

Οδηγίες χρήσης του Ελληνικού Συστήματος Εντοπισμού HEPOS για την εκτέλεση των συμβάσεων Β΄ φάσης Κτηματογράφησης

Το παρόν κείμενο συντάχθηκε ενόψει της υλοποίησης των συμβάσεων της Β΄ Φάσης Κτηματογράφησης του Εθνικού Κτηματολογίου. Η πλειοψηφία των οδηγιών που περιέχονται σχετικά με τη χρήση του HEPOS έχουν γενικότερη ισχύ και ως εκ τούτου θεωρείται σκόπιμο να είναι εις γνώση όλων των χρηστών του HEPOS.

A. Σύστημα αναφοράς συντεταγμένων

A1. Σύστημα αναφοράς του Έργου

Σύμφωνα με τις Τεχνικές Προδιαγραφές των συμβάσεων της Β΄ φάσης Κτηματογράφησης (παράγραφοι 7.3.1 – 7.3.2) το σύστημα αναφοράς συντεταγμένων του Έργου είναι το ΕΓΣΑ87 και η υλοποίησή του πρέπει να γίνεται μέσω του Ελληνικού Συστήματος Εντοπισμού HEPOS.

A2. Σύστημα αναφοράς του HEPOS

Το σύστημα αναφοράς του HEPOS είναι το HTRS07 (Hellenic Terrestrial Reference System 2007), το οποίο αποτελεί υλοποίηση του ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) στην Ελλάδα. Υπεραπλουστεύοντας θα μπορούσαμε να πούμε ότι το ETRS89, το ITRS (International Terrestrial Reference System) και το WGS84 ταυτίζονται σήμερα σε επίπεδο καλύτερο του 1m.

Οι συντεταγμένες των σταθμών αναφοράς του HEPOS αναφέρονται στο HTRS07. Οι συντεταγμένες αυτές είναι διαθέσιμες στον ιστοχώρο του HEPOS (www.hepos.gr -> downloads). Στην πράξη, ο χρήστης μπορεί συνήθως να εργαστεί χωρίς να χρειάζεται τον πίνακα συντεταγμένων των σταθμών καθώς:

- Για εφαρμογές μετεπεξεργασίας, οι ακριβείς συντεταγμένες εμπεριέχονται στα αρχεία RINEX και CRINEX, είτε πρόκειται για πραγματικό, είτε για εικονικό σταθμό αναφοράς (VRS) (βλ. και www.hepos.gr -> παρουσιάσεις -> Ημερίδα HEPOS, Αθήνα 24/02/2009 -> Χρήση των υπηρεσιών μετεπεξεργασίας του HEPOS)
- Για εφαρμογές πραγματικού χρόνου, οι ακριβείς συντεταγμένες των πραγματικών ή εικονικών σταθμών εμπεριέχονται στις διορθώσεις που λαμβάνει ο χρήστης (συνήθως σε format RTCM).

A3. Υλοποίηση του ΕΓΣΑ87 μέσω του HEPOS - Μετασχηματισμός συντεταγμένων

Για την υλοποίηση του ΕΓΣΑ87 μέσω του HEPOS η ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. ανέπτυξε ένα μοντέλο αμφίδρομου μετασχηματισμού μεταξύ HTRS07 και ΕΓΣΑ87. Το μοντέλο αυτό επιτυγχάνει ακρίβεια της τάξης των 8cm πανελλαδικά. **Η παραγωγή συντεταγμένων ΕΓΣΑ87 μέσω του HEPOS πρέπει λοιπόν να γίνεται μετασχηματίζοντας τις συντεταγμένες HTRS07 σε ΕΓΣΑ87 με χρήση του επίσημου μοντέλου μετασχηματισμού.** Αυτό μπορεί να γίνεται με δύο τρόπους:

- Μέσω του σχετικού λογισμικού, το οποίο διατίθεται ελεύθερα μέσω του ιστοχώρου του HEPOS (www.hepos.gr -> downloads)
- Μέσω των εμπορικών λογισμικών μετεπεξεργασίας μετρήσεων GPS και των λογισμικών χειριστηρίων δεκτών RTK, στα οποία έχει ενσωματωθεί το επίσημο μοντέλο μετασχηματισμού. **Στην περίπτωση αυτή συνιστάται ο έλεγχος των αποτελεσμάτων συγκρίνοντας με αυτά του επίσημου λογισμικού.** (Η ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. κατά τη χορήγηση του μοντέλου στους ενδιαφερόμενους κατασκευαστές έδωσε οδηγία να χρησιμοποιείται το όνομα «HEPOS_GGRS87», προκειμένου να μην προκαλείται σύγχυση από διαφορετικά ονόματα).

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στα ακόλουθα σημεία:

- **Όταν χρησιμοποιείται το HEPOS δεν πρέπει να γίνεται χρήση των τριών παραμέτρων DX, DY, DZ, οι οποίες χρησιμοποιούνται συνήθως για τον ορισμό του ΕΓΣΑ87** στα λογισμικά γραφείου και στα χειριστήρια RTK, στην περίπτωση συμβατικών μετρήσεων GPS, όταν δηλαδή ο σταθμός αναφοράς τοποθετείται σε σημείο με γνωστές συντεταγμένες ΕΓΣΑ87. Η προσέγγιση μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά σφάλματα (βλ. και www.hepos.gr -> Παρουσιάσεις -> Ημερίδα HEPOS, Αθήνα 24/02/2009 -> Ανάπτυξη και διάθεση μοντέλου μετασχηματισμού HTRS07 - ΕΓΣΑ87 και μοντέλου γεωειδούς).
- Πριν την ίδρυση του HEPOS, ο ορισμός του ΕΓΣΑ87 γινόταν κατά κανόνα με χρήση των τριών προσεγγιστικών παραμέτρων μετάθεσης μεταξύ WGS84 και ΕΓΣΑ87 ($\Delta X \approx -200$ m, $\Delta Y \approx +74$ m, $\Delta Z \approx +246$ m). **Όταν όμως χρησιμοποιείται το HEPOS (τόσο για εφαρμογές μετεπεξεργασίας όσο και για πραγματικού χρόνου), δεν πρέπει να χρησιμοποιείται αυτός ο προσεγγιστικός ορισμός του ΕΓΣΑ87, επειδή μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά σφάλματα** (βλ. και www.hepos.gr -> Παρουσιάσεις -> Ημερίδα HEPOS, Αθήνα 24/02/2009 -> Ανάπτυξη και διάθεση μοντέλου μετασχηματισμού HTRS07 - ΕΓΣΑ87 και μοντέλου γεωειδούς http://www.hepos.gr/hepos/HEPOS_pres_2009h_gr.pdf).
- Η υλοποίηση του ΕΓΣΑ87 μέσω του HEPOS είναι μονοσήμαντα ορισμένη. Αυτό σημαίνει ότι η (σωστή) χρήση του HEPOS θα οδηγήσει πάντα στις ίδιες συντεταγμένες ΕΓΣΑ87. Αντίθετα, όπως έχει αποδείξει η εμπειρία, κατά τη χρήση τριγωνομετρικών σημείων του Κρατικού Δικτύου προκύπτουν διαφορετικές συντεταγμένες ανάλογα με το ποιο τριγωνομετρικό σημείο χρησιμοποιείται και ανάλογα με την εσωτερική ακρίβεια που έχουν τα τριγωνομετρικά σημεία στη συγκεκριμένη περιοχή. **Για το λόγο αυτό δεν πρέπει να γίνεται χρήση των τριγωνομετρικών σημείων που βρίσκονται στην περιοχή της Κτηματογράφησης, αλλά οι συντεταγμένες ΕΓΣΑ87 να προσδιορίζονται μέσω του HEPOS.** Οποιαδήποτε σχετική παρέκκλιση προϋποθέτει γραπτή έγκριση της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε.
- Στην περίπτωση όπου τα σημεία λεπτομερειών δεν είναι κατάλληλα για μέτρηση με GPS (παρακείμενα κτίρια, δέντρα ή άλλα εμπόδια), θα πρέπει να προσδιορίζονται σημεία ελέγχου με το HEPOS στην πλησιέστερη τοποθεσία που ενδείκνυται για μετρήσεις GPS (π.χ. πλατείες, νησίδες πλατιών δρόμων κλπ) και στη συνέχεια με επίγειες τοπογραφικές μεθόδους να προσδιορίζονται τα σημεία λεπτομερειών από τα ιδρυθέντα σημεία ελέγχου. Προκειμένου να διευκολύνεται ο έλεγχος αυτών των μετρήσεων και να εντοπίζονται το συντομότερο πιθανά προβλήματα, συνιστάται η μόνιμη σήμανση των κυριότερων σημείων ελέγχου που θα ιδρυθούν, η εξασφάλισή τους σύμφωνα με τη συνήθη τοπογραφική πρακτική και γενικά η επαρκής τεκμηρίωσή τους (φωτογραφίες κλπ).

B. Επιστημονικές για τις μετρήσεις GPS και τη χρήση του HEPOS

Η παρούσα ενότητα περιέχει επιστημονικές σε θέματα που η εμπειρία έχει δείξει ότι δεν αποδίδεται η απαιτούμενη προσοχή, με αποτέλεσμα τα παραγόμενα αποτελέσματα να μην ικανοποιούν τις απαιτήσεις των Έργων.

B1. Αριθμός και γεωμετρία δορυφόρων

Απαραίτητη προϋπόθεση για τον ακριβή προσδιορισμό θέσης με GPS είναι η κατάλληλη γεωμετρία των παρατηρούμενων δορυφόρων. Η γεωμετρία των δορυφόρων εκφράζεται μέσω των δεικτών DOP (Dilution of Precision) και συνήθως μέσω του δείκτη PDOP. Επιστημαίνονται τα ακόλουθα:

- **Ο αριθμός των παρατηρούμενων δορυφόρων πρέπει να είναι μεγαλύτερος ή ίσος του 5.** Η γεωμετρία των παρατηρούμενων δορυφόρων πρέπει να είναι καλή, δηλαδή οι δορυφόροι να είναι κατά το δυνατόν κατανεμημένοι σε όλο το ορατό ημισφαίριο του ουρανού. Για παράδειγμα, δεν αρκεί η λήψη 6 ή 7 δορυφόρων εάν αυτοί, λόγω παρακείμενου κτιρίου, βρίσκονται μόνο στο μισό ημισφαίριο του ουρανού. Σε αυτή την περίπτωση δεν ισχύει η

ονομαστική ακρίβεια των δεκτών GPS και δεν εξασφαλίζεται η απαιτούμενη τοπογραφική ακρίβεια.

- Η γεωμετρία των δορυφόρων εκφράζεται μέσω του δείκτη PDOP. **Ο δείκτης PDOP πρέπει να είναι κατά το δυνατόν μικρός, ειδικότερα για μετρήσεις RTK.** Μετρήσεις RTK με PDOP μεγαλύτερο από 3 πρέπει να γίνονται με προσοχή. Στην περίπτωση στατικών μετρήσεων, το αντίστοιχο όριο PDOP είναι γενικά μεγαλύτερο (4-5). Οι τιμές αυτές αφορούν τους χρησιμοποιούμενους δορυφόρους και όχι δορυφόρους που βρίσκονται κάτω από την γωνία αποκοπής (συνήθως 15°).

B2. Ποιότητα λαμβανομένου σήματος

Ο κατάλληλος αριθμός παρατηρούμενων δορυφόρων και η καλή γεωμετρία τους δεν επαρκούν για να εξασφαλίσουν την αναγκαία ακρίβεια των μετρήσεων GPS. Πρέπει και η ποιότητα των μετρήσεων να είναι ικανοποιητική. Επισημαίνονται τα ακόλουθα:

- Φυλλώματα δέντρων εξασθενούν το - ήδη εξαιρετικά ασθενές - σήμα των δορυφόρων. Οι κατασκευαστές συστημάτων GPS εξελίσσουν τεχνολογίες που μετριάζουν την επίδραση τέτοιων εμποδίων. Παρά τη σχετική πρόοδο που έχει επιτευχθεί, φυλλώματα δέντρων και άλλα εμπόδια στο σήμα προκαλούν πάντοτε θόρυβο στις μετρήσεις, για λόγους που έχουν να κάνουν με τις φυσικές ιδιότητες μετάδοσης των ραδιοκυμάτων. Για το λόγο αυτό, **δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται μετρήσεις σημάτων δορυφόρων τα οποία διέρχονται μέσα από φυλλώματα δέντρων.**
- Οι ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές συνιστούν το κρισιμότερο ίσως πρόβλημα στη διεξαγωγή των μετρήσεων. Η ύπαρξη παρεμβολών γίνεται εύκολα αντιληπτή από τις χαμηλές τιμές του δείκτη SNR, τις οποίες εμφανίζουν όλοι οι γεωδαιτικοί δέκτες κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Όσο αυξάνει η ένταση των παρεμβολών, προκαλούνται διακοπές λήψης αρχικά στην L2, ύστερα στην L1 και μέχρι του σημείου να μην λαμβάνονται καθόλου τα δορυφορικά σήματα. Ανάλογα με την πηγή των παρεμβολών το πρόβλημα ενδέχεται να περιοριστεί αισθητά εάν ο δέκτης μετακινηθεί σε μικρή απόσταση.
- Τα δορυφορικά σήματα ανακλώνται εύκολα σε συγκεκριμένες επιφάνειες προκαλώντας το φαινόμενο “multipath”, με αρνητικές επιπτώσεις στην ακρίβεια. Στο μέτρο του εφικτού **πρέπει να αποφεύγονται μετρήσεις κοντά σε ανακλαστικές επιφάνειες** όπως:
 - γυάλινες επιφάνειες
 - μεταλλικές επιφάνειες (π.χ. οχήματα)
 - υδάτινες επιφάνειες

B3. Γενικές οδηγίες

Ως γενικές οδηγίες επισημαίνονται τα ακόλουθα:

- Συνήθως η ονομαστική ακρίβεια που δίνεται από τους κατασκευαστές είναι ίδια ή παρεμφερής για σύντομες στατικές μετρήσεις (rapid-static) και για RTK (π.χ. 10mm + 1ppm). Η πραγματική ακρίβεια (διαφορά αληθούς-προσδιοριζόμενης τιμής) είναι πάντα αισθητά καλύτερη στην περίπτωση των στατικών μετρήσεων. Πολύ δε περισσότερο, οι στατικές μετρήσεις υπερέχουν από πλευράς αξιοπιστίας της επίλυσης. **Για τους λόγους αυτούς, όταν οι απαιτήσεις ακρίβειας είναι αυξημένες (π.χ. ίδρυση σημείων ελέγχου) πρέπει να γίνονται μόνο στατικές μετρήσεις και όχι RTK.**
- Όταν υπάρχουν μόνιμα εμπόδια που περιορίζουν σημαντικά την ορατότητα δορυφόρων, πρέπει οι μετρήσεις να γίνονται την πλέον ευνοϊκή ώρα. Για το σκοπό αυτό τα λογισμικά GPS διαθέτουν προγράμματα σχεδιασμού (planning) τα οποία υπολογίζουν το δείκτη PDOP και τον αριθμό των παρατηρούμενων δορυφόρων σε συνάρτηση με την τοπική ώρα, λαμβάνοντας υπόψη τα εμπόδια που εισάγει ο χρήστης.
- **Υπό δύσκολες συνθήκες παρατήρησης (κακή γεωμετρία δορυφόρων, φυλλώματα δέντρων, multipath, παρεμβολές) πρέπει να αυξάνεται ο χρόνος παραμονής στο σημείο μέτρησης που γίνονται οι στατικές μετρήσεις.**

- Τα μήκη των βάσεων που μετρούνται πρέπει να είναι σε συμφωνία με τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται, την τεχνική μέτρησης που εφαρμόζεται και τις οδηγίες του κατασκευαστή. Για παράδειγμα, με δέκτες μίας συχνότητας, τα μήκη βάσης πρέπει να διατηρούνται μικρά για την αποφυγή του ιονοσφαιρικού -κυρίως- σφάλματος. **Στην περίπτωση χρήσης του HEPOS με δέκτες μίας συχνότητας πρέπει να χρησιμοποιούνται εικονικοί σταθμοί κοντά στην περιοχή των μετρήσεων και όχι απομακρυσμένοι μόνιμοι σταθμοί.** Απαραίτητη προϋπόθεση για τη χρήση εικονικού σταθμού είναι να βρίσκεται ο χρήστης εντός των περιοχών δικτυακής λύσης.
- Όταν ενδιαφέρει ο προσδιορισμός υψομέτρου, πρέπει να καταγράφονται σε έντυπα πεδίου και να εισάγονται επακριβώς στους δέκτες και τα λογισμικά τα ακόλουθα στοιχεία:
 - Ύψος κεραίας
 - Τρόπος μέτρησης του ύψους κεραίας
 - Μάρκα και μοντέλο κεραίας

B4. Μετρήσεις RTK

Πέραν των παραπάνω γενικών προϋποθέσεων που πρέπει να εξασφαλίζονται σε όλες τις τοπογραφικές μετρήσεις με GPS, ειδικότερα για τις μετρήσεις RTK επισημαίνονται τα ακόλουθα:

- Η ονομαστική ακρίβεια των μετρήσεων RTK με σύγχρονους δέκτες είναι της τάξης των 10mm + 1ppm. Η ακρίβεια αυτή όχι μόνο είναι ονομαστική αλλά επιπλέον ισχύει μόνο για καλές συνθήκες μετρήσεων, όπως χαμηλό PDOP, αριθμό δορυφόρων μεγαλύτερο από 5 και απουσία multipath. Η πραγματική ακρίβεια (διαφορά αληθούς-προσδιοριζόμενης τιμής) που επιτυγχάνεται στην πράξη όταν εξασφαλίζονται οι προαναφερθείσες καλές συνθήκες έχει διαπιστωθεί ότι ανέρχεται στα 2-3cm. Όταν οι συνθήκες μετρήσεων δεν είναι ιδανικές η επιτυγχάνομενη ακρίβεια μειώνεται περεταίρω.
- Απαραίτητη προϋπόθεση για να εξασφαλιστεί με RTK η προαναφερθείσα ακρίβεια της τάξης των λίγων cm, είναι η επίλυση των ασαφειών φάσης, δηλαδή **πρέπει να έχει εξασφαλιστεί λύση “fixed” πριν μετρήσουμε ένα σημείο. Η λύση “float” δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για τη μέτρηση ορίων γεωτεμαχίων σε αστικές περιοχές.** Το σφάλμα μίας λύσης “float” είναι συχνά πολύ μεγαλύτερο από αυτό που υποδηλώνει η ακρίβεια που αναγράφει ο δέκτης. Για παράδειγμα, μία λύση “float” με ονομαστική ακρίβεια 10cm, μπορεί να οδηγήσει σε σφάλμα 40 - 60 cm.
- Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται όταν υπάρχει σημαντική καθυστέρηση στην επίτευξη της λύσης “fixed”, σε σχέση με το χρόνο που χρειάζεται συνήθως ο συγκεκριμένος δέκτης. Έχει διαπιστωθεί από διεθνείς έρευνες ότι σε τέτοιες περιπτώσεις συχνά η επίλυση των ασαφειών φάσης είναι λανθασμένη. **Στην περίπτωση λανθασμένης λύσης “fixed”, η αναγραφόμενη στο δέκτη ακρίβεια δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα.** Το σφάλμα μπορεί να φτάσει και να υπερβεί αυτό μίας “float” λύσης. Στην περίπτωση αμφιβολιών για την ορθότητα της επίλυσης, συνιστάται ο χρήστης να προβαίνει σε μία ή περισσότερες από τις ακόλουθες ενέργειες:
 - επαναληπτική μέτρηση με RTK στο ίδιο σημείο με διαφορετικό σχηματισμό δορυφόρων, δηλαδή σε διαφορετική ώρα της ημέρας
 - παρατεταμένη μέτρηση με RTK έχοντας εξασφαλίσει απόλυτη σταθερότητα της κεραίας (σε στελεό με τριποδίσκο ή σε τρίποδα)
 - αξιοποίηση των εξελιγμένων αλγορίθμων που διαθέτουν οι σύγχρονοι δέκτες για την εκτέλεση RTK υπό δύσκολες συνθήκες
 - μέτρηση του σημείου με τη σύντομη στατική τεχνική (rapid-static)