

**Η ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΜΕΤΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΦΟΡΗΤΩΝ ΔΕΚΤΩΝ ΤΟΥ
ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ
ΠΡΩΤΕΣ ΣΚΕΨΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

Γεώργιος Πανταζής¹, Ιωάννης Δ. Λούκας²

**¹Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο – Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
²Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης– Πολυτεχνική Σχολή – Τμήμα Πολιτικών
Μηχανικών
e-mail: gpanta@central.ntua.gr**

Περίληψη

Τις τελευταίες δεκαετίες η ανάπτυξη και η εξέλιξη των συστημάτων δορυφορικού εντοπισμού (Global Positioning System - GPS) είναι αματωδής. Όλο και περισσότερο χρησιμοποιούνται τόσο σε γεωδαιτικές μετρήσεις όσο και στην απλή καθημερινότητα. Με τη χρήση των συστημάτων αυτών είναι πια απλή η διαδικασία του προσδιορισμού των συντεταγμένων ενός ή περισσοτέρων σημείων της φυσικής Γήινης επιφάνειας. Διαφορετικές φορητές συσκευές του συστήματος χρησιμοποιούνται καθημερινά από εντελώς ανειδίκευτους χρήστες οποιασδήποτε επαγγελματικής κατάρτισης μέχρι εξειδικευμένους μηχανικούς. Η εργασία αυτή επικεντρώνεται ειδικά στους δέκτες GPS χειρός (συνηθέστερα καλούμενους "φορητά GPS") που έχουν κατακλύσει την αγορά και χρησιμοποιούνται από την πλειοψηφία των "απλών" χρηστών, έχει δε ως στόχο να αναδείξει την αναγκαιότητα μετρολογικού ελέγχου των δεκτών αυτών. Αρχικά γίνεται μια παρουσίαση του τρόπου λειτουργίας αυτών των δεκτών. Παρουσιάζονται διάφοροι έλεγχοι που έγιναν χρησιμοποιώντας κάποια από αυτά τα συστήματα, ώστε να διαπιστωθεί η αξιοπιστία αλλά και η ακρίβεια στον προσδιορισμό της θέσης. Τέλος παρατίθενται κάποιες πρώτες σκέψεις που αφορούν στη διαδικασία μετρολογικού ελέγχου τέτοιων φορητών συσκευών, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συγκεκριμένες εργασίες, παρέχοντας την αναμενόμενη αξιοπιστία και ακρίβεια.

Λέξεις-Κλειδιά: δορυφορικό σύστημα εντοπισμού (GPS), μετρολογία, φορητές συσκευές GPS, πιστοποίηση, μεθοδολογία.

Abstract

In recent decades, the development and evolution of GPS (Global Positioning System) is tremendous. It is increasingly used in both geodetic works and the simple every-day living. Using the GPS nowadays is no longer a complicated and difficult process of determining of the coordinates of one or more points in the Earth's physical surface. Different portable systems used daily by a wide range of users (from totally unskilled users to experts engineers). This paper is specifically focused on handheld GPS receivers (commonly called "portable GPS") that have been flooding the market and used by the majority of "ordinary" users of satellite positioning system. The main target is to highlight the need for metrological control of these receivers. The basic GPS measurement procedures and the categories of such portable devices are presented, with the companion sources of error and the resultant uncertainties that arise with their use in determining position, as well. In the experimental part of this paper, specific checks are made, based on observations carried out with some of these systems, in order to determine their reliability and accuracy. Finally, a procedure of metrological control of such portable receivers is proposed, based on these first pilot results.

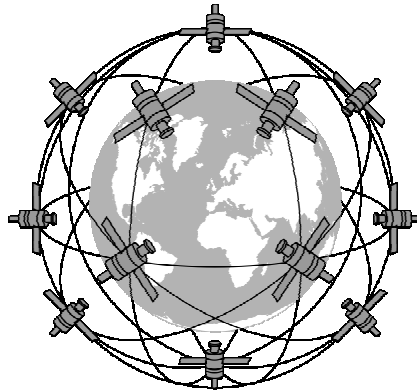
Keywords: Global Positioning System (GPS), metrology, handheld GPS, certification, methodology.

1. Εισαγωγή

Δορυφορικός προσδιορισμός θέσης είναι ο προσδιορισμός συντεταγμένων σημείων (απόλυτων και/ή σχετικών) επί της Γης, στην ξηρά, στη θάλασσα ή και επάνω από τη Γήινη επιφάνεια, με την επεξεργασία μετρήσεων προς τεχνητούς δορυφόρους (Μπαντέλας κ.α. 1999). Η επιστημονική περιοχή της Γεωδαισίας που ασχολείται με το πεδίο των δορυφορικών προσδιορισμών θέσης ονομάζεται *Δορυφορική Γεωδαισία*.

Η εποχή της Δορυφορικής Γεωδαισίας άρχισε τον Οκτώβριο του 1957 με την εκτόξευση του πρώτου τεχνητού δορυφόρου Sputnik I, από την τότε Σοβιετική Ένωση. Μέσα στη δεκαετία του 1960, συναντώνται τα πρώτα δορυφορικά συστήματα πλοήγησης (π.χ. από τις ΗΠΑ τα: TRANSIT, TIMATION, SECOR, από τη Σ. Ένωση τα: PARUS, TSIKADA, TSYKLON, από δε την Κίνα το: BEIDOU) (Φωτίου και Πικριδάς 2005).

Το πρώτο αμερικανικό σύστημα δορυφόρων πλοήγησης, με το όνομα TRANSIT, ξεκίνησε με την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου στις 13 Απριλίου 1960. Ολοκληρώθηκε επιχειρησιακά το 1964 και διαβαθμίστηκε για στρατιωτική χρήση μέχρι το 1967, οπότε και απέκτησε πολιτική χρήση. Το εν λόγω σύστημα λειτούργησε μέχρι το 1996, εύλογα δε θεωρείται ο πρόγονος του συστήματος GPS (Global Positioning System) το οποίο στην πλήρη του ονομασία καλείται NAVSTAR GPS (NAVigation Satellite Timing And Ranging, Global Positioning System). Το σύστημα GPS ανήκει στις ΗΠΑ, σχεδιάστηκε στη δεκαετία του 1970, αναπτύχθηκε μέσα στη δεκαετία του 1980 και εξακολουθεί να λειτουργεί πάντα υπό την εποπτεία και τον έλεγχο του αμερικανικού υπουργείου άμυνας. Τρία είναι τα τμήματα του συστήματος GPS (Μπαντέλας κ.α. 1999):



Σχήμα 1: Σχηματισμός δορυφόρων GPS και οι τροχιές τους (Δορυφορικό τμήμα του GPS)

1. Το *δορυφορικό τμήμα* (σχήμα 1) που σήμερα αποτελείται από 34 δορυφόρους. Λόγω της περίπου δεκαετούς διάρκειας ζωής των – με ηλιακή ενέργεια λειτουργούντων - δορυφόρων, κάθε σειρά νέων δορυφόρων έρχεται να συμπληρώσει ή να αντικαταστήσει σταδιακά τις προηγούμενες.
2. Το *τμήμα ελέγχου* αποτελείται από: τους επίγειους σταθμούς παρακολούθησης των δορυφόρων, τους σταθμούς επικοινωνίας με τους δορυφόρους και τέλος, από τον κύριο σταθμό ελέγχου (στο Colorado, USA).
3. Το *τμήμα χρηστών* αποτελείται από τους δέκτες. Οι δέκτες του συστήματος GPS είναι όργανα που αποτελούνται από: την κεραία, τον προενισχυτή, το βασικό δέκτη και το χειριστήριο. Επίσης για να λειτουργήσουν απαιτούνται και άλλα παρελκόμενα όπως καλώδια και άλλα εξαρτήματα σύνδεσης, modem, μπαταρίες, βοηθητικά δηλ. εξαρτήματα που διαφέρουν ανάλογα με τις δυνατότητες και τη χρήση των δεκτών.

Εκτός του αμερικανικού GPS, με την ίδια φιλοσοφία υπηρεσιών η Κίνα ετοιμάζει το δικό της σύστημα Compass (γνωστό επίσης και ως Beidou-2) που θα αποτελείται συνολικά από 35 δορυφόρους (5 γεωστατικούς και 30 μέσης τροχιάς. Τέλος, στην Ευρώπη υπάρχει σε εξέλιξη το νέο παγκόσμιο σύστημα προσδιορισμού θέσης GALILEO, με καθαρά πολιτικό χαρακτήρα (πρώτη εκτόξευση δορυφόρου στις 28-12-2005), μια εναλλακτική αλλά και συμπληρωματική λύση για το αμερικανικό σύστημα GPS και το αντίστοιχο Ρωσικό GLONASS (το οποίο άρχισε να υλοποιείται από το 1976, με πρώτη εκτόξευση δορυφόρων το 1982). Το Ευρωπαϊκό GALILEO στην τελική του μορφή θα αποτελείται από 30 δορυφόρους (27 βασικούς και 3 εφεδρικούς), ο δε συνδυασμός του με τα άλλα δύο συστήματα (GPS και GLONASS) θα αποδώσει κάλυψη 95% σε αστικές περιοχές, με εύλογα οφέλη στην πλοήγηση σε αστικό περιβάλλον και πόλεις.

2. Περί του προσδιορισμού θέσης με GPS

Υπάρχουν δύο είδη προσδιορισμών θέσης (Μπαντέλας κ.α. 1999), (Φωτίου και Πικριδιάς 2006):

- **Ο απόλυτος:** Με τη χρήση ενός δέκτη (και με μειωμένη ακρίβεια λόγω επίδρασης συστηματικών σφαλμάτων), προσδιορίζονται οι συν/νες ενός σημείου ως προς ένα γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς, με παρατηρήσεις του συγκεκριμένου δέκτη.
- **Ο σχετικός:** Με τη χρήση δύο δεκτών, προσδιορίζονται οι συν/νες ενός σημείου ως προς ένα άλλο γνωστόν συν/νων (ως προς κάποιο σύστημα αναφοράς), και μάλιστα με αυξημένη ακρίβεια λόγω απαλοιφής συστηματικών σφαλμάτων. Εναλλακτικά, μέσω της διαφοράς συν/νων προσδιορίζεται η σχετική θέση μεταξύ δύο σημείων.

Σε κάθε περίπτωση, ο προσδιορισμός μπορεί να είναι:

- **στατικός (static):** Το αντικείμενο (σημείο) που πρόκειται να προσδιοριστεί είναι σταθερό.
- **κινηματικός (kinematic):** Το αντικείμενο (σημείο) που πρόκειται να προσδιοριστεί κινείται.

Για υψηλή ακρίβεια γεωδαιτικών, τοπογραφικών, γεωφυσικών κ.λπ. εργασιών ενδείκνυται ο **σχετικός στατικός προσδιορισμός**. Ο **κινηματικός προσδιορισμός σε πραγματικό χρόνο** ενδείκνυται για πλοήγηση (με μέση ακρίβεια της τάξης των 5-15m).

3. Περί της ακρίβειας ενός δέκτη GPS

Με τον όρο "ακρίβεια" ενός δέκτη GPS, εννοείται η ταύτιση: μιας θέσης (εκτιμημένης ή μετρημένης), του χρόνου και/ή της ταχύτητας που δίνει ο εν λόγω δέκτης σε σχέση με ένα πρότυπο (standard). Η εν λόγω "ακρίβεια" ενός συστήματος ραδιοπλοήγησης συνηθέστερα δίδεται ως μια στατιστική μέτρηση του σφάλματος του συστήματος και χαρακτηρίζεται από: προβλεψιμότητα, επαναληπτικότητα και σχετικότητα (Wormley 2008).

Ο περιοδικός έλεγχος της ακρίβειας ενός δέκτη GPS είναι απαραίτητος για: τη διαπίστωση της ποιότητάς του, τη διαπίστωση της επιτυγχανόμενης ακριβείας και τέλος, για τη μετρολογική νομιμοποίηση του δέκτη. Οι διάφοροι κατασκευαστές συνηθέστερα υιοθετούν διαδικασίες ελέγχου όπως αυτές προτείνονται από ινστιτούτα και εργαστήρια (επιστημονικά, πανεπιστημιακά κ.α). Κατά κανόνα, τέτοιου είδους διαδικασίες ελέγχων δεν είναι διαθέσιμες σε κοινούς χρήστες GPS (Savvaidis et al. 2004). Η κατηγοριοποίηση των χονδροειδών, συστηματικών και τυχαίων σφαλμάτων που συμμετέχουν στο αποτέλεσμα έχει ως εξής (Savvaidis et al. 2004), (Wormley 2008), (Martin 2008):

1. Χονδροειδή σφάλματα

- a. Στο υπολογιστικό μέρος.
- b. Στην επιλογή του γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς.

- c. Σε προβλήματα του δέκτη (εξαρτήματα-hardware και/ή λογισμικό).

2. Συστηματικά σφάλματα

- a. Επιλεκτική διαθεσιμότητα (ανύπαρκτη από 1-5-2000).
- b. Σφάλματα χρονομέτρου.
- c. Σφάλματα δεδομένων εφημερίδας δορυφόρου.
- d. Τροποσφαιρικές καθυστερήσεις.
- e. Ιονοσφαιρικές καθυστερήσεις.
- f. Πολυανακλάσεις σημάτων.

3. Τυχαία σφάλματα: Η συνδυασμένη επίδραση, του ψευδο-τυχαίου θορύβου (PRN) και του θορύβου του δέκτη.

Κρίσιμος παράγοντας για την ακρίβεια του GPS είναι επίσης η *Γεωμετρική Εξασθένιση της Ποιότητας (Geometric Dilution of Precision - GDOP)*, σχετική με το γεωμετρικό σχηματισμό των χρησιμοποιούμενων δορυφόρων. Ο παράγοντας GDOP αποτελείται από τις εξής, εξαρτημένες μεταξύ τους συνιστώσες: *PDOP*, *HDOP*, *VDOP*, *TDOP* (σχετίζονται αντίστοιχα με: την τριδιάστατη θέση, την οριζόντια και κατακόρυφη ποιότητα και το χρόνο).

Με βάση τα παραπάνω, η μέση αποδεκτή εκτίμηση της παρεχόμενης ακρίβειας από δέκτες συνηθισμένους (όχι δηλ. επαγγελματικούς, επιστημονικούς κ.λπ.) είναι της τάξης των $\pm 15\text{m}$, απλά και μόνο με την ανυπαρξία (από 1 Μαΐου 2000) του σφάλματος της επιλεκτικής διαθεσιμότητας.

Προκειμένου να ελεγχθούν διάφοροι δέκτες του συστήματος GPS, υπάρχουν αρκετές διαδικασίες και μεθοδολογίες (Savva et al. 2004), (Jayathissa et al. 2008), (Tiberius 2003), (Martin 2008), (Schwieger 2003) οι οποίες ακόμη δεν είναι αποδεκτές από όλους (καθώς το πεδίο είναι εξαιρετικά περίπλοκο και υπάρχουν πολυποίκιλες απόψεις για το τί ακριβώς και πώς πρέπει να ελεγχθεί). Τα πρότυπα ISO 17123 (μέρη 1, 2, ..., 8) καλύπτουν διάφορα γεωδαιτικά όργανα, συγκεκριμένα δε το "μέρος 8" καλύπτει την RTK (Real-Time Kinematic) μέθοδο μέτρησης στον τομέα των GNSS (Global Navigation Satellite Systems) για τα συστήματα GPS, GLONASS και αργότερα το GALILEO. Σε κάθε περίπτωση, θυμίζετε βέβαια ότι διαφέρει ο "έλεγχος" (*testing*) από τη "διακρίβωση" (*calibration*) δηλ. η σύγκριση (και διόρθωση) με βάση κάποιο πρότυπο αναφοράς (*standard*) (Φωτίου και Πικριδάς 2006), (Martin 2008).

Στο πλαίσιο του ποιοτικού ελέγχου των δεκτών GPS, διακρίνονται ουσιαστικά τρεις άξονες (Δούκας 2005), (Savva et al. 2004):

1. Διακρίβωση (Calibration). Στο πλαίσιο της διακρίβωσης, ελέγχονται:

- a. *Πληρότητα χρήσης (integrity monitoring) των λαμβανομένων από το δορυφορικό σχηματισμό σημάτων*: Συνηθέστερα ο έλεγχος αυτός γίνεται με τη χρήση ενός επίγειου γεωδαιτικού δικτύου, στις κορυφές του οποίου (με γνωστές συντεταγμένες) υπάρχουν μόνιμα εγκατεστημένοι δέκτες GPS. Οι δέκτες αυτοί λαμβάνουν σήματα από όλους τους ορατούς δορυφόρους και προειδοποιούν σε περίπτωση μείωσης της απόδοσης του συστήματος.
- b. *Έλεγχος μηδενικού μήκους βάσης ελέγχου (zero length baseline testing)*: Δύο διαφορετικοί δέκτες συνδέονται στην ίδια κεραία. Λόγω αυτής της συνθήκης, σφάλματα λόγω δορυφόρων, ατμόσφαιρας και πολλαπλών ανακλάσεων σημάτων εξαλείφονται κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των μετρήσεων. Πρόκειται για πολύ καλό έλεγχο της λειτουργίας των κυκλωμάτων των δεκτών, παράλληλα δε ελέγχονται και διάφορες κεραίες.
- c. *Εργαστηριακός έλεγχος*: Αφορά αποκλειστικά τους κατασκευαστές δεκτών του συστήματος GPS. Ελέγχονται κάρτες μνήμης, ταλαντωτές, μπαταρίες κ.λπ. Εδώ επίσης

συναντώνται ειδικές διαδικασίες και μέθοδοι που προτείνονται κατά κανόνα από επιστημονικά ινστιτούτα, πανεπιστημιακά εργαστήρια κ.λπ.

2. **Πιστοποίηση (Certification):** Αφορά σε ειδικές υπηρεσίες πιστοποίησης, για όλους τους προβλεπόμενους ελέγχους και τα αντίστοιχα πιστοποιητικά. Οι προδιαγραφές, οι οδηγίες, οι διαδικασίες, ο σχεδιασμός και η εγκατάσταση του επίγειου δικτύου, η επιλογή των βάσεων ελέγχου (baselines) κ.λπ. αποτελούν σημαντικότερα πεδία προβληματισμού και σχεδιασμού (σε επίπεδο εθνικό αλλά και διεθνές).
3. **Ερευνητικός έλεγχος (Investigative testing):** Ο εξοπλισμός GPS ελέγχεται σε πραγματικές συνθήκες πεδίου. Μετρώνται αποστάσεις (σε επιλεγμένες βάσεις) και/ή ένα γεωδαιτικό δίκτυο (τριών διαστάσεων) τουλάχιστον τεσσάρων κορυφών (γνωστών συντεταγμένων). Έτσι, γίνεται σύγκριση ακριβειών, αυτών που ισχυρίζεται ο κατασκευαστής και αυτών που επιτυγχάνονται στην πράξη. Κατά κανόνα πρόκειται για μέθοδο που εφαρμόζεται από ακαδημαϊκά ινστιτούτα και εργαστήρια, ειδικές υπηρεσίες και οργανισμούς (Lambrou and Pantazis 2004).

Γενικά, η ακρίβεια θέσης εξαρτάται από τη θέση του δέκτη και βέβαια, από όλους τους προαναφερθέντες παράγοντες που επηρεάζουν (ή εμποδίζουν) τα δορυφορικά σήματα. Αλλά, ακόμη και αν δεν πρόκειται για επιστημονικές, στρατιωτικές, γεωφυσικές και άλλες εφαρμογές (που απαιτούν υψηλή ακρίβεια), σήμερα ένας κοινός (ιδιώτης) χρήστης μπορεί να έχει βελτιωμένη ακρίβεια (δηλ. καλύτερη των $\pm 15.00\text{m}$), εφόσον χρησιμοποιεί δέκτη ο οποίος υποστηρίζει "διορθωμένα δεδομένα θέσης". Τέτοια δεδομένα διοχετεύονται με ραδιο-σήματα τα οποία τα οποία μπορούν να εκπέμπονται (Φωτίου και Πικριδάς 2005), (Φωτίου και Πικριδάς 2006), (Xiao et al. 2002): Από γεωστάσιμους δορυφόρους που δεν ανήκουν στο σύστημα GPS (π.χ. δορυφόροι Inmarsat) ή από επίγειους σταθμούς. Στην τελευταία περίπτωση πρόκειται είτε για το διαφορικό GPS ((*Differential GPS – DGPS*) με ακρίβεια της τάξης ± 3.00 ως $\pm 5.00\text{m}$), είτε για το διαφορικό GPS Ευρείας Περιοχής ((*Wide Area Augmentation System – WAAS*) με ακρίβεια καλύτερη από $\pm 3.00\text{m}$).

Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να τονιστεί ότι ο όρος "ακρίβεια" μπορεί να έχει πολύ μεγάλη διακύμανση τιμών, ανάλογα με το ποσοστό χρόνου συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος στο οποίο συναντάται. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση του GPS έχει να κάνει με δύο ειδών πληροφορίες: Αυτές που σχετίζονται με τη θέση ή την απόσταση και αυτές που έχουν να κάνουν με τη χρονική διάρκεια (ποσοστό συνολικού χρόνου) κατά την οποία ο δέκτης προσφέρει τη δεδομένη ακρίβεια. Για παράδειγμα, μπορεί ο δέκτης να παρέχει ακρίβεια $\pm 6''$ τόξου της μοίρας αλλά μόνον στο 1% του χρόνου, $\pm 3'$ τόξου της μοίρας στο 25% του χρόνου και τελικά η ακρίβειά του να είναι $\pm 100'$ τόξου της μοίρας για όλο το χρονικό διάστημα. Ειδικά τώρα για τις φορητές συσκευές (τις λεγόμενες και συσκευές καταναλωτή), η ακρίβεια είναι λίγο-πολύ κοινή για τις περισσότερες, καθώς απλά οι περισσότεροι κατασκευαστές χρησιμοποιούν τα ίδια GPS chips.

Όλα τα παραπάνω ισχύουν κατά κανόνα σε ό,τι αφορά τις δύο διαστάσεις. Αναφορικά με την τρίτη διάσταση (προσδιορισμός υψομέτρου), η επιτυγχανόμενη ακρίβεια είναι χειρότερη και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι: (α) για τις οριζόντιες συν/νες απαιτούνται 3 δορυφόροι, για 3D-προσδιορισμούς απαιτούνται 4 δορυφόροι (β) Η "επιφάνεια αναφοράς υψομέτρων" δεν είναι η ίδια σε όλη τη Γη, η οποία επιπλέον δεν είναι ακριβώς σφαίρα. Γενικά, αναμένεται ότι οι προσδιορισμοί υψομέτρων θα έχουν τουλάχιστον 50% χειρότερη ακρίβεια από τους αντίστοιχους προσδιορισμούς του γεωγραφικού πλάτους και μήκους.

Οι δέκτες του συστήματος GPS που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα διακρίνονται κυρίως στις παρακάτω κατηγορίες:

- ✓ δέκτες χειρός ή δέκτες κώδικα (κυρίως οι λεγόμενες "συσκευές καταναλωτή")
- ✓ δέκτες μέτρησης μονής συχνότητας
- ✓ δέκτες μέτρησης διπλής συχνότητας

- ✓ δέκτες σταθμών μόνιμης λειτουργίας

Ανάλογα με την κατηγορία χρηστών, μπορούν να χωριστούν σε δέκτες: Καταναλωτή, στρατιωτικούς (US-Army), χαρτογραφικούς, γεωδαιτικούς και τέλος δέκτες μεταφορών & ναυσιπλοΐας (για πλοία, αεροσκάφη, φορητά κ.λπ.).

4. Φορητές συσκευές δορυφορικού εντοπισμού

Οι δέκτες χειρός ή δέκτες κώδικα (C/A) (φορητές συσκευές) εξασφαλίζουν ακρίβεια εντοπισμού της τάξης των μερικών μέτρων. Χρησιμοποιούνται για εφαρμογές μικρής ακρίβειας (σήμερα πλέον και για "σοβαρότερες" εφαρμογές), για πλοήγηση, αναγνωριστικές τοπογραφικές εργασίες, χρήσεις αναψυχής, προσανατολισμού, εύρεση διαδρομής κ.α.

Οι φορητές συσκευές GPS μπορούν να διακριθούν σε: Αυτόνομες, συνδεδεμένες (μέσω USB ή σειριακής θύρας) με PDA (Personal Digital Assistant), συσκευές-δέκτες τύπου "ποντίκι" (mouse-GPS, που συνδέονται μέσω USB ή σειριακής θύρας αλλά δεν έχουν οθόνη), συσκευές-δέκτες σε κάρτες μνήμης (τύπου CF, SD) ή κάρτες PC (τύπου PCMCIA), συσκευές-δέκτες τύπου "μανίκι" (GPS-sleeve, λόγω του τρόπου που προσαρμόζονται-συνδέονται), συσκευές-δέκτες Bluetooth, συσκευές ενσωματωμένες σε κινητά τηλέφωνα (από το 2003 και μετά) και τέλος, συσκευές-δέκτες GPS που ολοκληρώνονται μέσα σε PDAs (οι πλέον ακριβές σε κόστος).

Οι φορητές συσκευές GPS έχουν ενσωματωμένη την κεραία, το βασικό δέκτη και το χειριστήριο – οθόνη σε μια συσκευή και δεν τοποθετούνται σε στυλεό ή τρίποδα. Μετρούν και καταγράφουν μόνο τον κώδικα (C/A). Παρέχουν μόνο απόλυτο εντοπισμό θέσης δηλαδή υπολογίζουν απευθείας συντεταγμένες του σημείου (καρτεσιανές ή ελλειψοειδείς) στο σύστημα αναφοράς ή στην προβολή που επιλέγει ο χρήστης.

Ακόμη παρέχουν στο χρήστη πληροφορία χρόνου καθώς και τον αριθμό και τη γεωμετρία των δορυφόρων που παρατηρούνται. Διαθέτουν ηλεκτρονική πυξίδα και λογισμικό που επιτρέπει την αποθήκευση δεδομένων θέσης και παρατηρήσεων - σχολίων. Επίσης μπορούν να περιέχουν χάρτες ολόκληρων περιοχών ή κρατών ώστε να εντοπίζουν πάνω σε αυτούς το σημείο που βρίσκονται. Ανάλογα με τον κατασκευαστή και το μοντέλο, μπορούν να υπολογίζουν αποστάσεις μεταξύ σημείων, την κατεύθυνση κίνησης, την ταχύτητα κίνησής τους (μέγιστη, ελάχιστη, μέση), το χρόνο προσέγγισης ενός σημείου ανάλογα με την ταχύτητα κίνησής τους και να προτείνουν τη βέλτιστη διαδρομή από σημείο σε σημείο. Το βάρος τους δεν ξεπερνά τα 300gr ενώ το μέγεθός τους είναι λίγο μεγαλύτερο από αυτό ενός υπολογιστή τσέπης.

5. Έλεγχος της ορθότητας και της αξιοπιστίας φορητών συσκευών δορυφορικού εντοπισμού

Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας εφαρμόστηκε μια μεθοδολογία ελέγχου της ορθότητας και της αξιοπιστίας φορητών συσκευών δορυφορικού εντοπισμού, που συνήθως χρησιμοποιούνται από εντελώς ανειδίκευτους χρήστες οποιασδήποτε επαγγελματικής κατάρτισης μέχρι εξειδικευμένους μηχανικούς. Οι φορητές συσκευές GPS που επελέγησαν είναι:

- μια συσκευή κινητής τηλεφωνίας (Nokia N95)
- δύο συσκευές πλοήγησης (Mio P550, Mio P200)
- ένας φορητός δέκτης GPS χαμηλής ακρίβειας (Etrex Venture Cx, της εταιρείας Garmin)
- ένας φορητός δέκτης GPS υψηλής ακρίβειας (Geoexplorer 2005 series, της εταιρείας Trimble)

Η μεθοδολογία ελέγχου της ορθότητας της γεωμετρικής πληροφορίας που παρέχουν οι εν λόγω συσκευές περιλαμβάνει ελέγχους που αναπτύχθηκαν σε δύο στάδια. Πιο συγκεκριμένα:

Το **πρώτο στάδιο ελέγχου** αφορά στη σύγκριση της τιμής των γεωγραφικών συντεταγμένων (φ , λ) που παρέχει κάθε ένα από τα συστήματα με τις αντίστοιχες "ορθές", όπως αυτές προσδιορίστηκαν με πιο αξιόπιστα συστήματα.

Επελέγη ένα σημείο που βρίσκεται στο κτήριο Λαμπαδάριο της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων του ΕΜΠ και υλοποιείται με ένα βάθρο. Για το σημείο αυτό είναι γνωστές οι γεωγραφικές συντεταγμένες φ , λ με ακρίβεια $\pm 0.0001''$, στο παγκόσμιο σύστημα αναφοράς WGS '84 ($\varphi = 37^\circ 58' 30''.5015$, $\lambda = 23^\circ 46' 48''.7905$). Τονίζεται ότι $1''$ τόξου της μοίρας για ένα μέσο πλάτος επί της Γης, αντιστοιχεί σε μήκος περίπου 30m, στην επιφάνειά της.

Η πειραματική έρευνα περιλαμβάνει μετρήσεις χρησιμοποιώντας τις πέντε διαφορετικές φορητές συσκευές που αναφέρθηκαν. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο χρονικό διάστημα από τον Απρίλιο έως τον Δεκέμβριο του έτους 2009, σε διαφορετικές ημέρες και ώρες. Κατά τις μετρήσεις λαμβάνονται στοιχεία όπως:

- οι γεωγραφικές συντεταγμένες φ , λ του σημείου, στο WGS '84
- η ακρίβεια προσδιορισμού τους, όπως καταγράφεται από κάθε συσκευή ($\pm 11m - \pm 80m$ για το Nokia N95, $\pm 0.80m - \pm 5.30m$ για το Mio P200, $\pm 4m$ για το Etrex Venture Cx, $\pm 0.5m - \pm 0.9m$ για το Geoxplorer 2005, άγνωστη για τη συσκευή πλοήγησης Mio P550).
- ο αριθμός των δορυφόρων που συμμετέχουν κάθε φορά στον προσδιορισμό αλλά και ποιοι είναι οι συγκεκριμένοι δορυφόροι.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν τοποθετώντας και εναλλάσσοντας κάθε μια από τις πέντε συσκευές στο ίδιο σημείο, σε χρονικό διάστημα λίγων λεπτών. Διαπιστώθηκε ότι κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, οι συσκευές παρατηρούσαν τους ίδιους δορυφόρους του συστήματος GPS (π.χ 2, 5, 12, κ.α), αλλά το πλήθος των παρατηρούμενων δορυφόρων ήταν διαφορετικό για κάθε συσκευή.

Ακολούθησε η επεξεργασία των μετρήσεων που αποσκοπεί στον προσδιορισμό των διαφορών των γεωγραφικών συντεταγμένων όπως προσδιορίζονται από κάθε συσκευή ($\varphi_{\text{συσκευής}}$, $\lambda_{\text{συσκευής}}$), από τις αντίστοιχες "ορθές" (φ_{π} , λ_{π}), δηλαδή:

$$\Delta\varphi = \varphi_{\pi} - \varphi_{\text{συσκευής}} \quad (1)$$

$$\Delta\lambda = \lambda_{\pi} - \lambda_{\text{συσκευής}} \quad (2)$$

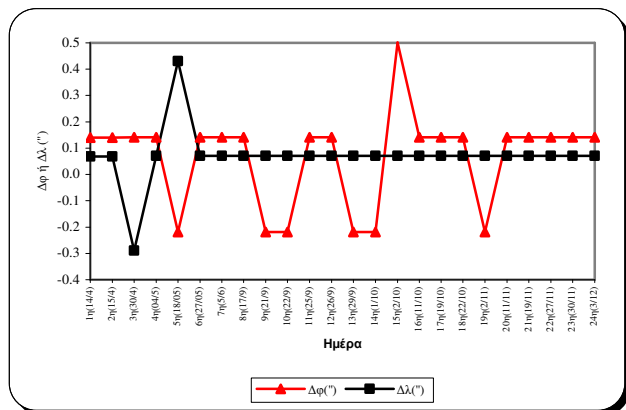
Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας παρουσιάζονται εποπτικά σε διαγράμματα μεταβολής των $\Delta\varphi$, $\Delta\lambda$, ως συνάρτηση των ημερών παρατήρησης. Από τα διαγράμματα αυτά (σχήμα 2 ως και σχήμα 6) προκύπτουν χρήσιμες πληροφορίες (συμπεράσματα) που αφορούν στη μεταβολή των $\Delta\varphi$, $\Delta\lambda$ ανάλογα με τη φορητή συσκευή που χρησιμοποιείται κάθε φορά.

Πιο συγκεκριμένα:

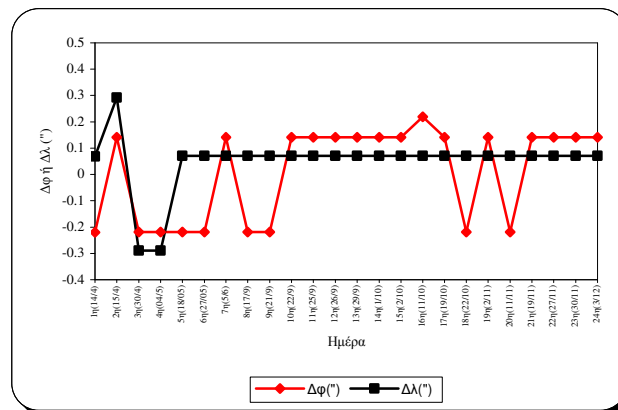
- Όταν χρησιμοποιείται το Nokia N95, οι τιμές του $\Delta\varphi$ κυμαίνονται από $-0''.24$ έως $+0''.50$, ενώ η μέση τιμή είναι της τάξης των $0''.15$, που μεταφράζεται σε γραμμικό μέγεθος περίπου 4.5m. Οι τιμές του $\Delta\lambda$ κυμαίνονται από $-0''.30$ έως $+0''.43$, ενώ εμφανίζεται μια σταθερότητα κοντά στην τιμή $+0''.07$, που μεταφράζεται σε γραμμικό μέγεθος 1.5m.
- Όταν χρησιμοποιείται το Mio P550, οι τιμές του $\Delta\varphi$ κυμαίνονται από $-0''.24$ έως $+0''.22$, παρουσιάζοντας συνεχείς διακυμάνσεις. Οι τιμές του $\Delta\lambda$ κυμαίνονται από $-0''.30$ έως $+0''.30$ και εμφανίζουν μια σταθερότητα κοντά στην τιμή $+0''.07$
- Όταν χρησιμοποιείται το Mio 200, οι τιμές του $\Delta\varphi$ κυμαίνονται από $-0''.30$ έως $+0''.22$, εμφανίζοντας συνεχείς αυξομειώσεις. Οι τιμές του $\Delta\lambda$ κυμαίνονται από $-0''.36$ έως $+0''.32$, εμφανίζοντας συνεχείς μη σταθερές διακυμάνσεις.
- Όταν χρησιμοποιείται το Etrex Venture Cx, οι τιμές του $\Delta\varphi$ κυμαίνονται από $-0''.10$ έως $+0''.10$ με τη μέση τιμή να βρίσκεται κοντά στο μηδέν. Οι τιμές του $\Delta\lambda$ κυμαίνονται από $-$

0".11 έως +0".09 ενώ η μέση τιμή είναι της τάξης των -0".01, που μεταφράζεται σε γραμμικό μέγεθος 0.3m.

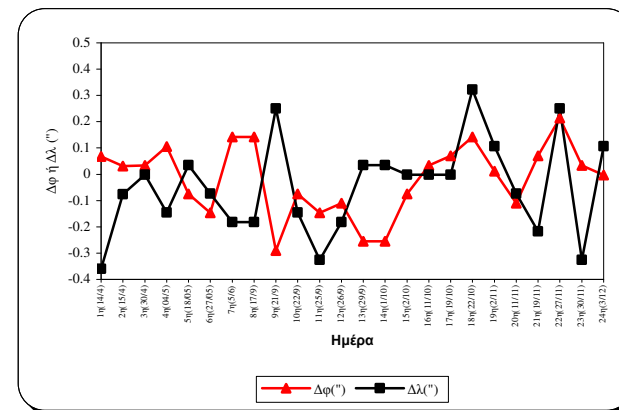
- Όταν χρησιμοποιείται ο Geoplotter 2005, οι τιμές του Δφ κυμαίνονται από -0".08 έως +0".02, εμφανίζοντας διακυμάνσεις με ένα εύρος όμως που δεν ξεπερνά τα 0".02. Οι τιμές του Δλ κυμαίνονται από -0".08 έως +0".03, ενώ η μέση τιμή είναι της τάξης των -0".02, που μεταφράζεται σε γραμμικό μέγεθος 0.6m. Η μετρητική συμπεριφορά της συγκεκριμένης συσκευής παρουσιάζεται ομοιόμορφη τόσο στον προσδιορισμό του γεωγραφικού πλάτους φ όσο και του γεωγραφικού μήκους λ.



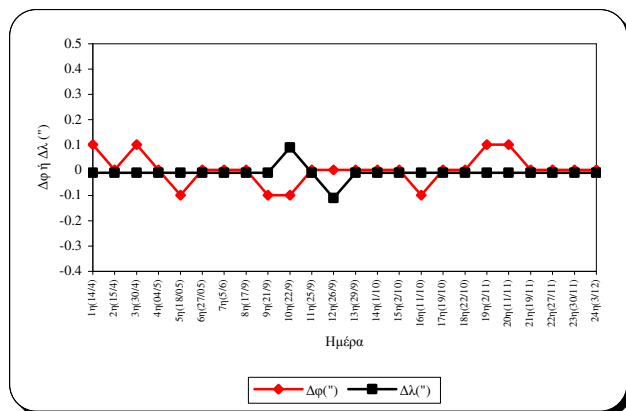
Σχήμα 2. Μεταβολή των Δφ, Δλ, χρησιμοποιώντας κινητό τηλέφωνο (Nokia N95)



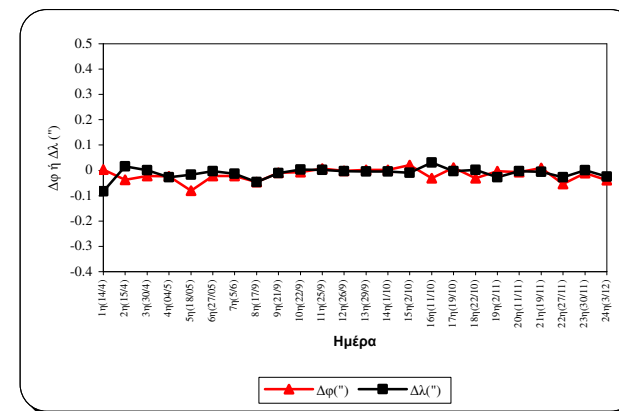
Σχήμα 3. Μεταβολή των Δφ, Δλ, χρησιμοποιώντας φορητό σύστημα πλοήγησης (Mio P550)



Σχήμα 4. Μεταβολή των Δφ, Δλ, χρησιμοποιώντας φορητό σύστημα πλοήγησης (Mio 200)

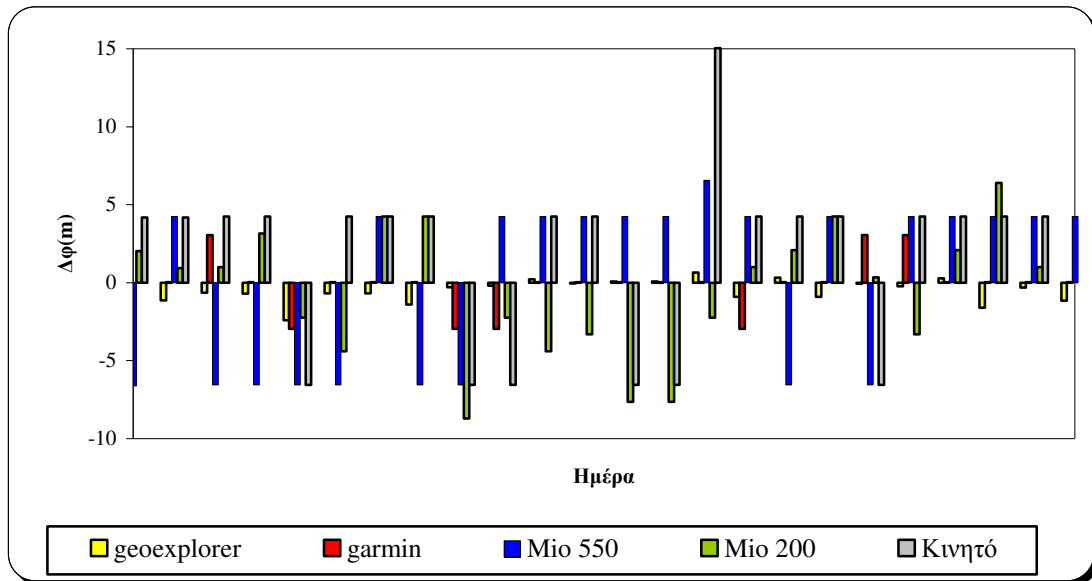


Σχήμα 5. Μεταβολή των Δφ, Δλ, χρησιμοποιώντας δέκτη GPS χαμηλής ακρίβειας (Etrex Venture Cx)

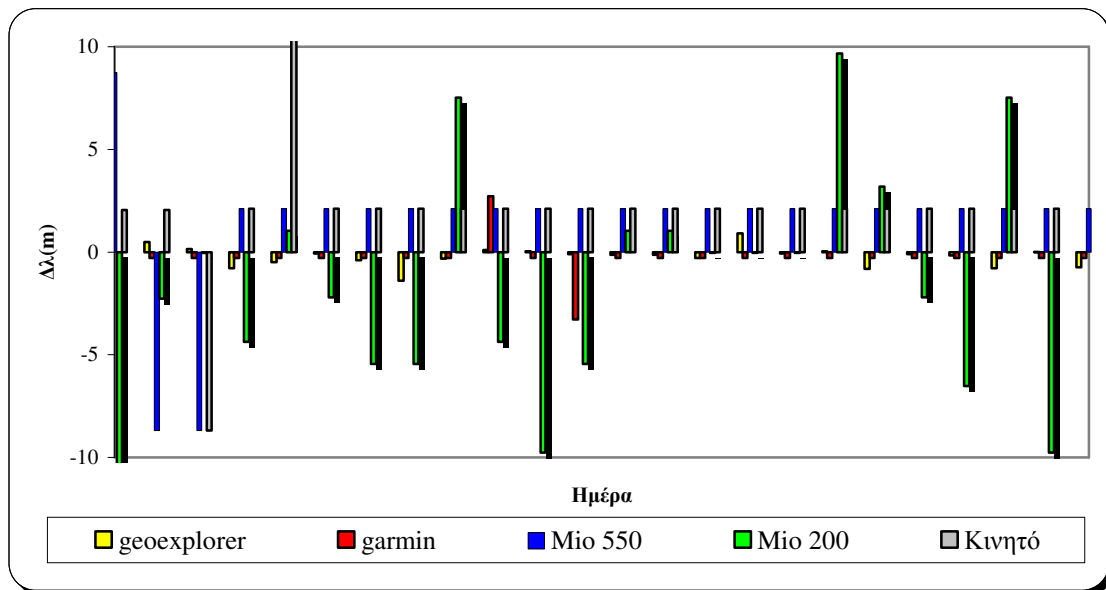


Σχήμα 6. Μεταβολή των Δφ, Δλ, χρησιμοποιώντας δέκτη GPS υψηλής ακρίβειας (Geoexplorer 2005)

Γενικότερα οι διαφορές $\Delta\phi$ των τιμών που παρέχουν όλες οι φορητές συσκευές από τις αντίστοιχες "ορθές" μεταφραζόμενες σε μήκος βρίσκονται στο διάστημα από -8m έως +6m, εκτός μιας εξαίρεσης που έφθασε στα 15m (σχήμα 7).



Σχήμα 7. Μεταβολή του $\Delta\phi$ σε m, ως συνάρτηση της ημέρας παρατήρησης



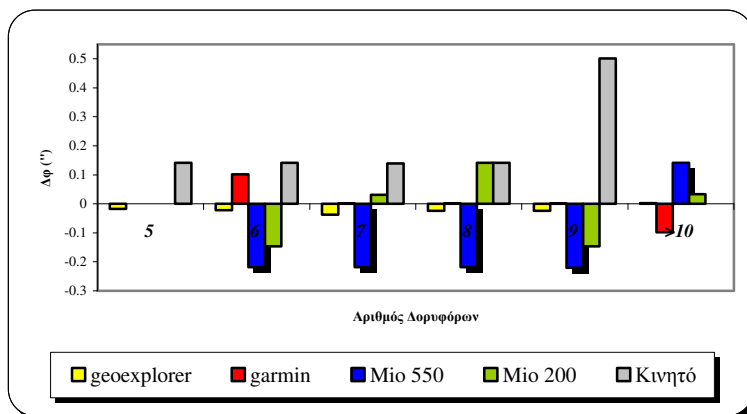
Σχήμα 8. Μεταβολή του $\Delta\lambda$ σε m, ως συνάρτηση της ημέρας παρατήρησης

Οι διαφορές $\Delta\lambda$ των τιμών που παρέχουν όλα τα φορητά συστήματα από τις αντίστοιχες "ορθές" μεταφραζόμενες σε μήκος βρίσκονται στο διάστημα από -11m έως +13 m (σχήμα 8).

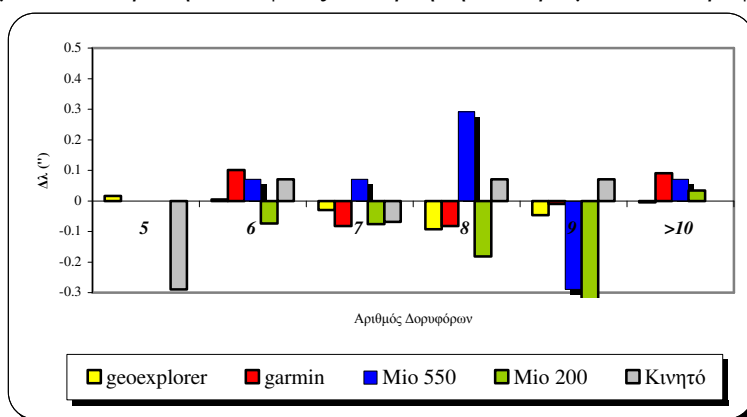
Γενικότερα οι διαφορές $\Delta\phi$, $\Delta\lambda$, σε ποσοστό περίπου 81% για όλες τις χρησιμοποιούμενες φορητές συσκευές είναι μικρότερες από 5m. Ειδικότερα για το δέκτης GPS υψηλής ακρίβειας (Geoexplorer 2005) παρατηρείται ότι σε ποσοστό 60% των προσδιορισμών οι διαφορές είναι μικρότερες των 0.5m.

Τέλος εξετάζεται και η μεταβολή των τιμών των $\Delta\phi$, $\Delta\lambda$, ανάλογα με τον αριθμό των δορυφόρων, από τους οποίους λαμβάνει σήμα κάθε χρησιμοποιούμενη φορητή συσκευή, κατά τη διάρκεια της μέτρησης.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα δύο επόμενα διαγράμματα (σχήμα 9, σχήμα 10).



Σχήμα 9. Μεταβολή του Δφ, ως συνάρτηση του αριθμού των δορυφόρων



Σχήμα 10. Μεταβολή του Δλ, ως συνάρτηση του αριθμού των δορυφόρων

Σταθερή συμπεριφορά εμφανίζει, ο φορητός δέκτης GPS υψηλής ακρίβειας (Geoxplorer 2005 series, της εταιρείας Trimble), ο οποίος δίνει το ίδιο αποτέλεσμα ανεξάρτητα από τον αριθμό των παρατηρούμενων δορυφόρων.

Οι συσκευές πλοήγησης (Mio P550 & Mio 200) καθώς και η συσκευή κινητής τηλεφωνίας, εμφανίζουν ευμετάβλητα αποτελέσματα, που είναι όμως ανεξάρτητα από τον αριθμό των παρατηρούμενων δορυφόρων.

Το δεύτερο στάδιο ελέγχου αφορά στη σύγκριση της τιμής ενός μήκους, όπως αυτό προσδιορίζεται με τη χρήση των υπό έλεγχο συσκευών από τις μετρήσεις (φ, λ) σε δύο επιλεγμένα σημεία της γήινης επιφάνειας. Επελέγησαν δύο σημεία με γνωστές τις γεωγραφικές συντεταγμένες τους (φ, λ) στο παγκόσμιο σύστημα αναφοράς WGS 84, που απέχουν μεταξύ τους περίπου 300m.

Την ίδια ημέρα και περίπου την ίδια ώρα (με χρονική καθυστέρηση περίπου μισής ώρας) προσδιορίζονται οι γεωγραφικές συντεταγμένες στα δύο σημεία, χρησιμοποιώντας διαδοχικά τις πέντε φορητές συσκευές του πειράματος. Στη συνέχεια προσδιορίστηκαν οι τιμές του μήκους D_{AB} μεταξύ των δύο σημείων A, B χρησιμοποιώντας τη βασική σχέση:

$$D_{AB} = R \cdot \rho \quad (3)$$

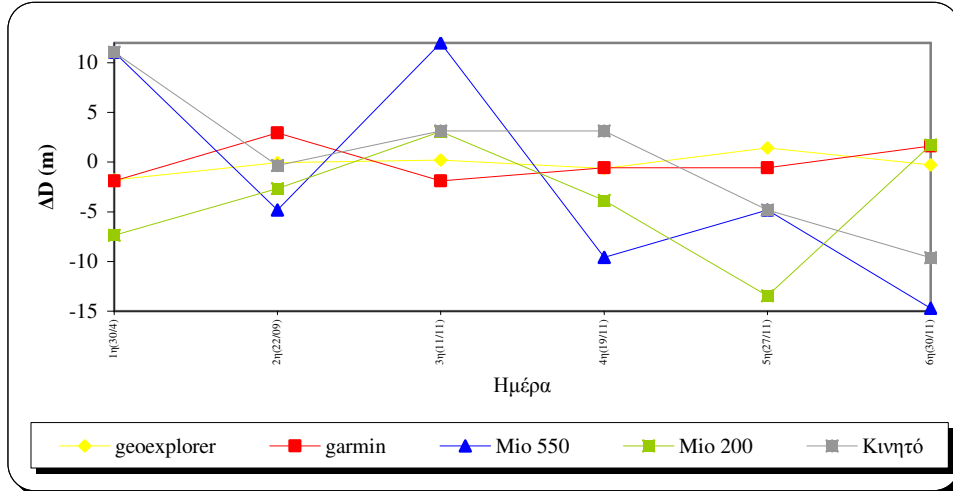
Όπου R = η ακτίνα καμπυλότητας της Γης λαμβανόμενη ίση με 6371000m
 ρ = το μέτρο του τόξου σε ακτίνια, όπως υπολογίζεται από τη σχέση

$$\cos \rho = \sin \varphi_B \cdot \sin \varphi_A + \cos \varphi_B \cdot \cos \varphi_A \cdot \cos \Delta \lambda_{AB} \quad (4)$$

Όπου φ_A, φ_B = τα γεωγραφικά πλάτη των σημείων A και B

$\Delta\lambda_{AB}$ = η διαφορά των γεωγραφικών μηκών μεταξύ των σημείων A και B

Στο σχήμα 11 που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή ΔD του μήκους για διαφορετικές ημέρες.



Σχήμα 10. Μεταβολή μήκους για διαφορετικές ημέρες

Οι παρατηρούμενες διαφορές στην τιμή του μήκους κυμαίνονται από -0.04m (Geoexplorer 2005) έως και -15m (Mio P550), ενώ οι διακυμάνσεις γίνονται εντονότερες για συσκευές που ανήκουν σε κατηγορίες χαμηλότερης ακριβείας, όπως άλλωστε φυσιολογικά αναμενόταν.

6. Συμπεράσματα

Από τις πρώτες πειραματικές μετρήσεις και την αξιολόγησή τους που περιγράφεται παραπάνω, προκύπτει το συμπέρασμα ότι η χρησιμοποίηση φορητών συσκευών GPS στον προσδιορισμό της θέσης, παρουσιάζει μεγάλο εύρος αβεβαιότητας, που όπως έχει διαπιστωθεί και σε έρευνες διεθνώς έχει και ποικιλία τιμών. Ισχυρή επίδραση στις διακυμάνσεις των τιμών έχει ο σχηματισμός (γεωμετρία) των παρατηρούμενων δορυφόρων και όχι το πλήθος τους.

Από την παρούσα έρευνα διαπιστώθηκε ότι για όλες τις χρησιμοποιούμενες φορητές συσκευές GPS οι διαφορές στις τιμές των φ, λ από τις "ορθές", βρίσκονται εντός των ορίων της ακρίβειας που κάθε συσκευή φέρει από την κατασκευή της.

Διαπιστώθηκε επίσης ότι επειδή οι διακυμάνσεις στις διαφορές $\Delta\varphi, \Delta\lambda$ εξαρτώνται από πολλές παραμέτρους, είναι δύσκολο να μοντελοποιηθούν. Ο προσδιορισμός μιας μέσης τιμής των $\Delta\varphi, \Delta\lambda$ μπορεί να διορθώσει κατά ένα μέρος τις παρεχόμενες τιμές των φ, λ και να ελαχιστοποιήσει την αβεβαιότητα προσδιορισμού, όχι όμως να την εξαλείψει. Ο προσδιορισμός αυτός απαιτεί μεγαλύτερο πλήθος παρατηρήσεων.

Οποσδήποτε, για μια απλή χρήση αναψυχής ο έλεγχος τέτοιων συσκευών ίσως να αποτελεί πολυτέλεια. Αν όμως, τέτοιοι φορητοί δέκτες πρόκειται να χρησιμοποιηθούν και σε "σοβαρότερες εργασίες" (όπως σήμερα συχνά συνηθίζεται), τότε επιβάλλεται ο μετρολογικός (και περιοδικός) έλεγχος, ο οποίος να ακολουθεί συγκεκριμένους κανόνες.

Με γνώμονα λοιπόν την ιδέα που αναπτύχθηκε στην εργασία αυτή προτείνεται ο μετρολογικός έλεγχος και η διόρθωση τέτοιων συσκευών, να πραγματοποιείται τοποθετώντας κάθε συσκευή σε συγκεκριμένο σημείο γνωστών συντεταγμένων. Για το σημείο αυτό πρέπει να διασφαλισθεί ότι:

- Έχουν προσδιοριστεί οι γεωγραφικές συντεταγμένες του φ, λ με υψηλή ακρίβεια και αξιοπιστία.
- Δεν βρίσκεται κοντά σε συστήματα πρόκλησης παρεμβολών (πολυανακλάσεων)
- Βρίσκεται σε περιοχή (χώρο) που δεν εμφανίζει κινηματική συμπεριφορά.

Πραγματοποιώντας σειρές μετρήσεων σε διαφορετικές ημέρες και ώρες πρέπει να υπολογίζονται οι διαφορές Δφ, Δλ των αναγραφόμενων τιμών από τις "ορθές". Αν αυτές βρίσκονται εντός της ακρίβειας που παρέχει ο κατασκευαστής τότε μπορεί η συσκευή να χρησιμοποιηθεί. Διαφορετικά θα πρέπει για κάθε σημείο για το οποίο πρέπει να προσδιορίζεται η θέση του, να λαμβάνονται οι μετρήσεις των γεωγραφικών συντεταγμένων φ, λ και στη συνέχεια να διορθώνονται από αυτές τις διαφορές. Επειδή μάλιστα οι πιο πολλές συσκευές διαθέτουν λειτουργικό σύστημα Windows CE, θα μπορούσε να συνταχθεί ένα απλό λογισμικό το οποίο να είναι μόνιμα εγκατεστημένο σε αυτές και να γίνονται οι διορθώσεις αυτόματα.

Σε κάθε περίπτωση, η παρούσα έρευνα βρίσκεται σε μια πρώιμη φάση, καθώς σχεδιάζεται αφενός οι μετρήσεις ελέγχου να πολλαπλασιαστούν (καλύπτοντας και ευρύ χρονικό διάστημα ανά ημέρα), αφετέρου δε να συμμετάσχουν στο πείραμα και άλλες συσκευές άλλων κατασκευαστών.

Βιβλιογραφία Ελληνική

Δούκας, Ι.Δ.: "Περί της Διακρίβωσης των Γεωδαιτικών (Τοπογραφικών) Οργάνων", 1ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας: Metrologia 2005: Η μετρολογία στην Ελλάδα. Έρευνα, εφαρμογές, προτεραιότητες και προοπτικές, σελ. 78-93, 11-12 Νοεμβρίου, Αθήνα, 2005.

Μπαντέλας, Α.Γ., Σαββαΐδης, Π., Υφαντής, Ι., και Δούκας, Ι.Δ.: "ΓΕΩΔΑΙΣΙΑ, Τόμος Ι: Γεωδαιτικά Όργανα και Μέθοδοι Μέτρησης και Υπολογισμών", Θεσσαλονίκη, Εκδοτικός Οίκος Αδελφών Κυριακίδη, 1999.

Φωτίου, Α. και Πικριδάς, Χ.: "Οι Σύγχρονες Εξελίξεις στον Προσδιορισμό Θέσης με τα Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης – GNSS", Συνέδριο: Η Εξέλιξη των Οργάνων, των Μεθόδων και των Συστημάτων Μετρήσεων των Επιστημών της Αποτύπωσης στην Ελλάδα, 15 και 16 Απριλίου, Θεσσαλονίκη, 2005.

Φωτίου, Α. και Πικριδάς, Χ.: "GPS και Γεωδαιτικές Εφαρμογές", Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 2006.

Βιβλιογραφία Ξενόγλωσση

Jayathissa, W.D.D., Wijesekera, N.T.S. and Bandara, K.M.P.S.: "Identification of Feature Details in Land Extends Using Handheld GPS", Engineer, Vol. XXXXI, No. 05, pp. 141-148, 2008.

Lambrou, E. and Pantazis, G.: "A Standard Network to Control GPS Receivers", EGU 1st General Assembly 2004, Nice - France, 2004. Reports on Geodesy, Warsaw University of Technology, Institute of Geodesy and Geodetic Astronomy, Vol No 2 (69), pp. 261-269, 2004.

Martin, D.: "Review of Standards, Best Practice, Testing and Calibration in Global Navigation Satellite System (GNSS)", International Federation of Surveyors, Article of the Month, pp. 1-7, September, 2008.

Savvaidis, P., Ifadis, I.M., Doukas, I.D, Lakakis, K. and Petridou-Chrysohoidou, N.: "Calibrating Geodetic Instruments", GeoInformatics, (invited paper), Vol. 7, October - November, pp. 18-21, 2004.

Schwieger, V.: "Using Handheld GPS Receivers for Precise Positioning", 2nd FIG Regional Conference, Marrakech, Morocco, December 2-5, 2003.

Tiberius, C.: "Standard Positioning Service - Handheld GPS Receiver Accuracy", GPS World, February 1, 2003.

Wormley, S.J.: "GPS Errors & Estimating Your Receiver's Accuracy", http://edu-observatory.org/gps/gps_accuracy.html#_jmp0 2008.

Xiao, B., Zhang, K., Grenfell, R. and Norton, T.: "Handheld GPS-Today and Tomorrow", FIG XXII International Congress, Washington D.C., USA, April 19-26, 2002.