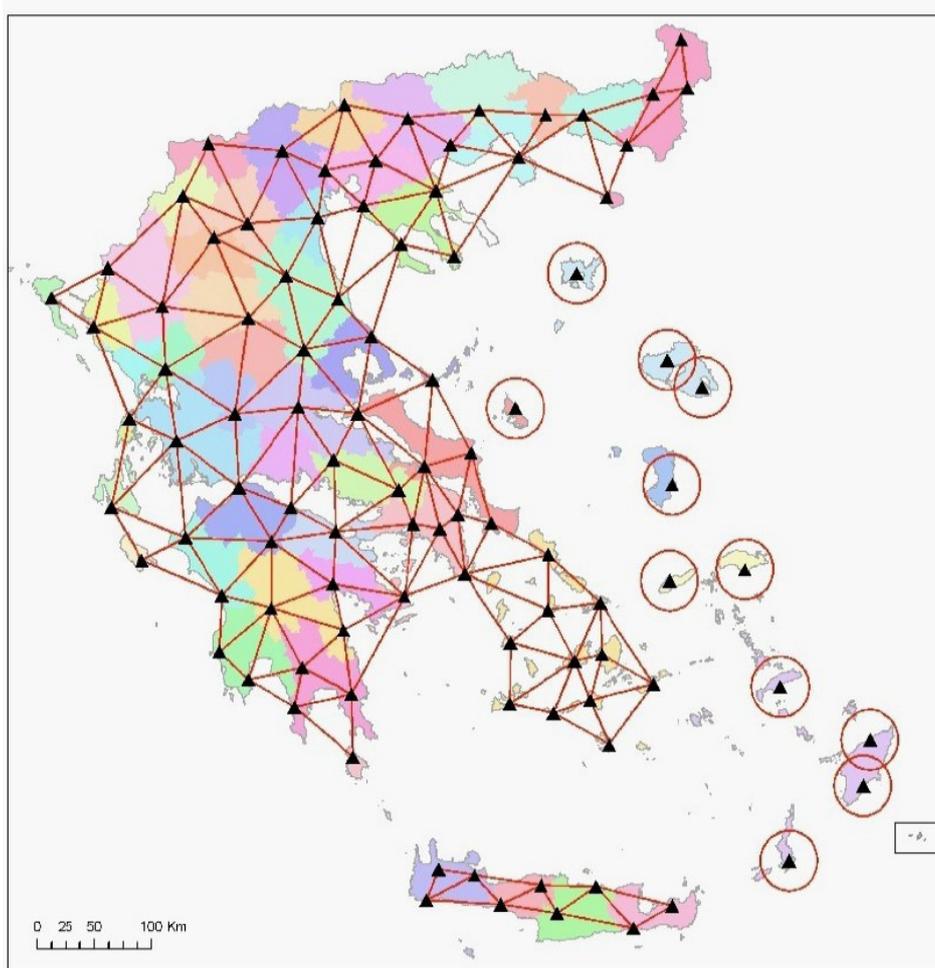




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ RTK ΜΕ ΕΙΚΟΝΙΚΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ VRS ΣΕ ΔΙΚΤΥΟ GPS



Διπλωματική Εργασία

Χασάνδρα Βασιλειάννα

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Τσακίρη Μαρία

Επικ. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2009

Περίληψη

Η συνεχής εξέλιξη των παγκόσμιων δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης GNSS (GPS, GLONASS, Galileo), όσον αφορά τη χρήση τους σε γεωδαιτικές εφαρμογές για τον προσδιορισμό θέσεων στη φυσική γήινη επιφάνεια, οδήγησε στη δημιουργία των παγκόσμιων και Ευρωπαϊκών Δικτύων Μόνιμων Σταθμών Αναφοράς, σε περιφερειακή, εθνική ή τοπική κλίμακα, καθώς και στη χρήση των τεχνικών δικτυακού DGPS και RTK.

Ακολουθώντας αυτή την εξέλιξη, δημιουργήθηκε στην Ελλάδα από την Κτηματολόγιο Α.Ε. το σύστημα HEPOS, το οποίο αποτελεί το πρώτο Ελληνικό Δίκτυο Μόνιμων Σταθμών Αναφοράς GPS.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται εφαρμογή μίας από τις τεχνικές δικτυακού RTK, και συγκεκριμένα της τεχνικής RTK με Εικονικούς Σταθμούς Αναφοράς VRS (VRS-RTK), με σκοπό να ελεγχθεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων που προσφέρει. Η δικτυακή λύση που προκύπτει από την εφαρμογή αυτή είναι αποτέλεσμα της χρήσης του συστήματος HEPOS.

Επιλέχθηκαν δύο περιοχές εντός του Λεκανοπεδίου Αττικής και εντός της περιοχής δικτυακής λύσης του HEPOS, σε δύο διαφορετικές αποστάσεις (3 και 10 km) από τον Σταθμό Αναφοράς RTCM0098, που βρίσκεται στο κτίριο της Κτηματολόγιο Α.Ε. στο Χολαργό Αττικής, για να γίνει η εφαρμογή της τεχνικής VRS-RTK.

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της δικτυακής τεχνικής VRS-RTK στις περιοχές αυτές συγκρίνονται με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή της κλασσικής τεχνικής RTK από Μόνιμο Σταθμό Αναφοράς (Single-Base RTK), καθώς και με τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της υπηρεσίας μετεπεξεργασίας του συστήματος HEPOS. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο προσδιορισμός των συντεταγμένων είναι της τάξης του 1 - 2 cm σε πραγματικό χρόνο.

Summary

The continuous development of the Global Navigation Satellite Systems (GNSS: GPS, GLONASS, Galileo), with regard to their use in geodetic applications for positioning on the natural earthy surface, led to the creation of global and European Networks of Permanent Reference Stations, in regional, national or local scale, as well as to the use of network positioning techniques.

Following the example of this development, the HEPOS system was created in Greece by Ktimatologio S.A. and constitutes the first Greek Network of Permanent GPS Reference Stations.

In this present work, takes place the application of one network RTK technique, and distinctly of the RTK technique with Virtual Reference Stations VRS (VRS-RTK), followed by the intended purpose to check the precision of the results that it offers. The network solution that arises from this application is a result of the use of the HEPOS system.

Two regions were selected inside the Attica Basin and inside the network solution region of HEPOS, in two different distances (3 and 10 km) from the Reference Station RTCM0098, that is situated at the central building of Ktimatologio S.A. at Cholargos, Attica, in order for the application of the VRS-RTK technique to take place.

The results from the application of the network technique VRS-RTK in these regions are compared with the results that arise from the application of the classic RTK technique from a Permanent Reference Station (Single-Base RTK), as well as with the results from the application of the post-processing service of the HEPOS system. The results show that the positioning accuracy ranks at about 1 - 2 cm in real time.

Εισαγωγικό Σημείωμα

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας του Τομέα Τοπογραφίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π., υπό την επίβλεψη της Επικ. Καθηγήτριας Μαρίας Τσακίρη, η οποία διατύπωσε το αντικείμενο της εργασίας αυτής σύμφωνα με τα ειδικά μου ενδιαφέροντα. Από τη θέση αυτή επιθυμώ να της εκφράσω τις ευχαριστίες μου για τη συνεχή της στήριξη και καθοδήγηση σε όλα τα στάδια της εργασίας.

Ευχαριστίες αρμόζουν επίσης:

Στον Αγρονόμο - Τοπογράφο Μηχανικό Σόλωνα Κιτσινέλη της εταιρείας GEOTECH, ο οποίος συνέβαλε καθοριστικά στην εκπόνηση της εργασίας, βοηθώντας στην εξοικείωση με τους γεωδαιτικούς δέκτες GPS που χρησιμοποιήθηκαν και το λογισμικό υποστήριξης της τεχνικής VRS-RTK, στην εκτέλεση των μετρήσεων πεδίου καθώς και στην επίλυση των αποτελεσμάτων.

Στον Αγρονόμο - Τοπογράφο Μηχανικό (Ι.Δ.Α.Χ.) της Σ.Α.Τ.Μ. Ε.Μ.Π. Αντώνη Σιούλη, ο οποίος συνέβαλε στην τελική επιλογή του θέματος της εργασίας με την παροχή στοιχείων και παρατηρήσεων.

Στην οικογένειά μου και σε όλους τους φίλους μου και τους συμφοιτητές μου, που με τον τρόπο τους με στήριξαν σε αυτή μου την προσπάθεια.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή – Καθορισμός Προβλήματος.....	1
	1.1 Γενικά.....	2
	1.2 Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας.....	4
	1.3 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας.....	4
2	Μέθοδοι Προσδιορισμού Θέσης με το GPS.....	6
	2.1 Εισαγωγή.....	7
	2.2 Βασικά Στοιχεία του Συστήματος GPS.....	7
	2.3 Μετρήσεις με GPS.....	9
	2.4 Απόλυτος Προσδιορισμός Θέσης.....	9
	2.5 Σχετικός Προσδιορισμός Θέσης.....	12
	2.5.1 Σχετικός στατικός προσδιορισμός θέσης.....	13
	2.5.2 Σχετικός κινηματικός προσδιορισμός θέσης.....	16
3	Δίκτυα GPS.....	25
	3.1 Εισαγωγή.....	26
	3.2 Τεχνικές Δικτυακού DGPS και RTK.....	27
	3.2.1 DGPS ευρείας περιοχής - WADGPS.....	27
	3.2.2 Σύστημα EGNOS.....	27
	3.2.3 Δικτυακό RTK.....	29
	3.2.4 Πλεονεκτήματα των Δικτυακών Τεχνικών.....	35
	3.3 Δίκτυα Μόνιμων Σταθμών GPS Συνεχούς Λειτουργίας (CORS/VRS)	36
	3.3.1 Δίκτυα μόνιμων σταθμών συνεχούς λειτουργίας σε παγκόσμια ή ηπειρωτική κλίμακα.....	36
	3.3.2 Παραδείγματα δικτύων μόνιμων σταθμών συνεχούς λειτουργίας σε εθνική ή περιφερειακή κλίμακα (VRS-RTK).....	45

3.4	HEPOS - Το Ελληνικό Σύστημα Εντοπισμού.....	51
3.4.1	Χαρακτηριστικά και εφαρμογές του συστήματος HEPOS.....	52
3.4.2	Τηλεπικοινωνιακή υποδομή - Παρεχόμενες υπηρεσίες στους χρήστες.....	54
3.4.3	Σύστημα Αναφοράς του HEPOS - Αναμενόμενες ακρίβειες.....	60
3.4.4	Πλεονεκτήματα του συστήματος HEPOS.....	62
4	Εφαρμογή της Τεχνικής RTK με Εικονικούς Σταθμούς Αναφοράς VRS στο Δίκτυο του HEPOS.....	64
4.1	Εισαγωγή.....	65
4.2	Περιοχές Μελέτης.....	65
4.3	Επιλογή Χαρακτηριστικών Σημείων.....	68
4.4	Εξοπλισμός.....	70
4.5	Διαδικασία Μετρήσεων.....	71
5	Αποτελέσματα Εφαρμογών.....	78
5.1	Εισαγωγή.....	79
5.2	Αρχεία Μετρήσεων GPS.....	79
5.3	Επεξεργασία και Σύγκριση Αποτελεσμάτων.....	88
6	Συμπεράσματα – Προτάσεις.....	100
6.1	Γενικά.....	101
6.2	Συμπεράσματα.....	101
6.3	Προτάσεις.....	103
	Βιβλιογραφία.....	106

Περιεχόμενα Εικόνων - Σχημάτων - Πινάκων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2		
Εικόνα 2.1	Απόλυτος προσδιορισμός θέσης	Σελ. 10
Εικόνα 2.2	Βασική Αρχή GPS για τον απόλυτο προσδιορισμό θέσης: Ταυτόχρονη λήψη σήματος από τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους	Σελ. 11
Εικόνα 2.3	Σχετικός στατικός προσδιορισμός	Σελ. 14
Εικόνα 2.4	Γρήγορος στατικός προσδιορισμός	Σελ. 14
Εικόνα 2.5	Η αρχή του διαφορικού εντοπισμού (DGPS)	Σελ. 20
Εικόνα 2.6	Απλοί και δικτυακοί broadcasters του πρωτοκόλλου επικοινωνίας NTRIP	Σελ. 23
Σχήμα 2.1	Σχετικός προσδιορισμός θέσης. Προσδιορισμός του τρισδιάστατου διανύσματος της βάσης μεταξύ δύο σημείων σε γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς	Σελ. 12
Σχήμα 2.2	Ψευδοκινηματικός προσδιορισμός	Σελ. 15
Σχήμα 2.3	Σχετικός κινηματικός προσδιορισμός	Σελ. 17
Σχήμα 2.4	Ημικινηματική μέθοδος (R: Reference, I: Initialization)	Σελ. 18

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3		
Εικόνα 3.1	Σύστημα EGNOS	Σελ. 28
Εικόνα 3.2	VRS - Virtual Reference Stations	Σελ. 30
Εικόνα 3.3	Λειτουργική αρχή χρήσης των Εικονικών Σταθμών Αναφοράς – VRS	Σελ. 32
Εικόνα 3.4	Σχηματική αναπαράσταση της τεχνικής MAC	Σελ. 35
Εικόνα 3.5	Παγκόσμιο δίκτυο σταθμών IGS	Σελ. 37
Εικόνα 3.6	Παγκόσμιο δίκτυο GPS/GLONASS σταθμών IGS	Σελ. 38
Εικόνα 3.7	Ευρωπαϊκό δίκτυο σταθμών IGS	Σελ. 39
Εικόνα 3.8	Παγκόσμιο δίκτυο σταθμών RTIGS	Σελ. 40

Εικόνα 3.9	Δίκτυο μόνιμων σταθμών EPN	Σελ. 42
Εικόνα 3.10	Μόνιμοι σταθμοί AUT1 (Θεσσαλονίκη), NOA1 (Αθήνα), TUC2 (Χανιά)	Σελ. 43
Εικόνα 3.11	Μόνιμος σταθμός DUTH (Ξάνθη)	Σελ. 44
Εικόνα 3.12	Δίκτυο μόνιμων σταθμών EUREF-IP	Σελ. 45
Εικόνα 3.13	Active Control Points του δικτύου CACS στον Καναδά	Σελ. 46
Εικόνα 3.14	Δίκτυο GEONET	Σελ. 47
Εικόνα 3.15	Βόρειο τμήμα του δικτύου ARGN (Australian Regional GPS Network)	Σελ. 48
Εικόνα 3.16	Νότιο τμήμα του δικτύου ARGN (Australian Regional GPS Network)	Σελ. 48
Εικόνα 3.17	Δίκτυο AFN (Australian Fiducial Network)	Σελ. 49
Εικόνα 3.18	Δίκτυο AGNES (Automated GPS Network Switzerland)	Σελ. 50
Εικόνα 3.19	Δίκτυο SWEPOS	Σελ. 51
Εικόνα 3.20	Διάταξη σταθμών αναφοράς HEPOS	Σελ. 51
Εικόνα 3.21	Κεραίες σταθμών αναφοράς τοποθετημένες σε βάθρο και σε οροφή και τοίχο κτιρίου	Σελ. 53
Εικόνα 3.22	Απεικόνιση του Rack και του εξοπλισμού στο Rack του σταθμού αναφοράς	Σελ. 53
Εικόνα 3.23	Απεικόνιση βασικών λειτουργιών και υπηρεσιών που εξυπηρετεί η τηλεπικοινωνιακή υποδομή του HEPOS	Σελ. 55
Εικόνα 3.24	Σύνδεση με το Κέντρο Ελέγχου μέσω κινητού τηλεφώνου (το χειριστήριο συνδέεται με το κινητό μέσω Bluetooth) και μέσω Compact Flash κάρτας GSM/GPRS	Σελ. 56
Εικόνα 3.25	Διαφορετικές δυνατότητες σύνδεσης με το Κέντρο Ελέγχου	Σελ. 57
Εικόνα 3.26	Παράδειγμα παραγγελίας αρχείου Εικονικού Σταθμού Αναφοράς μέσω του RINEX Shop	Σελ. 58

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4		
Εικόνα 4.1	Ενδεικτική σχετική θέση των δύο περιοχών ως προς το σταθμό αναφοράς RTCM0098	Σελ. 66
Εικόνα 4.2	Απεικόνιση της περιοχής «Δουκίσσης Πλακεντίας»	Σελ. 67
Εικόνα 4.3	Απεικόνιση της περιοχής «Λεωφ. Μαραθώνος»	Σελ. 67
Εικόνα 4.4	Σήμανση χαρακτηριστικών σημείων	Σελ. 69
Εικόνα 4.5	Δέκτες “Trimble R8 G.N.S.S.” και “Trimble 5800”	Σελ. 70
Εικόνα 4.6	Ο δέκτης “Trimble R8 G.N.S.S.” με το χειριστήριο “TSC2”	Σελ. 71
Εικόνα 4.7	Χρήση του δέκτη “Trimble R8 G.N.S.S.” με το χειριστήριο “TSC2” για την εκτέλεση των μετρήσεων πραγματικού χρόνου	Σελ. 72
Εικόνα 4.8	Χρήση του δέκτη “Trimble 5800” για την εκτέλεση των μετρήσεων μετεπεξεργασίας	Σελ. 74
Εικόνα 4.9	Τμήμα της παραγγελίας του αρχείου δεδομένων RINEX για τον Εικονικό Σταθμό Αναφοράς “Virtual_286” στο “RINEX Shop” της ιστοσελίδας του HEPOS	Σελ. 76
Εικόνα 4.10	Λεπτομέρειες του αρχείου δεδομένων RINEX για τον Εικονικό Σταθμό Αναφοράς “Virtual_286” στο “RINEX Shop” της ιστοσελίδας του HEPOS	Σελ. 76
Σχήμα 4.1	Αυτοσχέδιο περιοχής «Δουκίσσης Πλακεντίας»	Σελ. 68
Σχήμα 4.2	Αυτοσχέδιο περιοχής «Λεωφ. Μαραθώνος»	Σελ. 69
Σχήμα 4.3	Βάσεις των σημείων “ST” στην περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας» ως προς τον Εικονικό Σταθμό Αναφοράς “Virtual_286”, στην περίπτωση εφαρμογής της υπηρεσίας μετεπεξεργασίας του συστήματος HEPOS	Σελ. 75

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5		
Εικόνα 5.1	Βάσεις των σημείων “ST” στην περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας» ως προς τον Εικονικό Σταθμό Αναφοράς “Virtual_286”, όπως εμφανίζονται στο λογισμικό επίλυσης “Trimble Geomatics Office”	Σελ. 81
Πίνακας 5.1	Στοιχεία διανυσμάτων μετρηθέντων σημείων “VRS” στην περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας» με την τεχνική VRS-RTK	Σελ. 79
Πίνακας 5.2	Στοιχεία διανυσμάτων μετρηθέντων σημείων “Single” στην περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας» με την τεχνική Single-Base RTK	Σελ. 80
Πίνακας 5.3	Στατιστικά στοιχεία επίλυσης βάσεων των μετρηθέντων σημείων “ST” στην περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας» με την τεχνική Fast Static	Σελ. 81
Πίνακας 5.4	Αναφορά προέλευσης συντεταγμένων των μετρηθέντων σημείων “ST” στην περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας» με την τεχνική Fast Static, στο σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ’87	Σελ. 82-83
Πίνακας 5.5	Δεδομένα παρατηρήσεων των βάσεων και συντεταγμένες των μετρηθέντων σημείων “ST” στην περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας» με την τεχνική Fast Static	Σελ. 84
Πίνακας 5.6	Στατιστικά στοιχεία επίλυσης των σημείων “ST” στην περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας»	Σελ. 86
Πίνακας 5.7	Στοιχεία διανυσμάτων μετρηθέντων σημείων “VRS” στην περιοχή «Λεωφ. Μαραθώνος» με την τεχνική VRS-RTK	Σελ. 87
Πίνακας 5.8	Στοιχεία διανυσμάτων μετρηθέντων σημείων “Single” στην περιοχή «Λεωφ. Μαραθώνος» με την τεχνική Single-Base RTK	Σελ. 87
Πίνακας 5.9	Συντεταγμένες των σημείων “VRS” στην περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας» υπολογισμένες από δικτυακή λύση	Σελ. 89

Πίνακας 5.10	Συντεταγμένες των σημείων “Single” στην περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας» υπολογισμένες από τον «πραγματικό» σταθμό RTCM0098	Σελ. 90
Πίνακας 5.11	Συντεταγμένες των σημείων “ST” στην περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας» υπολογισμένες από την υπηρεσία μετεπεξεργασίας του HEPOS	Σελ. 91
Πίνακας 5.12	Συντεταγμένες των σημείων “VRS” στην περιοχή «Λεωφ. Μαραθώνος» υπολογισμένες από δικτυακή λύση	Σελ. 92
Πίνακας 5.13	Συντεταγμένες των σημείων “Single” στην περιοχή «Λεωφ. Μαραθώνος» υπολογισμένες από τον «πραγματικό» σταθμό RTCM0098	Σελ. 93
Πίνακας 5.14	Μέσες τιμές και εύρος τιμών των διαφορών των συντεταγμένων των σημείων που προκύπτουν από τις συγκρίσεις των τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν	Σελ. 94
Πίνακας 5.15	Διαφορές των συντεταγμένων κάθε σημείου και τα RMS των διαφορών αυτών συγκρίνοντας τις τεχνικές VRS-RTK και Single-Base RTK για την περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας»	Σελ. 95
Πίνακας 5.16	Διαφορές των συντεταγμένων κάθε σημείου και τα RMS των διαφορών αυτών συγκρίνοντας τις τεχνικές VRS-RTK και VRS Post-Processing για την περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας»	Σελ. 96
Πίνακας 5.17	Διαφορές των συντεταγμένων κάθε σημείου και τα RMS των διαφορών αυτών συγκρίνοντας τις τεχνικές VRS Post-Processing και Single-Base RTK για την περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας»	Σελ. 97
Πίνακας 5.18	Διαφορές των συντεταγμένων κάθε σημείου και τα RMS των διαφορών αυτών συγκρίνοντας τις τεχνικές VRS-RTK και Single-Base RTK για την περιοχή «Λεωφ. Μαραθώνος»	Σελ. 98

Ακρωνύμια

ACPs	Active Control Points
AFN	Australian Fiducial Network
AGNES	Automated GPS NEtwork Switzerland
ARGN	Australian Regional GPS Network
AUSPOS	AUSLIG GPS Processing Online Service
C/A	Coarse Acquisition
CACS	Canadian Active Control System
CHTRS95	Swiss Terrestrial Reference System 1995
CORS	Continuously Operating Reference Stations
CRINEX	Compact RINEX
DGPS	Differential GPS
ECEF	Earth-Centered Earth-Fixed
ΕΓΣΑ87	Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987
ΕΕΠ	Ελλειψοειδές εκ Περιστροφής
EGM08	Earth Gravitation Model 2008
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service
EPN	EUREF Permanent GNSS Network
ESA	European Space Agency
ETRF2005	European Terrestrial Reference Frame 2005
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989
EUREF	EUropean REference Frame
FKP	Flächen Korrektur Parameter
GEONET	GPS Earth Observation NEtwork of Japan
GIS	Geographic Information System
GLONASS	GLObal NAvigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GRS80	Geodetic Reference System 1980

GSC	Geological Survey of Canada
GSD	Geodetic Survey Division of Geomatics Canada
GS	Geographical Survey Institute
GSM	Global System for Mobile communications
HEPOS	Hellenic Positioning System
HTRS07	Hellenic Terrestrial Reference System 2007
HTTP	HyperText Transfer Protocol
IERS	International Earth Rotation Service
IGLOS	International GLONASS Service
IGS	International GNSS Service
IP	Internet Protocol
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
ITRS	International Terrestrial Reference Frame
MAC	Master-Auxiliary Concept
NAVSTAR	NAVigation Satellite Timing And Ranging
NMEA	National Maritime Electronics Association
NTRIP	Networked Transport of RTCM in Internet Protocol
OTF	On The Fly ambiguity resolution
RIMS	Ranging and Integrity Monitoring Stations
RINEX	GPS Receiver INdependent EXchange format
RTCM	Radio Technical Commission for Maritime Services
RTIGS	Real Time IGS Tracking Network
RTK	Real Time Kinematic
RTWG	IGS Real Time Working Group
SWEPOS	SWEdish POsitioning System
SWIPOS	Swiss Positioning Service
TCP	Transmission Control Program
VRS	Virtual Reference Stations
WADGPS	Wide Area DGPS
WGS84	World Geodetic System 1984

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

1.1 Γενικά

Τις τελευταίες δεκαετίες η χρήση των παγκόσμιων δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης GNSS (GPS, GLONASS, Galileo) παρουσιάζει μεγάλη ανάπτυξη. Η συνεχής ανάγκη για αποτελέσματα υψηλής ακρίβειας και αξιοπιστίας καθώς και η απαίτηση ελαχιστοποίησης του κόστους και του χρόνου παραμονής στο ύπαιθρο για τις εκάστοτε εφαρμογές, καθιστούν τα συστήματα GNSS ως το πλέον ραγδαία εξελισσόμενο κομμάτι της γεωδαισίας, και ιδιαίτερα της δορυφορικής γεωδαισίας. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στον κλάδο της δορυφορικής γεωδαισίας από τις αρχές της δεκαετίας του '80 έχουν εξελιχθεί σε ακριβή μέσα προσδιορισμού θέσεων, και χρησιμοποιούνται σε πλήθος εφαρμογών, όπως για παράδειγμα στον προσδιορισμό συστημάτων αναφοράς και στον έλεγχο μετακινήσεων.

Τα τελευταία χρόνια παράλληλα με τις μεθόδους σχετικού προσδιορισμού θέσης, με εκ των υστέρων επεξεργασία των αποτελεσμάτων, έχουν εξελιχθεί δραματικά οι τεχνικές προσδιορισμού θέσης σε πραγματικό χρόνο DGPS και RTK, με περισσότερο διαδεδομένη την τεχνική RTK. Ωστόσο ο βασικός περιορισμός της τεχνικής RTK είναι η απόσταση ανάμεσα στον σταθερό και τον κινητό δέκτη. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της ύπαρξης συστηματικών και τυχαίων σφαλμάτων εξαρτημένων από την παραπάνω απόσταση, τα οποία μπορεί να οφείλονται για παράδειγμα στην ιονόσφαιρα, στην τροπόσφαιρα ή στις τροχιές των δορυφόρων. Η προσπάθεια αποφυγής και εξάλειψης των ενδεχομένων συστηματικών σφαλμάτων γίνεται με τον περιορισμό της απόστασης ανάμεσα σε σταθερό και κινητό δέκτη στα 10-15 km.

Στην περίπτωση της τεχνικής DGPS τα σφάλματα των μετρήσεων μοντελοποιούνται και διορθώνονται και οι ακρίβειες των μετρήσεων δεν επηρεάζονται σχεδόν καθόλου από τα μήκη των βάσεων. Ωστόσο τα συστήματα αυτά που βασίζονται σε μετρήσεις ψευδοαποστάσεων προσφέρουν ακρίβειες της τάξης του μέτρου.

Την τελευταία σχεδόν δεκαετία έχουν δημιουργηθεί και εξελιχθεί παγκοσμίως οι Μόνιμοι Σταθμοί Αναφοράς για να υποστηρίξουν γεωδαιτικές εφαρμογές υψηλής ακρίβειας. Η λειτουργία των Μόνιμων Σταθμών Αναφοράς βασίζεται στην απαίτηση των χρηστών του δικτύου GPS να έχουν πρόσβαση σε προϊόντα GPS σε 24ωρη βάση

και σε πραγματικό χρόνο μέσω σταθερών σημείων αναφοράς, προσδιορισμένων με υψηλή ακρίβεια και εξοπλισμένων με δέκτες GPS τελευταίας τεχνολογίας για τη συγκέντρωση και την αποστολή δεδομένων από και προς τους χρήστες.

Η δορυφορική γεωδαισία εκμεταλλεύτηκε όλες τις εξελίξεις στα παγκόσμια συστήματα εντοπισμού, τις εξελίξεις στη γεωδαισία και την ύπαρξη των Μόνιμων Σταθμών Αναφοράς και δημιουργήθηκαν τα Δίκτυα Μόνιμων Σταθμών Αναφοράς εφαρμόζοντας τεχνικές δικτυακού RTK. Οι τεχνικές αυτές του δικτυακού RTK προσφέρουν τη δυνατότητα επίτευξης ακρίβειας της τάξης του εκατοστού, με μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο και παρατηρήσεις φάσης, και είναι ικανές να λειτουργούν σε αποστάσεις αρκετών δεκάδων χιλιομέτρων από τον πλησιέστερο Μόνιμο Σταθμό Αναφοράς, με απόδοση ισάξια της κλασσικής μεθόδου RTK, η οποία λειτουργεί σε συγκριτικά πολύ μικρότερες αποστάσεις.

Παρατηρούνται τρεις διαφορετικές μέθοδοι δικτύωσης των σταθμών αναφοράς σε ένα δίκτυο RTK. Αυτές είναι οι «Εικονικοί Σταθμοί Αναφοράς - VRS» (Virtual Reference Stations), οι «Σταθμοί Μετάδοσης Παραμέτρων Επιφανειακών Διορθώσεων - FKP» (Flächen Korrektur Parameter) και η τεχνική «MAC (Master-Auxiliary Concept)». Από τις τρεις αυτές μεθόδους η πιο διαδεδομένη είναι η μέθοδος Εικονικών Σταθμών Αναφοράς - VRS.

Ακολουθώντας το παράδειγμα πολλών Ευρωπαϊκών και παγκόσμιων δικτύων, η εταιρεία Κτηματολόγιο Α.Ε. ανέλαβε τη δημιουργία ενός αντίστοιχου Ελληνικού Δικτύου Μόνιμων Σταθμών Αναφοράς, του συστήματος HEPOS (HEllenic Positioning System). Το δίκτυο αυτό ακολούθησε τις παγκόσμιες προδιαγραφές και τεχνολογίες έτσι ώστε να προσφέρει στους χρήστες του συστήματος τη δυνατότητα προσδιορισμού θέσεων υψηλής ακρίβειας για οποιοδήποτε είδος εφαρμογών. Ένα βασικό χαρακτηριστικό του συστήματος HEPOS είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους χρήστες είτε για εφαρμογές πραγματικού χρόνου μέσω τεχνικών δικτυακού RTK είτε για εφαρμογές μετεπεξεργασίας, χρησιμοποιώντας παρατηρήσεις Εικονικών Σταθμών Αναφοράς για επεξεργασία εκ των υστέρων.

1.2 Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα χρησιμοποιηθεί μία από τις τεχνικές δικτυακού RTK, και συγκεκριμένα η τεχνική RTK με Εικονικούς Σταθμούς Αναφοράς VRS (VRS-RTK). Η δικτυακή λύση που θα προσφέρει η τεχνική αυτή θα προέλθει μέσω του νεοσύστατου Ελληνικού συστήματος HEPOS.

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι να γίνει η εφαρμογή της τεχνικής VRS-RTK σε επιλεγμένες περιοχές, να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες ορισμένων χαρακτηριστικών σημείων και στη συνέχεια να εξεταστεί κατά πόσο τα αποτελέσματα που θα προκύψουν είναι αποδεκτά, ως προς τις προδιαγραφές του HEPOS, οι οποίες είναι της τάξης του 1-2 cm. Πρακτικά, θα γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων της δικτυακής τεχνικής VRS-RTK με τις συντεταγμένες των ίδιων σημείων όπως θα προκύψουν από την εφαρμογή της κλασσικής τεχνικής RTK από Μόνιμο Σταθμό Αναφοράς (Single-Base RTK). Επίσης, ένα τμήμα των αποτελεσμάτων της εφαρμογής της δικτυακής αυτής τεχνικής θα συγκριθεί ενδεικτικά με την εφαρμογή της υπηρεσίας μετεπεξεργασίας του HEPOS.

Τα αποτελέσματα από τη χρήση της τεχνικής VRS-RTK αναμένεται να είναι εντός των προδιαγραφών και των ακριβειών που προσφέρει και προβλέπει το σύστημα HEPOS.

1.3 Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

Η διάρθρωση του περιεχομένου της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εξής:

Στο Κεφάλαιο 2 αναφέρονται τα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος GPS, περιγράφονται οι μέθοδοι προσδιορισμού θέσης που χρησιμοποιούνται σε γεωδαιτικές ή άλλες εφαρμογές, ανάλογα με το είδος των συντεταγμένων που προσφέρουν και ανάλογα τη χρονική στιγμή διεξαγωγής των επιλύσεων, καθώς και βασικά στοιχεία απαραίτητα για την κατανόηση της λειτουργίας των δικτυακών τεχνικών.

Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται αρχικά περιγραφή των τεχνικών δικτυακού DGPS και RTK και δίνονται τυπικά παραδείγματα παγκόσμιων και Ευρωπαϊκών Δικτύων Μόνιμων Σταθμών Αναφοράς. Στη συνέχεια γίνεται περιγραφή του συστήματος HEPOS, παρουσιάζοντας τα χαρακτηριστικά του και τις παρεχόμενες προς τους χρήστες υπηρεσίες του.

Στο Κεφάλαιο 4 περιγράφεται η διαδικασία της εφαρμογής στις επιλεγμένες περιοχές της δικτυακής τεχνικής VRS-RTK, καθώς και της τεχνικής Single-Base RTK και της υπηρεσίας μετεπεξεργασίας του HEPOS.

Στο Κεφάλαιο 5 παρατίθενται τα αποτελέσματα όλων των εφαρμογών. Από τη χρήση κάθε τεχνικής προέκυψαν πίνακες (Reports) από το λογισμικό επίλυσης που χρησιμοποιήθηκε, πίνακες με τις συντεταγμένες των σημείων καθώς και πίνακες σύγκρισης των αποτελεσμάτων.

Στο Κεφάλαιο 6 συγκεντρώνονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς και οι προτάσεις για μελλοντική εξέλιξη ή χρήση της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ ΜΕ ΤΟ GPS

2.1 Εισαγωγή

Ο προσδιορισμός θέσεων στη φυσική γήινη επιφάνεια και η ένταξη τους σε ένα κατάλληλο σύστημα αναφοράς είναι ο κύριος σκοπός του εφαρμοσμένου μέρους της γεωδαισίας. Η χρήση των τεχνητών δορυφόρων αλλά και η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών έχουν αλλάξει την κατάσταση τελείως, ώστε ο τρισδιάστατος εντοπισμός, μεγάλης ακρίβειας, με σύντομες εργασίες υπαίθρου να πραγματοποιείται ευκολότερα.

Ο προσδιορισμός θέσης με το GPS διακρίνεται γενικά σε δύο κατηγορίες: στον **απόλυτο προσδιορισμό θέσης** (absolute positioning, point positioning, single point positioning) και στο **σχετικό προσδιορισμό θέσης** (relative positioning, differential positioning). Μπορεί να γίνεται είτε μετά το πέρας των μετρήσεων (**Post-Processing**) ή σε πραγματικό χρόνο (**Real-Time positioning**), ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή.

Ο προσδιορισμός θέσης μπορεί να διακριθεί ακόμα σε **στατικό (Static)** και **κινηματικό (Kinematic)** ανάλογα με το αν το αντικείμενο που υπόκειται σε προσδιορισμό θέσης είναι ακίνητο ή κινείται.

2.2 Βασικά Στοιχεία του Συστήματος GPS

Το **GPS** ή αλλιώς **NAVSTAR GPS (NAVigation Satellite Timing And Ranging, Global Positioning System)** (<http://www.gps.gov/>) (<http://www.navcen.uscg.gov/>), είναι ένα παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσης, χρόνου και ταχύτητας, οπουδήποτε στην επιφάνεια της γης ή και πάνω από αυτήν, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή, ανεξάρτητα από καιρικές συνθήκες και σε απεριόριστο αριθμό χρηστών, και βασίζεται στις αρχές λειτουργίας των παθητικών δορυφορικών συστημάτων ναυσιπλοΐας (Leick, 1995).

Ανήκει στην κατηγορία των συστημάτων **GNSS (Global Navigation Satellite Systems)**, δηλαδή των παγκόσμιων δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης, όπως είναι το παρόμοιο Ρωσικό σύστημα **GLONASS (GLObal Navigation Satellite**

System) και το καθαρά πολιτικό Ευρωπαϊκό σύστημα GALILEO (<http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>).

Το σύστημα GPS σχεδιάστηκε, χρηματοδοτείται και ελέγχεται από το Υπουργείο Αμύνης των Η.Π.Α. (U. S. Department of Defense – DOD). Παρά το γεγονός ότι πρωταρχικός στόχος του GPS ήταν για αμυντικούς και στρατιωτικούς σκοπούς των Η.Π.Α. και χειρίζεται από το στρατό των Η.Π.Α., υπάρχουν χιλιάδες μη στρατιωτικοί χρήστες παγκοσμίως που αξιοποιούν το GPS για πολιτική χρήση.

Το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς του GPS είναι το **WGS84** (World Geodetic System 1984). Οι συντεταγμένες GPS, καρτεσιανές γεωκεντρικές (X, Y, Z) ή ισοδύναμα γεωδαιτικές / ελλειψοειδείς (φ , λ , h) μπορούν να μετασχηματίζονται σε οποιοδήποτε άλλο σύστημα μέσω κατάλληλων μετασχηματισμών είτε με γνωστές παραμέτρους μετασχηματισμού είτε με προσδιορισμό τους από μετρήσεις GPS σε κοινά σημεία (http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html).

Το GPS αποτελείται από τρία κυρίως λειτουργικά τμήματα (Seeber, 2003):

- Το **τμήμα του διαστήματος** αποτελείται από τους 27 δορυφόρους NAVSTAR, 24 σε λειτουργία και 3 εφεδρικούς που εκπέμπουν σήματα και κωδικοποιημένες πληροφορίες στην περιοχή των μικροκυμάτων (L-band).
- Το **τμήμα ελέγχου** παρακολουθεί και κατευθύνει τη λειτουργία κάθε δορυφόρου του συστήματος. Αποτελείται από πέντε επίγειους μόνιμους σταθμούς παρακολούθησης (Monitor Stations), συμπεριλαμβανομένου και του κεντρικού σταθμού ελέγχου (Master Control Station), με γνωστές συντεταγμένες ως προς το WGS84, και τρεις σταθμούς τηλεπικοινωνιών (Upload Stations, Ground Antennas).
- Το **τμήμα χρηστών**, που παρακολουθεί τα σήματα των δορυφόρων, αποτελείται από όλους τους χρήστες (δέκτες GPS) που μπορούν να εκμεταλλευτούν τις δυνατότητες του συστήματος για ναυσιπλοΐα και γεωδαισία ή άλλες χρήσεις.

2.3 Μετρήσεις με GPS

Ο προσδιορισμός των συντεταγμένων ενός δέκτη γίνεται είτε με μετρήσεις ψευδοαποστάσεων είτε με μετρήσεις φάσης του φέροντος κύματος.

Οι **μετρήσεις ψευδοαποστάσεων** βασίζονται στον προσδιορισμό της απόστασης που διανύει το ραδιοσήμα, από το δορυφόρο σε ένα δέκτη. Οι μετρήσεις αυτές διαφέρουν από την πραγματική απόσταση δορυφόρου-δέκτη λόγω σφαλμάτων (π.χ. ατμοσφαιρικών καθυστερήσεων του σήματος GPS και μη συγχρονισμός των χρονομέτρων του εκάστοτε δέκτη με τα ατομικά χρονόμετρα των δορυφόρων).

Οι **μετρήσεις φάσης του φέροντος κύματος** στηρίζονται στη δυνατότητα μέτρησης της απόστασης μεταξύ του εκάστοτε δορυφόρου και ενός δέκτη σαν συνάρτηση των μετρούμενων κύκλων φάσης μήκους κύματος του χρησιμοποιούμενου δορυφορικού σήματος (συχνότητες L1 και L2, της L ζώνης του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου). Η μέτρηση της φάσης του φέροντος κύματος γίνεται συνήθως με ακρίβεια της τάξης του 0,19 cm για τη συχνότητα L1 και 0,24 cm για τη συχνότητα L2.

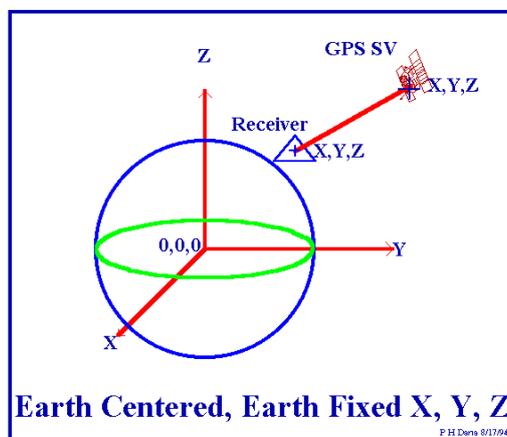
Οι μετρήσεις φάσης του φέροντος κύματος είναι ακριβέστερες κατά δύο τουλάχιστον τάξεις μεγέθους από τις μετρήσεις ψευδοαπόστασης και αποτελούν τον μόνο τύπο μετρήσεων υψηλής ακρίβειας στους οποίους βασίζονται οι διάφορες γεωδαιτικές και τοπογραφικές εφαρμογές (Τσακίρη, 2004).

2.4 Απόλυτος Προσδιορισμός Θέσης

Στον απόλυτο προσδιορισμό θέσης χρησιμοποιούνται οι παρατηρήσεις των μεμονωμένων σημείων και προσδιορίζονται συντεταγμένες, σημαντικά χαμηλότερης ακρίβειας επειδή δεν μπορούν να αντιμετωπισθούν ικανοποιητικά τα διάφορα συστηματικά σφάλματα.

Στον απόλυτο προσδιορισμό, προσδιορίζονται οι συντεταγμένες σημείου ως προς ένα ορισμένο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς, π.χ. ως προς το WGS84, από παρατηρήσεις μόνο του αντίστοιχου δέκτη (Εικόνα 2.1). Ο προσδιορισμός θέσης

δίνεται συνήθως σε μορφή καρτεσιανών συντεταγμένων (X, Y, Z) ή γεωδαιτικών συντεταγμένων (φ, λ, h) (Teunissen & Kleusberg, 1998).



Εικόνα 2.1: Απόλυτος προσδιορισμός θέσης.

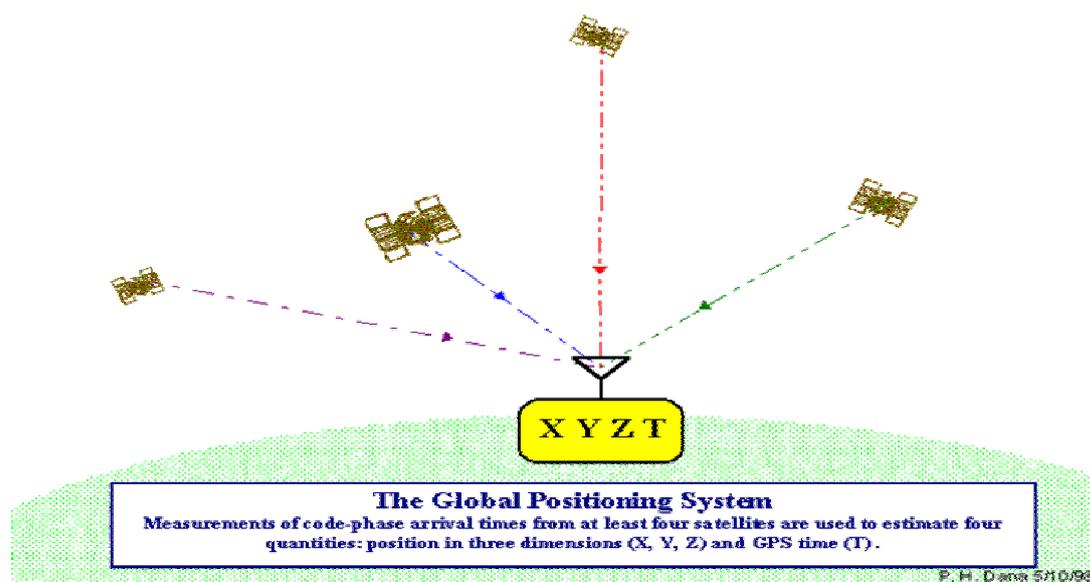
(Πηγή: www.colorado.edu/geography/gcraft/note/gps/gps_f.htm)

Η αρχή λειτουργίας του προσδιορισμού θέσης με το GPS βασίζεται θεωρητικά στον “τριπλευρισμό”, δηλαδή την ταυτόχρονη μέτρηση μηκών από τους δορυφόρους στους δέκτες. Η διαδικασία μπορεί να συγκριθεί με μία πλευρική οπισθοτομία στο χώρο όπου τα γνωστά σημεία είναι οι δορυφόροι, σαν τριγωνομετρικά σημεία σε τροχιά, τα άγνωστα σημεία οι δέκτες GPS και παρατηρήσεις οι αποστάσεις μεταξύ δεκτών και δορυφόρων.

Για να προσδιορισθεί η θέση του δέκτη απαιτούνται τρεις ταυτόχρονες παρατηρήσεις αποστάσεων, όσες δηλαδή και οι άγνωστες συντεταγμένες (X, Y, Z). Όμως τα ρολόγια των δορυφόρων και των δεκτών δεν είναι ποτέ τέλεια συγχρονισμένα και επομένως υπάρχουν πάντοτε συστηματικά σφάλματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Το σφάλμα του ρολογιού του δορυφόρου υπολογίζεται από τον δέκτη με βάση την πληροφορία του μηνύματος πλοήγησης, ενώ το σφάλμα του ρολογιού του δέκτη είναι άγνωστο. Έτσι στο πρόβλημα προσδιορισμού θέσης υπεισέρχεται και μία επιπλέον άγνωστη παράμετρος, η διόρθωση του χρόνου του δέκτη ως προς την κλίμακα του GPS ($3 + 1 = 4$ άγνωστες παράμετροι).

Επομένως η βασική αρχή του συστήματος GPS, για τον προσδιορισμό της τρισδιάστατης θέσης ενός σημείου με τη χρήση ενός δέκτη GPS, είναι να έχουμε

τουλάχιστον **τέσσερις ταυτόχρονες παρατηρήσεις** αποστάσεων προς τέσσερις δορυφόρους αντίστοιχα (Εικόνα 2.2). Έτσι εξυπηρετούνται συνεχώς οι ανάγκες της πλοήγησης σε παγκόσμια κλίμακα, όπου ο προσδιορισμός θέσης απαιτείται σε πραγματικό χρόνο (Leick, 1995).



Εικόνα 2.2: Βασική Αρχή GPS για τον απόλυτο προσδιορισμό θέσης: Ταυτόχρονη λήψη σήματος από τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους.

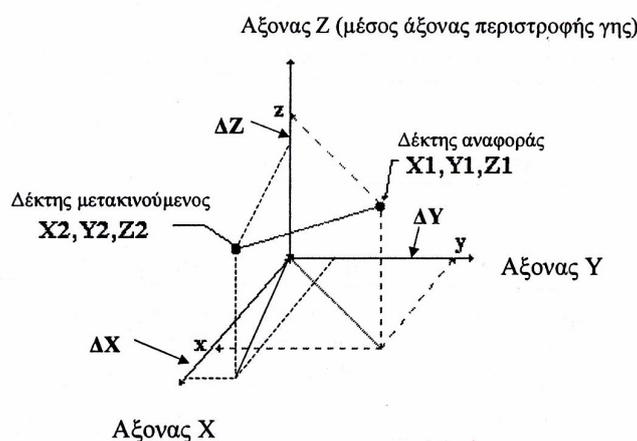
(Πηγή: www.colorado.edu/geography/gcraft/note/gps/gps_f.htm)

Στον απόλυτο προσδιορισμό θέσης χρησιμοποιούνται συνήθως μόνο παρατηρήσεις ψευδοαποστάσεων από κώδικες και κυρίως κώδικα C/A (Coarse Acquisition). Όμως όλο και συχνότερα η συνδυασμένη χρήση των μετρήσεων ψευδοαπόστασης και φάσης χρησιμοποιείται σε αρκετές εφαρμογές, ακόμα και στην τοπογραφία.

Ο απόλυτος προσδιορισμός θέσης μπορεί να γίνει είτε σε πραγματικό χρόνο και άρα αναφερόμαστε στη λύση πλοήγησης ή ναυσιπλοΐας (navigation solution) ή εκ των υστέρων (Post-Processing) αξιοποιώντας όλες τις εποχές που έχουν μετρηθεί με αποτέλεσμα να έχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια (Φωτίου & Πικριδάς, 2006).

2.5 Σχετικός Προσδιορισμός Θέσης

Στο σχετικό προσδιορισμό θέσης, προσδιορίζονται οι συντεταγμένες σημείου ως προς ένα άλλο σημείο του οποίου οι συντεταγμένες θεωρούνται γνωστές ως προς ένα σύστημα αναφοράς τοπικό ή γεωκεντρικό ή αλλιώς προσδιορίζεται η σχετική θέση (διαφορές συντεταγμένων ΔX , ΔY , ΔZ) μεταξύ των δύο σημείων, δηλαδή του τρισδιάστατου διανύσματος μεταξύ των δύο σημείων. Το διάνυσμα αυτό ονομάζεται **βάση (Baseline)**. Στο σχετικό προσδιορισμό χρειάζονται τουλάχιστον δύο δέκτες που μετρούν ταυτόχρονα σε αντίστοιχα σημεία ώστε χρησιμοποιώντας κατάλληλα τις ταυτόχρονες παρατηρήσεις προσδιορίζεται η σχετική θέση μεταξύ των σημείων.



Σχήμα 2.1: Σχετικός προσδιορισμός θέσης. Προσδιορισμός του τρισδιάστατου διανύσματος της βάσης μεταξύ δύο σημείων σε γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς.

(Πηγή: Τσακίρη, 2004)

Στο σχετικό προσδιορισμό θέσης χρησιμοποιούνται οι παρατηρήσεις φάσης του φέροντος κύματος για τις γεωδαιτικές και τοπογραφικές εφαρμογές. Για τον προσδιορισμό καλύτερων προσεγγιστικών συντεταγμένων και το συγχρονισμό των χρονομέτρων (απόλυτος προσδιορισμός θέσης) ή μερικές φορές και για την επίλυση των ασαφειών, μαζί με τις παρατηρήσεις φάσης χρησιμοποιούνται οι παρατηρήσεις ψευδοαποστάσεων ως βοηθητικές (Teunissen & Kleusberg, 1998).

Οι συντεταγμένες που υπολογίζονται στο σχετικό προσδιορισμό αναφέρονται στο σύστημα WGS84 (εκπεμπόμενη τροχιά) ή σε κάποιο από τα ITRF (International

Terrestrial Reference Frame) (χρήση τροχιών ακριβείας) με υψηλή σχετική ακρίβεια και απόλυτη ακρίβεια ανάλογη αυτής του γνωστού ή των γνωστών σημείων, συνήθως της τάξης μερικών χιλιοστών (Φωτίου & Πικριδάς, 2006).

Γνωρίζοντας τη σχέση που συνδέει το WGS84 ή το ITRF με κάποιο άλλο σύστημα αναφοράς, ή βρίσκοντας τις παραμέτρους μετασχηματισμού με βάση κοινά σημεία, είναι δυνατός ο μετασχηματισμός σε ένα διαφορετικό σύστημα, π.χ. στο ΕΓΣΑ'87 (Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987) για την Ελλάδα (Φωτίου & Πικριδάς, 2006).

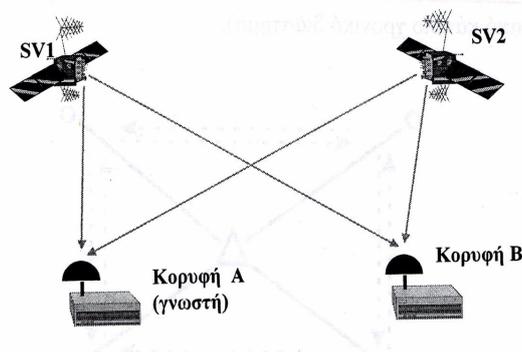
2.5.1 Σχετικός στατικός προσδιορισμός θέσης

Στην περίπτωση του στατικού προσδιορισμού θέσης οι δέκτες παραμένουν ακίνητοι στα σημεία καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων.

Για να προσδιοριστούν σωστά οι συνιστώσες μιας βάσης, αρκεί οι συντεταγμένες του σημείου που θεωρείται 'γνωστό' να είναι γνωστές με ακρίβεια μερικών μέτρων, ενδεικτικά της τάξης των 10 m ως προς το WGS84 (Φωτίου & Πικριδάς, 2006).

Ο **στατικός προσδιορισμός** θέσης δίνει ακρίβειες της τάξης των λίγων χιλιοστών και απαιτεί την ταυτόχρονη χρήση δύο δεκτών, όπου ο ένας τοποθετείται σε γνωστό σημείο και ο άλλος καταλαμβάνει για ένα σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα (40-90 min) ένα δεύτερο σημείο του οποίου η θέση ζητείται να υπολογισθεί (Τσακίρη, 2004).

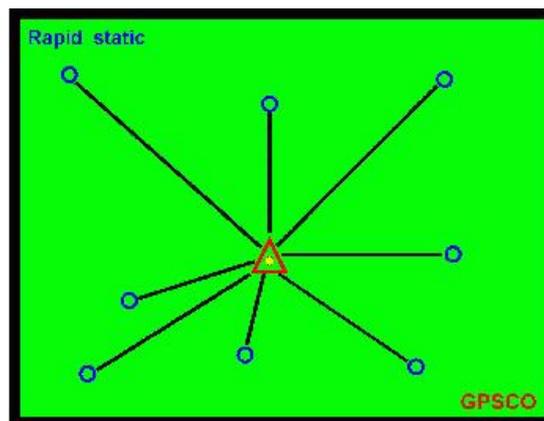
Ο σχετικός στατικός προσδιορισμός θέσης εμφανίζεται, εκτός της κλασσικής στατικής μεθόδου, με δύο παραλλαγές, γνωστές με την ονομασία "γρήγορος στατικός προσδιορισμός" και "ψευδοκινηματικός στατικός προσδιορισμός" ή "στατικός προσδιορισμός με επαναμέτρηση".



Εικόνα 2.3: Σχετικός στατικός προσδιορισμός.

(Πηγή: Τσακίρη, 2004)

Ο γρήγορος στατικός προσδιορισμός (**rapid static, fast static, quick static**) χρησιμοποιεί ίδια μεθοδολογία μέτρησης με τον στατικό προσδιορισμό, όταν απαιτείται ο προσδιορισμός θέσης πολλών σημείων όπως π.χ. για πύκνωση δικτύου. Διαφέρει στο γεγονός ότι χρησιμοποιείται για μικρές βάσεις, της τάξης των μερικών χιλιομέτρων, με ρυθμό καταγραφής συνήθως τα 10 sec και μικρότερο χρόνο παραμονής των δεκτών στα σημεία, της τάξης των 10-15 min, ενώ η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι της τάξης των μερικών εκατοστών. Ο μικρότερος χρόνος για την εκτέλεση των μετρήσεων δικαιολογείται από τη χρήση πιο απλών και γρήγορων τεχνικών επίλυσης των ασαφειών (Παραδείσης, 2000) (Seeber, 2003).



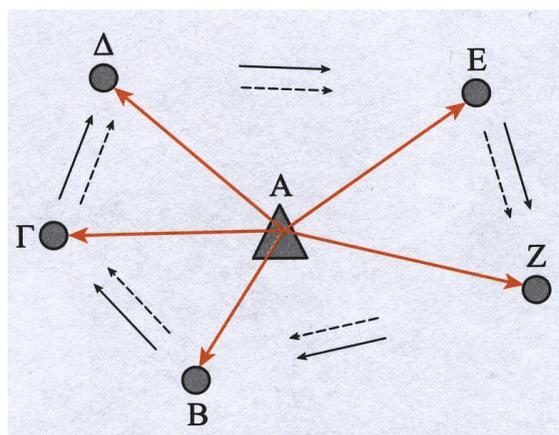
Εικόνα 2.4: Γρήγορος στατικός προσδιορισμός.

(Πηγή: www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps_survey)

Ο **ψευδοκινηματικός προσδιορισμός (pseudo-static, pseudo-kinematic, reoccupation)** έχει παρόμοια μεθοδολογία και ακρίβεια με τον γρήγορο στατικό με τη διαφορά ότι βασίζεται στην αλλαγή της γεωμετρίας των δορυφόρων λόγω του ότι ο κινητός δέκτης επισκέπτεται τα άγνωστα σημεία δύο ή και περισσότερες φορές διαδοχικά, με διάρκεια παραμονής στο καθένα λίγα λεπτά, λιγότερο και από τη γρήγορη στατική μέθοδο. Η γεωμετρία των δορυφόρων αλλάζει σημαντικά επειδή μεταξύ της πρώτης και της δεύτερης επίσκεψης έχει μεσολαβήσει ικανό χρονικό διάστημα, π.χ. 1-2 ώρες, και έτσι είναι δυνατή η επίλυση των ασαφειών φάσης. Κάθε σημείο προσδιορίζεται από το σύνολο των μετρήσεων όλων των επισκέψεων σε να είχε γίνει μόνο μία επίσκεψη και με το σύνολο των δορυφόρων από όλες τις επισκέψεις (Seeber, 2003) (Φωτίου & Πικριδάς, 2006).

Η μέθοδος αυτή προσφέρεται στις περιπτώσεις που θα χρειαστεί να μετρηθούν π.χ. την επόμενη μέρα ορισμένα σημεία, για τα οποία δεν επιτεύχθηκε ικανοποιητική ακρίβεια ή όταν η πρώτη σειρά μετρήσεων πραγματοποιήθηκε με 'αδύνατη' γεωμετρία.

Η μέθοδος είναι ισοδύναμη με τη γρήγορη στατική και αφορά σχεδόν τις ίδιες εφαρμογές (μικρές βάσεις, μικρής έκτασης περιοχή) (Φωτίου & Πικριδάς, 2006).



Σχήμα 2.2: Ψευδοκινηματικός προσδιορισμός.

(Πηγή: Φωτίου & Πικριδάς, 2006)

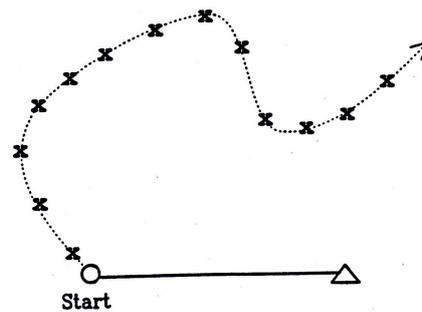
2.5.2 Σχετικός κινηματικός προσδιορισμός θέσης

➤ Σχετικός κινηματικός προσδιορισμός θέσης εκ των υστέρων

Ο σχετικός κινηματικός προσδιορισμός αφορά συνήθως εφαρμογές για τον προσδιορισμό της τροχιάς οχημάτων, διαδρομών και σημείων λεπτομερειών στις τοπογραφικές και χαρτογραφικές αποτυπώσεις.

Στην διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται ένας ακίνητος δέκτης που ονομάζεται σταθμός αναφοράς (**Base ή Reference Receiver**) και τοποθετείται και μένει συνεχώς σε ‘γνωστό σημείο’. Το σημείο αυτό δεν είναι υποχρεωτικά ένα γνωστό τριγωνομετρικό σημείο αλλά επιλέγεται με κριτήρια να έχει καλό ορίζοντα και να είναι μακριά από εστίες παρεμβολών και ανάκλασης. Οι ακριβείς του συντεταγμένες μπορούν να προκύψουν από μία διαδικασία στατικού προσδιορισμού από άλλα γνωστά τριγωνομετρικά σημεία, η οποία μπορεί να εφαρμοστεί και μετά.

Ο δεύτερος δέκτης (ή οι υπόλοιποι) είναι κινητός (**Rover, Moving Receiver**) και επισκέπτεται τα σημεία που λαμβάνονται για την αποτύπωση. Αρχικά μένει ακίνητος σε ένα σημείο μέχρι να συλλέξει ικανό αριθμό μετρήσεων για την επίλυση των ασαφειών φάσης με την τεχνική του σχετικού στατικού προσδιορισμού (**Static Initialization**) η οποία γίνεται εκ των υστέρων ή και σε πραγματικό χρόνο. Το σημείο αυτό μπορεί να έχει γνωστές ακριβείς συντεταγμένες οπότε ο δέκτης παραμένει ακίνητος μόνο για λίγες εποχές, ή να είναι άγνωστο (όχι μακριά από τον δέκτη αναφοράς) οπότε ο δέκτης παραμένει ακίνητος περισσότερο χρόνο, π.χ. για μερικά λεπτά (rapid static), για να συλλεγεί ικανός αριθμός παρατηρήσεων. Μετά από αυτό το αρχικό στάδιο, που έχει σκοπό να επιλυθούν οι ασάφειες, ο κινούμενος δέκτης είναι έτοιμος να ξεκινήσει την κινηματική διαδικασία (Teunissen & Kleusberg, 1998).



Σχήμα 2.3: Σχετικός κινηματικός προσδιορισμός.

(Πηγή: Παραδείσης, 2000)

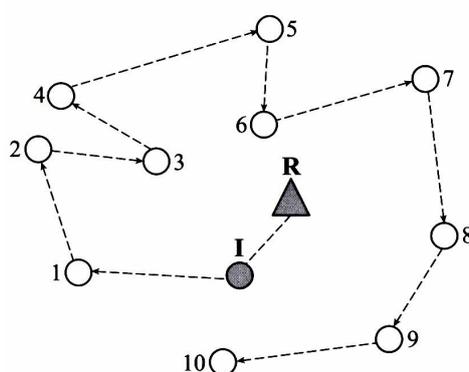
Μία εναλλακτική τεχνική για την αρχική επίλυση των ασαφειών είναι γνωστή με τον όρο ‘**OTF**’ (**On The Fly ambiguity resolution**), όπου ο κινούμενος δέκτης τίθεται σε κινηματική διαδικασία από την αρχή χωρίς να παραμείνει ακίνητος για την επίλυση των ασαφειών. Η επίλυση των ασαφειών γίνεται με βάση τις παρατηρήσεις που θα συλλέξει τα πρώτα λίγα λεπτά, με την προϋπόθεση ότι δεν έχει υπάρξει απώλεια σήματος. Η μέθοδος αυτή είναι αποτελεσματική αν χρησιμοποιούνται δέκτες δύο συχνοτήτων και λαμβάνονται τουλάχιστον πέντε δορυφόροι με καλή γεωμετρία. Εξυπηρετεί κυρίως τις περιπτώσεις που ο δέκτης βρίσκεται μέσα σε όχημα (π.χ. αεροπλάνο ή πλοίο) και δεν μπορεί να παραμείνει ακίνητος ή και όταν διέρχεται κάτω από εμπόδια (π.χ. γέφυρες ή σήραγγες).

Σε όλες τις περιπτώσεις του σχετικού κινηματικού προσδιορισμού απαιτούνται τουλάχιστον 4 δορυφόροι και κατά προτίμηση περισσότεροι, έτσι ώστε ο κινούμενος δέκτης να μην χάσει το δορυφορικό σήμα. Αν κατά τη διάρκεια κίνησης του κινούμενου δέκτη υπάρξει απώλεια σήματος, επαναλαμβάνεται από την αρχή η όλη διαδικασία (**Reinitialization, new initialization**).

Ο ρυθμός καταγραφής των μετρήσεων είναι συνήθως 1 ή 2 sec ή και λιγότερο ανάλογα με την εφαρμογή. Οι ακρίβειες που επιτυγχάνονται είναι της τάξης του 1-2 cm + (2-3) ppm ανάλογα με τις δυνατότητες του δέκτη και τους παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια όπως π.χ. τα ατμοσφαιρικά σφάλματα, η σωστή επίλυση των ασαφειών φάσης, το φαινόμενο των πολλαπλών διαδρομών (Multipath) (Teunissen & Kleusberg, 1998).

Μία παραλλαγή της κινηματικής μεθόδου είναι η **ημικινηματική μέθοδος** γνωστή με τον όρο **‘Stop and Go Kinematic’** (Intermittend Kinematic). Χρησιμοποιείται περισσότερο για αποτυπώσεις σημείων λεπτομερειών και γενικά για προσδιορισμούς χωρίς αυξημένες απαιτήσεις ακρίβειας. Πρόκειται για μία διαδικασία όπου ο δέκτης κινείται από σημείο σε σημείο (go part) λαμβάνοντας συνεχώς σήμα και παραμένοντας στα συγκεκριμένα σημεία προσδιορισμού ακίνητος (stop part) για μερικά δευτερόλεπτα ώστε να καταγράψει μετρήσεις λίγων εποχών, με ρυθμό καταγραφής της τάξης των 5 sec. Όταν λαμβάνονται παρατηρήσεις από λίγους δορυφόρους (π.χ. 4) καταγράφονται περισσότερες εποχές.

Η ημικινηματική διαδικασία είναι πολύ γρήγορη και οικονομική. Το μειονέκτημά της είναι ότι απαιτεί συνεχή λήψη του σήματος όπως και η καθαρή κινηματική μέθοδος. Η τεχνική αυτή είναι πολύ αποδοτική σε ανοιχτές περιοχές με λίγα εμπόδια λήψης σήματος. Οι ακρίβειες που μπορούν να επιτευχθούν είναι παρόμοιες με εκείνες του κινηματικού προσδιορισμού (Teunissen & Kleusberg, 1998).



Σχήμα 2.4: Ημικινηματική μέθοδος (R: Reference, I: Initialization).

(Πηγή: Φωτίου & Πικριδάς, 2006)

➤ Σχετικός κινηματικός προσδιορισμός θέσης σε πραγματικό χρόνο

Στην περίπτωση αυτή απαιτείται η εκπομπή δεδομένων από τον ένα δέκτη γνωστών συντεταγμένων (reference receiver), που παραμένει πάντα ακίνητος, στον άλλο δέκτη (rover) που μπορεί να παραμένει ακίνητος για μερικά δευτερόλεπτα ή συνήθως να κινείται σε συγκεκριμένα σημεία ή και σε κάποια διαδρομή και ο οποίος εκτός από

τις δικές του μετρήσεις λαμβάνει και τα δεδομένα του σταθερού δέκτη (Φωτίου & Πικριδάς, 2006).

Η επικοινωνία μεταξύ των δεκτών απαιτεί ειδικό λογισμικό που εγκαθίσταται και στους δύο δέκτες καθώς και ένα σύστημα ασύρματης επικοινωνίας, π.χ. 'radio modems', κινητής τηλεφωνίας ή και επικοινωνίας μέσω δορυφόρων. Τα δεδομένα που εκπέμπονται σχετίζονται με τις ψευδοαποστάσεις (από κώδικες) ή και τις φάσεις, συνήθως με ένα μοντέλο διορθώσεων που πρέπει να εφαρμόσει ο κινούμενος δέκτης στις δικές του παρατηρήσεις ώστε να προσδιορίσει τη θέση του. Ο δέκτης αναφοράς παίζει το ρόλο ενός ψευδοδορυφόρου που εκπέμπει δεδομένα στον κινούμενο δέκτη. Η μορφή εκπομπής των δεδομένων είναι συνήθως το γνωστό πρωτόκολλο επικοινωνίας RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) ή και διαφορετικό ως προς την εκπομπή των φάσεων ανάλογα με την κατασκευάστρια εταιρεία.

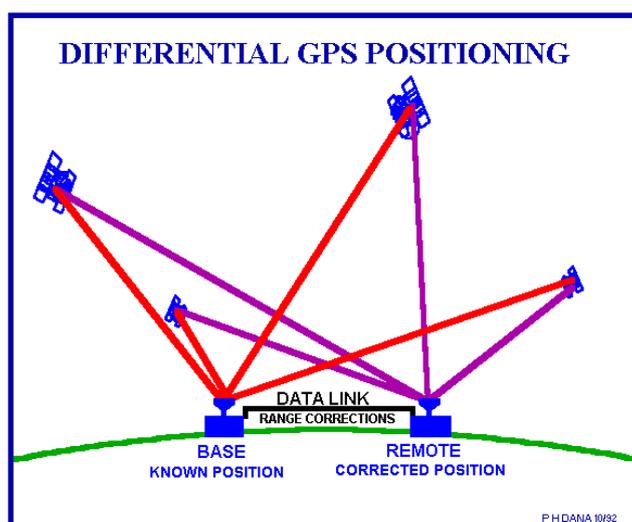
Η χρήση ψευδοαποστάσεων για προσδιορισμό θέσης σε πραγματικό χρόνο είναι γνωστή με τον όρο **Διαφορικός Εντοπισμός (DGPS: Differential GPS)** ενώ η χρήση μετρήσεων φάσεων με τον όρο **RTK (Real Time Kinematic)**. Σε κάθε περίπτωση ο προσδιορισμός των συντεταγμένων του κινούμενου δέκτη ανάγεται σε κάθε εποχή ενώ για περισσότερες εποχές στο ίδιο σημείο υπολογίζεται μία καλύτερη λύση (Hofmann - Wellenhof, Lichtenegger & Wasle, 2008).

Στην περίπτωση του **DGPS** ο σταθερός δέκτης με βάση τις γνωστές του συντεταγμένες υπολογίζει τις διορθώσεις των ψευδοαποστάσεων. Αφαιρεί τη γνωστή γεωμετρική απόσταση από την αντίστοιχη ψευδοαπόσταση. Επειδή ο υπολογισμός και η μετάδοση της διόρθωσης στον κινούμενο δέκτη απαιτεί κάποιο χρονικό διάστημα, ο κινούμενος δέκτης θα λαμβάνει τις διορθώσεις αυτές σε διαφορετική εποχή από αυτή στην οποία αναφέρονται οι δικές του μετρήσεις. Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα αυτό, ο σταθερός δέκτης μετρά σε μερικές εποχές ένα ικανό αριθμό ψευδοαποστάσεων και υπολογίζει ένα μοντέλο πρόγνωσης για τις διορθώσεις των ψευδοαποστάσεων, που ισχύει για ένα μικρό χρονικό διάστημα, και το οποίο μοντέλο ενημερώνει τακτικά. Τα αποτελέσματα από αυτό το μοντέλο εκπέμπονται στον κινούμενο δέκτη με την εκάστοτε εποχή αναφοράς και έτσι ο κινούμενος δέκτης

μπορεί να υπολογίσει τις διορθώσεις των ψευδοαποστάσεων για την τρέχουσα εποχή που μετρά τις δικές του ψευδοαποστάσεις και να τις διορθώσει.

Σε κάθε εποχή και με λήψη τουλάχιστον τεσσάρων κοινών δορυφόρων υπολογίζονται οι άγνωστες συντεταγμένες του δέκτη και το σχετικό σφάλμα των χρονομέτρων.

Η εφαρμογή σε πραγματικό χρόνο αποδίδει ικανοποιητικά για βάσεις που δεν ξεπερνούν τις μερικές δεκάδες km (η ακρίβεια μειώνεται σε μεγαλύτερες βάσεις επειδή αλλάζουν π.χ. οι ατμοσφαιρικές συνθήκες). Ο χρόνος υπολογισμού του μοντέλου πρόγνωσης των διορθώσεων και της μετάδοσής του είναι γνωστός ως latency (καθυστέρηση). Ο ρυθμός ενημέρωσης του δέκτη (Update Rate), δηλαδή κάθε πόσο μπορεί ένας δέκτης να εκτελεί παρατηρήσεις, παίζει σημαντικό ρόλο στις εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο αφού προσδιορίζει ανάλογα και το ρυθμό προσδιορισμού της θέσης.



Εικόνα 2.5: Η αρχή του διαφορικού εντοπισμού (DGPS).

(Πηγή: www.colorado.edu/geography/gcraft/note/gps/gps_f.htm)

Στην περίπτωση του DGPS με παρατηρήσεις φάσης ή, όπως συνήθως λέγεται, μέθοδο **RTK**, η διαδικασία που περιγράφηκε προηγουμένως είναι παρόμοια με τη διαφορά ότι θα πρέπει να επιλυθούν οι ασάφειες φάσης τόσο για το σταθερό δέκτη (με βάση τις γνωστές του συντεταγμένες) όσο και για τον κινούμενο με βάση την τεχνική

επίλυσης σε ένα αρχικό σημείο (γνωστό ή άγνωστο) ή και με την τεχνική OTF (Hofmann - Wellenhof, Lichtenegger & Wasle, 2008).

Στην πράξη τα συστήματα RTK χρησιμοποιούν έναν σταθερό δέκτη και έναν ή περισσότερους κινητούς δέκτες. Ο σταθερός δέκτης επαναμεταδίδει το τμήμα του μηνύματος ναυσιπλοΐας που μέτρησε και ο κινητός δέκτης συγκρίνει τις δικές του μετρήσεις φάσης με εκείνες που έλαβε από το σταθερό δέκτη. Αυτό επιτρέπει στους δέκτες να υπολογίζουν τη σχετική τους θέση με ακρίβεια χιλιοστών, αν και η απόλυτη θέση τους είναι ακριβής μόνο με την ίδια ακρίβεια της θέσης του σταθερού δέκτη. Η τυπική ονομαστική ακρίβεια που παρέχουν τα συστήματα RTK δύο συχνοτήτων είναι $1 \text{ cm} \pm 2 \text{ ppm}$ οριζοντιογραφικά και $2 \text{ cm} \pm 2 \text{ ppm}$ υψομετρικά (http://en.wikipedia.org/wiki/Real_Time_Kinematic).

Παρά το γεγονός ότι αυτή η παρεχόμενη ακρίβεια περιορίζει τη χρησιμότητα της τεχνικής RTK στη ναυσιπλοΐα, παρατηρούνται άκρως ικανοποιητικά αποτελέσματα σε χρήσεις της σε τοπογραφικές εργασίες. Σε τέτοιες περιπτώσεις ο σταθμός αναφοράς τοποθετείται σε σημείο γνωστών συντεταγμένων και ο κινητός δέκτης παράγει χάρτη υψηλής ακρίβειας προσδιορίζοντας τις σχετικές θέσεις των σημείων ως προς το σταθερό δέκτη του γνωστού σημείου

(http://en.wikipedia.org/wiki/Real_Time_Kinematic)

(<http://pro.magellangps.com/en/products/aboutgps/rtk.asp>).

Κατά τη διάρκεια προσδιορισμού θέσεων σε πραγματικό χρόνο μπορούν να καταγραφούν οι μετρήσεις των δεκτών και να προσδιοριστούν εκ των υστέρων οι θέσεις του κινούμενου δέκτη, π.χ. για λόγους ελέγχου κάποιων σημείων (Φωτίου & Πικριδάς, 2006).

Μήνυμα RTCM

Η μετάδοση των δεδομένων στις εφαρμογές πραγματικού χρόνου μεταξύ σταθερού και κινητού δέκτη γίνεται με τη χρήση διαφόρων τύπων του μηνύματος **RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services)**. Υπάρχουν 64 τύποι μηνυμάτων αλλά μέχρι σήμερα δεν είναι όλοι σε χρήση. Αντίστοιχα υπάρχουν και χρησιμοποιούνται έως σήμερα, από τα λογισμικά επεξεργασίας, διάφορες εκδόσεις

RTCM οι οποίες ανάλογα με το είδος της εφαρμογής μεταφέρουν και τις αντίστοιχες πληροφορίες (<http://www.rtcn.org/>) (Φωτίου & Πικριδάς, 2006).

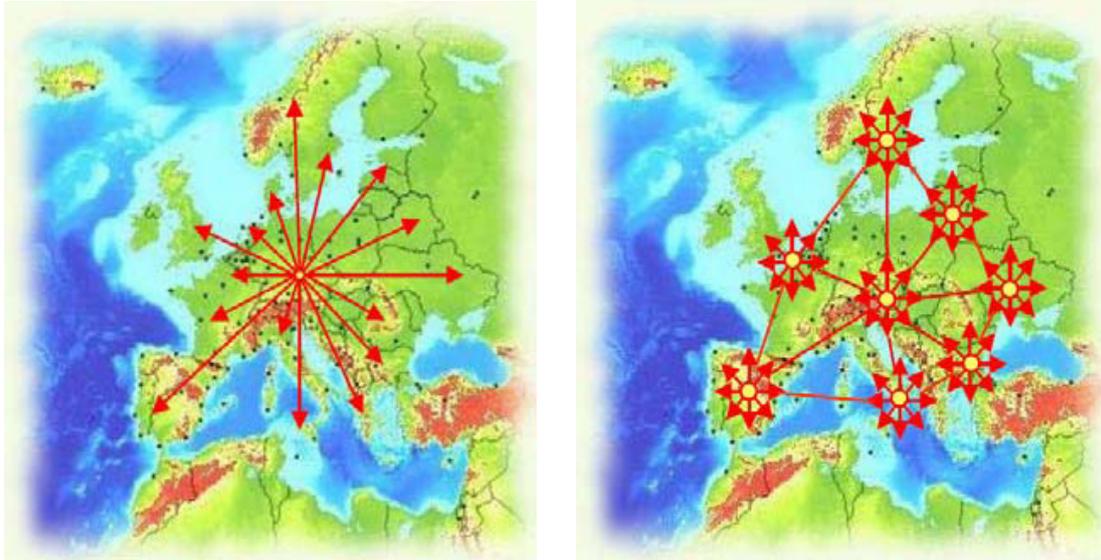
Πρωτόκολλο επικοινωνίας NMEA

Ο όρος **NMEA (National Maritime Electronics Association)** εκφράζει ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ των διαφόρων τύπων ηλεκτρονικών συσκευών και κατά συνέπεια και μεταξύ δεκτών GPS (<http://www.nmea.org/>). Η επικοινωνία των περισσότερων λογισμικών που παρέχουν σε πραγματικό χρόνο πληροφορίες θέσης, ταχύτητας και χρόνου, υπολογισμένες από δέκτες GPS, γίνεται με τη χρήση του μηνύματος NMEA. Αποτελείται από μία γραμμή δεδομένων που ονομάζεται πρόταση (sentence). Υπάρχουν αρκετές προτάσεις που χρησιμοποιούνται ως πρότυπα αλλά επίσης παρέχεται και η δυνατότητα στους κατασκευαστές να χρησιμοποιούν και δικές τους, σύμφωνα με τον τύπο της συσκευής. Οι αποκαλούμενες ως πρότυπες προτάσεις ξεκινούν με δύο γράμματα τα οποία καθορίζουν και το περιεχόμενό της. Για τους δέκτες GPS τα δύο αρχικά γράμματα είναι τα G, P. Αντιθέτως οι ακολουθίες που χρησιμοποιούνται από διάφορους κατασκευαστές ξεκινούν με το γράμμα P και στη συνέχεια ακολουθούν τρία γράμματα που δηλώνουν την ταυτότητα του κατασκευαστή. Κάθε πρόταση αρχίζει με τον χαρακτήρα \$ και δεν μπορεί να περιέχει περισσότερους από 80 χαρακτήρες. Τα δεδομένα χωρίζονται μεταξύ τους με κόμμα και είναι τύπου απλού αναγνώσιμου αρχείου (Φωτίου & Πικριδάς, 2006).

Πρωτόκολλο επικοινωνίας NTRIP

Το **NTRIP (Networked Transport of RTCM in Internet Protocol)** είναι ένα ανοιχτό, γενικό και μη-ιδιοκτησιακό πρωτόκολλο δικτυακών εφαρμογών GNSS (GPS, GLONASS, EGNOS, GALILEO κλπ) (<http://www.ntrip.org/>). Είναι σχεδιασμένο από το Γερμανικό Χαρτογραφικό Οργανισμό. Βασίζεται στο πρωτόκολλο HTTP (HyperText Transfer Protocol) και σε μέρος του προτύπου RTCM από το 2004. Υλοποιήθηκε για την IP συνεχή ροή GPS (GNSS), διορθωτικών DGPS ή RTK δεδομένων προς κινούμενους χρήστες (Δεληκαράογλου, 2007).

Η μετάδοσή του γίνεται είτε από απλούς δέκτες εκπομπής (Broadcasters) (EUREF-IP NTRIP Broadcaster) ή από δικτυακούς δέκτες εκπομπής (IGS-IP NTRIP Broadcaster) (Εικόνα 2.6).



Εικόνα 2.6: Απλοί και δικτυακοί broadcasters του πρωτοκόλλου επικοινωνίας NTRIP.
(Πηγή: Δεληκαράογλου, 2007)

Τα πλεονεκτήματα του πρωτοκόλλου NTRIP είναι τα εξής:

- Είναι ανεξάρτητο του τύπου δικτύωσης. Μεταδίδεται δια μέσου οποιουδήποτε κινητού δικτύου IP που χρησιμοποιεί TCP/IP (Transmission Control Program / Internet Protocol), με ενσύρματες συνδέσεις (DialUp, ADSL, κλπ) ή με ασύρματες συνδέσεις (Wireless Web, μέσω GSM, GPRS, Wi-Fi, κλπ).
- Υπάρχει πληθώρα κινητών χώρο-ενήμερων συσκευών που χρησιμοποιούν το NTRIP για τη λειτουργία τους.
- Υπάρχει πληθώρα ανοιχτών εύχρηστων λογισμικών για λειτουργικό περιβάλλον εφαρμογών σε Windows, Linux, Pocket PC και ειδικά πληθώρα NTRIP-Client λογισμικών για mobile GIS εφαρμογές (ArcNTRIP, Mobile-NTRIP, GNSS Internet Radio, κλπ).

Τεχνολογίες GSM – GPRS / EDGE

- ❖ GSM (Global System for Mobile communications)
 - Μεταγωγή κυκλώματος μεταξύ Δικτυακού Σταθμού και κινητών χρηστών ή/και Σταθμών Αναφοράς.
 - Σύνδεση με διακομιστή τηλεφωνικής πρόσβασης (Dial-Up Server) στην πλευρά του Δικτυακού Σταθμού.
 - Με κατάλληλα modems, ρυθμός μετάδοσης περίπου 10-15 Kbps.
 - Μικρή καθυστέρηση μεταφοράς.

- ❖ GPRS (General Packet Radio Service) / EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution)
 - Συνδέσεις μεταγωγής πακέτου μεταξύ Δικτυακού Σταθμού και κινητών χρηστών.
 - Χρήση της υποδομής GSM.
 - Ρυθμός μεταβλητός, εξαρτώμενος τόσο από την απόσταση χρήστη-σταθμού βάσης, όσο και από το φορτίο της κυψέλης.
 - Καθυστερήσεις μη ελεγχόμενες.
 - Κόστος μικρότερο των συνδέσεων GSM, λόγω στατιστικής πολυπλεξίας πολλών χρηστών.

(Δεληκαράογλου, 2007)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΔΙΚΤΥΑ GPS

3.1 Εισαγωγή

Την τελευταία δεκαετία, προκειμένου να βελτιωθεί η ακρίβεια του συστήματος GPS και των υπόλοιπων συστημάτων GNSS για εφαρμογές πραγματικού χρόνου, αναπτύσσονται συνεχώς διάφορες τεχνικές αξιοποίησης των δορυφορικών δεδομένων που παρέχει το σύστημα GPS/GNSS σε παγκόσμιο επίπεδο, σε 24ωρη βάση και κάτω από σχεδόν οποιοσδήποτε καιρικές συνθήκες.

Για στατικές εφαρμογές, όπου υπάρχει η ανάγκη υψηλής ακρίβειας αλλά συχνά δεν υφίσταται η ανάγκη εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο, έχουν ήδη καθιερωθεί διάφορες μεθοδολογίες μετεπεξεργασίας των μετρήσεων που αξιοποιούν τις τεχνικές σχετικού εντοπισμού με τη χρήση και βοηθητικών δεδομένων (π.χ. τροχιακές εφημερίδες υψηλότερης ακρίβειας από εκείνες που εκπέμπονται από τους δορυφόρους) που παρέχονται από το εκτεταμένο δίκτυο μόνιμων σταθμών της Διεθνούς Υπηρεσίας GNSS (IGS: International GNSS Service) ή από περιφερειακά δίκτυα σταθμών που λειτουργούν κάτω από τη εποπτεία κυρίως εθνικών χαρτογραφικών υπηρεσιών.

Για κινηματικές εφαρμογές οι απαιτήσεις ακρίβειας αυξάνονται συνεχώς και επιβάλλεται να είναι διαθέσιμες σε πραγματικό χρόνο, με πιο κοινές μεθόδους σχετικού προσδιορισμού θέσης τις τεχνικές Διαφορικού GPS (DGPS: Differential GPS) και κινηματικού προσδιορισμού σε πραγματικό χρόνο (RTK: Real-Time Kinematic), οι οποίες βασίζονται στη μετάδοση προς τους χρήστες κατάλληλων πληροφοριών υπό τη μορφή διορθώσεων που υπολογίζονται από προσωρινούς ή μόνιμους σταθμούς αναφοράς και διατίθενται σε τυποποιημένες μορφές (π.χ. στις διάφορες εκδόσεις του μηνύματος RTCM).

Η παραδοσιακή κατηγοριοποίηση των κρατικών τριγωνομετρικών δικτύων, A', B', Γ' και Δ' τάξης, με βάση την απόσταση μεταξύ των σημείων ή και τη σχετική ακρίβεια, διαφοροποιείται σημαντικά στην περίπτωση των δικτύων GPS, όπου ανεξαρτήτως της απόστασης επιτυγχάνεται σχεδόν η ίδια ακρίβεια. Μια χώρα μπορεί να ιδρύσει και να συντηρεί ένα βασικό δίκτυο GPS που θα αποτελείται από λίγα σημεία (δίκτυο μηδενικής ή πρώτης τάξης), ανά αρκετές δεκάδες χιλιόμετρα, και ένα δίκτυο

πύκνωσης ανά λίγες δεκάδες χιλιόμετρα. Έτσι ο κάθε χρήστης θα μπορεί σχετικά εύκολα να πυκνώνει τα κρατικά δίκτυα, ακόμα και με δέκτες μιας συχνότητας, για τις διάφορες γεωδαιτικές και τοπογραφικές εργασίες.

3.2 Τεχνικές Δικτυακού DGPS και RTK

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

3.2.1 DGPS ευρείας περιοχής - WADGPS

Για να δημιουργηθεί μία υπηρεσία διαφορικών διορθώσεων για μία μεγαλύτερη περιοχή, είναι απαραίτητο να υπάρχουν περισσότεροι σταθμοί αναφοράς, οι οποίοι όμως, σε αντίθεση με τους συμβατικούς σταθμούς DGPS, δεν θεωρούνται ανεξάρτητοι, δεδομένου ότι κάθε σταθμός καλύπτει ένα συγκεκριμένο μέρος της περιοχής ενδιαφέροντος. Οι παρατηρήσεις ενός δικτύου τέτοιων σταθμών αναλύονται συνολικά προκειμένου να παραχθούν καταλληλότερα μοντέλα των σφαλμάτων των μετρήσεων που εξαρτώνται από την απόσταση μεταξύ των σταθμών. Η συγκεκριμένη επέκταση στην περίπτωση του DGPS είναι γνωστή ως **DGPS ευρείας περιοχής (WADGPS: Wide Area DGPS)**, που εφαρμόζεται σε διάφορα συστήματα ανάλογων υπηρεσιών (Δεληκαράογλου, 2006).

3.2.2 Σύστημα EGNOS

Το δορυφορικό σύστημα **EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service)** αποτελεί την πρώτη είσοδο της Ευρώπης στο χώρο της δορυφορικής πλοήγησης και είναι ένα βοηθητικό σύστημα εκπομπής διορθώσεων και σχετικών πληροφοριών για τα σήματα που εκπέμπονται από τους δορυφόρους GPS και GLONASS, με σκοπό τη βελτίωση της ακρίβειας του προσδιορισμού θέσης (Εικόνα 3.1) (<http://www.esa.int/esaNA/egnos.html>).

επεξεργασία και η αποστολή (upload) των αντίστοιχων πληροφοριών στους τρεις δορυφόρους EGNOS.

Η ακρίβεια απόλυτου προσδιορισμού θέσης σε πραγματικό χρόνο για τους χρήστες του συστήματος GPS με τη βοήθεια δεδομένων EGNOS (κυρίως διορθώσεις ψευδοαποστάσεων από κώδικα) μπορεί να αυξηθεί μερικά μέτρα, συνήθως καλύτερη των 5 μέτρων (Φωτίου & Πικριδάς, 2006).

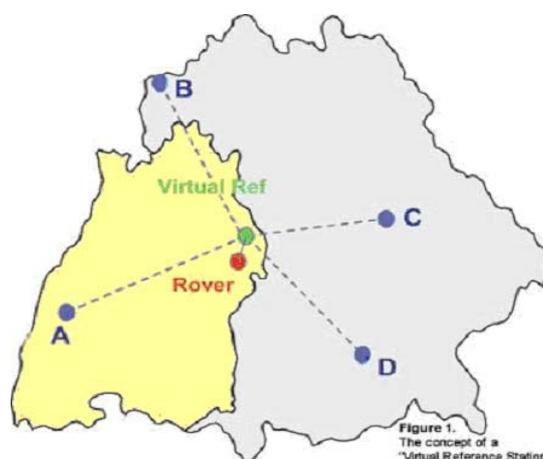
3.2.3 Δικτυακό RTK

Η τεχνική του **δικτυακού RTK** ή δικτύων RTK (**Network RTK**) επιτρέπει οι απαραίτητες μετρήσεις να μπορούν να γίνουν με βελτιωμένη ακεραιότητα, συνοχή και ακρίβεια με τη χρήση ενός αραιότερου δικτύου μόνιμων σταθμών αναφοράς. Η συγκεκριμένη τεχνική βελτιώνει την παραγωγικότητα, δεδομένου ότι μόνο ένας δέκτης είναι απαραίτητος στο πεδίο και δεν χρειάζεται να δημιουργούνται προσωρινοί σταθμοί αναφοράς κάθε φορά που επιχειρούνται μετρήσεις RTK σε μία περιοχή ενδιαφέροντος, και μειώνει σημαντικά το κόστος της καθιέρωσης και της συντήρησης τέτοιων σταθμών. Η βασική ιδέα είναι να χρησιμοποιούνται οι πληροφορίες από όλους τους σταθμούς αναφοράς στο δίκτυο και όχι μόνο από τον πλησιέστερο σταθμό (όπως συμβαίνει με τις συμβατικές τεχνικές του DGPS και RTK). Ένας σταθμός αναφοράς λειτουργεί ως κεντρική μονάδα (Κέντρο Ελέγχου), που συλλέγει τα στοιχεία από όλους τους σταθμούς του δικτύου. Με τη χρησιμοποίηση των πληροφοριών από ολόκληρη την περιοχή που καλύπτεται από το δίκτυο RTK είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν πιο πλήρη μοντέλα που επιτρέπουν καλύτερες εκτιμήσεις των σφαλμάτων. Στη συνέχεια οι διορθώσεις στέλνονται από το Κέντρο Ελέγχου στους κινούμενους δέκτες των χρηστών στην περιοχή του δικτύου (Δεληκαράογλου, 2006).

Υπάρχουν τρεις διαφορετικές μέθοδοι δικτύωσης των σταθμών και διανομής των διορθώσεων σε ένα δίκτυο RTK: οι **Εικονικοί Σταθμοί Αναφοράς - VRS (Virtual Reference Stations)**, οι **Σταθμοί Μετάδοσης Παραμέτρων Επιφανειακών Διορθώσεων - FKP (Flächen Korrektur Parameter)** και η τεχνική **MAC (Master-Auxiliary Concept)**.

➤ 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 (Εικόνα 3.2) (Φωτίου & Πικριδάς, 2006).



Εικόνα 3.2: VRS - Virtual Reference Stations.

(Πηγή: Δεληκαράογλου, 2008)

Χρησιμοποιώντας την κλασική 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 (<http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/en/home.html>) (<http://on.dot.wi.gov/wisdotresearch/database/tsrs/tsrvirtualreferencestations.pdf>).

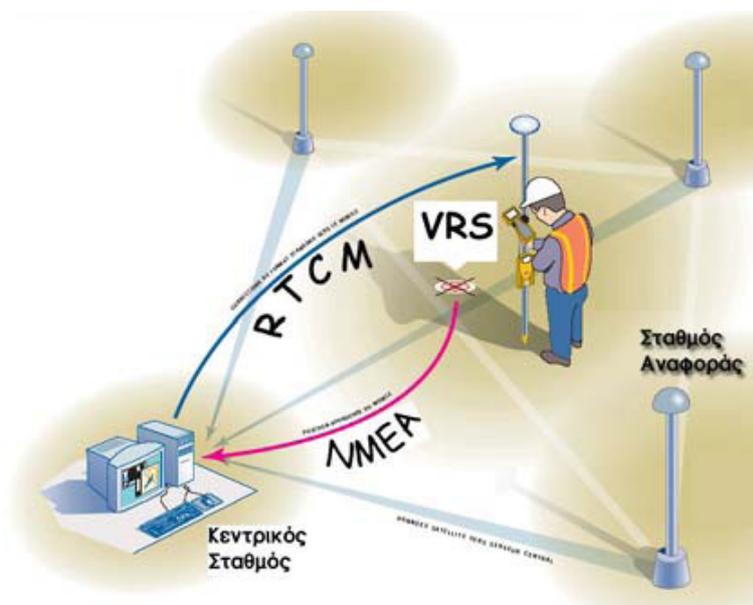
Η φιλοσοφία των εικονικών σταθμών αναφοράς προσφέρει νέες δυνατότητες. Η βασική αρχή είναι η παρεμβολή των δεδομένων ενός πλήθους σταθμών αναφοράς για να προκύψουν τα δεδομένα διορθώσεων για τους κινητούς δέκτες, γεγονός που μειώνει σημαντικά τα συστηματικά σφάλματα των RTK μετρήσεων. Αυξάνεται η επιτρεπτή 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 times). Σε περίπτωση που για οποιοδήποτε λόγο ένας σταθμός σταματήσει να συμμετέχει στο δίκτυο, τα δεδομένα διορθώσεων υπολογίζονται από τους υπόλοιπους γειτονικούς σταθμούς (<http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/en/home.html>).

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 (Εικόνα 3.3).

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 (Φωτίου & Πικριδάς, 2006).



Εικόνα 3.3: Λειτουργική αρχή χρήσης των Εικονικών Σταθμών Αναφοράς – VRS.

(Πηγή: Δεληκαράογλου, 2006)

Συνοπτικά, η εφαρμογή της τεχνικής VRS σε ένα δίκτυο σταθμών ακολουθεί τα εξής βήματα (<http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/en/home.html>) (Φωτίου & Πικριδάς, 2006):

- 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 (post-processing) με τη μορφή αρχείων RINEX (GPS Receiver INdependent 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 (Γιαννίου, 2008 (Γ)).

➤ **Σταθμοί Μετάδοσης Παραμέτρων Επιφανειακών Διορθώσεων – FKP (Flächen 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. 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.

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 (Δεληκαράογλου, 2006).

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 (Γιαννίου, 2008 (Γ)).

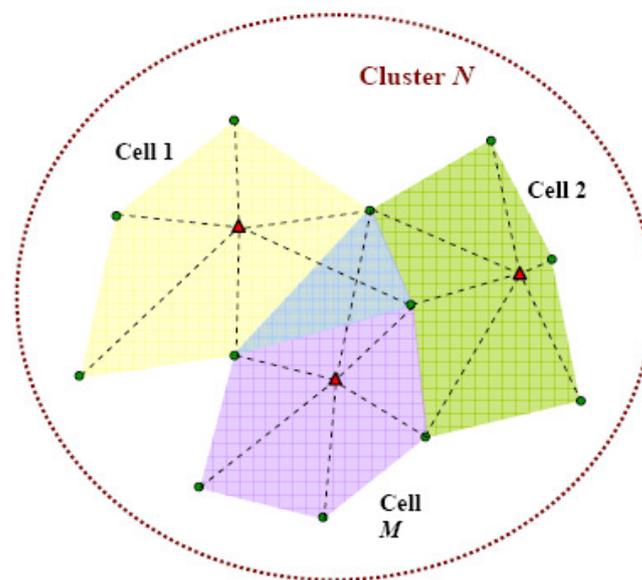
Σε σύγκριση με την τεχνική VRS, η σημαντική διαφορά της τεχνικής FKP είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου, ενώ η τεχνική VRS είναι κατάλληλη και για εφαρμογές μετεπεξεργασίας των μετρήσεων.

➤ **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 (Εικόνα 3.4).



Εικόνα 3.4: Σχηματική αναπαράσταση της τεχνικής MAC.

(Πηγή: Γιαννίου, 2008 (Γ))

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 (Γιαννίου, 2008 (Γ)).

3.2.4 Πλεονεκτήματα των Δικτυακών Τεχνικών

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των δικτυακών τεχνικών είναι ότι επιτρέπουν την κάλυψη μιας περιοχής με λιγότερους μόνιμους σταθμούς αναφοράς (αποστάσεις 50-70 km) προσφέροντας μεγαλύτερη εμβέλεια, ελαττώνουν τους περιορισμούς που

προκύπτουν καθώς αυξάνει το μήκος της βάσης (απόσταση Base-Rover), οι οποίοι είναι η μείωση της ακρίβειας, η ανάγκη αύξησης του χρόνου μέτρησης και η αδυναμία χρήσης δεκτών μίας συχνότητας, και τέλος αυξάνουν την ακρίβεια, την αξιοπιστία και την αποδοτικότητα του RTK (Γιαννίου, 2008 (Γ)).

3.3 Δίκτυα Μόνιμων Σταθμών GPS Συνεχούς Λειτουργίας (CORS/VRS)

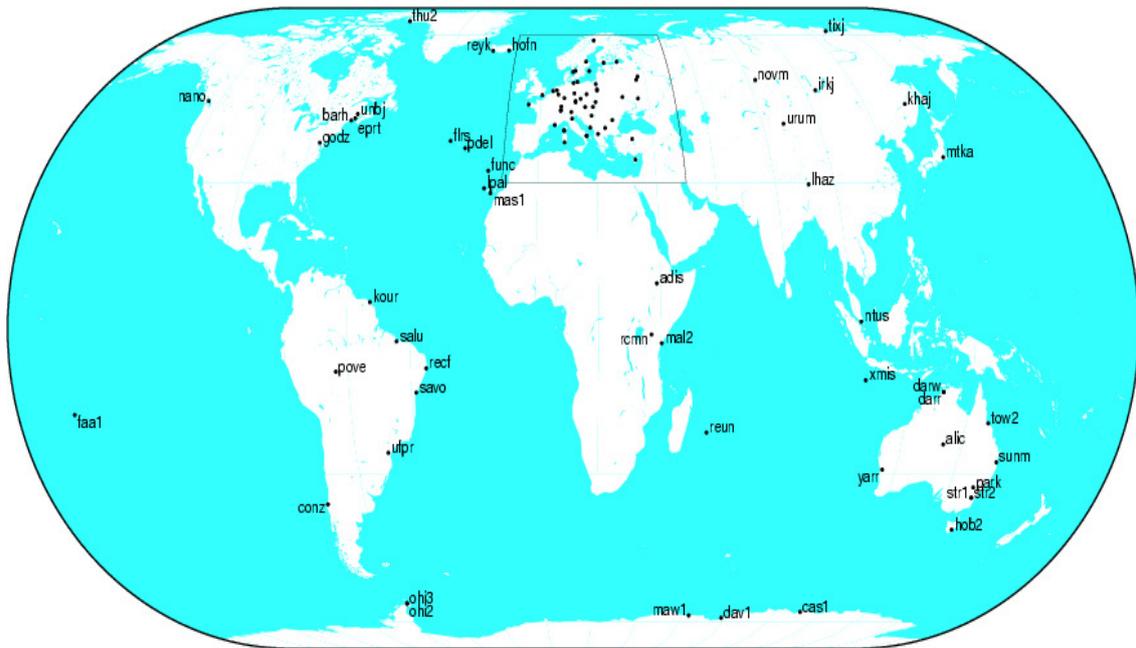
Η εγκατάσταση και λειτουργία μόνιμων σταθμών καταγραφής δεδομένων GPS (CORS: Continuously Operating Reference Stations) είναι μία ερευνητική δραστηριότητα που τα τελευταία χρόνια αναπτύσσεται με γοργούς ρυθμούς σε όλες τις προηγμένες τεχνολογικά χώρες.

Σήμερα λειτουργούν, σε παγκόσμιο επίπεδο, μερικές χιλιάδες μόνιμοι σταθμοί GPS/GNSS συνεχούς λειτουργίας σε πάνω από 50 δίκτυα, για την εξυπηρέτηση εφαρμογών εντοπισμού και πλοήγησης και σε παγκόσμια, ηπειρωτική, περιφερειακή, εθνική ή τοπική κλίμακα.

Επιπλέον, σε περισσότερες από 30 χώρες, λειτουργούν περισσότεροι από 2500 μόνιμοι σταθμοί VRS-RTK για την εξυπηρέτηση εφαρμογών εντοπισμού και πλοήγησης και σε περιφερειακή, εθνική ή τοπική κλίμακα (Δεληκαράογλου, 2008).

3.3.1 Δίκτυα μόνιμων σταθμών συνεχούς λειτουργίας σε παγκόσμια ή ηπειρωτική κλίμακα

Αποτελούν προϊόν συνεργασίας εθνικών χαρτογραφικών φορέων και διεθνών επιστημονικών και ερευνητικών οργανισμών. Τυπικές περιπτώσεις είναι το δίκτυο IGS (International GNSS Service) και το δίκτυο EPN (EUREF Permanent GNSS Network).

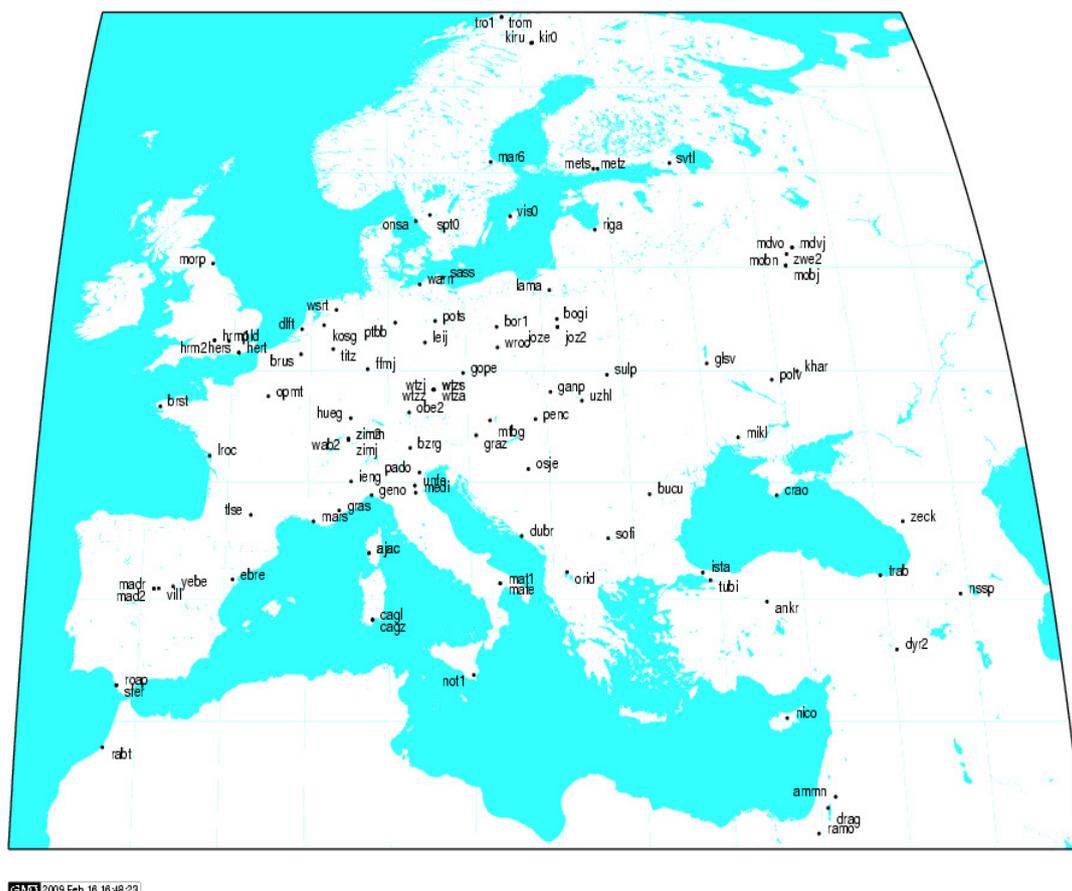


IGM7 2009 Feb 16 16:50:48

Εικόνα 3.6: Παγκόσμιο δίκτυο GPS/GLONASS σταθμών IGS.

(Πηγή: <http://igsceb.jpl.nasa.gov/>)

Το IGS είναι ένα παγκόσμιο δίκτυο που αποτελείται πάνω από 350 σταθμούς GPS διπλής συχνότητας συνεχούς λειτουργίας, πάνω από 12 περιφερειακά και λειτουργικά κέντρα δεδομένων, 3 παγκόσμια κέντρα δεδομένων, 7 κέντρα ανάλυσης δεδομένων και από ένα πλήθος τοπικών κέντρων ανάλυσης δεδομένων.



Εικόνα 3.7: Ευρωπαϊκό δίκτυο σταθμών IGS.

(Πηγή: <http://igsceb.jpl.nasa.gov/>)

Το IGS συγκεντρώνει, ταξινομεί και διανέμει δεδομένα παρατηρήσεων GPS ικανοποιητικής ακρίβειας μέσω του διαδικτύου στους ενδιαφερόμενους, έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις επιστημονικών και τεχνικών εφαρμογών και ερευνών. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται για να παράγουν τα εξής προϊόντα:

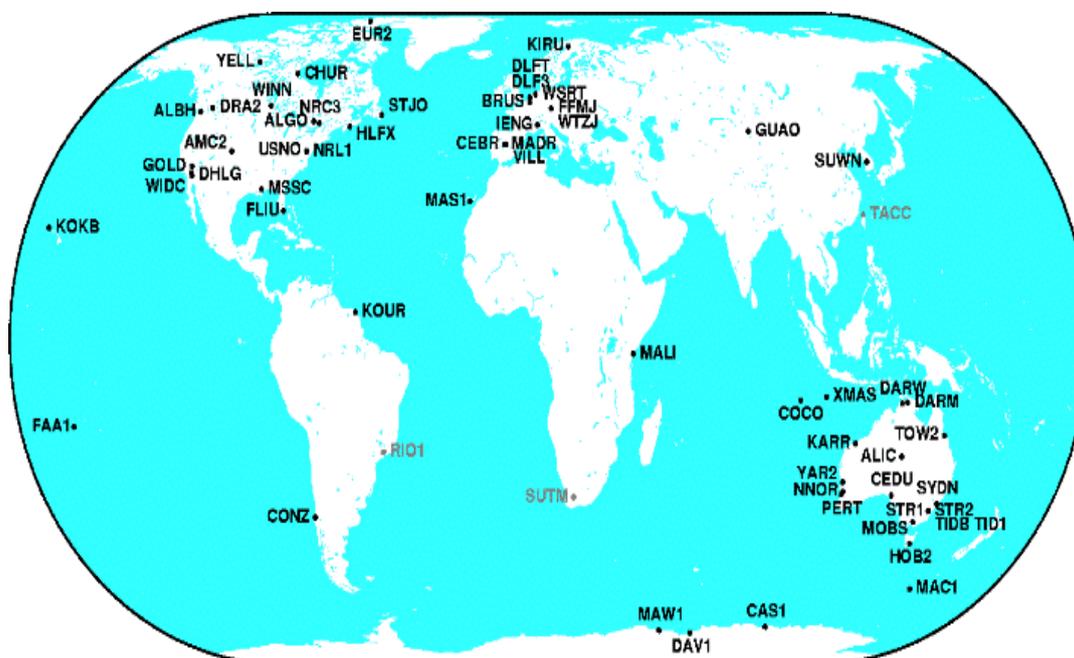
- Εφημερίδες δορυφόρων GPS
- Εφημερίδες δορυφόρων GLONASS
- Παραμέτρους περιστροφής της Γης
- Συντεταγμένες και ταχύτητες των σταθμών IGS
- Πληροφορίες για τα χρονόμετρα των δορυφόρων GPS και των σταθμών IGS
- Εκτιμήσεις των διορθώσεων λόγω τροπόσφαιρας
- Παγκόσμιους χάρτες ιονόσφαιρας

Τα προϊόντα του IGS υποστηρίζουν πλήθος επιστημονικών δραστηριοτήτων, όπως τη βελτίωση και επέκταση της υπηρεσίας IERS (International Earth Rotation Service)

και του πλαισίου ITRF (International Terrestrial Reference Frame), την παρατήρηση των παραμορφώσεων του εδάφους, των αλλαγών στα υδάτινα τμήματα της Γης, της περιστροφής της Γης, τον προσδιορισμό των τροχιών των δορυφόρων και την παρακολούθηση της ιονόσφαιρας.

➤ **Δίκτυο RTIGS (Real Time IGS Tracking Network)**

Το πρότυπο δίκτυο **RTIGS (Real Time IGS Tracking Network)** σχεδιάστηκε από το IGS Real Time Working Group (RTWG). Το πρότυπο αυτό δίκτυο αποτελείται από πάνω από 50 πιλοτικούς σταθμούς παγκοσμίως και συνεχώς επεκτείνεται (Εικόνα 3.8) (<http://www.rtigs.net/index.php/>).



Εικόνα 3.8: Παγκόσμιο δίκτυο σταθμών RTIGS.

(Πηγή: <http://www.rtigs.net/index.php/>)

Τα χαρακτηριστικά του δικτύου RTIGS είναι τα εξής:

- Τα IGS προϊόντα και δεδομένα είναι διαθέσιμα σε πραγματικό χρόνο μέσω IP επικοινωνίας (ανοιχτές συνδέσεις Internet).

- ο Γίνεται ενεργοποίηση υπηρεσιών ακριβούς εντοπισμού σημείων (Precise Point Positioning) σε πραγματικό χρόνο (Real-Time), σε παγκόσμιο επίπεδο με ακρίβεια της τάξης κάτω των 10 cm, έγκαιρα και έγκυρα, μέσω αδιάλειπτων και αυστηρά καθορισμένων συστημάτων αναφοράς (Δεληκαράογλου, 2008).

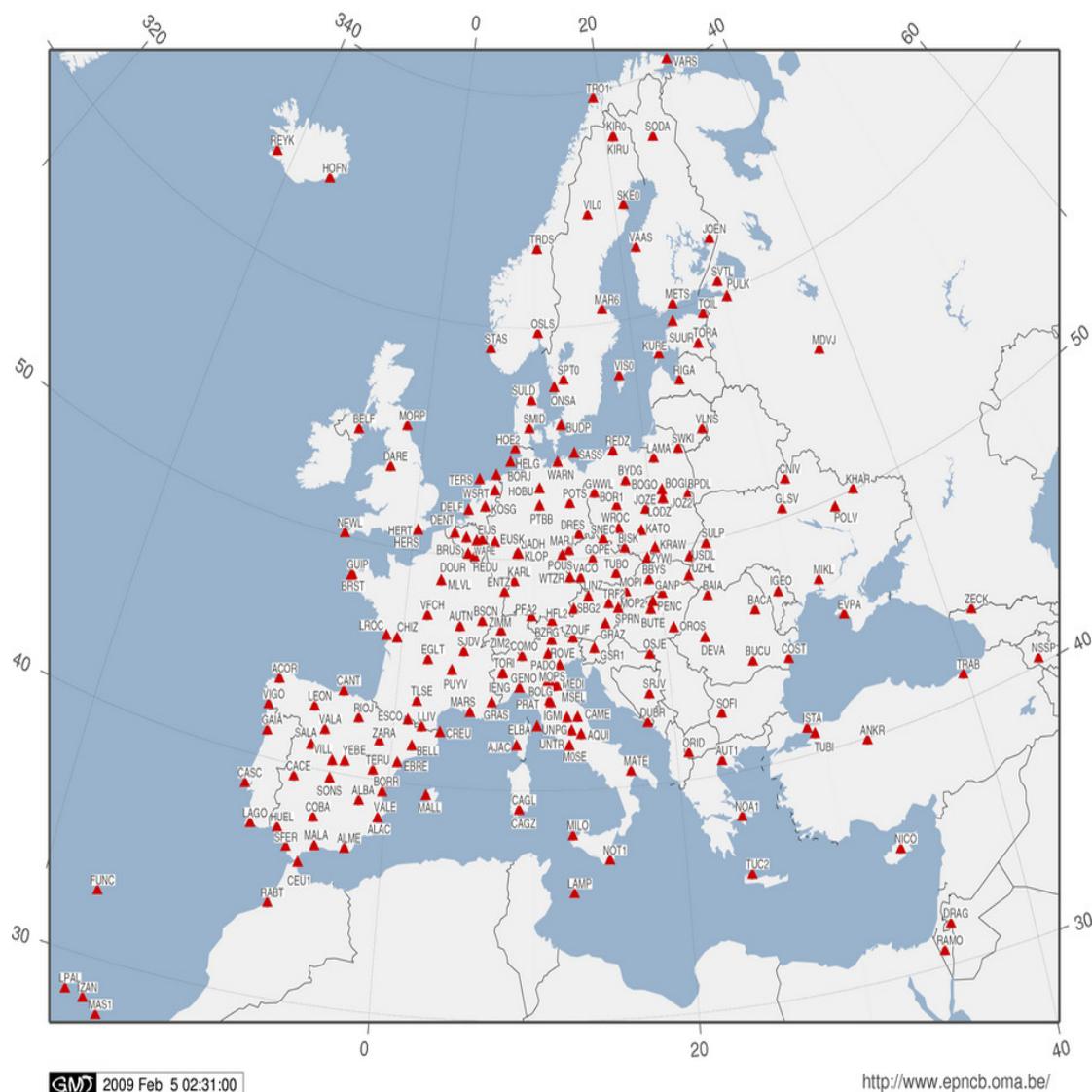
➤ **Δίκτυο EPN (EUREF Permanent Network)**

Στην Ευρώπη το αντίστοιχο δίκτυο μόνιμων σταθμών ονομάζεται **EPN (EUREF (EUropean REference Frame) Permanent Network)** (Εικόνα 3.9), το οποίο αποτελείται από 218 μόνιμους σταθμούς GPS, με συνεχή αύξηση (<http://www.epncb.oma.be>). Οι σταθμοί πληρούν γεωδαιτικές προδιαγραφές, είναι δηλαδή δέκτες δύο συχνοτήτων, συνήθως με δώδεκα κανάλια παρακολούθησης δορυφόρων σε κάθε συχνότητα και κεραία τύπου Choke Ring (Εικόνα 3.10). Επίσης όσοι από αυτούς ανήκουν ταυτόχρονα και στο δίκτυο της IGS ακολουθούν επιπλέον ειδικές διατάξεις θεμελίωσης.

Το Σύστημα Αναφοράς **ETRS89 (European Terrestrial Reference System 89)** χρησιμοποιείται ως το επίσημο και ακριβές σύστημα συντεταγμένων GPS στην Ευρώπη και αποτελεί τη βάση για όλες τις γεωγραφικές και γεωδυναμικές εργασίες σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο.

Το ETRS89 συντηρείται από την IAG, υπο-επιτροπή του EUREF, και είναι προσβάσιμο μέσω του EPN, του οποίου οι μόνιμοι σταθμοί έχουν ακριβείς συντεταγμένες στο ETRS89.

EUREF Permanent Tracking Network



Εικόνα 3.9: Δίκτυο μόνιμων σταθμών EPN.

(Πηγή: <http://www.epncb.oma.be>)

Τα τμήματα που συνιστούν το EPN είναι οι Σταθμοί Παρακολούθησης (Tracking Stations), τα Κέντρα Λειτουργικού Ελέγχου (Operational Centres), τα Τοπικά Κέντρα Δεδομένων (Local Data Centres), τα Τοπικά Κέντρα Ανάλυσης (Local Analysis Centres), το Συνδυαστικό Κέντρο (Combination Centre) και το Κεντρικό Γραφείο (Central Bureau).

Από την επεξεργασία των παρατηρήσεων παράγονται υψηλής ποιότητας προϊόντα, πολύ χρήσιμα σε αρκετές ερευνητικές δραστηριότητες και εφαρμογές, όπως η

εκπομπή δεδομένων για εφαρμογές πραγματικού χρόνου (RTK, DGPS) αλλά και για οποιοδήποτε άλλη μέθοδο προσδιορισμού με τη χρήση δεκτών GPS, η υλοποίηση και συντήρηση των πλαισίων αναφοράς ITRF, ο υπολογισμός τροχιάς χαμηλού ύψους δορυφόρων (στοιχείο χρήσιμο για διάφορες διαστημικές αποστολές), η παρακολούθηση των μικρομετακινήσεων του γήινου φλοιού και των μεταβολών στο εσωτερικό του, καθώς και η μελέτη των διαφόρων στρωμάτων της ατμόσφαιρας.

Στον Ελλαδικό χώρο λειτουργούν τρεις μόνιμοι σταθμοί του δικτύου EUREF. Ο σταθμός **AUT1** του Τομέα Γεωδαισίας και Τοπογραφίας του Τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης στη Θέρμη Θεσσαλονίκης, ο σταθμός **NOA1**, τοποθετημένος κοντά στο Αστεροσκοπείο Αθηνών στην Πεντέλη, και ο σταθμός **TUC2** του Εργαστηρίου Γεωδαισίας και Πληροφορικής των Γεωεπιστημών του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης στα Χανιά (Εικόνα 3.10).



Εικόνα 3.10: Μόνιμοι σταθμοί AUT1 (Θεσσαλονίκη), NOA1 (Αθήνα), TUC2 (Χανιά).

(Πηγή: <http://www.epncb.oma.be>)

Επειδή το δίκτυο EPN αυξάνεται συνεχώς, έχει προταθεί η δημιουργία και λειτουργία ενός ακόμη μόνιμου σταθμού στον Ελλαδικό χώρο. Ο σταθμός αυτός είναι ο **DUTH**, του Τομέα Γεωδαισίας και Τοπογραφίας του Τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΑΠΘ, τοποθετημένος στο κτήριο του Τμήματος Αρχιτεκτόνων Μηχανικών στην Ξάνθη του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης (Εικόνα 3.11).



Εικόνα 3.11: Μόνιμος σταθμός DUTH (Ξάνθη).

(Πηγή: <http://www.epncb.oma.be>)

➤ **EUREF-IP Pilot Project**

Λόγω της συνεχώς αυξανόμενης χωρητικότητας του Διαδικτύου, έχουν καθιερωθεί ως υπηρεσίες οι εφαρμογές που μεταφέρουν συνεχώς δεδομένα μέσω πακέτων IP (π.χ. Internet Radio). Συγκριτικά με αυτές τις εφαρμογές το απαιτούμενο εύρος για τη μετάδοση Real-Time GNSS δεδομένων είναι σχετικά μικρό. Για το λόγο αυτό το EUREF από το 2002 ξεκίνησε τη δημιουργία μιας Real-Time GNSS υποδομής στο Διαδίκτυο χρησιμοποιώντας μόνιμους σταθμούς του ήδη υπάρχοντος δικτύου EPN (Εικόνα 3.12) (<http://www.epncb.oma.be>).

Στόχος αυτού του πιλοτικού προγράμματος είναι να αξιολογήσει και να τονώσει τη χρήση της τεχνολογίας που στηρίζεται στο πρωτόκολλο επικοινωνίας NTRIP. Όλα τα δεδομένα στέλνονται σε έναν EUREF Broadcaster, απ' όπου μπορούν να παραλειφθούν από εγκεκριμένους χρήστες.



Εικόνα 3.12: Δίκτυο μόνιμων σταθμών EUREF-IP.

(Πηγή: <http://www.epncb.oma.be>)

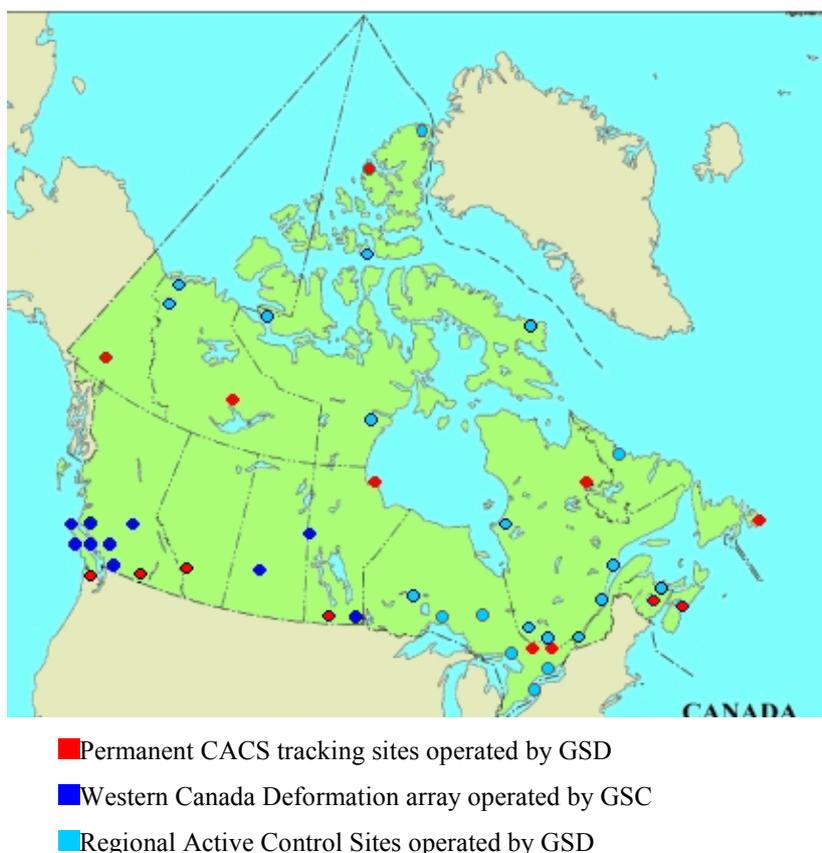
3.3.2 Παραδείγματα δικτύων μόνιμων σταθμών συνεχούς λειτουργίας σε εθνική ή περιφερειακή κλίμακα (VRS-RTK)

Έχουν δημιουργηθεί παγκοσμίως αρκετά δίκτυα μόνιμων σταθμών συνεχούς λειτουργίας από διάφορες χώρες σε συνεργασία με τους αρμόδιους τοπικούς φορείς τους. Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν και θα περιγραφούν συνοπτικά ορισμένα από αυτά τα δίκτυα.

➤ Δίκτυο CACS (Canadian Active Control System)

Το Καναδικό δίκτυο CACS (Canadian Active Control System) αποτελεί πρότυπο καινοτομίας και ένα από τα πρώτα δίκτυα σταθμών συνεχούς λειτουργίας παγκοσμίως. Δημιουργήθηκε και χειρίζεται από την υπηρεσία GSD (Geodetic Survey Division of Geomatics Canada) σε συνεργασία με την υπηρεσία GSC (Geological Survey of Canada).

Το σύστημα αποτελείται από 47 ανεπιτήρητους σταθμούς (Εικόνα 3.13), γνωστούς ως **Active Control Points (ACPs)**, οι οποίοι καταγράφουν συνεχώς μετρήσεις φάσης του φέροντος κύματος και μετρήσεις ψευδοαποστάσεων. Κάθε ACP είναι εξοπλισμένο με ένα δέκτη GPS διπλής συχνότητας και υψηλής ακρίβειας. Όλα τα δεδομένα που συλλέγονται από τα ACPs συγκεντρώνονται σε καθημερινή βάση από μία κεντρική μονάδα επεξεργασίας στην Οττάβα του Καναδά (http://www.geod.rncan.gc.ca/acp/cacs_e.php).



Εικόνα 3.13: Active Control Points του δικτύου CACS στον Καναδά.

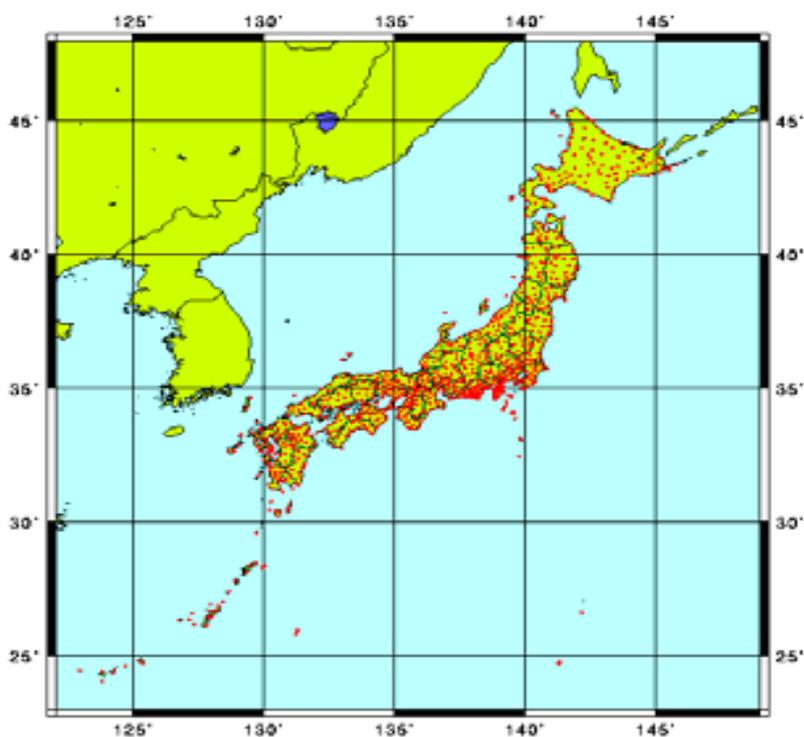
(Πηγή: http://www.geod.rncan.gc.ca/acp/cacs_e.php)

➤ Δίκτυο GEONET (GPS Earth Observation NETWORK of Japan)

Το ινστιτούτο GSI (Geographical Survey Institute) ίδρυσε σε εθνικό επίπεδο το δίκτυο μόνιμων σταθμών **GEONET (GPS Earth Observation NETWORK of Japan)** καλύπτοντας όλα τα νησιά της Ιαπωνίας (Εικόνα 3.14). Το GEONET λειτουργεί με τις πλέον αυστηρές προδιαγραφές για γεωδυναμικές εφαρμογές για την

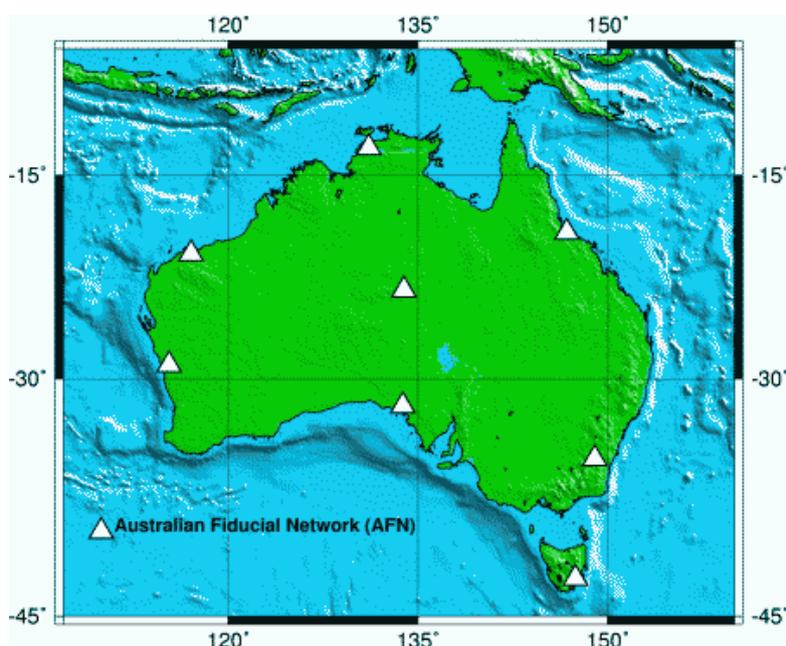
παρακολούθηση των παραμορφώσεων του φλοιού της Γης, και για το λόγο αυτό έχει αποκτηθεί μεγάλος όγκος γεωδυναμικών πληροφοριών από την ανάλυση των δεδομένων του δικτύου αυτού (<http://mekira.gsi.go.jp/ENGLISH/>).

Αποτελείται από 1224 σταθμούς, που συνεχώς αυξάνονται, και οι οποίοι απέχουν μεταξύ τους κατά μέσο όρο 25-30 km. Τα δεδομένα από όλους τους σταθμούς συγκεντρώνονται και αναλύονται καθημερινά από το ινστιτούτο GSI για τον προσδιορισμό των τρισδιάστατων συντεταγμένων των σταθμών. Τα καθημερινά δεδομένα δικτυακών λύσεων του GEONET αρχειοθετούνται σε μία βάση δεδομένων, και τα αποτελέσματα αυτά χρησιμοποιούνται από επιτροπές και ομάδες που αξιολογούν σεισμικούς και ηφαιστειακούς κινδύνους (<http://www.fig.net/pub/proceedings/korea/full-papers/pdf/session11/imakiire-nakahori.pdf>).



Εικόνα 3.14: Δίκτυο GEONET.

(Πηγή: <http://mekira.gsi.go.jp/ENGLISH/>)



Εικόνα 3.17: Δίκτυο AFN (Australian Fiducial Network).

(Πηγή: www.ga.gov.au/geodesy/argn/)

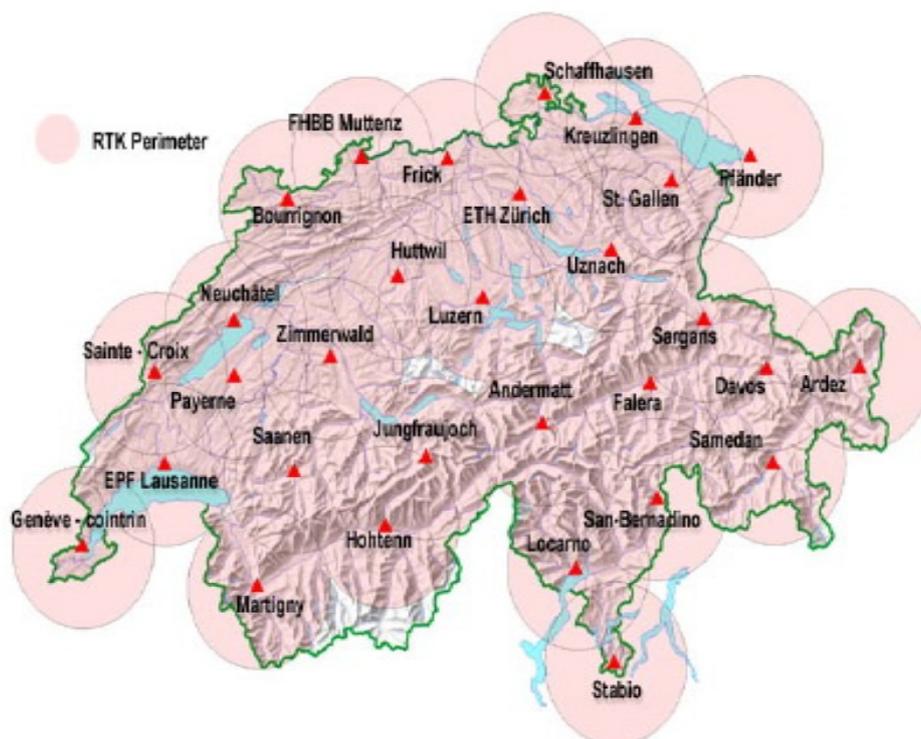
Το δίκτυο αυτό λειτουργεί μέσω της υπηρεσίας AUSPOS (AUSLIG Online GPS Processing Service) που προσφέρει η Εθνική Χαρτογραφική Υπηρεσία της Αυστραλίας (AUSLIG). Συμβάλει με δεδομένα στην διεθνή υπηρεσία του GLONASS (IGLOS: International GLONASS Service) και συνεισφέρει σημαντικά στις μελέτες παρακολούθησης της στάθμης της θάλασσας και του κλίματος.

➤ Δίκτυο AGNES (Automated GPS Network Switzerland)

Το δίκτυο AGNES (Automated GPS Network Switzerland) είναι ένα δίκτυο πολλαπλών χρήσεων που αποτελείται από 30 μόνιμους σταθμούς GPS στην Ελβετία (Εικόνα 3.18). Χρησιμοποιείται ως αναφορά για εθνικές τοπογραφικές αποτυπώσεις Α' τάξης (on-line μετατροπή του CHTRS95: Swiss Terrestrial Reference System 1995), για επιστημονικές εφαρμογές (γεωδυναμικές και μετεωρολογικές) και για υπηρεσίες προσδιορισμού θέσης

(<http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/en/home.html>).

Στο δίκτυο AGNES στηρίζεται και η υπηρεσία SWIPOS (Swiss Positioning Service), η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως «εμπορευματοποίηση» του AGNES.



Εικόνα 3.18: Δίκτυο AGNES (Automated GPS Network Switzerland).

(Πηγή: www.geometre-expert.fr/content/file/anne/agnes%20suisse.ppt)

➤ Δίκτυο SWEPOS (Swedish Positioning System)

Το δίκτυο SWEPOS (SWEdish POsitioning System) της Σουηδίας αποτελείται από 21 μόνιμους σταθμούς αναφοράς σε όλη τη χώρα, από το Kiruna (Esränge) στο βορρά μέχρι το Hässleholm στο νότο (Εικόνα 3.19), οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε βάρθρα (πλήρεις σταθμοί: Complete Stations). Στην περίπτωση αυτή για να επιτευχθεί πλεονασμός παρατηρήσεων και ασφαλής πρόσβαση των δεδομένων, κάθε σταθμός αναφοράς είναι εξοπλισμένος με δύο παράλληλα συστήματα.



Εικόνα 3.19: Δίκτυο SWEPOS.

(Πηγή: <http://swepos.lmv.lm.se/>)

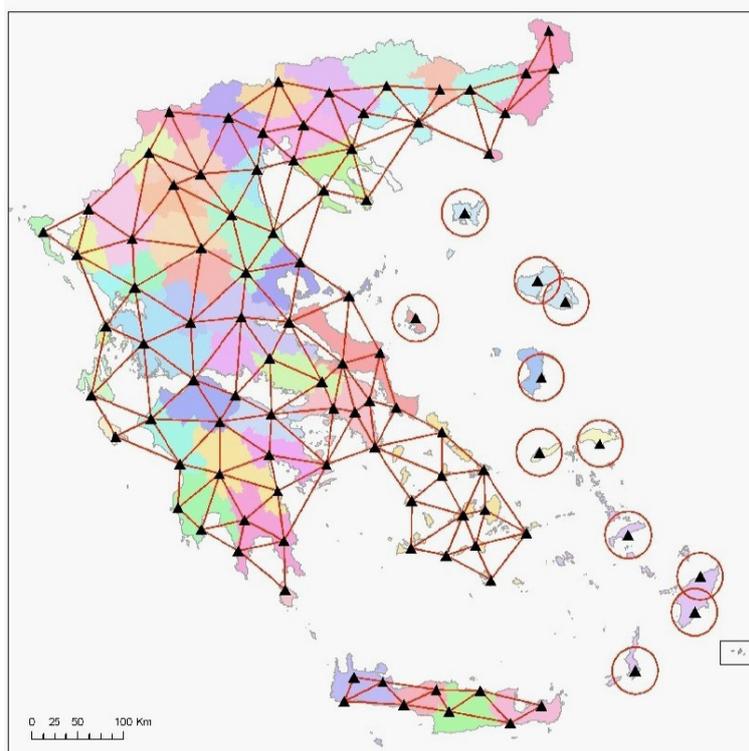
Παρατηρούμε επίσης και απλούς σταθμούς (Simplified Stations), χαμηλότερου κύρους σε σχέση με τους Complete Stations, με κεραίες τοποθετημένες σε κτίρια, με τον εξοπλισμό τους τοποθετημένο στο εσωτερικό τους. Χρησιμοποιούνται κυρίως για υπηρεσίες δικτυακού RTK (Network RTK Services) (<http://swepos.lmv.lm.se/>).

3.4 HEPOS - Το Ελληνικό Σύστημα Εντοπισμού

Το **HEPOS (HElIenic POsitioning System)** είναι ένα σύστημα που προσφέρει υπηρεσίες προσδιορισμού συντεταγμένων GPS σε πραγματικό χρόνο. Σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε από την Κτηματολόγιο Α.Ε., η οποία επίσης χειρίζεται το σύστημα (<http://www.hepos.gr>). Πρωταρχικός σκοπός του είναι να καλύψει τις τρέχουσες και μελλοντικές ανάγκες του Εθνικού Κτηματολογίου. Οδηγός για τη δημιουργία του Ελληνικού Συστήματος Εντοπισμού HEPOS ήταν οι εμπειρίες των διεθνών δικτύων εικονικών σταθμών.

3.4.1 Χαρακτηριστικά και εφαρμογές του συστήματος HEPOS

Το HEPOS αποτελείται από 98 GPS (GNSS) μόνιμους σταθμούς αναφοράς, καταναμημένους ομοιόμορφα σε όλη την Ελλάδα και με κατάλληλη διάταξη ώστε οι αποστάσεις μεταξύ γειτονικών σταθμών να μην υπερβαίνουν τα 70 km, και από τους οποίους οι 87 είναι δικτυακής λύσης (υποστηρίζοντας τις δικτυακές τεχνικές VRS, FKP και MAC) και οι 11 μεμονωμένοι (Εικόνα 3.20).



Εικόνα 3.20: Διάταξη σταθμών αναφοράς HEPOS.

(Πηγή: <http://www.hepos.gr>)

Τα χαρακτηριστικά και οι τεχνικές απαιτήσεις των σταθμών αναφοράς είναι ο ελεύθερος ορίζοντας, η απουσία αισθητών Η/Μ παρεμβολών, η σταθερότητα της κεραίας, η απουσία του φαινομένου των πολλαπλών διαδρομών (multipath), η αλεξικεραυνική προστασία της κεραίας, η ασφάλεια του εξοπλισμού, η ελεγχόμενη πρόσβαση των δεδομένων σε μη εξουσιοδοτημένους χρήστες καθώς και εύκολη και ταχεία πρόσβαση (Γιαννίου & Αυγερινός, 2006) (Γιαννίου & Μάστορης, 2007).

Οι δέκτες των σταθμών αναφοράς είναι οι “Trimble NetRS” και οι κεραίες που έχουν χρησιμοποιηθεί για τους σταθμούς αναφοράς είναι οι “Trimble Zephyr Geodetic” με θόλο, οι οποίες έχουν τοποθετηθεί είτε σε βάρθρα είτε σε κτίρια στηριζόμενες σε οροφή ή σε τοίχο (Εικόνα 3.21) (<http://www.hepos.gr>) (Μάστορης, 2008).



Εικόνα 3.21: Κεραίες σταθμών αναφοράς τοποθετημένες σε βάρθρο και σε οροφή και τοίχο κτιρίου.

(Πηγή: www.epncb.oma.be, Μάστορης 2008)

Κάθε σταθμός αναφοράς υποστηρίζεται από ένα σύστημα επεξεργασίας των δεδομένων που ονομάζεται Rack (Εικόνα 3.22) (Μάστορης, 2008).



Εικόνα 3.22: Απεικόνιση του Rack και του εξοπλισμού στο Rack του σταθμού αναφοράς.

(Πηγή: Μάστορης, 2008)

Οι παρατηρήσεις από τους σταθμούς αναφοράς μεταφέρονται στο Κέντρο Ελέγχου του HEPOS, για επεξεργασία, αρχειοθέτηση και παραγωγή των δεδομένων που θα σταλούν στους χρήστες για προσδιορισμό συντεταγμένων σε πραγματικό χρόνο ή μετά το πέρας των μετρήσεων. Το Κέντρο Ελέγχου αποτελεί τον έναν από τους 98 μόνιμους σταθμούς του συστήματος και βρίσκεται στο κτίριο της Κτηματολόγιο Α.Ε. στο Χολαργό Αττικής.

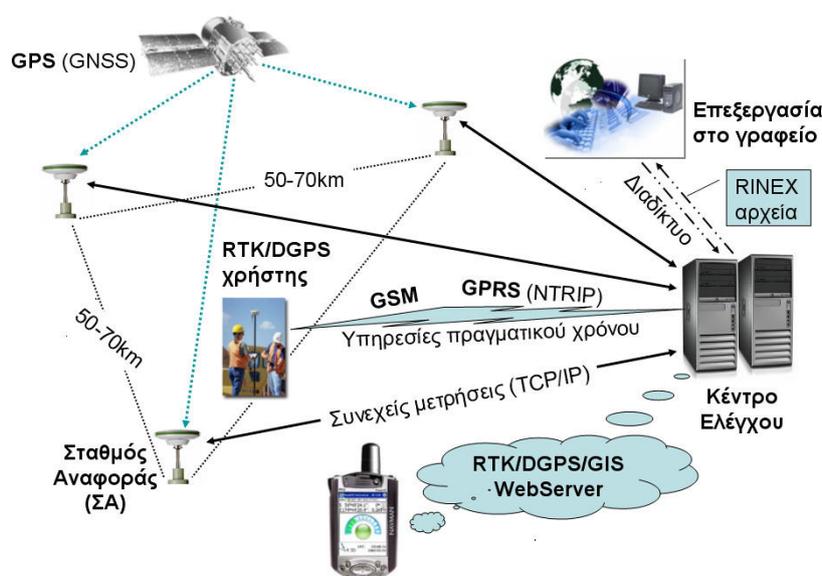
Το HEPOS αναμένεται να εξυπηρετήσει πολλές διαφορετικές ομάδες χρηστών που θα έχουν πρόσβαση στις υπηρεσίες του για διάφορες εφαρμογές και στόχους, όπως για παράδειγμα σε γεωδαιτικά και γεωδυναμικά δίκτυα, για τη γεωλογία, τη σεισμολογία, τη γεωδυναμική ή γενικότερα για επιστημονική έρευνα. Μπορεί να εφαρμοστεί σε περιπτώσεις που απαιτείται ακρίβεια της τάξης του 0.5 m, όπως π.χ. στον εντοπισμό, στη συλλογή δεδομένων GIS και διαχείριση ενεργών διαθεσίμων, σε ειδικές εφαρμογές πλοήγησης ή στην παρακολούθηση περιβαλλοντικών κινδύνων, καθώς και σε περιπτώσεις που απαιτείται υψηλή ακρίβεια της τάξης cm, όπως π.χ. σε τοπογραφικές – γεωδαιτικές εργασίες, βιομηχανικές – γεωδαιτικές εργασίες, σε κτηματογραφήσεις, χαρτογραφήσεις, υδρογραφικές εργασίες, σε έξυπνα συστήματα μεταφορών, σε εργασίες υψηλής ακρίβειας στις αγροκαλλιέργειες (precision agriculture), σε GIS εφαρμογές υψηλής ακρίβειας, στην υποστήριξη συλλογής δεδομένων από αέρος, σε έργα υποδομής ή σε κατασκευαστικά έργα (Γιαννίου & Μάστορης, 2007) (Δεληκαράογλου, 2006).

3.4.2 Τηλεπικοινωνιακή υποδομή - Παρεχόμενες υπηρεσίες στους χρήστες

Η τηλεπικοινωνιακή υποδομή του δικτύου παρέχει την αναγκαία δικτύωση των σταθμών αναφοράς που είναι απαραίτητη για την εφαρμογή των δικτυακών τεχνικών VRS και FKP, και επιτρέπει τη διαχείριση, τον έλεγχο και τη συντήρηση του από το Κέντρο Ελέγχου, καθώς και την υλοποίηση των υπηρεσιών του προς τους χρήστες (Delikaraoglou, 2007).

Ειδικότερα, η επικοινωνία με τους χρήστες έχει τα εξής χαρακτηριστικά (Εικόνα 3.23) (Δεληκαράογλου, 2006):

- Δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων των σταθμών αναφοράς στο Κέντρο Ελέγχου, μέσω κατάλληλης τηλεπικοινωνιακής υποδομής (κύριες και δευτερεύουσες γραμμές επικοινωνίας) που παρέχουν εγγυημένο εύρος ζώνης σύμφωνα με τις προδιαγραφές, καθώς και της αποστολής διορθώσεων προς τους χρήστες σε μορφότυπο RTCM, τόσο για δεδομένα VRS και FKP, όσο και για συμβατικά δεδομένα των μεμονωμένων νησιωτικών σταθμών.
- Δυνατότητα αποστολής των διορθωτικών μηνυμάτων στους χρήστες μέσω GSM σύνδεσης, με συνολική καθυστέρηση διανομής προς του χρήστες που δεν ξεπερνά τα 3 sec. Η επικοινωνία αυτή είναι αμφίδρομη μέσω πρωτοκόλλου TCP/IP.
- Ανάλογη δυνατότητα σύνδεσης μέσω σύνδεσης GPRS χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο NTRIP που έχει σχεδιαστεί ειδικά για τη συνεχή ροή / μετάδοση διορθώσεων ή πληροφοριών στους χρήστες των συστημάτων GNSS μέσω του Διαδικτύου.
- Δυνατότητα λήψης από τους χρήστες, μέσω διαδικτυακού εξυπηρετητή (Webserver), δεδομένων RINEX των μετρήσεων των σταθμών αναφοράς και εικονικών σταθμών VRS, καθώς και συνοδευτικών τροχιακών εφημερίδων, προκειμένου να μπορούν να τα αξιοποιήσουν μέσω επεξεργασίας μετά το πέρας των μετρήσεων (post-processing).



Εικόνα 3.23: Απεικόνιση βασικών λειτουργιών και υπηρεσιών που εξυπηρετεί η τηλεπικοινωνιακή υποδομή του HEPOS.

(Πηγή: Δεληκαράογλου, 2006)

Το Κέντρο Ελέγχου αποτελείται από 6 servers, οι οποίοι χρησιμοποιούν το λογισμικό “Trimble GPSNet”. Έχουν εξοπλισμό υποστήριξης 150 παράλληλων χρηστών εφαρμογών πραγματικού χρόνου και 60 παράλληλων συνδέσεων GSM, με δυνατότητα επέκτασης (Γιαννίου & Μάστορης, 2007).

Υπηρεσίες του HEPOS για εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο (Real-Time)

Η υπηρεσία πραγματικού χρόνου με τις μεθόδους RTK ή DGPS (Εικόνα 3.24) προσφέρει στο χρήστη τις συντεταγμένες GPS την ώρα των μετρήσεων.

Ο απαιτούμενος εξοπλισμός για τις υπηρεσίες αυτές είναι (Γιαννίου, 2008 (Α)):

Για εφαρμογές RTK:

- 1 γεωδαιτικός δέκτης (σύγχρονος ή αναβαθμίσιμος για VRS ή/και FKP).
- 1 modem GSM ή GPRS: συνήθως στα σύγχρονα γεωδαιτικά GPS ενσωματώνεται στο δέκτη ή στο χειριστήριο (Εικόνα 3.24).

Για εφαρμογές DGPS:

- 1 γεωδαιτικός δέκτης ή 1 δέκτης εφαρμογών GIS ή 1 απλούστερος δέκτης με δυνατότητα λήψης διαφορικών διορθώσεων DGPS και κατάλληλο υπόβαθρο (interface) για επικοινωνία με το Κέντρο Ελέγχου.
- 1 modem GSM ή GPRS.



Εικόνα 3.24: Σύνδεση με το Κέντρο Ελέγχου μέσω κινητού τηλεφώνου (το χειριστήριο συνδέεται με το κινητό μέσω Bluetooth) και μέσω Compact Flash κάρτας GSM/GPRS.

(Πηγή: Γιαννίου, 2008 (Α))

Κάθε σταθμός αναφοράς συνδέεται με το Κέντρο Ελέγχου μέσω μίας κύριας και μίας δευτερεύουσας (εφεδρικής) γραμμής επικοινωνίας, για τις περιπτώσεις χαμηλής ποιότητας σύνδεσης ή σήματος ή για την περίπτωση απώλειας σήματος (Γιαννίου & Αυγερινός, 2006).

Η σύνδεση με το Κέντρο Ελέγχου πραγματοποιείται με δύο τρόπους (Εικόνα 3.25) (Γιαννίου, 2008 (Α)):

Μέσω GPRS:

- Αναγνώριση χρήστη μέσω: Username & Password.
- Χρήση πρωτοκόλλου NTRIP.
- Επιλογή μεθόδου μέσω “Source-Table” και “Mountpoint”.

Μέσω GSM:

- Αναγνώριση χρήστη μέσω αριθμού κλήσης (αριθμός κάρτας SIM).
- Επιλογή μεθόδου μέσω καλούμενου αριθμού.

Υπηρεσία	SERVICE	FORMAT	GPRS	GSM
DGPS	Network DGPS	RTCM 2.3	✓	✓
	Single Base DGPS	RTCM 2.3	✓	✓
RTK	Network RTK: VRS	RTCM 2.3	✓	✓
		RTCM 3.0	✓	✓
		CMR+	✓	-
	Network RTK: FKP	RTCM SAPOS	✓	✓
	Network RTK: MAC	RTCM 3.1	✓	-
Single Base RTK	RTCM 2.3	✓	-	

Εικόνα 3.25: Διαφορετικές δυνατότητες σύνδεσης με το Κέντρο Ελέγχου.

(Πηγή: Γιαννίου, 2008 (Α))

Υπηρεσίες του HEPOS για εφαρμογές μετεπεξεργασίας (Post-Processing)

Το HEPOS παρέχει δύο κατηγορίες δεδομένων σταθμού αναφοράς (Γιαννίου, 2008 (B)):

- Δεδομένα «πραγματικών» σταθμών αναφοράς, δηλαδή δεδομένα που καταγράφηκαν σε έναν από τους 98 σταθμούς αναφοράς του HEPOS.

- Δεδομένα εικονικών σταθμών αναφοράς (VRS), δηλαδή δεδομένα που δημιουργούνται μέσω των μετρήσεων των πραγματικών σταθμών αναφοράς και των υπολογισμένων μαθηματικών επιφανειών των σφαλμάτων για οποιαδήποτε θέση ζητήσει ο χρήστης εντός της περιοχής που παρέχεται δικτυακή λύση.

Ο απαιτούμενος εξοπλισμός για τις υπηρεσίες μετεπεξεργασίας είναι:

- Οποιοσδήποτε κοινός δέκτης GPS γεωδαιτικού τύπου μονής ή διπλής συχνότητας.
- Λογισμικό επεξεργασίας μετρήσεων GPS με δυνατότητα εισαγωγής αρχείων RINEX (ή CRINEX: Compact RINEX).

Η πρόσβαση στις υπηρεσίες αυτές γίνεται μέσω του «HEPOS RINEX Shop», ένα e-κατάστημα που είναι προσβάσιμο από τον ιστοχώρο του HEPOS (<http://www.hepos.gr>) μόνο στους εγγεγραμμένους χρήστες (Εικόνα 3.26), και το οποίο προσφέρει τη δυνατότητα επιλογής του διαστήματος καταγραφής καθώς και της μορφής συμπίεσης (RINEX, CRINEX).



Ελληνικό Σύστημα Εντοπισμού



RINEX Shop – Εικονικός Σταθμός Αναφοράς

Εισάγετε τις συντεταγμένες ενός εικονικού σταθμού αναφοράς. Μπορείτε να εναλλάξετε από το γεωγραφικό στο γεωκεντρικό καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων.

Εικονικός Σταθμός Αναφοράς – Γεωγραφική θέση

Γεωγραφικό πλάτος: * N S

Γεωγραφικό μήκος: * E W

Γεωμετρικό υψόμετρο: m

* Μπορείτε να εισάγετε τις γεωγραφικές συντεταγμένες σε τρία format:

- Deg Min Sec Παράδειγμα: 48 1 21.60
- Deg Min Παράδειγμα: 48 1.36
- Deg Παράδειγμα: 48.02267

Εικόνα 3.26: Παράδειγμα παραγγελίας αρχείου Εικονικού Σταθμού Αναφοράς μέσω του RINEX Shop.

(Πηγή: Γιαννίου, 2008 (B))

Λόγω του μεγάλου αριθμού σταθμών αναφοράς και του υψηλού ρυθμού καταγραφής (1 sec), ο όγκος δεδομένων που συλλέγονται στο Κέντρο Ελέγχου είναι αυξημένος και δεν είναι εφικτό να είναι διαθέσιμα μέσω του webserver για μεγάλο χρονικό διάστημα. Επομένως ο χρήστης πρέπει να υποβάλλει την παραγγελία το αργότερο 30 ημέρες μετά την ημερομηνία των μετρήσεων.

Η επιλογή του χρονικού παραθύρου των εικονικών μετρήσεων γίνεται ανάλογα με το παράθυρο των πραγματικών μετρήσεων στους πραγματικούς σταθμούς ενδιαφέροντος.

Οι συντεταγμένες (φ , λ) του εικονικού σταθμού επιλέγονται έτσι ώστε ο σταθμός να βρίσκεται σε απόσταση που να εξασφαλίζει μικρά μήκη βάσεων (σύμφωνα με τη θεωρία του δορυφορικού εντοπισμού και ανάλογα με την τεχνική μέτρησης και τις απαιτήσεις ακρίβειας) από τους επιθυμητούς (προς υπολογισμό) πραγματικούς σταθμούς ενδιαφέροντος.

Το γεωμετρικό υψόμετρο (h) επιλέγεται έτσι ώστε να είναι λογικό με βάση την τοπογραφία στη θέση (φ , λ) του Εικονικού Σταθμού (μία προσέγγιση της τάξης των 100 m είναι επαρκής για συνήθεις τοπογραφικές εργασίες).

Οι συντεταγμένες (φ , λ) του εικονικού σταθμού πρέπει να βρίσκονται εντός της περιοχής δικτυακής λύσης. Εάν η περιοχή μετρήσεων βρίσκεται εκτός της περιοχής δικτυακής λύσης, ο χρήστης πρέπει να χρησιμοποιήσει δεδομένα του πλησιέστερου «πραγματικού» σταθμού και όχι εικονικού σταθμού.

Όπως είναι γνωστό από τη θεωρία του γεωδαιτικού δορυφορικού εντοπισμού, όσο αυξάνει το μήκος της βάσης μειώνεται η ακρίβεια και απαιτείται περισσότερος χρόνος παρατήρησης. Κατά συνέπεια εάν η περιοχή εργασίας δεν βρίσκεται κοντά σε κάποιον (πραγματικό) σταθμό αναφοράς είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί εικονικός σταθμός.

3.4.3 Σύστημα Αναφοράς του HEPOS - Αναμενόμενες ακρίβειες

Οι εσωτερικοί υπολογισμοί στο λογισμικό του Κέντρου Ελέγχου του HEPOS γίνονται υποχρεωτικά στο ισχύον Πλαίσιο Αναφοράς του ITRS (σήμερα ITRF2005). Το ITRS είναι εξ' ορισμού ένα δυναμικό σύστημα αναφοράς. Για την αποφυγή του δυναμικού χαρακτήρα του ITRS και για τη συμβατότητα με τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι συντεταγμένες των σταθμών αναφοράς δίνονται στο σύστημα **ETRS'89** (European Terrestrial Reference System '89), το οποίο στο σύστημα HEPOS έχει την κωδική ονομασία **HTRS'07** (Hellenic Terrestrial Reference System '07). Οι συντεταγμένες είναι γεωκεντρικές καρτεσιανές (στα λογισμικά συνήθως αναφέρονται ως ECEF: Earth-Centered Earth-Fixed). Ο χρήστης του HEPOS πρέπει να θεωρεί τις συντεταγμένες σταθερές ανεξάρτητα από την εποχή στην οποία μετράει. Ο υπολογισμός τους έγινε στο πλέον πρόσφατο πλαίσιο υλοποίησης του συστήματος ETRS'89, δηλαδή στο **ETRF2005** (European Terrestrial Reference Frame 2005) και στη χρονική εποχή 2007.5 (<http://www.hepos.gr>).

Στο HTRS'07 χρησιμοποιείται το νέο παγκόσμιο μοντέλο βαρύτητας **EGM'08** (Earth Gravitation Model '08).

Το προβολικό σύστημα που χρησιμοποιείται είναι η χαρτογραφική προβολή **TM07**. Ως ελλειψοειδές εκ περιστροφής (ΕΕΠ) αναφοράς χρησιμοποιείται το **GRS80** (Geodetic Reference System 1980), όπως και στο ΕΓΣΑ'87. Η θέση του κέντρου του ελλειψοειδούς είναι πλέον πρακτικά στο γεώκεντρο, ταυτίζεται δηλαδή με το κέντρο του ETRS'89 (Κατσάμπαλος & Κωτσάκης, 2008).

Η πρωτογενής πληροφορία θέσης που παρέχεται ως προς το σύστημα αναφοράς HTRS'07 είναι:

- 3-Διάστατη : X, Y, Z καρτεσιανές συντεταγμένες
- 2-Διάστατη : φ, λ γεωδαιτικές συντεταγμένες
- 2-Διάστατη : E, N προβολικές συντεταγμένες
- 1-Διάστατη : h: γεωμετρικό υψόμετρο ως προς το ΕΕΠ αναφοράς
- Μεταβολή των παραπάνω σε σχέση με το χρόνο

Ωστόσο είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός ενός κατάλληλου ενιαίου και αμφίδρομου μοντέλου μετασχηματισμού μεταξύ του συστήματος αναφοράς του HEPOS και του ΕΓΣΑ'87 ή άλλων συστημάτων αναφοράς.

Το έργο υπολογισμού των συντελεστών του μοντέλου μετασχηματισμού περιλαμβάνει τη μέτρηση με GPS αντιπροσωπευτικού δείγματος τριγωνομετρικών και τον έλεγχο επαρκούς προσαρμογής, ακρίβειας και ευκολίας χρήσης.

Το πρόβλημα στον προσδιορισμό ενός τέτοιου μοντέλου έγκειται στο γεγονός ότι το πλαίσιο αναφοράς του HEPOS είναι πρωτογενώς και αμιγώς τρισδιάστατο ενώ το ΕΓΣΑ'87 είναι πρακτικά δυσδιάστατο, γεγονός που δημιουργεί την ανάγκη μοντελοποίησης των συστηματικών παραμορφώσεων στο πλαίσιο αναφοράς του ΕΓΣΑ'87.

Ένας τρισδιάστατος μετασχηματισμός ομοιότητας θα ήταν αρκετός αν δεν υπήρχαν συστηματικές τοπικές παραμορφώσεις. Για το λόγο αυτό προστίθεται ένας δυσδιάστατος μετασχηματισμός τοπικών παραμορφώσεων (Pointwise Correction Shifts). Βέβαια με τον τρόπο αυτό υποβαθμίζεται κατά κανόνα η γεωμετρική αξιοπιστία της πρωτογενούς πληροφορίας που μετασχηματίζεται.

Στο ETRF2005, όσον αφορά την ακρίβεια, γενικά ισχύει ό,τι και για την ακρίβεια των μεθόδων μέτρησης GPS (Γιαννίου, 2007):

- Από μέτρο (Single-Base DGPS) έως λίγα δεκάμετρα (δικτυακό DGPS).
- Από λίγα εκατοστά (RTK) έως λίγα χιλιοστά (Static).

Στα αποτελέσματα που εμφανίζονται ως προς το σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ'87 η ακρίβεια εξαρτάται επιπλέον και από το μοντέλο μετασχηματισμού.

Το σύστημα HEPOS παρέχει στους χρήστες του, με βάση τις προδιαγραφές του, ακρίβεια προσδιορισμού θέσης της τάξης του 1-2 cm.

Για τη συγκριτική αξιολόγηση της ακρίβειας που επιτυγχάνεται με χρήση VRS σε σχέση με την ακρίβεια χρήσης «πραγματικού» σταθμού αναφοράς έγινε η εξής διερεύνηση (Γιαννίου, 2008 (B)):

Σε διάφορες περιοχές του δικτύου υπολογίστηκαν VRS δεδομένα δίπλα σε πραγματικούς σταθμούς. Στη συνέχεια, από γειτονικούς σταθμούς αναφοράς επιλύθηκαν οι βάσεις προς τον κεντρικό σταθμό αναφοράς και τον εικονικό. Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο επιλύσεων προκύπτει ότι τα αποτελέσματα είναι πρακτικά ισοδύναμα. Λαμβάνοντας υπόψη ότι στην πράξη η θέση του εικονικού σταθμού αναφοράς θα είναι πιο κοντά στο χρήστη (μικρότερο μήκος βάσης), διαφαίνεται ακόμα και από αυτή την απλουστευμένη διερεύνηση η υπεροχή της χρήσης VRS.

3.4.4 Πλεονεκτήματα του συστήματος HEPOS

Το HEPOS, με τους 98 σταθμούς του να καλύπτουν όλο τον Ελλαδικό χώρο, απλουστεύει τον ακριβή προσδιορισμό των συντεταγμένων, επιτρέποντας στο χρήστη να επιτύχει υψηλή γεωδαιτική ακρίβεια της τάξης του 1-2 cm. Με αυτό τον τρόπο υλοποιεί ένα άκρως ομογενοποιημένο Εθνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς, στο οποίο δεν χρειάζεται η συνεχής παρακολούθηση και συντήρηση τριγωνομετρικού δικτύου. Ως εκ τούτου, η χρήση του συστήματος HEPOS συμβάλλει στην απλοποίηση έργων και μελετών, αφού εκλείπει η ανάγκη πύκνωσης δικτύων. Παράλληλα υποστηρίζει τον προσδιορισμό συντεταγμένων στο σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ'87 (<http://www.hepos.gr>) (Γιαννίου, 2007) (Γιαννίου & Μάστορης, 2007).

Οι χρήστες διευκολύνονται χρησιμοποιώντας το σύστημα HEPOS, αφού αυξάνεται η παραγωγικότητα μειώνοντας τον ελάχιστο απαιτούμενο εξοπλισμό σε μόνο ένα γεωδαιτικό δέκτη GPS και το απαραίτητο προσωπικό (αρκεί ένα συνεργείο ενός ατόμου) και εξαλείφονται οι περιορισμοί που αφορούν τους σταθμούς αναφοράς, σχετικά με τη σχέση απόστασης – λήψης, και η ανάγκη εύρεσης σημείου αναφοράς (Γιαννίου & Μάστορης, 2007).

Παράλληλα προσφέρει, στο μεγαλύτερο τμήμα της χώρας, δικτυακές τεχνικές GPS, πέρα από το γεγονός ότι υποστηρίζει όλες πρακτικά τις υφιστάμενες τεχνικές GPS και τα σχετικά πρότυπα. Οι υπηρεσίες μετεπεξεργασίας του HEPOS μπορούν να χρησιμοποιηθούν, εκτός από τους χρήστες που είναι εξοπλισμένοι με δέκτες διπλής συχνότητας, και από χρήστες εξοπλισμένους με σχετικά οικονομικούς δέκτες μίας

συχνότητας. Γενικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την πλειοψηφία του υφιστάμενου εξοπλισμού των χρηστών GPS στην Ελλάδα (<http://www.hepos.gr>) (Γιαννίου, 2007).

Τέλος, το HEPOS εξασφαλίζει εύκολη και ασφαλή πρόσβαση στις υπηρεσίες που παρέχει, έχοντας ελάχιστες απαιτήσεις από τον χρήστη, αλλά με δυνατότητα καθορισμού σημαντικών παραμέτρων της επεξεργασίας των μετρήσεων. Χαρακτηριστικό του συστήματος είναι η γρήγορη ανταπόκριση και ταχεία αποστολή αποτελεσμάτων στο χρήστη, είτε μέσω διαδικτύου είτε με τη δυνατότητα ανάκτησής τους από την υπηρεσία, καθώς και η δυνατότητα υποβολής δεδομένων μεμονωμένων ή πολλών σταθμών για δικτυακή λύση (Delikaraoglou, 2007).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ RTK
ΜΕ ΕΙΚΟΝΙΚΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ VRS
ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΟΥ ΗΕΡΟΣ**

4.1 Εισαγωγή

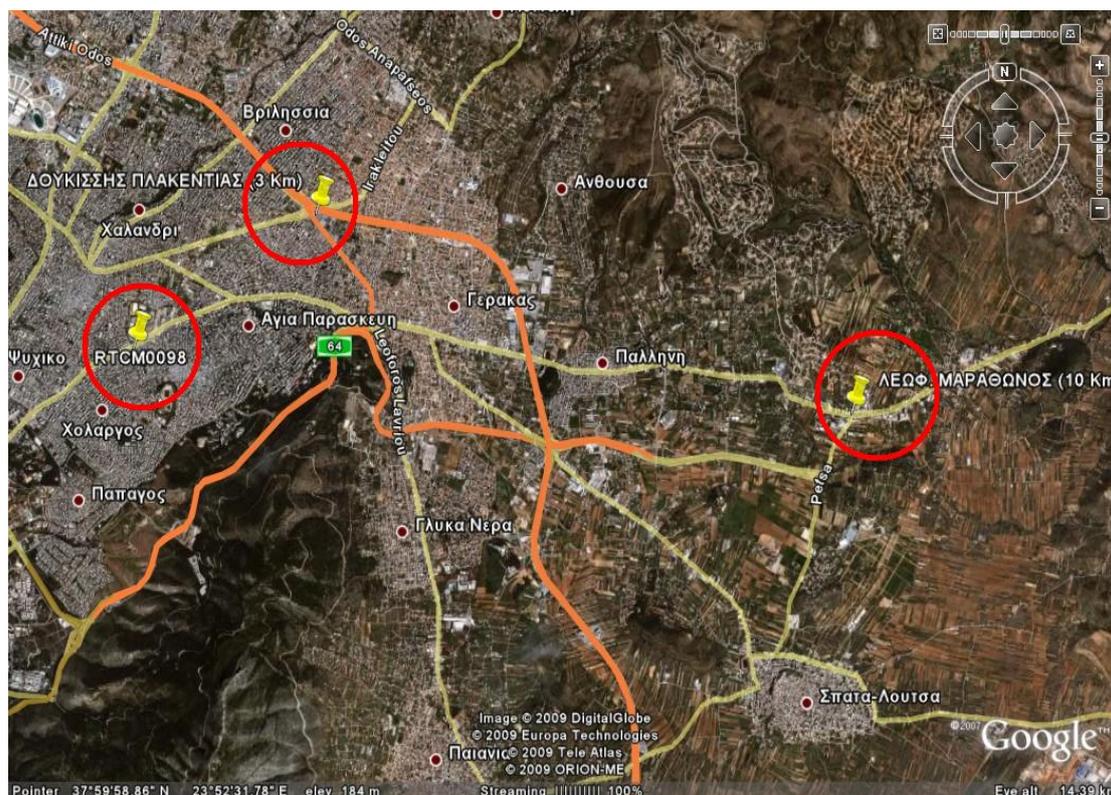
Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας επιλέχθηκε να γίνει χρήση της τεχνικής RTK με Εικονικούς Σταθμούς Αναφοράς VRS, χρησιμοποιώντας το δίκτυο του νεοσύστατου Ελληνικού Συστήματος Εντοπισμού HEPOS. Η τεχνική VRS χρησιμοποιήθηκε επίσης ενδεικτικά και για εφαρμογή των υπηρεσιών μετεπεξεργασίας του συστήματος HEPOS. Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται οι περιοχές εφαρμογής, τα κριτήρια επιλογής τους, τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν και οι διαδικασίες εφαρμογής των επιλεγμένων τεχνικών.

4.2 Περιοχές Μελέτης

Σύμφωνα με τη θεωρία της τεχνικής VRS (βλ. Ενότητα 3.2.3), η επιλεγμένη περιοχή στην οποία έλαβε χώρα η εφαρμογή της εργασίας αυτής θα μπορούσε να είναι οποιαδήποτε στην ευρύτερη περιοχή του Λεκανοπεδίου Αττικής, αφού θα βρισκόταν εντός της περιοχής δικτυακής λύσης του HEPOS.

Επιλέχθηκε όμως να συγκριθούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων με τη τεχνική VRS με τα αποτελέσματα των μετρήσεων με την τεχνική RTK από «πραγματικό» Μόνιμο Σταθμό Αναφοράς (Single-Base RTK). Όπως είναι γνωστό, στη μέθοδο RTK η απόσταση ανάμεσα στο σταθερό και τον κινητό δέκτη δεν πρέπει να ξεπερνά τα 10-15 km, γιατί διαφορετικά οι μετρήσεις επηρεάζονται από συστηματικά σφάλματα. Επίσης, όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση μεταξύ των δύο δεκτών τόσο περισσότερο επηρεάζονται τα αποτελέσματα και η ακρίβεια των μετρήσεων (Φωτίου & Πικριδάς, 2006).

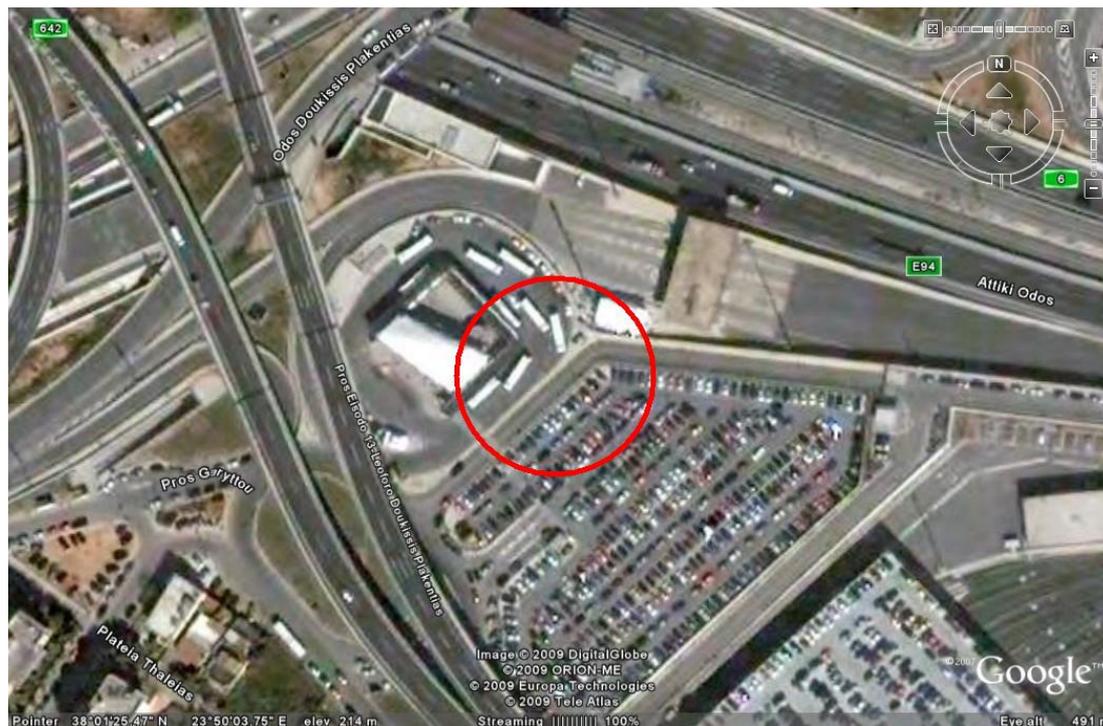
Για το λόγο αυτό επιλέχθηκαν δύο περιοχές εντός του Λεκανοπεδίου Αττικής, σε δύο διαφορετικές αποστάσεις, 3 και 10 Km, από τον πλησιέστερο Μόνιμο Σταθμό Αναφοράς, στις οποίες θα πραγματοποιούνταν οι μετρήσεις και με τις δύο τεχνικές. Ο σταθμός αυτός είναι ο RTCM0098 που βρίσκεται στο κτίριο της Κτηματολόγιο Α.Ε. στο Χολαργό Αττικής (Εικόνα 4.1).



Εικόνα 4.1: Ενδεικτική σχετική θέση των δύο περιοχών ως προς το σταθμό αναφοράς RTCM0098.

(Πηγή: Google Earth)

Η πρώτη περιοχή που επιλέχθηκε βρίσκεται στην έξοδο του Μετρό στο σταθμό «Δουκίσσης Πλακεντίας», ακριβώς δίπλα από το χώρο στάθμευσης των εγκαταστάσεων (Εικόνα 4.2), και απέχει από τον RTCM0098 περίπου 3 Km. Η δεύτερη περιοχή βρίσκεται σε διασταύρωση επί της Λεωφόρου Μαραθώνος ανάμεσα στην Παλλήνη και το Πικέρμι (Εικόνα 4.3) και απέχει από τον RTCM0098 περίπου 10 Km.



Εικόνα 4.2: Απεικόνιση της περιοχής «Δουκίσσης Πλακεντίας».
(Πηγή: Google Earth)

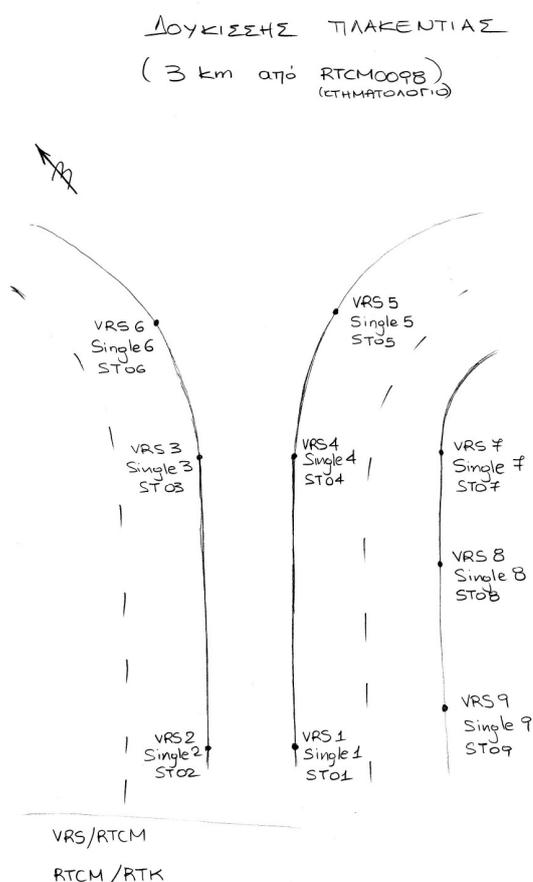


Εικόνα 4.3: Απεικόνιση της περιοχής «Λεωφ. Μαραθώνος».
(Πηγή: Google Earth)

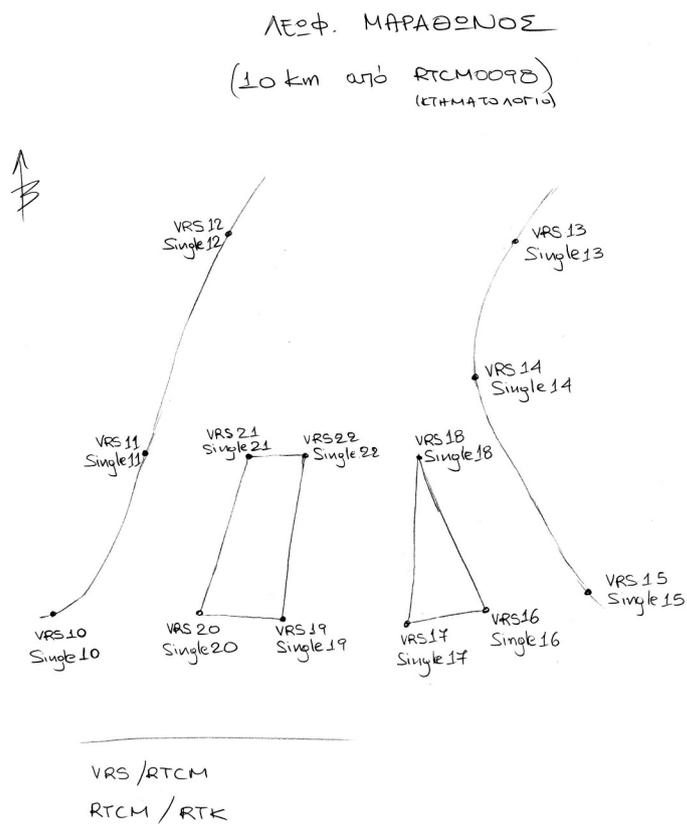
4.3 Επιλογή Χαρακτηριστικών Σημείων

Η επιλογή των σημείων, των οποίων οι συντεταγμένες θα προσδιοριστούν με τις δύο τεχνικές, έγινε με βάση την εύκολη πρόσβαση, τη σταθερότητα του εδάφους και την ύπαρξη κάποιου χαρακτηριστικού σχηματισμού ή τεχνικού έργου του οποίου θα αποτελούσαν χαρακτηριστικά ή ενδεικτικά σημεία. Στόχος δεν είναι η πλήρης αποτύπωση της περιοχής, αλλά η σύγκριση των συντεταγμένων ορισμένων ενδεικτικών σημείων όπως προκύπτουν από τις δύο τεχνικές.

Στην περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας» επιλέχθηκαν 9 χαρακτηριστικά σημεία (Σχήμα 4.1) και στην περιοχή «Λεωφ. Μαραθώνος» 13 χαρακτηριστικά σημεία (Σχήμα 4.2), στα οποία τοποθετήθηκαν ειδικά καρφιά και επισημάνθηκε ο κωδικός αριθμός τους με κόκκινο χρώμα (Εικόνα 4.4).



Σχήμα 4.1: Αυτοσχέδιο περιοχής «Δουκίσσης Πλακεντίας».



Σχήμα 4.2: Αυτοσχέδιο περιοχής «Λεωφ. Μαραθώνος».



Εικόνα 4.4: Σήμανση χαρακτηριστικών σημείων.

4.4 Εξοπλισμός

Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά δέκτες GPS, οι “Trimble R8 G.N.S.S.” για τις μετρήσεις πραγματικού χρόνου και “Trimble 5800” για τις μετρήσεις μετεπεξεργασίας (Εικόνες 4.5, 4.6). Οι δύο αυτοί δέκτες έχουν τη δυνατότητα μέτρησης στις συχνότητες L1 και L2 του συστήματος GPS, διαθέτουν λογισμικό εκτέλεσης μετρήσεων Fast Static, RTK ή VRS, και υποστηρίζουν τη δυνατότητα επικοινωνίας μέσω UHF, GSM και GPRS για την λήψη διορθώσεων DGPS, RTK ή VRS (<http://www.geotech.gr/>).

Στις μετρήσεις πραγματικού χρόνου (VRS-RTK και Single-Base RTK) χρησιμοποιήθηκε το χειριστήριο “TSC2” (Εικόνα 4.6) της Trimble το οποίο επικοινωνεί μέσω Bluetooth με τον δέκτη, κάνοντας δυνατή τη λειτουργία του συστήματος χωρίς κανένα καλώδιο.



Εικόνα 4.5: Δέκτες “Trimble R8 G.N.S.S.” και “Trimble 5800”.

(Πηγή: <http://www.geotech.gr/>)



Εικόνα 4.6: Ο δέκτης “Trimble R8 G.N.S.S.” με το χειριστήριο “TSC2”.

Εκτός από τους δέκτες GPS και το χειριστήριο, χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις κινητό τηλέφωνο, συνδεδεμένο με τον δέκτη μέσω Bluetooth, για την επικοινωνία του με το Κέντρο Ελέγχου του HEPOS μέσω GPRS. Η κάρτα SIM του δικτύου της κινητής τηλεφωνίας ήταν κατάλληλα ρυθμισμένη για να υποστηρίζει τη λειτουργία GPRS.

4.5 Διαδικασία Μετρήσεων

Στην πρώτη φάση έγιναν οι μετρήσεις πραγματικού χρόνου, εφαρμόζοντας δηλαδή τις τεχνικές VRS-RTK και Single-Base RTK χρησιμοποιώντας τον δέκτη “Trimble R8 G.N.S.S.” με το χειριστήριο “TSC2” (Εικόνα 4.7), στις δύο περιοχές «Δουκίσσης Πλακεντίας» και «Λεωφ. Μαραθώνος».



Εικόνα 4.7: Χρήση του δέκτη “Trimble R8 G.N.S.S.” με το χειριστήριο “TSC2” για την εκτέλεση των μετρήσεων πραγματικού χρόνου.

Για την εφαρμογή της τεχνικής VRS-RTK μετρήθηκαν στην περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας» τα σημεία VRS1, VRS2, VRS3, VRS4, VRS5, VRS6, VRS7, VRS8 και VRS9 (Σχήμα 4.1) και στην περιοχή «Λεωφ. Μαραθώνος» τα σημεία VRS10, VRS11, VRS12, VRS13, VRS14, VRS15, VRS16, VRS17, VRS18, VRS19, VRS20, VRS21 και VRS22 (Σχήμα 4.2).

Για την εφαρμογή της τεχνικής Single-Base RTK μετρήθηκαν στην περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας» τα σημεία Single1, Single2, Single3, Single4, Single5, Single6, Single7, Single8 και Single9 (Σχήμα 4.1) και στην περιοχή «Λεωφ. Μαραθώνος» τα σημεία Single10, Single11, Single12, Single13, Single14, Single15, Single16, Single17, Single18, Single19, Single20, Single21 και Single22 (Σχήμα 4.2).

Τα στάδια της διαδικασίας κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με την τεχνική VRS-RTK είναι τα εξής:

1. Έγιναν οι απαραίτητες ρυθμίσεις του δέκτη GPS για τη λειτουργία VRS μέσω του χειριστηρίου.
2. Σύνδεση του δέκτη με το κινητό τηλέφωνο μέσω Bluetooth και σύνδεση με το Κέντρο Ελέγχου μέσω GPRS.
3. Έναρξη της διαδικασίας με την υλοποίηση του Εικονικού Σταθμού Αναφοράς σε τυχαίο σημείο στην περιοχή τη χρονική στιγμή που ξεκίνησε να λειτουργεί ο δέκτης με τις ρυθμίσεις για VRS και που έγινε η σύνδεση με το Κέντρο Ελέγχου.
4. Έναρξη των μετρήσεων σε κάθε σημείο.

Τα στάδια της διαδικασίας κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με την τεχνική Single-Base RTK είναι τα εξής:

1. Έγιναν οι απαραίτητες ρυθμίσεις του δέκτη GPS για τη λειτουργία Single-Base RTK μέσω του χειριστηρίου.
2. Σύνδεση του δέκτη με το κινητό τηλέφωνο μέσω Bluetooth και σύνδεση με το Κέντρο Ελέγχου μέσω GPRS.
3. Έλεγχος διαθέσιμων Μόνιμων Σταθμών Αναφοράς εντός της εμβέλειας του δέκτη και αυτόματη επιλογή του πλησιέστερου, ο οποίος και στις δύο περιοχές ήταν ο RTCM0098.
4. Έναρξη των μετρήσεων σε κάθε σημείο.

Και στις δύο αυτές τεχνικές, οι μετρήσεις σε κάθε σημείο διήρκησαν 5 sec, έγιναν ανά 1 sec, και η τελική τιμή των συντεταγμένων κάθε σημείου προέκυψε από τη μέση τιμή των τιμών στα 1 sec, 3 sec και 5 sec. Για να προσδιοριστούν τα υψόμετρα των σημείων μετρήθηκε και το ύψος του στυλαιοῦ, το οποίο ήταν σταθερό για κάθε μέτρηση και ίσο με 2.40 m.

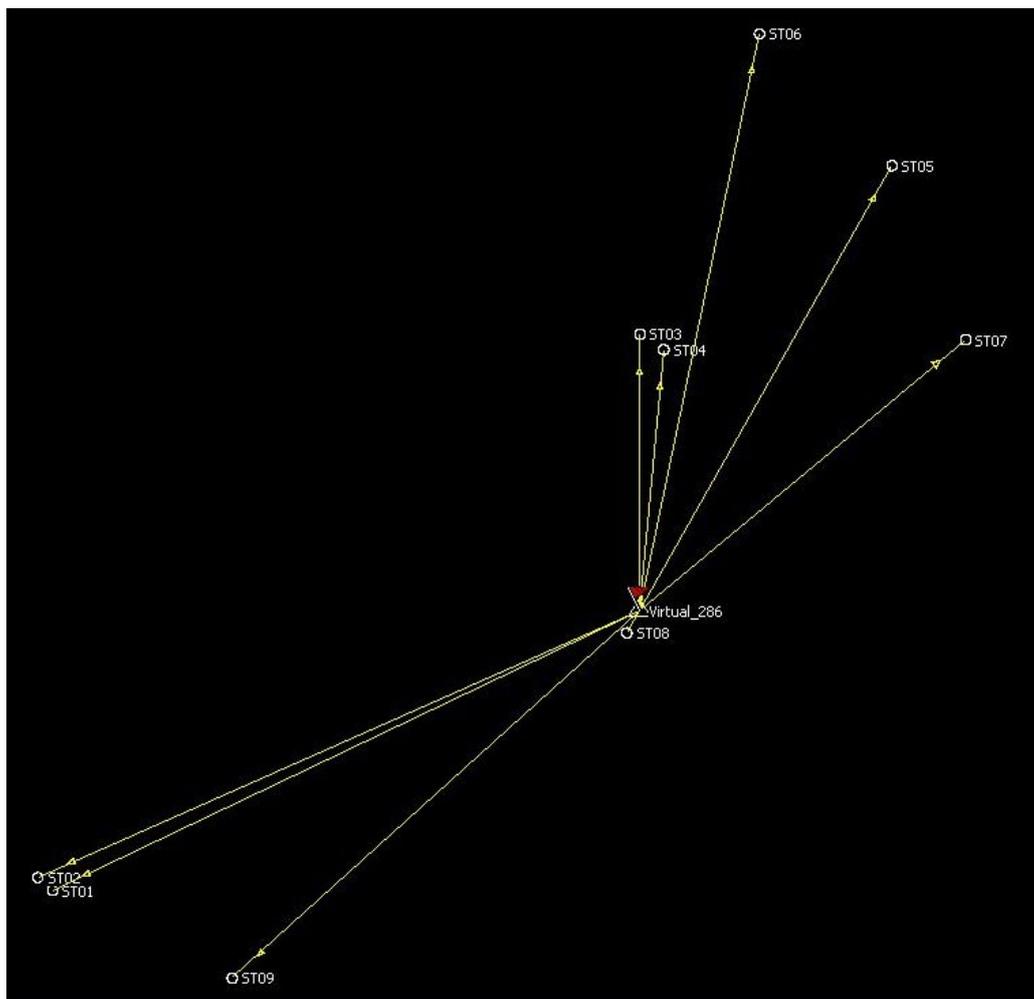
Στη δεύτερη φάση των μετρήσεων εφαρμόστηκε ενδεικτικά στην περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας» η υπηρεσία μετεπεξεργασίας του HEPOS με δεδομένα εικονικού σταθμού αναφοράς.

Για τις μετρήσεις πεδίου εφαρμόστηκε η τεχνική Fast Static, χρησιμοποιώντας τον δέκτη “Trimble 5800” (Εικόνα 4.8). Τα σημεία που μετρήθηκαν ήταν τα ST01, ST02, ST03, ST04, ST05, ST06, ST07, ST08 και ST09 (Σχήμα 4.1). Σε κάθε μετρούμενο σημείο ο χρόνος παραμονής του δέκτη ήταν 10 min και για να προσδιοριστούν τα υψόμετά τους καταγραφόταν για κάθε σημείο το ύψος οργάνου.



Εικόνα 4.8: Χρήση του δέκτη “Trimble 5800” για την εκτέλεση των μετρήσεων μετεπεξεργασίας.

Στη συνέχεια έγιναν οι εργασίες γραφείου, στις οποίες έγινε η παραγγελία μέσω του “RINEX Shop” της ιστοσελίδας του HEPOS (<http://www.hepos.gr/>) των δεδομένων για την επίλυση των βάσεων των σημείων από έναν τυχαίο Εικονικό Σταθμό Αναφοράς που επιλέχθηκε από τον χρήστη στην περιοχή μετρήσεων, και ο οποίος ονομάστηκε αυτόματα από το σύστημα HEPOS “Virtual_286” (Σχήμα 4.3).



Σχήμα 4.3: Βάσεις των σημείων “ST” στην περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας» ως προς τον Εικονικό Σταθμό Αναφοράς “Virtual_286”, στην περίπτωση εφαρμογής της υπηρεσίας μετεπεξεργασίας του συστήματος HEPOS.

Το αρχείο δεδομένων RINEX που δημιουργήθηκε με την παραγγελία για τον Εικονικό Σταθμό Αναφοράς “Virtual_286”, εστάλη στον χρήστη μέσω του διαδικτύου με την επιλογή “Download” (Εικόνα 4.9) και ήταν διαθέσιμο στο “RINEX Shop” για επανάκτηση εντός 30 ημερών από την ημερομηνία παραγγελίας.

Επίσης στην παραγγελία εισάχθηκε ο χρόνος έναρξης των μετρήσεων στο πεδίο με την τεχνική Fast Static και το τέλος χρόνου αυτών, και οι δύο ως χρόνοι GPS (Εικόνες 4.9, 4.10).

HEPOS Ελληνικό Σύστημα Εντοπισμού

RINEX Shop – Παραγγελία #266

Τα παρακάτω αρχεία RINEX έχουν δημιουργηθεί. Μπορείτε να δείτε λεπτομέρειες για κάθε αρχείο ή να κατεβάσετε όλα τα δεδομένα.

Σταθμός	Χρόνος έναρξης	Τέλος χρόνου	Διάρκεια (min)	Διάστημα (sec)	Εποχές ζητούμενες / διαθέσιμες	Διαθέσιμα λεπτά	Εφημ.	Ενέργεια
VRS	27/02/09 07:00 πμ	11:00 πμ	240	15	960 / 960	240	ναι	Λεπτομέρειες
Σύνολο:			240		960 / 960	240		

<< Πίσω στο Ιστορικό παραγγελιών Download Αποστολή μέσω e-mail

Όλοι οι χρόνοι αναφέρονται σε χρόνο GPS.

Copyright © ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. Διατηρούνται όλα τα πνευματικά δικαιώματα.

Εικόνα 4.9: Τμήμα της παραγγελίας του αρχείου δεδομένων RINEX για τον Εικονικό Σταθμό Αναφοράς “Virtual_286” στο “RINEX Shop” της ιστοσελίδας του HEPOS.

(Πηγή: <http://www.hepos.gr>)

HEPOS Ελληνικό Σύστημα Εντοπισμού

RINEX Shop – Λεπτομέρειες αρχείου

Σταθμός: VRS (Γεωγραφικό πλάτος: 38° 1' 25.16" N; Γεωγραφικό μήκος: 23° 50' 3.7" E; Γεωμετρικό Υψόμετρο: 250.0 m)

Ημερομηνία: Παρασκευή, 27/02/2009
 Χρόνος έναρξης: 07:00:00 πμ (Χρόνος GPS)
 Διάρκεια: 4:00 h
 Διάστημα: 15 s

Αποτέλεσμα δημιουργίας αρχείων : **OK**

Ζητούμενες εποχές μετρήσεων: 960
 Διαθέσιμες εποχές μετρήσεων: **960 (100%)**

Ανάλυση δεδομένων:

Από	Έως	Διαθέσιμες εποχές	Μη διαθέσιμες εποχές
07:00:00 πμ	10:59:45 πμ	960	0 (0%)

Τυχόν εμφάνιση κόκκινης γραμμής είναι ένδειξη κενού στα δεδομένα, δηλαδή δεν υπάρχουν μετρήσεις για συνεχόμενο χρονικό διάστημα τουλάχιστον 1 min.
 Όλοι οι χρόνοι αναφέρονται σε χρόνο GPS.

<< Πίσω στο πεδίο ελέγχου παραγγελίας << Προηγούμενο αρχείο Επόμενο αρχείο >>

Copyright © ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. Διατηρούνται όλα τα πνευματικά δικαιώματα.

Εικόνα 4.10: Λεπτομέρειες του αρχείου δεδομένων RINEX για τον Εικονικό Σταθμό Αναφοράς “Virtual_286” στο “RINEX Shop” της ιστοσελίδας του HEPOS.

(Πηγή: <http://www.hepos.gr>)

Σημειώνεται ότι στην περίπτωση της εφαρμογής της υπηρεσίας μετεπεξεργασίας του συστήματος HEPOS τα τελικά αποτελέσματα για τα σημεία “ST” προκύπτουν από συνδυασμό των παρατηρήσεων της τεχνικής Fast Static και των παρατηρήσεων για τον Εικονικό Σταθμό Αναφοράς “Virtual_286”. Οι δορυφόροι που συμμετέχουν στην επίλυση είναι οι κοινοί δορυφόροι που παρατηρούνται από τον δέκτη GPS που χρησιμοποιείται με την τεχνική Fast Static και από το σύστημα HEPOS για τον Εικονικό Σταθμό Αναφοράς “Virtual_286”, τη χρονική στιγμή των μετρήσεων στο πεδίο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

5.1 Εισαγωγή

Μετά τη διαδικασία των μετρήσεων στο πεδίο ακολούθησε το στάδιο της επεξεργασίας και ανάλυσης των αποτελεσμάτων. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε στο στάδιο αυτό ήταν το “Trimble Geomatics Office”. Το πρόγραμμα αυτό εκτέλεσε όλες τις απαραίτητες επιλύσεις των ανεξάρτητων βάσεων των μετρηθέντων σημείων, σε συνδυασμό με ένα μοντέλο μετασχηματισμού μεταξύ των συστημάτων αναφοράς HTRS’07 του HEPOS και του ΕΓΣΑ’87 (οι παράμετροι και οι συντελεστές του μοντέλου αυτού δεν παρατίθενται στην παρούσα διπλωματική εργασία γιατί το μοντέλο μετασχηματισμού χρησιμοποιήθηκε μέσω της εταιρίας GEOTECH).

5.2 Αρχεία Μετρήσεων GPS

Χρησιμοποιώντας το λογισμικό “Trimble Geomatics Office”, για κάθε περιοχή και τεχνική προέκυψαν πίνακες (Reports), οι οποίοι περιέχουν τα στοιχεία των μετρηθέντων σημείων, όσον αφορά τα χαρακτηριστικά τους και τις ακρίβειες προσδιορισμού τους.

Για την περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας» και για τις εφαρμογές πραγματικού χρόνου, τις τεχνικές δηλαδή VRS-RTK και Single-Base RTK, προέκυψαν οι παρακάτω Πίνακες 5.1 και 5.2:

Vector List

Precision Confidence Level: 95%								
Vector ID	From Point ID	To Point ID	Solution Type	Start Time	Duration	H Precision (Meter)	V Precision (Meter)	Ellip. Dist. (Meter)
V1	PRS158373396412	VRS1	Fixed	05/11/2008 14:21:19	00:00:05	0.008	0.013	3246.655
V2	PRS158373396412	VRS2	Fixed	05/11/2008 14:21:41	00:00:05	0.008	0.014	3246.475
V3	PRS158373396412	VRS3	Fixed	05/11/2008 14:24:02	00:00:05	0.009	0.015	3275.649
V4	PRS158373396412	VRS4	Fixed	05/11/2008 14:24:21	00:00:05	0.009	0.015	3276.054
V5	PRS158373396412	VRS5	Fixed	05/11/2008 14:25:58	00:00:05	0.009	0.014	3286.705
V6	PRS158373396412	VRS6	Fixed	05/11/2008 14:25:24	00:00:05	0.009	0.013	3285.301
V7	PRS158373396412	VRS7	Fixed	05/11/2008 14:26:01	00:00:05	0.008	0.013	3285.476
V8	PRS158373396412	VRS8	Fixed	05/11/2008 14:26:33	00:00:05	0.007	0.012	3269.298
V9	PRS158373396412	VRS9	Fixed	05/11/2008 14:27:25	00:00:05	0.008	0.014	3250.401

Πίνακας 5.1: Στοιχεία διανυσμάτων μετρηθέντων σημείων “VRS” στην περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας» με την τεχνική VRS-RTK.

Vector List

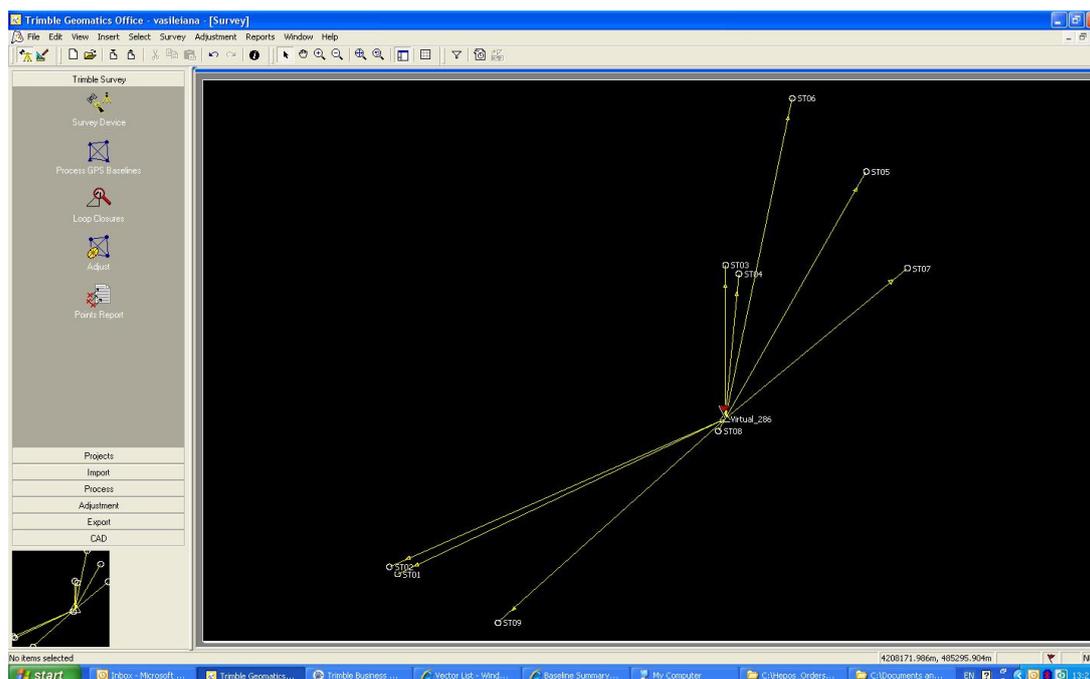
Precision Confidence Level: 95%								
Vector ID	From Point ID	To Point ID	Solution Type	Start Time	Duration	H Precision (Meter)	V Precision (Meter)	Ellip. Dist. (Meter)
V1	RTCM0098	Single1	Fixed	05/11/2008 14:30:54	00:00:05	0.012	0.022	3246.653
V2	RTCM0098	Single2	Fixed	05/11/2008 14:31:15	00:00:06	0.012	0.022	3246.477
V3	RTCM0098	Single3	Fixed	05/11/2008 14:32:01	00:00:05	0.010	0.017	3275.658
V4	RTCM0098	Single4	Fixed	05/11/2008 14:32:36	00:00:06	0.011	0.019	3276.055
V5	RTCM0098	Single5	Fixed	05/11/2008 14:33:03	00:00:05	0.011	0.019	3286.682
V6	RTCM0098	Single6	Fixed	05/11/2008 14:33:27	00:00:05	0.012	0.019	3285.294
V7	RTCM0098	Single7	Fixed	05/11/2008 14:33:57	00:00:05	0.012	0.020	3285.444
V8	RTCM0098	Single8	Fixed	05/11/2008 14:34:40	00:00:05.2000000	0.010	0.018	3269.275
V9	RTCM0098	Single9	Fixed	05/11/2008 14:35:16	00:00:05	0.011	0.018	3250.375

Πίνακας 5.2: Στοιχεία διανυσμάτων μετρηθέντων σημείων “Single” στην περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας» με την τεχνική Single-Base RTK.

Στους πίνακες αυτούς αναφέρεται η ονομασία των διανυσμάτων και των σημείων, ο σταθμός αναφοράς ως προς τον οποίο έγιναν οι επιλύσεις (εικονικός ή πραγματικός), η ακριβής χρονική στιγμή και η χρονική διάρκεια των μετρήσεων σε κάθε σημείο, η οριζοντιογραφική και υψομετρική τους ακρίβεια καθώς και η κεκλιμένη απόσταση από τον Μόνιμο Σταθμό Αναφοράς RTCM0098, για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Από τα στοιχεία των πινάκων αυτών παρατηρείται ότι στην τεχνική VRS-RTK επιτεύχθηκε καλύτερη οριζοντιογραφική και υψομετρική ακρίβεια, της τάξης των 7-9 mm και 12-15 mm αντίστοιχα, σε σχέση με την τεχνική Single-Base RTK, όπου οι αντίστοιχες ακρίβειες είναι της τάξης των 10-12 mm και 17-22 mm, καθιστώντας την τεχνική VRS-RTK πιο ακριβή μέθοδο στην περίπτωση της απόστασης των 3 km από τον Σταθμό Αναφοράς RTCM0098.

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο (βλ. Ενότητα 4.5), ο προσδιορισμός των συντεταγμένων των σημείων “ST” της περιοχής «Δουκίσσης Πλακεντίας» στην εφαρμογή των υπηρεσιών μετεπεξεργασίας (VRS Post-Processing) χρησιμοποιώντας την τεχνική Fast Static, έγινε με σημείο αναφοράς τον Εικονικό Σταθμό Αναφοράς “Virtual_286”, του οποίου οι συντεταγμένες δόθηκαν από το χρήστη, μετά το πέρας των μετρήσεων, στο σύστημα του HEPOS μέσω παραγγελίας στο “RINEX Shop”. Τα δεδομένα που στάλθηκαν στο χρήστη μετά την παραγγελία εισάχθηκαν στο λογισμικό επίλυσης “Trimble Geomatics Office” (Εικόνα 5.1).



Εικόνα 5.1: Βάσεις των σημείων “ST” στην περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας» ως προς τον Εικονικό Σταθμό Αναφοράς “Virtual_286”, όπως εμφανίζονται στο λογισμικό επίλυσης “Trimble Geomatics Office”.

Οι πίνακες που προέκυψαν από την εφαρμογή αυτή του λογισμικού επίλυσης είναι οι παρακάτω (Πίνακες 5.3, 5.4, 5.5):

Processing Summary

ID	From	To	Baseline Length	Solution Type	Ratio	Reference Variance	RMS
B17	Virtual_286	ST09	20.023m	L1 fixed	12.0	3.786	0.006m
B18	Virtual_286	ST01	23.680m	L1 fixed	3.4	3.907	0.007m
B19	Virtual_286	ST02	23.971m	L1 fixed	10.9	4.760	0.008m
B20	Virtual_286	ST04	9.698m	L1 fixed	20.6	3.355	0.005m
B21	Virtual_286	ST03	10.215m	L1 fixed	13.8	2.522	0.006m
B22	Virtual_286	ST06	21.601m	L1 fixed	11.4	7.424	0.008m
B23	Virtual_286	ST05	18.755m	L1 fixed	13.4	3.444	0.007m
B24	Virtual_286	ST07	15.515m	L1 fixed	15.8	7.678	0.009m
B25	Virtual_286	ST08	1.576m	L1 fixed	15.4	6.737	0.008m

Πίνακας 5.3: Στατιστικά στοιχεία επίλυσης βάσεων των μετρηθέντων σημείων “ST” στην περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας» με την τεχνική Fast Static.

Στον Πίνακα 5.3 εμφανίζονται τα στοιχεία των βάσεων των σημείων “ST”. Από τα στοιχεία του πίνακα αυτού τα RMS υποδηλώνουν την ακρίβεια προσδιορισμού των σημείων και παρατηρείται ότι με την τεχνική αυτή επιτεύχθηκε σχετικά ομοιογενής ακρίβεια της τάξης των 5 - 9 mm. Βέβαια παρατηρείται ότι σε κάποιες βάσεις μικρού μήκους, π.χ. για τη βάση “B25” του σημείου “ST08”, οι τιμές των RMS είναι πολύ μεγάλες. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στο συνδυασμό των παρατηρούμενων δορυφόρων για τον “Virtual_286” και για την τεχνική Fast Static (βλ. Ενότητα 4.5). Στον πίνακα εμφανίζεται επίσης για όλα τα σημεία ο τύπος της επίλυσης “L1 fixed”, η ονομασία της οποίας δεν υποδηλώνει ότι χρησιμοποιήθηκε μόνο η συχνότητα L1.

Point Derivations

Observations or coordinates in red are out of tolerance. They have not been used to determine the coordinate of the point.

Resultant coordinates for point : ST09							
Northing		Easting		Elevation		Height	
4208152.243m		485298.019m		212.403m		219.906m	
ID	Used to calc.	Status	Δ North	Δ East	Distance (Horiz)	Δ Elevation	Δ Height
B17 (Virtual_286-NEeh ST09)		Enabled	0.000m	0.000m	0.000m	0.000m	0.000m

Resultant coordinates for point : ST01							
Northing		Easting		Elevation		Height	
4208155.450m		485291.495m		212.525m		220.028m	
ID	Used to calc.	Status	Δ North	Δ East	Distance (Horiz)	Δ Elevation	Δ Height
B18 (Virtual_286-NEeh ST01)		Enabled	0.000m	0.000m	0.000m	0.000m	0.000m

Resultant coordinates for point : ST02							
Northing		Easting		Elevation		Height	
4208155.921m		485290.957m		212.561m		220.065m	
ID	Used to calc.	Status	Δ North	Δ East	Distance (Horiz)	Δ Elevation	Δ Height
B19 (Virtual_286-NEeh ST02)		Enabled	0.000m	0.000m	0.000m	0.000m	0.000m

Resultant coordinates for point : ST04							
Northing		Easting		Elevation		Height	
4208175.229m		485313.686m		212.835m		220.338m	
ID	Used to calc.	Status	Δ North	Δ East	Distance (Horiz)	Δ Elevation	Δ Height
B20 (Virtual_286-NEeh ST04)		Enabled	0.000m	0.000m	0.000m	0.000m	0.000m

Resultant coordinates for point : ST03								
Northing		Easting		Elevation		Height		
4208175.803m ▲		485312.825m ▲		212.770m ?		220.272m ?		
ID	Used to calc.	Status	Δ North	Δ East	Distance (Horiz)	Δ Elevation	Δ Height	
B21 (Virtual_286-NEeh ST03)▲		Enabled	0.000m	0.000m	0.000m	0.000m	0.000m	

Resultant coordinates for point : ST06								
Northing		Easting		Elevation		Height		
4208186.781m ▲		485317.164m ▲		212.908m ?		220.411m ?		
ID	Used to calc.	Status	Δ North	Δ East	Distance (Horiz)	Δ Elevation	Δ Height	
B22 (Virtual_286-NEeh ST06)▲		Enabled	0.000m	0.000m	0.000m	0.000m	0.000m	

Resultant coordinates for point : ST05								
Northing		Easting		Elevation		Height		
4208181.964m ▲		485321.977m ▲		212.910m ?		220.412m ?		
ID	Used to calc.	Status	Δ North	Δ East	Distance (Horiz)	Δ Elevation	Δ Height	
B23 (Virtual_286-NEeh ST05)▲		Enabled	0.000m	0.000m	0.000m	0.000m	0.000m	

Resultant coordinates for point : ST07								
Northing		Easting		Elevation		Height		
4208175.594m ▲		485324.651m ▲		212.757m ?		220.259m ?		
ID	Used to calc.	Status	Δ North	Δ East	Distance (Horiz)	Δ Elevation	Δ Height	
B24 (Virtual_286-NEeh ST07)▲		Enabled	0.000m	0.000m	0.000m	0.000m	0.000m	

Resultant coordinates for point : ST08								
Northing		Easting		Elevation		Height		
4208164.872m ▲		485312.346m ▲		212.591m ?		220.094m ?		
ID	Used to calc.	Status	Δ North	Δ East	Distance (Horiz)	Δ Elevation	Δ Height	
B25 (Virtual_286-NEeh ST08)▲		Enabled	0.000m	0.000m	0.000m	0.000m	0.000m	

Resultant coordinates for point : Virtual_286								
Northing		Easting		Elevation		Height		
4208165.694m ▲		485312.799m ▲		211.327m ▲		218.829m ?		
ID	Used to calc.	Status	Δ North	Δ East	Distance (Horiz)	Δ Elevation	Δ Height	
CG2 Office entered		NEeh Enabled	0.000m▲	0.000m▲	0.000m▲	0.000m▲	0.000m ?	

Πίνακας 5.4: Αναφορά προέλευσης συντεταγμένων των μετρηθέντων σημείων “ST” στην περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας» με την τεχνική Fast Static, στο σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ’87.

Στον παραπάνω Πίνακα 5.4 παρουσιάζονται οι συντεταγμένες των σημείων “ST” στο σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ’87, καθώς και το ορθομετρικό H (Elevation) και γεωμετρικό h (Height) υψόμετρό τους.

Survey Data

Observations

GPS Baselines

ID	Source	From Pt	To Point	Solution/Quality	Ratio	Reference Variance	RMS	Slope Distance
B17	BL Proc (13:18:25 27 Feb 2009)	Virtual_286	ST09	Fixed	12.0	3.786	0.006m	20.023m
B18	BL Proc (13:18:25 27 Feb 2009)	Virtual_286	ST01	Fixed	3.4	3.907	0.007m	23.680m
B19	BL Proc (13:18:25 27 Feb 2009)	Virtual_286	ST02	Fixed	10.9	4.760	0.008m	23.971m
B20	BL Proc (13:18:25 27 Feb 2009)	Virtual_286	ST04	Fixed	20.6	3.355	0.005m	9.698m
B21	BL Proc (13:18:25 27 Feb 2009)	Virtual_286	ST03	Fixed	13.8	2.522	0.006m	10.215m
B22	BL Proc (13:18:25 27 Feb 2009)	Virtual_286	ST06	Fixed	11.4	7.424	0.008m	21.601m
B23	BL Proc (13:18:25 27 Feb 2009)	Virtual_286	ST05	Fixed	13.4	3.444	0.007m	18.755m
B24	BL Proc (13:18:25 27 Feb 2009)	Virtual_286	ST07	Fixed	15.8	7.678	0.009m	15.515m
B25	BL Proc (13:18:25 27 Feb 2009)	Virtual_286	ST08	Fixed	15.4	6.737	0.008m	1.576m

Coordinates

ID	Point Name	Source	Northing	Easting	Height	Elevation
CG2	Virtual_286	Office entered	4208165.694m	485312.799m	? ?	211.327m

ID	Point Name	Source	Quality	Latitude	Longitude	Height
C1 (soln)	ST09	DAT file (49310589.DAT)	?	38° 01'24.74290"N	23° 50'03.07930"E	248.870m
C2 (soln)	ST01	DAT file (49310588.DAT)	?	38° 01'24.83631"N	23° 50'02.84771"E	248.665m
C3 (soln)	ST02	DAT file (49310587.DAT)	?	38° 01'24.85092"N	23° 50'02.82456"E	248.171m
C4 (soln)	ST04	DAT file (49310586.DAT)	?	38° 01'25.49219"N	23° 50'03.77189"E	250.129m
C5 (soln)	ST03	DAT file (49310585.DAT)	?	38° 01'25.50452"N	23° 50'03.73344"E	250.232m
C6 (soln)	ST06	DAT file (49310584.DAT)	?	38° 01'25.83356"N	23° 50'03.82371"E	254.043m
C7 (soln)	ST05	DAT file (49310583.DAT)	?	38° 01'25.70849"N	23° 50'04.10659"E	250.291m
C8 (soln)	ST07	DAT file (49310582.DAT)	?	38° 01'25.51302"N	23° 50'04.21801"E	250.981m
C9 (soln)	ST08	DAT file (49310581.DAT)	?	38° 01'25.17053"N	23° 50'03.71855"E	249.553m

Πίνακας 5.5: Δεδομένα παρατηρήσεων των βάσεων και συντεταγμένες των μετρηθέντων σημείων “ST” στην περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας» με την τεχνική *Fast Static*.

Ο παραπάνω Πίνακας 5.5 δίνει με παρόμοιο τρόπο τα ίδια στοιχεία με τους πίνακες 5.3 και 5.4, με τη μόνη διαφορά ότι προσδιορίζει τη χρονική στιγμή των μετρήσεων σε κάθε σημείο και τις συντεταγμένες των σημείων στο σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ'87 με τη μορφή (φ,λ,h).

Η μέθοδος Fast Static κατά την εφαρμογή των υπηρεσιών μετεπεξεργασίας συγκριτικά με τις μεθόδους πραγματικού χρόνου VRS-RTK και Single-Base RTK είναι σαφώς ακριβέστερη, αλλά δεν μπορεί να γίνει πλήρης σύγκριση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιώντας τους παραπάνω πίνακες, λόγω της διαφορετικής μορφής των αρχείων και των αποτελεσμάτων που προσφέρουν οι μέθοδοι πραγματικού χρόνου και οι μέθοδοι μετεπεξεργασίας, καθώς και λόγω των διαφορετικών σταθμών αναφοράς (εικονικών ή πραγματικών) σε κάθε περίπτωση. Στις περιπτώσεις των εφαρμογών πραγματικού χρόνου οι πίνακες που προέκυψαν με τα στοιχεία των σημείων δεν περιείχαν τα στατιστικά μεγέθη RMS γιατί οι λύσεις των σημείων ήταν άμεσες, τη χρονική στιγμή των μετρήσεων, και δεν δίνεται η δυνατότητα της εκ των υστέρων επεξεργασίας των αποτελεσμάτων.

Χρησιμοποιώντας όμως τα δεδομένα του Παραρτήματος Α, προέκυψε ο παρακάτω Πίνακας 5.6, ο οποίος περιέχει για τα σημεία “ST” τις οριζοντιογραφικές και υψομετρικές ακρίβειές τους, τις ακρίβειες προσδιορισμού τους, τα μήκη των αντίστοιχων βάσεων τους καθώς και τον αριθμό των παρατηρούμενων δορυφόρων οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν στη συνδυασμένη επίλυση των παρατηρήσεων του “Virtual_286” και των σημείων “ST”.

Περιοχή "Δουκίσσης Πλακεντίας"					
Μέθοδος: VRS Post-Processing (Fast Static)					
Όνομα Σημείου	H Precision (m)	V Precision (m)	RMS (m)	Μήκος Βάσης (m)	Αριθμός Παρατηρούμενων Δορυφόρων
ST 01	0,003	0,010	0,007	23,680	7
ST 02	0,004	0,012	0,008	23,971	7
ST 03	0,002	0,004	0,006	10,215	7
ST 04	0,003	0,010	0,005	9,698	6
ST 05	0,003	0,005	0,007	18,755	8
ST 06	0,006	0,011	0,008	21,601	7
ST 07	0,007	0,011	0,009	15,515	7
ST 08	0,005	0,011	0,008	1,576	7
ST 09	0,003	0,008	0,006	20,023	6

Πίνακας 5.6: Στατιστικά στοιχεία επίλυσης των σημείων "ST" στην περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας».

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των Πινάκων 5.1, 5.2 και 5.6, όσον αφορά τις οριζοντιογραφικές H και υψομετρικές V ακρίβειες των σημείων "ST" στις τρεις αντίστοιχες μεθόδους VRS-RTK, Single-Base RTK και VRS Post-Processing, παρατηρείται ότι χρησιμοποιώντας την εφαρμογή μετεπεξεργασίας του HEPOS με τη μέθοδο Fast Static επιτεύχθηκε καλύτερη οριζοντιογραφική και υψομετρική ακρίβεια της τάξης των 2-7 mm και 4-12 mm αντίστοιχα. Η αμέσως καλύτερη οριζοντιογραφική και υψομετρική ακρίβεια επιτεύχθηκε με τη μέθοδο VRS-RTK, της τάξης των 7-9 mm και 12-15 mm αντίστοιχα, ενώ με τη μέθοδο Single-Base RTK επιτεύχθηκε ελάχιστα χειρότερη οριζοντιογραφική και υψομετρική ακρίβεια της τάξης των 10-12 mm και 17-22 mm αντίστοιχα.

Για την περιοχή «Λεωφ. Μαραθώνος» και για τις εφαρμογές πραγματικού χρόνου, τις τεχνικές δηλαδή VRS-RTK και Single-Base RTK, προέκυψαν, ομοίως με τους πίνακες για την περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας», οι παρακάτω Πίνακες 5.7 και 5.8:

Vector List

Precision Confidence Level: 95%								
Vector ID	From Point ID	To Point ID	Solution Type	Start Time	Duration	H Precision (Meter)	V Precision (Meter)	Ellip. Dist. (Meter)
V1	PRS158373396412	VRS1	Fixed	05/11/2008 15:52:41	00:00:05	0.011	0.017	10624.057
V2	PRS158373396412	VRS2	Fixed	05/11/2008 15:55:26	00:00:05	0.014	0.020	10628.003
V3	PRS158373396412	VRS3	Fixed	05/11/2008 15:55:59	00:00:05	0.014	0.020	10635.510
V4	PRS158373396412	VRS4	Fixed	05/11/2008 15:56:31	00:00:05	0.014	0.018	10643.010
V5	PRS158373396412	VRS5	Fixed	05/11/2008 15:57:03	00:00:05	0.014	0.019	10643.014
V6	PRS158373396412	VRS6	Fixed	05/11/2008 15:57:56	00:00:05	0.014	0.019	10641.221
V7	PRS158373396412	VRS7	Fixed	05/11/2008 15:58:28	00:00:05	0.013	0.018	10644.319
V8	PRS158373396412	VRS8	Fixed	05/11/2008 15:59:00	00:00:05	0.014	0.018	10640.138
V9	PRS158373396412	VRS9	Fixed	05/11/2008 15:59:23	00:00:05	0.014	0.019	10638.187
V10	PRS158373396412	VRS10	Fixed	05/11/2008 16:02:08	00:00:05	0.014	0.020	10638.053
V11	PRS158373396412	VRS11	Fixed	05/11/2008 16:02:37	00:00:05	0.014	0.019	10631.721
V12	PRS158373396412	VRS12	Fixed	05/11/2008 16:03:01	00:00:05	0.014	0.019	10630.530
V13	PRS158373396412	VRS13	Fixed	05/11/2008 16:03:32	00:00:05	0.013	0.018	10631.345
V14	PRS158373396412	VRS14	Fixed	05/11/2008 16:03:50	00:00:06	0.013	0.018	10632.044

Πίνακας 5.7: Στοιχεία διανυσμάτων μετρηθέντων σημείων “VRS” στην περιοχή «Λεωφ. Μαραθώνος» με την τεχνική VRS-RTK.

Vector List

Precision Confidence Level: 95%								
Vector ID	From Point ID	To Point ID	Solution Type	Start Time	Duration	H Precision (Meter)	V Precision (Meter)	Ellip. Dist. (Meter)
V1	RTCM0098	Single1	Fixed	05/11/2008 15:13:36	00:00:06	0.024	0.040	10624.068
V2	RTCM0098	Single2	Fixed	05/11/2008 15:14:03	00:00:05	0.022	0.037	10628.020
V3	RTCM0098	Single3	Fixed	05/11/2008 15:14:30	00:00:05	0.022	0.039	10635.508
V4	RTCM0098	Single4	Fixed	05/11/2008 15:17:21	00:00:05	0.024	0.040	10643.018
V5	RTCM0098	Single5	Fixed	05/11/2008 15:17:48	00:00:05	0.023	0.039	10641.208
V6	RTCM0098	Single6	Fixed	05/11/2008 15:18:18	00:00:05	0.023	0.039	10644.306
V7	RTCM0098	Single7	Fixed	05/11/2008 15:18:43	00:00:05	0.022	0.035	10640.156
V8	RTCM0098	Single8	Fixed	05/11/2008 15:19:06	00:00:05	0.023	0.036	10638.182
V9	RTCM0098	Single9	Fixed	05/11/2008 15:19:30	00:00:05	0.022	0.034	10638.034
V10	RTCM0098	Single10	Fixed	05/11/2008 15:19:58	00:00:05	0.022	0.034	10631.710
V11	RTCM0098	Single11	Fixed	05/11/2008 15:20:21	00:00:05	0.023	0.035	10630.523
V12	RTCM0098	Single12	Fixed	05/11/2008 15:20:51	00:00:05	0.022	0.036	10631.334
V13	RTCM0098	Single13	Fixed	05/11/2008 15:21:17	00:00:05	0.022	0.037	10632.038

Πίνακας 5.8: Στοιχεία διανυσμάτων μετρηθέντων σημείων “Single” στην περιοχή «Λεωφ. Μαραθώνος» με την τεχνική Single-Base RTK.

Στους παραπάνω πίνακες αναφέρεται, ομοίως με τους Πίνακες 5.1 και 5.2, η ονομασία των διανυσμάτων και των σημείων, ο σταθμός αναφοράς ως προς τον οποίο έγιναν οι επιλύσεις (εικονικός ή πραγματικός), η ακριβής χρονική στιγμή και η χρονική διάρκεια των μετρήσεων σε κάθε σημείο, η οριζοντιογραφική και υψομετρική τους ακρίβεια καθώς και η κεκλιμένη απόσταση από τον Μόνιμο Σταθμό Αναφοράς RTCM0098, για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Από τα στοιχεία των πινάκων αυτών παρατηρείται ότι στην τεχνική VRS-RTK επιτεύχθηκε καλύτερη οριζοντιογραφική και υψομετρική ακρίβεια, της τάξης των 11-14 mm και 17-20 mm αντίστοιχα, σε σχέση με την τεχνική Single-Base RTK, όπου οι αντίστοιχες ακρίβειες είναι της τάξης των 22-24 mm και 34-40 mm, καθιστώντας την τεχνική VRS-RTK πιο ακριβή μέθοδο στην περίπτωση της απόστασης των 10 km από τον Σταθμό Αναφοράς RTCM0098.

Σημειώνεται ότι η αρίθμηση των μετρηθέντων σημείων για την περιοχή «Λεωφ. Μαραθώνος» στο καταγραφικό των δεκτών έγινε ξεκινώντας από την αρχή. Οπότε γίνεται η αντιστοιχία των σημείων VRS10 έως VRS22 με τα σημεία VRS1 έως VRS13 των πινάκων που προέκυψαν από το λογισμικό επίλυσης. Επίσης, στον Πίνακα 5.7 παρατηρείται πλήθος 14 και όχι 13 σημείων. Αυτό οφείλεται σε λάθος εκτίμηση του χρήστη, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, στην κέντρωση της κεραίας πάνω στο σημείο. Έτσι επαναλήφθηκε η μέτρηση στο σημείο χωρίς να διορθωθεί η αρίθμηση στο καταγραφικό. Τα δύο αυτά σημεία του Πίνακα 5.7 είναι τα VRS4 και VRS5 και επειδή οι δύο αυτές μετρήσεις δεν είχαν τεράστια απόκλιση επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί η πρώτη μέτρηση του σημείου.

5.3 Επεξεργασία και Σύγκριση Αποτελεσμάτων

Οι συντεταγμένες των σημείων που μετρήθηκαν και στις δύο περιοχές δόθηκαν αρχικά από το σύστημα HEPOS ως προς το σύστημα αναφοράς HTRS'07. Χρησιμοποιώντας όμως ένα μοντέλο μετασχηματισμού μεταξύ του συστήματος αναφοράς του HEPOS και του ΕΓΣΑ'87, το οποίο είχε εισαχθεί κατάλληλα στο λογισμικό επίλυσης "Trimble Geomatics Office", προσδιορίστηκαν απευθείας οι συντεταγμένες των σημείων στο ΕΓΣΑ'87, με Η το ορθομετρικό τους υψόμετρο.

Οι τελικές συντεταγμένες των σημείων “VRS” της περιοχής «Δουκίσσης Πλακεντίας», ως προς το σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ’87, παρατίθενται στον παρακάτω Πίνακα 5.9:

ΔΟΥΚ. ΠΛΑΚΕΝΤΙΑΣ (3 Km από Σταθμό Αναφοράς RTCM0098)

Μέθοδος: VRS-RTK

Σύστημα Αναφοράς: ΕΓΣΑ’87

Όνομα Σημείου	X (m)	Y (m)	H (m)
PRS158373396412	482571,327	4206385,353	206,818
VRS1	485291,491	4208155,433	212,553
VRS2	485290,966	4208155,911	212,568
VRS3	485312,818	4208175,790	212,766
VRS4	485313,670	4208175,225	212,838
VRS5	485321,982	4208181,970	212,922
VRS6	485317,157	4208186,777	212,896
VRS7	485324,662	4208175,606	212,795
VRS8	485312,353	4208164,869	212,626
VRS9	485298,029	4208152,240	212,448

Πίνακας 5.9: Συντεταγμένες των σημείων “VRS” στην περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας» υπολογισμένες από δικτυακή λύση.

Οι τελικές συντεταγμένες των σημείων “Single” της περιοχής «Δουκίσσης Πλακεντίας», ως προς το σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ’87, παρατίθενται στον παρακάτω Πίνακα 5.10:

ΔΟΥΚ. ΠΛΑΚΕΝΤΙΑΣ (3 Km από Σταθμό Αναφοράς RTCM0098)

Μέθοδος: SINGLE-BASE RTK

Σύστημα Αναφοράς: ΕΓΣΑ’87

Όνομα Σημείου	X (m)	Y (m)	H (m)
RTCM0098	482571,327	4206385,353	206,818
Single1	485291,492	4208155,428	212,548
Single2	485290,967	4208155,912	212,573
Single3	485312,825	4208175,796	212,776
Single4	485313,679	4208175,213	212,838
Single5	485321,958	4208181,962	212,914
Single6	485317,151	4208186,774	212,910
Single7	485324,636	4208175,588	212,801
Single8	485312,336	4208164,853	212,635
Single9	485298,013	4208152,218	212,442

Πίνακας 5.10: Συντεταγμένες των σημείων “Single” στην περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας» υπολογισμένες από τον «πραγματικό» σταθμό RTCM0098.

Από τους πίνακες 5.9 και 5.10, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων με τις μεθόδους VRS-RTK και Single-Base RTK για την περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας», παρατηρούμε διαφορές στις τιμές των συντεταγμένων των σημείων της τάξης των 11 mm για τις τετμημένες X (1 mm – 26 mm), 10 mm για τις τεταγμένες Y (1 mm – 22 mm) και 7 mm για τα υψόμετρα H (0 mm – 14 mm).

Οι τελικές συντεταγμένες των σημείων “ST” της περιοχής «Δουκίσσης Πλακεντίας», ως προς το σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ’87, παρατίθενται στον παρακάτω Πίνακα 5.11:

ΔΟΥΚ. ΠΛΑΚΕΝΤΙΑΣ (3 Km από Σταθμό Αναφοράς RTCM0098)

Μέθοδος: VRS POST-PROCESSING

Σύστημα Αναφοράς: ΕΓΣΑ’87

Όνομα Σημείου	X (m)	Y (m)	H (m)
Virtual_286	485312,799	4208165,694	211,327
ST01	485291,495	4208155,450	212,525
ST02	485290,957	4208155,921	212,561
ST03	485312,825	4208175,803	212,770
ST04	485313,686	4208175,229	212,835
ST05	485321,977	4208181,964	212,910
ST06	485317,164	4208186,781	212,908
ST07	485324,651	4208175,594	212,757
ST08	485312,346	4208164,872	212,591
ST09	485298,019	4208152,243	212,403

Πίνακας 5.11: Συντεταγμένες των σημείων “ST” στην περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας» υπολογισμένες από την υπηρεσία μετεπεξεργασίας του HEPOS.

Από τους πίνακες 5.9 και 5.11, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων με τις μεθόδους VRS-RTK και VRS Post-Processing για την περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας», παρατηρούνται διαφορές στις τιμές των συντεταγμένων των σημείων της τάξης των 8 mm για τις τετμημένες X (4 mm – 16 mm), 8 mm για τις τεταγμένες Y (3 mm – 17 mm) και 20 mm για τα υψόμετρα H (3 mm – 45 mm).

Από τους πίνακες 5.10 και 5.11, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων με τις μεθόδους VRS Post-Processing και Single-Base RTK για την περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας», παρατηρούνται διαφορές στις τιμές των συντεταγμένων των σημείων της τάξης των 9 mm για τις τετμημένες X (0 mm – 19 mm), 12 mm για τις τεταγμένες Y (2 mm – 25 mm) και 19 mm για τα υψόμετρα H (2 mm – 44 mm).

Οι τελικές συντεταγμένες των σημείων “VRS” της περιοχής «Λεωφ. Μαραθώνος», ως προς το σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ’87, παρατίθενται στον παρακάτω Πίνακα 5.12:

ΛΕΩΦ.ΜΑΡΑΘΩΝΟΣ (10 Km από Σταθμό Αναφοράς RTCM0098)

Μέθοδος: VRS-RTK

Σύστημα Αναφοράς: ΕΓΣΑ’87

Όνομα Σημείου	X (m)	Y (m)	H (m)
PRS158373396412	482571,327	4206385,353	206,818
VRS10	493133,902	4205284,463	119,503
VRS11	493138,968	4205295,073	119,722
VRS12	493147,389	4205303,614	120,210
VRS13	493154,492	4205299,349	120,087
VRS14	493151,995	4205292,602	119,593
VRS15	493154,121	4205283,084	119,262
VRS16	493149,516	4205279,222	119,352
VRS17	493147,568	4205279,334	119,379
VRS18	493147,736	4205282,241	119,345
VRS19	493141,273	4205281,285	119,444
VRS20	493140,069	4205281,214	119,468
VRS21	493141,733	4205289,344	119,473
VRS22	493142,424	4205289,225	119,446

Πίνακας 5.12: Συντεταγμένες των σημείων “VRS” στην περιοχή «Λεωφ. Μαραθώνος» υπολογισμένες από δικτυακή λύση.

Οι τελικές συντεταγμένες των σημείων “Single” της περιοχής «Λεωφ. Μαραθώνος», ως προς το σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ’87, παρατίθενται στον παρακάτω Πίνακα 5.13:

ΛΕΩΦ.ΜΑΡΑΘΩΝΟΣ (10 Km από Σταθμό Αναφοράς RTCM0098)

Μέθοδος: SINGLE-BASE RTK

Σύστημα Αναφοράς: ΕΓΣΑ’87

Όνομα Σημείου	X (m)	Y (m)	H (m)
RTCM0098	482571,327	4206385,353	206,818
Single10	493133,911	4205284,452	119,484
Single11	493138,985	4205295,077	119,735
Single12	493147,384	4205303,589	120,231
Single13	493154,493	4205299,327	120,085
Single14	493151,982	4205292,608	119,634
Single15	493154,109	4205283,082	119,277
Single16	493149,534	4205279,217	119,366
Single17	493147,562	4205279,332	119,381
Single18	493147,720	4205282,265	119,351
Single19	493141,263	4205281,293	119,437
Single20	493140,062	4205281,229	119,476
Single21	493141,723	4205289,348	119,462
Single22	493142,417	4205289,225	119,453

Πίνακας 5.13: Συντεταγμένες των σημείων “Single” στην περιοχή «Λεωφ. Μαραθώνος» υπολογισμένες από τον «πραγματικό» σταθμό RTCM0098.

Από τους πίνακες 5.12 και 5.13, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων με τις μεθόδους VRS-RTK και Single-Base RTK για την περιοχή «Λεωφ. Μαραθώνος», παρατηρούμε διαφορές στις τιμές των συντεταγμένων των σημείων της τάξης των 10 mm για τις τετμημένες X (1 mm – 18 mm), 9 mm για τις τεταγμένες Y (0 mm – 25 mm) και 13 mm για τα υψόμετρα H (2 mm – 41 mm).

Οι διαφορές των συντεταγμένων των σημείων εμφανίζονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω Πίνακα 5.14:

		Μέση Τιμή (m)	Εύρος Τιμών (m)
Περιοχή "Δουκίσσης Πλακεντίας" VRS-RTK – Single-Base RTK	ΔX	0,011	0,001 - 0,026
	ΔY	0,010	0,001 - 0,022
	ΔH	0,007	0,000 - 0,014
<hr/>			
Περιοχή "Δουκίσσης Πλακεντίας" VRS-RTK - VRS Post-Processing	ΔX	0,008	0,004 - 0,016
	ΔY	0,008	0,003 - 0,017
	ΔH	0,020	0,003 - 0,045
<hr/>			
Περιοχή "Δουκίσσης Πλακεντίας" VRS Post-Processing – Single-Base RTK	ΔX	0,009	0,000 - 0,019
	ΔY	0,012	0,002 - 0,025
	ΔH	0,019	0,002 - 0,044
<hr/>			
Περιοχή "Λεωφ. Μαραθώνος" VRS-RTK – Single-Base RTK	ΔX	0,010	0,001 - 0,018
	ΔY	0,009	0,000 - 0,025
	ΔH	0,013	0,002 - 0,041

Πίνακας 5.14: Μέσες τιμές και εύρος τιμών των διαφορών των συντεταγμένων των σημείων που προκύπτουν από τις συγκρίσεις των τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν.

Οι διαφορές των συντεταγμένων των σημείων, όπως προκύπτουν από τις συγκρίσεις των τριών τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν, υποδηλώνουν ότι η δικτυακή τεχνική VRS προσφέρει αναμενόμενα αποτελέσματα, εντός των αποδεκτών ορίων του συστήματος HEPOS (1-2 cm).

Επομένως η επιτευγμένη ακρίβεια μέσω της δικτυακής αυτής τεχνικής είναι αποδεκτή για τοπογραφικές εργασίες που απαιτούν ακρίβειες της τάξης λίγων εκατοστών.

Οι μέσες τιμές του Πίνακα 5.14 προκύπτουν από τους παρακάτω Πίνακες 5.15, 5.16, 5.17, 5.18, στους οποίους εμφανίζονται οι τιμές των διαφορών των συντεταγμένων για κάθε σημείο όπως προκύπτουν από τις συγκρίσεις ανάμεσα στις τεχνικές VRS-RTK, Single-Base RTK και VRS Post-Processing καθώς και οι τιμές των RMS των διαφορών των συντεταγμένων των σημείων, όπως προκύπτουν από κάθε σύγκριση.

Περιοχή "Δουκίσσης Πλακεντίας"			
VRS-RTK – Single-Base RTK			
A/A Σημείων	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔH (m)
1	0,001	0,005	0,005
2	0,001	0,001	0,005
3	0,007	0,006	0,010
4	0,009	0,012	0,000
5	0,024	0,008	0,008
6	0,006	0,003	0,014
7	0,026	0,018	0,006
8	0,017	0,016	0,009
9	0,016	0,022	0,006
RMS			
	0,015	0,012	0,008

Πίνακας 5.15: Διαφορές των συντεταγμένων κάθε σημείου και τα RMS των διαφορών αυτών συγκρίνοντας τις τεχνικές VRS-RTK και Single-Base RTK για την περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας».

Περιοχή "Δουκίσσης Πλακεντίας"			
VRS-RTK - VRS Post-Processing			
A/A Σημείων	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔH (m)
1	0,004	0,017	0,028
2	0,009	0,010	0,007
3	0,007	0,013	0,004
4	0,016	0,004	0,003
5	0,005	0,006	0,012
6	0,007	0,004	0,012
7	0,011	0,012	0,038
8	0,007	0,003	0,035
9	0,010	0,003	0,045
RMS			
	0,009	0,009	0,025

Πίνακας 5.16: Διαφορές των συντεταγμένων κάθε σημείου και τα RMS των διαφορών αυτών συγκρίνοντας τις τεχνικές VRS-RTK και VRS Post-Processing για την περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας».

Παρατηρώντας τα στοιχεία των Πινάκων 5.15 και 5.16, συμπεραίνεται ότι χρησιμοποιώντας την τεχνική VRS-RTK στην περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας» τα αποτελέσματα που επιτυγχάνονται είναι πλησιέστερα από οριζοντιογραφική άποψη στα αποτελέσματα που προκύπτουν με τη χρήση της τεχνικής VRS Post-Processing, ενώ από υψομετρική άποψη είναι πλησιέστερα στα αποτελέσματα που προκύπτουν χρησιμοποιώντας την τεχνική Single-Base RTK. Οι τεχνικές πραγματικού χρόνου προσδιορίζουν υψόμετρα με σχεδόν ίδιας τάξης ακρίβειες, ελάχιστα χειρότερες των ακριβειών που προσφέρουν οι επιλύσεις εκ των υστέρων, ενώ οι δικτυακές τεχνικές, πραγματικού χρόνου ή μετεπεξεργασίας, προσδιορίζουν τις οριζοντιογραφικές συντεταγμένες με σχεδόν ίδιας τάξης ακρίβειες.

Περιοχή "Δουκίσσης Πλακεντίας"			
VRS Post-Processing – Single-Base RTK			
A/A Σημείων	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔH (m)
1	0,003	0,022	0,023
2	0,010	0,009	0,012
3	0,000	0,007	0,006
4	0,007	0,016	0,003
5	0,019	0,002	0,004
6	0,013	0,007	0,002
7	0,015	0,006	0,044
8	0,010	0,019	0,044
9	0,006	0,025	0,039
RMS			
	0,011	0,015	0,026

Πίνακας 5.17: Διαφορές των συντεταγμένων κάθε σημείου και τα RMS των διαφορών αυτών συγκρίνοντας τις τεχνικές VRS Post-Processing και Single-Base RTK για την περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας».

Συγκρίνοντας τα RMS των Πινάκων 5.15, 5.16 και 5.17, παρατηρείται ότι για τις διαφορές των τετμημένων X και των τεταγμένων Y, στην περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας», μικρότερες τιμές των RMS των διαφορών αυτών εμφανίζονται στη σύγκριση των τεχνικών VRS-RTK και VRS Post-Processing (9 mm) , σε σχέση με τις συγκρίσεις VRS-RTK με Single-Base RTK (15 mm και 12 mm αντίστοιχα) και VRS Post-Processing με Single-Base RTK (11 mm και 15 mm αντίστοιχα). Για τις διαφορές των υψομέτρων H παρατηρείται από τη σύγκριση των τεχνικών VRS-RTK και Single-Base RTK τιμή του RMS ίση με 8 mm, ενώ συγκρίνοντας την τεχνική VRS Post-Processing με τις τεχνικές VRS-RTK και Single-Base RTK παρατηρούνται τιμές του RMS ίσες με 25 mm και 26 mm αντίστοιχα.

Περιοχή "Λεωφ. Μαραθώνος"			
VRS-RTK – Single-Base RTK			
A/A Σημείων	ΔX (m)	ΔY (m)	ΔH (m)
10	0,009	0,011	0,019
11	0,017	0,004	0,013
12	0,005	0,025	0,021
13	0,001	0,022	0,002
14	0,013	0,006	0,041
15	0,012	0,002	0,015
16	0,018	0,005	0,014
17	0,006	0,002	0,002
18	0,016	0,024	0,006
19	0,010	0,008	0,007
20	0,007	0,015	0,008
21	0,010	0,004	0,011
22	0,007	0,000	0,007
RMS	0,011	0,013	0,016

Πίνακας 5.18: Διαφορές των συντεταγμένων κάθε σημείου και τα RMS των διαφορών αυτών συγκρίνοντας τις τεχνικές VRS-RTK και Single-Base RTK για την περιοχή «Λεωφ. Μαραθώνος».

Από τους Πίνακες 5.15 και 5.18, για τη σύγκριση των τεχνικών VRS-RTK και Single-Base RTK στην περιοχή «Λεωφ. Μαραθώνος», παρατηρείται ότι τα RMS των ΔX και ΔY είναι περίπου της ίδιας τάξης με τα αντίστοιχα RMS που προκύπτουν από τη σύγκριση των τεχνικών αυτών στην περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας». Η μόνη διαφορά παρατηρείται στις τιμές των RMS των ΔH, όπως προκύπτουν από τις ίδιες συγκρίσεις στις δύο περιοχές. Η τιμή του RMS των ΔH για την περιοχή «Λεωφ. Μαραθώνος» είναι διπλάσια από την αντίστοιχη τιμή του RMS για την περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας».

Παρατηρώντας τις συγκρίσεις των αποτελεσμάτων των περιπτώσεων πραγματικού χρόνου, δηλαδή των μεθόδων VRS-RTK και Single-Base RTK, και στις δύο περιοχές, και δεδομένου ότι η μέθοδος VRS-RTK χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που η περιοχή προς μελέτη βρίσκεται εντός της περιοχής δικτυακής λύσης και δεν επηρεάζεται από την απόστασή της από τον πλησιέστερο Μόνιμο Σταθμό Αναφοράς, συμπεραίνεται ότι η μέθοδος VRS-RTK προσφέρει καλύτερη οριζοντιογραφική και υψομετρική ακρίβεια σε σχέση με τη μέθοδο Single-Base RTK, και ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που ο χρήστης απομακρύνεται από τον πλησιέστερο Μόνιμο Σταθμό Αναφοράς.

Στην περίπτωση της εφαρμογής μετεπεξεργασίας του HEPOS χρησιμοποιώντας την τεχνική Fast Static, προκύπτουν σαφώς καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά την οριζοντιογραφική και υψομετρική τους ακρίβεια. Η μεγαλύτερη διάρκεια των μετρήσεων στο πεδίο με τη μέθοδο του σχετικού στατικού προσδιορισμού θέσης και η δυνατότητα της εκ των υστέρων επεξεργασίας των αποτελεσμάτων, σε συνδυασμό με τις διαθέσιμες παρατηρήσεις εικονικών σταθμών αναφοράς, προσφέρουν μεγαλύτερες ακρίβειες στα αποτελέσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 Γενικά

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε χρήση του συστήματος HEPOS, χρησιμοποιώντας την τεχνική RTK με Εικονικούς Σταθμούς Αναφοράς VRS (VRS-RTK). Στόχος της εργασίας αυτής ήταν να ελεγχθεί αν και κατά πόσο τα αποτελέσματα εντοπισμού θέσης που προσφέρει η τεχνική VRS-RTK, σε συνδυασμό με το σύστημα HEPOS, είναι μέσα στις προβλεπόμενες ακρίβειες της τάξης του 1-2 cm. Τα αποτελέσματα των εφαρμογών της δικτυακής αυτής τεχνικής στις δύο επιλεγμένες περιοχές του Λεκανοπεδίου Αττικής είναι εντός των προδιαγραφών για γεωδαιτικές εφαρμογές του συστήματος HEPOS.

Στο κεφάλαιο αυτό συγκεντρώνονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της δικτυακής αυτής τεχνικής VRS-RTK χρησιμοποιώντας το σύστημα HEPOS καθώς και οι προτάσεις για την περαιτέρω εξέλιξη της χρήσης της τεχνικής αυτής και της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

6.2 Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την επεξεργασία και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των τριών χρησιμοποιούμενων τεχνικών (VRS-RTK, Single-Base RTK, VRS Post-Processing) είναι τα εξής:

- ο Για την περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας», σε απόσταση 3 km από το σταθμό αναφοράς RTCM0098, οι ακρίβειες είναι της τάξης των 7-9 mm οριζοντιογραφικά και 12-15 mm υψομετρικά για την τεχνική VRS-RTK, της τάξης των 10-12 mm οριζοντιογραφικά και 17-22 mm υψομετρικά για την τεχνική Single-Base RTK και της τάξης των 2-7 mm οριζοντιογραφικά και 4-12 mm υψομετρικά για την τεχνική VRS Post-Processing. Για την περιοχή «Λεωφ. Μαραθώνος», σε απόσταση 10 km από το σταθμό αναφοράς RTCM0098, οι ακρίβειες αυτές είναι της τάξης των 11-14 mm και 17-20 mm αντίστοιχα για την τεχνική VRS-RTK και της τάξης των 22-24 mm και 34-40 mm αντίστοιχα για την τεχνική Single-Base RTK.

- Από τις οριζοντιογραφικές και υψομετρικές ακρίβειες που προσφέρουν οι τρεις χρησιμοποιούμενες τεχνικές παρατηρείται ότι η τεχνική VRS-RTK συγκριτικά με την τεχνική Single-Base RTK, ως δικτυακή τεχνική παρέχει αποτελέσματα μεγαλύτερης ακρίβειας, και ιδιαίτερα στην περίπτωση που αυξάνεται η απόσταση των μετρηθέντων σημείων από τον Μόνιμο Σταθμό Αναφοράς.
- Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις τεχνικές VRS-RTK και Single-Base RTK, συμπεραίνεται ότι οριζοντιογραφικά οι διαφορές των συντεταγμένων των σημείων είναι της τάξης του 1 - 2 cm, και για τις δύο περιοχές, ενώ υψομετρικά όσο αυξάνει η απόσταση από τον Μόνιμο Σταθμό Αναφοράς μεγαλώνει και η διαφορά των τιμών των υψομέτρων.
- Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την τεχνική VRS Post-Processing με τα αποτελέσματα των τεχνικών VRS-RTK και Single-Base RTK για την περιοχή «Δουκίσσης Πλακεντίας», συμπεραίνεται ότι οριζοντιογραφικά οι διαφορές των συντεταγμένων των σημείων είναι της τάξης του 1-2 cm, ενώ υψομετρικά οι διαφορές των τιμών των υψομέτρων είναι τις τάξης των 2-3 cm.
- Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, από άποψη οριζοντιογραφικής και υψομετρικής ακρίβειας, συμπεραίνεται ότι είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί δικτυακή λύση με εφαρμογή της υπηρεσίας μετεπεξεργασίας του HEPOS, αφού οι τεχνικές στατικού προσδιορισμού θέσης προσδίδουν, όπως αναμένεται, μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με τις τεχνικές πραγματικού χρόνου.
- Όσον αφορά την εφαρμογή της υπηρεσίας μετεπεξεργασίας του HEPOS, η οποία έγινε με χρήση της τεχνικής σχετικού στατικού προσδιορισμού θέσης Fast Static, συμπεραίνεται ότι τα αποτελέσματά της προσφέρουν μεγαλύτερη οριζοντιογραφική και υψομετρική ακρίβεια, σε σχέση με τα αποτελέσματα των τεχνικών VRS-RTK και Single-Base RTK.
- Επειδή η εκ των υστέρων δικτυακή λύση είναι περισσότερο χρονοβόρα, συμπεραίνεται ότι η χρήση της τεχνικής VRS-RTK προσδίδει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε περιπτώσεις αποτυπώσεων σημείων όπου χρειάζεται να επιτευχθεί ακρίβεια προσδιορισμού θέσης της τάξης των λίγων εκατοστών.

- Οι τιμές των συντεταγμένων των μετρηθέντων σημείων δίνονται ως προς το σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ'87 και οι τιμές των υψομέτρων ως προς τη Μ.Σ.Θ. (ορθομετρικά υψόμετρα). Οι τιμές αυτές προκύπτουν μέσω ενός μοντέλου μετασχηματισμού ανάμεσα στο ΕΓΣΑ'87 και το σύστημα αναφοράς του HEPOS το HTRS'07. Οι παράμετροι και οι συντελεστές του μοντέλου αυτού δεν παρατίθενται στην παρούσα διπλωματική εργασία γιατί το μοντέλο μετασχηματισμού χρησιμοποιήθηκε μέσω της εταιρίας GEOTECH.

Τα γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν από τη χρήση της δικτυακής τεχνικής VRS-RTK και συστήματος HEPOS είναι τα εξής:

- Για τη χρήση της τεχνικής VRS-RTK το λογισμικό του γεωδαιτικού δέκτη GPS που την υποστηρίζει είναι ιδιαίτερα εύχρηστο και δεν διαφέρει πολύ από το αντίστοιχο λογισμικό της κλασσικής τεχνικής RTK.
- Το σύστημα HEPOS είναι και αυτό με τη σειρά του ιδιαίτερα εύχρηστο. Σε συνδυασμό με τα εξελεγμένα Ελληνικά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, παρέχει με ικανοποιητική ταχύτητα και ακρίβεια τα απαραίτητα δεδομένα στον χρήστη, χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα σύνδεσης.
- Εξακολουθεί ωστόσο να υπάρχει περιθώριο εξέλιξης και ανάπτυξης της τηλεπικοινωνιακής υποδομής στον Ελλαδικό χώρο για μεγαλύτερη ευκολία στη χρήση και στην ενημέρωση των παρεχόμενων υπηρεσιών GSM/GPRS, όσον αφορά τις γεωδαιτικές ή άλλες εφαρμογές των δικτυακών τεχνικών GPS.

6.3 Προτάσεις

Αρχικά παρατίθενται ορισμένες προτάσεις για μελλοντική χρήση και εξέλιξη της διπλωματικής εργασίας, οι οποίες είναι οι εξής:

- Μπορούν να επιλεγούν ορισμένα ήδη υπάρχοντα σταθερά σημεία ή να δημιουργηθούν κάποια σημεία εκ νέου, στα οποία θα γίνει εφαρμογή της

τεχνικής VRS-RTK. Οι συντεταγμένες των σημείων αυτών, σε περίπτωση που δεν είναι γνωστές, θα προσδιοριστούν αρχικά εφαρμόζοντας την τεχνική του σχετικού στατικού προσδιορισμού θέσης, επιλύοντας τις βάσεις των σημείων ως προς κάποιο υπάρχον σταθερό σημείο, του οποίου οι συντεταγμένες έχουν ήδη προσδιοριστεί με μεγάλη ακρίβεια. Ένα τέτοιο σημείο θα μπορούσε να είναι κάποιο τριγωνομετρικό σημείο εντός της Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου, λόγω της εύκολης πρόσβασης στην περιοχή. Με βάση αυτά τα αποτελέσματα μπορεί να γίνει μία πιο ακριβής σύγκριση ανάμεσα στην τεχνική VRS-RTK και σε οποιαδήποτε άλλη τεχνική προσδιορισμού συντεταγμένων.

- Για να είναι πιο εύχρηστα και συγκρίσιμα τα αποτελέσματα των εφαρμογών θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί, ομοίως με τη παρούσα διπλωματική εργασία, ένα μοντέλο μετασχηματισμού ανάμεσα στα συστήματα αναφοράς HTRS'07 του HEPOS και του ΕΓΣΑ'87, το οποίο είτε θα δημιουργηθεί εκ νέου με βάση τις κατάλληλες παραμέτρους και συντελεστές ή θα χρησιμοποιηθεί μέσω του συστήματος HEPOS από εγκεκριμένο χρήστη. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να είναι γνωστά όλα τα στοιχεία του μοντέλου αυτού, για να μπορεί να ελεγχθεί με ποιο τρόπο και σε ποιο βαθμό επηρεάζονται τα αποτελέσματα από το μοντέλο μετασχηματισμού.
- Μπορεί επιπρόσθετα να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν από την εφαρμογή της δικτυακής τεχνικής VRS-RTK χρησιμοποιώντας δέκτες GPS διαφόρων κατασκευαστών. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να εξεταστεί αν και κατά πόσο επηρεάζονται τα αποτελέσματα της τεχνικής αυτής από τους διαφορετικούς τύπους δεκτών, οι οποίοι βέβαια θα πρέπει να είναι συμβατοί με την τεχνική VRS-RTK καθώς και με το σύστημα HEPOS.

Σύμφωνα με τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την εφαρμογή της τεχνικής RTK με Εικονικούς Σταθμούς Αναφοράς VRS στο δίκτυο HEPOS, παρατίθενται ορισμένες προτάσεις για την περαιτέρω εξέλιξη και καλύτερη λειτουργία και χρήση του συστήματος HEPOS, οι οποίες είναι οι εξής:

- Ενημέρωση των χρηστών του συστήματος HEPOS, με τη μορφή σεμιναρίων από την ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε., σχετικά με τη χρήση του συστήματος και

- τις καινούριες έννοιες και λειτουργίες που παρέχει, με τις οποίες οι χρήστες δεν έχουν εξοικειωθεί ακόμη πλήρως.
- Επιπρόσθετη ανάπτυξη των δικτύων κινητής τηλεφωνίας, έτσι ώστε να παρέχουν τη δυνατότητα εκτέλεσης εφαρμογών σε οποιοδήποτε σημείο στον Ελλαδικό χώρο εντός των περιοχών δικτυακής λύσης.
 - Ενημέρωση του προσωπικού των εταιρειών κινητής τηλεφωνίας για τη χρήση των υπηρεσιών GSM και GPRS σε γεωδαιτικές ή άλλες εφαρμογές χρησιμοποιώντας γεωδαιτικούς δέκτες GPS, έτσι ώστε να μπορεί να είναι σε θέση να υποστηρίζει τους χρήστες σε οποιοδήποτε πρόβλημα ή απορία σχετικά με τις χρήσεις αυτές στις εφαρμογές τους.
 - Ίδρυση επιπρόσθετων Μόνιμων Σταθμών Αναφοράς για το δίκτυο του HEPOS, τοποθετημένων σε βάθρα για μεγαλύτερη σταθερότητα.

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Γιαννίου Μ. (2008) (Α): «Χρήση των υπηρεσιών πραγματικού χρόνου του HEPOS», Εκδήλωση «HEPOS και σύγχρονα γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς: Θεωρία και υλοποίηση, προοπτικές και εφαρμογές», Παρουσίαση, Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.
2. Γιαννίου Μ. (2008) (Β): «Χρήση των υπηρεσιών μετεπεξεργασίας του HEPOS», Εκδήλωση «HEPOS και σύγχρονα γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς: Θεωρία και υλοποίηση, προοπτικές και εφαρμογές», Παρουσίαση, Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.
3. Γιαννίου Μ. (2008) (Γ): «HEPOS και σύγχρονες δικτυακές τεχνικές GPS», Εκδήλωση «HEPOS και σύγχρονα γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς: Θεωρία και υλοποίηση, προοπτικές και εφαρμογές», Παρουσίαση, Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.
4. Γιαννίου Μ. (2007): «Χρήση του HEPOS στην καθημερινή Πρακτική», Εκδήλωση «HEPOS - Ένα ενιαίο σύστημα εντοπισμού για την Ελλάδα - Υλοποίηση, Επιπτώσεις, Προοπτικές», Παρουσίαση, Ε.Μ.Π. Αθήνα.
5. Γιαννίου Μ., Αυγερινός Κ. (2006): «Σχεδιασμός του Ελληνικού Συστήματος Εντοπισμού HEPOS», Ημερίδα «CYPOS: Κυπριακό Σύστημα Υπηρεσιών Εντοπισμού», Παρουσίαση, Λευκωσία.
6. Γιαννίου Μ., Μάστορης Δ. (2007): «Περιγραφή του HEPOS και των υπηρεσιών που παρέχει», Εκδήλωση «HEPOS - Ένα ενιαίο σύστημα εντοπισμού για την Ελλάδα - Υλοποίηση, Επιπτώσεις, Προοπτικές», Παρουσίαση, Ε.Μ.Π. Αθήνα.
7. Δεληκαράογλου Δ. (2006): «Διαφαινόμενες Προοπτικές από τη Δικτυακή Υποδομή του HEPOS για τη Μετάδοση Χωρικών Πληροφοριών Μέσω Υπηρεσιών Web και Ασύρματων Κινητών Συσκευών» Πρακτικά 9^{ου} Εθνικού Συνεδρίου Χαρτογραφίας, Χανιά.

8. Δεληκαράογλου Δ. (2007): «Βιωσιμότητα του HEPOS», Εκδήλωση «HEPOS - Ένα ενιαίο σύστημα εντοπισμού για την Ελλάδα - Υλοποίηση, Επιπτώσεις, Προοπτικές», Παρουσίαση, Ε.Μ.Π. Αθήνα.
9. Δεληκαράογλου Δ. (2008): «Διεθνείς Υπηρεσίες VRS/CORS – RTNets», Εκδήλωση «HEPOS και σύγχρονα γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς: Θεωρία και υλοποίηση, προοπτικές και εφαρμογές», Παρουσίαση, Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.
10. Κατσάμπαλος Κ., Κωτσάκης Χρ. (2008): «Το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς του HEPOS (HTRS07)», HEPOS workshop, Τ.Α.Τ.Μ., Α.Π.Θ., Εκδήλωση «HEPOS και σύγχρονα γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς: Θεωρία και υλοποίηση, προοπτικές και εφαρμογές», Παρουσίαση, Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.
11. Μάστορης Δ. (2008): «Περιγραφή του HEPOS», Εκδήλωση «HEPOS και σύγχρονα γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς: Θεωρία και υλοποίηση, προοπτικές και εφαρμογές», Παρουσίαση, Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.
12. Παραδείσης Δ. (2000): «Σημειώσεις Δορυφορικής Γεωδαισίας», Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου, Τομέας Τοπογραφίας, Ε.Μ.Π., Αθήνα.
13. Τσακίρη Μ. (2004): «Γεωδαισία Ι – Σημειώσεις Μαθήματος – Εισαγωγή στο GPS», Ε.Μ.Π., Σ.Α.Τ.Μ., Τομέας Τοπογραφίας, Ε.Γ.Γ., Αθήνα.
14. Φωτίου Α., Πικριδάς Χ. (2006): «GPS και Γεωδαιτικές Εφαρμογές», Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Ξένη Βιβλιογραφία

1. Delikaraoglou D. (2007): «The Hellenic Positioning System (HEPOS) and it's foreseeable implications on the Spatial Data Infrastructure In Greece» Proceedings of the FIG Commission 3 Workshop, Athens.
2. Hofmann – Wellenhof B., Lichtenegger H., Wasle E. (2008): «GNSS: Global Navigation Satellite Systems – GPS, GLONASS, Galileo, and More», Springer – Verlag, Wien / New York.
3. Leick A. (1995): «GPS Satellite Surveying», John Wiley & Sons, New York, 2nd Edition.
4. Seeber G. (2003): «Satellite Geodesy», De Guyter, Berlin, 2nd Edition.

5. Teunissen P.J.G., Kleusberg A. (1998): «GPS for Geodesy», Springer, 2nd Edition.

Δικτυακοί Τόποι

- <http://www.navcen.uscg.gov/> (Σεπτέμβριος 2008)
- <http://www.gps.gov/> (Σεπτέμβριος 2008)
- http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html
(Σεπτέμβριος 2008)
- <http://pro.magellangps.com/en/products/aboutgps/rtk.asp> (Σεπτέμβριος 2008)
- http://en.wikipedia.org/wiki/Real_Time_Kinematic (Σεπτέμβριος 2008)
- <http://www.nmea.org/> (Οκτώβριος 2008)
- <http://www.rtcn.org/> (Οκτώβριος 2008)
- <http://www.ntrip.org/> (Οκτώβριος 2008)
- <http://www.esa.int/esaNA/egnos.html> (Οκτώβριος 2008)
- <http://www.epncb.oma.be> (Φεβρουάριος 2009)
- <http://www.hepos.gr> (Φεβρουάριος 2009)
- <http://igsceb.jpl.nasa.gov/> (Φεβρουάριος 2009)
- <http://www.rtigs.net/index.php> (Φεβρουάριος 2009)
- <http://www.ga.gov.au/geodesy/argn/> (Φεβρουάριος 2009)
- <http://www.fig.net/pub/proceedings/korea/full-papers/pdf/session11/imakiire-nakahori.pdf> (Φεβρουάριος 2009)
- <http://swepos.lmv.lm.se/> (Φεβρουάριος 2009)
- <http://www.geometre-expert.fr/content/file/anne/agnes%20suisse.ppt>
(Φεβρουάριος 2009)
- http://www.geod.mncan.gc.ca/acp/cacs_e.php (Φεβρουάριος 2009)
- <http://on.dot.wi.gov/wisdotresearch/database/tsrs/tsrvirtualreferencestations.pdf>
(Φεβρουάριος 2009)
- <http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/en/home.html>
(Φεβρουάριος 2009)
- <http://mekira.gsi.go.jp/ENGLISH/> (Φεβρουάριος 2009)
- <http://www.hepos.blogspot.com/> (Δεκέμβριος 2008)

- <http://users.auth.gr/~kvek/auth-hepos> (Δεκέμβριος 2008)
- http://users.auth.gr/~kvek/HEPOS_2008/ (Δεκέμβριος 2008)
- <http://www.topo.org.cy/> (Φεβρουάριος 2009)
- http://www.survey.ntua.gr/geohopper/iCommons/HEPOS_wiki.htm
(Φεβρουάριος 2009)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Αρχεία Επιλύσεων των Σημείων “ST”

Λόγω του μεγάλου όγκου των αρχείων που προκύπτουν από τις επιλύσεις των βάσεων των σημείων “ST”, παρατίθενται στο συγκεκριμένο Παράρτημα Α ενδεικτικά τα στοιχεία για τα δύο πρώτα σημεία “ST01” και “ST02”.

Baseline Summary B18 (Virtual_286 to ST01)

Processed:	Tuesday, Mar 24, 2009 03:52:25PM	
Solution type:	L1 fixed	
Solution acceptability:	Solution acceptable	
Ephemeris used:	Broadcast	
Met Data:	Standard	
Baseline slope distance:	23.680m	
Elevation mask:	13 degrees	
Variance ratio:	3.4	
Reference variance:	3.907	
RMS:	0.007m	
Horizontal Precision 1-sigma (scaled):	0.003m	
Vertical Precision 1-sigma (scaled):	0.010m	
Start time (GPS Time):	09/02/27, 09:43:15.000	1520, 466995.000
Stop time (GPS Time):	09/02/27, 09:53:30.000	1520, 467610.000
Occupation time:	00:10:15.000	

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	Virtual_286				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4208165.695m	Latitude	38°01'15.82548"N	Latitude	38°01'25.16000"N
Easting	485312.799m	Longitude	23°49'57.58676"E	Longitude	23°50'03.70000"E
Elevation	211.327m	Height	218.829m	Height	250.000m
To:	ST01				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4208155.450m	Latitude	38°01'15.49184"N	Latitude	38°01'24.82638"N

Easting	485291.495m	Longitude	23°49'56.71371"E	Longitude	23°50'02.82691"E
Elevation	212.525m	Height	220.028m	Height	251.198m
Baseline:					
Δ Northing	-10.245m	NS Fwd Azimuth	244°12'58"	Δ X	15.265m
Δ Easting	-21.305m	Ell. Distance	23.649m	Δ Y	-16.538m
Δ Elevation	1.198m	Δ Height	1.198m	Δ Z	-7.366m

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.001m	σ NS Fwd Azimuth	11.250 seconds	σ Δ X	0.003m
σ Δ Easting	0.001m	σ Ell.Distance	0.001m	σ Δ Y	0.002m
σ Δ Elevation	0.005m	σ Δ Height	0.005m	σ Δ Z	0.003m

Aposteriori Covariance Matrix

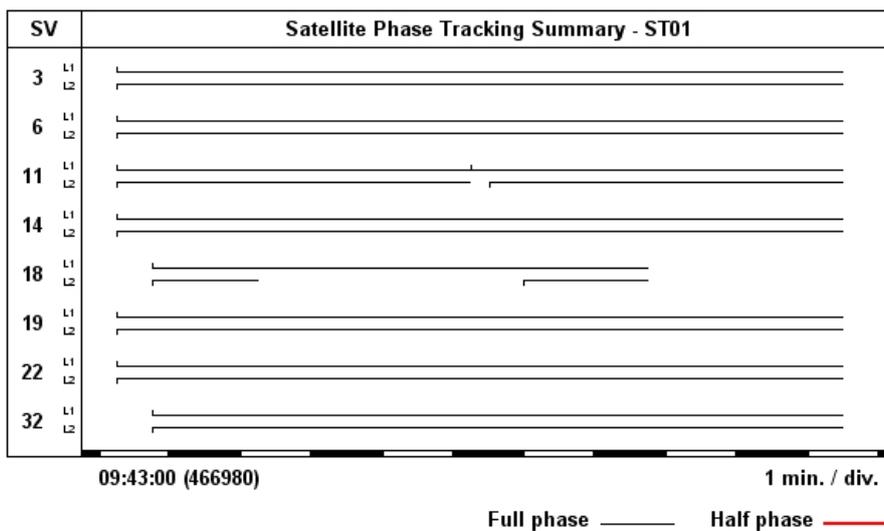
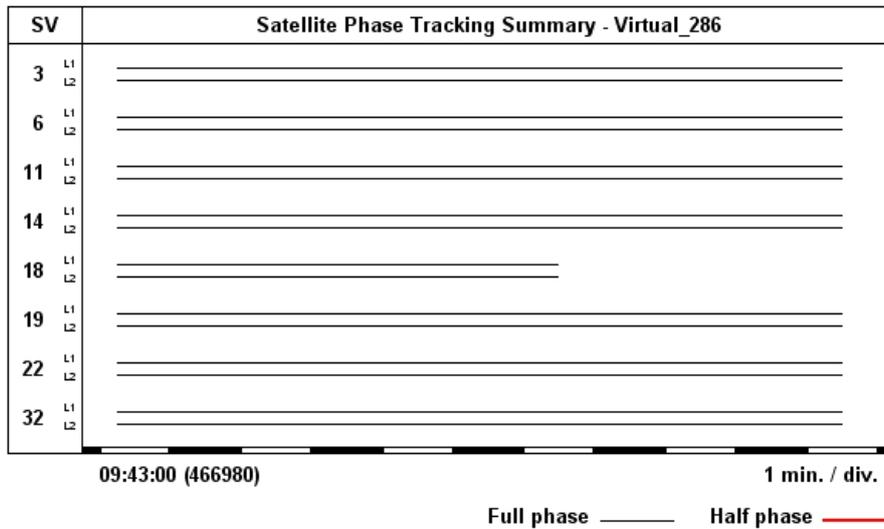
	X	Y	Z
X	9.968e-6m ²		
Y	5.753e-6m ²	5.639e-6m ²	
Z	9.180e-6m ²	6.296e-6m ²	1.170e-5m ²

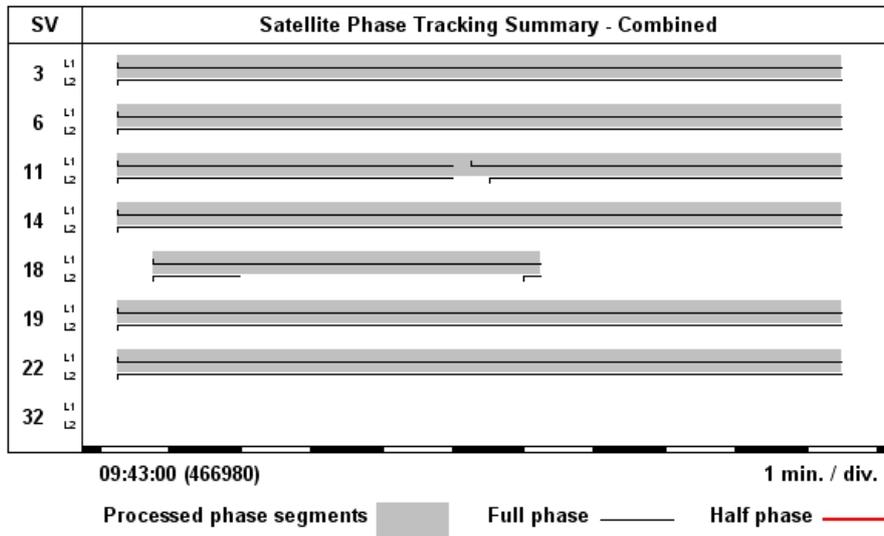
Occupations

	From	To
Point Name:	Virtual_286	ST01
Data file:	VirA058H-3.rnx	49310588.DAT
Receiver Type:	NetRS	5800
Receiver Serial Number:	4644124541	4621114931
Antenna type:	Zephyr Geodetic w/Radome	R8/5800/SPS78x Internal
Measured To:	Bottom of antenna mount	Center of bumper

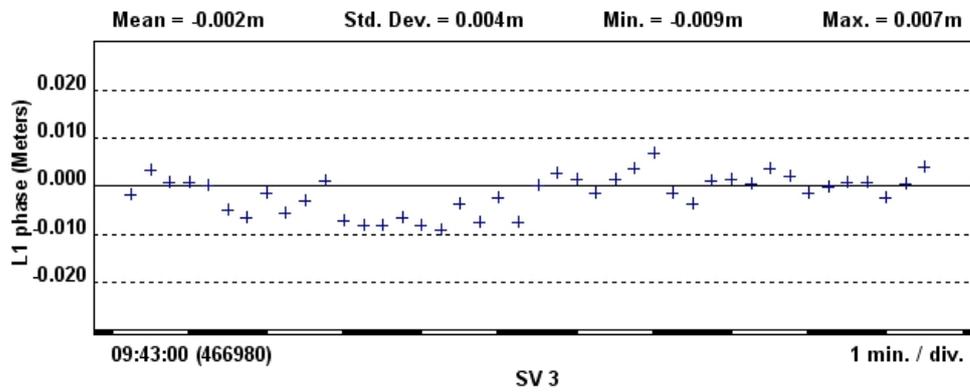
Antenna height	Measured	0.000m	1.350m
	APC	0.053m	1.357m

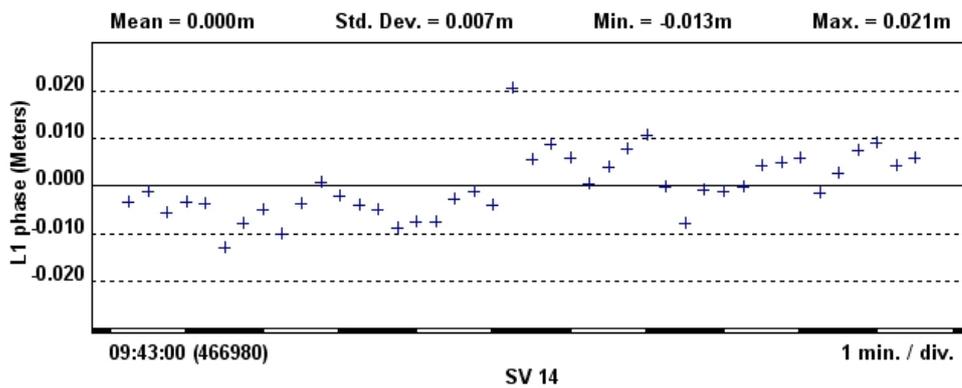
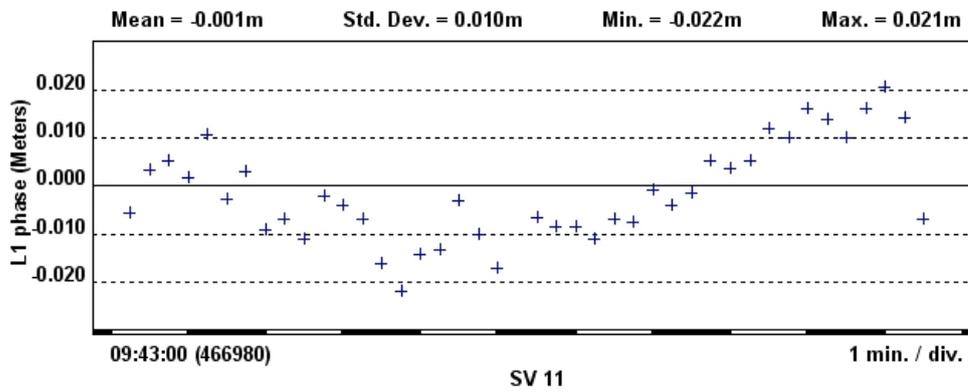
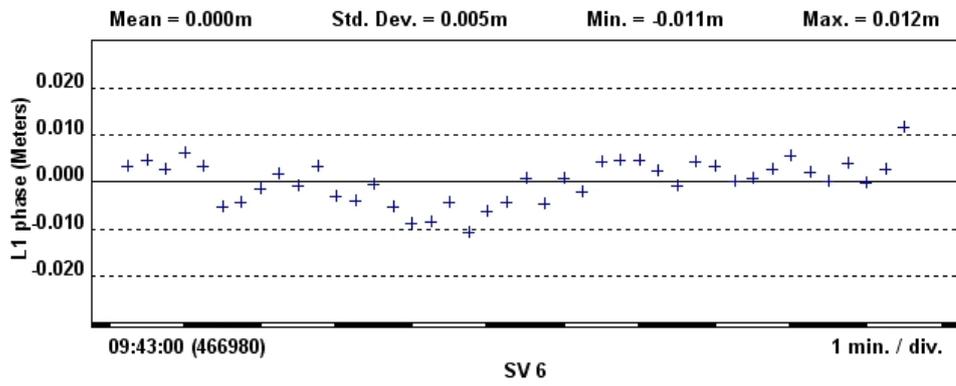
Tracking Summary

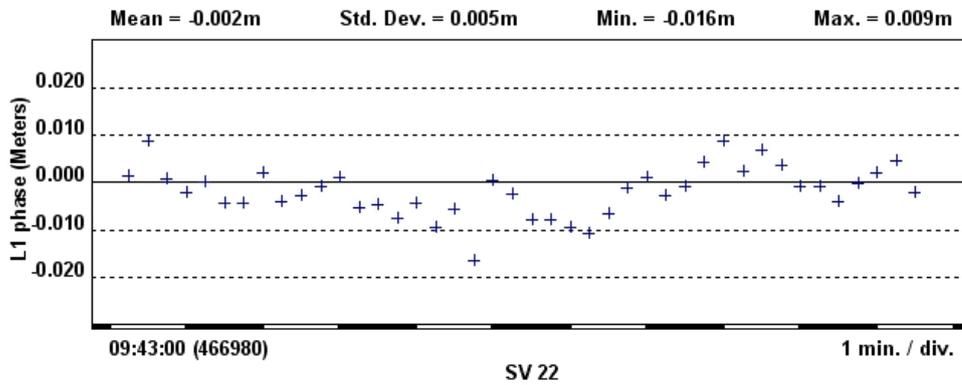
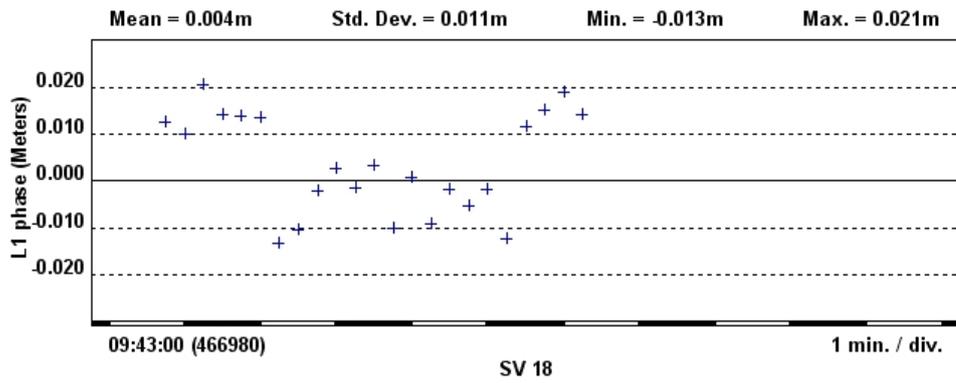




Residuals







Processing Style - Trimble Default

Elevation Mask	13 degrees
Ephemeris	Broadcast
Solution Type	Fixed

Static

Minimum baseline observation time	120 seconds
Maximum baseline length to attempt a fixed solution :	
Using broadcast ephemeris	200 kilometers

Using precise ephemeris	2000 kilometers
-------------------------	-----------------

Kinematic

Minimum reference observation time	600 seconds
Minimum static initialization observation time	120 seconds
Minimum known point initialization ratio	3.000
Minimum OTF processing time	200 seconds

Global

Frequency type	L1
Maximum fixable cycle slip (static processing only)	600 seconds
Maximum iterations (static processing only)	10
Maximum integer search time (static processing only)	30 minutes
Antenna Model	NGS

Quality

	Single frequency		Dual frequency	
	Flag	Fail	Flag	Fail
RMS acceptance criteria	0.030	0.040	0.020	0.030
Ratio acceptance criteria	3.000	1.500	3.000	1.500
Reference variance acceptance criteria	10.000	20.000	5.000	10.000
Edit multiplier	3.500			

Tropo

Model	Hopfield
Minimum zenith delay interval	2 hours
Use observed met data	Enabled

Iono

Ambiguity resolution pass (static processing only)	Enabled
Apply to all baselines longer than	10 kilometers
Final pass	Enabled
Apply to all baselines longer than	5 kilometers

Events

Interpolation method	Linear
Number of points to fit	2
Maximum allowed missing epochs	0
Time offset	0 microseconds

OTF Search

Search method	Optimal
----------------------	---------

Baseline Summary B19 (Virtual_286 to ST02)

Processed: Tuesday, Mar 24, 2009 03:52:25PM
Solution type: L1 fixed
Solution acceptability: Solution acceptable
Ephemeris used: Broadcast
Met Data: Standard
Baseline slope distance: 23.971m
Elevation mask: 13 degrees
Variance ratio: 10.9
Reference variance: 4.760
RMS: 0.008m
Horizontal Precision 1-sigma (scaled): 0.004m
Vertical Precision 1-sigma (scaled): 0.012m
Start time (GPS Time): 09/02/27, 09:29:45.000 1520, 466185.000
Stop time (GPS Time): 09/02/27, 09:39:30.000 1520, 466770.000
Occupation time: 00:09:45.000

Baseline Components (Mark to Mark)

From:	Virtual_286				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4208165.695m	Latitude	38°01'15.82548"N	Latitude	38°01'25.16000"N
Easting	485312.799m	Longitude	23°49'57.58676"E	Longitude	23°50'03.70000"E
Elevation	211.327m	Height	218.829m	Height	250.000m
To:	ST02				
Grid		Local		WGS 84	
Northing	4208155.921m	Latitude	38°01'15.50710"N	Latitude	38°01'24.84164"N
Easting	485290.957m	Longitude	23°49'56.69165"E	Longitude	23°50'02.80485"E
Elevation	212.561m	Height	220.065m	Height	251.234m
Baseline:					
Δ Northing	-9.773m	NS Fwd Azimuth	245°47'26"	Δ X	15.243m
Δ Easting	-21.842m	Ell. Distance	23.938m	Δ Y	-17.135m

Δ Elevation	1.235m	Δ Height	1.234m	Δ Z	-6.973m
--------------------	--------	-----------------	--------	------------	---------

Standard Errors

Baseline Errors:					
σ Δ Northing	0.002m	σ NS Fwd Azimuth	12.213 seconds	σ Δ X	0.004m
σ Δ Easting	0.002m	σ Ell.Distance	0.002m	σ Δ Y	0.003m
σ Δ Elevation	0.006m	σ Δ Height	0.006m	σ Δ Z	0.004m

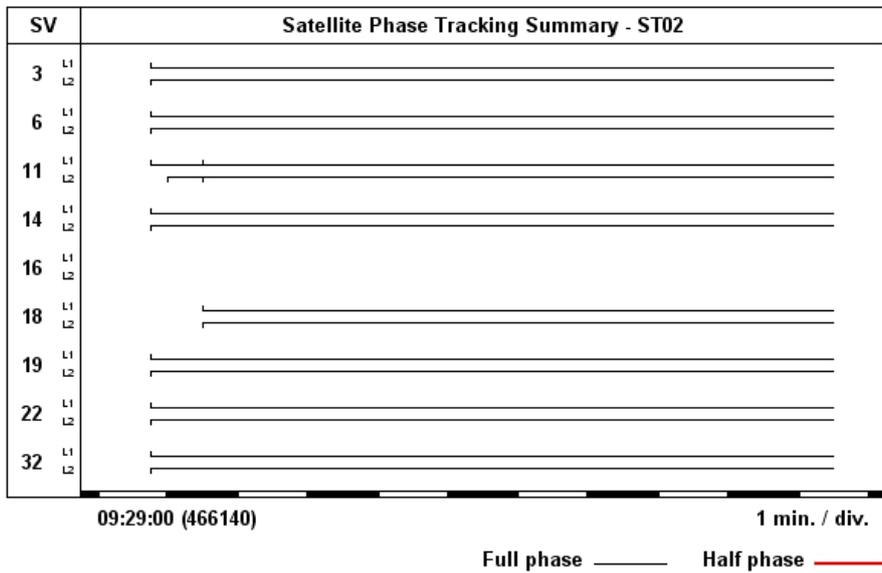
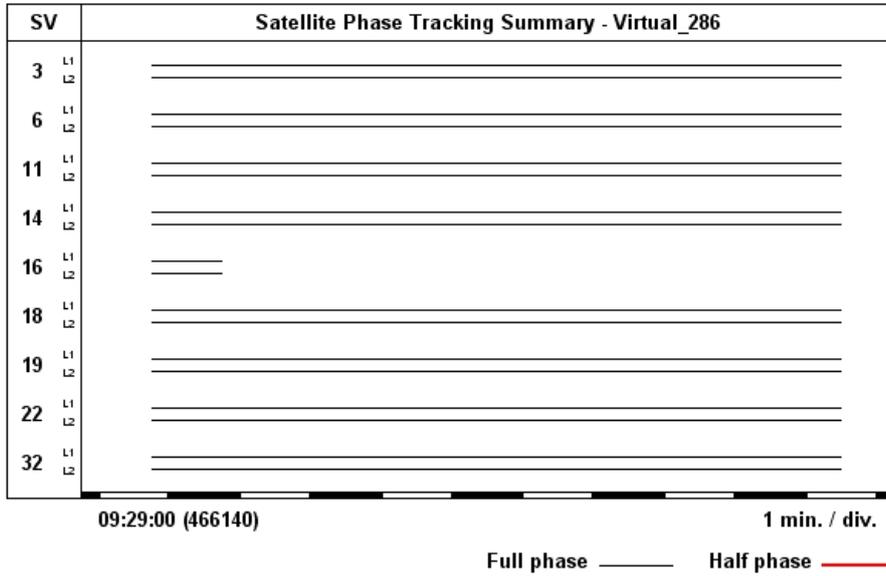
Aposteriori Covariance Matrix

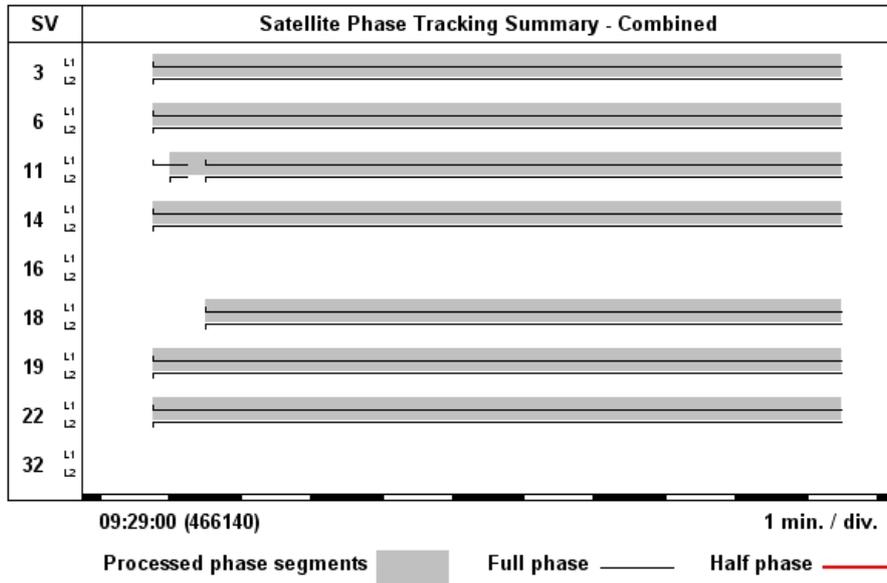
	X	Y	Z
X	1.244e-5m ²		
Y	7.677e-6m ²	7.927e-6m ²	
Z	1.229e-5m ²	9.336e-6m ²	1.673e-5m ²

Occupations

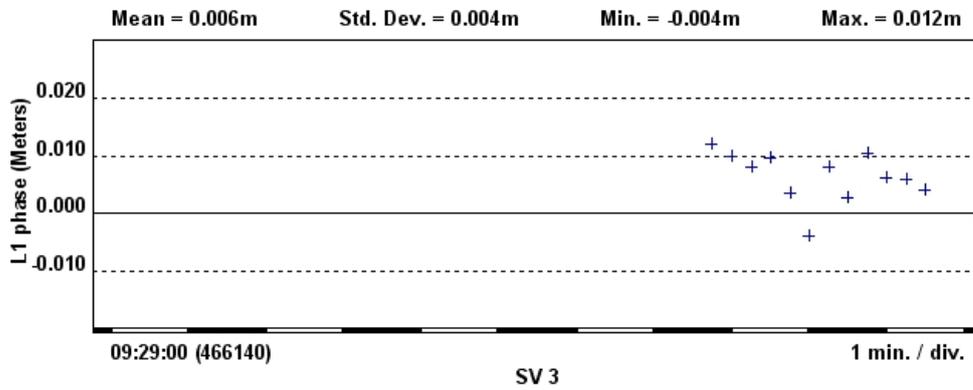
		From	To
Point Name:		Virtual_286	ST02
Data file:		VirA058H-3.rnx	49310587.DAT
Receiver Type:		NetRS	5800
Receiver Serial Number:		4644124541	4621114931
Antenna type:		Zephyr Geodetic w/Radome	R8/5800/SPS78x Internal
Measured To:		Bottom of antenna mount	Center of bumper
Antenna height	Measured	0.000m	1.326m
	APC	0.053m	1.333m

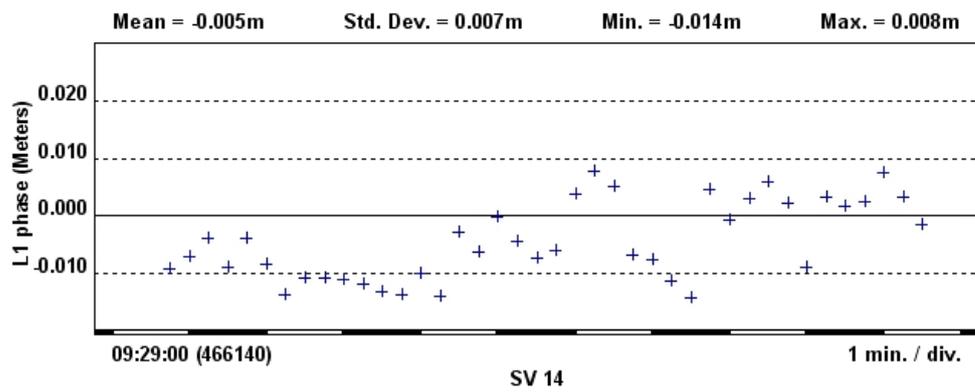
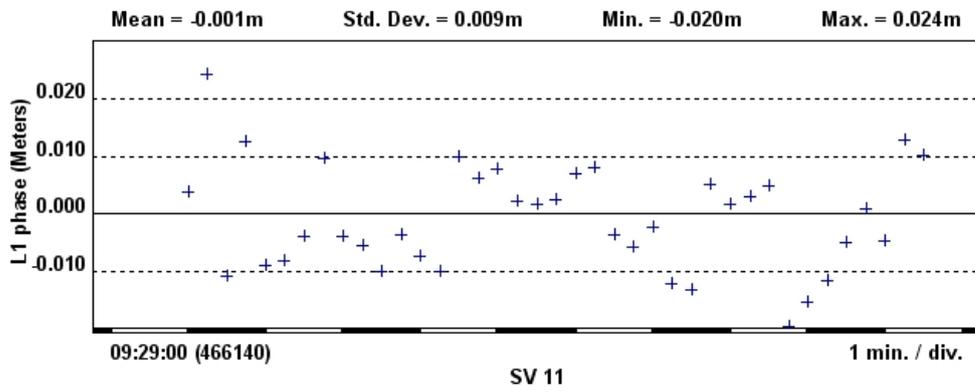
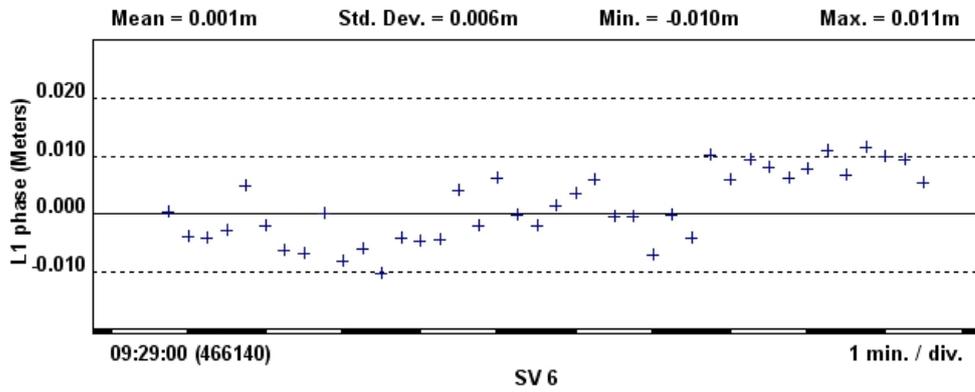
Tracking Summary

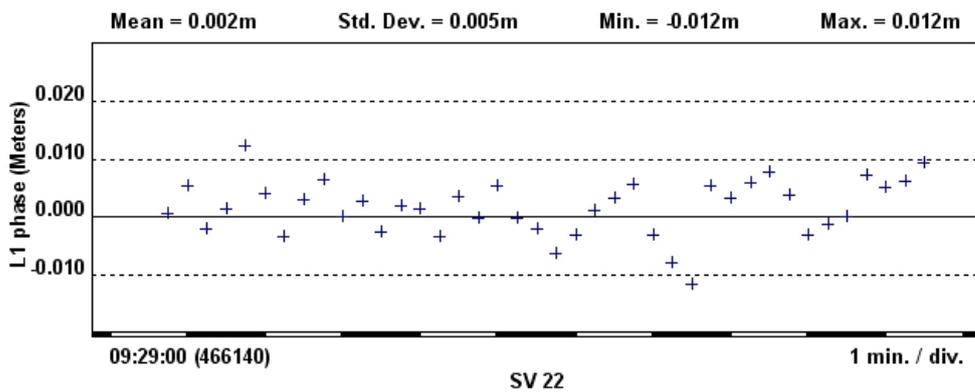
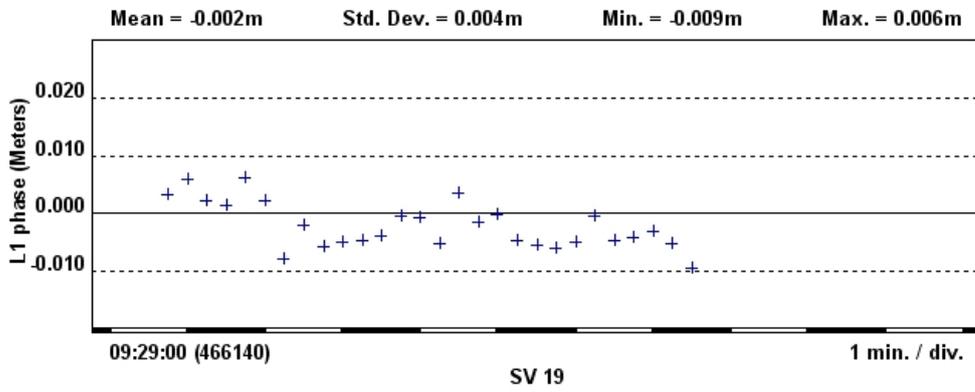
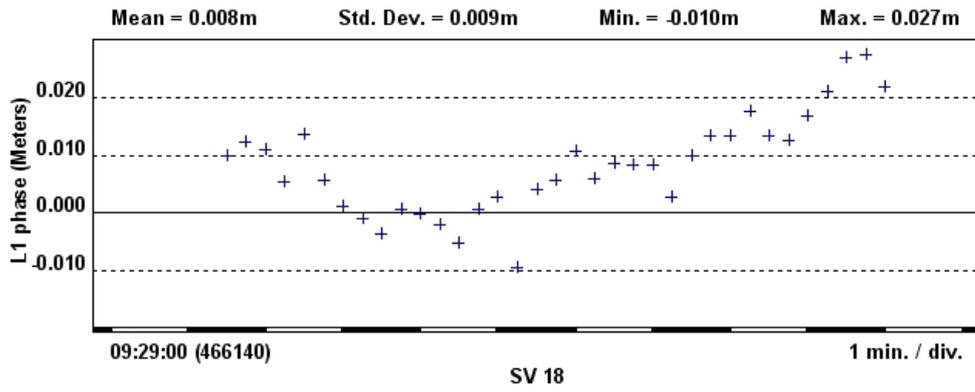




Residuals







Processing Style - Trimble Default

Elevation Mask	13 degrees
Ephemeris	Broadcast
Solution Type	Fixed

Static

Minimum baseline observation time	120 seconds
Maximum baseline length to attempt a fixed solution :	
Using broadcast ephemeris	200 kilometers
Using precise ephemeris	2000 kilometers

Kinematic

Minimum reference observation time	600 seconds
Minimum static initialization observation time	120 seconds
Minimum known point initialization ratio	3.000
Minimum OTF processing time	200 seconds

Global

Frequency type	L1
Maximum fixable cycle slip (static processing only)	600 seconds
Maximum iterations (static processing only)	10
Maximum integer search time (static processing only)	30 minutes
Antenna Model	NGS

Quality

	Single frequency		Dual frequency	
	Flag	Fail	Flag	Fail
RMS acceptance criteria	0.030	0.040	0.020	0.030
Ratio acceptance criteria	3.000	1.500	3.000	1.500
Reference variance acceptance criteria	10.000	20.000	5.000	10.000
Edit multiplier	3.500			

Tropo

Model	Hopfield
Minimum zenith delay interval	2 hours
Use observed met data	Enabled

Iono

Ambiguity resolution pass (static processing only)	Enabled
Apply to all baselines longer than	10 kilometers
Final pass	Enabled
Apply to all baselines longer than	5 kilometers

Events

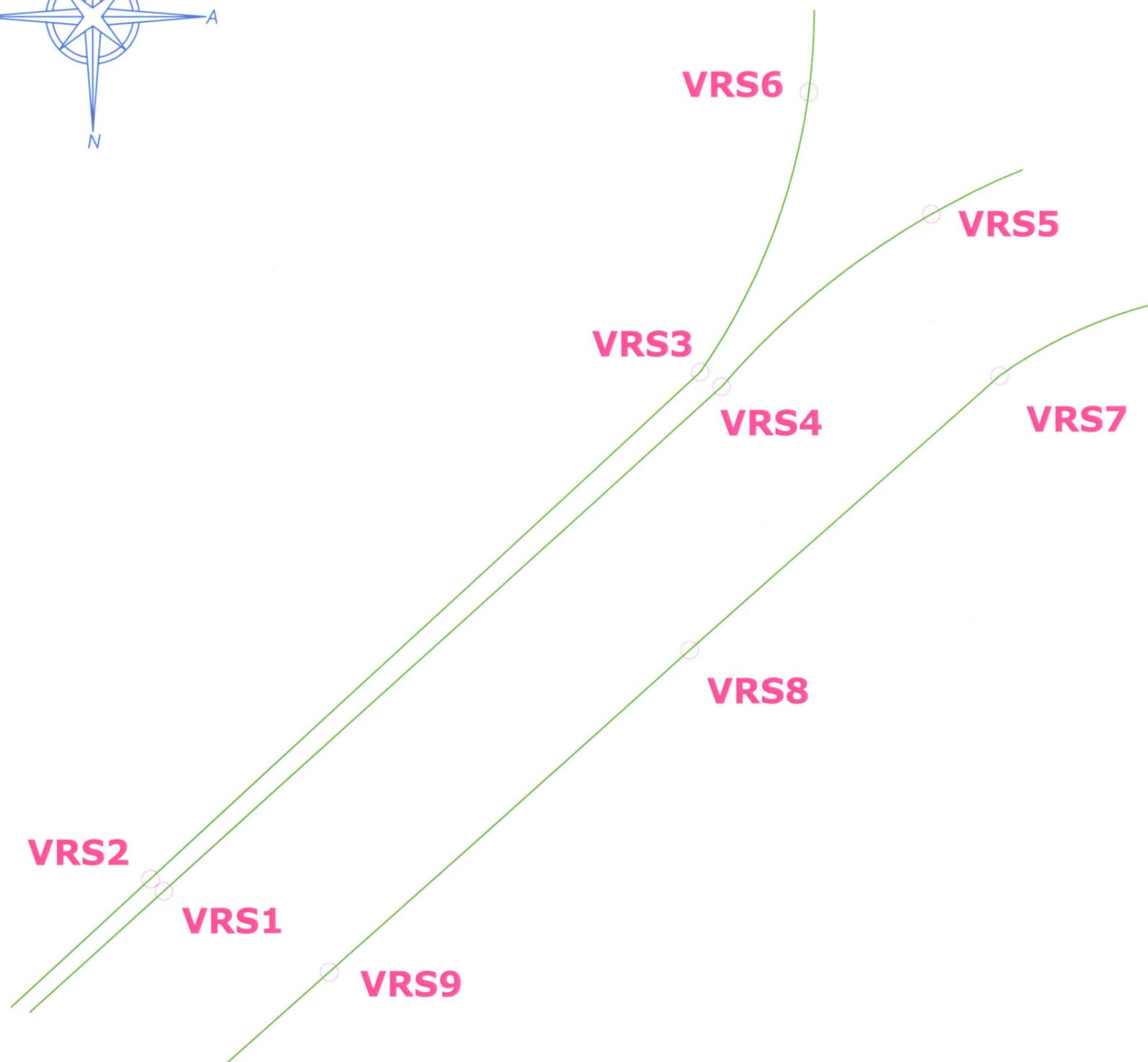
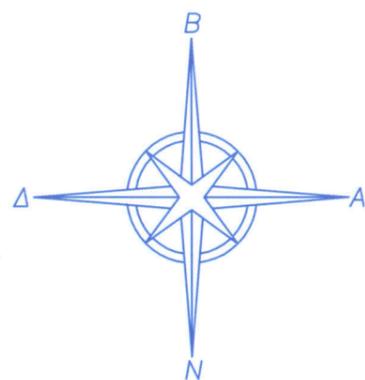
Interpolation method	Linear
Number of points to fit	2
Maximum allowed missing epochs	0
Time offset	0 microseconds

OTF Search

Search method	Optimal
---------------	---------

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Σχέδια



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- **VRS1** ΜΕΤΡΗΘΕΝΤΑ ΣΗΜΕΙΑ
— ΚΡΑΣΠΕΔΟ

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΣΗΜΕΙΩΝ

ΟΝΟΜΑ ΣΗΜΕΙΟΥ	X (m)	Y (m)	H (m)
VRS1	485291.491	4208155.433	212.553
VRS2	485290.966	4208155.911	212.568
VRS3	485312.818	4208175.790	212.766
VRS4	485313.670	4208175.225	212.838
VRS5	485321.982	4208181.970	212.922
VRS6	485317.157	4208186.777	212.896
VRS7	485324.662	4208175.606	212.795
VRS8	485312.353	4208164.869	212.626
VRS9	485298.029	4208152.240	212.448

ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΕΓΣΑ'87

ΤΑ ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΑΝΑΦΕΡΟΝΤΑΙ ΣΤΗ Μ.Σ.Θ.

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

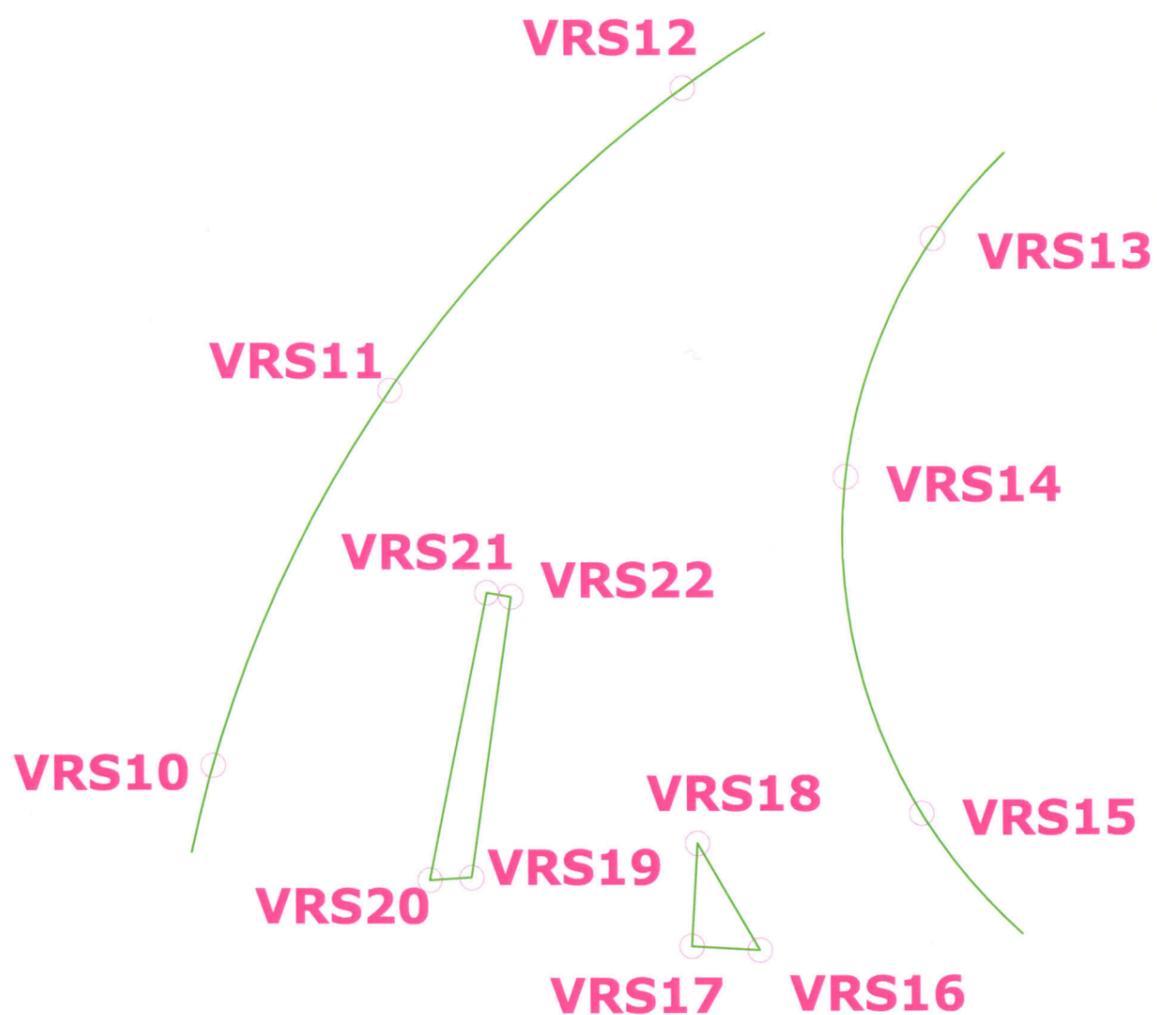
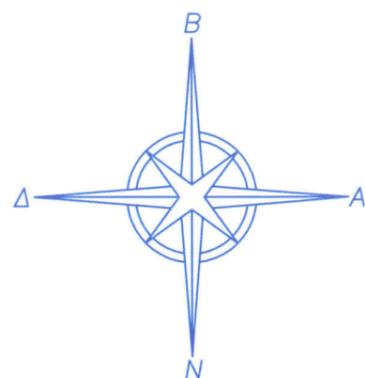
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΙΤΛΟΣ	ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ RTK ΜΕ ΕΙΚΟΝΙΚΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ VRS ΣΕ ΔΙΚΤΥΟ GPS
ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ	ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ ΣΗΜΕΙΑ VRS ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ "ΔΟΥΚΙΣΣΗΣ ΠΛΑΚΕΝΤΙΑΣ"
ΚΛΙΜΑΚΑ	1: 200
ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2009

ΕΚΠΟΝΗΣΗ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΧΑΣΑΝΔΡΑ ΒΑΣΙΛΕΙΑΝΝΑ



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- **VRS10** ΜΕΤΡΗΘΕΝΤΑ ΣΗΜΕΙΑ
— ΚΡΑΣΠΕΔΟ

ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΣΗΜΕΙΩΝ

ΟΝΟΜΑ ΣΗΜΕΙΟΥ	X (m)	Y (m)	H (m)
VRS10	493133.902	4205284.463	119.503
VRS11	493138.968	4205295.073	119.722
VRS12	493147.389	4205303.614	120.210
VRS13	493154.492	4205299.349	120.087
VRS14	493151.995	4205292.602	119.593
VRS15	493154.121	4205283.084	119.262
VRS16	493149.516	4205279.222	119.352
VRS17	493147.568	4205279.334	119.379
VRS18	493147.736	4205282.241	119.345
VRS19	493141.273	4205281.285	119.444
VRS20	493140.069	4205281.214	119.468
VRS21	493141.733	4205289.344	119.473
VRS22	493142.424	4205289.225	119.446

ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΕΓΣΑ'87

ΤΑ ΥΨΟΜΕΤΡΑ ΑΝΑΦΕΡΟΝΤΑΙ ΣΤΗ Μ.Σ.Θ.

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΓΕΩΔΑΙΣΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΙΤΛΟΣ
ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ RTK ΜΕ
ΕΙΚΟΝΙΚΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ
VRS ΣΕ ΔΙΚΤΥΟ GPS

ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ
2 - 1
ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ
ΣΗΜΕΙΑ VRS ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ
"ΛΕΩΦ. ΜΑΡΑΘΩΝΟΣ"

ΚΛΙΜΑΚΑ
1: 200

ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ
ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2009

ΕΚΠΟΝΗΣΗ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΧΑΣΑΝΔΡΑ ΒΑΣΙΛΕΙΑΝΝΑ