

ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ FULL GNSS ΤΟΥ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΜΕΝΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ HEPOS: ΠΡΩΤΕΣ ΕΜΠΕΙΡΙΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Μάστορης Δημήτρης, Γιαννίου Μιχάλης, Μητροπούλου Ελένη
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ, Μεσογείων 288, 155 62 Χολαργός

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή περιγράφει την πρόσφατη υλοποίηση της τεχνολογίας full GNSS (Global Navigation Satellite Systems) από το Ελληνικό Σύστημα Εντοπισμού HEPOS (Hellenic Positioning System). Αρχικά παρουσιάζονται συνοπτικά οι τρέχουσες εξελίξεις στον τομέα των Παγκόσμιων Δορυφορικών Συστημάτων Πλοήγησης με έμφαση στις γεωδαιτικές-τοπογραφικές εφαρμογές full GNSS. Στη συνέχεια περιγράφονται οι τεχνικές λεπτομέρειες της ενσωμάτωσης των τεσσάρων GNSS (GPS-GLONASS-Galileo-BeiDou) στο HEPOS και οι νέες αναβαθμισμένες υπηρεσίες full GNSS που παρέχει το σύστημα. Επίσης παρουσιάζονται αποτελέσματα ανάλυσης δεδομένων που αναδεικνύουν τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας full GNSS σε σχέση με τη χρήση μόνο του συστήματος GPS και τη χρήση GPS-GLONASS.

Λέξεις-κλειδιά: HEPOS, GPS-GLONASS-Galileo-BeiDou, full GNSS

Dimitrios Mastoris, Michail Gianniou, Eleni Mitropoulou
Hellenic Cadastre, 288 Mesogion Ave., 155 62 Cholargos, Greece

ABSTRACT

This work describes the recent implementation of the full GNSS (Global Navigation Satellite Systems) technology into the Hellenic Positioning System (HEPOS). The article begins with a short presentation of the latest developments in GNSS giving emphasis in surveying and geodetic applications of full GNSS. The technical details of implementing the four main GNSS (GPS-GLONASS-Galileo-BeiDou) into HEPOS as well as the new full GNSS services are described. In addition, data analysis results are presented, which highlight the advantages of full GNSS with respect to GPS-only and GPS-GLONASS solutions.

Key-words: HEPOS, GPS-GLONASS- Galileo-BeiDou, full GNSS

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το Ελληνικό Σύστημα Εντοπισμού (HEPOS) εγκαταστάθηκε από την ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. το 2007 (Gianniou, 2008a,b). Το 2008 χρησιμοποιήθηκε από αναδόχους του Κτηματολογίου για την παραγωγή υποβάθρων στο HTRS07 (Hellenic Terrestrial Reference System 2007). Το Μάιο του 2009, με τη δημοσίευση του μοντέλου αμφίδρομου μετασχηματισμού μεταξύ HTRS07 και ΕΓΣΑ87 (Katsampalos et al. 2010, Κωτσάκης et al. 2010) και τη διάθεση του ελεύθερου λογισμικού *HEPOS_Transform*, για την υλοποίησή του, δόθηκε το HEPOS προς χρήση από κάθε ενδιαφερόμενο. Το 2011 διατέθηκε το (επίσης ελεύθερο) λογισμικό *HEPOS Transformation Tool* το οποίο περιλαμβάνει και ένα μοντέλο γεωειδούς για το μετασχηματισμό των υψομέτρων που μετριοούνται με το HEPOS σε ορθομετρικά υψόμετρα (Gianniou 2011, Gianniou και Mastoris 2013).

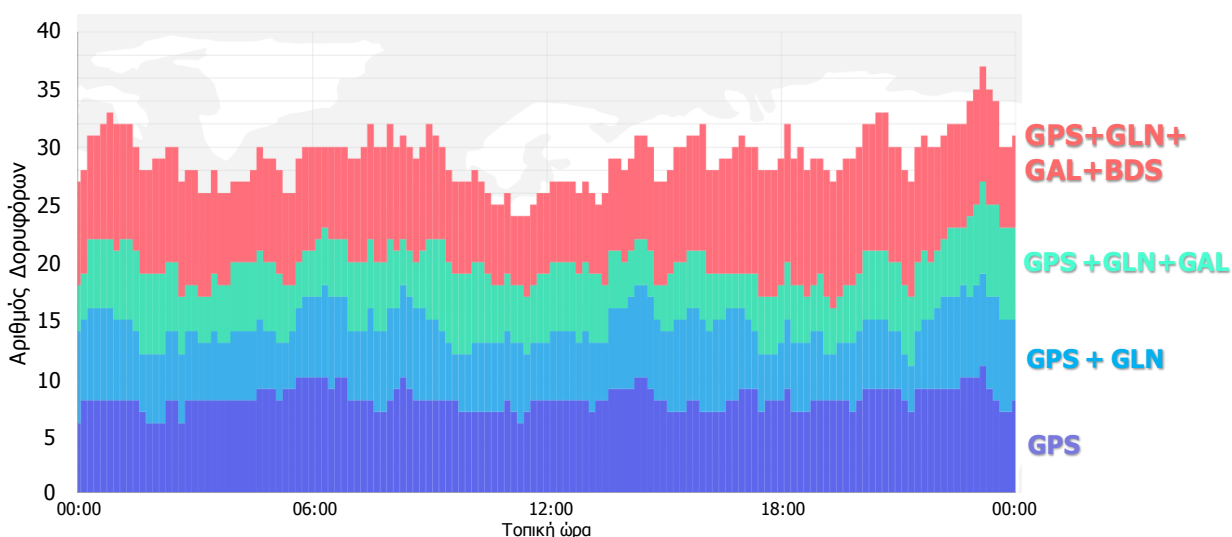
Το 2019 συνάφθηκε, μετά από προκήρυξη διεθνούς διαγωνισμού, σύμβαση για την «Παροχή Υπηρεσιών Συντήρησης και Αναβάθμισης του Ελληνικού Συστήματος Εντοπισμού HEPOS». Βασικός στόχος της αναβάθμισης ήταν το HEPOS να γίνει ένα σύστημα full GNSS, δηλαδή να αξιοποιεί όλα τα GNSS (το Αμερικανικό GPS, το Ρωσικό GLONASS, το Ευρωπαϊκό Galileo και το Κινεζικό BeiDou) καθώς επίσης και τα συστήματα SBAS (Satellite Based Augmentation Systems). Στις επόμενες παραγράφους περιγράφεται η τεχνολογία full GNSS, δίνονται λεπτομέρειες της αναβάθμισης του συστήματος και παρατίθενται αποτελέσματα συγκριτικής αξιολόγησης των υπηρεσιών που παρέχει. Η εργασία κλείνει με την εξαγωγή συμπερασμάτων και τις διαφαινόμενες προοπτικές του συστήματος μετά την αναβάθμισή του.

2. ΤΟ FULL GNSS ΣΗΜΕΡΑ

Ο όρος *full GNSS* χρησιμοποιείται στη διεθνή ορολογία για να περιγράψει τη συνδυασμένη αξιοποίηση όλων των Παγκόσμιων Δορυφορικών Συστημάτων Πλοήγησης (GNSS) με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης του δορυφορικού εντοπισμού. Ο αριθμός των δορυφόρων GPS και GLONASS είναι πρακτικά σταθερός (31 GPS και 24 GLONASS) εδώ και μία περίπου δεκαετία. Η διαφοροποίηση που έχει επέλθει τα τελευταία χρόνια αφορά το πλήθος των δορυφόρων Galileo και BeiDou, οι οποίοι αυξήθηκαν θεαματικά. Στον Πίνακα 1 δίνεται ο αριθμός των δορυφόρων κάθε συστήματος που είναι σήμερα διαθέσιμοι. Στην Εικόνα 1 απεικονίζεται ο αριθμός των ορατών δορυφόρων για τέσσερις χαρακτηριστικές περιπτώσεις χρήσης GNSS για τοπογραφικές εργασίες: GPS, GPS-GLN, GPS-GLN-GAL και GPS-GLN-GAL-BDS. Όπως φαίνεται, με τη χρήση full GNSS ο αριθμός των σήμερα διαθέσιμων δορυφόρων για μία συνήθη γωνία αποκοπής (elevation mask) ίση με 13° κυμαίνεται από 25 έως 35, δηλαδή πρακτικά διπλάσιος σε σχέση με τη χρήση GPS-GLN.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Αριθμός δορυφόρων των διάφορων GNSS (Ιούνιος, 2021).

GNSS	Σύντμηση	Προέλευση	Λειτουργικοί δορυφόροι	Σύνολο δορυφόρων
GPS	GPS	ΗΠΑ	31	32
GLONASS	GLN	Ρωσία	23	27
Galileo	GAL	Ευρ. Ένωση	20	24
BeiDou	BDS	Κίνα	44	49



ΕΙΚΟΝΑ 1: Αριθμός ορατών δορυφόρων στις 3/6/2021 για την περιοχή της Αθήνας και για γωνία αποκοπής 13° .

Ο μεγαλύτερος αριθμός διαθέσιμων δορυφόρων είναι ιδιαίτερα σημαντικός σε δύσκολα περιβάλλοντα μετρήσεων όταν η ορατότητα προς τον ουρανό είναι περιορισμένη. Όμως ακόμα και υπό καλές συνθήκες μετρήσεων, η χρήση full GNSS βελτιώνει αισθητά την απόδοση του RTK λόγω και των περισσότερων σημάτων, τα οποία διευκολύνουν σημαντικά την επίλυση ασαφειών φάσης. Η συνεισφορά του full GNSS στις μετρήσεις RTK έχει τεκμηριωθεί στην πράξη από τα πρώτα κιόλας έτη που χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία αυτή (Odijk, D., 2014) (Li et al., 2015).

3. ANABAΘΜΙΣΗ ΤΟΥ HEPOS ΣΕ FULL GNSS

3.1 Ιδιαιτερότητες του έργου

Η αναβάθμιση του HEPOS ήταν ένα σύνθετο και απαιτητικό έργο για τους λόγους που αναλύονται στη συνέχεια.

Από τεχνικής πλευράς η μεγαλύτερη πρόκληση ήταν η απαίτηση να γίνει η αναβάθμιση υπό καθεστώς πλήρους λειτουργίας, χωρίς το σύστημα να τεθεί καθόλου εκτός λειτουργίας («μηδενικό» down time) καθώς βρίσκονταν σε πλήρη εξέλιξη συμβάσεις κτηματογράφησης σε ολόκληρη τη χώρα. Σύμφωνα με τις απαιτήσεις του έργου, η αναβάθμιση του εξοπλισμού του κάθε σταθμού αναφοράς προγραμματιζόταν τουλάχιστον τρεις ημέρες νωρίτερα (ώστε να ενημερώνονται εγκαίρως οι χρήστες) και το διάστημα μη-λειτουργίας του σταθμού κατά τη διαδικασία αναβάθμισης του εξοπλισμού ήταν το ελάχιστο δυνατό, χωρίς ποτέ να υπερβαίνει τις δύο ώρες. Αντίστοιχα η αναγκαία διακοπή της λειτουργίας του Κέντρου Ελέγχου για τη μετάπτωση στο αναβαθμισμένο σύστημα διήρκεσε λίγες ώρες και έγινε σε βραδινές ώρες ώστε να μην παρεμποδιστεί η χρήση του συστήματος. Για να υλοποιηθεί αυτό στην πράξη απαιτήθηκε να υλοποιηθεί ένα δεύτερο σύστημα (servers και λογισμικό λειτουργίας δικτύου) το οποίο λειτουργήσε παράλληλα με το παλιό σύστημα καθ' όλο το διάστημα που γινόταν η αναβάθμιση των σταθμών αναφοράς, εξασφαλίζοντας απόλυτη συμβατότητα μεταξύ παλαιού και νέου εξοπλισμού.

Από διαχειριστικής πλευράς, η υλοποίηση του έργου ήταν ιδιαίτερα απαιτητική. Η έναρξη της αναβάθμισης συνέπεσε χρονικά με την πανδημία και τα περιοριστικά μέτρα στις μετακινήσεις και στην πρόσβαση στους σταθμούς, δυσχέραναν εξαιρετικά το όλο εγχείρημα. Στις δυσκολίες αυτές ήρθε να προστεθεί και η παράλληλη υλοποίηση της σύμβασης για την αναβάθμιση του τηλεπικοινωνιακού δικτύου του HEPOS. Αυτό στην πράξη σήμαινε ότι για να μπορέσει να γίνει η εγκατάσταση του αναβαθμισμένου εξοπλισμού σε κάθε σταθμό αναφοράς, έπρεπε πρώτα να έχει οργανωθεί και ολοκληρωθεί η αναβάθμιση της τηλεπικοινωνιακής υποδομής του σταθμού.

Τέλος, από καθαρά γεωδαιτικής πλευράς έπρεπε να διασφαλιστεί η σταθερότητα των συντεταγμένων που προσδιορίζονται με το HEPOS, δηλαδή οι συντεταγμένες που θα παράγονται μετά την αναβάθμιση να είναι απόλυτα συμβατές με όλες τις συντεταγμένες που είχαν παραχθεί πριν την αναβάθμιση. Η απαίτηση αυτή ελέγχθηκε σχολαστικά σε όλη την έκταση της χώρας και διαπιστώθηκε πρακτικά απόλυτη ταύτιση.

Συνολικά το όλο έργο της αναβάθμισης υλοποιήθηκε σύμφωνα με τις απαιτήσεις και τις προδιαγραφές το Έργου και στέφθηκε από απόλυτη επιτυχία, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τη λειτουργία του συστήματος μέχρι και σήμερα.

3.2 Αναβάθμιση σταθμών αναφοράς

Πριν την αναβάθμισή τους οι σταθμοί αναφοράς ήταν κατά κύριο λόγο εξοπλισμένοι με τα μοντέλα δεκτών και κεραίων που είχαν τοποθετηθεί κατά την ίδρυση του HEPOS το 2007 (δέκτες Trimble NetRS και κεραίες Trimble Zephyr Geodetic. Εξαιρεση αποτελούσαν τρεις σταθμοί αναφοράς όπου οι αρχικοί δέκτες NetRS είχαν αντικατασταθεί με δέκτες NetR9. Μετά την αναβάθμιση σε όλους του σταθμούς, εγκαταστάθηκαν δέκτες Trimble Alloy και κεραίες Trimble Zephyr Geodetic model 3 με ημισφαιρικό θόλο προστασίας, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Αναβάθμιση δεκτών-κεραίων στους Σταθμούς Αναφοράς

Αναβάθμιση	Δέκτες	Κεραίες	Ποσότητα
Πριν	NetRS	TZG* με θόλο Κωδικός IGS: TRM41249.00	TZGD 95
	NetR9	TZG2 με θόλο Κωδικός IGS: TRM57971.00	TZGD 3
Μετά	Alloy	TZG3 με θόλο Κωδικός IGS: TRM115000.00	TZGD 98

(*) TZG: Trimble Zephyr Geodetic

Το σύνολο των (98) δεκτών που εγκαταστάθηκαν είναι δέκτες full GNSS και λαμβάνουν όλα τα σήματα όλων των GNSS καθώς και των SBAS, όπως φαίνεται αναλυτικά στον Πίνακα 3.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Σήματα που υποστηρίζονται από τους αναβαθμισμένους δέκτες

Σύστημα	Λαμβανόμενα σήματα
GPS	L1, L2, L2C, L5, L1C
GLONASS	G1, G2, G3
Galileo	E1, E5a, E5b, E5alt-BOC, E6
BeiDou	B1, B2, B3
SBAS: EGNOS-WAAS-GAGAN	L1C/A, L5

3.3 Αναβάθμιση κέντρου ελέγχου

Για την υποστήριξη όλων των δορυφορικών σχηματισμών το λογισμικό του Κέντρου Ελέγχου του HEPOS αναβαθμίστηκε από Trimble GPSNet σε Trimble PIVOT. Το αναβαθμισμένο λογισμικό, εκτός από υπηρεσίες full GNSS, προσφέρει και νέες δυνατότητες για την καλύτερη εξυπηρέτηση των χρηστών, όπως π.χ.:

- Παραμετροποιήσιμες συνδρομές που παρέχουν ευελιξία στη δημιουργία νέων συνδρομητικών πακέτων
- Πρόσβαση των χρηστών στα στοιχεία της καρτέλας τους
- Δυνατότητα αλλαγής των passwords των συνδέσεων από τους ίδιους τους χρήστες, χωρίς να απαιτείται παρέμβαση των διαχειριστών του συστήματος
- Δυνατότητα του χρήστη να ενημερώνεται μόνος διαδικτυακά για την χρήση που κάνει στο σύστημα τον τελευταίο καιρό
- Διαδικτυακή επαφή συμμορφούμενη με τις απαιτήσεις GDPR
- Νέο, πιο εύχρηστο περιβάλλον υποβολής παραγγελιών αρχείων RINEX με δυνατότητα επιλογής της θέσης του επιθυμητού εικονικού σταθμού (VRS) γραφικά μέσω χάρτη.

Παράλληλα έγινε αναβάθμιση των εξυπηρετητών του Κέντρου Ελέγχου με σύγχρονους εξυπηρετητές μεγάλης υπολογιστικής ισχύος και υψηλής αξιοπιστίας (διπλά τροφοδοτικά κλπ). Επίσης εγκαταστάθηκαν πλεονάζοντες εξυπηρετητές (dualization), έτσι ώστε να εξασφαλίζεται υψηλή διαθεσιμότητα υπηρεσιών ακόμα και στην περίπτωση αστοχίας hardware.

3.4 Αναβάθμιση-προσθήκη Mount-points

Για τους χρήστες του HEPOS το σημαντικότερο όφελος της αναβάθμισης είναι αναμφίβολα η υποστήριξη όλων των δορυφορικών σχηματισμών και οι λύσεις full GNSS. Κατά την προσθήκη αυτών των νέων δυνατοτήτων στις υπηρεσίες RTK επαναδιαμορφώθηκαν τα mount-points του HEPOS ως εξής: Τα υφιστάμενα mount-points εξακολουθούν να παρέχονται με τα ίδια ονόματα

(Legacy mount-points) και πέραν του HEPOS υποστηρίζουν πλέον και το GLONASS. Με τον τρόπο αυτό όσοι χρήστες διαθέτουν δέκτες GPS-GLN απολαμβάνουν πλέον αυτόματα λύσεις GPS-GLN, χωρίς να χρειαστεί να αλλάξουν κάτι στον τρόπο σύνδεσής τους με το HEPOS. Για την περίπτωση που κάποιοι χρήστες επιθυμούν αποκλειστικά λύσεις GPS, δημιουργήθηκαν δύο νέα mount-points, τα *Single_Base_RTK_GPSONly* και *RTCM30_GPSONly*. Για δέκτες που αντιμετώπιζαν δυσκολίες αξιοποίησης των δορυφόρων GLONASS με χρήση του mount-point *Single_Base_RTK* (το οποίο χρησιμοποιεί πρωτόκολλο RTCM) δημιουργήθηκε το mount-point *Single_Base_RTK_CMRp* (το οποίο χρησιμοποιεί πρωτόκολλο CMR+). Για τις υπηρεσίες full GNSS RTK δημιουργήθηκαν τα mount-points *RTK_VRS_RTCM32_GGGB* και *RTK_Single_Base_RTCM32_GGGB*. Τέλος, έχει προγραμματιστεί η δημιουργία δύο ακόμα mount-points για full GNSS RTK με χρήση του του πρωτοκόλλου CMRx. Τα mount-points αυτά θα ονομαστούν *RTK_VRS_CMRx_GGGB* και *RTK_Single_Base_CMRx_GGGB*. Λεπτομέρειες για το σύνολο των RTK mount-points του HEPOS δίνονται στον Πίνακα 4.

Για τη διευκόλυνση των χρηστών τα ονόματα των νέων mount-points αποτελούνται από 4 μέρη και είναι πλήρως περιγραφικά των χαρακτηριστικών τους: Το πρώτο μέρος δηλώνει αν είναι για RTK ή DGPS, το δεύτερο μέρος δηλώνει την τεχνική (Single-Base, VRS, MAC, FKP), το τρίτο μέρος δηλώνει το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται (RTCM, CMR+, CMRx) και το τέταρτο μέρος τα δορυφορικά συστήματα που υποστηρίζει το συγκεκριμένο mount-point (όπως αναλύονται στην τελευταία γραμμή πίνακα 4).

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η χρήση των επιπλέον δορυφορικών σχηματισμών παρέχεται χωρίς καμία επιπλέον χρέωση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: Mount-points για RTK πριν και μετά την αναβάθμιση

	Mount-points για RTK	Τεχνική RTK	Υποστηριζόμενα GNSS*	
			Έως το 2020	Μετά το 2020
Legacy	Single_Base_RTK	Single-Base	G	GG
	CMRp	VRS	G	GG
	FKP	FKP	G	GG
	RTCM23	VRS	G	GG
	RTCM30	VRS	G	GG
	RTCM31	MAC	G	GG
	Νέα	Single_Base_RTK_GPSONly	Single-Base	-
RTCM30_GPSONly		VRS	-	G
Single_Base_RTK_CMRp		Single-Base	-	GG
RTK_VRS_RTCM32_GGGB		VRS	-	GGGB
RTK_Single_Base_RTCM32_GGGB		Single-Base	-	GGGB

(*) **G**: GPS, **GG**: GPS-GLN, **GGGB**: GPS-GLN-GAL-BDS

4. ΠΡΩΤΕΣ ΕΜΠΕΙΡΙΕΣ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ FULL GNSS

Η αξιοποίηση όλων των GNSS έφερε σημαντική βελτίωση στην απόδοση του RTK σε δύσκολες συνθήκες μέτρησης, όπου η ύπαρξη εμποδίων, όπως π.χ. κτίρια και δέντρα, περιορίζουν το ορατό μέρος του ουρανού, μειώνοντας των αριθμό των παρατηρούμενων δορυφόρων και εξασθενώντας τη γεωμετρία τους (υψηλές τιμές PDOP). Η βελτίωση έγινε άμεσα αισθητή στους χρήστες του HEPOS που διαθέτουν δέκτες GPS-GLONASS αλλά κυρίως σε όσους διαθέτουν δέκτες full GNSS. Στο πλαίσιο της αξιολόγησης των υπηρεσιών full GNSS του HEPOS το Τμήμα Γεωδαισίας του Ελληνικού Κτηματολογίου που είναι αρμόδιο για τη λειτουργία του συστήματος πραγματοποιεί διαχρονικά μετρήσεις πεδίου. Στη συνέχεια δίνονται αποτελέσματα από την ανάλυση μετρήσεων που έγιναν το Μάιο του 2021 χρησιμοποιώντας ένα δέκτη Trimble R8s με λογισμικό πεδίου Trimble Access.

4.1 Μετρήσεις RTK σε δύσκολα περιβάλλοντα

Στις Εικόνες 2 και 3 φαίνονται τρεις χαρακτηριστικές περιπτώσεις σημείων που η μέτρησή τους δεν ήταν δυνατή χρησιμοποιώντας μόνο GPS ή GPS&GLONASS καθώς ενώ είχε επιτευχθεί λύση *fixed* σε ανοιχτό χώρο, όταν ο δέκτης προσέγγιζε τα σημεία η λύση γινόταν πάντοτε *float*. Αντίθετα, αξιοποιώντας την υπηρεσία full GNSS του HEPOS η λύση *fixed* διατηρήθηκε και τα σημεία μπόρεσαν να μετρηθούν. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι τέτοια σημεία δεν ενδείκνυνται για τοπογραφικές μετρήσεις με GNSS και πρέπει να αντιμετωπίζονται πολύ προσεκτικά στην πράξη. Οι δοκιμές έγιναν αποκλειστικά για να αναδειχθούν οι δυνατότητες του full GNSS.



ΕΙΚΟΝΑ 2: Σημεία που μετρήθηκαν με λύση *fixed* με full GNSS



ΕΙΚΟΝΑ 3: Σημείο που μετρήθηκε με λύση *fixed* με full GNSS

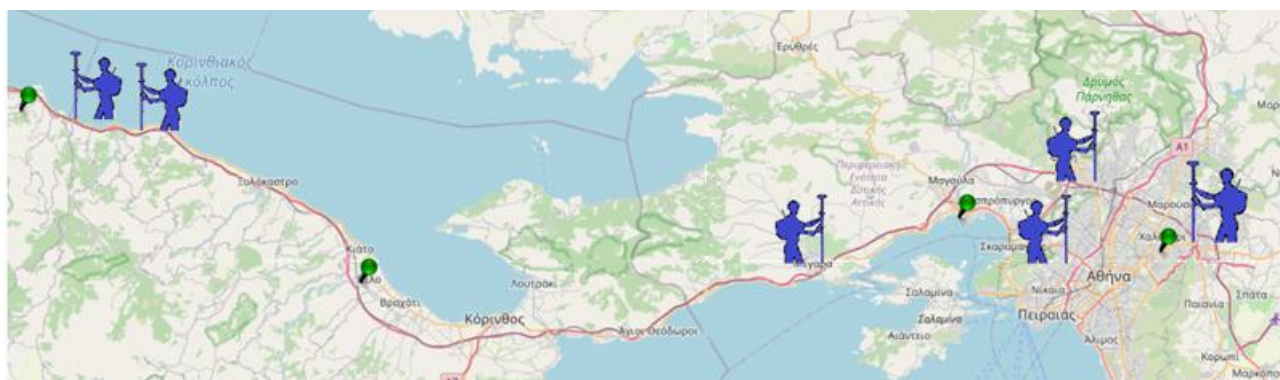
4.2 Σύγκριση τεχνικών RTK

Για την ανάδειξη της υπεροχής της τεχνικής full GNSS έγινε συγκριτική αξιολόγηση όλων των τεχνικών RTK που προσφέρει το HEPOS. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν και τα 11 Mount-points του συστήματος, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5. Στον ίδιο πίνακα δίνονται και οι ονομασίες των mount-points, οι οποίες χρησιμοποιούνται στα διαγράμματα των Εικόνων 6-8 προκειμένου αυτά να γίνονται πιο άμεσα αντιληπτά. Οι μετρήσεις έγιναν σε έξι διαφορετικές περιοχές στη Στερεά Ελλάδα και την Πελοπόννησο. Οι θέσεις αυτές απεικονίζονται στην Εικόνα 4 και επιλέχθηκαν έτσι ώστε κάποιες από αυτές να βρίσκονται σχετικά κοντά σε σταθμούς του HEPOS και κάποιες θέσεις στο ενδιάμεσο των σταθμών. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται ένας αντιπροσωπευτικός έλεγχος τόσο της τεχνικής Single-Base όσο και των δικτυακών τεχνικών (VRS, MAC, FKP). Τα σημεία επιλέχθηκαν έτσι ώστε να προσφέρουν καλές συνθήκες μέτρησης, δεν υπήρχαν δηλαδή σημαντικά εμπόδια και η ορατότητα των δορυφόρων ήταν καλή, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.

Οι μετρήσεις για τη σύγκριση των mount-points έγιναν ακολουθώντας σε όλα τα σημεία μία αυστηρά καθορισμένη διαδικασία: Αρχικά τοποθετήθηκε ο δέκτης με χρήση τρίποδα/τρικοχλίου και παρέμεινε ακίνητος καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Στη συνέχεια έγινε μέτρηση RTK με κάθε ένα από τα 11 mount-points που φαίνονται στον Πίνακα 5, ως εξής: Αμέσως μετά την επίλυση ασαφειών φάσης (λύση fixed) ξεκινούσε η μέτρηση του σημείου, η οποία είχε πάντοτε διάρκεια 4 sec. Μετά την αποθήκευση των συντεταγμένων γινόταν αμέσως αποσύνδεση και σύνδεση στο επόμενο mount-point. Με τον τρόπο αυτό ελαχιστοποιήθηκε ο χρόνος παραμονής στο κάθε σημείο (η όλη διαδικασία ολοκληρωνόταν σε ~ 15 min), έτσι ώστε να μη διαφοροποιείται ουσιαστικά η γεωμετρία των παρατηρούμενων δορυφόρων και οι μετρήσεις με τα επιμέρους mount-points να είναι συγκρίσιμες μεταξύ τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: Mount-points και ονομασίες τους στα διαγράμματα των Εικόνων 6-8.

Mount-point	Ονομασία στα διαγράμματα
Single_Base_RTK	SB_RTCM23_GG
CMRp	VRS_CMRp_GG
FKP	FKP_RTMC30_GG
RTCM23	VRS_RTMC23_GG
RTCM30	VRS_RTMC30_GG
RTCM31	MAC_RTMC31_GG
Single_Base_RTK_GPSONly	SB_RTCM23_G
RTCM30_GPSONly	VRS_RTMC30_G
Single_Base_RTK_CMRp	SB_CMRp_GG
RTK_VRS_RTMC32_GGGB	VRS_RTMC32_GGGB
RTK_Single_Base_RTMC32_GGGB	SB_RTMC32_GGGB



ΕΙΚΟΝΑ 4: Θέσεις σημείων που μετρήθηκαν. (Οι πράσινες πινέζες δείχνουν τις θέσεις των σταθμών αναφοράς του HEPOS).

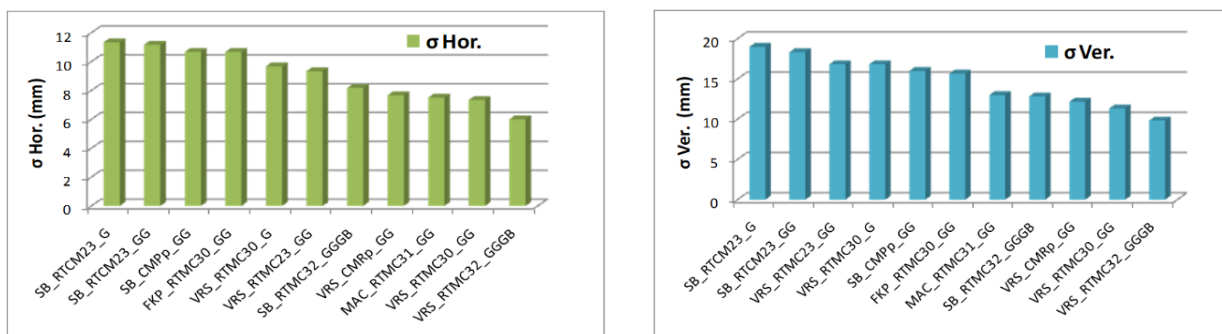


ΕΙΚΟΝΑ 5: Ενδεικτικές φωτογραφίες των σημείων που μετρήθηκαν.

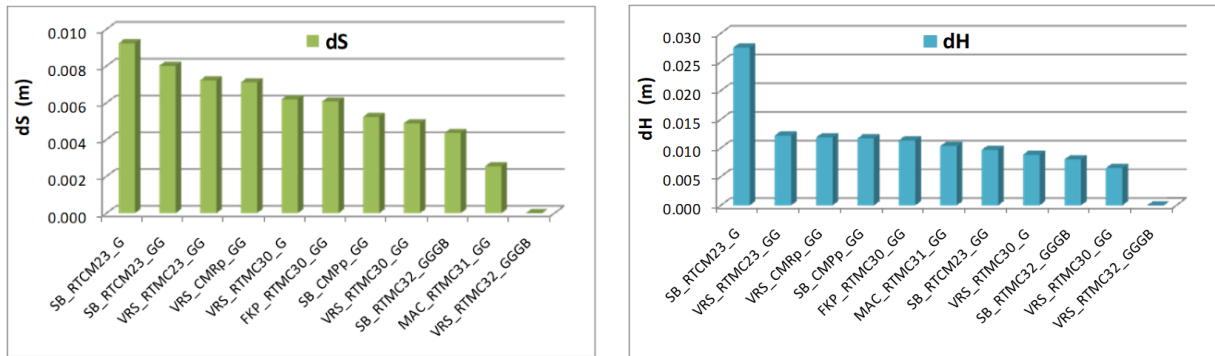
Η σύγκριση της απόδοσης των 11 mount-points έγινε με βάση τρεις παραμέτρους: τις τυπικές αποκλίσεις των αποτελεσμάτων, τις αποκλίσεις των συντεταγμένων από τις σωστές τιμές και το χρονικό διάστημα που απαιτήθηκε για την επίλυση ασαφειών φάσης. Στα διαγράμματα της Εικόνας 6 δίνονται για κάθε mount-point η μέση τυπική απόκλιση των οριζόντιων συντεταγμένων $\sigma_{hor.}$ και η μέση τυπική απόκλιση του υψομέτρου $\sigma_{ver.}$ (μέση τιμή από τις μετρήσεις στις 6 περιοχές). Οι τιμές έχουν απεικονιστεί με φθίνουσα σειρά. Σε συνδυασμό με τις αντιστοιχίσεις του Πίνακα 5, γίνεται αμέσως αντιληπτό οι μέγιστες τυπικές αποκλίσεις αντιστοιχούν στην τεχνική Single-Base με χρήση μόνο GPS, ενώ οι ελάχιστες τιμές αντιστοιχούν στην τεχνική VRS με full GNSS, αποτελέσματα που συνάδουν απόλυτα με τη θεωρία των GNSS και των δικτυακών τεχνικών RTK. Επίσης βλέπουμε ότι η τεχνική Single-Base με full GNSS (στο διάγραμμα εμφανίζεται με το όνομα *SB_RTCM32_GGGB*) υπερτερεί της τεχνικής VRS όταν αυτή εφαρμόζεται μόνο με GPS ή με GPS&GLONASS, γεγονός που αναδεικνύει τα σημαντικά πλεονεκτήματα του full GNSS.

Στα διαγράμματα της Εικόνας 7 δίνονται για κάθε mount-point το μέσο σφάλμα των οριζόντιων συντεταγμένων (αριστερά) και του υψομέτρου (μέση τιμή από τις μετρήσεις στις 6 περιοχές). Ως λύση αναφοράς για τον υπολογισμό των σφαλμάτων χρησιμοποιήθηκε η λύση VRS με full GNSS, η οποία είχε την μικρότερη τυπική απόκλιση, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Αξίζει να σημειωθεί ότι για το σύνολο των mount-points το μέσο σφάλμα των οριζόντιων απόκλιση συντεταγμένων είναι μικρότερο από 1 cm, απόδοση που θεωρείται ιδιαίτερα ικανοποιητική. Αντίστοιχα, με εξαίρεση την τεχνική Single-Base με χρήση μόνο GPS, το μέσο υψομετρικό σφάλμα δεν υπερβαίνει τα 1.2 cm.

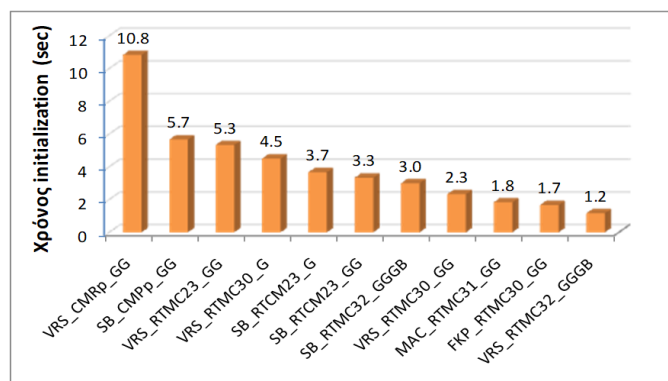
Σε ότι αφορά το χρονικό διάστημα που χρειάστηκε για να επιτευχθεί λύση fixed, ο μέσος χρόνος για κάθε mount-point δίνεται στην Εικόνα 8. Σε ότι αφορά τις υπηρεσίες full GNSS, βλέπουμε ότι με Single-Base χρειάστηκαν κατά μέσο όρο 3 sec ενώ με VRS χρειάστηκαν κατά μέσο όρο μόλις 1.2 sec. Αναφορικά με τον αυξημένο χρόνο (10.8 sec) που αντιστοιχεί στο VRS με GPS&GLONASS και πρωτόκολλο CMR+, είναι κάτι το οποίο δεν πρέπει να γενικεύεται. Έχει διαπιστωθεί ότι η απόδοση των mount-points σχετίζεται και με το συγκεκριμένο μοντέλο του δέκτη που χρησιμοποιείται και ότι μικρές διαφοροποιήσεις μπορούν να παρουσιάζονται μεταξύ δεκτών. Σε κάθε περίπτωση, η εκτενής εμπειρία που υπάρχει από τη χρήση του HEPOS με διάφορα μοντέλα δεκτών, επιβεβαιώνει ότι τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι απόλυτα αντιπροσωπευτικά.



ΕΙΚΟΝΑ 6: Σύγκριση τεχνικών RTK (mount-points) του HEPOS: Μέση τυπική απόκλιση οριζόντιων συντεταγμένων (αριστερά) και υψομέτρου (δεξιά).



ΕΙΚΟΝΑ 7: Σύγκριση τεχνικών RTK (mount-points) του HEPOS: Μέσο σφάλμα οριζόντιων συντεταγμένων (αριστερά) και υψομέτρου (δεξιά).



ΕΙΚΟΝΑ 8: Σύγκριση τεχνικών RTK (mount-points) του HEPOS: Χρόνος επίτευξης λύσης fixed.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν από την παραπάνω ανάλυση δεδομένων συνοψίζονται ως εξής:

- Η μέση τυπική απόκλιση που επιτυγχάνεται με το HEPOS κυμαίνεται (αναλόγως του mount point) μεταξύ 6mm και 1.1cm (οριζοντιογραφικά) και μεταξύ 1.0 cm και 1.9 cm (υψομετρικά).
- Το μέσο σφάλμα κυμαίνεται (αναλόγως του mount point) μεταξύ 6mm και 1.1cm (οριζοντιογραφικά) και μεταξύ 1.0 cm και 1.9 cm (υψομετρικά).
- Οι τεχνικές full GNSS υπερτερούν σαφώς έναντι της χρήσης μόνο GPS ή GPS&GLONASS.
- Την υψηλότερη απόδοση έχει η τεχνική VRS με full GNSS.
- Ο τυπικός χρόνος για επίτευξη λύσης fixed με full GNSS 3 sec για Single-Base και 1.2 sec για VRS.

Όλες οι παραπάνω τιμές θεωρούνται ιδιαίτερα ικανοποιητικές και επιβεβαιώνουν τα σημαντικά πλεονεκτήματα των τεχνικών full GNSS καθώς και το υψηλό επίπεδο υπηρεσιών εντοπισμού που παρέχει το HEPOS.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Gianniou M. (2008a). HEPOS: Designing and Implementing an RTK-Network, *Geoinformatics Magazine for Surveying, Mapping & GIS Professionals*, Jan./Feb. 2008 Vol 11(1), p.p 10-13.

- Gianniou M. (2008b). HEPOS: Modern network-based GPS surveying, *GIS GPS 2008: A supplement to Civil Engineering Surveyor, The Journal of the Civil Engineering Surveyors UK*, 2008, p.p 4-7.
- Gianniou, M. (2011). National Report of Greece to EUREF 2011, *EUREF 2011 Symposium*, May 25-28 2011, Chisinau, Moldova.
- Gianniou, M., D. Mastoris (2013). National Report of Greece to EUREF 2013, *EUREF 2013 Symposium*, May 29-31 2013, Budapest, Hungary.
- Katsampalos, K., C. Kotsakis, M. Gianniou, (2010). Hellenic Terrestrial Reference System 2007 (HTRS07): a regional densification of ETRS89 over Greece in support of HEPOS, *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, Vol. LXIX , N. 2-3, 2010, pp. 329-347.
- Κωτσάκης, Χ., Κατσάμπαλος, Κ., Γιαννίου, Μ. (2010). Μοντέλο μετασχηματισμού συντεταγμένων μεταξύ του συστήματος αναφοράς του HEPOS (HTRS07) και του Ελληνικού Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς (ΕΓΣΑ87) - Βασική μεθοδολογία και αριθμητικά παραδείγματα, ΤΑΜΤ/ΑΠΘ – ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε.
- Li, X., Zhang, X., Ren, X. *et al.* Precise positioning with current multi-constellation Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou. *Sci Rep* **5**, 8328 (2015). <https://doi.org/10.1038/srep08328>
- Odiijk, D. (2014). Multi-GNSS Precise Positioning: New Solutions, New Challenge. *Inside GNSS*, 32-33.