

Συγκριτική αξιολόγηση της αξιοπιστίας των μετρήσεων με δασική πυξίδα, GPS χειρός και ηλεκτρονική πυξίδα - αποστασιόμετρο σε δασικές περιοχές

Βασίλειος Κ. Δρόσος και Δημήτριος Ε. Φαρμάκης

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Αθ. Πανταζίδου 193, Ορεστιάδα, 68 200, vdrosos@fmenr.duth.gr, 492603@gmail.com

Περίληψη: Ο ιδιοκτήτης ακινήτου στην ελληνική επικράτεια είναι υποχρεωμένος σε αρκετές περιπτώσεις να χρησιμοποιήσει τοπογραφικό διάγραμμα της ιδιοκτησίας του. Στις δασικές περιοχές οι μετρήσεις αυτές (αποτελεσματισμός) γίνονται με παλαιότερες τοπογραφικές μεθόδους, δηλαδή πυξίδα και μετροταινία, οι οποίες δεν συμβιβάζονται με τις σύγχρονες ψηφιακές τοπογραφικές και φωτογραμμετρικές μεθόδους. Οι παλαιότερες μέθοδοι και όργανα χαρακτηρίζονται από τη μειωμένη ακρίβεια ή τη μικρή παραγωγικότητα και το υψηλό κόστος εργασιών πεδίου. Από τη δεκαετία του '80 εμφανίσθηκαν στην αγορά νέοι τύποι οργάνων που χαρακτηρίζονται ακριβέστερα στη μέτρηση, παραγωγικότερα, με μικρό σχετικά ύψος δαπανών στις εργασίες πεδίου, μεγάλο όμως κόστος προμήθειας του οργάνου και τροποποιημένες μεθόδους ανάλυσης και απόδοσης. Η ραγδαία τεχνολογική εξέλιξη των τοπογραφικών οργάνων οφείλεται στην είσοδο της πληροφορικής και της τεχνολογίας λέιζερ στα οπτικομηχανικά τοπογραφικά όργανα. Έτσι δημιουργήθηκε μια μεγάλη σειρά οργάνων, όπου η επιλογή του κατάλληλου οργάνου και της κατάλληλης μεθόδου έγινε ακόμη πιο σημαντική στις εργασίες τοπογράφησης. Με την εμφάνιση του GPS προκαλείται στην κυριολεξία επανάσταση στις εργασίες κτηματογράφησης. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η διερεύνηση της αξιοπιστίας ή μη των μετρήσεων με την ανεύρεση των μετρητικών αποκλίσεων των διαφόρων οργάνων και μεθόδων, η σύγκριση της ακρίβειας και αποδοτικότητας μεταξύ τους σε συνδυασμό με το κόστος τους, για τη μέτρηση σε δασικές συνθήκες, συμβάλλοντας στην καλύτερη οικολογική διαχείριση και προστασία των δασών και δασικών εκτάσεων εν γένει.

1. Εισαγωγή

Για να αποτυπωθεί μια έκταση, υπάρχουν πολλές μέθοδοι, τεχνικές και ακόμη πιο πολλά τοπογραφικά-γεωδαιτικά όργανα μέτρησης. Αποτύπωση καλείται η διαδικασία μέτρησης και «απόδοσης» (σχεδίασης), ενός τμήματος της επιφάνειας της γης ή αντικειμένου με όλα τα φυσικά και τεχνητά χαρακτηριστικά τους πάνω σε ένα χαρτί υπό κλίμακα (Μπιλλήρης κ.α., 2007). Η αποτύπωση μιας έκτασης με χρήση των πολικών συντεταγμένων των σημείων της αποτελεί την ευκολότερη και την πιο πλατιά διαδεδομένη μέθοδο αποτύπωσης (Δανιήλ, 2011). Με την έκρηξη

των οικονομικών και ιδιοκτησιακών θεμάτων γύρω από τα ακίνητα ως απόρροια της οικονομικής κρίσης, τα τελευταία χρόνια ο καθορισμός του εμβαδού μιας επιφάνειας έγινε μια από τις συχνές εφαρμογές που καλείται να υπηρετήσει η δασική υπηρεσία συνήθως με ένα GPS χειρός.

Στις δασικές περιοχές οι μετρήσεις αυτές (αποτελεσματισμός) γίνονταν με παλαιότερες τοπογραφικές μεθόδους, δηλαδή πυξίδα και μετροταινία, οι οποίες δεν συμβιβάζονται με τις σύγχρονες ψηφιακές τοπογραφικές και φωτογραμμετρικές μεθόδους. Η πρώτη εκτίμηση της επιφάνειας δασικής έκτασης είναι σε πολλές περιπτώσεις αναγκαία να γίνει άμεσα για να προεκτιμήσουμε το μέγεθος της επίπτωσης ενός συμβάντος, π.χ. πυρκαγιάς ή καταπάτησης ή καλείται να βοηθήσει στην αποσαφήνιση διαφόρων ζητημάτων. Οι παλαιότερες μέθοδοι και όργανα χαρακτηρίζονται από τη μειωμένη ακρίβεια ή τη μικρή παραγωγικότητα και το υψηλό κόστος εργασιών πεδίου. Από τη δεκαετία του '80 εμφανίσθηκαν στην αγορά νέοι τύποι οργάνων που χαρακτηρίζονται ακριβέστερα στη μέτρηση, παραγωγικότερα, με μικρό σχετικά ύψος δαπανών στις εργασίες πεδίου, μεγάλο όμως κόστος προμήθειας του οργάνου και τροποποιημένες μεθόδους ανάλυσης και απόδοσης. Η ραγδαία τεχνολογική εξέλιξη των τοπογραφικών οργάνων οφείλεται στην είσοδο της πληροφορικής και της τεχνολογίας λέιζερ στα οπτικομηχανικά τοπογραφικά όργανα. Έτσι δημιουργήθηκε μια μεγάλη σειρά οργάνων, όπου η επιλογή του κατάλληλου οργάνου και της κατάλληλης μεθόδου έγινε ακόμη πιο σημαντική στις εργασίες τοπογράφησης. Εξέλιξη των κλασικών δασικών πυξίδων αποτελούν τα ηλεκτρονικά αποστασιόμετρα-πυξίδες για μεγάλες αποστάσεις, με ορατή κουκίδα Laser. Πρόκειται για όργανα τα οποία μετρούν κεκλιμένες, οριζόντιες, κατακόρυφες αποστάσεις, κλίσεις αλλά και αζιμούθιο που δείχνει το μαγνητικό σημείο του στόχου με αναφορά στο μαγνητικό Βορρά. Με την εμφάνιση του GPS προκαλείται στην κυριολεξία επανάσταση στις εργασίες κτηματογράφησης.

Η χρήση γνωστών μεθόδων γεωδαισίας και φωτογραμμετρίας απαιτεί χρόνο και χρήμα, ενώ οι δορυφορικές, ενώ δίνουν με γενική γεωγραφική πληροφορία, δεν έχουν επιβεβαιωμένη ικανοποιητική ακρίβεια. Για τον προσδιορισμό οριζοντιομετρικών και υψομετρικών συντεταγμένων με ακρίβεια της τάξης του ± 1 mm ή λίγων mm ανά km χρησιμοποιούνται οι κλασικές μέθοδοι της τοπογραφίας, όδευση με γεωδαιτικό σταθμό (total station) και γεωμετρική χωροστάθμηση, αντίστοιχα (Andritsanos et al., 2000). Σε δασικές περιοχές όπου το τοπογραφικό ανάγλυφο είναι έντονο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεν τα υψόμετρα η Ειδική Τριγωνομετρική Υψομετρία (E.T.Y.), που μπορεί να δώσει καλύτερες ακρίβειες και από τη γεωμετρική χωροστάθμηση (Καλογρίδης κ.ά., 2003), για δε τις οριζοντιογραφικές ένας συνδυασμός φωτογραμμετρικών και επίγειων μεθόδων κρίνεται ικανοποιητικός.

Η χρήση διαφόρων τύπων GPS από μικρού σχετικά κόστους (GPS χειρός) μέχρι μεγαλύτερου κόστους διαφορικού DGPS (δύο δέκτες και μιας ή δύο συχνοτήτων) μας οδηγεί σε ικανοποιητική ακρίβεια αποτύπωσης από λίγα μέτρα μέχρι λίγα εκα-

τοστά. Η εύκολη χρήση GPS μικρού κόστους έχει δώσει στους χρήστες μια ευφορία που εμπεριέχει κινδύνους στην ακρίβεια εκτίμησης της εμβαδομέτρησης, ιδιαίτερα με τα μικρού κόστους GPS. Επιπλέον οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία GPS μπορούν να προσφέρουν βελτιωμένη απόδοση του GPS σε δασικές συνθήκες (Danskin et al., 2009).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η εξελισσόμενη τεχνολογία του συνδυασμού κινητών τηλεφώνων και G.P.S., που μπορεί να λειτουργεί και μέσα σε κλειστό ουρανό, όπως τα κτίρια και οι πυκνές φυλλωσιές. Η χρήση συνδυασμού δύο δεκτών G.P.S. βελτιώνει την ασάφεια στη λήψη των δορυφορικών σημάτων και δίνει μεγάλη ακρίβεια, εφαρμογή όμως χρήσιμη στη δασική πράξη μόνο σε βασικά τριγωνομετρικά (φωτοσταθερά) σημεία σε θέσεις ανοικτού ουρανού (Wanninger, 2002).

Σύμφωνα με έρευνες (Reskik, 2002) κατά τη στατική μέθοδο η συσχέτιση των μετρήσεων μεταξύ τους είναι πολύ μικρή (κοντά στο 0), ενώ στην κινηματική μεταξύ 0,5 και 0,9. Στη δεύτερη περίπτωση υπεισέρχονται και συστηματικά σφάλματα. Για να αποφευχθούν μεγάλα σφάλματα εκτίμησης πρέπει να έχουμε μέσες αποστάσεις μέτρησης (πλευρές πολυγώνων) $S_m = 10 - 15 \text{ m}$ και ενδιάμεσα σημεία εξάρτησης, πράγμα που δεν είναι πάντα δυνατό.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η διερεύνηση της αξιοπιστίας ή μη των μετρήσεων με την ανεύρεση των μετρητικών αποκλίσεων των διαφόρων οργάνων και μεθόδων, η σύγκριση της ακρίβειας και αποδοτικότητας μεταξύ τους σε συνδυασμό με το κόστος τους, για τη μέτρηση σε δασικές συνθήκες, γιατί η διαχείριση των πληροφοριών που έχουμε με τη βοήθεια της σύγχρονης τεχνολογίας συμβάλλει στην καλύτερη οικολογική διαχείριση και προστασία των δασών και δασικών εκτάσεων εν γένει.

2. Μέθοδος και περιοχή έρευνας

2.1. Περιοχή έρευνας

Η Ελατιά ή Καράντερε είναι βουνό της Μακεδονίας με μέγιστο υψόμετρο 1.826 μέτρα (κορυφή Τσάκαλος).

Βρίσκεται στο νομό Δράμας και αποτελεί τμήμα της οροσειράς της Κεντρικής Ροδόπης. Εκτός από τον Τσάκαλο (1826μ.), άλλες κορυφές είναι: οι Οξιές (1811μ.), η Ελατιά (1647μ.), η Μπουζάλα (1631μ.), η Πυραμίδα Κούτρα (1628μ.), το Ζερβό (1578μ.), τα Καλύβια Γραβάνη (1556μ.) κ.α. Στην Ελατιά, υπάρχει το Δασικό Χωριό Ελατιάς, κοντά στην κορυφή Πυραμίδα Κούτρα, στη θέση του παλιότερου τσελιγκάτου Σαρακατσαναίων με την ονομασία Καλύβια Κούτρα (Σχήμα 1). Το Δασικό χωριό βρίσκεται στο κέντρο του Δάσους της Ελατιάς. Το δάσος της Ελατιάς είναι το μεγαλύτερο στην Ελλάδα σε έκταση (700 τετραγωνικά χιλιόμετρα), και αποτελείται από ερυθρελάτη, πεύκα, κέδρους, οξιές, σημύδες, λεύκες, σφενδά-



Σχήμα 1. Δασικό χωριό Ελατιάς.

μα, δρύες, αγριοτριανταφυλλιές κ.α. Στο δυτικό τμήμα του βουνού, στη θέση Μαγούλα, υπάρχει το δάσος Σημύδας, το μοναδικό του είδους του στην Ελλάδα.

Συγκεκριμένα στην περιοχή που διενεργήθηκαν οι μετρήσεις με τα διάφορα όργανα η βλάστηση είναι μόνο χορτολιβαδική χωρίς υψηλό δάσος (Σχήμα 2).

2.2. Εκλογή οργάνων

Στην παρούσα έρευνα τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για την οριζοντιογραφική αποτύπωση των ορίων της δασικής επιφάνειας και τον προσδιορισμό των συντεταγμένων των κορυφών της ήταν: α) ο γεωδαιτικός σταθμός (total station) LEICA TS06 plus 7" R500, β) ο φορητός δέκτης GPS 60 CSx, γ) η σπαστή δασική πυξίδα Meridian και δ) το αποστασιόμετρο Laser TruPulse 360° B.

Ο γεωδαιτικός σταθμός (total station) LEICA TS06 plus 7" R500 (Σχήμα 3) διατίθεται με και χωρίς τη δυνατότητα μέτρησης χωρίς πρίσμα. Στη δυνατότητα μέτρησης χωρίς πρίσμα διατίθενται με εμβέλεια 500 m (power) και 1000 m (ultra) στην λειτουργία Reflectorless με ακρίβεια αποστάσεων $2 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$, ενώ με πρίσμα η δυνατότητα μέτρησης έχει εμβέλεια στα 7500 m και ακρίβεια μέτρησης αποστάσεων $1,5 \text{ mm} \pm 2 \text{ ppm}$. Ο χρόνος μέτρησης είναι $< 0,3 \text{ sec}$.



 Περιοχή έρευνας

Σχήμα 2. Περιοχή έρευνας.



Σχήμα 3. LEICA TS06 plus 7\"/>



Σχήμα 4. GPS 60 CSx.

Το GPS 60 CSx (Σχήμα 4) έχει ακρίβεια ως GPS: <10 μέτρα και DGPS: 3-5 μέτρα (ακρίβεια WAAS και EGNOS). Ταχύτητα: 0,05 μέτρα / δευτερ. Έχει δυνατότητα αποθήκευση χαρτών που εξαρτάται από τη χωρητικότητα της κενής κάρτας MicroSD (ένα μικρό κομμάτι της κάρτας χρησιμοποιείται για το φορμάτ της). Διαθέτει κεραία ενσωματωμένη, quad helix και έχει δυνατότητα σύνδεσης με εξωτερική κεραία. Περιέχει πυξίδα με ακρίβεια +/- 5 μοίρες και ανάλυση 1 μοίρα και αλτίμετρο με ακρίβεια +/-3 μέτρα, αν έχει καλιμπραρισθεί σωστά και ανάλυση 0,30 μέτρα.

Η σπαστή πυξίδα-κλισίμετρο Meridian (Στεργιάδης, 1984) είναι ένα ευκολόχρηστο όργανο και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται σε ολόκληρο τον κόσμο (Σχήμα 5). Είναι κατάλληλο για όλες τις τοπογραφικές μετρήσεις, μελέτες δρόμων και σιδηροδρομικών γραμμών, υψομέτρηση, αποτερματισμό, δασική οδοποιία κ.ά.



Σχήμα 5. Σπαστή δασική πυξίδα-κλισίμετρο Meridian.

Το αποστασιόμετρο Laser TruPulse 360° B είναι ελαφρύ, χαμηλού κόστους αποστασιόμετρο λέιζερ που μετρά την κεκλιμένη απόσταση, κλίση (% κλίση) και το αζιμουθίο. Υπολογίζει την οριζόντια απόσταση, κατακόρυφη απόσταση, ύψος κ.α. Εξοπλισμένο με 7x οπτικό σύστημα και μια σειριακή θύρα. Περιλαμβάνει ενσωματωμένο Bluetooth® για ασύρματη επικοινωνία (Σχήμα 6).



Σχήμα 6. Η ηλεκτρονική πυξίδα True pulse 360° B και ο ανακλαστήρας που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία.

2.3. Μεθοδολογία

Σε ότι αφορά τις μεθόδους-τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: α) η μέθοδος του προσαρτημένου σημείου με τύπο όδευσης την κλειστή εξαρτημένη όδευση με προσανατολισμό για τον γεωδαιτικό σταθμό (total station) LEICA TRC 407, του οποίου οι μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν ως «αληθείς τιμές», β) στην αποτύπωση των κορυφών του οικοπέδου με το GPS ανοιχτό, στεκόμαστε τουλάχιστον 1 λεπτό στην κάθε κορυφή του οικοπέδου, με εξαίρεση το αρχικό σημείο όπου στεκόμαστε 10 λεπτά και μετά καταχωρούμε το σημείο (Waypoint) για τον δέκτη GPS 60 CSx και γ) στην αποτύπωση με πολικές συντεταγμένες (αζιμούθιο-απόσταση) για το αποστασιόμετρο Laser TruPulse 360° B και την σπαστή πυξίδα-κλισίμετρο Meridian.

Συνολικά αποτυπώθηκαν 60 σημεία. Η σειρά των εργασιών είχε ως εξής: Αρχικά τα σημεία αποτυπώθηκαν ταυτόχρονα με τον γεωδαιτικό σταθμό και το GPS κάνοντας χρήση της τεχνικής DGPS του δέκτη GPS 60 CSx. Στη συνέχεια ακολούθησε ο προσδιορισμός των αζιμούθιων των ίδιων σημείων με την σπαστή πυξίδα-κλισίμετρο Meridian και οι αποστάσεις με μετροταινία και τέλος εκτελέστηκε η αποτύπωση με το αποστασιόμετρο Laser TruPulse 360° B και τη χρήση του ακοντίου στο οποίο εφαρμόστηκε πρίσμα για τη σκόπευση.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κατά τον μήνα Αύγουστο του έτους 2013.

Η αποτύπωση εκτελούνταν στα όρια του δάσους, σε εξαιρετικά δυσμενές περιβάλλον για αποτύπωση με χρήση GPS αλλά και για αποτύπωση με το αποστασιόμετρο

Laser TruPulse 360° B. Στην πρώτη περίπτωση παρουσιάζονται προβλήματα στη λήψη του σήματος και η ακρίβεια εξαρτάται από τη διαχειριστική μορφή της συστάδας, το φύλλωμα και τον αριθμό και τη θέση των δορυφόρων που είναι στη διάθεσή μας. Στη δεύτερη περίπτωση προκύπτουν προβλήματα από την ανάκλαση της ακτίνας Laser τόσο πάνω στο φύλλωμα όσο και τους κορμούς των δένδρων.

Τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των στοιχείων υπαίθρου ήταν το πρόγραμμα 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.

Οι μετρήσεις έγιναν από δύο άτομα (μετρητής και βοηθός) που εναλλάσσονταν, για μια πιο ρεαλιστική αξιολόγηση των οργάνων.

Ο αριθμός παρατηρητών και επαναλήψεων ήταν ο ίδιος (δύο παρατηρητές και τρεις επαναλήψεις), έτσι είναι εύκολο να παρασχεθεί μια αντικειμενική ανάλυση της ακρίβειας.

Προκειμένου να αποφευχθεί οποιαδήποτε πιθανή προκατάληψη που ο παρατηρητής θα μπορούσε να είχε λόγω της μεγαλύτερης εμπειρίας με ένα όργανο, οι παρατηρητές μοιράστηκαν την ίδια εμπειρία με κάθε όργανο. Πριν εκτελέσουν τις πραγματικές μετρήσεις, οι παρατηρητές είχαν πρόσθετη πρακτική εξάσκηση στη χρησιμοποίηση κάθε οργάνου σε ένα ανεξάρτητο δείγμα. Μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν αρχικά με ένα όργανο, έπειτα με άλλο, έπειτα με άλλο κ.λπ.

Όλα τα όργανα έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η σημασία που δίνουμε σε κάθε πλεονέκτημα ή σε κάθε μειονέκτημα εξαρτάται από το περιβάλλον, το σκοπό και τη χρήση του οργάνου. Οι παρατηρητές βαθμολόγησαν τα όργανα με βάση δεκάβαθμη κλίμακα, δηλαδή βαθμολόγησαν κάθε όργανο μετά το τέλος των μετρήσεων σε συνθήκες υπαίθρου.

Έγινε προσπάθεια να ταξινομηθούν τα όργανα από πλευράς ευκολίας, αποτελεσματικότητας και κόστους. Αυτό επιτεύχθηκε με τη βοήθεια 5 παραγόντων: 1) της ακρίβειας (precision), 2) της ευκολίας χρήσης (ease of use), 3) της ταχύτητας χρήσης (speed of use), 4) της τιμής (price) και 5) της ευκολίας σκόπευσης (ease of sighting).

2.3.1 Μέθοδος ακρίβειας μέτρησης.

Οι μετρήσεις έγιναν τον Αύγουστο του 2013 δηλ. μετά τον τερματισμό της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας. Για τη στατιστική ανάλυση οι τιμές του γεωδαιτικού σταθμού πάρθηκαν σαν αληθείς τιμές. Για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ακρίβεια που επιτεύχθηκε στις μετρήσεις των συντεταγμένων των σημείων με το δέκτη GPS 60 CSx, την σπαστή δασική πυξίδα-κλισίμετρο Meridian και το αποστασιόμετρο laser και τον υπολογισμό της απόκλισης από την «αληθινή τιμή»

υπολογίστηκαν το μέσο τετραγωνικό σφάλμα μ_τ (ή RMSE) και η οριζοντιογραφική ακρίβεια (σφάλμα θέσης $RMSE_{EN}$).

Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMSE) μιας σειράς μετρήσεων δίνεται από τον τύπο:

$$\mu_\tau = \pm ((\varepsilon\varepsilon)/n)^{0,5} \quad (2.1)$$

όπου (ε) είναι οι αληθείς διαφορές και n ο αριθμός των παρατηρήσεων.

Πρακτικά όμως είναι αδύνατο να υπολογιστούν οι διαφορές ε , γιατί η αληθής τιμή X του μεγέθους είναι άγνωστη. Η οριζοντιογραφική ακρίβεια ορίζεται από το μέσο τετραγωνικό σφάλμα ($RMSE_{EN}$) των συντεταγμένων (E, N) σημείων που μετρήθηκαν με GPS καθώς και των συντεταγμένων που προέκυψαν από τις μετρήσεις με την σπαστή δασική πυξίδα-κλισίμετρο Meridian και το αποστασιόμετρο laser και ελέγχονται από μεγαλύτερης ακρίβειας μετρήσεις που προέκυψαν από τη χρήση του γεωδαιτικού σταθμού (τεχνικές προδιαγραφές κατάρτισης δασικών χαρτών-ΦΕΚ 1811/Β/10-09-2007). Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα θέσης ($RMSE_{EN}$) δίνεται από τον τύπο:

$$RMSE_{EN} = ((v_E^2 + v_N^2)/n)^{0,5} \quad (2.2)$$

όπου v_E και v_N τα σφάλματα θέσης κατά E και N , αντίστοιχα.

3. Αποτελέσματα

Όλοι οι παραπάνω παράγοντες είναι σταθμισμένοι εξίσου, για να είναι δυνατή μια σύγκριση των οργάνων και για να επιλεγεί το καλύτερο. Αξιολογήθηκαν από τους δύο παρατηρητές με βάση τη δεκάβαθμη κλίμακα και τα πέντε όργανα, αφού πρώτα διεξήχθησαν οι μετρήσεις (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Αξιολόγηση των τριών οργάνων αποτύπωσης.

Κριτήρια	Όργανα		
	Meridian	GPS 60 CSx	Laser TruPulse 360° B
Ακρίβεια	5	9	8
Ευκολία χρήσης	8	9	10
Ταχύτητα χρήσης	6	9	10*
Τιμή	10	8	5
Ευκολία σκόπευσης	6	Δεν υφίσταται	10

* Το 10 υποδηλώνει το καλύτερο.

Στον πίνακα 2 φαίνεται η αξιολόγηση και ταξινόμηση των οργάνων ως προς την ευκολία, την αποτελεσματικότητα και το κόστος.

Πίνακας 2. Αξιολόγηση και ταξινόμηση των οργάνων ως προς την ευκολία, την αποτελεσματικότητα και το κόστος.

Κριτήριο αξιολόγησης	Πυξίδα-Κλισίμετρο MERIDIAN	GPS 60 CSx	Laser TruPulse 360° B
Ευκολία			
1. Διαστάσεις (Μ x Π x Β)	13 cm x 3 cm x 1,1 cm	15,5 cm x 6,1 cm x 3,3 cm	12 ^α cm x 9 cm x 5 cm
2. Βάρος	285 gr	153 ^β gr 213 ^γ gr	220 ^β gr
3. Δυνατότητα αποθήκευσης των στοιχείων και σύνδεσης με Η/Υ	Όχι	Ναι	Ναι
Αποτελεσματικότητα	2	1	1 - 2
1. Ακρίβεια μέτρησης			
1.1. RMSE	8,7335 m	5,15 m	6,715 m
1.2. RMSE _{EN}	17,949 m	15,75 m	16,859 m
2. Διάρκεια μέτρησης			
	1 – 1,5΄	1΄	20΄΄
3. Χρόνος ρύθμισης			
	Δεν υφίσταται	10΄ - 15΄	20΄΄
4. Μέγιστη κλίση σκόπευσης			
	≤ ± 45°	Δεν υφίσταται	± 90°
5. Άλλες δυνατότητες			
5.1. Μέτρηση απόστασης	Ναι	Ναι	Ναι
5.2. Μέτρηση της διαμέτρου του κορμού δένδρου	Όχι	Όχι	Ναι
5.3. Μέτρηση της δοκιμαστικής επιφάνειας	Έμμεσα	Έμμεσα	Έμμεσα
5.4. Μέτρηση αζιμούθιου	Ναι	Όχι	Ναι
Κόστος			
6. Τιμή αγοράς	550 €	580 €	2.214,00 €

^α Τηλεσκοπικός φακός για μεγαλύτερη ακρίβεια (precision).

^β Βάρος οργάνου χωρίς τις μπαταρίες.

^γ Βάρος οργάνου μαζί με τις μπαταρίες.

4. Συμπεράσματα – Προτάσεις

Από τα αποτελέσματα της έρευνας συμπεραίνεται ότι:

- Η χρήση της κλασικής δασικής σπαστής πυξίδας για τη μέτρηση των αζιμούθιων κρίνεται ικανοποιητική από πλευράς ακρίβειας για δασικές εφαρμογές που δεν απαιτούν αυξημένη ακρίβεια όπως είναι οι εφαρμογές κτηματογράφησης.
- Οι ακρίβειες που επιτυγχάνονται με το θεοδόλιχο ή γεωδαιτικό σταθμό είναι πολύ καλές και ασύγκριτα μεγαλύτερες από οποιοδήποτε άλλο όργανο ιδιαίτερα όταν υπάρχουν εδάφη με πολυσχιδές πυκνόφυτο δασωμένο ανάγλυφο.
- Κατά την αποτύπωση ορίων δασών με GPS θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη

πάντα η μορφή δασοκάλυψης. Το ύψος των δένδρων, το φύλλωμα και η συγκόμωση συμβάλλουν αρνητικά στην επίτευξη ακρίβειας στον προσδιορισμό θέσης.

- Η ακρίβεια μέτρησης με το δέκτη χειρός GPS 60 CSx κυμαινόταν από 3 – 8m ενώ ο αριθμός των δορυφόρων κυμαινόταν από 4 - 8. Παρατηρείται ότι όταν υπήρχαν περισσότεροι δορυφόροι είχαμε και μεγαλύτερη ακρίβεια.
- Από τα σφάλματα που προκύπτουν με την χρήση του αποστασιόμετρου Laser γίνεται φανερό ότι οι μετρήσεις με τα όργανα αυτά είναι πολύ επισφαλής. Ιδιαίτερα μεγάλο σφάλμα παρατηρήθηκε στην ανάγνωση του αζιμούθιου ενώ στη μέτρηση της απόστασης τα αποτελέσματα ήταν πολύ καλά και μάλιστα με μικρές αποκλίσεις των λίγων εκατοστών από την «αληθή τιμή» ιδίως όταν χρησιμοποιείται πρίσμα.
- Στην περιοχή έρευνας δεν υπήρχαν ηλεκτροφόρα καλώδια, περιφράξεις ή άλλα μεταλλικά αντικείμενα σε κοντινή απόσταση ώστε να επηρεαστούν οι μετρήσεις, οπότε πιθανόν το σφάλμα που προέκυψε οφείλεται στη διάθλαση της κούκιδας laser πάνω σε φύλλωμα καθώς οι μετρήσεις εκτελούνταν κάτω από δυσμενής συνθήκες με κλαδιά να παρεμβάλλονται μεταξύ των σημείων.

Με βάση τα παραπάνω συμπεράσματα προτείνονται:

- Με την κατάργηση της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας υποβοηθείται η αύξηση της ακρίβειας των δεκτών χειρός σε λίγα μέτρα. Προτείνεται η υλοποίηση της εφαρμογής των υπηρεσιών αξιοποίησης της γεωγραφικής θέσης, σε palmtop (Υπολογιστής παλάμης), όπου μέσω της χρήσης ενός G.P.S. χειρός, είναι γνωστή ανά πάσα χρονική στιγμή, βγαίνοντας στο πεδίο, η ακριβής θέση της συσκευής και στη συνέχεια να τεθούν κάποια ερωτήματα, είτε για τις υπηρεσίες που αφορούν τη συγκεκριμένη περιοχή, είτε δίνοντας έναν τελικό προσορισμό να επιτευχθεί η πλοήγηση της συσκευής ως εκεί.
- Είναι γνωστό ότι η εφαρμογή της τεχνολογίας αυτής στο δάσος και σε δασικές εκτάσεις παρουσιάζει ιδιαιτερότητες, ενώ συγχρόνως η ανάγκη εφαρμογής σε τέτοιες εκτενείς εκτάσεις είναι πολύ αναγκαία. Απαιτείται ένα λογισμικό για P/C παλάμης, έτσι ώστε να μετατραπεί σε ένα ευπροσάρμοστο εργαλείο συλλογής δεδομένων, που απλοποιεί την απόκτηση, την οργάνωση και την επέκταση των εφαρμογών των υπηρεσιών αξιοποίησης της γεωγραφικής (οριζοντιογραφικής και υψομετρικής) θέσης. Η ευκολία κινητικότητας, η φιλική προς το χρήστη λειτουργία, η δυνατότητα χειρισμού υψηλού όγκου πληροφοριών και η δυνατότητα αναθεώρησης και ενημέρωσης στοιχείων οπουδήποτε και οποτεδήποτε, είναι απαραίτητα αποτελούν τα μεγάλα πλεονεκτήματά του.
- Η ανάπτυξη του λογισμικού τους, με την παράλληλη δυνατότητα ένδειξης των συντεταγμένων κατευθείαν σε ΕΓΣΑ '87, η αγορά τους σε προσιτές τιμές, έχει επιφέρει ως αποτέλεσμα την αύξηση των εφαρμογών τους στη δασική πράξη.
- Η συνεχώς βελτιούμενη ακρίβεια των μετρήσεων σε συνδυασμό με κατάλληλα συστήματα λογισμικού ανάλυσης των παρατηρήσεων και με δυνατότητα μέτρησης χωρίς αμοιβαία ορατότητα των σημείων, με οποιεσδήποτε καιρικές

συνθήκες, ημέρα και νύχτα, αποτελούν ένα εξαιρετικό εργαλείο για μια σειρά από γεωδυναμικές, γεωδαιτικές και τοπογραφικές εφαρμογές:

- Συμπλήρωση εργασιών οδεύσεων, ταχυμετρίας, πυξίδας σε δύσβατες περιοχές με φτωχό κρατικό δίκτυο σημείων.
- Η σχετικά μικρή ακρίβεια (3 έως 8 μέτρα) κατά την αποτύπωση με GPS χειρός σε συνδυασμό με την προσιτή τιμή τους (περίπου 580 €), δεν είναι αποτρεπτική για τις περισσότερες δασολογικές εφαρμογές.
- Η χρήση του αποστασιόμετρου Laser σε αποτυπώσεις θα πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή και να ελέγχονται οι μετρήσεις συνεχώς. Διότι, σύμφωνα με τον κατασκευαστή, για στόχους κακής ποιότητας η ακρίβεια οργάνου κυμαίνεται στο ± 1 μέτρο και στο ± 10 ανά στόχευση άρα για μεγάλες οδεύσεις σε δυσμενή περιβάλλοντα, το σφάλμα αναμένεται επίσης μεγάλο.

Οποσδήποτε τόσο η δασική σπαστή πυξίδα-κλισίμετρο, όσο το GPS χειρός 60 CSx και το ηλεκτρονικό αποστασιόμετρο πυξίδα True pulse 360° B δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές κτηματογράφησης αλλά ενδεχομένως σε εργασίες όπως η διάνοιξη δάσους που δεν απαιτείται πολύ μεγάλη ακρίβεια και πάντα σε αντικατάσταση της μετροταινίας για τη μέτρηση των αποστάσεων και όχι της κλασικής δασικής πυξίδας για τη μέτρηση των αζιμούθιων από το ηλεκτρονικό αποστασιόμετρο πυξίδα True pulse 360° B καθώς από την παρούσα έρευνα προέκυψε μεγάλο σφάλμα μέτρησης αζιμούθιου.

Βιβλιογραφία

- Μπιλλήρης, Χ., Μητσακάκη, Χ., Αγατζά-Μπαλοδήμου, Μ.Α., Τσακίρη, Μ., Σταθάς, Δ., 2007. *Εισαγωγή στη Γεωδαισία*. Πανεπιστημιακές σημειώσεις, 163 σελ.
- Δανιήλ, Γ., 2011. *Τοπογραφία II*. Εκδόσεις ΤΕΙ Λαμίας, Καρπενήσι, 202 σελ.
- Andritsanos, V.D., Fotiou A., Paschalaki E., Pikridas C., Rossikopoulos D., and Tziavos, I.N., 2000. *Local Geoid Computation and Evaluation*. Physics and Chemistry of the Earth, 1, 63-69.
- Καλογριδής, Γ.Α., Ντζούφρα, Β.Χ., Παπαζήση, Κ.Α., Τελειώνη, Ε.Χ., 2003. *Δυνατότητα χρήσης γεωμετρικών υψομέτρων GPS σε τρέχουσες τοπογραφικές εργασίες*. Τεχνικά Χρονικά Επιστημονική Έκδοση ΤΕΕ Ι, 23(1-2): 51-59.
- Danskin, S.D., Bettinger, P., Jordan, T.R. and Cieszewski, C., 2009. *A comparison of GPS performance in a southern hardwood forest: Exploring low-cost solutions for forestry applications*. Southern Journal of Applied Forestry, 33 (1): 9-16.
- Wanninger, L., 2002. *Aus zwei mach eins: Kombination der Beobachtungen von GPS-Referenzstationspaaren*. AVN, 10: 352-358.
- Resnik, B., 2002. *Praktische Untersuchungen zur Genauigkeit von Flachenermittlungen mit Handheld-GPS-Empfängern*. AVN, 10: 346-351.
- Στεργιάδης, Γ.Χαρ., 1984. *Τοπογραφία*. Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη, 445 σελ.