

Παραγωγή συντεταγμένων σε διάφορα συστήματα αναφοράς με χρήση του HEPOS

Γιαννίου Μιχάλης ATM-Ph.D.

ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε.

Στο παρόν άρθρο περιγράφονται συνοπτικά οι τρόποι με τους οποίους το Ελληνικό Σύστημα Εντοπισμού (HEPOS: HEllenic POsitioning System) μπορεί να χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό συντεταγμένων σε διάφορα συστήματα αναφοράς συντεταγμένων και ιδιαίτερα στο ΕΓΣΑ87. Για λόγους πληρότητας το άρθρο ξεκινάει με μία σύντομη περιγραφή των βασικών εννοιών των συστημάτων αναφοράς συντεταγμένων και ειδικότερα αυτού του HEPOS. Για αναλυτικές περιγραφές αυτών των εννοιών ο αναγνώστης παραπέμπεται στα άρθρα: Χ. Κωτσάκης, «HEPOS, συστήματα/πλαίσια αναφοράς και μετασχηματισμοί συντεταγμένων» και Κ. Κατσάμπαλος, «HTRS07: Το Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του HEPOS», τα οποία δημοσιεύονται στο παρόν Δελτίο του ΠΣΔΑΤΜ.

Βασικές έννοιες

Συστημάτων Αναφοράς Συντεταγμένων

Στα συστήματα αναφοράς συντεταγμένων που χρησιμοποιούνται στη Γεωδαισία και στην Τοπογραφία διακρίνουμε δύο κυριότερες έννοιες:

- Το **Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΓΣΑ)**, το οποίο κατά κύριο λόγο προσδιορίζει την αφετηρία και τον προσανατολισμό των αξόνων ενός 3D καρτεσιανού συστήματος, το οποίο χρησιμοποιείται με κάποιο Ελλειψοειδές Εκ Περιστροφής (ΕΕΠ). Συχνά στη βιβλιογραφία η έννοια του ΓΣΑ χρησιμοποιείται ισοδύναμα με αυτή του γεωδαιτικού Datum.
- Το **προβολικό σύστημα**, το οποίο προσδιορίζεται από το είδος της χαρτογραφικής προβολής και τις παραμέτρους ορισμού της.

Το ΓΣΑ του HEPOS

Το ΓΣΑ του HEPOS ονομάζεται HTRS07 (Hellenic Terrestrial Reference System 07) και αποτελεί υλοποίηση του Ευρωπαϊκού Επίγειου Συστήματος Αναφοράς (ETRS89: European

Terrestrial Reference System) στον Ελλαδικό χώρο. Σε μία απλουστευμένη προσέγγιση μπορούμε να πούμε ότι σήμερα το ETRS89 ταυτίζεται στο επίπεδο του 0.5m με το WGS84 (διευκρινίζοντας ότι το WGS84 προσαρμόζεται διαδοχικά στις εκάστοτε υλοποιήσεις του παγκόσμιου συστήματος ITRS, International Terrestrial Reference System).

Το προβολικό σύστημα του HEPOS

Το προβολικό σύστημα αναφοράς του HEPOS ονομάζεται TM07. Πρόκειται για εγκάρσια μερκατορική προβολή με $\lambda_0 = 24^\circ\text{A}$, $\varphi_0 = 0^\circ$, $K_0 = 0.9996$, $E_0 = 500000\text{ m}$ και $N_0 = -2000000\text{ m}$. (Για το Καστελόριζο $\lambda_0 = 30^\circ\text{A}$ και $K_0 = 1$).

Ο ρόλος του προβολικού συστήματος του HEPOS

Αξίζει να σημειωθεί ότι η λειτουργία ενός συστήματος όπως το HEPOS **δεν** προσπαθεί τη χρήση κάποιου προβολικού συστήματος! Ο χρήστης μπορεί να αξιοποιεί πλήρως το σύστημα «φιζάροντας» τις συντεταγμένες των (πραγματικών ή εικονικών) σταθμών στη μορφή φλη ή ισοδύναμα XYZ (ECEF: Earth-Centered Earth-Fixed).

Το προβολικό σύστημα αναφοράς του HEPOS προστέθηκε στο ΓΣΑ του HEPOS ώστε να δημιουργηθεί ένα σύστημα αναφοράς συντεταγμένων το οποίο:

- Χρησιμοποιείται για την παραγωγή των υποβάθρων του Εθνικού Κτηματολογίου (LSO, VLSO, αιγιαλοί), διατηρώντας στο ακέραιο την υψηλή ακρίβεια και ομοιογένεια του HEPOS.
- Μπορεί να αποτελέσει το επόμενο Κρατικό Σύστημα Αναφοράς Συντεταγμένων της Ελλάδας καλύπτοντας τις σύγχρονες απαιτήσεις και εξασφαλίζοντας συμβατότητα με την πολιτική της ΕΕ (EUREF, INSPIRE κ.λ.π.).

Προσδιορισμός συντεταγμένων στο HTRS07 με το HEPOS

Ο προσδιορισμός συντεταγμένων στο HTRS07 με το HEPOS είναι απλός. Θεωρώντας ως σταθερές τις συντεταγμένες των (πραγματικών ή εικονικών) σταθμών αναφοράς στο HTRS07 προσδιορίζονται άμεσα στο ίδιο σύστημα οι συντεταγμένες των νέων σημείων.

Προσδιορισμός συντεταγμένων στο ΕΓΣΑ87 με το HEPOS

Ο προσδιορισμός συντεταγμένων στο ΕΓΣΑ87 με το HEPOS μπορεί να γίνει με δύο τεχνικές:

- με τη μέτρηση σημείων γνωστών συντεταγμένων στο ΕΓΣΑ87 στην περιοχή εργασίας και τον υπολογισμό ενός τοπικού μετασχηματισμού μεταξύ ΕΓΣΑ87 και HTRS07. Τα σύγχρονα λογισμικά γραφείου GNSS και τα χειριστήρια δεκτών RTK παρέχουν αυτή τη δυνατότητα.
- με τη χρήση ενός μοντέλου μετασχηματισμού.

Η χρήση του μοντέλου μετασχηματισμού υπερτερεί σε ευχρη-

στία και είναι αυτή που θα χρησιμοποιείται κατά κανόνα για τον προσδιορισμό συντεταγμένων στο ΕΓΣΑ87 με το HEPOS. Πάντως σε εφαρμογές με ιδιαίτερα υψηλές απαιτήσεις προσαρμογής σε υφιστάμενα δίκτυα είναι σκόπιμο να εξετάζεται και η χρήση της πρώτης τεχνικής.

Μοντέλο μετασχηματισμού μεταξύ HTRS07 και ΕΓΣΑ87

Το μοντέλο αμφίδρομου μετασχηματισμού μεταξύ HTRS07 και ΕΓΣΑ87 έχει ήδη υπολογιστεί για λογαριασμό της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. από το ΤΑΤΜ/ΑΠΘ (καθηγ. Κ. Κατσάμπαλος, Χ. Κωτσάκης). Η υλοποίηση του μοντέλου γίνεται με δύο τρόπους:

- με λογισμικό το οποίο αναπτύχθηκε από το ΤΑΤΜ/ΑΠΘ και θα χορηγείται ελεύθερα από τον ιστοχώρο του HEPOS (www.hepos.gr)
- μέσα από τα εμπορικά συστήματα GNSS. Πιο συγκεκριμένα η ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε., ακολουθώντας το σύγχρονο γεωδαιτικό γίνεσθαι, προδιέγραψε την ανάπτυξη του μοντέλου με τρόπο ώστε αυτό να μπορεί να ενσωματωθεί στα λογισμικά γραφείου GNSS και στα χειριστήρια των δεκτών GNSS-RTK.

Με σχετική ανακοίνωση στον ιστοχώρο του HEPOS το Νοέμβριο του 2008 η ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. παρουσίασε αναλυτικά τον αλγόριθμο μετασχηματισμού. Επίσης κάλεσε όλους τους αντιπροσώπους γεωδαιτικού λογισμικού και συστημάτων GNSS να παραλάβουν τα σχετικά στοιχεία για την ενσωμάτωση του μοντέλου στα συστήματά τους καθώς και κάθε ενδιαφερόμενο να υποβάλει σχετικά σχόλια και παρατηρήσεις. Ευελπιστούμε ότι ένας αριθμός κατασκευαστών θα προβεί εγκαίρως στην ενσωμάτωση του μοντέλου οπότε και θα δοθεί προς χρήση το λογισμικό υλοποίησής του.

Προσδιορισμός υψομέτρων με το HEPOS

Πρωτογενώς ο δορυφορικός εντοπισμός οδηγεί στον προσδιορισμό γεωμετρικών υψομέτρων (από το ΕΕΠ). Ο προσδιορισμός ορθομετρικών υψομέτρων (από ΜΣΘ) με το HEPOS μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

- με τη μέτρηση σημείων γνωστών ορθομετρικών υψομέτρων στην περιοχή εργασίας και τον υπολογισμό μίας επιφάνειας διορθώσεων. Όλα τα σύγχρονα λογισμικά γραφείου GNSS και τα χειριστήρια δεκτών RTK διαθέτουν ενσωματωμένους αλγόριθμους για το σκοπό αυτό.
- με τη χρήση ενός μοντέλου γεωειδούς. Το μοντέλο αυτό μπορεί να είναι παγκόσμιο ή τοπικό.

Υπολογισμός μοντέλου γεωειδούς

Τα παγκόσμια μοντέλα γεωειδούς δεν μπορούν προς το παρόν να παρέχουν την ακρίβεια που χρειάζεται για πολλές εφαρμογές του Τοπογράφου Μηχανικού. Αυτή η πραγματικότητα επιβεβαιώνεται όχι μόνο από τη θεωρία (βαθμός και τάξη ανά-

πτυξης του μοντέλου, διαθέσιμα δεδομένα υπολογισμού) αλλά και από την πράξη. Για παράδειγμα η χρήση του παγκόσμιου μοντέλου EGM96 στην Ελλάδα μπορεί να προσφέρει καλά αποτελέσματα σε κάποιες περιοχές, σε άλλες περιοχές όμως έχουν διαπιστωθεί σφάλματα μεγαλύτερα από 1 m. Η χρήση του επερχόμενου παγκόσμιου μοντέλου EGM08 θα βελτιώσει σημαντικά την κατάσταση, όμως και πάλι αυτό δεν θα είναι αρκετό.

Αντίθετα ο υπολογισμός ενός τοπικού μοντέλου γεωειδούς για την Ελλάδα μπορεί να οδηγήσει σε ακρίβειες που επαρκούν για τις περισσότερες εφαρμογές. Η ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. προσδιόρισε μέσω του έργου των μετρήσεων του HEPOS τις συντεταγμένες 2500 περίπου τριγωνομετρικών του ΕΓΣΑ87 στο HTRS07. Τα στοιχεία αυτά μπορούν να συνεισφέρουν ιδιαίτερα στον υπολογισμό του τοπικού μοντέλου. Επειδή όμως τα υψόμετρα των σημείων αυτών έχουν προσδιοριστεί κυρίως με τριγωνομετρική υψομετρία, καθώς επίσης και για ένα σύνολο άλλων θεωρητικών και πρακτικών ζητημάτων είναι απαραίτητη η χρήση και άλλων στοιχείων (μετρήσεις βαρύτητας, παρατηρήσεις στάθμης θάλασσας κ.α.). Η ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. προτίθεται να αναπτύξει σε συνεργασία με την ακαδημαϊκή κοινότητα ένα μοντέλο γεωειδούς για τον Ελλαδικό χώρο. Η ανάπτυξη θα γίνει λαμβάνοντας υπόψη όλες εκείνες τις παραμέτρους που εξασφαλίζουν την εύκολη χρήση του μοντέλου από όλους τους χρήστες, όπως έγινε και στην περίπτωση του μοντέλου μετασχηματισμού μεταξύ HTRS07 και ΕΓΣΑ87. Μέχρι τον υπολογισμό του μοντέλου γεωειδούς οι χρήστες μπορούν να προσδιορίζουν ορθομετρικά υψόμετρα με το HEPOS χρησιμοποιώντας σημεία γνωστών ορθομετρικών υψομέτρων.

Ακρίβεια που επιτυγχάνεται με το HEPOS

Για την ακρίβεια που επιτυγχάνεται με το HEPOS μπορούμε συνοπτικά να πούμε ότι:

- Στο HTRS07 ισχύει ό,τι και για την ακρίβεια των μεθόδων μετρήσεων με GPS, είναι δηλαδή της τάξης του «sub-meter» για Single-Base DGPS, της τάξης των λίγων cm για RTK και της τάξης των λίγων mm για πολύωρες στατικές μετρήσεις.
- Στο ΕΓΣΑ87 (όπως και σε οποιοδήποτε άλλο σύστημα αναφοράς) η ακρίβεια εξαρτάται επιπλέον και από το μοντέλο μετασχηματισμού που χρησιμοποιείται. Το μοντέλο που υπολόγισε για λογαριασμό της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. το ΤΑΤΜ/ΑΠΘ για το μετασχηματισμό μεταξύ HTRS07 και ΕΓΣΑ87 παρέχει μια μέση ακρίβεια της τάξης 6-8 cm.



Τα έργα του HEPOS συγχρηματοδοτούνται από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Κοινωνία της Πληροφορίας».