

Αξιολόγηση της αξιοπιστίας του συστήματος HEPOS σε δάση και δασικές εκτάσεις με τη χρήση των RTK τεχνικών SINGLE BASE και VRS

Αργυροπούλου Χρυσάνθη¹, Δούκας Κοσμάς²

¹Δασολόγος MSc, Δασαρχείο Σερρών, Τ.Κ. 62125, Σέρρες

²Καθηγητής, Τομέας Δασοτεχνικών και Υδρονομικών Έργων, Εργαστήριο Μηχανικών Επιστημών και Τοπογραφίας, Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Περίληψη

Το σύστημα HEPOS το οποίο αποτελεί το πρώτο δίκτυο Μόνιμων Σταθμών Αναφοράς GPS στην Ελλάδα, αξιοποιώντας το υφιστάμενο παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού GPS, παρέχει υπηρεσίες πραγματικού χρόνου (RTK & DGPS) και μετεπεξεργασίας για προσδιορισμό θέσης υψηλής ακρίβειας. Για τις υπηρεσίες πραγματικού χρόνου παρέχει τη δυνατότητα εφαρμογής των δικτυακών RTK τεχνικών VRS, FKP και MAC, Single Base RTK, Network DGPS και Single Base DGPS. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αξιολογήσει την αξιοπιστία του εν λόγω συστήματος σε δύσκολα περιβάλλοντα όπως είναι τα δασικά και να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με το εάν η χρήση του συστήματος HEPOS είναι εφικτή και αποτελεσματική σε τόσο αντίξοες συνθήκες. Προκειμένου να επιτευχθεί ο παραπάνω σκοπός έγινε εφαρμογή του συστήματος HEPOS και δύο τεχνικών αυτού-της Single Base RTK και της τεχνικής RTK με Εικονικούς Σταθμούς Αναφοράς (VRS-RTK)-σε πέντε διαφορετικά δασικά περιβάλλοντα: α) σε άξονα δασικού δρόμου που διέρχεται από υψηλό δάσος πλατυφύλλου Δρυός, β) κάτω από κομοστέγη υψηλού δάσους πλατυφύλλου Δρυός, γ) σε δασική χορτολιβαδική έκταση, δ) σε περιβάλλον αστικού τύπου (κτιριακές εγκαταστάσεις σε δασικό περιβάλλον) και ε) σε τριγωνομετρικό σημείο. Οι μετρήσεις εκτελέστηκαν στην περιοχή του Πανεπιστημιακού δάσους Ταξιάρχη-Βραστάνων Χαλκιδικής.

Λέξεις κλειδιά: GNSS, Μόνιμος σταθμός αναφοράς, RTK, ακρίβεια, δικτυακές τεχνικές, HEPOS, Single Base, VRS, Δασικά Περιβάλλοντα.

Εισαγωγή

Από τη δεκαετία του 1990 οι μόνιμοι σταθμοί αναφοράς άρχισαν να χρησιμοποιούνται από κρατικούς φορείς για την υλοποίηση εθνικών γεωδαιτικών συστημάτων αναφοράς εξυπηρετώντας επαγγελματίες μηχανικούς. Μετά το 2000 άρχισε να εφαρμόζεται η τεχνική της δικτύωσης των μόνιμων σταθμών αναφοράς (Γιαννίου και Μάστορης 2006).

Η βασική ιδέα είναι να χρησιμοποιούνται οι πληροφορίες από όλους τους σταθμούς αναφοράς στο δίκτυο και όχι μόνο από τον πλησιέστερο σταθμό (όπως συμβαίνει με τις συμβατικές τεχνικές του DGPS και RTK). Ένας σταθμός αναφοράς λειτουργεί ως κεντρική μονάδα (Κέντρο Ελέγχου), που συλλέγει τα στοιχεία από όλους τους σταθμούς του δικτύου. Με τη χρησιμοποίηση των πληροφοριών από ολόκληρη την περιοχή που καλύπτεται από το δίκτυο RTK είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν πιο πλήρη μοντέλα που επιτρέπουν καλύτερες εκτιμήσεις των σφαλμάτων. Στη συνέχεια οι

διορθώσεις στέλνονται από το Κέντρο Ελέγχου στους κινούμενους δέκτες των χρηστών στην περιοχή του δικτύου (Δεληκαράογλου 2006).

Τα δίκτυα μόνιμων σταθμών GPS δίνουν την δυνατότητα εφαρμογής τεχνικών εντοπισμού θέσης, οι οποίες επιτυγχάνουν υψηλές ακρίβειες, όπως είναι οι δικτυακές τεχνικές RTK.

Τέτοιες δικτυακές τεχνικές RTK είναι: οι Εικονικοί Σταθμοί Αναφοράς-VRS (Virtual Reference Stations), οι Σταθμοί Μετάδοσης Παραμέτρων Επιφανειακών διορθώσεων - FKP (Flachen Korrektur Parameter) και η τεχνική MAC (Master-Auxiliary Concept) -Κύριοι και Βοηθητικοί σταθμοί (Γιαννίου 2008).

Ακολουθώντας αυτή την εξέλιξη, δημιουργήθηκε στην Ελλάδα από την Κτηματολόγιο Α.Ε. το σύστημα HEPOS, το οποίο αποτελεί το πρώτο Ελληνικό δίκτυο Μόνιμων Σταθμών Αναφοράς GPS.

Το HEPOS αποτελείται από 98 GPS (GNSS) μόνιμους σταθμούς αναφοράς, κατανεμημένους ομοιόμορφα σε όλη την Ελλάδα και με κατάλληλη διάταξη ώστε οι αποστάσεις μεταξύ γειτονικών σταθμών να μην υπερβαίνουν τα 70 km, εκ των οποίων οι 87 δικτυακής λύσης (VRS, FKP & MAC τεχνικές) και οι 11 μεμονωμένοι (Γιαννίου και Μάστορης 2007).

Οι υπηρεσίες που παρέχει το HEPOS διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες: υπηρεσίες «πραγματικού χρόνου» και υπηρεσίες «μετεπεξεργασίας», (Μάστορης και Γιαννίου 2008).

Οι υπηρεσίες πραγματικού χρόνου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μέτρηση με τις ακόλουθες τεχνικές GPS: α) Single-Base RTK. Τα δεδομένα υπολογίζονται από τις παρατηρήσεις ενός από τους 98 σταθμούς αναφοράς του HEPOS, (τον πιο κοντινό), β) Network RTK (δικτυακή λύση, με τεχνικές VRS, FKP, MAC). Τα δεδομένα προκύπτουν από συνδυασμένη επεξεργασία δεδομένων πολλών πραγματικών σταθμών, γ) Single-Base DGPS. Τα δεδομένα υπολογίζονται από έναν από τους 7 σταθμούς παραγωγής διορθώσεων Single-Base DGPS του HEPOS που είναι κατανεμημένοι σε όλη τη χώρα και δ) Network DGPS (δικτυακή λύση). Τα δεδομένα προκύπτουν από συνδυασμένη επεξεργασία δεδομένων πολλών πραγματικών σταθμών (Γιαννίου και Σταυροπούλου 2010).

Περιοχή έρευνας

Προκειμένου να ελεγχθεί η ακρίβεια στον προσδιορισμό θέσης που προσφέρει το σύστημα HEPOS σε δασοπονικές εφαρμογές έγινε εφαρμογή του συστήματος αυτού και των τεχνικών Single-Base RTK και με Εικονικούς Σταθμούς Αναφοράς VRS (VRS-RTK) που υποστηρίζει το HEPOS, στο Πανεπιστημιακό Δάσος Ταξιάρχη-Βραστάμων Χαλκιδικής, το οποίο βρίσκεται στις Νότιες και Νοτιοδυτικές πλαγιές του όρους Χολομώντα στο Νομό Χαλκιδικής και απέχει περίπου 73 χιλιόμετρα από τη Θεσσαλονίκη (Ταμείο Διοικήσεως και Διαχειρίσεως Πανεπιστημιακών Δασών 2001).

Προκειμένου επίσης να υπάρξει μέτρο σύγκρισης όσον αφορά τη φύση του περιβάλλοντος εφαρμογής των παραπάνω τεχνικών εξετάστηκαν οι παρακάτω πέντε περιπτώσεις: α. αποτύπωση σημείων άξονα δασικού δρόμου που διέρχεται από υψηλή συστάδα πλατύφυλλου δρυός στη δασική θέση "Σωληνάρια" που βρίσκεται στο δασικό τμήμα 53 που φέρει την ομώνυμη ονομασία "Σωληνάρια", β. αποτύπωση σημείων κάτω από κομοστέγη υψηλού δάσους πλατύφυλλου Δρυός επίσης στη δασική θέση "Σωληνάρια", γ. αποτύπωση σημείων σε δασική χορτολιβαδική έκταση στη δασική

θέση "Λιβάδια που βρίσκεται στο δασικό τμήμα 11 που φέρει την ονομασία "Απολυμένη Πέτρα –Λειβάδια", δ. αποτύπωση σημείων κοντά σε κτιριακές εγκαταστάσεις που βρίσκονται εντός δάσους επίσης στο δασικό τμήμα 11 (κτίρια της Σχολής Δασολογίας και Φυσ. Περιβάλλοντος, Α.Π.Θ.) και ε. αποτύπωση τριγωνομετρικού σημείου που βρίσκεται σε ράχη εντός δάσους με την ονομασία "Ψηλή Ράχη" που βρίσκεται στο δασικό τμήμα 23 του ίδιου δάσους.

Υλικά και μέθοδοι

Για να αξιολογηθεί η ακρίβεια εντοπισμού ενός σημείου που προκύπτει από RTK μετρήσεις θα πρέπει να συγκριθεί με την ακρίβεια που επιτυγχάνεται κατά την αποτύπωση του ίδιου σημείου με τοπογραφικά όργανα υψηλής ακρίβειας όπως ο γεωδαιτικός σταθμός (total station).

Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για την αποτύπωση των συντεταγμένων των σημείων ήταν: α) ο γεωδαιτικός σταθμός (total station) LEICA TRC 407 του οποίου οι μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν ως «αληθείς τιμές» και β) ο διπλόσυχνος δέκτης Leica GS09_GNSS με τον οποίο έγινε η εφαρμογή της τεχνικής Single-Base RTK και η εφαρμογή της δικτυακής τεχνικής RTK με εικονικούς σταθμούς αναφοράς VRS (VRS-RTK) του HEPOS.

Πρακτικά υλοποιείται μία σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν, από την εφαρμογή των τεχνικών Single-Base RTK και VRS-RTK με τις συντεταγμένες που εξάγονται από την χρήση του γεωδαιτικού σταθμού Leica TRC 407 καθώς οι μετρήσεις αυτές λαμβάνονται ως "αληθείς τιμές". Εξυπακούεται ότι η σύγκριση των αποτελεσμάτων αφορά τα ίδια σημεία σε κάθε μέτρηση.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κατά το μήνα Μάιο του έτους 2011.

Η σειρά εκτέλεσης των εργασιών είχε ως εξής: πρώτα έγιναν οι μετρήσεις με το γεωδαιτικό σταθμό Leica TCR 407 και στη συνέχεια ακολούθησε ο προσδιορισμός των συντεταγμένων των ίδιων σημείων χρησιμοποιώντας το GPS Leica GS09 GNSS και τις δύο προαναφερόμενες τεχνικές του συστήματος HEPOS.

Οι μετρήσεις και ο προσδιορισμός των συντεταγμένων των σημείων με το γεωδαιτικό σταθμό Leica TCR 407, βασίστηκαν στη μέθοδο προσαρτημένου σημείου και ο τύπος της όδευσης που επιλέχθηκε ήταν η ανοιχτή εξαρτημένη όδευση με προσανατολισμό στο ένα άκρο.

Πριν την αποτύπωση των σημείων με τον δέκτη GPS Leica GS09 GNSS έγιναν οι κατάλληλες ρυθμίσεις στο δέκτη του GPS μέσω του χειριστηρίου και επιλέχθηκε το δίκτυο του HEPOS. Στη συνέχεια συνδέθηκε, μέσω Bluetooth, το κινητό τηλέφωνο πρώτα με το δέκτη και μετά με το κέντρο ελέγχου του HEPOS μέσω GPRS και του πρωτοκόλλου NTRIP. Από το Source-Table που εμφανίστηκε επιλέχθηκε το Mount-point Single-Base RTK το οποίο αντιστοιχεί στην τεχνική Single-Base RTK και σε δεύτερη φάση το Mount-point RTCM 2.3 το οποίο αντιστοιχεί στην τεχνική Network RTK-VRS.

Και στις δύο τεχνικές ο χρόνος παραμονής σε κάθε σημείο ήταν 5 δευτερόλεπτα και οι μετρήσεις έγιναν ανά 1 δευτερόλεπτο. Τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των στοιχείων υπαίθρου ήταν το πρόγραμμα H/Y Leica Geo Office Tools (LGO – Tools) που χρησιμοποιήθηκε για την μεταφορά δεδομένων από τον γεωδαιτικό σταθμό σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, και το πρόγραμμα Excel για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων και τον υπολογισμό των σφαλμάτων.

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ακρίβεια που επιτεύχθηκε στις μετρήσεις των συντεταγμένων των σημείων με το GPS GS09 και τις τεχνικές του HEPOS και τον υπολογισμό της απόκλισης από την "αληθινή τιμή" υπολογίστηκαν το μέσο αριθμητικό σφάλμα μ_a , το μέσο τετραγωνικό σφάλμα μ_t , το μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μέσου όρου μ_M και η οριζοντιογραφική ακρίβεια (σφάλμα θέσης).

Ως "αληθής τιμή" χρησιμοποιήθηκε η πιθανή τιμή L των μετρήσεων των συντεταγμένων των σημείων με το γεωδαιτικό σταθμό Leica TCR 407.

Το μέσο αριθμητικό σφάλμα μιας σειράς μετρήσεων δίνεται από τον τύπο:

$$\mu_a = \pm (v) / n$$

όπου (v) το άθροισμα των απόλυτων τιμών των αριθμητικών (φαινομενικών) σφαλμάτων v_1, v_2, \dots, v_n και n ο αριθμός των μετρήσεων.

Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα δίνεται από τον τύπο:

$$\mu_t = \pm ((\varepsilon) / n)^{0.5}$$

όπου (ε) είναι οι αληθείς διαφορές n παρατηρήσεων.

Πρακτικά όμως είναι αδύνατο να υπολογίσουμε τις διαφορές ε, γιατί η αληθής τιμή X του μεγέθους είναι άγνωστη. Γι' αυτό για τον υπολογισμό του μέσου τετραγωνικού σφάλματος χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$\mu_t = \pm ((\varepsilon) / n)^{0.5} = \pm ((vv) / (n-1))^{0.5}$$

Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μέσου όρου δίνεται από τον τύπο:

$$\mu_M = \pm ((vv) / (n(n-1)))^{0.5} = \pm \mu_t / (n)^{0.5}, \text{ (Δούκας 2001).}$$

Η οριζοντιογραφική ακρίβεια ορίζεται από το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMSEEN) των συντεταγμένων (E,N) σημείων που μετρήθηκαν με GPS και ελέγχονται από μεγαλύτερης ακρίβειας μετρήσεις που προέκυψαν από τη χρήση του γεωδαιτικού σταθμού (τεχνικές προδιαγραφές κατάρτισης δασικών χαρτών – ΦΕΚ 1811/B/10-09-2007). Δίνεται από τον τύπο:

$$((v^2E + v^2N)/n)^{0.5}$$

Συνολικά αποτυπώθηκαν: 45 σημεία σε άξονα δασικού δρόμου, 11 σημεία κάτω από κομοστέγη συστάδας υψηλού δάσους πλατυφύλλου δρυός, 9 σημεία σε δασική χορτολιβαδική έκταση, 7 σημεία σε περιβάλλον αστικού τύπου (στα κτίρια της Σχολής Δασολογίας & Φυσ. Περι/ντος) μετρήθηκαν και τέλος ένα τριγωνομετρικό σημείο.

Αποτελέσματα

Ο αριθμός των δορυφόρων που λαμβάνονταν, η τιμή του PDOP που επιτυγχάνονταν καθώς και η επίλυση φάσης που πραγματοποιούνταν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ανά περιβάλλον μέτρησης αποδίδονται στους Πίνακες 1, 2 και 3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Λαμβανόμενοι Δορυφόροι ανά τεχνική και περιβάλλον μέτρησης

Table 1: Received Satellites for each technique and environment of measurement

Τεχνική	Περιβάλλον μέτρησης				
	Άξονας δασικού δρόμου	Κομοστέγη υψηλού δάσους Πλ. Δρυός	Δασική χορτολιβαδική έκταση	Περιβάλλον αστικού τύπου (κτίρια)	Τριγωνομετρικό σημείο
Single Base	5-9	5-8	5-7	5-7	6
VRS	5-8	5-9	6-7	5-7	6

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Τιμή PDOP ανά τεχνική και περιβάλλον μέτρησης

Table 2: PDOP Value for each technique and environment of measurement

Τεχνική	Περιβάλλον μέτρησης				
	Άξονας δασικού δρόμου	Κομοστέγη υψηλού δάσους Πλ. Δρυός	Δασική χορτολιβαδική έκταση	Περιβάλλον αστικού τύπου (κτίρια)	Τριγωνομετρικό σημείο
Single Base	2-11	2-9	2-4	2-7	3
VRS	2-7	2-5	2-3	2-12	3

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Αριθμός σημείων Επίλυσης Φάσης ανά τεχνική και περιβάλλον μέτρησης (στο σύνολο των σημείων μέτρησης)

Table 3: Number of points of "carrier phase – CPH" ambiguities for each technique and environment of measurement (for all measurement points)

Τεχνική	Περιβάλλον μέτρησης				
	Άξονας δασικού δρόμου	Κομοστέγη υψηλού δάσους Πλ. Δρυός	Δασική χορτολιβαδική έκταση	Περιβάλλον αστικού τύπου (κτίρια)	Τριγωνομετρικό σημείο
Single Base	17/45	2-13	9/9	5/7	1/1
VRS	21/45	2-13	9/9	5/7	1/1

Προκειμένου να οδηγηθούμε σε ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με την επιλογή της κατάλληλης τεχνικής για μετρήσεις πεδίου, σε περιβάλλοντα που συναντά ο δασολόγος, κάνοντας χρήση του συστήματος HEPOS, πρέπει να συγκριθούν τα αποτελέσματα μεταξύ των τριών τεχνικών για κάθε ένα από τα περιβάλλοντα μέτρησης και τα αποτελέσματα μεταξύ του περιβάλλοντος μέτρησης για κάθε μία από τις τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν. Για το σκοπό αυτό συγκρίθηκαν:

1. Οι τεχνικές μεταξύ τους σε κάθε ένα από τα διαφορετικά περιβάλλοντα μέτρησης

1.1 Αποτύπωση σημείων σε άξονα δασικού δρόμου

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα από την αποτύπωση στον άξονα του δασικού δρόμου με κάθε μία από τις τεχνικές αποδίδονται στον Πίνακα 4.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αποτύπωσης σε άξονα δασικού δρόμου

Table 4: Results of survey in axis of forest road

α/α	Σφάλματα	Τεχνική μέτρησης	
		Single Base	VRS
1	Μέσο αριθμητικό σφάλμα (μ_a) κατά E	0.5410	0.5795
2	Μέσο αριθμητικό σφάλμα (μ_a) κατά N	0.4306	0.5212
3	Μέσο αριθμητικό σφάλμα (μ_a) κατά Z	2.5267	3.2025
4	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (μ_r) κατά E	0.3764	0.7444
5	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (μ_r) κατά N	0.6965	0.7472
6	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (μ_r) κατά Z	2.8055	3.8551

ΠΙΝΑΚΑΣ 4 (συνέχεια) Continuation of Table 4			
7	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μ.ο. (μ_M) κατά E	0.0561	0.1109
8	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μ.ο. (μ_M) κατά N	0.1038	0.1113
9	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μ.ο. (μ_M) κατά Z	0.4182	0.5746
10	Μέσος όρος Οριζοντιογραφικής ακρίβειας (μ.ο.ο.α.)	0.781	0.836

1.2 Αποτύπωση σημείων κάτω από κομοστέγη υψηλού δάσους πλατυφύλλου δρυός

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα από την αποτύπωση σημείων κάτω από κομοστέγη υψηλού δάσους πλατυφύλλου Δρυός με κάθε μία από τις τεχνικές αποδίδονται στον Πίνακα 5.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αποτύπωσης κάτω από κομοστέγη υψηλού δάσους πλατυφύλλου Δρυός

Table 5: Results of survey under the canopy of high forest of Quercus frainetto (broadleaf oak)

α/α	Σφάλματα	Τεχνική μέτρησης	
		Single Base	VRS
1	Μέσο αριθμητικό σφάλμα (μ_a) κατά E	0,7313	0,7315
2	Μέσο αριθμητικό σφάλμα (μ_a) κατά N	1,1158	1,3425
3	Μέσο αριθμητικό σφάλμα (μ_a) κατά Z	3,0109	3,3818
4	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (μ_T) κατά E	1,1673	1,1210
5	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (μ_T) κατά N	2,0526	2,3739
6	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (μ_T) κατά Z	3,3538	3,5960
7	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μ.ο. (μ_M) κατά E	0,3237	0,3109
8	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μ.ο. (μ_M) κατά N	0,5693	0,6584
9	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μ.ο. (μ_M) κατά Z	0,9301	0,9973
10	Μέσος όρος Οριζοντιογραφικής ακρίβειας (μ.ο.ο.α.)	1,397	1,594

1.3 Αποτύπωση σημείων σε δασική χορτολιβαδική έκταση

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα από την αποτύπωση σημείων σε δασική χορτολιβαδική έκταση με κάθε μία από τις τεχνικές αποδίδονται στον Πίνακα 6.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αποτύπωσης σε δασική χορτολιβαδική έκταση

Table 6: Results of survey in forest grassland

α/α	Σφάλματα	Τεχνική μέτρησης	
		Single Base	VRS
1	Μέσο αριθμητικό σφάλμα (μ_a) κατά E	0,0814	0,0906
2	Μέσο αριθμητικό σφάλμα (μ_a) κατά N	0,0448	0,0577
3	Μέσο αριθμητικό σφάλμα (μ_a) κατά Z	1,7580	1,7860
4	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (μ_T) κατά E	0,0948	0,1032
5	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (μ_T) κατά N	0,0527	0,0666
6	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (μ_T) κατά Z	1,7605	1,7890
7	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μ.ο. (μ_M) κατά E	0,0316	0,0344
8	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μ.ο. (μ_M) κατά N	0,0175	0,0222

ΠΙΝΑΚΑΣ 6 (συνέχεια) Continuation of Table 6			
9	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μ.ο. (μ _Μ) κατά Z	0,5868	0,5963
10	Μέσος όρος Οριζοντιογραφικής ακρίβειας (μ.ο.ο.α)	0,103	0,117

1.4 Αποτύπωση σημείων σε περιβάλλον αστικού τύπου (κοντά σε κτίρια)

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα από την αποτύπωση σημείων σε περιβάλλον αστικού τύπου με κάθε μία από τις τεχνικές αποδίδονται στον Πίνακα 7.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αποτύπωσης σε περιβάλλον αστικού τύπου

Table 7: Results of survey in an urban type environment (buildings in forest environment)

α/α	Σφάλματα	Τεχνική μέτρησης	
		Single Base	VRS
1	Μέσο αριθμητικό σφάλμα (μ _α) κατά E	0,2292	0,2548
2	Μέσο αριθμητικό σφάλμα (μ _α) κατά N	0,1402	0,4291
3	Μέσο αριθμητικό σφάλμα (μ _α) κατά Z	1,5060	1,7170
4	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (μ _τ) κατά E	0,2978	0,3478
5	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (μ _τ) κατά N	0,1748	0,6627
6	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (μ _τ) κατά Z	1,6663	1,8356
7	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μ.ο. (μ _Μ) κατά E	0,1125	0,1314
8	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μ.ο. (μ _Μ) κατά N	0,0660	0,2505
9	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μ.ο. (μ _Μ) κατά Z	0,6298	0,6938
10	Μέσος όρος Οριζοντιογραφικής ακρίβειας (μ.ο.ο.α.)	0,279	0,521

1.5 Αποτύπωση σημείων σε τριγωνομετρικό σημείο

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα από την αποτύπωση τριγωνομετρικού σημείου με κάθε μία από τις τεχνικές αποδίδονται στον Πίνακα 8.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα αποτύπωσης σε τριγωνομετρικό σημείο

Table 8: Results of survey to a trigonometric point

α/α	Σφάλματα	Τεχνική μέτρησης	
		Single Base	VRS
1	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (μ _τ) κατά E	0,044	0,037
2	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (μ _τ) κατά N	0,025	0,041
3	Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (μ _τ) κατά Z	1,670	1,731
4	Οριζοντιογραφική ακρίβεια (ο.α.)	0,051	0,055

2.Τα διαφορετικά περιβάλλοντα μέτρησης για κάθε μία από τις τεχνικές μέτρησης

2.1 Αποτύπωση με την τεχνική Single Base

Όσον αφορά την τεχνική αποτύπωσης Single Base τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα αυτής δίδονται στον Πίνακα 9.

ΠΙΝΑΚΑΣ 9: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα με την τεχνική Single Base
Table 9: Results of application of the Single Base technique

α/α	Σφάλματα	Περιβάλλον μέτρησης				
		Άξονας δασικού δρόμου	Κομοστέγη υψηλού δάσους Πλ. Δρυός	Δασική χορτολιβαδική έκταση	Περιβάλλον αστικού τύπου (κτίρια)	Τριγωνομετρικό σημείο
1	(μ _α) κατά E	0,5410	0,7313	0,0814	0,2292	
2	(μ _α) κατά N	0,4306	1,1158	0,0448	0,1402	
3	(μ _α) κατά Z	2,5267	3,0109	1,7580	1,5060	
4	(μ _ε) κατά E	0,3764	1,1673	0,0948	0,2978	0,044
5	(μ _ε) κατά N	0,6965	2,0526	0,0527	0,1748	0,025
6	(μ _ε) κατά Z	2,8055	3,3538	1,7605	1,6663	1,670
7	(μ _Μ) κατά E	0,0561	0,3237	0,0316	0,1125	
8	(μ _Μ) κατά N	0,1038	0,5693	0,0175	0,0660	
9	(μ _Μ) κατά Z	0,4182	0,9301	0,5868	0,6298	
10	μ.ο.ο.α	0,781	1,397	0,103	0,279	0,051

2.2 Αποτύπωση με την τεχνική VRS

Όσο αφορά την τεχνική αποτύπωσης VRS τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα αυτής δίδονται στον Πίνακα 10.

ΠΙΝΑΚΑΣ 10: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα με την τεχνική VRS
Table 10: Results of application of the VRS technique

α/α	Σφάλματα	Περιβάλλον μέτρησης				
		Άξονας δασικού δρόμου	Κομοστέγη υψηλού δάσους Πλ. Δρυός	Δασική χορτολιβαδική έκταση	Περιβάλλον αστικού τύπου (κτίρια)	Τριγωνομετρικό σημείο
1	(μ _α) κατά E	0,5795	0,7315	0,0906	0,2548	
2	(μ _α) κατά N	0,5212	1,3425	0,0577	0,4291	
3	(μ _α) κατά Z	3,2025	3,3818	1,7860	1,7170	
4	(μ _ε) κατά E	0,7444	1,1210	0,1032	0,3478	0,037
5	(μ _ε) κατά N	0,7472	2,3739	0,0666	0,6627	0,041
6	(μ _ε) κατά Z	3,8551	3,5960	1,7890	1,8356	1,731
7	(μ _Μ) κατά E	0,1109	0,3109	0,0344	0,1314	
8	(μ _Μ) κατά N	0,1113	0,6584	0,0222	0,2505	
9	(μ _Μ) κατά Z	0,5746	0,9973	0,5963	0,6938	
10	(μ.ο.ο.α.)	0,836	1,594	0,117	0,521	0,055

Συμπεράσματα-συζήτηση

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την επεξεργασία και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των χρησιμοποιούμενων τεχνικών (Single-Base και VRS-RTK) κατά περιβάλλον μέτρησης είναι τα εξής:

- Ο αριθμός των δορυφόρων ήταν πολύ ικανοποιητικός για τον δέκτη Leica GS09_GNSS, καθώς σε τέτοια περιβάλλοντα οι δέκτες GPS αδυνατούν να λάβουν δεδομένα από το σύνολο των διαθέσιμων δορυφόρων, λόγω της βλάστησης που καλύπτει τη θέα προς τον ουρανό.

- Οι συνθήκες δασοκάλυψης παίζουν καθοριστικό ρόλο στην επίλυση φάσης και μάλιστα όσο πιο πυκνή γίνεται η βλάστηση τόσο πιο πολύ μειώνονται οι πιθανότητες η επίλυση φάσης να πραγματοποιηθεί. Απαραίτητη προϋπόθεση λοιπόν για να πραγματοποιηθεί η επίλυση φάσης είναι ο ανοιχτός ουρανός και η απουσία οποιουδήποτε εμποδίου στη λήψη σήματος. Έτσι όταν πληρούνται οι παραπάνω προϋποθέσεις ακόμη και με οριακό αριθμό δορυφόρων η επίλυση φάσης είναι εφικτή.

- Σε πολλά σημεία με ιδανικό αριθμό δορυφόρων και καλό δείκτη PDOP η φάση δεν επιλύθηκε, γεγονός που αποδίδεται στη επίδραση του σφάλματος πολλαπλών διαδρομών "multipath" (συντελεστής ανακλασιμότητας του εδάφους) και στην ανάκλαση των σημάτων στην επιφάνεια των δένδρων. Ωστόσο η τιμή της ακρίβειας θέσης σε αυτά τα σημεία ήταν χειρότερη σε σχέση με τα σημεία που επιλύθηκε η φάση.

- Σε σημεία που υπήρξε καθυστέρηση στην επίλυση φάσης τα αποτελέσματα δεν ήταν καλά. Άρα σε περίπτωση που η επίλυση φάσης καθυστερήσει να πραγματοποιηθεί η μέτρηση ενδέχεται να εμπεριέχει μεγάλο σφάλμα.

- Η χειρότερη τιμή οριζοντιογραφικής ακρίβειας (σφάλμα θέσης) κατά την αποτύπωση σε άξονα δασικού δρόμου καταγράφηκε, και με τις δύο τεχνικές, σε σημεία τα οποία βρίσκονται στο πρώτο, και μεγαλύτερο από τα τρία ρέματα, που τέμνουν τον δρόμο. Το χαρακτηριστικό αυτού του ρέματος είναι ότι υπάρχουν ψηλά δένδρα με πυκνή συγκόμωση τα οποία επηρεάζουν δυσμενώς και δημιουργούν μη ευνοϊκές συνθήκες αποτύπωσης. Η ακρίβεια στον προσδιορισμό θέσης λοιπόν είναι άμεσα συνδεδεμένη με την φύση του περιβάλλοντος καταγραφής και επηρεάζεται δυσμενώς από δύσκολες τοπογραφικές συνθήκες όπως είναι τα ρέματα.

- Η ακρίβεια στον προσδιορισμό θέσης σε υψηλό δάσος πλατυφύλλου Δρυός, με τη χρήση του συστήματος HEPOS, έχει άμεση σχέση με την πυκνότητα και το άνοιγμα της κομοστέγης. Η σχέση αυτή μάλιστα είναι αντίστροφη, όσο αυξάνεται η πυκνότητα και το άνοιγμα της κομοστέγης, τόσο μειώνεται η ακρίβεια στον προσδιορισμό θέσης. Αυτό συμβαίνει γιατί η λήψη σήματος των δορυφόρων κάτω από την κομοστέγη εξασθενεί, καθίσταται δύσκολη και μερικές φορές μάλιστα αδύνατη.

- Σε δύσκολα εδάφη και περιβάλλοντα οι ακριβείς μετρήσεις είναι επισφαλείς και θα πρέπει πάντα να ελέγχονται. Σε κάθε περίπτωση η εκτίμηση της θέσης είναι πολύ χοντροειδής και αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι επιβάλλεται να δίνουμε μεγάλη προσοχή σε εργασίες πεδίου σε δασικά περιβάλλοντα.

- Η ακρίβεια στον προσδιορισμό θέσης έχει άμεση σχέση με την ύπαρξη κτιρίων και μάλιστα όσο πιο κοντά σε κτίρια βρίσκεται το σημείο αποτύπωσης τόσο πιο πολύ η ακρίβεια μειώνεται.

- Η τεχνική Single Base παρέχει αποτελέσματα μεγαλύτερης ακρίβειας (με κριτήριο το μέσο όρο οριζοντιογραφικής ακρίβειας) σε σχέση με την τεχνική VRS-

RTK κάτω από κομοστέγη υψηλού δάσους πλατυφύλλου Δρυός και κοντά σε κτιριακές εγκαταστάσεις και παρέχει ισάξια αποτελέσματα σε σχέση με την τεχνική VRS-RTK στον άξονα δασικού δρόμου, σε χορτολιβαδικές δασικές εκτάσεις και σε τριγωνομετρικό σημείο.

- Όσον αφορά τα περιβάλλοντα επίσης, τα καλύτερα αποτελέσματα, με σειρά προτεραιότητας, οριζοντιογραφικής ακρίβειας (σφάλματος θέσης) και για τις δύο τεχνικές (Single Base και VRS), παρουσιάστηκαν στο τριγωνομετρικό σημείο, στη δασική χορτολιβαδική έκταση, στο περιβάλλον αστικού τύπου, στον άξονα δασικού δρόμου και τέλος κάτω από την κομοστέγη υψηλού δάσους πλατυφύλλου Δρυός.

Evaluation of reliability of HEPOS system in forest and forest lands using RTK techniques as SINGLE BASE and VRS

Argiropoulou Chrysanthi¹, Δούκας Κοσμάς²

¹Forester MSc, Forest Service of Serres, 62125 Serres Greece

²Professor of department of forest and water engineering, laboratory of Mechanical Science and Topography, School of Forestry and Natural Environment, Aristotles University of Thessaloniki, 54124 Greece

Abstract

The system HEPOS which is the first Network of Permanent GPS Reference Stations in Greece, using the existing Global Positioning System GPS, provides real time services (RTK & DGPS) and post-processing applications for positioning of high precision. For real-time services it provides the potential of application of network RTK techniques VRS, FKP and MAC, Single Base RTK, Network DGPS and Single Base DGPS. The aim of the present research is to evaluate the reliability of the above described system in difficult environments as are the forestal ones and draw conclusions about whether the use of the HEPOS system is feasible and effective in such difficult conditions. To achieve the above purpose an implementation of the system HEPOS and two techniques of it – Single-Base technique and RTK technique with Virtual Reference Stations (VRS-RTK)– took place in five different forest environments: a) in an axis of forest road, b) under the canopy of high forest of Quercus frainetto (broadleaf oak), c) in forest grassland, d) in an urban type environment (buildings in forest environment) and e) a trigonometric point. The measurements were carried out in the University forest of Taxiarihi-Vrastamon Halkidikis.

Keywords: GNSS, Permanent reference station, RTK, accuracy, network techniques, HEPOS, Single Base, VRS, Forestal Environments.

Βιβλιογραφία

Γιαννίου Μ., 2008. HEPOS και σύγχρονες δικτυακές τεχνικές GPS. Δημερίδα: HEPOS και σύγχρονα γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς: Θεωρία και υλοποίηση, προοπτικές και εφαρμογές, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.

Γιαννίου, Μ., Μάστορης Δ., 2006. Ανάπτυξη του Ελληνικού συστήματος εντοπισμού HEPOS. Δ' Πανελλήνιο Συνέδριο HellasGIS, Αθήνα.

Γιαννίου, Μ., Μάστορης Δ., 2007. Περιγραφή του HEPOS και των υπηρεσιών που παρέχει. Ημερίδα: HEPOS - Ένα ενιαίο σύστημα εντοπισμού για την Ελλάδα - Υλοποίηση, Επιπτώσεις, Προοπτικές, ΕΜΠ, Αθήνα.

Γιαννίου, Μ., Σταυροπούλου, 2010. Συλλογή δεδομένων GIS με χρήση του Ελληνικού Συστήματος Εντοπισμού HEPOS. 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο HellasGIS, Αθήνα.

Δεληκαράογλου, Δ., 2006. Διαφαινόμενες Προοπτικές από τη Δικτυακή Υποδομή του HEPOS για τη Μετάδοση Χωρικών Πληροφοριών Μέσω Υπηρεσιών Web και Ασύρματων Κινητών Συσκευών. Πρακτικά, 9ο Εθνικό Συνέδριο Χαρτογραφίας, Χανιά.

Δούκας, Κ., 2001. Τοπογραφία Αγροτικών και Δασικών Περιοχών. Γιαχούδη - Γιαπούλη, 300 σελ.

Μάστορης, Δ. & Γιαννίου, Μ., 2008. Χρήση των υπηρεσιών του HEPOS. . Ενημερωτικό δελτίο Πανελλήνιου συλλόγου διπλωματούχων αγρονόμων τοπογράφων μηχανικών, ΑΤΜ, τεύχος 191, σελ. 28-29.

Ταμείο Διοικήσεως και Διαχειρίσεως Πανεπιστημιακών Δασών, 2001. Διαχειριστικό σχέδιο Πανεπιστημιακού δάσους Ταξιάρχη-Βραστάμων 2002-2011, Ά Γενικό Μέρος, Ταξιάρχη.