

Αποτύπωση Δασικών Δρόμων με την Κινηματική Μέθοδο GPS στα Πλαίσια της Διάνοιξης του Δάσους

Μ. Καλαϊτζή¹, Ε. Καραγιάννης², Κ. Δούκας²

1 Διδάκτωρ Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, ΑΠΘ

2 Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος

Εργαστήριο Μηχανικών Επιστημών και Τοπογραφίας, ΑΠΘ

Περίληψη: Μία από τις κυριότερες, αποδοτικότερες και ποιοτικές εργασίες που εφαρμόζονται από το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσεις G.P.S. στη διάνοιξη του δάσους είναι η μέτρηση γραμμικών χαρακτηριστικών όπως οι δασικοί δρόμοι, οι πάροδοι μετατόπισης και οι αποστάσεις μετατόπισης. Στην αποτύπωση των δασικών δρόμων οι μέθοδοι μέτρησης για τον εντοπισμό της θέσης με το GPS κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον αριθμό των δεκτών που χρησιμοποιούνται, τη μέτρηση κωδικών ή φάσεων, την επίλυση σε πραγματικό χρόνο ή εκ των υστέρων και την κινητική κατάσταση του δέκτη. Στην εργασία αυτή ερευνήθηκε η κινηματική μέθοδος με το GPS, με διαφορετικές ταχύτητες 5 km/h, 10 km/h και 15 km/h (σχέση ταχύτητας και κίνησης), για την αποτύπωση του άξονα του οδικού δικτύου του δασικού τμήματος 53 στο Πανεπιστημιακό δάσος Ταξιάρχη. Ελέγχθηκε η ακρίβεια της κινηματικής μεθόδου αποτύπωσης του οδικού δικτύου με το GPS Hiper Pro πάνω σε όχημα σε σχέση με το γεωδαιτικό σταθμό Leica TC805L.

1. Εισαγωγή

Η απογραφή δασικών οδικών δικτύων στα πλαίσια της διάνοιξης του δάσους περιλαμβάνει τον ακριβή εντοπισμό σημαντικών χαρακτηριστικών, όπως τα δασικά όρια, τα τμήματα και τις συστάδες του δάσους, τις πηγές και ρέματα, την ευρύτερη διαμόρφωση του δασικού τοπίου, τις ειδικές προστατευόμενες περιοχές και την αποτύπωση των δασικών οδικών δικτύων (Δούκας Κ., 2001, Καραγιάννης Ε., 2007, Krč et al. 2013, Dietz et al., 1984).

Οι αποτυπώσεις του οδικού δικτύου συχνά πραγματοποιούνται εφαρμόζοντας παραδοσιακές μεθόδους και τεχνολογίες του παρελθόντος με αμφισβητούμενη αξιοπιστία, γεωμετρική ακρίβεια και απόδοση. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την σταθερά αυξανόμενη ανάγκη της εποχής για την προστασία των δασών και την άσκηση Δασοπονίας πολλαπλών σκοπών, καθιστά πρόκληση και συγχρόνως αναγκαϊότερη τη χρήση νέων τεχνολογιών που θα επιτρέπουν αξιόπιστα τη συλλογή και ανάλυση όλων των απαραίτητων στοιχείων, όπως μετρήσεις γραμμικών χαρακτηριστικών των δασικών δρόμων, των παρόδων και των αποστάσεων μετατόπισης. Σήμερα η εφαρμοζόμενη στα δάση σχετική επιστημονική δραστηριότητα,

όπως ερευνήθηκε στη διεθνή και ελληνική βιβλιογραφία, ακολουθεί τους ρυθμούς των σύγχρονων εφαρμογών και μεθόδων (Δούκας Κ., 2001, Erler και Hüchel 2004, Liu J., 2002).

Στις σύγχρονες μεθόδους και ειδικότερα όταν χρησιμοποιείται ένας δέκτης, ο προσδιορισμός της θέσης είναι απόλυτος (Absolute positioning) και οι συντεταγμένες του σημείου προσδιορίζονται με βάση το σύστημα αναφοράς WGS84. Όταν χρησιμοποιούνται δύο ή περισσότεροι δέκτες, ο προσδιορισμός της θέσης είναι σχετικός (relative positioning) και οι άγνωστες συντεταγμένες της θέσης υπολογίζονται ως σχετικές διαφορές συντεταγμένων (ΔE , ΔN και ΔZ) ως προς άλλο σημείο, του οποίου η θέση είναι γνωστή. Η τεχνική αυτή προσφέρει υψηλές ακρίβειες και είναι κατάλληλη για γεωδαιτικές και τοπογραφικές εφαρμογές, καθώς με τη χρήση περισσότερων δεκτών και ταυτόχρονες παρατηρήσεις εξαλείφονται ικανοποιητικά τα διάφορα κοινά συστηματικά σφάλματα που υπεισέρχονται στις μετρήσεις του συστήματος GPS (Φωτίου Α. και Πικριδάς Χ. 2012, Δούκας Κ., 2001).

Στην περίπτωση που οι δέκτες παραμένουν ακίνητοι, ο προσδιορισμός θέσης είναι στατικός (static positioning), ενώ όταν ο δέκτης κινείται, κινηματικός (Kinematic positioning) (Resnik B., 2002).

Όταν ο υπολογισμός των συντεταγμένων γίνεται ταυτόχρονα με το χρόνο εκτέλεσης των μετρήσεων, τότε ο προσδιορισμός της θέσης χαρακτηρίζεται πραγματικού χρόνου (Real time positioning). Απαραίτητη προϋπόθεση για την υλοποίηση του σχετικού κινηματικού προσδιορισμού σε πραγματικό χρόνο αποτελεί η επικοινωνία των δεκτών, των οποίων οι ταυτόχρονες μετρήσεις χρησιμοποιούνται, συνήθως με ενσωματωμένες ασύρματες τεχνολογίες, όπως τα «radio modems» και τα απαραίτητα λογισμικά. Όταν χρησιμοποιούνται ψευδοαποστάσεις για το σχετικό προσδιορισμό θέσης σε πραγματικό χρόνο, τότε συνήθως χρησιμοποιείται ο όρος διαφορικό GPS (DGPS, Differential GPS), ενώ όταν χρησιμοποιούνται μετρήσεις φάσεων, ο όρος RTK (Real Time Kinematic) (Δούκας Κ., 2001, Yoshimura και Hasegawa 2003).

Όταν ο υπολογισμός των συντεταγμένων των σημείων πραγματοποιείται εκ των υστέρων και με περαιτέρω επεξεργασία των μετρήσεων με ειδικά λογισμικά πακέτα, ο προσδιορισμός ονομάζεται εκ των υστέρων προσδιορισμός θέσης (Post processing positioning) (Oderwald και Boucher 2003).

Οι παραπάνω μέθοδοι διαφέρουν ως προς την ακρίβεια τους, τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται και την αποδοτικότητά τους. Η επιλογή τους βασίζεται στο είδος της εφαρμογής που θα υλοποιηθεί, ενώ πολύ συχνά συνδυάζονται μεταξύ τους.

Στην πράξη μπορεί να εφαρμοσθεί και ο απόλυτος προσδιορισμός θέσης με μετρήσεις κώδικα δεκτών χειρός και μια παραλλαγή της κινηματικής μεθόδου, η ημικινηματική μέθοδος σε πραγματικό χρόνο και με μετρήσεις φάσεων (Stop and Go Real Time Kinematic).

Η μέθοδος αυτή είναι μια μέθοδος υψηλής παραγωγικότητας, ειδική για πολυγωνομετρία, ταχυμετρία και κτηματολογικές αποτυπώσεις (Δούκας Κ., 2001). Κατά τη συγκεκριμένη μέθοδο, ένας δέκτης τοποθετείται και παραμένει σταθερός σε σημείο με γνωστές συντεταγμένες (reference ή base receiver), ενώ ο άλλος δέκτης (rover) κινείται από σημείο σε σημείο προσαρμοσμένος σε στυλεό, λαμβάνοντας συνεχώς σήματα από τους δορυφόρους του συστήματος και από το σταθερό δέκτη μέσω radio modem και παραμένοντας για μικρό χρονικό διάστημα δευτερολέπτων στα σημεία που επιθυμεί να υπολογίσει τις συντεταγμένες τους. Οι μετρήσεις αφορούν φάσεις και τα αποτελέσματα που επιτυγχάνονται είναι της τάξης του 1-2cm + 1ppm.

Η ακρίβεια των μετρήσεων σε δασικά περιβάλλοντα εξαρτάται φυσικά από το είδος της βλάστησης, τον βαθμό συγκόμωσης, το είδος των δεκτών, την εφαρμοζόμενη μέθοδο μέτρησης, το ανάγλυφο και τον αριθμό των μετρήσεων (εποχών) σε κάθε σημείο. Η εφαρμογή ορισμένων μεθόδων προϋποθέτει ακριβό εξοπλισμό δεκτών, χρόνο και προτείνεται για περιπτώσεις δασικών εφαρμογών όπου οι απαιτήσεις για ακρίβεια είναι υψηλές (Naesset κ.α. 2000). Οι Hasegawa και Yoshimura (2003) τονίζουν ότι ο χρόνος μέτρησης επηρεάζει την ακρίβεια θέσης για τις μετρήσεις κώδικα. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η επίδραση της βλάστησης που περιβάλλει τους δασικούς δρόμους στην ακρίβεια των μετρήσεων (Martin κ.α., 2001). Οι Holden κ.α. (2001) εξέτασαν την ακρίβεια σε συνάρτηση με το βαθμό συγκόμωσης των δασικών περιοχών και διαπίστωσαν ότι η απόδοση του GPS ήταν η ίδια με την αντίστοιχη σε ανοικτές περιοχές σε σημεία με βαθμό συγκόμωσης μικρότερη του 0,2 (20%). Η ακρίβεια του GPS ήταν χειρότερη σε δάσος κωνοφόρων (*Pinus virginiana*, *Juniperus virginiana*, *Tsuga canadensis*), καλύτερη σε δάσος φυλλοβόλλων (*Quercus* sp.) και βέλτιστη σε ανοικτές περιοχές. Η ακρίβεια των μετρήσεων ήταν καλύτερη σε ράχες και χειρότερη σε ρέματα, ενώ αυξάνει με την αύξηση των εποχών σε δάσος κωνοφόρων από 6,6m σε 4,4m, πλατύφυλλων από 5,9m σε 3,1m και σε ανοικτές από 3,9m σε 2,2m (Deckert και Bolstad 1996). Η λήψη σήματος σε δάσος κωνοφόρων είναι ιδιαίτερα προβληματική και τελικά πραγματοποιείται μόνο το 31% των μετρήσεων (Forgues I., 2001). Οι Sigrist et all (1999) αναφέρουν ότι το φύλλωμα παίζει σημαντικό ρόλο στη λήψη των δορυφορικών σημάτων από τους δέκτες και στην ακρίβεια των μετρήσεων. Οι Piedallu και Gégout (2005) αναφέρουν μείωση της ακρίβειας με αύξηση του PDOP σε δάση.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να μελετηθούν οι σύγχρονες μέθοδοι για την αποτύπωση δασικών δρόμων. Για το σκοπό αυτό ερευνήθηκε η κινηματική μέθοδος με διαφορετικές ταχύτητες 5 km/h, 10 km/h και 15 km/h (σχέση ταχύτητας και κίνησης) για την αποτύπωση του άξονα του δασικού οδικού δικτύου στο δασικό τμήμα 53 του Πανεπιστημιακού δάσους Ταξιάρχη, με σύγχρονα τοπογραφικά όργανα. Οι παρατηρήσεις καταγράφηκαν κατά την χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο σε διάρκεια δύο (2) ετών. Ελέγχθηκε η ακρίβεια της κινηματικής μεθόδου αποτύπωσης του οδικού δικτύου με το GPS HiPer Pro πάνω σε όχημα, σε σχέση με το

γεωδαιτικό σταθμό Leica TC805L (που θεωρήθηκε αληθής τιμή). Για την επεξεργασία των στοιχείων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό AutoCAD Civil 3D 2009.

Με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας προέκυψαν συμπεράσματα και προτάσεις που αφορούν τη δυνατότητα αποτύπωσης δασικών δρόμων με την κινηματική μέθοδο με GPS πάνω σε όχημα και συγκεκριμένα η ακρίβεια της αποτύπωσης, η καταλληλότερη ταχύτητα κίνησης και η εποχή αποτύπωσης.

2. Υλικά και Μέθοδος εργασίας

2.1 Υλικά

Για να βρεθεί η καταλληλότερη κινηματική μέθοδος (σε σχέση με την ταχύτητα κίνησης) αποτύπωσης του άξονα ενός δασικού οδικού δικτύου με G.P.S. πάνω σε όχημα, επιλέχθηκε η δασική θέση «Σωληνάρια» του πανεπιστημιακού δάσους Ταξιάρχη που βρίσκεται στο δασικό τμήμα με αριθμό 53. Ο δρόμος που διασχίζει το δασικό τμήμα 53 έχει μεγάλο βαθμό δυσκολίας που αφορά τη συγκόμωση, ενώ οι συνθήκες βατότητας είναι ομαλές. Χρησιμοποιήθηκε το G.P.S. Hiper pro της Topcon, το οποίο αποτελεί μέρος του εξοπλισμού του εργαστηρίου Μηχανικών Επιστημών και Τοπογραφίας.

Για τον έλεγχο της ακρίβειας προσδιορισμού του άξονα του δασικού δρόμου, που αποτυπώθηκε στο τμήμα 53 με το GPS Hiper Pro, χρησιμοποιήθηκε ο γεωδαιτικός σταθμός Leica TC805 L που ανήκει επίσης στον εξοπλισμό του Εργαστηρίου Μηχανικών Επιστημών και Τοπογραφίας.

Για τον έλεγχο ακριβείας των μετρήσεων και για να βρεθεί η διαφορά και το σφάλμα μεταξύ των δύο οργάνων χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά AutoCAD Civil 3D 2009 και Raster Design on AutoCAD Map 3D 2009 και ArcGIS 93.

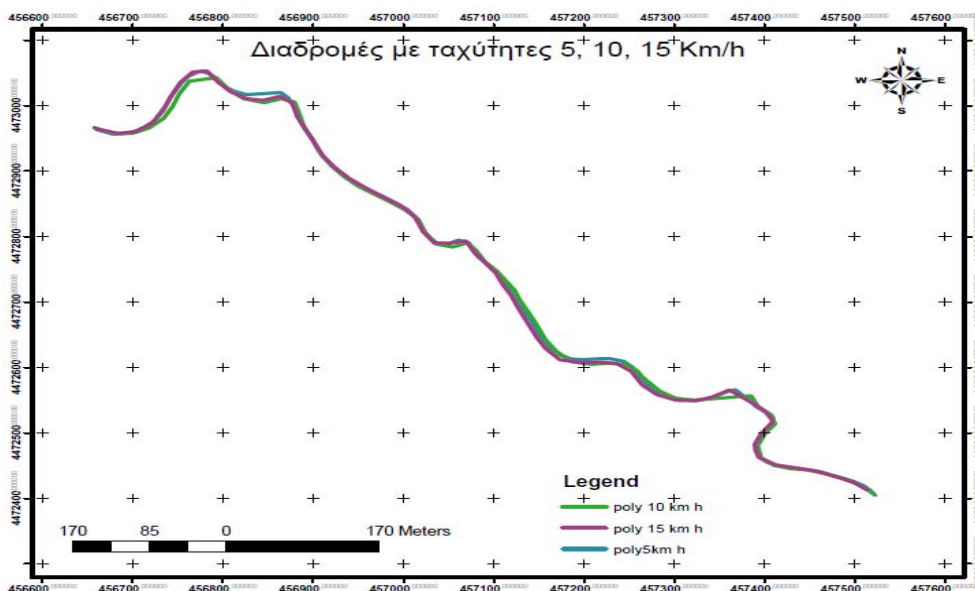
2.2 Μέθοδος

Το καλοκαίρι του 2012 και συγκεκριμένα τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο Αύγουστο και χειμώνα του 2013, για την εκλογή της κατάλληλης μεθόδου αποτύπωσης των δασικών δικτύων με την κινηματική μέθοδο με GPS το οποίο βρίσκεται πάνω σε αυτοκίνητο, επιλέχθηκε και οριοθετήθηκε ο δρόμος μήκους 1350 μέτρων στη δασική θέση «Σωληνάρια» (τμήμα 53) (αριθμός ορθοφωτοχάρτη 456-473, 456-470) στο Πανεπιστημιακό δάσος Ταξιάρχη, καθώς η περιοχή παρουσιάζει πολλές εναλλαγές στη συγκόμωση που κυμαίνεται από 0.6 έως 1.1 (Σχήμα 1) και έχει τη δυνατότητα εξάρτησης από τριγωνομετρικό σημείο της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού στη θέση Πυροφυλάκειο. Έγινε ο κατάλληλος σχεδιασμός και η προετοιμασία για την εκτέλεση των μετρήσεων. Επιπλέον λήφθηκε μέριμνα για τις περιπτώσεις απώλειας σήματος όπου η διαδικασία της μέτρησης έπρεπε να επαναληφθεί. Τηρήθηκαν όλοι οι κανόνες των μετρήσεων (Φωτίου Α., Πικριδάς Χ., 2012).



Σχήμα 1. Συγκόμωση κατά τον μήνα Ιούλιο του 2012

Πριν από τις διαδρομές και την έναρξη της αποτύπωσης έγινε η κατάλληλη προεργασία που αφορούσε την τακτοποίηση του οργάνου στο όχημα και την τοποθέτηση της βάσης (base) του οργάνου ακριβώς στο βάθρο του τριγωνομετρικού σημείου της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού στη θέση Πυροφυλάκειο με συντεταγμένες $X = 457989,185$, $Y = 4472558,163$ και $Z = 872,251$. Προηγήθηκαν έξι (6) τουλάχιστον δοκιμαστικές διαδρομές για την εξοικείωση του οδηγού με τις ταχύτητες του οχήματος και κυρίως του παρατηρητή.



Σχήμα 2. Τελικές διαδρομές με τις τρεις ταχύτητες

Το καλοκαίρι του 2012 (Ιούνιος-Ιούλιος-Αύγουστος) πραγματοποιήθηκαν τελικά τρεις (3) διαδρομές (κινηματική μέθοδος με αυτοκίνητο) στον άξονα του δασικού δρόμου με ταχύτητα 5km/h, 10km/h και 15km/h αντίστοιχα, με GPS Hiper Pro της Topcon (Σχήμα 2)

Η διαδρομή με την ταχύτητα των 5km/h όπως φαίνεται στην Σχήμα 2 με κόκκινο χρώμα πραγματοποιήθηκε με αφετηρία το σημείο (X = 456658.152, Y = 447293.975, Z = 801.401) διασταύρωσης του δασικού δρόμου προς το δασικό τμήμα 53 θέση Σωληνάρια με το δημόσιο δρόμο που συνδέει το χωριό Ταξιάρχης με τον Πολύγυρο.

Η τοποθέτηση της βάση (base) του οργάνου Hiper Pro ακριβώς στο βάθρο του τριγωνομετρικού σημείου της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού έγινε με σκοπό την εξασφάλιση των συντεταγμένων του σημείου αφετηρίας που προϋπήρχε σημασμένο. Επιπλέον, εξασφαλίστηκε και δεύτερο σημείο πάνω στον δημόσιο δρόμο σε μικρή απόσταση από το ήδη υπάρχον σημείο με σκοπό τη δυνατότητα προσανατολισμού του γεωδαιτικού σταθμού για μελλοντικές μετρήσεις Η διαδρομή με την ταχύτητα των 10 km/h, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2 με γαλάζιο χρώμα, πραγματοποιήθηκε από το τέλος του δασικού δρόμου του τμήματος 53 προς την αφετηρία. Η διαδρομή με την ταχύτητα των 15 km/h, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2 με πορτοκαλί χρώμα, πραγματοποιήθηκε με αφετηρία το σημείο διασταύρωσης του δασικού δρόμου προς το δασικό τμήμα 53, θέση Σωληνάρια, με το δημόσιο δρόμο που συνδέει το χωριό Ταξιάρχης με τον Πολύγυρο.

Τον χειμώνα του 2013 έγινε και πάλι αποτύπωση του δασικού δρόμου στο τμήμα 53 στη δασική θέση «Σωληνάρια» (Σχήμα 3) με το GPS Hiper Pro της Topcon με τη μέθοδο που επιλέχθηκε με βάση τις μετρήσεις του καλοκαιριού το 2012. Οι μετρήσεις αυτές είχαν τα ίδια σημεία αφετηρίας με αυτές του καλοκαιριού του 2012.



Σχήμα 3. Τελική διαδρομή με την κινηματική μέθοδο στον άξονα του δασικού δρόμου την άνοιξη του 2013 στο τμήμα 53

Στη συνέχεια έγιναν δύο έλεγχοι της ακρίβειας του προσδιορισμού του άξονα του δασικού δρόμου, ο πρώτος μετά την αποτύπωση το καλοκαίρι του 2012 στο τμήμα 53 με το GPS Hiper Pro της Topcon έγινε με το γεωδαιτικό σταθμό Leica TC 805L. Συνολικά μετρήθηκαν 69 σημεία με το σύστημα δεκτών Hiper Pro, ενώ με το γεωδαιτικό σταθμό Leica TC805 L μετρήθηκαν 101 σημεία. Ο δεύτερος έλεγχος της ακρίβειας του προσδιορισμού του άξονα του δασικού δρόμου έγινε μετά την αποτύπωση το χειμώνα του 2013 στο ίδιο τμήμα με το GPS Hiper Pro της Topcon έγινε και πάλι με το γεωδαιτικό σταθμό Leica TC 805L με βάση τις μετρήσεις που έγιναν το καλοκαίρι του 2012. Συνολικά μετρήθηκαν 101 σημεία με το σύστημα δεκτών Hiper Pro. Η επεξεργασία των στοιχείων πραγματοποιήθηκε, όπως αναφέρθηκε, ηλεκτρονικά με την χρησιμοποίηση του λογισμικού AutoCAD Civil 3D 2009 . Με τη βοήθεια του λογισμικού αυτού σχεδιάστηκε μία κατά μήκος τομή του δρόμου για τον χειμώνα 2013, όπως προέκυψαν οι τιμές από τις μετρήσεις των δύο (2) οργάνων (GPS Hiper Pro και γεωδαιτικός σταθμός Leica TC805 L). Προκειμένου να βρεθεί η διαφορά και το σφάλμα (απόκλιση) από τα δύο (2) όργανα σε ότι αφορά το υψόμετρο (Z), υψώθηκαν κάθετοι στον άξονα X των αποστάσεων ανά 5 μέτρα, έτσι ώστε να έχουμε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια. Σχεδιάστηκε επιπλέον η οριζοντιογραφία του δασικού δρόμου με βάση τις μετρήσεις. Υψώθηκαν κάθετοι από τις κορυφές του άξονα του δασικού δρόμου που αποτυπώθηκε με Total Station προς τις κορυφές του άξονα του δασικού δρόμου που αποτυπώθηκε με GPS, προκειμένου να βρεθεί η διαφορά και το σφάλμα (απόκλιση) κατά X(E) και Y(N).

3. Αποτελέσματα

Από τις μετρήσεις που έγιναν το καλοκαίρι του 2012 στις τρεις (3) τελικές διαδρομές (κινηματική μέθοδος με αυτοκίνητο) στον άξονα του δασικού δρόμου και με ταχύτητα 5 km/h, 10 km/h και 15 km/h αντίστοιχα, με GPS Hiper Pro της Topcon στη δασική θέση «Σωληνάρια» τμήμα 53, προέκυψε ο πίνακας 1 ο οποίος δείχνει την ακρίβεια των μετρήσεων (PDOP) σε κάθε ταχύτητα.

Πίνακας 1: Ταχύτητες και ακρίβεια (PDOP)

Ταχύτητα	PDOP
5 km/h	2,09
10 km/h	2,32
15 km/h	2,73

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι η ταχύτητα των 5 km/h έχει το καλύτερο απαιτούμενο PDOP ($2,09 < 4$) για την αποτύπωση του δασικού δρόμου.

Από την έρευνα που έγινε παρατηρήθηκε ότι η μικρή ταχύτητα των 5 km/h έδωσε τη δυνατότητα στο GPS να αποτυπώσει περισσότερα σημεία σε σχέση με τις άλλες ταχύτητες (10 km/h και 15 km/h). Συγκεκριμένα, με την ταχύτητα των 5 km/h αποτυπώθηκαν 69 σημεία. Με την ταχύτητα των 10km/h αποτυπώθηκαν 63 σημεία. Με την ταχύτητα των 15 km/h αποτυπώθηκαν 60 σημεία. Με βάση της οριζοντιογραφίες και τις κατά μήκος τομές που σχεδιάστηκαν προέκυψαν οι παρακάτω πίνακες 2, 3, 4 και για τις τρεις ταχύτητες κατά την καλοκαιρινή περίοδο (με φύλλωμα), όπου φαίνονται τα σφάλματα (αποκλίσεις) της αποτύπωσης άξονα του δασικού δρόμου.

Από τις μετρήσεις που έγιναν με ταχύτητα 5 km/h, 10 km/h και 15 km/h παρατηρήθηκε ότι οι μέγιστες τιμές κατά X(E) ήταν 11,91 μ., 13,35 μ. και 7,66 μ. αντίστοιχα. Ως προς Y(N) 10,89μ. 4,93 μ. και 9,52 μ. αντίστοιχα και ως προς Z(H) 20,87 μ. 14,48 μ. και 14,88 μ. αντίστοιχα.

Πίνακας 2: Σφάλματα (αποκλίσεις) από την αποτύπωση με ταχύτητα 5 km/h

Ταχύτητα 5 km/h			
Κριτήριο	X(E)	Y(N)	Z(H)
Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (μ_t)	3,19	3,09	9,21
Μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μ.ο. (μ_M)	0,38	0,37	0,58
Σφάλμα θέσης μ_{EN}	4,44		

Πίνακας 3: Σφάλματα (αποκλίσεις) από την αποτύπωση με ταχύτητα 10 km/h

Ταχύτητα 10 km/h			
Κριτήριο	X(E)	Y(N)	Z(H)
Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (μ_t)	3,07	1,80	7,06
Μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μ.ο. (μ_M)	0,32	0,18	0,44
Σφάλμα θέσης μ_{EN}	3,55		

Πίνακας 4: Σφάλματα (αποκλίσεις) από την αποτύπωση με ταχύτητα 15 km/h

Ταχύτητα 15 km/h			
Κριτήριο	X(E)	Y(N)	Z(H)
Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (μ_t)	3,87	2,90	12,47
Μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μ.ο. (μ_M)	0,45	0,34	0,77
Σφάλμα θέσης μ_{EN}	4,83		

Οι καθοριστικοί παράγοντες για την επιλογή της κατάλληλης ταχύτητας ήταν ο παράγοντας PDOP καθώς και τα σφάλματα (αποκλίσεις) που προέκυψαν από τις κατά μήκος τομές και από τις οριζοντιογραφίες.

Οι τιμές του PDOP ανά σημείο με την κινηματική μέθοδο (ταχύτητα 5km/h) κατά το καλοκαίρι του 2012 κυμάνθηκαν από 1,91 έως 2,32. Σε όλα τα σημεία η γεωμετρία των δορυφόρων ήταν πολύ καλή, από τη στιγμή που οι τιμές PDOP ήταν μικρότερες του 4, ενώ το πλήθος των δορυφόρων που λάμβανε ο δέκτης Rover κυμάνθηκε από 7 έως 8 και για τα περισσότερα σημεία ο αριθμός αυτός ήταν 8.

Για την ταχύτητα των 10km/h οι τιμές του PDOP κατά το καλοκαίρι του 2012 κυμάνθηκαν από 1,93 έως 2,75. Σε όλα τα σημεία η γεωμετρία των δορυφόρων ήταν αρκετά καλή, από τη στιγμή που οι τιμές PDOP ήταν μικρότερες του 4 το πλήθος των δορυφόρων που λάμβανε ο δέκτης Rover κυμάνθηκε από 6 έως 8, ενώ για τα περισσότερα σημεία ο αριθμός αυτός ήταν 7.

Αντίστοιχα για την ταχύτητα των 15 km/h οι τιμές του PDOP κατά το καλοκαίρι του 2012 κυμάνθηκαν από 1,87 έως 5,78. Σε όλα τα σημεία η γεωμετρία των δορυφόρων ήταν αρκετά καλή, από τη στιγμή που οι τιμές PDOP ήταν, στα περισσότερα σημεία, μικρότερη του 4 και μόνο σε ένα σημείο ξεπέρασε αυτή την τιμή. Το πλήθος των δορυφόρων που λάμβανε ο δέκτης Rover κυμάνθηκε από 5 έως 8, ενώ για τα περισσότερα σημεία ο αριθμός αυτός ήταν 7.

Από την επεξεργασία όλων των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι η καταλληλότερη κινηματική μέθοδος (με αυτοκίνητο) για την αποτύπωση του άξονα του δασικού δρόμου είναι αυτή με την μικρότερη ταχύτητα των 5 έως 10 km/h. Το σφάλμα θέσης σε αυτές τις ταχύτητες είναι 4,44 μ. και 3,55 μ. αντίστοιχα. Οι τιμές PDOP είναι μικρότερες του 4 σε όλα τα σημεία, όπως επίσης και ο αριθμός των δορυφόρων ήταν 8 στα περισσότερα από αυτά.

Με την κινηματική μέθοδο των 5 έως 10km/h που επιλέχθηκε ως καταλληλότερη έγινε και πάλι αποτύπωση του άξονα του δασικού δρόμου στη θέση «Σωληνάρια» τμήμα 53 κατά τον χειμώνα του 2013. Συγκεκριμένα, με την ταχύτητα των 5 km/h αποτυπώθηκαν 101 σημεία.

Οι τιμές του PDOP ανά σημείο με την κινηματική μέθοδο (5 km/h) κατά τον χειμώνα του 2013 κυμάνθηκαν από 1,57 έως 3. Σε όλα τα σημεία η γεωμετρία των δορυφόρων ήταν πολύ καλή, από τη στιγμή που οι τιμές PDOP ήταν μικρότερες του 4. Το πλήθος των δορυφόρων που λάμβανε ο δέκτης Rover κυμάνθηκε από 6 έως 8, ενώ για τα περισσότερα σημεία ο αριθμός αυτός ήταν 8.

Από την μελέτη των στοιχείων της μηκοτομής και της οριζοντιογραφίας που σχεδιάστηκαν για τον έλεγχο της ακρίβειας προσδιορισμού του άξονα του δασικού δρόμου που αποτυπώθηκε με GPS Hiper Pro, το καλοκαίρι του 2012 και τον χειμώνα του 2013, στο τμήμα 53 έγινε αποτύπωση με τον γεωδαιτικό σταθμό Leica TC 805L και προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Α' Περίοδος μετρήσεων (Καλοκαίρι 2012)

Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (απόκλιση) των μετρήσεων κατά X:

$$\mu_{\tau} = \pm ((\nu\nu)/(n-1))^{0,5}$$

όπου: (ν) η διαφορά των μετρήσεων του GPS από τις αληθείς τιμές (Total Station)
(n) ο αριθμός των παρατηρήσεων

$$\mu_{\tau} = \pm (682,9573/67)^{0,5} = \pm 3,19\mu.$$

Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (απόκλιση) του μέσου όρου κατά X:

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

όπου: (μ_τ) το μέσο τετραγωνικό σφάλμα των μετρήσεων
(n) ο αριθμός των παρατηρήσεων

$$\mu_M = \pm 3,19/(67)^{0,5} = \pm 0,38\mu.$$

Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (απόκλιση) των μετρήσεων κατά Y:

$$\mu_{\tau} = \pm ((\nu\nu)/(n-1))^{0,5}$$

$$\mu_{\tau} = \pm (643,1540/67)^{0,5} = \pm 3,09\mu.$$

Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (απόκλιση) του μέσου όρου κατά Y:

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

$$\mu_M = \pm 3,09/(68)^{0,5} = \pm 0,37\mu.$$

Σφάλμα θέσης

$$\mu_{EN} = \pm \sqrt{\mu_{\tau X}^2 + \mu_{\tau Y}^2}$$

$$\mu_{EN} = \pm \sqrt{3,13^2 + 3,09^2} = \pm 4,44 \mu.$$

Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (απόκλιση) των μετρήσεων κατά Z:

$$\mu_{\tau} = \pm ((\nu\nu)/(n-1))^{0,5}$$

$$\mu_{\tau} = \pm (21141,4922/249)^{0,5} = \pm 9,21 \mu.$$

Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (απόκλιση) του μέσου όρου κατά Z:

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

$$\mu_M = \pm 9,21 / (250)^{0,5} = \pm 0,58 \mu.$$

Από την μελέτη των στοιχείων της μηκοτομής και της οριζοντιογραφίας που σχεδιάστηκαν προκειμένου να βρεθεί και πάλι η διαφορά και το σφάλμα (απόκλιση) από τα δύο (2) όργανα σε ότι αφορά το υψόμετρο (H) από τις μετρήσεις που έγιναν τον χειμώνα του 2013, προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

Β' Περίοδος μετρήσεων (Χειμώνας 2013)

Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (απόκλιση) των μετρήσεων κατά X:

$$\mu_{\tau} = \pm ((\nu\nu)/(n-1))^{0,5}$$
$$\mu_{\tau} = \pm (2250,6911/423)^{0,5} = \pm 2,30 \mu.$$

Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (απόκλιση) του μέσου όρου κατά X:

$$\mu_M = \pm \mu_{\tau}/(n)^{0,5}$$
$$\mu_M = \pm 2,30/(424)^{0,5} = \pm 0,11 \mu.$$

Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (απόκλιση) των μετρήσεων κατά Y:

$$\mu_{\tau} = \pm ((\nu\nu)/(n-1))^{0,5}$$
$$\mu_{\tau} = \pm (1421,2918/423)^{0,5} = \pm 1,83 \mu.$$

Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (απόκλιση) του μέσου όρου κατά Y:

$$\mu_M = \pm \mu_{\tau}/(n)^{0,5}$$
$$\mu_M = \pm 1,83/(424)^{0,5} = \pm 0,08 \mu.$$

Σφάλμα θέσης

$$\mu_{EN} = \pm \sqrt{\mu_{\tau X}^2 + \mu_{\tau Y}^2}$$
$$\mu_{EN} = \pm \sqrt{2,30^2 + 1,83^2} = \pm 2,93 \mu.$$

Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (απόκλιση) των μετρήσεων κατά Z:

$$\mu_{\tau} = \pm ((\nu\nu)/(n-1))^{0,5}$$
$$\mu_{\tau} = \pm (18827,3417/262)^{0,5} = \pm 8,47 \mu.$$

Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (απόκλιση) του μέσου όρου κατά Z:

$$\mu_M = \pm \mu_{\tau}/(n)^{0,5}$$
$$\mu_M = \pm 8,47/(263)^{0,5} = \pm 0,52 \mu.$$

Συνοπτικά τα σφάλματα (αποκλίσεις) των μετρήσεων που έγιναν τον χειμώνα του 2013 φαίνονται στον πίνακα 5.

Πίνακας 5: Σφάλματα (αποκλίσεις) (Χειμώνας 2013)

Κριτήριο	X(E)	Y(N)	Z (H)
Μέσο τετραγωνικό σφάλμα (μτ)	2,30	1,83	8,47
Μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μ.ο. (μM)	0,11	0,08	0,52
Σφάλμα θέσης	2,93		

4. Συμπεράσματα - Προτάσεις

Καθοριστικοί παράγοντες για την επιλογή της κατάλληλης ταχύτητας (5 km/h), στην κινηματική μέθοδο (GPS σε αυτοκίνητο) για την αποτύπωση του άξονα των δασικών δρόμων, ήταν οι τιμές PDOP (Πίνακας 1) αλλά κυρίως τα σφάλματα (αποκλίσεις) που προέκυψαν από τις οριζοντιογραφίες και τις κατά μήκος τομές. Οι ταχύτητες αποτύπωσης 5-10 km/h αξιολογήθηκαν ως οι πλέον ακριβείς (Πίνακας 1). Πρέπει να σημειωθεί ότι η ταχύτητα του οχήματος δεν μπορούσε να διατηρηθεί σε όλη τη διαδρομή στα 5 km/h λόγω του κακού οδοστρώματος και υπήρχε μια διακύμανση της ταχύτητας από 3-8 km/h.

Ένας άλλος παράγοντας που επηρέασε την ακρίβεια των μετρήσεων με το GPS ήταν η συγκόμωση (στο τμήμα 53 είναι 1 - 1,1 δηλ., πολύ πυκνό). Από τις διαφορές που προέκυψαν από τις μετρήσεις που έγιναν χειμώνα (χωρίς φύλλωμα) και καλοκαίρι (με φύλλωμα) προκύπτει ότι τον χειμώνα έχουμε 33.3 % (κατά την Αμερικάνικη υπηρεσία 36 %) (Πίνακες 2 , 3) καλύτερη ακρίβεια από ότι το καλοκαίρι. Συγκεκριμένα, από τους πίνακες 2 και 3 των αποτελεσμάτων φαίνονται: Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα των μετρήσεων κατά X(E), Y(N) και Z(H), το μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μέσου όρου κατά X(E), Y(N) και Z(H), καθώς και το σφάλμα θέσης κατά την δυσμενή περίοδο του καλοκαιριού όπου υπάρχει φύλλωμα είναι $\mu X = 3,19\mu.$, $\mu Y = 3,09\mu.$ και $\mu Z = 9,21\mu.$, $\mu.MX = 0,38\mu.$, $\mu.MY = 0,37\mu.$ και $\mu.MZ = 0,58\mu.$ και $\mu.EN = 4,44\mu.$ αντίστοιχα, ενώ για την χειμερινή περίοδο όπου δεν υπάρχει φύλλωμα είναι $\mu X = 2,30\mu.$, $\mu Y = 1,83\mu.$ και $\mu Z = 8,47\mu.$, $\mu.MX = 0,11\mu.$, $\mu.MY = 0,08\mu.$ και $\mu.MZ = 0,52\mu.$ και $\mu.EN = 2,93\mu.$ αντίστοιχα. Σημειώνουμε βέβαια ότι οι διαφορές αυτές που προέκυψαν μεταξύ αληθούς τιμής (Total Station) και του GPS που βρισκόταν πάνω στο όχημα οφείλονται σε πολύ μικρό ποσοστό, που δεν είναι σημαντικό στη Διάνοιξη, στο γεγονός ότι δεν μπορούσε το όχημα με το GPS να αποτυπώσει ακριβώς τα ίδια σημεία του άξονα που σχεδιάστηκε με τα σημεία του Total Station.

Γενικά, αν λάβουμε υπόψη ότι στη δασική πράξη η τοποθέτηση του δασικού δικτύου των δρόμων (διάνοιξη του δάσους) στο δασοπονικό χάρτη κλίμακας 1:20000 (1 mm = 20 m και ισουψείς 20 m) η ακρίβεια των 10 μέτρων είναι ικανοποιητική, επομένως η τοποθέτηση νέων δασικών δρόμων με GPS σε αυτοκίνητο είναι πολύ ικανοποιητική.

Κατά τον έλεγχο ακριβείας του προσδιορισμού του άξονα του δασικού δρόμου (μετρήσεις με GPS-Total Station) και μετά τον σχεδιασμό των οριζοντιογραφιών φάνηκαν αρκετές διαφορές (αποκλίσεις) κυρίως τόσο στα τόξα κύκλου (στροφές), μεταξύ των δύο αξόνων του GPS και του θεοδόλιχου Total Station, όσο και στους ορθοφωτοχάρτες (κλίμακας 1:5000). Οι διαφορές αυτές προέκυψαν γιατί φυσιολογικά το GPS που βρισκόταν πάνω στο όχημα δεν μπορούσε να αποτυπώσει ακριβώς τα ίδια σημεία του άξονα του δρόμου που αποτυπώθηκαν με το θεοδόλιχο Total Station. Οι διαφορές που προέκυψαν από τις μετρήσεις που έγιναν χειμώνα και καλοκαίρι θεωρήθηκαν φυσιολογικές.

Σύμφωνα με τα παραπάνω συμπεράσματα προκύπτουν οι εξής προτάσεις:

1. Η καταλληλότερη ταχύτητα κίνησης του οχήματος για την αποτύπωση δασικών δρόμων με την κινηματική μέθοδο με GPS είναι αυτή των 5-10km/h (δηλ. μέση τιμή 8km/h), γιατί επιτυγχάνεται ικανοποιητική ακρίβεια. Στα δάση πλατύφυλλων να επιδιώκεται η χειμερινή περίοδος (χωρίς φύλλωμα) για την αποτύπωση των οδικών δικτύων με GPS.
2. Η χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών γενικότερα, αλλά και των λογισμικών AutoCAD και ArcGIS ειδικότερα, θα βοηθήσουν, τόσο στην επεξεργασία των δεδομένων των χαρτών που δημιουργούνται όσο και των στοιχείων των δρόμων (βάσεων δεδομένων), όπως της οριζοντιογραφίας, της μηκοτομής και των κατά πλάτος τομών. Τα παραπάνω λογισμικά είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα για τους Δασολόγους, γι' αυτό και προτείνεται η χρήση τους.

Ευχαριστίες

- Η έρευνα έχει συγχρηματοδοτηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο - ΕΚΤ) και Ελληνικούς εθνικούς πόρους μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ) - Ερευνητικό Χρηματοδοτούμενο Έργο: Θαλής. Επένδυση στην κοινωνία της γνώσης μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου.
- Ευχαριστούμε τους φοιτητές Κανακόπουλο Παναγιώτη και Αναστασιάδη Νικόλαο για την συμβολή τους.

Βιβλιογραφία

- Deckert, C., Bolstad, P. V., 1996. Forest Canopy, Terrain, and Distance Effects on Global Positioning System Point Accuracy. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 62(3): 317-321.
- Dietz, P., Knigge, W., Loffler, H., 1984. *Walderschliessung*, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 565 pp
- Δούκας Κ., 2001. Τοπογραφία αγροτικών και δασικών εκτάσεων. Εκδόσεις Γιαχούδη Θεσσαλονίκη.
- Erler, J., Hüchel, N., 2004. *Fahrbewegungen im Wald per Satellit steuern und kontrollieren*. *Forst und Technik*. 16(2): 8-12.
- Forgues, I., 2001. *Trials of the RT-GPS reciever under forestry conditions*. *Advantage*. 2(40): 2.
- Holden, N.M., Martin A.A., Owende P.M.O., Ward S.M. 2001. *A method for relating GPS performance to forest canopy cover*. *Inter. J. For. Eng.* 12(2):51-56.

- Καραγιάννης, Ε., 2007. Αξιολόγηση της οδικής διάνοιξης των ελληνικών δασών. Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος. Τόμος προς τιμή του ομότιμου καθηγητή Δημητρίου Κωτούλα, Θεσσαλονίκη, σελ. 714-727
- Krč J., Beguš J., 2013. Planning Forest Opening with Forest Roads. *Croatian Journal of Forest Engineering*, Vol. 34, Issue 2, pp 217 – 228.
- Liu, C.J., 2002. Effects of Selective Availability on GPS Positioning Accuracy. *Southern Journal of Applied Forestry*. 26(3): 140-145.
- Martin, A., Holden, N.H., Owende, P.M.O, Ward, S.M., 2001. The effects peripheral canopy on DGPS performance on forest road, *Int. J. Forest Engineering*. 12(1): 71-79.
- Naasset, E., Bjerke, T., Øvstedal, O., Ryan, L., 2000. Contributions of Differential GPS and GLONASS Observations to Point Accuracy under Forest Canopies. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 66(4): 403-407
- Oderwald, R.G., Boucher, B.A., 2003. GPS After Selective Availability. How Accurate Is Accurate Enough? *Journal of Forestry*. 101(4): 24-27.
- Piedallu, C., Gégout, J.-C., 2005. Effects of Forest Environment and Survey Protocol on GPS Accuracy. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 71(9): 1071–1078.
- Resnik, B., 2002. Praktische Untersuchungen zur Genauigkeit von Flächenermittlungen mit Handheld-GPS-Empfängern. *AVN 10*: 346-351.
- Sigrist, P., Coppin, P., Hermy, M., 1999. Impact of forest canopy on quality and accuracy of GPS measurements. *International Journal of Remote Sensing*. 20(18): 3595-3610.
- Yoshimura, T., Hasegawa, H., 2003. Comparing the precision and accuracy of GPS positioning in forested areas. *Journal of Forest Research*. 8(3): 147-152.
- Φωτίου, Α., Πικριδάς, Χ., 2012. GPS και Γεωδαιτικές Εφαρμογές. Εκδόσεις Ζήτη, Δεύτερη Έκδοση, Θεσσαλονίκη.