

# ΣΩΣΤΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΣΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ GPS ΚΑΙ ΤΟΥ HEPOS: ΕΜΠΕΙΡΙΕΣ ΑΠΟ ΤΑ 10 ΧΡΟΝΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

**Γιαννίου Μιγάλης, Μάστορης Δημήτρης**

Εθνικό Κτηματολόγιο και Χαρτογράφηση Α.Ε., Μεσογείων 288, 155 62 Χολαργός

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή παρουσιάζει συνοπτικά τα σημαντικότερα σημεία που σχετίζονται με τη σωστή χρήση της τεχνολογίας GPS και ειδικότερα των υπηρεσιών του Ελληνικού Συστήματος Εντοπισμού (Hellenic Positioning System: HEPOS). Εξετάζονται θέματα επίλυσης ασαφειών φάσης (λύσεις ‘fixed’) σε συνδυασμό με πηγές σφαλμάτων του δορυφορικού εντοπισμού όπως η ιονόσφαιρα. Παρουσιάζεται αναλυτικά η μεταβολή της ιονοσφαιρικής δραστηριότητας κατά το μέγιστο του 24ου Ηλιακού Κύκλου, όπως καταγράφηκε από το HEPOS. Επίσης εξετάζονται θέματα σχετικά με την εσωτερική συνοχή του Κρατικού τριγωνομετρικού δικτύου και το μετασχηματισμό συντεταγμένων από το σύστημα αναφοράς του HEPOS (HTRS07: Hellenic Terrestrial Reference System 2007) στο ΕΓΣΑ87.

**Λέξεις-κλειδιά:** HEPOS, GPS, ιονοσφαιρική δραστηριότητα, μετασχηματισμός HTRS07-ΕΓΣΑ87

**Michail Gianniou, Dimitrios Mastoris**

National Cadastre and Mapping Agency S.A., 288 Mesogion Ave., 155 62 Cholargos, Greece

## ABSTRACT

This work outlines some of the most important aspects related to the correct use of GPS technology and, in particular, of the services of the Hellenic Positioning System (HEPOS). Emphasis is given to the resolution of the carrier phase ambiguities (‘fixed’ solutions) in combination with main error sources in satellite surveying, like the ionosphere. The ionospheric activity over Greece as estimated within HEPOS network is described in detail. Moreover, aspects related to a) the internal consistency of the national trigonometric network and b) to the transformation from the geodetic reference system of HEPOS (HTRS07: Hellenic Terrestrial Reference System 2007) to the national reference system GGRS87 (Greek Geodetic Reference System 1987) are discussed.

**Key-words:** HEPOS, GPS, ionospheric activity, transformation HTRS07-GGRS87

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το GPS έχει αναμφίβολα αποτελέσει μία από τις μεγαλύτερες τομές στον τρόπο εργασίας του σύγχρονου Τοπογράφου Μηχανικού. Τη δεκαετία του 1980 άρχισε να χρησιμοποιείται για τη μέτρηση γεωδαιτικών δικτύων ανώτερης τάξης, τη δεκαετία του 1990 για τον προσδιορισμό τοπογραφικών σημείων ελέγχου με μετεπεξεργασία, ενώ από τη δεκαετία του 2000 χρησιμοποιείται εντατικά για τη μέτρηση σημείων με τοπογραφική ακρίβεια σε πραγματικό χρόνο (RTK: Real-Time Kinematic). Η μεγαλύτερη όμως ανάπτυξη στις τοπογραφικές χρήσεις του GPS ήρθε με την τεχνολογία των δικτύων μόνιμων σταθμών αναφοράς. Στην Ελλάδα η τεχνολογία αυτή εισήχθη μέσω του Ελληνικού Συστήματος Εντοπισμού HEPOS (Hellenic Positioning System) που εγκαταστάθηκε το 2007 από την ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε.

Το HEPOS σηματοδότησε για τη χώρα μας μία εποχή, όπου ο τρόπος εκτέλεσης των συνήθων τοπογραφικών εργασιών άλλαξε ριζικά και ο αριθμός των γεωδαιτικών δεκτών των επαγγελματιών Μηχανικών αυξήθηκε κατακόρυφα. Βέβαια, παρά την απλοποίηση της καθημερινής τοπογραφικής πρακτικής που επέφερε το HEPOS, δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι οι τοπογραφικές τεχνικές του GPS, όπως π.χ. το RTK μέσω δικτύου σταθμών αναφοράς, στηρίζονται σε ιδιαίτερα σύνθετες και πολύπλοκες τεχνολογίες. Η σωστή χρήση αυτών των τεχνικών προϋποθέτει τις κατάλληλες γνώσεις προκειμένου να διασφαλίζεται η απαραίτητη ακρίβεια και ποιότητα του τελικού προϊόντος. Στη συνέχεια περιγράφονται μερικές από τις βασικές παραμέτρους που σχετίζονται άμεσα με την αξιοπιστία και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων των γεωδαιτικών τεχνικών GPS.

## 2. ΕΠΙΛΥΣΗ ΑΣΑΦΕΙΩΝ ΦΑΣΗΣ

Το GPS αναπτύχθηκε για να καλύπτει ανάγκες πλοήγησης και ως εκ τούτου σχεδιάστηκε για να παρέχει ακρίβεια εντοπισμού στο επίπεδο του 1m σε στρατιωτικούς/εξουσιοδοτημένους χρήστες (μέσω του κώδικα ακριβείας P(Y)) και στο επίπεδο λίγων m (ή αρκετών δεκάδων m αν είναι ενεργοποιημένη η Επιλεκτική Διαθεσιμότητα (Γιαννίου, 2000)) σε μη-εξουσιοδοτημένους χρήστες (μέσω του απλούστερου κώδικα C/A). Οι μετρητικοί κώδικες C/A και P δεν μπορούν να ικανοποιήσουν τις ανάγκες ακριβείας γεωδαιτικών-τοπογραφικών εφαρμογών. Για να επιτευχθεί ακρίβεια (οριζόντιας) θέσης λίγων mm ή cm θα πρέπει η απόσταση δορυφόρου-δέκτη να μετριέται με ακρίβεια λίγων mm. Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 1, αυτή η ακρίβεια μπορεί να επιτευχθεί μόνο χρησιμοποιώντας μετρήσεις φάσης της φέρουσας συχνότητας. Η δυσκολία όμως που παρουσιάζεται είναι ότι οι φέρουσες συχνότητες L1 και L2 είναι αρμονικές ταλαντώσεις. Κάθε ταλάντωση είναι ίδια με τις προηγούμενες ταλαντώσεις και έτσι ο δέκτης δεν μπορεί να διακρίνει σε ποιο σημείο της ακολουθίας του σήματος βρίσκεται (όπως μπορεί να κάνει με τους κώδικες C/A και P). Ο δέκτης μετράει με ακρίβεια της τάξης των 2 mm την απόσταση που διανύει το φέρον κύμα εντός μίας ταλάντωσης, δεν μπορεί όμως να διακρίνει σε ποια ακριβώς ταλάντωση βρίσκεται. Με άλλα λόγια, δεν μπορεί να γνωρίζει πόσες πλήρεις ταλαντώσεις έχει κάνει το φέρον κύμα από τη στιγμή που εκτέμφθηκε από το δορυφόρο μέχρι να γίνει η πρώτη μέτρηση από το δέκτη. Αυτός ο αριθμός των πλήρων ταλαντώσεων είναι η λεγόμενη ασάφεια φάσης και εξ ορισμού είναι ακέραιος αριθμός. Οι γεωδαιτικές-τοπογραφικές εφαρμογές του GPS έγιναν πραγματικότητα όταν αναπτύχθηκαν αλγόριθμοι που μπορούν να επιλύουν τις ασάφειες φάσης. Όταν η επίλυση γίνει επιτυχώς, οι υπολογισθείσες ασάφειες είναι ακέραιοι αριθμοί και η λύση ονομάζεται *fixed*. Αντίθετα, αν δεν υπολογιστούν ακέραιες τιμές αλλά δεκαδικές, τότε η λύση ονομάζεται *float* και δεν εξασφαλίζει τοπογραφική ακρίβεια. Μία εκτενέστερη παρουσίαση των μεθόδων της επίλυσης ασαφειών φάσης ξεφεύγει από τους σκοπούς της παρούσας εργασίας. Πηγές σφαλμάτων που προκαλούν σφάλματα μέτρησης της τάξης του μισού μήκους κύματος της φέρουσας συχνότητας (~10 cm) είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε αδυναμία επίτευξης λύσης *fixed*, όπως θα δειχθεί στη παράγραφο 3 για την περίπτωση της Ιονόσφαιρας.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1:** Ενδεικτική ακρίβεια μέτρησης απόστασης μέσω κώδικα και φάσης GPS.

<b>Μετρητικοί κώδικες GPS</b>				
<b>Κώδικας</b>	<b>Ρυθμός μετάδοσης (chip rate)</b>	<b>Μήκος παλμού</b>	<b>Ακρίβεια μέτρησης απόστασης</b>	
C/A	1.023 MHz	293.10 m	~ 3.00 m	
P(Y)	10.23 MHz	29.31 m	~ 0.30 m	
<b>Φέρουσες συχνότητες GPS</b>				
<b>Φέρον κύμα</b>	<b>Συχνότητα</b>	<b>Μήκος κύματος</b>	<b>Ακρίβεια μέτρησης απόστασης</b>	
L1	1575.42 MHz	~ 0.19 m	~ 0.002 m	
L2	1227.60 MHz	~ 0.24 m	~ 0.0024 m	

## 2.1 Σωστές πρακτικές για την επίλυση ασαφειών φάσης

Η επίλυση ασαφειών φάσης είναι ένα ιδιαίτερα απαιτητικό εγχείρημα. Τα πρώτα χρόνια των γεωδαιτικών εφαρμογών του GPS μπορούσε να γίνει μόνο πραγματοποιώντας πολύωρες μετρήσεις με τη στατική μέθοδο (static). Στη συνέχεια αναπτύχθηκε η σύντομη στατική μέθοδος (rapid-static, fast-static), η οποία περιόρισε την απαιτούμενη διάρκεια μέτρησης σε περίπου 10 min. Τέλος, οι τεχνικές RTK επιτυγχάνουν την επίλυση των ασαφειών μέσα σε ελάχιστο χρονικό διάστημα, το οποίο αρχικά ήταν 1-2 min, ενώ σήμερα έχει μειωθεί στο επίπεδο των λίγων sec.

Σε κάθε περίπτωση, για να εξασφαλιστεί τοπογραφική ακρίβεια πρέπει να υπολογιστούν οι ακέραιες τιμές των ασαφειών φάσης (λύση *fixed*). Οι αλγόριθμοι επίλυσης για σύντομες στατικές μετρήσεις και RTK στηρίζονται σε στατιστικά στοιχεία για τον υπολογισμό/αποδοχή της λύσης *fixed* (RMS, Reference variance, ratio κλπ). Το ζητούμενο είναι η λύση που θα υπολογιστεί να είναι όσο γίνεται πιο αξιόπιστη. Οι αλγόριθμοι επίλυσης εγγυώνται, υπό καλές συνθήκες μέτρησης, ένα πολύ υψηλό επίπεδο αξιοπιστίας (π.χ. >99.9%). Ακόμα λοιπόν και με καλές συνθήκες παρατηρήσεων υπάρχει θεωρητικά μία πολύ μικρή πιθανότητα λανθασμένης επίλυσης ασαφειών φάσης και συνεπώς λανθασμένων συντεταγμένων. Ο κίνδυνος αυτός μεγαλώνει εκθετικά και γίνεται ουσιαστικός όταν οι συνθήκες μέτρησης δεν είναι καλές, όπως π.χ. όταν:

- ✧ η διάρκεια των σύντομων στατικών μετρήσεων δεν είναι αυτή που προβλέπει ο κατασκευαστής του εξοπλισμού για τις εκάστοτε συνθήκες μέτρησης
- ✧ το μήκος της βάσης είναι μεγάλο για τον εξοπλισμό που διαθέτουμε, την τεχνική που μετράμε και τις συνθήκες μέτρησης
- ✧ υπάρχουν εμπόδια που εμποδίζουν τη λήψη σημάτων και οδηγούν σε μικρό αριθμό παρατηρούμενων δορυφόρων ή/και κακή γεωμετρία με αυξημένες τιμές DOP
- ✧ η λήψη του δορυφορικού σήματος δεν είναι καλή, όπως όταν:
  - το σήμα περνάει μέσα από φυλλώματα δέντρων
  - υπάρχουν ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές
  - υπάρχουν κοντά στο δέκτη ανακλαστικές επιφάνειες (π.χ. μεταλλικές πινακίδες, λαμαρίνες, τζάμια, ελεύθερη επιφάνεια θάλασσας ή λίμνης) που προκαλούν multipath.

Προκειμένου να μειώσουμε στο ελάχιστο την πιθανότητα αποδοχής λανθασμένης επίλυσης ασαφειών (λύση *fixed* η οποία δεν είναι σωστή) συνιστάται να ακολουθούμε τις ακόλουθες σωστές πρακτικές:

- ✧ Χρησιμοποιούμε τις προτεινόμενες από τον κατασκευαστή ρυθμίσεις για το επίπεδο εμπιστοσύνης της επίλυσης (π.χ. 99%).
- ✧ Επιλέγουμε ένα σημείο που προσφέρει καλές συνθήκες λήψης για να «φιξάρουμε».
- ✧ Πριν ξεκινήσουμε τη μέτρηση ελέγχουμε από την οθόνη παρακολούθησης δορυφόρων του χειριστηρίου ότι:
  - η λήψη έχει σταθεροποιηθεί
  - έχουμε επαρκή αριθμό δορυφόρων με λήψη σε L1 και L2.
- ✧ Αν ο δέκτης RTK αργήσει να «φιξάρει» (π.χ. 5 min αντί του συνήθους < 1 min) ενδέχεται η λύση *fixed* να μην είναι σωστή οπότε όλα τα σημεία που θα μετρηθούν με τη συγκεκριμένη λύση *fixed* (μέχρι δηλαδή να «φιξάρει» ξανά ο δέκτης) θα έχουν συστηματικό σφάλμα. Συνιστάται να μετρηθεί ένα συγκεκριμένο σημείο και να επαναμετρηθεί (με νέο fix), μετά από πάροδο τουλάχιστον 1-2 ωρών, ώστε να έχει διαφοροποιηθεί η γεωμετρία των δορυφόρων. Αν οι δύο μετρήσεις συμπίπτουν, η πιθανότητα λανθασμένου fixing είναι εξαιρετικά μικρή. Η επαναμέτρηση μετά από 1-2 ώρες συνιστάται γενικότερα όταν έχουμε επιφυλάξεις για τη λύση.
- ✧ Αν δεν επιτυγχάνεται λύση *fixed* ενώ παρατηρούνται υπό καλές συνθήκες (καλή γεωμετρία, ισχυρό σήμα σε L1 και L2, απουσία εμποδίων) πολλοί δορυφόροι (π.χ. 8), μπορούμε να αυξήσουμε λίγο τη γωνία αποκοπής (elevation mask), π.χ.:
  - σε 20° αν το συνιστώμενο από τον κατασκευαστή είναι 13°
  - σε 10° ή 15° αν το συνιστώμενο από τον κατασκευαστή είναι 5°.

### 3. ΙΟΝΟΣΦΑΙΡΑ ΚΑΙ ΕΠΙΛΥΣΗ ΑΣΑΦΕΙΩΝ ΦΑΣΗΣ

Η ιονόσφαιρα αποτελεί μία από τις σημαντικότερες πηγές σφαλμάτων στο δορυφορικό εντοπισμό. Το σφάλμα  $dI$  που εισάγει στη μέτρηση της απόστασης δορυφόρου-δέκτη είναι συνάρτηση του βαθμού φόρτισής της (TEC: Total Electron Content) και της συχνότητας  $f$  του σήματος, όπως φαίνεται από τη σχέση (1) για την περίπτωση των μετρήσεων ψευδοαποστάσεων με κώδικα ( $gr$ ) και των μετρήσεων φάσης ( $ph$ ).

$$dI_{gr} = \frac{40.3 TEC}{f^2} \quad dI_{ph} = -\frac{40.3 TEC}{f^2} \quad (1)$$

Η ιονοσφαιρική επίδραση είναι ο κύριος λόγος ύπαρξης δύο συχνοτήτων στα δορυφορικά συστήματα πλοήγησης. Χρησιμοποιώντας συνδυαστικά τις μετρήσεις στις δύο συχνότητες (L1 και L2 στην περίπτωση του GPS) μπορούμε να αντιμετωπίσουμε το ιονοσφαιρικό σφάλμα.

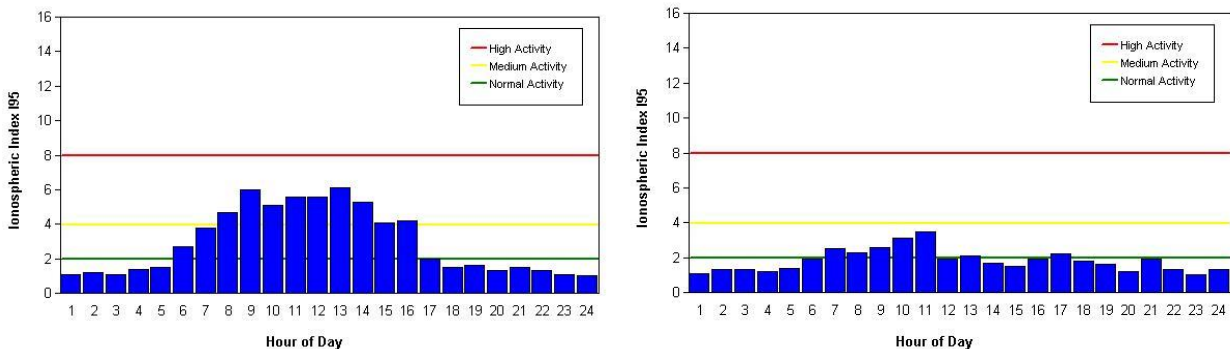
Κατά τις τοπογραφικές μετρήσεις με GPS (static, rapid-static, RTK) τα σφάλματα της ιονόσφαιρας περιορίζονται με δύο βασικούς τρόπους. Πρώτον, με το μοντέλο του σχετικού εντοπισμού, καθώς η επίδραση της Ιονόσφαιρας είναι κοινή σε base και rover (για βάσεις μέχρι 5-10 km) και απαλείφεται. Δεύτερον, με τη χρήση δεκτών δύο συχνοτήτων και ένα γραμμικό συνδυασμό των μετρήσεων σε L1 και L2 (*ionosphere-free* linear combination). Οι δύο αυτοί τρόποι έχουν πολύ καλά αποτελέσματα σε περιπτώσεις συνήθους φόρτισης της ιονόσφαιρας. Σε περιόδους έντονης ιονοσφαιρικής δραστηριότητας μπορούν όμως να παρουσιαστούν σημαντικά προβλήματα στην επίλυση ασαφειών φάσης, όπως περιγράφεται στις παραγράφους 3.2 και 3.3.

#### 3.1 Δείκτης I95

Για τις γεωδαιτικές-τοπογραφικές μετρήσεις GPS αυτό που έχει βαρύνουσα σημασία δεν είναι τόσο ο βαθμός φόρτισης της ιονόσφαιρας, όσο κυρίως η χωρική μεταβολή του βαθμού φόρτισης. Για να προσδιορίσουμε ποσοτικά τη χωρική μεταβολή της ιονοσφαιρικής φόρτισης χρησιμοποιούμε στα δίκτυα μόνιμων σταθμών αναφοράς το δείκτη I95. Πιο συγκεκριμένα ο δείκτης I95 υπολογίζεται με βάση τους όρους  $\Delta I_{LAT}$  and  $\Delta I_{LON}$  που εκφράζουν το πόσο μεταβάλλεται το ιονοσφαιρικό σφάλμα κατά τη διεύθυνση Βορρά-Νότου και Ανατολής-Δύσης αντίστοιχα. Αρχικά υπολογίζεται ο όρος:

$$\Delta I = \sqrt{\Delta I_{LAT}^2 + \Delta I_{LON}^2} \quad (2)$$

και στη συνέχεια ο δείκτης I95 ως το 95<sup>ο</sup> εκατοστημόριο όλων των τιμών  $\Delta I$  εντός ενός προκαθορισμένου χρονικού διαστήματος (Wanninger, 2004). Στην Εικόνα 1 δίνονται τυπικά παραδείγματα ημερήσιας μεταβολής του δείκτη I95 του HEPOS, όπου είναι φανερή η εντονότερη ιονοσφαιρική επίδραση κατά τις μεσημβρινές ώρες λόγω της αυξημένης ηλιακής ακτινοβολίας.

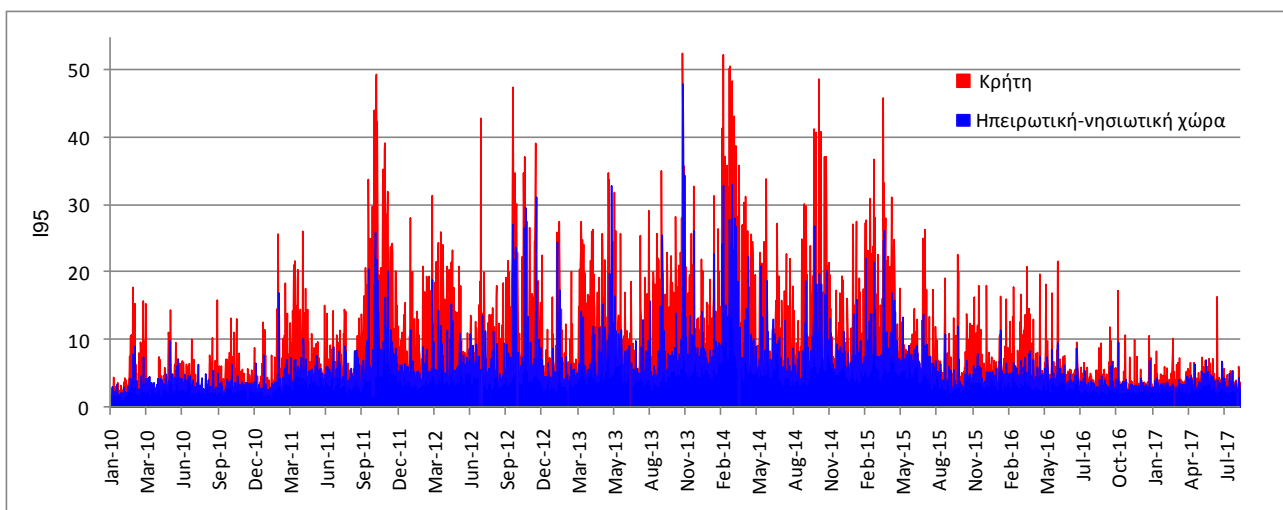


**ΕΙΚΟΝΑ 1:** Τυπική μεταβολή του δείκτη I95 κατά τη διάρκεια της ημέρας (11/10/2014 αριστερά και 6/10/2017 δεξιά).

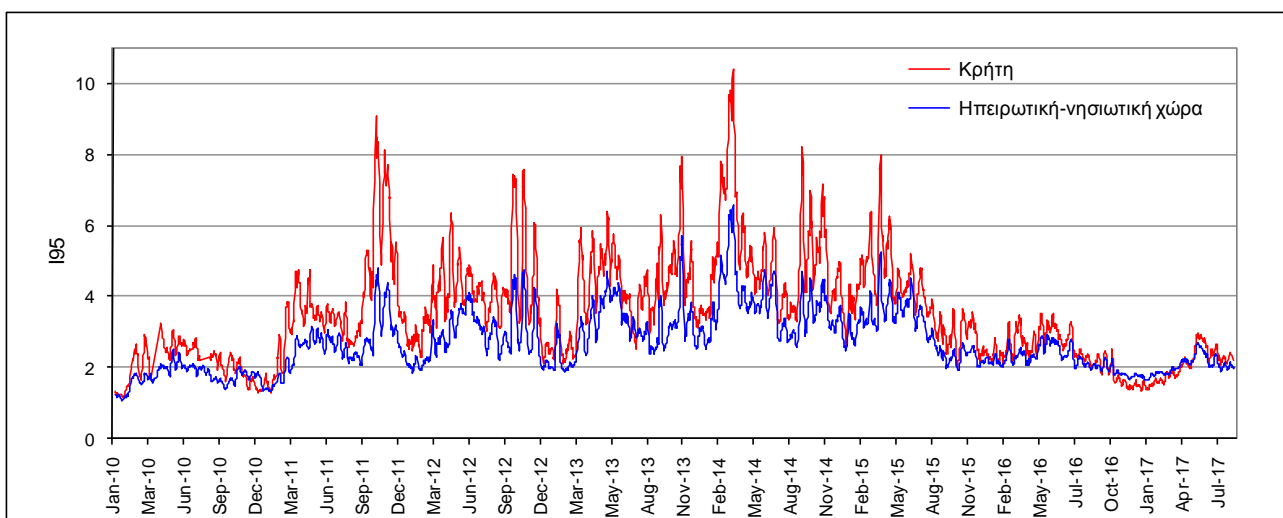
### 3.2 Ο 24<sup>ος</sup> Ηλιακός κύκλος

Η ιονοσφαιρική δραστηριότητα, πέραν της ημερήσιας μεταβολής της, υπόκειται και σε μεταβολές μακράς περιόδου λόγω του ενδεκαετούς κύκλου του Ήλιου, εξαιτίας του οποίου η ηλιακή δραστηριότητα δεν είναι σταθερή αλλά παρουσιάζει διακυμάνσεις με περίοδο περίπου ένδεκα ετών. Σήμερα διανύουμε τον 24<sup>ο</sup> Ηλιακό κύκλο, του οποίου τα μέγιστα παρατηρήθηκαν τις χρονιές εκατέρωθεν του 2013 (για περισσότερες λεπτομέρειες βλ. *Gianniou et al., 2016*). Στο πλαίσιο της διαχείρισης του HEPOS παρακολουθείται συστηματικά ο δείκτης I95 για την αποτελεσματικότερη εποπτεία της λειτουργίας του συστήματος.

Στα τέλη του 2011 η επίλυση των ασαφειών φάσης άρχισε να γίνεται αισθητά πιο δύσκολη και χρονοβόρα, ιδιαίτερα τις μεσημβρινές ώρες. Αυτό οφειλόταν στη ραγδαία αύξηση της ιονοσφαιρικής δραστηριότητας, όπως φαίνεται και από τις Εικόνες 2 και 3 που δίνουν τη μέγιστη και μέση ημερήσια τιμή του δείκτη I95 του HEPOS αντίστοιχα. Για την περιοχή της Κρήτης η επίδραση της ιονόσφαιρας είναι πολύ εντονότερη, καθώς η Κρήτη βρίσκεται πολύ πιο κοντά στο (γεωμαγνητικό) Ισημερινό. Ενδεικτικά σημειώνουμε ότι, ενώ στις αρχές του 2010 η μέγιστη τιμή του I95 στην Κρήτη δεν ξεπερνούσε την τιμή 5, στις αρχές του 2014 ξεπέρασε την τιμή 50.



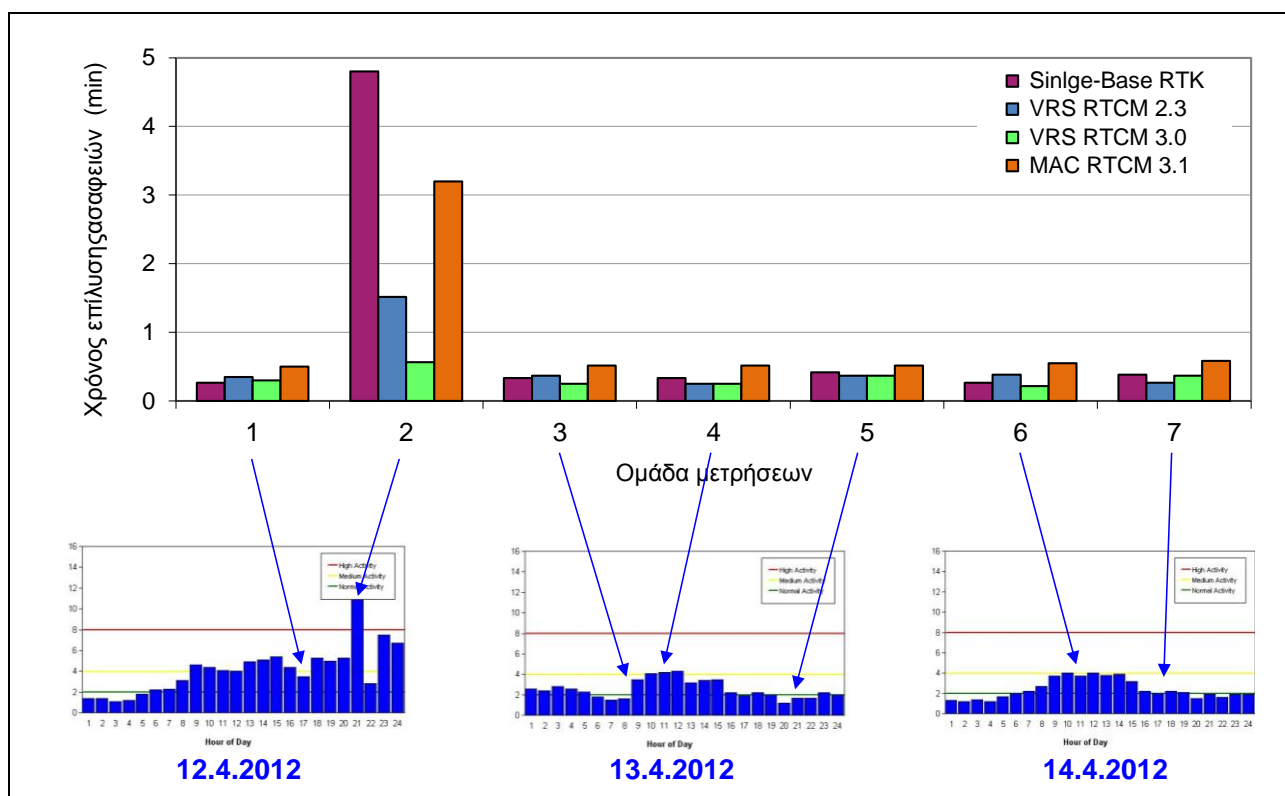
**ΕΙΚΟΝΑ 2:** Μέγιστη ημερήσια τιμή του δείκτη I95 του HEPOS για την ηπειρωτική-νησιωτική χώρα (μπλε γραμμή) και την Κρήτη (κόκκινη γραμμή).



**ΕΙΚΟΝΑ 3:** Μέση ημερήσια τιμή του δείκτη I95 του HEPOS για την ηπειρωτική-νησιωτική χώρα (μπλε γραμμή) και την Κρήτη (κόκκινη γραμμή). Για λόγους καλύτερης εποπτείας έχει χρησιμοποιηθεί φίλτρο κινητού μέσου όρου εύρους 7 ημερών.

### 3.3 Εμπειρίες από επίλυση ασαφειών φάσης κατά τον 24<sup>ο</sup> Ηλιακό κύκλο

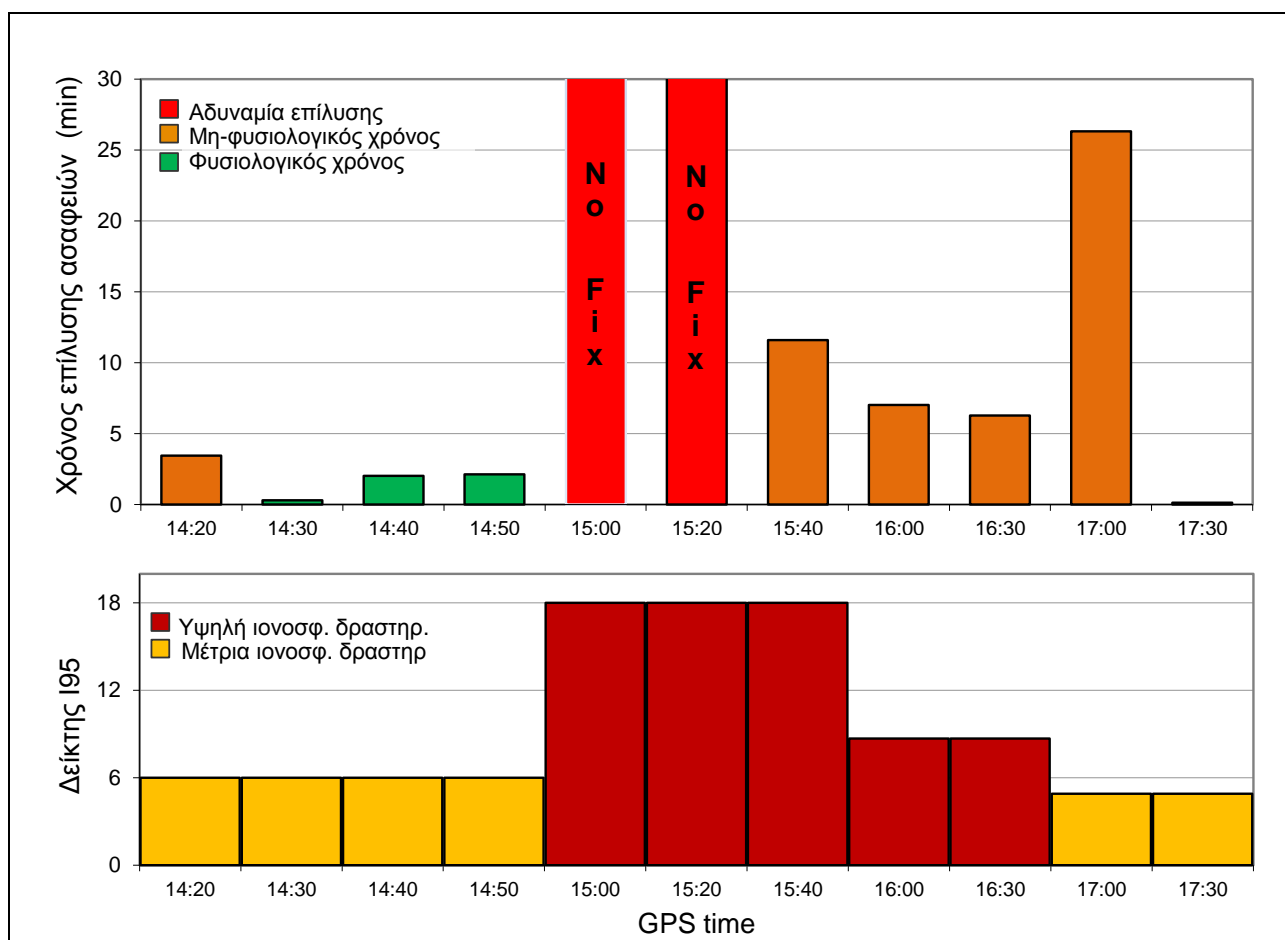
Για να γίνει πιο σαφής η άμεση σχέση της ιονοσφαιρικής επίδρασης με το χρόνο επίλυσης των ασαφειών φάσης παρατίθενται στη συνέχεια αποτελέσματα από μετρήσεις RTK που έγιναν το 2012 με χρήση του HEPOS. Οι μετρήσεις έγιναν στην περιοχή των Κυκλάδων, σε σημείο γνωστών συντεταγμένων, σε διαδοχικές ημέρες (12-14 Απριλίου) και σε διάφορες ώρες της ημέρας. Σκοπός των μετρήσεων ήταν να διερευνηθεί η σταθερότητα της λύσης RTK και η επίδραση της ιονόσφαιρας στο χρόνο επίλυσης ασαφειών φάσης. Κάθε φορά η μέτρηση γινόταν με χρήση τεσσάρων διαφορετικών RTK-mountpoints του HEPOS: Single-Base, VRS με RTCM 2.3, VRS με RTCM 3.0 και MAC. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 4, στις ομάδες μετρήσεων 1 και 3-7 η επίλυση των ασαφειών φάσης έγινε σε λιγότερο από 0.5 min, που είναι εντός των φυσιολογικών ορίων για τον εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε (Trimble R6). Αντίθετα στη δεύτερη ομάδα μετρήσεων παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση του χρόνου επίλυσης, ο οποίος ξεπέρασε τα 4.5 min για την περίπτωση του Single-Base. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι με χρήση των δικτυακών τεχνικών, ο χρόνος επίλυσης ήταν αισθητά μικρότερος, ειδικά με την τεχνική του εικονικού σταθμού αναφοράς VRS. Παρά τις καθυστερήσεις στην επίτευξη λύσης fixed, όλες οι μετρήσεις αποδείχθηκαν αξιόπιστες, με την ακρίβεια να κυμαίνεται στα φυσιολογικά επίπεδα του RTK (1-3 cm).



**ΕΙΚΟΝΑ 4:** Χρόνοι επίλυσης ασαφειών φάσης από μετρήσεις RTK με το HEPOS (πάνω) και αντίστοιχες τιμές του δείκτη I95 (κάτω).

Για την περαιτέρω διερεύνηση των επιπτώσεων της ιονοσφαιρικής δραστηριότητας στο χρόνο επίλυσης ασαφειών φάσης πραγματοποιήθηκε ανάλυση αποτελεσμάτων επίλυσης μετρήσεων με μετεπεξεργασία χρησιμοποιώντας αλγόριθμους επίλυσης ασαφειών φάσης *On-The-Fly*, αντίστοιχους με αυτούς που χρησιμοποιούν οι δέκτες RTK. Ως πεδίο δοκιμής επιλέχθηκε η Κρήτη λόγω της υψηλής ιονοσφαιρικής δραστηριότητας. Για περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με την επεξεργασία των μετρήσεων βλ. *Gianniou and Mitropoulou (2012)*. Στην Εικόνα 5 δίνονται οι χρόνοι επίλυσης των ασαφειών σε διάφορες χρονικές στιγμές και οι αντίστοιχες τιμές του δείκτη I95 του HEPOS. Παρατηρούμε ότι μέχρι τις 15:00 που ο δείκτης I95 δεν ξεπερνά την τιμή 6, η επίλυση ασαφειών είναι εφικτή, έστω με λίγο αυξημένους χρόνους. Στο διάστημα 15:00-17:00,

όπου το I95 είναι μεγάλο, παρουσιάστηκαν δύο περιπτώσεις πλήρους αδυναμίας επίτευξης λύσης *fixed*, ενώ στις υπόλοιπες δοκιμές ο χρόνος επίλυσης (6 - 11.5 min) ήταν κατά πολύ μεγαλύτερος του φυσιολογικού. Στην προτελευταία δοκιμή ο χρόνος επίλυσης ασαφειών ήταν 26 min, το οποίο εκ πρώτης είναι μη αναμενόμενο καθώς το I95 ήταν ίσο με 5. Αυτό μπορεί να αιτιολογηθεί βάσει του τρόπου υπολογισμού του I95 (95<sup>ο</sup> εκατοστημόριο των τιμών σε ωριαία βάση κλπ) και καταδεικνύει ότι ο ρόλος του δείκτη I95 είναι κατά κύριο λόγο ενδεικτικός. Σημειώνεται ότι οι μετρήσεις είναι από την 21<sup>η</sup> Μαρτίου 2012, μία ημέρα που ο δείκτης I95 είχε τιμές έως 24, οι οποίες είναι μεν υψηλές αλλά όχι ακραίες. Γίνεται εύκολα αντιληπτό πόσο δυσμενέστερη ήταν η επίδραση της ιονόσφαιρας σε ημέρες εντονότερης ηλιακής δραστηριότητας, όπου οι τιμές του δείκτη I95 ξεπέρασαν ακόμα και την τιμή 50.



**ΕΙΚΟΝΑ 5:** Χρόνοι επίλυσης ασαφειών φάσης από μετεπεξεργασία μετρήσεων (πάνω) και αντίστοιχες τιμές του δείκτη I95 (κάτω). Οι κόκκινες στήλες αντιστοιχούν σε πλήρη αδυναμία επίλυσης ασαφειών.

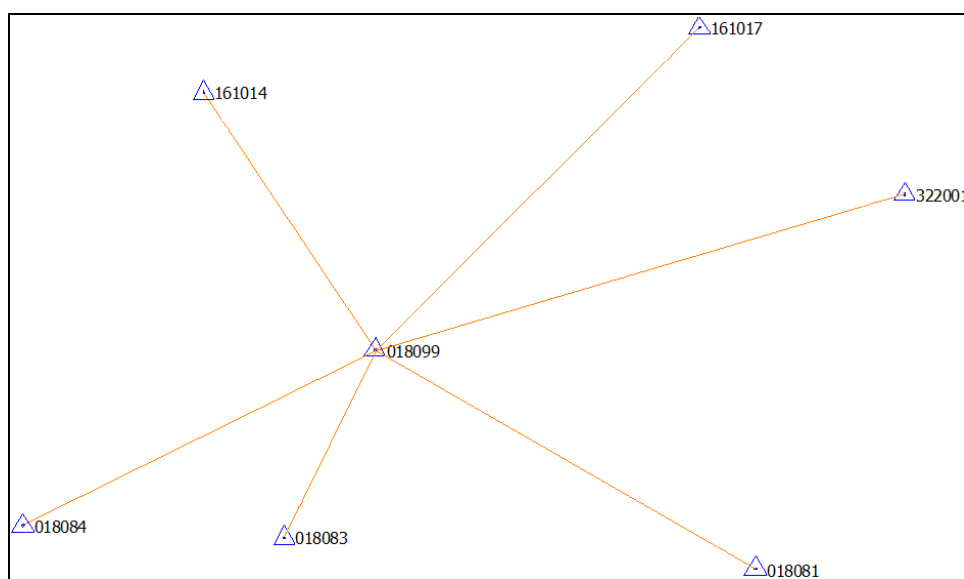
### 3.4 Σωστές πρακτικές σε περιόδους έντονης ιονοσφαιρικής δραστηριότητας

Τις ημέρες έντονων ιονοσφαιρικών φαινομένων αποφεύγουμε κατά το δυνατόν να μετράμε με GPS. Πληροφορίες για το επίπεδο της ιονοσφαιρικής διαστηριότητας παρέχονται ελεύθερα από τον ιστοχώρο του HEPOS ([www.hepos.gr](http://www.hepos.gr)). Εφόσον πρέπει να γίνουν μετρήσεις, το βέλτιστο είναι να μετρήσουμε τις πρωινές ώρες (περίπου μέχρι τις 10:00 π.μ.) και αν αυτό δεν είναι εφικτό, τότε αργά το απόγευμα. Προτιμάμε τις δικτυακές τεχνικές που παρέχει το HEPOS (π.χ. VRS), ειδικότερα αν δεν είμαστε πολύ κοντά σε πραγματικό σταθμό αναφοράς. Τέλος, εφόσον έχουμε αμφιβολίες για μία λύση *fixed*, κάνουμε επαναληπτικές μετρήσεις ελέγχου (με νέο fix), μετά από πάροδο 1-2 ωρών, έτσι ώστε να έχει αλλάξει η γεωμετρία των δορυφόρων, σύμφωνα με τα προαναφερθέντα στην παράγραφο 2.1.

## 4. ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ

### 4.1 Εσωτερική συνοχή Κρατικού Τριγωνομετρικού Δικτύου

Το Κρατικό τριγωνομετρικό δίκτυο ιδρύθηκε με κλασικές τοπογραφικές μεθόδους και ως εκ τούτου η εσωτερική του συνοχή περιορίζεται αναγκαστικά στα επίπεδα της ακρίβειας που προσέφεραν οι μέθοδοι και τα όργανα που χρησιμοποιούνταν πριν από πέντε και πλέον δεκαετίες. Άμεση συνέπεια αυτού είναι, όταν προσδιορίζουμε με GPS ένα σημείο από διαφορετικά κάθε φορά γειτονικά τριγωνομετρικά, να καταλήγουμε σε διαφορετικές συντεταγμένες. Στην Εικόνα 6 δίνεται ένα παράδειγμα από την περιοχή των Μεσογείων Αττικής, όπου ένα τριγωνομετρικό ΓΥΣ προσδιορίστηκε διαδοχικά από τα γειτονικά τριγωνομετρικά ΓΥΣ. Οι διαφορές που προέκυψαν από κάθε βάση GPS σε σχέση με τις γνωστές συντεταγμένες του σημείου δίνονται στον Πίνακα 2. Οι διαφορές αυτές παρουσιάζουν ένα εύρος τιμών 8.9 cm κατά ΔΕ και 3.4 cm κατά ΔΝ. Το εν λόγω εύρος διαφορών αντιστοιχεί στις διαφορές που θα έβρισκαν διάφοροι τοπογράφοι που θα μέτραγαν στην περιοχή του σημείου 018099 χρησιμοποιώντας κάθε φορά άλλο τριγωνομετρικό ΓΥΣ ως σημείο εξάρτησης.



**ΕΙΚΟΝΑ 6:** Προσδιορισμός σημείου με GPS από γειτονικά τριγωνομετρικά σημεία. Τα μήκη των βάσεων κυμαίνονται από 3.3 km ως 8.9 km.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2:** Σφάλματα συντεταγμένων που προκύπτουν για το σημείο 018099 από κάθε βάση.

Σημείο εξάρτησης	ΔΕ (cm)	ΔΝ (cm)
018081	-0.6	2.4
018083	4.5	1.7
018084	8.3	1.0
161014	0.5	0.6
161017	1.2	-1.0
322001	3.2	-0.3

Αντίστοιχες διερευνήσεις με την παραπάνω έγιναν και σε άλλες περιοχές στη χώρα, στο πλαίσιο του ελέγχου ποιότητας των γεωδαιτικών δικτύων των πρώτων μελετών του Εθνικού Κτηματολογίου, πριν δηλαδή αναπτυχθεί το HEPOS και εκλείψει η ανάγκη ίδρυσης δικτύων σημείων ελέγχου. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον Πίνακα 3. Αυξημένες διαφορές παρουσιάζονται κατά κανόνα σε περιοχές με έντονα γεωλογικά φαινόμενα, τα οποία στην πάροδο των δεκαετιών προκάλεσαν τοπικές παραμορφώσεις (πχ. η περιοχή της Κεφαλονιάς λόγω των σεισμών). Κλείνοντας, αξίζει να σημειωθεί ότι το τριγωνομετρικό δίκτυο της ΓΥΣ είχε ιδρυθεί με υψηλή ακρίβεια για τα δεδομένα της εποχής.



**ΠΙΝΑΚΑΣ 3:** Ενδεικτικά αποτελέσματα από τις επιλύσεις ελέγχου των τριγωνομετρικών δικτύων σε διάφορες περιοχές της χώρας.

Περιοχή	Φ.Χ.	# Κρατικών Τριγ/κων στο δίκτυο	Εύρος διακύμανσης Easting (m)	Εύρος διακύμανσης Northing (m)
<b>Περιοχές υψηλής ακρίβειας</b>				
Αττική	018	9	<b>0.05</b>	<b>0.09</b>
Μήλος	163,221	10	<b>0.10</b>	<b>0.09</b>
Ιωάννινα	127	13	<b>0.04</b>	<b>0.03</b>
<b>Περιοχές μέσης ακρίβειας</b>				
Σύρος	105	13	<b>0.15</b>	<b>0.20</b>
Σίφνος	259	9	<b>0.12</b>	<b>0.15</b>
Πτολεμαΐδα	315, 318	15	<b>0.16</b>	<b>0.12</b>
Γρεβενά	012, 085, 166	18	<b>0.18</b>	<b>0.19</b>
Πρέσπες	041, 215	8	<b>0.15</b>	<b>0.24</b>
<b>Περιοχές χαμηλής ακρίβειας</b>				
Αιτωλ/νία	015, 110, 214	9	<b>0.15</b>	<b>0.54</b>
Λάρισα	082, 184	7	<b>0.38</b>	<b>0.26</b>
Κεφαλονιά	016, 050	6	<b>0.61</b>	<b>0.15</b>

#### 4.2 Υλοποίηση του ΕΓΣΑ'87 μέσω του HEPOS

Ο μετασχηματισμός από το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς του HEPOS HTRS07 στο ΕΓΣΑ87 γίνεται μέσω συνδυασμένης χρήσης ενός επτα-παραμετρικού μετασχηματισμού και δύο καννάβων διορθώσεων σύμφωνα με το επίσημο μοντέλο μετασχηματισμού που έχει δημοσιευθεί από την ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. (Κωτσάκης et al., 2010). Για περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τον ορισμό του HTRS07 βλ. *Katsampalos et al.* (2010).

Η χρήση του επίσημου μοντέλου μετασχηματισμού του HEPOS αντιμετωπίζει ουσιαστικά τα προβλήματα που περιγράφηκαν στην παράγραφο 4.1, εξασφαλίζοντας το εξαιρετικά σημαντικό πλεονέκτημα ότι όλοι οι χρήστες προσδιορίζουν τις ίδιες συντεταγμένες για τα ίδια σημεία, κάτι που δεν επιτυγχάνεται όταν χρησιμοποιούνται τριγωνομετρικά σημεία.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Γιαννίου, Μ. (2000). Τερματισμός της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας στο GPS: Τι αλλάζει στις εφαρμογές του συστήματος, *Δελτίο Πανελληνίου Συλλόγου Διπλωματούχων Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών*, Τεύχος 147, σελ. 46-55.

Κωτσάκης, Χ., Κατσάμπαλος, Κ., Γιαννίου, Μ. (2010). Μοντέλο μετασχηματισμού συντεταγμένων μεταξύ του συστήματος αναφοράς του HEPOS (HTRS07) και του Ελληνικού Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς (ΕΓΣΑ87) - Βασική μεθοδολογία και αριθμητικά παραδείγματα, ΤΑΜΤ/ΑΠΘ – ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε.

Gianniou, M. and Mitropoulou, E. (2012). Impact of high ionospheric activity on GPS surveying: Experiences from the Hellenic RTK-network during 2011-12, *EUREF 2012 Symposium*, June 6-8 2012, Saint Mandé, France.

Gianniou, M., Mitropoulou, E. and Mastoris, D. (2016). National Report of Greece to EUREF 2016, *EUREF 2016 Symposium*, May 17-19 2016, Wroclaw, Poland.

Katsampalos, K., Kotsakis, C. and Gianniou, M. (2010). Hellenic Terrestrial Reference System 2007 (HTRS07): a regional densification of ETRS89 over Greece in support of HEPOS, *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, Vol. LXIX, N. 2-3, 2010, pp. 329-347

Wanninger, L. (2004). Ionospheric disturbance indices for RTK and network RTK positioning. *Proceedings of the National Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GPS 2004)*, September 2004, Long Beach, USA, pp. 2849-2854.