



Χρήση δεκτών GNSS πολύ χαμηλού κόστους σε συνήθεις τοπογραφικές εργασίες

Καθηγητής Σταθάς Δημοσθένης¹, Σιούλης Αντώνιος¹, Πηνιώτης Γεώργιος¹, Μπίμης Αθανάσιος¹

¹Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών, Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας,
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο έλεγχος δεκτών GNSS (Global Navigation Satellite Systems) πολύ χαμηλού κόστους, όσον αφορά την ακρίβεια και αποδοτικότητά τους σε συνήθεις τοπογραφικές εργασίες, που απαιτούν υπολογισμό συντεταγμένων στο κρατικό σύστημα αναφοράς (ΕΓΣΑ '87). Πιο συγκεκριμένα, γίνεται χρήση δεκτών GNSS αρκετά οικονομικότερων από τους ευρέως χρησιμοποιούμενους, σε συνδυασμό με smartphones ή tablets μέσω ελεύθερου λογισμικού για Android. Περιγράφεται διεξοδικά η διασύνδεση του ως άνω εξοπλισμού, καθώς και το ελεύθερο λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων. Στη συνέχεια, προκειμένου να ελεγχθούν τα αποτελέσματα του συστήματος, εφαρμόστηκαν διαφορετικά σενάρια μετρήσεων με χρήση της μεθόδου Real Time Kinematic (RTK) και δικτύων μονίμων σταθμών αναφοράς.

Τα κυριότερα συμπεράσματα που εξήχθησαν αφορούν: α) τις ακρίβειες των συντεταγμένων που προέκυψαν, οι οποίες είναι της τάξης των ± 1 έως ± 3 εκατοστών για μετρήσεις σχετικού στατικού εντοπισμού, ενώ για μετρήσεις RTK με χρήση δέκτη χαμηλού κόστους και του δέκτη γεωδαιτικού τύπου, οι διαφορές κυμαίνονται από 0 έως 7 εκατοστά, με μέση απόκλιση ± 3 εκατοστά, τιμές που κρίνονται πολύ ικανοποιητικές για τις συνήθεις τοπογραφικές εργασίες και β) την εξεταζόμενη μεθοδολογία, η οποία είναι εύκολη στην εφαρμογή της, καλύπτει απόλυτα τις προδιαγραφές των εργασιών που απαιτούν υπολογισμό συντεταγμένων στο κρατικό σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ '87 και έχει ως σημαντικότερο πλεονέκτημα το πολύ χαμηλότερο κόστος εξοπλισμού σε σχέση με το αντίστοιχο κόστος του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται σήμερα.

© 2015 Πολυτεχνειακά Νέα

Λέξεις-κλειδιά: δέκτες GNSS, Ublox, RTK, RTKGPS+[®], Android.



Use of low cost GNSS receivers in routine surveying engineering applications

Abstract

The scope of the current paper is the testing of low cost GNSS (Global Navigation Satellite Systems) receivers, as far as accuracy and efficiency in routine surveying engineering works, that demand coordinates' estimation in the state reference system (GGRS '87), are concerned. More specifically, quite more economical GNSS receivers from those widely used are being implemented, in combination with smartphones or tablets through free software for Android devices. The coupling of the aforementioned equipment is thoroughly described, along with the free software used for the determination of coordinates. Following that, in order for the results of the system used to be tested, different measurement scenarios were implemented, using the Real Time Kinematic (RTK) method and permanent GNSS networks.

The main conclusions resulted are: The accuracies of the coordinates are of the order of ± 1 to ± 3 centimeters, which are considered quite satisfactory. For RTK coordinates resulted from the low cost receiver and the geodetic type receive, the differences between the coordinates range from 0 to 7 centimeters, with an average of ± 3 centimeters. The tested methodology is easy to implement, fully covers the specifications of the applications that demand coordinates' estimation in the state reference system (GGRS '87) and has as most important advantage the quite lower cost in comparison to that of the equipment widely used in our days.

Key-words: GNSS receivers, Ublox, RTK, RTKGPS+[®], Android.



1. Γενικά

Βάσει της πρόσφατης ελληνικής νομοθεσίας, η σύνταξη εξαρτημένων από το κρατικό σύστημα αναφοράς (Κ.Σ.Α., ΕΓΣΑ '87) τοπογραφικών διαγραμμάτων είναι απαιτητή σε μια πληθώρα τοπογραφικών εργασιών. Οι πλέον καθιερωμένες μεθοδολογίες ένταξης των ως άνω διαγραμμάτων βασίζονται στη χρήση δεκτών GNSS μίας ή δύο συχνοτήτων και προϋποθέτουν την ύπαρξη δύο εξ αυτών, προκειμένου να επιτευχθούν ακρίβειες της τάξης μερικών εκατοστών ή και καλύτερες. Ωστόσο, το κόστος απόκτησης του γεωδαιτικού εξοπλισμού που απαιτείται είναι ιδιαίτερα υψηλό.

Προκειμένου να μειωθεί το κόστος του GNSS εξοπλισμού, η πρώτη επιλογή του επαγγελματία Μηχανικού θα ήταν η αγορά γεωδαιτικού τύπου δεκτών μίας συχνότητας. Όπως όμως είναι ευρέως γνωστό, οι γεωδαιτικού τύπου δέκτες GNSS μίας συχνότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εργασίες ένταξης τοπογραφικών διαγραμμάτων, στις περιπτώσεις κατά τις οποίες το μήκος του διανύσματος (βάσης) μεταξύ του σημείου γνωστών συντεταγμένων, όπου τοποθετείται ο σταθερός δέκτης και του προς προσδιορισμό σημείου αγνώστων συντεταγμένων, όπου τοποθετείται ο κινούμενος δέκτης, δεν ξεπερνά τα 10-15 km (Schwieger, 2014).

Μέρος του προβλήματος του υψηλού κόστους του GNSS εξοπλισμού λύνουν τα δίκτυα μονίμων σταθμών GNSS που έχουν δημιουργηθεί τα τελευταία χρόνια στον ελλαδικό χώρο (δίκτυο HEPOS, δίκτυα μονίμων σταθμών ιδιωτικών εταιρειών) (Κατσουγιαννόπουλος, 2010). Η πλειονότητα των επαγγελματιών Μηχανικών επιλέγει τη λύση που προσφέρουν τα δίκτυα μονίμων σταθμών, σε συνδυασμό με την αγορά ενός γεωδαιτικού τύπου δέκτη GNSS δύο συχνοτήτων, προκειμένου να αυξηθεί η απόσταση μεταξύ των δεκτών που συμμετέχουν στη «διαφορική» λύση και το κυριότερο να παρέχεται η δυνατότητα εντοπισμού ακριβείας σε πραγματικό χρόνο, με χρήση της μεθόδου Real Time Kinematic (RTK).

2. Χρήση δεκτών GNSS εξαιρετικά χαμηλού κόστους για ένταξη τοπογραφικών διαγραμμάτων στο κρατικό σύστημα αναφοράς

Τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια από την παγκόσμια γεωδαιτική κοινότητα για τη χρήση οικονομικότερων τεχνολογιών και τεχνικών GNSS (Weston, 2010), ικανών να προσφέρουν αποτελέσματα εφάμιλλα των ήδη χρησιμοποιούμενων. Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η καταγραφή των πλέον αξιόλογων προσπαθειών προς αυτή την κατεύθυνση. Επιπρόσθετα, γίνεται χρήση ενός εξαιρετικά χαμηλού κόστους (< 300€) μη γεωδαιτικού τύπου δέκτη GNSS μίας συχνότητας (L1), σε συνδυασμό με κινητό τηλέφωνο νέας γενιάς (smartphone), μέσω ελεύθερου λογισμικού επεξεργασίας GNSS μετρήσεων για Android. Πιο συγκεκριμένα, εφαρμόζεται η μέθοδος RTK για μετρήσεις σημείων γνωστών συντεταγμένων στο κρατικό σύστημα αναφοράς, κάνοντας χρήση δικτύων μονίμων σταθμών GNSS (HEPOS, JGC-Net,



MetriNet). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων RTK συγκρίνονται τόσο με τις γνωστές συντεταγμένες των μετρούμενων σημείων, όσο και με τα αντίστοιχα από χρήση γεωδαιτικού δέκτη GNSS δύο συχνοτήτων.

Στη βιβλιογραφία αναφέρονται εργασίες στις οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί δέκτες GNSS μίας συχνότητας για εφαρμογές πλοήγησης, προκειμένου να επιτευχθούν ακρίβειες αντίστοιχες με εκείνες των δεκτών GNSS γεωδαιτικού τύπου. Η σημαντικότερη εργασία που χρησιμοποιεί δέκτες εξαιρετικά χαμηλού κόστους του ως άνω τύπου, έγινε το 2009 και αφορά τον προσδιορισμό σημείων σε βάθρα (Εικόνα 1) με τη μέθοδο του σχετικού στατικού εντοπισμού, δηλαδή με εκ των υστέρων επεξεργασία των καταγεγραμμένων μετρήσεων (Schwieger, 2009). Τα μήκη των βάσεων κυμαίνονταν από 150m έως 7.7km. Στα σταθερά σημεία χρησιμοποιήθηκε δέκτης γεωδαιτικού τύπου Leica 1200, ενώ στα προς προσδιορισμό σημεία χρησιμοποιήθηκε ο δέκτης LEA-4T της εταιρείας u-blox, ο οποίος είναι ένας εξαιρετικά χαμηλού κόστους δέκτης GNSS μίας συχνότητας για εφαρμογές πλοήγησης. Ακόμα, για τη μέτρηση των προς προσδιορισμό σημείων χρησιμοποιήθηκε και άλλος ένας δέκτης γεωδαιτικού τύπου Leica 1200, τα αποτελέσματα του οποίου αποτέλεσαν τη βάση σύγκρισης των αντίστοιχων του u-blox. Οι ακρίβειες που επιτεύχθηκαν για τα προσεκτικά επιλεγμένα σημεία, ώστε να μην υπάρχουν εμπόδια στα σήματα των δορυφόρων και για χρόνους παρατήρησης της τάξης των 20 λεπτών ήταν καλύτερες από $\pm 2\text{cm}$. Επιπλέον, με χρήση του δέκτη LEA-6T της εταιρείας u-blox και της κεραίας ANN-MS της ίδιας εταιρείας επιτεύχθηκαν με χρήση σχετικού στατικού εντοπισμού ακρίβειες καλύτερες των $\pm 3.5\text{cm}$ για βάσεις μήκους $< 2.6\text{ km}$ (Zhang, 2012), ενώ με τον ίδιο δέκτη και την ίδια κεραία με μεταλλικό υπόβαθρο επιτεύχθηκαν ακρίβειες καλύτερες του $\pm 1\text{cm}$, για μικρού μήκους βάσεις ($< 470\text{m}$) και χρόνους παρατήρησης 20 λεπτών. Ο ίδιος δέκτης, σε συνδυασμό με κεραίες πολύ χαμηλού κόστους ($< 100\text{ €}$), πέτυχε ακρίβειες καλύτερες των $\pm 1\text{cm}$ (Zhang, 2013).

3. Περιγραφή συστήματος μέτρησης

3.1. Συσκευές (hardware) – Διασύνδεση

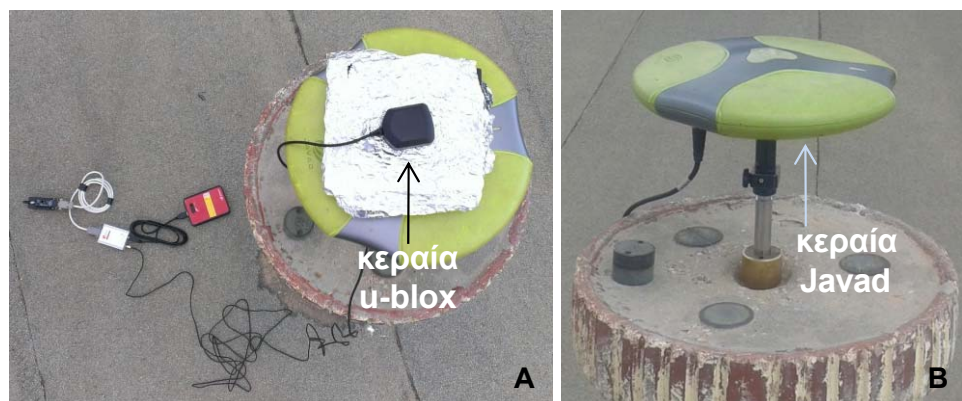
Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η ακρίβεια του δέκτη LEA-6T σε συνδυασμό με την εξωτερική κεραία ANN-MS της εταιρείας u-blox για συνήθεις τοπογραφικές εργασίες (ένταξη τοπογραφικών διαγραμμάτων στο ΚΣΑ). Πρόκειται για δέκτη μίας συχνότητας του συστήματος GPS με δυνατότητα μέτρησης φάσης φέροντος κύματος [GPS L1 C/A & P(Y)]. Ο ως άνω δεκτής και η παραπάνω κεραία εμπεριέχονται στο u-blox Evaluation Kit EVK-6T. Οι διαστάσεις του δέκτη u-blox είναι: 104 x 73 x 29 mm (ΜxΠxΥ), και της κεραίας ANN-MS είναι: 40 x 48 x 13 mm.

Επίσης εξετάζεται η απόδοση του ως άνω δέκτη και με χρήση εξωτερικής κεραίας γεωδαιτικού τύπου Javad JPS LegANT. Για τον εντοπισμό της θέσης, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος RTK σε συνδυασμό με τα δίκτυα HEPOS και JGC – Net μόνιμων σταθμών αναφοράς. Η επίλυση διενεργήθηκε με το ελεύθερο λογισμικό

RTKGPS+ για Android συσκευές, το οποίο εγκαταστάθηκε και δοκιμάστηκε σε δύο κινητά τηλέφωνα (smartphones) διαφορετικών εταιρειών και συγκεκριμένα στα HTC One S και Samsung Galaxy SIII mini. Η διασύνδεση δέκτη GNSS και κινητού τηλεφώνου, έγινε χρησιμοποιώντας τεχνολογία Bluetooth με τη συσκευή Parani SD200 της εταιρείας Sena. Η συνδεσμολογία του ολοκληρωμένου συστήματος μέτρησης φαίνεται στην Εικόνα 1 και έχει ως εξής:



Εικόνα 1. Συνδεσμολογία εξοπλισμού



Εικόνα 2. Μετρήσεις με κεραία ANN-MS u-blox (A) και με κεραία LegANT Javad (B)

Ο δέκτης GPS συνδέθηκε με την εξωτερική κεραία ANN-MS και μέσω θύρας USB με εξωτερική μπαταρία παροχής ρεύματος 5V. Η αποστολή των μετρήσεων GPS στο κινητό τηλέφωνο έγινε μέσω της ανωτέρω συσκευής Bluetooth, η οποία συνδέθηκε στη σειριακή θύρα (RS-232) του δέκτη.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η κεραία ANN-MS δεν αντιμετωπίζει αποτελεσματικά το φαινόμενο των πολλαπλών διαδρομών (multipath) από σήματα που έρχονται κάτω από τον ορίζοντα της κεραίας, συνεπώς προτείνεται η χρήση βάσης κάτω από την κεραία, από υλικό κατάλληλο για τη μείωση του ως άνω φαινομένου (Εικόνα 2) (Zhang, 2013).



3.2. Λογισμικό (software) – Ρυθμίσεις

3.2.1. Δέκτης GPS u-blox

Ο δέκτης GPS ρυθμίστηκε με το λογισμικό u-center, που περιέχεται στο u-blox Evaluation Kit EVK-6T, έτσι ώστε να μεταδίδει παρατηρήσεις στη σειριακή θύρα σε δυαδική μορφή ubx (u-blox 6 Receiver Description Including Protocol Specification) της ίδιας εταιρείας. Επιπροσθέτως, τέθηκε συγκεκριμένος ρυθμός αποστολής/λήψης δεδομένων της σειριακής θύρας του ως άνω δέκτη.

3.2.2. Συσκευή Bluetooth Parani SD200

Χρησιμοποιώντας το λογισμικό της εταιρείας Sena, τέθηκε ο ίδιος ρυθμός αποστολής/λήψης δεδομένων της σειριακής θύρας της συσκευής Bluetooth με τον αντίστοιχο του δέκτη. Επιπρόσθετα, ρυθμίστηκε η συσκευή, ούτως ώστε να είναι ορατή από άλλες συσκευές Bluetooth και να επιτρέπει τη δυνατότητα σύζευξης (pairing) με αυτές.

3.2.3. Συσκευή κινητού τηλεφώνου λειτουργικού συστήματος Android

Για την επίλυση GNSS παρατηρήσεων σε κινητό τηλέφωνο, έγινε εγκατάσταση της δωρεάν εφαρμογής RTKGPS+, μέσω της πλατφόρμας Google Play. Το λογισμικό αυτό αποτελεί εμπλουτισμένη έκδοση της εφαρμογής RTKGPS, η οποία είναι η εξέλιξη της εφαρμογής RTKlib (Takasu, 2009), κατάλληλα διαμορφωμένης για κινητά τηλέφωνα ή tablet με λειτουργικό σύστημα Android.

Αρχικά, τέθηκε στο RTKGPS+, η μορφή των εισερχομένων παρατηρήσεων από δέκτη GNSS στην επιλογή: “u-blox LEA-*T”, και αφού έγινε η σύζευξη μεταξύ του κινητού τηλεφώνου και της συσκευής Parani, μέσω τεχνολογίας Bluetooth, ελέγχθηκε η λήψη δεδομένων από το δέκτη u-blox.

Το λογισμικό RTKGPS+ μεταξύ άλλων, παρέχει τη δυνατότητα για NTRIP Client με χρήση πρωτοκόλλων RTCM 2, RTCM3. Έτσι έγινε η διαμόρφωση των παραμέτρων που αφορούν τη λήψη διορθώσεων από μόνιμους σταθμούς των δικτύων αναφοράς GNSS.



Εικόνα 3. Στιγμιότυπα οθόνης (screenshots) κατά τη λήψη των μετρήσεων στο κινητό Samsung Galaxy SIII mini (A), και στο κινητό HTC One S (B)

4. Σενάρια μετρήσεων – Αποτελέσματα

4.1. Σενάρια για πύκνωση τριγωνομετρικού δικτύου

Έγιναν μετρήσεις RTK με τη χρήση δύο δικτύων μονίμων σταθμών αναφοράς:

- του συστήματος HEPOS, το οποίο παρέχει τη δυνατότητα εικονικών σταθμών αναφοράς (Virtual Reference Station – VRS) και
- του συστήματος JGC – Net, της ιδιωτικής εταιρείας JGC το οποίο δεν έχει τη δυνατότητα VRS, παρέχοντας μόνο διορθώσεις single – base από το σταθμό “ATHN”, που βρίσκεται στην περιοχή του Αμαρουσίου Αττικής.

Μετρήθηκαν τρία σημεία γνωστών συντεταγμένων στην Αττική (Εικόνα 4), οι οποίες προέκυψαν με τη μέθοδο του σχετικού στατικού εντοπισμού. Τα ως άνω σημεία ήταν τα εξής:

- **Σημείο Α**, που βρίσκεται στην περιοχή των Βριλησίων και σε απόσταση 3.5km από τον μόνιμο σταθμό αναφοράς με την ονομασία “ATHN” του δικτύου JGC – Net.
- **Σημείο Β**, που βρίσκεται στην Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών του ΕΜΠ, στην περιοχή του Ζωγράφου και σε απόσταση, 9.2 km από τον μόνιμο σταθμό αναφοράς με την ονομασία “ATHN” του δικτύου JGC – Net

- **Σημείο Γ**, που βρίσκεται στην περιοχή της Ραφήνας και σε απόσταση 18.7 km από τον μόνιμο σταθμό αναφοράς με την ονομασία “ATHN” του δικτύου JGC – Net.

Η επιλογή των σημείων έγινε με σκοπό τη διερεύνηση της απόδοσης του δέκτη σε διαφορετικές αποστάσεις από το σταθμό αναφοράς. Το σημείο Α επιλέχθηκε ώστε να βρίσκεται σε σχετικά κοντινή απόσταση, ενώ το σημείο Β επιλέχθηκε έτσι ώστε να προσεγγίζει το μέγιστο όριο του μήκους της βάσης που υλοποιείται με δέκτες μίας συχνότητας σε εργασίες ένταξης τοπογραφικών διαγραμμάτων (μέγιστο μήκος βάσης 10-15 km (Schwieger 2014)). Αντίστοιχα το σημείο Γ επιλέχθηκε ώστε η απόσταση σταθμού- δέκτη να είναι ακόμα μεγαλύτερη από τη μέγιστη χρησιμοποιούμενη με δέκτες μονής συχνότητας.



Εικόνα 4. Άποψη των σημείων Α, Β, Γ, και του σταθμού αναφοράς ΑΤΗΝ από το Google Earth



Σημείο Α



Σημείο Β



Σημείο Γ

Εικόνα 5 Φωτογραφίες των σημείων Α, Β, Γ

Τα σενάρια μετρήσεων και στα τρία ως άνω σημεία παρατίθενται στη συνέχεια. Κάθε σενάριο αποτελείται από τρεις αλφαριθμητικούς χαρακτήρες, οι οποίοι κωδικοποιούνται ως εξής:

Α) Ο πρώτος χαρακτήρας δείχνει το δίκτυο μόνιμων σταθμών αναφοράς και είναι **J** στην περίπτωση του δικτύου JGC – Net και **H** στην περίπτωση του δικτύου HEPOS.

Β) Ο δεύτερος χαρακτήρας δείχνει τον δέκτη και είναι **U** για όλες τις περιπτώσεις, αφού παντού χρησιμοποιήθηκε δέκτης u-blox.

Γ) Ο τρίτος χαρακτήρας δείχνει το είδος της κεραίας που χρησιμοποιήθηκε και είναι **1** για την κεραία ANN-MS και **2** για την κεραία Javad JPS LegANT.

Τα σενάρια που ακολουθήθηκαν ήταν τα εξής:

- **(JU1)** Μετρήσεις RTK με το δέκτη u-blox και την κεραία ANN-MS (που εμπεριέχεται στο u-blox Evaluation Kit EVK-6T), με τη χρήση του δικτύου JGC – Net. Ως χειριστήριο χρησιμοποιήθηκε το smartphone Samsung Galaxy SIII mini.
- **(JU2)** Μετρήσεις RTK με το δέκτη u-blox και την κεραία Javad JPS LegANT, με τη χρήση του δικτύου JGC – Net. Ως χειριστήριο χρησιμοποιήθηκε το smartphone Samsung Galaxy SIII mini.
- **(HU1)** Μετρήσεις RTK με το δέκτη u-blox και την κεραία ANN-MS, με τη χρήση του δικτύου HEPOS με τεχνική VRS. Ως χειριστήριο χρησιμοποιήθηκε το smartphone HTC One S.
- **(HU2)** Μετρήσεις RTK με το δέκτη u-blox και την κεραία Javad JPS LegANT, με τη χρήση του δικτύου HEPOS με τεχνική VRS. Ως χειριστήριο χρησιμοποιήθηκε το smartphone HTC One S.

Για τον έλεγχο της ακρίβειας του δέκτη u-blox LEA-6T με τη χρήση της εκάστοτε κεραίας χρησιμοποιήθηκαν τα σενάρια **JPM** και **HR6**, τα οποία αναλύονται ως εξής:

- **(JPM)** Μετρήσεις RTK με το δέκτη GNSS (L1+L2) Ashtech ProMark 220 και την κεραία Ashtech ASH-661, με τη χρήση του δικτύου JGC – Net.
- **(HR6)** Μετρήσεις σχετικού στατικού εντοπισμού (Static) με το δέκτη GPS (L1+L2) Trimble R6-II, με τη χρήση του δικτύου HEPOS με τεχνική VRS

Οι προβολικές συντεταγμένες στο σύστημα ΕΓΣΑ87/TM87 των σημείων Α, Β, Γ, οι οποίες προέκυψαν από τις μετρήσεις σχετικού στατικού εντοπισμού, φαίνονται στον Πίνακα 1. Οι συντεταγμένες αυτές προέκυψαν μέσω μετασχηματισμού από το HTRS07/TM07 στο ΕΓΣΑ87/TM87 .

Όνομα σημείου	X(m)	Y(m)	H(m)
A	485400.426	4209628.199	250.084
B	480537.220	4202800.617	208.100
Γ	500821.898	4207504.335	4.199

Πίνακας 1. Προβολικές συντεταγμένες στο σύστημα ΕΓΣΑ87(HEPOS) των σημείων Α, Β, Γ, που προέκυψαν από το σενάριο HR6

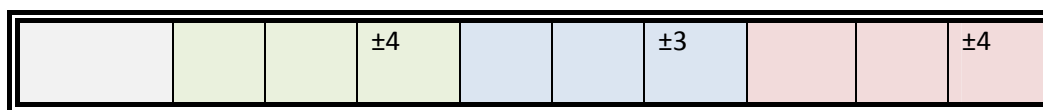
Σημεία→	A			B			Γ		
Σενάρια↓	ΔX (cm)	ΔY (cm)	σ _x (mm)	ΔX (cm)	ΔY (cm)	σ _x (mm)	ΔX (cm)	ΔY (cm)	σ _x (mm)
			σ _y (mm)			σ _y (mm)			σ _y (mm)
JU1	-0.8	-1.4	±2	+2.8	-3.0	±6	-1.8	-2.2	±3



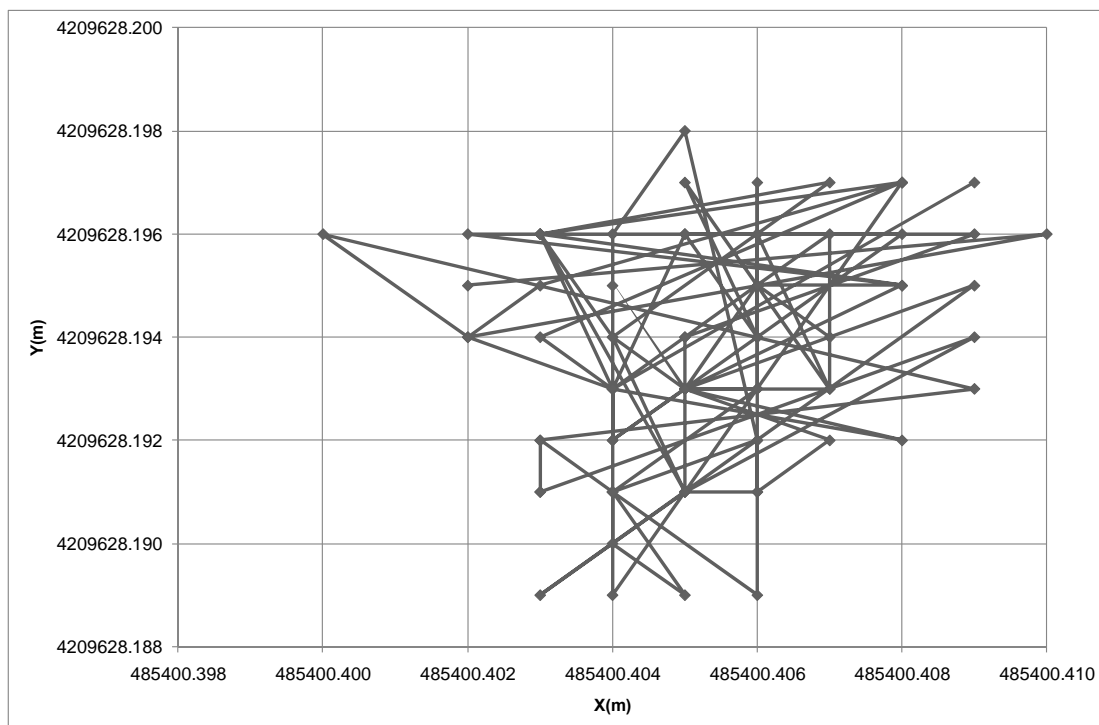
			±2			±12			±3
JU2	+1.4	+1.8	±2	+0.8	-1.1	±4	-1.4	-2.3	±3
			±4			±6			±2
HU1	-0.8	-1.0	±2	+1.9	-4.7	±2	-	-	±
			±3			±2			±
HU2	-1.0	-1.1	±4	+3.3	-2.0	±2	+1.4	-1.9	±2
			±4			±3			±4

Πίνακας 2. Αποτελέσματα σύγκρισης των μετρήσεων των σεναρίων JU1, JU2, HU1, HU2 για τα σημεία Α, Β, Γ, με τις συντεταγμένες που προκύπτουν από το σενάριο HR6.

Σημεία →	Α			Β			Γ		
Σενάρια ↓	ΔΧ (cm)	ΔΥ (cm)	σ _x (mm)	ΔΧ (cm)	ΔΥ (cm)	σ _x (mm)	ΔΧ (cm)	ΔΥ (cm)	σ _x (mm)
			σ _y (mm)			σ _y (mm)			σ _y (mm)
JU1	-0.2	0.0	±2	+1.9	-1.7	±6	-2.7	-0.2	±3
			±2			±12			±3
JU2	+2.0	+3.2	±2	-0.1	+0.3	±4	-2.2	-0.3	±3
			±4			±6			±2
HU1	-0.2	+0.4	±2	+1.0	-3.4	±2	-	-	-
			±3			±2			-
HU2	-0.4	+0.3	±4	+2.4	-0.7	±2	+0.6	+0.1	±2



Πίνακας 3. Αποτελέσματα σύγκρισης των μετρήσεων των σεναρίων JU1, JU2, HU1, HU2 για τα σημεία Α, Β, Γ, με τις συντεταγμένες που προκύπτουν από το σενάριο JPM.



Διάγραμμα 1. Οριζοντιογραφική αποτύπωση των καταγραφών του σημείου Α διάρκειας 90sec για το σενάριο JU1 (το εύρος των τιμών των συντεταγμένων είναι 1.2cm)

4.2. Σενάριο για μέτρηση ταχυμετρικών σημείων

Για το δεύτερο σενάριο μετρήσεων έγιναν μετρήσεις RTK, με τοποθέτηση του δέκτη u-blox σε στυλέο και με χρόνο μέτρησης μερικών δευτερολέπτων. Τα αποτελέσματα του δέκτη u-blox συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα που είχαν προκύψει με τη μέθοδο RTK με χρήση δέκτη GNSS γεωδαιτικού τύπου, της σειράς Leica GPS 1200. Οι μετρήσεις RTK με τους δύο ως άνω δέκτες έγιναν με τη χρήση του δικτύου μονίμων σταθμών αναφοράς MetricaNet, της εταιρείας Metrica, παρέχοντας μόνο διορθώσεις single – base από τον κοντινότερο σταθμό. Για το δεύτερο σενάριο μετρήθηκαν συνολικά 85 ταχυμετρικά σημεία στην περιοχή της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου. Οι διάφορες μεταξύ των αποτελεσμάτων του δέκτη u-blox και του δέκτη γεωδαιτικού τύπου κυμαίνονται από 0 έως 7 εκατοστά, με μέση απόκλιση ± 3 εκατοστά, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.

Μέσος όρος δΧ(m)	Μέσος όρος δΥ(m)
0.031	0.031

Πίνακας 4. Μέσες αποκλίσεις των μετρήσεων για το σενάριο 2 (μέτρηση ταχυμετρικών σημείων)

5. Πλεονεκτήματα συστήματος μέτρησης

Μεγάλο πλεονέκτημα της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε είναι πως, για όλα τα στάδια της διαδικασίας στο ύπαιθρο, χρησιμοποιείται ελεύθερο λογισμικό το οποίο είναι εγκατεστημένο σε οποιαδήποτε συσκευή κινητού τηλεφώνου (smartphone) ή tablet, με λειτουργικό σύστημα Android, γεγονός το οποίο καθιστά μη αναγκαία την ύπαρξη οποιουδήποτε άλλου χειριστηρίου για τη διαχείριση του δέκτη.

Η μη ύπαρξη χειριστηρίου σε συνδυασμό με τις πολύ μικρές διαστάσεις και βάρος τόσο του δέκτη u-blox όσο και του υπόλοιπου εξοπλισμού αναδεικνύει και τα άλλα σημαντικά πλεονεκτήματα του συστήματος που χρησιμοποιήθηκε, τα οποία είναι το μικρό του μέγεθος, η πολύ εύκολη μεταφορά του, καθώς και η εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση μπαταρίας.

Το σημαντικότερο όμως πλεονέκτημα της ανωτέρω μεθόδου είναι το πολύ χαμηλό κόστος του εξοπλισμού, το οποίο κυμαίνεται από το 1/10 έως και πολύ μικρότερο, σε σχέση με το εξοπλισμό που χρησιμοποιείται για εφαρμογή της μεθόδου RTK στην ένταξη τοπογραφικών διαγραμμάτων στο ΚΣΑ. Συγκεκριμένα, το κόστος του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία ήταν της τάξης των 400 €.

6. Συμπεράσματα-Προτάσεις

6.1. Συμπεράσματα

Τα κυριότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα εργασία είναι τα παρακάτω:

- Οι ακρίβειες των συντεταγμένων των σημείων Α, Β, Γ, που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθόδου RTK με τη χρήση του δέκτη u-blox LEA-6T, σε συνδυασμό είτε με την κεραία u-blox ANN-MS, είτε με τη γεωδαιτικού τύπου κεραία Javad JPS LegANT, είναι της τάξης των 1 έως 3 εκατοστών. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι παρ' όλο που τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας κρίνονται πολύ ικανοποιητικά, είναι αναγκαία η διενέργεια περισσότερων δοκιμών, προκειμένου να διεξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα για την ακρίβεια και την επαναληψιμότητα των αποτελεσμάτων των μετρήσεων.



- Εξετάζοντας τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα ως άνω σημεία, από τις οποίες έγινε υπολογισμός των ακέραιων τιμών των ασαφειών φάσης (λύσεις fixed), αυτές κρίνονται πολύ αξιόπιστες, ανεξάρτητα από το δίκτυο μονίμων σταθμών αναφοράς που χρησιμοποιήθηκε. Το γεγονός αυτό αποδεικνύεται τόσο από τη μικρή τυπική απόκλιση όσο και από το μικρό εύρος των συντεταγμένων των σημείων που προκύπτουν από τις «fixed» λύσεις.
- Συγκρίνοντας την τεχνική VRS-RTK με τη Single Base-RTK, διαπιστώθηκε ότι δεν υπήρχε διαφορά στις συντεταγμένες της λύσης. Η ουσιαστική διαφορά τους έγκειται στη μείωση του χρόνου που χρειάστηκε για επιτευχθεί λύση «fixed» για τα πιο απομακρυσμένα σημεία (Β και Γ), αφού η δημιουργία εικονικών σταθμών αναφοράς σε μικρή απόσταση από το σημείο μέτρησης μέσω της τεχνικής VRS, εξουδετερώνει τον περιορισμό λόγω μήκους βάσης που έχει η τεχνική Single Base.

Βάσει όλων των ανωτέρω, η εφαρμογή της μεθόδου RTK με τον δέκτη u-blox καλύπτει απόλυτα τις απαιτήσεις ένταξης Τοπογραφικών Διαγραμμάτων στο ΚΣΑ, για την πλειονότητα των τοπογραφικών εργασιών, που απαιτούν υπολογισμό συντεταγμένων στο κρατικό σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ '87.

Ευχαριστίες

Οι συγγραφείς εκφράζουν τις ευχαριστίες τους στην εταιρεία πωλήσεων γεωδαιτικού εξοπλισμού JGC και ιδιαίτερα στον κύριο Γιάννη Μουγιάκο, για την ευγενική χορηγία του Evaluation Kit EVK-6T, που περιέχει το δέκτη u-blox LEA-6T και την κεραία ANN-MS, καθώς και της συσκευής διασύνδεσης Parani SD200 της εταιρείας Sena, τεχνολογίας Bluetooth. Επίσης, θα ήθελαν να ευχαριστήσουν την εταιρεία Metrica, για την παροχή των υπηρεσιών του δικτύου MetricaNet, καθώς και τη Σταματίνα Παναγιωτοπούλου, φοιτήτρια της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, για την διενέργεια των μετρήσεων του δευτέρου σεναρίου.



Βιβλιογραφία

“u-blox 6 Receiver Description Including Protocol Specification”, <http://www.u-blox.com>, GPS.G6-SW-10018-F, April 2013.

Takasu T., Yasuda A., “Development of the low-cost RTK-GPS receiver with an open source program package RTKLIB”, International Symposium on GPS/GNSS November 2009.

Gakstatter E., “RTK on a Smartphone Running AutoCAD: I Did It Last Week”, *GPS World*, April 2014.

Schwieger V., Lilje M., “Innovative and Cost Effective Spatial Positioning”, *International Federation of Surveyors*, January 2014.

Zhang L., Schwieger V., “Investigation regarding different antennas combined with low-cost GPS receivers”, FIG Working Week May 2013.

Zhang L., Stange M., Schwieger V., “Automatic low-cost GPS monitoring system using WLAN communication”, FIG Working Week, May 2012.

Schwieger V., “Accurate High-Sensitivity GPS for Short Baseline”, FIG Working Week, May 2009.

Weston N., Schwieger V., “Cost Effective GNSS Positioning Techniques”, FIG Commission 5 Publication 2nd Edition, January 2010.

Παραδείσης Δ., “Σημειώσεις Δορυφορικής Γεωδαισίας Σ.Α.Τ.Μ. ΕΜΠ”, Νοέμβριος 2000.

Κωτσάκης Χ., Κατσάμπαλος Κ., Γιαννίου Μ., «Μοντέλο μετασχηματισμού συντεταγμένων μεταξύ του συστήματος αναφοράς του HEPOS (HTRS07) και του Ελληνικού Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς (ΕΓΣΑ87)», Οκτώβριος 2008.

Κατσουγιαννόπουλος Σ., «Μετάδοση δεδομένων GNSS για προσδιορισμό θέσης σε πραγματικό χρόνο. Εφαρμογές στον Ελληνικό χώρο», *ΧΩΡΟΓΡΑΦΙΕΣ*, Τ.1 – Αρ 1 2010.