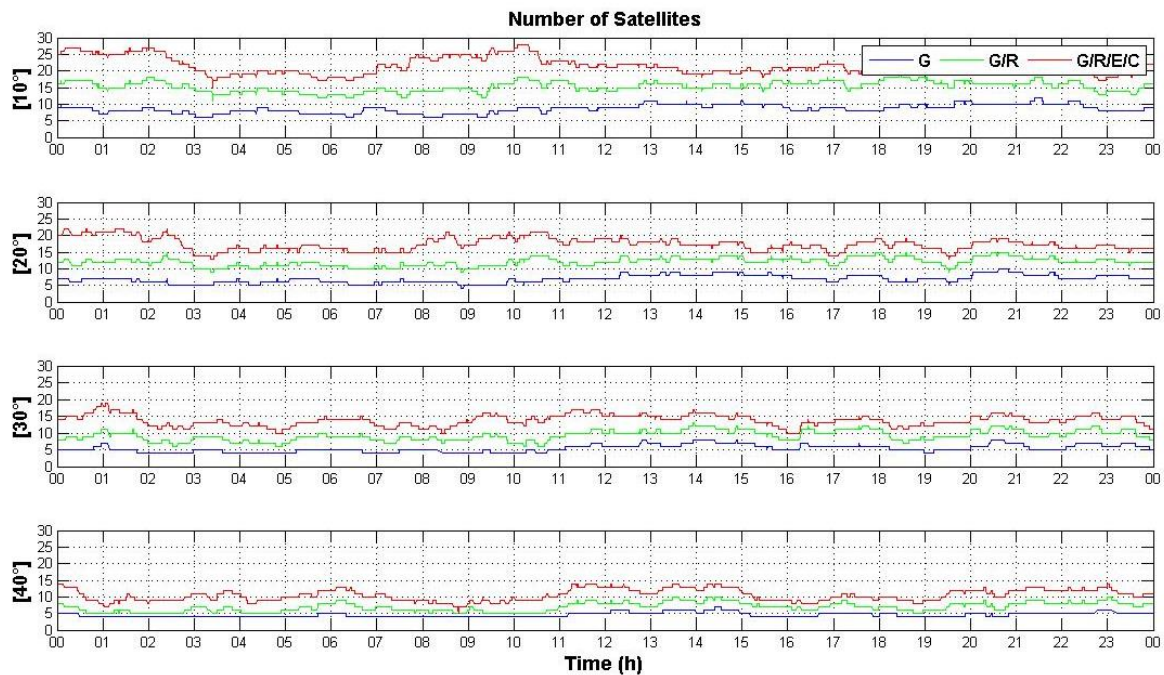
Έπειτα, μπορεί κανείς εύκολα να διακρίνει ότι οι τιμές RMSD που προκύπτουν από τη χρήση του συστήματος GPS ξεπερνούν τα 50 εκατοστά σε γωνία 30°, με εξαίρεση τη διεύθυνση East όπου οι πρώτες βρίσκονται στο εύρος 40 – 50 εκατοστών. Φαίνεται ότι στη συγκεκριμένη γωνία, δεν δημιουργείται καλή γεωμετρία των δορυφόρων GPS με αποτέλεσμα να προκύπτουν αυτά τα αποτελέσματα. Η χρήση, όμως, των συστημάτων G/R και G/R/E/C φαίνεται να βελτιώνει αισθητά τις προαναφερθείσες τιμές RMSD στην πλειονότητα των περιπτώσεων, ενώ παράλληλα οι τελευταίες δεν υπερβαίνουν τα 15 εκατοστά στις διευθύνσεις North και East, και τα 35 εκατοστά κατά τη διεύθυνση Up. Η βελτίωση, όπου υπάρχει, από τα συστήματα G/R και G/R/E/C είναι της τάξης του 80%, 81%, 39% και 79%, 71%, 36% κατά της διευθύνσεις North, East και Up αντίστοιχα.

Πα' όλα αυτά, δεν συμβαίνει κάτι παρόμοιο στη γωνία αποκοπής 40°. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι τη βέλτιστη, μεταξύ των εξεταζόμενων σχηματισμών, ακρίβεια θέσης παρέχει το σύστημα GPS. Οι τιμές RMSD των κινηματικών PPP λύσεων από τη χρήση του τελευταίου είναι της τάξης των 2, 1 και 4 μέτρων κατά τις διευθύνσεις North, East και Up αντίστοιχα. Σημειώνεται στο σημείο αυτό ότι οι τιμές RMSD των λύσεων από τα συστήματα G/R και G/R/E/C δεν απεικονίζονται στο παραπάνω σχήμα, καθώς αυτές υπερβαίνουν τα 5 μέτρα.

Εν συνεχεία, εξετάστηκαν και μικρότερα χρονικά διαστήματα παρατηρήσεων, 1 ώρας και 15 λεπτών, ώστε να διαπιστωθούν οι επιδράσεις της γωνίας αποκοπής των δορυφόρων και η συμβολή της χρήσης πολλαπλών συστημάτων GNSS στην παρεχόμενη ακρίβεια προσδιορισμού θέσης με τη μέθοδο PPP. Τα αποτελέσματα των διερευνήσεων αυτών παρατίθενται στο Παράρτημα της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στις συγκεκριμένες χρονικές διάρκειες, οι τιμές RMSD των κινηματικών PPP λύσεων έχουν αυξηθεί σε σύγκριση με τις αντίστοιχες της διάρκειας 24 ωρών. Ωστόσο, η χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS συμβάλλει στην μείωση τους σε ικανοποιητικό επίπεδο. Συγκεκριμένα, αισθητή βελτίωση των τιμών RMSD των κινηματικών λύσεων φαίνεται να παρέχει το σύστημα G/R, καθώς προκαλεί 37%, 35%, 48%, 15% και 54%, 24%, 30%, 29% μείωση στις γωνίες 10°, 20°, 30°, 40° κατά τις διευθύνσεις East και Up αντίστοιχα. Όσο αφορά τη διεύθυνση North, παρατηρείται μικρότερη βελτίωση και μόνο σε ορισμένες περιπτώσεις. Παράλληλα, αντίστοιχα είναι τα αποτελέσματα στο διάστημα διάρκειας 15 λεπτών, όπου χαρακτηριστική είναι η μείωση των τιμών RMSD κατά 63% κατά τη διεύθυνση Up και σε γωνία αποκοπής 40° από το σύστημα G/R.

Έπειτα, ακολούθησε η διερεύνηση για τη συμβολή των πολλαπλών συστημάτων GNSS σε υψηλές γωνίες αποκοπής δορυφόρων στον σταθμό CUT0. Στο Σχ. 5-74, απεικονίζεται ο αριθμός των δορυφόρων GNSS συναρτήσει διαφορετικών γωνιών αποκοπής δορυφόρων κατά τη διάρκεια της ημέρας 13/01/2014.

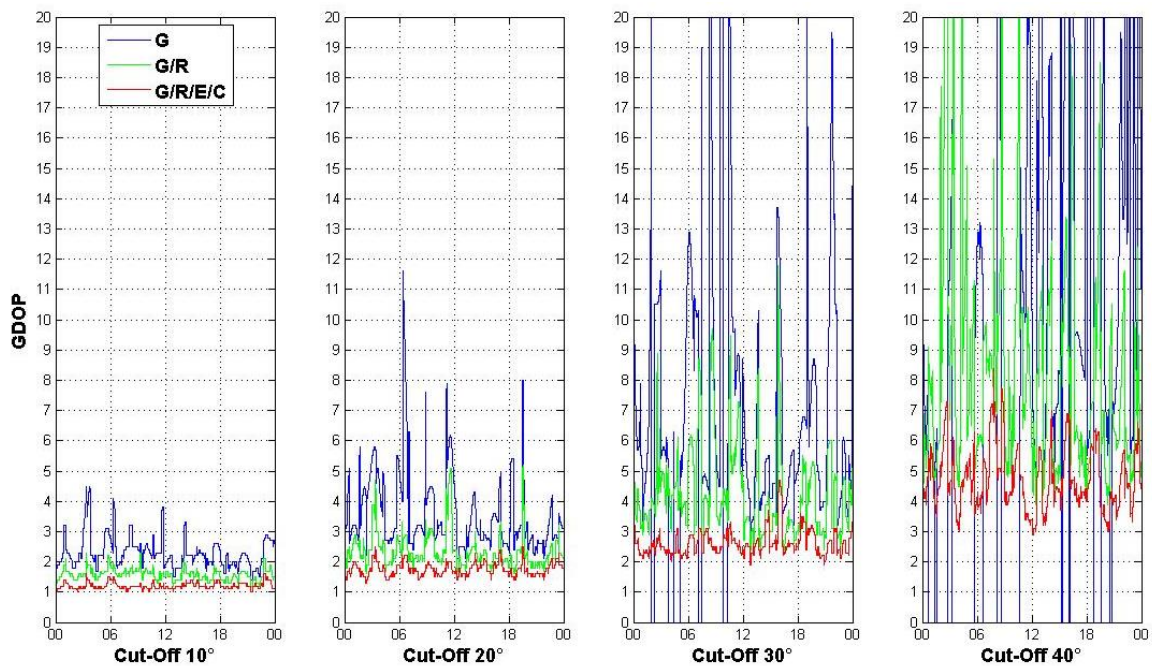


**Σχήμα 5-74:** Αριθμός ορατών δορυφόρων από τον μόνιμο σταθμό CUT0 στις 13/01/2014 συναρτήσει των γωνιών αποκοπής δορυφόρων. Ο αριθμός των δορυφόρων GPS, GPS+GLONASS και GPS+GLONASS+Galileo+BeiDou φαίνονται με μπλε, πράσινο και κόκκινο χρώμα αντίστοιχα.

Όπως φαίνεται από το Σχ. 5-74, η αύξηση της γωνίας αποκοπής των δορυφόρων οδηγεί σε σημαντική μείωση των ορατών δορυφόρων GPS, οι οποίοι κυμαίνονται μεταξύ 4 και 6 στη γωνία 40°. Αν και ο αριθμός αυτός είναι επαρκής για τον προσδιορισμό θέσης με την τεχνική PPP, το μοντέλο της δεν είναι τόσο ισχυρό όσο θα ήταν με δεδομένα από περισσότερους δορυφόρους. Η προσθήκη των δορυφόρων GLONASS, Galileo και BeiDou στο μοντέλο επεξεργασίας PPP βελτιώνει σε μεγάλο βαθμό τον συνολικό αριθμό των ορατών δορυφόρων, καθώς όπως φαίνεται σε γωνία 40° ο τελευταίος υπερβαίνει τους 10, στο μεγαλύτερο μέρος της εξεταζόμενης ημέρας.

Προκύπτει, λοιπόν, το συμπέρασμα ότι με τη χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS, μεγαλύτερος αριθμός δορυφόρων είναι ορατός και έτσι υπάρχει μεγαλύτερη διαθεσιμότητα και αξιοπιστία, ακόμα και σε ακραία περιβάλλοντα. Παρατηρώντας, ακόμη, τον δείκτη GDOP στο Σχ. 5-75, είναι εύκολο να ξεχωρίσει κανείς ότι σε μεγάλες γωνίες αποκοπής δορυφόρων (30° και 40°) το σύστημα GPS παρουσιάζει αρκετές αποκλίσεις από την τιμή 9. Ως αποτέλεσμα, υπάρχει χαμηλό επίπεδο εμπιστοσύνης ως προς τον ακριβή προσδιορισμό θέσης με τη χρήση μετρήσεων μόνο GPS.

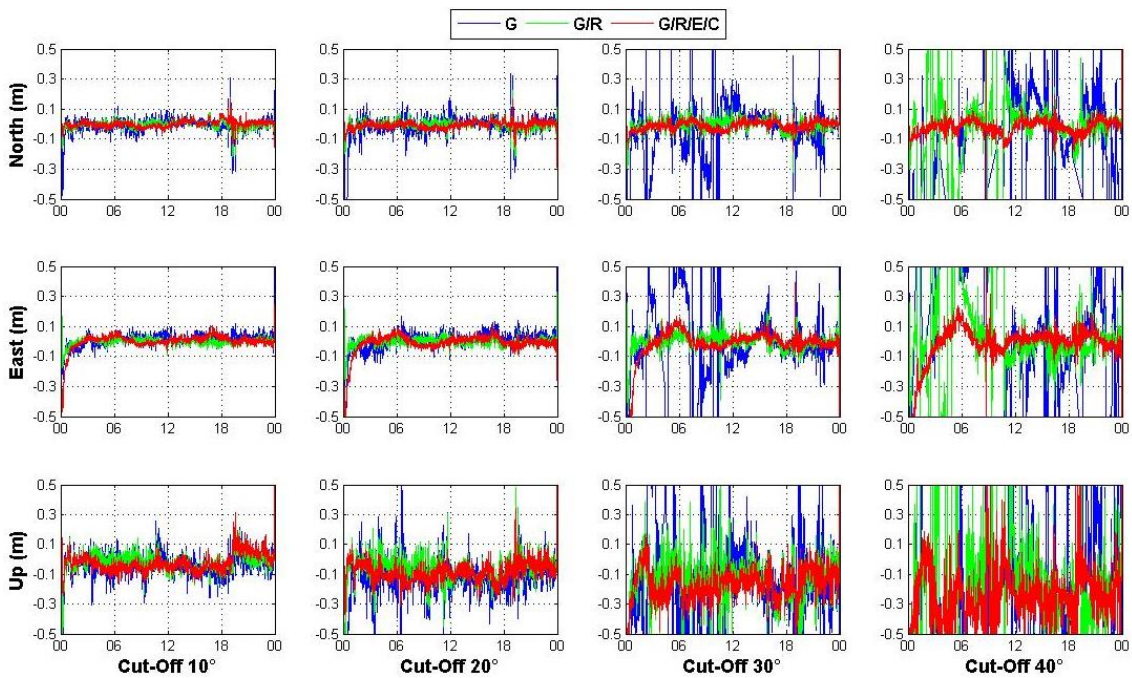
Παρ' όλα αυτά, παρατηρείται ότι με τη χρήση των σχηματισμών G/R και G/R/E/C, ο δείκτης GDOP μειώνεται σε μεγάλο βαθμό. Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό, ότι στη γωνία αποκοπής 40° ο δείκτης GDOP για το σχηματισμό G/R/E/C υπερβαίνει την τιμή 6 μόνο σε ορισμένα χρονικά διαστήματα, όπου πραγματοποιείται αναπροσαρμογή στον αριθμό των ορατών δορυφόρων εξ αιτίας της καθόδου και της ανόδου αυτών από τον ορίζοντα.



**Σχήμα 5-75:** Δείκτης GDOP για τους δορυφορικούς σχηματισμούς GPS, GPS+GLONASS, GPS+GLONASS+Galileo+BeiDou για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014

Ακολουθώντας, έλαβε χώρα η επεξεργασία των παραπάνω δεδομένων με τον τύπο εντοπισμού PPP-kinematic και φίλτρο forward, τόσο με την αυτόνομη χρήση των συστημάτων όσο και στην συνδυαστική χρήση, ώστε να διαπιστωθεί εάν και κατά πόσο υπάρχει βελτίωση της ακρίβειας στον εντοπισμό θέσης σε διάφορες γωνίες αποκοπής δορυφόρων. Στο Σχ. 5-76, απεικονίζονται οι κινηματικές PPP λύσεις που προέκυψαν από την αυτόνομη χρήση (GPS) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014.

Σύμφωνα με το Σχ. 5-76, παρατηρείται το ίδιο αποτέλεσμα, όπως προηγουμένως. Η αύξηση, δηλαδή, της γωνίας αποκοπής οδηγεί σε μειωμένη ακρίβεια των κινηματικών PPP λύσεων που προκύπτουν από την τεχνική επεξεργασίας PPP-kinematic με φίλτρο forward. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι οι κινηματικές PPP λύσεις που προκύπτουν από τη χρήση μόνο του GPS παρουσιάζουν καλή ποιότητα και χαμηλό επίπεδο θορύβου μέχρι και τη γωνία αποκοπής 20°. Με την περαιτέρω αύξηση, όμως, της τελευταίας γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι οι κινηματικές PPP λύσεις χαρακτηρίζονται από υψηλό θόρυβο, με αποτέλεσμα να μην αποτελούν αξιόπιστες λύσεις.



**Σχήμα 5-76:** Κινηματικές PPP (forward) λύσεις από την αυτόνομη χρήση του GPS και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων, στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014

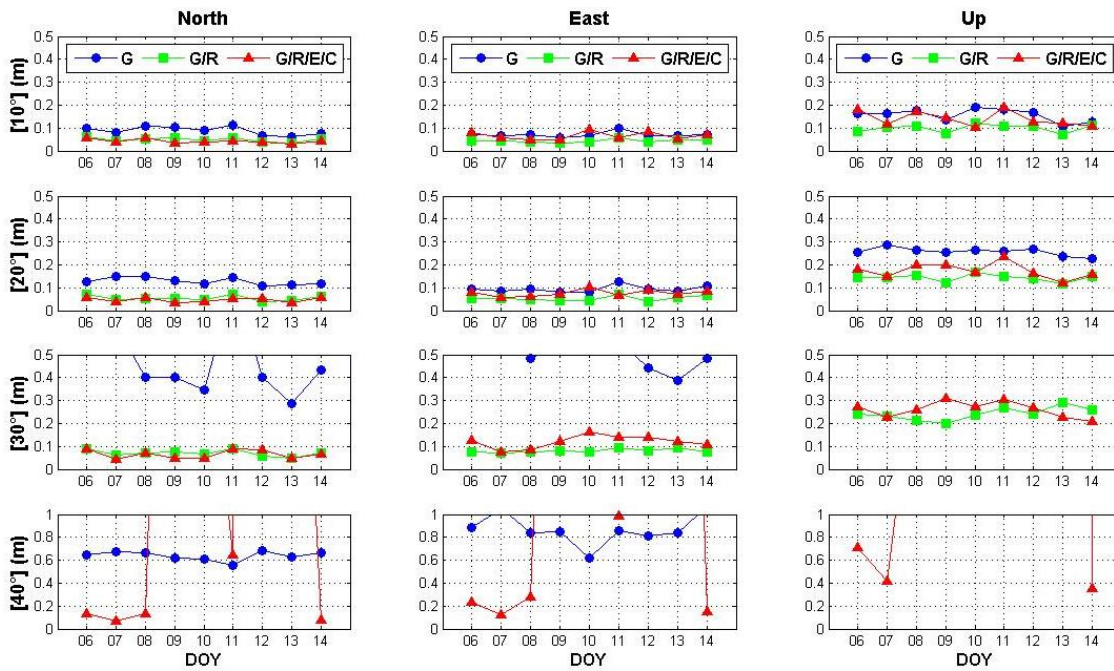
Παρ' όλα αυτά, μπορεί κανείς εύκολα να διακρίνει ότι η χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS βελτιώνει σημαντικά την προηγούμενη κατάσταση. Συγκεκριμένα, ακόμα και στις μικρές γωνίες αποκοπής (10° και 20°) όπου οι κινηματικές PPP λύσεις από τη χρήση μόνο του GPS είναι ικανοποιητικές, τα συστήματα G/R και G/R/E/C συμβάλλουν στην περαιτέρω βελτίωση των λύσεων αυτών εφόσον είναι ξεκάθαρο ότι ένα μεγάλο μέρος του θορύβου έχει εξαλειφθεί. Επιπλέον, ο θόρυβος που υπάρχει στις κινηματικές PPP λύσεις του συστήματος GPS σε γωνία 30° υπόκειται σε σημαντική εξομάλυνση μέσω της προσθήκης των δεδομένων GLONASS, Galileo και BeiDou, ιδιαίτερα κατά τις διευθύνσεις North και East. Στις τελευταίες διευθύνσεις παρατηρείται ότι οι κινηματικές PPP λύσεις που προκύπτουν από τα συστήματα G/R και G/R/E/C είναι πολύ σταθερές, ενώ η σύγκλιση τους στο επίπεδο των 10 εκατοστών επιτυγχάνεται σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα.

Παράλληλα, μία σύντομη επισκόπηση του παραπάνω σχήματος οδηγεί στο συμπέρασμα ότι στη γωνία αποκοπής 40° οι κινηματικές λύσεις που προκύπτουν από το σύστημα GPS, αλλά και από τον σχηματισμό G/R, χαρακτηρίζονται από υψηλό επίπεδο θορύβου. Ωστόσο, η κατάσταση αυτή βελτιώνεται με την προσθήκη των δεδομένων Galileo και BeiDou, καθώς οι κινηματικές PPP λύσεις του συστήματος G/R/E/C στη συγκεκριμένη γωνία παρουσιάζουν καλή ποιότητα, ιδιαίτερα κατά τις διευθύνσεις North και East, και παραμένουν εντός του επιπέδου των 10 εκατοστών.

Καταλήγει, λοιπόν, κανείς στο συμπέρασμα ότι η χρήση πολλαπλών συστημάτων είναι σε θέση να παρέχει υψηλού επιπέδου ακρίβεια στον προσδιορισμό θέσης με την τεχνική PPP, ακόμα και σε μεγάλες γωνίες αποκοπής δορυφόρων. Προκειμένου, όμως, αυτό να καταστεί δυνατό, είναι απαραίτητο να παρατηρούνται δορυφόροι Galileo και BeiDou, ενώ παράλληλα η διασπορά τους να είναι η βέλτιστη δυνατή.

Εν συνεχεία, ακολούθησε η ποσοτική αξιολόγηση των παραπάνω λύσεων, με τον υπολογισμό των τιμών RMSD των κινηματικών PPP λύσεων για χρονική διάρκεια 24 ωρών στην περίοδο 06/01/2014 - 14/01/2014. Για τον ίδιο λόγο όπως προηγουμένως, δημιουργήθηκαν κατάλληλα διαγράμματα έτσι ώστε να γίνει πιο εποπτική η παρουσίαση τους. Στο Σχ. 5-77, απεικονίζονται οι τιμές RMSD των κινηματικών PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων και το παραπάνω εξεταζόμενο διάστημα ημερών.





**Σχήμα 5-77:** Τιμές RMSD (σε m) των κινηματικών PPP (forward) λύσεων στον σταθμό CUT0 για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

Από το παραπάνω σχήμα, γίνεται ξεκάθαρο ότι η χρήση μόνο του συστήματος GPS μπορεί να παρέχει, σε γωνία αποκοπής 10°, ακρίβεια καλύτερη των 10 εκατοστών στις διευθύνσεις North και East, και καλύτερη των 20 εκατοστών στη διεύθυνση Up. Παρατηρείται, ακόμη, ότι σε γωνία 20° παρέχει ακρίβεια καλύτερη των 20 εκατοστών στις διευθύνσεις North και East, και καλύτερη των 10 εκατοστών στην διεύθυνση Up. Η χρήση, ωστόσο, δεδομένων από περισσότερα του ενός δορυφορικά συστήματα στις συγκεκριμένες γωνίες συμβάλλει σημαντικά στην αύξηση της ακρίβειας προσδιορισμού θέσης. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι τα συστήματα G/R και G/R/E/C παρέχουν αρκετά καλύτερη ακρίβεια από τη χρήση μόνο του GPS.

Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει 44%, 58%, 85% και 52%, 65%, 86% μείωση των τιμών RMSD των λύσεων του GPS με τη χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C κατά τη διεύθυνση North στις γωνίες 10°, 20°, 30° αντίστοιχα. Έπειτα, κατά τη διεύθυνση East υπάρχει 37%, 43%, 84% και 24%, 18%, 77% μείωση των τιμών RMSD των λύσεων του GPS με τη χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C στις παραπάνω γωνίες αντίστοιχα. Όσο αφορά τη διεύθυνση Up, παρατηρείται ποσοστιαία μείωση των τιμών RMSD αντίστοιχη με αυτή κατά τη διεύθυνση East.

Ωστόσο, δεν παρατηρείται αντίστοιχη βελτίωση των τιμών RMSD στη γωνία αποκοπής 40°, με εξαίρεση ορισμένες περιπτώσεις κατά τις διευθύνσεις North και East. Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι οι τιμές RMSD των κινηματικών PPP λύσεων κατά τη διεύθυνση North είναι σταθερές κατά την εξεταζόμενο περίοδο και κυμαίνονται μεταξύ 60 και 70 εκατοστών.

Εν συνεχεία, εξετάστηκαν και μικρότερα χρονικά διαστήματα παρατηρήσεων, 1 ώρα και 15 λεπτών, ώστε να διαπιστωθούν οι επιδράσεις της γωνίας αποκοπής των δορυφόρων και η συμβολή της χρήσης πολλαπλών συστημάτων GNSS στην παρεχόμενη ακρίβεια προσδιορισμού θέσης με τη μέθοδο PPP. Τα αποτελέσματα των διερευνήσεων αυτών παρατίθενται στο Παράρτημα της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Όσο αφορά το διάστημα παρατήρησης 1 ώρα, παρατηρείται ότι η χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS οδηγεί σε ουσιαστική μείωση των τιμών RMSD σε όλες τις διευθύνσεις και τις γωνίες αποκοπής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η 48%, 51%, 50%, 39% μείωση των τιμών RMSD κατά τη διεύθυνση North με χρήση του συστήματος G/R, και η 42%, 43%, 28%, 51% μείωση των τιμών RMSD με χρήση του συστήματος G/R/E/C κατά τη διεύθυνση

Υρ στις γωνίες 10°, 20°, 30°, 40° αντίστοιχα. Παρόμοια είναι τα αποτελέσματα και στη διάρκεια μετρήσεων 15 λεπτών, όπου αισθητή βελτίωση με τη χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C υπάρχει στη γωνία αποκοπής 40°.

### 5.3.3 Κινηματικές PPP λύσεις (backward)

Στην ενότητα αυτή, πραγματοποιείται η ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την επεξεργασία των παραπάνω δορυφορικών δεδομένων με την τεχνική επεξεργασίας PPP-kinematic και φίλτρο backward. Όπως σημειώθηκε προηγουμένως, η χρήση του συγκεκριμένου φίλτρου είναι δυνατή μόνο σε στάδιο μετεπεξεργασίας, καθώς είναι απαραίτητη η ύπαρξη των δεδομένων για να γίνει η επεξεργασία τους από το τέλος προς την αρχή.

Με το πέρας της επεξεργασίας προέκυψε το Σχ. 5-78, στο οποίο απεικονίζονται οι κινηματικές PPP λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014. Όπως φαίνεται από το σχήμα αυτό, η χρήση μόνο του GPS παρέχει κινηματικές λύσεις με μικρό επίπεδο θορύβου στις μικρές γωνίες αποκοπής (10° και 20°), αλλά με την σταδιακή αύξηση τους το επίπεδο ακρίβειας της λύσης είναι αρκετά χαμηλό. Ιδιαίτερα στη γωνία αποκοπής 40°, δεν φαίνεται να υπάρχει σταθερή συμπεριφορά των κινηματικών PPP λύσεων από τη χρήση μόνο του GPS, γεγονός το οποίο το καθιστά ως λιγότερο αξιόπιστο για τον εντοπισμό θέσης σε ακραία περιβάλλοντα.

Με την προσθήκη των δορυφόρων GLONASS, φαίνεται ότι υπάρχει εξομάλυνση στις κινηματικές PPP λύσεις, καθώς ένα μεγάλο μέρος του υπάρχοντος θορύβου έχει απαλειφθεί. Αντίστοιχη συμπεριφορά παρουσιάζουν και οι λύσεις από τη χρήση του συστήματος G/R/E/C, οι οποίες μέχρι και τη γωνία των 30° δεν υπερβαίνουν το επίπεδο των 20 εκατοστών. Κατά τη διεύθυνση Υρ, ωστόσο, παρατηρείται ότι δεν υπάρχει σημαντική βελτίωση με τη χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS.

Η περαιτέρω αύξηση της γωνίας αποκοπής σε 40° έχει σημαντικές επιπτώσεις στις προκύπτουσες κινηματικές PPP λύσεις, καθώς είναι φανερό ότι το σύστημα GPS δεν παρέχει ικανοποιητικές λύσεις λόγω του μεγάλου θορύβου που υπάρχει σε αυτές. Η χρήση πολλαπλών συστημάτων, είτε G/R είτε G/R/E/C, φαίνεται να βελτιώνει αυτήν την κατάσταση, αν και το επίπεδο θορύβου παραμένει υψηλό.

Όσο αφορά τον χρόνο σύγκλισης των λύσεων, φαίνεται από το Σχ. 5-79 ότι με τη χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS υπάρχει μείωση στον χρόνο σύγκλισης στο επίπεδο των 10 εκατοστών με ελάχιστες εξαιρέσεις. Μία από αυτές παρατηρείται στη γωνία 10°, όπου ο χρόνος σύγκλισης των λύσεων από τα συστήματα G/R και G/R/E/C δεν διαφέρει από τον αντίστοιχο των λύσεων του συστήματος GPS. Ωστόσο, μείωση του χρόνου σύγκλισης παρατηρείται σε γωνία 20°, όπου οι κινηματικές λύσεις από τη χρήση μόνο του GPS απαιτούν 40, 60 και 90 λεπτά προκειμένου να επιτευχθεί σύγκλιση, ενώ οι αντίστοιχες των συστημάτων G/R και G/R/E/C απαιτούν 35, 10 και 80 λεπτά αντίστοιχα.

Αντίστοιχη είναι η βελτίωση και στη γωνία αποκοπής 30°, όπου οι λύσεις από το σύστημα GPS απαιτούν περισσότερο διάστημα για να επιτευχθεί σύγκλιση απ' ό,τι προηγουμένως. Όσο αφορά τη γωνία 40°, παρατηρείται ότι υπάρχει μεγάλη αστάθεια στις κινηματικές λύσεις, αν και τα συστήματα G/R και G/R/E/C φαίνεται ότι παρέχουν τόσο καλύτερη ποιότητα λύσης όσο και πιο σύντομο χρόνο σύγκλισης.

Εν συνεχεία, ακολούθησε η ποσοτική αξιολόγηση των παραπάνω λύσεων, με τον υπολογισμό των τιμών RMSD των κινηματικών PPP λύσεων για χρονική διάρκεια 24 ωρών στην περίοδο 06/01/2014 – 14/01/2014. Για τον ίδιο λόγω όπως προηγουμένως, δημιουργήθηκαν κατάλληλα διαγράμματα έτσι ώστε να γίνει πιο εποπτική η παρουσίαση τους. Στο Σχ. 5-80, απεικονίζονται οι τιμές RMSD των κινηματικών PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων και το παραπάνω εξεταζόμενο διάστημα ημερών.

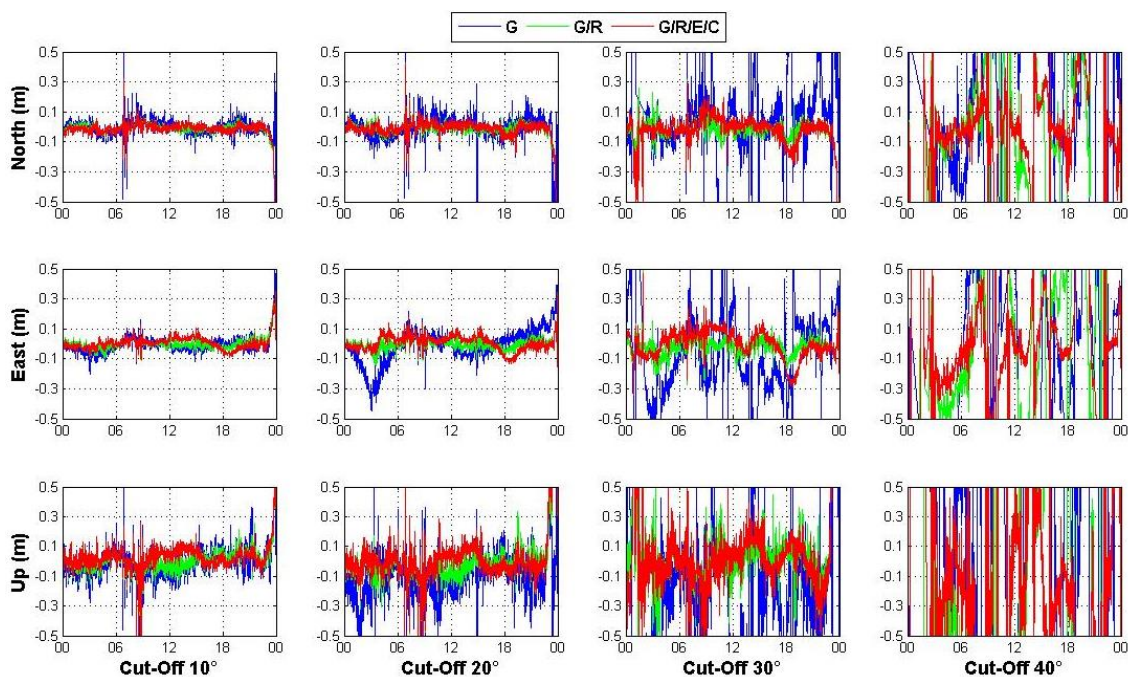
Σύμφωνα με το Σχ. 5-80, προκύπτει ότι η χρήση μόνο του GPS παρέχει καλή ακρίβεια θέσης στη γωνία 10°, όπου οι τιμές RMSD δεν υπερβαίνουν τα 10, 10 και 15 εκατοστά κατά τις διευθύνσεις North, East και Υρ αντίστοιχα. Η προσθήκη, έπειτα, των μετρήσεων GLONASS φαίνεται να οδηγεί σε ελαφρώς μικρότερες τιμές RMSD αφού αυτές δεν υπερβαίνουν το επίπεδο των 10 εκατοστών στις τρεις διευθύνσεις. Παρ' όλα αυτά, δεν

συμβαίνει το ίδιο και με την προσθήκη των μετρήσεων Galileo και BeiDou, καθώς όπως φαίνεται υπάρχει μία μικρή αύξηση των τιμών RMSD που ενδεχομένως οφείλεται στην κακή γεωμετρία του δορυφορικού σχηματισμού.

Επιπλέον, μπορεί κανείς εύκολα να διακρίνει ότι αισθητή βελτίωση των τιμών RMSD με τη χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS υπάρχει μόνο στις γωνίες 20° και 30°. Συγκεκριμένα, η βελτίωση αυτή οφείλεται περισσότερο στο σύστημα G/R, και όχι στο G/R/E/C, καθώς όπως φαίνεται η χρήση του τελευταίου οδηγεί σε αύξηση των τιμών RMSD. Αυτό πιθανώς οφείλεται στην κακή γεωμετρία του σχηματισμού G/R/E/C, εφόσον ο αριθμός των ορατών δορυφόρων Galileo και BeiDou είναι σχετικά μικρός και μπορεί να επηρεάζει αρνητικά τη συνολική γεωμετρία. Η μείωση που παρατηρείται από τη χρήση του συστήματος G/R στις γωνίες 10° και 20° είναι της τάξης του 27%, 59%, 16% και 82%, 87%, 77% κατά τις διευθύνσεις North, East και Up αντίστοιχα.

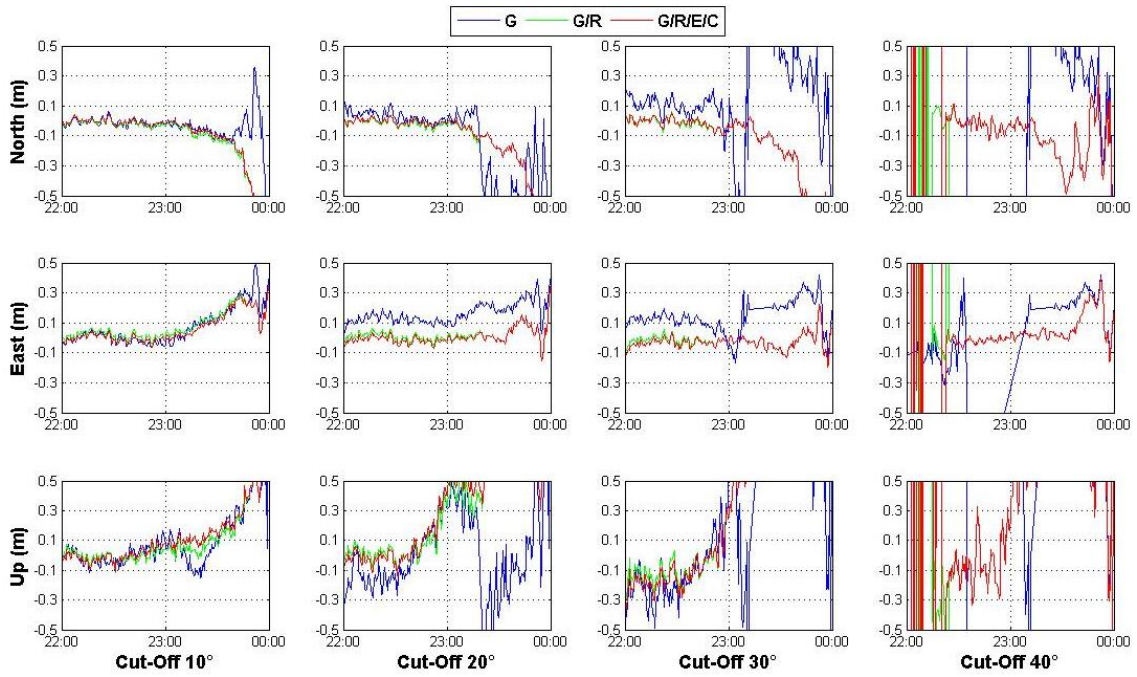
Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι οι τιμές RMSD των κινηματικών PPP λύσεων από το σύστημα G/R δεν υπερβαίνουν τα 10 εκατοστά στις γωνίες 20° και 30° στην πλειονότητα των περιπτώσεων, σε αντίθεση με τις αντίστοιχες του συστήματος GPS. Όσο αφορά τη διεύθυνση Up, όμως, παρατηρείται διαφορετική συμπεριφορά των λύσεων, καθώς οι ελάχιστες τιμές RMSD παρέχονται από το σύστημα GPS.

Όσο αφορά τη γωνία 10°, παρατηρείται ότι δεν υπάρχει ουσιαστική μείωση των τιμών RMSD με χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C, ενώ παράλληλα οι τελευταίες που προκύπτουν από τη χρήση του GPS δεν ξεπερνούν το επίπεδο των 15 εκατοστών.

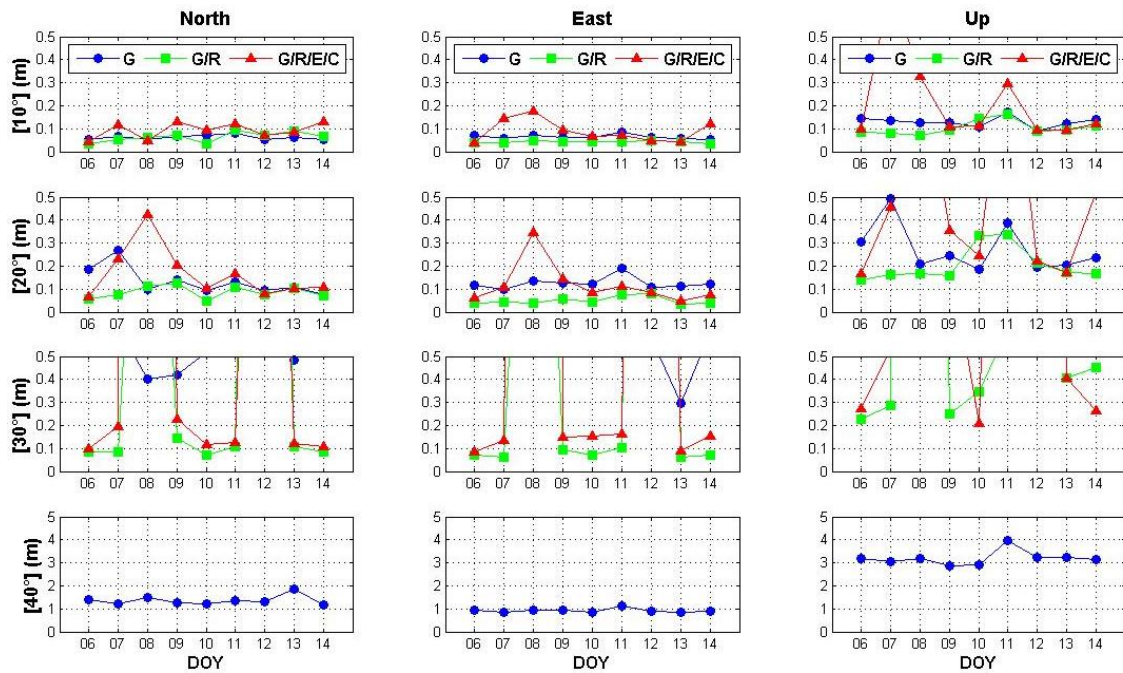


**Σχήμα 5-78:** Κινηματικές PPP (backward) λύσεις ανά διεύθυνση από την αυτόνομη χρήση του GPS και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων, στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014





**Σχήμα 5-79:** Πρώτο δίωρο των κινηματικών PPP (backward) λύσεων ανά διεύθυνση από την αυτόνομη χρήση του GPS και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων, στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014



**Σχήμα 5-80:** Τιμές RMSD (σε m) των κινηματικών PPP (backward) λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 - 14/01/2014)

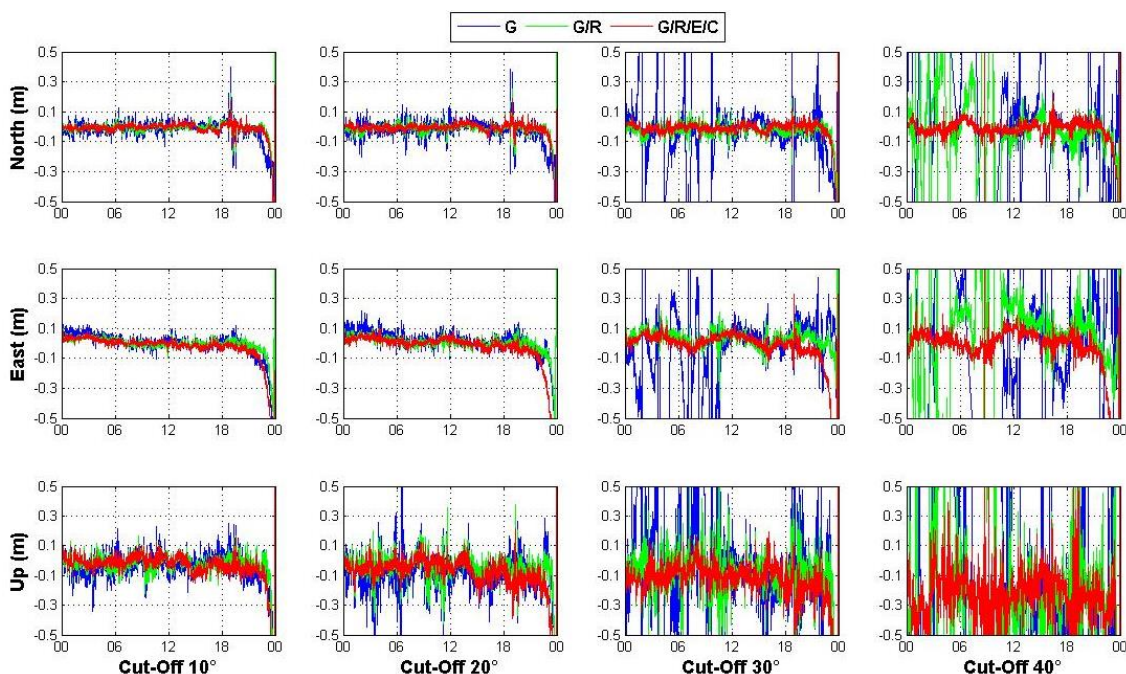
Παρόμοια είναι η συμπεριφορά των λύσεων και στις χρονικές διάρκειες 1 ώρας και 15 λεπτών που εξετάστηκαν. Αυτό που αξίζει να σημειωθεί από αυτήν την διερεύνηση είναι η μείωση των τιμών RMSD κατά τις διευθύνσεις North και Up στις γωνίες 10°, 20° και 30°. Συγκεκριμένα, υπάρχει 38%, 47%, 40% και 46%, 53%, 56% μείωση των εν λόγω τιμών στις παραπάνω διευθύνσεις από τα συστήματα G/R και G/R/E/C αντίστοιχα.

Έπειτα, η ίδια διερεύνηση πραγματοποιήθηκε στον σταθμό CUT0, στον οποίο όπως φάνηκε στα προηγούμενα σενάρια η χρήση πολλαπλών συστημάτων οδηγεί σε σημαντική βελτίωση της παρεχόμενης ακρίβειας θέσης.

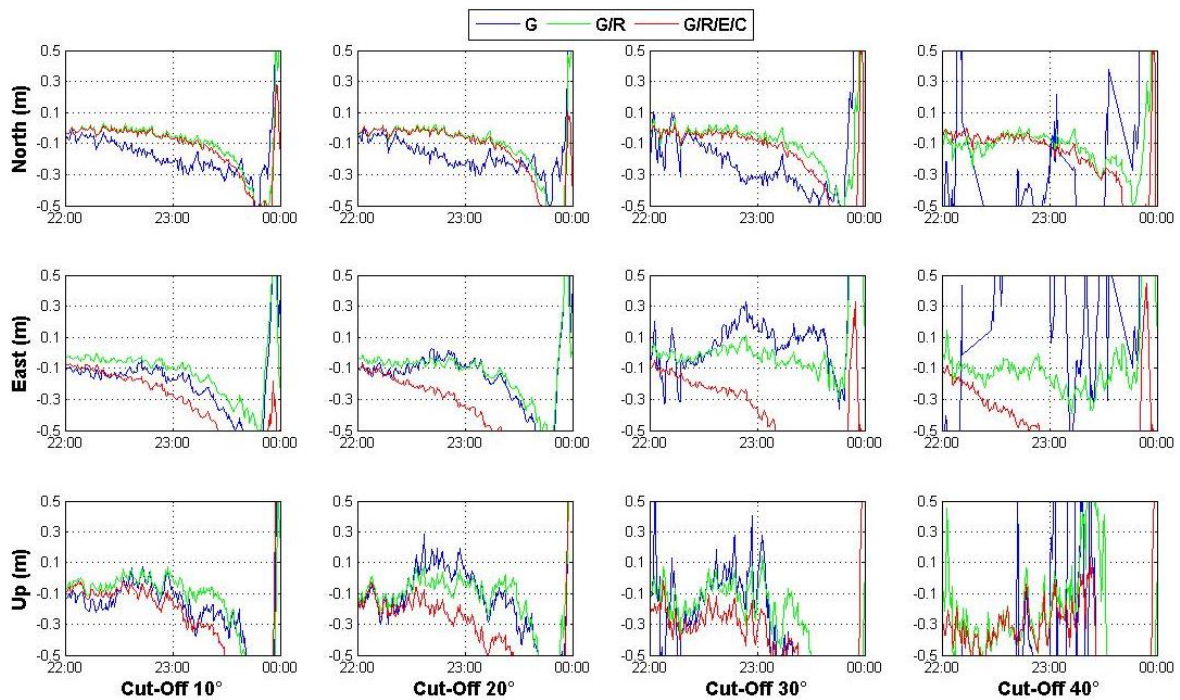
Με το πέρας της επεξεργασίας προέκυψε το Σχ. 5-81, στο οποίο απεικονίζονται οι κινηματικές PPP λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014. Όπως φαίνεται από το σχήμα αυτό, η χρήση μόνο του GPS παρέχει κινηματικές λύσεις με ελάχιστο επίπεδο θορύβου στις μικρές γωνίες αποκοπής (10° και 20°), το οποίο όμως αυξάνεται με την αύξηση των τελευταίων. Ιδιαίτερα στη γωνία αποκοπής 40°, δεν φαίνεται να υπάρχει σταθερή συμπεριφορά των κινηματικών PPP λύσεων από τη χρήση μόνο του GPS, γεγονός το οποίο το καθιστά ως το λιγότερο αξιόπιστο σύστημα για τον εντοπισμό θέσης σε ακραία περιβάλλοντα.

Παράλληλα, μπορεί κανείς εύκολα να διακρίνει ότι η χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS συμβάλλει στην βελτίωση των κινηματικών PPP λύσεων. Συγκεκριμένα, φαίνεται ότι με τη χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C στις μικρές γωνίες (10° και 20°) υπάρχει εξομάλυνση του θορύβου, έστω και μικρού, των λύσεων που προκύπτουν από το σύστημα GPS. Την ίδια στιγμή φαίνεται ότι οι κινηματικές λύσεις από τα συστήματα G/R και G/R/E/C στις παραπάνω γωνίες είναι πολύ σταθερές και παραμένουν εντός του επιπέδου των 10 εκατοστών.

Έπειτα, η περαιτέρω αύξηση της γωνίας αποκοπής σε 30° και 40° έχει σημαντικές επιπτώσεις στις κινηματικές λύσεις από το σύστημα GPS, οι οποίες λόγω του μεγάλου θορύβου δεν αποτελούν την πιο αξιόπιστη λύση για εντοπισμό θέσης σε δύσκολα περιβάλλοντα. Φαίνεται, όμως, ότι η προσθήκη τόσο των μετρήσεων GLONASS όσο και των μετρήσεων Galileo και BeiDou συμβάλλει στην εξομάλυνση του υπάρχοντος θορύβου, ειδικά κατά τις διευθύνσεις North και East.



**Σχήμα 5-81:** Κινηματικές PPP (backward) λύσεις ανά διεύθυνση από την αυτόνομη χρήση του GPS και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων, στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014

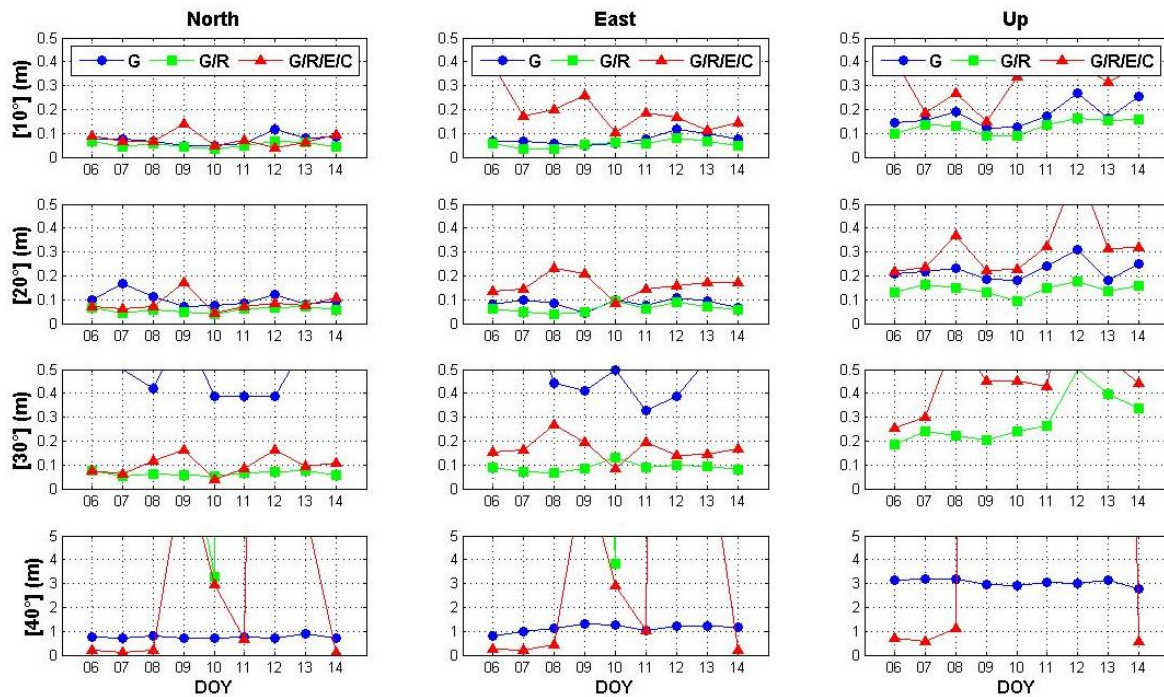


**Σχήμα 5-82:** Πρώτο δίωρο των κινηματικών PPP (backward) λύσεων ανά διεύθυνση από την αυτόνομη χρήση του GPS και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων, στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014

Όσο αφορά τον χρόνο σύγκλισης των κινηματικών λύσεων, φαίνεται από το Σχ. 5-82 ότι αυτές που προκύπτουν από τη χρήση μόνο του συστήματος GPS συγκλίνουν στο επίπεδο των 10 εκατοστών σε διάστημα τουλάχιστον 1 ώρας. Η χρήση, ωστόσο, των συστημάτων G/R και G/R/E/C οδηγεί σε σημαντική μείωση του χρόνου σύγκλισης, ο οποίος κυμαίνεται μεταξύ 30 και 45 λεπτών στην πλειονότητα των περιπτώσεων που εξετάστηκαν. Παρ' όλα αυτά, φαίνεται ότι μόνο το σύστημα G/R παρέχει μικρότερο χρόνο σύγκλισης σε σύγκριση με τη χρήση μόνο του GPS κατά τη διεύθυνση East, όπου οι κινηματικές PPP λύσεις από τον σχηματισμό G/R/E/C απαιτούν τουλάχιστον 1 ώρα προκειμένου να επιτευχθεί η σύγκλιση τους. Το φαινόμενο αυτό παρατηρήθηκε και σε προηγούμενα σενάρια, και πιθανώς οφείλεται στο γεγονός ότι η διεύθυνση East είναι η λιγότερο ακριβής διεύθυνση που προσδιορίζεται από την τεχνική PPP. Προκύπτει, δηλαδή, το συμπέρασμα ότι η χρήση του συστήματος G/R/E/C για τον προσδιορισμό θέσης με την τεχνική PPP-kinematic και φίλτρο backward επηρεάζει σημαντικά τον χρόνο σύγκλισης των λύσεων κατά τη διεύθυνση East.

Εν συνεχεία, ακολούθησε η ποσοτική αξιολόγηση των παραπάνω λύσεων, με τον υπολογισμό των τιμών RMSD των κινηματικών PPP λύσεων για χρονική διάρκεια 24 ωρών στην περίοδο 06/01/2014 – 14/01/2014. Για τον ίδιο λόγο όπως προηγουμένως, δημιουργήθηκαν κατάλληλα διαγράμματα έτσι ώστε να γίνει πιο εποπτική η παρουσίαση τους. Στο Σχ. 5-83, απεικονίζονται οι τιμές RMSD των κινηματικών PPP λύσεων στον σταθμό CUT0 για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων και το παραπάνω εξεταζόμενο διάστημα ημερών.





**Σχήμα 5-83:** Τιμές RMSD (σε m) των κινηματικών PPP (backward) λύσεων στον σταθμό CUT0 για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 - 14/01/2014)

Από το παραπάνω σχήμα, γίνεται αντιληπτό ότι στις γωνίες 10° και 20° οι τιμές RMSD των κινηματικών λύσεων από τη χρήση του συστήματος GPS δεν ξεπερνούν τα 20 εκατοστά στην πλειονότητα των περιπτώσεων. Ωστόσο, όσο η γωνία αυτή αυξάνεται τόσο αυξάνονται και οι τιμές RMSD των λύσεων, οι οποίες υπερβαίνουν τα 40 και 90 εκατοστά στη γωνία 30° και 40° αντίστοιχα.

Παρ' όλα αυτά, με τη χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS υπάρχει βελτίωση της παρεχόμενης ακρίβειας θέσης. Συγκεκριμένα, είναι φανερή η υψηλή ακρίβεια που παρέχουν τα συστήματα G/R και G/R/E/C κατά τη διεύθυνση North και τις γωνίες 10° - 30°, αφού οι τιμές RMSD των λύσεων τους δεν υπερβαίνουν τα 10 εκατοστά στην πλειονότητα των εξεταζόμενων ημερών. Η μείωση των τιμών RMSD που επιτυγχάνεται με τη χρήση του συστήματος G/R είναι της τάξης του 40% και 87%, ενώ με τη χρήση του συστήματος G/R/E/C είναι 23% και 80% στις γωνίες 20 και 30° αντίστοιχα.

Αντίστοιχη είναι η βελτίωση κατά τη διεύθυνση East, με τη διαφορά ότι στις γωνίες 10° και 20° οι τιμές RMSD που προκύπτουν από τη χρήση του συστήματος G/R/E/C είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες του συστήματος GPS. Το φαινόμενο αυτό παρατηρήθηκε και στα προηγούμενα σενάρια ανάλυσης, όπου η περαιτέρω προσθήκη μετρήσεων Galileo και BeiDou οδηγεί σε μείωση της ακρίβειας θέσης κατά τη διεύθυνση East με την τεχνική επεξεργασίας PPP-kinematic και φίλτρο backward. Στη γωνία 30°, όμως, δεν συμβαίνει το ίδιο καθώς υπάρχει 64% μείωση των τιμών RMSD με χρήση του συστήματος G/R/E/C σε σύγκριση με τις τιμές RMSD του συστήματος GPS.

Τέλος, στη γωνία 40° παρατηρούνται διαφορετικά αποτελέσματα σε σχέση με τα προηγούμενα σενάρια. Ενώ κανείς θα περίμενε ότι σε τέτοια μεγάλη γωνία αποκοπής η χρήση μετρήσεων από περισσότερα του ενός συστήματα GNSS θα συνέβαλε καθοριστικά στην αύξηση της ακρίβειας θέσης, αυτό συμβαίνει μόνο σε ορισμένες ημέρες και μόνο από τη χρήση του συστήματος G/R/E/C. Αξίζει να σημειωθεί ότι η χρήση μόνο του GPS υπερτερεί σε ακρίβεια θέσης σε σχέση με τη χρήση του συστήματος G/R, του οποίου οι προκύπτουσες τιμές RMSD υπερβαίνουν τα 50 εκατοστά. Επιπλέον, χαρακτηριστικό είναι ότι οι τιμές RMSD που προκύπτουν από τη χρήση μόνο του GPS είναι σταθερές κατά τη διάρκεια των εξεταζόμενων ημερών.

### 5.3.4 Κινηματικές PPP λύσεις (combined)

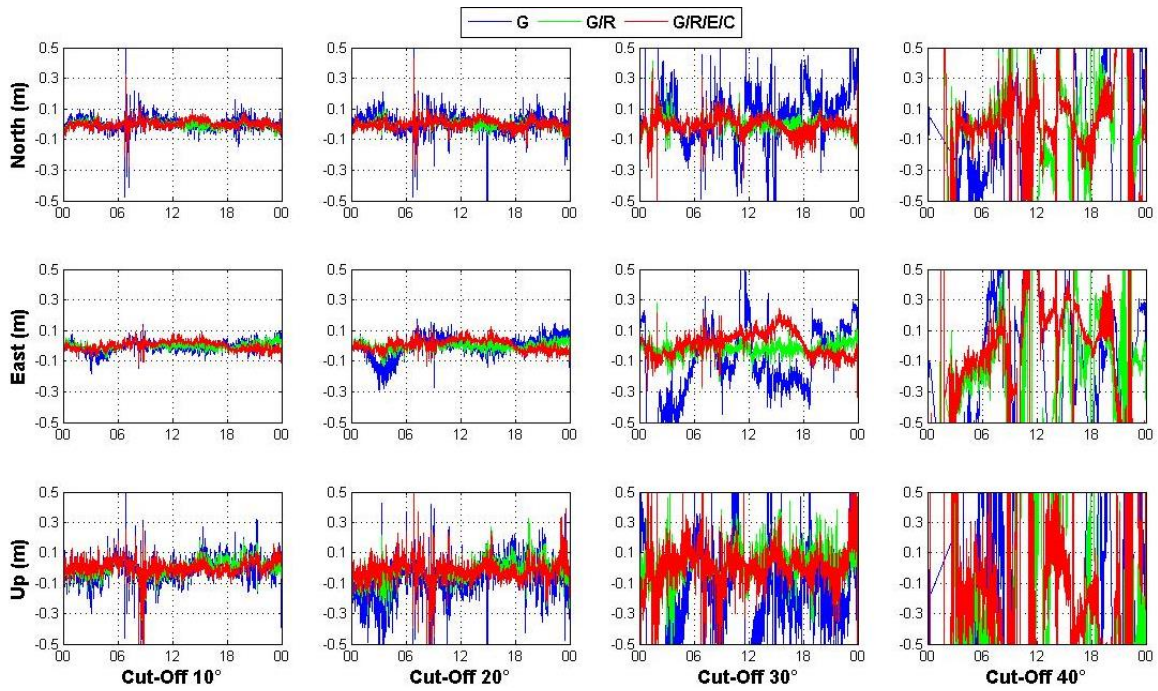
Στην ενότητα αυτή, πραγματοποιείται η ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την επεξεργασία των παραπάνω δορυφορικών δεδομένων με την τεχνική επεξεργασίας PPP-kinematic και φίλτρο combined. Όπως σημειώθηκε προηγουμένως, η χρήση του συγκεκριμένου φίλτρου είναι δυνατή μόνο σε στάδιο μετεπεξεργασίας, καθώς το φίλτρο combined αποτελεί συνδυασμό των δύο προηγούμενων φίλτρων, forward και backward.

Με το πέρας της επεξεργασίας προέκυψε το Σχ. 5-84, στο οποίο απεικονίζονται οι κινηματικές PPP λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014. Όπως φαίνεται από το σχήμα αυτό, η χρήση μόνο του GPS παρέχει κινηματικές λύσεις με μικρό επίπεδο θορύβου στις μικρές γωνίες αποκοπής (10° και 20°), αλλά με την σταδιακή αύξηση τους το επίπεδο ακρίβειας της λύσης μειώνεται αισθητά. Αυτό παρατηρείται τόσο στη 30° όσο και στη 40° γωνία αποκοπής, όπου παρατηρούνται μεγάλες αποκλίσεις από τα 20 εκατοστά. Βάσει των συμπερασμάτων αυτών, η χρήση μόνο του συστήματος GPS σε μεγάλες γωνίες αποκοπής, και συνεπώς σε ακραία περιβάλλοντα με μικρή ορατότητα δορυφόρων, καθίσταται αναξιόπιστη για τον ακριβή προσδιορισμό θέσης.

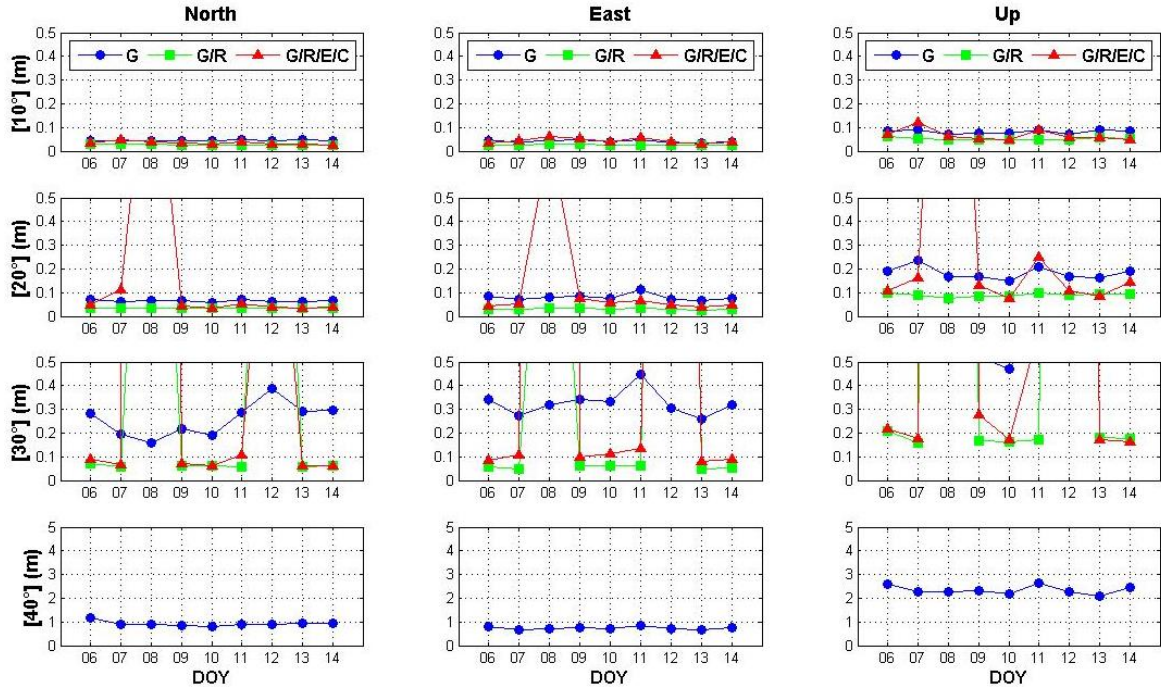
Παρατηρείται, ωστόσο, ότι ένα πιο ισχυρό μοντέλο επεξεργασίας PPP, στην περίπτωση χρήσης μετρήσεων από τα δορυφορικά συστήματα GLONASS, Galileo και BeiDou, μπορεί να παρέχει αξιόπιστες και ακριβείς λύσεις ακόμα και σε μεγάλες γωνίες αποκοπής δορυφόρων. Συγκεκριμένα, μπορεί κανείς να διακρίνει ότι η χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C παρέχει κινηματικές PPP λύσεις με αρκετά εξομαλυσμένο τον θόρυβο που παρατηρείται στις λύσεις με τη χρήση μόνο του GPS. Αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό στις γωνίες 20° και 30°, όπου η χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C όχι μόνο παρουσιάζουν μείωση του θορύβου των κινηματικών λύσεων, αλλά δεν αποκλίνουν και από το επίπεδο των 10-20 εκατοστών στο μεγαλύτερο μέρος των εξεταζόμενων διαστημάτων. Εξαιρέση σε αυτό αποτελεί η διεύθυνση Ur, όπου το επίπεδο θορύβου μειώνεται λιγότερο σε σύγκριση με τις υπόλοιπες διευθύνσεις, λόγω της αδυναμίας του δορυφορικού εντοπισμού να παρέχει υψηλή ακρίβεια στην διεύθυνση υψομέτρων.

Όσο αφορά τη γωνία 40°, παρατηρείται μεν μερική εξομάλυνση του θορύβου, αλλά όχι τόσο σημαντική όπως στις προηγούμενες γωνίες. Παρ' όλα αυτά, φαίνεται ότι η χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C παρέχουν πιο αξιόπιστες κινηματικές λύσεις. Σημειώνεται ότι στην περίπτωση των κινηματικών PPP λύσεων που προκύπτουν με το φίλτρο combined, δεν πραγματοποιήθηκε διερεύνηση σχετικά με τον χρόνο σύγκλισης τους, καθώς η επεξεργασία των δεδομένων είναι αμφίδρομη και έτσι η εν λόγω διερεύνηση θεωρήθηκε μη αναγκαία.

Εν συνεχεία, ακολούθησε η ποσοτική αξιολόγηση των παραπάνω λύσεων, με τον υπολογισμό των τιμών RMSD των κινηματικών PPP λύσεων για χρονική διάρκεια 24 ωρών στην περίοδο 06/01/2014 – 14/01/2014. Για τον ίδιο λόγο όπως προηγουμένως, δημιουργήθηκαν κατάλληλα διαγράμματα έτσι ώστε να γίνει πιο εποπτική η παρουσίαση τους. Στο Σχ. 5-85, απεικονίζονται οι τιμές RMSD των κινηματικών PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων και το παραπάνω εξεταζόμενο διάστημα ημερών.



**Σχήμα 5-84:** Κινηματικές PPP (combined) λύσεις ανά διεύθυνση από την αυτόνομη χρήση του GPS και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων, στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014



**Σχήμα 5-85:** Τιμές RMSD (σε m) των κινηματικών PPP (combined) λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα, μπορεί κανείς εύκολα να ξεχωρίσει ότι το φίλτρο combined παρέχει σημαντικά μικρότερες τιμές RMSD στις γωνίες 10° και 20° σε σύγκριση με τα προηγούμενα φίλτρα, γεγονός που οφείλεται στην αμφίδρομη επεξεργασία από το εν λόγω φίλτρο και την απαλοιφή αρκετού θορύβου.

Συγκεκριμένα, οι τιμές RMSD των κινηματικών PPP λύσεων δεν υπερβαίνουν τα 10 και 20 εκατοστά στις γωνίες 10° και 20° αντίστοιχα. Ωστόσο, η χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C φαίνεται να μειώνει τις τιμές αυτές στην πλειονότητα των περιπτώσεων, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ακρίβεια προσδιορισμού θέσης. Η μείωση αυτή στη γωνία 10° είναι της τάξης του 38%, 36%, 35% κατά τις διευθύνσεις North, East, Up αντίστοιχα με χρήση του συστήματος G/R, ενώ ουσιαστική βελτίωση από το σύστημα G/R/E/C παρατηρείται μόνο κατά τις διευθύνσεις North και Up, όπου η μείωση είναι της τάξης του 23% και 17% αντίστοιχα. Επιπλέον, στη γωνία 20° υπάρχει 47%, 60%, 50% και 23%, 33%, 29% μείωση των τιμών RMSD από τα συστήματα G/R και G/R/E/C κατά τις διευθύνσεις North, East και Up αντίστοιχα. Φαίνεται, δηλαδή, ότι το σύστημα G/R/E/C παρέχει ουσιαστική βελτίωση της ακρίβειας καθώς η γωνία αποκοπής αυξάνει.

Έπειτα, η περαιτέρω αύξηση της γωνίας αποκοπής σε 30° οδηγεί σε αύξηση των τιμών RMSD των κινηματικών PPP λύσεων από τη χρήση του GPS. Συγκεκριμένα, αυτές κυμαίνονται μεταξύ 20 και 40 εκατοστών κατά τη διεύθυνση North, μεταξύ 25 και 45 εκατοστών κατά τη διεύθυνση East, ενώ κατά τη διεύθυνση Up αυτές ξεπερνούν τα 50 εκατοστά. Με την χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C, οι παραπάνω τιμές μειώνονται σε μεγάλο βαθμό και κυμαίνονται μεταξύ των 5 και 15 εκατοστών κατά τις διευθύνσεις North και East, ενώ μεταξύ 10 και 30 εκατοστών κατά τη διεύθυνση Up. Η μείωση, δηλαδή, είναι της τάξης του 75%, 73%, 60% και 20%, 69%, 56% από τη χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C κατά τις διευθύνσεις North, East και Up αντίστοιχα. Παρ' όλα αυτά, παρατηρείται ότι σε ορισμένες ημέρες (08, 11, 12) οι τιμές αυτές υπερβαίνουν τα 50 εκατοστά, το οποίο πιθανώς οφείλεται στην κακή γεωμετρία των σχηματισμών G/R και G/R/E/C.

Ακολουθώς, με την αύξηση της γωνίας αποκοπής σε 40° παρατηρείται το ίδιο φαινόμενο όπως προηγουμένως. Δηλαδή, οι τιμές RMSD των κινηματικών PPP λύσεων από τη χρήση του GPS είναι σταθερές (στο επίπεδο 1 μέτρου στις διευθύνσεις North, East και στο επίπεδο των 2.5 μέτρων στην διεύθυνση Up) κατά το εξεταζόμενο διάστημα ημερών, ενώ οι αντίστοιχες από τη χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C υπερβαίνουν τα 5 μέτρα. Αντίστοιχα είναι τα αποτελέσματα και στη χρονική διάρκεια 1 ώρας και 15 λεπτών, τα οποία παρατίθενται στο Παράρτημα.

Έπειτα, η ίδια διερεύνηση πραγματοποιήθηκε στον σταθμό CUT0, στον οποίο όπως φάνηκε στα προηγούμενα σενάρια η χρήση πολλαπλών συστημάτων οδηγεί σε σημαντική βελτίωση της παρεχόμενης ακρίβειας θέσης. Με το πέρας της επεξεργασίας προέκυψε το Σχ. 5-86, στο οποίο απεικονίζονται οι κινηματικές PPP λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014.

Όπως φαίνεται από το σχήμα αυτό, η χρήση μόνο του GPS παρέχει ικανοποιητικές κινηματικές λύσεις με ελάχιστο επίπεδο θορύβου στις μικρές γωνίες αποκοπής (10° και 20°), το οποίο όμως αυξάνεται με την αύξηση της γωνίας. Ιδιαίτερα στη γωνία αποκοπής 40°, δεν φαίνεται να υπάρχει σταθερή συμπεριφορά των κινηματικών PPP λύσεων από τη χρήση μόνο του GPS, καθώς υπάρχει μεγάλος αριθμός αποκλίσεων από το επίπεδο τόσο των 10 όσο και των 20 εκατοστών. Το γεγονός αυτό καθιστά τις συγκεκριμένες κινηματικές λύσεις αναξιόπιστες για τον εντοπισμό θέσης σε ακραία περιβάλλοντα, όπου ο αριθμός των παρατηρούμενων δορυφόρων φθίνει.

Μία σύντομη, όμως, επισκόπηση των κινηματικών PPP λύσεων που προκύπτουν από τη χρήση του σχηματισμού G/R οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο θόρυβος που υπάρχει στις λύσεις με χρήση μόνο του GPS εξομαλύνεται σε μεγάλο βαθμό μέχρι και τη γωνία αποκοπής 30°. Εκτός, ακόμη, από την μείωση του θορύβου, παρατηρείται ότι οι συγκεκριμένες λύσεις είναι σταθερές και δεν αποκλίνουν από το επίπεδο των 15 εκατοστών. Παρ' όλα αυτά, η περαιτέρω αύξηση της γωνίας αποκοπής σε 40° έχει μεγάλες επιπτώσεις στις τελευταίες λύσεις, καθώς όπως φαίνεται ξεκάθαρα υπάρχει υψηλό επίπεδο θορύβου.

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, ο μόνιμος σταθμός CUT0 έχει τη δυνατότητα παρακολούθησης αρκετών δορυφόρων Galileo και BeiDou, σε αντίθεση με τον σταθμό

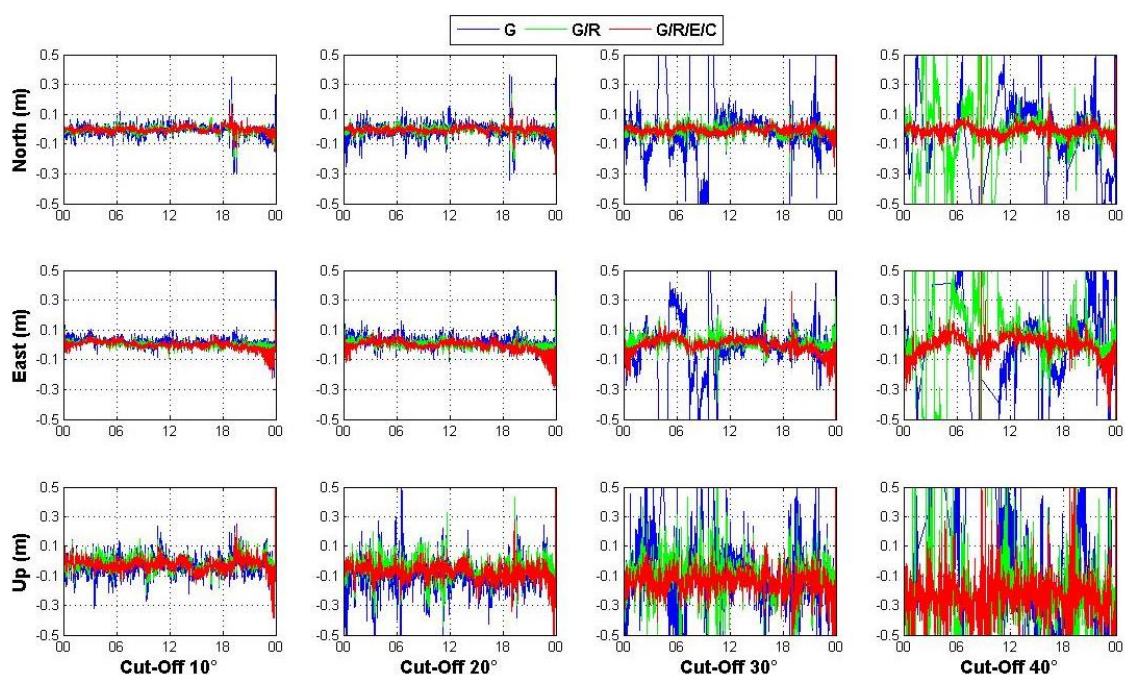


UNB3. Θεωρητικά, λοιπόν, η προσθήκη των μετρήσεων Galileo και BeiDou θα έπρεπε να βελτιώσει σημαντικά την ακρίβεια θέσης των κινηματικών λύσεων, ακόμα και σε γωνία αποκοπής 40°. Παρατηρώντας το Σχ. 5-86 γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι το σύστημα G/R/E/C παρέχει σταθερές κινηματικές PPP λύσεις στην προαναφερθείσα γωνία, ενώ παράλληλα οι αποκλίσεις αυτών από το επίπεδο των 15 εκατοστών είναι ελάχιστες. Ωστόσο, φαίνεται γενικά ότι κατά τη διεύθυνση Up η ποιότητα των κινηματικών λύσεων δεν είναι καλή, αν και το σύστημα G/R/E/C παρέχει μία σχετικά καλή ομαλοποίηση του υπάρχοντος θορύβου.

Εν συνεχεία, ακολούθησε η ποσοτική αξιολόγηση των παραπάνω λύσεων, με τον υπολογισμό των τιμών RMSD των κινηματικών PPP λύσεων για χρονική διάρκεια 24 ωρών στην περίοδο 06/01/2014 – 14/01/2014. Για τον ίδιο λόγο όπως προηγουμένως, δημιουργήθηκαν κατάλληλα διαγράμματα έτσι ώστε να γίνει πιο εποπτική η παρουσίαση τους. Στο Σχ. 5-87, απεικονίζονται οι τιμές RMSD των κινηματικών PPP λύσεων στον σταθμό CUT0 για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων και το παραπάνω εξεταζόμενο διάστημα ημερών.

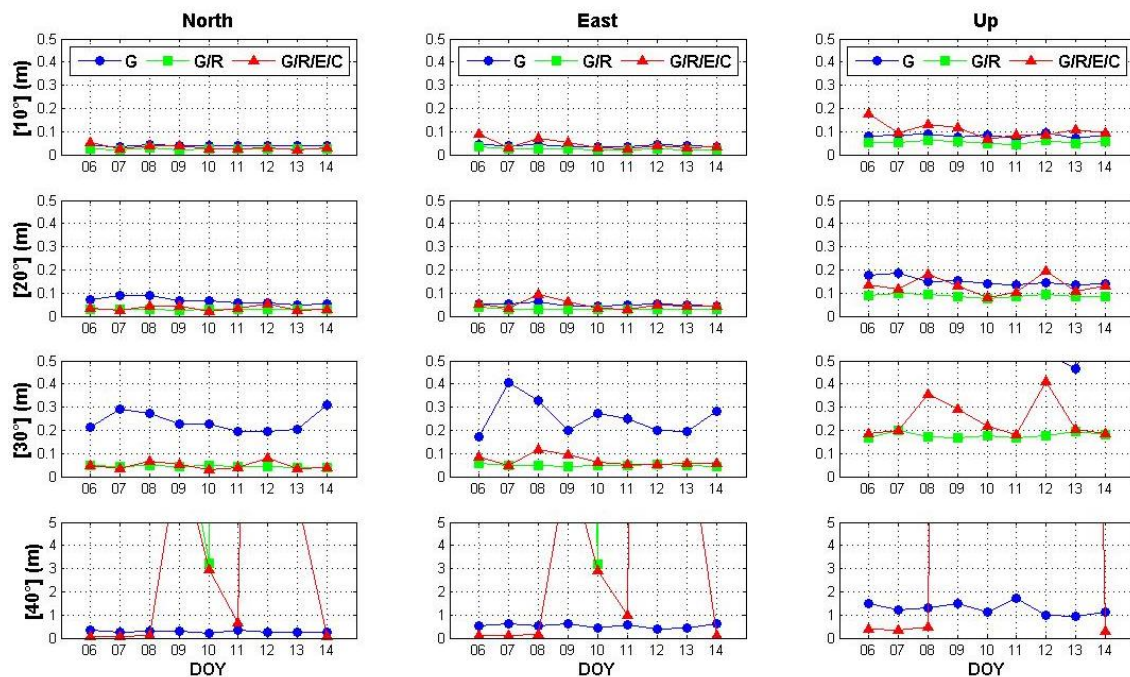
Σύμφωνα με το Σχ. 5-87, μπορεί κανείς εύκολα να ξεχωρίσει ότι το φίλτρο combined παρέχει σημαντικά μικρότερες τιμές RMSD στις γωνίες 10° και 20° σε σύγκριση με τα προηγούμενα φίλτρα, γεγονός που οφείλεται στην αμφίδρομη επεξεργασία του συγκεκριμένου φίλτρου και την απαλοιφή αρκετού θορύβου.

Συγκεκριμένα, οι τιμές RMSD των κινηματικών PPP λύσεων δεν υπερβαίνουν τα 10 και 20 εκατοστά στις γωνίες 10° και 20° αντίστοιχα. Ωστόσο, η χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C φαίνεται να μειώνει τις τιμές αυτές στην πλειονότητα των περιπτώσεων, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ακρίβεια προσδιορισμού θέσης. Η μείωση που επιτυγχάνεται με χρήση του συστήματος G/R στη γωνία 10° είναι της τάξης του 36%, 38% και 34% κατά τις διευθύνσεις North, East και Up αντίστοιχα.



**Σχήμα 5-86:** Κινηματικές PPP (combined) λύσεις ανά διεύθυνση από την αυτόνομη χρήση του GPS και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων, στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014

Παράλληλα, το σύστημα G/R/E/C παρέχει ουσιαστική βελτίωση των τιμών RMSD μόνο κατά την διεύθυνση North, όπου η μείωση είναι της τάξης του 16%. Επιπλέον, στη γωνία 20° υπάρχει 53%, 38%, 41% και 47%, 10%, 12% μείωση των τιμών RMSD από τα συστήματα G/R και G/R/E/C κατά τις διευθύνσεις North, East και Up αντίστοιχα. Φαίνεται, δηλαδή, ότι η χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS παρέχει ουσιαστική βελτίωση της ακρίβειας καθώς η γωνία αποκοπής αυξάνει.



**Σχήμα 5-87:** Τιμές RMSD (σε m) των κινηματικών PPP (combined) λύσεων στον σταθμό CUT0 για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

Έπειτα, η περαιτέρω αύξηση της γωνίας αποκοπής σε 30° οδηγεί σε αύξηση των τιμών RMSD των κινηματικών PPP λύσεων από τη χρήση του GPS. Συγκεκριμένα, αυτές κυμαίνονται μεταξύ 20 και 30 εκατοστών κατά τη διεύθυνση North, μεταξύ 20 και 40 εκατοστών κατά τη διεύθυνση East, ενώ κατά τη διεύθυνση Up αυτές ξεπερνούν τα 50 εκατοστά. Με την χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C, οι παραπάνω τιμές μειώνονται σε μεγάλο βαθμό και κυμαίνονται μεταξύ των 5 και 10 εκατοστών κατά τις διευθύνσεις North και East, ενώ μεταξύ 20 και 40 εκατοστών κατά τη διεύθυνση Up. Η μείωση, δηλαδή, είναι της τάξης του 81%, 80%, 72% και 80%, 71%, 60% από τη χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C κατά τις διευθύνσεις North, East και Up αντίστοιχα. Προκύπτει, λοιπόν, το συμπέρασμα ότι η χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C έχει τη δυνατότητα να παρέχει ακρίβεια θέσης καλύτερη από τα 10 εκατοστά στις διευθύνσεις North και East ακόμα και σε γωνία αποκοπής 30°.

Ακολούθως, αξίζει να σημειωθεί ότι στα προηγούμενα σενάρια που εξετάστηκαν η αύξηση της γωνίας αποκοπής σε 40° οδήγησε σε αισθητή μείωση της παρεχόμενης ακρίβειας θέσης από τα συστήματα G/R και G/R/E/C, ενώ παράλληλα την καλύτερη ακρίβεια παρείχε η χρήση μόνο του συστήματος GPS. Στην προκειμένη περίπτωση το φαινόμενο αυτό μετριάζεται μερικώς, καθώς γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι σε ορισμένες ημέρες (06, 07, 08, 14) η χρήση του συστήματος G/R/E/C οδηγεί σε μείωση των τιμών RMSD που προκύπτουν από τη χρήση μόνο του GPS.

Φαίνεται, επιπλέον, ότι οι τιμές RMSD των κινηματικών PPP λύσεων από τη χρήση του GPS είναι σταθερές (στο επίπεδο του μισού μέτρου στις διευθύνσεις North, East και στο επίπεδο του 1.5 μέτρου στην διεύθυνση Up) κατά το εξεταζόμενο διάστημα ημερών. Αντίστοιχα είναι τα αποτελέσματα και στη χρονική διάρκεια 1 ώρας και 15 λεπτών, τα οποία παρατίθενται στο Παράρτημα. Η διαφορά στις συγκεκριμένες χρονικές διάρκειες είναι ότι υπάρχει σημαντική μείωση των τιμών RMSD των κινηματικών PPP λύσεων κατά τη

διεύθυνση Up, σε αντίθεση με τη διάρκεια των 24 ωρών που εξετάστηκε παραπάνω. Συγκεκριμένα, υπάρχει 33%, 23%, 10%, 34% και 39%, 48%, 31%, 52% μείωση των εν λόγω τιμών από τη χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C στη διάρκεια μετρήσεων 1 ώρας και στις γωνίες αποκοπής 10°, 20°, 30°, 40° αντίστοιχα. Αξίζει, τέλος να σημειωθεί ότι οι τιμές RMSD των λύσεων αυτών από τη χρήση του συστήματος G/R/E/C σε διάρκεια μετρήσεων 1 ώρας και γωνία αποκοπής 40° κυμαίνονται μεταξύ 6-28, 7-36 και 24-85 εκατοστών στις διευθύνσεις North, East και Up αντίστοιχα.

## 5.4 Επίλυση Ακέραιων Ασαφειών Φάσης

Στην ενότητα αυτή, πραγματοποιείται διερεύνηση της τεχνικής επίλυσης των ακέραιων ασαφειών φάσης στην μέθοδο PPP με χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS, προκειμένου να διαπιστωθεί η συμβολή της πρώτης στην βελτίωση της ακρίβειας των στατικών και κινηματικών PPP λύσεων.

### 5.4.1 Στατικές PPP λύσεις

Στην υποενότητα αυτή, λαμβάνει χώρα η ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων με την τεχνική επεξεργασίας PPP-static και τη μέθοδο επίλυσης των ακέραιων ασαφειών φάσης.

Η διερεύνηση της παραπάνω τεχνικής ξεκίνησε με την ανάλυση των δεδομένων που λήφθηκαν από τον μόνιμο σταθμό UNB3 την ημέρα 07/01/2014. Με το πέρας της επεξεργασίας προέκυψαν τα Σχ. 5-88 και Σχ. 5-89. Το πρώτο απεικονίζει τις στατικές PPP λύσεις που προέκυψαν από την αυτόνομη (G) και συνδυασμένη (G/R, G/R/E/C) χρήση των συστημάτων στην περίπτωση επίλυσης ακέραιων ασαφειών φάσης (PPP Fixed), και πρότυπης PPP επεξεργασίας (PPP Float), ενώ το δεύτερο απεικονίζει τις ίδιες λύσεις ανά διεύθυνση στο πρώτο δίκτυο της επεξεργασίας.

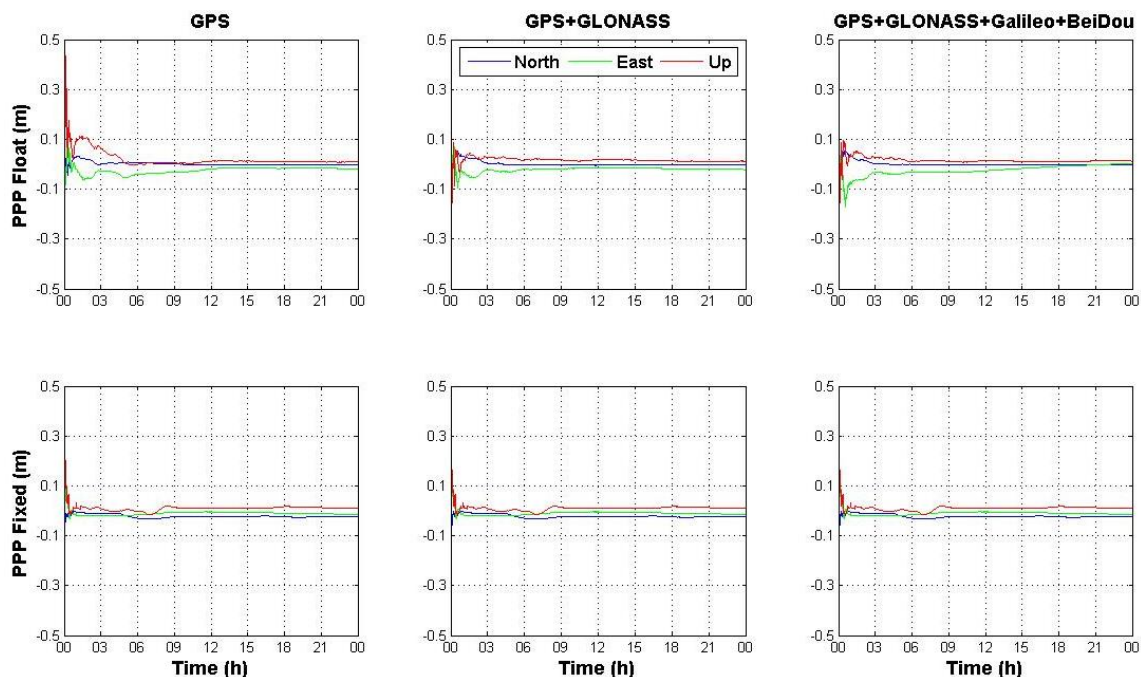
Σύμφωνα με το Σχ. 5-88, παρατηρείται ότι η χρήση πολλαπλών συστημάτων βελτιώνει τις στατικές PPP λύσεις, καθώς οι αντίστοιχες χρονοσειρές κατά τη διεύθυνση North και Up συγκλίνουν πιο σύντομα στο επίπεδο των 5 εκατοστών. Αντίθετα, δεν συμβαίνει το ίδιο και κατά τη διεύθυνση East, όπου το σύστημα G/R/E/C παρουσιάζει μία απόκλιση από το επίπεδο των 10 εκατοστών. Είναι γνωστό ότι η ακρίβεια προσδιορισμού θέσης κατά τη διεύθυνση East με τη χρήση της τεχνικής PPP είναι σχετικά μειωμένη συγκριτικά με τις άλλες δύο, το οποίο πιθανώς οφείλεται στη διαμόρφωση των δορυφορικών σχηματισμών (Ge et al. 2008). Πιθανώς, λοιπόν, η προσθήκη δεδομένων από περισσότερα δορυφορικά συστήματα μειώνει την ακρίβεια κατά τη συγκεκριμένη διεύθυνση ακόμα περισσότερο.

Ωστόσο, είναι γνωστό ότι με την επίλυση των ακέραιων ασαφειών φάσης συντελείται αφενός γρηγορότερη σύγκλιση στο επίπεδο των μερικών εκατοστών για την τεχνική PPP, αλλά υπάρχει και λιγότερος θόρυβος όσο αφορά την εξέλιξη της λύσης. Γίνεται, λοιπόν, εύκολα αντιληπτό από τα παρακάτω σχήματα ότι η τεχνική επίλυσης των ακέραιων ασαφειών φάσης στην περίπτωση χρήσης μόνο του GPS προκαλεί σημαντική βελτίωση στις PPP λύσεις, καθώς η σύγκλιση επιτυγχάνεται στα πρώτα λεπτά της επεξεργασίας και στις τρεις διευθύνσεις.

Συγκεκριμένα, φαίνεται ότι οι PPP fixed λύσεις κατά τη διεύθυνση North έχουν βελτιωθεί αρκετά, καθώς η σύγκλιση στο επίπεδο των 10 εκατοστών επιτυγχάνεται σε πιο σύντομο χρονικό διάστημα και οι λύσεις μετά τη σύγκλιση παρουσιάζουν σταθερότητα (δεν υπάρχει θόρυβος). Παράλληλα, η προσθήκη των δορυφόρων GLONASS φαίνεται να μειώνει ακόμα περισσότερο τον απαιτούμενο χρόνο σύγκλισης των PPP fixed λύσεων, αν και οι ασάφειες φάσης για τους συγκεκριμένους δορυφόρους παραμένουν ως πραγματικές τιμές. Η βελτίωση αυτή στις PPP fixed λύσεις οφείλεται στο μοντέλο επεξεργασίας PPP που γίνεται πιο ισχυρό με δεδομένα από περισσότερους δορυφόρους, γεγονός που επαληθεύεται και από την μελέτη των Pan et al. (2014). Ωστόσο, η επιπλέον προσθήκη των δορυφόρων Galileo και BeiDou δεν φαίνεται να συμβάλλει στη βελτίωση των PPP fixed λύσεων, πιθανώς λόγω του μικρού αριθμού των παρατηρούμενων δορυφόρων.

Όσο αφορά τη διεύθυνση East, παρατηρείται ότι οι στατικές PPP float λύσεις από τη χρήση μόνο του GPS απαιτούν ένα χρονικό διάστημα 20 λεπτών προκειμένου να συγκλίνουν στο επίπεδο των 10 εκατοστών, το οποίο βελτιώνεται με την επίλυση των ακέραιων ασαφειών φάσης κατά διάστημα περισσότερο των 10 λεπτών. Παράλληλα, η προσθήκη των

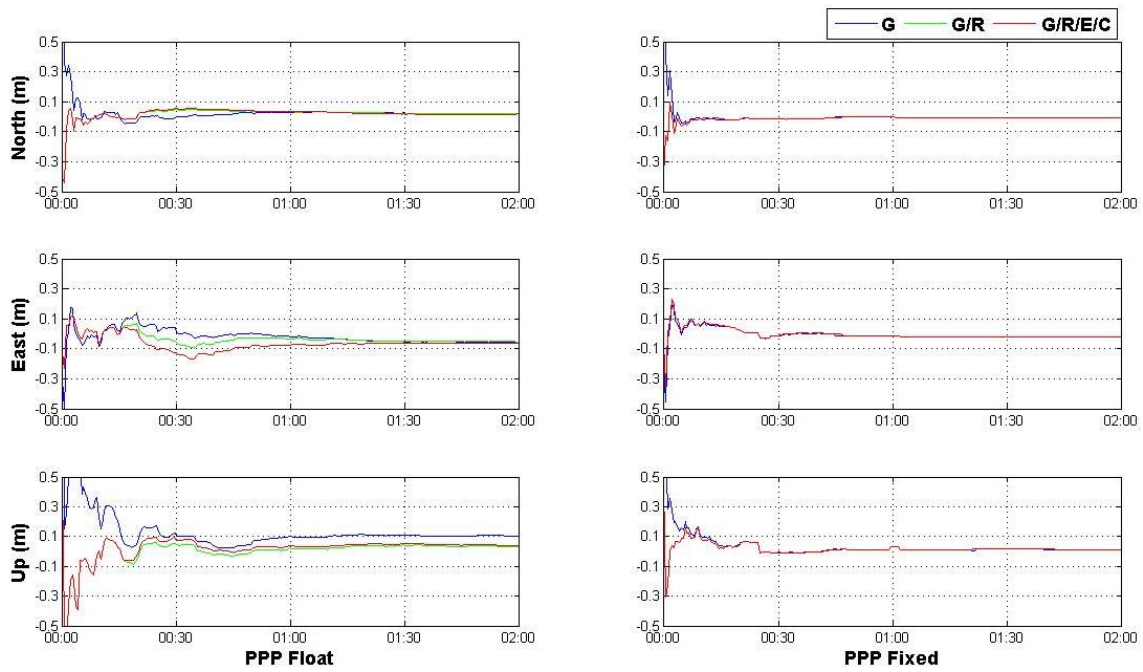
δορυφόρων GLONASS φαίνεται να επιταχύνει σημαντικά τη σύγκλιση των PPP float λύσεων, σε αντίθεση με τις PPP fixed λύσεις όπου δεν φαίνεται να υπάρχει ουσιαστική βελτίωση στο χρόνο σύγκλισης. Αντίθετα, η επιπλέον προσθήκη των δορυφόρων Galileo και BeiDou φαίνεται να αντιστρέφει την προηγούμενη βελτίωση, καθώς οι PPP float λύσεις απαιτούν διάστημα τουλάχιστον 40 λεπτών ώστε να επιτευχθεί σύγκλιση και σταθεροποίηση στο επίπεδο των 10 εκατοστών. Όσο αφορά τις fixed λύσεις, το σύστημα G/R/E/C παρέχει ίδιο χρόνο σύγκλισης με το σύστημα G/R.



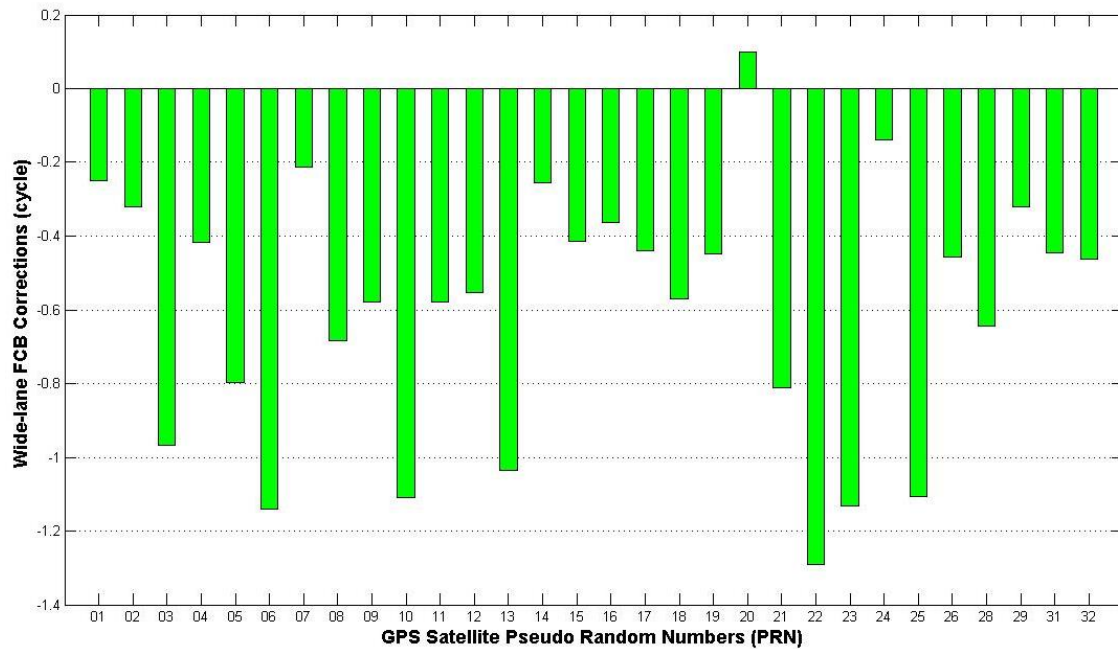
**Σχήμα 5-88:** Στατικές PPP λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) με επίλυση αέριων ασαφειών φάσης στον σταθμό UNB3 στις 07/01/2014

Κατά τη διεύθυνση Up, έπειτα, παρατηρείται ότι η επίλυση αέριων ασαφειών φάσης έχει ουσιαστική επίδραση στις στατικές PPP float λύσεις αφού ο χρόνος σύγκλισης στο επίπεδο των 10 εκατοστών έχει μειωθεί από 30 λεπτά σε περίπου 10 λεπτά. Παράλληλα, γίνεται αντιληπτό ότι ενώ η χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C παρέχει σημαντικά πιο γρήγορη σύγκλιση των PPP float λύσεων στο επίπεδο των 10 εκατοστών (περίπου 10 λεπτά) σε σύγκριση με τη χρήση μόνο του GPS, δεν παρατηρείται το ίδιο και στις PPP fixed λύσεις. Σε αυτές, η χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C παρέχουν μεν πιο σύντομο χρόνο σύγκλισης, αλλά η βελτίωση είναι μικρού μεγέθους.





**Σχήμα 5-89:** Πρώτο δώρο των στατικών PPP λύσεων ανά διεύθυνση από την αυτόνομη χρήση (G) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) με επίλυση ακέραιων ασαφειών φάσης, στον σταθμό UNB3 στις 07/01/2014



**Σχήμα 5-90:** Οι wide-lane δεκαδικές αρχικές φάσεις των δορυφόρων GPS την ημέρα 07/01/2014

Στο Σχ. 5-90, απεικονίζονται οι wide-lane δεκαδικές αρχικές φάσεις των GPS δορυφόρων την ημέρα 07/01/2014. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι οι αρχικές φάσεις των περισσότερων δορυφόρων ξεπερνούν την τιμή των -0.5 κύκλων, το οποίο σημαίνει ότι προκειμένου να γίνει ορθά η εφαρμογή της τεχνικής επίλυσης των ακέραιων ασαφειών φάσης, οι συγκεκριμένες διορθώσεις είναι απαραίτητες.

Προκειμένου να υπάρξει μία συνολική εικόνα της συμβολής της τεχνικής επίλυσης των ακέραιων ασαφειών φάσης στην μέθοδο PPP, κρίθηκε απαραίτητο η παραπάνω επεξεργασία να γίνει για το διάστημα 9 ημερών, 06/01/2014 – 14/01/14. Στον Πίν. 5-21, παρατίθενται οι τιμές RMSD των διαφορών θέσης κατά τις διευθύνσεις North, East, Up για τις προκύπτουσες λύσεις.

Προκύπτει, λοιπόν, ότι οι PPP fixed λύσεις που προκύπτουν από τη χρήση μόνο του GPS παρουσιάζουν μικρότερες τιμές RMSD από τις αντίστοιχες float λύσεις κατά τις διευθύνσεις East και Up, αν και μόνο κατά την πρώτη διεύθυνση υπάρχει ουσιαστική αύξηση της ακρίβειας. Όσο αφορά τη διεύθυνση North, παρατηρείται αύξηση της ακρίβειας στις PPP fixed λύσεις σε ορισμένες μόνο ημέρες, η οποία όμως δεν είναι ουσιαστική. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ακρίβεια προσδιορισμού θέσης κατά τη διεύθυνση North είναι καλύτερη από τις υπόλοιπες διευθύνσεις (Li et al. 2015), με αποτέλεσμα ακόμα και η επίλυση ακέραιων ασαφειών φάσης να μην συμβάλλει στην περαιτέρω βελτίωση της (Pan et al. 2014). Αντίθετα, υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης με την τεχνική επίλυσης ακέραιων ασαφειών φάσης κατά τη διεύθυνση East, το οποίο προς το παρόν αποτρέπεται από την ύπαρξη των δεκαδικών αρχικών φάσεων στους δορυφόρους και δέκτες.

Παράλληλα, παρατηρείται ότι η προσθήκη των δορυφόρων GLONASS στην επεξεργασία PPP βελτιώνει ακόμα περισσότερο την ακρίβεια θέσης κατά τη διεύθυνση East στην πλειονότητα των περιπτώσεων. Όσο αφορά τις διευθύνσεις North και Up, αυτό συμβαίνει μόνο σε ορισμένες περιπτώσεις. Η βελτίωση αυτή οφείλεται στο μαθηματικό μοντέλο επεξεργασίας της τεχνικής PPP, το οποίο γίνεται πιο ισχυρό με περισσότερους δορυφόρους, άρα και περισσότερα δεδομένα. Φαίνεται, λοιπόν, ότι οι λύσεις που προκύπτουν από το σύστημα G/R με επίλυση των ακέραιων ασαφειών φάσης του συστήματος GPS είναι σε θέση να παρέχει υψηλού επιπέδου ακρίβεια στην πλειονότητα των περιπτώσεων.

Ωστόσο, δεν συμβαίνει το ίδιο με το σύστημα G/R/E/C, παρά μόνο σε ορισμένες περιπτώσεις. Αυτό πιθανώς οφείλεται στην αδυναμία ορατότητας του συγκεκριμένου σταθμού προς αρκετούς δορυφόρους των συστημάτων Galileo και BeiDou, και παράλληλα στις δεκαδικές αρχικές φάσεις των υπολοίπων συστημάτων τα οποία πιθανώς να έχουν μεγάλο μέτρο.

Direction	System		DOY								
			006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	Float	3,17	1,92	4,85	1,60	1,21	2,58	1,81	2,18	1,88
		Fixed	3,43	2,83	3,93	1,91	1,17	2,18	1,59	2,94	1,50
	G/R	Float	2,42	1,50	5,56	4,30	5,37	1,41	4,34	4,23	3,66
		Fixed	1,96	2,44	3,85	2,02	4,31	1,69	3,86	2,34	2,41
	G/R/E/C	Float	2,42	1,48	12,05	4,40	5,55	8,06	3,09	4,23	4,90
		Fixed	1,96	2,44	7,39	2,02	4,31	4,04	2,43	2,34	2,88
East	G	Float	3,25	3,11	3,22	3,85	3,10	3,54	5,41	1,80	2,81
		Fixed	2,35	1,70	2,75	3,55	1,58	1,42	4,12	1,44	1,84
	G/R	Float	2,95	2,43	2,07	2,50	1,80	2,29	3,59	1,86	1,73
		Fixed	2,69	1,64	2,50	2,62	1,64	1,64	3,40	1,67	1,78
	G/R/E/C	Float	2,90	3,37	6,11	2,76	2,99	3,34	9,93	2,37	2,14
		Fixed	2,69	1,64	3,89	2,62	1,64	2,20	5,26	1,67	1,66
Up	G	Float	7,89	7,21	1,61	3,75	2,94	8,49	12,65	3,67	2,71
		Fixed	7,78	5,49	1,79	3,61	1,72	4,18	12,17	3,01	3,81
	G/R	Float	5,29	3,80	4,48	3,63	2,91	6,40	14,86	8,56	2,80
		Fixed	6,53	1,84	3,01	3,46	2,19	5,06	13,10	5,52	3,39
	G/R/E/C	Float	5,47	3,79	3,23	3,73	3,09	4,03	20,80	8,57	5,80
		Fixed	6,53	1,84	2,79	3,46	2,19	3,44	15,67	5,52	4,53

**Πίνακας 5-21:** Τιμές RMSD (σε cm) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 με επίλυση ακέραιων και δεκαδικών ασαφειών φάσης για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)



Εν συνεχεία, ακολούθησε η αντίστοιχη επεξεργασία στον σταθμό CUTO την ίδια ημέρα, προκειμένου να διερευνηθεί η ακρίβεια των PPP fixed λύσεων σε μόνιμο σταθμό που χαρακτηρίζεται από μεγάλη ορατότητα σε δορυφόρους Galileo και BeiDou. Με το πέρας της επεξεργασίας προέκυψαν τα Σχ. 5-91 και Σχ. 5-92. Το πρώτο απεικονίζει τις στατικές PPP λύσεις που προέκυψαν από την αυτόνομη (G) και συνδυασμένη (G/R, G/R/E/C) χρήση των συστημάτων στην περίπτωση επίλυσης ακέραιων ασαφειών φάσης (PPP Fixed), και πρότυπης PPP επεξεργασίας (PPP Float), ενώ το δεύτερο απεικονίζει τις ίδιες λύσεις ανά διεύθυνση και στο πρώτο δίωρο της επεξεργασίας.

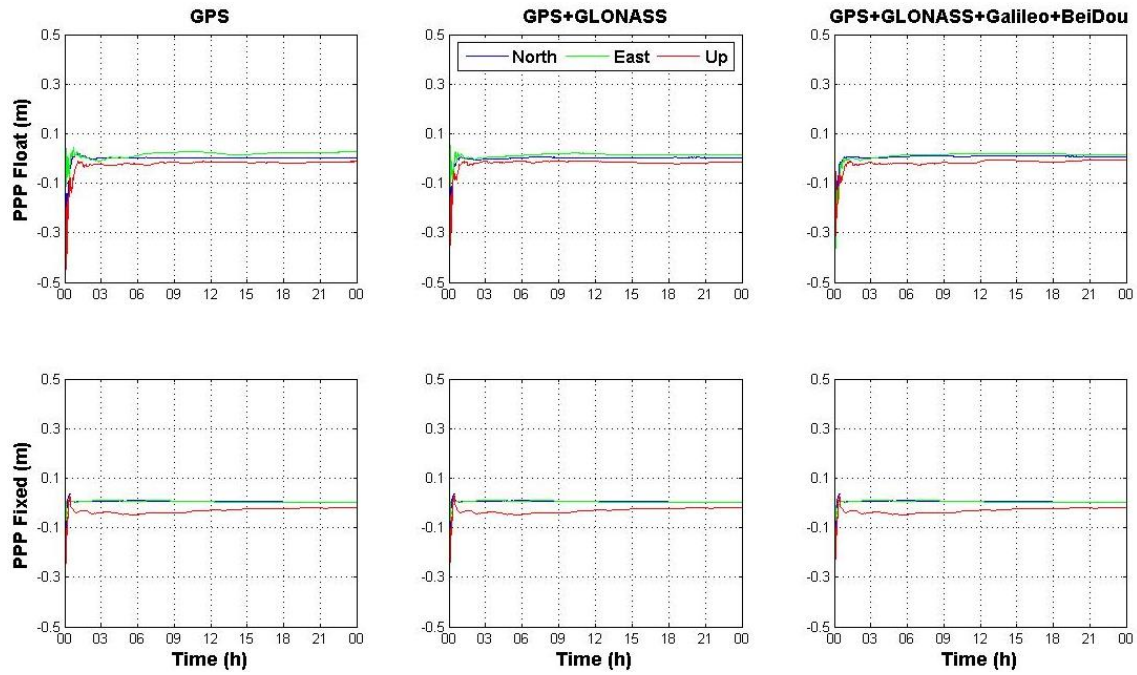
Σύμφωνα με το Σχ. 5-91, παρατηρείται ότι η χρήση πολλαπλών συστημάτων βελτιώνει τις στατικές PPP float λύσεις, καθώς οι αντίστοιχες χρονοσειρές κατά τη διεύθυνση North και Up συγκλίνουν πιο σύντομα στο επίπεδο των 10 εκατοστών. Αντίθετα, δεν συμβαίνει το ίδιο και κατά τη διεύθυνση East, όπου το σύστημα G/R/E/C παρουσιάζει μία απόκλιση από το επίπεδο των 10 εκατοστών. Είναι γνωστό ότι η ακρίβεια προσδιορισμού θέσης κατά τη διεύθυνση East με τη χρήση της τεχνικής PPP είναι μειωμένη σε σχέση με τις υπόλοιπες. Έτσι, η προσθήκη δεδομένων από περισσότερα δορυφορικά συστήματα φαίνεται να μειώνει την ακρίβεια κατά τη συγκεκριμένη διεύθυνση ακόμα περισσότερο.

Ωστόσο, παρατηρείται ότι η τεχνική επίλυσης των ακέραιων ασαφειών φάσης βελτιώνει αισθητά τις PPP λύσεις, καθώς η σύγκλιση τους έχει επιτευχθεί σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα συγκριτικά με τις float λύσεις, ενώ παράλληλα παρατηρείται μία πολύ σταθερή εξέλιξη της λύσης. Αυτό οφείλεται προφανώς στο γεγονός ότι το μεγαλύτερο μέρος των ασαφειών επιλύθηκε επιτυχώς, με την χρήση των προϊόντων χρονομέτρων από την υπηρεσία CNES. Εξαιρέση στα παραπάνω, αποτελούν οι PPP fixed λύσεις κατά τη διεύθυνση Up, καθώς παρατηρείται ότι συγκλίνουν σταδιακά, και όχι αμέσως, στην τελική λύση, αν και η σύγκλιση τους στο επίπεδο των 10 εκατοστών έχει επιτευχθεί σε μικρότερο χρονικό διάστημα από τις αντίστοιχες float λύσεις.

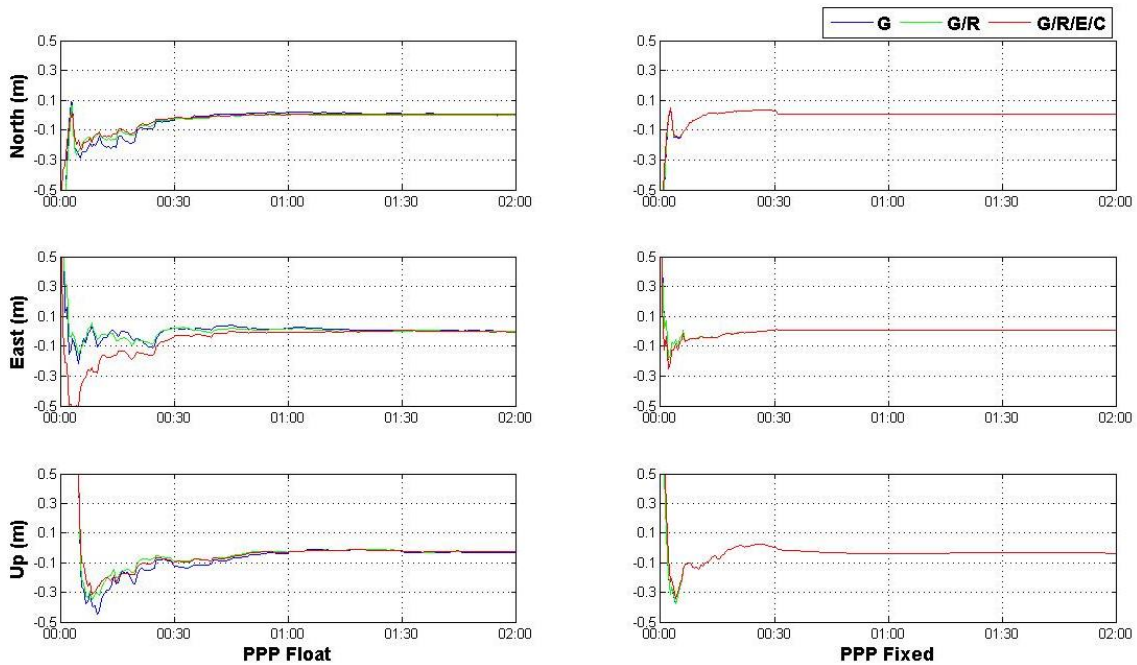
Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι οι PPP float λύσεις που προκύπτουν από τη χρήση μόνο του GPS συγκλίνουν στο επίπεδο των 10 εκατοστών σε περίπου 20, 10 και 40 λεπτά κατά τις διευθύνσεις North, East και Up αντίστοιχα, ενώ οι PPP fixed λύσεις σε περίπου 5 λεπτά σε όλες τις διευθύνσεις. Φαίνεται, λοιπόν, ότι η επίλυση των ακέραιων ασαφειών φάσης παρέχει σημαντικά καλύτερο χρόνο σύγκλισης των PPP λύσεων. Εκτός, όμως, από αυτό, φαίνεται ότι όταν οι PPP fixed λύσεις συγκλίνουν στο επίπεδο των 10 εκατοστών, μετά η εξέλιξη της λύσης του είναι σταθερή και δεν παρουσιάζει αποκλίσεις από το επίπεδο αυτό, όπως συμβαίνει συχνά στις float λύσεις.

Παράλληλα, γίνεται αντιληπτό ότι με την προσθήκη περισσότερων δορυφόρων, οι PPP float λύσεις παρουσιάζουν καλύτερη ποιότητα αλλά και πιο σύντομο χρόνο σύγκλισης. Εξαιρέση σε αυτό αποτελεί η χρήση του συστήματος G/R/E/C κατά τη διεύθυνση East, όπου παρατηρείται ότι απαιτείται περισσότερο χρονικό διάστημα προκειμένου οι float λύσεις να συγκλίνουν στο επίπεδο των 10 εκατοστών (περίπου 25 λεπτά). Ωστόσο, παρατηρείται ότι η χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C δεν παρουσιάζει ουσιαστική βελτίωση στις PPP fixed λύσεις, τόσο στην ποιότητα τους όσο και στον χρόνο σύγκλισης τους.

Προκειμένου να υπάρξει μία συνολική εικόνα των παραπάνω, υπολογίσθηκαν οι τιμές RMSD των διαφορών θέσης κατά τις διευθύνσεις North, East, Up για τις float και fixed λύσεις με χρήση των συστημάτων G, G/R και G/R/E/C, όπως φαίνεται στον Πίν. 5-22.



**Σχήμα 5-91:** Στατικές PPP λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) με επίλυση ακέραιων ασαφειών φάσης στον σταθμό CUT0 στις 07/01/2014



**Σχήμα 5-92:** Πρώτο δίωρο των στατικών PPP λύσεων ανά διεύθυνση από την αυτόνομη χρήση (G) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) με επίλυση ακέραιων ασαφειών φάσης, στον σταθμό CUT0 στις 07/01/2014

Direction	System		DOY								
			006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	Float	6,55	4,34	7,00	6,38	2,42	8,25	3,46	3,45	5,29
		Fixed	5,66	3,44	5,37	5,27	1,60	6,46	2,04	2,94	5,50
	G/R	Float	5,52	3,53	4,49	5,09	2,86	5,35	2,77	2,09	4,28
		Fixed	5,16	2,93	4,34	4,47	1,52	5,30	1,99	2,69	4,74
	G/R/E/C	Float	1,85	2,28	3,94	1,53	1,78	3,45	1,50	2,23	2,54
		Fixed	2,05	1,98	5,17	1,73	1,24	5,17	1,78	3,31	3,06
East	G	Float	4,03	4,76	3,42	2,37	2,75	6,94	4,78	5,66	4,68
		Fixed	3,56	4,21	5,29	1,36	6,31	4,88	4,49	5,11	8,27
	G/R	Float	4,03	3,92	2,73	1,98	1,98	4,36	3,54	4,59	3,89
		Fixed	3,40	3,50	5,42	1,39	6,36	4,75	4,36	5,42	8,30
	G/R/E/C	Float	4,70	4,20	3,08	1,81	7,06	3,79	7,05	3,88	6,16
		Fixed	3,83	2,17	5,31	1,50	3,95	3,95	4,81	3,95	11,05
Up	G	Float	9,35	10,27	9,00	4,13	9,68	9,79	12,83	6,00	7,24
		Fixed	6,94	7,54	19,10	4,10	12,55	6,75	10,58	5,68	8,09
	G/R	Float	5,63	8,58	7,67	2,83	8,76	7,66	8,76	3,54	7,33
		Fixed	5,09	6,40	19,03	3,96	13,00	5,70	8,47	5,82	8,00
	G/R/E/C	Float	3,15	6,51	7,45	6,39	3,51	11,88	10,82	3,92	5,62
		Fixed	4,04	5,50	19,01	6,36	4,43	5,99	9,07	6,14	8,17

**Πίνακας 5-22:** Τιμές RMSD (σε cm) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό CUTO με επίλυση ακέραιων και δεκαδικών ασαφειών φάσης για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 - 14/01/2014)

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, είναι εμφανής η βελτίωση των τιμών RMSD των στατικών PPP λύσεων με την επίλυση των ακέραιων ασαφειών φάσης. Παράλληλα, παρατηρείται ότι η χρήση πολλαπλών συστημάτων βελτιώνει τις τιμές αυτές σε ορισμένες περιπτώσεις.

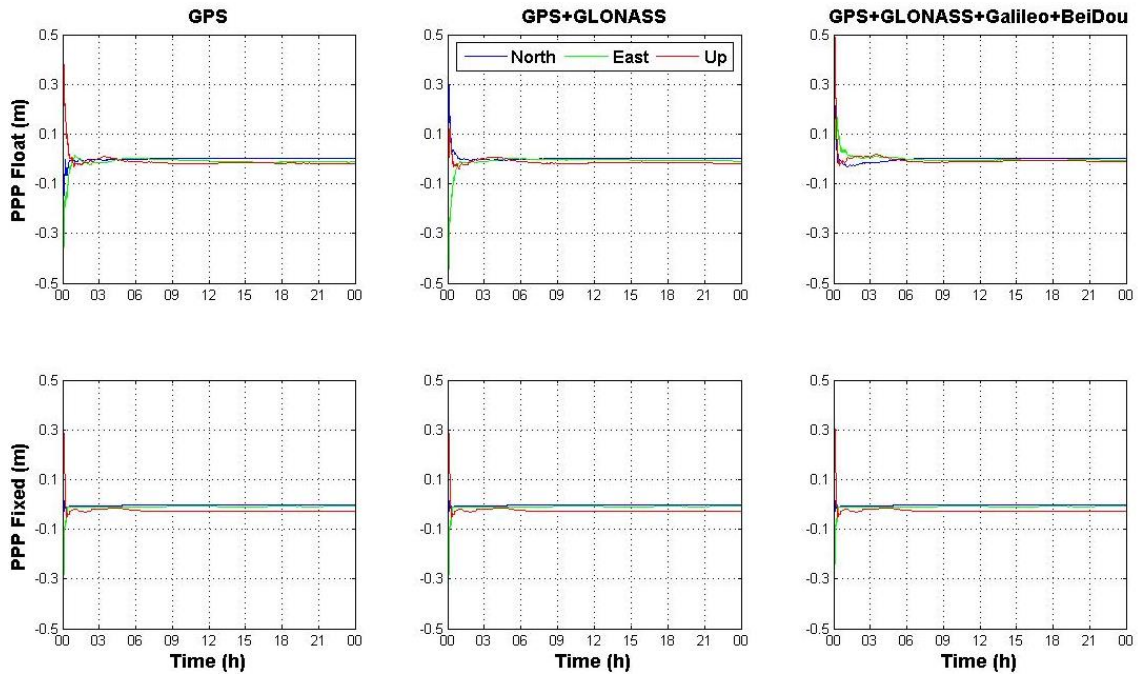
Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι οι PPP fixed λύσεις που προκύπτουν από τη χρήση μόνο του GPS παρουσιάζουν αρκετά μικρότερες τιμές RMSD κατά τη διεύθυνση North σε σύγκριση με τις αντίστοιχες float λύσεις, έχοντας μία μέση μείωση της τάξης του 20%. Γίνεται, λοιπόν, εύκολα αντιληπτό ότι οι δεκαδικές αρχικές φάσεις που ενυπάρχουν στους δορυφόρους προκαλούν μεγάλη αδυναμία όσο αφορά την ακρίβεια προσδιορισμού με την τεχνική PPP, και η διόρθωση τους μπορεί να επιφέρει σημαντικά αποτελέσματα. Παράλληλα, φαίνεται ότι η προσθήκη των δορυφόρων GLONASS βελτιώνει ακόμα περισσότερο τις τιμές RMSD των PPP fixed λύσεων που προκύπτουν μόνο από τη χρήση του GPS, κατά περίπου 12%. Η αύξηση αυτή οφείλεται στο μοντέλο της τεχνικής PPP, το οποίο γίνεται σαφώς πιο ισχυρό με περισσότερες παρατηρήσεις. Με την επιπλέον προσθήκη των δορυφόρων Galileo και BeiDou, παρατηρείται ότι οι τιμές RMSD των PPP fixed λύσεων μειώνονται ακόμα περισσότερο στην πλειονότητα των περιπτώσεων, με μεγαλύτερη μείωση αυτή της ημέρας 06/01/2014 κατά περίπου 60%.

Όσο αφορά τη διεύθυνση East, παρατηρείται ότι η επίλυση των ακέραιων ασαφειών φάσης παρέχει καλά αποτελέσματα, εφόσον υπάρχει μείωση των τιμών RMSD. Ωστόσο, αυτό δεν συμβαίνει σε όλες τις περιπτώσεις, το οποίο μπορεί να οφείλεται στην αδυναμία επίλυσης των ακέραιων ασαφειών φάσης από το πρόγραμμα RTKLIB. Η προσθήκη, έπειτα, περισσότερων δορυφόρων δεν φαίνεται να βελτιώνει τις τιμές αυτές στην πλειονότητα των περιπτώσεων. Εξαιρέση αποτελεί η ημέρα 007, κατά την οποία η τιμή RMSD των PPP fixed λύσεων από τη χρήση του συστήματος G/R μειώθηκε από τα 4.2 σε 3.5 εκατοστά, ενώ η περαιτέρω προσθήκη των δορυφόρων Galileo και BeiDou μειώνει την τελευταία τιμή κατά 1.3 εκατοστά.

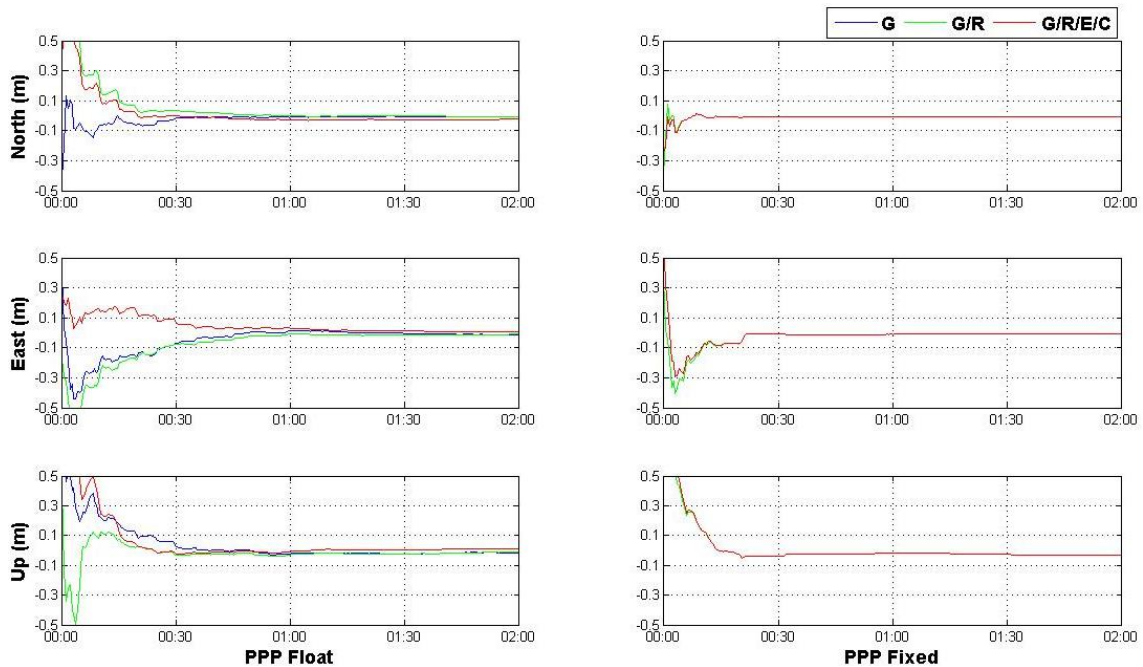
Κατά τη διεύθυνση Up, φαίνεται ότι οι PPP fixed λύσεις που προκύπτουν από τη χρήση μόνο του GPS παρέχουν αισθητά καλύτερη ακρίβεια θέσης από τις αντίστοιχες float λύσεις στην πλειονότητα των περιπτώσεων. Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρήθηκαν και με την χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C. Αξίζει στο σημείο αυτό να σημειωθεί ότι οι PPP float λύσεις από τη χρήση του συστήματος G/R/E/C παρέχει καλύτερη ακρίβεια θέσης από τις PPP fixed λύσεις των συστημάτων που μελετήθηκαν, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων. Αυτό πιθανώς οφείλεται στο γεγονός ότι στις PPP fixed λύσεις από το σύστημα G/R/E/C έχουν επιλυθεί οι ασάφειες φάσης μόνο για το σύστημα GPS, το οποίο μπορεί να δημιουργεί πρόβλημα στην επεξεργασία PPP. Αντίθετα, οι ασάφειες φάσης στις PPP float λύσεις που προκύπτουν από το σύστημα G/R/E/C μεταχειρίζονται με τον ίδιο τρόπο, και συνεπώς δεν δημιουργείται πρόβλημα στην επεξεργασία PPP.

Έπειτα, ακολούθησε η ίδια επεξεργασία στον ελληνικό σταθμό DYNG (Διόνυσος, 38.08°N, 23.93°E) σε διαφορετικό όμως χρονικό διάστημα, καθώς αυτός δεν υποστήριζε δεδομένα BeiDou στο προηγούμενο εξεταζόμενο διάστημα. Με το πέρας της επεξεργασίας των δεδομένων για την διερεύνηση της ακρίβειας των PPP fixed λύσεων, προέκυψαν τα Σχ. 5-93 και Σχ. 5-94. Το πρώτο απεικονίζει τις στατικές PPP λύσεις που προέκυψαν από την αυτόνομη (G) και συνδυασμένη (G/R, G/R/E/C) χρήση των συστημάτων στην περίπτωση επίλυσης ακέραιων ασαφειών φάσης (PPP Fixed), και πρότυπης PPP επεξεργασίας (PPP Float), ενώ το δεύτερο απεικονίζει τις ίδιες λύσεις ανά διεύθυνση και στο πρώτο δίωρο της επεξεργασίας.

Σύμφωνα με το Σχ. 5-93, παρατηρείται ότι η χρήση πολλαπλών συστημάτων βελτιώνει τις στατικές PPP float λύσεις, καθώς οι αντίστοιχες χρονοσειρές κατά τη διεύθυνση Up συγκλίνουν πιο σύντομα στο επίπεδο των 10 εκατοστών. Όσο αφορά τις διευθύνσεις North και East, δεν φαίνεται να υπάρχει βελτίωση στον χρόνο σύγκλισης, αλλά υπάρχει μεγαλύτερη σταθερότητα στις προκύπτουσες λύσεις από τα συστήματα G/R και G/R/E/C. Με την επίλυση των ακέραιων ασαφειών φάσης, παρατηρείται ότι υπάρχει αισθητή βελτίωση του χρόνου σύγκλισης των λύσεων ενώ παράλληλα αυτές χαρακτηρίζονται από μεγάλη σταθερότητα κατά το εξεταζόμενο διάστημα.

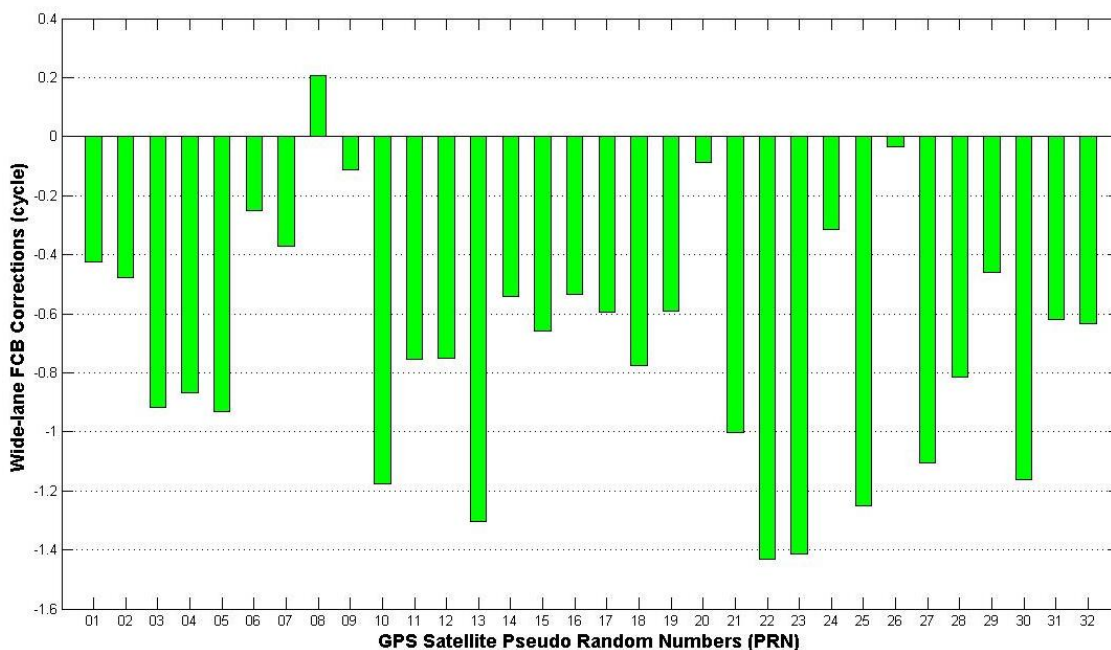


**Σχήμα 5-93:** Στατικές PPP λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) με επίλυση ακέραιων ασαφειών φάσης στον σταθμό DYNG στις 22/05/2015



**Σχήμα 5-94:** Πρώτο δίωρο των στατικών PPP λύσεων ανά διεύθυνση από την αυτόνομη χρήση (G) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) με επίλυση ακέραιων ασαφειών φάσης, στον σταθμό DYNG στις 22/05/2015

Συγκεκριμένα, γίνεται εύκολα αντιληπτό από το Σχ. 5-94 ότι ενώ οι PPP float λύσεις από τα συστήματα G, G/R και G/R/E/C απαιτούν χρονικό διάστημα περίπου 15 λεπτών προκειμένου να συγκλίνουν στο επίπεδο των 10 εκατοστών κατά τη διεύθυνση North, οι αντίστοιχες PPP fixed λύσεις απαιτούν μόνο 5 λεπτά. Αντίστοιχη βελτίωση παρατηρείται και κατά τις διευθύνσεις East και Up, όπου οι PPP fixed λύσεις απαιτούν χρονικό διάστημα 10 λεπτών για να συγκλίνουν στα 10 εκατοστά.



**Σχήμα 5-95:** Οι wide-lane δεκαδικές αρχικές φάσεις των δορυφόρων GPS την ημέρα 22/05/2015

Όπως φαίνεται από το παραπάνω σχήμα, οι δεκαδικές αρχικές φάσεις της πλειονότητας των δορυφόρων GPS ξεπερνούν τους 0.5 κύκλους τη συγκεκριμένη ημέρα, ενώ υπάρχουν και ορισμένες που υπερβαίνουν τον 1 κύκλο. Μπορεί, λοιπόν, κανείς εύκολα να αντιληφθεί πόσο επηρεάζεται η απόδοση των PPP float λύσεων, όπου οι τιμές των ασαφειών φάσης είναι πραγματικές (δεκαδικές). Έτσι, κρίνεται απαραίτητη η διόρθωση τους μέσω των προϊόντων χρονομέτρων που παρέχει η υπηρεσία CNES.

Προκειμένου να υπάρξει μία συνολική εικόνα των παραπάνω, υπολογίσθηκαν οι τιμές RMSD των διαφορών θέσης κατά τις διευθύνσεις North, East, Up για τις PPP float και fixed λύσεις με χρήση των συστημάτων G, G/R και G/R/E/C, όπως φαίνεται στον Πίν. 5-23.

Σύμφωνα με τον Πίν. 5-23, παρατηρείται ότι υπάρχει μείωση των τιμών RMSD των στατικών PPP λύσεων, από τη χρήση μόνο του συστήματος GPS, στην πλειονότητα των εξεταζόμενων ημερών με την επίλυση των ακέραιων ασαφειών φάσης. Ωστόσο, μεγαλύτερη βελτίωση παρατηρείται κατά τη διεύθυνση North, όπου υπάρχει 23% μείωση των τιμών RMSD, ενώ παράλληλα φαίνεται ότι σε αρκετές περιπτώσεις οι τιμές αυτές είναι μικρότερες του 1.5 εκατοστού. Στις υπόλοιπες διευθύνσεις, δεν παρατηρείται μείωση των τιμών RMSD σε όλες τις εξεταζόμενες ημέρες, γεγονός που πιθανώς οφείλεται στην αστάθεια που παρουσιάζει η τεχνική επίλυσης ακέραιων ασαφειών φάσης από το ελεύθερο λογισμικό RTKLIB.

Με την προσθήκη των δεδομένων GLONASS, Galileo και BeiDou, παρατηρείται αύξηση της ακρίβειας των PPP float λύσεων στην πλειονότητα των περιπτώσεων σε σύγκριση με τις λύσεις που προέρχονται από επεξεργασία δεδομένων μόνο GPS. Παρ' όλα αυτά, είναι φανερό ότι η βέλτιστη ακρίβεια στο εξεταζόμενο διάστημα παρέχεται άλλοτε από το σύστημα G/R και άλλοτε από το G/R/E/C. Αυτό οφείλεται στην γεωμετρία των δορυφόρων που σχηματίζεται τις εν λόγω ημέρες, καθώς ο μόνιμος σταθμός DYNIG παρουσιάζει μέτρια ορατότητα προς τους δορυφόρους BeiDou. Συνεπώς, η προσθήκη των αντίστοιχων δεδομένων, σε περιβάλλον κακής γεωμετρίας δορυφόρων, πιθανώς να επηρεάζει αρνητικά τις PPP λύσεις.

Direction	System		DOY								
			138	139	140	141	142	143	144	145	146
North	G	Float	5,15	4,04	1,36	4,01	1,34	3,33	1,47	2,55	3,96
		Fixed	3,67	3,16	0,97	3,42	0,93	3,09	1,53	1,22	2,98
	G/R	Float	2,46	3,16	2,17	6,07	4,92	2,38	1,07	4,96	1,58
		Fixed	3,67	3,16	0,97	3,42	0,93	3,09	1,53	1,22	2,98
	G/R/E/C	Float	2,42	4,59	1,29	1,20	3,57	1,35	4,52	6,08	2,22
		Fixed	3,31	3,91	1,00	2,56	0,78	2,74	1,72	1,46	6,68
East	G	Float	2,86	3,46	2,13	2,86	3,29	1,39	1,28	1,51	2,25
		Fixed	2,20	2,90	1,76	4,09	2,40	4,50	1,43	1,25	2,63
	G/R	Float	4,02	1,86	2,64	3,36	4,42	1,57	1,76	2,65	1,79
		Fixed	2,20	2,90	1,76	4,09	2,40	4,50	1,43	1,25	2,63
	G/R/E/C	Float	2,11	4,28	5,03	6,10	2,10	2,49	2,24	10,83	2,42
		Fixed	1,79	2,56	1,68	2,05	2,26	4,47	2,91	3,25	10,01
Up	G	Float	5,46	6,26	3,41	9,42	5,10	3,20	2,49	2,34	2,97
		Fixed	3,56	5,48	3,67	10,73	5,41	5,78	2,34	2,16	3,69
	G/R	Float	3,45	8,54	2,75	9,81	2,70	2,82	2,27	2,96	2,13
		Fixed	3,56	5,48	3,67	10,73	5,41	5,78	2,34	2,16	3,69
	G/R/E/C	Float	10,21	4,43	8,40	2,98	6,36	4,45	2,45	8,14	4,68
		Fixed	5,02	3,33	4,49	6,44	6,52	5,64	8,14	4,14	16,36

**Πίνακας 5-23:** Τιμές RMSD (σε cm) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό DYNG με επίλυση ακέραιων και δεκαδικών ασαφειών φάσης για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 18 - 26/05/2015)

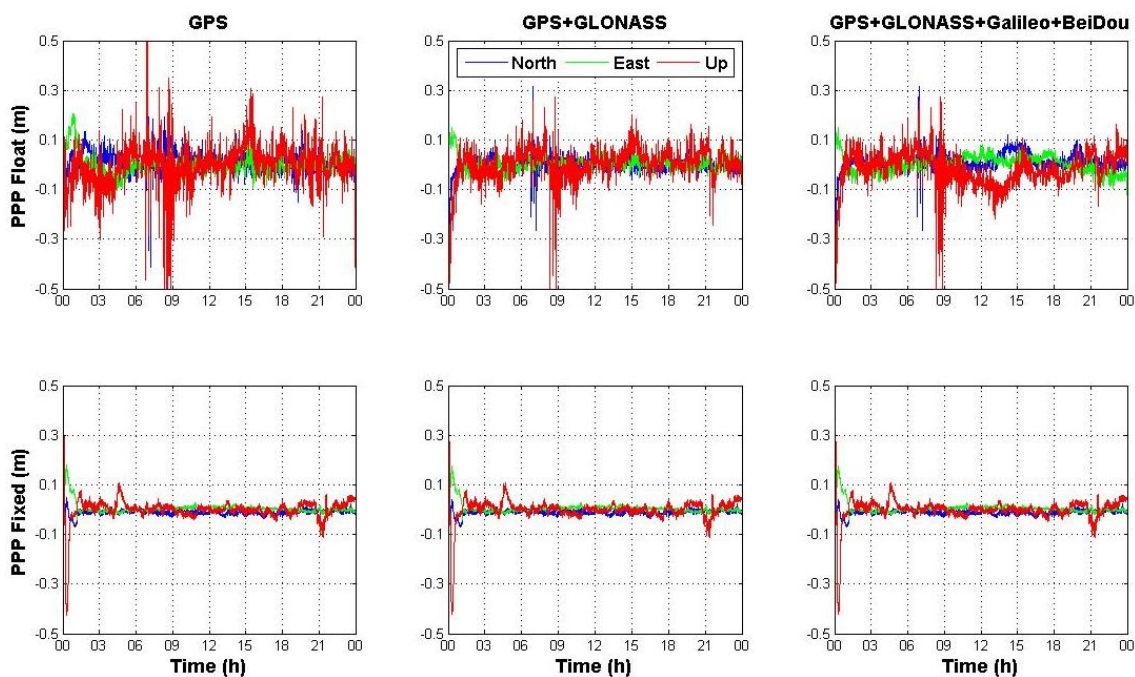


Όσο αφορά τις PPP fixed λύσεις από τη χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι δεν υπάρχει βελτίωση με την προσθήκη των δεδομένων GLONASS. Ωστόσο, η περαιτέρω προσθήκη των δεδομένων Galileo και BeiDou φαίνεται να συμβάλλει στη μείωση των τιμών RMSD των PPP fixed λύσεων, ιδιαίτερα κατά τη διεύθυνση East όπου υπάρχει 15% μείωση στην πλειονότητα των περιπτώσεων.

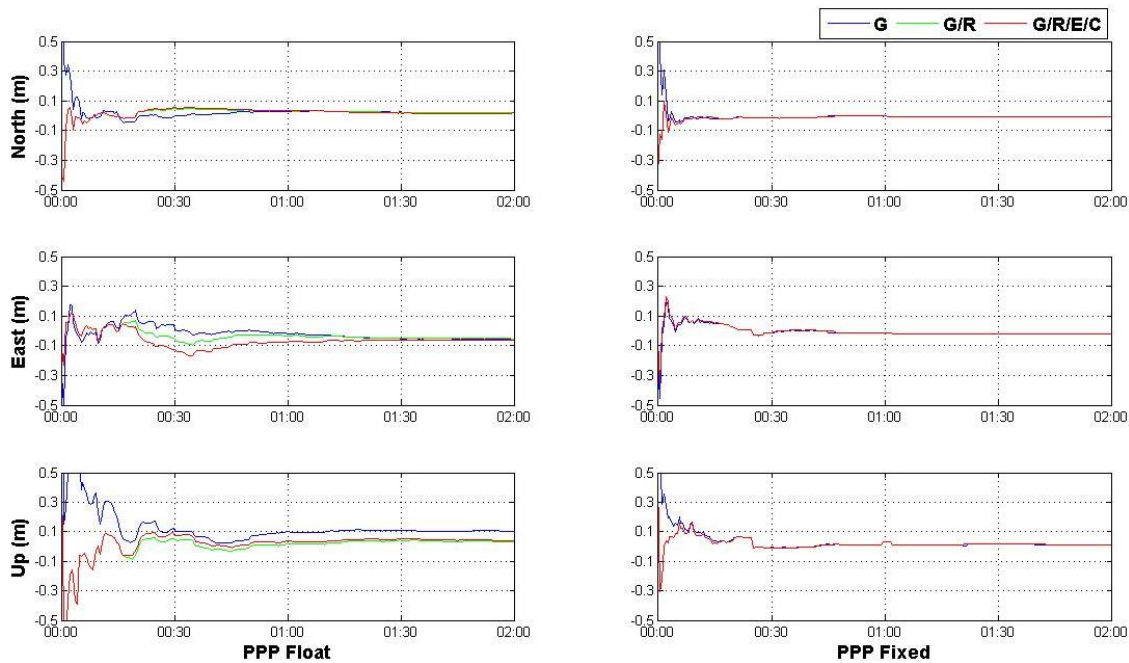
#### 5.4.2 Κινηματικές PPP λύσεις

Στην υποενότητα αυτή, λαμβάνει χώρα η ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων με την τεχνική επεξεργασίας PPP-kinematic (φίλτρο forward) και τη μέθοδο επίλυσης των αέριων ασαφειών φάσης.

Η διερεύνηση της παραπάνω τεχνικής ξεκίνησε με την ανάλυση των δεδομένων που λήφθηκαν από τον μόνιμο σταθμό UNB3 την ημέρα 13/01/2014. Με το πέρας της επεξεργασίας προέκυψαν τα Σχ. 5-96 και Σχ. 5-97. Το πρώτο απεικονίζει τις κινηματικές PPP λύσεις που προέκυψαν από την αυτόνομη (G) και συνδυασμένη (G/R, G/R/E/C) χρήση των συστημάτων στην περίπτωση επίλυσης αέριων ασαφειών φάσης (PPP Fixed), και πρότυπης PPP επεξεργασίας (PPP Float), ενώ το δεύτερο απεικονίζει τις ίδιες λύσεις ανά διεύθυνση και στο πρώτο δίωρο της επεξεργασίας.



**Σχήμα 5-96:** Κινηματικές PPP (φίλτρο forward) λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) με επίλυση αέριων ασαφειών φάσης, στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014



**Σχήμα 5-97:** Πρώτο δίκτυο των κινηματικών PPP λύσεων (forward) ανά διεύθυνση από την αυτόνομη χρήση (G) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) με επίλυση ακέραιων ασαφειών φάσης, στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014

Σύμφωνα με το Σχ. 5-96, παρατηρείται ότι η χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS βελτιώνει τις κινηματικές PPP λύσεις, καθώς έχει επιτελεσθεί σχετική εξομάλυνση του θορύβου της χρονοσειράς. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι οι κινηματικές PPP λύσεις που προκύπτουν από τη χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C παραμένουν στο επίπεδο των 10 εκατοστών στο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα της επεξεργασίας. Ωστόσο, ο θόρυβος αυτός εξομαλύνεται σε σημαντικά μεγαλύτερο βαθμό μέσω της επίλυσης των ακέραιων ασαφειών φάσης (PPP fixed).

Συγκεκριμένα, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι οι PPP fixed λύσεις που προκύπτουν από τη χρήση του GPS παρουσιάζουν μεγαλύτερη σταθερότητα από τις float λύσεις, ενώ παράλληλα αυτή δεν αποκλίνει από το επίπεδο των 5 εκατοστών στο μεγαλύτερο μέρος του εξεταζόμενου διαστήματος. Παρ' όλα αυτά, δεν παρατηρείται ουσιαστική βελτίωση στην ποιότητα των fixed λύσεων με την προσθήκη των δορυφόρων GLONASS, Galileo και BeiDou.

Από το Σχ. 5-97, φαίνεται ότι οι PPP float λύσεις από τη χρήση μόνο του συστήματος GPS απαιτούν χρονικό διάστημα περίπου 8 λεπτών προκειμένου να συγκλίνουν στο επίπεδο των 10 εκατοστών κατά τη διεύθυνση North, ενώ οι αντίστοιχες PPP fixed λύσεις απαιτούν 5 λεπτά. Παρατηρείται, δηλαδή βελτίωση στον χρόνο σύγκλισης, αλλά και στην ποιότητα της PPP fixed λύσης αφού όταν η τελευταία συγκλίνει στα 10 εκατοστά παρουσιάζει υψηλή σταθερότητα κατά την εξέλιξη της. Επιπλέον, η προσθήκη των δορυφόρων GLONASS στο μοντέλο επεξεργασίας PPP φαίνεται να οδηγεί σε μείωση του χρόνου σύγκλισης, τόσο στις PPP float όσο και τις PPP fixed λύσεις. Ωστόσο, η περαιτέρω προσθήκη των δορυφόρων Galileo και BeiDou δεν παρουσιάζει βελτίωση στις PPP fixed λύσεις.

Κατά τη διεύθυνση East, παρατηρείται ότι οι PPP Fixed λύσεις παρουσιάζουν αφενός μεγαλύτερη σταθερότητα ως προς την εξέλιξη της λύσης, και αφετέρου πιο σύντομο χρόνο σύγκλισης στα 10 εκατοστά. Συγκεκριμένα, η PPP float λύση με χρήση μόνο του GPS παρουσιάζει σύγκλιση στο επίπεδο των 10 εκατοστών εντός 20 λεπτών, ενώ η αντίστοιχη PPP Fixed λύση συγκλίνει στο ίδιο επίπεδο εντός 5 λεπτών. Ωστόσο, η προσθήκη επιπλέον δορυφόρων δεν φαίνεται να έχει επίδραση στις PPP Fixed λύσεις.

Όσο αφορά τη διεύθυνση Up, παρατηρείται ότι οι PPP fixed λύσεις παρουσιάζουν σημαντική βελτίωση στο χρόνο σύγκλισης τους. Συγκεκριμένα, οι PPP float λύσεις συγκλίνουν στο επίπεδο των 10 εκατοστών σε διάστημα 30 λεπτών, ενώ οι αντίστοιχες fixed λύσεις

συγκλίνουν εντός των πρώτων 10 λεπτών. Πρόκειται, λοιπόν, για σημαντική βελτίωση στις λύσεις με την τεχνική επίλυσης των ακέραιων ασαφειών φάσης, ενώ παράλληλα φαίνεται ότι η προσθήκη των δορυφόρων GLONASS βελτιώνει ακόμα περισσότερο την προηγούμενη κατάσταση, αφού ο χρόνος σύγκλισης μειώθηκε στα 2 λεπτά. Παρ' όλα αυτά, το σύστημα G/R/E/C δεν φαίνεται να συμβάλλει στη βελτίωση της λύσης, καθώς η ορατότητα προς τους δορυφόρους Galileo και BeiDou από τον συγκεκριμένο σταθμό είναι χαμηλή.

Προκειμένου να υπάρξει μία συνολική εικόνα των παραπάνω, υπολογίσθηκαν οι τιμές RMSD των διαφορών θέσης κατά τις διευθύνσεις North, East, Up για τις float και fixed λύσεις με χρήση των συστημάτων G, G/R και G/R/E/C, όπως φαίνεται στον Πίν. 5-24, για το διάστημα 06/01/2014 – 13/01/2014.

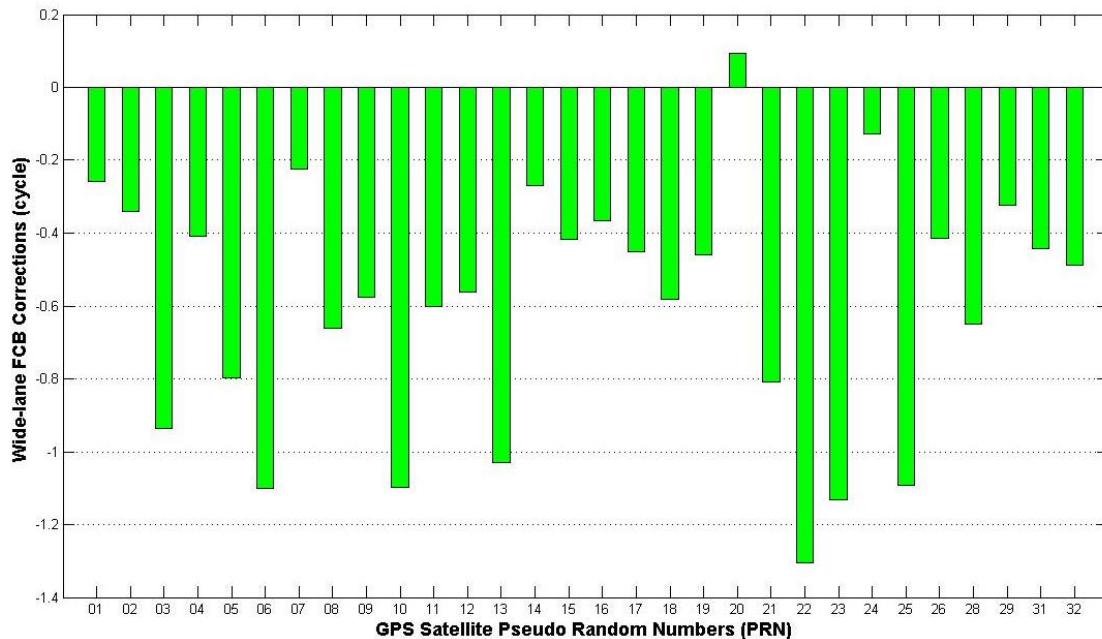
Από τον συγκεκριμένο πίνακα, γίνεται αντιληπτό ότι οι τιμές RMSD των PPP fixed λύσεων με τη χρήση μόνο του GPS κατά τη διεύθυνση North είναι χαμηλότερες από τις αντίστοιχες των PPP float λύσεων στην πλειονότητα των περιπτώσεων. Εξαιρέση αποτελούν οι ημέρες 007, 010 και 012, όπου οι PPP fixed λύσεις των δύο πρώτων παρουσιάζουν αρκετά μεγάλες τιμές RMSD σε σύγκριση με τις αντίστοιχες PPP float λύσεις. Επίσης, παρατηρείται ότι η προσθήκη των δορυφόρων GLONASS συμβάλλει στη βελτίωση της ακρίβειας των PPP float λύσεων. Ως αποτέλεσμα, οι PPP fixed λύσεις που προκύπτουν από το σύστημα G/R παρουσιάζουν βελτιωμένη ακρίβεια συγκριτικά με τις PPP fixed λύσεις που προκύπτουν από τη χρήση μόνο του GPS. Παρ' όλα αυτά, αυτό δεν συμβαίνει στην πλειονότητα των ημερών, πιθανώς λόγω αδυναμίας του προγράμματος RTKLIB να επιλύσει τις ακέραιες ασάφειες φάσεις των δεδομένων GPS.

Όσο αφορά τη διεύθυνση East, γίνεται αντιληπτό ότι οι PPP fixed λύσεις από τη χρήση μόνο του GPS δεν παρουσιάζουν βελτίωση σε σχέση με τις αντίστοιχες float λύσεις, παρά μόνο σε ορισμένες περιπτώσεις. Αντίθετα, υπάρχει αισθητή βελτίωση στην ακρίβεια των PPP float λύσεων που προκύπτουν από το σύστημα G/R σε σχέση με τους προηγούμενους συνδυασμούς. Ως αποτέλεσμα, οι PPP fixed λύσεις από το σύστημα G/R παρέχουν καλύτερο επίπεδο ακρίβειας από τις αντίστοιχες λύσεις του συστήματος GPS στις περισσότερες περιπτώσεις. Ωστόσο, η περαιτέρω προσθήκη των δορυφόρων Galileo και BeiDou δεν οδηγεί σε μείωση των τιμών RMSD των PPP fixed λύσεων, οι οποίες παραμένουν ίδιες με τις τιμές που προκύπτουν από τον συνδυασμό G/R. Το γεγονός ότι η επίλυση των ακέραιων ασαφειών φάσης δεν παρέχει βελτίωση της ακρίβειας στο σύνολο των περιπτώσεων κατά τη συγκεκριμένη διεύθυνση πιθανώς οφείλεται είτε στη διαμόρφωση του δορυφορικού σχηματισμού, είτε στην αδυναμία επίλυσης των ακέραιων ασαφειών φάσης από το πρόγραμμα RTKLIB.

Έπειτα, παρατηρείται ότι υπάρχει βελτίωση στις PPP fixed λύσεις με χρήση μόνο του συστήματος GPS κατά τη διεύθυνση Up στο μεγαλύτερο μέρος του εξεταζόμενου διαστήματος. Παράλληλα, με την προσθήκη των δορυφόρων GLONASS παρατηρείται ότι οι PPP float λύσεις υπερτερούν σε ακρίβεια έναντι των αντίστοιχων με χρήση μόνο του συστήματος GPS, αν και το ίδιο δεν συμβαίνει με τις PPP fixed λύσεις από το σύστημα G/R. Το γεγονός αυτό πιθανώς να οφείλεται στις μεγάλες τιμές των δεκαδικών αρχικών φάσεων των δορυφόρων GLONASS, τα οποία δεν διορθώνονται στην παρούσα επεξεργασία καθώς αυτά τα προϊόντα δεν διατίθενται προς το παρόν από την υπηρεσία CNES. Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι η επιπλέον προσθήκη των δορυφόρων Galileo και BeiDou δεν επιφέρουν βελτίωση στις λύσεις που προκύπτουν από το σύστημα G/R, καθώς στον εν λόγω σταθμό δεν υπάρχει μεγάλη ορατότητα προς τους δορυφόρους αυτούς.

Direction	System		DOY								
			006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	Float	5,54	5,37	6,91	5,14	4,72	6,03	5,38	5,41	4,96
		Fixed	5,28	30,45	4,22	2,98	48,24	3,36	8,82	3,04	3,16
	G/R	Float	4,02	3,18	6,21	5,47	6,45	3,09	5,08	5,22	5,20
		Fixed	4,44	30,42	4,09	3,26	4,95	2,78	9,55	2,18	38,92
	G/R/E/C	Float	4,56	5,29	13,13	5,66	6,93	9,32	5,58	5,60	6,75
		Fixed	4,44	30,42	7,61	3,26	4,95	4,60	9,01	2,18	4,37
East	G	Float	6,21	4,11	4,91	5,80	4,91	6,60	8,20	4,40	6,23
		Fixed	17,24	61,71	3,01	3,90	157,64	2,71	24,44	2,73	7,48
	G/R	Float	4,00	2,74	2,47	3,79	2,76	3,59	4,52	3,15	3,68
		Fixed	17,28	61,71	2,74	2,99	2,57	2,92	24,29	2,78	88,40
	G/R/E/C	Float	4,57	5,16	8,03	4,68	4,36	5,92	12,98	3,69	4,02
		Fixed	17,28	61,71	4,20	2,99	2,57	3,76	24,72	2,78	7,22
Up	G	Float	14,55	12,96	7,99	9,45	9,03	13,91	14,97	9,56	8,72
		Fixed	20,27	70,23	3,38	5,47	146,57	8,09	30,24	5,07	6,19
	G/R	Float	10,34	7,79	7,69	6,32	7,58	9,12	16,89	10,41	6,42
		Fixed	19,90	70,03	4,30	5,96	4,14	7,76	30,57	6,74	93,76
	G/R/E/C	Float	10,53	8,69	8,47	6,61	8,73	8,88	23,64	10,63	10,99
		Fixed	19,90	70,03	4,07	5,96	4,14	7,91	31,89	6,74	7,28

**Πίνακας 5-24:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών PPP (forward) λύσεων στον σταθμό UNB3 με επίλυση ακέραιων και δεκαδικών ασαφειών φάσης για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 - 14/01/2014)



**Σχήμα 5-98:** Οι wide-lane δεκαδικές αρχικές φάσεις των δορυφόρων GPS την ημέρα 13/01/2014

Στο παραπάνω σχήμα, απεικονίζονται οι δεκαδικές αρχικές φάσεις των GPS δορυφόρων την ημέρα 13/01/2014. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι οι φάσεις των περισσότερων δορυφόρων ξεπερνούν την τιμή των  $-0.5$  κύκλων, ενώ ορισμένες ξεπερνούν και την τιμή του 1 κύκλου. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι οι συγκεκριμένες διορθώσεις είναι απαραίτητες προκειμένου να εφαρμοσθεί ορθά η τεχνική επίλυσης των ακέραιων ασαφειών φάσης.

Έπειτα, η διερεύνηση συνεχίστηκε στον σταθμό CUTO για την ίδια ημέρα, προκειμένου να διερευνηθεί η ακρίβεια των PPP fixed λύσεων σε μόνιμο σταθμό που έχει μεγάλη ορατότητα στους δορυφόρους Galileo και BeiDou. Με το πέρας της επεξεργασίας προέκυψε το Σχ. 5-99, το οποίο απεικονίζει τις κινηματικές PPP λύσεις που προέκυψαν από την αυτόνομη (G) και συνδυασμένη (G/R, G/R/E/C) χρήση των συστημάτων στην περίπτωση επίλυσης ακέραιων ασαφειών φάσης (PPP Fixed) και πρότυπης PPP επεξεργασίας (PPP Float).

Σύμφωνα με το Σχ. 5-99, παρατηρείται ότι η χρήση πολλαπλών συστημάτων βελτιώνει αισθητά τις κινηματικές PPP λύσεις, καθώς έχει επιτελεσθεί σημαντική εξομάλυνση του θορύβου της χρονοσειράς, ιδιαίτερα από το σύστημα G/R/E/C. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι οι κινηματικές PPP λύσεις που προκύπτουν από τη χρήση των συστημάτων G/R και G/R/E/C παραμένουν στο επίπεδο των 10 εκατοστών στο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα της επεξεργασίας.

Σε αντίθεση με την προηγούμενη περίπτωση, όπου οι PPP fixed λύσεις παρουσίαζαν καλύτερη ακρίβεια συγκριτικά με τις αντίστοιχες float λύσεις, στην προκειμένη δεν συμβαίνει το ίδιο. Συγκεκριμένα, φαίνεται ότι οι PPP fixed λύσεις χαρακτηρίζονται από μεγάλη αστάθεια, ενώ παράλληλα δεν επιτυγχάνεται σύγκλιση καθ' όλη τη διάρκεια των παρατηρήσεων. Η κατάσταση αυτή πιθανώς οφείλεται στην αδυναμία του προγράμματος RTKLIB να επιλύσει τις ακέραιες ασάφειες κύκλων.

Παρ' όλα αυτά, αυτό δεν συμβαίνει σε όλες τις εξεταζόμενες ημέρες, και παράδειγμα αυτού αποτελεί η ημέρα 09/01/2014. Όπως φαίνεται στο Σχ. 5-100, η χρήση πολλαπλών συστημάτων βελτιώνει τις PPP float λύσεις, καθώς εξομαλύνεται σε μεγάλο βαθμό ο υπάρχον θόρυβος στην εξέλιξη της λύσης και παράλληλα οι λύσεις από τα συστήματα G/R και G/R/E/C δεν υπερβαίνουν το επίπεδο των 10 εκατοστών στο μεγαλύτερο μέρος της εξεταζόμενης διάρκειας.

Επιπλέον, φαίνεται ότι οι PPP fixed λύσεις που προκύπτουν από τη χρήση μόνο του GPS παρουσιάζουν σημαντικά καλύτερη ποιότητα σε σχέση με τις αντίστοιχες PPP float λύσεις, καθώς υπάρχει αισθητή εξομάλυνση του θορύβου και σταθερότητα ως προς την εξέλιξη της λύσης. Ενώ οι PPP fixed λύσεις κατά τη διεύθυνση Up δεν παρουσιάζουν την ίδια σταθερότητα σε σχέση με τις αντίστοιχες λύσεις κατά τις διευθύνσεις North και East, η ποιότητα της κινηματικής λύσης είναι αρκετά υψηλή.

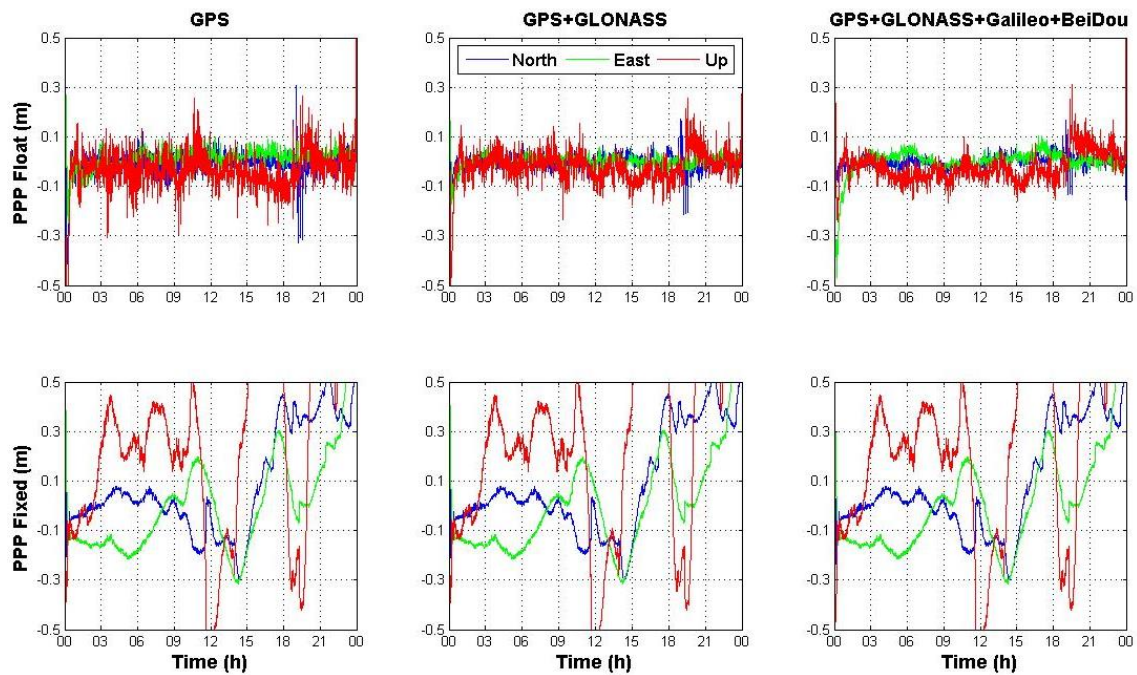
Παράλληλα, η προσθήκη των δορυφόρων GLONASS δεν φαίνεται να παρουσιάζει βελτίωση ούτε στην ποιότητα της λύσεων ούτε στην εξομάλυνση του θορύβου των λύσεων κατά τη διεύθυνση Up. Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι οι PPP fixed λύσεις που προκύπτουν από τη χρήση του συστήματος G/R/E/C παρουσιάζουν μεγάλη αστάθεια, και δεν επιτυγχάνεται σύγκλιση των λύσεων καθ' όλη την εξεταζόμενη διάρκεια. Αυτό πιθανώς να οφείλεται στην αδυναμία του προγράμματος RTKLIB να επιλύσει ορθά τις ακέραιες ασάφειες φάσης, καθώς προκειμένου να εξαχθούν οι λύσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν τόσο τα προϊόντα από την υπηρεσία CNES όσο και αυτά που παρέχονται από την καμπάνια MGEX.

Προκειμένου να υπάρξει μία συνολική εικόνα των παραπάνω, υπολογίσθηκαν οι τιμές RMSD των διαφορών θέσης κατά τις διευθύνσεις North, East, Up για τις float και fixed λύσεις με χρήση των συστημάτων G, G/R και G/R/E/C, όπως φαίνεται στον Πίν. 5-25, για το χρονικό διάστημα 06/01/2014 – 14/01/2014.

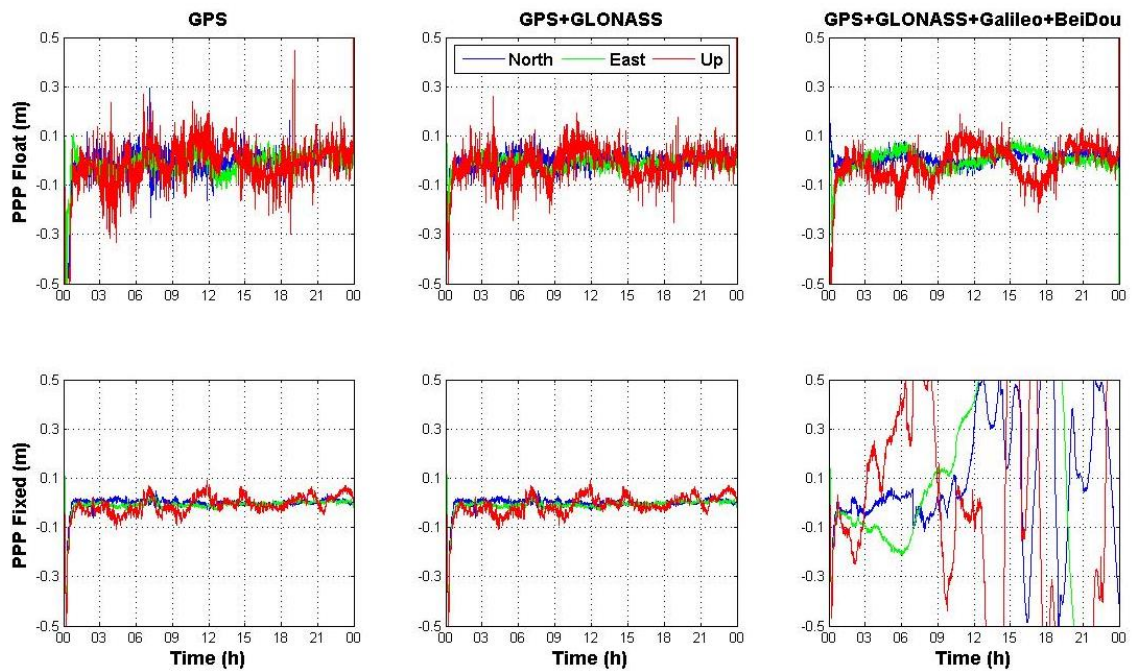
Σύμφωνα με τον Πίν. 5-25, γίνεται αντιληπτό ότι οι PPP fixed λύσεις που προκύπτουν από τη χρήση μόνο του GPS παρουσιάζουν αρκετά μειωμένη ακρίβεια σε σχέση με τις αντίστοιχες PPP float λύσεις κατά τις διευθύνσεις North, East και Up. Το ίδιο συμβαίνει και με τις PPP fixed λύσεις που προκύπτουν από τα συστήματα G/R και G/R/E/C. Το γεγονός αυτό πιθανώς να οφείλεται στην πειραματική επίλυση των ακέραιων ασαφειών φάσης από το πρόγραμμα RTKLIB, ή ακόμα και στα προϊόντα χρονομέτρων που παρέχει η υπηρεσία CNES. Επίσης, δεν παρατηρείται βελτίωση με την προσθήκη των δεδομένων Galileo και BeiDou.

Ωστόσο, την ημέρα 009 παρατηρείται ότι οι PPP fixed λύσεις που προκύπτουν από τη χρήση μόνο του GPS παρουσιάζουν βελτίωση στην ακρίβεια θέσης κατά 3.5, 2 και 8 εκατοστά στις διευθύνσεις North, East και Up αντίστοιχα. Η περαιτέρω προσθήκη των δεδομένων GLONASS δεν βελτιώνει ουσιαστικά το επίπεδο ακρίβειας των PPP fixed λύσεων, ενώ με τη προσθήκη των δεδομένων Galileo και BeiDou παρατηρείται ότι η ακρίβεια είναι αρκετά μειωμένη αφού αυτή αγγίζει το 1.5 μέτρο.





**Σχήμα 5-99:** Κινηματικές PPP (φίλτρο forward) λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) με επίλυση ακέραιων ασαφειών φάσης, στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014



**Σχήμα 5-100:** Κινηματικές PPP (φίλτρο forward) λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) με επίλυση ακέραιων ασαφειών φάσης, στον σταθμό CUT0 στις 09/01/2014

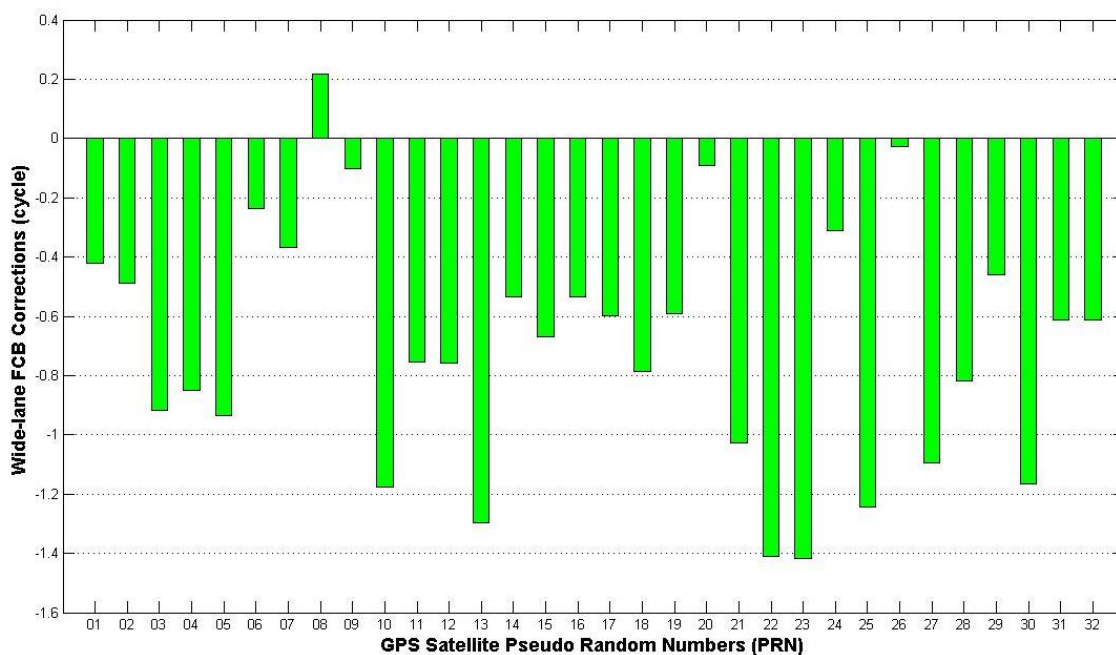


Direction	System		DOY									
			006	007	008	009	010	011	012	013	014	
North	G	Float	9,99	8,08	10,71	10,21	8,86	11,25	6,72	6,08	7,64	
		Fixed	46,01	53,07	102,94	6,73	10,83	27,70	69,14	23,31	26,56	
	G/R	Float	6,25	4,37	5,24	5,74	4,34	5,96	3,94	3,44	5,18	
		Fixed	6,70	53,04	37,03	6,04	46,20	27,33	69,13	23,28	26,40	
	G/R/E/C	Float	5,57	3,94	5,66	3,40	3,67	4,40	3,75	3,21	4,50	
		Fixed	4,11	52,99	37,18	27,10	7,07	27,32	69,12	23,37	26,17	
	East	G	Float	7,15	6,63	7,01	5,68	6,53	9,85	6,71	6,75	6,99
			Fixed	97,93	68,34	224,31	3,78	12,90	84,21	141,00	22,64	54,59
G/R		Float	4,54	4,48	3,88	3,43	4,07	5,53	4,07	5,01	4,94	
		Fixed	5,55	68,30	98,15	3,77	127,15	84,19	140,99	22,72	54,60	
G/R/E/C		Float	8,15	5,84	4,71	5,03	9,58	5,59	8,38	5,48	7,17	
		Fixed	5,65	68,23	98,15	104,36	5,47	84,13	141,01	22,34	54,89	
Up		G	Float	16,34	16,17	17,82	13,71	18,95	18,26	16,60	10,80	12,82
			Fixed	164,58	169,26	382,10	5,95	36,78	126,06	235,96	65,05	114,60
	G/R	Float	8,32	10,16	10,86	7,38	11,99	10,71	10,69	7,14	11,26	
		Fixed	9,09	169,21	159,68	5,82	202,67	125,94	235,86	65,06	114,59	
	G/R/E/C	Float	17,89	11,89	17,02	14,52	10,36	19,07	12,77	12,17	10,87	
		Fixed	8,07	169,18	159,70	162,04	10,26	125,97	235,89	65,12	114,59	

**Πίνακας 5-25:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών PPP (forward) λύσεων στον σταθμό CUT0 με επίλυση ακέραιων και δεκαδικών ασαφειών φάσης για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

Τέλος, έλαβε χώρα η ίδια επεξεργασία για τον μόνιμο σταθμό DYNG έτσι ώστε να διερευνηθεί η ακρίβεια των PPP fixed λύσεων σε σταθμό που έχει μέτρια ορατότητα προς τους δορυφόρους BeiDou. Με το πέρας της επεξεργασίας προέκυψαν τα Σχ. 5-102 και Σχ. 5-103, από τα οποία το πρώτο απεικονίζει τις κινηματικές PPP λύσεις που προέκυψαν από την αυτόνομη (G) και συνδυασμένη (G/R, G/R/E/C) χρήση των συστημάτων στην περίπτωση επίλυσης αέριων ασαφιών φάσης (PPP Fixed), και πρότυπης PPP επεξεργασίας (PPP Float), ενώ το δεύτερο απεικονίζει τις ίδιες λύσεις ανά διεύθυνση και στο πρώτο δίωρο της επεξεργασίας.

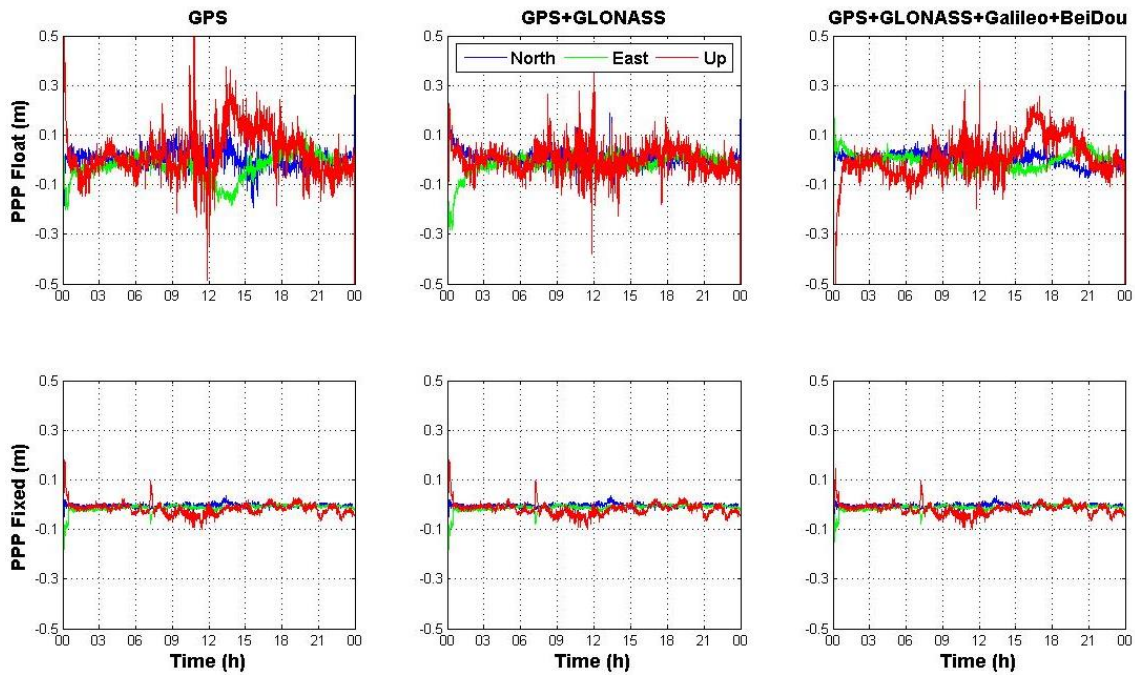
Σύμφωνα με το Σχ. 5-102, παρατηρείται ότι η χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS συμβάλλει στην βελτίωση των PPP float λύσεων που προκύπτουν από τη χρήση μόνο του GPS, εφόσον υπάρχει μερική εξομάλυνση του υπάρχοντος θορύβου και οι λύσεις παρουσιάζουν μεγαλύτερη σταθερότητα κατά την εξεταζόμενη χρονική διάρκεια παρατηρήσεων. Ωστόσο, φαίνεται ότι οι λύσεις από το σύστημα G/R/E/C παρουσιάζουν μία απόκλιση από το επίπεδο των 10 εκατοστών στο διάστημα 15:00 - 17:00 σε σύγκριση με τις λύσεις από το σύστημα G/R.



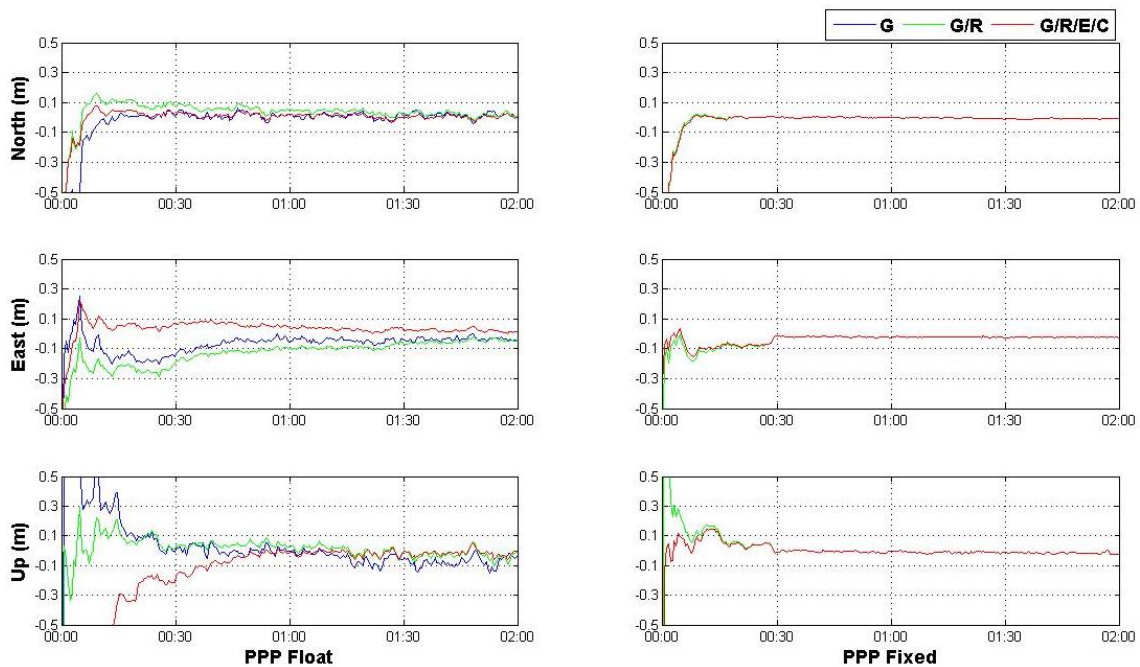
**Σχήμα 5-101:** Οι wide-lane δεκαδικές αρχικές φάσεις των δορυφόρων GPS την ημέρα 18/05/2015

Η επίλυση, ακολούθως, των αέριων ασαφιών φάσης φαίνεται να βελτιώνει αισθητά τις κινηματικές PPP λύσεις καθώς υπάρχει πλήρης εξομάλυνση του θορύβου των PPP float λύσεων, ενώ παράλληλα οι PPP fixed λύσεις είναι σταθερές και δεν αποκλίνουν από το επίπεδο των 10 εκατοστών κατά την εξεταζόμενη διάρκεια. Η βελτίωση αυτή οφείλεται στην διόρθωση των δεκαδικών αρχικών φάσεων των δορυφόρων GPS καθώς, όπως φαίνεται στο Σχ. 5-101, το μεγαλύτερο ποσοστό αυτών υπερβαίνουν τους 0.5 κύκλους, ενώ υπάρχει ένα μικρό ποσοστό που υπερβαίνει και τον 1 κύκλο.

Επιπλέον, γίνεται εύκολα αντιληπτό από το Σχ. 5-103 ότι οι κινηματικές PPP fixed λύσεις παρουσιάζουν αρκετά μικρότερο χρόνο σύγκλισης στο επίπεδο των 10 εκατοστών, ιδιαίτερα κατά τις διευθύνσεις East και Up. Συγκεκριμένα, οι PPP float λύσεις από τα συστήματα G, G/R και G/R/E/C απαιτούν 30, 40 και 8 λεπτά αντίστοιχα για να συγκλίνουν στα 10 εκατοστά κατά τη διεύθυνση East, ενώ οι αντίστοιχες PPP fixed λύσεις απαιτούν μόλις 5 λεπτά. Παράλληλα, ο χρόνος σύγκλισης των PPP float λύσεων από τα ίδια συστήματα κατά τη διεύθυνση Up είναι 20, 15, 35 λεπτά, ενώ για τις PPP fixed λύσεις απαιτούνται 10, 10 και 2 λεπτά αντίστοιχα. Φαίνεται, λοιπόν, ότι υπάρχει ικανοποιητική μείωση του χρόνου σύγκλισης των κινηματικών PPP λύσεων όταν λαμβάνει χώρα η διόρθωση των δεκαδικών αρχικών φάσεων και ο συνδυασμός δεδομένων από πολλαπλά συστήματα.



**Σχήμα 5-102:** Κινηματικές PPP (φίλτρο forward) λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) με επίλυση ακέραιων ασαφειών φάσης, στον σταθμό DYNG στις 18/05/2015



**Σχήμα 5-103:** Πρώτο δίωρο των κινηματικών PPP λύσεων (forward) ανά διεύθυνση από την αυτόνομη χρήση (G) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) με επίλυση ακέραιων ασαφειών φάσης, στον σταθμό DYNG στις 18/05/2015

Direction	System		DOY								
			138	139	140	141	142	143	144	145	146
North	G	Float	6,24	5,14	4,24	5,93	3,89	5,26	3,79	5,07	6,24
		Fixed	3,90	9,95	22,86	33,22	1,24	7,46	2,03	2,15	15,75
	G/R	Float	3,55	3,75	3,59	6,50	5,59	3,89	2,74	6,27	2,91
		Fixed	3,90	9,95	22,86	33,22	1,24	7,46	2,03	2,15	15,75
	G/R/E/C	Float	3,59	5,35	4,25	3,76	4,35	2,71	5,45	8,26	3,24
		Fixed	3,49	12,92	22,86	33,22	1,17	7,31	2,08	2,62	16,80
East	G	Float	6,31	6,26	6,97	9,02	6,50	5,15	4,90	5,59	5,70
		Fixed	2,23	15,11	50,85	84,34	2,57	20,44	1,71	2,49	30,54
	G/R	Float	5,35	3,03	4,66	4,31	5,63	3,81	3,58	3,86	2,81
		Fixed	2,23	15,11	50,85	84,34	2,57	20,44	1,71	2,49	30,54
	G/R/E/C	Float	3,85	6,00	9,46	8,69	4,43	4,27	3,98	14,91	3,95
		Fixed	1,92	19,08	50,85	84,34	2,33	20,43	1,58	4,30	32,02
Up	G	Float	11,76	11,92	9,70	17,70	11,03	9,12	8,82	8,13	12,14
		Fixed	4,88	25,30	86,18	76,24	5,89	22,37	4,25	5,43	68,51
	G/R	Float	6,84	10,28	7,38	10,08	5,28	5,95	5,14	5,78	6,34
		Fixed	4,88	25,30	86,18	76,24	5,89	22,37	4,25	5,43	68,51
	G/R/E/C	Float	14,60	9,59	12,44	6,81	8,68	7,22	5,47	10,38	8,60
		Fixed	5,54	48,13	86,23	76,24	7,05	22,33	4,47	6,47	70,34

**Πίνακας 5-26:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών PPP (forward) λύσεων στον σταθμό DYNG με επίλυση ακέραιων και δεκαδικών ασαφειών φάσης για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 18- 26/05/2015)

Για την ποσοτική αξιολόγηση των παραπάνω αποτελεσμάτων, υπολογίσθηκαν οι τιμές RMSD των διαφορών θέσης κατά τις διευθύνσεις North, East, Up για τις PPP float και fixed λύσεις με χρήση των συστημάτων G, G/R και G/R/E/C, όπως φαίνεται στον Πίν. 5-26, για το χρονικό διάστημα 18/05/2015 – 26/05/2015.

Από τον πίνακα αυτόν, γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS συμβάλλει στη μείωση των τιμών RMSD των κινηματικών PPP λύσεων, και συνεπώς στην αύξηση της παρεχόμενης ακρίβειας θέσης, σε σχέση με τη χρήση μόνο του GPS. Συγκεκριμένα, μεγαλύτερη βελτίωση υπάρχει κατά τις διευθύνσεις East και Up, με το σύστημα G/R να παρέχει τη βέλτιστη ακρίβεια εφόσον υπάρχει 33% και 36% μείωση των τιμών RMSD στις δύο διευθύνσεις αντίστοιχα. Όσο αφορά την παρεχόμενη ακρίβεια θέσης από το σύστημα G/R/E/C, αυτή είναι μικρότερη από την αντίστοιχη του G/R, το οποίο πιθανώς οφείλεται στην μέτρια ορατότητα που παρουσιάζει ο σταθμός DYNG στους δορυφόρους BeiDou.

Με την επίλυση των ακέραιων ασαφειών φάσης, οι τιμές RMSD των κινηματικών PPP λύσεων μειώνονται αλλά σε ορισμένες μόνο περιπτώσεις. Αυτό οφείλεται πιθανώς στην πειραματική λειτουργία του λογισμικού RTKLIB ως προς τον προσδιορισμό των PPP fixed λύσεων. Παράλληλα, μεγαλύτερη βελτίωση (όπου αυτή υπάρχει) παρατηρείται στις λύσεις κατά τη διεύθυνση East όπου η μείωση των τιμών RMSD είναι της τάξης του 60%. Με την προσθήκη, έπειτα, των δεδομένων GLONASS δεν παρατηρείται διαφορά στις τιμές RMSD των PPP fixed λύσεων. Η περαιτέρω, όμως, προσθήκη των δεδομένων Galileo και BeiDou φαίνεται να οδηγεί σε μείωση των παραπάνω τιμών σε ορισμένες περιπτώσεις.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από το θεωρητικό μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας προκύπτει το συμπέρασμα ότι η τεχνική εντοπισμού PPP συνεχίζει να εξελίσσεται με ταχύτατο ρυθμό, καθώς ολοένα και περισσότερες μελέτες εστιάζουν στην βελτίωση της παρεχόμενης ακρίβειας θέσης μέσω κατάλληλων τεχνικών που αναλύθηκαν στο δεύτερο κεφάλαιο. Συγκεκριμένα, ο συνδυασμός δεδομένων από πολλαπλά συστήματα GNSS, με την πρόσφατη διάθεση δεδομένων από τα επερχόμενα συστήματα Galileo και BeiDou, έχει αναδείξει σημαντικές ενδείξεις βελτίωσης τόσο στην ακρίβεια εντοπισμού θέσης όσο και στον χρόνο σύγκλισης των λύσεων που επιτυγχάνονται. Η βελτίωση αυτή αναμένεται να γίνει ακόμα πιο αισθητή, με την ολοκλήρωση του ευρωπαϊκού (Galileo) και κινεζικού (BeiDou) δορυφορικού σχηματισμού, καθώς και την ανάπτυξη του ιαπωνικού (QZSS) και ινδικού (IRNSS) σχηματισμού. Επίσης, η επίλυση των ακέραιων ασαφειών φάσης στην τεχνική εντοπισμού PPP, που είναι σήμερα δυνατή μέσω κατάλληλων προϊόντων χρονομέτρων που παρέχει η υπηρεσία CNES, φαίνεται να οδηγεί σε σημαντικά καλύτερα αποτελέσματα θέσης και σε ελάχιστο απαιτούμενο χρόνο σύγκλισης των λύσεων. Όσον αφορά άλλες τεχνικές βελτίωσης της μεθόδου εντοπισμού PPP (π.χ. με τη συνδυαστική χρήση αδρανειακών συστημάτων INS, ατμοσφαιρικά μοντέλα ακριβείας, μείωση της πολυκλαδικής ανάκλασης και θορύβου των δορυφορικών σημάτων), αυτές φαίνεται να αποτελούν σημείο ενδιαφέροντος τα τελευταία χρόνια καθώς παρέχουν τη δυνατότητα μείωσης ή/και απαλοιφής ορισμένων πηγών σφαλμάτων που επηρεάζουν την απόδοση της τεχνικής PPP.

Μαζί με την εξέλιξη των συστημάτων GNSS, έπειτα, αναπτύχθηκε το πιλοτικό πρόγραμμα MGEX της υπηρεσίας IGS με απώτερο σκοπό να αποκομιστεί πολύτιμη εμπειρία στη συλλογή, επεξεργασία και διανομή δεδομένων από πολλαπλά δορυφορικά συστήματα GNSS. Την παρούσα χρονική στιγμή, το δίκτυο MGEX αποτελείται από περισσότερους από 100 μόνιμους σταθμούς, εκ των οποίων η πλειονότητα υποστηρίζει τα δεδομένα Galileo και ένα μεγάλο μέρος αυτών τα δεδομένα BeiDou. Επιπλέον, αρκετοί σταθμοί υποστηρίζουν τα δεδομένα από το αναπτυσσόμενο σύστημα QZSS, όχι όμως, προς το παρόν, τα δεδομένα από το σύστημα IRNSS το οποίο βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο. Είναι χαρακτηριστικό ότι το δίκτυο MGEX που δημιουργήθηκε το 2011 έχει γνωρίσει αισθητή επέκταση τα τελευταία 2-3 χρόνια, με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση μόνιμων σταθμών στην ευρωπαϊκή ήπειρο. Αυτό αναμένεται να αλλάξει στο εγγύς μέλλον με την συμμετοχή όλο και περισσότερων σταθμών και υπηρεσιών στο εν λόγω δίκτυο, έτσι ώστε να υπάρξει παγκόσμια και ορθά κατανομημένη κάλυψη των σταθμών.

Ακολουθώντας, μέσω της χρήσης του και της εξοικείωσης με αυτό κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, το ελεύθερο λογισμικό ανοικτού κώδικα RTKLIB κρίνεται ως ένα εύχρηστο και αποδοτικό εργαλείο για την επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων από πολλαπλά συστήματα GNSS με την τεχνική εντοπισμού PPP. Βασικό στοιχείο του συγκεκριμένου λογισμικού είναι ότι αναγνωρίζει και μπορεί να επεξεργασθεί δεδομένα από τα διαθέσιμα δορυφορικά συστήματα GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS και SBAS, ενώ παράλληλα επιτρέπει τη διαμόρφωση και τροποποίηση του κώδικα του ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη. Επιπλέον, το RTKLIB απαρτίζεται από ένα πλήθος εφαρμογών που λειτουργούν τόσο σε γραφικό περιβάλλον GUI όσο και σε περιβάλλον γραμμών εντολών CUI, με το πρώτο να είναι ιδιαίτερα φιλικό ακόμα και σε αρχάριους χρήστες. Εκτός από τις εφαρμογές του για τον εντοπισμό σε στάδιο μετεπεξεργασίας και σε πραγματικό χρόνο, διαθέτει δυνατότητες για την λήψη δεδομένων και πληροφοριών από το διαδίκτυο, την οπτικοποίηση τους (αριθμός δορυφόρων, τιμές DOP, απεικόνιση ορατών δορυφορικών τροχιών) και τη μετατροπή πρωτόλειων αρχείων δεδομένων σε συμβατικά RINEX αρχεία με δυνατότητα προσθήκης ή αφαίρεσης συγκεκριμένων τύπων δεδομένων. Κατά την επεξεργασία, ακολουθώντας, των δορυφορικών δεδομένων παρέχεται η δυνατότητα στον χρήστη να καθορίσει ορισμένες επιλογές (τύπος εντοπισμού, φίλτρα επεξεργασίας, γωνία αποκοπής, συμμετέχοντα δορυφορικά συστήματα), καθώς και να οπτικοποιήσει τις λύσεις του στο περιβάλλον των Google Earth και Google Maps. Τέλος, μία πρόσφατη επέκταση του λογισμικού RTKLIB επιτρέπει τη χρήση του σε κινητά τηλέφωνα (περιβάλλον Android), η οποία είναι πολλά υποσχόμενη για μελλοντικές εφαρμογές.

Μέσω των σεναρίων που εξετάστηκαν στην παρούσα μελέτη, από την ανάλυση των ίδιων δεδομένων, τόσο με το λογισμικό RTKLIB όσο και τη διαδικτυακή υπηρεσία επίλυσης δεδομένων CSRS-PPP, προέκυψαν ορισμένα συμπεράσματα σχετικά με τις δυνατότητες και

την απόδοση του RTKLIB. Συγκεκριμένα, συγκρίνοντας, αρχικά, τις προκύπτουσες λύσεις από την επεξεργασία των δεδομένων πραγματικών κινηματικών πορειών με το λογισμικό RTKLIB και την υπηρεσία CSRS-PPP, διαπιστώνει κανείς ότι δεν παρατηρείται ουσιαστική διαφορά μεταξύ τους. Ελάχιστες είναι οι εξαιρέσεις που παρατηρήθηκαν, με τις συγκεκριμένες διαφορές μεταξύ των λύσεων να μην υπερβαίνουν τα 30 εκατοστά. Ο λόγος που αυτές προκύπτουν έγκειται στο γεγονός ότι η διαδικτυακή υπηρεσία CSRS-PPP παρέχει υψηλής ακρίβειας PPP λύσεις, λόγω της επίλυσης των ακέραιων ασαφειών φάσης και της συμπερίληψης αρχείων για τη διόρθωση των σφαλμάτων τόσο μεταξύ των κωδικών P1 και C1, όσο και μεταξύ των P2 και C2. Κάτι τέτοιο δεν είναι προς το παρόν δυνατό στο λογισμικό RTKLIB, καθώς επιτρέπεται η εισαγωγή ενός μόνο τέτοιου αρχείου. Αν και τα δεδομένα από τις πραγματικές κινηματικές πορείες που χρησιμοποιήθηκαν περιλαμβάνουν μόνο μετρήσεις GPS, αυτά αποτέλεσαν τη βάση για την εξακρίβωση της απόδοσης του λογισμικού RTKLIB, το οποίο εν τέλει κρίνεται ότι παρέχει PPP λύσεις σχεδόν ίδιας ακρίβειας με την υπηρεσία CSRS-PPP.

Η διερεύνηση χρήσης δεδομένων GPS και GLONASS μέσω της διαδικτυακής υπηρεσίας CSRS-PPP οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η τελευταία παρέχει PPP λύσεις υψηλής ακρίβειας. Συγκεκριμένα, ενώ παρατηρείται αύξηση των τυπικών σφαλμάτων των συντεταγμένων του σταθμού NICO με την μείωση του χρονικού διαστήματος παρατηρήσεων, δεν συμβαίνει το ίδιο και με την παρεχόμενη ακρίβεια θέσης. Ακόμα και σε μικρά χρονικά διαστήματα παρατηρήσεων (1 ώρα και 30 λεπτών), οι διαφορές των PPP λύσεων που προκύπτουν από τη χρήση δεδομένων μόνο GPS δεν υπερβαίνουν τα 5 εκατοστά σε σχέση με τις επίσημες εβδομαδιαίες λύσεις που παρέχει η υπηρεσία IGS. Η μόνη εξαίρεση σε αυτό είναι οι διαφορές θέσης κατά East και Up στο εξεταζόμενο 15-λεπτο διάστημα της ημέρας 10/01/2014, οι οποίες ισούνται με 35 και 21 εκατοστά αντίστοιχα. Η περαιτέρω προσθήκη των μετρήσεων GLONASS οδηγεί σε μικρή βελτίωση της παρεχόμενης ακρίβειας θέσης, καθώς οι διαφορές που προκύπτουν με τη χρήση μόνο δεδομένων GPS είναι ήδη μικρές. Αυτό οφείλεται στην επίλυση των ακέραιων ασαφειών φάσης που λαμβάνει χώρα εντός της υπηρεσίας CSRS-PPP, η οποία οδηγεί στη βέλτιστη δυνατή ακρίβεια προσδιορισμού θέσης. Ωστόσο, φαίνεται ότι η συνδυασμένη χρήση δεδομένων GPS και GLONASS οδηγεί σε αύξηση της ακρίβειας θέσης κατά τη διεύθυνση East, κάτι που συνάδει με αντίστοιχες μελέτες και τη βιβλιογραφία.

Λαμβάνοντας, εν συνεχεία, υπόψη τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία δεδομένων GPS, GLONASS, Galileo και BeiDou, εξήχθησαν ορισμένα σημαντικά συμπεράσματα, κυρίως σχετικά με την παρεχόμενη ακρίβεια εντοπισμού θέσης και τον χρόνο σύγκλισης των PPP λύσεων. Γενικά, με τη χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS υπάρχει σημαντική αύξηση στον αριθμό των ορατών δορυφόρων, γεγονός που καθιστά το μαθηματικό μοντέλο της μεθόδου εντοπισμού PPP πιο ισχυρό σε σχέση με τη χρήση μόνο δορυφόρων GPS. Απόρροια αυτού είναι η μείωση των γεωμετρικών δεικτών PDOP και GDOP, καθώς η χωρική γεωμετρία των δορυφόρων βελτιστοποιείται και οδηγεί σε μικρότερο σφάλμα στον εντοπισμό θέσης. Εκτός, όμως, από αυτές τις βελτιώσεις, ο συνδυασμός δύο ή περισσότερων δορυφορικών συστημάτων GNSS οδηγεί σε σημαντική βελτίωση της ακρίβειας των PPP λύσεων που προκύπτουν από τη χρήση ενός μόνο συστήματος, είτε του GPS είτε του GLONASS. Παράλληλα, ο συνδυασμός αυτός επιταχύνει σε μεγάλο βαθμό τη σύγκλιση των PPP λύσεων στο επιθυμητό επίπεδο των 10 ή μερικών εκατοστών, ενώ επίσης η χρονοσειρά τους παρουσιάζει μεγάλη σταθερότητα ιδιαίτερα κατά τον κινηματικό τύπο εντοπισμού.

Συγκεκριμένα, όσον αφορά το διάστημα παρατήρησης, η μείωση της χρονικής διάρκειας του οδηγεί σε μείωση της παρεχόμενης ακρίβειας θέσης από την επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων GPS με την τεχνική εντοπισμού PPP. Η περαιτέρω προσθήκη των μετρήσεων GLONASS, Galileo και BeiDou παρέχει υψηλότερη ακρίβεια όχι μόνο σε μεγάλες χρονικές διάρκειες (24, 12, 6 ωρών) αλλά και σε μικρότερες (1 ώρα, 30 και 15 λεπτών). Ειδικότερα, σε στατικό τύπο εντοπισμού ο συνδυασμός συστημάτων GPS/GLONASS παρουσιάζει αισθητή μείωση των τιμών RMSD στην πλειονότητα των εξεταζόμενων περιπτώσεων σε σύγκριση με τη χρήση μόνο του συστήματος GPS, της τάξης των 15-25%, 10-30%, 20-30% κατά τις διευθύνσεις North, East, Up αντίστοιχα σε 24-ωρη διάρκεια. Παράλληλα, σε μικρότερα χρονικά διαστήματα η βελτίωση είναι μεγαλύτερη, με χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτό της 1 ώρας όπου η βελτίωση είναι της τάξης των 30-45%, 25-35% και 30-40% κατά τις διευθύνσεις North, East και Up αντίστοιχα. Ταυτόχρονα, ο συνδυασμός GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou ενισχύει ακόμα περισσότερο το μαθηματικό PPP μοντέλο και οδηγεί, σε συγκεκριμένες περιπτώσεις με μεγάλη ορατότητα σε δορυφόρους Galileo και



BeiDou, σε περαιτέρω αύξηση της ακρίβεια θέσης. Η προσθήκη, ωστόσο, των περαιτέρω μετρήσεων συμβάλλει στην αύξηση της ακρίβεια θέσης περισσότερο κατά τη διεύθυνση East, η οποία γενικά χαρακτηρίζεται από μειωμένη ακρίβεια κατά τον εντοπισμό θέσης με την τεχνική PPP, λόγω της διαμόρφωσης των δορυφορικών σχηματισμών. Χαρακτηριστική είναι η χρονική διάρκεια 1 ώρας, όπου η βελτίωση της ακρίβειας θέσης είναι της τάξης του 50% σε σύγκριση με τη χρήση μόνο δεδομένων GPS. Επιπλέον, ο χρόνος σύγκλισης των λύσεων, είτε σε μεγάλες είτε μικρές χρονικές διάρκειες παρατηρήσεων, παρουσιάζει σημαντική μείωση με την προσθήκη επιπλέον μετρήσεων, που αγγίζει ακόμα και το επίπεδο του 70%.

Αντίστοιχη είναι η βελτίωση και στον κινηματικό τύπο εντοπισμού, όπου με τη χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS παρατηρείται και σημαντική εξομάλυνση του θορύβου των κινηματικών PPP λύσεων που προκύπτουν από τη χρήση μόνο δεδομένων GPS. Ο συνδυασμός συστημάτων, είτε GPS/GLONASS είτε GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou, οδηγεί σε πιο σταθερές χρονοσειρές λύσης με μικρές αποκλίσεις από το επίπεδο των 10 εκατοστών σε σύγκριση με τις λύσεις που προκύπτουν μόνο από το σύστημα GPS. Επιπλέον, με τη μείωση του χρονικού διαστήματος παρατηρήσεων, η ακρίβεια των κινηματικών PPP λύσεων με χρήση μόνο του GPS υπερβαίνει συνήθως τα 30-40 εκατοστά, γεγονός που αντισταθμίζεται σε μεγάλο βαθμό από τη χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS καθώς αυτή παρέχει ακρίβεια της τάξης των 10-15 εκατοστών ακόμα και σε διάστημα 60 λεπτών. Σημαντικό πλεονέκτημα, επιπρόσθετα, της χρήσης πολλαπλών συστημάτων GNSS στον κινηματικό PPP εντοπισμό είναι ότι υπάρχει καθοριστική μείωση του χρόνου σύγκλισης τόσο από το συνδυασμό GPS/GLONASS όσο και από τον GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou. Συγκρίνοντας, επιπλέον, τα διάφορα φίλτρα επεξεργασίας (forward, backward, combined), προκύπτει το συμπέρασμα ότι το συνδυαστικό φίλτρο combined παρουσιάζει αφενός υψηλότερη ακρίβεια εντοπισμού θέσης και αφετέρου μεγάλη σταθερότητα στην εξέλιξη της χρονοσειράς των PPP λύσεων. Το γεγονός αυτό ήταν αναμενόμενο, καθώς το εν λόγω φίλτρο αποτελεί τη συγχώνευση των φίλτρων forward και combined, με αποτέλεσμα να υπάρχει αμφίδρομη επεξεργασία των δεδομένων και υψηλού βαθμού εξομάλυνση του ενυπάρχοντος θορύβου.

Όσο αφορά τη γωνία αποκοπής των δορυφόρων, είναι γεγονός ότι η αύξηση της οδηγεί σε μείωση των ορατών δορυφόρων, και άρα μείωση των ληφθέντων δορυφορικών δεδομένων. Ειδικότερα, η αύξηση της γωνίας αποκοπής οδηγεί σε ελάχιστο αριθμό παρατηρούμενων δορυφόρων, στην περίπτωση χρήσης μόνο του συστήματος GPS. Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, ο συνδυασμός των συστημάτων GNSS οδηγεί σε καθοριστικά μεγαλύτερο αριθμό παρατηρούμενων δορυφόρων, που αγγίζει τους 20 και 15 σε γωνίες 30° και 40° αντίστοιχα, σε αντίθεση με τους δορυφόρους GPS που είναι 6 και 5 αντίστοιχα. Επιπλέον, ο γεωμετρικός δείκτης GDOP υπερβαίνει την τιμή 8 και 15 στις παραπάνω γωνίες αντίστοιχα, ενώ η χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS οδηγεί σε τιμές GDOP ίσες με 3 και 5 αντίστοιχα. Συνεπώς, σε μεγάλες γωνίες αποκοπής δορυφόρων, τόσο ο συνδυασμός GPS/GLONASS όσο και ο GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou παρέχει ικανοποιητικό επίπεδο εμπιστοσύνης για τον ακριβή προσδιορισμό θέσης, σε αντίθεση με τη χρήση μόνο του GPS.

Συνεπώς, η γωνία αποκοπής δορυφόρων αποτελεί παράγοντα που επηρεάζει την παρεχόμενη ακρίβεια θέσης από την στατική μέθοδο εντοπισμού PPP. Σύμφωνα με την παρούσα μελέτη, προκύπτει το συμπέρασμα ότι ο συνδυασμός δορυφορικών συστημάτων μπορεί να επιφέρει ταχύτερη σύγκλιση στο επιθυμητό επίπεδο των 10 ή μερικών εκατοστών με σταδιακή αύξηση της γωνίας αποκοπής, σε σχέση με τη χρήση μόνο του συστήματος GPS. Αν και το τελευταίο φαίνεται να παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα μέχρι τη γωνία 20°, η περαιτέρω σταδιακή της αύξηση αφενός επιβραδύνει τη σύγκλιση των αντίστοιχων PPP λύσεων και αφετέρου δημιουργεί ορισμένες αποκλίσεις από το επιθυμητό επίπεδο ακρίβειας, οι οποίες δημιουργούν θόρυβο στην τελική λύση. Επιπλέον, αν και στις γωνίες 20° και 30° οι PPP λύσεις που προκύπτουν από τη χρήση δεδομένων μόνο GPS παρουσιάζουν ακρίβεια καλύτερη των 12, 10 και 15 εκατοστών κατά τις διευθύνσεις North, East και Up αντίστοιχα, αυτή μπορεί να βελτιωθεί σε ικανοποιητικό βαθμό από την περαιτέρω προσθήκη των μετρήσεων GLONASS (κατά 18-22%, 15-16% και 17-18% αντίστοιχα). Ο περαιτέρω συνδυασμός με τα δεδομένα Galileo και BeiDou οδηγεί σε αύξηση της παρεχόμενης ακρίβειας κυρίως κατά τη διεύθυνση North, όπου υπάρχει 52% και 44% βελτίωση της ακρίβειας στις γωνίες 20° και 30° αντίστοιχα. Σημειώνεται, ωστόσο, ότι η αυτόνομη χρήση του συστήματος GPS σε γωνία 40° οδηγεί σε μειωμένη ακρίβεια θέσης, ιδιαίτερα κατά τη διεύθυνση Up όπου τα σφάλματα RMSD θέσης υπερβαίνουν τα 50

εκατοστά. Βελτιωμένη παρουσιάζεται η κατάσταση με τη χρήση των συστημάτων GPS/GLONASS και GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou, τα οποία παρουσιάζουν ακρίβεια θέσης καλύτερη των 10, 12 και 40 cm κατά τις διευθύνσεις North, East και Up αντίστοιχα.

Αντίστοιχα είναι τα συμπεράσματα και στον κινηματικό τύπο εντοπισμού PPP, με τη διαφορά ότι το σύστημα GPS παρουσιάζει αισθητά μειωμένη ακρίβεια θέσης σε γωνία 30°, η οποία υπερβαίνει τα 50 εκατοστά. Φαίνεται, όμως, ότι ο συνδυασμός μετρήσεων από τα διαθέσιμα συστήματα GNSS οδηγεί σε βελτίωση της προηγούμενης κατάστασης, εφόσον η ακρίβεια των κινηματικών PPP λύσεων δεν υπερβαίνει τα 10, 15, και 30 εκατοστά στην πλειονότητα των περιπτώσεων κατά τις διευθύνσεις North, East και Up αντίστοιχα. Παράλληλα, η ακρίβεια των κινηματικών PPP λύσεων που προκύπτουν από τη χρήση του GPS παρουσιάζει μία σχετική σταθερότητα στη γωνία αποκοπής 40° κατά την εξεταζόμενη περίοδο, ενώ παράλληλα παρουσιάζεται ως η βέλτιστη έναντι των υπόλοιπων δορυφορικών σχηματισμών. Υπάρχουν, ωστόσο, εξαιρέσεις όπου ο συνδυασμός GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou παρέχει ακρίβεια καλύτερη των 20, 25 και 70 εκατοστών κατά τις διευθύνσεις North, East και Up αντίστοιχα. Συγκρίνοντας, έπειτα, τα διάφορα φίλτρα επεξεργασίας των δεδομένων, το φίλτρο combined είναι αυτό που παρέχει γενικά τη καλύτερη ακρίβεια θέσης μεταξύ των υπολοίπων καθώς και πιο σταθερές χρονοσειρές PPP λύσεων. Πιο συγκεκριμένα, το εν λόγω φίλτρο κρίνεται κατάλληλο για την επεξεργασία δεδομένων σε κινηματικό τύπο εντοπισμού, καθώς υπάρχει αισθητή βελτίωση των τιμών RMSD – κυρίως κατά τις διευθύνσεις North και East – των λύσεων που προκύπτουν από τη χρήση μόνο του GPS στη γωνία 30°. Όσον αφορά τη γωνία αποκοπής 40°, τα σφάλματα RMSD των λύσεων από χρήση του GPS είναι μεν σταθερά, όπως και προηγουμένως, αλλά δεν υπερβαίνουν τα 40, 70 και 150 εκατοστά αντίστοιχα. Φαίνεται ότι στη συγκεκριμένη γωνία μόνο ο συνδυασμός GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou μπορεί να παρέχει καλύτερα αποτελέσματα, τα οποία αγγίζουν το επίπεδο ακρίβειας των 10-25 εκατοστών.

Ακολούθως, η επίλυση των ακέραιων ασαφειών φάσης παρουσιάζει σημαντική βελτίωση τόσο στις στατικές όσο και τις κινηματικές λύσεις που προκύπτουν από την μέθοδο εντοπισμού PPP. Ειδικότερα, με τη χρήση της εν λόγω τεχνικής επιτυγχάνεται αισθητή μείωση στο χρόνο σύγκλισης των στατικών PPP λύσεων κατά 60-75%, 45-55% και 68-90% στις διευθύνσεις North, East και Up αντίστοιχα. Όσον αφορά τις κινηματικές PPP λύσεις, η αντίστοιχη μείωση είναι της τάξης των 30-40%, 70-90%, 40-70% αντίστοιχα. Το σημαντικό πλεονέκτημα της επίλυσης των ακέραιων ασαφειών φάσης παρουσιάζεται στην επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων με κινηματικό τύπο εντοπισμού, καθώς ο υπάρχον θόρυβος στις εν λόγω λύσεις εξομαλύνεται σε αισθητό βαθμό, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν αποκλίσεις της χρονοσειράς λύσεων από το επιθυμητό επίπεδο των 10 ή και μερικών εκατοστών. Παράλληλα με τον χρόνο σύγκλισης των PPP λύσεων, βελτίωση παρουσιάζει και η ακρίβεια προσδιορισμού θέσης, ιδιαίτερα κατά τη διεύθυνση East, όπου υπάρχει 40-60% αύξηση της παρεχόμενης ακρίβειας θέσης σε σχέση με τις float λύσεις.

Εν κατακλείδι, η προσπάθεια συνδυασμού της παραπάνω τεχνικής με τη χρήση πολλαπλών συστημάτων GNSS οδήγησε σε ορισμένα ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Η προσθήκη των μετρήσεων GLONASS φαίνεται να βελτιώνει σε ορισμένες περιπτώσεις τόσο την ακρίβεια θέσης όσο και τον χρόνο σύγκλισης, αν και οι ασάφειες φάσης των εν λόγω δορυφόρων παραμένουν ως πραγματικές τιμές. Οι μεγαλύτερες βελτιώσεις παρατηρούνται κατά τις διευθύνσεις East και Up και είναι της τάξης των 38% και 44% αντίστοιχα. Επιπλέον, ο συνδυασμός συστημάτων GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou με επίλυση των ακέραιων ασαφειών φάσης των δορυφόρων GPS παρουσιάζει βελτίωση κυρίως κατά τη διεύθυνση North (μέχρι και 60%), και δευτερευόντως στις υπόλοιπες διευθύνσεις (10-20%). Ωστόσο, δεν παρατηρείται βελτίωση σε αρκετές περιπτώσεις, λόγω της πειραματικής λειτουργίας της τεχνικής επίλυσης των ακέραιων ασαφειών στο λογισμικό RTKLIB και της πιθανής λαθεμένης επεξεργασίας των συνδυασμένων προϊόντων τροχιών και χρονομέτρων από την καμπάνια MGEX και την υπηρεσία CNES.

## ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η μέθοδος εντοπισμού PPP βρίσκει εφαρμογή σε όλο και περισσότερους τομείς και υπηρεσίες της καθημερινής ζωής με το πέρασμα του χρόνου και την εξέλιξη της τεχνολογίας, λόγω των σημαντικών πλεονεκτημάτων που παρέχει στους χρήστες. Έτσι, η έρευνα στους παράγοντες και τις τεχνικές βελτίωσης της ακρίβειας της εν λόγω μεθόδου δεν σταματάει στη μελέτη αυτή, καθώς ο υψηλής ακρίβειας απόλυτος εντοπισμός θέσης είναι εξαιρετικά υποσχόμενος και γίνεται σήμερα αποδεκτός από μία μεγάλη μερίδα της επιστημονικής κοινότητας.

Αρχικά, λοιπόν, προτείνεται η εκπόνηση μίας παρόμοιας μελέτης, αλλά περισσότερο εμπειριστωμένης ως προς την εξεταζόμενη χρονική περίοδο. Η διερεύνηση που έλαβε χώρα στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε για διάστημα 9 ημερών και με δειγματοληπτική επιλογή των μεταβλητών χρονικών διαστημάτων. Ως εκ τούτου, τα συμπεράσματα που προέκυψαν αφορούν ένα μικρό μόνο διάστημα ημερών στο οποίο δεν υπάρχει αισθητή αλλαγή συνθηκών. Έτσι, κρίνεται απαραίτητη η διερεύνηση συμβολής των πολλαπλών συστημάτων GNSS στη μέθοδο στατικού εντοπισμού PPP σε μία περίοδο άνω των 100 ημερών για μία μικρή μεν αλλά αποδοτική δε χρονική διάρκεια παρατηρήσεων (2 ή 3 ωρών). Παράλληλα με αυτό, ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η ανάλυση της ακρίβειας των λύσεων που προκύπτουν από τον συνδυασμό των δορυφορικών συστημάτων ανά 3 (GPS/GLONASS/Galileo, GPS/GLONASS/BeiDou, κ.ά.), έτσι ώστε να εκτιμηθεί με μεγαλύτερη λεπτομέρεια η συμβολή κάθε ενός συστήματος στην προκύπτουσα ακρίβεια λύσης.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει σήμερα η επίλυση των ακέραιων ασαφειών φάσης στην μέθοδο εντοπισμού PPP, η οποία επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την ύπαρξη των πραγματικών ασαφειών φάσης στο μοντέλο της. Από τη βιβλιογραφία και την παρούσα μελέτη, διαπιστώθηκε ότι η χρήση προϊόντων χρονομέτρων, που περιλαμβάνουν τις δεκαδικές αρχικές φάσεις των δορυφόρων, συμβάλλουν στην επίτευξη αισθητά υψηλότερης ακρίβειας εντοπισμού θέσης, αλλά και καθοριστικής μείωσης του χρόνου σύγκλισης των λύσεων. Την παρούσα χρονική στιγμή, τα προϊόντα αυτά παρέχονται από την διαστημική υπηρεσία CNES και αφορούν μόνο το σύστημα GPS. Προτείνεται, λοιπόν, η διερεύνηση δημιουργίας αντίστοιχων προϊόντων και για τα υπόλοιπα δορυφορικά συστήματα, καθώς έχει αποδειχθεί ότι στη περίπτωση επίλυσης ακέραιων ασαφειών φάσης σε περισσότερα του ενός συστήματα GNSS, υπάρχει σημαντική μείωση των RMS σφαλμάτων θέσης και αύξηση της παρεχόμενης ακρίβειας (Tegedor 2014). Βασικός συντελεστής στην προσπάθεια αυτή είναι το ελεύθερο λογισμικό RTKLIB, καθώς αυτό υποστηρίζει την επίλυση των ακέραιων ασαφειών φάσης τόσο για το σύστημα GPS όσο και για τα GLONASS και BeiDou.

Η πρόσφατη υλοποίηση της υπηρεσίας παροχής δεδομένων RTS δημιούργησε το έδαφος για τον εντοπισμό θέσης με την τεχνική PPP σε πραγματικό χρόνο. Συγκεκριμένα, η εν λόγω υπηρεσία παρέχει δεδομένα και προϊόντα GPS και GLONASS μέσω του πρωτοκόλλου NTRIP σε πραγματικό χρόνο, η λήψη των οποίων καθίσταται δυνατή με το λογισμικό RTKLIB. Παράλληλα, το πιλοτικό πρόγραμμα MGEX ξεκίνησε την παροχή και δεδομένων Galileo σε πραγματικό χρόνο από μεγάλο αριθμό μόνιμων σταθμών του δικτύου του. Θα είχε, λοιπόν, ιδιαίτερο ενδιαφέρον να διερευνηθεί η βελτίωση στην ακρίβεια εντοπισμού θέσης τόσο κατά τη συλλογή δεδομένων σε κινηματικές πορείες πραγματικού χρόνου όσο και σε στατικά δεδομένα πραγματικού χρόνου από τους μόνιμους σταθμούς του δικτύου MGEX, μέσω του συνδυασμού παρατηρήσεων από τα δορυφορικά συστήματα GPS, GLONASS και Galileo.

Δεδομένης, ακόμη, της ανάγκης για περαιτέρω μείωση του υλικοτεχνικού κόστους της τεχνικής εντοπισμού PPP, κρίνεται απαραίτητη η διερεύνηση εντοπισμού θέσης με χρήση δεδομένων μίας μόνο συχνότητας (Single-Frequency PPP). Μέσω της συγκεκριμένης τεχνικής εντοπισμού υπάρχει αισθητή μείωση στο κόστος εργασίας καθώς απαιτούνται δέκτες GNSS που να υποστηρίζουν δεδομένα μίας μόνο συχνότητας, ενώ παράλληλα μπορεί να επιτευχθεί ικανοποιητική - για μεγάλο εύρος εφαρμογών - ακρίβεια στον εντοπισμό θέσης σε σύντομο χρονικό διάστημα. Για την υλοποίηση της συγκεκριμένης μεθόδου, απαιτείται η χρήση εξωτερικών πηγών για την διόρθωση του ιονοσφαιρικού σφάλματος, καθώς αυτό δεν εξαλείφεται με τον γραμμικό συνδυασμό παρατηρήσεων όπως στην περίπτωση δεδομένων δύο συχνοτήτων. Την παρούσα χρονική στιγμή, το λογισμικό RTKLIB δεν επιτρέπει την επιλογή επεξεργασίας των δεδομένων σε μία από τις δύο εμπεριέχουσες

συχνότητες, και δεν έχει διαπιστωθεί αν η επεξεργασία που λαμβάνει χώρα με δεδομένα μίας συχνότητας και ιονοσφαιρικούς χάρτες GIM λειτουργεί ορθά και αξιόπιστα. Κρίνεται, λοιπόν, απαραίτητο να διερευνηθεί η χρήση δεδομένων μίας συχνότητας με την μέθοδο επεξεργασίας PPP στο λογισμικό RTKLIB, και στην περίπτωση λαθμένων αποτελεσμάτων να διαμορφωθεί ο πηγαίος κώδικας του ελεύθερου λογισμικού RTKLIB ώστε να υλοποιηθεί η τεχνική εντοπισμού PPP με δεδομένα μίας μόνο συχνότητας.

Το τελευταίο διάστημα, όλο και περισσότερες μελέτες εστιάζουν στον προσδιορισμό των σφαλμάτων ISB (Inter-System Biases) μεταξύ των συστημάτων GNSS και των σφαλμάτων IFB (Inter-Frequency Biases) μεταξύ των συχνοτήτων του συστήματος GLONASS. Αν και έχει διαπιστωθεί (Chen et al. 2015) ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των πρώτων και των τελικών συντεταγμένων θέσης που προκύπτουν από τη μέθοδο PPP, η γνώση τους είναι αναγκαία για την βαθμονόμηση των δορυφορικών συστημάτων. Έτσι, προτείνεται η εκτίμηση των παραπάνω σφαλμάτων με χρήση του λογισμικού RTKLIB, αν και το υλοποιημένο μαθηματικό PPP μοντέλο που αυτό υιοθετεί δεν περιλαμβάνει τους συγκεκριμένους όρους στο διάνυσμα των αγνώστων. Αυτό μπορεί εύκολα να συμβεί με τροποποίηση του κώδικα του λογισμικού και διαμόρφωση του πίνακα σχεδιασμού και του διανύσματος των αγνώστων.

Επιπλέον, προτείνεται ένας έμμεσος τρόπος για την διερεύνηση των σφαλμάτων ISB μεταξύ των συστημάτων GNSS, που ακολουθείται στη διαδικασία εντοπισμού με δικτυακό RTK από το Ελληνικό Σύστημα Εντοπισμού HEPOS. Συγκεκριμένα, προτείνεται να γίνει προσδιορισμός - μέσω του RTKLIB που δεν λαμβάνει υπόψη τα σφάλματα ISB - των συντεταγμένων μόνιμων σταθμών ενός δικτύου αναφοράς με μετρήσεις GPS και GLONASS για τους οποίους υπάρχουν γνωστές επίσημες συντεταγμένες που παρέχονται είτε από το δίκτυο IGS είτε από το EUREF. Οι διαφορές που θα προκύψουν μεταξύ των προκύπτουσών λύσεων και των επίσημων συντεταγμένων των σταθμών θα μπορούσε να αποδοθεί ότι οφείλονται στα σφάλματα ISB μεταξύ των συστημάτων. Συνεπώς, θα μπορούσε να δημιουργηθεί μία προσαρμοσμένη επιφάνεια από τις τιμές αυτές, μέσω της οποίας να γίνεται διόρθωση στις προκύπτουσες συντεταγμένες δεκτών που λαμβάνουν μετρήσεις GPS και GLONASS. Η ίδια διαδικασία μπορεί να ακολουθηθεί και για τις μετρήσεις από τα δορυφορικά συστήματα Galileo και BeiDou.

Μία, ακόμη, πρόταση για μελλοντική μελέτη περιλαμβάνει την αξιοποίηση των τροποσφαιρικών παραμέτρων, που προκύπτουν από την επεξεργασία PPP, για τη διενέργεια λεπτομερών μετεωρολογικών μελετών. Τα δορυφορικά συστήματα εντοπισμού και πλοήγησης παρέχουν σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τα συνήθη μετεωρολογικά συστήματα παρατήρησης, όπως είναι η παντός καιρού ικανότητα λειτουργίας, το χαμηλό λειτουργικό κόστος και η υψηλή χωρική και χρονική ανάλυση. Επιπλέον, η μέθοδος εντοπισμού PPP υπερτερεί των υπολοίπων τεχνικών εντοπισμού ως προς την απόδοση επεξεργασίας και την ευελιξία, παράγοντες που συμβάλλουν καθοριστικά στην ανάλυση πυκνών δικτύων GNSS με σημαντικό αριθμό σταθμών. Ως εκ τούτου, οι παράμετροι της τροποσφαιρας (συνολική ζενίθια τροποσφαιρική καθυστέρηση και βαθμίδες της) που υπολογίζονται από την επεξεργασία δεδομένων με την τεχνική PPP μπορούν να ληφθούν υπόψη τόσο στην εκτίμηση υδρατμών (water vapor estimation) όσο και στην ειδική ανάλυση μετεωρολογικών συνθηκών. Παράλληλα, λόγω της ανάπτυξης της υπηρεσίας RTS και της δυνατότητας εντοπισμού θέσης σε πραγματικό χρόνο με την τεχνική PPP, καθίσταται δυνατός ο προσδιορισμός τροποσφαιρικών παραμέτρων για μετεωρολογικές εφαρμογές κρίσιμου χρόνου, όπως είναι η άμεση πρόβλεψη καιρού (numerical weather prediction nowcasting) και η παρακολούθηση αντίξων καιρικών συνθηκών. Τα παραπάνω μπορούν εύκολα να υλοποιηθούν με το λογισμικό RTKLIB, καθώς επιτρέπει τον προσδιορισμό των τροποσφαιρικών παραμέτρων και των βαθμίδων τους, ενώ παράλληλα υποστηρίζει τον εντοπισμό θέσης σε πραγματικό χρόνο.

Έπειτα, προτείνεται η σύγκριση μεταξύ των PPP λύσεων που προκύπτουν από τη χρήση των τροποσφαιρικών συναρτήσεων απεικόνισης NMF (Niell Mapping Function) και GMF (Global Mapping Function). Συγκεκριμένα, το λογισμικό RTKLIB υιοθετεί την συνάρτηση απεικόνισης NMF (από προεπιλογή) για τη συσχέτιση της κατακόρυφης και κεκλιμένης τροποσφαιρικής επίδρασης στα δορυφορικά σήματα. Αν και η συγκεκριμένη συνάρτηση είναι εμπειρική, έχει διαπιστωθεί ότι παρέχει αντίστοιχη ακρίβεια με τις συναρτήσεις που απαιτούν ακριβή μετεωρολογικά δεδομένα. Παρ' όλα αυτά, θα ήταν χρήσιμο να γίνει διερεύνηση των δύο αυτών συναρτήσεων απεικόνισης ως προς την διαφορά που προκαλούν στις PPP λύσεις. Η χρήση της συνάρτησης GMF εντός του λογισμικού RTKLIB είναι δυνατή

μετά από τον καθορισμό συγκεκριμένης επιλογής στο μεταγλωττιστή του πηγαίου κώδικα του πρώτου.

Πρόσφατα άρχισαν να αναπτύσσονται και να διανέμονται, από την IGS, ετήσια προϊόντα που περιλαμβάνουν τα εβδομαδιαία και ημερήσια σφάλματα DCB μεταξύ κωδικών των συστημάτων GNSS, τόσο για τους δορυφόρους μόνο όσο και τους μόνιμους σταθμούς αντίστοιχα. Τα συγκεκριμένα προϊόντα παρέχονται στην προκαταρκτική έκδοση Bias SINEX, η οποία προς το παρόν δεν υποστηρίζεται από το ελεύθερο λογισμικό RTKLIB. Παρ' όλα αυτά, η χρήση των προϊόντων αυτών, κυρίως των εβδομαδιαίων δορυφορικών σφαλμάτων, θεωρείται απαραίτητη για τη διενέργεια εφαρμογών πλοήγησης, αναλύσεων ιονόσφαιρας και μεταφοράς χρόνου (time transfer). Έτσι, θα παρουσίαζε ιδιαίτερο ενδιαφέρον να διαμορφωθεί ο κώδικας του RTKLIB για την αναγνώριση του συγκεκριμένου μορφότυπου αρχείων, ώστε να συγκριθούν οι προκύπτουσες PPP λύσεις από τα παραπάνω προϊόντα με τις αντίστοιχες που προέκυψαν στην παρούσα διπλωματική εργασία με χρήση των μηνιαίων προϊόντων DCB από το κέντρο CODE. Παράλληλα, θα μπορούσε να διαμορφωθεί κατάλληλα ο πηγαίος κώδικας του RTKLIB έτσι ώστε να είναι δυνατή η εισαγωγή των μηνιαίων προϊόντων DCB από το κέντρο CODE, που αφορούν τόσο τα σφάλματα μεταξύ των κωδικών P1-C1 όσο και των P2-C2. Στην παρούσα μελέτη, έγινε χρήση μόνο των πρώτων, καθώς το ελεύθερο λογισμικό RTKLIB παρέχει τη δυνατότητα εισαγωγής ενός μόνο αντίστοιχου αρχείου. Η συμπερίληψη και των δύο προϊόντων στην επεξεργασία PPP αναμένεται να οδηγήσει σε αισθητή αύξηση της παρεχόμενης ακρίβειας θέσης, γεγονός που διαπιστώνεται εύκολα από την διαδικτυακή υπηρεσία CSRS-PPP η οποία εισάγει και τα δύο είδη προϊόντων στην PPP επεξεργασία της.

Τέλος, προτείνεται η δημιουργία μίας ελληνικής διαδικτυακής υπηρεσίας επίλυσης δορυφορικών δεδομένων με την τεχνική PPP, βασισμένη στον πηγαίο κώδικα του ελεύθερου λογισμικού RTKLIB. Οι διαθέσιμες, σήμερα, υπηρεσίες στο διαδίκτυο παρέχουν τη δυνατότητα επεξεργασίας μόνο δεδομένων GPS, με εξαίρεση τις CSRS-PPP και magicPPP που επιλύουν και δεδομένα GLONASS και GLONASS/Galileo αντίστοιχα. Όπως προαναφέρθηκε, το λογισμικό RTKLIB έχει τη δυνατότητα επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων από όλα τα διαθέσιμα σήμερα συστήματα GNSS (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou), του οποίου ο πηγαίος κώδικας είναι ανοικτός με αποτέλεσμα να μπορεί να υποστεί διάφορες τροποποιήσεις ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη. Επομένως, δίνεται η δυνατότητα αξιοποίησης του εν λόγω κώδικα για την υλοποίηση μίας ελληνικής υπηρεσίας επίλυσης δεδομένων πολλαπλών συστημάτων GNSS σε διαδικτυακό περιβάλλον. Με τον τρόπο αυτό, θα αναδυθεί μία σύγχρονη διαδικτυακή υπηρεσία που αφενός θα είναι η μόνη που θα επιλύει και δεδομένα BeiDou, και αφετέρου θα εξυπηρετήσει το ελληνικό κοινό.



# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

## Ελληνική Βιβλιογραφία

Δημοπούλου, Μ., 2008. **Συγκριτική Μελέτη Online Υπηρεσιών Μετεπεξεργασίας Δεδομένων GPS**. Αθήνα

Κατσιγιάννη, Γ., 2011. **Ανάλυση Επιδόσεων των Επερχόμενων Συστημάτων GNSS για Κινηματικές Εφαρμογές Εντοπισμού στον Ελληνικό Χώρο**. Αθήνα

Παραδείσης, Δ., 2000. **Σημειώσεις Δορυφορικής Γεωδαισίας**. Αθήνα

Φωτίου, Α., & Πικριδάς, Χ., 2006. **GPS και Γεωδαιτικές Εφαρμογές**. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις ΖΗΤΗ

Torge, W., 2000. **Γεωδαισία (Μετάφραση)**, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ.

## Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Abdel-Maguid, R. H., 2013. **Evaluation of GPS Precise Point Positioning for Geoinformatics Community**. *Journal of Engineering and Computer Sciences* 6: 1, 1-10.

Altamimi, Z., Collilieux, X., and Metivier, L., 2011. **ITRF2008: an improved solution of the international terrestrial reference frame**. *Journal of Geodesy* 85: 8. 457-473.

Andrei, C. O., Chen, R., Kuusniemi, H., Hernandez-Pajares, M., Juan, J. M., and Salazar, D., 2009. **Ionosphere Effect Mitigation for Single-Frequency Precise Point Positioning**. *In: 22nd International Technical Meeting of the Satellite Division (ION GNSS-2009)* 2508-2517.

Andrei, C. O., Salazar, D., and Chen, R., 2010. **Performance Analysis of the Precise Point Positioning technique at BUCU IGS Station**. *Journal of Geodesy and Cadastre* 10: 9-20.

Anquela, A. B., Martin, A., Berne, J. L., and Padin, J., 2013. **GPS and GLONASS Static and Kinematic PPP Results**. *Journal of Surveying Engineering* 139: 1, 47-58.

Ashby, N., 1997. **Relativistic effects in the global positioning system**. *In: Gravitation and Relativity: At the Turn of the Millenium. 15th International Conference on General Relativity and Gravitation*.

Bisnath, S. B., and Langley, R. B., 2001. **Pseudorange Multipath Mitigation By Means of Multipath Monitoring and De-Weighting**. *In: Proceedings of KIS2001, International Symposium on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation* 392-400, Banff, 5-8 June 2001.

Bisnath, S., and Gao, Y., 2009. **Current State of Precise Point Positioning and Future Prospects and Limitations**. *In: Proceedings of IUGG 24th General Assembly*.

Boehm, J., Werl, B., and Schuh, H., 2007. **Troposphere mapping functions for GPS and very long baseline interferometry from European Centre for Medium-Range Weather Forecasts operational analysis data**. *Journal of Geodesy* 81: 6, 246-257



- Cai, C., 2009. **Precise Point Positioning Using Dual-Frequency GPS and GLONASS Measurements.** University of Calgary, Department of Geomatics Engineering.
- Cai, C., and Gao, Y., 2007. **Precise Point Positioning Using Combined GPS and GLONASS Observations.** *Journal of Global Positioning Systems* 6: 1, 13-22.
- Cai, C., and Gao, Y., 2013. **Modeling and assessment of combined GPS/GLONASS precise point positioning.** *GPS Solutions* 17: 2, 223-236.
- Cai, C., Gao, Y., Pan, L., and Jian-Jun, Z., 2015. **Precise Point Positioning with quad-constellations: GPS, BeiDou, GLONASS and Galileo.** *Advances in Space Research* 56: 1.
- Caissy, M., Agrotis, L., Weber, G., Hernandez-Pajares, M., and Hugentobler, U., 2012. **The International GNSS Real-Time Service.** *GPS World*.
- Cellmer, S., 2011. **The Real Time Precise Positioning using MAFA method.** In: *The 8th International Conference on Environmental Engineering*.
- Cellmer, S., 2013. **Single-Epoch Precise Positioning using Modified Ambiguity Function Approach.** *Technical Sciences* 16: 4, 265-280.
- Chen, J., Zhang, Y., Wang, J., Yang, S., Dong, D., Wang, J., Qu, W., and Wu, B., 2015. **A simplified and unified model of multi-GNSS precise point positioning.** *Advances in Space Research* 55: 1, 125-134.
- Chen, K., and Gao, Y., 2005. **Real-Time Precise Point Positioning Using Single Frequency Data.** *Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation*, 1514-1523
- China Satellite Navigation Office, 2012. **BeiDou Navigation Satellite System Signal in Space Interface Control Document - Open Service Signal B1I, Version 1.0.**
- Collins, P., 2008. **Isolating and estimating undifferenced GPS integer ambiguities.** In: *Proceedings of the 2008 National Technical Meeting of The Institute of Navigation, San Diego, CA, USA, 28-30 January 2008*, 720-732.
- Dodd, D., Bisnath, S., and Howden, S., 2006. **Implementation of Ionosphere and Troposphere Models for High-Precision GPS Positioning of a Buoy During Hurricane Katrina.** In: *Proceedings of the 19th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2006) 2006-2016*, Forst Worth, TX, 26-29 September 2006.
- Doucet, K., Herwig, M., Kipka, A., Kreikenbohm, P., Landau, H., Leandro, R., Moessmer, M., and Pagels, C., 2012. **Introducing Ambiguity Resolution in Web-hosted Global Multi-GNSS Precise Positioning with Trimble RTX-PP.** In: *Proceedings of the 25th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2012)* 1115-1125.
- Dow, J. M., Neilan, R. E. and Rizos, C., 2009. **The International GNSS Service in a changing landscape of Global Navigation Satellite Systems.** *Journal of Geodesy* 83: 3-4, 191-198.
- Du, S., and Gao, Y., 2012. **Inertial Aided Cycle Slip Detection and Identification for Integrated PPP GPS and INS.** *Sensors* 12: 11, 14344-14362.
- El-Rabbany, A., 2006. **Introduction to GPS: The Global Positioning System**, 2<sup>nd</sup> Edition, Boston: Artech House.
- Elsobeiey, M., and El-Rabbany, A., 2009. **Rigorous modelling of GPS residual errors for Precise Point Positioning.** *Proceedings of the 2010 Canadian Geomatics Conference, Calgary*, 80-194

- Gao, Y., and Chen, K., 2004. **Performance Analysis of Precise Point Positioning Using Real-Time Orbit and Clock Products.** *Journal of Global Positioning Systems* 3: 1-2, 95-100.
- Gao, Y., and Garin, L. J., 2006. **Precise Point Positioning and Its Challenges, Aided-GNSS and Signal Tracking.** *Inside GNSS* November/December 2006.
- Gao, Y., and Shen, X., 2001. **Improving Ambiguity Convergence in Carrier Phase-Based Precise Point Positioning.** In: *Proceedings of the 14th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 2001)* 1532-1539, Salt Lake City, UT, September 2001.
- Gao, Z., Zhang, H., Ge, M., Niu, X., Shen, W., Wickert, J., and Schuh, H., 2015. Tightly Coupled Integration of Ionosphere-Constrained Precise Point Positioning and Inertial Navigation Systems. *Sensors* 15: 3, 5783-5802.
- Ge, M., Douša, J., Li, X., Ramatschi, M., Nischan, T., and Wickert, J., 2012. **A Novel Real-Time Precise Positioning Service System: Global Precise Point Positioning with Regional Augmentation.** *Journal of Global Positioning Systems* 11: 1, 2-10.
- Ge, M., Gendt, G., Rothacher, M., Shi, C., and Liu, J., 2008. **Resolution of GPS carrier-phase ambiguities in Precise Point Positioning (PPP) with daily observations.** *Journal of Geodesy* 82: 7, 389-399.
- Geng, J., Teferle, F. N., Meng, X., and Dodson, A. H., 2011. **Towards PPP-RTK: Ambiguity resolution in real-time precise point positioning.** *Advances in Space Research* 47: 10, 1664-1673.
- Geng, J., Teferle, F. N., Shi, C., Meng, X., Dodson, A. H., and Liu, J., 2009. **Ambiguity resolution in precise point positioning with hourly data.** *GPS Solutions* 13: 4, 263-270.
- Hadas, T., and Bosy, J., 2014. **IGS RTS precise orbits and clocks verification and quality degradation over time.** *GPS Solutions* 19: 1, 93-105.
- Haustein, M., 2009. **Effects of the Theory of Relativity in the GPS**
- Heroux, P., and Kouba, J., 2001. **GPS Precise Point Positioning Using IGS Orbit Products.** *Physics and Chemistry of the Earth Part A Solid Earth and Geodesy* 26: 6-8, 573-578.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., and Collins, J., 2001. **GPS Theory and Practice 5<sup>th</sup> Revised Edition.** Springer-Verlag Wien New York.
- Huber, K., Heuberger, F., Abart, C., Karabatic, A., Weber, R., and Berglez, P., 2010. **PPP: Precise Point Positioning - Constraints and Opportunities.** In: *FIG Congress 2010, Facing the Challenges - Building the Capacity.*
- IERS, 1989. **IERS Standards,** *IERS Technical Note 3,* (ed. D. D. McCarthy)
- IERS, 1996. **IERS Conventions,** *IERS Technical Note 21,* (ed. D. D. McCarthy)
- Jokinen, A., Feng, S., Schuster, W., Ochieng, W., Hide, C., Moore, T., and Hill, C., 2013. **GLONASS Aided GPS Ambiguity Fixed Precise Point Positioning.** *Journal of Navigation* 66: 3, 399-416.
- Klobuchar, J. A., 1996. **Ionospheric Effects on GPS.** In **Parkinson & Spilker, Jr. (Eds.), Global Positioning Systems: Theory and Applications.** *Progress in Astronautics and Aeronautics* 163, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc.

- Kogure, S., 2012. **The QZSS, the System Description.** In: *Proceedings of ION GNSS 2012, Nashville, TN* 18-21.
- Kouba, J., 2009. **A Guide to Using International GNSS Service (IGS) Products.**
- Kouba, J., and Heroux, P., 2001. **Precise Point Positioning Using IGS Orbit and Clock Products.** *GPS Solutions* 5: 2, 12-28.
- Langley, R. B., 1999. **Dilution of Precision.** *GPS World*
- Laurichesse, D., 2011. **The CNES Real-time PPP with undifferenced integer ambiguity resolution demonstrator.** In: *Proceedings of the 24th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2011), Portland, OR, USA, 19-23 September 2011* 654-662.
- Laurichesse, D., and Mercier, F., 2010. **Real-time PPP with undifferenced integer ambiguity resolution, experimental results.** In: *European Geosciences Union, General Assembly 2010, Vienna, Austria, 02-07 May 2010.*
- Laurichesse, D., Mercier, F., Berthias, J. P., Broca, P., and Cerri, L., 2009. **Integer ambiguity resolution on undifferenced GPS phase measurements and its application to PPP and satellite precise orbit determination.** *Navigation* 56: 2, 135-149.
- Leandro, R. F., Santos, M. C., and Langley, R. B., 2011. **Analyzing GNSS data in precise point positioning software.** *GPS Solutions* 15: 1, 1-13.
- Leick, A., 2004. **GPS Satellite Surveying 3<sup>rd</sup> Edition.** New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
- Li, H., Chen, J., Wang, J., Hu, C., and Liu, Z., 2010. **Network based real-time precise point positioning.** *Advances in Space Research* 46: 9, 1218-1224.
- Li, P., and Zhang, X., 2014. **Integrating GPS and GLONASS to accelerate convergence and initialization times of precise point positioning.** *GPS Solutions* 18: 3, 461-471.
- Li, X., and Zhang, X., 2012. **Improving the estimation of uncalibrated fractional phase offsets for PPP ambiguity resolution.** *Journal of Navigation* 65: 3, 513-529.
- Li, X., Ge, M., Dai, X., Ren, X., Fritsche, M., Wickert, J., and Schuh, H., 2015. **Accuracy and reliability of multi-GNSS real-time precise positioning: GPS, GLONASS, BeiDou, and Galileo.** *Journal of Geodesy* 89: 6.
- Li, X., Zhang, X., Ren, X., Fritsche, M., Wickert, J., and Schuh, H., 2015. **Precise positioning with current multi-constellation Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou.** *Scientific Reports* 5: 8328.
- Loyer, S., Perosanz, F., Mercier, F., Capdeville, H., Marty, J. C., Fund, F., Gegout, P., Biancale, R., 2012. **Zero-difference GPS ambiguity resolution at CNES-CLS IGS Analysis Center.** *Journal of Geodesy* 86: 11, 991-1003.
- Mader, G. L., 1999. **GPS Antenna Calibration at the National Geodetic Survey.** *GPS Solutions* 3: 1, 50-58
- Mercier, F., and Laurichesse, D., 2008. **Zero-difference ambiguity blocking, Properties of satellite/receiver widelane biases.** In: *Proceedings of the ENC-GNSS 2008, Toulouse, France.*

- Mervart, L., Lukes, Z., Rocken, C., and Iwabuchi, T., 2008. **Precise Point Positioning With Ambiguity Resolution In Real-Time.** *In: Proceedings of the 21st International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2008)*, 397-405.
- Misra, P., and Enge, P., 2001. **Global Positioning System: Signals, Measurements and Performance.** *Ganga-Jumuna Press.*
- Montenbruck, O., and Langley, R. B., 2013. **Galileo IOV-3 Broadcasts E1, E5, E6 signals.** *GPS World* 24: 1, 18-27.
- Montenbruck, O., and Steigenberger, P., 2015. **IGS-MGEX: Preparing for a Multi-GNSS World.** *In: PNT Adv. Board Mtng., 10-12 June 2015, Annapolis.*
- Montenbruck, O., Hauschild, A., and Steigenberger, P., 2014. **Differential Code Bias Estimation using Multi-GNSS Observations and Global Ionosphere Maps** *In: ION International Technical Meeting, 26-28 Jan. 2014, San Diego.*
- Montenbruck, O., Hauschild, A., Steigenberger, P., Hugentobler, U., Teunissen, P., and Nakamura, S., 2012. **Initial Assessment of the COMPASS/BeiDou-2 Regional Navigation Satellite System.** *GPS Solutions.*
- Montenbruck, O., Rizos, C., Weber, R., Weber, G., Neilan, R., and Hugentobler, U., 2013. **Getting a Grip on Multi-GNSS.** *GPS World.*
- Montenbruck, O., Steigenberger, P., Khachikyan, R., Weber, G., Langley, R. B., Mervart, L., and Hugentobler, U., 2014. **IGS-MGEX: Preparing the Ground for Multi-Constellation GNSS Science.** *Inside GNSS* 9: 1, 42-49. January/February 2014.
- Odiijk, D., 2014. Multi-GNSS Precise Positioning: New Solutions, New Challenge. *Inside GNSS* November/December 2014: 32-33.
- Øvstedal, O., Kjorsvik, N. S., and Gjevestad, J. G. O., 2006. **Surveying using GPS Precise Point Positioning.** *In: XXII International FIG Congress, Munich, Germany.*
- Pan, L., Cai, C., Santerre, R., and Zhu, J., 2014. **Combined GPS/GLONASS Precise Point Positioning with Fixed GPS Ambiguities.** *Sensors* 14: 17530-17547.
- Petrov, L., and Boy, J. P., 2004. **Study of the Atmospheric Pressure Loading Signal in VLBI Observations.** *Journal of Geophysical Research* 109: B03405
- Rabbal, W., and Schuh, H., 1986. **The Influence of Atmospheric Loading on VLBI-experiments.** *Journal of Geophysical Research* 59, 164-170
- Reussner, N., and Wanninger, L., 2011. **GLONASS Inter-frequency Biases and Their Effects on RTK and PPP Carrier-phase Ambiguity Resolution.** *In: Proceedings of ION GNSS 2011, Portland, OR.*
- Reussner, N., and Wanninger, L., 2012. **GLONASS inter-frequency code biases and PPP carrier-phase ambiguity resolution.** IGS Workshop 2012, Olsztyn, Poland.
- Rizos, C., Montenbruck, O., Weber, R., Weber, G., Neilan, R., and Hugentobler, U., 2013. **The IGS MGEX Experiment as a Milestone for a Comprehensive Multi-GNSS Science.** *In: Proceedings of The Institute of Navigation 2013 Pacific PNT Meeting, Honolulu, Hawaii, April 2013*, 289-295.
- Rizos, C., 1999. **Principles and Practice of GPS Surveying.** The University of New South Wales, Sydney, Australia

- Rothacher, M., and Beutler, G., 2002. **Advanced Aspects of Satellite Positioning. Lecture Notes for ENGO 609.90.** University of Calgary, Calgary, Canada
- Salazar, D., Hernandez-Pajares, M., Juan, J. M., and Sanz, J., 2009. **GNSS data management and processing with the GPSTk.** *GPS Solutions* 14: 3, 293-299.
- Schaer, S., Gurtner, W., and Feltens, J., 1998. **IONEX: The IONosphere Map Exchange Format Version 1.** *IGS Analysis Centres Workshop*, Darmstadt, Germany
- Seepersad, G., 2012. **Reduction of Initial Convergence Period in GPS PPP Data Processing.** York University.
- Shen, X., 2002. **Improving Ambiguity Convergence in Carrier Phase-based Precise Point Positioning.** University of Calgary, Department of Geomatics Engineering.
- Shirazian, M., 2012. **Remarks on the quality of GPS precise point positioning using phase observations.**
- Steigenberger, P., Hauschild, A., Montenbruck, O., and Hugentobler, U., 2012. **Performance Analysis of Compass Orbit and Clock Determination and Compass-only PPP.** IGS Workshop 2012, Olsztyn, Poland.
- Takasu, T., 2010. **Real-time PPP with RTKLIB and IGS real-time satellite orbit and clock,** IGS Workshop 2010, Newcastle upon Tyne, England, June 28 - July 2, 2010
- Takasu, T., 2012. **PPP Ambiguity Resolution Implementation in RTKLIB v.2.4.2.** *In: PP-RTK & Open Standards Symposium*, March 12-13, Frankfurt am Main, Germany.
- Takasu, T., 2013. **Multiple Constellation PPP with RTKLIB v.2.4.2.** GNSS Precise Point Positioning Workshop, Ottawa, Canada, 14-16 June 2013
- Takasu, T., and Kasai, S., 2005. **Precise Orbit Determination of GPS Satellites using Carrier Phase Measurements**
- Tao, W., 2008. **Near Real-time GPS PPP-inferred Water Vapor System Development and Evaluation.** MSc Thesis. University of Calgary, Calgary, Canada.
- Tegedor, J., 2015. **Improving kinematic accuracy by means of multi-constellation PPP-RTK** *In: Geodesi- og- hydrografidagene, Stavanger, 2015.*
- Tegedor, J., Melgard, T., Øvstedal, O., and Vigen, E., 2013. **Multi-constellation Precise Point Positioning including GPS, Glonass, Galileo and BeiDou.** GNSS Precise Point Positioning Workshop (Ottawa, Canada, 12-14 June 2013): Reaching Full Potential
- Tegedor, J., Øvstedal, O., and Vigen, E., 2014. **Precise orbit determination and point positioning using GPS, Glonass, Galileo, BeiDou.** *Journal of Geodetic Science* 4: 1.
- Teunissen, P. J. G., and Khodabandeh, A., 2014. **Review and principles of PPP-RTK methods.** *Journal of Geodesy.*
- Urquhart, L., 2009. **Atmospheric Pressure Loading and its Effects on Precise Point Positioning.** *In: Proceedings of the 22nd International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2009).*
- Van der Marel, H., and de Bakker, P. F., 2012. **Single- versus Dual-Frequency Precise Point Positioning.** *Inside GNSS.*
- Weill, L. R., 2003. **Multipath Mitigation.** *GPS World.* June 1, 2003

- Wells, D., Beck, N., Delikaraoglou, D., Kleusberg, A., Krakiwsky, E. J., Lachapelle, G., Langley, R. B., Nakiboglu, M., Schwarz, K. P., Tranquilla, J. M., and Vanicek, P., 1986. **Guide to GPS Positioning**. Department of Geodesy and Geomatics Engineering, Lecture Note No. 58, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada, 291 pp
- White, R. M., and Langley, R. B., 2014. **Assessing the preliminary performance impact of including Galileo observables into a precise point positioning scheme**. IGS Workshop 2014, Pasadena, California, USA, 23-27 June
- Whu, J. T., Whu, S. C., Hajj, G. A., Bertiger, W. I., and Lichten, S. M., 1993. **Effects of Antenna Orientation on GPS Carrier Phase**. *Manuscripta Geodaetica* 18: 2, 91-98
- Witchayangkoon, B., 2000. **Elements of GPS Precise Point Positioning**. PhD Thesis. University of Maine
- Wubben, G., Schmitz, M., and Bagge, A., 2005. **PPP-RTK: Precise Point Positioning Using State-Space Representation in RTK Networks**. In: *Proceedings of the 18th International Technical Meeting ION GNSS-05* Long Beach, California, 13-16 September 2005.
- Yao, Y., Zhang, R., Song, W., Shi, C., and Lou, Y., 2013. **An improved approach to model regional ionosphere and accelerate convergence for precise point positioning**. *Advances in Space Research* 52: 8, 1406-1415.
- Yigit, C. O., Gikas, V., Alcaay, S., and Ceylan, A., 2014. **Performance evaluation of short to long term GPS, GLONASS and GPS/GLONASS post-processed PPP**. *Survey Review* 46: 336, 155-166.
- Zhang, H., Gao, Z., Ge, M., Niu, X., Huang, L., Tu, R., and Li, X., 2013. **On the Convergence of Ionospheric Constrained Precise Point Positioning (IC-PPP) Based on Undifferential Uncombined Raw GNSS Observations**. *Sensors* 13: 11, 15708-15725.
- Zhang, X., 2006. **Precise Point Positioning Evaluation and Airborne Lidar Calibration**. Danish National Space Center Technical Report No. 4.
- Zhang, X., Pan, L., and Guo, F., 2013. **Ambiguity resolution in precise point positioning with hourly data for global single receiver**. *Advances in Space Research* 51: 1, 153-161.
- Zumberge, J. F., Heflin, M. B., Jefferson, D. C., Watkins, M. M., and Webb, F. H., 1997. **Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks**. *Journal of Geophysical Research* 102: B3, 5005-5017.

## ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

- Αγραφιιώτης, Π., Καζαμίας, Π., Καρολεμέας, Χ., Καρτέρης, Σ., Κοτρώτση, Ε., Λαγού, Χ., Στεφανόπουλος, Σ., Τρουλλινού, Α., & Χάρχαρος, Χ., 2013. **Διαδικτυακές υπηρεσίες εφαρμογής της τεχνικής PPP με την ενσωμάτωση και παρατηρήσεων GLONASS**. ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ Δείγματα και Παραδείγματα, [online] Διαθέσιμο σε: <[http://portal.survey.ntua.gr/main/labs/hgeod/ddeli/GSE/current\\_issue\\_GSE.html](http://portal.survey.ntua.gr/main/labs/hgeod/ddeli/GSE/current_issue_GSE.html)> [Πρόσβαση 03/2015]

**AUSPOS – Online GPS Processing Service.** Διαθέσιμο σε:  
<<http://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/geodesy/auspos>>  
[Πρόσβαση 03/2015]

**Automatic Precise Positioning Service, APPS.** Διαθέσιμο σε: <<http://apps.gdgps.net/>>  
[Πρόσβαση 03/2015]

**Canadian Spatial Reference System – Precise Point Positioning, CSRS-PPP.**  
Διαθέσιμο σε: <<http://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php?locale=en>> [Πρόσβαση 03/2015]

**GPS Analysis and Positioning Software, GAPS.** Διαθέσιμο σε:  
<<http://gaps.gge.unb.ca/indexv520a.php>> [Πρόσβαση 03/2015]

**magicGNSS/PPP.** Διαθέσιμο σε: <<http://magicgnss.gmv.com/>> [Πρόσβαση 03/2015]

**RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning.** Διαθέσιμο σε:  
<<http://www.rtklib.com/>> [Πρόσβαση 05/2015]

**Crustal Dynamics Data Information System.** Διαθέσιμο σε:  
<<http://cddis.gsfc.nasa.gov/>> [Πρόσβαση 04/2015]

**International GNSS Service.** Διαθέσιμο σε: <<http://www.igs.org/>> [Πρόσβαση 06/2015]

**CNES/CLS Analysis Center for IGS.** Διαθέσιμο σε: <<http://igsac-cnes.cls.fr/>>  
[Πρόσβαση 06/2015]

**TEQC – The Toolkit for GPS/GLONASS/Galileo/SBAS/BeiDou/QZSS data.** Διαθέσιμο  
σε: <<https://www.unavco.org/software/data-processing/teqc/teqc.html>>  
[Πρόσβαση 05/2015]

Navipedia. **“Precise Point Positioning”.** Διαθέσιμο σε:  
<[http://www.navipedia.net/index.php/Precise\\_Point\\_Positioning](http://www.navipedia.net/index.php/Precise_Point_Positioning)> [Πρόσβαση  
05/2015]

Navipedia. **“PPP Fundamentals”.** Διαθέσιμο σε:  
<[http://www.navipedia.net/index.php/PPP\\_Fundamentals](http://www.navipedia.net/index.php/PPP_Fundamentals)> [Πρόσβαση 05/2015]

Navipedia. **“PPP Standards”.** Διαθέσιμο σε:  
<[http://www.navipedia.net/index.php/PPP\\_Standards](http://www.navipedia.net/index.php/PPP_Standards)> [Πρόσβαση 05/2015]



## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

<b>Πίνακας 2-1:</b> Υποστηριζόμενοι τύποι συμπίεσης RINEX αρχείων από την CSRS-PPP .....	30
<b>Πίνακας 2-2:</b> Υποστηριζόμενοι τύποι συμπίεσης RINEX αρχείων από την GAPS .....	33
<b>Πίνακας 2-3:</b> Υποστηριζόμενοι τύποι συμπίεσης RINEX αρχείων από την magicPPP.....	34
<b>Πίνακας 3-1:</b> Γεωδαιτικά προϊόντα δορυφορικών τροχιών GPS και χρονομέτρων των δορυφόρων GPS και των μόνιμων σταθμών, διαθέσιμα από την υπηρεσία IGS .....	53
<b>Πίνακας 3-2:</b> Γεωδαιτικά προϊόντα δορυφορικών τροχιών GLONASS, διαθέσιμα από την υπηρεσία IGS.....	53
<b>Πίνακας 3-3:</b> Περιγραφή των προϊόντων που παρέχουν τα συμμετέχοντα κέντρα ανάλυσης της RTS.....	56
<b>Πίνακας 3-4:</b> Τυποποιημένες μορφές αρχείων που παρέχονται από την υπηρεσία IGS.....	57
<b>Πίνακας 3-5:</b> Κατάσταση υλοποίησης των παγκόσμιων και περιφερειακών δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού και πλοήγησης (Μάιος 2015) .....	62
<b>Πίνακας 3-6:</b> Χρησιμοποιούμενοι τύποι δεκτών στο δίκτυο MGEX (Απρίλιος 2015) .....	65
<b>Πίνακας 3-7:</b> Χρησιμοποιούμενοι τύποι κεραιών στο δίκτυο MGEX (Απρίλιος 2015) .....	65
<b>Πίνακας 3-8:</b> Μόνιμοι σταθμοί του δικτύου MGEX με εγκατεστημένους δέκτες σε κοινές κεραιές.....	66
<b>Πίνακας 3-9:</b> Γεωδαιτικά προϊόντα τροχιών και χρονομέτρων που παρέχονται από τα ινστιτούτα που συμμετέχουν στο δίκτυο MGEX.....	67
<b>Πίνακας 3-10:</b> Συγχωνευμένες εκπεμπόμενες εφημερίδες των δορυφόρων GNSS που παρέχονται από τα ινστιτούτα BKG και TUM/DLR.....	68
<b>Πίνακας 3-11:</b> Τυπικά προϊόντα σφαλμάτων DCB μεταξύ κωδικών για τα διαθέσιμα δορυφορικά συστήματα GNSS .....	69
<b>Πίνακας 3-12:</b> Πληροφορίες για την εκπομπή προϊόντων σε πραγματικό χρόνο μέσω του πιλοτικού προγράμματος MGEX .....	70
<b>Πίνακας 3-13:</b> Συμβατικές ανοχές στη θέση του κέντρου φάσης των κεραιών από το κέντρο μάζας των δορυφόρων, για την επεξεργασία δεδομένων των συστημάτων Galileo και BeiDou.....	70
<b>Πίνακας 4-1:</b> Πληροφορίες δεδομένων πραγματικών κινηματικών πορειών .....	73
<b>Πίνακας 4-2:</b> Πληροφορίες των χρησιμοποιούμενων μόνιμων σταθμών .....	74
<b>Πίνακας 4-3:</b> Εφαρμογές GUI και CUI που περιλαμβάνονται στο λογισμικό RTKLIB.....	76
<b>Πίνακας 4-4:</b> Στρατηγική επεξεργασίας και μοντελοποίηση σφαλμάτων για τα δορυφορικά δεδομένα πολλαπλών συστημάτων GNSS στο λογισμικό RTKLIB .....	89
<b>Πίνακας 4-5:</b> Είδη διαφορετικών δεικτών DOP .....	92
<b>Πίνακας 4-6:</b> Ερμηνεία των τιμών DOP .....	92
<b>Πίνακας 5-1:</b> Τιμές RMSD (σε cm) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διαφορετικά χρονικά διαστήματα, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων, στις 07/01/2014 .....	117
<b>Πίνακας 5-2:</b> Τιμές RMSD (σε cm) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014) .....	119
<b>Πίνακας 5-3:</b> Τιμές RMSD (σε cm) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 1 ώρα, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014) .....	120
<b>Πίνακας 5-4:</b> Τιμές RMSD (σε cm) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 15 λεπτών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014) .....	121



**Πίνακας 5-23:** Τιμές RMSD (σε cm) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό DYNG με επίλυση ακέραιων και δεκαδικών ασαφειών φάσης για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 18 – 26/05/2015) ..... 206

**Πίνακας 5-24:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών PPP (forward) λύσεων στον σταθμό UNB3 με επίλυση ακέραιων και δεκαδικών ασαφειών φάσης για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014) . 210

**Πίνακας 5-25:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών PPP (forward) λύσεων στον σταθμό CUT0 με επίλυση ακέραιων και δεκαδικών ασαφειών φάσης για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014) . 214

**Πίνακας 5-26:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών PPP (forward) λύσεων στον σταθμό DYNG με επίλυση ακέραιων και δεκαδικών ασαφειών φάσης για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 18– 26/05/2015) .. 217

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

**Εικόνα 2-1:** Γραφική απεικόνιση της παρεχόμενης ακρίβειας θέσης από διάφορους τύπους δορυφορικού εντοπισμού σε συνάρτηση με το λειτουργικό τους κόστος .....6

**Εικόνα 2-2:** Αποκλίσεις από την πραγματική τροχιά του δορυφόρου .....7

**Εικόνα 2-3:** Επίδραση των ιονοσφαιρικών και τροποσφαιρικών σφαλμάτων στα δορυφορικά σήματα ..... 10

**Εικόνα 2-4:** Επίδραση της πολυκλαδικής ανάκλασης (multipath) στην διάδοση του σήματος ..... 12

**Εικόνα 2-5:** Λήψη δορυφορικών σημάτων σε κεραία τύπου choke-ring (αριστερά) και Zephyr Geodetic 2 (δεξιά) ..... 12

**Εικόνα 2-6:** Η ανοχή στη θέση του κέντρου φάσης της δορυφορικής κεραίας ..... 13

**Εικόνα 2-7:** Παγκόσμια γεωγραφική κατανομή των ωκεάνιων παλιρροιών κατά μήκος των ακτογραμμών..... 15

**Εικόνα 2-8:** Κίνηση της θέσης του γήινου πόλου από τον Ιανουάριο του 2013 έως τον Απρίλιο του 2014..... 17

**Εικόνα 2-9:** Το χωρίο που σαρώνεται από το διάνυσμα μεταξύ του κέντρου της Γης και του παλμού του σήματος, κατά τη διάδοση του τελευταίου από τον δορυφόρο στον δέκτη ..... 19

**Εικόνα 2-10:** Περιφερειακός χάρτης της πυκνότητας των ηλεκτρονίων (TEC) στην ιονόσφαιρα στις 20/04/2015 και ώρα 10:00:00 ..... 26

**Εικόνα 2-11:** Κινηματικές PPP λύσεις από δεδομένα GPS μονής συχνότητας σε ένα δέκτη στο Delft (Ολλανδία) στις 20/05/2012 και 0:00-2:00, με χρήση του παγκόσμιου ιονοσφαιρικού χάρτη GIM και των υψηλής ακρίβειας προϊόντων τροχιών και χρονομέτρων της IGS ..... 27

**Εικόνα 2-12:** Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας επίλυσης δορυφορικών δεδομένων μέσω των διαδικτυακών PPP υπηρεσιών..... 27

**Εικόνα 2-13:** Αποτελέσματα επεξεργασίας (στατικές PPP λύσεις κατά North/East/Up, αριθμός δορυφόρων και απεικόνιση δείκτη PDOP) από δεδομένα GPS και GLONASS στον μόνιμο σταθμό HERT της IGS στις 26/04/2007 και 9:00-12:00 ..... 39

**Εικόνα 2-14:** Τιμές RMS των στατικών PPP λύσεων για μεταβλητές χρονικές διάρκειες παρατηρήσεων (15, 30 λεπτά και 1, 2, 4, 6 και 12 ώρες) από συνδυασμένη χρήση δεδομένων GNSS ..... 41

**Εικόνα 2-15:** Κατανομές των σφαλμάτων RMS από την PPP επεξεργασία δεδομένων διάρκειας 3 ωρών, συλλεχθέντα σε 5 σταθμούς και για συνολικό διάστημα 16 ημερών, με χρήση των δορυφορικών σχηματισμών GPS, BDS, GPS/BDS, GPS/GLO, GPS/BDS/GLO και GPS/BDS/GLO/GAL..... 41

<b>Εικόνα 2-16:</b> Κινηματικές PPP λύσεις σε πραγματικό χρόνο από επεξεργασία πραγματικών ασαφειών φάσης (επάνω) και ακέραιων ασαφειών φάσης (κάτω) .....	43
<b>Εικόνα 2-17:</b> Οι δεκαδικές αρχικές φάσεις FCB των δορυφόρων GPS από 01/04/2000....	44
<b>Εικόνα 2-18:</b> Κατανομή των σφαλμάτων θέσης (positioning errors) από PPP επεξεργασία δεδομένων GPS με πραγματικές ασάφειες φάσης (GPS Float), δεδομένων GPS με ακέραιες ασάφειες φάσης (GPS Fixed) και δεδομένων GPS και GLONASS με ακέραιες ασάφειες φάσης για το σύστημα GPS (GPS Fixed + GLONASS). .....	46
<b>Εικόνα 2-19:</b> Διαφορές θέσης κατά τις διευθύνσεις North, East, Down από PPP επεξεργασία δεδομένων με χρήση ιονοσφαιρικών διορθώσεων (IC-PPP, κόκκινη γραμμή), με τον γραμμικό συνδυασμό των διαθέσιμων παρατηρήσεων σε συνδυασμό με αδρανειακό σύστημα (LC-PPP/INS, πράσινη γραμμή) και με χρήση ιονοσφαιρικών διορθώσεων σε συνδυασμό με αδρανειακό σύστημα (IC-PPP/INS, μπλε γραμμή) .....	47
<b>Εικόνα 3-1:</b> Η παγκόσμια κατανομή των σταθμών GPS/GLONASS του δικτύου της IGS...	51
<b>Εικόνα 3-2:</b> Η βελτίωση των τελικών προϊόντων τροχιών (final orbits) από τα κέντρα ανάλυσης της IGS κατά τη διάρκεια 1994-2009, σε σχέση με τα αντίστοιχα από την IGS..	54
<b>Εικόνα 3-3:</b> Η βελτίωση των τελικών προϊόντων τροχιών (final orbits) από τα κέντρα ανάλυσης της IGS κατά τη διάρκεια 2014-2015, σε σχέση με τα αντίστοιχα από την IGS	54
<b>Εικόνα 3-4:</b> Δίκτυο μόνιμων σταθμών GPS και GLONASS που συνεισφέρουν στην υπηρεσία RTS (Real-Time Service) της Διεθνούς Υπηρεσίας GNSS .....	55
<b>Εικόνα 3-5:</b> Ο δορυφορικός σχηματισμός GPS.....	58
<b>Εικόνα 3-6:</b> Ο δορυφορικός σχηματισμός GLONASS.....	59
<b>Εικόνα 3-7:</b> Ο δορυφορικός σχηματισμός Galileo .....	59
<b>Εικόνα 3-8:</b> Ο δορυφορικός σχηματισμός BeiDou.....	60
<b>Εικόνα 3-9:</b> Ο δορυφορικός σχηματισμός QZSS.....	61
<b>Εικόνα 3-10:</b> Ο δορυφορικός σχηματισμός IRNSS, με την προβολή της τροχιάς των δορυφόρων τους στη Γη .....	62
<b>Εικόνα 3-11:</b> Κατανομή των μόνιμων σταθμών του δικτύου MGEX (Μάιος 2015). .....	64
<b>Εικόνα 3-12:</b> Κατανομή των μόνιμων σταθμών του δικτύου MGEX, που υποστηρίζουν δεδομένα πραγματικού χρόνου (Σεπτέμβριος 2013) .....	66
<b>Εικόνα 3-13:</b> Χρονολογική διαθεσιμότητα (μέχρι τον Απρίλιο 2015) των προϊόντων τροχιών και χρονομέτρων από τα συμμετέχοντα ινστιτούτα στο πιλοτικό πρόγραμμα MGEX της υπηρεσίας IGS .....	68
<b>Εικόνα 3-14:</b> Σφάλματα DCB μεταξύ των κωδικών C1X και C5X των δορυφόρων Galileo	69
<b>Εικόνα 3-15:</b> Προσανατολισμός του συστήματος συντεταγμένων και θέση της κεραίας GNSS και του ανακλαστήρα LRA στους δορυφόρους Galileo IOV .....	71
<b>Εικόνα 3-16:</b> Προσανατολισμός του συστήματος συντεταγμένων και θέση της κεραίας GNSS και του ανακλαστήρα LRA στους δορυφόρους BeiDou γεωστατικής GEO (επάνω σχήμα) και κεκλιμένης γεωσύγχρονης IGSO και μέσου ύψους MEO τροχιάς (κάτω σχήμα)	71
<b>Εικόνα 4-1:</b> Μενού της εφαρμογής RTKLAUNCH .....	76
<b>Εικόνα 4-2:</b> Κεντρικό παράθυρο της εφαρμογής RTKNAVI.....	77
<b>Εικόνα 4-3:</b> Κεντρικό παράθυρο της εφαρμογής RTKPOST .....	78
<b>Εικόνα 4-4:</b> Κεντρικό παράθυρο της εφαρμογής RTKGET .....	79
<b>Εικόνα 4-5:</b> Κέντρο φάσης της κεραίας του δέκτη .....	81
<b>Εικόνα 4-6:</b> Κέντρο φάσης της κεραίας του δορυφόρου .....	82
<b>Εικόνα 4-7:</b> Μονοστρωματικό μοντέλο ιονόσφαιρας (Single Layer Ionosphere Model).....	83
<b>Εικόνα 4-8:</b> Σχηματική ροή των διαδικασιών που εφαρμόζονται στην τεχνική PPP από το λογισμικό RTKLIB .....	84

<b>Εικόνα 4-9:</b> Τυπικά RINEX αρχεία μεταβλητής χρονικής διάρκειας και περιόδων που χρησιμοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη μελέτη .....	87
<b>Εικόνα 4-10:</b> Οι πιθανές θέσεις του δέκτη GNSS σε σφαιρικό πολύεδρο που σχηματίζεται από 3 δορυφόρους (αριστερά) και 6 δορυφόρους (δεξιά) .....	91
<b>Εικόνα 4-11:</b> Ιδανική περίπτωση γεωμετρίας, με τους 4 δορυφόρους και το σημείο ενδιαφέροντος να σχηματίζουν ένα κανονικό τετράεδρο στο χώρο .....	93

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

<b>Σχήμα 5-1:</b> Κινηματικές PPP λύσεις ανά διεύθυνση για την διαδρομή πλοίου Αλεξ/πολη - Σαμοθράκη .....	96
<b>Σχήμα 5-2:</b> Απεικόνιση πορείας πλοίου Αλεξ/πολη - Σαμοθράκη στο περιβάλλον του RTKPLLOT/Google Earth .....	96
<b>Σχήμα 5-3:</b> Σύγκριση της πορείας πλοίου Αλεξ/πολη - Σαμοθράκη μεταξύ των λύσεων RTKLIB και CSRS-PPP .....	97
<b>Σχήμα 5-4:</b> Κινηματικές PPP λύσεις ανά διεύθυνση για την διαδρομή πλοίου Σαμοθράκη - Αλεξ/πολη .....	97
<b>Σχήμα 5-5:</b> Σύγκριση της πορείας πλοίου Σαμοθράκη - Αλεξ/πολη μεταξύ των λύσεων RTKLIB και CSRS-PPP .....	98
<b>Σχήμα 5-6:</b> Κινηματικές PPP λύσεις ανά διεύθυνση για την διαδρομή πλοίου Ηράκλειο - Πειραιάς .....	98
<b>Σχήμα 5-7:</b> Απεικόνιση πορείας πλοίου Ηράκλειο - Πειραιάς στο περιβάλλον του RTKPLLOT/Google Earth .....	99
<b>Σχήμα 5-8:</b> Σύγκριση της πορείας πλοίου Ηράκλειο - Πειραιάς μεταξύ των λύσεων RTKLIB και CSRS-PPP .....	99
<b>Σχήμα 5-9:</b> Κινηματικές PPP λύσεις ανά διεύθυνση για την διαδρομή πλοίου Πειραιάς - Θήρα .....	100
<b>Σχήμα 5-10:</b> Απεικόνιση πορείας πλοίου Πειραιάς - Θήρα μετ' επιστροφής στο περιβάλλον του RTKPLLOT/Google Earth .....	100
<b>Σχήμα 5-11:</b> Σύγκριση της πορείας πλοίου Πειραιάς - Θήρα μετ' επιστροφής μεταξύ των λύσεων RTKLIB και CSRS-PPP .....	101
<b>Σχήμα 5-12:</b> Κινηματικές PPP λύσεις ανά διεύθυνση για τη διαδρομή πλοίου Πειραιάς - Χίος .....	102
<b>Σχήμα 5-13:</b> Απεικόνιση πορείας πλοίου Πειραιάς - Χίος στο περιβάλλον του RTKPLLOT/Google Earth .....	102
<b>Σχήμα 5-14:</b> Σύγκριση της πορείας πλοίου Πειραιάς - Χίος μεταξύ των λύσεων RTKLIB και CSRS-PPP .....	103
<b>Σχήμα 5-15:</b> Κινηματικές PPP λύσεις ανά διεύθυνση για την διαδρομή πλοίου Θεσ/νίκη - Μυτιλήνη .....	103
<b>Σχήμα 5-16:</b> Απεικόνιση πορείας πλοίου Θεσ/νίκη - Μυτιλήνη στο περιβάλλον του RTKPLLOT/Google Earth .....	104
<b>Σχήμα 5-17:</b> Σύγκριση της πορείας πλοίου Θεσ/νίκη - Μυτιλήνη μεταξύ των λύσεων RTKLIB και CSRS-PPP .....	104
<b>Σχήμα 5-18:</b> Κινηματικές PPP λύσεις ανά διεύθυνση για τη διαδρομή αεροπλάνου στο Hall Beach .....	105
<b>Σχήμα 5-19:</b> Απεικόνιση πορείας αεροπλάνου στην περιοχή Hall Beach στο περιβάλλον του RTKPLLOT/Google Earth .....	105

<b>Σχήμα 5-20:</b> Σύγκριση της πορείας του αεροπλάνου στην περιοχή Hall Beach μεταξύ των λύσεων RTKLIB και CSRS-PPP .....	106
<b>Σχήμα 5-21:</b> Κινηματικές PPP λύσεις ανά διεύθυνση για την πορεία αυτοκινήτου στην περιοχή Glendora της Καλιφόρνια .....	107
<b>Σχήμα 5-22:</b> Απεικόνιση της συνολικής πορείας του αυτοκινήτου στην περιοχή Glendora της Καλιφόρνια στο περιβάλλον του RTKPLOT/Google Earth .....	107
<b>Σχήμα 5-23:</b> Απεικόνιση του κυκλικού κόμβου που περιλαμβάνεται στην πορεία του αυτοκινήτου στην περιοχή Glendora της Καλιφόρνια στο περιβάλλον του RTKPLOT/Google Earth .....	108
<b>Σχήμα 5-24:</b> Σύγκριση της πορείας αυτοκινήτου στην περιοχή Glendora της Καλιφόρνια μεταξύ των λύσεων RTKLIB και CSRS-PPP .....	108
<b>Σχήμα 5-25:</b> Ορατές τροχιές των δορυφόρων GPS, GLONASS και Galileo από τον μόνιμο σταθμό NICO στις 10/01/2014, σε στερεογραφική προβολή .....	110
<b>Σχήμα 5-26:</b> Τυπικά σφάλματα των υπολογισμένων γεωδαιτικών συντεταγμένων του σταθμού NICO, από μετρήσεις διαφορετικής διάρκειας .....	111
<b>Σχήμα 5-27:</b> Διαφορές (σε m) των υπολογισμένων συντεταγμένων του σταθμού NICO από μετρήσεις διαφορετικής χρονικής διάρκειας σε σχέση με τις επίσημες συντεταγμένες του σταθμού που δίνονται από την υπηρεσία IGS σε εβδομαδιαία βάση (IGS weekly solution), εκφρασμένες κατά τις διευθύνσεις North, East, Up. ....	111
<b>Σχήμα 5-28:</b> Ορατές τροχιές των δορυφόρων GNSS (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) από τον μόνιμο σταθμό UNB3 στις 07/01/2014, σε στερεογραφική προβολή .....	113
<b>Σχήμα 5-29:</b> Αριθμός ορατών δορυφόρων από τον μόνιμο σταθμό UNB3 στις 07/01/2014. Ο αριθμός των δορυφόρων GPS, GPS+GLONASS και GPS+GLONASS+Galileo+BeiDou φαίνονται με μπλε, πράσινο και κόκκινο χρώμα αντίστοιχα. ....	114
<b>Σχήμα 5-30:</b> Δείκτες PDOP και GDOP για τους δορυφορικούς σχηματισμούς στον σταθμό UNB3 στις 07/01/2014 .....	114
<b>Σχήμα 5-31:</b> Στατικές PPP λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/E, G/C, G/R/E/C) στον σταθμό UNB3 στις 07/01/2014.....	116
<b>Σχήμα 5-32:</b> Πρώτο δίκτυο των στατικών PPP λύσεων από την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) στον σταθμό UNB3 στις 07/01/2014 .....	116
<b>Σχήμα 5-33:</b> Ορατές τροχιές των δορυφόρων GNSS (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) από τον μόνιμο σταθμό CUT0 στις 07/01/2014 .....	123
<b>Σχήμα 5-34:</b> Αριθμός ορατών δορυφόρων από τον μόνιμο σταθμό CUT0 στις 07/01/2014. Ο αριθμός των δορυφόρων GPS, GPS+GLONASS και GPS+GLONASS+Galileo+BeiDou φαίνονται με μπλε, πράσινο και κόκκινο χρώμα αντίστοιχα. ....	124
<b>Σχήμα 5-35:</b> Δείκτες PDOP και GDOP για τους δορυφορικούς σχηματισμούς στον σταθμό CUT0 στις 07/01/2014 .....	124
<b>Σχήμα 5-36:</b> Στατικές PPP λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/E, G/C, G/R/E/C) στον σταθμό CUT0 στις 07/01/2014.....	126
<b>Σχήμα 5-37:</b> Πρώτο δίκτυο των στατικών PPP λύσεων από την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) στον σταθμό CUT0 στις 07/01/2014 .....	126
<b>Σχήμα 5-38:</b> Ορατές τροχιές των δορυφόρων GNSS (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) από τον μόνιμο σταθμό UNB3 στις 13/01/2014, σε στερεογραφική προβολή .....	134
<b>Σχήμα 5-39:</b> Αριθμός ορατών δορυφόρων από τον μόνιμο σταθμό UNB3 στις 13/01/2014. Ο αριθμός των δορυφόρων GPS, GPS+GLONASS και GPS+GLONASS+Galileo+BeiDou φαίνονται με μπλε, πράσινο και κόκκινο χρώμα αντίστοιχα. ....	135
<b>Σχήμα 5-40:</b> Δείκτες PDOP και GDOP για τους δορυφορικούς σχηματισμούς στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014 .....	135
<b>Σχήμα 5-41:</b> Κινηματικές PPP (forward) λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/E, G/C, G/R/E/C) στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014	136

<b>Σχήμα 5-42:</b> Πρώτο δίκωρο των κινηματικών PPP (forward) λύσεων ανά διεύθυνση για την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014 .....	136
<b>Σχήμα 5-43:</b> Ορατές τροχιές των δορυφόρων GNSS (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) από τον μόνιμο σταθμό CUT0 στις 13/01/2014, σε στερεογραφική προβολή .....	140
<b>Σχήμα 5-44:</b> Αριθμός ορατών δορυφόρων από τον μόνιμο σταθμό CUT0 στις 13/01/2014. Ο αριθμός των δορυφόρων GPS, GPS+GLONASS και GPS+GLONASS+Galileo+BeiDou φαίνονται με μπλε, πράσινο και κόκκινο χρώμα αντίστοιχα. ....	141
<b>Σχήμα 5-45:</b> Δείκτες PDOP και GDOP για τους δορυφορικούς σχηματισμούς στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014 .....	141
<b>Σχήμα 5-46:</b> Κινηματικές PPP (forward) λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/E, G/C, G/R/E/C) στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014	143
<b>Σχήμα 5-47:</b> Πρώτο δίκωρο των κινηματικών PPP (forward) λύσεων ανά διεύθυνση για την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014 .....	143
<b>Σχήμα 5-48:</b> Κινηματικές PPP (backward) λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/E, G/C, G/R/E/C) στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014	148
<b>Σχήμα 5-49:</b> Πρώτο δίκωρο των κινηματικών PPP (backward) λύσεων ανά διεύθυνση για την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014 .....	148
<b>Σχήμα 5-50:</b> Κινηματικές PPP (backward) λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/E, G/C, G/R/E/C) στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014	152
<b>Σχήμα 5-51:</b> Πρώτο δίκωρο των κινηματικών PPP (backward) λύσεων ανά διεύθυνση για την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014 .....	152
<b>Σχήμα 5-52:</b> Κινηματικές PPP (combined) λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/E, G/C, G/R/E/C) στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014	156
<b>Σχήμα 5-53:</b> Κινηματικές PPP (combined) λύσεις ανά διεύθυνση για την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014 .....	156
<b>Σχήμα 5-54:</b> Κινηματικές PPP (combined) λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/E, G/C, G/R/E/C) στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014	161
<b>Σχήμα 5-55:</b> Κινηματικές PPP (combined) λύσεις ανά διεύθυνση για την αυτόνομη χρήση (G, R) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014 .....	161
<b>Σχήμα 5-56:</b> Αριθμός ορατών δορυφόρων από τον μόνιμο σταθμό UNB3 στις 07/01/2014 συναρτήσει των γωνιών αποκοπής δορυφόρων. Ο αριθμός των δορυφόρων GPS, GPS+GLONASS και GPS+GLONASS+Galileo+BeiDou φαίνονται με μπλε, πράσινο και κόκκινο χρώμα αντίστοιχα. ....	164
<b>Σχήμα 5-57:</b> Δείκτης GDOP για τους δορυφορικούς σχηματισμούς GPS, GPS+GLONASS, GPS+GLONASS+Galileo+BeiDou για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων στον σταθμό UNB3 στις 07/01/2014 .....	165
<b>Σχήμα 5-58:</b> Στατικές PPP λύσεις ανά διεύθυνση από την αυτόνομη χρήση (GPS) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων στον σταθμό UNB3 στις 07/01/2014.....	166
<b>Σχήμα 5-59:</b> Πρώτο δίκωρο των στατικών PPP λύσεων από την αυτόνομη χρήση (GPS) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων στον σταθμό UNB3 στις 07/01/2014.....	166
<b>Σχήμα 5-60:</b> Τιμές RMSD (σε m) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών και διαφορετικές γωνίες αποκοπής, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014).....	167



<b>Σχήμα 5-61:</b> Τιμές RMSD (σε m) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 1 ώρας και διαφορετικές γωνίες αποκοπής, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014).....	168
<b>Σχήμα 5-62:</b> Τιμές RMSD (σε m) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 15 λεπτών και διαφορετικές γωνίες αποκοπής, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014).....	169
<b>Σχήμα 5-63:</b> Αριθμός ορατών δορυφόρων από τον μόνιμο σταθμό CUT0 στις 07/01/2014 συναρτήσει των γωνιών αποκοπής δορυφόρων. Ο αριθμός των δορυφόρων GPS, GPS+GLONASS και GPS+GLONASS+Galileo+BeiDou φαίνονται με μπλε, πράσινο και κόκκινο χρώμα αντίστοιχα. ....	170
<b>Σχήμα 5-64:</b> Δείκτης GDOP για τους δορυφορικούς σχηματισμούς GPS, GPS+GLONASS, GPS+GLONASS+Galileo+BeiDou για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων στον σταθμό CUT0 στις 07/01/2014 .....	171
<b>Σχήμα 5-65:</b> Στατικές PPP λύσεις ανά διεύθυνση από την αυτόνομη χρήση του GPS και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων στον σταθμό CUT0 στις 07/01/2014 .....	172
<b>Σχήμα 5-66:</b> Πρώτο δίκτυο των στατικών PPP λύσεων από την αυτόνομη χρήση του GPS και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων στον σταθμό CUT0 στις 07/01/2014.....	172
<b>Σχήμα 5-67:</b> Τιμές RMSD (σε m) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό CUT0 για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών και διαφορετικές γωνίες αποκοπής, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014).....	173
<b>Σχήμα 5-68:</b> Τιμές RMSD (σε m) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό CUT0 για διάρκεια παρατηρήσεων 1 ώρας και διαφορετικές γωνίες αποκοπής, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014).....	174
<b>Σχήμα 5-69:</b> Τιμές RMSD (σε m) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό CUT0 για διάρκεια παρατηρήσεων 15 λεπτών και διαφορετικές γωνίες αποκοπής, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014).....	175
<b>Σχήμα 5-70:</b> Αριθμός ορατών δορυφόρων από τον μόνιμο σταθμό UNB3 στις 13/01/2014 συναρτήσει των γωνιών αποκοπής δορυφόρων. Ο αριθμός των δορυφόρων GPS, GPS+GLONASS και GPS+GLONASS+Galileo+BeiDou φαίνονται με μπλε, πράσινο και κόκκινο χρώμα αντίστοιχα. ....	176
<b>Σχήμα 5-71:</b> Δείκτης GDOP για τους δορυφορικούς σχηματισμούς GPS, GPS+GLONASS, GPS+GLONASS+Galileo+BeiDou για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014 .....	177
<b>Σχήμα 5-72:</b> Κινηματικές PPP (forward) λύσεις ανά διεύθυνση από την αυτόνομη χρήση του GPS και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων, στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014 .....	178
<b>Σχήμα 5-73:</b> Τιμές RMSD (σε m) των κινηματικών PPP (forward) λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών και διαφορετικές γωνίες αποκοπής, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014) .....	178
<b>Σχήμα 5-74:</b> Αριθμός ορατών δορυφόρων από τον μόνιμο σταθμό CUT0 στις 13/01/2014 συναρτήσει των γωνιών αποκοπής δορυφόρων. Ο αριθμός των δορυφόρων GPS, GPS+GLONASS και GPS+GLONASS+Galileo+BeiDou φαίνονται με μπλε, πράσινο και κόκκινο χρώμα αντίστοιχα. ....	180
<b>Σχήμα 5-75:</b> Δείκτης GDOP για τους δορυφορικούς σχηματισμούς GPS, GPS+GLONASS, GPS+GLONASS+Galileo+BeiDou για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014 .....	181
<b>Σχήμα 5-76:</b> Κινηματικές PPP (forward) λύσεις από την αυτόνομη χρήση του GPS και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων, στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014 .....	182
<b>Σχήμα 5-77:</b> Τιμές RMSD (σε m) των κινηματικών PPP (forward) λύσεων στον σταθμό CUT0 για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη .....	183

<b>Σχήμα 5-78:</b> Κινηματικές PPP (backward) λύσεις ανά διεύθυνση από την αυτόνομη χρήση του GPS και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων, στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014 .....	185
<b>Σχήμα 5-79:</b> Πρώτο δίκωρο των κινηματικών PPP (backward) λύσεων ανά διεύθυνση από την αυτόνομη χρήση του GPS και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων, στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014.....	186
<b>Σχήμα 5-80:</b> Τιμές RMSD (σε m) των κινηματικών PPP (backward) λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014) .....	186
<b>Σχήμα 5-81:</b> Κινηματικές PPP (backward) λύσεις ανά διεύθυνση από την αυτόνομη χρήση του GPS και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων, στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014.....	187
<b>Σχήμα 5-82:</b> Πρώτο δίκωρο των κινηματικών PPP (backward) λύσεων ανά διεύθυνση από την αυτόνομη χρήση του GPS και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων, στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014 .....	188
<b>Σχήμα 5-83:</b> Τιμές RMSD (σε m) των κινηματικών PPP (backward) λύσεων στον σταθμό CUT0 για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014) .....	189
<b>Σχήμα 5-84:</b> Κινηματικές PPP (combined) λύσεις ανά διεύθυνση από την αυτόνομη χρήση του GPS και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων, στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014 .....	191
<b>Σχήμα 5-85:</b> Τιμές RMSD (σε m) των κινηματικών PPP (combined) λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014) .....	191
<b>Σχήμα 5-86:</b> Κινηματικές PPP (combined) λύσεις ανά διεύθυνση από την αυτόνομη χρήση του GPS και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) για διαφορετικές γωνίες αποκοπής δορυφόρων, στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014.....	193
<b>Σχήμα 5-87:</b> Τιμές RMSD (σε m) των κινηματικών PPP (combined) λύσεων στον σταθμό CUT0 για διάρκεια παρατηρήσεων 24 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014) .....	194
<b>Σχήμα 5-88:</b> Στατικές PPP λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) με επίλυση αθέρατων ασαφειών φάσης στον σταθμό UNB3 στις 07/01/2014 .....	196
<b>Σχήμα 5-89:</b> Πρώτο δίκωρο των στατικών PPP λύσεων ανά διεύθυνση από την αυτόνομη χρήση (G) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) με επίλυση αθέρατων ασαφειών φάσης, στον σταθμό UNB3 στις 07/01/2014.....	197
<b>Σχήμα 5-90:</b> Οι wide-lane δεκαδικές αρχικές φάσεις των δορυφόρων GPS την ημέρα 07/01/2014 .....	197
<b>Σχήμα 5-91:</b> Στατικές PPP λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) με επίλυση αθέρατων ασαφειών φάσης στον σταθμό CUT0 στις 07/01/2014 .....	201
<b>Σχήμα 5-92:</b> Πρώτο δίκωρο των στατικών PPP λύσεων ανά διεύθυνση από την αυτόνομη χρήση (G) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) με επίλυση αθέρατων ασαφειών φάσης, στον σταθμό CUT0 στις 07/01/2014 .....	201
<b>Σχήμα 5-93:</b> Στατικές PPP λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) με επίλυση αθέρατων ασαφειών φάσης στον σταθμό DYNG στις 22/05/2015 .....	204
<b>Σχήμα 5-94:</b> Πρώτο δίκωρο των στατικών PPP λύσεων ανά διεύθυνση από την αυτόνομη χρήση (G) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) με επίλυση αθέρατων ασαφειών φάσης, στον σταθμό DYNG στις 22/05/2015 .....	204
<b>Σχήμα 5-95:</b> Οι wide-lane δεκαδικές αρχικές φάσεις των δορυφόρων GPS την ημέρα 22/05/2015 .....	205

<b>Σχήμα 5-96:</b> Κινηματικές PPP (φίλτρο forward) λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) με επίλυση ακέραιων ασαφειών φάσης, στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014 .....	207
<b>Σχήμα 5-97:</b> Πρώτο δίκωρο των κινηματικών PPP λύσεων (forward) ανά διεύθυνση από την αυτόνομη χρήση (G) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) με επίλυση ακέραιων ασαφειών φάσης, στον σταθμό UNB3 στις 13/01/2014 .....	208
<b>Σχήμα 5-98:</b> Οι wide-lane δεκαδικές αρχικές φάσεις των δορυφόρων GPS την ημέρα 13/01/2014 .....	211
<b>Σχήμα 5-99:</b> Κινηματικές PPP (φίλτρο forward) λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) με επίλυση ακέραιων ασαφειών φάσης, στον σταθμό CUT0 στις 13/01/2014 .....	213
<b>Σχήμα 5-100:</b> Κινηματικές PPP (φίλτρο forward) λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) με επίλυση ακέραιων ασαφειών φάσης, στον σταθμό CUT0 στις 09/01/2014 .....	213
<b>Σχήμα 5-101:</b> Οι wide-lane δεκαδικές αρχικές φάσεις των δορυφόρων GPS την ημέρα 18/05/2015 .....	215
<b>Σχήμα 5-102:</b> Κινηματικές PPP (φίλτρο forward) λύσεις από την αυτόνομη χρήση (G) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) με επίλυση ακέραιων ασαφειών φάσης, στον σταθμό DYNG στις 18/05/2015.....	216
<b>Σχήμα 5-103:</b> Πρώτο δίκωρο των κινηματικών PPP λύσεων (forward) ανά διεύθυνση από την αυτόνομη χρήση (G) και τον συνδυασμό συστημάτων (G/R, G/R/E/C) με επίλυση ακέραιων ασαφειών φάσης, στον σταθμό DYNG στις 18/05/2015 .....	216

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

## A. Αποτελέσματα

**Πίνακας 1:** Καρτεσιανές συντεταγμένες του σταθμού NICO για μεταβλητές χρονικές διάρκειες παρατηρήσεων GPS, όπως προέκυψαν από την υπηρεσία CSRS-PPP

Διάρκεια μετρήσεων (dog/ώρα έναρξης)	X (m)	95% σX (m)	Y (m)	95% σY (m)	Z (m)	95% σZ (m)
48h	4359415,5469	0,0070	2874117,1616	0,0061	3650777,9349	0,0056
24h (010)	4359415,5467	0,0104	2874117,1615	0,0093	3650777,9348	0,0084
24h (011)	4359415,5464	0,0096	2874117,1636	0,0086	3650777,9347	0,0076
12h (010/00:00)	4359415,5455	0,0151	2874117,1634	0,0143	3650777,9344	0,0122
12h (011/12:00)	4359415,5475	0,0141	2874117,1621	0,0135	3650777,9342	0,0115
6h (010/00:00)	4359415,5426	0,0269	2874117,1667	0,0249	3650777,9336	0,0183
6h (011/08:00)	4359415,5581	0,0226	2874117,1660	0,0154	3650777,9388	0,0155
4h (010/15:00)	4359415,5477	0,0281	2874117,1629	0,0370	3650777,9363	0,0216
4h (011/10:00)	4359415,5649	0,0352	2874117,1690	0,0202	3650777,9409	0,0199
2h (010/09:00)	4359415,5539	0,0746	2874117,1554	0,0528	3650777,9378	0,0594
2h (011/20:00)	4359415,5587	0,1027	2874117,1591	0,0694	3650777,9378	0,0503
1h (010/12:00)	4359415,5699	0,2501	2874117,1379	0,1042	3650777,9318	0,0897
1h (011/17:00)	4359415,5262	0,1485	2874117,1357	0,1853	3650777,9182	0,1078
0.5h (010/20:00)	4359415,5716	0,3980	2874117,1549	0,8199	3650777,9425	0,3454
0.5h (011/16:00)	4359415,5520	0,3354	2874117,1229	0,6903	3650777,9310	0,2367
0.25h (010/07:00)	4359415,5909	1,1608	2874116,7732	1,9394	3650777,8324	1,1942
0.25h (011/15:00)	4359415,5459	0,8983	2874117,1521	0,9828	3650777,9387	0,8117

**Πίνακας 2:** Καρτεσιανές συντεταγμένες του σταθμού NICO για μεταβλητές χρονικές διάρκειες παρατηρήσεων GPS/GLONASS, όπως προέκυψαν από την υπηρεσία CSRS-PPP

Διάρκεια μετρήσεων (dog/ώρα έναρξης)	X (m)	95% σX (m)	Y (m)	95% σY (m)	Z (m)	95% σZ (m)
48h	4359415,5419	0,0052	2874117,1634	0,0041	3650777,9319	0,0042
24h (010)	4359415,5427	0,0075	2874117,1641	0,0060	3650777,9330	0,0061
24h (011)	4359415,5422	0,0072	2874117,1641	0,0057	3650777,9312	0,0058
12h (010/00:00)	4359415,5392	0,0107	2874117,1611	0,0089	3650777,9311	0,0088
12h (011/12:00)	4359415,5417	0,0106	2874117,1693	0,0086	3650777,9305	0,0086
6h (010/00:00)	4359415,5310	0,0175	2874117,1603	0,0149	3650777,9236	0,0132
6h (011/08:00)	4359415,5557	0,0158	2874117,1628	0,0114	3650777,9393	0,0119
4h (010/15:00)	4359415,5425	0,0187	2874117,1627	0,0239	3650777,9349	0,0152
4h (011/10:00)	4359415,5614	0,0246	2874117,1648	0,0149	3650777,9424	0,0152
2h (010/09:00)	4359415,5417	0,0338	2874117,1477	0,0376	3650777,9305	0,0290
2h (011/20:00)	4359415,5055	0,0449	2874117,1895	0,0287	3650777,9073	0,0279
1h (010/12:00)	4359415,5375	0,1231	2874117,1419	0,0583	3650777,9233	0,0522
1h (011/17:00)	4359415,5444	0,0745	2874117,1646	0,1097	3650777,9356	0,0561
0.5h (010/20:00)	4359415,5544	0,2641	2874117,1832	0,1947	3650777,9305	0,1825
0.5h (011/16:00)	4359415,5740	0,1820	2874117,0877	0,3720	3650777,9302	0,1179
0.25h (010/07:00)	4359415,6903	0,6473	2874117,1033	0,7609	3650778,0285	0,5218
0.25h (011/15:00)	4359415,5527	0,5281	2874117,1574	0,5669	3650777,9576	0,4253

**Πίνακας 3:** Τιμές RMSD (σε cm) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 12 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 - 14/01/2014)

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	4,46	2,70	6,82	2,25	1,71	3,64	2,56	3,08	2,64
	R	8,87	7,21	10,87	10,78	15,73	7,18	15,85	12,10	10,40
	G/R	3,29	2,09	7,81	6,06	7,59	1,95	6,12	5,97	5,16
	G/E	4,47	2,77	21,63	2,22	1,70	16,05	7,84	3,06	2,65
	G/C	4,47	2,65	6,85	2,55	2,16	3,65	2,56	3,08	4,52
	G/R/E/C	3,30	2,09	17,02	6,17	7,83	11,39	4,37	5,97	6,93
East	G	3,81	4,10	4,09	5,07	4,18	3,70	7,63	2,51	3,59
	R	7,27	7,65	6,82	7,40	3,71	2,81	13,34	4,35	2,71
	G/R	3,82	2,98	2,36	3,21	2,42	2,91	5,05	2,61	2,36
	G/E	3,90	5,75	13,17	4,66	5,07	5,24	18,92	3,32	3,64
	G/C	3,87	5,68	7,72	6,05	5,93	4,31	7,63	2,56	3,13
	G/R/E/C	3,90	4,59	8,53	3,43	3,56	3,89	14,01	2,56	2,86
Up	G	11,11	10,14	2,27	5,29	4,13	11,99	17,88	5,18	3,82
	R	5,36	22,26	11,68	14,80	7,79	26,34	8,99	19,45	4,88
	G/R	7,34	5,17	6,33	5,11	4,07	9,03	21,00	12,10	3,94
	G/E	11,18	10,02	3,97	5,66	4,05	18,06	27,35	5,08	3,81
	G/C	11,12	10,87	3,03	5,76	5,38	12,54	17,88	5,18	15,00
	G/R/E/C	7,37	5,21	4,51	5,20	4,37	5,66	29,39	12,09	8,19

**Πίνακας 4:** Τιμές RMSD (σε cm) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 6 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 - 14/01/2014)

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	3,26	6,90	4,71	6,48	5,13	4,79	6,15	6,22	5,56
	R	7,34	13,15	28,41	43,98	3,00	10,59	12,78	31,54	10,31
	G/R	2,56	7,64	6,79	16,28	3,86	5,41	7,10	13,79	5,70
	G/E	3,45	6,90	12,94	14,59	5,12	6,65	7,60	6,22	5,56
	G/C	18,03	6,03	4,71	12,67	9,45	22,59	30,59	21,06	10,17
	G/R/E/C	12,49	6,39	3,71	7,64	6,77	13,21	18,01	23,83	3,80
East	G	5,97	3,84	8,57	3,88	5,39	4,21	3,76	4,37	6,39
	R	5,02	12,50	7,43	8,69	4,78	20,15	6,58	4,55	9,78
	G/R	3,18	2,88	6,05	3,69	1,90	4,06	2,45	3,78	6,24
	G/E	5,46	3,85	24,86	5,13	5,35	18,23	4,46	4,50	6,39
	G/C	20,89	7,87	8,56	7,33	28,23	22,90	12,42	15,24	18,97
	G/R/E/C	13,84	6,50	18,05	5,49	18,77	16,68	4,08	12,14	14,95
Up	G	6,62	15,55	17,62	15,42	12,54	18,11	16,49	17,96	16,97
	R	50,11	14,39	6,37	9,16	43,67	17,33	9,22	24,50	27,24
	G/R	11,42	12,07	8,39	15,95	4,28	13,46	9,67	20,85	8,72
	G/E	6,73	15,55	33,67	10,08	12,54	20,88	23,19	17,96	16,97
	G/C	17,53	11,23	17,68	6,93	24,16	15,23	24,27	23,27	12,49
	G/R/E/C	18,61	9,54	20,36	3,58	7,43	7,67	12,18	25,11	10,85

**Πίνακας 5:** Τιμές RMSD (σε cm) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 4 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 - 14/01/2014)

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	8,93	6,52	6,71	4,63	6,30	8,67	14,47	15,39	6,28
	R	9,47	12,34	7,43	21,21	12,60	9,98	5,95	9,31	13,92
	G/R	7,15	7,55	3,64	9,56	6,41	8,37	10,76	5,68	9,45
	G/E	10,96	6,57	6,71	12,12	8,42	8,67	19,71	12,32	6,28
	G/C	14,73	5,52	5,94	13,41	6,30	8,67	13,92	11,01	12,33
	G/R/E/C	12,22	6,53	4,53	7,81	5,15	8,37	15,55	11,37	5,65
East	G	16,29	8,88	6,40	10,92	4,28	4,71	4,81	13,55	2,64
	R	31,56	8,16	16,70	7,10	18,11	10,21	9,62	8,09	18,88
	G/R	12,95	7,94	9,24	7,44	9,43	5,72	6,92	11,19	6,85
	G/E	15,13	8,71	6,40	10,52	19,14	4,71	2,78	9,21	2,79
	G/C	21,87	41,07	31,02	13,72	4,28	4,71	38,54	14,83	39,91
	G/R/E/C	8,26	20,06	12,49	6,50	3,59	5,72	21,53	4,17	15,41
Up	G	23,96	6,20	7,39	10,09	10,97	12,48	17,36	10,62	5,98
	R	28,48	42,82	15,61	20,01	14,06	63,20	22,41	81,08	50,47
	G/R	14,70	12,08	5,55	9,66	10,57	15,61	15,96	19,51	7,89
	G/E	12,28	6,66	7,39	18,04	12,58	12,48	23,14	11,54	6,01
	G/C	15,47	33,92	31,31	25,24	10,97	12,48	18,20	31,48	16,38
	G/R/E/C	8,50	37,38	27,81	25,11	11,92	15,61	8,85	31,12	21,03



**Πίνακας 6:** Τιμές RMSD (σε cm) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 2 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 - 14/01/2014)

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	12,36	22,33	8,71	8,20	11,23	11,07	8,68	8,56	6,44
	R	15,62	7,96	45,91	34,83	42,93	10,82	35,55	21,21	27,42
	G/R	11,94	14,96	14,02	3,64	8,44	8,52	13,46	9,54	5,07
	G/E	10,61	11,05	8,71	8,20	18,23	11,25	8,68	16,40	10,55
	G/C	12,36	19,87	25,34	10,58	11,23	11,07	8,68	8,56	33,62
	G/R/E/C	9,52	6,58	6,93	8,80	5,44	8,55	13,46	9,44	8,77
East	G	12,65	6,55	10,44	11,59	11,69	11,14	6,29	8,07	11,86
	R	11,36	24,49	52,59	102,43	22,93	18,46	52,35	57,53	18,67
	G/R	9,73	5,72	12,92	14,19	8,13	8,42	10,92	13,19	11,80
	G/E	8,61	41,06	10,44	11,59	17,28	11,63	6,29	7,42	33,35
	G/C	12,65	27,29	40,80	18,15	11,69	11,14	6,29	8,07	29,85
	G/R/E/C	5,44	42,91	30,78	22,92	11,75	8,76	10,92	4,77	36,28
Up	G	31,65	39,43	15,75	18,97	12,86	20,02	14,51	13,54	20,56
	R	25,77	73,73	46,57	126,25	60,47	61,99	75,00	82,48	29,67
	G/R	19,74	25,67	9,30	9,22	21,08	18,70	14,77	20,54	21,90
	G/E	25,00	39,75	15,75	18,97	54,84	20,49	14,51	25,33	22,32
	G/C	31,65	48,89	17,37	39,07	12,86	20,02	14,51	13,54	43,85
	G/R/E/C	22,33	44,32	10,64	12,70	16,07	18,73	14,77	27,61	12,06

**Πίνακας 7:** Τιμές RMSD (σε cm) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 30 λεπτών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	26,38	17,02	14,51	16,42	47,73	29,71	19,72	23,27	33,97
	R	14,07	45,17	100,78	54,81	21,47	22,26	73,18	50,44	53,81
	G/R	18,80	18,71	45,71	19,68	19,67	17,33	27,62	19,11	18,11
	G/E	81,64	17,02	66,09	17,41	47,73	36,12	37,35	26,98	33,97
	G/C	141,68	54,15	14,51	16,42	68,25	19,59	143,33	122,16	69,29
	G/R/E/C	104,62	23,47	15,92	33,24	33,51	6,56	38,12	98,35	16,65
East	G	15,17	19,50	20,00	15,73	14,64	29,86	23,29	31,37	17,45
	R	86,01	123,66	91,44	41,94	86,04	55,26	80,38	27,67	51,04
	G/R	14,64	9,24	21,04	22,19	13,36	17,83	26,88	28,27	11,24
	G/E	15,50	19,50	53,83	19,70	14,64	33,93	16,11	30,90	17,45
	G/C	26,13	46,38	19,91	15,73	33,53	76,42	22,31	31,20	66,79
	G/R/E/C	35,63	49,25	51,81	9,99	25,01	61,82	18,68	30,57	59,91
Up	G	14,27	40,90	38,84	29,08	30,18	40,14	79,44	16,04	30,84
	R	31,71	54,30	45,66	54,15	59,69	25,63	32,28	54,68	19,00
	G/R	11,18	37,05	40,24	18,66	30,04	31,50	69,59	20,49	26,62
	G/E	37,78	40,90	50,86	79,84	30,18	30,16	145,72	34,85	30,84
	G/C	136,99	92,38	38,85	29,08	50,89	29,49	71,73	33,67	56,76
	G/R/E/C	109,73	79,33	52,29	45,16	37,86	20,11	61,93	16,28	28,41

**Πίνακας 8:** Τιμές RMSD (σε cm) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό CUT0 για διάρκεια παρατηρήσεων 12 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 - 14/01/2014)

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	9,24	6,14	9,83	9,02	3,39	11,66	4,87	4,86	7,48
	R	123,03	22,11	36,18	161,12	94,53	25,65	44,90	105,11	62,95
	G/R	7,75	4,98	6,32	7,20	4,03	7,57	3,91	2,95	6,04
	G/E	4,99	6,80	9,78	3,80	5,24	11,54	4,86	2,63	7,47
	G/C	4,75	3,33	7,56	2,05	3,28	7,19	2,35	5,32	3,55
	G/R/E/C	2,46	3,09	5,56	2,08	2,51	4,85	2,12	3,14	3,56
East	G	4,78	6,36	4,79	3,28	3,83	9,72	5,56	7,76	6,60
	R	239,27	21,04	20,06	185,84	100,40	45,36	63,45	175,92	202,79
	G/R	4,83	5,35	3,86	2,79	2,80	6,14	4,60	6,44	5,48
	G/E	4,62	6,59	4,19	4,35	13,01	8,52	5,61	7,02	6,64
	G/C	9,20	6,48	4,10	4,39	5,52	8,08	12,06	6,23	10,52
	G/R/E/C	5,82	5,67	4,32	2,53	9,99	5,33	9,83	5,37	8,58
Up	G	13,22	14,43	12,69	5,77	13,68	13,82	18,09	8,42	10,21
	R	1884,06	266,69	498,41	2942,07	1276,00	436,08	621,05	1832,42	1469,23
	G/R	7,90	12,01	10,83	3,91	12,37	10,81	12,36	4,94	10,35
	G/E	9,12	13,73	12,56	10,03	6,99	14,99	18,09	5,38	10,21
	G/C	8,17	9,53	12,57	8,06	8,22	22,26	20,53	8,13	9,00
	G/R/E/C	4,44	9,15	10,46	9,03	4,95	16,73	15,29	5,44	7,72

**Πίνακας 9:** Τιμές RMSD (σε cm) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό CUTO για διάρκεια παρατηρήσεων 6 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	13,11	13,49	14,86	16,86	14,06	3,16	7,55	6,16	9,30
	R	6,90	401,57	138,36	45,19	27,16	16,72	91,84	17,87	40,20
	G/R	6,76	4,40	4,40	7,50	4,20	3,15	4,20	7,55	4,63
	G/E	11,77	13,76	14,86	12,29	5,90	5,02	7,55	7,67	20,36
	G/C	14,25	18,55	12,60	13,15	14,22	16,43	12,19	8,05	17,29
	G/R/E/C	11,06	10,68	10,29	9,05	4,81	10,59	8,22	4,72	16,13
East	G	8,71	11,87	12,05	8,22	12,98	10,44	12,16	15,62	12,73
	R	16,45	1549,05	274,61	191,45	55,05	55,51	235,41	98,25	260,94
	G/R	5,11	7,95	7,85	4,95	8,05	5,92	9,37	10,40	8,51
	G/E	11,69	5,79	12,09	6,13	8,47	8,68	12,16	12,97	9,64
	G/C	6,88	6,47	5,21	11,56	7,00	5,63	6,42	8,38	5,93
	G/R/E/C	6,78	5,24	5,45	7,23	5,31	5,64	5,82	6,11	5,82
Up	G	13,06	36,44	42,48	17,18	16,28	17,96	22,49	8,25	10,24
	R	46,77	6553,08	2746,51	2105,18	690,32	282,68	2508,09	621,83	1778,92
	G/R	5,42	17,08	20,24	9,54	7,52	16,90	15,09	6,30	8,39
	G/E	8,79	38,79	42,48	7,65	10,31	9,29	22,49	9,88	10,37
	G/C	10,29	13,67	11,98	21,51	13,55	14,34	10,85	6,52	8,07
	G/R/E/C	6,69	11,26	9,97	17,43	6,62	15,79	8,27	4,66	10,34

**Πίνακας 10:** Τιμές RMSD (σε cm) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό CUT0 για διάρκεια παρατηρήσεων 4 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 - 14/01/2014)

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	7,15	14,56	19,80	10,54	9,80	5,78	6,57	5,29	5,56
	R	312,81	322,79	59,57	176,61	247,28	316,68	16,80	281,44	202,57
	G/R	5,55	10,09	13,56	7,39	5,93	3,80	4,18	4,26	3,62
	G/E	7,15	19,68	21,79	10,54	3,95	10,52	6,51	5,29	7,97
	G/C	12,52	11,43	24,81	12,21	14,33	6,89	11,50	6,85	12,20
	G/R/E/C	8,28	8,61	19,76	10,07	10,34	4,72	8,19	5,67	8,60
East	G	17,29	12,99	8,35	10,52	17,29	10,90	7,76	8,45	14,64
	R	281,70	282,55	14,04	59,32	87,61	50,41	7,52	103,79	93,92
	G/R	10,61	8,23	4,33	6,58	12,34	8,51	5,81	6,10	11,83
	G/E	17,29	13,43	6,85	10,52	14,86	11,56	7,63	8,45	11,18
	G/C	15,62	14,78	6,94	6,73	15,42	10,42	10,10	5,95	15,45
	G/R/E/C	9,28	9,68	3,44	5,14	11,68	7,67	8,09	6,86	10,50
Up	G	17,83	29,48	19,44	12,03	21,33	28,92	23,26	13,91	9,70
	R	3735,26	4678,35	654,61	2975,77	2894,51	4782,66	438,98	4342,22	3183,06
	G/R	16,07	24,74	16,76	9,36	17,53	24,96	22,21	12,59	8,33
	G/E	17,83	17,87	22,95	12,01	25,35	20,46	23,16	13,91	19,55
	G/C	16,37	35,41	19,57	14,75	17,99	25,38	25,79	20,18	11,62
	G/R/E/C	13,42	20,17	12,55	12,32	22,91	15,77	23,98	16,37	14,10

**Πίνακας 11:** Τιμές RMSD (σε cm) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό CUT0 για διάρκεια παρατηρήσεων 2 ωρών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 - 14/01/2014)

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	25,19	27,13	13,26	15,22	25,02	8,80	14,50	27,22	15,91
	R	128,71	50,66	92,75	382,48	82,82	15,53	174,98	62,96	39,29
	G/R	16,19	15,35	13,35	13,12	13,10	6,88	11,00	13,18	9,04
	G/E	25,21	27,13	18,42	8,57	25,02	13,45	10,95	27,22	15,91
	G/C	10,33	24,52	33,05	25,58	18,58	24,77	27,12	6,15	7,94
	G/R/E/C	7,94	17,17	29,10	13,61	13,94	16,27	19,02	3,72	5,53
East	G	17,65	12,91	11,97	24,40	15,98	11,73	15,43	11,70	12,08
	R	313,20	192,14	244,32	540,82	138,00	50,09	195,81	73,12	96,07
	G/R	12,65	7,63	10,19	22,56	10,96	8,72	8,01	9,65	10,13
	G/E	18,44	12,91	35,90	11,25	15,98	12,79	12,60	11,70	12,08
	G/C	7,14	8,43	62,14	11,11	9,48	10,34	10,30	7,43	11,03
	G/R/E/C	6,94	8,75	38,42	8,15	10,49	7,28	6,16	6,97	9,80
Up	G	47,96	16,66	22,50	29,96	26,37	22,69	20,91	25,97	62,13
	R	4180,10	1696,70	4740,80	4884,18	5413,97	2825,15	4009,01	1982,12	1938,04
	G/R	39,01	8,60	17,02	20,75	14,59	24,32	13,66	22,28	53,31
	G/E	48,45	16,66	19,98	16,18	26,37	23,23	21,31	25,97	62,13
	G/C	17,04	23,52	47,03	31,35	12,85	32,54	13,50	24,39	37,33
	G/R/E/C	17,25	14,16	21,37	14,46	9,36	22,07	12,46	21,64	36,05

**Πίνακας 12:** Τιμές RMSD (σε cm) των στατικών PPP λύσεων στον σταθμό CUTO για διάρκεια παρατηρήσεων 30 λεπτών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 - 14/01/2014)

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	10,06	34,53	18,59	23,89	23,31	72,76	40,31	7,22	21,95
	R	43,86	276,91	144,77	236,94	71,69	125,81	248,25	393,60	696,40
	G/R	10,32	29,55	12,71	21,39	26,44	60,13	32,60	6,07	27,14
	G/E	17,25	19,10	26,10	23,89	8,18	71,13	40,31	9,77	19,22
	G/C	25,16	23,91	28,76	21,20	15,50	45,61	29,74	21,46	15,36
	G/R/E/C	20,97	11,09	24,35	18,79	9,83	40,94	25,01	8,00	11,11
East	G	14,06	29,76	27,27	27,16	15,52	29,21	49,64	27,45	46,81
	R	32,86	532,25	212,34	331,76	209,35	253,61	331,29	780,92	804,94
	G/R	11,62	28,95	23,15	19,91	17,71	28,81	44,79	22,59	47,24
	G/E	35,78	17,46	34,06	27,16	51,90	32,22	49,64	45,75	27,00
	G/C	18,35	38,81	33,20	13,80	30,73	45,69	54,60	22,32	20,90
	G/R/E/C	11,58	29,53	34,78	10,59	22,56	42,10	49,36	20,67	11,33
Up	G	58,73	42,27	59,62	45,81	42,55	23,09	48,63	32,90	32,04
	R	215,65	5136,71	2229,83	9612,14	6680,91	6254,84	6284,47	12634,15	9095,64
	G/R	40,71	40,28	42,61	47,19	41,97	21,07	35,41	34,06	18,51
	G/E	76,46	27,48	38,83	45,81	17,89	18,41	48,63	37,78	27,95
	G/C	48,08	69,34	78,40	68,72	112,26	25,44	93,49	71,03	52,72
	G/R/E/C	23,54	40,50	50,60	62,90	55,36	22,93	70,03	62,83	20,25



**Πίνακας 13:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών (forward) PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 1 ώρας, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	29,85	8,07	19,92	20,65	19,07	17,85	21,30	19,36	18,70
	R	39,46	20,25	32,42	74,54	116,98	9,03	35,81	31,64	81,82
	G/R	21,70	5,96	19,95	17,67	39,13	8,01	13,56	17,69	34,54
	G/E	25,01	7,77	19,92	36,20	47,54	17,85	33,82	25,76	18,70
	G/C	64,77	60,61	26,27	20,65	29,90	27,33	70,86	93,88	54,57
	G/R/E/C	17,75	32,06	17,19	8,95	17,67	18,40	33,46	47,13	59,97
East	G	11,95	14,23	13,61	26,81	13,74	21,34	16,72	9,61	10,28
	R	41,15	13,12	32,26	27,45	39,60	13,86	79,34	29,64	27,29
	G/R	14,67	8,65	5,29	15,11	8,47	4,77	10,85	7,98	8,66
	G/E	32,91	14,07	13,61	86,11	31,94	21,34	64,92	14,30	10,28
	G/C	106,77	91,06	42,04	26,81	19,34	87,97	74,68	54,41	49,15
	G/R/E/C	30,90	42,29	20,17	51,60	14,46	53,09	47,19	11,45	34,99
Up	G	36,77	14,64	44,58	68,33	50,32	52,66	67,73	53,88	49,04
	R	83,23	136,97	40,18	29,10	25,47	186,43	87,25	40,11	70,28
	G/R	36,98	31,52	30,82	29,85	39,57	12,06	38,27	25,04	52,03
	G/E	61,37	14,91	44,58	123,53	58,86	52,66	84,95	85,23	49,04
	G/C	116,89	99,02	56,08	68,33	22,00	79,22	109,55	117,21	62,50
	G/R/E/C	62,01	57,58	25,29	65,04	9,74	23,62	27,04	40,22	63,06

**Πίνακας 14:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών (forward) PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 15 λεπτών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 - 14/01/2014)

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	13,23	156,60	29,75	31,62	29,20	31,53	27,51	35,13	21,53
	R	21,50	432,27	38,28	84,59	20,94	80,13	45,12	49,21	29,51
	G/R	19,81	228,71	11,98	48,09	21,73	45,48	18,60	39,54	13,77
	G/E	95,14	185,04	29,75	34,96	125,11	31,03	27,51	21,93	23,82
	G/C	88,92	169,66	96,50	110,97	29,20	31,53	98,90	89,17	44,61
	G/R/E/C	29,29	244,09	86,24	48,09	93,27	45,38	61,75	24,85	33,60
East	G	63,48	136,25	43,76	32,95	26,52	50,19	34,14	44,32	34,12
	R	40,69	247,45	186,62	22,49	55,46	20,98	109,52	14,64	16,67
	G/R	50,10	60,55	69,72	27,79	15,97	36,31	48,56	34,96	27,05
	G/E	59,13	98,93	43,76	33,26	42,18	23,13	34,14	16,21	56,68
	G/C	22,92	57,43	119,10	118,26	26,52	50,19	94,55	62,14	81,48
	G/R/E/C	17,46	151,63	75,46	108,70	43,91	15,36	97,61	29,50	92,92
Up	G	40,93	214,78	19,56	64,00	28,26	36,79	52,47	57,23	27,43
	R	118,47	483,02	160,68	50,19	96,45	30,05	65,10	74,67	100,89
	G/R	36,22	169,47	36,57	49,79	33,58	26,43	34,47	29,80	21,18
	G/E	54,81	130,31	19,56	69,60	102,89	62,73	52,51	65,64	36,23
	G/C	112,85	207,67	152,15	213,30	28,26	36,79	130,92	172,22	55,29
	G/R/E/C	84,39	160,66	83,36	153,74	66,37	46,10	58,15	95,82	22,52

**Πίνακας 15:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών (backward) PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 1 ώρα, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	32,22	45,08	22,72	41,95	45,37	33,34	31,36	28,23	33,14
	R	12,26	49,48	46,32	79,63	11,99	37,58	54,65	49,00	19,24
	G/R	18,81	38,34	12,56	16,69	19,40	27,65	20,09	22,41	18,53
	G/E	48,54	45,08	21,32	68,49	45,37	43,36	26,33	28,23	33,14
	G/C	60,18	25,35	22,72	43,23	17,37	47,64	131,43	29,82	33,09
	G/R/E/C	18,25	11,65	12,27	22,08	15,96	30,83	32,07	27,07	14,78
East	G	9,83	7,72	8,71	10,10	13,64	7,49	10,58	10,52	16,24
	R	17,65	30,97	36,34	56,50	11,58	49,06	51,93	79,36	45,32
	G/R	5,97	9,99	8,40	10,91	9,95	6,98	6,38	8,94	12,84
	G/E	9,89	7,72	53,99	18,10	13,64	32,17	11,98	10,52	16,24
	G/C	60,69	40,98	8,71	9,40	55,75	35,47	12,73	49,55	43,18
	G/R/E/C	49,99	37,62	37,07	7,76	41,74	38,07	5,08	32,73	42,78
Up	G	45,95	96,77	60,46	75,87	71,40	64,70	67,77	66,65	57,26
	R	101,41	41,54	114,67	135,23	105,48	88,16	102,06	122,55	52,10
	G/R	20,95	58,61	46,59	31,65	27,78	45,70	33,31	31,97	31,87
	G/E	41,13	96,77	83,22	86,33	71,40	61,25	95,75	66,65	57,26
	G/C	111,83	44,45	60,43	73,90	51,91	110,91	189,51	101,04	37,74
	G/R/E/C	56,38	23,07	57,43	31,89	20,98	63,46	93,49	69,41	22,14

**Πίνακας 16:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών (backward) PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 15 λεπτών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	166,12	19,86	53,66	19,43	25,94	45,80	27,92	37,18	31,67
	R	267,09	54,66	76,49	48,91	91,73	71,44	49,24	34,62	140,42
	G/R	134,32	16,06	20,10	16,74	46,38	13,90	11,66	17,20	58,21
	G/E	148,83	19,86	53,65	86,61	25,50	45,80	11,97	54,82	31,67
	G/C	150,37	91,38	144,83	19,43	25,94	125,15	128,47	87,83	27,25
	G/R/E/C	164,85	82,43	79,77	68,01	46,80	53,64	42,97	60,61	41,96
East	G	155,12	53,04	46,59	53,79	32,58	31,82	35,78	35,90	43,76
	R	141,17	130,57	45,97	44,38	11,43	104,81	15,80	26,40	45,87
	G/R	107,91	67,97	44,20	36,53	25,78	42,42	27,49	21,93	41,18
	G/E	73,17	53,04	46,62	22,70	13,91	31,82	10,02	58,96	43,76
	G/C	55,36	99,38	85,92	53,79	32,58	98,41	60,37	78,04	114,30
	G/R/E/C	114,66	64,34	76,79	23,49	12,37	95,36	23,02	96,14	86,75
Up	G	84,12	19,22	60,01	46,10	65,40	67,25	107,84	61,36	86,53
	R	461,38	108,85	95,95	73,98	54,40	43,20	87,81	183,15	200,17
	G/R	144,56	20,14	46,45	44,96	35,13	49,62	51,62	76,77	23,95
	G/E	82,18	19,22	63,09	99,94	97,20	67,25	89,54	28,04	86,56
	G/C	84,06	124,40	153,15	46,10	65,40	151,69	191,32	51,08	181,59
	G/R/E/C	152,73	78,50	112,56	67,46	59,36	86,48	93,26	28,20	111,70

**Πίνακας 17:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών (combined) PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 1 ώρα, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	6,91	17,08	18,82	20,83	17,31	20,01	19,32	15,30	18,04
	R	6,20	10,28	33,32	42,49	5,26	21,52	8,95	42,73	11,61
	G/R	3,39	6,61	7,49	15,16	3,92	8,81	6,79	17,71	3,16
	G/E	7,41	17,08	19,09	35,32	17,31	25,86	16,25	15,30	18,04
	G/C	50,84	23,06	18,81	19,28	12,00	40,56	70,15	20,37	22,30
	G/R/E/C	17,05	3,63	3,49	5,54	8,24	10,54	20,00	25,84	6,47
East	G	7,98	8,42	10,83	10,53	11,50	7,06	8,35	7,20	6,75
	R	7,92	15,23	25,88	29,79	9,41	50,21	25,69	26,42	12,47
	G/R	3,76	3,65	3,28	5,28	4,35	7,53	4,77	6,28	7,08
	G/E	7,35	8,42	49,84	16,67	11,50	34,51	8,89	7,20	6,75
	G/C	66,44	33,95	10,83	9,44	47,86	32,04	29,33	35,21	31,52
	G/R/E/C	27,72	15,58	23,69	2,92	26,59	19,20	2,81	22,39	23,12
Up	G	15,45	45,26	44,75	44,31	35,13	49,83	36,75	33,25	36,55
	R	89,26	38,64	57,67	42,42	104,18	64,90	47,71	52,03	51,70
	G/R	9,11	25,93	13,10	15,18	7,43	21,85	10,73	21,49	9,19
	G/E	11,50	45,26	57,87	58,66	35,13	59,51	38,25	33,25	36,55
	G/C	103,79	51,24	44,75	27,23	32,87	78,45	113,69	27,24	32,37
	G/R/E/C	27,66	19,02	19,73	5,29	8,67	16,36	22,88	22,22	6,49

**Πίνακας 18:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών (combined) PPP λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 15 λεπτών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	117,65	14,63	7,88	7,57	21,87	24,28	12,29	29,18	28,63
	R	257,55	19,12	47,60	9,96	54,22	28,74	23,44	14,38	59,02
	G/R	133,07	4,89	16,79	6,14	28,80	5,48	7,26	14,22	28,34
	G/E	128,54	14,63	7,36	68,01	25,56	24,28	3,36	31,05	28,63
	G/C	119,16	89,74	109,16	7,57	21,87	99,38	83,31	48,30	19,51
	G/R/E/C	153,79	66,86	52,43	47,09	32,41	39,71	25,65	39,84	32,08
East	G	147,92	43,92	35,94	39,38	34,89	30,25	36,11	35,18	40,76
	R	201,20	146,15	22,66	27,89	14,26	87,81	12,26	10,44	32,21
	G/R	80,29	62,61	32,13	25,69	25,31	40,50	28,01	23,34	37,96
	G/E	75,68	43,92	36,16	33,09	10,66	30,25	6,86	51,85	40,76
	G/C	45,27	106,40	97,44	39,38	34,89	90,35	53,46	73,38	108,56
	G/R/E/C	129,83	67,85	86,96	32,50	6,41	86,79	20,93	88,63	79,65
Up	G	120,97	5,99	53,62	14,95	44,36	49,46	15,04	28,38	47,97
	R	389,95	127,66	60,26	40,47	14,03	31,44	57,00	88,45	88,23
	G/R	107,65	12,74	42,08	17,04	30,42	21,33	5,19	17,18	15,96
	G/E	54,92	5,99	56,90	40,27	56,78	49,46	16,90	21,30	47,98
	G/C	103,44	149,48	189,93	14,95	44,36	150,41	67,38	21,96	86,25
	G/R/E/C	90,69	88,50	122,85	23,63	40,52	56,50	33,59	21,14	72,04

**Πίνακας 19:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών (forward) PPP λύσεων στον σταθμό CUT0 για διάρκεια παρατηρήσεων 1 ώρας, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	34,10	36,17	38,94	42,34	38,42	9,77	21,73	19,45	30,28
	R	28,38	5103,78	3020,96	3693,54	1153,46	709,31	3451,88	1511,90	3642,55
	G/R	16,56	11,55	12,83	18,98	11,50	8,27	11,07	18,38	14,15
	G/E	29,31	36,98	38,94	32,47	14,90	14,02	21,73	18,72	61,75
	G/C	49,66	52,46	34,58	36,29	38,78	45,59	38,04	25,48	46,78
	G/R/E/C	29,93	29,63	26,65	23,49	12,75	26,81	22,84	11,89	42,37
East	G	18,41	32,37	33,55	25,36	39,37	29,28	34,48	45,24	36,34
	R	41,39	8846,62	1477,40	1989,75	594,63	473,61	1825,81	1062,04	2751,51
	G/R	10,56	19,29	23,21	16,35	26,38	16,84	28,82	31,04	24,74
	G/E	30,20	12,67	33,55	20,43	18,14	29,32	34,48	25,47	29,56
	G/C	17,69	14,72	13,96	33,69	25,04	12,38	11,35	20,97	13,82
	G/R/E/C	15,55	11,43	11,99	19,39	15,58	13,44	17,19	16,39	14,08
Up	G	37,14	96,19	106,23	37,72	48,82	45,94	58,99	24,48	29,55
	R	181,68	38853,44	16114,52	17401,69	5252,63	2394,11	16641,96	5479,14	13081,36
	G/R	14,51	43,92	51,41	22,19	26,56	42,83	38,11	19,78	22,53
	G/E	31,66	101,49	106,23	18,15	29,12	24,09	58,99	20,00	21,44
	G/C	47,38	38,51	48,80	56,04	43,06	49,47	34,46	24,62	23,88
	G/R/E/C	19,96	28,16	35,65	43,90	20,83	44,27	23,36	13,67	26,50



**Πίνακας 20:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών (forward) PPP λύσεων στον σταθμό CUT0 για διάρκεια παρατηρήσεων 15 λεπτών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	30,18	40,71	26,62	41,53	24,57	23,83	43,26	37,88	46,29
	R	257,61	900,88	1346,95	446,84	1237,11	729,74	255,66	453,87	263,27
	G/R	40,49	30,87	22,18	38,48	21,14	29,56	26,03	25,01	33,03
	G/E	30,18	40,25	27,70	41,53	21,43	16,85	43,26	35,77	63,35
	G/C	13,76	31,19	19,32	36,15	32,56	29,87	67,10	46,15	43,05
	G/R/E/C	22,53	25,08	12,21	26,25	8,38	20,07	47,58	25,54	40,83
East	G	28,81	48,21	37,76	38,85	26,74	42,07	30,88	22,93	22,34
	R	315,87	1290,21	1795,81	760,37	2430,46	4221,42	960,13	701,06	669,06
	G/R	29,47	42,00	31,81	32,76	25,30	40,34	28,18	15,54	18,46
	G/E	28,81	56,75	62,79	38,85	35,71	29,61	30,88	22,47	25,05
	G/C	43,46	49,13	25,76	35,48	32,81	38,05	22,11	28,93	27,07
	G/R/E/C	42,56	45,30	32,14	29,85	29,43	27,48	22,01	22,98	20,41
Up	G	56,94	61,27	25,56	25,58	69,60	101,08	84,52	130,04	41,42
	R	3630,59	14844,74	19836,08	6631,55	20777,46	23181,73	5664,56	5397,71	5102,79
	G/R	25,83	62,09	20,67	28,28	65,08	74,45	42,39	78,98	61,33
	G/E	56,94	40,98	26,12	25,58	50,48	73,13	84,52	129,50	48,46
	G/C	39,40	54,45	31,40	73,93	64,93	36,73	81,04	90,78	33,71
	G/R/E/C	52,19	49,20	30,86	67,26	39,19	34,88	45,96	45,81	57,45

**Πίνακας 21:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών (backward) PPP λύσεων στον σταθμό CUT0 για διάρκεια παρατηρήσεων 1 ώρας, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	33,72	18,96	32,40	30,98	23,03	10,70	19,26	13,55	22,61
	R	31,92	4939,39	2753,68	2963,73	1031,62	1211,44	2736,79	1928,74	4104,46
	G/R	18,35	15,31	23,37	20,62	12,47	10,64	14,25	6,45	14,20
	G/E	34,39	13,48	32,40	26,26	10,97	13,06	19,26	8,85	26,04
	G/C	53,71	38,99	22,77	40,01	25,00	25,72	18,39	16,99	18,72
	G/R/E/C	36,72	16,60	14,42	29,40	11,54	17,79	10,81	7,38	13,23
East	G	32,90	46,49	47,98	45,24	44,52	30,52	26,73	30,10	23,22
	R	43,26	6006,11	5017,85	3970,30	1193,65	1195,28	2494,25	1807,79	3142,42
	G/R	21,31	32,57	44,00	33,85	25,96	28,20	20,56	24,81	21,85
	G/E	44,86	18,48	47,98	43,41	15,55	29,28	26,73	50,94	20,02
	G/C	18,76	32,27	20,57	14,69	42,84	18,88	24,20	24,71	15,34
	G/R/E/C	20,48	19,47	26,94	14,59	15,67	17,92	22,75	29,87	12,42
Up	G	59,95	56,30	90,11	44,79	25,19	48,69	39,04	11,11	33,66
	R	159,37	24092,21	21344,67	20809,74	6719,64	7091,47	14957,84	11167,21	20120,73
	G/R	47,63	40,43	59,02	26,58	12,63	41,68	38,09	13,03	22,62
	G/E	55,58	54,88	90,11	37,86	23,53	31,23	39,04	35,53	30,57
	G/C	89,72	26,56	101,78	43,34	53,39	15,51	53,47	23,67	41,96
	G/R/E/C	79,45	16,14	89,41	31,47	37,11	22,16	51,09	33,91	29,30

**Πίνακας 22:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών (backward) PPP λύσεων στον σταθμό CUT0 για διάρκεια παρατηρήσεων 15 λεπτών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	29,36	46,61	43,91	31,29	91,65	43,73	34,26	22,45	46,60
	R	372,61	871,86	1271,02	498,95	708,95	885,90	131,14	257,10	373,02
	G/R	25,51	31,54	21,23	34,31	55,89	22,77	24,79	16,25	33,53
	G/E	29,36	38,37	43,41	31,29	23,91	56,80	34,27	27,96	72,07
	G/C	33,21	36,60	55,48	41,62	80,43	40,85	85,76	21,78	63,05
	G/R/E/C	27,86	21,58	35,28	27,87	25,02	28,41	64,97	15,31	57,82
East	G	37,16	54,88	29,35	46,94	41,04	37,70	26,72	56,19	43,40
	R	176,44	806,58	1813,23	854,22	1766,14	3457,78	959,44	450,18	722,39
	G/R	27,15	32,51	23,04	35,48	27,32	39,87	28,68	57,72	24,74
	G/E	37,16	60,58	29,22	46,94	67,05	25,35	26,72	42,03	42,37
	G/C	33,87	66,70	31,35	27,81	33,73	35,88	35,25	38,17	39,76
	G/R/E/C	29,40	55,71	27,79	21,15	32,28	28,68	30,37	38,32	27,84
Up	G	51,07	92,43	75,35	95,96	151,98	91,81	63,18	62,21	128,76
	R	3064,12	12108,54	20808,52	8414,04	14530,33	20189,20	5511,62	3840,30	6308,96
	G/R	29,79	57,74	39,49	60,71	83,39	59,05	41,72	75,83	87,21
	G/E	51,07	96,57	69,29	95,96	53,71	83,97	63,15	80,36	118,86
	G/C	33,68	116,41	71,92	85,71	70,61	47,19	114,78	45,75	118,88
	G/R/E/C	37,14	81,91	44,68	66,54	36,13	28,79	87,99	78,73	76,13

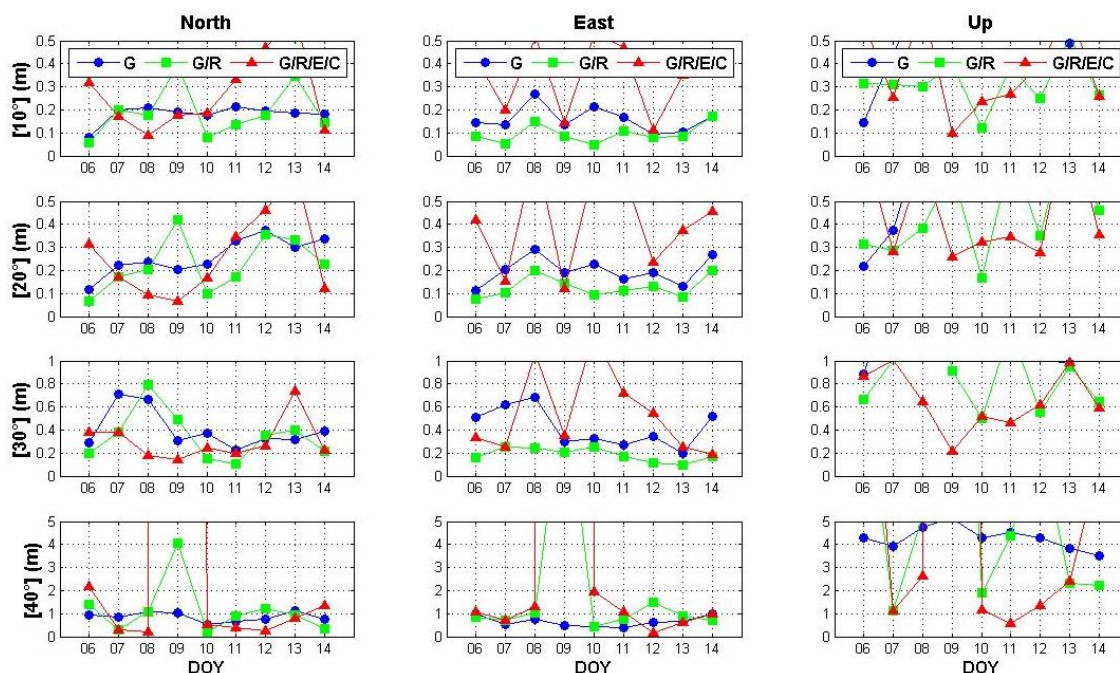
**Πίνακας 23:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών (combined) PPP λύσεων στον σταθμό CUT0 για διάρκεια παρατηρήσεων 1 ώρας, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	G	29,63	9,71	28,11	22,26	17,04	6,74	10,46	11,93	16,21
	R	21,79	5770,16	2944,04	3459,09	1102,37	894,66	3131,94	1676,30	3716,04
	G/R	13,14	9,74	8,82	9,11	5,67	4,93	8,49	2,28	7,31
	G/E	25,50	11,03	28,11	14,74	6,26	9,45	10,46	5,90	23,41
	G/C	23,65	15,99	18,21	25,56	10,51	18,79	13,88	17,29	14,03
	G/R/E/C	12,48	8,34	13,43	16,19	4,36	11,63	7,59	5,30	12,26
East	G	19,45	30,00	37,70	32,16	40,80	19,84	26,90	20,86	23,77
	R	21,64	3472,36	3617,60	3296,50	973,78	835,46	2378,10	1397,10	2847,00
	G/R	8,90	15,40	24,58	21,71	20,94	11,85	20,22	11,23	14,90
	G/E	27,11	9,82	37,70	26,95	6,31	21,23	26,90	24,74	20,15
	G/C	6,47	5,98	7,09	15,79	28,08	8,53	14,78	14,12	7,88
	G/R/E/C	9,76	5,11	10,68	6,34	12,53	7,50	18,12	5,96	7,59
Up	G	30,23	34,87	74,59	25,61	24,94	41,44	24,51	5,65	19,42
	R	152,47	19452,59	17745,84	18185,97	5392,45	3981,64	14084,40	6871,32	13443,12
	G/R	9,44	17,20	32,02	11,79	12,01	37,25	17,84	9,21	12,08
	G/E	25,75	40,52	74,59	10,47	12,75	20,58	24,51	8,11	16,85
	G/C	11,98	10,30	23,65	40,72	33,35	11,78	20,24	11,45	15,90
	G/R/E/C	7,82	8,37	20,22	27,12	18,82	15,34	15,77	7,48	11,90

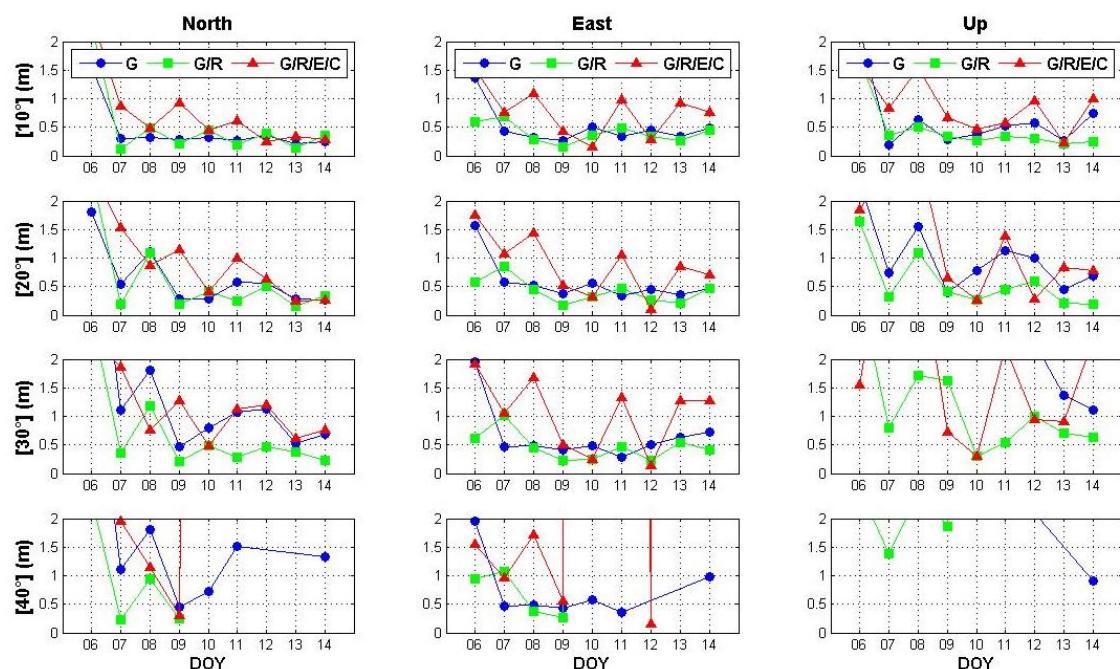
**Πίνακας 24:** Τιμές RMSD (σε cm) των κινηματικών (combined) PPP λύσεων στον σταθμό CUT0 για διάρκεια παρατηρήσεων 15 λεπτών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

Direction	System	DOY								
		006	007	008	009	010	011	012	013	014
North	<b>G</b>	18,38	36,77	12,03	30,54	26,32	11,12	35,95	13,00	33,96
	<b>R</b>	175,53	515,80	614,11	222,52	576,04	887,02	239,30	228,96	211,31
	<b>G/R</b>	19,75	28,36	5,61	32,25	18,08	9,52	20,69	4,95	27,09
	<b>G/E</b>	18,38	33,07	11,73	30,54	17,70	24,18	35,95	3,74	53,03
	<b>G/C</b>	11,23	19,04	21,29	35,39	39,79	26,26	58,76	22,50	40,83
	<b>G/R/E/C</b>	4,39	16,64	11,82	22,96	12,17	17,25	39,27	7,26	41,48
East	<b>G</b>	13,79	15,54	22,33	33,09	20,00	24,74	16,68	21,53	19,51
	<b>R</b>	265,08	1094,10	1811,02	800,29	2039,55	3751,74	894,87	545,64	613,26
	<b>G/R</b>	11,48	9,67	18,71	28,24	18,29	24,27	16,49	20,13	13,98
	<b>G/E</b>	13,79	29,48	32,96	33,09	38,40	16,70	16,68	7,50	24,39
	<b>G/C</b>	10,72	21,55	10,00	23,58	14,59	26,84	12,74	12,22	25,24
	<b>G/R/E/C</b>	12,99	28,31	11,23	17,90	17,20	15,88	13,47	14,05	19,65
Up	<b>G</b>	24,40	38,14	15,61	24,88	63,00	79,67	64,82	63,13	35,27
	<b>R</b>	2537,23	10630,20	16381,69	6245,67	15539,69	17668,87	4425,11	4132,52	5383,95
	<b>G/R</b>	10,44	19,94	13,67	13,60	52,22	52,15	36,12	38,59	26,43
	<b>G/E</b>	24,40	34,61	15,26	24,88	20,38	63,75	64,82	50,61	37,53
	<b>G/C</b>	27,77	45,40	17,30	55,91	15,26	22,25	65,49	34,20	27,25
	<b>G/R/E/C</b>	26,42	40,63	19,51	55,27	18,17	10,66	45,24	12,68	23,70

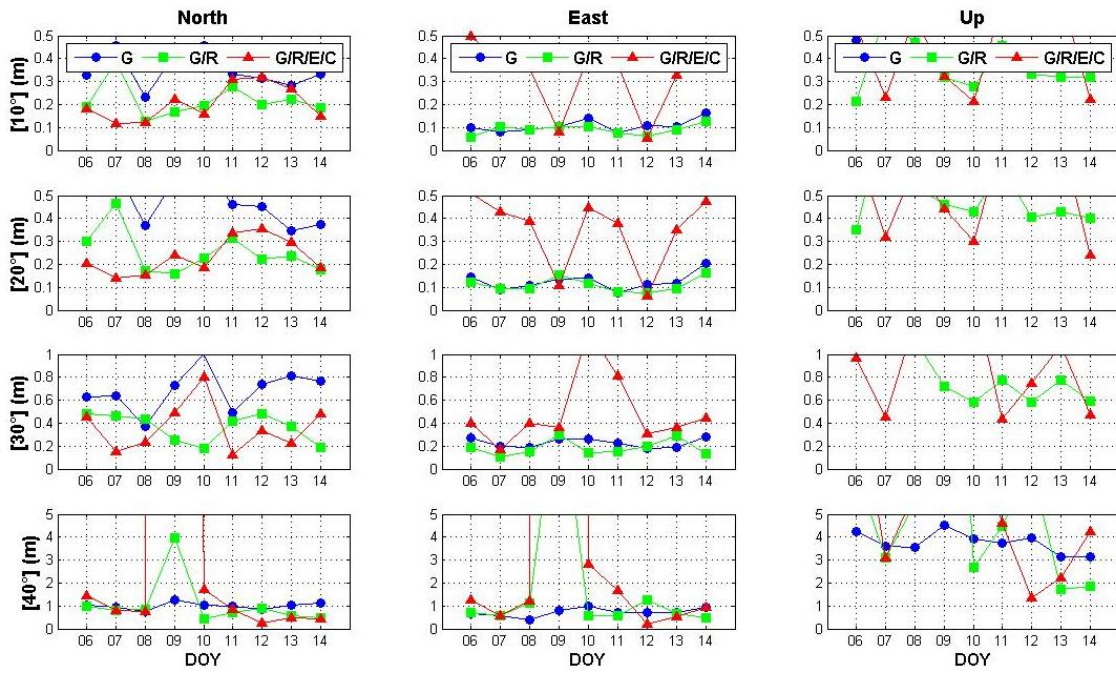
**Σχήμα 1:** Τιμές RMSD (σε m) των κινηματικών PPP (forward) λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 1 ώρας, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)



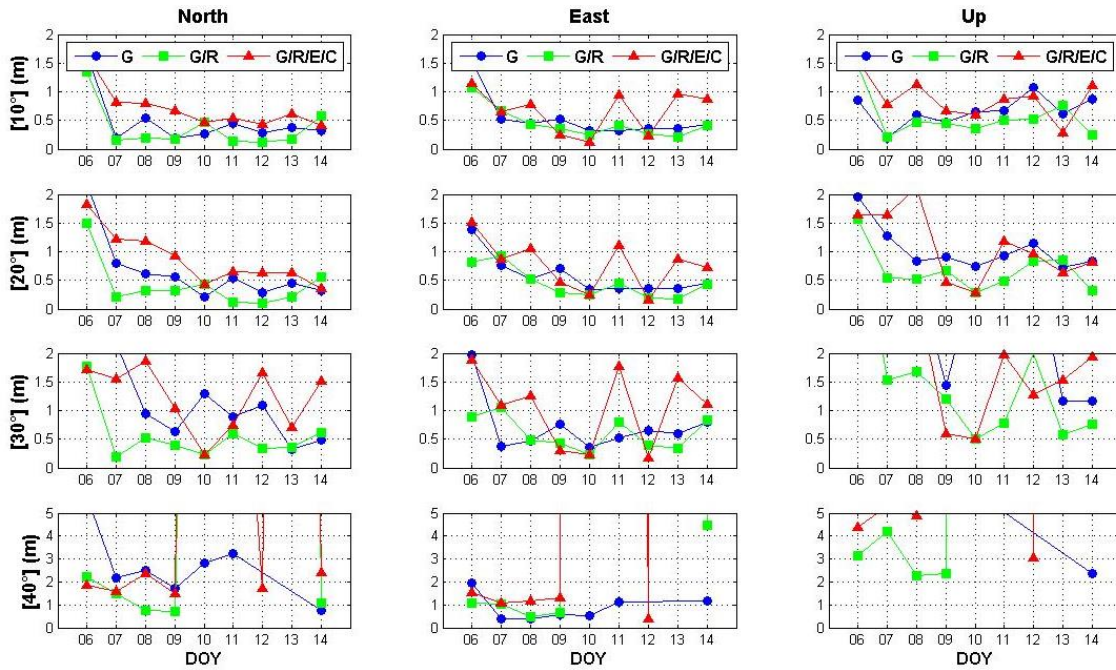
**Σχήμα 2:** Τιμές RMSD (σε m) των κινηματικών PPP (forward) λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 15 λεπτών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)



**Σχήμα 3:** Τιμές RMSD (σε m) των κινηματικών PPP (backward) λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 1 ώρας, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

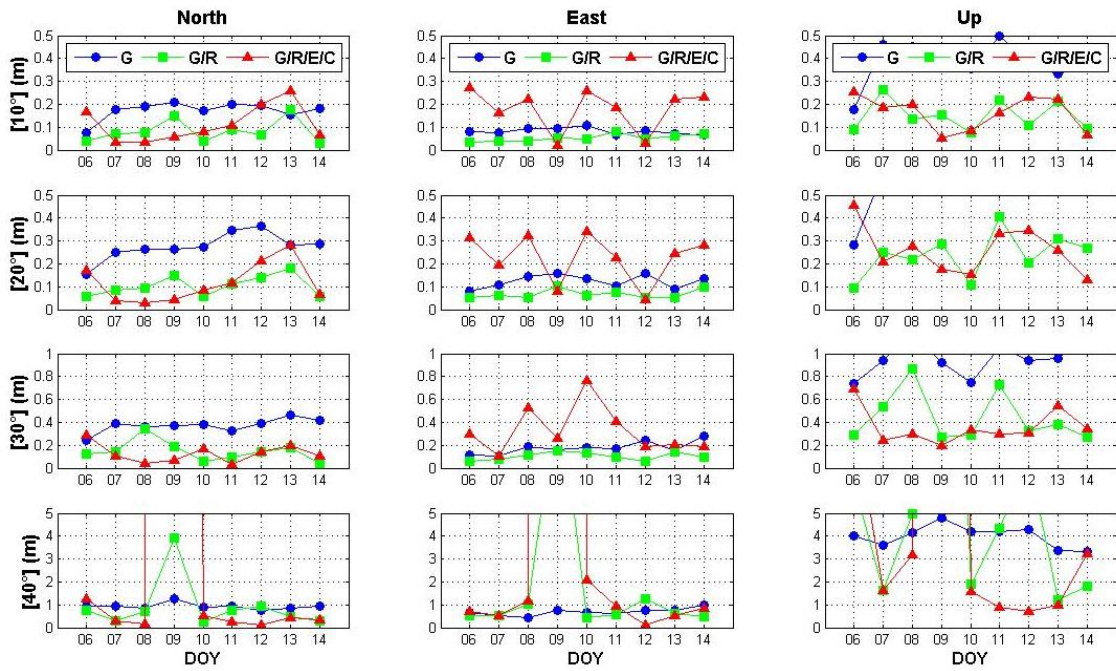


**Σχήμα 4:** Τιμές RMSD (σε m) των κινηματικών PPP (backward) λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 15 λεπτών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

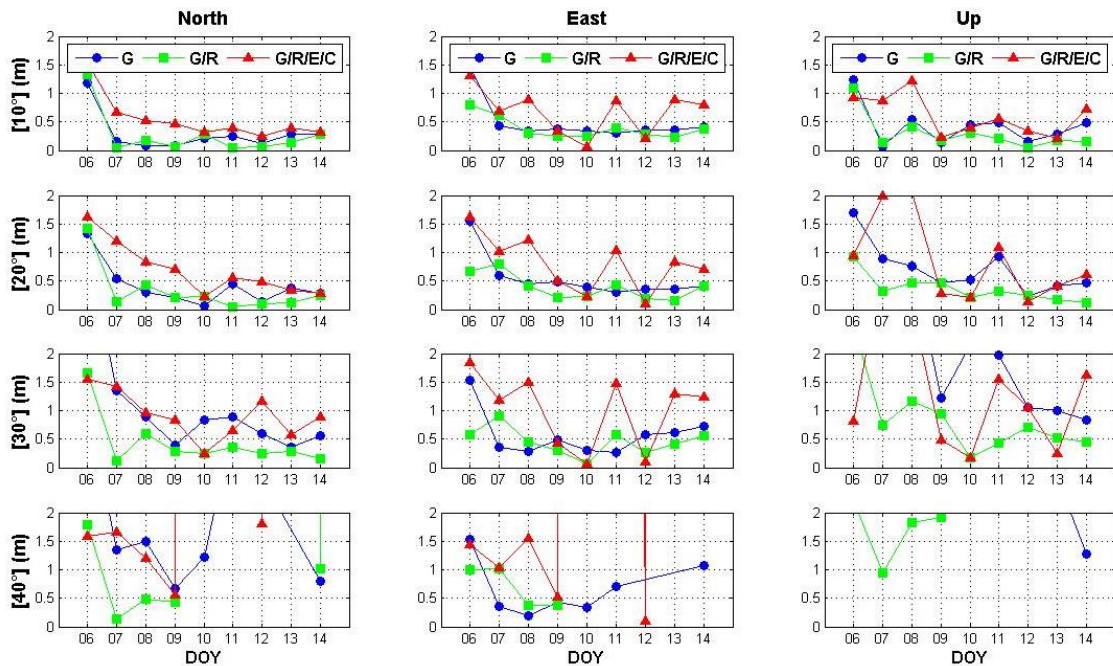




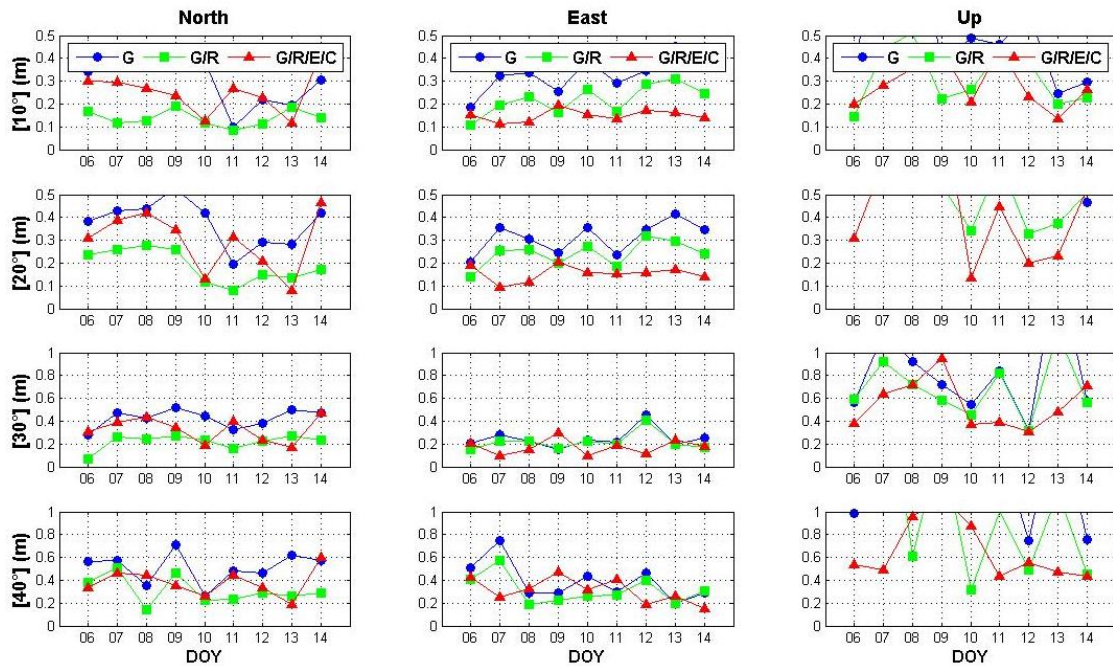
**Σχήμα 5:** Τιμές RMSD (σε m) των κινηματικών PPP (combined) λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 1 ώρας, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)



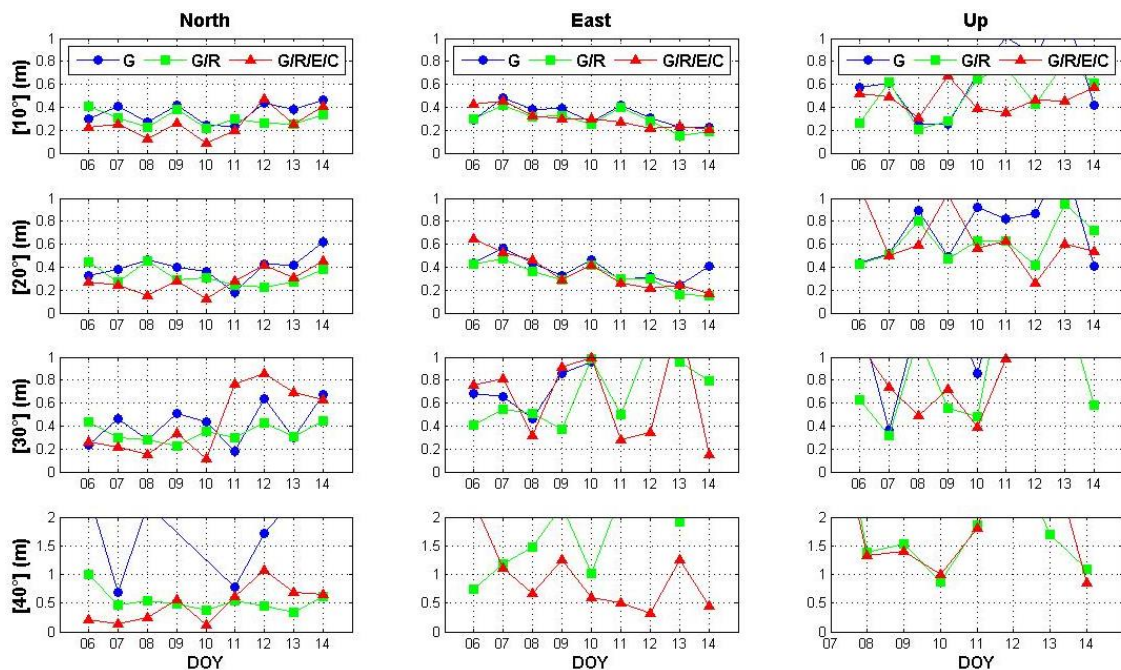
**Σχήμα 6:** Τιμές RMSD (σε m) των κινηματικών PPP (combined) λύσεων στον σταθμό UNB3 για διάρκεια παρατηρήσεων 15 λεπτών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)



**Σχήμα 7:** Τιμές RMSD (σε m) των κινηματικών PPP (forward) λύσεων στον σταθμό CUT0 για διάρκεια παρατηρήσεων 1 ώρας, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

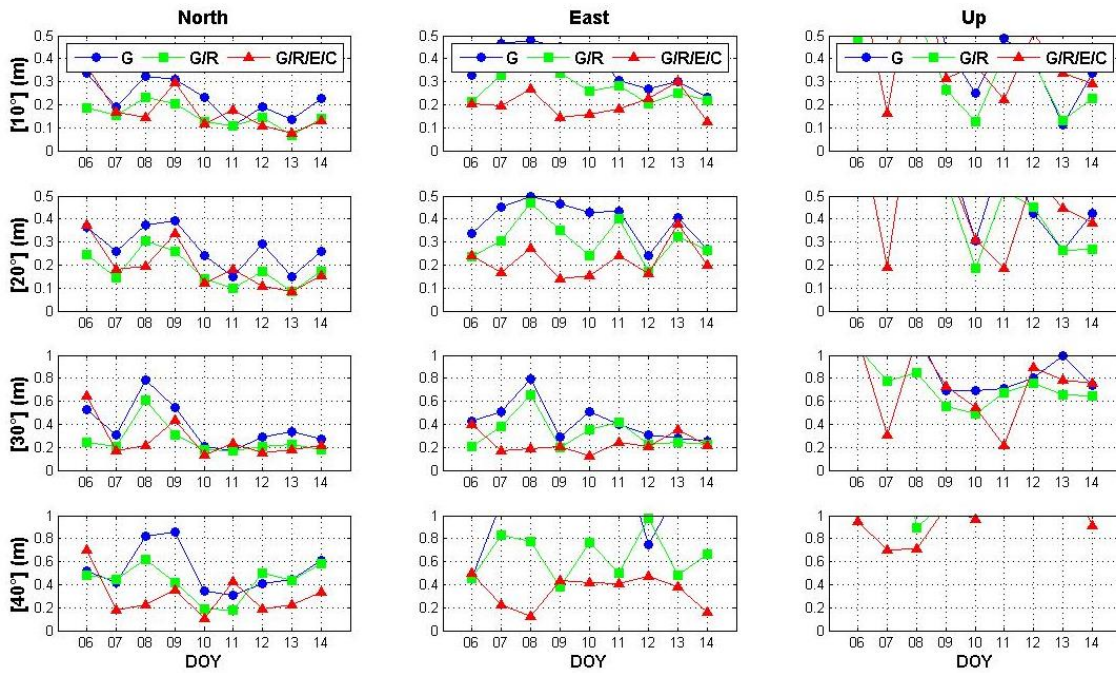


**Σχήμα 8:** Τιμές RMSD (σε m) των κινηματικών PPP (forward) λύσεων στον σταθμό CUT0 για διάρκεια παρατηρήσεων 15 λεπτών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)

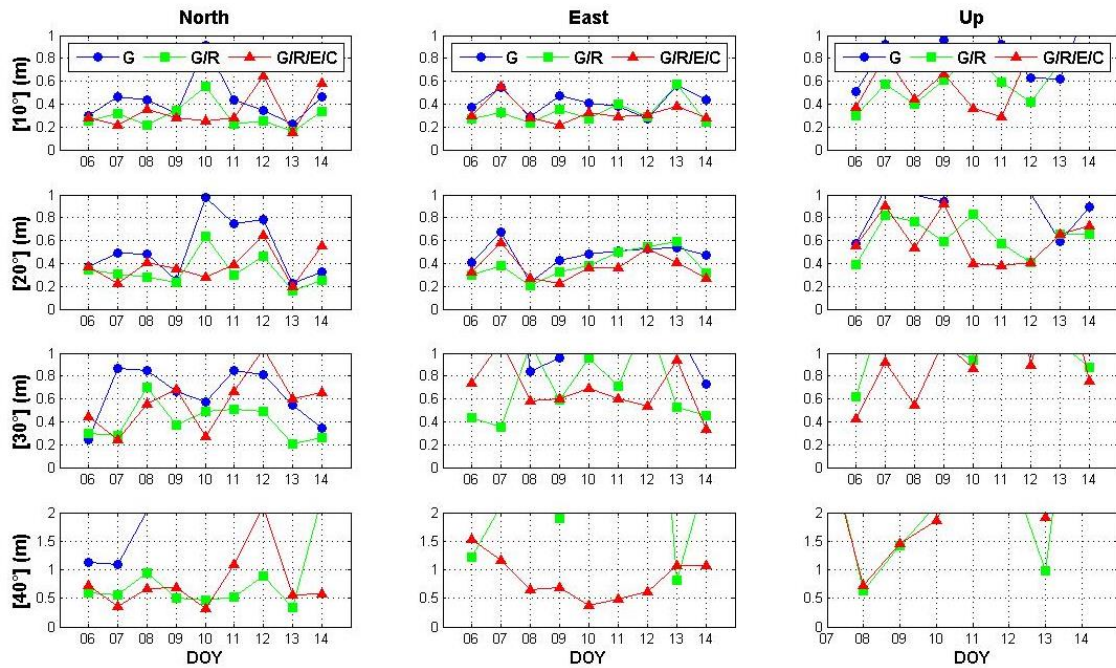




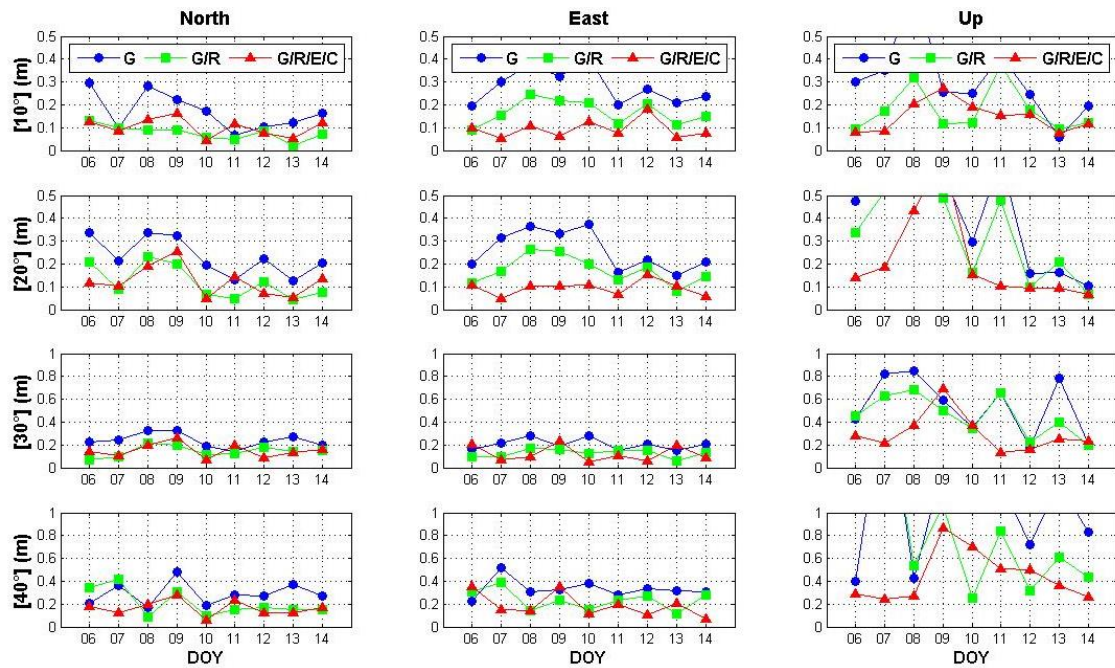
**Σχήμα 9:** Τιμές RMSD (σε m) των κινηματικών PPP (backward) λύσεων στον σταθμό CUT0 για διάρκεια παρατηρήσεων 1 ώρας, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)



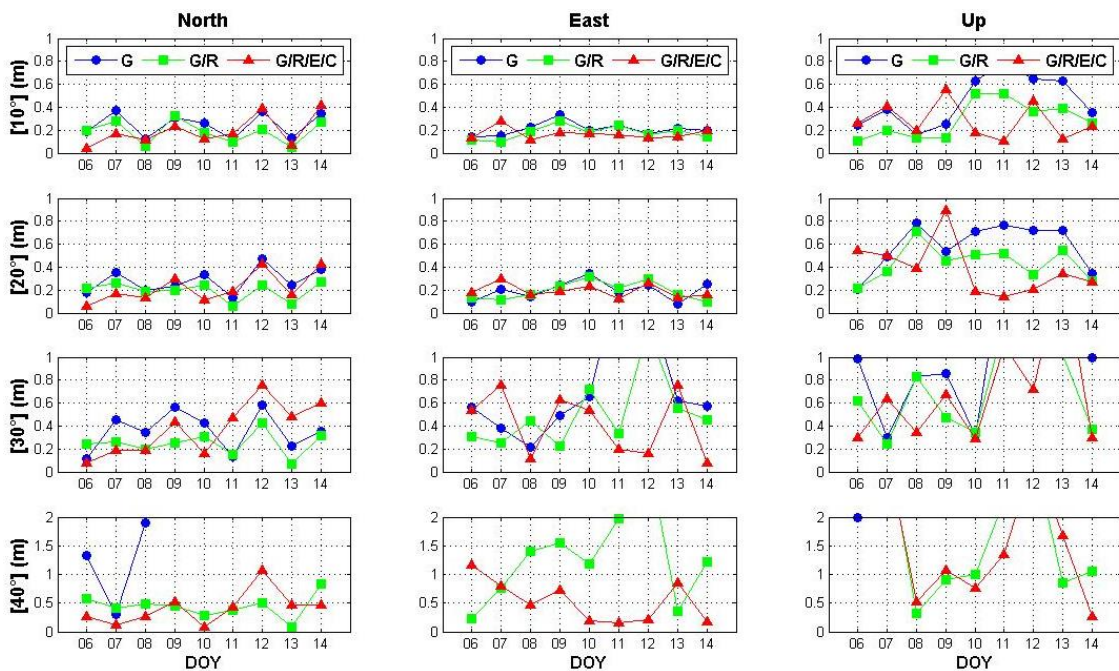
**Σχήμα 10:** Τιμές RMSD (σε m) των κινηματικών PPP (backward) λύσεων στον σταθμό CUT0 για διάρκεια παρατηρήσεων 15 λεπτών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)



**Σχήμα 11:** Τιμές RMSD (σε m) των κινηματικών PPP (combined) λύσεων στον σταθμό CUT0 για διάρκεια παρατηρήσεων 1 ώρας, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)



**Σχήμα 12:** Τιμές RMSD (σε m) των κινηματικών PPP (combined) λύσεων στον σταθμό CUT0 για διάρκεια παρατηρήσεων 15 λεπτών, με αυτόνομη και συνδυασμένη χρήση συστημάτων (περίοδος 06 – 14/01/2014)



## B. Κώδικας MATLAB

```
% Diploma Thesis
% Module for Plotting Multi-GNSS PPP solutions
% Input: Six (6) txt files containing the RTKLIB PPP solutions
% Output: 1) Multi-GNSS PPP solution plots
%         2) Txt file, containing statistic measures

Rearth = 6371000; % Set Earth radius
startRow0 = 20; % Set first row of fixed (10-day) solution file
startRow1 = 20; % First data row for 24h and 2h (20+21)
startRow2 = 21; % First data row for 12h, 6h, 4h, 1h, 0.5h, 0.25h (19+20)
formatSpecXYZ = '%10s%13s%15f%15f%15f%4f%4f%9f%9f%9f%9f%9f%9f%7f%f%[\n\r]';
formatSpecLLH = '%10s%13s%15f%15f%11f%4f%4f%9f%9f%9f%9f%9f%9f%7f%f%[\n\r]';

% Specify your observation period, n
n = 24;
if n == 24; % 24h
    obs_start = 1; obs_end = 2880;
elseif n == 12; % 12h
    obs_start = 1; obs_end = 1441;
elseif n == 6; % 6h
    obs_start = 1441; obs_end = 2161;
elseif n == 4; % 4h
    obs_start = 2161; obs_end = 2641;
elseif n == 2; % 2h
    obs_start = 2641; obs_end = 2880;
elseif n == 1; % 1h
    obs_start = 1441; obs_end = 1561;
elseif n == 0.5; % 0.5h
    obs_start = 1681; obs_end = 1741;
elseif n == 0.25; % 0.25h
    obs_start = 1921; obs_end = 1951;
end

%Set the path of files
filename0 =
'C:\GNSS_Data\data_mgex\2014\010\unb3\unb3_static_fixed_weekly\unb3_M1S_AWeekXYZgrec.pos';
f0 = fopen(filename0, 'r');
dataArray0 = textscan(f0, formatSpecXYZ, 'Delimiter', ',', 'WhiteSpace', '', 'EmptyValue',
,NaN,'HeaderLines', startRow0-1, 'ReturnOnError', false);
fclose(f0);

filename0b =
'C:\GNSS_Data\data_mgex\2014\010\unb3\unb3_static_fixed_weekly\unb3_M1S_AWeekLLHgrec.pos';
f0b = fopen(filename0b, 'r');
dataArray0b = textscan(f0b, formatSpecLLH, 'Delimiter', ',', 'WhiteSpace', '', 'EmptyValue',
,NaN,'HeaderLines', startRow0-1, 'ReturnOnError', false);
fclose(f0b);

filename0c =
'C:\GNSS_Data\data_mgex\2014\010\unb3\unb3_static_fixed_weekly\unb3005_M1S_AWeekXYZgrec.pos';
f0c = fopen(filename0c, 'r');
dataArray0c = textscan(f0c, formatSpecXYZ, 'Delimiter', ',', 'WhiteSpace', '', 'EmptyValue',
,NaN,'HeaderLines', startRow0-1, 'ReturnOnError', false);
fclose(f0c);

filename0d =
'C:\GNSS_Data\data_mgex\2014\010\unb3\unb3_static_fixed_weekly\unb3005_M1S_AWeekLLHgrec.pos';
f0d = fopen(filename0d, 'r');
dataArray0d = textscan(f0d, formatSpecLLH, 'Delimiter', ',', 'WhiteSpace', '', 'EmptyValue',
,NaN,'HeaderLines', startRow0-1, 'ReturnOnError', false);
fclose(f0d);

filename1 = 'C:\GNSS_Data\data_mgex\2014\005\unb3\unb3005_M1Kb_A24g.pos';
f1 = fopen(filename1, 'r');
dataArray1 = textscan(f1, formatSpecXYZ, 'Delimiter', ',', 'WhiteSpace', '', 'EmptyValue',
,NaN,'HeaderLines', startRow1-1, 'ReturnOnError', false);
fclose(f1);

filename2 = 'C:\GNSS_Data\data_mgex\2014\005\unb3\unb3005_M1Kb_A24r.pos';
f2 = fopen(filename2, 'r');
dataArray2 = textscan(f2, formatSpecXYZ, 'Delimiter', ',', 'WhiteSpace', '', 'EmptyValue',
,NaN,'HeaderLines', startRow2-1, 'ReturnOnError', false);
fclose(f2);
```

```

filename3 = 'C:\GNSS_Data\data_mgex\2014\005\unb3\unb3005_M1Kb_A24gr.pos';
f3 = fopen(filename3, 'r');
dataArray3 = textscan(f3, formatSpecXYZ, 'Delimiter', ',', 'WhiteSpace', '', 'EmptyValue',
,NaN,'HeaderLines', startRow2-1, 'ReturnOnError', false);
fclose(f3);

filename4 = 'C:\GNSS_Data\data_mgex\2014\005\unb3\unb3005_M1Kb_A24ge.pos';
f4 = fopen(filename4, 'r');
dataArray4 = textscan(f4, formatSpecXYZ, 'Delimiter', ',', 'WhiteSpace', '', 'EmptyValue',
,NaN,'HeaderLines', startRow2-1, 'ReturnOnError', false);
fclose(f4);

filename5 = 'C:\GNSS_Data\data_mgex\2014\005\unb3\unb3005_M1Kb_A24gc.pos';
f5 = fopen(filename5, 'r');
dataArray5 = textscan(f5, formatSpecXYZ, 'Delimiter', ',', 'WhiteSpace', '', 'EmptyValue',
,NaN,'HeaderLines', startRow2-1, 'ReturnOnError', false);
fclose(f5);

filename6 = 'C:\GNSS_Data\data_mgex\2014\005\unb3\unb3005_M1Kb_A24grec.pos';
f6 = fopen(filename6, 'r');
dataArray6 = textscan(f6, formatSpecXYZ, 'Delimiter', ',', 'WhiteSpace', '', 'EmptyValue',
,NaN,'HeaderLines', startRow2-1, 'ReturnOnError', false);
fclose(f6);

% Data scan [G:GPS, R:GLONASS, E:Galileo, C:BeiDou]
dataArray0{1} = datenum(dataArray0{1}, 'yyyy/mm/dd');
dataArray0{2} = datenum(dataArray0{2}, 'HH:MM:SS.FFF');
GRECfixed0 = [dataArray0{1:end-1}];

dataArray0b{1} = datenum(dataArray0b{1}, 'yyyy/mm/dd');
dataArray0b{2} = datenum(dataArray0b{2}, 'HH:MM:SS.FFF');
GRECgeod0 = [dataArray0b{1:end-1}];

dataArray0c{1} = datenum(dataArray0c{1}, 'yyyy/mm/dd');
dataArray0c{2} = datenum(dataArray0c{2}, 'HH:MM:SS.FFF');
GRECsepfixed0 = [dataArray0c{1:end-1}];

dataArray0d{1} = datenum(dataArray0d{1}, 'yyyy/mm/dd');
dataArray0d{2} = datenum(dataArray0d{2}, 'HH:MM:SS.FFF');
GRECsepgeod0 = [dataArray0d{1:end-1}];

dataArray1{1} = datenum(dataArray1{1}, 'yyyy/mm/dd');
dataArray1{2} = datenum(dataArray1{2}, 'HH:MM:SS.FFF');
G0 = [dataArray1{1:end-1}];

dataArray2{1} = datenum(dataArray2{1}, 'yyyy/mm/dd');
dataArray2{2} = datenum(dataArray2{2}, 'HH:MM:SS.FFF');
R0 = [dataArray2{1:end-1}];

dataArray3{1} = datenum(dataArray3{1}, 'yyyy/mm/dd');
dataArray3{2} = datenum(dataArray3{2}, 'HH:MM:SS.FFF');
GR0 = [dataArray3{1:end-1}];

dataArray4{1} = datenum(dataArray4{1}, 'yyyy/mm/dd');
dataArray4{2} = datenum(dataArray4{2}, 'HH:MM:SS.FFF');
GE0 = [dataArray4{1:end-1}];

dataArray5{1} = datenum(dataArray5{1}, 'yyyy/mm/dd');
dataArray5{2} = datenum(dataArray5{2}, 'HH:MM:SS.FFF');
GC0 = [dataArray5{1:end-1}];

dataArray6{1} = datenum(dataArray6{1}, 'yyyy/mm/dd');
dataArray6{2} = datenum(dataArray6{2}, 'HH:MM:SS.FFF');
GREC0 = [dataArray6{1:end-1}];

% Retrieving the time from above files
timeG = G0(:,2);
timeR = R0(:,2);
timeGR = GR0(:,2);
timeGE = GE0(:,2);
timeGC = GC0(:,2);
timeGREC = GREC0(:,2);

% Set data into matrices
G = [G0(:,3) G0(:,8) G0(:,4) G0(:,9) G0(:,5) G0(:,10) G0(:,7)];
R = [R0(:,3) R0(:,8) R0(:,4) R0(:,9) R0(:,5) R0(:,10) R0(:,7)];

```

```

GR = [GR0(:,3) GR0(:,8) GR0(:,4) GR0(:,9) GR0(:,5) GR0(:,10) GR0(:,7)];
GE = [GE0(:,3) GE0(:,8) GE0(:,4) GE0(:,9) GE0(:,5) GE0(:,10) GE0(:,7)];
GC = [GC0(:,3) GC0(:,8) GC0(:,4) GC0(:,9) GC0(:,5) GC0(:,10) GC0(:,7)];
GREC = [GREC0(:,3) GREC0(:,8) GREC0(:,4) GREC0(:,9) GREC0(:,5) GREC0(:,10) GREC0(:,7)];
GRECfixed = [GRECfixed0(:,3) GRECfixed0(:,8) GRECfixed0(:,4) GRECfixed0(:,9) GRECfixed0(:,5)
GRECfixed0(:,10) GRECfixed0(:,7)];
GRECgeod = [GRECgeod0(:,3) GRECgeod0(:,8) GRECgeod0(:,4) GRECgeod0(:,9) GRECgeod0(:,5)
GRECgeod0(:,10) GRECgeod0(:,7)];
GRECsepfixed = [GRECsepfixed0(:,3) GRECsepfixed0(:,8) GRECsepfixed0(:,4) GRECsepfixed0(:,9)
GRECsepfixed0(:,5) GRECsepfixed0(:,10) GRECsepfixed0(:,7)];
GRECsepgeod = [GRECsepgeod0(:,3) GRECsepgeod0(:,8) GRECsepgeod0(:,4) GRECsepgeod0(:,9)
GRECsepgeod0(:,5) GRECsepgeod0(:,10) GRECsepgeod0(:,7)];

% ECEF to ENU Transformation Matrix
R2ENU = @(lat, lon) [-sin(lat*pi/180)*cos(lon*pi/180) -sin(lat*pi/180)*sin(lon*pi/180)
cos(lat*pi/180)
                    -sin(lon*pi/180)                cos(lon*pi/180)
                    cos(lat*pi/180)*cos(lon*pi/180) cos(lat*pi/180)*sin(lon*pi/180)
sin(lat*pi/180)];

% - Plot PPP static/kinematic solutions -
figure(1)

% GPS
subplot(3,2,1)
XdifGts = G(:,1) - GRECsepfixed(obs_start:obs_end,1);
YdifGts = G(:,3) - GRECsepfixed(obs_start:obs_end,3);
ZdifGts = G(:,5) - GRECsepfixed(obs_start:obs_end,5);
DXYZ_G = [XdifGts YdifGts ZdifGts]';
DNEU_G_b = R2ENU(GRECsepgeod(size(GRECsepgeod,1),1), GRECsepgeod(size(GRECsepgeod,1),3)) * DXYZ_G;
DNEU_G = DNEU_G_b';
pla = plot(timeG, DNEU_G(:,1));
hold on
plb = plot(timeG, DNEU_G(:,2));
hold on
plc = plot(timeG, DNEU_G(:,3));
set(pla, 'Color', 'blue', 'linewidth', 0.10)
set(plb, 'Color', 'green', 'linewidth', 0.10)
set(plc, 'Color', 'red', 'linewidth', 0.10)
grid on
set(gca, 'YLim', [-0.5 0.5])
set(gca, 'YTick', -0.5:0.2:0.5)
set(gca, 'XLim', [datenum('00', 'HH') datenum('24', 'HH')]);
datetick('x', 'HH', 'keepslimits')
ylabel(gca, 'GPS (m)', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 14)
legend('North', 'East', 'Up', 'Orientation', 'horizontal')
set(legend, 'FontSize', 14, 'FontWeight', 'bold', 'Location', 'North')

% G/R/E/C
subplot(3,2,2)
XdifGRECts = GREC(:,1) - GRECsepfixed(obs_start:obs_end,1);
YdifGRECts = GREC(:,3) - GRECsepfixed(obs_start:obs_end,3);
ZdifGRECts = GREC(:,5) - GRECsepfixed(obs_start:obs_end,5);
DXYZ_GREC = [XdifGRECts YdifGRECts ZdifGRECts]';
DNEU_GREC_b = R2ENU(GRECsepgeod(size(GRECsepgeod,1),1), GRECsepgeod(size(GRECsepgeod,1),3)) *
DXYZ_GREC;
DNEU_GREC = DNEU_GREC_b';
p2a = plot(timeGREC, DNEU_GREC(:,1));
hold on
p2b = plot(timeGREC, DNEU_GREC(:,2));
hold on
p2c = plot(timeGREC, DNEU_GREC(:,3));
set(p2a, 'Color', 'blue', 'linewidth', 0.10)
set(p2b, 'Color', 'green', 'linewidth', 0.10)
set(p2c, 'Color', 'red', 'linewidth', 0.10)
grid on
set(gca, 'YLim', [-0.5 0.5])
set(gca, 'YTick', -0.5:0.2:0.5)
set(gca, 'XLim', [datenum('00', 'HH') datenum('24', 'HH')]);
datetick('x', 'HH', 'keepslimits')
ylabel(gca, 'G/R/E/C (m)', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 14)
legend('North', 'East', 'Up', 'Orientation', 'horizontal')
set(legend, 'FontSize', 14, 'FontWeight', 'bold', 'Location', 'North')

% GLONASS
subplot(3,2,3)

```



```

Rsepfixed = GRECsepfixed(obs_start:(obs_start+size(R,1)-1),:);
XdifRts = R(:,1) - Rsepfixed(:,1);
YdifRts = R(:,3) - Rsepfixed(:,3);
ZdifRts = R(:,5) - Rsepfixed(:,5);
DXYZ_R = [XdifRts YdifRts ZdifRts]';
DNEU_R_b = R2ENU(GRECsepgeod(size(GRECsepgeod,1),1), GRECsepgeod(size(GRECsepgeod,1),3)) * DXYZ_R;
DNEU_R = DNEU_R_b';
p3a = plot(timeR, DNEU_R(:,1));
hold on
p3b = plot(timeR, DNEU_R(:,2));
hold on
p3c = plot(timeR, DNEU_R(:,3));
set(p3a, 'Color', 'blue', 'linewidth', 0.10)
set(p3b, 'Color', 'green', 'linewidth', 0.10)
set(p3c, 'Color', 'red', 'linewidth', 0.10)
grid on
set(gca, 'YLim', [-0.5 0.5])
set(gca, 'YTick', -0.5:0.2:0.5)
set(gca, 'XLim', [datenum('00', 'HH') datenum('24', 'HH')]);
datetick('x', 'HH', 'keplimits')
ylabel(gca, 'GLONASS (m)', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 14)

% G/R
subplot(3,2,4)
XdifGRts = GR(:,1) - GRECsepfixed(obs_start:obs_end,1);
YdifGRts = GR(:,3) - GRECsepfixed(obs_start:obs_end,3);
ZdifGRts = GR(:,5) - GRECsepfixed(obs_start:obs_end,5);
DXYZ_GR = [XdifGRts YdifGRts ZdifGRts]';
DNEU_GR_b = R2ENU(GRECsepgeod(size(GRECsepgeod,1),1), GRECsepgeod(size(GRECsepgeod,1),3)) *
DXYZ_GR;
DNEU_GR = DNEU_GR_b';
p4a = plot(timeGR, DNEU_GR(:,1));
hold on
p4b = plot(timeGR, DNEU_GR(:,2));
hold on
p4c = plot(timeGR, DNEU_GR(:,3));
set(p4a, 'Color', 'blue', 'linewidth', 0.10)
set(p4b, 'Color', 'green', 'linewidth', 0.10)
set(p4c, 'Color', 'red', 'linewidth', 0.10)
grid on
set(gca, 'YLim', [-0.5 0.5])
set(gca, 'YTick', -0.5:0.2:0.5)
set(gca, 'XLim', [datenum('00', 'HH') datenum('24', 'HH')]);
datetick('x', 'HH', 'keplimits')
ylabel(gca, 'G/R (m)', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 14)

% G/E
subplot(3,2,5)
XdifGETs = GE(:,1) - GRECsepfixed(obs_start:obs_end,1);
YdifGETs = GE(:,3) - GRECsepfixed(obs_start:obs_end,3);
ZdifGETs = GE(:,5) - GRECsepfixed(obs_start:obs_end,5);
DXYZ_GE = [XdifGETs YdifGETs ZdifGETs]';
DNEU_GE_b = R2ENU(GRECsepgeod(size(GRECsepgeod,1),1), GRECsepgeod(size(GRECsepgeod,1),3)) *
DXYZ_GE;
DNEU_GE = DNEU_GE_b';
p5a = plot(timeGE, DNEU_GE(:,1));
hold on
p5b = plot(timeGE, DNEU_GE(:,2));
hold on
p5c = plot(timeGE, DNEU_GE(:,3));
set(p5a, 'Color', 'blue', 'linewidth', 0.10)
set(p5b, 'Color', 'green', 'linewidth', 0.10)
set(p5c, 'Color', 'red', 'linewidth', 0.10)
grid on
set(gca, 'YLim', [-0.5 0.5])
set(gca, 'YTick', -0.5:0.2:0.5)
set(gca, 'XLim', [datenum('00', 'HH') datenum('24', 'HH')]);
datetick('x', 'HH', 'keplimits')
ylabel(gca, 'G/E (m)', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 14)
xlabel(gca, 'Time (h)', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 14)

% G/C
subplot(3,2,6)
XdifGCTs = GC(:,1) - GRECsepfixed(obs_start:obs_end,1);
YdifGCTs = GC(:,3) - GRECsepfixed(obs_start:obs_end,3);
ZdifGCTs = GC(:,5) - GRECsepfixed(obs_start:obs_end,5);

```

```

DXYZ_GC = [XdifGCTs YdifGCTs ZdifGCTs]';
DNEU_GC_b = R2ENU(GRECsepgeod(size(GRECsepgeod,1),1), GRECsepgeod(size(GRECsepgeod,1),3)) *
DXYZ_GC;
DNEU_GC = DNEU_GC_b';
p6a = plot(timeGC, DNEU_GC(:,1));
hold on
p6b = plot(timeGC, DNEU_GC(:,2));
hold on
p6c = plot(timeGC, DNEU_GC(:,3));
set(p6a, 'Color', 'blue', 'linewidth', 0.10)
set(p6b, 'Color', 'green', 'linewidth', 0.10)
set(p6c, 'Color', 'red', 'linewidth', 0.10)
grid on
set(gca, 'YLim', [-0.5 0.5])
set(gca, 'YTick', -0.5:0.2:0.5)
set(gca, 'XLim', [datenum('00', 'HH') datenum('24', 'HH')]);
datetick('x', 'HH', 'keeplimits')
ylabel(gca, 'G/C (m)', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 14)
xlabel(gca, 'Time (h)', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 14)

% Plot # GNSS Satellites
figure(2)
p7a = plot(timeG, G(:,7));
hold on
p7b = plot(timeGR, GR(:,7));
hold on
p7c = plot(timeGREC, GREC(:,7));
set(p7a, 'Color', 'blue', 'linewidth', 0.10)
set(p7b, 'Color', 'green', 'linewidth', 0.10)
set(p7c, 'Color', 'red', 'linewidth', 0.10)
grid on
set(gca, 'YLim', [0 40])
set(gca, 'YTick', 0:5:40)
set(gca, 'XLim', [datenum('00', 'HH') datenum('24', 'HH')]);
datetick('x', 'HH', 'keeplimits')
ylabel(gca, 'Number of Satellites', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 14)
xlabel(gca, 'Time (h)', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 14)
legend('G', 'G/R', 'G/R/E/C', 'Orientation', 'horizontal')
set(legend, 'FontSize', 14, 'FontWeight', 'bold', 'Location', 'Northeast')

% Plot G, G/R/E/C and fixed solutions in XY plane
figure(3)
p8a = plot(G(:,1), G(:,3), 'g+');
hold on
p8b = plot(GREC(:,1), GREC(:,3), 'bx');
hold on
p8c = plot(GRECsepfixed(size(GRECsepfixed,1),1), GRECsepfixed(size(GRECsepfixed,1),3), 'r*',
'MarkerSize', 8);
hold on
radius = 0.01;
ang = 0:0.01:2*pi;
xp = radius*cos(ang);
yp = radius*sin(ang);
p8d = plot(GRECsepfixed(size(GRECsepfixed,1),1)+xp, GRECsepfixed(size(GRECsepfixed,1),3)+yp, 'r');
axis equal
grid on
set(gca, 'YLim', [GRECsepfixed(size(GRECsepfixed,1),3)-0.25
GRECsepfixed(size(GRECsepfixed,1),3)+0.25])
set(gca, 'YTick', (GRECsepfixed(size(GRECsepfixed,1),3)-
0.25):0.05:(GRECsepfixed(size(GRECsepfixed,1),3)+0.25))
set(gca, 'XLim', [GRECsepfixed(size(GRECsepfixed,1),1)-0.25
GRECsepfixed(size(GRECsepfixed,1),1)+0.25])
set(gca, 'XTick', (GRECsepfixed(size(GRECsepfixed,1),1)-
0.25):0.05:(GRECsepfixed(size(GRECsepfixed,1),1)+0.25))
set(gca, 'XTickLabel', num2str(get(gca, 'XTick'), '%.2f'))
set(gca, 'YTickLabel', num2str(get(gca, 'YTick'), '%.2f'))
ylabel(gca, 'Y (m)', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 14)
ylabh = get(gca, 'YLabel');
set(ylabh, 'Position', get(ylabh, 'Position') + [0.05 0 0])
xlabel(gca, 'X (m)', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 14)
XYrotalabel(90,0);
xlabh = get(gca, 'XLabel');
set(xlahb, 'Position', get(xlahb, 'Position') + [0.30 0 0])
legend('G', 'G/R/E/C', 'Fixed', 'Orientation', 'horizontal')
set(legend, 'FontSize', 14, 'FontWeight', 'bold', 'Location', 'Northeast')

```

```

% Plot G, R, G/R, G/R/E/C solutions for each direction N, E, U
figure(4)
subplot(3,1,1)
p9a = plot(timeG, DNEU_G(:,1));
hold on
p9b = plot(timeR, DNEU_R(:,1));
hold on
p9c = plot(timeGR, DNEU_GR(:,1));
hold on
p9d = plot(timeGREC, DNEU_GREC(:,1));
set(p9a, 'Color', 'blue', 'linewidth', 0.10)
set(p9b, 'Color', [0.5 0 0], 'linewidth', 0.10)
set(p9c, 'Color', 'green', 'linewidth', 0.10)
set(p9d, 'Color', 'red', 'linewidth', 0.10)
grid on
set(gca, 'YLim', [-0.5 0.5])
set(gca, 'YTick', -0.5:0.2:0.5)
set(gca, 'XLim', [datenum('00', 'HH') datenum('24', 'HH')]);
datetick('x', 'HH', 'keeplimits')
ylabel(gca, 'North (m)', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 14)
legend('G', 'R', 'G/R', 'G/R/E/C', 'Orientation', 'horizontal')
set(legend, 'FontSize', 14, 'FontWeight', 'bold', 'Location', 'NorthEast')

subplot(3,1,2)
p10a = plot(timeG, DNEU_G(:,2));
hold on
p10b = plot(timeR, DNEU_R(:,2));
hold on
p10c = plot(timeGR, DNEU_GR(:,2));
hold on
p10d = plot(timeGREC, DNEU_GREC(:,2));
set(p10a, 'Color', 'blue', 'linewidth', 0.10)
set(p10b, 'Color', [0.5 0 0], 'linewidth', 0.10)
set(p10c, 'Color', 'green', 'linewidth', 0.10)
set(p10d, 'Color', 'red', 'linewidth', 0.10)
grid on
set(gca, 'YLim', [-0.5 0.5])
set(gca, 'YTick', -0.5:0.2:0.5)
set(gca, 'XLim', [datenum('00', 'HH') datenum('24', 'HH')]);
datetick('x', 'HH', 'keeplimits')
ylabel(gca, 'East (m)', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 14)

subplot(3,1,3)
p11a = plot(timeG, DNEU_G(:,3));
hold on
p11b = plot(timeR, DNEU_R(:,3));
hold on
p11c = plot(timeGR, DNEU_GR(:,3));
hold on
p11d = plot(timeGREC, DNEU_GREC(:,3));
set(p11a, 'Color', 'blue', 'linewidth', 0.10)
set(p11b, 'Color', [0.5 0 0], 'linewidth', 0.10)
set(p11c, 'Color', 'green', 'linewidth', 0.10)
set(p11d, 'Color', 'red', 'linewidth', 0.10)
grid on
set(gca, 'YLim', [-0.5 0.5])
set(gca, 'YTick', -0.5:0.2:0.5)
set(gca, 'XLim', [datenum('00', 'HH') datenum('24', 'HH')]);
datetick('x', 'HH', 'keeplimits')
ylabel(gca, 'Up (m)', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 14)
xlabel(gca, 'Time (h)', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 14)

% Plot G, R, G/R, G/R/E/C solutions in N, E, U for the first 2h
figure(6)
subplot(3,1,1)
p9a = plot(timeG, DNEU_G(:,1));
hold on
p9b = plot(timeR, DNEU_R(:,1));
hold on
p9c = plot(timeGR, DNEU_GR(:,1));
hold on
p9d = plot(timeGREC, DNEU_GREC(:,1));
set(p9a, 'Color', 'blue', 'linewidth', 0.10)
set(p9b, 'Color', [0.5 0 0], 'linewidth', 0.10)
set(p9c, 'Color', 'green', 'linewidth', 0.10)
set(p9d, 'Color', 'red', 'linewidth', 0.10)

```

```

grid on
set(gca, 'YLim', [-0.5 0.5])
set(gca, 'YTick', -0.5:0.2:0.5)
set(gca, 'XLim', [datenum('22:00', 'HH:MM') datenum('23:59', 'HH:MM')]);
datetick('x', 'HH:MM', 'keeplimits')
ylabel(gca, 'North (m)', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 14)
legend('G', 'R', 'G/R', 'G/R/E/C', 'Orientation', 'horizontal')
set(legend, 'FontSize', 14, 'FontWeight', 'bold', 'Location', 'NorthEast')

subplot(3,1,2)
p10a = plot(timeG, DNEU_G(:,2));
hold on
p10b = plot(timeR, DNEU_R(:,2));
hold on
p10c = plot(timeGR, DNEU_GR(:,2));
hold on
p10d = plot(timeGREC, DNEU_GREC(:,2));
set(p10a, 'Color', 'blue', 'linewidth', 0.10)
set(p10b, 'Color', [0.5 0 0], 'linewidth', 0.10)
set(p10c, 'Color', 'green', 'linewidth', 0.10)
set(p10d, 'Color', 'red', 'linewidth', 0.10)
grid on
set(gca, 'YLim', [-0.5 0.5])
set(gca, 'YTick', -0.5:0.2:0.5)
set(gca, 'XLim', [datenum('22:00', 'HH:MM') datenum('23:59', 'HH:MM')]);
datetick('x', 'HH:MM', 'keeplimits')
ylabel(gca, 'East (m)', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 14)

subplot(3,1,3)
p11a = plot(timeG, DNEU_G(:,3));
hold on
p11b = plot(timeR, DNEU_R(:,3));
hold on
p11c = plot(timeGR, DNEU_GR(:,3));
hold on
p11d = plot(timeGREC, DNEU_GREC(:,3));
set(p11a, 'Color', 'blue', 'linewidth', 0.10)
set(p11b, 'Color', [0.5 0 0], 'linewidth', 0.10)
set(p11c, 'Color', 'green', 'linewidth', 0.10)
set(p11d, 'Color', 'red', 'linewidth', 0.10)
grid on
set(gca, 'YLim', [-0.5 0.5])
set(gca, 'YTick', -0.5:0.2:0.5)
set(gca, 'XLim', [datenum('22:00', 'HH:MM') datenum('23:59', 'HH:MM')]);
datetick('x', 'HH:MM', 'keeplimits')
ylabel(gca, 'Up (m)', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 14)
xlabel(gca, 'Time (h)', 'fontweight', 'bold', 'fontsize', 14)

% Calculate Average, StdDev, RMSDeviation, RMSdifference
G_AVG_DN = mean(DNEU_G(:,1));
G_AVG_DE = mean(DNEU_G(:,2));
G_AVG_DU = mean(DNEU_G(:,3));
G_STD_DN = std(DNEU_G(:,1));
G_STD_DE = std(DNEU_G(:,2));
G_STD_DU = std(DNEU_G(:,3));
G_RMSD_DN = rms(DNEU_G(:,1));
G_RMSD_DE = rms(DNEU_G(:,2));
G_RMSD_DU = rms(DNEU_G(:,3));
G_RMSdif_DN = sqrt((sum((DNEU_G(:,1) - G_AVG_DN).^2))/(size(DNEU_G,1)-1));
G_RMSdif_DE = sqrt((sum((DNEU_G(:,2) - G_AVG_DE).^2))/(size(DNEU_G,1)-1));
G_RMSdif_DU = sqrt((sum((DNEU_G(:,3) - G_AVG_DU).^2))/(size(DNEU_G,1)-1));

R_AVG_DN = mean(DNEU_R(:,1));
R_AVG_DE = mean(DNEU_R(:,2));
R_AVG_DU = mean(DNEU_R(:,3));
R_STD_DN = std(DNEU_R(:,1));
R_STD_DE = std(DNEU_R(:,2));
R_STD_DU = std(DNEU_R(:,3));
R_RMSD_DN = rms(DNEU_R(:,1));
R_RMSD_DE = rms(DNEU_R(:,2));
R_RMSD_DU = rms(DNEU_R(:,3));
R_RMSdif_DN = sqrt((sum((DNEU_R(:,1) - R_AVG_DN).^2))/(size(DNEU_R,1)-1));
R_RMSdif_DE = sqrt((sum((DNEU_R(:,2) - R_AVG_DE).^2))/(size(DNEU_R,1)-1));
R_RMSdif_DU = sqrt((sum((DNEU_R(:,3) - R_AVG_DU).^2))/(size(DNEU_R,1)-1));

```

```

GR_AVG_DN = mean(DNEU_GR(:,1));
GR_AVG_DE = mean(DNEU_GR(:,2));
GR_AVG_DU = mean(DNEU_GR(:,3));
GR_STD_DN = std(DNEU_GR(:,1));
GR_STD_DE = std(DNEU_GR(:,2));
GR_STD_DU = std(DNEU_GR(:,3));
GR_RMSD_DN = rms(DNEU_GR(:,1));
GR_RMSD_DE = rms(DNEU_GR(:,2));
GR_RMSD_DU = rms(DNEU_GR(:,3));
GR_RMSdif_DN = sqrt((sum((DNEU_GR(:,1) - GR_AVG_DN).^2))/(size(DNEU_GR,1)-1));
GR_RMSdif_DE = sqrt((sum((DNEU_GR(:,2) - GR_AVG_DE).^2))/(size(DNEU_GR,1)-1));
GR_RMSdif_DU = sqrt((sum((DNEU_GR(:,3) - GR_AVG_DU).^2))/(size(DNEU_GR,1)-1));

GE_AVG_DN = mean(DNEU_GE(:,1));
GE_AVG_DE = mean(DNEU_GE(:,2));
GE_AVG_DU = mean(DNEU_GE(:,3));
GE_STD_DN = std(DNEU_GE(:,1));
GE_STD_DE = std(DNEU_GE(:,2));
GE_STD_DU = std(DNEU_GE(:,3));
GE_RMSD_DN = rms(DNEU_GE(:,1));
GE_RMSD_DE = rms(DNEU_GE(:,2));
GE_RMSD_DU = rms(DNEU_GE(:,3));
GE_RMSdif_DN = sqrt((sum((DNEU_GE(:,1) - GE_AVG_DN).^2))/(size(DNEU_GE,1)-1));
GE_RMSdif_DE = sqrt((sum((DNEU_GE(:,2) - GE_AVG_DE).^2))/(size(DNEU_GE,1)-1));
GE_RMSdif_DU = sqrt((sum((DNEU_GE(:,3) - GE_AVG_DU).^2))/(size(DNEU_GE,1)-1));

GC_AVG_DN = mean(DNEU_GC(:,1));
GC_AVG_DE = mean(DNEU_GC(:,2));
GC_AVG_DU = mean(DNEU_GC(:,3));
GC_STD_DN = std(DNEU_GC(:,1));
GC_STD_DE = std(DNEU_GC(:,2));
GC_STD_DU = std(DNEU_GC(:,3));
GC_RMSD_DN = rms(DNEU_GC(:,1));
GC_RMSD_DE = rms(DNEU_GC(:,2));
GC_RMSD_DU = rms(DNEU_GC(:,3));
GC_RMSdif_DN = sqrt((sum((DNEU_GC(:,1) - GC_AVG_DN).^2))/(size(DNEU_GC,1)-1));
GC_RMSdif_DE = sqrt((sum((DNEU_GC(:,2) - GC_AVG_DE).^2))/(size(DNEU_GC,1)-1));
GC_RMSdif_DU = sqrt((sum((DNEU_GC(:,3) - GC_AVG_DU).^2))/(size(DNEU_GC,1)-1));

GREC_AVG_DN = mean(DNEU_GREC(:,1));
GREC_AVG_DE = mean(DNEU_GREC(:,2));
GREC_AVG_DU = mean(DNEU_GREC(:,3));
GREC_STD_DN = std(DNEU_GREC(:,1));
GREC_STD_DE = std(DNEU_GREC(:,2));
GREC_STD_DU = std(DNEU_GREC(:,3));
GREC_RMSD_DN = rms(DNEU_GREC(:,1));
GREC_RMSD_DE = rms(DNEU_GREC(:,2));
GREC_RMSD_DU = rms(DNEU_GREC(:,3));
GREC_RMSdif_DN = sqrt((sum((DNEU_GREC(:,1) - GREC_AVG_DN).^2))/(size(DNEU_GREC,1)-1));
GREC_RMSdif_DE = sqrt((sum((DNEU_GREC(:,2) - GREC_AVG_DE).^2))/(size(DNEU_GREC,1)-1));
GREC_RMSdif_DU = sqrt((sum((DNEU_GREC(:,3) - GREC_AVG_DU).^2))/(size(DNEU_GREC,1)-1));

% Form matrix containing statistics
Stats4Series = [G_AVG_DN    G_AVG_DE    G_AVG_DU    G_STD_DN    G_STD_DE    G_STD_DU    G_RMSD_DN
G_RMSD_DE    G_RMSD_DU    G_RMSdif_DN    G_RMSdif_DE    G_RMSdif_DU
R_AVG_DN    R_AVG_DE    R_AVG_DU    R_STD_DN    R_STD_DE    R_STD_DU    R_RMSD_DN
R_RMSD_DE    R_RMSD_DU    R_RMSdif_DN    R_RMSdif_DE    R_RMSdif_DU
GR_AVG_DN    GR_AVG_DE    GR_AVG_DU    GR_STD_DN    GR_STD_DE    GR_STD_DU    GR_RMSD_DN
GR_RMSD_DE    GR_RMSD_DU    GR_RMSdif_DN    GR_RMSdif_DE    GR_RMSdif_DU
GE_AVG_DN    GE_AVG_DE    GE_AVG_DU    GE_STD_DN    GE_STD_DE    GE_STD_DU    GE_RMSD_DN
GE_RMSD_DE    GE_RMSD_DU    GE_RMSdif_DN    GE_RMSdif_DE    GE_RMSdif_DU
GC_AVG_DN    GC_AVG_DE    GC_AVG_DU    GC_STD_DN    GC_STD_DE    GC_STD_DU    GC_RMSD_DN
GC_RMSD_DE    GC_RMSD_DU    GC_RMSdif_DN    GC_RMSdif_DE    GC_RMSdif_DU
GREC_AVG_DN    GREC_AVG_DE    GREC_AVG_DU    GREC_STD_DN    GREC_STD_DE    GREC_STD_DU    GREC_RMSD_DN
GREC_RMSD_DE    GREC_RMSD_DU    GREC_RMSdif_DN    GREC_RMSdif_DE    GREC_RMSdif_DU];

% Write statistics to txt file
dlmwrite(sprintf('\unb3005_M1_A%d.txt', n), Stats4Series, 'delimiter', '\t', 'precision', '%4.4f',
'newline', 'pc');
Data0 = fileread(sprintf('\unb3005_M1_A%d.txt', n));
Data0 = strrep(Data0, '.', ',');
FID = fopen(sprintf('\unb3005_M1_A%d.txt', n), 'w');
fwrite(FID, Data0, 'char');
fclose(FID);

```