



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**GREEK TRACEABILITY SYSTEM**



**FUNCTIONING – POSSIBILITIES**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΡΑΓΚΟΥΣΗΣ ΑΝΔΡΕΑΣ  
ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΑΡΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2011**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Κάθε επαγγελματική κοινότητα προσπαθεί να δημιουργήσει έργο και να το προωθήσει χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα μέσα. Όταν τα μέσα αυτά δεν είναι εξ' ολοκλήρου λειτουργικά προχωράει στην έρευνα και την επιστήμη νέων τεχνολογιών. Στο τομέα της Γεωδαισίας οι ειδικοί του κλάδου εξέλιξαν προηγούμενα γεωδαιτικά συστήματα και δημιούργησαν το Ελληνικό Σύστημα Εντοπισμού (HEPOS).

Το HEPOS αναπτύχθηκε από την Κτηματολόγιο ΑΕ, η οποία και το λειτουργεί. Ιδρύθηκε το 2007 και τέθηκε σε λειτουργία το Φεβρουάριο του 2008 και σε πρώτη φάση χρησιμοποιήθηκε από τις εταιρείες που εκπονούν έργα του Εθνικού Κτηματολογίου ενταγμένα στο Γ'ΚΠΣ. Ήδη διατίθεται σε κάθε ενδιαφερόμενο, ο οποίος θα μπορεί με έναν γεωδαιτικό δέκτη GPS να προσδιορίζει τη θέση του σε όλη την επικράτεια (ηπειρωτική και νησιωτική) με ακρίβεια της τάξης του εκατοστού, ενιαία για όλη τη χώρα, και μάλιστα, με τον κατάλληλο εξοπλισμό, σε πραγματικό χρόνο. Το σύστημα HEPOS χρηματοδοτήθηκε κατά 50% από την Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω του προγράμματος Κοινωνία της Πληροφορίας.

Ενδεχομένως, τα επιτεύγματα της τεχνολογίας, ύστερα από κάποιο χρόνο να δημιουργήσουν την ανάγκη εξεύρεσης ενός άλλου συστήματος. Οι ανάγκες της εκάστοτε εποχής δημιουργούν τις απαιτήσεις, που στη παρούσα φάση όμως, καλύπτονται από το υπάρχον σύστημα εντοπισμού (HEPOS). Έως ότου έρθουν στο προσκήνιο νεότερα δεδομένα, το HEPOS ανταποκρίνεται σε μεγάλο βαθμό στις προσδοκίες των ανθρώπων που το δημιούργησαν.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον εποπτεύοντα καθηγητή μου κο. Ανδρέα Σαραντόπουλο που μου ανέθεσε την εκπόνηση της εργασίας αυτής. Οι πληροφορίες και το υλικό που μου παρείχε ήταν καθοριστικά για τη σωστή και ομαλή διεκπεραίωση της.

Ταυτόχρονα θέλω να ευχαριστήσω όλους εκείνους που στάθηκαν σημαντικοί αρωγοί στην προσπάθειά μου, οι οποίοι μου προσέφεραν τις γνώσεις και φυσικά το χρόνο τους.

Επιπλέον, ευχαριστώ τους ανθρώπους εκείνους που στάθηκαν δίπλα μου και έδειξαν μεγάλη υπομονή κατά τη διάρκεια της προσπάθειάς μου να ολοκληρώσω την εργασία αυτή καθώς επίσης και καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος, αφιερώνω την προσπάθειά μου αυτή στην αγαπημένη μου οικογένεια που είναι πάντα δίπλα μου και με στηρίζει σε κάθε μου επιλογή.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το Ελληνικό Σύστημα Εντοπισμού HEPOS (HEllenic POsitioning System) είναι ένα σύγχρονο σύστημα εντοπισμού το οποίο επιτρέπει τον προσδιορισμό θέσης με υψηλή ακρίβεια αξιοποιώντας το υφιστάμενο Παγκόσμιο δορυφορικό Σύστημα Εντοπισμού GPS.

Το HEPOS αποτελείται από ένα σύνολο 98 μόνιμων Σταθμών Αναφοράς GPS κατανεμημένων σε ολόκληρη τη χώρα, ένα Κέντρο Ελέγχου και ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο το οποίο αναλαμβάνει την αμφίδρομη διασύνδεση των Σταθμών Αναφοράς με το Κέντρο Ελέγχου.

Μερικά από τα σημαντικά πλεονεκτήματα του HEPOS είναι ότι προσδιορίζει με ακρίβεια λίγων εκατοστών τη θέση ενός σημείου σε «πραγματικό χρόνο», μειώνει σχεδόν κατά το ήμισυ το κόστος προμήθειας εξοπλισμού για το χρήστη, αυξάνει την αμεσότητα, οικονομία και αποδοτικότητα στην καθημερινή τοπογραφική πρακτική και μέσω αυτού επιτυγχάνονται ομοιογενείς και ακριβείς τοπογραφικές μετρήσεις σε όλη τη χώρα.

Το Μάιο του 2009 ξεκίνησε η διάθεση των υπηρεσιών του HEPOS σε όλους τους ενδιαφερόμενους και σήμερα το σύστημα χρησιμοποιείται καθημερινά από πλήθος χρηστών.

Το HEPOS παρέχει δύο ειδών υπηρεσίες προσδιορισμού θέσης: Τις υπηρεσίες πραγματικού χρόνου (real-time) και τις υπηρεσίες μετεπεξεργασίας (post-processing). Οι υπηρεσίες πραγματικού χρόνου περιλαμβάνουν τόσο τεχνικές DGPS (ακρίβεια της τάξης του 0.5 m) όσο και εφαρμογές RTK (ακρίβεια της τάξης των λίγων cm).

Το HEPOS απευθύνεται σε Τοπογράφους Μηχανικούς και γενικότερα επαγγελματίες του χώρου των γεωεπιστημών, ιδιώτες μελετητές και κατασκευαστές έργων, Πανεπιστημιακούς και Ερευνητικούς φορείς, αλλά και δημόσιες Υπηρεσίες και Οργανισμούς. Παράλληλα, το έργο συνεισφέρει σημαντικά στην επιστημονική έρευνα σε τομείς όπως η Γεωδυναμική, η Γεωλογία και η δορυφορική Γεωδαισία.

Το γεωδαιτικό σύστημα του HEPOS ονομάζεται HTRS07 (Hellenic Terrestrial Reference System 2007), συγχρηματοδοτήθηκε από την Ε.Ε. και αποτελεί υλοποίηση του ETRS89 στον Ελλαδικό χώρο. Το Κτηματολόγιο Α.Ε. με τη συνεργασία του ΓΑΤΜ/ΑΠΘ ανέπτυξε το μοντέλο αμφίδρομου μετασχηματισμού μεταξύ του HTRS07 και ΕΓΣΑ87 (Ελληνικού Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς).

Τέλος για την εγγραφή στις υπηρεσίες του συστήματος υπάρχει τέλος εγγραφής, (το οποίο καταβάλλεται μία φορά με την εγγραφή), και είναι ανά παρεχόμενη υπηρεσία (RTK, DGPS, και μετεπεξεργασία), καθώς και αντίστοιχο τέλος χρήσης ανά παρεχόμενη υπηρεσία, που είναι με βάση το χρόνο χρήσης των υπηρεσιών (το οποίο καταβάλλεται μηνιαία).

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....</b>	<b>I</b>
<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....</b>	<b>II</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....</b>	<b>III</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....</b>	<b>V</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>1</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: Η ΠΟΡΕΙΑ ΠΡΟΣ ΤΟ ΗΕΡΟΣ.....</b>	<b>2</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>:ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ .....</b>	<b>6</b>
2.1 Εισαγωγή .....	6
2.2 Βασικός σκοπός του ΗΕΡΟΣ .....	6
2.3 Εφαρμογή σε άλλους τομείς .....	6
2.4 Οι χρήστες του ΗΕΡΟΣ.....	7
2.5 Τα επιτεύγματα του ΗΕΡΟΣ.....	7
2.6 Πλαίσιο υλοποίησης .....	7
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>:ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΗΕΡΟΣ .....</b>	<b>9</b>
3.1 Εισαγωγή .....	9
3.2 Αρχιτεκτονική του ΗΕΡΟΣ .....	9
3.2.1 Σταθμοί Αναφοράς.....	9
3.2.1.1 Επιλογή θέσεων και δεκτών σταθμών αναφοράς.....	11
3.2.2 Τηλεπικοινωνιακό δίκτυο .....	14
3.2.3 Κέντρο Ελέγχου .....	15
3.5 Τρόπος λειτουργίας του ΗΕΡΟΣ .....	16
3.6 Απαιτούμενος εξοπλισμός χρηστών .....	17
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>:ΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΤΟΥ ΗΕΡΟΣ.....</b>	<b>19</b>
4.1 Εισαγωγή .....	19

4.2 Ιστορικό των δικτυακών τεχνικών .....	19
4.3 Τι είναι δικτυακές τεχνικές.....	19
4.4 Πλεονεκτήματα των δικτυακών τεχνικών .....	19
4.5 Δικτυακές τεχνικές και HEPOS.....	20
4.5.1 Εικονικοί Σταθμοί Αναφοράς – VRS .....	20
4.5.2 Σταθμοί Μετάδοσης Παραμέτρων Επιφανειακών Διορθώσεων – FKP (Flachen Korrektur Parameter) .....	23
4.5.3 Τεχνική MAC: Master-Auxiliary Concept.....	25
4.6 Κριτήρια επιλογής δικτυακής τεχνικής.....	25
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5Ο:ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ ΤΟΥ HEPOS.....</b>	<b>26</b>
5.1 Εισαγωγή .....	26
5.2 Υπηρεσίες πραγματικού χρόνου .....	26
5.2.1 Απαιτούμενος Εξοπλισμός Χρηστών.....	26
5.2.2 Σημαντικά χαρακτηριστικά των υπηρεσιών πραγματικού χρόνου .....	27
5.2.3 Επιλογή τρόπου σύνδεσης με το Κέντρο Ελέγχου .....	28
5.3 Υπηρεσίες μετεπεξεργασίας .....	29
5.3.1 Απαιτούμενος Εξοπλισμός Χρηστών.....	29
5.3.2 Σημαντικά χαρακτηριστικά των υπηρεσιών μετεπεξεργασίας.....	30
5.3.3 Διαδικασία παραγγελίας αρχείων RINEX.....	30
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6Ο:ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ DGPS .....</b>	<b>31</b>
6.1 Εισαγωγή .....	31
6.2 Ιστορική εξέλιξη.....	31
6.3 Single-base DGPS .....	32
6.4 Network-DGPS .....	32
6.5 Πλεονεκτήματα των τεχνικών DGPS.....	33
6.6 Η τεχνική διαφορικού εντοπισμού DGPS.....	34
6.7 Διαθεσιμότητα υπηρεσιών DGPS.....	34
6.8 Απαιτούμενος εξοπλισμός .....	35
6.9 Τρόποι εργασίας .....	36
6.10 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ GIS/DGPS .....	37
6.11 ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ DGPS ΤΟΥ HEPOS.....	37

6.11.1 Απαιτούμενος εξοπλισμός .....	39
6.11.2 Σύνδεση με το Κέντρο Ελέγχου .....	39
<b>6.12 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ .....</b>	<b>39</b>
6.12.1 Περιγραφή των στατικών μετρήσεων.....	39
6.12.2 Περιγραφή των κινηματικών μετρήσεων .....	41
6.12.3 Ανάλυση δεδομένων.....	43
6.12.3.1 Επεξεργασία των στατικών μετρήσεων.....	43
6.12.3.2 Επεξεργασία των κινηματικών μετρήσεων .....	44
6.12.4 Συμπεράσματα.....	44
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>:ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ HEPOS.....</b>	<b>46</b>
7.1 Εισαγωγή .....	46
7.2 Βασικές έννοιες Συστημάτων Αναφοράς Συντεταγμένων .....	46
7.3 Το ΓΣΑ του HEPOS .....	46
7.4 Το προβολικό σύστημα του HEPOS.....	47
7.5 Προσδιορισμός συντεταγμένων στο HTRS07 και στο ΕΓΣΑ87 με το HEPOS .....	47
7.6 Μοντέλο μετασχηματισμού μεταξύ HTRS07 και ΕΓΣΑ87 .....	48
7.7 Προσδιορισμός υψομέτρων με το HEPOS .....	48
7.8 Υπολογισμός μοντέλου γεωειδούς .....	48
7.9 Ακρίβεια που επιτυγχάνεται με το HEPOS .....	49
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup>:ΤΟ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ HTRS07 (HELLENIC TERRESTRIAL REFERENCE SYSTEM 07) ΤΟΥ HEPOS .....</b>	<b>50</b>
8.1 Εισαγωγή-εξέλιξη.....	50
8.2 Το ETRS89.....	51
8.3 Το HTRS07 και η Ευρωπαϊκή του διάσταση.....	52
8.4 ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΣΥΝΟΧΗ ΤΟΥ ΕΓΣΑ87 .....	53
8.5 Επίσημο μοντέλο μετασχηματισμού HTRS07 - ΕΓΣΑ87 .....	54
8.5.1 Περιγραφή του επίσημου μοντέλου μετασχηματισμού.....	55
8.5.2 Υλοποίηση του επίσημου μοντέλου μετασχηματισμού .....	56
8.6 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΕΓΣΑ87 ΜΕ ΤΟ HEPOS.....	56
8.7 Αριθμητικά παραδείγματα .....	58
8.7.1 Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν .....	58



8.7.2 Επεξεργασία μετρήσεων .....	58
8.7.3 Ανάλυση αποτελεσμάτων .....	59
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup>: ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΕΧΩΜΕΝΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΤΟΥ ΗΕΡΟΣ...</b>	<b>61</b>
9.1 Κοστολόγηση των παρεχόμενων υπηρεσιών του ΗΕΡΟΣ .....	61
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10<sup>ο</sup>: ΣΥΝΟΨΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>67</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>68</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ήταν επιτακτική η ανάγκη δημιουργίας ενός συστήματος που να ακολουθεί τα σύγχρονα Ευρωπαϊκά δεδομένα στο τομέα της Γεωδαισίας και να μπορεί να προσαρμόζεται στις εκάστοτε ανάγκες. Οι ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις στο τομέα της δορυφορικής Γεωδαισίας, καθώς και η ανάγκη σύνταξης του Εθνικού Κτηματολογίου αποτέλεσαν τον κινητήριο μοχλό για την ανάπτυξη του Ελληνικού Συστήματος Εντοπισμού (HEPOS).

Το HEPOS (HEllenic POsitioning System) είναι ένα σύστημα το οποίο παρέχει υπηρεσίες προσδιορισμού θέσης **υψηλής ακρίβειας** αξιοποιώντας το υφιστάμενο παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα (GPS). Συστήματα σαν και αυτό λειτουργούν τα τελευταία χρόνια στις περισσότερες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Είναι σημαντικό γιατί αναβαθμίζει τη γεωδαιτική υποδομή της χώρας και διασφαλίζει τη συμβατότητα στη δημιουργία εθνικής υποδομής χωρικών πληροφοριών με τις κατευθύνσεις της Ε.Ε..

Η παρούσα εργασία παρέχει χρήσιμες πληροφορίες πρακτικής και θεωρητικής σημασίας για τις λειτουργίες και τις δυνατότητες του HEPOS σκοπεύοντας τη πλήρη κατανόηση του αναγνώστη. Σκοπός αυτής της θεματικής ενότητας είναι να περιγράψει το σχεδιασμό του Ελληνικού Συστήματος, τον τρόπο λειτουργίας του, τον τρόπο χρήσης του, τις δυνατότητες του καθώς και οτιδήποτε έχει σχέση γύρω απ' αυτό.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: Η ΠΟΡΕΙΑ ΠΡΟΣ ΤΟ ΗΕΡΟΣ

Μέχρι το 1987, τα εν χρήσει γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς στην Ελλάδα ήταν κυρίως τρία :

- το ED50 (ΓΥΣ) με προβολή την UTM (ζώνες 34 & 35) στο διεθνές ελλειψοειδές του Hayford, για στρατιωτικές εφαρμογές. Βασικός σταθμός το Potsdam. Κάλυψη όλης της Ελλάδας με 387 φύλλα κλίμακας 1:50.000.



Helmert Tower in Potsdam

- το (παλαιό) ελληνικό datum με προβολές την Hatt (φύλλα 30'x30' και 6'x6') και την TM-3 (τρεις ζώνες), στο ελλειψοειδές του Bessel. Βασικός σταθμός το τριγωνομετρικό Κτυπάς, με περισσότερα από 20,000 σημεία τεσσάρων «τάξεων» ακρίβειας σε όλη την χώρα.

- Το WGS84 για όσους κάνουν χρήση δεκτών GPS. Οι εισαγωγείς – αντιπρόσωποι δεκτών GPS<sup>1</sup> συνήθως καταχωρούν στο λογισμικό τρεις μόνον μεταθέσεις (ακρίβειας περίπου 1 μέτρου) για τον προσεγγιστικό μετασχηματισμό στο «ελληνικό datum» ΕΓΣΑ87.

Το 1987, με την επιστημονική ευθύνη του καθηγητή Γ. Βέη, συντάχθηκε το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του 1987 (ΕΓΣΑ87) προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες σύνταξης του Εθνικού Κτηματολογίου. Πρόκειται για ένα ΣΑ μιας ζώνης, χρησιμοποιώντας την Εγκάρσια Μερκατορική προβολή, βασίστηκε εν μέρει σε τεχνικές δορυφορικής γεωδαισίας, εισήγαγε τη χρήση του ελλειψοειδούς αναφοράς GRS80 (σχεδόν ταυτόσημου με το χρησιμοποιούμενο από το WGS84 για τις ανάγκες του GPS) και ήταν πρακτικά παράλληλο με το WGS84, αλλά μη-γεωκεντρικό. Βασικός σταθμός το κεντρικό βάθρο του Διονύσου.



Βάθρο Διονύσου

Παράλληλα, υπολογίστηκαν τοπικά πολυώνυμα 2ου βαθμού για τον μετασχηματισμό συντεταγμένων από την Hatt στο ΕΓΣΑ87, προκειμένου να αξιοποιηθούν από το Κτηματολόγιο όλα τα παλαιότερα διαγράμματα.

---

<sup>1</sup> GPS (Global Positioning System): παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης

Την περίοδο 1995-1997 υπεβλήθησαν στον ΟΚΧΕ<sup>2</sup> μεμονωμένες εισηγήσεις, προκειμένου να αναληφθούν πρωτοβουλίες εγκατάστασης μόνιμων σταθμών GPS σε διάφορες θέσεις στην Ελλάδα (CORS), προκειμένου να αντιμετωπιστούν επιστημονικές και επαγγελματικές ανάγκες, όπως σε αρκετές χώρες, διεθνώς (Μερτίκας 31/1/95, Κατσάμπαλος 20/2/97). Αν και οι προτάσεις αυτές δεν προχώρησαν, στις 24/2/1997 ανακοινώθηκε από τον καθ. Γ. Βέη ότι λειτουργεί στον σταθμό του Διονύσου δέκτης GPS, τα δεδομένα του οποίου μπορούν να διατεθούν off-line.

Σε μια σειρά από συσκέψεις που πραγματοποιήθηκαν τη διετία 2004-2005 με πρωτοβουλία της Κτηματολόγιο ΑΕ και συμμετέχοντες εκπροσώπους Φορέων και ΑΕΙ, εξετάστηκε η αναγκαιότητα της ίδρυσης ενός νέου συστήματος αναφοράς το οποίο να καλύπτει τις ανάγκες (και ταυτόχρονα να αποτελεί το γεωδαιτικό υπόβαθρο) του HEPOS (Hellenic Positioning System). Μέσω του HEPOS η Ελλάδα θα γινόταν μέλος μιας δεκάδας χωρών που χρησιμοποιούν προηγμένη δορυφορική τεχνολογία για να καλύψουν αυξημένες ανάγκες τρισδιάστατης χωρικής καταγραφής και πλοήγησης. Όπως προκύπτει από τα Πρακτικά των συσκέψεων,

*... θα πρέπει να εξασφαλιστεί ότι ο μετασχηματισμός από το νέο δορυφορικό σύστημα στο ΕΓΣΑ87 (και αντίστροφα) θα πρέπει να γίνεται με μια αβεβαιότητα καλύτερη από 15cm. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι « η εσωτερική ακρίβεια των τριγωνομετρικών σημείων (του ίδιου φύλλου χάρτη) στην πλειοψηφία τους είναι 7cm, ενώ για σημεία που ανήκουν σε διαφορετικά φύλλα χάρτη, αυτή η ακρίβεια περιορίζεται σε 40cm » ...*

Το 2004 η ΓΥΣ ανακοίνωσε τη μέτρηση και τον υπολογισμό ενός δικτύου περίπου 200 σημείων σε όλη την Ελλάδα (HEGNET), χρησιμοποιώντας αποκλειστικά τεχνικές GPS.

---

<sup>2</sup> Ο.Κ.Χ.Ε: Οργανισμός Κτηματολογίου και Χαρτογραφίσεων Ελλάδας

Κατά την τελευταία πενταετία, με πρωτοβουλία αρχικά δύο Πολυτεχνικών Σχολών της χώρας, εγκαταστάθηκαν και λειτουργούν μόνιμοι σταθμοί συλλογής και διάθεσης δεδομένων GPS στα πλαίσια της ευρωπαϊκής δράσης EUREF. Οι σταθμοί αυτοί : TUC2 (Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Ορυκτών Πόρων), AUT1 (ΑΠΘ, Τομέας Γεωδαισίας και Τοπογραφίας) και NOA1 (Εθνικό Αστεροσκοπείο), λειτουργούν σε 24ωρη βάση, ενώ τα δεδομένα τους διατίθενται δωρεάν σε κάθε ενδιαφερόμενο με διαδικασίες ftp από τους σταθμούς επεξεργασίας, μέσω του διαδικτύου.



AUT1

NOA1

TUC2

Τον Δεκέμβριο 2006, με τη διαδικασία για την εγκατάσταση του HEPOS σε εξέλιξη, ανετέθη (μετά από αξιολόγηση) από την Κτηματολόγιο ΑΕ στο ΑΠΘ (Κατσάμπαλος, Κωτσάκης) το έργο της Τεχνικής Βοήθειας (ΤΕ.ΒΟ. ΑΠΘ) για

- την τμηματική επεξεργασία των παρατηρήσεων GPS στους ιδρυόμενους σταθμούς του συστήματος,
- τον ορισμό του νέου συστήματος αναφοράς για τις ανάγκες του HEPOS,
- τον καθορισμό των παραμέτρων του αμφίδρομου μετασχηματισμού μεταξύ του ΣΑ του HEPOS και του ΕΓΣΑ87 και
- τη σύνταξη του λογισμικού για την υλοποίηση αυτού του μετασχηματισμού.

Το έργο αυτό εκτελείται μέσω της Επιτροπής Ερευνών του ΑΠΘ (1/1/2007 έως 30/11/2008).

Την 25/2/2008 ξεκίνησε η επίσημη λειτουργία του HEPOS ως ένα σύστημα 98 μόνιμων σταθμών GPS, με τις θέσεις τους συνορθωμένες στο σύστημα αναφοράς ETRF2005 στην εποχή 2007.5 (ακρίβεια καλύτερη από 1 εκατοστό).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>:ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ**

### **2.1 Εισαγωγή**

Η ανάπτυξη του Ελληνικού Συστήματος Εντοπισμού (HEPOS) είναι ένα από τα έργα του Γ' ΚΠΣ που έχει αναλάβει η ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. εντός του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Κοινωνία της Πληροφορίας» και αποτελεί την γεωδαιτική υποδομή στο έργο του Εθνικού Κτηματολογίου.

### **2.2 Βασικός σκοπός του HEPOS**

Το HEPOS αναπτύχθηκε από την ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. με κύριο σκοπό να καλύψει τις ανάγκες σύνταξης Εθνικού Κτηματολογίου και η συνεισφορά του έγκειται στο ότι βελτιώνει σημαντικά την ακρίβεια συλλογής και καταγραφής των χωρικών στοιχείων του Κτηματολογίου, **επιταχύνει** την σύνταξή του και **μειώνει** το κόστος της σύνταξής του. Παράλληλα:

- επιτρέπει την πλήρη αξιοποίηση των σύγχρονων δορυφορικών τεχνικών
- θέτει τις βάσεις για την υιοθέτηση ενός νέου Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς, το οποίο είναι σύμφωνο με το νέο Ευρωπαϊκό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς ETRS'89 (European Terrestrial Reference System 1989)
- κατατάσσει τη χώρα σε ισάξια θέση με τις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες, σε ότι αφορά την Εθνική Γεωδαιτική υποδομή
- βελτιώνει την ποιότητα των επόμενων μελετών και σχετικών κατασκευαστικών έργων

### **2.3 Εφαρμογή σε άλλους τομείς**

Το HEPOS ως έργο υποδομής μπορεί να έχει εφαρμογή και σε άλλους τομείς όπου υπάρχουν αυξημένες ανάγκες ακρίβειας είτε απαιτείται ακρίβεια εκατοστού είτε ακρίβεια της τάξης του 0.5m. Έτσι πέραν των αναδόχων των έργων της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. απευθύνεται σε ένα ευρύ φάσμα φορέων όπως:

- Δημόσιες Υπηρεσίες και Οργανισμούς
- Τοπογράφους Μηχανικούς και γενικότερα επαγγελματίες του χώρου των γεωεπιστημών
- Ιδιώτες μελετητές και κατασκευαστές έργων
- Πανεπιστημιακούς και ερευνητικούς φορείς

## 2.4 Οι χρήστες του HEPOS

Το σύστημα βρίσκεται σε πλήρη λειτουργία από τα τέλη του 2007, διατίθεται σε χρήστες από το Φεβρουάριο του 2008. Αρχικά είχαμε δύο κατηγορίες χρηστών:

- Αναδόχους έργων Γ' ΚΠΣ της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. (LSO, VLSO, Αιγιαλοί, QC υποβάθρων)
- Αντιπροσώπους εταιριών γεωδαιτικών GPS (για εξοικείωση με το σύστημα ώστε να μπορούν να υποστηρίξουν τους κατόχους των δεκτών που διαθέτουν, όταν αυτοί εγγραφούν στο HEPOS).

Ήδη το σύστημα είναι διαθέσιμο σε κάθε ενδιαφερόμενο και για το λόγο αυτό η πρακτική αυτή πιστεύω ότι θα είναι ιδιαίτερα ενημερωτική και χρήσιμη για όσους ενδιαφέρονται να χρησιμοποιήσουν το HEPOS.

## 2.5 Τα επιτεύγματα του HEPOS

Το σύστημα του HEPOS:

- σχεδιάστηκε εξολοκλήρου από το προσωπικό της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε.
- υλοποιήθηκε σε χρόνο ρεκόρ για τα παγκόσμια δεδομένα, δεδομένου του μεγέθους του δικτύου και των γεωγραφικών ιδιαιτεροτήτων της Ελλάδας
- υλοποιήθηκε εντός του χρονοδιαγράμματος
- υλοποιήθηκε εντός του προϋπολογισμού
- η ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε έχει δεχθεί τα συγχαρητήρια των ελεγκτών της Ε.Ε. για το συγκεκριμένο έργο
- έχουν ζητηθεί από ξένες χώρες οι προδιαγραφές που συνέταξε η ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε.
- έχουν δημοσιευθεί άρθρα για το HEPOS σε ξένα περιοδικά

## 2.6 Πλαίσιο υλοποίησης

Για την υλοποίηση του έργου η ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. έχει συνάψει τέσσερις συμβάσεις. Μια σύμβαση αφορά στην «προμήθεια, εγκατάσταση και συντήρηση του πλήρως λειτουργικού και έτοιμου προς χρήση Ελληνικού Συστήματος Εντοπισμού (HEPOS)» και ανατέθηκε στην Trimble Europe BV με υπεργολάβο τις εταιρίες Geotech και OTENET. Άλλη μια αφορά στη «μελέτη υπολογισμού συντελεστών μετάβασης από το δορυφορικό σύστημα αναφοράς του HEPOS στο ΕΓΣΑ'87» και ανατέθηκε στην Κοινοπραξία Geotech-Toronet.



Λόγω του εξειδικευμένου και ιδιαίτερα επιστημονικού χαρακτήρα του έργου, η ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. έχει υπογράψει και δύο συμβάσεις Τεχνικής Βοήθειας για το HEPOS με τα δύο Τμήματα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών:

- του ΕΜΠ για τη χορήγηση σημείων γνωστών συντεταγμένων στο Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Αναφοράς (ITRF-ETRF)
- του ΑΠΘ για τον ορισμό του συστήματος αναφοράς του HEPOS και την υλοποίηση του αμφίδρομου μετασχηματισμού μεταξύ HEPOS και ΕΓΣΑ'87.

Σημαντική για το έργο ήταν και η συμβολή της Διαχειριστικής Αρχής της Κοινωνίας της Πληροφορίας, η οποία στήριξε σημαντικά το έργο παρέχοντάς μας σημαντική υποστήριξη σε θέματα των αρμοδιοτήτων της. Συντέλεσε με αυτό τον τρόπο ουσιαστικά στην επιτυχή και εντός χρονοδιαγράμματος υλοποίηση του έργου.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΗΕΡΟΣ**

### **3.1 Εισαγωγή**

Το ΗΕΡΟΣ αποτελείται από ένα σύνολο 98 μόνιμων Σταθμών Αναφοράς (ΣΑ) GPS, ένα Κέντρο Ελέγχου (ΚΕ) και ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο το οποίο συνδέει αμφίδρομα τους ΣΑ με το ΚΕ. Οι ΣΑ βρίσκονται κατανεμημένοι σε ολόκληρη τη χώρα όπως φαίνεται στο **Σχήμα 1**. Οι δέκτες GPS των ΣΑ βρίσκονται σε συνεχή λειτουργία και αποστέλλουν ανά δευτερόλεπτο τις μετρήσεις τους μέσω του τηλεπικοινωνιακού δικτύου στο Κέντρο Ελέγχου, το οποίο βρίσκεται στις εγκαταστάσεις του ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. στο Χολαργό Αττικής. Στο ΚΕ γίνεται η συλλογή των δεδομένων, η επεξεργασία τους σε πραγματικό χρόνο και η αρχειοθέτηση των πρωτογενών και παράγωγων δεδομένων. Επίσης το Κέντρο Ελέγχου παραλαμβάνει τα αιτήματα των χρηστών, ετοιμάζει τα δεδομένα που ζητήθηκαν και τα αποστέλλει στους χρήστες. Η εξυπηρέτηση λοιπόν των χρηστών γίνεται πάντοτε μέσω του Κέντρου Ελέγχου.

### **3.2 Αρχιτεκτονική του ΗΕΡΟΣ**

Το ΗΕΡΟΣ λοιπόν αποτελείται από τρεις βασικές συνιστώσες:

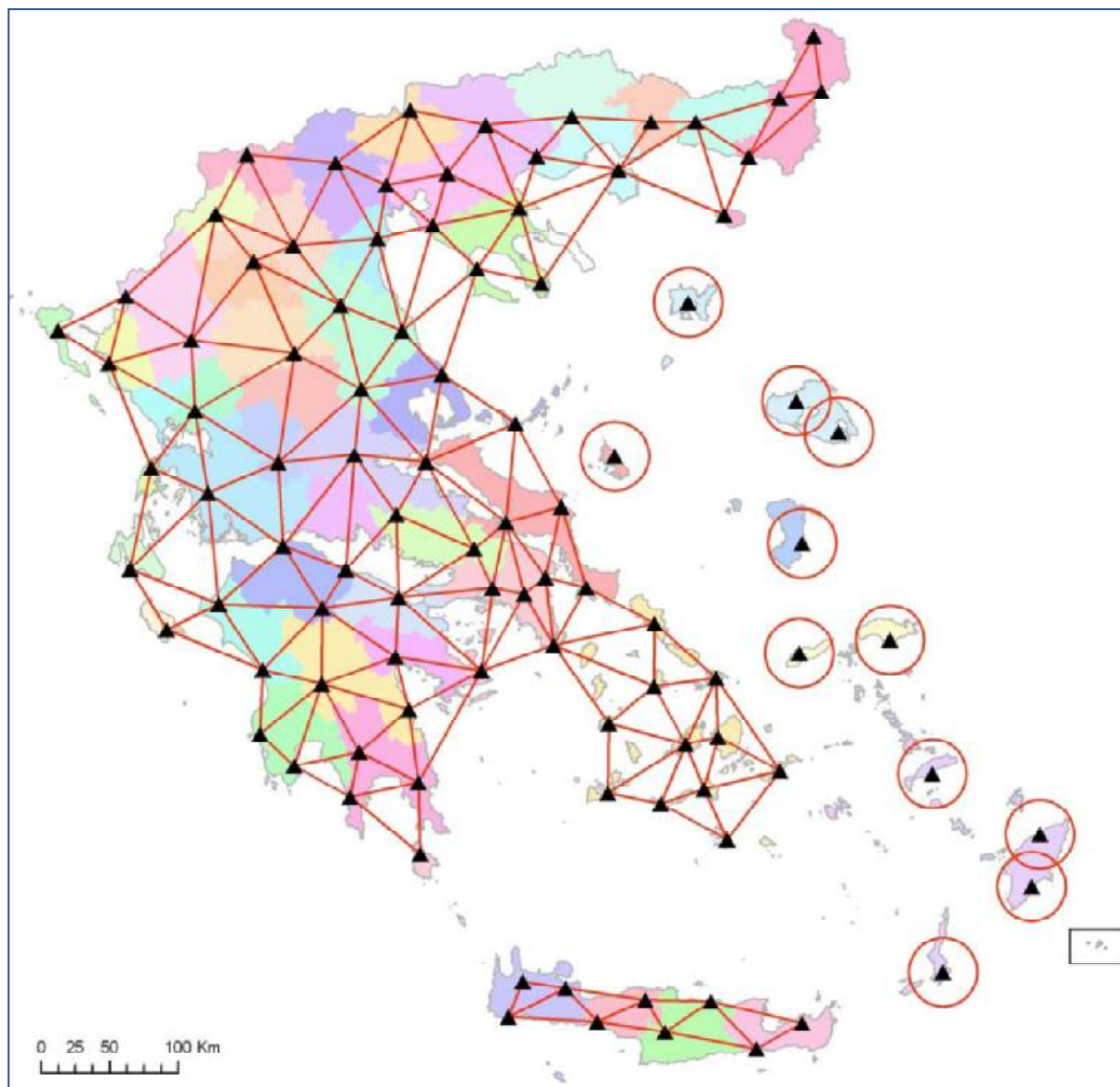
- Τους Σταθμούς Αναφοράς (ΣΑ)
- Το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο
- Το Κέντρο Ελέγχου (ΚΑ)

#### **3.2.1 Σταθμοί Αναφοράς**

Οι σταθμοί αναφοράς, οι οποίοι είναι 98, κατανέμονται σε ολόκληρη τη χώρα και διακρίνονται σε σταθμούς δικτυακής λύσης και μεμονωμένους σταθμούς. Για τους σταθμούς δικτυακής λύσης εφαρμόζεται οι τεχνικές δικτύωσης VRS, FKP και MAC, περιγράφονται στο παρακάτω κεφάλαιο. Τα δεδομένα των μεμονωμένων ΣΑ χρησιμοποιούνται για γεωδαιτικές εφαρμογές (μετρήσεις φάσης) αυτόνομα, χωρίς δηλαδή να εφαρμόζονται τεχνικές δικτύωσης. Για εφαρμογές DGPS<sup>3</sup> (μετρήσεις κώδικα) αξιοποιούνται τα δεδομένα όλων των ΣΑ του ΗΕΡΟΣ. Η δικτύωση των ΣΑ προϋποθέτει την ύπαρξη ενός ελάχιστου αριθμού ΣΑ, τοποθετημένων με κατάλληλη διάταξη σε αποστάσεις μεταξύ τους μέχρι 70 km. Σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό, το 90% των ΣΑ είναι ΣΑ δικτυακής λύσης. Μεμονωμένοι ΣΑ τοποθετήθηκαν στα νησιά του ανατολικού Αιγαίου, όπου η εγκατάσταση ΣΑ δικτυακής λύσης δεν ενδείκνυται από

<sup>3</sup>**DGPS (Differential GPS):** ανεπτυγμένη τεχνική εντοπισμού θέσης. Το DGPS χρησιμοποιεί επίγειους σταθμούς σε συνεργασία με δορυφόρους και παρέχει οριζόντια θέση με **απόκλιση 3 μέτρων**.

τεχνικοοικονομική άποψη. Στο **Σχήμα 3.1** δίνεται ο σχεδιασμός του ΗΕΡΟΣ. Οι κύκλοι κάλυψης των μεμονωμένων ΣΑ έχουν ακτίνα 20 Km, η οποία αντιστοιχεί στο σύνηθες όριο απόστασης του κινητού δέκτη από το ΣΑ για εφαρμογές RTK<sup>4</sup>. Η δικτυακή κάλυψη παρέχεται και σε μια ζώνη λίγων Km έξω από την περιμετρική γραμμή των ΣΑ δικτυακής λύσης. Επίσης οι ΣΑ δικτυακής λύσης μπορούν να χρησιμοποιούνται και ως μεμονωμένοι ΣΑ επεκτείνοντας έτσι ακόμα περισσότερο την κάλυψη έξω από την περιμετρική γραμμή.



**Σχήμα 3.1:** Σχεδιασμός του ΗΕΡΟΣ

<sup>4</sup> RTK (Real Time Kinematic): περιγράφεται στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο

### 3.2.1.1 Επιλογή θέσεων και δεκτών σταθμών αναφοράς

Η επιλογή των θέσεων των ΣΑ αποτελεί έναν ιδιαίτερα σημαντικό παράγοντα για τη λειτουργικότητα του HEPOS. Οι απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούνται σε ένα ΣΑ είναι συνοπτικά οι εξής:

- Απρόσκοπτη ορατότητα προς τους δορυφόρους, η οποία δεν εμποδίζεται από το ανάγλυφο της γύρω περιοχής ή άλλα εμπόδια
- Περιβάλλον πρακτικά απαλλαγμένο από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές και φαινόμενα πολλαπλής ανάκλασης σήματος (multipath)
- Σταθερότητα εγκατάστασης της κεραίας.

Επίσης πρέπει να εξασφαλίζονται στο μέγιστο δυνατό βαθμό τα ακόλουθα:

- Διαθεσιμότητα υποδομών όπως υφιστάμενα κτίρια, ηλεκτρικό ρεύμα και τηλεπικοινωνιακά δίκτυα
- Προσβασιμότητα κατά το δυνατόν σε 24ωρη βάση όλο το χρόνο, προκειμένου να μπορούν να αντιμετωπίζονται άμεσα βλάβες
- Ελεγχόμενη πρόσβαση μόνο σε εξουσιοδοτημένα άτομα προς αποφυγή πρόκλησης ζημιών
- Δυνατότητες αλεξικεραυνικής προστασίας των κεραιών GPS
- Ύπαρξη αρμόδιων ατόμων με τα οποία θα μπορεί να επικοινωνεί η ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. για οποιοδήποτε πρόβλημα.

Οι δέκτες που επιλέχθηκαν ήταν οι Trimble Zephyr Geodetic με θόλο για προστασία από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές και πολυκλαδικά σφάλματα, ενώ για την εγκατάστασή των ΣΑ στα κτίρια προηγήθηκε η τροποποίηση της ισχύουσας νομοθεσίας με το Νόμο 2481/2006, παρ. 1 και του άρθρου 3, (βλ εικόνες 3.2-3.4).



**Εικόνα 3.2:** Αντένες Trimble Zephyr Geodetic με θόλο

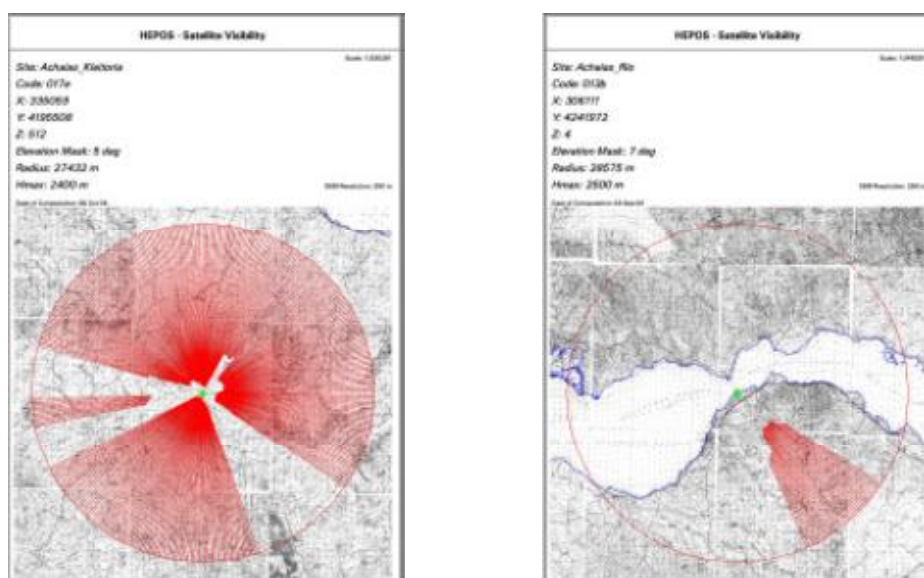


Εικόνα 3.3: Στήριξη ΣΑ σε οροφή



Εικόνα 3.4: Στήριξη ΣΑ σε τοίχο

Για τον έλεγχο της ορατότητας προς τους δορυφόρους αναπτύχθηκε από στελέχη της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. ειδική εφαρμογή σε περιβάλλον GIS<sup>5</sup>. Με την εφαρμογή αυτή ελέγχεται, με βάση το ανάγλυφο της περιοχής, η ορατότητα προς τους δορυφόρους για οποιοδήποτε σημείο στην Ελλάδα για γωνία ανύψωσης μεγαλύτερη από κάποια συγκεκριμένη τιμή (elevation mask). Ως μοντέλο για το ανάγλυφο χρησιμοποιήθηκε αυτό της αποστολής της SRTM-3 της NASA, το οποίο ελέγχθηκε και κρίθηκε ικανοποιητικό για τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης εφαρμογής. Στο **Σχήμα 3.5** δίνονται ενδεικτικά δύο διαγράμματα ορατότητας προς τους δορυφόρους για δύο σημεία στη Πελοπόννησο. Το αριστερό διάγραμμα δίνει ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα περιοχής όπου η εγκατάσταση σταθμού αναφοράς είναι απαγορευτική. Το δεξί διάγραμμα αναφέρεται σε μία περιοχή, όπου ελλείψει άλλης καταλληλότερης, θα μπορούσε να τοποθετηθεί σταθμός αναφοράς. Στην πλειοψηφία τους οι θέσεις των ΣΑ θα εξασφαλίζουν πλήρη ορατότητα προς τους δορυφόρους, για γωνία ανύψωσης μεγαλύτερη των 5°.



**Σχήμα 3.5:** Διαγράμματα ορατότητας προς τους δορυφόρους

Με βάση τον έλεγχο ορατοτήτων και λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη τη διαθεσιμότητα υποδομών έγινε η επιλογή των περιοχών των ΣΑ που φαίνονται στο Σχήμα 3.1.

<sup>5</sup> **GIS (Geographic Information System):** κάθε σύστημα υπολογιστή, που έχει τη δυνατότητα να χειρίζεται γεωγραφικά δεδομένα λέγεται Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών. Δεν περιλαμβάνει μόνο λογισμικό και υλικό αλλά και ειδικές συσκευές για εισαγωγή και δημιουργία χαρτών, καθώς και τα συστήματα επικοινωνιών που απαιτούνται για να συνδέσουν τα διάφορα συστατικά από τα οποία αποτελούνται.

### 3.2.2 Τηλεπικοινωνιακό δίκτυο

Η τεχνική της δικτύωσης των ΣΑ προϋποθέτει ότι οι μετρήσεις των δεκτών GPS των ΣΑ θα μεταφέρονται σε πραγματικό χρόνο σε ένα Κέντρο Ελέγχου όπου θα γίνεται η από κοινού επεξεργασία τους για τον υπολογισμό των παραμέτρων δικτυακής λύσης. Για το λόγο αυτό, κάθε ΣΑ θα είναι μόνιμα συνδεδεμένος με το Κέντρο Ελέγχου μέσω τηλεπικοινωνιακής ζεύξης. Κάθε ΣΑ υποστηρίζεται από ένα σύστημα επεξεργασίας των δεδομένων που ονομάζεται Rack (βλ φωτογραφίες 3.6). Επίσης για κάθε σταθμό αναφοράς προβλέπεται και εφεδρική σύνδεση με το Κέντρο Ελέγχου, η οποία θα ενεργοποιείται αυτόματα σε περίπτωση αστοχίας της κύριας γραμμής επικοινωνίας. Η εφεδρική σύνδεση θα υλοποιείται με διαφορετικό τρόπο απ' ό τι η κύρια γραμμή, προκειμένου να αποκλείεται η περίπτωση ταυτόχρονης αστοχίας της κύριας και της εφεδρικής γραμμής.



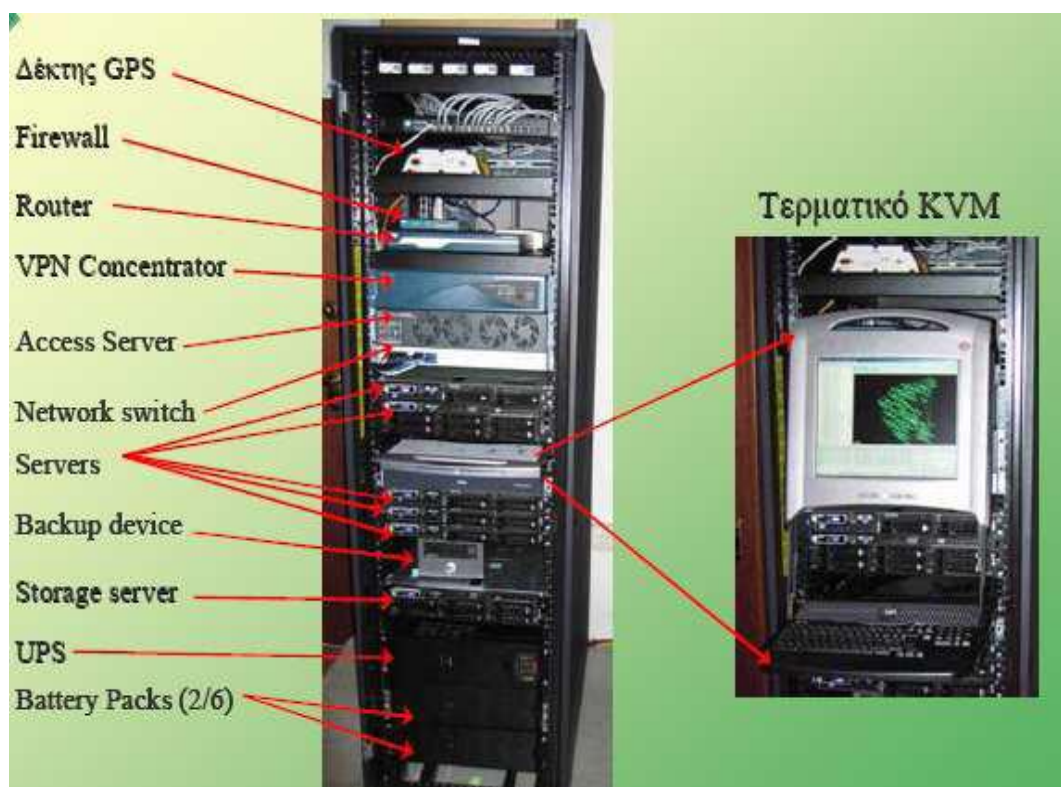
Εικόνα 3.6: Rack Σταθμού Αναφοράς

Αν και η μεταφορά των δεδομένων θα γίνεται ως επί το πλείστον από τους ΣΑ προς το ΚΕ, πρέπει να είναι εφικτή και η μεταφορά δεδομένων από το ΚΕ προς κάθε ΣΑ προκειμένου να υπάρχει δυνατότητα ελέγχου και ρύθμισης του δέκτη GPS καθώς και αναβάθμισης του λογισμικού λειτουργίας του δέκτη (firmware). Για τους λόγους αυτούς τόσο οι κύριες όσο και οι εφεδρικές τηλεπικοινωνιακές γραμμές θα υλοποιούν αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ ΣΑ και ΚΕ.

### 3.2.3 Κέντρο Ελέγχου

Την καρδιά του ΗΕΡΟΣ αποτελεί το Κέντρο Ελέγχου. Στο Κέντρο Ελέγχου εκτελούνται κατά κύριο λόγο οι εξής λειτουργίες:

- Η συγκέντρωση των δεδομένων των ΣΑ και η προώθηση τους στο λογισμικό δικτύωσης
- Η λειτουργία του λογισμικού δικτύωσης
- Η εξυπηρέτηση των χρηστών εφαρμογών τόσο πραγματικού χρόνου (RTK) όσο και επεξεργασίας στο γραφείο (post-processing)
- Η παρακολούθηση της λειτουργίας του συστήματος και η λειτουργία της ανοιχτής γραμμής επικοινωνίας με τους χρήστες
- Η αρχειοθέτηση των δεδομένων



Εικόνα 3.7: Κέντρο Ελέγχου ΗΕΡΟΣ

Ο απαιτούμενος εξοπλισμός για την υλοποίηση των παραπάνω λειτουργιών είναι κατά κύριο λόγο:

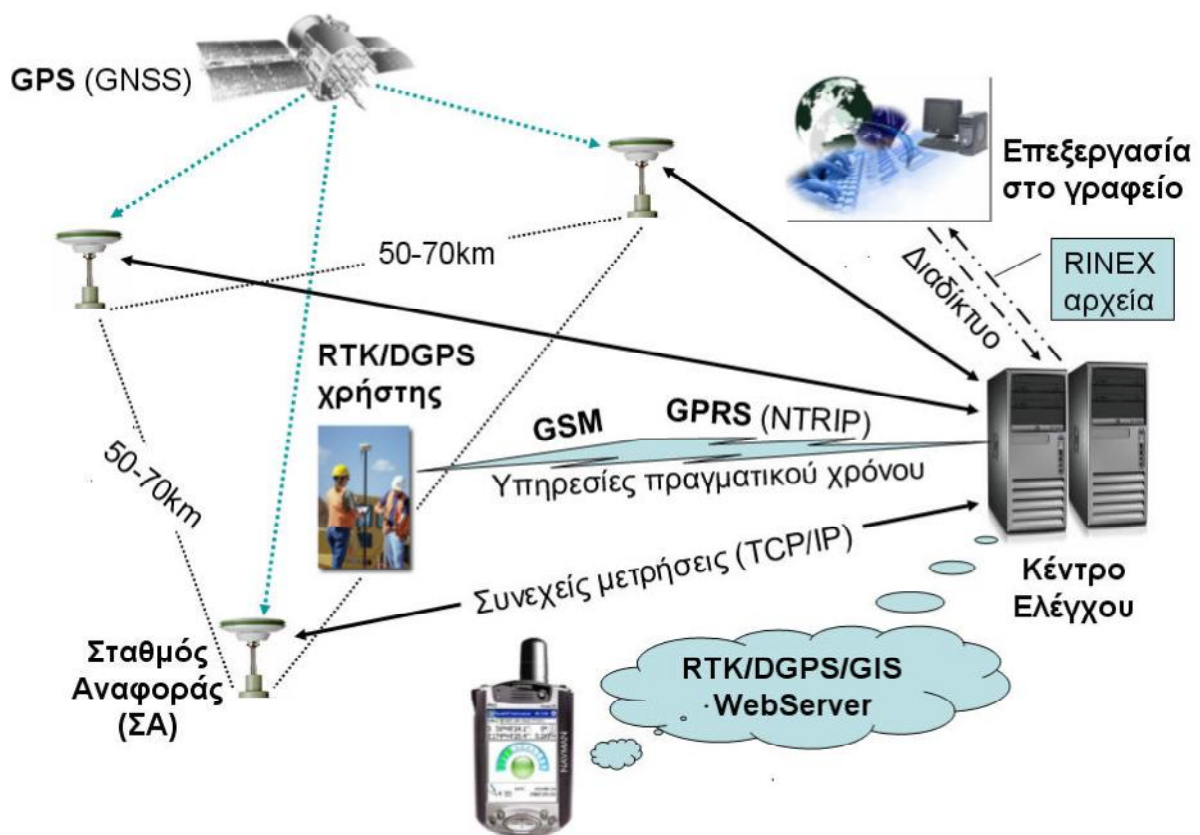
- Ο τηλεπικοινωνιακός εξοπλισμός (routers κ.λ.π.) για την συγκέντρωση και δρομολόγηση των εισερχόμενων δεδομένων των ΣΑ
- Οι Η/Υ για τη λειτουργία του λογισμικού δικτύωσης
- Ο τηλεπικοινωνιακός εξοπλισμός για τη διαχείριση των κλήσεων των χρηστών εφαρμογών πραγματικού χρόνου (RTK)



- Ο εξοπλισμός για τη λειτουργία του διαδικτυακού εξυπηρετητή των εφαρμογών επεξεργασίας στο γραφείο (post-processing)
- Τα τερματικά χειρισμού του συστήματος
- Ο εξοπλισμός για τη μόνιμη αρχειοθέτηση των δεδομένων, μετά την πάροδο του διαστήματος κατά το οποίο τα δεδομένα θα είναι on-line διαθέσιμα στους χρήστες
- Υποστηρικτικός εξοπλισμός όπως UPS, firewall κ.λ.π.

### 3.5 Τρόπος λειτουργίας του HEPOS

Οι ΣΑ βρίσκονται σε συνεχή λειτουργία και αποστέλλουν ανά δευτερόλεπτο τις μετρήσεις τους προς το Κέντρο Ελέγχου. Η αποστολή των μετρήσεων στο ΚΕ γίνεται σε 24ωρη βάση και σε πραγματικό χρόνο. Το λογισμικό δικτύωσης του ΚΕ συγχρονίζει τις μετρήσεις που αναφέρονται στην ίδια εποχή (epoch), στο ίδιο δηλαδή δευτερόλεπτο του χρόνου GPS και τις επεξεργάζεται για τη μοντελοποίηση των σφαλμάτων και τον υπολογισμό των δεδομένων σταθμού αναφοράς, τα οποία απαιτούνται για το σχετικό προσδιορισμό θέσης με GPS. Οι χρήστες μπορούν να παίρνουν τα δεδομένα είτε σε πραγματικό χρόνο μέσω GSM-modem ή GPRS για εφαρμογές RTK, είτε μέσω διαδικτυακού εξυπηρετητή (web server) για εφαρμογές επεξεργασίας στο γραφείο.



Σχήμα 3.8: Τρόπος λειτουργίας HEPOS

Για εφαρμογές RTK οι χρήστες συνδέουν το δέκτη με ένα GSM ή GPRS modem, μέσω του οποίου καλούν το Κέντρο Ελέγχου του ΗΕΡΟΣ, το οποίο αυτόματα αποστέλλει τα απαιτούμενα δεδομένα διορθώσεων. Για εφαρμογές επεξεργασίας στο γραφείο ο χρήστης συνδέεται με το διαδικτυακό εξυπηρετητή στο ΚΕ και λαμβάνει δεδομένα RINEX<sup>6</sup> με ρυθμό καταγραφής και διάρκεια που ορίζει αυτός. Τα δεδομένα αυτά μπορεί να είναι είτε αυτά που κατέγραψε ένας (πραγματικός) ΣΑ είτε αυτά που υπολογίστηκαν από το ΚΕ για ένα εικονικό ΣΑ (βλ. κεφάλαιο «τεχνικές δικτύωσης»), τις συντεταγμένες του οποίου προσδιόρισε ο χρήστης.

Ένας ιδιαίτερα κρίσιμος παράγοντας για την ομαλή λειτουργία κάθε δικτύου όπως το ΗΕΡΟΣ είναι η εξασφάλιση πολύ μικρών καθυστερήσεων σε κάθε στάδιο της λειτουργίας του συστήματος, δηλαδή κατά τη μεταφορά των μετρήσεων των ΣΑ, την επεξεργασία τους από το λογισμικό δικτύωσης, τη διαχείριση των αιτημάτων των χρηστών και την αποστολή δεδομένων σε αυτούς. Για την εκτέλεση μετρήσεων RTK, οι διορθώσεις RTCM<sup>7</sup> που αποστέλλονται από το Κέντρο Ελέγχου προς το χρήστη πρέπει να φτάνουν σε αυτόν σε μέγιστη καθυστέρηση 2-3 sec. Το χρονικό αυτό διάστημα βρίσκεται εντός των ορίων λειτουργίας όλων πρακτικά των δεκτών RTK που χρησιμοποιούνται σήμερα. Εξάλλου η μικρή αυτή καθυστέρηση δεν επηρεάζει την αποδοτικότητα της τεχνικής RTK με μοναδική εξαίρεση κινηματικές μετρήσεις, κατά τις οποίες ο δέκτης βρίσκεται σε όχημα και κινείται με μεγάλη ταχύτητα.

### 3.6 Απαιτούμενος εξοπλισμός χρηστών

Ο εξοπλισμός που χρειάζεται ο χρήστης για να αξιοποιήσει το ΗΕΡΟΣ είναι συνάρτηση της ακρίβειας που θέλει να έχει και τις υπηρεσίες που θα χρησιμοποιήσει.

- Για ακρίβεια της τάξης των λίγων εκατοστών απαιτείται ένας **γεωδαιτικός δέκτης GPS**
- Για ακρίβεια της τάξης του μισού μέτρου αρκεί ένας πιο απλός δέκτης GPS, αρκεί να παρέχει τη δυνατότητα λήψης των διαφορικών διορθώσεων του ΗΕΡΟΣ.
- Για τις υπηρεσίες «πραγματικού χρόνου» εκτός από το δέκτη GPS, χρειάζεται και ένα **GSM ή GPRS modem** για επικοινωνία με το Κέντρο Ελέγχου. Τα modems αυτά, μπορούν να ενσωματώνονται στο δέκτη GPS ή να ενεργοποιούνται στα κινητά τηλέφωνα των χρηστών.

<sup>6</sup> RINEX (Receiver INdependent EXchange format) :αναλύεται στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο

<sup>7</sup> RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services): Η ραδιο-τεχνική Επιτροπή για τις θαλάσσιες υπηρεσίες.

- Για τις υπηρεσίες «μετεπεξεργασίας» εκτός από το δέκτη GPS χρειάζεται και ένα εξειδικευμένο λογισμικό γραφείου.

### Αναλυτικά:

Για εφαρμογές RTK, οι δέκτες που κατασκευάζονται τα τελευταία χρόνια είναι πλήρως συμβατοί με τον τρόπο λειτουργίας συστημάτων όπως το HEPOS και το μόνο που χρειάζεται είναι η προμήθεια ενός GSM ή GPRS modem. Το modem συχνά ενσωματώνεται στο δέκτη, διατηρώντας στο ακέραιο την ευχρηστία του δέκτη στο πεδίο. Δέκτες της προηγούμενης γενιάς με δυνατότητες RTK είναι κατά κανόνα αναβαθμίσιμοι μέσω ανανέωσης του λογισμικού λειτουργίας (firmware).

Για εφαρμογές «post-processing» το HEPOS μπορεί να χρησιμοποιεί τους σημερινούς χρήστες GPS, καθώς η μόνη απαίτηση από πλευράς εξοπλισμού είναι η δυνατότητα του λογισμικού γραφείου να εισάγει δεδομένα σε μορφή RINEX, κάτι που προσφέρουν όλα τα πακέτα λογισμικού της αγοράς. Επισημαίνεται ότι σε μορφή RINEX παρέχονται τόσο τα δεδομένα των πραγματικών σταθμών όσο και τα δεδομένα εικονικού σταθμού αναφοράς, τα οποία αναφέρθηκαν παραπάνω στην περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του HEPOS.

Η παροχή δεδομένων RINEX εικονικού σταθμού αναφοράς είναι κεφαλαιώδους σημασίας για τους κατόχους γεωδαιτικών δεκτών μίας συχνότητας. Όπως είναι γνωστό, η χρήση δεκτών μίας συχνότητας επιβάλλει περιορισμούς στο μήκος της βάσης που μετριέται, γεγονός που καθιστά αναγκαία την ύπαρξη σταθμού αναφοράς σε κοντινή απόσταση από την περιοχή εργασίας. Η τεχνική του εικονικού σταθμού αναφοράς επιτρέπει στο χρήστη να μετράει με δέκτη μίας συχνότητας σε οποιοδήποτε σημείο του δικτύου και στη συνέχεια να ζητάει από το διαδικτυακό εξυπηρετητή του HEPOS να του παρέχει δεδομένα (εικονικού σταθμού αναφοράς) για το κέντρο της περιοχής που μέτρησε, εξασφαλίζοντας έτσι μικρά μήκη βάσεων, εντός των δυνατοτήτων του εξοπλισμού του.

Στην περίπτωση δεκτών δύο συχνοτήτων, τα μεγάλα μήκη βάσεων δεν είναι απαγορευτικά, απαιτούν όμως αύξηση του χρόνου παρατήρησης κατά τις στατικές μετρήσεις. Η τεχνική του εικονικού σταθμού αναφοράς που προσφέρει το HEPOS επιτρέπει στο χρήστη να διατηρεί μικρά μήκη βάσεων, απαλλάσσοντας τον έτσι από τη δέσμευση αυξημένων χρόνων παρατήρησης.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: ΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΤΟΥ HEPOS**

### **4.1 Εισαγωγή**

Οι δορυφορικές τεχνικές εντοπισμού αποτελούν πλέον καθημερινή πρακτική για το Τοπογράφο Μηχανικό σε παγκόσμιο επίπεδο. Στη χώρα μας οι τεχνικές GPS χρησιμοποιούνται εκτενώς για περισσότερο από μία δεκαετία και έχουν αντικαταστήσει σχεδόν πλήρως τις κλασικές τοπογραφικές μεθόδους σε εργασίες όπως η ίδρυση δικτύων σημείων ελέγχου και ο προσδιορισμός φωτοσταθερών σημείων. Παράλληλα οι τεχνικές δορυφορικού εντοπισμού εξελίσσονται και νέες, αποδοτικότερες τεχνικές έρχονται να πάρουν τη θέση των κλασικών δορυφορικών τεχνικών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι δικτυακές τεχνικές οι οποίες προσφέρονται και μέσω του Ελληνικού Συστήματος Εντοπισμού (HEPOS).

### **4.2 Ιστορικό των δικτυακών τεχνικών**

Η ιστορία των δικτυακών τεχνικών ξεκινάει τη δεκαετία του 1990 όπου ερευνητές άρχισαν να αξιοποιούν τις παρατηρήσεις μόνιμων σταθμών αναφοράς με στόχο τη μοντελοποίηση παραμέτρων που επηρεάζουν τον προσδιορισμό θέσης με GNSS (τροχιακά σφάλματα, τροποσφαιρικές και κυρίως ιονοσφαιρικές επιδράσεις). Στη συνέχεια έδειξαν ότι η χρήση αυτών των μοντέλων μπορεί να βελτιώσει σημαντικά το γεωδαιτικό δορυφορικό εντοπισμό. Προς τα τέλη της δεκαετίας του 1990 αρχίζουν έτσι να αναπτύσσονται στη Γερμανία οι πρώτες δικτυακές τεχνικές.

### **4.3 Τι είναι δικτυακές τεχνικές**

Κατά τη χρήση των δικτυακών τεχνικών GPS (και γενικότερα GNSS: Global Navigation Satellite Systems) ο χρήστης δεν χρησιμοποιεί στοιχεία (μετρήσεις ή διορθώσεις) που προέρχονται από ένα μόνο σταθμό αναφοράς (SB: Single-Base) αλλά χρησιμοποιεί επιπλέον πληροφορία που προέρχεται από ενιαία επεξεργασία μετρήσεων από περισσότερους σταθμούς οι οποίοι ανήκουν σε ένα δίκτυο.

### **4.4 Πλεονεκτήματα των δικτυακών τεχνικών**

Η χρήση των δικτυακών τεχνικών έχει το βασικό πλεονέκτημα ότι καθώς αυξάνεται το μήκος της βάσης (απόσταση base-rover):

- Δεν μειώνεται η ακρίβεια εντοπισμού
- Δεν απαιτείται αυξημένος χρόνος παρατήρησης προκειμένου να λυθεί η βάση

- Δεν μειώνεται η αξιοπιστία και η αποδοτικότητα του RTK.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα της εξάλειψης των δυσχερειών που προκαλεί η αύξηση της απόστασης του κινητού δέκτη από το σταθμό αναφοράς, είναι ότι με τη τεχνική VRS μπορούν οι δέκτες μίας συχνότητας να χρησιμοποιούνται για εφαρμογές μετεπεξεργασίας (post-processing) με τη ίδια αποδοτικότητα οπουδήποτε εντός της περιοχής στην οποία παρέχεται δικτυακή λύση. Η απόσταση από το πλησιέστερο σταθμό αναφοράς δεν παίζει ρόλο αφού θα χρησιμοποιηθεί ένας εικονικός σταθμός σε πολύ κοντινή απόσταση από το δέκτη.

Τέλος οι δικτυακές τεχνικές επιτρέπουν την κάλυψη μιας περιοχής χρησιμοποιώντας μικρότερο αριθμό σταθμών αναφοράς.

## 4.5 Δικτυακές τεχνικές και HEPOS

Το HEPOS υποστηρίζει και τις τρεις δικτυακές τεχνικές που υπάρχουν. Συγκεκριμένα οι τεχνικές που υποστηρίζει είναι οι VRS, FKP και MAC. Στη συνέχεια δίνονται τα βασικά στοιχεία που πρέπει να γνωρίζουμε για τη συνέχεια της εργασίας.

### 4.5.1 Εικονικοί Σταθμοί Αναφοράς – VRS

Ο προσδιορισμός θέσης με την τεχνική του Εικονικού Σταθμού Αναφοράς (**VRS: Virtual Reference Station**) είναι μια πρωτοποριακή μέθοδος που στηρίζεται στη δημιουργία ενός πλασματικού σταθμού GPS ο οποίος λειτουργεί όπως ένας πραγματικός δέκτης GPS, και αφορά κυρίως εφαρμογές πραγματικού χρόνου (RTK / DGPS). Η τεχνική στηρίζεται στην ύπαρξη δικτύου μόνιμων σταθμών GPS σε αποστάσεις μεταξύ τους που δεν ξεπερνούν τα 50 – 70 km.

Χρησιμοποιώντας την κλασσική μέθοδο RTK, μεταδίδονται στο χρήστη οι απαραίτητες διορθώσεις από ένα σταθερό δέκτη. Ωστόσο, η απόσταση ανάμεσα στο σταθερό (Reference Station) και τον κινητό δέκτη (Rover) δεν πρέπει να ξεπερνά τα 10-15 km, γιατί διαφορετικά οι μετρήσεις θα επηρεαστούν από συστηματικά σφάλματα. Τα συστηματικά αυτά σφάλματα μπορεί να οφείλονται στην ιονόσφαιρα, στην τροπόσφαιρα (καιρικές συνθήκες π.χ. πίεση, θερμοκρασία, υγρασία κ.λ.π.), στις τροχιές των δορυφόρων, στο λογισμικό κέντρο υπολογισμού των φάσεων της κεραίας, στο φαινόμενο πολλαπλών διαδρομών (Multipath) δηλαδή στην άμεση ή έμμεση ανάκλαση του σήματος GPS (κυρίως λόγω ύπαρξης μεταλλικών επιφανειών κοντά στο δέκτη) ή στην απόσταση μεταξύ σταθερού και κινητού δέκτη.

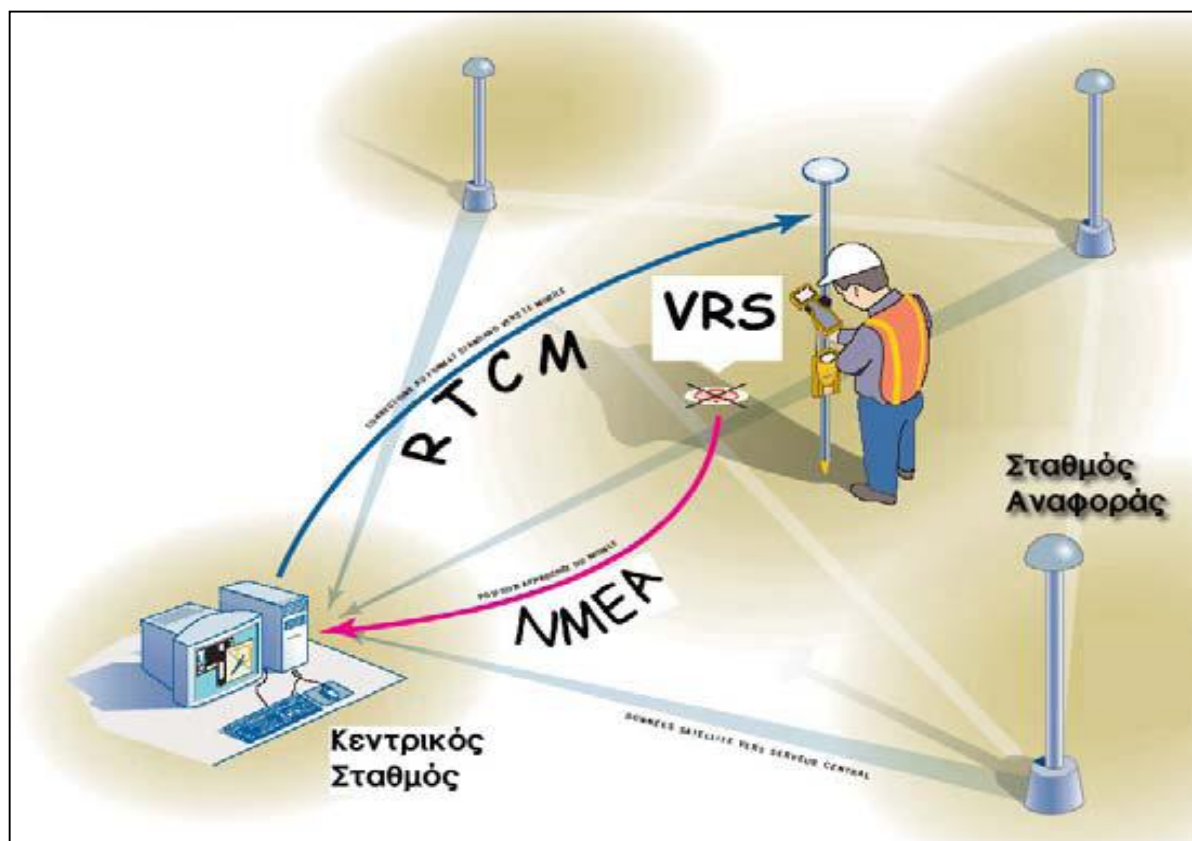
Η φιλοσοφία των εικονικών σταθμών αναφοράς προσφέρει νέες δυνατότητες. Η βασική αρχή είναι η παρεμβολή των δεδομένων ενός πλήθους σταθμών

αναφοράς για να προκύψουν τα δεδομένα διορθώσεων για τους κινητούς δέκτες, γεγονός που μειώνει σημαντικά τα συστηματικά σφάλματα των RTK μετρήσεων. Αυξάνεται η επιτρεπτή απόσταση ανάμεσα στο σταθερό και τον κινητό δέκτη και μεγαλώνει η αξιοπιστία του συστήματος. Επιπρόσθετα, αυξάνεται η παραγωγικότητα μειώνοντας σημαντικά το κόστος των εργασιών και το χρόνο έναρξης των μετρήσεων (initialization time). Σε περίπτωση που για οποιοδήποτε λόγο ένας σταθμός σταματήσει να συμμετέχει στο δίκτυο, τα δεδομένα διορθώσεων υπολογίζονται από τους υπόλοιπους γειτονικούς σταθμούς.

Η όλη διαδικασία ξεκινά όταν κάποιος χρήστης GPS πρόκειται να εφαρμόσει τη μέθοδο RTK ή DGPS εντός ενός δικτύου μόνιμων σταθμών οι οποίοι παρακολουθούνται συνεχώς από κάποιο υπολογιστικό κέντρο στο οποίο στέλνουν τα δεδομένα τους. Ένας εικονικός σταθμός αναφοράς είναι ένας πλασματικός σταθμός αναφοράς που απέχει λίγα μέτρα από τον χρήστη και το κέντρο λήψης σήματος της κεραίας GPS. Για τη συγκεκριμένη θέση, δημιουργούνται δεδομένα παρατηρήσεων από τα δεδομένα των γειτονικών σταθμών αναφοράς, ακριβώς σα να γίνονταν παρατηρήσεις προς αυτούς από έναν δέκτη GPS.

Ο χρήστης που μπορεί να βρίσκεται από λίγα έως και μερικές δεκάδες χιλιόμετρα μακριά από τον κοντινότερο μόνιμο σταθμό και διαθέτει οπωσδήποτε ένα μέσο αμφίδρομης επικοινωνίας με το υπολογιστικό κέντρο (πχ. 'radio modems', κινητό τηλέφωνο κ.λ.π.), μπορεί να αποκτήσει στην προσεγγιστική του θέση (λύση πλοήγησης), την οποία θα στείλει με τη βοήθεια του μηνύματος NMEA στο κέντρο, έναν εικονικό σταθμό αναφοράς ο οποίος θα βρίσκεται μόλις λίγα μέτρα από το κέντρο λήψης σήματος της κεραίας GPS και που στην πραγματικότητα δεν υπάρχει.

Έτσι ο χρήστης μπορεί να εφαρμόσει τη μέθοδο RTK όπου ο σταθερός δέκτης υλοποιείται από τον εικονικό σταθμό με στόχο τον προσδιορισμό της θέσης του όσο μακριά κι αν βρίσκεται από τον κοντινότερο μόνιμο σταθμό αναφοράς. Η συνεισφορά του δικτύου έχει να κάνει με το γεγονός ότι υπάρχει σε κάθε χρονική στιγμή μέτρησης η γνώση για το μέγεθος και τη συμπεριφορά των σφαλμάτων των παρατηρήσεων και ειδικά εκείνων που εξαρτώνται από την απόσταση.



**Σχήμα 4.1:** Βήματα δημιουργίας εικονικού σταθμού αναφοράς.

Συνοπτικά, η εφαρμογή της τεχνικής VRS σε ένα δίκτυο σταθμών ακολουθεί τα εξής βήματα:

- Αρχικά μεταφέρονται τα δεδομένα από το δίκτυο των σταθμών αναφοράς στο κεντρικό υπολογιστικό κέντρο. Απαιτούνται τουλάχιστον τρεις σταθμοί αναφοράς, οι οποίοι συνδέονται με τον κεντρικό σταθμό ελέγχου του δικτύου μέσω ορισμένων συνδέσεων επικοινωνίας.
- Έπειτα, οι παρατηρήσεις των μόνιμων σταθμών χρησιμοποιούνται για να υπολογισθούν τα σφάλματα των χρονομέτρων των δεκτών και των δορυφόρων, της ιονόσφαιρας και της τροπόσφαιρας. Ακολουθεί η επίλυση των ασαφειών φάσης για τις βάσεις του δικτύου, εφόσον θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος RTK, και όλα τα σφάλματα είναι πλέον γνωστά με ακρίβεια μερικών εκατοστών.
- Στη συνέχεια προσδιορίζεται ένα μοντέλο πρόγνωσης (συνήθως γραμμικό) των σφαλμάτων που απομένουν (κυρίως θόρυβος, τυχαίο σφάλμα) για κάθε δορυφόρο σε οποιοδήποτε σημείο στην περιοχή του δικτύου.
- Ο χρήστης που βρίσκεται στο πεδίο στέλνει στο υπολογιστικό κέντρο με μήνυμα NMEA, συνήθως με τη βοήθεια κινητού τηλεφώνου, την προσεγγιστική του θέση (με ακρίβεια 5-15 m).

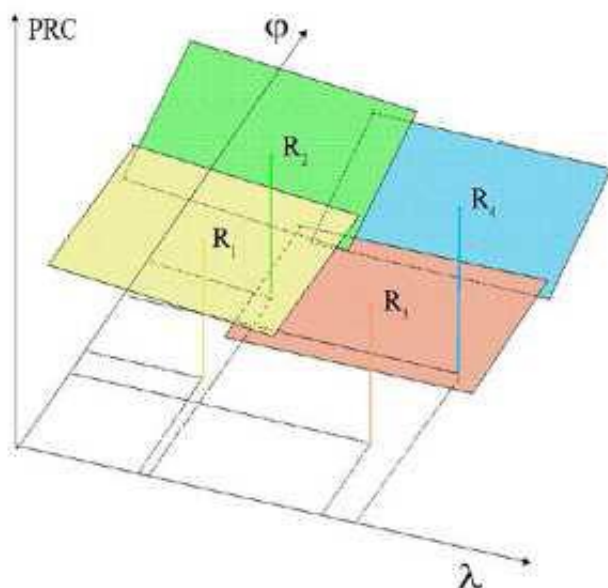
- Το κέντρο υπολογίζει αμέσως το μέγεθος των σφαλμάτων για την προσεγγιστική θέση του χρήστη χρησιμοποιώντας τα μοντέλα πρόγνωσης και δημιουργεί τις εικονικές παρατηρήσεις για τη θέση αυτή.
- Το κεντρικό υπολογιστικό κέντρο μεταδίδει τα δεδομένα του εικονικού σταθμού αναφοράς στο χρήστη, με τη βοήθεια μηνύματος RTCM.
- Ο χρήστης εκτελεί τη συνήθη διαδικασία RTK ή DGPS χρησιμοποιώντας τις εικονικές μετρήσεις και λαμβάνοντας διορθώσεις για τις μετρήσεις του από έναν δέκτη που “βρίσκεται” μόλις λίγα μέτρα μακριά του.

Οι εξ υπολογισμού παρατηρήσεις ενός εικονικού σταθμού αναφοράς VRS μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου (RTK ή DGPS) με τη μορφή διορθώσεων RTCM, όπου το δίκτυο επιλέγει αυτόματα τη θέση του VRS, ώστε να είναι κοντά στο χρήστη, είτε για εφαρμογές μετεπεξεργασίας (postprocessing) με τη μορφή αρχείων RINEX (GPS Receiver INdependant Exchange format), όπου ο χρήστης ορίζει ένα σημείο στη βέλτιστη θέση που εξυπηρετεί τις μετρήσεις του και ζητά τη δημιουργία αρχείων VRS παρατηρήσεων που αναφέρονται στο συγκεκριμένο αυτό σημείο.

#### **4.5.2 Σταθμοί Μετάδοσης Παραμέτρων Επιφανειακών Διορθώσεων – FKP (Flachen Korrektur Parameter)**

Ένας άλλος τρόπος για τον ακριβή υπολογισμό των σφαλμάτων GPS/GNSS που εξαρτώνται από την απόσταση και για την υλοποίηση και διανομή των αναγκαίων διορθώσεων RTK είναι να χρησιμοποιηθεί μία πολυωνυμική παραμετροποίηση για να περιγράψει την επιρροή των σφαλμάτων GNSS για οποιαδήποτε θέση ενός χρήστη σε μία ορισμένη περιοχή (βλ **Σχήμα 4.2**). Αυτό ισοδυναμεί με τη θεώρηση μιας επιφάνειας που εκφράζεται από μια σειρά πολυωνυμικών συντελεστών και η οποία προσεγγίζει τις διακυμάνσεις αυτών των σφαλμάτων από σημείο σε σημείο στην εκάστοτε περιοχή ενδιαφέροντος και για το λόγο αυτό η διαδικασία αυτή αποκαλείται τεχνική των παραμέτρων επιφανειακών διορθώσεων.





**Σχήμα 4.2:** Πολυωνυμική παραμετροποίηση σφαλμάτων μέσω της τεχνικής FKP.

Ανάλογα με τη χρονική και χωρική παραλλαγή των επιμέρους σφαλμάτων (π.χ. των σφαλμάτων της ιονόσφαιρας, της τροπόσφαιρας, των τροχιών, κ.λ.π.) μπορεί να καθοριστεί και η ανάλογη πολυπλοκότητα (π.χ. ο βαθμός) των αντιπροσωπευτικών πολυωνυμικών μοντέλων που απαιτούνται. Η υλοποίηση της διαδικασίας αυτής συνίσταται ουσιαστικά από μία αμφίδρομη επικοινωνία με το κέντρο ελέγχου ως αποστολέα των FKP διορθώσεων και τον εκάστοτε κινούμενο χρήστη ως αποδέκτη αυτών των διορθώσεων. Ένας κινούμενος χρήστης με τη σειρά του χρησιμοποιεί τις παραμέτρους που αντιστοιχούν στο άμεσο περιβάλλον του δέκτη του ή μέσω παρεμβολής στο εκάστοτε σημείο ενδιαφέροντός του. Οι διάφοροι χρήστες σε μία περιοχή τυπικά εφαρμόζουν διαφορετικά μοντέλα (π.χ. για την ιονόσφαιρα) αφού το διορθωτικό μήνυμα περιλαμβάνει μεταβλητές παραμέτρους για κάτι τέτοιο.

Σύμφωνα με τη θεωρία της τεχνικής FKP, το δίκτυο δε χρειάζεται να γνωρίζει τη θέση του χρήστη. Οι επιφάνειες διορθώσεων που στέλνει είναι κοινές για όλους τους χρήστες που βρίσκονται σε μία ευρύτερη περιοχή και ο κάθε χρήστης υπολογίζει τις διορθώσεις που αντιστοιχούν στη θέση του.

Σε σύγκριση με την τεχνική VRS, η σημαντική διαφορά της τεχνικής FKP είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου, ενώ η τεχνική VRS είναι κατάλληλη και για εφαρμογές μετεπεξεργασίας των μετρήσεων.

### 4.5.3 Τεχνική MAC: Master-Auxiliary Concept

Στην περίπτωση της τεχνικής MAC το δίκτυο στέλνει στο χρήστη τις διορθώσεις (Corrections) ενός κύριου σταθμού αναφοράς (Master Station) καθώς και διαφορές διορθώσεων (Correction Differences) γειτονικών βοηθητικών σταθμών αναφοράς (Auxiliary Stations). Η τεχνική MAC χρησιμοποιείται μόνο για εφαρμογές πραγματικού χρόνου.

Σύμφωνα με τη θεωρία της τεχνικής MAC, ο χρήστης λαμβάνει όλη την πρωτογενή πληροφορία σχετικά με τα σφάλματα χωρίς να υπεισέρχεται κάποια μοντελοποίηση από το δίκτυο. Μπορεί έτσι να εφαρμόσει προηγμένους αλγόριθμους για να ελαχιστοποιήσει την επίδραση των σφαλμάτων και να πετύχει τη βέλτιστη ακρίβεια. Το δίκτυο στην τεχνική αυτή δε χρειάζεται να γνωρίζει τη θέση του χρήστη. Σε μεγαλύτερα δίκτυα δημιουργούνται Cells και Clusters, καθώς είναι ασύμφορο και ανώφελο να χρησιμοποιούνται κάθε φορά όλοι οι σταθμοί του δικτύου ως Auxiliary Stations.

Αν και για την υλοποίηση του αλγορίθμου MAC το δίκτυο δε χρειάζεται τη θέση του χρήστη, εντούτοις η πληροφορία αυτή είναι χρήσιμη για την ένταξη του χρήστη σε Cell ή Cluster. Κάτι αντίστοιχο ισχύει σε πολλά δίκτυα και για την τεχνική FKP.

### 4.6 Κριτήρια επιλογής δικτυακής τεχνικής

Σχετικά με τα κριτήρια επιλογής δικτυακής τεχνικής αναφέρονται τα εξής:

- Η τεχνική VRS είναι η μόνη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για εφαρμογές πραγματικού χρόνου (RTK, DGPS) όσο και για εφαρμογές μετεπεξεργασίας. Οι τεχνικές FKP και MAC χρησιμοποιούνται μόνο για εφαρμογές πραγματικού χρόνου.
- Αν και οι περισσότεροι σύγχρονοι δέκτες GNSS υποστηρίζουν όλες τις τεχνικές, παλαιότεροι δέκτες χρειάζονται συνήθως αναβάθμιση. Η τεχνική VRS είναι αυτή με τις μικρότερες απαιτήσεις αναβάθμισης, καθώς ένα από τα κριτήρια ανάπτυξης αυτής της τεχνικής ήταν η μέγιστη δυνατή διατήρηση συμβατότητας με το υφιστάμενο εξοπλισμό.
- Για τη συντριπτική πλειοψηφία των εφαρμογών RTK οι τεχνικές είναι σε γενικές γραμμές ισοδύναμες από πλευράς ακρίβειας, αξιοπιστίας και αποδοτικότητας.
- Οι χρήστες εφαρμογών πραγματικού χρόνου που συνδέονται μέσω GPRS, μπορούν να επιλέγουν τεχνική με βάση το απαιτούμενο bandwidth κάθε τεχνικής. Η χρήση συγκεκριμένων τεχνικών ή/και format μετάδοσης δεδομένων συνεπάγεται μικρότερο όγκο δεδομένων που μεταφέρονται, γεγονός που στην περίπτωση του GPRS σημαίνει μειωμένο τηλεπικοινωνιακό κόστος.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 50: ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ ΤΟΥ HEPOS**

### **5.1 Εισαγωγή**

Οι υπηρεσίες που παρέχει το HEPOS διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Υπηρεσίες «**πραγματικού χρόνου**», στις οποίες η θέση ενός σημείου προσδιορίζεται κατά τη στιγμή της μέτρησης και μπορούν να παρέχουν ακρίβεια λίγων εκατοστών (τεχνικές RTK) είτε ακρίβεια της τάξης του μισού μέτρου (τεχνικές DGPS).
- Υπηρεσίες «**μετεπεξεργασίας**», όπου η θέση ενός σημείου προσδιορίζεται εκ των υστέρων μετά από επεξεργασία μετρήσεων στο γραφείο. Οι υπηρεσίες αυτές υλοποιούνται μέσω της τεχνικής στατικών εντοπισμών (χρήση αρχείων Rinex) και παρέχουν τη μέγιστη ακρίβεια που μπορεί να φτάσει έως το επίπεδο λίγων χιλιοστών.

Επιπλέον το HEPOS υποστηρίζει τις δικτυακές τεχνικές VRS, FKP και MAC οι οποίες αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Για τον χρήστη το βασικότερο πλεονέκτημα των δικτυακών τεχνικών είναι ότι εξασφαλίζουν σταθερή ακρίβεια και αξιοπιστία στον προσδιορισμό θέσης ανεξάρτητα από την απόσταση του χρήστη από τους σταθμούς αναφοράς.

### **5.2 Υπηρεσίες πραγματικού χρόνου**

Οι υπηρεσίες πραγματικού χρόνου (real-time) του HEPOS επιτρέπουν τον προσδιορισμό θέσης με υψηλή ακρίβεια, της τάξης των λίγων cm. Με τις υπηρεσίες αυτές ο χρήστης μπορεί να μετράει με ένα γεωδαιτικό δέκτη GPS στο σημείο που θέλει να προσδιορίσει και να υπολογίζει τις συντεταγμένες του σημείου κατά τη στιγμή της μέτρησης. Δεν απαιτείται δηλαδή επεξεργασία δεδομένων στο γραφείο, όπως συμβαίνει με τις υπηρεσίες μετεπεξεργασίας.

#### **5.2.1 Απαιτούμενος Εξοπλισμός Χρηστών**

Για τη χρήση των υπηρεσιών πραγματικού χρόνου του HEPOS ο χρήστης χρειάζεται:

- ένα γεωδαιτικό δέκτη κατάλληλο για RTK ή ένα δέκτη με δυνατότητα DGPS μέσω δικτύου σταθμών αναφοράς.

- ένα GPRS ή GSM modem για να συνδεθεί με το Κέντρο Ελέγχου του HEPOS και να λαμβάνει τα απαραίτητα δεδομένα.

### 5.2.2 Σημαντικά χαρακτηριστικά των υπηρεσιών πραγματικού χρόνου

Για τον προσδιορισμό θέσης σε πραγματικό χρόνο με το GPS (τεχνικές RTK και DGPS) απαιτούνται δεδομένα σταθμού αναφοράς. Τα δεδομένα, τα οποία πρέπει να είναι σε κάποια συγκεκριμένη μορφή, έχει επικρατήσει να αποκαλούνται διορθώσεις και κατά κανόνα εκπέμπονται σε format RTCM, (2.3 και 3.0), ενώ διαθέσιμη είναι και η μορφή CMR+.

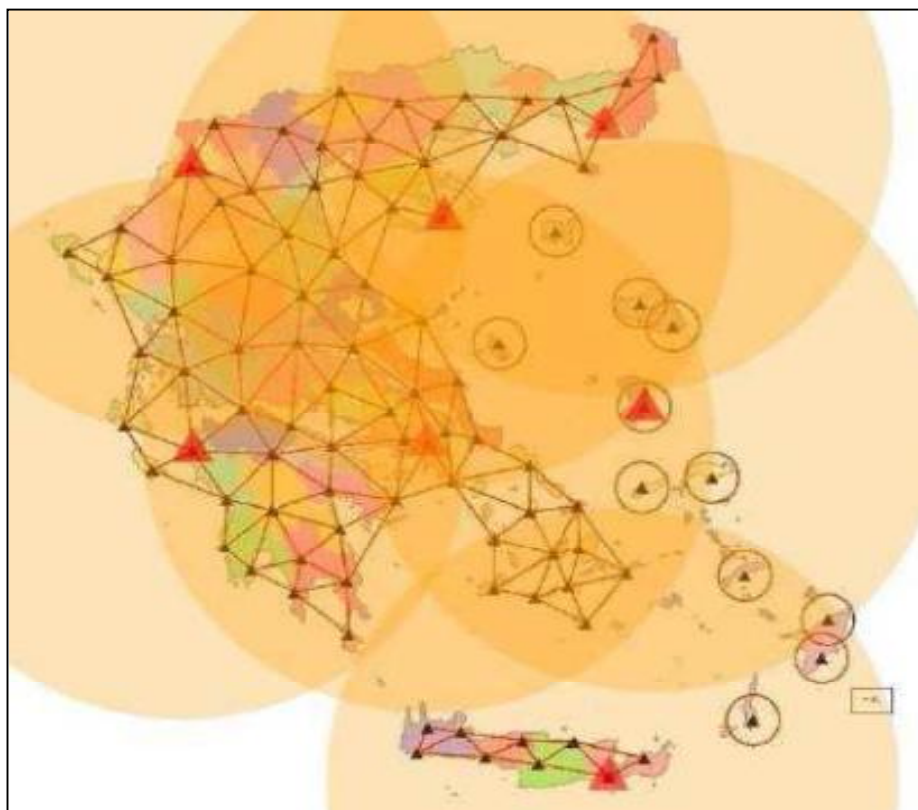
Για εφαρμογές RTK το HEPOS μπορεί να παρέχει διορθώσεις RTCM:

- Διορθώσεις *Single-Base RTK*, δηλαδή δεδομένα που υπολογίζονται από τις παρατηρήσεις ενός από τους 98 σταθμούς αναφοράς του HEPOS, (τον πιο κοντινό).
- Διορθώσεις *Network-RTK* (δικτυακή λύση), δηλαδή δεδομένα που προκύπτουν από συνδυασμένη επεξεργασία δεδομένων πολλών πραγματικών σταθμών. Συγκεκριμένα υποστηρίζονται οι ακόλουθες 3 δικτυακές τεχνικές:
  - Ø VRS-Virtual Reference Stations, (Εικονικό σταθμό αναφοράς)
  - Ø FKP –Flächenkorrekturparameter
  - Ø MAC -Master Auxiliary Concept

Διευκρινίζεται ότι οι περιοχές για τις οποίες μπορεί να παρέχεται δικτυακή λύση είναι αυτές που βρίσκονται εντός των δύο δικτύων του χάρτη «**Σχήμα 3.1**», δηλαδή του δικτύου της Κρήτης και του δικτύου ηπειρωτικής Ελλάδας – Πελοποννήσου Εύβοιας - Ιόνιων νησιών - Κυκλάδων.

Για εφαρμογές DGPS το HEPOS μπορεί να παρέχει δύο ειδών διορθώσεις RTCM:

- Διορθώσεις *Single-Base DGPS*, δηλαδή δεδομένα που υπολογίζονται από έναν από τους 7 σταθμούς αναφοράς του HEPOS για τη λειτουργία αυτή, (βλ **Σχήμα 5.1**).
- Διορθώσεις *Network-DGPS* (δικτυακής λύσης), δηλαδή δεδομένα που προκύπτουν από συνδυασμένη επεξεργασία δεδομένων πολλών πραγματικών σταθμών.



**Σχήμα 5.1:** Οι 7 Σταθμοί αναφοράς του ΗΕΡΟΣ που χρησιμοποιούνται για DPGS

### 5.2.3 Επιλογή τρόπου σύνδεσης με το Κέντρο Ελέγχου

Για τη χρήση των υπηρεσιών πραγματικού χρόνου υπάρχουν δύο δυνατότητες σύνδεσης με το Κέντρο Ελέγχου του ΗΕΡΟΣ:

- Μέσω GSM modem
- Μέσω GPRS

Παγκοσμίως, η σύγχρονη τάση για τη σύνδεση χρηστών στα δίκτυα RTK είναι η χρήση GPRS καθώς είναι και πιο οικονομικό και πιο γρήγορο. Στην Ελλάδα όμως προκειμένου να διευκολυνθούν οι χρήστες σε περιοχές όπου δεν υπάρχει κάλυψη GPRS, υπάρχει και η δυνατότητα σύνδεσης μέσω GSM.

Παρακάτω παρατίθενται οι εικόνες 5.2α,β από την σύνδεση του δέκτη στο ΚΕ του ΗΕΡΟΣ α) τόσο μέσω κινητού τηλεφώνου όπου γίνεται Bluetooth διασύνδεση του τηλεφώνου με το controller, και β) όσο και με εξωτερική κάρτα GPRS σε controller.



**Εικόνα 5.2α,β:** Σύνδεση στο κέντρο ελέγχου του HEPOS: α) μέσω κινητού τηλεφώνου, και β) μέσω compact flash κάρτας GSM/GPRS.

### 5.3 Υπηρεσίες μετεπεξεργασίας

Οι υπηρεσίες μετεπεξεργασίας (post-processing) του HEPOS επιτρέπουν τον προσδιορισμό θέσης με υψηλή ακρίβεια, σε επίπεδο μερικών χιλιοστών για τη χρήση των υπηρεσιών αυτών ο χρήστης μετράει με ένα γεωδαιτικό δέκτη GPS στα σημεία που θέλει να προσδιορίσει και στη συνέχεια επεξεργάζεται τα δεδομένα αυτών των μετρήσεων σε συνδυασμό με δεδομένα σταθμού αναφοράς από το HEPOS για τον υπολογισμό των συντεταγμένων των σημείων. Η επεξεργασία αυτή γίνεται στο γραφείο μετά τη μέτρηση.

Κατά τη χρήση των υπηρεσιών μετεπεξεργασίας χορηγούνται στο χρήστη δεδομένα σταθμού αναφοράς από το HEPOS. Τα δεδομένα αυτά παρέχονται σε format Rinex<sup>8</sup> ή Compact Rinex (Hatanaka). Ιδιαίτερης πρακτικής σημασίας για το χρήστη είναι η δυνατότητα του HEPOS να παρέχει δεδομένα όχι μόνο πραγματικών αλλά και εικονικών σταθμών αναφοράς (Virtual Reference Station).

#### 5.3.1 Απαιτούμενος Εξοπλισμός Χρηστών

Για τη χρήση των υπηρεσιών μετεπεξεργασίας του HEPOS ο χρήστης χρειάζεται:

- ένα γεωδαιτικό δέκτη μίας ή δύο συχνοτήτων, (προκειμένου να πραγματοποιεί τις μετρήσεις στο πεδίο), και

---

<sup>8</sup>**Format RINEX:** Η μορφή RINEX (Receiver INdependent EXchange format) είναι μία ASCII μορφή αποθήκευσης των παρατηρήσεων GPS, που είναι διεθνώς αποδεκτή από τους κατασκευαστές δεκτών και λογισμικού GPS. Όλοι οι κατασκευαστές δεκτών GPS εξασφαλίζουν ότι οι μετρήσεις μπορούν να εξαχθούν σε μορφή RINEX και όλα πρακτικά τα λογισμικά επίλυσης παρέχουν τη δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων μορφής RINEX.

- λογισμικό γραφείου για την επεξεργασία των παρατηρήσεων. (Το λογισμικό αυτό πρέπει να έχει τη δυνατότητα εισαγωγής αρχείων RINEX).

### 5.3.2 Σημαντικά χαρακτηριστικά των υπηρεσιών μετεπεξεργασίας

Το HEPOS μπορεί να παρέχει δύο κατηγορίες δεδομένων σταθμού αναφοράς:

- Δεδομένα πραγματικών σταθμών αναφοράς δηλαδή δεδομένα που καταγράφηκαν από έναν από τους 98 σταθμούς αναφοράς του HEPOS.
- Δεδομένα εικονικών σταθμών αναφοράς (VRS: Virtual Reference Stations) δηλαδή δεδομένα που δημιουργούνται μέσω των παρατηρήσεων των πραγματικών σταθμών για οποιαδήποτε θέση ζητήσει ο χρήστης μέσα στην περιοχή που παρέχεται δικτυακή λύση, (βλ **Σχήμα 3.1**).

Τα δεδομένα σταθμού αναφοράς, τα οποία ο χρήστης λαμβάνει από το HEPOS, μπορούν να χορηγηθούν από το σύστημα σε μία από τις εξής μορφές:

- RINEX (Receiver INdependent EXchange format) ή
- CRINEX (Compact RINEX ή αλλιώς Hatanaka format)

Οι δύο μορφές δεδομένων είναι πρακτικά ισοδύναμες. Η μορφή CRINEX έχει το βασικό πλεονέκτημα ότι τα αρχεία έχουν σημαντικά περιορισμένο μέγεθος (περίπου το 1/3 του αντίστοιχου αρχείου RINEX). Αυτό διευκολύνει τόσο τη διαδικασία λήψης τους από τον ιστοχώρο του HEPOS, όσο και τη μόνιμη αποθήκευσή τους.

Ο χρήστης μπορεί να ζητήσει αρχεία RINEX ή CRINEX με διάστημα καταγραφής παρατηρήσεων 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30 ή 60 sec. Τα δεδομένα πραγματικών ή εικονικών σταθμών είναι διαθέσιμα έως και 30 ημέρες από την ημέρα της παρατήρησης, ενώ αιτήματα χορήγησης παλαιότερων στοιχείων μπορούν να εξυπηρετούνται εφόσον υπάρχει δυνατότητα και με πρόσθετη χρέωση.

### 5.3.3 Διαδικασία παραγγελίας αρχείων RINEX

Η παραγγελία γίνεται μόνο από εγγεγραμμένους χρήστες στην αρχική σελίδα του ιστοχώρου του HEPOS [www.hepos.gr](http://www.hepos.gr) στο *RINEX Shop*, αφού πρώτα γίνει σύνδεση με το σύστημα.

Ο τρόπος παράδοσης των αρχείων, που μπορεί να γίνει με 2 τρόπους:

- είτε με κατέβασμα των δεδομένων στον υπολογιστή, (download),
- είτε με αποστολή των δεδομένων με e-mail

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>: ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ DGPS

### 6.1 Εισαγωγή

Η ευκολία με την οποία επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός συντεταγμένων έχει ήδη καθιερώσει το σύστημα ως ένα από τα βασικότερα μέσα που χρησιμοποιούν καθημερινά οι Έλληνες Τοπογράφοι και γενικότερα οι επαγγελματίες του χώρου των γεωεπιστημών για τον προσδιορισμό συντεταγμένων με ακρίβεια της τάξης του cm. Η επίτευξη της υψηλής αυτής ακρίβειας προϋποθέτει τη χρήση γεωδαιτικών δεκτών και την εφαρμογή συγκεκριμένων τεχνικών μέτρησης, όπως π.χ. στατικές μετρήσεις ή RTK. Για εφαρμογές με μικρότερες απαιτήσεις ακρίβειας είναι προτιμότερη η χρήση της τεχνικής DGPS, η οποία αφενός είναι πιο εύχρηστη και αφετέρου υποστηρίζεται και από δέκτες μικρότερου κόστους από ότι οι γεωδαιτικοί δέκτες. Χαρακτηριστική περίπτωση εφαρμογής με απαιτήσεις ακρίβειας στο επίπεδο του 1 m αποτελεί η συλλογή δεδομένων GIS. Η τεχνική DGPS εξασφαλίζει ακρίβεια καλύτερη από 1 m (sub-meter accuracy). Το HEPOS προσφέρει υψηλής ακρίβειας DGPS στο επίπεδο του 0.5 m και ακόμα καλύτερη όταν χρησιμοποιείται η πιο εξελιγμένη τεχνική Network-DGPS.

### 6.2 Ιστορική εξέλιξη

Οι δορυφόροι δεύτερης γενιάς του GPS (Block II GPS satellites) οι οποίοι άρχισαν να τοποθετούνται σε τροχιά από το 1989 είχαν τη δυνατότητα υλοποίησης της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας (SA: Selective Availability). Σκοπός της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας ήταν να περιορίζεται η ακρίβεια που μπορεί να επιτύχει ένας πολιτικός χρήστης μέσω αυτόνομου εντοπισμού (προσδιορισμός στίγματος αποκλειστικά από τις μετρήσεις ενός δέκτη GPS). Αυτή η σκόπιμη μείωση της ακρίβειας γινόταν (Breuer et al., 1993):

- με παραποίηση των εκπεμπόμενων τροχιακών στοιχείων. Το συνιστάμενο ακτινικό σφάλμα της τροχιάς μπορούσε να ανέλθει στα 130m.
- με εισαγωγή θορύβου στο δορυφορικό σήμα, έτσι ώστε η μέτρηση της απόστασης δορυφόρου δέκτη να γίνεται με χαμηλή ακρίβεια. Το σφάλμα στη μέτρηση της απόστασης μπορούσε να ανέλθει στα 60m.

Για να αντιμετωπιστούν οι επιπτώσεις της Επιλεκτικής Διαθεσιμότητας αναπτύχθηκε η τεχνική DGPS (Differential GPS). Αν και η Επιλεκτική Διαθεσιμότητα σταμάτησε να εφαρμόζεται από το 2000 (Γιαννίου, 2000), η τεχνική DGPS συνέχισε να χρησιμοποιείται καθώς περιορίζει και άλλα σφάλματα, προσφέροντας **αυξημένη** ακρίβεια εντοπισμού. Μάλιστα, τα τελευταία χρόνια η τεχνική DGPS εξελίχθηκε περαιτέρω αξιοποιώντας τις



δυνατότητες που προσφέρουν τα δίκτυα μόνιμων σταθμών αναφοράς. Στη συνέχεια περιγράφονται οι βασικές αρχές των τεχνικών DGPS.

### 6.3 Single-base DGPS

Η βασική αρχή λειτουργίας του DGPS είναι η εξής:

- Τοποθετείται ένας δέκτης σε σημείο γνωστών συντεταγμένων και πραγματοποιεί μετρήσεις ψευδοαποστάσεων.
- Υπολογίζει τη γεωμετρική απόσταση  $\rho_A$  μεταξύ δορυφόρου και δέκτη από γνωστό τύπο
- Μετράει την ψευδοαπόσταση  $PR_{1A}$  προς κάθε δορυφόρο. Για την περίπτωση που η Επιλεκτική Διαθεσιμότητα δεν είναι σε εφαρμογή.
- Υπολογίζει για κάθε δορυφόρο τη διαφορά μεταξύ γεωμετρικής απόστασης και ψευδοαπόστασης (διορθωμένης για τα σφάλματα χρονομέτρου δέκτη και δορυφόρου). Αν θεωρήσουμε ότι δεν υπάρχουν σφάλματα από την Επιλεκτική Διαθεσιμότητα, από multipath και παρεμβολές, η διαφορά αυτή οφείλεται στα σφάλματα ιονόσφαιρας τροπόσφαιρας και στο τροχιακό σφάλμα.
- Αποστέλλει αυτές τις διαφορές (διορθώσεις) στους χρήστες οι οποίοι τις χρησιμοποιούν για να διορθώσουν τις μετρούμενες ψευδοαποστάσεις τους από τα αντίστοιχα σφάλματα.
- Η χρήση αυτών των διορθωμένων ψευδοαποστάσεων από το χρήστη οδηγεί σε αυξημένη ακρίβεια εντοπισμού.

Σύμφωνα με τα παραπάνω η διόρθωση στην ψευδοαπόσταση PRC (Pseudorange Correction) υπολογίζεται στο σταθμό αναφοράς με τον αντίστοιχο τύπο.

Για να έχουν ακρίβεια οι διορθώσεις πρέπει αυτές να επικαιροποιούνται συνεχώς και ο χρήστης να λαμβάνει συνεχώς τις νέες διορθώσεις. Αυτό μπορεί να παρακαμφτεί εάν είναι γνωστός ο ρυθμός μεταβολής των διορθώσεων RRC (Range Rate Correction). Ο ρυθμός μεταβολής των διορθώσεων υπολογίζεται από το σταθμό αναφοράς και αποστέλλεται στο χρήστη μαζί με τις διορθώσεις. Με τον τρόπο αυτό οι διορθώσεις μπορούν να εκπέμπονται π.χ. κάθε 10sec.

### 6.4 Network-DGPS

Ο χρήστης εφαρμόζει για τη θέση B στην οποία βρίσκεται, τις διορθώσεις που υπολογίστηκαν για τη θέση A του σταθμού αναφοράς. Όσο τα σημεία A και B βρίσκονται κοντά (δηλ. ο χρήστης βρίσκεται κοντά στο σταθμό αναφοράς) το ιονοσφαιρικό και το τροποσφαιρικό σφάλμα δεν διαφοροποιούνται ουσιαστικά. Όταν όμως ο χρήστης βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση από το σταθμό αναφοράς,

το δορυφορικό σήμα διέρχεται από διαφορετικές περιοχές της Ιονόσφαιρας και της Τροπόσφαιρας, με αποτέλεσμα οι διορθώσεις να μην διορθώνουν ακριβώς την ψευδοαπόσταση. Απόρροια των παραπάνω είναι να μειώνεται η ακρίβεια της τεχνικής Single-base DGPS όταν η απόσταση χρήστη-σταθμού αυξάνεται σημαντικά. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα αναπτύχθηκε η τεχνική του Network-DGPS.

Στη περίπτωση του Network-DGPS οι διορθώσεις δεν υπολογίζονται από ένα μόνο σταθμό αναφοράς, όπως συμβαίνει στην περίπτωση της εξίσωσης (3), αλλά από το σύνολο των παρατηρήσεων ενός δικτύου μόνιμων σταθμών αναφοράς. Αναλυτικότερα υπολογίζονται μαθηματικές επιφάνειες οι οποίες περιγράφουν τα σφάλματα σε όλη την έκταση του δικτύου. Οι διορθώσεις προκύπτουν λαμβάνοντας υπόψη την τιμή των σφαλμάτων στην εκάστοτε περιοχή (Zheng, 2006). Με τον τρόπο αυτό η ακρίβεια των διορθώσεων δεν εξαρτάται από την απόσταση του χρήστη από κάποιο σταθμό αναφοράς, αλλά παραμένει πρακτικά σταθερή σε όλη την έκταση που καλύπτει το δίκτυο των μόνιμων σταθμών αναφοράς.

### 6.5 Πλεονεκτήματα των τεχνικών DGPS

Οι τεχνικές DGPS παρέχουν χαμηλότερη ακρίβεια από ότι οι τεχνικές RTK. Όταν όμως οι απαιτήσεις ακρίβειας ενός έργου καλύπτονται από την ακρίβεια του DGPS, τότε οι τεχνικές DGPS προσφέρουν κάποια σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως:

- Μπορούν να υλοποιηθούν με απλούστερους δέκτες (π.χ. κατηγορίας GIS), οι οποίοι είναι σημαντικά φθηνότεροι από τους γεωδαιτικούς δέκτες που χρησιμοποιούνται για RTK.
- Στηρίζονται στις μετρήσεις κώδικα και ως εκ τούτου ο χρήστης απαλλάσσεται από τη διαδικασία επίλυσης ασαφειών φάσης (initialization) η οποία είναι προϋπόθεση στην περίπτωση των μετρήσεων RTK.
- Ο όγκος των δεδομένων που αποστέλλονται από το δίκτυο προς το χρήστη είναι σημαντικά μικρότερος σε σχέση με την τεχνική RTK, οπότε μειώνεται αντίστοιχα και το τηλεπικοινωνιακό κόστος μιας σύνδεσης GPRS.

Ειδικότερα, οι χρήστες του HEPOS μπορούν επιπλέον να επωφελούνται από:

- την αυξημένη και ομοιογενή ακρίβεια που εξασφαλίζει η τεχνική Network- DGPS μέσω του HEPOS χάρις στο πυκνό δίκτυο σταθμών αναφοράς
- τις χαμηλές χρεώσεις των τεχνικών DGPS. Με την ισχύουσα τιμολογιακή πολιτική, η χρέωση της τεχνικής DGPS είναι μικρότερη αυτής για RTK, για τις τεχνικές DGPS δεν επιβάλλεται πάγιο τέλος χρήσης και τέλος, η τεχνική Network-DGPS προσφέρεται χωρίς επιπλέον κόστος σε σχέση με

την τεχνική Single-Base DGPS (όπως ισχύει αντίστοιχα για Single-Base και Network-RTK).

## 6.6 Η τεχνική διαφορικού εντοπισμού DGPS

Για εφαρμογές που απαιτούν χωρική ακρίβεια της τάξης των λίγων μέτρων, ένας απλός δέκτης GPS χειρός, μπορεί να αποδειχτεί επαρκής. Για περιπτώσεις όμως που οι απαιτήσεις ακρίβειας των εργασιών και της συλλογής δεδομένων είναι καλύτερες του μέτρου (sub-meter), υπάρχει ανάγκη για χρήση τεχνικών διαφορικού εντοπισμού (Differential GPS), επειδή υπάρχει μια σειρά πηγών σφάλματος που επιδρούν στην ακρίβεια των μετρήσεων GPS και η τεχνική του διαφορικού εντοπισμού DGPS χρησιμοποιείται για τον περιορισμό των σφαλμάτων αυτών.

Συγκεκριμένα, η τεχνική του διαφορικού εντοπισμού DGPS βασίζεται στη συνδυασμένη χρήση μετρήσεων 2 δεκτών GPS, ενός σταθερού και ενός κινητού, που λειτουργούν ταυτόχρονα σε σχετικά κοντινή απόσταση (αναλόγως των απαιτήσεων ακρίβειας) και την παραδοχή ότι επικρατούν οι ίδιες συνθήκες άρα και η επίδραση κάποιων από τις πηγές σφάλματος είναι η ίδια και στους 2 δέκτες. Ο σταθερός –σε γνωστή θέση– δέκτης υπολογίζει με βάση τη γνωστή του θέση το σφάλμα στις μετρήσεις GPS που διεξάγει. Έπειτα ο σταθερός δέκτης αποστέλλει σε πραγματικό χρόνο το υπολογισθέν σφάλμα υπό τη μορφή διαφορικής διόρθωσης στον κινητό δέκτη, ο οποίος με τη σειρά του χρησιμοποιεί την πληροφορία αυτή για να διορθώσει τους υπολογισμούς του. Εν συνεχεία, τα στοιχεία αυτά μπορούν να αξιοποιηθούν σε συνδυασμό με τις μετρήσεις που διεξήγαγε παράλληλα ο κινητός δέκτης ώστε να χρησιμοποιηθούν για να διορθώσουν σε μεγάλο βαθμό τα σφάλματα σε αυτόν με αποτέλεσμα να καταλήξει σε πολύ ακριβέστερο προσδιορισμό της θέσης του.

## 6.7 Διαθεσιμότητα υπηρεσιών DGPS

Λόγω της μεγάλης χρησιμότητας της τεχνικής DGPS σε συνδυασμό με την ευκολία στη χρήση της, την αξιοπιστία και το χαμηλό κόστος, έχει γίνει πολύ διαδεδομένη στον τεχνικό κόσμο και χρησιμοποιείται κατά κόρον σε ένα ευρύτατο φάσμα εφαρμογών στις οποίες απαιτείται ακρίβεια καλύτερη του μέτρου (sub-meter).

Παράλληλα, τα τελευταία χρόνια αυξάνεται συνεχώς ο αριθμός των Σταθμών που εκπέμπουν διορθώσεις διαφορικού εντοπισμού DGPS. Αυτοί οι σταθμοί ανήκουν είτε σε δημόσιες υπηρεσίες και φορείς, είτε σε ερευνητικά ιδρύματα, είτε σε ιδιωτικές εταιρίες, είτε σε ιδιώτες. Σε κάποιες περιπτώσεις οι Σταθμοί αυτοί είναι μεμονωμένοι και σε άλλες πρόκειται για ολόκληρα δίκτυα Σταθμών.

Αυτή τη στιγμή αρκετές χώρες μεταξύ των οποίων και η Ελλάδα (με το HEPOS) έχουν αναπτύξει και λειτουργούν δίκτυα μόνιμων σταθμών αναφοράς υπερτοπικής ή εθνικής εμβέλειας που παρέχουν –μεταξύ άλλων- και διορθώσεις DGPS.

### 6.8 Απαιτούμενος εξοπλισμός

Παραδοσιακά, οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν σε εφαρμογές GIS/GPS ήταν οι εκάστοτε υφιστάμενοι δέκτες GPS με δυνατότητα DGPS οι οποίοι συνδέονταν ενσύρματα ή ασύρματα με κάποιο φορητό Η/Υ. Σε περιπτώσεις που κάτι τέτοιο δεν ήταν δυνατό, η 'συνδυασμένη' χρήση των τεχνολογιών αρκεί στην καταγραφή κάποιων στοιχείων GIS στο πεδίο και έπειτα την αποφόρτωση ή το 'συγχρονισμό' των δεδομένων στην κεντρική εφαρμογή GIS στο γραφείο.

Με την πρόοδο όμως τόσο της τεχνολογίας των Η/Υ όσο και των τηλεπικοινωνιών, η συνέργεια GIS/GPS έχει λάβει όχι μόνο μεγάλη ώθηση αλλά και νέο χαρακτήρα, επειδή ταυτόχρονα οι κατασκευάστριες εταιρίες τόσο του λογισμικού GIS όσο και λογισμικού και δεκτών GPS αναπτύσσουν εφαρμογές και εξοπλισμό που στοχεύουν ακριβώς σε αυτή τη συνέργεια και έτσι πλέον υπάρχει μια ειδική κατηγορία δεκτών GPS με ικανότητα διεξαγωγής DGPS, οι οποίοι είναι σχεδιασμένοι για εφαρμογές GIS. Στην **εικόνα 6.1** απεικονίζονται παραδείγματα δεκτών GPS με δυνατότητα διεξαγωγής DGPS που είναι ειδικά σχεδιασμένοι για εφαρμογές GIS.



**Εικόνα 6.1.** Παραδείγματα δεκτών GPS με δυνατότητα διεξαγωγής DGPS που είναι ειδικά σχεδιασμένοι για εφαρμογές GIS.

Επίσης, σήμερα που έννοιες όπως Infomobility και Mobile GIS αποτελούν τη σύγχρονη προσέγγιση για την καταγραφή, επεξεργασία, ανάλυση, παρουσίαση και διάθεση γεωγραφικών δεδομένων, ηλεκτρονικές συσκευές χαμηλού κόστους όπως Pocket PCs, PDAs, Smart Phones, Net Books, Tablet PCs, στην πλειοψηφία τους παρέχουν τους απαιτούμενους πόρους υπολογιστικής ισχύος και επιπέδου εξοπλισμού ώστε να κάνουν δυνατή (έστω και υποτυπωδώς) τη

χρήση εφαρμογών GIS (Vanier, 2004) και ακόμη και τη λήψη διαφορικών διορθώσεων με χρήση κατάλληλης εφαρμογής NTRIP client και ασύρματη σύνδεση με δέκτη GPS κατάλληλο για DGPS.

## 6.9 Τρόποι εργασίας

Ο τρόπος εργασίας σε περιπτώσεις εφαρμογών GIS/DGPS εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το αντικείμενο του έργου, τις συνθήκες που επικρατούν στο πεδίο, τις δυνατότητες του εξοπλισμού και τη διαθεσιμότητα των τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών (κάλυψη GPRS/GSM).

Για παράδειγμα, για εργασίες που αφορούν στη συλλογή και ενημέρωση στοιχείων GIS και χρησιμοποιείται δέκτης GIS/GPS, ο ταχύτερος και αποδοτικότερος τρόπος εργασίας είναι αυτός που βασίζεται στην αρχιτεκτονική Client-server (Kotsakis, et al., 2001). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, ο κινητός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στο πεδίο (δέκτης GIS/GPS) έχει τη δυνατότητα για ασύρματη επικοινωνία τόσο για τη διεξαγωγή διαφορικού εντοπισμού DGPS όσο και για την αμφίδρομη επικοινωνία με την κεντρική εφαρμογή GIS (η οποία μέσω του εξοπλισμού στον οποίο είναι εγκατεστημένη, έχει επίσης τη δυνατότητα για ασύρματη επικοινωνία με τον εξοπλισμό του χρήστη στο πεδίο) για λήψη σε πραγματικό χρόνο των χωρικών και περιγραφικών στοιχείων της περιοχής εργασίας καθώς και των υφιστάμενων raster υποβάθρων. Ο χρήστης στο πεδίο, έχοντας στον GIS/GPS δέκτη του τη λειτουργικότητα της εφαρμογής GIS, ελέγχει/ τροποποιεί/ ενημερώνει/ καταργεί/ δημιουργεί/ εμπλουτίζει (πιθανά με φωτογραφίες κλπ) σε πραγματικό χρόνο τα στοιχεία της κεντρικής χωρικής και περιγραφικής βάσης. Με τον τρόπο αυτό, η εργασία ολοκληρώνεται ήδη με το πέρας της εργασίας στο πεδίο και δεν απαιτείται επίσκεψη στο γραφείο για περαιτέρω επεξεργασία (εξού και στον τρόπο αυτό αποδίδονται οι ονομασίες "field-to-finish", "field-to-office" κ.α.).

Σε περιπτώσεις όμως που είτε δεν το επιτρέπουν οι συνθήκες (δεν υπάρχει επαρκής κάλυψη τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών στην περιοχή εργασίας ή στην περιοχή εγκατάστασης της κεντρικής εφαρμογής, δεν διατίθεται ο απαραίτητος για την επικοινωνία εξοπλισμός κλπ.) είτε δεν το απαιτούν οι ανάγκες του έργου, τότε η εργασία μπορεί να γίνει σε 2 στάδια, χωρίς την αμφίδρομη επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο μεταξύ Κεντρικής εφαρμογής και εξοπλισμού πεδίου (με εξασφάλιση όμως της δυνατότητας για διεξαγωγή διαφορικού εντοπισμού DGPS). Στην περίπτωση αυτή, γίνεται προεγκατάσταση των χωρικών, περιγραφικών και λοιπών στοιχείων της περιοχής εργασίας από το κεντρικό σύστημα της εφαρμογής. Ο χρήστης στο πεδίο διεξάγει την εργασία του έχοντας τα προεγκατεστημένα στοιχεία της περιοχής και κάνοντας χρήση της λειτουργικότητας GIS του εξοπλισμού του σε θέματα καταγραφής

στοιχείων και απόδοσης των χαρακτηριστικών τους στο πεδίο. Μετά το τέλος της εργασίας πεδίου απαιτείται η επαφή με το γραφείο όπου και γίνεται η αποφόρτωση (download) των συλλεχθέντων στοιχείων και η φόρτωσή τους στην εφαρμογή ή ο απευθείας "συγχρονισμός" με την κεντρική εφαρμογή για ενημέρωση της κεντρικής βάσης με τα νέα στοιχεία.

## 6.10 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ GIS/DGPS

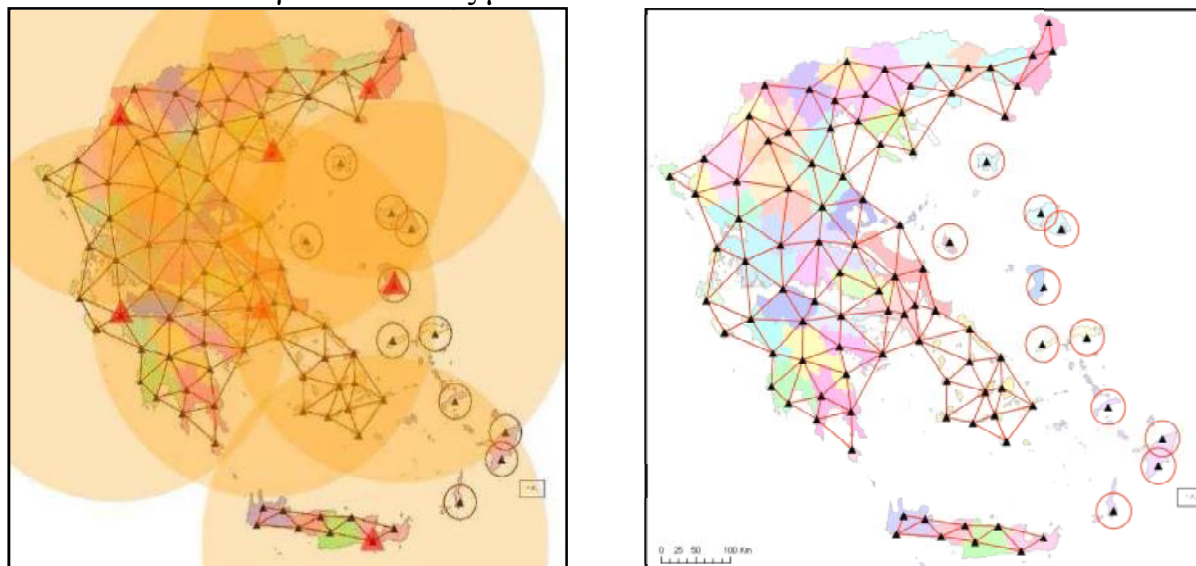
Υπάρχει ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών GIS οι οποίες κάνουν χρήση της τεχνολογίας GPS και της τεχνικής DGPS. Ενδεικτικά, αναφέρονται οι εφαρμογές που αφορούν σε επιτόπια συλλογή και ενημέρωση στοιχείων των υποδομών δικτύων κοινής ωφέλειας, όπως δίκτυα ηλεκτροδότησης, τηλεπικοινωνιών, ύδρευσης και αποχέτευσης, αγωγών φυσικού αερίου, αγωγών πετρελαίου κ.α. Η συλλογή στοιχείων που αφορούν στην οδική σήμανση είναι επίσης μια πολύ χαρακτηριστική εφαρμογή. Στις περιπτώσεις αυτές, μπορεί να γίνεται λεπτομερής καταγραφή όλων των χαρακτηριστικών των οντοτήτων σε οποιαδήποτε λεπτομέρεια απαιτεί το έργο και με χωρική ακρίβεια ώστε να διευκολύνεται η ακριβής επανεπίσκεψη για ενδεχόμενη περιοδική ή έκτακτη, συντήρηση/ επισκευή/ αντικατάσταση και επανέλεγχο των υποδομών. Ακόμη, συνήθως είναι η χρήση της τεχνικής DGPS σε εφαρμογές GIS σχετικές με Υδρολογία, όπως για παράδειγμα η διαχείριση υδατικών πόρων, υδρογεολογικές μελέτες (Quadros, et al., 2000), εφαρμογές στο Γεωργικό τομέα (precision farming/agriculture) (Kikiras, et al., 2003), υδρογραφικές και γεωμορφολογικές μελέτες για εγκατάσταση υποβρύχιων υποδομών, μελέτες επιπτώσεων σεισμών (Iwai, 1999), κ.α.

## 6.11 ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ DGPS ΤΟΥ HEPOS

Για εφαρμογές DGPS το HEPOS μπορεί να παρέχει δύο ειδών διορθώσεις RTCM:

- Διορθώσεις Single-Base DGPS, οι οποίες υπολογίζονται από τις μετρήσεις κάθε ενός από τους 7 σταθμούς παραγωγής διορθώσεων Single-Base DGPS που είναι κατανεμημένοι σε όλη τη χώρα και φαίνονται στην Εικόνα 1. Λόγω της ακρίβειας που μπορεί να προσφέρει το DGPS δεν θα είχε νόημα να παρέχονται διορθώσεις από όλους του σταθμούς του συστήματος και για λόγους διευκόλυνσης του χρήστη έχουν επιλεγεί οι συγκεκριμένοι 7 σταθμοί αναφοράς. Δυνατότητα λήψης διορθώσεων Single-Base DGPS παρέχεται στο χρήστη μόνο κατά την περίπτωση σύνδεσής του με το Κέντρο Ελέγχου του HEPOS μέσω GPRS και του πρωτοκόλλου NTRIP, όπου μπορεί να επιλέξει το συγκεκριμένο σταθμό από τον οποίο θέλει να λάβει διορθώσεις. Στην ορολογία του πρωτοκόλλου NTRIP κάθε επιλογή αντιστοιχεί σε ένα Mount-point. Οι συγκεκριμένες επιλογές δίνονται στον **Πίνακα 1**.

- Διορθώσεις Network-DGPS (δικτυακής λύσης), που προκύπτουν από συνδυασμένη επεξεργασία δεδομένων όλων των σταθμών του HEPOS οι οποίοι φαίνονται στην **Εικόνα 6.3**. Όπως θα φανεί και στη συνέχεια της εργασίας, η τεχνική Network-DGPS πλεονεκτεί έναντι της τεχνικής Single-Base DGPS. Για το λόγο αυτό η δυνατότητα λήψης διορθώσεων Network-DGPS από το HEPOS παρέχεται τόσο για συνδέσεις μέσω GPRS όσο για συνδέσεις μέσω GSM.



**Εικόνες 6.2-6.3.** Οι 7 σταθμοί για τους οποίους παρέχονται διορθώσεις Single-Base DGPS (Εικόνα αριστερά) και το σύνολο των 98 σταθμών αναφοράς του HEPOS που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία των διορθώσεων Network-DGPS (Εικόνα δεξιά).

Αναλόγως της μεθόδου DGPS (Network ή Single-Base), και της απόστασης από το Σταθμό αναφοράς (για Single-Base) μπορεί να επιτευχθούν ακρίβειες από περίπου 1m έως και της τάξης των 20 cm.

A/A	Επιλογή	Τεχνική	Format Δεδομένων
1	019A	>>	>>
2	030A	>>	>>
3	038A	>>	>>
4	076A	>>	>>
5	079A	>>	>>
6	095A	>>	>>
7	098A	>>	>>
8	DGPS	Network DGPS	>>

**Πίνακας 1.** Επιλογές του HEPOS για τεχνικές DGPS (Mount-points του Source-Table του HEPOS για συνδέσεις μέσω GPRS).

### 6.11.1 Απαιτούμενος εξοπλισμός

Ο εξοπλισμός που απαιτείται για χρήση του HEPOS σε εφαρμογές GIS/DGPS είναι ένας δέκτης εφαρμογών GIS ή ένας απλούστερος δέκτης με δυνατότητα λήψης διαφορικών διορθώσεων DGPS, κατάλληλο interface για επικοινωνία με το Κ.Ε. και ένα modem GSM ή GPRS για την υλοποίηση της επικοινωνίας αυτής με το Κ.Ε..

### 6.11.2 Σύνδεση με το Κέντρο Ελέγχου

Η σύνδεση με το Κέντρο Ελέγχου γίνεται με 2 τρόπους, μέσω GPRS και μέσω GSM. Με τον πρώτο τρόπο σύνδεσης, γίνεται χρήση του πρωτοκόλλου NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol), η αναγνώριση του χρήστη γίνεται μέσω username & password, και η επιλογή μεθόδου εργασίας γίνεται μέσω “Source-table” και “Mountpoint”.

## 6.12 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΕΔΙΟΥ<sup>9</sup>

Για τη διερεύνηση της ακρίβειας που μπορεί να επιτευχθεί με χρήση των τεχνικών DGPS (single-base και network-based) του HEPOS πραγματοποιήθηκαν στατικές και κινηματικές μετρήσεις, οι οποίες περιγράφονται στη συνέχεια. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις μετρήσεις ήταν ένας γεωδαιτικός δέκτης RTK δύο συχνοτήτων (Trimble R6). Η σύνδεση με το HEPOS γινόταν μέσω ενός GPRS modem τοποθετημένου στο χειριστήριο.

### 6.12.1 Περιγραφή των στατικών μετρήσεων

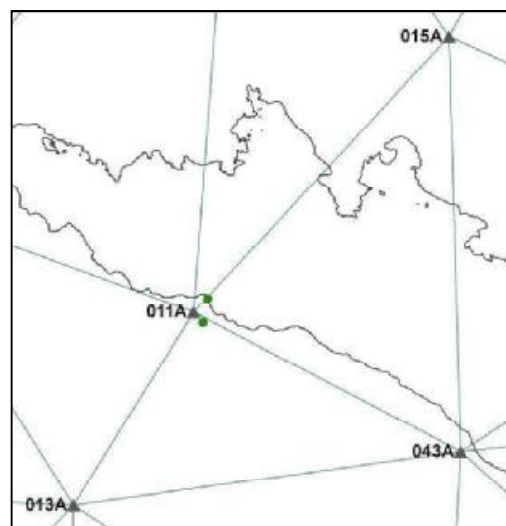
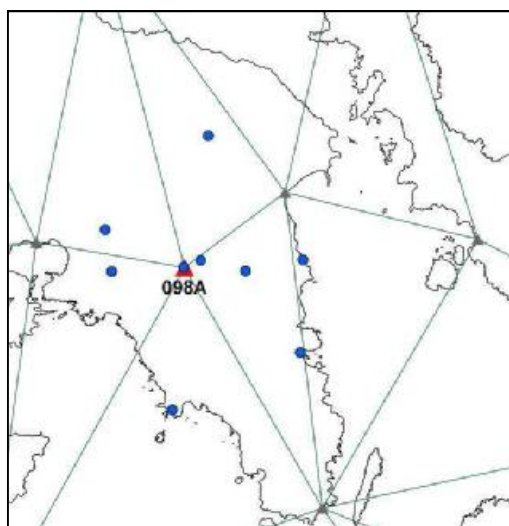
Οι στατικές μετρήσεις πεδίου έγιναν σε διάφορες ημέρες και ώρες από τα τέλη Σεπτεμβρίου έως τις αρχές Οκτωβρίου 2010. Πραγματοποιήθηκαν συνολικά δεκατρείς στατικές μετρήσεις σε έντεκα διαφορετικά σημεία, εννέα στο Νομό Αττικής (Εικόνα 6.4) και άλλα δύο στο Νομό Αχαΐας (Εικόνα 6.5), όπου πραγματοποιήθηκαν και οι κινηματικές μετρήσεις που περιγράφονται στην επόμενη ενότητα. Η επιλογή των σημείων μέτρησης έγινε με τρόπο που να εξασφαλίζεται καθαρός ορίζοντας, ώστε να διαπιστωθεί η ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί υπό καλές συνθήκες. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι συνθήκες μέτρησης ήταν γενικά καλές, αλλά όχι απαραίτητα ιδανικές. Για παράδειγμα, σε κάποια σημεία υπήρχαν δέντρα σε γωνίες ανύψωσης μέχρι 30ο, ενώ κάποια άλλα βρίσκονταν πολύ κοντά στη θάλασσα όπου προκαλούνται σφάλματα πολλαπλών διαδρομών του σήματος (multipath). Η γωνία αποκοπής ρυθμίστηκε

<sup>9</sup> Το παρόν πείραμα πραγματοποιήθηκε από το HEPOS. Το πείραμα αποδεικνύει την ακρίβεια των μετρήσεων που μπορεί να μας παρέχει η τεχνική DGPS



στις 10ο. Χαρακτηριστικά παραδείγματα των σημείων μέτρησης δίνονται στις **Εικόνες 6.6-6.7**.

Για να εξασφαλιστεί στις μετρήσεις ότι δεν θα υπάρχουν σφάλματα κέντρωσης δεν χρησιμοποιήθηκε στυλός, όπως συνηθίζεται σε εφαρμογές RTK και DGPS, αλλά ένας τρίποδας ώστε να εξασφαλίζεται απόλυτη σταθερότητα της κεραίας σε όλη τη διάρκεια της διαδικασίας των μετρήσεων. Σε όλες τις μετρήσεις ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία κατά την οποία ο δέκτης στερεωνόταν στον τρίποδα και υπολογιζόταν κάθε φορά οι συντεταγμένες του σημείου χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές που παρέχονται από το HEPOS. Ως αληθείς συντεταγμένες για τον υπολογισμό της ακρίβειας των τεχνικών DGPS θεωρήθηκαν αυτές που προέκυψαν από μετρήσεις RTK. Σε κάθε σημείο έγιναν δύο μετρήσεις RTK, μία στην αρχή και μία στο τέλος των μετρήσεων. Η διαδικασία μέτρησης σε κάθε σημείο διήρκεσε κατά μέσο όρο 30 λεπτά. Έτσι η αρχική και η τελική μέτρηση RTK γίνονταν κατά κανόνα υπό διαφορετικές συνθήκες γεωμετρίας (και ενδεχομένως και αριθμού δορυφόρων), γεγονός που συμβάλει θετικά στην αξιολόγηση της ακρίβειας και αξιοπιστίας της λύσης RTK. Για να εξασφαλιστεί ένας επιπλέον έλεγχος αξιοπιστίας της λύσης RTK, η πρώτη μέτρηση γινόταν με τεχνική VRS-RTK ενώ η δεύτερη με Single-Base RTK. Σε όλα τα σημεία οι διαφορές των οριζόντιων συντεταγμένων των δύο λύσεων RTK ήταν της τάξης των 1-2cm, όπως ήταν αναμενόμενο. Για τυπικούς λόγους ως «αληθής» θέση του κάθε σημείου θεωρήθηκε η μέση θέση από τις δύο μετρήσεις RTK.



**Εικόνες 6.4-6.5** Τα σημεία μετρήσεων στο Νομό Αττικής (Εικόνα αριστερά) και στο Νομό Αχαΐας (Εικόνα δεξιά).



**Εικόνες 6.6-6.7** Χαρακτηριστικά παραδείγματα περιβάλλοντος των στατικών μετρήσεων.

Κατά τις μετρήσεις σε όλα τα σημεία τηρήθηκε πάντα η ακόλουθη σειρά επιλογής των Mount-points:

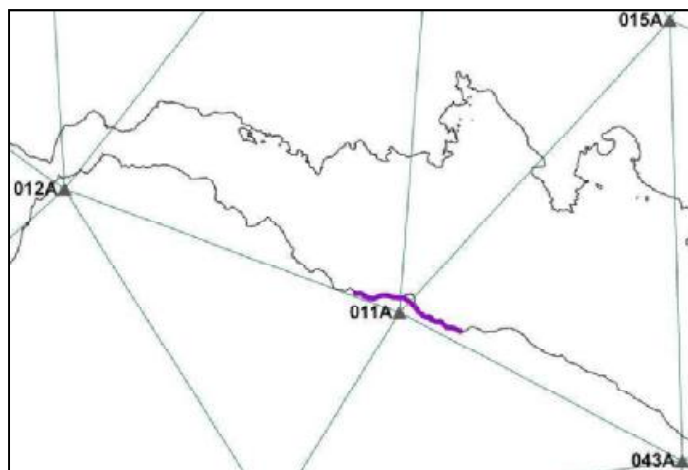
1. Network RTK (VRS)
2. Network DGPS
3. Single-Base DGPS (019A)
4. Single-Base DGPS (038A)
5. Single-Base DGPS (030A)
6. Single-Base DGPS (098A)
7. Single-Base DGPS (076A)
8. Single-Base DGPS (079A)
9. Single-Base DGPS (095A)
10. Single-Base RTK

Η διάρκεια κάθε RTK μέτρησης ήταν τουλάχιστον 30 sec, ώστε να εξασφαλίζεται μεγαλύτερη αξιοπιστία αποτελεσμάτων. Κατά τις μετρήσεις DGPS ο χρόνος μέτρησης σε κάθε σημείο ήταν 6-9 sec. Η συγκεκριμένη διάρκεια των μετρήσεων DGPS επιλέχθηκε λαμβάνοντας υπόψη ότι ένας τυπικός χρόνος για συλλογή δεδομένων GIS με GPS είναι της τάξης των λίγων sec.

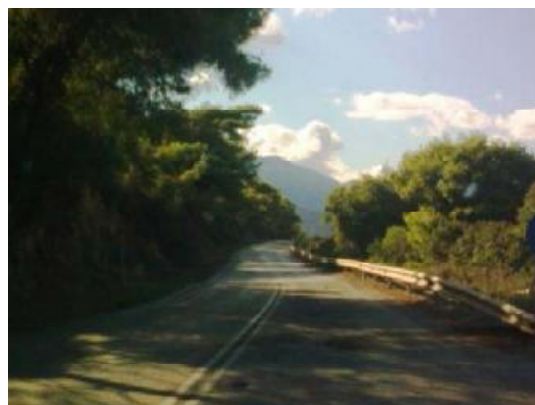
### 6.12.2 Περιγραφή των κινηματικών μετρήσεων

Οι κινηματικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στις 16 Οκτωβρίου 2010 κατά μήκος της Παλαιάς Εθνικής Οδού Αθηνών – Πατρών και σε ένα τμήμα μήκους 16 Km από το Δερβένι έως την Τράπεζα (Εικόνα 6.8). Το μεγαλύτερο μέρος της διαδρομής καλύφθηκε με μετάβαση και επιστροφή. Έτσι το συνολικό μήκος της διαδρομής των κινηματικών μετρήσεων ήταν περί τα 30 Km. Η συγκεκριμένη διαδρομή επιλέχθηκε γιατί προσφέρει στο μεγαλύτερο μέρος της επαρκή ορατότητα δορυφόρων, ενώ παράλληλα περιλαμβάνει και κάποια συγκεκριμένα

σημεία, όπου οι επικρατούσες συνθήκες δεν ενδείκνυνται για δορυφορικές μετρήσεις. Στις **Εικόνες 6.9** και **6.10** δίνονται δύο αντίστοιχα παραδείγματα. Στην **Εικόνα 6.9** διακρίνεται επίσης ο τρόπος στερέωσης της κεραίας στο όχημα των μετρήσεων.



**Εικόνα 6.8** Η διαδρομή κατά μήκος της οποίας πραγματοποιήθηκαν οι κινηματικές μετρήσεις στο Νομό Αχαΐας.



**Εικόνες 6.9-6.10** Χαρακτηριστικά παραδείγματα ευνοϊκών (Εικόνα αριστερά) και αντίξοων (Εικόνα δεξιά) συνθηκών ορατότητας δορυφόρων κατά μήκος της διαδρομής των κινηματικών μετρήσεων.

Κύριος στόχος των κινηματικών μετρήσεων ήταν να αξιολογηθεί η ακρίβεια της τεχνικής Network-DGPS σε ένα δυναμικό περιβάλλον υπό πραγματικές συνθήκες μετρήσεων. Προκειμένου να υπάρχουν κάποιες συντεταγμένες υψηλής ακρίβειας, ώστε να υπολογιστεί η απόκλιση της λύσης DGPS, καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων γινόταν καταγραφή των μετρήσεων στη μνήμη του δέκτη με διάστημα καταγραφής 1 sec. Για να διευκολυνθεί η επίλυση των ασαφειών φάσης, στην αρχή και στο τέλος της διαδρομής ο δέκτης παρέμεινε σταθερός για λίγα λεπτά σε περιβάλλον με καλή λήψη, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 6.9**.

### 6.12.3 Ανάλυση δεδομένων

Για την αξιολόγηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων οι συντεταγμένες των σημείων μετασχηματίστηκαν από το HTRS07 στο ΕΓΣΑ87. Ο μετασχηματισμός έγινε χρησιμοποιώντας το επίσημο μοντέλο που δημοσίευσε η ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. για τον αμφίδρομο μετασχηματισμό συντεταγμένων μεταξύ HTRS07 και ΕΓΣΑ87.

#### 6.12.3.1 Επεξεργασία των στατικών μετρήσεων

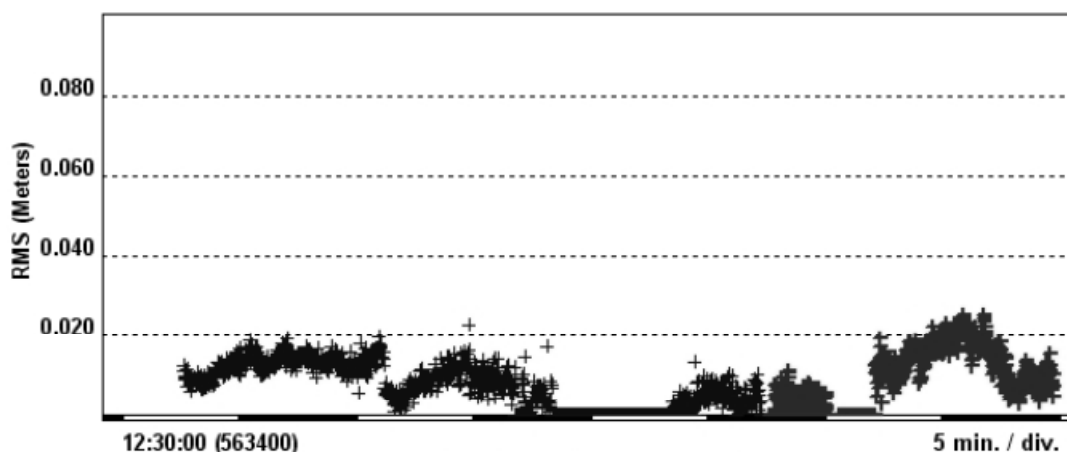
Κατά την επεξεργασία των στατικών μετρήσεων υπολογίστηκαν για κάθε σημείο οι συντεταγμένες E, N, H στο ΕΓΣΑ87 που προέκυψαν από την εφαρμογή των διαφόρων τεχνικών που αναφέρθηκαν παραπάνω. Έτσι ουσιαστικά για κάθε σημείο μέτρησης προέκυψαν 8 διαφορετικές τιμές για E, N, H: μία από τη μέτρηση με τεχνική Network- DGPS και 7 από τις μετρήσεις με κάθε ένα από τους σταθμούς που χρησιμοποιούνται για Single-Base DGPS. Ο λόγος που σε κάθε σημείο έγιναν μετρήσεις και από τους 7 σταθμούς για Single-Base DGPS ήταν να διερευνηθεί η επίδραση της απόστασης μεταξύ σταθμού αναφοράς και χρήστη στην ακρίβεια του εντοπισμού. Για λόγους καλύτερης εποπτείας η απόσταση των σημείων μέτρησης από τους 7 σταθμούς διορθώσεων Single-Base DGPS δεν υπολογίστηκε για κάθε σημείο χωριστά αλλά για το κέντρο βάρους των σημείων της Αττικής. Οι αποστάσεις του κέντρου βάρους από τους 7 σταθμούς κυμαίνονται μεταξύ 4 Km και 365 Km. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν για κάθε σημείο οι διαφορές E και N μεταξύ των συντεταγμένων που προσδιορίστηκαν με τις τεχνικές DGPS και των «αληθών» συντεταγμένων, που υπολογίστηκαν από τις μετρήσεις RTK. Διακρίνεται εύκολα ότι η ακρίβεια της τεχνικής Network-DGPS, είναι γενικά καλύτερη ακόμα και από την ακρίβεια που προκύπτει όταν γίνεται Single-Base DGPS από το σταθμό 098Α ο οποίος βρίσκεται σε απόσταση λίγων μόνο χιλιομέτρων από τα σημεία μέτρησης.

Προκειμένου να μπορέσουν να συγκριθούν οι 8 τρόποι μετρήσεων με DGPS, υπολογίστηκε το μέσο οριζοντιογραφικό σφάλμα για την κάθε περίπτωση. Προκύπτει ξεκάθαρα ότι η τεχνική που παρέχει τη μέγιστη ακρίβεια είναι η τεχνική Network-DGPS (μέσο σφάλμα 0.11 m). Με μικρή διαφορά ακολουθούν οι μετρήσεις Single-Base DGPS από το σταθμό 098Α, που βρίσκεται σε μέση απόσταση 4 Km από το κέντρο βάρους των σημείων μέτρησης. Με την αύξηση της απόστασης από το σταθμό αναφοράς η ακρίβεια της τεχνικής DGPS μειώνεται αισθητά και το μέσο σφάλμα ξεπερνά το 1 m.

Χρησιμοποιώντας το σύνολο των 13 μετρήσεων στους Νομούς Αττικής και Αχαΐας υπολογίστηκε το RMS και η τυπική απόκλιση ( $\sigma$ ) του οριζοντιογραφικού σφάλματος για την τεχνική Network-DGPS. Οι τιμές που προέκυψαν ήταν  $RMS = 0.125$  m και  $\sigma = 0.065$  m.

### 6.12.3.2 Επεξεργασία των κινηματικών μετρήσεων

Όπως προαναφέρθηκε στην **παράγραφο 6.12.2** ως «αληθείς» συντεταγμένες για τον υπολογισμό της ακρίβειας της λύσης Network-DGPS χρησιμοποιήθηκαν οι συντεταγμένες από την επίλυση των μετρήσεων φάσης που είχαν καταγραφεί στη μνήμη του δέκτη. Η επίλυση έγινε με το λογισμικό Trimble Geomatics Office ver. 1.63. Ως σταθμός αναφοράς χρησιμοποιήθηκε ο σταθμός 011A του HEPOS. Όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 6.8** ο σταθμός βρίσκεται στο μέσο της περιοχής των μετρήσεων. Η μέγιστη απόστασή του από τα σημεία που μετρήθηκαν δεν υπερβαίνει τα 8.5 Km. Η επίλυση έγινε με χρήση των εκπεμπόμενων εφημερίδων και με γωνία αποκοπής ίση με 13ο. Για το σύνολο των μετρήσεων επιτεύχθηκε η επίλυση των ασαφειών φάσης. Η ακρίβεια των συντεταγμένων που προέκυψαν από την επίλυση των μετρήσεων φάσης ήταν υψηλή όπως προκύπτει από τους στατιστικούς δείκτες της επίλυσης. Στο Διάγραμμα 3 δίνεται ενδεικτικά η τιμή RMS της επίλυσης για το πρώτο τμήμα της διαδρομής διάρκειας περίπου 38 λεπτών.



**Διάγραμμα 1.** Τιμές του RMS της επίλυσης των κινηματικών μετρήσεων με μετεπεξεργασία.

### 6.12.4 Συμπεράσματα

Η διεξαγωγή και επεξεργασία των στατικών μετρήσεων πεδίου στόχευαν στη διερεύνηση της ακρίβειας που μπορεί να επιτευχθεί με χρήση των τεχνικών DGPS αλλά και στη συγκριτική αξιολόγηση της ακρίβειας των τεχνικών αυτών. Η τεχνική Network- DGPS παρέχει τη μέγιστη ακρίβεια γεγονός αναμενόμενο από τη στιγμή που οι διορθώσεις προκύπτουν από συνδυασμένη επεξεργασία των δεδομένων όλων των σταθμών του HEPOS και ως εκ τούτου η απόσταση του χρήστη από το σταθμό αναφοράς του HEPOS δεν επηρεάζει την ακρίβεια. Από την ανάλυση των στατικών μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν ένα μέσο

οριζοντιογραφικό σφάλμα της τάξης των 0.11 m. Όσον αφορά στην τεχνική Single-Base DGPS η ακρίβεια των μετρήσεων επηρεάζεται από την απόσταση του χρήστη από το σταθμό από τον οποίο προκύπτουν οι διορθώσεις DGPS. Συνεπώς, εάν ο εξοπλισμός του χρήστη δεν υποστηρίζει συνδέσεις Network DGPS και γίνεται χρήση της τεχνικής Single-Base DGPS, τότε θα πρέπει να προτιμάται εκείνος ο σταθμός που βρίσκεται πλησιέστερα στην περιοχή μετρήσεων και να αποφεύγεται η χρήση κάποιου που βρίσκεται σε μεγαλύτερη απόσταση, καθότι αυτό μπορεί να οδηγηθεί σε σφάλματα που ξεπερνούν το 1 m. Η ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί με χρήση της τεχνική Network-DGPS σε κινηματικές μετρήσεις που πραγματοποιούνται σε ένα δυναμικό περιβάλλον υπό πραγματικές συνθήκες είναι γενικά χαμηλότερη συγκριτικά με την αντίστοιχη των στατικών μετρήσεων και εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τις συνθήκες παρατήρησης. Από την ανάλυση των κινηματικών μετρήσεων προέκυψε ότι όταν παρακολουθείται ένας ελάχιστος αριθμός πέντε δορυφόρων με γεωμετρία τέτοια ώστε ο δείκτης HDOP να μην είναι μεγαλύτερος από 4, το μέσο οριζοντιογραφικό σφάλμα είναι της τάξης των 0.35 m ενώ παράλληλα η μέγιστη τιμή του διατηρείται μικρότερη από 1 m. Συμπερασματικά προκύπτει ότι οι τεχνικές DGPS, εκτός του ότι είναι πιο εύχρηστες και οικονομικά πιο συμφέρουσες από το RTK, εξασφαλίζουν εύκολα ακρίβεια καλύτερη του μέτρου (sub-meter accuracy). Ειδικότερα όταν χρησιμοποιείται το HEPOS με την τεχνική Network-DGPS, τότε η ακρίβεια φθάνει και σε επίπεδα καλύτερα από 0.20 m.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΗΕΡΟΣ**

### **7.1 Εισαγωγή**

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφονται συνοπτικά οι τρόποι με τους οποίους το Ελληνικό σύστημα Εντοπισμού (ΗΕΡΟΣ: Hellenic POrsitioning System) μπορεί να χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό συντεταγμένων σε ιδιαίτερα συστήματα αναφοράς συντεταγμένων και ειδικότερα στο ΕΓΣΑ87. Το κεφάλαιο εμπεριέχει βασικές έννοιες συστημάτων αναφοράς συντεταγμένων. Για το «HTRS07: Το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς του ΗΕΡΟΣ» γίνεται μια σύντομη περιγραφή καθώς παρουσιάζεται αναλυτικότερα στο επόμενο κεφάλαιο.

### **7.2 Βασικές έννοιες Συστημάτων Αναφοράς Συντεταγμένων**

Στα συστήματα αναφοράς συντεταγμένων που χρησιμοποιούνται στη Γεωδαισία και στη Τοπογραφία διακρίνονται δύο κυρίαρχες έννοιες:

- i. Το **Γεωδαιτικό Σύστημα αναφοράς** (ΓΣΑ), το οποίο κατά κύριο λόγο προσδιορίζει την αφετηρία και τον προσανατολισμό των αξόνων ενός 3Δ καρτεσιανού συστήματος, το οποίο χρησιμοποιείται με κάποιο Ελλειψοειδές Εκ Περιστροφής (ΕΕΠ). Συχνά στη βιβλιογραφία η έννοια του ΓΣΑ χρησιμοποιείται ισοδύναμα με αυτή του γεωδαιτικού Datum<sup>10</sup>.
- ii. Το **προβολικό σύστημα**, το οποίο προσδιορίζεται από το είδος της χαρτογραφικής προβολής και τις παραμέτρους ορισμού της.

### **7.3 Το ΓΣΑ του ΗΕΡΟΣ**

Το ΓΣΑ του ΗΕΡΟΣ ονομάζεται HTRS07 (Hellenic Terrestrial Reference System 07) και αποτελεί υλοποίηση του Ευρωπαϊκού Συστήματος Αναφοράς (ETRS89: European Terrestrial System) στον Ελλαδικό χώρο. Σε μία απλουστευμένη προσέγγιση μπορούμε να πούμε ότι σήμερα το ETRS89 ταυτίζεται στο επίπεδο του 0.5 m με το WGS84 (διευκρινίζοντας ότι το WGS84 προσαρμόζεται διαδοχικά στις εκάστοτε υλοποιήσεις του παγκόσμιου συστήματος ITRS, International Terrestrial Reference System).

---

<sup>10</sup> Datum: Γεωγραφικό σύστημα αναφοράς ή γεωδαιτικό Datum

## 7.4 Το προβολικό σύστημα του ΗΕΡΟΣ

Το προβολικό σύστημα αναφοράς του ΗΕΡΟΣ ονομάζεται TM07. Πρόκειται για Εγκάρσια μερκατορική προβολή ενιαίας ζώνης (εκτός Καστελόριζου) με  $\lambda_0 = 24^\circ$ ,  $\varphi_0 = 0^\circ$ ,  $K_0 = 0.9996$ ,  $E_0 = 500000$  m και  $N_0 = 2000000$  m. (Για το Καστελόριζο  $\lambda_0 = 30^\circ$  και  $K_0 = 1$ ).

Αξίζει να σημειωθεί ότι η λειτουργία ενός συστήματος όπως το ΗΕΡΟΣ δεν προαπαιτεί τη χρήση κάποιου προβολικού συστήματος. Ο χρήστης μπορεί να αξιοποιεί πλήρως το σύστημα «φιξάροντας» τις συντεταγμένες των (πραγματικών ή εικονικών) σταθμών στη μορφή φλη ή ισοδύναμα XYZ (ECF: Earth-Centered Earth-Fixed).

Το προβολικό σύστημα αναφοράς του ΗΕΡΟΣ προστέθηκε στο ΓΣΑ του ΗΕΡΟΣ ώστε να δημιουργηθεί ένα σύστημα αναφοράς συντεταγμένων το οποίο:

- i. Χρησιμοποιείται για την παραγωγή των υπόβαθρων του Εθνικού Κτηματολογίου (LSO, VLSO, αγιαλοί), διατηρώντας στο ακέραιο την υψηλή ακρίβεια και ομοιογένεια του ΗΕΡΟΣ.
- ii. Μπορεί να αποτελέσει το επόμενο Κρατικό Σύστημα Αναφοράς Συντεταγμένων της Ελλάδας καλύπτοντας τις σύγχρονες απαιτήσεις και εξασφαλίζοντας συμβατότητα με την πολιτική της ΕΕ (EUREF, INSPIRE κ.λ.π)

## 7.5 Προσδιορισμός συντεταγμένων στο HTRS07 και στο ΕΓΣΑ87 με το ΗΕΡΟΣ

Ο προσδιορισμός συντεταγμένων στο HTRS07 με το ΗΕΡΟΣ είναι απλός. Θεωρώντας ως σταθερές τις συντεταγμένες των (πραγματικών ή εικονικών) σταθμών αναφοράς στο HTRS07 προσδιορίζονται άμεσα στο ίδιο σύστημα οι συντεταγμένες των νέων σημείων.

Αντίθετα ο προσδιορισμός συντεταγμένων στο ΕΓΣΑ87 με το ΗΕΡΟΣ μπορεί να γίνει με δύο τεχνικές:

- i. Με τη μέτρηση σημείων γνωστών συντεταγμένων στο ΕΓΣΑ87 στην περιοχή μετασχηματισμού μεταξύ ΕΓΣΑ87 και HTRS07. Τα σύγχρονα λογισμικά γραφείου GNSS και τα χειριστήρια δεκτών RTK παρέχουν αυτή τη δυνατότητα.
- ii. Με τη χρήση ενός μοντέλου μετασχηματισμού.

Η χρήση του μοντέλου μετασχηματισμού υπερτερεί σε ευχρηστία και είναι αυτή που χρησιμοποιείται κατά κανόνα για τον προσδιορισμό συντεταγμένων στο ΕΓΣΑ87 με το ΗΕΡΟΣ. Πάντως σε εφαρμογές με ιδιαίτερα υψηλές απαιτήσεις



προσαρμογής σε υφιστάμενα δίκτυα είναι σκόπιμο να εξετάζεται και η χρήση της πρώτης τεχνικής.

## 7.6 Μοντέλο μετασχηματισμού μεταξύ HTRS07 και ΕΓΣΑ87

Το μοντέλο αμφίδρομου μετασχηματισμού μεταξύ HTRS07 και ΕΓΣΑ87 έχει ήδη υπολογιστεί για λογαριασμό της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. από το ΤΑΤΜ/ΑΠΘ (καθηγ. Κ. Κατσάμπαλος, Χ. Κωτσάκης). Η υλοποίηση του μοντέλου έγινε με δύο τρόπους:

- a. Με λογισμικό το οποίο αναπτύχθηκε από το ΤΑΤΜ/ΑΠΘ και χορηγείται ελεύθερα από τον ιστοχώρο του HEPOS ([www.hepos.gr](http://www.hepos.gr))
- b. Μέσα από τα εμπορικά συστήματα GNSS. Πιο συγκεκριμένα η ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε., ακολουθώντας το σύγχρονο γεωδαιτικό γίνεσθαι, προδιέγραψε την ανάπτυξη του μοντέλου με τρόπο ώστε αυτό να μπορεί να ενσωματωθεί στα λογισμικά γραφείου GNSS και στα χειριστήρια των δεκτών GNSS-RTK.

Με σχετική ανακοίνωση στον ιστοχώρο του HEPOS το Νοέμβριο του 2008 η ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. παρουσίασε αναλυτικά τον αλγόριθμο μετασχηματισμού. Επίσης κάλεσε όλους τους αντιπροσώπους γεωδαιτικού λογισμικού και συστημάτων GNSS να παραλάβουν τα σχετικά στοιχεία για την ενσωμάτωση του μοντέλου στα συστήματά τους καθώς και κάθε ενδιαφερόμενο να υποβάλει σχετικά σχόλια και παρατηρήσεις. Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική παρουσίαση του λογισμικού υλοποίησής του.

## 7.7 Προσδιορισμός υψομέτρων με το HEPOS

Πρωτογενώς ο δορυφορικός εντοπισμός οδηγεί στον προσδιορισμό γεωμετρικών υψομέτρων (από το ΕΕΠ). Ο προσδιορισμός ορθομετρικών υψομέτρων (από ΜΣΘ) με το HEPOS μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

- a. Με τη μέτρηση σημείων γνωστών ορθομετρικών υψομέτρων στην περιοχή εργασίας και τον υπολογισμό μίας επιφανείας διορθώσεων. Όλα τα σύγχρονα λογισμικά γραφείου GNSS και τα χειριστήρια δεκτών RTK διαθέτουν ενσωματωμένους αλγόριθμους για το σκοπό αυτό.
- b. Με τη χρήση ενός μοντέλου γεωειδούς. Το μοντέλο αυτό μπορεί να είναι παγκόσμιο ή τοπικό.

## 7.8 Υπολογισμός μοντέλου γεωειδούς

Τα παγκόσμια μοντέλα γεωειδούς δεν μπορούν προς το παρόν να παρέχουν την ακρίβεια που χρειάζεται για πολλές εφαρμογές του Τοπογράφου Μηχανικού. Αυτή η πραγματικότητα επιβεβαιώνεται όχι μόνο από τη θεωρία (βαθμός και τάξη ανάπτυξης του μοντέλου, διαθέσιμα δεδομένα υπολογισμού) αλλά και από

την πράξη. Για παράδειγμα η χρήση του παγκόσμιου μοντέλου EGM96 στην Ελλάδα μπορεί να προσφέρει καλά αποτελέσματα σε κάποιες περιοχές, σε άλλες περιοχές όμως έχουν διαπιστωθεί σφάλματα μεγαλύτερα από 1 m. Η χρήση του επερχόμενου παγκοσμίου μοντέλου EGM08 θα βελτιώσει σημαντικά την κατάσταση, όμως και πάλι αυτό δεν θα είναι αρκετό.

Αντίθετα ο υπολογισμός ενός τοπικού μοντέλου γεωειδούς για την Ελλάδα μπορεί να οδηγήσει σε ακρίβειες που επαρκούν για τις περισσότερες εφαρμογές. Η ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. προσδιόρισε μέσω του έργου των μετρήσεων του HEPOS τις συντεταγμένες 2500 περίπου τριγωνομετρικών του ΕΓΣΑ87 στο HTRS07. Τα στοιχεία αυτά μπορούν να συνεισφέρουν ιδιαίτερα στον υπολογισμό του τοπικού μοντέλου. Επειδή όμως τα υψόμετρα των σημείων αυτών έχουν προσδιοριστεί κυρίως με τριγωνομετρική υψομετρία, καθώς επίσης και για ένα σύνολο άλλων θεωρητικών και πρακτικών ζητημάτων είναι απαραίτητη η χρήση και άλλων στοιχείων (μετρήσεις βαρύτητας, παρατηρήσεις στάθμης θάλασσας κ.α.). Η ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. προτίθεται να αναπτύξει σε συνεργασία με την ακαδημαϊκή κοινότητα ένα μοντέλο γεωειδούς για τον Ελλαδικό χώρο. Η ανάπτυξη θα γίνει λαμβάνοντας υπόψη όλες εκείνες τις παραμέτρους που εξασφαλίζουν την εύκολη χρήση του μοντέλου μετασχηματισμού μεταξύ HTRS07 και ΕΓΣΑ87. Μέχρι τον υπολογισμό του μοντέλου γεωειδούς οι χρήστες μπορούν να προσδιορίζουν ορθομετρικά υψόμετρα με το HEPOS χρησιμοποιώντας σημεία γνωστών ορθομετρικών υψομέτρων.

## **7.9 Ακρίβεια που επιτυγχάνεται με το HEPOS**

Για την ακρίβεια που επιτυγχάνεται με το HEPOS μπορούμε συνοπτικά να πούμε ότι:

- Στο HTRS07 ισχύει ό,τι και για την ακρίβεια των μεθόδων μετρήσεων με GPS, είναι δηλαδή της τάξης του «sub-meter» για Single-Base DGPS, της τάξης των λίγων cm για RTK και της τάξης των λίγων mm για πολύωρες στατικές μετρήσεις.
- Στο ΕΓΣΑ87 (όπως και σε οποιοδήποτε άλλο σύστημα αναφοράς) η ακρίβεια εξαρτάται επιπλέον και από το μοντέλο μετασχηματισμού που χρησιμοποιείται. Το μοντέλο που υπολόγισε για λογαριασμό της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. το ΤΜ/ΑΠΘ για το μετασχηματισμό μεταξύ HTRS07 και ΕΓΣΑ87 παρέχει μια μέση ακρίβεια της τάξης 6-8 cm.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup>: ΤΟ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ HTRS07 (Hellenic Terrestrial Reference System 07) ΤΟΥ ΗΕΡΟΣ**

### **8.1 Εισαγωγή-εξέλιξη**

Οι ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα της δορυφορικής Γεωδαισίας, καθώς και η συνεχιζόμενη ανάπτυξη πληρέστερων θεωρητικών μοντέλων και αλγοριθμικών τεχνικών για την επεξεργασία δεδομένων του Παγκόσμιου Δορυφορικού Συστήματος GPS, έχουν επιφέρει μια αλματώδη αύξηση στην ακρίβεια προσδιορισμού της θέσης σημείων στην επιφάνεια της Γης. Με την χρήση του GPS είναι πλέον σχετικά εύκολο να υπολογίσουμε με ακρίβεια λίγων εκατοστών τόσο την απόλυτη (σε σχέση με κάποιο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς) θέση ενός σημείου, όσο και την σχετική του θέση ως προς κάποιο γνωστό επίγειο σταθμό ελέγχου που μπορεί να βρίσκεται αρκετές εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά. Μέσα στο πλαίσιο αυτό, η χρήση του υφιστάμενου επίσημου Ελληνικού Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς – ΕΓΣΑ87 (ΟΚΧΕ, 1987) κρίνεται πλέον ανεπαρκής για την πλήρη κάλυψη των γεωδαιτικών, τοπογραφικών και χαρτογραφικών αναγκών της χώρας, αλλά και για την υποστήριξη άλλων επιστημονικών μελετών και εφαρμογών που απαιτούν ένα σύγχρονο, τρισδιάστατο και υψηλής ακρίβειας σύστημα αναφοράς για την καταγραφή, την μελέτη και την δυναμική παρακολούθηση διαφόρων φυσικών φαινομένων και ανθρωπογενών διεργασιών. Η σημαντική αδυναμία του ΕΓΣΑ87 οφείλεται στο γεγονός ότι είναι πλέον ένα ξεπερασμένο σύστημα αναφοράς από πλευράς ακρίβειας και αξιοπιστίας, αφού ο υπολογισμός του έγινε πριν από δύο δεκαετίες χρησιμοποιώντας δεδομένα και τεχνικές συνόρθωσης τα οποία δεν μπορούν σε καμία περίπτωση να ικανοποιήσουν τις σύγχρονες απαιτήσεις για ένα εθνικό γεωδαιτικό δίκτυο πρώτης τάξης. Επιπλέον, το ΕΓΣΑ87 δεν είναι ένα αληθινά τρισδιάστατο σύστημα αναφοράς (καλύπτοντας πάντως τις χαρτογραφικές απαιτήσεις του Εθνικού Κτηματολογίου), δημιουργώντας όμως έτσι ένα σημαντικό κενό στην ύπαρξη ενός αξιόπιστου εθνικού δικτύου υψομετρικού ελέγχου, με βάση δορυφορικές μετρήσεις υψηλής ακρίβειας, μιας και η ποιότητα του υπάρχοντος κλασικού χωροσταθμικού δικτύου είναι ιδιαίτερα προβληματική. Λαμβάνοντας επίσης υπόψη τα διάφορα γεωδυναμικά φαινόμενα (κίνηση τεκτονικών πλακών, σεισμική δραστηριότητα, κλπ.) που επηρεάζουν σημαντικά την γεωμετρία του Ελληνικού χώρου σε διάφορες χρονικές και χωρικές κλίμακες, όσο και τη χρησιμότητα της διαχρονικής παρακολούθησής τους, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι υπάρχει επιτακτική ανάγκη για τη μελέτη και τη δημιουργία ενός νέου εθνικού γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς το οποίο θα παρέχει το αναγκαίο υπόβαθρο για την σωστή και ολοκληρωμένη διαχείριση χωρικών πληροφοριών. Έχοντας υπόψιν τα παραπάνω το Ευρωπαϊκό Σύστημα αναφοράς υλοποίησε ένα νέο ολοκληρωμένο σύστημα αναφοράς.

## 8.2 Το ETRS89

Όπως περιγράφηκε σε προηγούμενη ενότητα, η λειτουργία των δικτυακών τεχνικών στηρίζεται στη λεπτομερή μοντελοποίηση των σφαλμάτων. Η μοντελοποίηση αυτή προϋποθέτει τη γνώση των συντεταγμένων των σταθμών αναφοράς με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια. Επιπλέον οι συντεταγμένες των σταθμών πρέπει να είναι συμβατές με τις συντεταγμένες των δορυφόρων, οι οποίες παρέχονται από τις τροχιές ακριβείας στο εκάστοτε ισχύον πλαίσιο αναφοράς ITRF (International Terrestrial Reference Frame) του ITRS (International Terrestrial Reference System). Για το λόγο αυτό, σε δίκτυα όπως το ΗΕΡΟΣ τα οποία υποστηρίζουν δικτυακές τεχνικές, οι εσωτερικοί υπολογισμοί γίνονται σε κάποιο πλαίσιο αναφοράς ITRF, στο οποίο πρέπει να είναι γνωστές και οι συντεταγμένες των σταθμών αναφοράς. Λόγω των σημαντικών ρυθμών μεταβολής των συντεταγμένων ITRF στον Ευρωπαϊκό χώρο, η επιτροπή EUREF της Ε.Ε. εισήγαγε προς χρήση από τις Ευρωπαϊκές χώρες το Ευρωπαϊκό σύστημα αναφοράς ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989). Το ETRS89 εξ' ορισμού ταυτίστηκε με το ITRS κατά την εποχή 1989.0 και θεωρείται σταθερά προσκολλημένο στο σταθερό μέρος της Ευρασιατικής τεκτονικής πλάκας. Βασικό πλεονέκτημα του ETRS89 είναι ότι ελαχιστοποιεί το ρυθμό μεταβολής των συντεταγμένων. Στον **Πίνακα 1** δίνονται ενδεικτικά οι ταχύτητες τριών σταθμών του δικτύου EPN: KOSG στην Ολλανδία, WTZR στη Γερμανία και AUT1 στη Θεσσαλονίκη (βάσει της επίλυσης C1555 της EUREF).

**Πίνακας 1:** Ταχύτητες (m/year) σταθμών του δικτύου EPN στο ITRS και στο ETRS89.

Σταθμός	ITRS				ETRS89			
	$V_X$	$V_Y$	$V_Z$	$V_{3D}$	$V_X$	$V_Y$	$V_Z$	$V_{3D}$
KOSG	-0.0138	0.0162	0.0106	0.0238	-0.0002	-0.0006	0.0001	0.0006
WTZR	-0.0156	0.0168	0.0104	0.0252	-0.0005	-0.0005	-0.0003	0.0008
AUT1	-0.0149	0.0206	0.0027	0.0256	0.0024	0.0021	-0.0086	0.0092

Όπως φαίνεται από τις τιμές του **Πίνακα 1** οι περιοχές της Κεντρικής Ευρώπης παρουσιάζουν σημαντικές ταχύτητες στο Παγκόσμιο σύστημα, ενώ οι ταχύτητές τους στο Ευρωπαϊκό σύστημα είναι αμελητέες. Η Ελλάδα βρίσκεται στα όρια της Ευρασιατικής πλάκας και χαρακτηρίζεται από ανομοιογενές πεδίο τεκτονικών κινήσεων με αποτέλεσμα να ανατρέπεται αυτή η ισορροπία, ιδίως όσο απομακρυνόμαστε από τα βόρεια σύνορα της χώρας. Για τις βόρειες περιοχές όμως της Ελλάδας, το ETRS89 εξακολουθεί να παρουσιάζει μικρότερες ταχύτητες, όπως φαίνεται και από τις ταχύτητες του AUT1 στο ITRS και στο ETRS89. Μια εκτενέστερη ανάλυση του θέματος ξεφεύγει από τους σκοπούς της παρούσας εργασίας. Είναι σημαντικό πάντως να τονιστεί ότι **οι χρήστες πρέπει να θεωρούν τις συντεταγμένες των σταθμών του ΗΕΡΟΣ**

**σταθερές** και δεν πρέπει να κάνουν καμία μεταβολή στις τιμές τους (αρχική δημοσιοποίηση: Μάιος 2009).

### 8.3 Το HTRS07 και η Ευρωπαϊκή του διάσταση

Η Ελλάδα σε συνεννόηση με την Ε.Ε. που συγχρηματοδότησε το Έργο υιοθέτησε το ETRS89 ως σύστημα αναφοράς του HEPOS. Η λύση αυτή πέραν των γεωδαιτικών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει είναι επιπλέον συμβατή και με την Ευρωπαϊκή οδηγία INSPIRE. Το σύστημα του HEPOS ονομάστηκε HTRS07 (Hellenic Terrestrial Reference System 2007) και αποτελεί υλοποίηση του ETRS89 στον Ελλαδικό χώρο. Για λεπτομέρειες σχετικά με τον ορισμό του HTRS07 ο αναγνώστης παραπέμπεται στους Katsampalos et al. 2009. Σε μία απλουστευμένη προσέγγιση μπορούμε να πούμε ότι σήμερα το HTRS07 ταυτίζεται σε επίπεδο καλύτερο του 1 m με το ITRS και το WGS84 (διευκρινίζοντας ότι το WGS84 προσαρμόζεται διαδοχικά στις εκάστοτε υλοποιήσεις του ITRS).

Οι υπολογισμοί των συντεταγμένων των σταθμών του HEPOS στο HTRS07 έγιναν από επεξεργασία παρατηρήσεων 14 συνεχόμενων ημερών την περίοδο του Οκτωβρίου 2007. Αυτή η μετρητική καμπάνια ονομάστηκε EUREF GR 2007 Campaign και τα αποτελέσματά της εγκρίθηκαν πρόσφατα από την EUREF ως υλοποίηση του ETRS89 (EUREF, 2010). Επίσης, η ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. διέθεσε στην EUREF τα απαραίτητα στοιχεία ώστε να συμπεριληφθεί η Ελλάδα στο έργο παρακολούθησης των εθνικών υλοποιήσεων του ETRS89 (Monitoring of official national ETRF coordinates on the EPN web). Στην **Εικόνα 8.1** δίνονται οι διαφορές οριζόντιων συντεταγμένων μεταξύ των εθνικών υλοποιήσεων και της πιο πρόσφατης επίλυσης της EUREF, η οποία γίνεται πάντοτε στο ισχύον πλαίσιο αναφοράς και με βάση τις πιο πρόσφατες προδιαγραφές. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 8.1, το επίπεδο ταύτισης στην Ελλάδα είναι καλύτερο από πολλές άλλες χώρες όπως π.χ. η Ισπανία, η Αγγλία, η Δανία, η Σουηδία και η Φινλανδία.

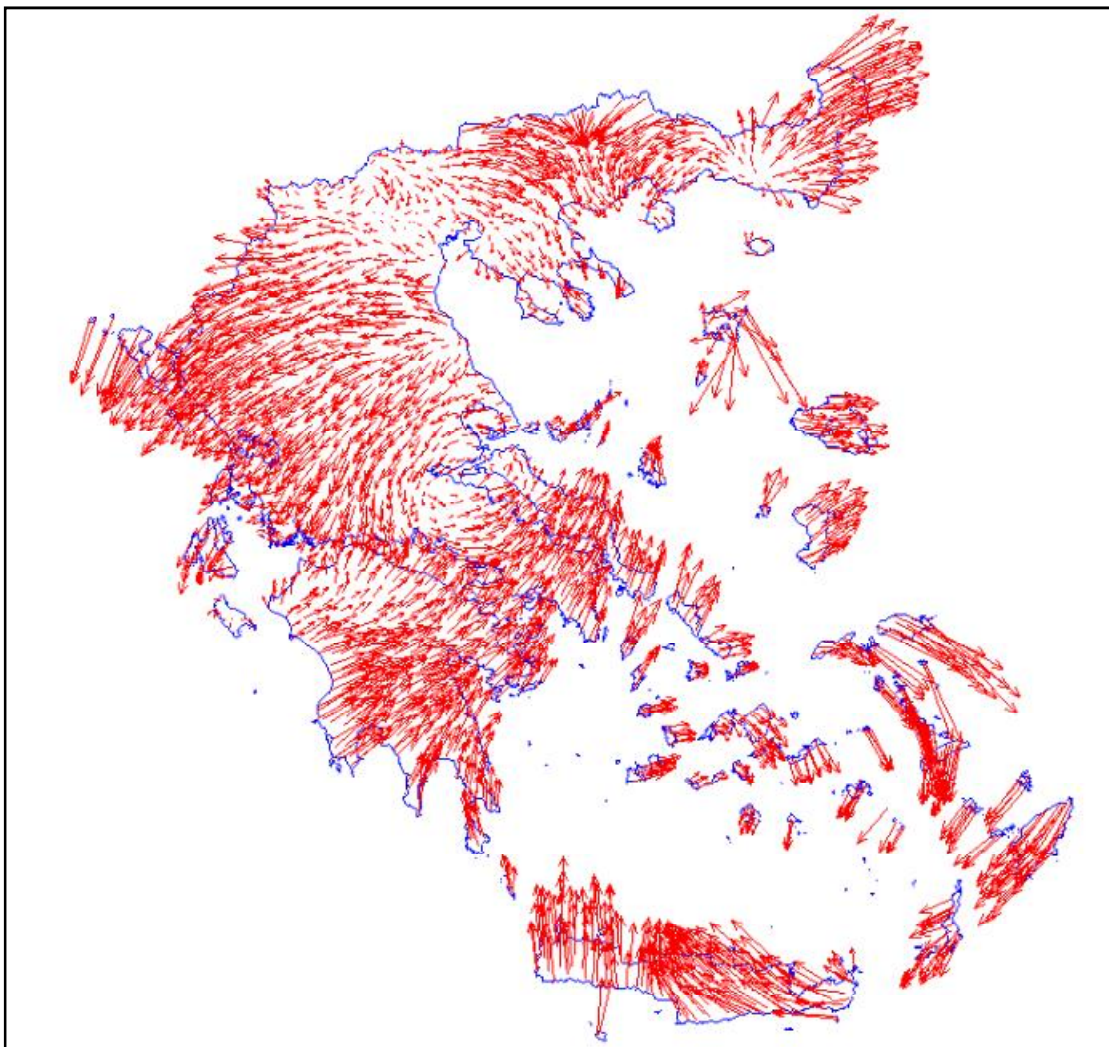


**Εικόνα 8.1.** Οριζοντιογραφικές διαφορές μεταξύ των Εθνικών υλοποιήσεων του ETRS89 και των επίσημων επιλύσεων της EUREF (11.2010) (πηγή EUREF) .

#### 8.4 ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΣΥΝΟΧΗ ΤΟΥ ΕΓΣΑ87

Το ΕΓΣΑ87 υλοποιείται μέσω των συντεταγμένων των τριγωνομετρικών σημείων του Κρατικού δικτύου. Το δίκτυο αυτό έχει μετρηθεί με την τεχνική των τριγωνισμών χρησιμοποιώντας κατά κύριο λόγο γωνιομετρήσεις και επιλύοντας διαδοχικά τα δίκτυα I έως IV τάξης. Κατά συνέπεια το ΕΓΣΑ87 είναι επηρεασμένο από τον τρόπο μετάδοσης των σφαλμάτων στους τριγωνισμούς, γεγονός που έχει άμεσο αντίκτυπο στην εσωτερική συνοχή του δικτύου. Αντίθετα οι σύγχρονες δορυφορικές υλοποιήσεις των ΓΣΑ είναι απαλλαγμένες από προβλήματα συνοχής. Η ακρίβεια υπολογισμού των συντεταγμένων των 98 σταθμών του ΗΕΡΟΣ είναι στο επίπεδο των λίγων mm. Συνεπώς το HTRS07 είναι πρακτικά ένα δίκτυο χωρίς παραμορφώσεις. Στο πλαίσιο του έργου των μετρήσεων του ΗΕΡΟΣ μετρήθηκαν περίπου 2500 τριγωνομετρικά σημεία του Κρατικού δικτύου με μετρήσεις GPS ακριβείας και υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες τους στο HTRS07 (Giannίου, 2008). Έχουμε συνεπώς ένα σύνολο 2500 σημείων με συντεταγμένες στο ΕΓΣΑ87 και στο HTRS07. Η ακρίβεια προσδιορισμού των οριζόντιων συντεταγμένων των τριγωνομετρικών σημείων στο HTRS07 είναι στο επίπεδο των 1-2 cm και μάλιστα η ακρίβεια αυτή είναι ομοιογενής σε όλη τη χώρα. Κατά συνέπεια τα υπόλοιπα (residuals) ενός μετασχηματισμού ομοιότητας μεταξύ των δύο συστημάτων αναφοράς, αντανακλούν ουσιαστικά τις ανομοιογένειες του ΕΓΣΑ87. Στην Εικόνα 8.2 δίνονται τα υπόλοιπα ενός ενιαίου 7-παραμετρικού μετασχηματισμού Helmert που υπολογίστηκε μεταξύ ΕΓΣΑ87 και HTRS07 χρησιμοποιώντας τα προαναφερθέντα 2500 σημεία. Η γραφική αναπαράσταση

των υπολοίπων αναδεικνύει μία συμπεριφορά που θεωρείται τυπική για συμβατικά ΓΣΑ. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν προκύψει και σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες, όπως Γερμανία (Cai, 2000), Γαλλία (Kasser and Breton, 2003) και Αγγλία (Greaves and Cruddace, 2001).



**Εικόνα 8.2.** Υπόλοιπα ενός ενιαίου για όλη τη χώρα μετασχηματισμού ομοιότητας μεταξύ HTRS07 και ΕΓΣΑ87 (οι μέγιστες τιμές είναι της τάξης των 2.5m).

### 8.5 Επίσημο μοντέλο μετασχηματισμού HTRS07 - ΕΓΣΑ87

Για τη διασύνδεση του HTRS07 και του ΕΓΣΑ87 η ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. ανέπτυξε σε συνεργασία με το ΤΑΤΜ/ΑΠΘ ένα επίσημο μοντέλο για τον αμφίδρομο μετασχηματισμό μεταξύ των δύο συστημάτων αναφοράς. Το μοντέλο αυτό πρέπει να χρησιμοποιείται κατά την παραγωγή συντεταγμένων ΕΓΣΑ87 μέσω του ΗΕΡΟΣ. Στη συνέχεια δίνεται μια συνοπτική περιγραφή του συγκεκριμένου μοντέλου μετασχηματισμού. Πλήρης τεκμηρίωση του μοντέλου δίνεται από τους Κωτσάκης et al., 2008.

### 8.5.1 Περιγραφή του επίσημου μοντέλου μετασχηματισμού

Από την ανάλυση της ενότητας 8.4 γίνεται ξεκάθαρο ότι λόγω της περιορισμένης ομοιογένειας του ΕΓΣΑ87 δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί γεωδαιτική ακρίβεια στο μετασχηματισμό HTRS07-ΕΓΣΑ87 εάν χρησιμοποιηθεί αποκλειστικά ένας ενιαίος μετασχηματισμός ομοιότητας για όλη τη χώρα. Για την επιλογή του κατάλληλου μοντέλου μετασχηματισμού αξιοποιήθηκε η εμπειρία από αντίστοιχες Ευρωπαϊκές χώρες και εξετάστηκαν όλες οι δυνατές επιλογές (Gianniou et al., 2009). Η λύση που τελικά επιλέχθηκε ήταν η συνδυασμένη χρήση:

- ενός 7-παραμετρικού μετασχηματισμού και
- καννάβων διορθώσεων των προβολικών συντεταγμένων (correction/shift grids).

Συνοπτικά η διαδικασία για τον ευθύ μετασχηματισμό (από HTRS07 σε ΕΓΣΑ87) έχει ως εξής:

Αρχικά οι 3 γεωκεντρικές καρτεσιανές συντεταγμένες μετασχηματίζονται από HTRS07 σε ΕΓΣΑ87 με χρήση του ακόλουθου 7-παραμετρικού μετασχηματισμού

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix}_{\text{ΕΓΣΑ87}} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{HTRS07}} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta s & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & \delta s & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & \delta s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{HTRS07}}$$

όπου:

$$\begin{array}{lll} t_x = 203.437 \text{ m} & \varepsilon_x = -0.170 \text{ arcsec} & \delta_s = -0.294 \text{ ppm} \\ t_y = -73.461 \text{ m} & \varepsilon_y = -0.060 \text{ arcsec} & \\ t_z = -243.594 \text{ m} & \varepsilon_z = -0.151 \text{ arcsec} & \end{array}$$

Στη συνέχεια οι παραπάνω συντεταγμένες μετατρέπονται σε προβολικές συντεταγμένες  $E' N'$  με χρήση της προβολής TM87. Με βάση την ανάλυση της ενότητας 8.4, ο παραπάνω μετασχηματισμός οδηγεί στο ΕΓΣΑ87 με μία προσέγγιση η οποία πανελλαδικά μπορεί να οδηγήσει σε σφάλματα της τάξης των 2.5 m. Για να επιτευχθεί μετασχηματισμός στο επίπεδο των λίγων cm, οι παραπάνω συντεταγμένες διορθώνονται με χρήση των δύο καννάβων διορθώσεων. Από τους δύο αυτούς καννάβους υπολογίζονται με διγραμμική παρεμβολή οι αντίστοιχες διορθώσεις  $\delta E$  και  $\delta N$ . Οι τελικές συντεταγμένες προκύπτουν από τις σχέσεις:

$$E'_{\text{τελικό}} = E' + \delta E$$



$N'_{\text{τελικό}} = N' + \delta N$

Αντίστοιχη είναι και η διαδικασία του αντίστροφου μετασχηματισμού (από ΕΓΣΑ87 σε HTRS07).

### 8.5.2 Υλοποίηση του επίσημου μοντέλου μετασχηματισμού

Η ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. με ανακοίνωσή της στον ιστοχώρο του HEPOS τον Νοέμβριο του 2008 κάλεσε τους κατασκευαστές γεωδαιτικού λογισμικού και συστημάτων GNSS να ενσωματώσουν το μοντέλο μετασχηματισμού στα συστήματά τους. Δόθηκε η οδηγία, ο συγκεκριμένος μετασχηματισμός να ονομάζεται «HEPOS\_GGRS87», όνομα που υποδηλώνει την υλοποίηση του ΕΓΣΑ87 μέσω του HEPOS. Παράλληλα, για να υποστηρίξει τους χρήστες του HEPOS που δεν διαθέτουν εξοπλισμό με ενσωματωμένο τον επίσημο μετασχηματισμό, η ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. διαθέτει ελεύθερα μέσω του ιστοχώρου του HEPOS ([www.hepos.gr](http://www.hepos.gr)) σχετικό λογισμικό.

## 8.6 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΕΓΣΑ87 ΜΕ ΤΟ HEPOS

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι για τον προσδιορισμό συντεταγμένων στο ΕΓΣΑ87 μέσω του HEPOS απαιτείται μετασχηματισμός συντεταγμένων από το HTRS07 στο ΕΓΣΑ87. Ο μετασχηματισμός αυτός μπορεί να γίνει με κάποιον από τους τρεις ακόλουθους τρόπους:

### Χρήση του επίσημου μοντέλου μετασχηματισμού

Με τη χρήση του επίσημου μοντέλου μετασχηματισμού επιτυγχάνεται ακρίβεια λίγων εκατοστών στον προσδιορισμό συντεταγμένων ΕΓΣΑ87. Πρόκειται για την ενδεδειγμένη μέθοδο εργασίας.

### Χρήση του 3-παραμετρικού μετασχηματισμού WGS84-ΕΓΣΑ87

Πριν την ύπαρξη του HEPOS ο συνηθισμένος τρόπος προσδιορισμού συντεταγμένων ΕΓΣΑ87 από μετρήσεις GPS ήταν η εγκατάσταση ενός προσωρινού σταθμού αναφοράς (π.χ. σε τριγωνομετρικό ΓΥΣ) ή η χρήση ενός μόνιμου σταθμού αναφοράς (π.χ. σταθμοί ιδιωτικών εταιριών αντιπροσώπευσης εξοπλισμού GPS). Ο χρήστης εισήγαγε ως σταθερές τις συντεταγμένες ΕΓΣΑ87 του σταθμού αναφοράς (τριγωνομετρικό ή μόνιμος σταθμός) και επέλυε τις βάσεις προς τα άγνωστα σημεία. Κατά τη διαδικασία αυτή ο χρήστης όριζε στο λογισμικό γραφείου ή στο δέκτη RTK ως σύστημα αναφοράς εργασίας το ΕΓΣΑ87 (συχνά χρησιμοποιούταν οι ονομασίες GGRS87 και Greece). Ο ορισμός αυτός συνέδεε το WGS84 με το ΕΓΣΑ87 μέσω ενός 3-παραμετρικού μετασχηματισμού που περιγράφει τις συνιστώσες της μετάθεσης της αρχής των αξόνων του ενός συστήματος ως προς το άλλο. Από την ανάλυση της ενότητας

3 γίνεται σαφές ότι αυτές οι τρεις παράμετροι δεν επαρκούν για να επιτευχθεί επαρκής ακρίβεια μετασχηματισμού μεταξύ των δύο συστημάτων. Επίσης προκύπτει θεωρητικά, αλλά επιβεβαιώνεται και στην πράξη, ότι αν χρησιμοποιηθούν παρόμοιες τιμές μετάθεσης τα αποτελέσματα δεν διαφοροποιούνται. Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι παράμετροι είναι:

$$\Delta X = 193.723 \text{ m}$$

$$\Delta Y = -74.030 \text{ m}$$

$$\Delta Z = -246.018 \text{ m}$$

Η χρήση αυτού του 3-παραμετρικού μετασχηματισμού βασίζεται στο γεγονός ότι το ΕΓΣΑ87 είναι σε πολύ μεγάλο βαθμό παράλληλο με το WGS84. Πέραν όμως αυτού προϋποθέτει ότι δεν υπάρχει άλλη διαφοροποίηση μεταξύ των δύο συστημάτων. Αυτό βέβαια, όπως είδαμε παραπάνω, δεν ισχύει λόγω των παραμορφώσεων του ΕΓΣΑ87. Όπως φαίνεται και από την Εικόνα 2, η εσωτερική ανομοιογένεια του ΕΓΣΑ87 γίνεται αισθητή όταν μεγαλώνει η περιοχή εργασίας, με άλλα λόγια όταν αυξάνουν τα μήκη των βάσεων. Τα μήκη των βάσεων διατηρούνταν μικρά όταν γινόταν εγκατάσταση προσωρινού σταθμού αναφοράς καθώς η τοποθέτησή του γινόταν κατά κανόνα σε κάποιο κοντινό τριγωνομετρικό. Με την εξάπλωση όμως των μόνιμων σταθμών αναφοράς, παρατηρείται συχνά το φαινόμενο οι επαγγελματίες να χρησιμοποιούν σταθμούς αναφοράς που βρίσκονται σε αποστάσεις δεκάδων Km από την περιοχή εργασίας. Όπως θα αποδειχθεί και από την ανάλυση της επόμενης ενότητας, **η προσέγγιση του 3-παραμετρικού μετασχηματισμού δεν πρέπει να ακολουθείται καθώς μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά σφάλματα**, ιδιαίτερα όταν αυξάνει το μήκος της βάσης.

#### Υπολογισμός τοπικού μετασχηματισμού

Μια άλλη μεθοδολογία εργασίας είναι η μέτρηση σημείων γνωστών συντεταγμένων ΕΓΣΑ87 στην περιοχή εργασίας και ο υπολογισμός ενός τοπικού μετασχηματισμού μεταξύ ΕΓΣΑ87 και HTRS07. Αυτή η μέθοδος είναι ασφαλέστερο να ακολουθείται σε περιοχές έντονης ανομοιογένειας του ΕΓΣΑ87 ή σε εργασίες με ιδιαίτερα υψηλές απαιτήσεις τοπικής προσαρμογής.

Στην επόμενη ενότητα δίνονται αποτελέσματα από επεξεργασία δεδομένων πεδίου από τα οποία επιβεβαιώνονται τα παραπάνω και προσδιορίζεται ποσοτικά η ακρίβεια που επιτυγχάνεται.

## 8.7 Αριθμητικά παραδείγματα

### 8.7.1 Δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν

Για μία αντιπροσωπευτική διερεύνηση της ακρίβειας προσδιορισμού συντεταγμένων ΕΓΣΑ87 είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν δεδομένα μετρήσεων από διάφορες περιοχές της χώρας, καθώς επίσης και βάσεις διαφόρων μηκών. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα που είχαν συλλεχθεί σε τριγωνομετρικά σημεία του Κρατικού δικτύου σε όλη τη χώρα κατά τη διάρκεια υλοποίησης των έργων Γ'ΚΠΣ της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. Πρόκειται κατά κύριο λόγο για τα έργα παραγωγής ορθοφωτοχαρτών LSO.

Όλες οι μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν έχουν γίνει με δέκτες δύο συχνοτήτων. Η διάρκεια παρατήρησης κάθε σημείου ήταν κατ' ελάχιστο 45' ενώ υπήρχαν και πολύωρες παρατηρήσεις διάρκειας έως και πέντε ωρών.

### 8.7.2 Επεξεργασία μετρήσεων

Για να δημιουργηθούν βάσεις διαφόρων μηκών, επιλύθηκαν από ένα σταθμό HEPOS σημεία σε διάφορες αποστάσεις από 2 έως 64 Km. Οι επιλύσεις έγιναν με το λογισμικό Trimble Geomatics Office ver. 1.63. Για να εξασφαλιστεί ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια, όλες οι επιλύσεις έγιναν χρησιμοποιώντας 20 Km τροχιές ακριβείας της IGS. Σε όλες τις περιπτώσεις επιτεύχθηκε η επίλυση των ασαφειών φάσης, γεγονός που οφείλεται κατά κύριο λόγο στους μεγάλους χρόνους παρατήρησης. Τα στατιστικά των επιλύσεων ήταν ιδιαίτερα ικανοποιητικά τεκμηριώνοντας την υψηλή ακρίβεια των υπολογισμών.

Προκειμένου να διασφαλιστεί η υψηλή ακρίβεια της επίλυσης των βάσεων, όλες οι βάσεις επιλύθηκαν από τους δύο εκάστοτε πλησιέστερους σταθμούς HEPOS. Από καθένα από τους δύο σταθμούς υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες ΕΓΣΑ87 εφαρμόζοντας το επίσημο μοντέλο μετασχηματισμού. Οι διαφορές των συντεταγμένων που προέκυψαν από κάθε σταθμό ήταν στο επίπεδο των 1-2 cm. Οι διαφορές αυτές είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικές αν λάβουμε υπόψη τα διαφορετικά μήκη βάσεων. Για παράδειγμα, υπάρχουν σημεία που απέχουν 5 Km από τον ένα σταθμό, ενώ από τον άλλο 54 Km.

Για τη συγκριτική αξιολόγηση της ακρίβειας που επιτυγχάνεται με κάθε τεχνική μετασχηματισμού (επίσημο μοντέλο, 3-παραμετρικός μετασχηματισμός) 205 βάσεις επιλύθηκαν με δύο τρόπους:

- αφενός χρησιμοποιώντας τον 3-παραμετρικό μετασχηματισμό και εισάγοντας στο σταθμό αναφοράς συντεταγμένες ΕΓΣΑ87 και

- αφετέρου χρησιμοποιώντας το επίσημο μοντέλο μετασχηματισμού και εισάγοντας στο σταθμό αναφοράς συντεταγμένες HTRS07.

Τονίζεται ότι η προσέγγιση του 3-παραμετρικού μετασχηματισμού αντενδείκνυται. Επειδή όμως χρησιμοποιείται στην επαγγελματική πρακτική, ακολουθήθηκε εδώ για να δειχθεί το μέγεθος των σφαλμάτων στα οποία μπορεί να οδηγήσει.

### 8.7.3 Ανάλυση αποτελεσμάτων

Μετά την επίλυση των βάσεων και τον σχετικό έλεγχο ποιότητας, υπολογίστηκαν οι διαφορές συντεταγμένων της κάθε λύσης (3-παραμετρικός, επίσημο μοντέλο) σε σχέση με τις επίσημες τιμές των τριγωνομετρικών όπως δίνονται από τη ΓΥΣ. Από τις διαφορές αυτές dE, dN υπολογίστηκε το οριζοντιογραφικό σφάλμα κάθε λύσης. Τα σημεία έχουν ταξινομηθεί με βάση το μήκος της βάσης προκειμένου να διαπιστωθεί η συσχέτιση μεταξύ του μεγέθους του σφάλματος και της απόστασης από το σταθμό αναφοράς. Παρατηρούμε ότι για αποστάσεις μέχρι 10 Km, το σφάλμα παραμένει μικρότερο από 20cm, ενώ για μεγαλύτερες αποστάσεις το σφάλμα αυξάνεται βαθμιαία και μπορεί να υπερβεί το 1 m.

Παρατηρείται ότι το οριζοντιογραφικό σφάλμα διατηρείται αρκετά χαμηλό και ότι σε ελάχιστες μόνο περιπτώσεις υπερβαίνει τα 20 cm.

Παράλληλα το σφάλμα είναι ανεξάρτητο του μήκους βάσης, όπως σαφώς προκύπτει και από τη μορφή της βέλτιστα προσαρμοζόμενης καμπύλης. Αναφορικά με τις περιπτώσεις που παρουσιάζεται αυξημένο σφάλμα, πρέπει να αναφερθεί ότι κατά κανόνα αυτό οφείλεται στα συγκεκριμένα σημεία και όχι σε αδυναμίες του μοντέλου μετασχηματισμού. Ο έλεγχος έγινε μέσω ενός τοπικού μετασχηματισμού ομοιότητας μεταξύ των συντεταγμένων HTRS07 και των συντεταγμένων ΕΓΣΑ87 της ΓΥΣ. Διακρίνεται το μέγιστο υπόλοιπο και μάλιστα προς αντίθετη κατεύθυνση από τα γειτονικά του σημεία.

Μία συγκριτική αξιολόγηση των δύο τρόπων επίλυσης (3-παραμετρικός, επίσημο μοντέλο) γίνεται στον **Πίνακα 1**, ο οποίος δίνει τα στατιστικά στοιχεία των σφαλμάτων που προκύπτουν από την κάθε προσέγγιση.

**Πίνακας 1.** Στατιστικά συμπεριφορά των οριζοντιογραφικών σφαλμάτων για κάθε τρόπο επίλυσης .

Μοντέλο Μετασχηματισμού	Στατιστικά οριζοντιογραφικών σφαλμάτων		
	Μέγιστη τιμή	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση
3-παραμετρικός	1.076 m	0.270 m	0.218m
Επίσημο μοντέλο	0.268 m	0.045 m	0.048m

Σημειώνεται πάντως ότι αν και το στατιστικό δείγμα είναι μεγάλο (205 βάσεις), δεν είναι επαρκές ώστε οι τιμές του πίνακα να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικές για όλη τη χώρα. Μία τέτοια ανάλυση θα απαιτούσε μεγαλύτερο δείγμα με εκτενέστερη γεωγραφική διασπορά.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup>: ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΕΧΩΜΕΝΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΤΟΥ HEPOS**

### **9.1 Κοστολόγηση των παρεχόμενων υπηρεσιών του HEPOS<sup>11</sup>**

Για την εγγραφή στο σύστημα ο κάθε ενδιαφερόμενος θα πρέπει να καταβάλει καταρχάς ένα τέλος εγγραφής το οποίο είναι εφάπαξ (πληρώνεται μία φορά) και κοστίζει 120€ χωρίς ΦΠΑ, σύμφωνα με τον τιμοκατάλογο του HEPOS (βλ πίνακα 9), ενώ είναι ανά παρεχόμενη υπηρεσία, (RTK, DGPS, και μετεπεξεργασία). Για κάθε υπηρεσία εκδίδεται ξεχωριστός κωδικός πρόσβασης ενώ σύμφωνα με την αίτηση εγγραφής ο ενδιαφερόμενος όσον αφορά τις υπηρεσίες πραγματικού χρόνου μπορεί να επιλέξει μεταξύ της επιλογής RTK & DPGS ή μόνο DGPS<sup>12</sup>, ενώ ανάλογα και με την είδος της σύνδεσης του χρήστη (GPRS ή GSM), εκδίδεται διαφορετικός κωδικός.

Για παράδειγμα αν μια εταιρεία έχει 2 δέκτες και επιθυμεί να πραγματοποιεί μετρήσεις RTK και για τους 2 δέκτες, αλλά και να αξιοποιεί δεδομένα μετεπεξεργασίας, τότε θα πληρώσει μια φορά 3 τέλη χρήσης, συνολικής αξίας 360€ (ενώ θα έχει και την δυνατότητα αξιοποίησης και του DGPS).

Πέραν όμως του τέλους εγγραφής<sup>13</sup> υπάρχει και το τέλος χρήσης<sup>10</sup> το οποίο αντιστοιχεί στο χρόνο χρήσης των υπηρεσιών, με κατώτατη μονάδα χρόνου να είναι το ένα λεπτό και κυμαινόμενη τιμή για υπηρεσίες πραγματικού χρόνου που κυμαίνονται από 0.07€/min, (για το DGPS) έως 0.10€/min, (για RTK), ενώ για τις υπηρεσίες μετεπεξεργασίας η τιμή κυμαίνεται από 0.08€/min έως 0.30€/min εξαρτώμενη από το διάστημα καταγραφής των αρχείων RINEX. (βλ πίνακα 9). Τέλος για την υπηρεσία του RTK και μόνο υπάρχει επιπρόσθετα μηνιαίο πάγιο 10€ (ανεξάρτητα από το αν θα γίνει χρήση της υπηρεσίας).

<sup>11</sup> στηρίζεται στα έγγραφα της ιστοσελίδας του HEPOS, ([www.hepos.gr](http://www.hepos.gr)): ‘‘Διαδικασίες εγγραφής’’, ‘‘Αίτηση εγγραφής’’, ‘‘Γενικοί όροι χρήσεις’’ και ‘‘Τιμοκατάλογος’’ (με ημερομηνία Μάιος 2009), καθώς επίσης και στο: (Αυγερινός, 2009).

<sup>12</sup> αυτό οφείλεται στο ότι η χρήση του RTK έχει και μηνιαίο πάγιο χρήσης, εν αντιθέσει με το DGPS που έχει μόνο τέλος χρήσης ανάλογα με το χρόνο χρήσης, (βλ πίνακα 9).

<sup>13</sup> Το τιμολόγιο του τέλους χρήσης εκδίδεται στο τέλος κάθε ημερολογιακού διμήνου, αποστέλλονται ταχυδρομικώς στο χρήστη και περιέχουν τα οφειλόμενα ποσά από τη χρήση του συστήματος HEPOS για το δίμηνο αυτό καθώς και ληξιπρόθεσμες οφειλές από χρήση προηγούμενων μηνών. Ο χρήστης υποχρεούται να εξοφλεί τα τιμολόγια του εντός προθεσμίας είκοσι πέντε (25) ημερών από την ημερομηνία εκδόσεώς τους.

A/A	ΕΙΔΟΣ	ΜΟΝΑΔΑ ΧΡΕΩΣΗΣ	ΤΙΜΗ ΜΟΝΑΔΟΣ <sup>1</sup>
<b>Τέλος εγγραφής</b>			
1	Τέλος εγγραφής <sup>2</sup>	Άδεια χρήσης <sup>3</sup>	120.00 €
<b>Υπηρεσίες Πραγματικού Χρόνου: RTK</b>			
2	Μηνιαίο πάγιο τέλος χρήσης υπηρεσιών RTK <sup>4</sup>	1 μήνας	10.00 €
3	RTK (ανεξαρτήτως τεχνικής και format)	1 min	0.10 €
<b>Υπηρεσίες Πραγματικού Χρόνου: DGPS</b>			
4	DGPS (ανεξαρτήτως τεχνικής και format)	1 min	0.07 €
<b>Υπηρεσίες Μετεπεξεργασίας</b>			
5	Αρχεία RINEX ή CRINEX πραγματικού ή εικονικού σταθμού με διάστημα καταγραφής 5, 10, 15, 20, 30, 60 sec	1 min	0.08 €
6	Αρχεία RINEX ή CRINEX πραγματικού ή εικονικού σταθμού με διάστημα καταγραφής 1, 2 sec	1 min	0.30 €
<b>Υπηρεσίες Μετεπεξεργασίας</b> (παλαιά αρχεία που δεν υπάρχουν <b>online</b> στον ιστοχώρο του <b>HEPOS</b> <sup>5</sup> )			
7	Αρχεία CRINEX (ημερήσιο) πραγματικού σταθμού με διάστημα καταγραφής 15 sec <sup>6</sup>	1 min	0.10 €
8	Αρχείο CRINEX (ωριαίο) πραγματικού σταθμού με διάστημα καταγραφής 1 sec <sup>7</sup>	1 min	0.50 €
9	Ανάκτηση παλαιών αρχείων CRINEX <sup>8</sup>	Ημερολογια- κός μήνας	150.00 €

- <sup>1</sup> Στις τιμές δεν συμπεριλαμβάνεται ο αναλογών ΦΠΑ.
- <sup>2</sup> Το τέλος εγγραφής καταβάλλεται εφάπαξ. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί η περίπτωση χρήστη, ο οποίος έχει διαγραφεί για οποιονδήποτε λόγο από σύστημα και θελήσει να εγγραφεί ξανά σύμφωνα με τα προβλεπόμενα από τους Γενικούς Ειδικούς Όρους Χρήσης του HEPOS.
- <sup>3</sup> Με τον όρο «άδεια χρήσης» νοείται κάθε κωδικός πρόσβασης ανά είδος υπηρεσίας και κάθε αριθμός κλήσης GSM για τον οποίο ενεργοποιείται η πρόσβαση στο σύστημα.
- <sup>4</sup> Το μηνιαίο πάγιο τέλος χρήσης υπηρεσιών RTK χρεώνεται για κάθε άδεια χρήσης.
- <sup>5</sup> Λόγω του μεγάλου αριθμού σταθμών αναφοράς του συστήματος, τα δεδομένα παραμένουν online στον ιστοχώρο του HEPOS για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα της τάξης των 30 ημερών, σύμφωνα με τους Γενικούς Όρους Χρήσης του HEPOS. Μετά την πάροδο του διαστήματος αυτού, χορηγούνται μόνο δεδομένα «πραγματικών» σταθμών. Τα δεδομένα αυτά χορηγούνται είτε σε ωριαία αρχεία (CRINEX) με διάστημα καταγραφής 1 sec είτε σε ημερήσια αρχεία (CRINEX) με διάστημα καταγραφής 15 sec.
- <sup>6</sup> Ελάχιστη χρέωση: Ένα ημερήσιο αρχείο.
- <sup>7</sup> Ελάχιστη χρέωση: Ένα ωριαίο αρχείο.
- <sup>8</sup> Για παραγγελίες παλαιών αρχείων, πέραν των χρεώσεων με A/A 7 και 8, χρεώνεται και το κόστος ανάκτησης παλαιών αρχείων CRINEX από το σύστημα μόνιμης αρχειοθέτησης. Η χρέωση επιβάλλεται για κάθε παραγγελία παλαιών αρχείων και για τόσους ημερολογιακούς μήνες, όσους περιλαμβάνουν δεδομένα που ζητούνται με την παραγγελία.

**Πίνακας 9:** Τιμοκατάλογος τελών εγγραφής και χρήσης του HEPOS, (Πηγή: [www.hepos.gr](http://www.hepos.gr)-Μάιος 2009).

Πίνακας Γ: Υπηρεσίες πραγματικού χρόνου			
RTK και DGPS		Μόνο DGPS	
Αριθμός αιτούμενων συνδέσεων GPRS: .....		Αριθμός αιτούμενων συνδέσεων GPRS: .....	
Επιθυμητό όνομα χρήστη <sup>4</sup> :		Επιθυμητό όνομα χρήστη <sup>4</sup> :	
(A1) .....	(A2) .....	(Γ1) .....	(Γ2) .....
(A3) .....	(A4) .....	(Γ3) .....	(Γ4) .....
Αριθμός αιτούμενων συνδέσεων GSM: .....		Αριθμός αιτούμενων συνδέσεων GSM: .....	
Αριθμός κλήσης κινητού:		Αριθμός κλήσης κινητού:	
(B1) .....	(B2) .....	(Δ1) .....	(Δ2) .....
(B3) .....	(B4) .....	(Δ3) .....	(Δ4) .....
Πίνακας Δ: Υπηρεσίες μετεπεξεργασίας (post-processing)			
Αριθμός αιτούμενων κωδικών: .....			
Επιθυμητό όνομα χρήστη <sup>4</sup> :			
(E1) .....			(E2) .....

**Πίνακας 10:** Απόσπασμα αίτησης εγγραφής στο HEPOS, (Πηγή: [www.hepos.gr](http://www.hepos.gr)).

Η επιβολή τελών εγγραφής έχει ως κύριο στόχο να διασφαλίσει ότι θα εγγράφονται στο σύστημα μόνο όσοι ενδιαφέρονται πραγματικά, καθώς η διαχείριση κάθε χρήστη έχει υψηλές απαιτήσεις σε εταιρικούς πόρους.

Τα τέλη καθορίζονται και τροποποιούνται σύμφωνα με όσα προβλέπονται στην εκάστοτε ισχύουσα νομοθεσία και τους κανόνες υγιούς ανταγωνισμού με



κριτήρια τον πληθωρισμό, το συνολικό κόστος των υπηρεσιών του HEPOS, όπως ενδεικτικά, συντήρηση και λειτουργία του δικτύου του HEPOS. Το ύψος των τελών είναι τέτοιο ώστε να είναι πιο συμφέρουσα η χρήση των υπηρεσιών του HEPOS αντί της εφαρμογής της κλασσικής διαδικασίας μετρήσεων με GPS. Πιο συγκεκριμένα η επιβολή των τελών χρήσης έχει ως κύριο στόχο την κάλυψη μέρους των εξόδων λειτουργίας του HEPOS, στα οποία συγκαταλέγονται:

- το Κόστος Τηλεπικοινωνιακού Δικτύου,
- το Κόστος μίσθωσης χώρων εγκατάστασης των Σταθμών Αναφοράς,
- το Κόστος Συντήρησης,
- το Κόστος διαχείρισης και υποστήριξης της λειτουργίας του συστήματος.

Το σαφέστατο πλεονέκτημα είναι ότι με HEPOS δίνεται η δυνατότητα να γίνουν μετρήσεις με ένα πλέον δέκτη, απαλλάσσοντας τον ενδιαφερόμενο από την αγορά 2ου δέκτη, το κόστος εργασίας για δεύτερο εργαζόμενο, το χρόνο που απαιτείται για την εξεύρεση κατάλληλου<sup>14</sup> τριγωνομετρικού στο πεδίο, το κόστος της αγοράς των συντεταγμένων από την ΓΥΣ, αλλά και τον χρόνο που απαιτείται ώστε να επισκεφθεί την ΓΥΣ, ενώ τέλος δεν υπάρχει κίνδυνος κάποιο τριγωνομετρικό έχει μετακινηθεί αρκετά δημιουργώντας πρόβλημα στην ακρίβεια των τελικών μετρήσεων.

Το πόσο ωφελείται κάποιος μπορεί να γίνει κατανοητό μόνο κάτω από υποθέσεις εργασίας όπως το παρακάτω παράδειγμα<sup>15</sup>.

Έστω ένας νέος τοπογράφος που σκέφτεται να επιλέξει μεταξύ της λύσης: α) της αγοράς ενός δέκτη και την εγγραφή του στο σύστημα του HEPOS, είτε β) της αγοράς 2 δεκτών χωρίς το HEPOS. Για να είναι πρακτικό το παράδειγμα η επιλογή αφορά τους δέκτες Trimble 5800, (όμοιους με αυτούς του εργαστηρίου της Γενικής Γεωδαισίας όπου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις), οι οποίοι κοστίζουν 24.000€ είτε 10.000€ο κάθε δέκτης, με 4.000€περίπου να στοιχίζει το Controller. Άρα η 1η εναλλακτική θα έχει ένα αρχικό κόστος των 14.000€, και η 2η των 24.000€, δηλαδή διαφορά 10.000€.

Ας υποθέσουμε επίσης ότι ένας νέος τοπογράφος θα κάνει 8 τοπογραφικά το μήνα, και ας υποθέσουμε ότι η διάρκεια των μετρήσεων του θα είναι 8 ώρες τον μήνα για RTK και 4 ώρες για μετεπεξεργασία με ρυθμό καταγραφής 15sec.

<sup>14</sup> ώστε να υπάρχει ανοιχτός ορίζοντας χωρίς H/M παρεμβολές. Επίσης υπάρχουν και ορισμένες περιπτώσεις όπου τα τριγωνομετρικά έχουν καταστραφεί που αυξάνει ακόμα περισσότερο το χρόνο στο πεδίο για την εξεύρεση άλλου.

<sup>15</sup> στο παρακάτω παράδειγμα οι τιμές δεν περιέχουν ΦΠΑ.

Έτσι η 1η εναλλακτική, δηλαδή η ένταξή του στο ΗΕΡΟΣ, καταρχάς απαιτεί 2 τέλη εγγραφής, (1 για RTK και 1 για μετεπεξεργασία), δηλαδή εφάπαξ ποσό των **240€**

Όσον αφορά τώρα το κόστος χρήσης για το RTK αυτό θα είναι:

$8 \text{ (ώρες)} * 60 \text{ λεπτά} * 0.10\text{€λεπτό} = 48\text{€μήνα} + 10\text{€μήνα}^{16} = 58\text{€μήνα} * 12 \text{ μήνες} \approx \mathbf{700\text{€έτος}}$

Ενώ το κόστος χρήσης για την μετεπεξεργασία θα είναι:

$4 \text{ (ώρες)} * 60 \text{ λεπτά} * 0.08\text{€λεπτό} = 19.2\text{€μήνα} * 12 \text{ μήνες} \approx \mathbf{230\text{€έτος}}$

Επίσης ένα ενδεικτικό κόστος σύνδεσης στο internet για έως 250MB/μήνα είναι  $12,15\text{€μήνα}^{17}$ , είτε περίπου **145€έτος**.

Άρα τα συνολικά λειτουργικά έξοδα για το ΗΕΡΟΣ ανά έτος θα είναι περίπου **1.075€έτος**.

Από την άλλη στην 2η εναλλακτική, δηλαδή των 2 δεκτών, θα πρέπει να υπολογιστεί ένα 2<sup>ο</sup> άτομο το οποίο θα πληρώνεται περίπου 50€ ανά τοπογραφικό<sup>18</sup>, δηλαδή 400€μήνα, είτε **4.800€έτος**.

Επίσης το κόστος απόκτησης των συντεταγμένων από την ΓΥΣ είναι 6€τριγωνομετρικό, με αποτέλεσμα το κόστος να είναι 48€μήνα, είτε περίπου **580€έτος**.

Άρα το συνολικό λειτουργικό κόστος της 2ης εναλλακτικής είναι **5.380€έτος**, (χωρίς να συμπεριλαμβάνεται και η αυξημένη διάρκεια στην ύπαιθρο που μεταφράζεται έμμεσα σε κόστος εργασίας).

Ανακεφαλαιώνοντας διαπιστώνουμε ότι η 1η εναλλακτική με το ΗΕΡΟΣ το αρχικό κόστος επένδυσης είναι περίπου 14.250€<sup>9</sup> και το λειτουργικό κόστος περίπου 1.100€έτος, ενώ στην 2η εναλλακτική χωρίς το ΗΕΡΟΣ το αρχικό κόστος επένδυσης είναι 24.000€ και το λειτουργικό κόστος περίπου 5.400€έτος, από το οποίο προκύπτει η υπεροχή της χρησιμοποίησης του ΗΕΡΟΣ.

Ωστόσο σε περίπτωση που οι απαιτήσεις ενός γραφείου είναι μεγαλύτερες και απαιτείται μεγαλύτερος χρόνος μετρήσεων, τότε το λειτουργικό κόστος

<sup>16</sup> το πάγιο μηνιαίο τέλος χρήσης για RTK

<sup>17</sup> αφορά το μέσο κόστος των 250MB ιδιωτικών εταιρειών κινητής τηλεφωνίας που κοστίζει 15€μήνα, (με ΦΠΑ). Η τιμή των 12.15€αφορά την τιμή χωρίς ΦΠΑ, όπως έχουν γίνει όλοι οι υπολογισμοί.

<sup>18</sup> ιδανική περίπτωση που απασχολείται περιστασιακά άτομο μόνο για την εργασία υπαίθρου. Αν και το πιο λογικό είναι να απασχοληθεί μόνιμα άτομο με μηνιαίες αποδοχές που θα είναι τουλάχιστον 750€ (για ανειδίκευτο εργάτη).

<sup>19</sup> συμπεριλαμβάνοντας και το εφάπαξ τέλος εγγραφής που είναι 240€

αυξάνεται γεωμετρικά αφού για παράδειγμα η καθημερινή χρήση 2 ωρών για RTK και μόνο αντιστοιχεί σε ετήσιο κόστος 4.440€

Επομένως η βέλτιστη επιλογή είναι με βάση τις ανάγκες κάθε μηχανικού, που μεταφράζεται και σε χρόνο απόσβεσης των δαπανών.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10<sup>ο</sup>: ΣΥΝΟΨΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Το HEPOS ανήκει αναμφίβολα στην κατηγορία των πρωτοποριακών υποδομών που μπορούν να βοηθήσουν αμέριστα στην αναπτυξιακή πορεία του Εθνικού Κτηματολογίου. Η εμπειρία με παρόμοια συστήματα στην Ευρώπη, συνηγορεί στην εκτίμηση ότι η χρήση του HEPOS θα ενταχθεί εύκολα και γρήγορα στην καθημερινή πρακτική των Τοπογράφων Μηχανικών και όχι μόνο, και ότι στο άμεσο μέλλον θα αποτελέσει τον κυριότερο τρόπο εκτέλεσης των γεωδαιτικών εφαρμογών στη χώρα. Ωστόσο, εάν και εφόσον οι προγραμματισμένες γεωδαιτικές υπηρεσίες που θα μπορεί να προσφέρει η τηλεπικοινωνιακή υποδομή του επεκταθούν με επιπλέον κατάλληλες διαδικτυακές υπηρεσίες παροχής χωρικών πληροφοριών, εκτιμάται ότι το HEPOS θα οδηγήσει σε αύξηση των τελικών χρηστών του, ιδιαίτερα αν οι εν λόγω υπηρεσίες προσανατολιστούν προς την υποστήριξη και την εξυπηρέτηση της κινητικότητας των χρηστών μέσω ανεξάρτητων εφαρμογών αξιοποίησης της γεωγραφικής τους θέσης, που θα τους παρέχει ήδη εύκολα και με μεγάλη ακρίβεια το HEPOS. Επιπλέον τέτοιες WebGIS υπηρεσίες αναμφίβολα θα επεκτείνουν και θα προσθέσουν περισσότερες κατηγορίες χρηστών σε εκείνες του πίνακα 1, ενώ ταυτόχρονα θα προσδώσουν μια νέα δυνατότητα για την οικονομική βιωσιμότητα του συστήματος.

<b>Χαρτογραφικές εφαρμογές</b>	<b>Εφαρμογές υψηλής ακρίβειας</b>	<b>Εφαρμογές μετεπεξεργασίας</b>
Εφαρμογές έκτακτης ανάγκης	Έξυπνα συστήματα μεταφορών	Γεωδαιτικά και γεωδυναμικά δίκτυα
Πλοήγηση σκαφών και οχημάτων	Εφαρμογές υψηλής ακρίβειας στις αγροκαλλιέργειες (Precision Agriculture)	Κλιματικές και ατμοσφαιρικές έρευνες
Παρακολούθηση περιβαλλοντικών κινδύνων	GIS εφαρμογές ακριβείας	Γεωτεχνικές αναλύσεις
Συλλογή GIS δεδομένων και διαχείριση ενεργών διαθεσίμων	Βιομηχανικές γεωδαιτικές εφαρμογές	
	Τοπογραφικές εφαρμογές	

**Πίνακας 1.** Τυπικές αναμενόμενες χρήσεις του HEPOS.

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ***Ελληνική βιβλιογραφία*

**Αυγερινός Κ.**, (2009), ‘Διάθεση των υπηρεσιών του HEPOS’, Ημερίδα: Ελληνικό Σύστημα Εντοπισμού - HEPOS: Λειτουργία - Δυνατότητες – Προοπτικές, του Πανελληνίου Συλλόγου Διπλ. Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών σε συνεργασία με την Κτηματολόγιο Α.Ε., Πολεμικό Μουσείου Αθηνών, Φεβρουάριος 2009.

**Γιαννίου Μ.**, (2008), “Δικτυακές τεχνικές του HEPOS: Περιγραφή, πλεονεκτήματα και κριτήρια επιλογής”, Νοέμβριος – Δεκέμβριος 2008

**Γιαννίου Μ.**, (2010), “Προσδιορισμός συντεταγμένων στο ΕΓΣΑ87 μέσω του HEPOS”, 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο ATM, Αθήνα, 17-18 Δεκεμβρίου 2010

**Γιαννίου Μ. – Μάστορης Δ.**, (2006), “Ανάπτυξη του Ελληνικού συστήματος HEPOS”, Παρουσιάστηκε στο Δ’ Πανελλήνιο Συνέδριο HellasGI, Αθήνα 4-5 Μαΐου 2006

**Γιαννίου Μ. – Μάστορης Δ.**, (2008), “Χρήση των υπηρεσιών του HEPOS”, Νοέμβριος-Δεκέμβριος 2008

**Γιαννίου Μ. – Σταυροπούλου Ι.**, (2010), “Συλλογή δεδομένων GIS με χρήση του Ελληνικού συστήματος εντοπισμού HEPOS”, 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο HellasGI, Αθήνα, 2-3 Δεκεμβρίου 2010

**Δεληκαράογλου Δημήτρης**, (2006), “Χαρτογραφία των Δικτύων – Χαρτογραφία μέσω Δικτύων”, ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑΣ”, Πρακτικά 9ου Εθνικού Συνεδρίου Χαρτογραφίας, Χανιά 2-4 Νοεμβρίου 2006

**Κατσάμπαλος Κ.**, Καθηγητής ΤΑΤΜ-ΑΠΘ (2008), “HEPOS και σύγχρονα γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς: Θεωρία και υλοποίηση, προοπτικές και εφαρμογές”, Επιστημονικό Διήμερο, Θεσσαλονίκη, 25-26 Σεπτεμβρίου 2008

**Κατσαρή Γ.**, (2008), “Ομιλία του διευθύνοντος συμβούλου της Κτηματολόγιο Α.Ε., ΚΑΘ. Γ. ΚΑΤΣΙΑΡΗ”

**Κτηματολόγιο Α.Ε.**, (2009), “Συχνές ερωτήσεις για το HEPOS”, Γενικές ερωτήσεις για το HEPOS και τις υπηρεσίες που παρέχει, Δεκέμβριος 2009 (δημοσίευση στην ιστοσελίδα του HEPOS: [www.hepos.gr](http://www.hepos.gr)).

**Κτηματολόγιο Α.Ε.**, (2009), “Τιμοκατάλογος”, Μάιος 2009 (δημοσίευση στην ιστοσελίδα του HEPOS: [www.hepos.gr](http://www.hepos.gr)).

**Κτηματολόγιο Α.Ε.**, (2009) “Συχνές ερωτήσεις για το HEPOS”, Γενικές ερωτήσεις για το HEPOS και τις υπηρεσίες που παρέχει, Δεκέμβριος 2009 (δημοσίευση στην ιστοσελίδα του HEPOS: [www.hepos.gr](http://www.hepos.gr)).

**Κτηματολόγιο Α.Ε.**, (2010) “Οδηγίες χρήσης πραγματικού χρόνου του HEPOS (Real-Time services)” Έκδοση 1.2, Αθήνα, Φεβρουάριος 2010 (δημοσίευση στην ιστοσελίδα του HEPOS: [www.hepos.gr](http://www.hepos.gr)).

**Κτηματολόγιο Α.Ε.**, (2009), “Οδηγίες χρήσης των υπηρεσιών μετεπεξεργασίας του HEPOS (post-processing services)”, Έκδοση 2.0, Αθήνα, Μάιος 2009 (δημοσίευση στην ιστοσελίδα του HEPOS: [www.hepos.gr](http://www.hepos.gr)).

**Κωτσάκης Χ. - Κατσάμπαλος Κ.**, Η ανάγκη δημιουργίας ενός σύγχρονου 3Δ δορυφορικού Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς στην Ελλάδα.

**Κωτσάκης Χ. - Κατσάμπαλος Κ. - Γιαννίου Μ.**, (2008), “Μοντέλο μετασχηματισμού μεταξύ του συστήματος αναφοράς του HEPOS (HTRS07) και του Ελληνικού γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς (ΕΓΣΑ87)”, Βασική μεθοδολογία και αριθμητικά παραδείγματα, Οκτώβριος 2008

**Κώστας Αυγερινός ΑΤΜ** (2008), “Διάθεση των υπηρεσιών του HEPOS”, Νοέμβριος-Δεκέμβριος 2008

**Μάστορης Δ. - Μητροπούλου Ε.** (2010), “Το Ελληνικό σύστημα εντοπισμού HEPOS - ορίζοντες και δυνατότητες χρήσης του για εφαρμογές GIS”, 6<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο HellasGI, Αθήνα, 2-3 Δεκεμβρίου 2010

#### *Δικτυακοί τόποι*

(Η πρόσβαση στις παρακάτω ιστοσελίδες έγινε από τον Οκτώβριο του 2010 έως και τον Φεβρουάριο του 2011).

<http://www.hepos.gr/>, (σύστημα HEPOS της Κτηματολόγιο ΑΕ).

<http://www.gps.gov/>, (το αμερικάνικο σύστημα GPS).

<http://users.auth.gr/~kvek/auth-hepos> (Ερευνητικό Έργο: Παροχή Ειδικών Συμβουλευτικών Υπηρεσιών προς την Κτηματολόγιο ΑΕ για το έργο του HEPOS)

<http://hepos.blogspot.com> (το blogspot του HEPOS)

[http://users.auth.gr/~kvek/HEPOS\\_2008.html](http://users.auth.gr/~kvek/HEPOS_2008.html) (*Επιστημονικό Διήμερο Εργασίας*, Θεσσαλονίκη, 25-26 / 9 / 2008)

<http://www.ktimatologio.gr/ktima/> (δικτυακός τόπος του Κτηματολόγιο Α.Ε.)

<http://www.michanikos.gr/search.php?searchid=2505533> (συζητήσεις για το HEPOS)

<http://www.epncb.oma.be> (European Terrestrial Reference System 89 (ETRS89))

[http://www.go-online.gr/ebusiness/specials/article.html?article\\_id=1793](http://www.go-online.gr/ebusiness/specials/article.html?article_id=1793) (Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS))