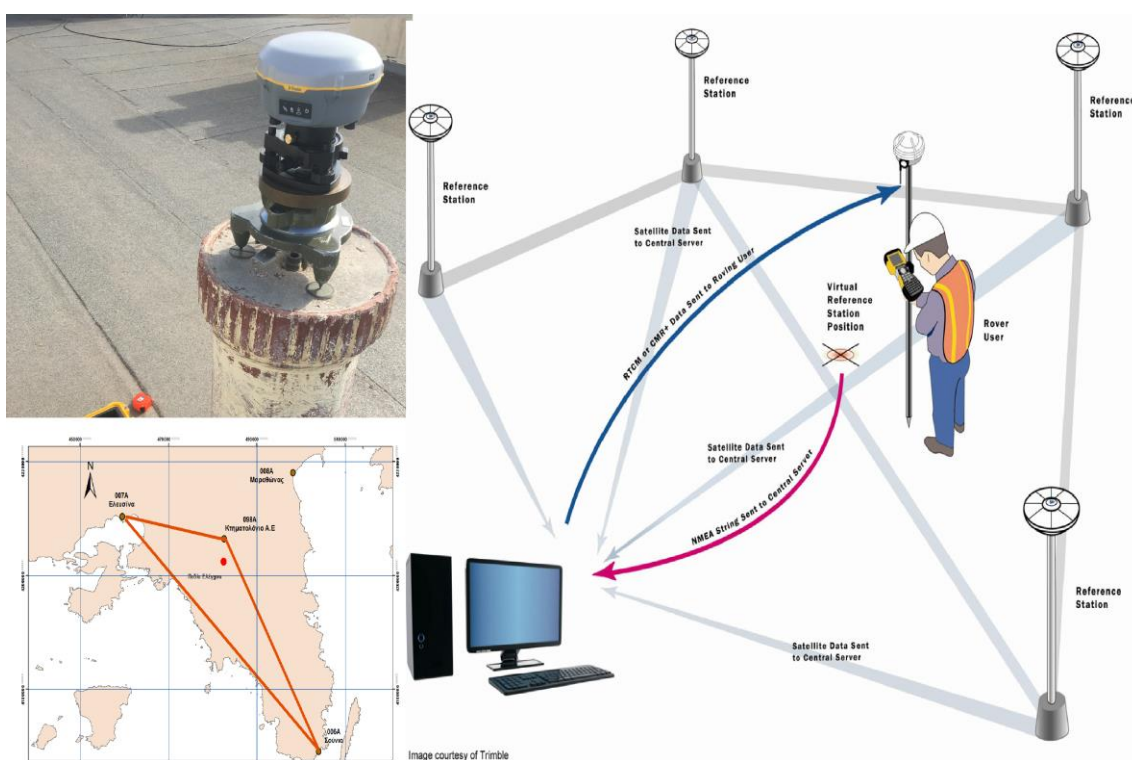


**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ
ΕΝΟΣ ΔΕΚΤΗ GNSS ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ
VRS ΚΑΙ SINGLE-BASE RTK**



Μεταπτυχιακή Εργασία
Νικόλαος Κανελλόπουλος

Επιβλέπουσα:
Ευαγγελία Λάμπρου
Αναπλ. Καθηγήτρια ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ ΜΑΙΟΣ 2017



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

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ
ΕΝΟΣ ΔΕΚΤΗ GNSS ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ
VRS ΚΑΙ SINGLE-BASE RTK**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΚΑΝΕΛΛΟΠΟΥΛΟΥ

Επιβλέπων : **Ευαγγελία Λάμπρου**
Αναπλ. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή:

.....
Γεώργιος Πανταζής
Αναπλ. Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Ευαγγελία Λάμπρου
Αναπλ. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.
(Επιβλέπουσα)

.....
Ορθοδοξία Αραμπατζή
Επικ. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

ΑΘΗΝΑ ΜΑΙΟΣ 2017

(Υπογραφή)

.....

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΚΑΝΕΛΛΟΠΟΥΛΟΣ

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Copyright © Νικόλαος Κανελλόπουλος, 2017

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην Αναπληρώτρια Καθηγήτρια της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών και επιβλέπουσα της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας κα *Ευαγγελία Λάμπρου*.

Επίσης ευχαριστώ θερμά τον Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών κο *Γεώργιο Πανταζή* για τη βοήθεια και την υποστήριξη του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής μου εργασίας.

Σημαντική επίσης υπήρξε η υποστήριξη από την υποψήφια διδάκτορα της ΣΑΤΜ του ΕΜΠ κα *Ελένη - Γεωργία Αλεβιζάκου*, η οποία με βοήθησε σε επιστημονικά θέματα που αναφέρονταν τόσο στο πλαίσιο εκπόνησης αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας όσο και σε γενικά Γεωδαιτικά θέματα.

Και τα τρία αυτά μέλη του Εργαστηρίου Γενικής Γεωδαισίας συνέβαλαν στην απόκτηση γνώσεων και εμπειριών μέσω της συνεχούς και αδιάκοπης προσφοράς βοήθειας σε γεωδαιτικά θέματα, της άψογης συνεργασίας σε όλη τη διάρκεια ενασχόλησης με το Δ.Π.Μ.Σ Γεωπληροφορική καθώς και μέσω της υπομονής και υποστήριξή τους σε όλη τη διαδικασία.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που με υποστήριξε σε όλα τα στάδια των σπουδών μου, από την εισαγωγή στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο έως την ολοκλήρωση του μεταπτυχιακού προγράμματος. Ευχαριστώ τον πατέρα μου *Γιάννη*, την μητέρα μου *Ντίνα* και περισσότερο την αδερφή μου *Έλενα* για την αγάπη τους τα τελευταία 25 χρόνια.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Με τη συνεχή εξέλιξη των απαιτήσεων των γεωδαιτικών εφαρμογών, γίνεται φανερή η ανάγκη για χρήση οργάνων, προϊόντων και υπηρεσιών με πιστοποιημένες προδιαγραφές και ακρίβειες μέτρησης. Προκειμένου όμως, να είναι διαθέσιμα τα συστήματα μετρήσεων και να ανταποκρίνονται τόσο σε απλές όσο και σε εξειδικευμένες εφαρμογές, πρέπει να ελέγχονται διαρκώς τόσο τα όργανα μέτρησης όσο και ο βοηθητικός τους εξοπλισμός.

Η επιστήμη που έχει ως κέντρο την ερμηνεία των μετρήσεων είναι η Μετρολογία. Ασχολείται με τη διακρίβωση των οργάνων, την αξιοπιστία των μετρήσεων και γενικότερα με ότι αφορά στον ακριβή και αποδεκτό προσδιορισμό των τιμών των μεγεθών που προσδιορίζουν τις ιδιότητες των συστημάτων. Επίσης έχει ως αντικείμενο το θεωρητικό υπόβαθρο και την εφαρμογή συγκεκριμένων διαδικασιών ελέγχου ανάλογα με το ελεγχόμενο όργανο. [Μπαλοδήμος, Σταθάς, 2012]

Στην περίπτωση των Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, τα γεωδαιτικά και φωτογραμμετρικά όργανα χρησιμοποιούνται σε ποικίλες εφαρμογές, από τυπικές αποτυπώσεις ιδιοκτησιών, χάραξη οδών και σιδηροδρόμων έως και τη γεωμετρική τεκμηρίωση φυσικών και τεχνητών κατασκευών.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιεί ο Τοπογράφος Μηχανικός λοιπόν, θα πρέπει προηγουμένως να έχει ελεγχθεί ως προς τον τρόπο λειτουργίας του και την ποιότητα των αποτελεσμάτων των μετρήσεων που γίνονται με αυτόν. Δηλαδή, ελέγχεται η ακρίβεια και η αξιοπιστία των μετρήσεων που παράγονται. [Μπαλοδήμος, Σταθάς, 2006]

Ιδιαίτερα τα συστήματα δορυφορικού εντοπισμού πλέον πλησιάζουν σε ακρίβεια τις επίγειες μετρήσεις, σε τρέχουσες τοπογραφικές εργασίες. Επιπλέον, ο μικρός χρόνος παρατηρήσεων που απαιτείται για τη μέτρηση σημείων ενδιαφέροντος, οδηγεί σε αυξανόμενη χρήση των δεκτών GNSS (Global Navigation Satellite Systems).

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία αποτελείται από τρεις ενότητες. Η πρώτη ενότητα αναφέρεται στην παγκόσμια έρευνα σχετικά με την υιοθέτηση και εφαρμογή του ισχύοντος προτύπου ελέγχου από τα διαφορετικά κράτη. Πραγματοποιείται μελέτη και καταγραφή των διαφορετικών οδηγιών και διατάξεων που θεσπίζονται με σκοπό την

εναρμόνιση του προτύπου ελέγχου με τις συνθήκες και ανάγκες μετρήσεων που υφίστανται σε όλες τις διαφορετικές περιοχές μελέτης. Επίσης καταγράφονται και οι προσπάθειες που αναφέρονται σε αλλαγή των διαδικασιών ελέγχου, βαθμονόμησης και διακρίβωσης δεκτών GNSS.

Η δεύτερη ενότητα αναφέρεται στην μελέτη του μετρολογικού ελέγχου ενός μόνο δέκτη GNSS. Στο πλαίσιο αυτό αρχικά αναλύεται το ισχύον πρότυπο ISO 17123-8, που ορίζει τον έλεγχο δεκτών GNSS σε κινηματικό εντοπισμό σε πραγματικό χρόνο (RTK), και μελετάται η δυνατότητα ελέγχου χρησιμοποιώντας έναν μόνο δέκτη. Στη συνέχεια πραγματοποιείται διερεύνηση εφαρμογής αυτού μέσω των πολύ διαδεδομένων σήμερα μεθοδολογιών μέτρησης, VRS και Single base RTK, που αξιοποιούν έναν μόνο δέκτη και ένα δίκτυο μόνιμων σταθμών δορυφορικών παρατηρήσεων. Επίσης αναλύονται οι κύριες πηγές σφαλμάτων που συμμετέχουν στις δορυφορικές παρατηρήσεις με χρήση ενός δέκτη.

Η τρίτη ενότητα αναφέρεται στην ανάπτυξη μίας καινούργιας προτεινόμενης μεθοδολογίας ελέγχου και διακρίβωσης ενός δέκτη GNSS, με χρήση των μεθόδων εντοπισμού VRS και Single Base RTK.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	I
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	II
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	III
ΠΙΝΑΚΕΣ	VI
ΕΙΚΟΝΕΣ	VII
ΣΧΗΜΑΤΑ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ	VII
ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ	VIII
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	IX
ABSTRACT	XI
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΜΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

1.1 Ορισμός και σκοπός της μετρολογίας.....	3
1.2 Εξέλιξη της μετρολογίας.....	4
1.3 Βασικές αρχές και ορισμοί της μετρολογίας.....	8
1.4 Γεωδαιτική Μετρολογία	11
1.5 Το Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας	13
1.6 Ο παγκοσμιος οργανισμός προτύπων ISO	13
1.7 Τα γεωδαιτικά πρότυπα του οργανισμού ISO	14
1.7.1 Ισχύον πρότυπο ISO 17123-8	15
1.7.1.1 Απλοποιημένη διαδικασία ελέγχου.....	18
1.7.1.1 Πλήρης διαδικασία ελέγχου.....	20

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ

2.1 Γενικά	26
2.2 Βασικά χαρακτηριστικά δορυφορικού συστήματος.....	27
2.3 Τα σύγχρονα παγκόσμια συστήματα εντοπισμού	29
2.3.1 Το Σύστημα GPS.....	30
2.3.2 Το Σύστημα GALLILEO	31

2.3.3 Το Σύστημα GLONASS	32
2.3.4 Το Σύστημα BEIDOU	33
2.4 Μέθοδοι δορυφορικού εντοπισμού	33
2.4.1 Απόλυτος εντοπισμός θέσης	36
2.4.2 Μέθοδος Precise Point Positioning (PPP).....	38
2.4.3 Σχετικός εντοπισμός θέσης	40
2.4.3.1 Μέθοδος RTK (Real Time Kinematik).....	43
2.4.3.2 Μέθοδος δικτυακού RTK (RTN) (Real Time Network)	43
2.4.3.1.1 Τεχνική VRS (Virtual Reference Station)	45
2.4.3.2.2 Τεχνική MAC (Master Auxiliary Concept)	46
2.4.3.3.3 Τεχνική FKP (Flächen Korrektur Parameter).....	48
2.4.4 Μέθοδος RTX (Real Time Extended).....	49
2.5 Η επίδραση του σχηματισμού στην αβεβαιότητα του εντοπισμού	51
2.6 Δίκτυα μόνιμων σταθμών αναφοράς.....	56
2.6.1 Δίκτυα μόνιμων σταθμών σε παγκόσμια κλίμακα.....	57
2.6.2 Δίκτυο μόνιμων σταθμών EUPOS	59
2.6.3 Το Ελληνικό Σύστημα Εντοπισμού - Heros.....	60
2.6.4 Άλλα δίκτυα μόνιμων σταθμών στον Ελληνικό χώρο	65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΔΕΚΤΩΝ GNSS ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ

3.1 Γενικά.....	69
3.2 Έλεγχος δεκτών GNSS στην Αυστραλία	70
3.3 Έλεγχος δεκτών GNSS στον Καναδά	76
3.4 Έλεγχος δεκτών GNSS στην Κίνα	77
3.5 Έλεγχος δεκτών GNSS στην Ευρώπη	81
3.6 Έλεγχος δεκτών GNSS στον Ελλαδικό χώρο	86

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ISO 17123-8 ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ VRS ΚΑΙ SINGLE BASE RTK

4.1 Γενικά.....	90
4.2 Το πεδίο ελέγχου.....	93
4.3 Χρήση του δικτύου μόνιμων σταθμών του HEPOS.....	96
4.4 Ο γεωδαιτικός εξοπλισμός.....	97
4.5 Προετοιμασία μετρήσεων.....	101
4.6 Εφαρμογή.....	103
4.6.1 Πρώτη εποχή μετρήσεων	104
4.6.2 Δεύτερη εποχή μετρήσεων.....	108
4.6.3 Σχολιασμός.....	110

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ ΕΝΟΣ ΔΕΚΤΗ GNSS

5.1 Γενικά.....	112
5.2 Προτεινόμενη μεθοδολογία Διακρίβωσης δέκτη GNSS	113
5.2.1 Προσδιορισμός πρότυπων τιμών.....	113
5.2.1.1 Απαιτούμενο πλήθος παρατηρήσεων.....	114
5.2.1.2 Χρονοσειρές πρότυπων τιμών συντεταγμένων.....	117
5.2.2 Προσδιορισμός συντεταγμένων.....	120
5.2.3 Στατιστική ανάλυση	120
5.3 Προτεινόμενη μεθοδολογία Ελέγχου δέκτη GNSS.....	125
5.3.1 Στατιστική ανάλυση	126

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

6.1 Γενικά.....	129
6.2 Πεδίο εφαρμογής	130
6.3 Οι πρότυπες τιμές.....	131

6.4 Πειράματα.....	133
6.5 Διακρίβωση δέκτη GNSS	135
6.5.1 Με χρήση εικονικού σταθμού VRS	135
6.5.2 Με χρήση μόνιμου σταθμού Single Base RTK	139
6.6 Διακρίβωση δέκτη GNSS	142
6.6.1 Έλεγχος δέκτη GNSS με χρήση εικονικού σταθμού VRS	142
6.6.2 Έλεγχος δέκτη GNSS με χρήση μόνιμου σταθμού Single Base RTK	144

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

7.1 Συμπεράσματα	146
7.2 Προτάσεις	156

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	161
---------------------------	-----

ΙΣΤΟΓΡΑΦΙΑ	163
-------------------------	-----

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1.1 Απεικόνιση κωδικοποίησης και αναγραφής μετρήσεων.....	19
Πίνακας 1.2 Μετρήσεις και αποτελέσματα εφαρμογής απλοποιημένης διαδικασίας ελέγχου	48
Πίνακας 2.1 Χαρακτηρισμός πιθανών τιμών DOP.....	52
Πίνακας 2.2 Συνολικά σφάλματα δορυφορικού συστήματος GNSS	54
Πίνακας 4.1 Πρότυπες τιμές πεδίου ελέγχου	95
Πίνακας 5.1 Βελτιστοποίηση των πρότυπων τιμών	129
Πίνακας 5.2 Απόσπασμα (report) διαδικασίας μετρήσεων	134
Πίνακας 5.3 Πρότυπες τιμές συντεταγμένων βάσης ελέγχου	134
Πίνακας 6.4 Μετρήσεις διαδικασίας διακρίβωσης για το βάθρο B1	136
Πίνακας 6.5 Μετρήσεις διαδικασίας διακρίβωσης για το βάθρο B2	137

Πίνακας 6.6 Καλύτερες τιμές διαφορών συντεταγμένων και σφάλματα προσδιορισμού για τα βάθρα B1 και B2	137
Πίνακας 6.6α Αποτελέσματα διακρίβωσης δέκτη με τη μέθοδο VRS για τα βάθρα B1 και B2	138

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 2.1 Σχηματική Αναπαράσταση Ομαδοποίησης ενός Δικτύου σε Cells	47
Εικόνα 2.2 Σχηματική Αναπαράσταση Ομαδοποίησης ενός Δικτύου σε Clusters	47
Εικόνα 2.3 Πολυωνυμική Παραμετροποίηση Σφαλμάτων μέσω της Τεχνικής FKP.....	48
Εικόνα 2.4 Κατανομή κέντρων λειτουργίας υπηρεσίας RTX	50
Εικόνα 2.5 Οργανόγραμμα διαδικασιών υπηρεσίας RTX.....	51
Εικόνα 2.7 Ανεπαρκής γεωμετρία του δορυφορικού σχηματισμού	53
Εικόνα 2.8 Καλή γεωμετρία του δορυφορικού σχηματισμού	53
Εικόνα 2.9 Πλήθος δορυφόρων σε στάδιο προγραμματισμού μετρήσεων	55
Εικόνα 2.10 Εύρος τιμών δείκτη αλλοίωσης ακρίβειας σε στάδιο προγραμματισμού μετρήσεων	55
Εικόνα 3.1 Τοποθέτηση σταθερών δεκτών.....	78
Εικόνα 3.2 Τοποθέτηση υπό μελέτη δέκτη.....	78
Εικόνα 3.3 Χρονοσειρά μετρήσεων για μία κορυφή του πεδίου ελέγχου. 80	
Εικόνα 3.4 Ρομποτικός μηχανισμός ελέγχου δεκτών GNSS.....	84
Εικόνα 3.5 Συστατικά μέρη μεθοδολογίας AMCS.....	85
Εικόνα 4.1 Σχετική θέση κορυφών βάσης ελέγχου	94
Εικόνα 4.2 Τοποθέτηση κατάφωτου για την μέτρηση πρότυπων τιμών ...	95
Εικόνα 4.3 Δορυφορικός δέκτης Trimble R8s.....	90
Εικόνα 4.4 Δυνατότητες σύνδεσης και επικοινωνίας δέκτη Trimble R8s	99

Εικόνα 4.5 Στοιχεία ελέγχου και πληροφόρησης δέκτη R8s.....	99
Εικόνα 4.6 Χειριστήριο δορυφορικού δέκτη R8s.....	100
Εικόνα 4.7 Διάταξη τοποθέτησης δέκτη στην κορυφή του πεδίου ελέγχου.....	102
Εικόνα 5.1 Προεκτίμηση δεικτών αλλοίωσης της ακρίβειας	136
Εικόνα 5.2 Προεκτίμηση δεικτών αριθμού δορυφόρων.....	136

ΣΧΗΜΑΤΑ-ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Σχήμα 1.1 Σχηματική αναπαράσταση των διαδικασιών ελέγχου	17
Σχήμα 2.1 Η θέση του δέκτη βρίσκεται στην τομή των τριών σφαιρών ..	34
Σχήμα 2.2 Ο προσδιορισμός της τρισδιάστατης θέσης του δέκτη.....	35
Σχήμα 2.3 Σχετικός Προσδιορισμός θέσης	40
Σχήμα 2.4 Σχηματική αναπαράσταση της διαφοράς των δικτυακών τεχνικών.....	44
Σχήμα 3.1 Διάγραμμα δικτύου ελέγχου στην Αυστραλία	74
Σχήμα 3.2 Διάγραμμα πεδίου ελέγχου στην Κίνα	78
Σχήμα 3.4 Οργανόγραμμα μετρολογικών όρων και λειτουργιών.....	83
Σχήμα 3.5 Σκαρίφημα σχετικής θέσης κορυφών βάσης ελέγχου	88
Σχήμα 4.1 Θέσεις μόνιμων σταθμών αναφοράς.....	97
Σχήμα 5.1 Σχεδιάγραμμα βάσης για την διαδικασία ελέγχου.....	123
Σχήμα 5.2 Χρονοσειρά συντεταγμένων x του βάθρου B1	126
Σχήμα 5.3 Χρονοσειρά συντεταγμένων y του βάθρου B1	126
Σχήμα 5.4 Χρονοσειρά συντεταγμένων H του βάθρου B1	127
Σχήμα 6.1 Υπολογισμένες τιμές αποστάσεων.....	141
Σχήμα 6.2 Υπολογισμένες τιμές υψομετρικών διαφορών.....	141
Σχήμα 6.3 Υπολογισμένες τιμές σφαλμάτων κλεισίματος σ_{kx} , σ_{ky}	144
Σχήμα 6.3 Υπολογισμένες τιμές σφαλμάτων κλεισίματος σ_{kH}	144

ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ

DOP	(Dilution Of Precision) Ανάλυση της ακρίβειας των παρατηρήσεων, που αποτελεί περιγραφή της συνεισφοράς της γεωμετρίας των δορυφόρων στην αβεβαιότητα προσδιορισμού θέσης.
E, N, Up	Τοποκεντρικές/ τοπικές καρτεσιανές συντεταγμένες.
FKP	(Flächen Korrektur Parameter) Τεχνική μετάδοσης παραμέτρων επιφανειακών διορθώσεων
GNSS	(Global Navigation Satellite System) Παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού
HEPOS	Hellenic POsitioning System
HTRS'07	Hellenic Terrestrial Reference System 2007
IR	(Ionospheric Refraction) Ιονοσφαιρική διάθλαση (καθυστέρηση) που οφείλεται στην διαδρομή του σήματος στην ιονόσφαιρα.
ISO	Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
MAC	(Master Auxiliary Concept) Τεχνική που βασίζεται στην αποστολή διορθώσεων από έναν Κύριο Σταθμό Αναφοράς και διαφορές διορθώσεων από γειτονικούς βοηθητικούς σταθμούς
PP	Post Processing Positioning
PPP	(Precise Point Positioning) Μέθοδος δορυφορικού εντοπισμού θέσης, όπου αξιοποιούνται οι μετρήσεις τόσο της ψευδοαπόστασης όσο και της φάσης.
PPS	Precise Positioning Service
RINEX	Receiver INdependent EXchange format
RTK	(Real Time Kinematic) Μέθοδος δορυφορικού εντοπισμού θέσης σε πραγματικό χρόνο, όπου τα αποτελέσματα παρέχονται απευθείας στο πεδίο μετρήσεων
RTN	(Real Time Network) Μέθοδος δορυφορικού εντοπισμού θέσης σε πραγματικό χρόνο, αξιοποιώντας ένα δίκτυο μόνιμων σταθμών αναφοράς
RTP	Real Time Positioning
RTX	(Real Time Extended) Μέθοδος δορυφορικού εντοπισμού θέσης σε πραγματικό χρόνο, αξιοποιώντας διορθώσεις που αποκτώνται απευθείας από το δορυφορικό σύστημα.

SPS	(Standard Positioning Service) Μέθοδος δορυφορικού εντοπισμού θέσης με τη χρήση ενός μόνο δέκτη.
SR	(Stratospheric Refraction) Διάθλαση που οφείλεται στη διαδρομή του σήματος από την στρατόσφαιρα.
VRS	(Virtual Reference Station) Τεχνική που υλοποιεί τη δημιουργία ενός μη-υλικού δέκτη αναφοράς
WGS84	World Geodetic System 1984
BIPM	Bureau International des Poids et Mesures
ΕΓΣΑ'87	Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987
EIM	Εθνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας
ΕΛΟΤ	Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης
x, y, H	Συντεταγμένες στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987
X, Y, Z	3-D καρτεσιανές γεωκεντρικές συντεταγμένες.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας αποτελεί η ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας ελέγχου και διακρίβωσης ενός μόνο δέκτη GNSS με χρήση σύγχρονων τεχνικών εντοπισμού.

Για να γίνει αυτό προηγήθηκε διερεύνηση και καταγραφή των διαδικασιών ελέγχου δεκτών GNSS. Η έρευνα αυτή πραγματοποιήθηκε σε παγκόσμιο επίπεδο με σκοπό να αναδείξει τις διαφοροποιήσεις και συμπληρώσεις απαιτήσεων που προτείνουν τα διάφορα κράτη στην υλοποίηση του.

Με γνώση των παραπάνω αποτελεσμάτων της έρευνας και με την υιοθέτηση της χρήσης ενός μόνο δέκτη στις σύγχρονες γεωδαιτικές εφαρμογές, υλοποιήθηκε η εφαρμογή του προτύπου ελέγχου με καθεμία από τις διαφορετικές τεχνικές της μεθοδολογίας RTN (Real Time Kinematic Network). Γίνεται αξιολόγηση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων κάθε επιμέρους τεχνικής, και τέλος προκύπτει αποτέλεσμα σχετικά με τη δυνατότητα εφαρμογής αυτών, στον έλεγχο δορυφορικών δεκτών GNSS.

Στο **πρώτο κεφάλαιο**, γίνεται μια ιστορική αναδρομή στην εξέλιξη της Μετρολογίας, όπου αναφέρεται ο ορισμός της επιστήμης που αυτή ορίζει και αναλύονται οι τομείς δραστηριότητάς της με έμφαση στη Γεωδαισία. Επίσης πραγματοποιείται αναφορά στις διατάξεις και προϋποθέσεις εφαρμογής που ορίζει το υπάρχον πρότυπο ISO 17123-8, που αναφέρεται στον έλεγχο των δεκτών GNSS σε λειτουργία RTK.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο**, αναφέρονται τα στοιχεία που αφορούν στα λειτουργικά τμήματα του συστήματος GNSS που επισημαίνονται στην μελέτη. Γίνεται αναφορά στα βασικά χαρακτηριστικά και στη χρονική και επιστημονική εξέλιξη του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού. Επίσης επισημαίνονται τόσο οι κλασσικές όσο και οι σύγχρονες μέθοδοι δορυφορικού εντοπισμού.

Στο **τρίτο κεφάλαιο**, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας που αφορούν στην υιοθέτηση των διατάξεων του ισχύοντος προτύπου ελέγχου δεκτών GNSS, σε παγκόσμιο επίπεδο. Η κατηγοριοποίηση πραγματοποιείται ανά κράτος και περιλαμβάνει τους κύριους τομείς έρευνας και δράσης σχετικά με τον έλεγχο της ορθής λειτουργίας των δορυφορικών δεκτών.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο**, πραγματοποιείται η εφαρμογή του ισχύοντος προτύπου ελέγχου δεκτών GNSS με χρήση των σύγχρονων τεχνικών VRS και Single Base RTK. Γίνεται αναφορά στην επιλογή της περιοχής μελέτης καθώς επίσης και στις συνθήκες κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Επίσης παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και συμπεραίνεται η αδυναμία χρήσης των σύγχρονων αυτών τεχνικών στον έλεγχο των δορυφορικών δεκτών χρησιμοποιώντας το ισχύον πρότυπο. Αναλύονται οι παράγοντες που δεν επιτρέπουν την εξαγωγή συμπεράσματος για την ορθή λειτουργία ενός μόνον δέκτη εφαρμόζοντας το ισχύον πρότυπο, μέσω της ανάλυσης των εναπομεινάντων πηγών σφαλμάτων.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο**, αναπτύσσεται διεξοδικά η προτεινόμενη ολοκληρωμένη μεθοδολογία ελέγχου και διακρίβωσης ενός δορυφορικού δέκτη, με χρήση των σύγχρονων μεθόδων εντοπισμού VRS και Single Base RTK, όσο αφορά στις προϋποθέσεις των μετρήσεων και το μαθηματικό μοντέλο που εφαρμόζεται.

Στο **έκτο κεφάλαιο**, περιλαμβάνεται η ανάλυση δύο εφαρμογών της μεθοδολογίας σε βάση ελέγχου και περιγράφονται οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν, τα αποτελέσματα και οι στατιστικοί έλεγχοι που εφαρμόζονται.

Στο **έβδομο κεφάλαιο**, το οποίο είναι και το τελευταίο, παρουσιάζονται όλα τα συμπεράσματα και οι παρατηρήσεις που προέκυψαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας. Γίνεται αναφορά και σε προτάσεις για τη συνέχιση της έρευνας στον τομέα αυτό.

Λέξεις Κλειδιά: *ISO 17123-8, RTN, RTK, έλεγχος, VRS, διακρίβωση, Single Base RTK, σειρές μετρήσεων, δείκτες αλλοίωσης της ακρίβειας*

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR THE CHECKING AND CALIBRATION OF A GNSS RECEIVER USING THE VRS AND SINGLE BASE RTK METHODS

The purpose of this thesis is the development of a methodology for the checking and calibration of a GNSS receiver.

In order to do this, it was first researched and recorded the GNSS receiver checking procedures. This research refers to global level in order to highlight the differences and additional requirements proposed by different countries as regards its implementation.

Evaluating the above research results and by adopting the use of a single receiver in modern geodetic applications, an implementation was carried out with each of the different techniques of methodology RTN (Real Time Kinematic Network). An assessment of the advantages and disadvantages of each technique, and finally resulting effects on the applicability of those in checking of GNSS receivers are presented.

The **first chapter** is a throwback to the development of Metrology. Also the definition of the science of Metrology is referred, and areas of activity are analyzed with emphasis on Geodesy. Reference is made to the provisions and conditions of application laid down in existing ISO 17123-8 standard.

The **second chapter**, is referred to all those elements relating to components and GNSS systems that are mentioned in the study. Reference is made to the basic features of the satellite system, the function of the receiver, the scientific development of the system, the observed values as well as the errors which occurs during the measurements by the GNSS systems. Also both the consolidated and modern methods of satellite tracking are highlighted.

The **third chapter** presents the results of research relating to the adoption of the provisions of the current GNSS receivers standard, globally. The classification is carried out by each country and includes the main areas for research and action on controlling and monitoring the proper operation of satellite receivers.

The **fourth chapter** consists of the application of current GNSS receiver's standard using the modern techniques of the network RTK methodology. Reference is made to the selection of the study area and also in the conditions during the measurements. Also the results are resented and a conclusion is made as regards the possibility of using these modern techniques for checking satellite receivers. The factors that do not allow the inference to the proper functioning of a single receiver are analyzed and the current standard ISO 17123-8 is applied through the analysis of the remaining sources of error.

In the **fifth chapter**, the proposed integrated methodology for testing and calibration of a satellite receiver is developed, with use of modern detection methods VRS and Single Base RTK, as regards the conditions of the measurements and the mathematical model used.

In the **sixth chapter**, the analysis of two applications of the methodology is included and described the procedures followed, the results and the statistical tests applied.

In the **seventh chapter**, the conclusions and procedures identified during preparation of this postgraduate thesis are gathered and presented as well as some suggestions are proposed for further research.

Keywords: *ISO 17123-8, RTN, RTK, control, VRS, calibration, Single Base RTK, measurement repeatability, DOP values*

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι συνεχείς εξελίξεις στον τομέα παραγωγής γεωδαιτικών οργάνων ευρείας εφαρμογής και η αυξημένη ζήτηση και χρησιμότητά τους, έχουν αναδείξει την ανάγκη για τον έλεγχο και τη διακρίβωση των οργάνων αυτών με ακρίβεια, ταχύτητα και αποτελεσματικότητα.

Ιδιαίτερα σε σύγχρονες εφαρμογές, ο πιστοποιημένος έλεγχος σύμφωνα με διεθνή πρότυπα, κρίνεται αναγκαίος τόσο πριν όσο και μετά τη χρήση των γεωδαιτικών οργάνων.

Η Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου μέσω του Κέντρου Μετρολογίας, καταβάλλει συγκροτημένη προσπάθεια για τη μελέτη και εφαρμογή των διεθνών προτύπων ελέγχου και διακρίβωσης.

Η ευρέως διαδεδομένη χρήση δεκτών GNSS στις περισσότερες γεωδαιτικές εφαρμογές δημιουργεί την ανάγκη για επαρκή γνώση της ακρίβειας που επιτυγχάνουν στις μετρήσεις. Η τεχνολογική εξέλιξη των δεκτών GNSS και η εγκατάσταση πολλών δικτύων μόνιμων σταθμών συνεχούς λειτουργίας στον κόσμο, έχει ως αποτέλεσμα πλέον τη χρήση ενός μόνο δέκτη GNSS για τον προσδιορισμό συντεταγμένων και γεωμετρικών χαρακτηριστικών παγκοσμίως.

Επίσης νέες σύγχρονες τεχνικές εντοπισμού θέσης έχουν αναπτυχθεί με τη χρήση των μόνιμων αυτών δικτύων όπως αυτές της μεθόδου του δικτυακού RTK (RTN), που αναφέρεται στον προσδιορισμό συντεταγμένων σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας έναν μόνο δέκτη και έναν ή περισσότερους μόνιμους σταθμούς αναφοράς. Οι σταθμοί αυτοί μπορεί να είναι υπαρκτοί (τεχνικές MAC, FKP) ή και εικονικοί (VRS), όπου ο σταθμός τοποθετείται αυτόματα στο βέλτιστο σημείο από το κέντρο επεξεργασίας του δικτύου.

Η παρούσα εργασία ανατέθηκε με στόχο την διερεύνηση της ορθής λειτουργίας ενός μόνο δέκτη GNSS. Αρχικά πραγματοποιήθηκε έρευνα και καταγραφή όλων των διαδικασιών που εφαρμόζονται για τον έλεγχο, τη διακρίβωση και τη βαθμονόμηση των δεκτών GNSS σε παγκόσμιο επίπεδο. Επίσης μελετάται η υιοθέτηση του ισχύοντος προτύπου ISO 17123-8, το οποίο αφορά στον έλεγχο δεκτών GNSS με χρήση της μεθόδου εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο (RTK). Ο όρος υιοθέτηση αφορά στη δεσμευτικότητα των διατάξεων του προτύπου καθώς και στις

προσπάθειες εναρμόνισης αυτών με τις συνθήκες μέτρησης που υφίστανται στα διαφορετικά κράτη όπου εφαρμόζεται.

Κατόπιν επιχειρείται η εφαρμογή του ισχύοντος προτύπου ελέγχου δεκτών GNSS με χρήση σύγχρονων μεθοδολογιών δορυφορικών μετρήσεων και ενός μόνο δέκτη που έχουν πλέον στην κατοχή τους η πλειονότητα των μηχανικών. Οι διαφορετικές τεχνικές Single Base RTK και VRS που εφαρμόστηκαν αξιοποιούν την ύπαρξη ενός επίσημου κρατικού δικτύου μόνιμων σταθμών συνεχούς λειτουργίας

Στην συνέχεια προτείνεται η καινούργια, ολοκληρωμένη μεθοδολογία ελέγχου και διακρίβωσης ενός μόνο δέκτη GNSS, χρησιμοποιώντας τις ίδιες μεθόδους μέτρησης που αναλύθηκαν προηγουμένως.

Η μεταπτυχιακή αυτή εργασία αυτή ανατέθηκε τον Ιούνιο του 2016 και ολοκληρώθηκε τον Μάιο του 2017.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΜΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

1.1 Ορισμός και σκοπός της μετρολογίας

Μετρολογία (Metrology): Είναι η επιστήμη της ακρίβειας των μετρήσεων και έχει ως αντικείμενο το θεωρητικό υπόβαθρο και την εφαρμογή συγκεκριμένων διαδικασιών ελέγχου ανάλογα με το αντικείμενο.

Σύμφωνα με το Διεθνές Γραφείο των Μέτρων και των Σταθμών, η Μετρολογία καθορίζεται ως "η επιστήμη της μέτρησης, η οποία συμπεριλαμβάνει τους πειραματικούς και θεωρητικούς προσδιορισμούς, σε οποιοδήποτε επίπεδο αβεβαιότητας και σε οποιοδήποτε τομέα επιστήμης και τεχνολογίας".

Η μετρολογία ετυμολογικά προκύπτει από τις ελληνικές λέξεις **μέτρον** και **λόγος**. Είναι η επιστήμη αλλά και η τέχνη των μετρήσεων, των συστημάτων μέτρων και σταθμών. Καλύπτει, τους πειραματικούς και τους θεωρητικούς προσδιορισμούς που σχετίζονται με την αβεβαιότητα, σε οποιοδήποτε επίπεδο της επιστήμης και της τεχνολογίας. [Σταθάς, Μπαλοδήμος, 2012]

Σκοπός της μετρολογίας είναι να συγκεντρώσει όλο εκείνο το θεωρητικό, τεχνολογικό και επιστημονικό υπόβαθρο που θα υλοποιεί, σύμφωνα με ορισμένα πρότυπα, τις διαδικασίες ελέγχου της ποιότητας των προϊόντων.

Η διαδικασία ελέγχου των προϊόντων περιλαμβάνει ένα μεγάλο εύρος αντικειμένων, συνεπώς και τον έλεγχο της ακρίβειας και αξιοπιστίας των οργάνων μέτρησης που χρησιμοποιούνται στις γεωδαιτικές εφαρμογές. Αυτό σημαίνει ότι τα όργανα αυτά θα πρέπει να είναι ελεγμένα ως προς τον τρόπο λειτουργίας τους και την ποιότητα των αποτελεσμάτων των μετρήσεων που παρέχουν.

Η επιστήμη της μετρολογίας εφαρμόζεται σε πολλούς τομείς με αποτέλεσμα να έχουν αναπτυχθεί συγκεκριμένες κατηγορίες της, όπως είναι **η επιστημονική, η θεωρητική και η βιομηχανική μετρολογία**.

Πιο συγκεκριμένα θα αναφερθούν ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά για τις κατηγορίες της μετρολογίας που συναντούν σε ορισμένες περιπτώσεις τις ανάγκες της επιστήμης της γεωδαισίας.

Η **επιστημονική** (θεμελιώδης) μετρολογία, ασχολείται με την οργάνωση και ανάπτυξη των προτύπων μέτρησης μαζί με την υποστήριξή τους σε ύψιστο επίπεδο.

Αντίστοιχα η **θεωρητική** μετρολογία σηματοδοτεί το ύψιστο επίπεδο για την αβεβαιότητα μέτρησης μέσα σε ένα συγκεκριμένο πεδίο. Επίσης μπορεί να περιγραφεί ως η επιστημονική μετρολογία εμπλουτισμένη με όλα εκείνα τα μέρη της νομικής και βιομηχανικής μετρολογίας που απαιτούν επιστημονική επάρκεια. Ασχολείται με αντικείμενα όπως τη σύσταση της μετρολογίας, την κατανόηση των μετρήσεων, τη θεωρία κατασκευής των μετρητικών οργάνων και τέλος, ενός σημαντικού τομέα στην επιστήμη της μετρολογίας, τη θεωρία της αβεβαιότητας των μετρήσεων.

Τέλος η **βιομηχανική** (εφαρμοσμένη) μετρολογία εξασφαλίζει την επαρκή λειτουργία των μετρητικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία καθώς επίσης και στις διαδικασίες ελέγχου και παραγωγής. [Σταθάς, Μπαλοδήμος, 2012]

1.2 Εξέλιξη της μετρολογίας

Η μετρολογία βρίσκεται σε συνεχή εξέλιξη από την αρχαιότητα, όπου μέχρι και σήμερα που κατέχει εξέχουσα θέση στις επιστημονικές διαδικασίες διακρίβωσης και πιστοποίησης προϊόντων. Η φύση και το μεγάλο εύρος δραστηριοτήτων και αντικειμένων της επιστήμης της μετρολογίας καθιστούν δύσκολη την καταγραφή των σημαντικών χρονολογιών και γεγονότων που ήταν καθοριστικά στο πέρασμα των αιώνων. [Δούκας, 2005]

Μία σύντομη περιγραφή των σημαντικότερων οροσώμων στην ιστορία της παρουσιάζονται παρακάτω:

- Το πρώτο γνωστό έως σήμερα, πρότυπο μήκους εμφανίζεται στην περιοχή του Ευφράτη το 1950 π.Χ. Αποτελείτο από μία βαριά χάλκινη ράβδο με τέσσερις κύριες μονάδες, καθεμία από τις οποίες υποδιαιρούνταν σε 16 μέρη.
- Το 433 π.Χ. ολοκληρώνονται οι εργασίες κατασκευής του Παρθενώνα στην Αρχαία Αθήνα. Το κτίσμα του Παρθενώνα, εκτός από την εξαιρετικά μεγάλη ιστορική του σημασία, αποτελεί έναν γενεσιουργό πυρήνα καινοτομιών και μια κατασκευή μεγίστου μετρολογικού ενδιαφέροντος.

- Από το 11ο αιώνα μ.Χ. και μετά αρχίζουν να γίνονται προσπάθειες για την προτυποποίηση των μονάδων μέτρησης και για την εισαγωγή ενός ενιαίου συστήματος μονάδων μέτρησης.
Η πρώτη κίνηση γίνεται το 1215 μ.Χ. από το βασιλιά της Αγγλίας Ιωάννη, ο οποίος υπέγραψε τη **Magna Carta**, ένα έγγραφο που εισήγαγε το ενιαίο σύστημα μετρήσεων.
- Το 1581 ο Ιταλός αστρονόμος και φυσικός Galileo Galilei, δίνει λύση στο πρόβλημα μέτρησης του χρόνου, που μέχρι τότε μετριόταν σε μεγάλα διαστήματα, με τις παρατηρήσεις του επί του εκκρεμούς και την αντίστοιχη κατασκευή ρολογιών που βασίζονταν σε αυτή την αρχή.
- Το 1615 ο Ολλανδός φυσικός Willebrond Snell πραγματοποιεί τον πρώτο ακριβή γεωδαιτικό τριγωνισμό και την πρώτη σημαντική έρευνα για τη διάθλαση του φωτός.
- Το 1631, ο Γάλλος Pierre Vernier εφευρίσκει το βερνιέρο, μια ειδική κλίμακα μέτρησης κλασμάτων υποδιαίρεσεων μιας κλίμακας.
- Το 1780 αρχίζει η Βιομηχανική Επανάσταση και η νέα κατάσταση που επικρατεί μέσα από την εκβιομηχάνιση και την άνθιση της τεχνολογίας προσφέρει εύφορο έδαφος στην εξάπλωση και εξέλιξη της Μετρολογίας.
Στην αρχή της Βιομηχανικής Επανάστασης, η χαοτική επικρατούσα κατάσταση αναφορικά με τα είδη μέτρων και σταθμών, ώθησε την Εθνοσυνέλευση των επαναστατημένων Γάλλων να δώσει εντολή στην Ακαδημία των Επιστημών για τη δημιουργία ενός "διεθνούς συστήματος μέτρων και σταθμών". Το σύστημα αυτό ονομάστηκε **Μετρικό Σύστημα**, επειδή η πρώτη μονάδα μήκους που ορίστηκε ήταν το μέτρο.
- Μετά την έναρξη της Βιομηχανικής Επανάστασης γίνεται η σημαντική ανακάλυψη του πρώτου μικρομέτρου από τον Άγγλο εφευρέτη και κατασκευαστή μηχανών Henry Maundsley, το οποίο προσέφερε αναγνώσιμη ακρίβεια 1/10.000 της ίντσας (0.00254mm).
- Την ίδια χρονιά εμφανίζεται η **Μέθοδος των Ελαχίστων Τετραγώνων**, ένα θεμελιώδες εργαλείο για την περαιτέρω εξέλιξη

της επιστήμης, από τους Andrien Marie Legendre και Johann Karl Friedrich Gauss, με διαφορά λίγων χρόνων.

- Το 1875 ιδρύεται το Διεθνές Γραφείο Σταθμών και Μετρήσεων (International Bureau for Weights and Measures – Bureau International des Poids et Mesures – BIPM) και καθιερώνεται το Μετρικό σύστημα (Metric System). Ορίζονται τα πρότυπα του μέτρου και του γραμμαρίου με κράμα πλατίνας – ιριδίου.

Οι νέες επιστημονικές ανακαλύψεις προκαλούν την ανάγκη για μεγαλύτερη ακρίβεια και σαφώς καθορισμένες μονάδες.

Αυτή η ανάγκη ικανοποιείται με την υπογραφή συνθήκης το 1875, μια διεθνή διπλωματική συνθήκη στην οποία συμμετείχαν 17 χώρες, μεταξύ των οποίων και οι ΗΠΑ, ενώ μέχρι σήμερα συνολικά 51 χώρες έχουν αποδεχθεί επίσημα το μετρικό σύστημα.

Η συνθήκη αυτή καθόρισε με ακρίβεια τις μονάδες καθώς επίσης και τους μηχανισμούς για την σύσταση και υιοθέτηση των περαιτέρω καθορισμών στο μετρικό σύστημα. Ταυτόχρονα, κατασκευάστηκαν και διανεμήθηκαν, σε κάθε έθνος που επικύρωσε τη συνθήκη, τα μετρικά πρότυπα.

[Δούκας, 2005]

- Το 1947 ιδρύεται ο **Διεθνής Οργανισμός για την Τυποποίηση** (International Organization for Standardization – ISO).

Πρόκειται για μια παγκόσμια ομοσπονδία που σήμερα έχει φτάσει να έχει ως μέλη του εθνικούς οργανισμούς τυποποίησης 148 χωρών. Υπάρχουν περισσότερα από 14000 διεθνή πρότυπα ISO.

Βασική αποστολή του ISO είναι η προώθηση της τυποποίησης και των σχετικών δραστηριοτήτων στον κόσμο, με σκοπό τη διευκόλυνση της διεθνούς ανταλλαγής των αγαθών και των υπηρεσιών. Η διαβεβαίωση της συμμόρφωσης προς τα διεθνή αυτά πρότυπα παρέχεται από τις δηλώσεις των κατασκευαστών ή από τους λογιστικούς ελέγχους που πραγματοποιούνται από ανεξάρτητους οργανισμούς.

- Το 1955 ιδρύεται μια διακυβερνητική οργάνωση που στοχεύει στην προώθηση της σφαιρικής εναρμόνισης των νομικών διαδικασιών Μετρολογίας, ο Παγκόσμιος Οργανισμός Νομικής Μετρολογίας (International Organization of Legal Metrology – OIML).

Ο OIML προκειμένου να επιτύχει την προώθηση αξιόπιστων πρακτικών μέτρησης, συνεργάζεται στενά με το BIPM αλλά και με

περισσότερα από 100 διεθνή και άλλα περιφερειακά ιδρύματα που δραστηριοποιούνται στο χώρο της Μετρολογίας, της τυποποίησης αλλά και άλλους σχετικούς τομείς. Ο OIML έχει αναπτύξει μια παγκόσμια τεχνική δομή που παρέχει στα μέλη του τις μετρολογικές οδηγίες για την επεξεργασία των εθνικών και περιφερειακών απαιτήσεων σχετικά με την κατασκευή, τη χρήση οργάνων μέτρησης καθώς και για τις νομικές απαιτήσεις της Μετρολογίας.

- Το 1960 υιοθετείται το Διεθνές Σύστημα Μονάδων (Système international d'unités – SI) με το 11ο Γενικό Συνέδριο για τα βάρη και τα μέτρα (General Conference on Weights and Measures – CGPM).
- Στις αρχές της δεκαετίας του 1990, ιδρύεται στις Βρυξέλλες (27-4-1990), η EUROLAB (The European Federation of National Associations of Measurement, Testing and Analytical Laboratories), με σκοπό την αντιπροσώπευση των ευρωπαϊκών εργαστηρίων μέσω της διατύπωσης και της έκφρασης άποψης σχετικά με πολιτικά και τεχνικά ζητήματα που ασκούν άμεση επίδραση στη δραστηριότητά τους στην ευρωπαϊκή σκηνή και παγκοσμίως. Επίσης στόχος ήταν και ο συντονισμός όλων των ευρωπαϊκών οργανώσεων που αναπτύσσουν ενδιαφέρουσες για την εργαστηριακή κοινότητα δραστηριότητες και προσπαθούν να αποφύγουν την επανάληψη προσπαθειών και δραστηριοτήτων.
- Το 1999, καθορίζονται οι απαιτήσεις που πρέπει να πληροί ένα εργαστήριο Μετρολογίας με την εμφάνισή του ISO/IEC 17025:1999 (Διεθνές πρότυπο – General Requirements for the Competence of Calibration and Testing Laboratories). Αυτές οι απαιτήσεις είναι ικανές να εξασφαλίζουν την ιχνηλασιμότητα της διακρίβωσης, έτσι το διαπιστευμένο εργαστήριο θα έχει την ικανότητα να διεξάγει συγκεκριμένες δοκιμές, μετρήσεις και διακριβώσεις σύμφωνα με συγκεκριμένες πρότυπες, υλοποιήσιμες μέσα σε εργαστήριο μεθόδους. [Δούκας, 2005]

Αντίστοιχα η μετρολογία έχει αναπτυχθεί και στον Ελλαδικό χώρο ύστερα από την ενοποίηση της Ευρωπαϊκής Αγοράς το 1994.

Τον ίδιο χρόνο σύμφωνα με νόμο του κράτους (ιδρυτικός νόμος Ν.2231/94 - Νομικό Πρόσωπο Ιδιωτικού Δικαίου) δημιουργήθηκε το

Εθνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας (ΕΙΜ) το οποίο είναι η ανώτατη αρχή στον τομέα της μετρολογίας.

Το ΕΙΜ είναι σύμβουλος του ελληνικού κράτους σε όλα τα θέματα που αφορούν τη μετρολογία, τη διατήρηση των εθνικών προτύπων, την καθιέρωση εργαστηριακών μετρήσεων, καθώς και τη συνεργασία με το Εθνικό Σύστημα Διαπίστευσης σε ό,τι αφορά τις μεθόδους διακρίβωσης και τον υπολογισμό των αβεβαιοτήτων.

Αντίστοιχα έχει δημιουργηθεί και ο Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης (ΕΛΟΤ) που αναπτύσσει διαδικασίες πιστοποίησης.

1.3 Βασικές αρχές και ορισμοί της μετρολογίας

Οι έννοιες και οι ορισμοί που αναφέρονται σε θέματα μετρολογίας στην Ελλάδα, έχουν εισαχθεί στο σύνταγμα και εφαρμόζονται με νομοθετική ισχύ. Ορισμένες έννοιες από αυτές είναι οι: Βαθμονόμηση, Διακρίβωση, Διαπίστευση και οι ορισμοί τους δίνονται παρακάτω. [[Μπαλοδήμος, Σταθάς, 2012](#)]

- **Βαθμονόμηση (Graduation):** Είναι η αναγραφή, στην κενή κλίμακα του οργάνου, των ενδείξεων με βάση ένα γνωστό και καθορισμένης ακρίβειας μέγεθος, της φυσικής ιδιότητας την οποία μετρά το όργανο.
- **Διακρίβωση (Calibration):** Είναι η σύγκριση της μέτρησης ή του αποτελέσματος ενός συστήματος ή οργάνου, με εκείνη ενός αντίστοιχου πολύ μεγαλύτερης ακρίβειας, που καλείται σύστημα αναφοράς. Το σύστημα αναφοράς μπορεί να είναι εθνικό πρότυπο ή πρότυπο γνωστής ακρίβειας η οποία έχει μεταφερθεί σε αυτό από τα εθνικά πρότυπα. Με την παραπάνω σύγκριση βαθμονομείται το υπό έλεγχο όργανο και διαπιστώνεται, επαληθεύεται ή επαναφέρεται με ρύθμιση η ακρίβειά του.
- **Πιστοποίηση (Certification):** Είναι η διαδικασία με την οποία ένα τρίτο πρόσωπο δίνει γραπτή εγγύηση ότι το προϊόν, η επεξεργασία ή η υπηρεσία συμμορφώνονται με καθορισμένες απαιτήσεις [ISO / IEC οδηγία 2:1996]. Σε εθνικό επίπεδο είναι η πράξη του Εθνικού Ιδρύματος Μετρολογίας (ΕΙΜ) ή οποιουδήποτε άλλου διαπιστευμένου φορέα με την οποία πιστοποιείται η τεκμηρίωση της ακρίβειας σύμφωνα με προκαθορισμένες απαιτήσεις.
- **Τυποποίηση (Standardization):** Αναγνωρίζεται σήμερα ως η διαδικασία με την οποία καθιερώνονται προδιαγραφές, δηλαδή κανονισμοί, οι οποίοι θέτουν τους απαραίτητους κανόνες για την

παραγωγή, τη σύνθεση και τις ιδιότητες που πρέπει να έχει ένα προϊόν ή μία υπηρεσία.

- **Διαπίστευση (Accreditation):** Διαπίστευση εργαστηρίου είναι η διαδικασία με την οποία ένας αρμόδιος φορέας παρέχει επίσημη αναγνώριση, ότι ένας φορέας ή πρόσωπο είναι ικανός να πραγματοποιεί ειδικά έργα.
- **Πρότυπο (Standard):** Η οδηγία ISO / IEC 2/1996 ορίζει ότι πρότυπο είναι ένα κείμενο που έχει συνταχθεί και εγκαθιδρυθεί με ομοφωνία από ένα αναγνωρισμένο σώμα (οργανισμό) και που παρέχει για κοινή και επαναλαμβανόμενη χρήση κανόνες, οδηγίες ή χαρακτηριστικά για δραστηριότητες ή τα αποτελέσματά τους, στοχεύοντας στην επίτευξη σε βέλτιστο βαθμό της τυποποίησης στο πλαίσιο ενός δεδομένου περιεχομένου.
- **Διεθνή πρότυπα (International Standard):** Τα διεθνή πρότυπα προστατεύονται με το δικαίωμα αναπαραγωγής του Διεθνούς Οργανισμού Τυποποίησης (ISO, IEC). Η άδεια εκμετάλλευσης του δικαιώματος αναπαραγωγής μεταφέρεται αυτόματα στους εθνικούς οργανισμούς τυποποίησης που είναι μέλη των ISO, IEC για την περίπτωση της σχεδίασης εθνικών προτύπων. Οι εθνικοί οργανισμοί τυποποίησης είναι υπεύθυνοι για την προστασία των ISO, IEC στην αντίστοιχη χώρα.
- **Εθνικό πρότυπο (National Standard):** Είναι το εθνικά αναγνωρισμένο πρότυπο προκειμένου να χρησιμοποιείται σε μία χώρα ως βάση για τον καθορισμό τιμών σε άλλα πρότυπα του μεγέθους που αφορά. Το πρότυπο είναι μία συλλογική εργασία. Το Εθνικό πρότυπο προγραμματίζεται και μελετάται υπό την αιγίδα του Εθνικού Οργανισμού προτύπων ο οποίος και το δημοσιεύει. Έτσι προστατεύεται από την αρχική του μορφή με το δικαίωμα αναπαραγωγής του Εθνικού Οργανισμού.
- **Πρωτεύον πρότυπο:** Είναι το πρότυπο το οποίο έχει καθοριστεί ή αναγνωρίζεται ευρέως ότι έχει τις υψηλότερες μετρολογικές ιδιότητες και η τιμή του είναι αποδεκτή χωρίς να γίνεται αναφορά σε άλλα πρότυπα του ίδιου μεγέθους.
- **Δευτερεύον πρότυπο:** Είναι το πρότυπο του οποίου η τιμή καθορίζεται μέσω σύγκρισης με ένα πρωτεύον πρότυπο για το ίδιο μέγεθος.
- **Πρότυπα εργασίας:** Είναι οι πιστοποιημένες μονάδες, συσκευές ή διατάξεις που χρησιμοποιούνται για τη διακρίβωση συσκευών δοκιμών και μετρήσεων. Ουσιαστικά αποτελούν το σύνολο των οργάνων και των

παρελκόμενων τους μέσω των οποίων προκύπτουν οι πρότυπες (ονομαστικές) τιμές των παρατηρήσεων, που θα χρησιμοποιηθούν για τους στατιστικούς ελέγχους των αποτελεσμάτων.

- **Ακρίβεια μέτρησης (Precision):** Δείχνει την προσοχή και την λεπτομέρεια με την οποία εκτελέστηκαν οι μετρήσεις, το πόσο καλά συμφωνούν κάποιες ανεξάρτητες μεταξύ τους μετρήσεις του ίδιου συγκεκριμένου μεγέθους. Είναι ουσιαστικά ο βαθμός αμοιβαίας συμφωνίας των μετρήσεων αυτών (εσωτερική ακρίβεια).

Έχει άμεση σχέση με την ποιότητα του χρησιμοποιούμενου οργάνου, την προσοχή – ικανότητα – εμπειρία του παρατηρητή. Η ακρίβεια μπορεί να εκτιμηθεί από μία σειρά μετρήσεων.

Η υψηλή ακρίβεια μετρήσεων δεν εγγυάται το ότι η ορθότητα - ποιότητα θα είναι επίσης υψηλή, η δε ακρίβεια μέτρησης δεν πρέπει να συγχέεται με την ποιότητα μέτρησης.

- **Ορθότητα - Ποιότητα μέτρησης (Accuracy):** Σε ανεξάρτητες μεταξύ τους, επαναλαμβανόμενες μετρήσεις ενός μεγέθους (που γίνονται υπό τις ίδιες συνθήκες), είναι ο βαθμός "ταύτισης" μεταξύ της εκτιμημένης (ή μετρημένης) τιμής και της αντίστοιχης "αληθούς τιμής" (εξωτερική ακρίβεια).

Η ορθότητα δεν μπορεί να εκτιμηθεί από μια σειρά μετρήσεων με το ίδιο σύστημα "όργανο – παρατηρητής – συνθήκες".

- **Αξιοπιστία (Reliability):** Ορίζεται η δυνατότητα ενός προσώπου, ενός οργανισμού ή ενός συστήματος να εκτελέσει τις απαραίτητες λειτουργίες του υπό τους δηλωμένους όρους για μια καθορισμένη χρονική περίοδο. Εκφράζει και το συνδυασμό ορθότητας και ακρίβειας μιας τιμής.

- **Αβεβαιότητα (Uncertainty):** Πρόκειται για την ποσοτική μέτρηση της ποιότητας του αποτελέσματος μετρήσεων. Δίνεται με δύο τρόπους, π.χ. για μέτρηση μήκους, είτε ως $(1.256\text{m} \pm 0.001\text{m})$ είτε ως $[1.256\text{m} \pm 0.001\text{m}]$, για επίπεδο εμπιστοσύνης π.χ. 95.0% (το επίπεδο εμπιστοσύνης 95.0% χρησιμοποιείται σε όλους τους στατιστικούς ελέγχους που διενεργούνται κατά ISO). Σε κάθε περίπτωση, μέτρηση χωρίς την αντίστοιχη της αβεβαιότητα, δεν έχει καμία αξία.

- **Ιχνηλασιμότητα (Traceability):** Πρόκειται για μία διαδικασία μέσω της οποίας διασφαλίζεται η συνοχή και η συνέχεια της μετρολογικής πυραμίδας. Η διαδικασία αυτή στηρίζεται κυρίως σε διαδοχικές συσχετίσεις των ενδείξεων μιας διάταξης μέτρησης με τις ενδείξεις μιας

άλλης διάταξης αναφοράς, υψηλότερης μετρολογικής ποιότητας, αποκαθιστώντας με τον τρόπο αυτό μια μετρολογική ιεραρχία.

Όπως γίνεται σαφές από τη μελέτη των βασικών αρχών της μετρολογίας, το τελικό αποτέλεσμα των δοκιμών και ελέγχων που αφορούν στον συγκεκριμένο τομέα της επιστήμης οδηγούν **στην διακρίβωση ενός οργάνου** (σε συνδυασμό με τις συμπληρωματικές του συσκευές μέτρησης) που συνοδεύεται από τη **γραπτή πιστοποίηση** και ουσιαστικά εγγυάται ότι στα υπό μελέτη όργανα έχει διαπιστωθεί και επαληθευτεί η ακρίβειά τους.

1.4 Γεωδαιτική Μετρολογία

Γεωδαιτική μετρολογία ονομάζεται ο κλάδος της Γεωδαισίας ο οποίος έχει ως αντικείμενο τον έλεγχο και την πιστοποίηση της ορθής λειτουργίας των οργάνων μέτρησης, που χρησιμοποιούνται σε όλες τις εφαρμογές της Γεωδαισίας.

Τα γεωδαιτικά όργανα που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή μετρήσεων, είναι υποχρεωτικό να ελέγχονται ως προς τον τρόπο λειτουργίας τους αλλά και ως προς την ποιότητα των αποτελεσμάτων των μετρήσεων που γίνονται με αυτά. Οι έλεγχοι αυτοί γίνονται με βάση συγκεκριμένα πρότυπα που καθορίζονται από διεθνείς οργανισμούς.[\[Μπαλοδήμος, Σταθάς, 2012\]](#)

Πιο συγκεκριμένα όσο αφορά στις διεθνείς συμβάσεις για τα γεωδαιτικά όργανα έχει υλοποιηθεί η σειρά προτύπων ISO 17123, που ανάλογα με τα μέρη της (1 έως 8) αναφέρονται και σε διαφορετική κατηγορία μετρήσεων ή οργάνων που χρησιμοποιούνται στις γεωδαιτικές εφαρμογές. Τα πρότυπα ISO 17123 (μέρος 1 έως 4) [\[iso.org\]](#) έχουν ως πηγή τα γερμανικά πρότυπα DIN 17823.

Τα πρότυπα ISO 17123 εστιάζουν σε ελέγχους γεωδαιτικών οργάνων κυρίως στο πεδίο και δεν εφαρμόζουν εργαστηριακούς ελέγχους με πλήρως ελεγχόμενες συνθήκες.

Η δημιουργία και η οριστικοποίηση των προτύπων είναι μία αρκετά μακροχρόνια διαδικασία. Το γεγονός αυτό πολλές φορές δημιουργεί διάφορα προβλήματα, αφού οι εξελίξεις στην επιστήμη και στην τεχνολογία είναι ραγδαίες και τα πρότυπα δεν μπορούν να τις ακολουθήσουν.

Ιδιαίτερα στον τομέα των γεωδαιτικών οργάνων η ραγδαία τεχνολογική ανάπτυξη έχει φέρει επανάσταση τόσο στην κατασκευή όσο και στον τρόπο λειτουργίας τους. Έτσι υπάρχουν περιπτώσεις, όπου οι

μεθοδολογίες που ορίζονται από τα πρότυπα να μην είναι ικανές να δώσουν επαρκές και πλήρες αποτέλεσμα σχετικά με την ακρίβεια και την αξιοπιστία μέτρησης ενός υπό έλεγχο οργάνου.

Οι τομείς στους οποίους δραστηριοποιούνται οι διεθνείς οργανισμοί για την αξιοποίηση και βελτίωση των προτύπων ISO σε σχέση με τον τομέα της Γεωδαισίας συγκεντρώνονται παρακάτω:

- ❖ Πρότυπα σχετικά με προσδιορισμούς θέσης, όργανα και μεθόδους γεωδαιτικών μετρήσεων.
- ❖ Έλεγχος και διακρίβωση των οργάνων μέτρησης που χρησιμοποιούνται.
- ❖ Έλεγχοι αποδοχής, εξασφάλιση ποιότητας, πιστοποίησης και η επίδρασή τους στο επάγγελμα του γεωδαίτη – τοπογράφου μηχανικού.

Σήμερα όλα τα γεωδαιτικά όργανα ελέγχονται από τους κατασκευαστές τους κατά το στάδιο της παραγωγής. Οι όποιες πιθανόν ατέλειες αποθηκεύονται στη μνήμη τους και διορθώνονται αυτόματα οι μετρήσεις τη στιγμή που παράγονται, χωρίς να γίνονται αντιληπτές οι διορθώσεις από τον χρήστη.

Η συνεχής χρήση των οργάνων αυτών καθώς και το πέρασμα του χρόνου επιδρούν στους μηχανισμούς οι οποίοι υπολογίζουν τις διορθώσεις με αποτέλεσμα το όργανο να απορυθμίζεται. Για το λόγο αυτό πρέπει ο έλεγχος των οργάνων να επαναλαμβάνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα με σκοπό να εξασφαλίζεται η ορθή λειτουργία αυτών.

Στην Ελλάδα υπάρχουν κανονισμοί και προδιαγραφές σχετικά με τη μεθοδολογία και την απαιτούμενη ακρίβεια εκτέλεσης των διαφόρων γεωδαιτικών, τοπογραφικών και κτηματολογικών εργασιών. Αλλά αυτά δεν συναρτώνται αυστηρά με θεσμικές απαιτήσεις ελέγχου και ρύθμισης των χρησιμοποιούμενων οργάνων.

Σύμφωνα με την υπουργική απόφαση (ΔΙΠΑΔ/οικ/611/24-7-01) δίνονται οι πρώτες οδηγίες υποχρεωτικής εφαρμογής για το περιεχόμενο, τον έλεγχο και την έγκριση Προγράμματος - Ποιότητας Έργου.

Η παραπάνω υπουργική απόφαση αναφέρεται στον μετρητικό εξοπλισμό, περιλαμβανομένου και του μη εργαστηριακού εξοπλισμού (π.χ. τοπογραφικά όργανα) και περιλαμβάνει:

- ❖ Καταγραφή προγράμματος ποιότητας έργου με τεκμηρίωση υλοποίησης ελέγχων και δοκιμών που προβλέπονται να γίνουν

- ❖ Συντήρηση του εξοπλισμού
- ❖ Διακρίβωση του εξοπλισμού με κοινές αποδεκτές διαδικασίες που αναφέρονται στα διεθνή πρότυπα
- ❖ Απαγόρευση χρήσης μη διακριβωμένων οργάνων (ΦΕΚ 1013 Β/2-8-01)

1.5 Το Ελληνικό ινστιτούτο μετρολογίας

Το Ελληνικό Ινστιτούτο Μετρολογίας (ΕΙΜ), είναι νομικό πρόσωπο ιδιωτικού δικαίου, που εποπτεύεται από τη Γενική Γραμματεία Βιομηχανίας του Υπουργείου Ανάπτυξης και είναι ο εθνικός φορέας μετρολογίας και ο επίσημος τεχνικός σύμβουλος του κράτους σε θέματα μετρολογίας. Έχει αρμοδιότητα και σκοπό να καθορίζει τις μονάδες μέτρησης των διαφόρων φυσικών μεγεθών, τις μεθόδους και τις προδιαγραφές εκτέλεσης των μετρήσεων, την προώθηση εγκρίσεων τύπου στα όργανα μέτρησης, διατήρηση και φύλαξη των προτύπων αναφοράς των οργάνων μέτρησης των επτά βασικών μονάδων του Διεθνούς Συστήματος Μονάδων (SI), την ανάπτυξη, τη διάδοση της γνώσης και την εκπαίδευση σε θέματα μετρολογίας, τη χορήγηση και ανάκληση πιστοποιητικών διακρίβωσης, τη λειτουργία μετρολογικού εργαστηρίου, την εκπροσώπηση της χώρας στο εξωτερικό σε θέματα μετρολογίας και το σχεδιασμό και την προετοιμασία εφαρμογής εθνικού συστήματος μετρήσεων. [eim.gr]

Ιδρύθηκε το 1994, μέσω του Ν. 2231/94 που δημοσιεύθηκε στο ΦΕΚ 139Α/1994. Από το 2001, έχει έδρα τη Βιομηχανική Περιοχή της Θεσσαλονίκης στη Σίνδο.

Συμμετέχει από το 2001 στη Συνθήκη του Μέτρου που υπογράφηκε αρχικά το 1875, κατά την οποία ιδρύθηκε το Διεθνές Γραφείο Μέτρων και Σταθμών (Bureau International des Poids et Mesures - BIPM) και αποτελεί ιδρυτικό μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης Εθνικών Ινστιτούτων Μετρολογίας (EURAMET). [eim.gr]

1.6 Ο παγκόσμιος οργανισμός προτύπων ISO

Ο οργανισμός ISO, είναι ένας διεθνής, ανεξάρτητος, μη κυβερνητικός οργανισμός που αποτελείται από ένα δίκτυο εθνικών οργανισμών τυποποίησης 164 χωρών και σκοπός του είναι η τυποποίηση απαιτήσεων προϊόντων και υπηρεσιών, καλύπτοντας επιχειρηματικές και τεχνολογικές δραστηριότητες, από την ασφάλεια τροφίμων μέχρι τους

ηλεκτρονικούς υπολογιστές και από τη γεωργία μέχρι το χώρο της υγείας. Στόχος είναι η διευκόλυνση του διεθνούς συντονισμού και η ενοποίηση της τυποποίησης προϊόντων και υπηρεσιών.

Ιδρύθηκε το 1947 με την συμμετοχή 25 χωρών και αποτελούνταν από 67 τεχνικές επιτροπές, οι οποίες αποτελούν ομάδες ειδικών που επικεντρώνουν το ενδιαφέρον τους σε συγκεκριμένα θέματα. Σήμερα ο αριθμός αυτός των τεχνικών επιτροπών ανέρχεται σε 3368 και κάθε μία από αυτές είναι επιφορτισμένη με το έργο να δημιουργεί τυποποιήσεις για μία συγκεκριμένη επιστημονική ή βιομηχανική περιοχή, σε άμεση συνεργασία με ειδικούς του συγκεκριμένου κλάδου και κυβερνητικούς ή μη - κυβερνητικούς φορείς των χωρών - μελών του Οργανισμού. Τα προσχέδια της τυποποίησης αποστέλλονται προς ψήφιση στους Κρατικούς Φορείς που συνεργάζονται με τον οργανισμό ISO και, εφόσον υπερψηφιστεί από το 75% αυτών, δημοσιεύεται ως επίσημο Διεθνές Πρότυπο. Ο Οργανισμός, εδράζεται στη Γένοβα της Ελβετίας.

Η εφαρμογή ενός συστήματος ποιότητας ISO παρέχει οφέλη, διαβεβαιώνοντας ότι τα προϊόντα είναι ασφαλή, αξιόπιστα και καλής ποιότητας. Σε μία επιχείρηση, η εφαρμογή τους προσφέρει μείωση κόστους παραγωγής, μειώνοντας τα απόβλητα και τα λάθη και αυξάνει την παραγωγικότητα. Επίσης, βοηθά τις επιχειρήσεις να αποκτήσουν πρόσβαση σε νέες αγορές, να αυξήσουν την ζώνη επιρροής τους και να πραγματοποιούν ελεύθερο, δίκαιο και διεθνές εμπόριο [iso.org]

1.7 Τα γεωδαιτικά πρότυπα του οργανισμού ISO

Οι έλεγχοι που περιέχονται στα παγκόσμια πρότυπα ISO έχουν σκοπό να επιβεβαιώσουν την καταλληλότητα κάποιου οργάνου για συγκεκριμένη εργασία και να εξασφαλίσουν τις απαιτήσεις που τίθενται.

Δεν πρόκειται για ελέγχους αποδοχής και δοκιμασίες επιδόσεων των ακριβειών απόδοσης σε σύνθετες διαδικασίες στο ύπαιθρο. Το κομμάτι αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως το πρώτο βήμα της διαδικασίας του υπολογισμού της αβεβαιότητας μιας μέτρησης. Η αβεβαιότητα αυτή εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως είναι η επαναληψιμότητα, η επανεκτέλεση, η ανιχνευσιμότητα και μια σειρά από πιθανά σφάλματα.

Σε σχέση με τα γεωδαιτικά όργανα τα παγκόσμια πρότυπα ISO παρέχουν το σύνολο των απαιτήσεων που πρέπει να ικανοποιούνται κατά τον έλεγχο των οργάνων αυτών και περιέχουν μέρη τα οποία είναι τα εξής:

- (17123-1): Θεωρία
- (17123-2): Χωροβάτες
- (17123-3): Θεοδόλιχα
- (17123-4): Ηλεκτροπτικά όργανα μέτρησης μηκών (όργανα EDM).
- (17123-5): Ηλεκτρονικά ταχύμετρα (όργανα Total Stations)
- (17123-6): Περιστροφικά lasers
- (17123-7): Σύγχρονα Ηλεκτροπτικά όργανα
- (17123-8): Δέκτες του συστήματος GNSS
[\[www.iso.org\]](http://www.iso.org) [ISO]

1.7.1 Ισχύον πρότυπο ISO 17123-8

Η διαδικασία για τη διακρίβωση δεκτών του συστήματος GNSS περιλαμβάνεται στο 8^ο μέρος του ISO υπ' αριθμόν 17123-8, με τίτλο: *"Εργασίες πεδίου για τον έλεγχο γεωδαιτικών και τοπογραφικών οργάνων – 8ο μέρος: Επίγειοι δέκτες συστήματος GNSS με τη μέθοδο εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο (RTK) "*.

Σκοπός του ISO 17123-8 είναι να καθορίσει τις εργασίες πεδίου και τους υπολογισμούς που πρέπει να πραγματοποιηθούν για την εκτίμηση και τον προσδιορισμό της αβεβαιότητας των δορυφορικών συστημάτων (περιλαμβάνοντας εκτός από το σύστημα GPS και το GLONASS και μελλοντικά το GALLILEO) χρησιμοποιώντας την κινηματική μέθοδο προσδιορισμού θέσης σε πραγματικό χρόνο (RTK). Επίσης αναφέρεται και στο βοηθητικό εξοπλισμό κατά τη χρήση σε κατασκευαστικές, τοπογραφικές και βιομηχανικές χρήσεις.

✓ Περιγραφή μεθόδου

Η μέθοδος προσδιορισμού θέσης σε πραγματικό χρόνο (Real Time Positioning) χρησιμοποιείται κατά το στάδιο των ελέγχων και υλοποιείται με την χρήση ενός δέκτη σε ένα σταθερό σημείο (base-reference) και ενός κινούμενου (rover).

Ο δέκτης που τοποθετείται στο σταθερό σημείο και παραμένει ακίνητος σε όλη την διάρκεια των μετρήσεων, είναι εκείνος που ελέγχεται.

Και οι δύο δέκτες που χρησιμοποιούνται μετρούν ταυτόχρονα και στη συνέχεια υπολογίζουν τα αποτελέσματά τους με την χρήση ασύρματης επικοινωνίας. Ο κινούμενος δέκτης προσδιορίζει σε πραγματικό χρόνο τις συντεταγμένες της κεραίας σε οποιοδήποτε σύστημα αναφοράς ικανοποιεί το χρήστη. Για πρακτικούς λόγους οι

τρισεπίστας γεωκεντρικές συντεταγμένες μετασχηματίζονται σε οριζοντιογραφικές και σε γεωμετρικό υψόμετρο.

Σύμφωνα με το ISO 17123-8 [[iso.org](http://www.iso.org)] κατά την έναρξη των διαδικασιών ελέγχου, αναφέρεται ότι είναι σημαντικό για το χειριστή να ελέγξει ότι ο εξοπλισμός, ο δέκτης και η κεραία του ικανοποιούν την ελάχιστη ακρίβεια για την καθορισμένη εφαρμογή. Ο δέκτης, η κεραία και ο συμπληρωματικός εξοπλισμός για τους κινούμενους δέκτες θα πρέπει να έχει ελεγχθεί, ώστε να βρίσκεται σε ικανοποιητική κατάσταση σύμφωνα με τις μεθόδους που αναφέρονται.

Ο έλεγχος θα πρέπει να ικανοποιεί συγκεκριμένες απαιτήσεις όπως:

- ελάχιστο αριθμό δορυφόρων
- μέγιστη τιμή ακρίβειας προσδιορισμού θέσης
- ελάχιστο χρόνο παρατήρησης
- άλλες συνθήκες

Επίσης αναφέρονται οι επιθυμητές τιμές ανοχής του σφάλματος που μπορούν να περιέχονται στην κέντρωση και στη μέτρηση του ύψους της κεραίας και ορίζονται στο $\pm 1\text{mm}$. Ωστόσο δεν προσδιορίζεται η μέθοδος που θα ικανοποιούνται οι συνθήκες αυτές.

Τα αποτελέσματα του ελέγχου επηρεάζονται από πολλές συνθήκες, όπως είναι:

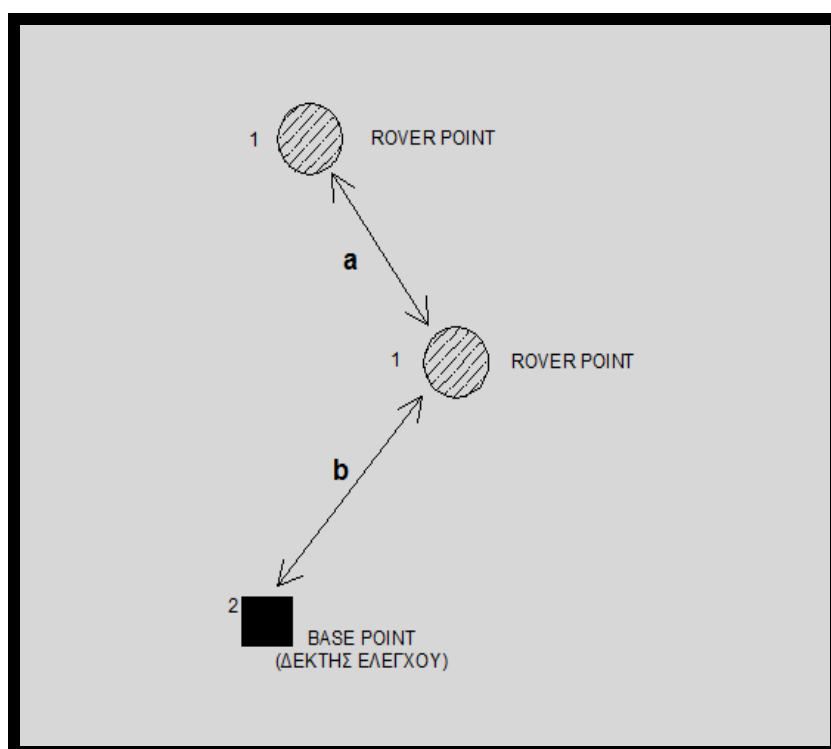
- Η ορατότητα του δορυφορικού δικτύου, που επιτυγχάνεται σε κάθε σημείο μέτρησης
- Το τροποσφαιρικό και ιονοσφαιρικό σφάλμα
- Η ανάπτυξη πολυανάκλασης στα σημεία μέτρησης
- Η ακρίβεια μέτρησης που καθορίζεται από τον εξοπλισμό και από την ποιότητα του λογισμικού που χρησιμοποιείται για την επίλυση ή του συστήματος που μεταβιβάζει τα δεδομένα μεταξύ του σταθερού και του κινούμενου δέκτη
[\[www.iso.org\]](http://www.iso.org)

✓ Διαδικασία ελέγχου σύμφωνα με το ISO 17123-8

Η διαδικασία ελέγχου υλοποιείται από ένα δέκτη (base σε σταθερό σημείο, ο οποίος ελέγχεται) και από έναν κινούμενο δέκτη (rover σε δύο διαφορετικές θέσεις). Η τοποθέτηση του κινούμενου δέκτη θα ήταν καλό να υλοποιείται σε κοντινή απόσταση από την περιοχή ελέγχου και να επιλέγεται αξιοποιώντας τα χαρακτηριστικά αυτής (σχήμα 1.1). Η απόσταση μεταξύ των δύο θέσεων του κινούμενου δέκτη (a) θα πρέπει να είναι το ελάχιστο 2m και να μην ξεπερνάει τα 20m.

Η **οριζόντια απόσταση** και η **υψομετρική διαφορά** μεταξύ των δυο θέσεων του κινούμενου δέκτη θα πρέπει να έχουν προκύψει με μεθόδους (διαφορετικές από την μέθοδο προσδιορισμού θέσης σε πραγματικό χρόνο), με αβεβαιότητα καλύτερη από $\pm 3\text{mm}$. Οι τιμές αυτές ορίζονται ως **πρότυπες τιμές** και στις δύο διαδικασίες ελέγχου.

Οι οριζόντιες αποστάσεις και οι υψομετρικές διαφορές που υπολογίζονται από τις συντεταγμένες που θα προκύψουν με τις δορυφορικές μετρήσεις θα συγκριθούν με τις αντίστοιχες πρότυπες, με σκοπό να εξεταστεί εάν οι μετρήσεις εμπεριέχουν ή όχι χονδροειδή σφάλματα.



Σχήμα 1.1 Σχηματική αναπαράσταση των διαδικασιών ελέγχου

Οι τιμές της τυπικής απόκλισης των μεγεθών αυτών ουσιαστικά αντιπροσωπεύουν την τάξη μεγέθους της ακρίβειας που μπορεί να επιτευχθεί στον εντοπισμό θέσης με δορυφορικές παρατηρήσεις, συμπεριλαμβάνοντας τους περισσότερους από τους παράγοντες που τον επηρεάζουν.

Για να επιτευχθεί ο έλεγχος των δεκτών GNSS, ορίζονται δύο διαφορετικές διαδικασίες πεδίου, η απλοποιημένη και η πλήρης διαδικασία ελέγχου.

Η διαδικασία των παρατηρήσεων οργανώνεται και κωδικοποιείται με σκοπό την επίτευξη των μετρούμενων μεγεθών. Τόσο για τη

διαδικασία ελέγχου όσο και της διακρίβωσης οι παρατηρήσεις αναφέρονται σε σειρές μετρήσεων.

Μία σειρά μετρήσεων αποτελείται από 5 set. Κάθε set μετρήσεων αντίστοιχα αποτελείται από συνεχείς παρατηρήσεις για τον κινούμενο δέκτη. Η χρονική διαφορά μεταξύ των σετ ορίζεται περίπου στα 5 λεπτά.

Η απαίτηση αυτή συνεπάγεται ότι η χρονική περίοδος υλοποίησης των μετρήσεων είναι 25 λεπτά, επομένως θα ήταν καλό τα 5 σετ και για τις δύο θέσεις του κινούμενου δέκτη να ισοκατανέμονται σε αυτόν τον χρόνο.

Επίσης ο χρόνος εκκίνησης των διαφορετικών σειρών μετρήσεων πρέπει να διαφέρει κατά 90 λεπτά. Με αυτόν τον τρόπο ικανοποιούνται οι συνθήκες που αναφέρονται σε αλλαγή του δορυφορικού σχηματισμού και στις συνθήκες που επικρατούν στην ιονόσφαιρα και στην τροπόσφαιρα.

1.7.1.1 Απλοποιημένη διαδικασία ελέγχου (Simplified test procedure)

Η απλοποιημένη διαδικασία ελέγχου αποτελείται από μία σειρά μετρήσεων (επομένως από 5 set μετρήσεων) και δίνει **εκτίμηση της ακρίβειας** του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται σε μία εφαρμογή, **μέσα στα όρια μίας συγκεκριμένης αποδεκτής απόκλισης.**

Τα αποτελέσματα της διαδικασίας αυτής προέρχονται από περιορισμένο αριθμό μετρήσεων και επομένως δεν είναι δυνατόν να αποδίδουν πλήρως την αβεβαιότητα των μετρήσεων και **δεν εφαρμόζονται στατιστικοί έλεγχοι.**

✓ Μετρήσεις

Για την έναρξη των μετρήσεων, τοποθετείται ο υπό έλεγχο δέκτης GNSS στην θέση 2 (σχήμα 1.1). Κατά την τοποθέτηση του δέκτη πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη σημασία στην κέντρωση, στην οριζοντίωση και στην μέτρηση του ύψους της κεραίας. Οι μετρήσεις περιλαμβάνουν 5 set παρατηρήσεων των συνιστωσών του διανύσματος βάσης μεταξύ του σταθερού δέκτη και των δύο θέσεων που τοποθετείται ο κινούμενος δέκτης.

Στον πίνακα 1.1 παρουσιάζεται το διάγραμμα κωδικοποίησης που αναφέρεται στις μετρήσεις που πρέπει να γίνουν σε κάθε σειρά και σετ μεταξύ του σταθερού και του κινούμενου δέκτη, για την απλοποιημένη διαδικασία ελέγχου.

α/α ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΣΕΙΡΑ <i>i</i>	ΣΕΤ <i>j</i>	ΘΕΣΗ ΔΕΚΤΗ ROVER <i>k</i>	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ		
				<i>x</i>	<i>y</i>	<i>h</i>
1	1	1	1	x(1,1,1)	y(1,1,1)	h(1,1,1)
2	1	1	2	x(1,1,2)	y(1,1,2)	h(1,1,2)
3	1	2	1	x(1,2,1)	y(1,2,1)	h(1,2,1)
4	1	2	2	x(1,2,2)	y(1,2,2)	h(1,2,2)
5	1	3	1	x(1,3,1)	y(1,3,1)	h(1,3,1)
6	1	3	2	x(1,3,2)	y(1,3,2)	h(1,3,2)
7	1	4	1	x(1,4,1)	y(1,4,1)	h(1,4,1)
8	1	4	2	x(1,4,2)	y(1,4,2)	h(1,4,2)
9	1	5	1	x(1,5,1)	y(1,5,1)	h(1,5,1)
10	1	5	2	x(1,5,2)	y(1,5,2)	h(1,5,2)

Πίνακας 1.1 Απεικόνιση κωδικοποίησης και αναγραφής μετρήσεων

Κάθε σετ μετρήσεων αποτελείται από $x_{i,j,k}$, $y_{i,j,k}$, $h_{i,j,k}$ με τα x , y , h να αντιστοιχούν στις συντεταγμένες του κινούμενου δέκτη στο τοπικό σύστημα αναφοράς. Ο δείκτης (i) αντιστοιχεί στη σειρά μετρήσεων, ο δείκτης (j) στο σετ των μετρήσεων και ο δείκτης (k) στη θέση του κινούμενου δέκτη. Με αυτό τον τρόπο προκύπτουν 5 σετ συντεταγμένων x,y,h για κάθε ένα από τα δύο διαφορετικά σημεία που τοποθετείται ο κινούμενος δέκτης.

✓ Υπολογισμοί

Για κάθε σετ μετρήσεων (από 1 έως 5) και για τη μοναδική σειρά μετρήσεων, υπολογίζονται η οριζόντια απόσταση και η υψομετρική διαφορά μεταξύ των σημείων που τοποθετήθηκε ο κινούμενος δέκτης (rover). Κάθε μέγεθος που προσδιορίζεται, συγκρίνεται απευθείας με τις πρότυπες τιμές (απόστασης D^* και υψομετρικής διαφοράς Δh^*) με σκοπό να ανιχνευθούν τυχόν χονδροειδή σφάλματα. Επίσης υπολογίζεται η τυπική απόκλιση των αποτελεσμάτων και γίνεται σύγκριση με τις πρότυπες τιμές, σύμφωνα με τους τύπους:

$$D_{i,j} = \sqrt{(x_{i,j,2} - x_{i,j,1})^2 + (y_{i,j,2} - y_{i,j,1})^2} \quad (1.1)$$

$$\Delta h_{i,j} = h_{i,j,2} - h_{i,j,1} \quad (1.2)$$

$$\varepsilon_{D,i,j} = D_{i,j} - D^* \quad (1.3)$$

$$\varepsilon_{h,i,j} = \Delta h_{i,j} - \Delta h^* \quad (1.4)$$

Όπου:

- ❖ D^* , Δh^* είναι οι πρότυπες τιμές της οριζόντιας απόστασης και της υψομετρικής διαφοράς αντίστοιχα

- ❖ $\varepsilon_{D,i,j}$ και $\varepsilon_{h,i,j}$ είναι οι διαφορές μεταξύ των πρότυπων και των «μετρημένων» οριζόντιων αποστάσεων και υψομετρικών διαφορών

Κάθε υπολογισμένη απόκλιση θα πρέπει να βρίσκεται μέσα στα όρια επιτρεπόμενης παρέκκλισης που καθορίζεται από την ικανοποίηση των παρακάτω συνθηκών.

$$|\varepsilon_{D,i,j}| \leq 2.5 \cdot \sqrt{2} \cdot \sigma_{xy} \quad (1.5)$$

$$|\varepsilon_{h,i,j}| \leq 2.5 \cdot \sqrt{2} \cdot \sigma_h \quad (1.6)$$

Όπου:

- $\sigma_{x,y}, \sigma_h$ είναι είτε η πειραματική τυπική απόκλιση της μιας μέτρησης υπολογισμένη σύμφωνα με την πλήρη διαδικασία ελέγχου, είτε με τιμές που έχουν δοθεί από τον κατασκευαστή των οργάνων.

Εάν καμία από τις αποκλίσεις δεν ικανοποιεί τις παραπάνω συνθήκες (1.5 και 1.6) για συγκεκριμένη εργασία, είναι ανάγκη να γίνουν έλεγχοι για την εύρεση της πηγής των σφαλμάτων μέσω της επανάληψης του ελέγχου.

1.7.1.2 Πλήρης διαδικασία ελέγχου (Full test procedure)

Ο πλήρης έλεγχος συνιστάται να εφαρμόζεται για να καθοριστεί η **μέγιστη ακρίβεια** που μπορεί να επιτευχθεί όσο αφορά τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται.

Η πλήρης διαδικασία ελέγχου μπορεί να εφαρμοστεί για να καθοριστεί:

- 1) Η ακρίβεια μέτρησης με τον εξοπλισμό υπό συγκεκριμένες συνθήκες (περιλαμβάνοντας όλες τις περιόδους επιρροής)
- 2) Η ακρίβεια μέτρησης με τον εξοπλισμό που έχει χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικές χρονικές περιόδους ή υπό διαφορετικές συνθήκες
- 3) Η δυνατότητα σύγκρισης μεταξύ διαφορετικών εξοπλισμών (που έχουν διαφορετική ακρίβεια μέτρησης), υπό παρόμοιες συνθήκες εφαρμογής.

Εφαρμόζονται στατιστικοί έλεγχοι για να καθοριστεί εάν το δείγμα που αναπαριστούν οι μετρήσεις ανήκει στον ίδιο πληθυσμό με αυτό που προέκυψαν τα θεωρητικά στατιστικά μεγέθη και κατά πόσο δύο δείγματα από διαφορετικά πειράματα ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό.

✓ Μετρήσεις

Στον πλήρη έλεγχο χρησιμοποιείται το ίδιο πεδίο ελέγχου (σχήμα 1.1) που πραγματοποιείται και ο απλοποιημένος έλεγχος αλλά διαφοροποιείται το πλήθος των μετρήσεων. Πραγματοποιούνται 3 σειρές μετρήσεων (επομένως 15 set) με την κωδικοποίηση αυτών να ακολουθεί την αντίστοιχη της απλοποιημένης διαδικασίας.

Κάθε σειρά μετρήσεων θα πρέπει να πραγματοποιείται με διαφορά τουλάχιστον 90 λεπτών από την προηγούμενη.

α/α ΜΕΤΡΗΣΗΣ	ΣΕΙΡΑ i	ΣΕΤ j	ΘΕΣΗ ΔΕΚΤΗ ROVER k	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ		
				x	y	h
1	1	1	1	x(1,1,1)	y(1,1,1)	h(1,1,1)
2	1	1	2	x(1,1,2)	y(1,1,2)	h(1,1,2)
3	1	2	1	x(1,2,1)	y(1,2,1)	h(1,2,1)
4	1	2	2	x(1,2,2)	y(1,2,2)	h(1,2,2)
5	1	3	1	x(1,3,1)	y(1,3,1)	h(1,3,1)
6	1	3	2	x(1,3,2)	y(1,3,2)	h(1,3,2)
7	1	4	1	x(1,4,1)	y(1,4,1)	h(1,4,1)
8	1	4	2	x(1,4,2)	y(1,4,2)	h(1,4,2)
9	1	5	1	x(1,5,1)	y(1,5,1)	h(1,5,1)
10	1	5	2	x(1,5,2)	y(1,5,2)	h(1,5,2)
11	2	1	1	x(2,1,1)	y(2,1,1)	h(2,1,1)
12	2	1	2	x(2,1,2)	y(2,1,2)	h(2,1,2)
13	2	2	1	x(2,2,1)	y(2,2,1)	h(2,2,1)
14	2	2	2	x(2,2,2)	y(2,2,2)	h(2,2,2)
15	2	3	1	x(2,3,1)	y(2,3,1)	h(2,3,1)
16	2	3	2	x(2,3,2)	y(2,3,2)	h(2,3,2)
17	2	4	1	x(2,4,1)	y(2,4,1)	h(2,4,1)
18	2	4	2	x(2,4,2)	y(2,4,2)	h(2,4,2)
19	2	5	1	x(2,5,1)	y(2,5,1)	h(2,5,1)
20	2	5	2	x(2,5,2)	y(2,5,2)	h(2,5,2)
21	3	1	1	x(3,1,1)	y(3,1,1)	h(3,1,1)
22	3	1	2	x(3,1,2)	y(3,1,2)	h(3,1,2)
23	3	2	1	x(3,2,1)	y(3,2,1)	h(3,2,1)
24	3	2	2	x(3,2,2)	y(3,2,2)	h(3,2,2)
25	3	3	1	x(3,3,1)	y(3,3,1)	h(3,3,1)
26	3	3	2	x(3,3,2)	y(3,3,2)	h(3,3,2)
27	3	4	1	x(3,4,1)	y(3,4,1)	h(3,4,1)
28	3	4	2	x(3,4,2)	y(3,4,2)	h(3,4,2)
29	3	5	1	x(3,5,1)	y(3,5,1)	h(3,5,1)
30	3	5	2	x(3,5,2)	y(3,5,2)	h(3,5,2)

Πίνακας 1.2 Απεικόνιση κωδικοποίησης και αναγραφής μετρήσεων (πλήρης διαδικασία)

Στον πίνακα 1.2 παρουσιάζεται το διάγραμμα κωδικοποίησης που αναφέρεται στις μετρήσεις που πρέπει να γίνουν σε κάθε σειρά και σετ μεταξύ του σταθερού και του κινούμενου δέκτη, για την πλήρη διαδικασία ελέγχου.

✓ Υπολογισμοί

Οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται σε δύο στάδια.

- Στο πρώτο γίνεται έλεγχος ύπαρξης χονδροειδών σφαλμάτων στις μετρήσεις, όπως και στην απλοποιημένη διαδικασία ελέγχου.
- Στο δεύτερο στάδιο υπολογίζονται τα στατιστικά μεγέθη-τιμές.

❖ Υπολογισμός στατιστικών μεγεθών

Αρχικά με την εφαρμογή της θεωρίας ελαχίστων τετραγώνων συνολικά για όλες τις μετρήσεις, υπολογίζεται η μέση τιμή των συντεταγμένων για τις δύο θέσεις που έχει τοποθετηθεί ο δέκτης rover.

$$\bar{x}_k = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 x_{i,j,k}, \bar{y}_k = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 y_{i,j,k}, \bar{h}_k = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 h_{i,j,k} \quad (1.7)$$

Υπολογίζονται τα υπόλοιπα για όλες τις παρατηρήσεις σύμφωνα με τις σχέσεις 1.8:

$$r_{x_{i,j,k}} = \bar{x}_k - x_{i,j,k}, r_{y_{i,j,k}} = \bar{y}_k - y_{i,j,k}, r_{h_{i,j,k}} = \bar{h}_k - h_{i,j,k} \quad (1.8)$$

$k=1,2, j=1,\dots,5, i=1,2,3$

Υπολογίζεται ο βαθμός ελευθερίας της επίλυσης σύμφωνα με τη σχέση 1.9 και οι τυπικές αποκλίσεις της μίας μέτρησης των συντεταγμένων σύμφωνα με την σχέση 1.10:

$$V_x = V_y = V_h = (m \cdot n - 1) \cdot p = (3 \cdot 5 - 1) \cdot 2 = 28 \quad (1.9)$$

Όπου:

- V_x, V_y, V_h βαθμός ελευθερίας επίλυσης
- m ο αριθμός των σειρών μετρήσεων
- n ο αριθμός των σετ μετρήσεων
- p το πλήθος των διαφορετικών θέσεων του κινούμενου δέκτη

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum r_x^2}{V_x}}, s_y = \sqrt{\frac{\sum r_y^2}{V_y}}, s_h = \sqrt{\frac{\sum r_h^2}{V_h}} \quad (1.10)$$

Τελικά υπολογίζεται και η τυπική απόκλιση της καλύτερης τιμής προσδιορισμού οριζοντιογραφικής θέσης ($S_{\text{iso-RTK-xy}}$) και υψομέτρου ($S_{\text{iso-RTK-h}}$) σύμφωνα με τις σχέσεις 1.11 και 1.12:

$$S_{\text{iso-RTK-xy}} = \sqrt{S_x^2 + S_y^2} \quad (1.11)$$

$$S_{\text{iso-RTK-h}} = S_h \quad (1.12)$$

❖ Στατιστικοί έλεγχοι

Οι στατιστικοί έλεγχοι προτείνεται να γίνονται μόνο κατά την πλήρη διαδικασία ελέγχου. Για την ορθότητα των αποτελεσμάτων, οι στατιστικοί έλεγχοι πρέπει να γίνονται με τη χρήση του συνδυασμού της τυπικής απόκλισης μέτρησης ($S_{\text{iso-RTK-xy}}$) και ($S_{\text{iso-RTK-h}}$) και του βαθμού ελευθερίας, που προέκυψαν από τη διαδικασία των μετρήσεων και της επίλυσης. [www.iso.org]

Με βάση τις παραπάνω τιμές τίθενται τα εξής ερωτήματα:

- i. Είναι η υπολογισμένη τυπική απόκλιση ($S_{\text{iso-RTK-xy}}$) των οριζοντιογραφικών συντεταγμένων μικρότερη από την αντίστοιχη τιμή που δίνεται από τον κατασκευαστή ή από κάποια άλλη προκαθορισμένη τιμή;
- ii. Είναι η υπολογισμένη τυπική απόκλιση προσδιορισμού ($S_{\text{iso-RTK-h}}$) του υψομέτρου μικρότερη από την αντίστοιχη τιμή που δίνεται από τον κατασκευαστή ή από κάποια άλλη προκαθορισμένη τιμή;

Με την πραγματοποίηση 2 εφαρμογών της πλήρους διαδικασίας ελέγχου σε διαφορετικές χρονικές περιόδους τίθενται τα εξής ερωτήματα:

- iii. Μπορούν δύο διαφορετικές τυπικές αποκλίσεις που αναφέρονται στις οριζοντιογραφικές συντεταγμένες (x,y) δύο διαφορετικών δειγμάτων μετρήσεων, να ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό, υποθέτοντας ότι τα δύο δείγματα έχουν τον ίδιο βαθμό ελευθερίας;
- iv. Μπορούν δύο διαφορετικές τυπικές αποκλίσεις που αναφέρονται στο υψόμετρο (h) δύο διαφορετικών δειγμάτων μετρήσεων, να ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό, υποθέτοντας ότι τα δύο δείγματα έχουν τον ίδιο βαθμό ελευθερίας;

Όπου οι δύο τυπικές αποκλίσεις μπορούν να προκύψουν από:

- Δύο δείγματα μετρήσεων του ίδιου δέκτη σε διαφορετικές στιγμές

- Δύο δείγματα μετρήσεων διαφορετικών δεκτών.

Όλοι οι έλεγχοι πραγματοποιούνται για επίπεδο εμπιστοσύνης 95% και για βαθμό ελευθερίας 28 για καθεμία από τις οριζοντιογραφικές συντεταγμένες και το υψόμετρο. [www.iso.org]

❖ Ερώτημα 1

Η μηδενική υπόθεση, δηλαδή ότι η υπολογισμένη τυπική απόκλιση ($S_{\text{iso-RTK-xy}}$) είναι μικρότερη ή ίση από μια θεωρητική ή προκαθορισμένη τιμή δεν απορρίπτεται εάν ικανοποιείται η παρακάτω υπόθεση:

$$S_{\text{iso-RTK-xy}} \leq \sigma_{xy} \cdot \sqrt{\frac{\chi_{0.95}^2 (V_x + V_y)}{V_x + V_y}} = \sigma_{xy} \cdot \sqrt{\frac{\chi_{0.95}^2 (56)}{56}}$$

$$S_{\text{iso-RTK-xy}} \leq \sigma_{xy} \cdot \sqrt{\frac{74.47}{56}} = \sigma_{xy} \cdot 1.15 \quad (1.13)$$

Όπου:

- σ_{xy} προκαθορισμένη τυπική απόκλιση από τον κατασκευαστή.
- χ^2 η τιμή της κατανομής χ^2 για συγκεκριμένη τιμή βαθμού ελευθερίας (V) και επίπεδο εμπιστοσύνης (1- α).

Σε διαφορετική περίπτωση, η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται.

❖ Ερώτημα 2

Η μηδενική υπόθεση, δηλαδή ότι η υπολογισμένη τυπική απόκλιση ($S_{\text{iso-RTK-h}}$) είναι μικρότερη ή ίση από μια θεωρητική ή προκαθορισμένη τιμή δεν απορρίπτεται εάν ικανοποιείται η παρακάτω υπόθεση:

$$S_{\text{iso-RTK-h}} \leq \sigma_h \cdot \sqrt{\frac{\chi_{0.95}^2 (V_h)}{V_h}} = \sigma_h \cdot \sqrt{\frac{\chi_{0.95}^2 (28)}{28}}$$

$$S_{\text{iso-RTK-h}} \leq \sigma_h \cdot \sqrt{\frac{41.34}{28}} = \sigma_h \cdot 1.22 \quad (1.14)$$

Όπου:

- σ_h προκαθορισμένη τυπική απόκλιση από τον κατασκευαστή.

- χ^2 η τιμή της κατανομής χ^2 για συγκεκριμένη τιμή βαθμού ελευθερίας (r) και επίπεδο εμπιστοσύνης (1- α).

Σε διαφορετική περίπτωση, η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται.

❖ Ερώτημα 3

Ελέγχεται, μέσω στατιστικού ελέγχου, αν οι υπολογισμένες τυπικές αποκλίσεις μοναδιαίου ορισμού της θέσης, δύο διαφορετικών δειγμάτων, ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό.

Η αντίστοιχη μηδενική υπόθεση δεν απορρίπτεται αν ισχύει η συνθήκη 1.15.

$$\frac{1}{F_{1-\alpha/2}(\tilde{V}_x + \tilde{V}_y, V_x + V_y)} \leq \left(\frac{S_{\text{iso-RTK-xy}}}{\tilde{S}_{\text{iso-RTK-xy}}} \right)^2 \leq F_{1-\alpha/2}(V_x + V_y, \tilde{V}_x + \tilde{V}_y)$$

$$\frac{1}{F_{0,975}(56,56)} \leq \left(\frac{S_{\text{iso-RTK-xy}}}{\tilde{S}_{\text{iso-RTK-xy}}} \right)^2 \leq F_{0,975}(56,56) \quad (1.15)$$

$$0.59 \leq \left(\frac{S_{\text{iso-RTK-xy}}}{\tilde{S}_{\text{iso-RTK-xy}}} \right)^2 \leq 1.70$$

Όπου:

- $\tilde{V}_x + \tilde{V}_y$ άθροισμα βαθμών ελευθερίας για τη δεύτερη εφαρμογή.
- \tilde{S} υπολογισμένη τυπική απόκλιση από τη δεύτερη εφαρμογή.
- F η τιμή της κατανομής Fischer για συγκεκριμένη τιμή βαθμού ελευθερίας (r) και επίπεδο εμπιστοσύνης (1- $\alpha/2$).

Σε διαφορετική περίπτωση, η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται.

❖ Ερώτημα 4

Ελέγχεται, μέσω στατιστικού ελέγχου, αν οι υπολογισμένες τυπικές αποκλίσεις ορισμού του υψομέτρου, δύο διαφορετικών δειγμάτων, ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό.

Η αντίστοιχη μηδενική υπόθεση δεν απορρίπτεται αν ισχύει η συνθήκη 1.16.

$$\frac{1}{F_{1-a/2}(V_h, \tilde{V}_h)} \leq \left(\frac{S_{\text{iso-RTK-h}}}{\tilde{S}_{\text{iso-RTK-h}}} \right)^2 \leq F_{1-a/2}(V_h, \tilde{V}_h)$$

$$\frac{1}{F_{0.975}(28,28)} \leq \left(\frac{S_{\text{iso-RTK-h}}}{\tilde{S}_{\text{iso-RTK-h}}} \right)^2 \leq F_{0.975}(28,28) \quad (1.16)$$

$$0.47 \leq \left(\frac{S_{\text{iso-RTK-h}}}{\tilde{S}_{\text{iso-RTK-h}}} \right)^2 \leq 2.13$$

Όπου:

- \tilde{V}_h άθροισμα βαθμών ελευθερίας για τη δεύτερη εφαρμογή.
- \tilde{S} υπολογισμένη τυπική απόκλιση από τη δεύτερη εφαρμογή.
- F η τιμή της κατανομής Fischer για συγκεκριμένη τιμή βαθμού ελευθερίας (r) και επίπεδο εμπιστοσύνης (1-a/2).

Σε διαφορετική περίπτωση, η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται.

Στον πίνακα 1.3 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα εύρη των τιμών που μπορούν να ανήκουν οι τιμές των τυπικών αποκλίσεων για τα διαφορετικά ερωτήματα του προτύπου ISO 17123-8, με σκοπό την εξαγωγή συμπεράσματος σχετικά με την λειτουργία του συστήματος μέτρησης.

Ερώτημα 1	Ερώτημα 2
$s_{\text{iso-RTK-xy}} \leq \sigma_{xy} \cdot \sqrt{\frac{74.47}{56}} = \sigma_{xy} \cdot 1.15$	$s_{\text{iso-RTK-h}} \leq \sigma_h \cdot \sqrt{\frac{41.34}{28}} = \sigma_h \cdot 1.22$
Ερώτημα 3	Ερώτημα 4
$0.59 \leq \left(\frac{S_{\text{iso-RTK-xy}}}{\tilde{S}_{\text{iso-RTK-xy}}} \right)^2 \leq 1.70$	$0.47 \leq \left(\frac{S_{\text{iso-RTK-h}}}{\tilde{S}_{\text{iso-RTK-h}}} \right)^2 \leq 2.13$

Πίνακας 1.3 Στατιστικοί έλεγχοι σύμφωνα με το πρότυπο ISO 17123-8

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ

ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ

2.1 Γενικά

Η αρχή του συστήματος δορυφορικού προσδιορισμού θέσης έγινε το 1964 με την ανάπτυξη του συστήματος Transit από τη συνεργασία του αμερικάνικου ναυτικού και του πανεπιστημίου Josh Hopkins. Το σύστημα αρχικά βρήκε εφαρμογή στη ναυσιπλοΐα και στην πλοήγηση υποβρυχίων και βασίζεται στις ιδιότητες του φαινομένου Doppler. Αρχικά το σύστημα λειτουργούσε για τους σκοπούς του αμερικανικού κράτους. Μετά το 1967 αφέθηκε σε εμπορική χρήση με την κατασκευή δεκτών και υλοποίηση μετρήσεων που αναφέρονταν στην μεταβολή της απόστασης μεταξύ δέκτη-δορυφόρου για μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

Όσο αφορά στην ακρίβεια προσδιορισμού για ακίνητο δέκτη ήταν μερικά μέτρα, η οποία ήταν δυνατό να περιοριστεί στο ένα μέτρο εάν εφαρμόζονταν ταυτόχρονες παρατηρήσεις του ίδιου διανύσματος βάσης με μεγάλο βαθμό επαναληψιμότητας των παρατηρήσεων.

Σημαντικό είναι ότι με το σύστημα Transit δόθηκε για πρώτη φορά τις δεκαετίες 1970-80 η δυνατότητα στη γεωδαιτική κοινότητα να εκτελέσει και να βελτιώσει συνήθεις γεωδαιτικές εργασίες, όπως η ίδρυση και μέτρηση γεωδαιτικών δικτύων. [Φωτίου , Πικριδάς , 2012]

Ωστόσο η χρήση περιορισμένου αριθμού δορυφόρων σε συνδυασμό και με άλλα στοιχεία (περιορισμένη διάρκεια διάβασης του δορυφόρου, εκπεμπόμενες συχνότητες) οδήγησαν στην απόσυρση του συστήματος Transit το 1966 και στην προώθηση και ανάπτυξη του συστήματος GPS.

Το σύστημα GPS άρχισε να σχεδιάζεται και να υλοποιείται σταδιακά τη δεκαετία του 1970 και στόχευε στην συνεχή παροχή στίγματος με μεγάλη αξιοπιστία και ακρίβεια για παγκόσμια χρήση.

2.2 Βασικά χαρακτηριστικά δορυφορικού σήματος

Οι μετρήσεις των συστημάτων GNSS βασίζονται στην μετάδοση του σήματος που εκπέμπει ο δορυφόρος, το οποίο περιέχει όλη την

πληροφορία που χρειάζεται για τον προσδιορισμό θέσης. Γίνεται αντιληπτό ότι το σύστημα χαρακτηρίζεται ως παθητικό όσο αφορά στον εντοπισμό θέσης, διότι για να λειτουργήσει χρειάζεται στοιχεία για τα χαρακτηριστικά του σήματος. Τέτοια είναι ο χρόνος διάδοσης της εκπεμπόμενης πληροφορίας καθώς και η θέση του δορυφόρου για συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

Κάθε δορυφόρος μεταδίδει ένα συγκεκριμένο σύνθετο σήμα που διαμορφώνεται πάνω σε φέρουσες συχνότητες στην περιοχή του φάσματος των μικροκυμάτων (L1, L2). Η μετάδοση ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος μπορεί να περιγραφεί από μία συνάρτηση ημιτόνου ή συνημιτόνου, η οποία εκφράζει τη μεταβολή της έντασης του ηλεκτρικού ή του μαγνητικού πεδίου ως προς τον χρόνο μετάδοσης και την απόσταση που διανύεται.

Το σήμα έχει δομηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να λαμβάνονται υπόψιν ορισμένες παράμετροι, όπως:

- Ακρίβεια θέσης, χρόνου και ταχύτητας
- Παγκόσμια κάλυψη
- Ταυτόχρονη εξυπηρέτηση εκατοντάδων χρηστών
- Ανθεκτικότητα των σημάτων στις παρεμβολές
- Μείωση και απαλοιφή των επιδράσεων της ιονόσφαιρας
- Αυτοέλεγχος του συστήματος
- Ευκολία λήψης και αποδιαμόρφωσης των σημάτων από τους δέκτες
- Εξυπηρέτηση πολιτικών αναγκών που απαιτούν μεγάλη ακρίβεια
- Αξιοπιστία στην συνεργασία με άλλα συστήματα προσδιορισμού θέσης με χρήση δορυφορικών παρατηρήσεων

[Φωτίου, Λιβιεράτος, 2000]

Το δορυφορικό σήμα μπορεί να διαχωριστεί σε συνιστώσες όπως είναι οι φέρουσες συχνότητες (ή κύματα φορείς), οι μετρητικοί κώδικες και τα μηνύματα δεδομένων (ή πλοήγησης) που διαμορφώνουν τους φορείς. Από το συνδυασμό των δύο συνιστωσών προκύπτει το δορυφορικό σήμα που εκπέμπεται από τους δορυφόρους προς τους δέκτες.

Οι μετρήσεις, εκτός από τους μετρητικούς κώδικες, μπορούν να πραγματοποιηθούν και στη φάση των φερουσών συχνοτήτων με σημαντική και αξιοποιήσιμη ακρίβεια.

Οι συνιστώσες του δορυφορικού σήματος εξυπηρετούν ορισμένους σκοπούς και συνεργάζονται μεταξύ τους. Συγκεκριμένα το ατομικό ρολόι κάθε δορυφόρου, εκτός από την διατήρηση της ορθής κλίμακας του χρόνου, είναι υπεύθυνο για την παραγωγή μιας θεμελιώδους συχνότητας. Από αυτήν προκύπτουν οι δύο βασικές συμφασικές φέρουσες συχνότητες ή κύματα φορείς L1 και L2. Οι φέρουσες αυτές συχνότητες λειτουργούν ως μεταφορείς των μηνυμάτων δεδομένων και των μετρητικών κωδίκων, επομένως διαμορφώνονται από αυτούς.

Οι μετρητικοί κώδικες-σήματα χρησιμοποιούνται διότι κατά τον προσδιορισμό της θέσης σε πραγματικό χρόνο απαιτείται η μέτρηση μεταξύ δεκτών και δορυφόρων κατά την διεύθυνση που ενώνει αυτούς τους δύο, με αποτέλεσμα να εκπέμπεται το σήμα μόνο κατά την φορά δορυφόρος προς δέκτη. Επομένως χρησιμοποιούνται δύο κώδικες (C/A και P) που διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την διαθεσιμότητα σε ελεύθερη χρήση.

Οι κώδικες αυτοί είναι μοναδικοί για κάθε δορυφόρο και μπορούν να αναπαράγονται ακριβώς και στον δέκτη, ανεξάρτητα από την παραγωγή τους στον δορυφόρο. Επειδή οι κώδικες είναι μοναδικοί και έχουν γνωστή αλγοριθμική σχέση, ο δέκτης μπορεί να αναγνωρίζει άμεσα τους δορυφόρους που λαμβάνει από το σύνολο των σημάτων που εισέρχονται στην κεραία του και να τους παρακολουθεί συνεχώς. Ο δέκτης κάθε φορά συγκρίνει τον κώδικα με ένα αντίγραφο που παράγεται από αυτόν και που είναι μετατοπισμένο ως προς το λαμβανόμενο λόγω του χρόνου ταξιδιού του από το δορυφόρο στο δέκτη.

[Φωτίου, Πικριδάς, 2012]

Το μήνυμα δεδομένων ή πλοήγησης ή ναυσιπλοΐας περιέχει όλες τις πληροφορίες που πρέπει να μεταφερθούν στο δέκτη. Περιλαμβάνει δεδομένα σχετικά με την τροχιά των δορυφόρων και τις παραμέτρους συγχρονισμού των ρολογιών των δορυφόρων ως προς την ενιαία ορθή κλίμακα χρόνου. Το μήνυμα δεδομένων έχει ξεκάθαρη δομή (5 αλληλουχίες τμημάτων) που επαναλαμβάνεται ανά ορισμένο σύντομο χρονικό διάστημα (30 δευτερόλεπτα). Κάθε τμήμα έχει συγκεκριμένο μέγεθος και αποτελείται από μία μοναδική δυαδική ακολουθία. Οποιαδήποτε ακολουθία περιλαμβάνει στοιχεία σχετικά με την κατάσταση λειτουργίας του δορυφόρου, τις χρονικές παραμέτρους για τη διόρθωση του δορυφορικού χρόνου, τις διορθώσεις που αφορούν την ιονοσφαιρική διάθλαση, τον αριθμό της εβδομάδας GPS καθώς και μία στατιστική εκτίμηση της ακρίβειας του παρατηρούμενου μετρητικού κώδικα.

2.3 Τα σύγχρονα παγκόσμια συστήματα εντοπισμού

Το συστήματα εντοπισμού υλοποιούνται από τρία μέρη, **το τμήμα του επίγειου ελέγχου, το τμήμα χρηστών και το δορυφορικό τμήμα.**

Το τμήμα χρηστών αναφέρεται στον κύριο και βοηθητικό εξοπλισμό που χρησιμοποιείται κατά την ανάπτυξη επίγειων εφαρμογών προσδιορισμού θέσης με χρήση δορυφορικών παρατηρήσεων. Επίσης περιλαμβάνει το λογισμικό καθώς και το γνωστικό και επιστημονικό υπόβαθρο που απαιτούνται για την ερμηνεία, τον έλεγχο και τη διόρθωση της διαδικασίας της επίλυσης των παραγόμενων στοιχείων.

Το δορυφορικό τμήμα αποτελείται από δορυφόρους, οι οποίοι εκπέμπουν δορυφορικά σήματα σε συγκεκριμένα διαμορφωμένες συχνότητες. Σύμφωνα με την κατασκευή και αρχή λειτουργίας του συστήματος είναι απαραίτητη η σταθερή λειτουργία και ανάπτυξη 24 δορυφόρων, με αποτέλεσμα να δίνεται η δυνατότητα ταυτόχρονης παρατήρησης οκτώ δορυφόρων. Κάθε ένας από αυτούς τους δορυφόρους είναι τοποθετημένος σε συγκεκριμένο τροχιακό επίπεδο, που έχει καθοριστεί, ώστε να ικανοποιούνται οι προϋποθέσεις των γωνιών κλίσης και θέασης του ελάχιστου αριθμού δορυφόρων από οποιοδήποτε σημείο της γήινης επιφάνειας. Με βάση το τροχιακό επίπεδο τοποθέτησης του κάθε δορυφόρου καθορίζονται και τα μεγέθη της κίνησης του δορυφόρου που περιλαμβάνουν την περίοδο κίνησης αλλά και την σχεδόν κυκλική τροχιά που αυτός διαγράφει (η τροχιά που πραγματοποιεί ο δορυφόρος παρουσιάζει πολύ μικρή εκκεντρότητα με αποτέλεσμα να χαρακτηρίζεται κυκλική). Για τον υπολογισμό των στοιχείων αυτών χρησιμοποιούνται παρατηρήσεις του αζιμούθιου και των γωνιών ύψους αντίστοιχα. Σε περίπτωση απόκλισης της τροχιάς από την καθορισμένη θέση, κάθε δορυφόρος διαθέτει σύστημα ελέγχου διόρθωσης και επαναφοράς.

Κάθε δορυφόρος ταξινομείται και διαχωρίζεται από τους υπόλοιπους με βάση μια σειρά στοιχείων που αναφέρονται στην ημερομηνία εκτόξευσης, στα στοιχεία κατασκευής, στα στοιχεία του κώδικα που εκπέμπονται και στον χρόνο που καταγράφεται από το πλήθος των ατομικών ρολογιών του. Τα ατομικά ρολόγια/χρονόμετρα συνεργάζονται με υπολογιστή και κεραίες τηλεπικοινωνίας με αποτέλεσμα να διατηρείται η ορθή κλίμακα του χρόνου και να υπάρχει επαρκής επικοινωνία για ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ του δορυφορικού συστήματος και του τμήματος χρηστών.

Επίσης επικοινωνία υφίσταται μεταξύ του δορυφορικού και του επίγειου τμήματος ελέγχου. Αν και οι σύγχρονοι δορυφόροι διαθέτουν εξελιγμένα συστήματα που αυξάνουν την αυτονομία τους, η επικοινωνία κρίνεται αναγκαία για τον υπολογισμό παραμέτρων και στοιχείων τροχιάς με μεγάλη ακρίβεια.

Το τμήμα επιγείου ελέγχου αποτελείται από ένα παγκόσμιο επίγειο δίκτυο σταθμών που παρατηρούν συνεχόμενα το σύστημα των δορυφόρων, και με παρατηρήσεις και μεγέθη που συγκεντρώνουν υπολογίζουν και ελέγχουν τις δορυφορικές τροχιές που τείνουν να αποκλίνουν λόγω της ύπαρξης του γήινου πεδίου βαρύτητας. Επίσης προετοιμάζουν τα μηνύματα πλοήγησης, ελέγχουν το δορυφορικό εντοπισμό, διατηρούν την ορθή κλίμακα του χρόνου και τέλος κάνουν πρόγνωση των εκπεμπόμενων δορυφορικών εφημερίδων. Το σύστημα ελέγχου είναι υπεύθυνο για την συντήρηση του συστήματος WGS 84, όπου το τμήμα χρηστών αποκτά πρόσβαση σε αυτό μέσω των δορυφορικών εφημερίδων του μηνύματος πλοήγησης. [Παραδείσης, 2000]

2.3.1 Το Σύστημα GPS

Πρόκειται για το **Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Εντοπισμού ή Global Positioning System**. Αναπτύχθηκε αρχικά τη δεκαετία του 1970, από το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ για στρατιωτικούς σκοπούς, και από τον Απρίλιο του 1995 βρίσκει ποικίλες εφαρμογές στην πλοήγηση, στην κατασκευή χαρτών και στην επίγεια τοπογραφία. Το σύστημα προσφέρει παγκόσμια κάλυψη, δυνατότητα χρήσης 24 ώρες και χρησιμοποιεί ένα κοινό σύστημα συντεταγμένων WGS84/ITRF.

Βασίζεται σε ένα δορυφορικό σχηματισμό 24 δορυφόρων που περιστρέφονται γύρω από τη γη εκπέμποντας σε δύο συχνότητες.

Το συγκεκριμένο σύστημα είναι το πρώτο από τα σύγχρονα συστήματα GNSS που είναι λειτουργικό και επιχειρησιακό, ύστερα από την υλοποίησή του με την κατασκευή κατάλληλων δεκτών και την εκτόξευση των αντίστοιχων δορυφόρων το 1978.

Παρέχει δύο τύπους υπηρεσιών εντοπισμού από πλευράς ακριβείας:

- ❖ Τις Υπηρεσίες Εντοπισμού Συνήθους Ακρίβειας (Standard Positioning Service-SPS) για γενική χρήση προς όλους ανεξάρτητα τους χρήστες του συστήματος

- ❖ Τις Υπηρεσίες Εντοπισμού Υψηλής Ακρίβειας (Precise Positioning Service-PPS) για εξουσιοδοτημένους από το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ χρήστες.

[Παραδείσης, 2000]

2.3.2 Το Σύστημα GALILEO

Αποτελεί το ευρωπαϊκό σύστημα δορυφορικής πλοήγησης που αναπτύσσεται από το 2002 από την Ευρωπαϊκή Ένωση και από την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (ΕΥΔ). Αναμενόταν ότι θα είχε τεθεί σε λειτουργία από το 2008. Στόχος του Galileo είναι να εξασφαλίσει τη ρευστότητα, την αποτελεσματικότητα και την ασφάλεια των μεταφορών στην Ευρώπη, καθώς επίσης να εξυπηρετήσει άλλους τομείς δραστηριοτήτων χάρη στις πολλαπλές εφαρμογές του.

Το Galileo επιτρέπει την ενίσχυση της ευρωπαϊκής επιστημονικής ταυτότητας και την ανάπτυξη της ανεξαρτησίας της Ένωσης στο πλαίσιο του στρατηγικού τομέα προσδιορισμού της θέσης μέσω δορυφόρων.

Συνεπώς, αποτελεί μια πραγματική εναλλακτική λύση στην καθιέρωση ενός εκ των πραγμάτων μονοπωλίου προς όφελος του αμερικανικού GPS.

Ωστόσο, το Galileo θα είναι συμβατό με το GPS, όπως και με το ρωσικό σύστημα ραδιοπλοήγησης Glonass. Το Galileo θα επιτρέπει στους χρήστες που διαθέτουν δέκτη να γνωρίζουν με μεγάλη ακρίβεια τη θέση τους σε πραγματικό χρόνο.

Επίσης αναμένεται να βελτιώσει την κάλυψη σε υψηλότερα πλάτη και ειδικότερα στη Βόρεια Ευρώπη η οποία δεν καλύπτεται επαρκώς από το GPS. Αναμένεται να παρέχει ακρίβεια της τάξης των 4m στην οριζοντιογραφία και 8m στην υψομετρία. Επίσης, σε συνδυασμό με το σύστημα GPS αναμένεται να παρέχει κάλυψη αστικών περιοχών της τάξης του 95%, βελτιώνοντας σε μεγάλο βαθμό τις αστικές εφαρμογές. [Φωτίου, 2006].

Συγκριτικό πλεονέκτημά του αποτελεί το γεγονός ότι είναι το μόνο σύστημα που ενδέχεται να παρέχει λειτουργία έρευνας και διάσωσης. Οι δορυφόροι είναι εξοπλισμένοι με αναμεταδότη που προωθεί τα σήματα από τους δέκτες των χρηστών στο Κέντρο Συντονισμού Διάσωσης, το οποίο οργανώνει τη διαδικασία διάσωσης. Η λειτουργία αυτή αποτελεί σημαντική υπηρεσία διότι επιτρέπει την απευθείας επικοινωνία των χρηστών με το σύστημα.

Το πρόγραμμα αποτελείται από 30 δορυφόρους σε τροχιά από το 2006 και από επίγειους σταθμούς για την αναμετάδοση σημάτων στους χρήστες και ενδέχεται να ολοκληρωθεί η ανάπτυξη του το 2019.

[Λάμπρου, Πανταζής, 2010]

2.3.3 Το Σύστημα GLONASS

Η πρώην Σοβιετική Ένωση προχώρησε στη δημιουργία ενός συστήματος προσδιορισμού θέσης με την ονομασία **GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema ή Global Navigation Satellite System)**. Αρχικά, ο χαρακτήρας του συστήματος GLONASS ήταν στρατιωτικός, αντίστοιχος με το GPS, και κάλυπτε τις ανάγκες της πρώην Σοβιετικής Ένωσης και των συμμαχικών αυτής χωρών. Με τη διάλυση της Σοβιετικής Ένωσης και τις αλλαγές σε πολιτικό επίπεδο, η χρήση του συστήματος GLONASS άρχισε να επεκτείνεται και έξω από τα σύνορα της Σοβιετικής Ένωσης.

Έχει σχεδιαστεί σε τρία τροχιακά επίπεδα και αυτή τη στιγμή υπάρχουν σε τροχιά 12 δορυφόροι σε πλήρη επιχειρησιακή δραστηριότητα. Η τελευταία εκτόξευση, στο πλαίσιο επέκτασης του συστήματος με τη νέα σειρά M πραγματοποιήθηκε στις 25/12/2006 με τρεις δορυφόρους και αναμένονται κι άλλες στα επόμενα χρόνια για να ολοκληρωθεί ο σχηματισμός των 24 δορυφόρων το 2009 με τη σειρά M, όπως έχει εκτιμηθεί.

Από αυτούς τους δορυφόρους οι τρεις είναι εφεδρικοί. Το σύνολο των δορυφόρων κινούνται σε κυκλική τροχιά με περίοδο περιστροφής 11 ώρες και 25 λεπτά. Οι δορυφόροι εκπέμπουν σε συχνότητες που διαμορφώνονται με βάση τις βασικές συχνότητες L1 και L2, ενώ οι αντιδιαμετρικοί δορυφόροι εκπέμπουν στην ίδια συχνότητα, λόγω περιορισμένου εύρους εκπομπής, που οφείλεται στον ανταγωνισμό κατάληψης συχνοτήτων με τις εταιρίες τηλεπικοινωνιών.

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει μια σημαντική προσπάθεια για την συνεργασία των συστημάτων GPS και GLONASS, η οποία δίνει μεγαλύτερη κάλυψη στην επιφάνεια της γης για τους χρήστες των συστημάτων αυτών και μεγαλύτερο πλήθος παρατηρούμενων δορυφόρων όταν οι δορυφόροι του GPS περιορίζονται.

[Λάμπρου, Πανταζής, 2010].

2.3.4 Το Σύστημα BEIDOU

Το σύστημα **BeiDou (BeiDou Navigation Satellite System, BDS)**, είναι ένα σύστημα που αναπτύσσεται από την λαϊκή δημοκρατία της Κίνας και αρχικά υποστηρίζει τις χώρες της Νοτιοανατολικής Ασίας.

Αποτελείται από δύο ξεχωριστές ομάδες δορυφόρων. Η πρώτη ονομάζεται **BeiDou 1 (BeiDou Satellite Navigation Experimental System)**, και είναι ένα σύστημα μικρής κλίμακας που λειτουργεί πειραματικά από το 2000. Αποτελείται από τρεις δορυφόρους που κινούνται σε γεωστατική τροχιά και έχει περιορισμένες δυνατότητες. Υποστηρίζει κυρίως χρήστες στην Κίνα, και δευτερευόντως στις γειτονικές χώρες.

Η δεύτερη ομάδα δορυφόρων που ονομάζεται **BDS (BeiDou 2 ή Compass)**, είναι η επόμενη γενιά του συστήματος, που παρέχει παγκόσμια κάλυψη. Αποτελείται από 35 δορυφόρους και αναμένεται να λειτουργήσει το 2020. Οι πέντε από τους δορυφόρους αυτούς, κινούνται σε γεωστατική τροχιά, τρεις σε γεωσύγχρονη τροχιά και οι υπόλοιποι είκοσι επτά σε μέση γήινη τροχιά (Medium Earth Orbit - MEO), με περίοδο περιστροφής γύρω από την Γη, περίπου 12 ωρών.

Όσο αφορά στην ακρίβεια, αναφέρονται δύο υπηρεσίες. Η μία αφορά πολιτικές εφαρμογές και είναι διαθέσιμη σε όλους τους χρήστες, επιτυγχάνοντας ακρίβεια εντοπισμού της τάξης των δέκα μέτρων, ακρίβεια μέτρησης χρόνου τα 10 nanosecond και ταχύτητας τα 0.2 m/second. Η δεύτερη κατηγορία αφορά ακρίβεια εντοπισμού της τάξης των 10 εκατοστών αλλά αναφέρεται και διατίθεται αποκλειστικά για στρατιωτικούς σκοπούς [en.beidou.gov.cn].

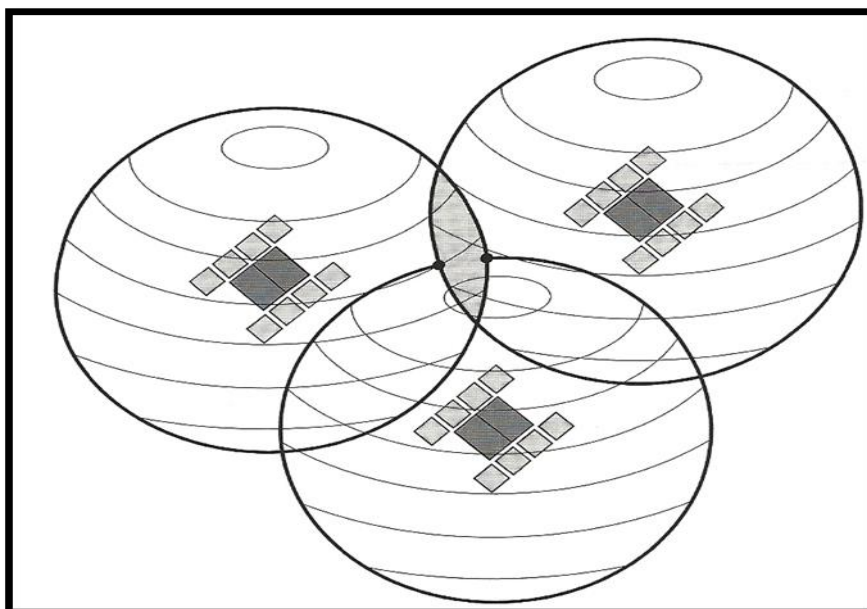
2.4 Μέθοδοι δορυφορικού εντοπισμού

Η αρχή λειτουργίας του προσδιορισμού της θέσης ενός σημείου στην Φ.Γ.Ε. με δορυφορικό εντοπισμό βασίζεται θεωρητικά στον «τριπλευρισμό», δηλαδή στην ταυτόχρονη μέτρηση του μήκους από τους δορυφόρους προς την κεραία του δέκτη.

Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει ο επίγειος δέκτης να μετρήσει τον χρόνο που απαιτείται για να ταξιδέψει το σήμα από τον δορυφόρο στο δέκτη, πραγματοποιώντας ακριβή χρονομέτρηση. Επιπλέον είναι απαραίτητη η γνώση της θέσης των δορυφόρων στην τροχιά τους, δηλαδή οι συντεταγμένες τους X, Y, Z στο παγκόσμιο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς (WGS'84), κάθε χρονική στιγμή όπως επίσης και οι

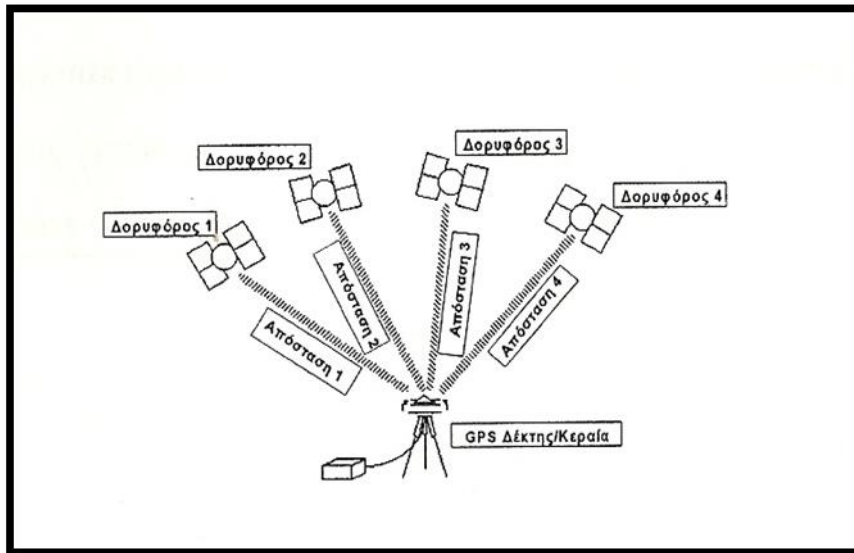
αντίστοιχες διορθώσεις για καθυστερήσεις που οφείλονται στην ατμόσφαιρα καθώς ταξιδεύει το σήμα. Τέλος, πρέπει να γίνουν οι διορθώσεις για τα σφάλματα μεταξύ των χρονομέτρων δορυφόρου και δέκτη.

Με τη μέτρηση των μηκών (ή ψευδοαποστάσεων) προς τους δορυφόρους υπολογίζεται η θέση του παρατηρητή, ως το σημείο τομής των σφαιρών (Σχήμα 2.1), που έχουν κέντρο τους δορυφόρους και ακτίνες τα αντίστοιχα μήκη που μετρήθηκαν προς τον κάθε έναν. Επομένως, θεωρητικά απαιτούνται τρεις τουλάχιστον ταυτόχρονες μετρήσεις μήκους προς τρεις διαφορετικούς δορυφόρους για να προσδιορισθεί η τρισδιάστατη θέση του επίγειου δέκτη. Για να αποφασισθεί ποια είναι η πραγματική θέση μεταξύ των δυο σημείων που προκύπτουν από την τομή χρειάζεται και μια τέταρτη μέτρηση, αν και συνήθως εύκολα αποκλείεται το ένα από τα δυο σημεία. [Τσακίρη, 2005].



Σχήμα 2.1 Η θέση του δέκτη βρίσκεται στην τομή των τριών σφαιρών
[Πηγή : Λάμπρου, Πανταζής, 2010]

Άρα για να βρεθεί τελικά η τρισδιάστατη θέση ενός σημείου με τη χρήση του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού χρειάζεται να γίνουν ταυτόχρονες μετρήσεις από τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους (Σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.2 Ο προσδιορισμός της τριδιάστατης θέσης του δέκτη απαιτεί μετρήσεις από τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους
 [Πηγή : Τσακίρη Μ., 2005]

Όσο περισσότεροι δορυφόροι παρατηρούνται, δημιουργούνται περισσότερες τεμνόμενες σφαίρες και επομένως τόσο μικρότερη είναι η αβεβαιότητα προσδιορισμού της θέσης ενός σημείου στην Φ.Γ.Ε.

Η θέση της κεραίας του δέκτη υπολογίζεται αρχικά σε γεωκεντρικές καρτεσιανές συντεταγμένες (X, Y, Z). Κατόπιν αυτές μετατρέπονται σε ελλειψοειδείς συντεταγμένες, γεωδαιτικού μήκους λ , γεωδαιτικού πλάτους ϕ και γεωμετρικού υψομέτρου h , ως προς κάποιο ελλειψοειδές αναφοράς, εφαρμόζοντας τον κατάλληλο μετασχηματισμό.

Πολλές μέθοδοι δορυφορικού εντοπισμού έχουν αναπτυχθεί με την αναβάθμιση και εξέλιξη των δορυφορικών δεκτών. Η επιλεγμένη κάθε φορά μεθοδολογία βασίζεται στο χρόνο μέτρησης και στην αβεβαιότητα που επιθυμεί ο χρήστης για μία συγκεκριμένη εφαρμογή. Τα δορυφορικά συστήματα GNSS και οι σύγχρονοι δέκτες δίνουν τη δυνατότητα να συνδυαστούν σε μια ευρεία γεωδαιτική εφαρμογή όλες οι μέθοδοι.

Μία πρώτη διάκριση των μεθόδων δορυφορικού εντοπισμού αφορά στο χρόνο προσδιορισμού των συντεταγμένων. Έτσι προκύπτει:

- Ο προσδιορισμός συντεταγμένων σε πραγματικό χρόνο (**real time positioning-RTP**), όπου προκύπτουν οι συντεταγμένες τη χρονική στιγμή εκτέλεσης των μετρήσεων.
- Ο εκ των υστέρων προσδιορισμός (**post processing positioning-PP**), όπου προκύπτουν οι συντεταγμένες μετά την ολοκλήρωση των μετρήσεων, στο γραφείο.

Μία άλλη διάκριση αφορά στην κίνηση των δεκτών κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Διακρίνεται:

- Σε **στατικό εντοπισμό** (*static positioning*), όπου οι δέκτες παραμένουν ακίνητοι στο σημείο τοποθέτησης τους κατά την διάρκεια των μετρήσεων, για συγκεκριμένο χρόνο.
- Σε **κινηματικό εντοπισμό** (*kinematic positioning*), όπου προσδιορίζονται οι συντεταγμένες του δέκτη, ο οποίος κινείται, καταγράφοντας μετρήσεις σε όλη την διαδρομή του είτε σε τυχαίες θέσεις είτε σε σημεία που επιλέγει ο χρήστης.

[Λάμπρου, Πανταζής, 2010]

Επίσης διάκριση πραγματοποιείται ανάλογα και με το πλήθος των δεκτών GNSS που χρησιμοποιούνται για τις δορυφορικές παρατηρήσεις. Διακρίνεται:

- Σε **απόλυτο εντοπισμό**, όπου πραγματοποιείται προσδιορισμός θέσης ενός σημείου στο οποίο είναι τοποθετημένος ένας δέκτης GNSS χρησιμοποιώντας μόνο τις δικές του παρατηρήσεις.
- Σε **σχετικό εντοπισμό**, όπου πραγματοποιείται προσδιορισμός θέσης σημείων στα οποία είναι τοποθετημένοι τουλάχιστον δύο δέκτες GNSS, όπου οι παρατηρήσεις αναφέρονται στο κοινό χρονικό διάστημα που μετρούσαν αυτοί.

2.4.1 Απόλυτος εντοπισμός θέσης

Κατά τη μέθοδο του απόλυτου προσδιορισμού θέσης σημείων, προσδιορίζονται οι συντεταγμένες σημείου (X, Y, Z) από παρατηρήσεις μόνο του αντίστοιχου δέκτη ως προς τουλάχιστον 4 δορυφόρους. Έτσι, οι παρατηρήσεις γίνονται με βάση την εκπεμπόμενη δορυφορική εφημερίδα και ως προς ένα ορισμένο γεωκεντρικό σύστημα αναφοράς (WGS84), έχοντας ως αποτέλεσμα το διάνυσμα που συνδέει τον παρατηρητή με το κέντρο μάζας της γης. Για να καθοριστεί η θέση του σημείου που βρίσκεται ο δέκτης οποιαδήποτε στιγμή, πρέπει να είναι γνωστή η θέση των δορυφόρων (συντεταγμένες) καθώς επίσης και ένας ελάχιστος αριθμός τεσσάρων αποστάσεων (ranges) του δέκτη προς τέσσερις δορυφόρους.

Ο απόλυτος προσδιορισμός θέσης μπορεί να γίνει είτε σε πραγματικό χρόνο, όπου αναφέρεται στην λύση ναυσιπλοΐας (navigation solution), από ταυτόχρονες παρατηρήσεις του δέκτη προς τους

δορυφόρους, είτε και εκ των υστέρων (post-processing) με παρατηρήσεις πολλών εποχών από διαφορετικούς δορυφόρους που έχουν αποτέλεσμα μεγαλύτερη ακρίβεια θέσης και χρόνου. Κατά τον απόλυτο προσδιορισμό, αν υφίσταται η λύση ναυσιπλοΐας όπου ο δέκτης βρίσκεται σε κίνηση (κινηματική εφαρμογή) και δίνει τη θέση του κάθε χρονική στιγμή, η ακρίβεια προσδιορισμού των συντεταγμένων του δέκτη είναι της τάξης των 10-50m. Εάν ο δέκτης είναι ακίνητος (στατική εφαρμογή) η ακρίβεια βελτιώνεται σημαντικά και φτάνει τα μερικά μέτρα. Οι ακρίβειες, οι οποίες επιτυγχάνονται στον απόλυτο εντοπισμό θέσης μετά από αρκετή ώρα παρατηρήσεων με τη χρήση ενός δέκτη ο οποίος μετράει σε κώδικα, είναι της τάξης των 25 μέτρων εάν οι μετρήσεις γίνονται στον C/A κώδικα, ενώ αν οι μετρήσεις γίνονται στον P κώδικα η ακρίβεια προσεγγίζει τα 10 μέτρα.

Επιπρόσθετα οι ακρίβειες που σχετίζονται με τον απόλυτο εντοπισμό θέσης κυμαίνονται:

- ❖ 20-30m όταν χρησιμοποιείται η λειτουργία του **τυπικού απόλυτου εντοπισμού (SPS, standard positioning service)** που αντιπροσωπεύει το επίπεδο ακρίβειας των περισσότερων εφαρμογών χρήσης ενός δέκτη GPS.
- ❖ 2-15m όταν χρησιμοποιείται η λειτουργία του ακριβούς απόλυτου εντοπισμού (**PPP, precise positioning service**).

Η ακρίβεια του απόλυτου εντοπισμού θέσης σημείων είναι περιορισμένη ως αποτέλεσμα της ύπαρξης χονδροειδών σφαλμάτων (biases) και θορύβου. Αυτά τα σφάλματα οφείλονται σε φυσικούς παράγοντες όπως η επίδραση της ατμόσφαιρας στο σήμα του δορυφόρου, αλλά και σε παράγοντες που αναφέρονται στην τροχιά των δορυφόρων και στις συντεταγμένες των επίγειων σταθμών.

[Φωτίου, Πικριδάς, 2012]

Για τον απόλυτο προσδιορισμό χρησιμοποιούνται συνήθως μόνο παρατηρήσεις ψευδοαποστάσεων (pseudo-ranges) από κώδικες και κυρίως από κώδικα C/A, δεδομένου των σφαλμάτων που εμπεριέχονται, όπως αυτό που προέρχεται από την αδυναμία συγχρονισμού των χρονομέτρων δορυφόρων και δέκτη καθώς και το σφάλμα των ατμοσφαιρικών καθυστερήσεων του σήματος GPS. Για την εξάλειψη των συστηματικών σφαλμάτων των χρονομέτρων των δορυφόρων απαιτούνται οι ταυτόχρονες μετρήσεις απόστασης από τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους, ενώ για τον περιορισμό των σφαλμάτων των ατμοσφαιρικών καθυστερήσεων χρησιμοποιείται ο σχετικός εντοπισμός θέσης στις γεωδαιτικές εφαρμογές.

Όταν υπάρχει επιθυμία προσδιορισμού θέσης σε κάθε χρονική στιγμή με μικρή ακρίβεια (μερικά μέτρα), πραγματοποιείται η λύση της ναυσιπλοΐας με μετρήσεις ψευδοαπόστασης. Η λύση αυτή γίνεται αυτόματα μέσα στον δέκτη όπου δίνονται ως αποτέλεσμα οι συντεταγμένες της θέσης του δέκτη οι οποίες αναφέρονται συνήθως στο WGS84. Έτσι οι άγνωστες παράμετροι είναι τέσσερις, τρεις για τις συντεταγμένες των δεκτών και μια για το σφάλμα των χρονομέτρων των δεκτών. Όταν λαμβάνονται περισσότερες ταυτόχρονες μετρήσεις και ο αριθμός των δορυφόρων είναι μεγαλύτερος τότε, όπως γνωρίζουμε, η καλύτερη λύση δίνεται από μαθηματικές τεχνικές όπως η χρήση συνόρθωσης των ελαχίστων τετραγώνων.

2.4.2 Μέθοδος Precise Point Positioning (PPP)

Η μέθοδος υψηλής ακρίβειας απόλυτου προσδιορισμού θέσης, **εναλλακτικά PPP (Precise Point Positioning)**, αποτελεί μία σχετικά πρόσφατη και ευρέως διαδεδομένη τεχνική εντοπισμού θέσης, η οποία αξιοποιεί τα διαθέσιμα δορυφορικά συστήματα εντοπισμού και πλοήγησης GNSS (Global Navigation Satellite Systems). Η διαφορά της με τον σημειακό απόλυτο εντοπισμό θέσης έγκειται στο γεγονός ότι, εκτός από τις μετρήσεις του κώδικα των δορυφορικών σημάτων, χρησιμοποιεί και τις μετρήσεις φάσης του φέροντος κύματος (carrier phase observables) στις δύο συχνότητες L1 και L2, οι οποίες προσδίδουν μεγαλύτερη ακρίβεια στον εντοπισμό θέσης.

Τα τελευταία χρόνια η τεχνική δορυφορικού εντοπισμού PPP αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο για γεωδαιτικές εφαρμογές, καθώς και μία ελκυστική για πολλούς χρήστες και εναλλακτική αποδοτική λύση αντί της μεθόδου σχετικού εντοπισμού, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου η κάλυψη των σταθμών αναφοράς είναι ανεπαρκής.

Ο πρότυπος αλγόριθμος της τεχνικής PPP βασίζεται στην επεξεργασία του γραμμικού συνδυασμού των διαθέσιμων παρατηρήσεων φάσης και κώδικα στις δύο συχνότητες L1 και L2, ο οποίος οδηγεί στον υπολογισμό και την απαλοιφή της πρώτης τάξης επίδρασης της ιονόσφαιρας. Μετά το στάδιο της μετεπεξεργασίας και συνόρθωσης όλων των μετρήσεων προσδιορίζονται, εκτός από τις καρτεσιανές συντεταγμένες του δέκτη, η επίδραση της τροπόσφαιρας, το σφάλμα χρονομέτρου του δέκτη και οι πραγματικές ασάφειες φάσης (real-valued ambiguities). Παράλληλα, η συγκεκριμένη τεχνική έχει τη δυνατότητα να παρέχει ακρίβεια προσδιορισμού θέσης μερικών εκατοστών και σε

επίπεδο δεκατόμετρου σε στατικό και κινηματικό τύπο εντοπισμού αντίστοιχα. [Zumberge,1997]

Η ακρίβεια και η ποιότητα των PPP λύσεων εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την ακρίβεια των προϊόντων των δορυφορικών τροχιών και χρονομέτρων που παρέχει η Διεθνής Υπηρεσία GNSS, IGS (International GNSS Service). Επιπλέον, ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι η ποσότητα, καθώς και η ποιότητα, των παρατηρήσεων φάσης και κώδικα που λαμβάνει ο δέκτης GNSS. Στην περίπτωση, δηλαδή, που υπάρχουν εμπόδια στη γραμμή θέασης των δορυφόρων (satellite line-of-sight obstructions) ή δεν παρακολουθούνται αρκετοί δορυφόροι, η ποιότητα της λύσης είναι αρκετά χαμηλή, ακόμα και αν γίνεται χρήση των υψηλής ακρίβειας προϊόντων τροχιών και χρονομέτρων. Παρ' όλα αυτά, καθίσταται απαραίτητη η διόρθωση των παρατηρήσεων για την επίδραση των τροχιακών σφαλμάτων και των χρονομέτρων του εκάστοτε δορυφόρου που ενυπάρχουν στο μαθηματικό μοντέλο της εν λόγω τεχνικής, κάνοντας χρήση των τελικών προϊόντων ακριβείας (precise orbit and clock accuracy) που παρέχει η υπηρεσία IGS. [Seepersad, 2012]

Επιπλέον, σε αντίθεση με τις τεχνικές σχετικού εντοπισμού (differential positioning techniques) όπου απαιτούνται παρατηρήσεις από έναν ή περισσότερους σταθμούς αναφοράς με γνωστές συντεταγμένες, η τεχνική PPP κάνει χρήση ενός μόνο δέκτη GNSS, τον οποίο μπορεί να χειρίζεται ένα άτομο στις εργασίες πεδίου για τον προσδιορισμό της ζητούμενης θέσης του. [Gao 2006]

Με τον τρόπο αυτό, η συγκεκριμένη τεχνική επιτρέπει τον απόλυτο εντοπισμό θέσης οπουδήποτε στον κόσμο με έναν οικονομικά αποδοτικό τρόπο, καθώς ταυτόχρονα το εργατικό δυναμικό και ο όγκος του υλικοτεχνικού εξοπλισμού μειώνεται αισθητά. Αντίθετα, η μέθοδος σχετικού εντοπισμού παρέχει εντοπισμό θέσης σε σχέση με έναν σταθμό αναφοράς, ενώ παράλληλα απαιτεί την ταυτόχρονη χρήση τουλάχιστον δύο δεκτών, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται προβλήματα υποδομής. Το πλεονέκτημα της σχετικής μεθόδου είναι ότι με την τεχνική των διπλών διαφορών φάσης καθίσταται δυνατή η μείωση και απαλοιφή αρκετών σφαλμάτων, που οδηγεί την ακρίβεια στο επίπεδο των μερικών χιλιοστών σε ορισμένες περιπτώσεις.

Επίσης, επειδή δεν έχουν αντιμετωπισθεί προς το παρόν όλες οι αδυναμίες της τεχνικής PPP, όπως η αδυναμία επίλυσης των ακέραιων ασαφειών φάσης, αυτή απαιτεί ένα χρονικό διάστημα αρχικοποίησης ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση της λύσης. Πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει ότι απαιτείται χρονικό διάστημα περίπου 20 με 30 λεπτών,

ώστε η λύση από την επεξεργασία PPP να συγκλίνει στο επίπεδο των δέκα ή μερικών εκατοστών. Μετά την επίτευξη της σύγκλισης, η ακρίβεια της οριζόντιας συνιστώσας είναι καλύτερη του εκατοστού, ενώ η αντίστοιχη της κατακόρυφης συνιστώσας βρίσκεται στο επίπεδο του εκατοστού ή των μερικών εκατοστών. [Bisnath, Gao, 2009]

Καθοριστικός παράγοντας για την επίτευξη υψηλής ακρίβειας θέσης με την τεχνική PPP είναι η μείωση και απαλοιφή ορισμένων σφαλμάτων που περιλαμβάνονται στο διαστημικό τμήμα (space segment), στην διάδοση του σήματος (signal propagation), στο περιβάλλον των μετρήσεων και το τμήμα του δέκτη (receiver segment).

2.4.3 Σχετικός εντοπισμός θέσης

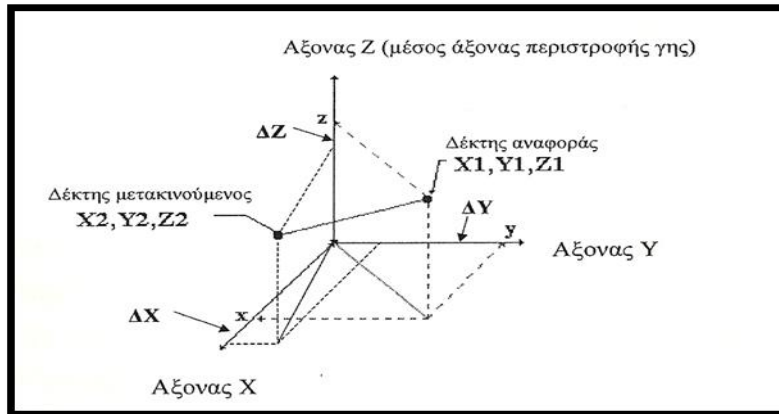
Ο σχετικός εντοπισμός είναι εκείνος που χρησιμοποιείται κυρίως στις γεωδαιτικές εφαρμογές. Προϋποθέτει την πρόσβαση και την λήψη μετρήσεων από κάποιο σημείο γνωστών γεωδαιτικών συντεταγμένων και τη χρήση τουλάχιστον δυο δεκτών του συστήματος.

Ένας από τους δύο δέκτες παραμένει σταθερός τοποθετημένος στο σημείο γνωστών συντεταγμένων και ονομάζεται **δέκτης αναφοράς** (base receiver) ενώ ο δεύτερος δέκτης τοποθετείται διαδοχικά σε σημεία των οποίων ζητούνται οι συντεταγμένες και ονομάζεται **κινούμενος δέκτης** (rover receiver). Για να πραγματοποιηθεί ο προσδιορισμός των συντεταγμένων ο κινούμενος δέκτης παραμένει στο άγνωστο σημείο για επαρκές χρονικό διάστημα.

Μετά από κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων μέσω λογισμικού υπολογίζεται το διάνυσμα ΔX , ΔY , ΔZ της βάσης μεταξύ του δέκτη αναφοράς και του δεύτερου ή κινούμενου δέκτη (σχήμα 2.3). Ως διάνυσμα βάσης ορίζεται ένα προσανατολισμένο διάνυσμα στο χώρο, δηλαδή ένα διάνυσμα με γνωστές τις συνιστώσες του, επομένως τον προσανατολισμό και το μέτρο του. Τα άκρα αυτού του διανύσματος είναι τα δύο σημεία της Φ.Γ.Ε., στα οποία έχουν τοποθετηθεί οι δέκτες GNSS. [Λάμπρου, Πανταζής, 2010]

Επομένως οι τελικές συντεταγμένες X , Y , Z του δεύτερου δέκτη (κινούμενου) δίνονται ως προς τις συντεταγμένες του σταθερού δέκτη από την σχέση 2.1. [Τσακίρη, 2005]

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{μετακινούμενος}} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{αναφοράς}} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (2.1)$$



Σχήμα 2.3 Σχετικός Προσδιορισμός θέσης. Προσδιορισμός τρισδιάστατου διανύσματος βάσης μεταξύ δύο σημείων
[Πηγή :Τσακίρη,2005]

Στη περίπτωση αυτή οι δέκτες παρακολουθούν ταυτόχρονα τους ίδιους δορυφόρους συνεπώς, η επίδραση των περισσότερων σφαλμάτων (δορυφόρων, δεκτών, ατμοσφαιρικών επιδράσεων) είναι κοινή και έτσι, το διάνυσμα της σχετικής θέσης είναι απαλλαγμένο, σε μεγάλο ποσοστό από τα σφάλματα αυτά, ανάλογα με την απόσταση μεταξύ των δεκτών.

Οι συνιστώσες ΔX , ΔY , ΔZ της βάσης προσδιορίζονται με ταυτόχρονη επεξεργασία των δυο ομόλογων αρχείων των δεκτών, με το λογισμικό που συνοδεύει τους δέκτες (επίλυση βάσης).

[Λάμπρου, Πανταζής, 2010]

Τα αποτελέσματα του σχετικού στατικού εντοπισμού είναι τα διανύσματα μεταξύ του σταθμού αναφοράς και των άλλων δεκτών. Οι συντεταγμένες που υπολογίζονται αναφέρονται στο σύστημα WGS'84 (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 των μερικών χιλιοστών.

Γνωρίζοντας τη σχέση που συνδέει το WGS'84 ή το ITRF με κάποιο σύστημα αναφοράς, ή βρίσκοντας τις παραμέτρους μετασχηματισμού με βάση κάποια κοινά σημεία, είναι δυνατός όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο μετασχηματισμός σε ένα διαφορετικό σύστημα π.χ. στο ΕΓΣΑ'87 για την Ελλάδα. [Φωτίου, Πικριδάς, 2006]

Ανάλογα με την τεχνική που εφαρμόζεται στο πεδίο, ο σχετικός εντοπισμός διακρίνεται σε :

- ✓ **Σχετικό στατικό εντοπισμό (Static)**, όπου ο δεύτερος δέκτης κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεων παραμένει ακίνητος σε κάθε σημείο για χρονικό διάστημα από 20 min μέχρι κάποιες ώρες. Ο

σχετικός στατικός εντοπισμός εμφανίζεται, εκτός της κλασικής μεθόδου, με δύο παραλλαγές :

- ❖ **Γρήγορος στατικός εντοπισμός (*rapid static, quick static*)** ο οποίος διαφέρει από τον σχετικό στατικό εντοπισμό στο γεγονός ότι χρησιμοποιείται για μικρές βάσεις, με ρυθμό καταγραφής συνήθως τα 10 sec. Επιτυγχάνεται αβεβαιότητα λίγων cm.
 - ❖ **Ψευδοκινηματικός στατικός εντοπισμός ή στατικός εντοπισμός με επαναμέτρηση (*pseudo-static, pseudo-kinematic*)**, ο οποίος έχει παρόμοια μεθοδολογία και ακρίβεια με τον γρήγορο στατικό εντοπισμό με τη διαφορά ότι βασίζεται στην αλλαγή της γεωμετρίας των δορυφόρων λόγω του ότι ο κινητός δέκτης επισκέπτεται τα άγνωστα σημεία δύο ή περισσότερες φορές διαδοχικά, με διάρκεια παραμονής στο καθένα λίγα λεπτά.
- ✓ **Σχετικό ημικινηματικό εντοπισμό (Stop and Go Kinematic)**, όπου ο δεύτερος δέκτης περιφέρεται στα άγνωστα σημεία παραμένοντας σε αυτά για κάποια δευτερόλεπτα (10-30 sec). Επιτυγχάνεται αβεβαιότητα λίγων cm.
- ✓ **Σχετικό κινηματικό εντοπισμό (Kinematic)**, όπου ο δεύτερος δέκτης αλλάζει αρκετά γρήγορα θέση (1 ή 2 sec) αφού είναι εγκατεστημένος σε όχημα, πλοίο, αεροπλάνο, ελικόπτερο και ουσιαστικά βρίσκεται σε διαρκή κίνηση. [[Λάμπρου, Πανταζής, 2010](#)]
- Ο σχετικός κινηματικός εντοπισμός μπορεί να διακριθεί σε δύο κατηγορίες (με τις οποίες επιτυγχάνεται αβεβαιότητα λίγων cm) :
- ❖ **Σχετικός κινηματικός εντοπισμός θέσης εκ των υστέρων**, κατά την διάρκεια του οποίου η επίλυση των ασαφειών φάσης επιτυγχάνεται με την διαδικασία της έναρξης ή με μέτρηση γνωστής βάσης ή με μέτρηση άγνωστης βάσης ή με εναλλαγή κεραιών ή τέλος εν κινήσει με αυτόματη επίλυση (on the fly). [[Παραδείσης, 2000](#)]
 - Οι ακρίβειες που επιτυγχάνονται είναι της τάξης του 1-2 cm \pm (2-3ppm) ανάλογα με τις δυνατότητες του δέκτη και τους παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια. [[Teunissen, Kleusberg, 1998](#)]
 - ❖ **Σχετικός κινηματικός εντοπισμός θέσης σε πραγματικό χρόνο**. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται η εκπομπή

δεδομένων από τον έναν δέκτη γνωστών συντεταγμένων στον άλλον και η επικοινωνία μεταξύ των δεκτών απαιτεί ειδικό λογισμικό που εγκαθίσταται και στους δύο δέκτες καθώς και ένα σύστημα ασύρματης επικοινωνίας. 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 προσδιοριστεί η θέση του.

Η χρήση ψευδοαποστάσεων για τον προσδιορισμό θέσης σε πραγματικό χρόνο είναι γνωστή με τον όρο Διαφορικός Εντοπισμός (DGPS : Differential GPS) ενώ η χρήση μετρήσεων φάσης με τον όρο RTK (Real Time Kinematic). [Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger, 2008]

2.4.3.1 Μέθοδος RTK (Real Time Kinematic)

Είναι μέθοδος που αξιοποιεί το δορυφορικό σύστημα εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο και είναι επίσης η μοναδική μέθοδος της δορυφορικής γεωδαισίας που μπορεί να δώσει ακριβή αποτελέσματα σε πραγματικό χρόνο. Η αβεβαιότητα της μετρούμενης βάσης εκτιμάται ότι είναι $\pm 1\text{cm} \pm 2\text{ ppm}$ και ο συνήθης χρόνος μετρήσεων 10-30 sec.

Για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτείται εκτός από τους δύο δέκτες GNSS και μία ασύρματη ζεύξη μεταξύ τους (radio link). Η ζεύξη πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας δύο συσκευές οι οποίες αποτελούνται από 1 modem και ένα πομποδέκτη.

Η τεχνική πραγματοποιείται όπως ακριβώς και η εκ των υστέρων κινηματική τεχνική, με τη μόνη διαφορά ότι ο σταθμός αναφοράς συνδέεται με τον ένα πομποδέκτη και εκπέμπει διορθώσεις, τις οποίες λαμβάνει ο δεύτερος πομποδέκτης που είναι συνδεδεμένος με τον κινητό δέκτη και τις μεταφέρει σε αυτόν. Ο κινητός δέκτης με τη σειρά του, χρησιμοποιεί τις διορθώσεις αυτές για να επιλύσει επιτόπου τις ασάφειες φάσης και να δώσει τα αποτελέσματα την ίδια στιγμή. Ο κινηματικός εντοπισμός σε πραγματικό χρόνο είναι συνδυασμός του συνεχούς και ημικινηματικού εντοπισμού. [Παραδείσης, 2006]

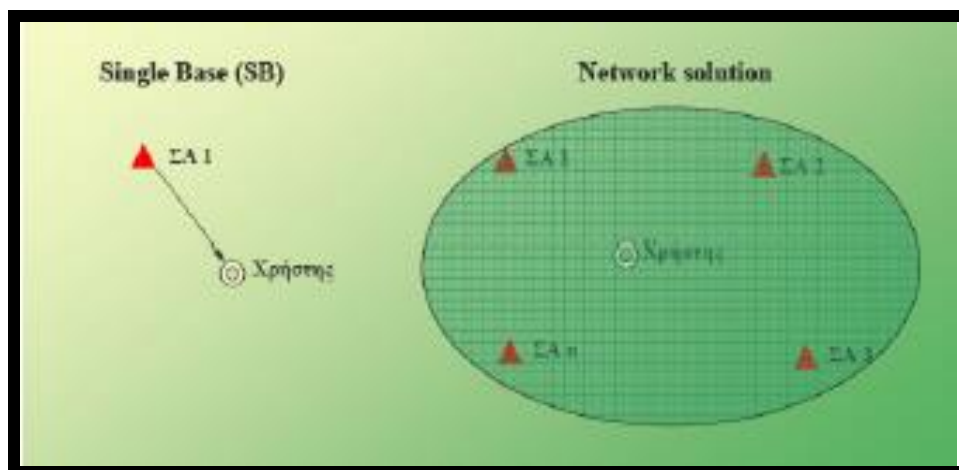
Τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι ο χρήστης είναι ανά πάσα χρονική στιγμή σε θέση να ελέγξει την ποιότητα των μετρήσεων που συλλέγει και είναι σίγουρος τη στιγμή που αποχωρεί από το πεδίο ότι έχει τα επαρκή δεδομένα, κάτι που δεν συμβαίνει σε

εργασίες με εκ των υστέρων επεξεργασία, που μπορεί να χαθεί το σήμα των δορυφόρων και ο χρήστης δεν θα είναι ενήμερος. Ο επιτόπου έλεγχος της ποιότητας των μετρήσεων πραγματοποιείται μέσω της εποπτείας των τιμών των δεικτών αλλοίωσης της ακρίβειας που προσδιορίζονται και εκείνοι σε πραγματικό χρόνο και απεικονίζονται στο χειριστήριο. Επίσης, δεν απαιτείται συνεργείο για τις μετρήσεις και μπορεί να εφαρμοστεί από ένα άτομο.

2.4.3.2 Μέθοδος δικτυακού RTK (RTN) (Real Time Network)

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην αξιοποίηση ενός σύγχρονου δικτύου μόνιμων σταθμών. Από τις παρατηρήσεις αυτών των μόνιμων σταθμών αναφοράς υπολογίζονται τα σφάλματα σε μία ακτίνα λίγων χιλιομέτρων γύρω από αυτούς και στη συνέχεια δημιουργούνται επιφάνειες που περιγράφουν τα σφάλματα αυτά εντός της περιοχής του συνολικού δικτύου. Η πληροφορία αυτή διατίθεται στο χρήστη, σε μορφή που εξαρτάται από τη δικτυακή μορφή που χρησιμοποιείται.

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



Σχήμα 2.4 Σχηματική αναπαράσταση της διαφοράς των δικτυακών τεχνικών σε σχέση με τη χρήση ενός μόνο σταθμού

Τα πλεονεκτήματα της δικτυακής επίλυσης έναντι της επίλυσης από έναν σταθμό είναι σημαντικά, τόσο σε τεχνικό όσο και σε τεχνολογικό επίπεδο.

Τα πιο βασικά από αυτά στην πράξη είναι:

- ❖ Μεγαλύτερο εύρος (εμβადόν) κάλυψης, με αποτέλεσμα ο χρήστης να μπορεί να εργαστεί σε όλη την επιφάνεια των επικαλυπτόμενων ακτινών των σταθμών.
- ❖ Μεγαλύτερη ακρίβεια σε RTK δεδομένα, λόγω επίλυσης περισσότερων βάσεων, επομένως επιτυγχάνεται καλύτερη γεωμετρία (τριγωνισμού).
- ❖ Το δίκτυο προσφέρει καλύτερη αναίρεση των ατμοσφαιρικών σφάλματων λόγω δημιουργίας ιονοσφαιρικών μοντέλων στην περιοχή κάλυψης των μόνιμων σταθμών αναφοράς. [Κατσάμπαλος, 2008]

Η μέθοδος RTN αποτελείται από τρεις επιμέρους τεχνικές, οι οποίες διαθέτουν διαφορετικά χαρακτηριστικά και αξιοποιούνται ανάλογα με τις προϋποθέσεις της εκάστοτε γεωδαιτικής εφαρμογής.

2.4.3.2.1 Τεχνική VRS (Virtual Reference Station)

Για την εφαρμογή της συγκεκριμένης τεχνικής απαιτείται αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του κέντρου ελέγχου του δικτύου και του κινητού δέκτη, χωρίς να απαιτείται κανένας νέος τύπος μηνυμάτων (διορθώσεων), δεδομένου ότι η διαδικασία λειτουργεί με τα ίδια τυποποιημένα μηνύματα όπως στο συμβατικό RTK.

Ένας εικονικός σταθμός είναι ουσιαστικά μία προσομοίωση ενός σταθμού αναφοράς. Για να μπορέσει να δημιουργηθεί, το δίκτυο πρέπει να αριθμεί τουλάχιστον τρεις σταθμούς αναφοράς. Σε οποιαδήποτε θέση στην περιοχή κάλυψης του δικτύου, το κέντρο ελέγχου μπορεί, με βάση τις παραμέτρους των υπολογισμένων μοντέλων των σφαλμάτων από τις παρατηρήσεις παρακείμενων πραγματικών σταθμών αναφοράς και με βάση την προσεγγιστική θέση του κάθε χρήστη, να υπολογίσει τα στοιχεία των διορθώσεων που θα έστελνε κανονικά ένας πραγματικός σταθμός αναφοράς που θα δραστηριοποιούνταν στην περιοχή. Οι διορθώσεις αυτές αποστέλλονται στους χρήστες, επιτρέποντας τον διαφορικό εντοπισμό σημείων, με μεγάλη ακρίβεια.

[Δεληκαράογλου, 2006]

Στην περίπτωση της τεχνικής αυτής τα δεδομένα των (πραγματικών) σταθμών αναφοράς και τα υπολογισμένα μοντέλα των σφαλμάτων χρησιμοποιούνται για να δημιουργηθούν από υπολογισμούς, παρατηρήσεις σε οποιοδήποτε σημείο εντός της περιοχής του δικτύου.

Σύμφωνα με τη θεωρία του VRS, **οι παρατηρήσεις αυτές είναι ίδιες με αυτές που θα κατέγραφε ένας δέκτης εάν βρισκόταν σε λειτουργία στο σημείο αυτό κατά το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.**

Το σημείο για το οποίο μπορεί να ζητηθεί δημιουργία VRS, μπορεί στη φυσική πραγματικότητα να είναι εντελώς ακατάλληλο για μετρήσεις λόγω των περιορισμών που θέτουν οι αρχές λειτουργίας του δορυφορικού συστήματος. Οι μετρήσεις αντιστοιχούν στις μετρήσεις που θα είχε καταγράψει ένας δέκτης τοποθετημένος στο σημείο αυτό, εάν δεν υπήρχε κανένα εμπόδιο.

Σημαντικό και συγκριτικό πλεονέκτημα της συγκεκριμένης τεχνικής αποτελεί το γεγονός ότι **οι παρατηρήσεις VRS μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για εφαρμογές μετεπεξεργασίας με τη μορφή αρχείου Rinex, είτε για εφαρμογές RTK με τη μορφή διορθώσεων RTCM.**

Στην περίπτωση εφαρμογών μετεπεξεργασίας, ο χρήστης ορίζει ένα σημείο στη βέλτιστη θέση που εξυπηρετεί τις μετρήσεις του και ζητά τη δημιουργία αρχείου VRS παρατηρήσεων στο συγκεκριμένο αυτό σημείο. Στην περίπτωση εφαρμογών πραγματικού χρόνου το δίκτυο επιλέγει αυτόματα τη θέση του VRS, ώστε να είναι κοντά στο χρήστη.

Η τεχνική VRS επομένως είναι η μόνη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για εφαρμογές μετεπεξεργασίας όσο και για εφαρμογές πραγματικού χρόνου. [\[Κατσάμπαλος, 2008\]](#)

2.4.3.2.2 Τεχνική MAC (Master Auxiliary Concept)

Η συγκεκριμένη τεχνική βασίζεται στην αποστολή διορθώσεων από έναν Κύριο Σταθμό Αναφοράς (Master) και διαφορές διορθώσεων από γειτονικούς Βοηθητικούς Σταθμούς (Auxiliary).

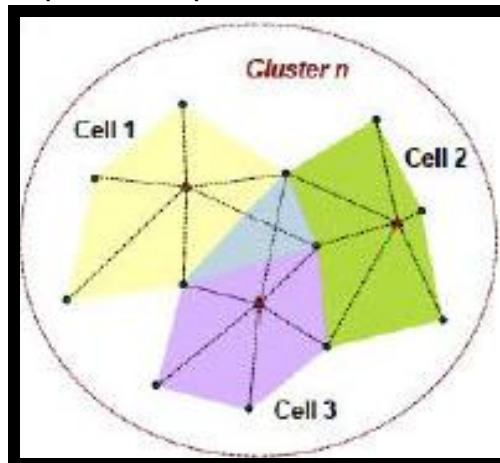
Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της τεχνικής MAC, ο χρήστης λαμβάνει όλες τις πρωτογενείς πληροφορίες σχετικά με τα σφάλματα χωρίς την εισαγωγή κάποιου είδους μοντελοποίησης από το δίκτυο. Έτσι, είναι σε θέση να εφαρμόσει προηγμένους αλγορίθμους για να ελαχιστοποιηθούν οι επιδράσεις των σφαλμάτων και να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή ακρίβεια. [\[Γιαννίου, 2008\]](#)

Οι διορθώσεις που στέλνονται είναι επιπέδου ασάφειας φάσης. Δύο δέκτες είναι στο ίδιο επίπεδο ασάφειας φάσης, όταν οι ακέραιοι αριθμοί τους αλληλοανααιρούνται κατά την εφαρμογή διπλών διαφορών. Το λογισμικό επεξεργασίας των παρατηρήσεων του δικτύου προσδιορίζει τις ασάφειες φάσης και τις φέρνει στο ίδιο επίπεδο. Με αυτό τον τρόπο οι παρατηρήσεις μένουν ανέπαφες από εισαγωγή μοντέλων ατμόσφαιρας

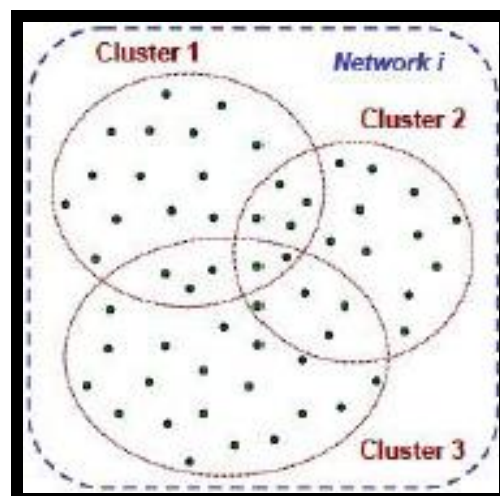
και εφημερίδων και εισάγονται μόνο ακέραιοι αριθμοί. Οι διαφορές διορθώσεων που λαμβάνονται είναι ελεύθερες από την ασάφεια φάσης. Επομένως, είναι δυνατή η αλλαγή κύριου σταθμού κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, χωρίς την εκ νέου αρχικοποίηση. Λόγω του ότι ο τελευταίος χρησιμεύει μόνο ως προς την αποστολή διορθώσεων και δεν συμμετέχει στον υπολογισμό τους, γι' αυτό το λόγο είναι άνευ σημασίας το αν είναι ο κοντινότερος στον Rover ή όχι.

Στα μεγάλα δίκτυα, οι σταθμοί αναφοράς ομαδοποιούνται σε Cells και Clusters, προκειμένου να αποφεύγεται η συμφόρηση του δικτύου, που θα συνέβαινε αν για κάθε χρήστη συμμετείχαν ως βοηθητικοί σταθμοί όλοι οι σταθμοί του δικτύου (εικόνα 2.1). Τα διαφορετικά Clusters μπορούν να είναι διαφορετικού επιπέδου ασάφειας.

Το δίκτυο, δεν χρειάζεται να γνωρίζει τη θέση του δέκτη, ωστόσο αν αυτό συμβαίνει, τότε η πληροφορία αυτή χρησιμοποιείται για την καλύτερη ένταξη του κινητού δέκτη σε cell και cluster.



Εικόνα 2.1. Σχηματική Αναπαράσταση Ομαδοποίησης ενός Δικτύου σε Cells



Εικόνα 2.2 Σχηματική Αναπαράσταση Ομαδοποίησης ενός Δικτύου σε Clusters

Με βάση αυτή τη τεχνική, έχουν ανά τα χρόνια δημιουργηθεί δύο επιμέρους διαφοροποιήσεις της.

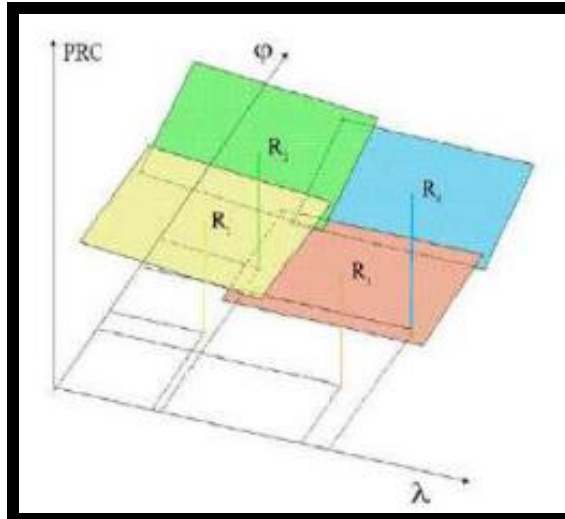
- ✓ Η υποκατηγορία **MAX**, μπορεί να λειτουργήσει είτε με μονόδρομη είτε με αμφίδρομη επικοινωνία του Rover με το δίκτυο. Στην πρώτη περίπτωση, τα cells και τα clusters είναι προκαθορισμένα από το κέντρο ελέγχου του δικτύου και γι' αυτό ο χρήστης πρέπει να επιβεβαιώσει ότι έχει συνδεθεί στο κατάλληλο cell. Στην αμφίδρομη επικοινωνία, ο κινητός δέκτης στέλνει τη θέση του και επιλέγεται ένα cell που αντιστοιχεί σε αυτή και επιλέγεται ως κύριος σταθμός ο κοντινότερος και ως βοηθητικοί οι σταθμοί που θα δώσουν τα καλύτερα αποτελέσματα. [Janssen, 2009]
- ✓ Η υποκατηγορία **i-MAX** λειτουργεί μόνο με αμφίδρομη επικοινωνία. Ο τρόπος λειτουργίας της είναι όμοιος με της αμφίδρομης MAX, με τη διαφορά ότι στην πρώτη, οι διορθώσεις εφαρμόζονται και στον κύριο σταθμό. Συνεπώς, προσεγγίζει σε μεγάλο βαθμό τη λογική και τον τρόπο λειτουργίας του VRS και φέρει πολλά από τα μειονεκτήματά του. [Janssen, 2009]

2.4.3.2.3 Τεχνική FKP (Flächen Korrektur Parameter)

Η τεχνική αυτή αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως τεχνική μετάδοσης παραμέτρων επιφανειακών διορθώσεων. Εφαρμόζει και χρησιμοποιεί μία πολυωνυμική παραμετροποίηση για να περιγράψει την επιρροή των σφαλμάτων GNSS, για οποιαδήποτε θέση ενός χρήστη σε μία ορισμένη περιοχή. Ουσιαστικά, θεωρείται μία επιφάνεια που εκφράζεται από μία σειρά πολυωνυμικών συντελεστών και που προσεγγίζει τις διακυμάνσεις των εν λόγω σφαλμάτων από σημείο σε σημείο, σε μία περιοχή ενδιαφέροντος. [Δεληκαράογλου, 2006]

Ανάλογα με τη χρονική και τη χωρική παραλλαγή των επιμέρους σφαλμάτων, μπορεί να καθοριστεί και η ανάλογη πολυπλοκότητα (δηλαδή ο βαθμός) του πολυωνύμου που χρησιμοποιείται για να εκφράσει την επιφάνεια (εικόνα 2.3).

Κατά τη διαδικασία αποστολής των όρων του πολυωνύμου, απαιτείται μονόδρομη επικοινωνία μεταξύ κέντρου ελέγχου και δέκτη, όπου το πρώτο στέλνει το πολυώνυμο και ο δέκτης το λαμβάνει. Τότε ο χρήστης, ανάλογα με τη θέση που βρίσκεται υπολογίζει τις τιμές των σφαλμάτων και εφαρμόζει τις αντίστοιχες διορθώσεις. [Γιαννίου, 2008]



Εικόνα 2.3 Πολυωνυμική Παραμετροποίηση Σφαλμάτων μέσω της Τεχνικής FKP

Σε κάθε μία περιοχή, ο κάθε χρήστης εφαρμόζει διαφορετικά μοντέλα για κάθε μία πηγή εισαγωγής σφαλμάτων που μπορεί να μοντελοποιηθεί και να ποσοτικοποιηθεί, εφόσον το διορθωτικό μήνυμα περιλαμβάνει μεταβλητές παραμέτρους για κάτι τέτοιο.

2.4.4 Μέθοδος RTX (Real Time Extended)

Η μέθοδος RTX αποτελεί μία υπηρεσία που διαθέτουν οι σύγχρονοι δέκτες GNSS που τους δίνει την δυνατότητα να προσδιορίζουν τη θέση του παρατηρητή, χρησιμοποιώντας αποκλειστικά τις παρατηρήσεις από τους δορυφόρους, μέσω της χρήσης κατάλληλης κεραίας. Σε αυτή την περίπτωση ο δορυφόρος χρησιμοποιείται ως σταθμός αναφοράς. Κύριο χαρακτηριστικό του δέκτη που χρησιμοποιείται είναι ότι διαθέτει τη δυνατότητα λήψης δορυφορικού σήματος μέσω σύγχρονης κεραίας L-band (AeroAntenna) για να υποστηρίξει την υπηρεσία με σκοπό τη χρήση του δέκτη στις περιοχές που δεν υπάρχει καθόλου σήμα κινητής τηλεφωνίας. [Nitschke,2011]

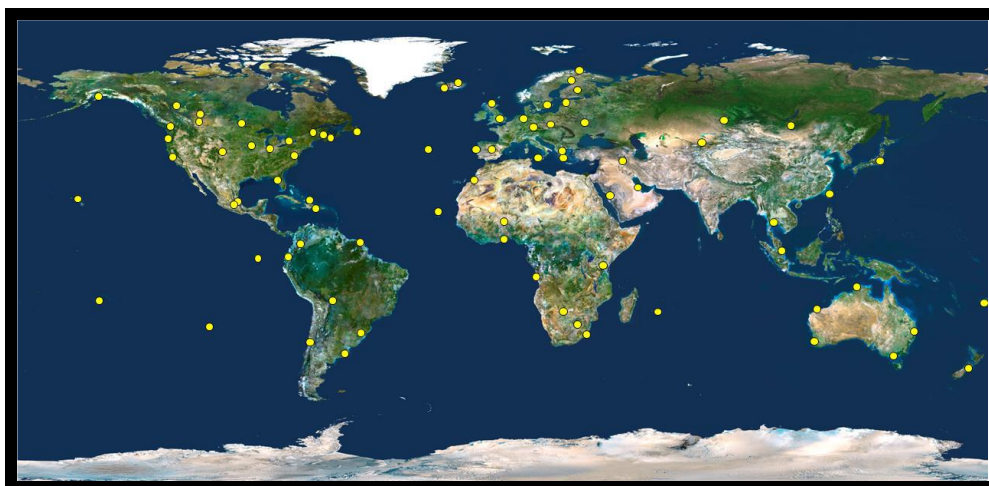
Πιο συγκεκριμένα η υπηρεσία RTX δημιουργήθηκε με σκοπό να συνδυάσει την υψηλή παραγωγικότητα και ακρίβεια μετρήσεων της τεχνικής του σχετικού κινηματικού εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο, με την εκτεταμένη περιοχή κάλυψης των λύσεων που βασίζονται σε παγκόσμιες δορυφορικές διορθώσεις. Επομένως κύριο χαρακτηριστικό της υπηρεσία είναι η παροχή σε πραγματικό χρόνο ακρίβεια μερικών εκατοστών, χωρίς την άμεση χρήση ενός επίγειου δικτύου σταθμών αναφοράς.

Η τεχνική RTX βασίζεται στη δημιουργία και διάθεση δορυφορικών διορθώσεων ακριβείας (χρόνου, τροχιάς) για όλο τον κόσμο, είτε μέσω δορυφορικής σύνδεσης είτε μέσω του διαδικτύου. Τα ρηξικέλευθα στοιχεία της τεχνικής αντιστοιχίζονται στους διαφορετικούς τομείς όπου χρειάστηκε να πραγματοποιηθεί έρευνα και πειράματα με σκοπό να αρθούν οι αδυναμίες των συστημάτων εντοπισμού και να γίνει δυνατός ο προσδιορισμός της θέσης με μεγάλη ακρίβεια σε οποιοδήποτε σημείο της γης. [Seeger, 2011]

Οι τομείς αυτοί είναι:

- ❖ Συνόρθωση αέραιων ασαφειών φάσης
- ❖ Δημιουργία μεγάλης ακρίβειας δορυφορικών διορθώσεων σε πραγματικό χρόνο
- ❖ Βελτιστοποίηση συστήματος μετάδοσης δεδομένων
- ❖ Τεχνολογία εντοπισμού θέσης

Η διαδικασία με την οποία πραγματοποιούνται οι παρατηρήσεις περιλαμβάνει αρχικά την αρχικοποίηση και συγκέντρωση των δεδομένων από τους μόνιμους σταθμούς που είναι χωροθετημένοι σε όλη τη γη (εικόνα 2.4), από τα διαφορετικά κέντρα ελέγχου μέσω του διαδικτύου. Το δίκτυο των κέντρων ελέγχου (λειτουργίας) αποτελείται από περίπου 100 σταθμούς οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε διαφορετικές περιοχές με σκοπό να καλύπτουν το μεγαλύτερο κομμάτι της γης.



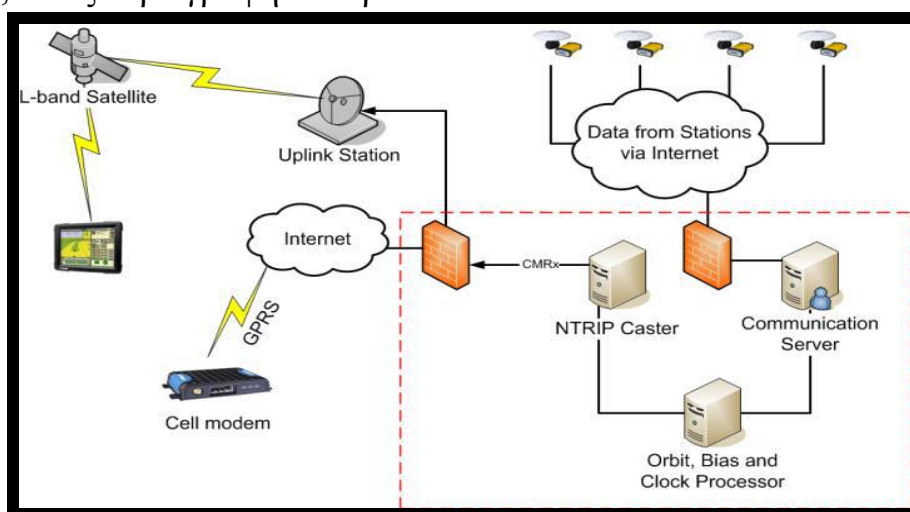
*Εικόνα 2.4 Κατανομή κέντρων λειτουργίας υπηρεσίας RTX
[Πηγή: Trimble CenterPoint RTX Project]*

Τα κέντρα ελέγχου περιλαμβάνουν τους διακομιστές/επεξεργαστές των δεδομένων που μέσω αυτών προσδιορίζονται οι εφημερίδες ακριβείας και ο χρόνος για κάθε σημείο της γης. Μετά την παραγωγή των

στοιχείων αυτών, τα δεδομένα συμπίεζονται σε μηνύματα του μορφότυπου CMRx και αποστέλλονται στους δέκτες που πραγματοποιούν παρατηρήσεις μέσω σύνδεσης είτε απευθείας με το δορυφορικό σύστημα είτε στο διαδίκτυο.

Εκτός από το σύστημα που διαχειρίζεται τις μετρήσεις υπάρχουν και εξυπηρετητές που ασχολούνται με την αξιόπιστη και συνεχή επικοινωνία μεταξύ των δορυφόρων, των κέντρων ελέγχου και των παρατηρητών.

Στην εικόνα 2.5 αναπαρίστανται τα λειτουργικά μέρη της υπηρεσίας RTX που συμμετέχουν στη διαδικασία του προσδιορισμού θέσης, όπως περιεγράφηκε παραπάνω.



*Εικόνα 2.5 Οργανόγραμμα διαδικασιών υπηρεσίας RTX
[Πηγή: Trimble CenterPoint RTX Project]*

2.5 Η επίδραση της γεωμετρίας του δορυφορικού σχηματισμού στην αβεβαιότητα του εντοπισμού

Η γεωμετρία των δορυφόρων ορίζεται από τις θέσεις των δορυφόρων που χρησιμοποιεί κάθε σύστημα μετρήσεων GNSS. Οι γεωμετρικές θέσεις των δορυφόρων σε συνδυασμό με την τοποθέτηση του δορυφορικού δέκτη στην περιοχή μελέτης, δημιουργούν ένα γεωμετρικό ιδεατό σχήμα (τετράπλευρο) που ανάλογα με τις ιδιότητές του, επηρεάζει την ακρίβεια και την ορθότητα των μετρήσεων.

Κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν το σφάλμα αυτής της κατηγορίας είναι το αξιμούθιο και η γωνία ύψους που μπορεί να μετρήσει ο δέκτης, καθώς επηρεάζουν τον αριθμό των δορυφόρων που παρατηρούνται.

Το μέτρο της μεταβολής (είτε υποβάθμιση είτε ενίσχυση) της ακρίβειας των μετρήσεων είναι ένας αδιάστατος αριθμός που αναφέρεται ως δείκτης αλλοίωσης της ακρίβειας (*Dilution of Precision-DOP*).

[Κατσιγιάννη, 2011]

Οι δείκτες DOP είναι γεωμετρικοί δείκτες που αντιπροσωπεύουν τη γεωμετρική συμβολή των παρατηρήσεων σε μια λύση εντοπισμού. Ο αριθμός των δορυφόρων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της θέσης και η σχετική γεωμετρία τους ως προς τον ορίζοντα προσδιορίζουν το σφάλμα υπολογισμού της θέσης ενός χρήστη. Υφίστανται διαφορετικά είδη δεικτών που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας προσδιορισμού του χρόνου ή των συντεταγμένων κατά μία διεύθυνση.

- PDOP: Δείκτης αλλοίωσης της ακρίβειας σχετικά με τη θέση, αποτελεί μέτρο μεταβολής της αβεβαιότητας στον προσδιορισμό των τριδιάστατων γεωκεντρικών συντεταγμένων.
- HDOP: Δείκτης αλλοίωσης της ακρίβειας κατά την οριζόντια διεύθυνση, αποτελεί μέτρο μεταβολής της αβεβαιότητας στην οριζόντια θέση (οριζοντιογραφικές συντεταγμένες).
- VDOP: Δείκτης αλλοίωσης της ακρίβειας κατά την κατακόρυφη διεύθυνση, αποτελεί μέτρο μεταβολής της αβεβαιότητας σε κατακόρυφη θέση (υψόμετρο).
- TDOP: Δείκτης αλλοίωσης της ακρίβειας του χρόνου, αποτελεί μέτρο μεταβολής της αβεβαιότητας του ρολογιού του δέκτη.

Οι τιμές των δεικτών DOP προκύπτουν από τα στοιχεία της διαγωνίου του πίνακα μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας για τον προσδιορισμό θέσης και ανάλογα με τα στοιχεία της διαγωνίου που χρησιμοποιούνται επιτρέπουν τον υπολογισμό διαφορετικών δεικτών όπως PDOP, HDOP, VDOP και TDOP. Όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος των δεικτών τόσο χειρότερη είναι η σχετική γεωμετρία δορυφόρων-δέκτη, που συνεπάγεται και μικρότερη δυνατή ακρίβεια από τη χρήση των συγκεκριμένων μετρήσεων. [Langley, 1999].

Οι τιμές που ενδέχεται να πάρει ο δείκτης αλλοίωσης και ο αντίστοιχος χαρακτηρισμός της ακρίβειας παρουσιάζονται στον πίνακα 2.1.

Για να πραγματοποιήσει μετρήσεις ένας δέκτης του συστήματος GNSS πρέπει να λαμβάνει ταυτόχρονες παρατηρήσεις από τουλάχιστον 4 δορυφόρους. Εάν οι δορυφόροι που είναι ορατοί την περίοδο των

μετρήσεων είναι περισσότεροι, για τον υπολογισμό της τιμής του δείκτη αλλοίωσης, επιλέγονται εκείνοι που δημιουργούν την καλύτερη γεωμετρία. [Langley, 1999]

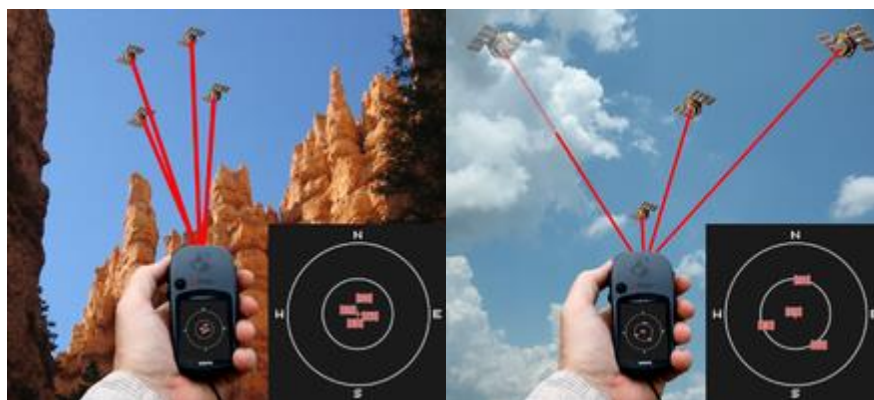
ΤΙΜΗ DOP	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
1	Ιδανικός
2-4	Πολύ καλός
4-6	Καλός
6-8	Μέτριος
8-20	Ανεπαρκής

Πίνακας 2.1 Χαρακτηρισμός πιθανών τιμών DOP

Οι καλύτερες συνθήκες μετρήσεων αναφέρονται στην ύπαρξη ενός δορυφόρου στο ζενίθ (δηλαδή περίπου στην κατακόρυφο του δέκτη) και των υπόλοιπων τριών να σχηματίζουν ισόπλευρο τρίγωνο. Όλοι μαζί δημιουργούν ένα ιδεατό τετράπλευρο που ανάλογα με τον όγκο του επηρεάζει την τιμή των δεικτών αλλοίωσης της ακρίβειας.

Όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος του τετράπλευρου τόσο μεγαλύτερη είναι η ανάπτυξη του δορυφορικού σχηματισμού, επομένως επιτυγχάνονται μικρότερες τιμές των δεικτών αλλοίωσης της ακρίβειας.

Ο μέγιστος όγκος του τετράπλευρου αυτού επιτυγχάνεται όταν ένας δορυφόρος βρίσκεται ακριβώς στο ζενίθ του δέκτη και οι υπόλοιποι τρεις χωροθετούνται σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους και κάτω από τον ορίζοντα σε αντίστοιχες τιμές γωνίας ύψους.



Εικόνα 2.7 Ανεπαρκής γεωμετρία του δορυφορικού σχηματισμού

Εικόνα 2.8 Καλή γεωμετρία του δορυφορικού σχηματισμού

Οι παραπάνω δείκτες αλλοίωσης εάν πολλαπλασιαστούν με το σφάλμα των μετρήσεων (σ_m), που εξαρτάται από όλες τις πηγές σφαλμάτων του δορυφορικού συστήματος προκύπτει το συνολικό σφάλμα (σ_{TOTAL}) προσδιορισμού είτε της θέσης ως προς κάποιες συνιστώσες είτε του χρόνου.

Στον πίνακα 2.2 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα σφάλματα προσδιορισμού που προκύπτουν από την εξίσωση 2.3.

$$DOP = \frac{\sigma_{TOTAL}}{\sigma_m} \Leftrightarrow \sigma_{TOTAL} = DOP \cdot \sigma_m \quad (2.3)$$

Όπου:

- σ_m σφάλμα των μετρήσεων
- σ_{TOTAL} συνολικό σφάλμα προσδιορισμού θέσης με το δορυφορικό σύστημα

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
Σφάλμα τρισδιάστατου εντοπισμού	$PDOP \cdot \sigma_m = \pm \sqrt{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2 + \sigma_Z^2}$
Σφάλμα δυσδιάστατου εντοπισμού	$HDOP \cdot \sigma_m = \pm \sqrt{\sigma_E^2 + \sigma_N^2}$
Τυπική απόκλιση υψομέτρου	$VDOP \cdot \sigma_m = \pm \sqrt{\sigma_{Up}^2} = \pm \sigma_{Up}$
Τυπική απόκλιση χρόνου	$TDOP \cdot \sigma_m = \pm \sqrt{\sigma_t^2} = \pm \sigma_t$

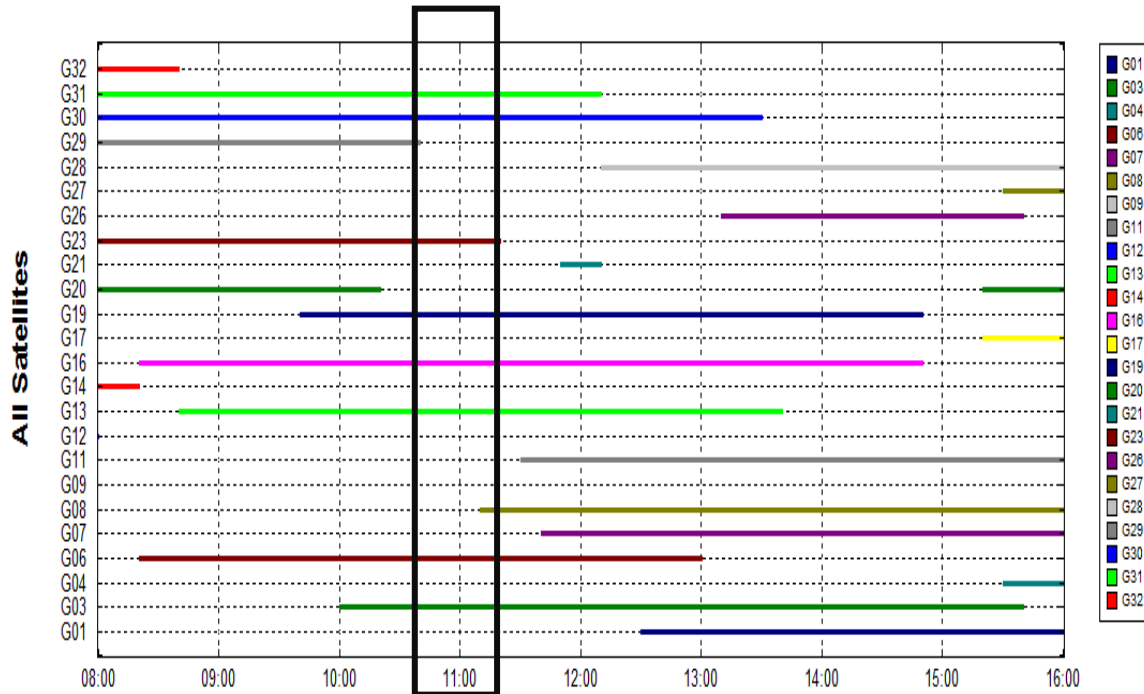
Πίνακας 2.2 Συνολικά σφάλματα δορυφορικού συστήματος GNSS

Επομένως για να πραγματοποιηθούν μετρήσεις που είναι αποδεκτές ως προς την ακρίβεια πρέπει οι τιμές των δεικτών αλλοίωσης να κυμαίνονται από 1-6. Αυτό προϋποθέτει ταυτόχρονες παρατηρήσεις σε μεγάλο πλήθος δορυφόρων, οι οποίοι εξαπλώνονται μακρύτερα μεταξύ τους, ώστε να μην δημιουργούνται μεγάλες περιοχές αμοιβαίας επικάλυψης, που αντιστοιχούν σε μεγάλη αβεβαιότητα προσδιορισμού θέσης.

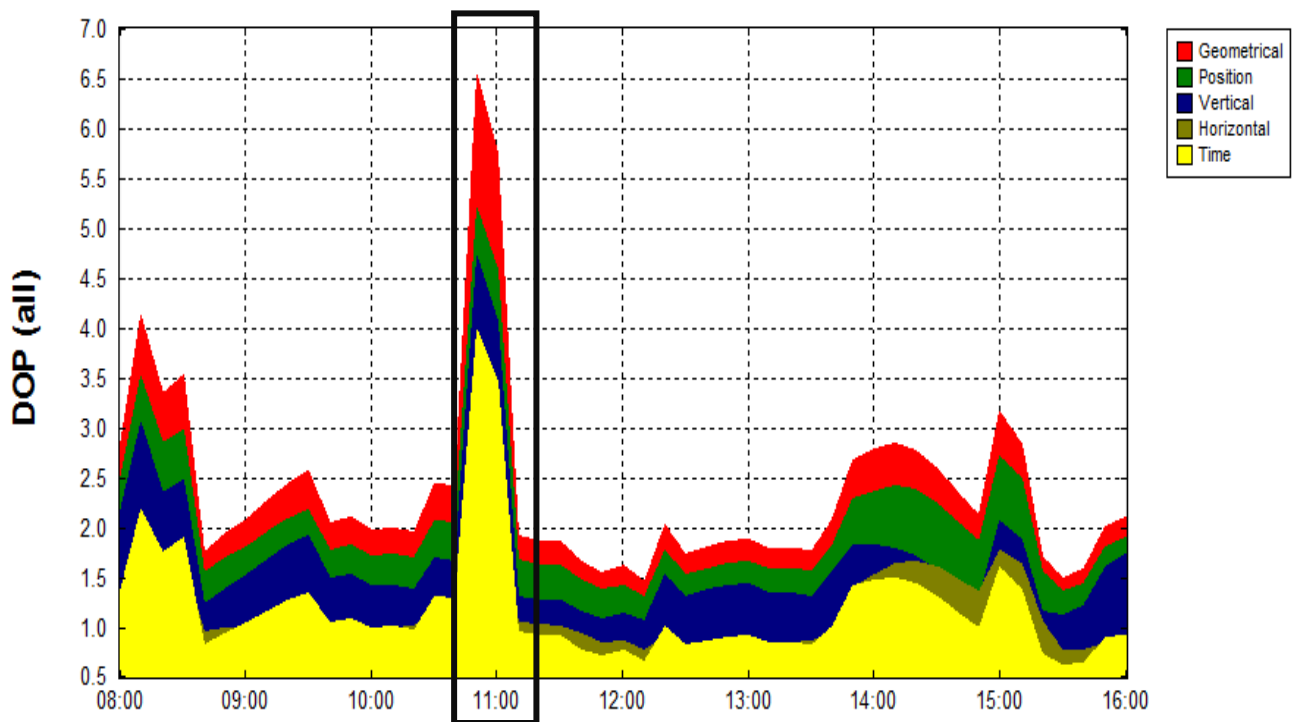
Η ελαχιστοποίηση του σφάλματος λόγω γεωμετρίας των δορυφόρων πραγματοποιείται με τη δυνατότητα που προσφέρουν τα σύγχρονα προγράμματα επεξεργασίας των μετρήσεων του συστήματος GNSS σχετικά με τον σχεδιασμό και προγραμματισμό (Planning) των μετρήσεων πεδίου (A-priori).

Μέσω της δυνατότητας αυτής ελέγχεται, εκ των προτέρων, το εύρος των τιμών του δείκτη αλλοίωσης της ακρίβειας καθώς επίσης και ο

αριθμός των διαθέσιμων και ορατών δορυφόρων με δεδομένα εισαγωγής στο λογισμικό τις γεωδαιτικές συντεταγμένες της περιοχής μελέτης και την ημέρα και ώρα μετρήσεων αντίστοιχα, όπως παρουσιάζεται στις εικόνες 2.9 και 2.10.



Εικόνα 2.9 Πλήθος δορυφόρων σε στάδιο προγραμματισμού μετρήσεων



Εικόνα 2.10 Εύρος τιμών δείκτη αλλοίωσης ακρίβειας σε στάδιο προγραμματισμού μετρήσεων

Από τα διαγράμματα που προηγήθηκαν επιβεβαιώνεται το θεωρητικό υπόβαθρο που αναφέρει ότι οι τιμές των δεικτών αλλοίωσης της ακρίβειας μεταβάλλονται ανά χρονικές περιόδους για μία συγκεκριμένη περιοχή μελέτης και εξαρτώνται άμεσα από τον αριθμό των παρατηρούμενων δορυφόρων. Στα διαγράμματα φαίνεται ότι η μέγιστη τιμή του δείκτη του τριδιάστατου εντοπισμού εμφανίζεται στις 11:00π.μ όπου είναι εμφανές ότι οι ορατοί δορυφόροι για την περιοχή μελέτης είναι λιγότεροι σε πλήθος και ενδεχομένως να παρουσιάζουν κακή γεωμετρία. Επομένως ανεξάρτητα από τη γεωμετρία του σχηματισμού αυτών, θα χρησιμοποιηθούν για τις επιλύσεις.

2.6 Δίκτυα μόνιμων σταθμών αναφοράς

Το Global Navigation Satellite System (GNSS) είναι ο όρος για το δορυφορικό σύστημα πλοήγησης που προβλέπει αυτόνομο και γεωχωρικό εντοπισμό σε παγκόσμια κάλυψη. Το GNSS επιτρέπει σε μικρούς ηλεκτρονικούς δέκτες να προσδιορίσουν τη θέση τους με αβεβαιότητα μερικών μέτρων, μεταδίδοντας από δορυφόρους σε πραγματικό χρόνο διορθώσεις. Οι δέκτες στο έδαφος διαθέτουν συγκεκριμένη θέση επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υπολογιστεί ο ακριβής χρόνος ως αναφορά για επιστημονικά πειράματα (όπως για παράδειγμα ο προσδιορισμός του χρόνου που αφορά στις αστρονομικές παρατηρήσεις).

Η σύγχρονη ανάγκη για αποτελέσματα μεγάλης ακρίβειας καθώς επίσης και η τεχνολογική εξέλιξη οδήγησαν στη σταδιακή χρήση ενός μόνο δέκτη για την πραγματοποίηση μετρήσεων. Επομένως κρίθηκε αναγκαία η δημιουργία δικτύων μόνιμων σταθμών αναφοράς που πραγματοποιούν διαρκώς μετρήσεις με σκοπό να αξιοποιούνται από όλους τους χρήστες.

Με τη δημιουργία ενός δικτύου σταθμών αναφοράς αξιοποιούνται οι παρατηρήσεις τους με στόχο τη μοντελοποίηση των παραμέτρων που επηρεάζουν τον προσδιορισμό θέσης με συστήματα GNSS όπως τα τροχιακά σφάλματα, τις τροποσφαιρικές και κυρίως ιονοσφαιρικές επιδράσεις. Η συνεχής καταγραφή των μόνιμων σταθμών προσφέρει μεγάλο όγκο δεδομένων που αξιοποιείται στη συνολική βελτίωση του γεωδαιτικού δορυφορικού εντοπισμού.

Στην Ελλάδα έχουν αναπτυχθεί διάφορα δίκτυα μόνιμων σταθμών που είναι ικανά να καλύψουν τις τρέχουσες γεωδαιτικές εφαρμογές, με τη χρήση ενός μόνο δέκτη.

2.6.1 Δίκτυα μόνιμων σταθμών σε παγκόσμια κλίμακα

Το **IGS (International GNSS Service)** είναι ένα παγκόσμιο δίκτυο που αποτελείται από περισσότερους από 350 σταθμούς GNSS διπλής συχνότητας συνεχούς λειτουργίας, από περισσότερα από 12 περιφερειακά και λειτουργικά κέντρα δεδομένων, 3 παγκόσμια κέντρα δεδομένων, 7 κέντρα ανάλυσης δεδομένων και από ένα πλήθος τοπικών κέντρων ανάλυσης δεδομένων (εικόνα 2.11).



*Εικόνα 2.11 Παγκόσμιο δίκτυο GPS/GLONASS του δικτύου IGS
[Πηγή: igs.cb.jpl.nasa.gov]*

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

- ❖ Εφημερίδες δορυφόρων GPS/GLONASS.
- ❖ Παράμετροι περιστροφής της γης.
- ❖ Συντεταγμένες και ταχύτητες των σταθμών IGS.
- ❖ Πληροφορίες για τα χρονόμετρα των δορυφόρων GNSS και των σταθμών IGS.
- ❖ Εκτιμήσεις των διορθώσεων λόγω τροπόσφαιρας.
- ❖ Παγκόσμιους χάρτες ιονόσφαιρας.

Ένα ακόμα πρότυπο δίκτυο είναι το **RTIGS (Real Time IGS Tracking Network)** που σχεδιάστηκε από το IGS Real Time Working Group (RTWG). Το πρότυπο αυτό δίκτυο αποτελείται από

περισσότερους από 50 πιλοτικούς σταθμούς παγκοσμίως και συνεχώς επεκτείνεται. [rtigs.net]

Στην Ευρώπη το αντίστοιχο δίκτυο μόνιμων σταθμών ονομάζεται **EPN (EUROPEAN Permanent Network)** το οποίο αποτελείται από 218 μόνιμους σταθμούς GNSS, με συνεχή αύξηση. [epncb.oma.be] Οι σταθμοί πληρούν συγκεκριμένες γεωδαιτικές προδιαγραφές, είναι δηλαδή δέκτες δύο συχνοτήτων, συνήθως με δώδεκα κανάλια παρακολούθησης δορυφόρων σε κάθε συχνότητα και κεραία τύπου Choke Ring. Επίσης όσοι από αυτούς ανήκουν ταυτόχρονα και στο δίκτυο της IGS ακολουθούν επιπλέον ειδικές διατάξεις θεμελίωσης. Συνοπτικά, οι βασικοί στόχοι του δικτύου EPN είναι:

- ❖ Η δημιουργία του ευρωπαϊκού συστήματος και πλαισίου αναφοράς (ETRS-ETRF).
- ❖ Η ανάλυση των δεδομένων, ώστε να είναι δυνατή η μετάβαση από το Ευρωπαϊκό σύστημα αναφοράς σε άλλα παγκόσμια συστήματα αναφοράς (ITRS-ITRF).
- ❖ Η δημιουργία ιονοσφαιρικών και τροποσφαιρικών μοντέλων για καλύτερη γνώση των αντίστοιχων επιδράσεων.
- ❖ Η μελέτη της περιστροφικής κίνησης της γης.
- ❖ Η παροχή δεδομένων στους χρήστες των δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης για κάθε είδους έρευνα και εφαρμογή που σχετίζονται με τον προσδιορισμό θέσης και τη διαχρονική τους παρακολούθηση.

Παράλληλα με αυτό το δίκτυο, λειτουργούν στην Ευρώπη και τον υπόλοιπο κόσμο επιμέρους κρατικά δίκτυα μόνιμων σταθμών GNSS. Τα δίκτυα αυτά αποτελούνται από ένα σύνολο σταθμών καταγραφής και εκπομπής δεδομένων GPS όπου ο χρήστης διαθέτοντας ένα radio modem ή κινητό τηλέφωνο μπορεί να συνδεθεί με το υπολογιστικό κέντρο ελέγχου του δικτύου να υπολογίσει τη θέση του σε πραγματικό χρόνο.

Τέτοια δίκτυα υπάρχουν σε όλες τις χώρες του κόσμου και στην πλειονότητα αυτών υφίστανται παραπάνω από ένα. Ενδεικτικά αναφέρονται :

- ❖ Το Καναδικό δίκτυο CACS (Canadian Active Control System) [geod.mcan.gc.ca/].
- ❖ Το GEONET (GPS Earth Observation NETwork of Japan) το οποίο καλύπτει τα νησιά της Ιαπωνίας [mekira.gsi.go.jp/].
- ❖ Το δίκτυο ARGN (Australian Regional GPS Network) που καλύπτει την Αυστραλία και την Ανταρκτική. [ga.gov.au/].

- ❖ Το δίκτυο AGNES (Automated GPS Network Switzerland) το οποίο καλύπτει την Ελβετία [swisstopo.admin.ch/].
- ❖ Το δίκτυο SWEPOS (Swedish Positioning System) της Σουηδίας [swepos.lmv.lm.se/].

2.6.2 Δίκτυο μόνιμων σταθμών EUPOS

Το σύστημα EUPOS (European Position Determination System) είναι μια ευρωπαϊκή πρωτοβουλία με στόχο την καθιέρωση ενός ενιαίου DGNSS (Διαφορικό Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης), βάσει των υποδομών των χωρών της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης. Ομοιόμορφοι DGNSS σταθμοί αναφοράς και οι υπηρεσίες θα πρέπει να δημιουργηθούν σε δεκατέσσερις συμμετέχουσες ευρωπαϊκές χώρες. Έχει προγραμματιστεί η δημιουργία 870 σταθμών αναφοράς.

Το EUPOS παρέχει DGNSS στοιχεία για διόρθωση σε πραγματικό χρόνο της θέσης και πλοήγησης καθώς και DGNSS στοιχεία για την παρατήρηση της θέσης μετά την επεξεργασία

Οι τεχνικές δυνατότητες που προσφέρονται από το Παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης (GNSS) παρέχουν στις εθνικές υπηρεσίες την ευκαιρία να εκπληρώσουν την αποστολή τους για την παροχή γεωδαιτικών συστημάτων αναφοράς αποτελεσματικά και σε μεγάλο βαθμό, σύμφωνα με τις απαιτήσεις τους.

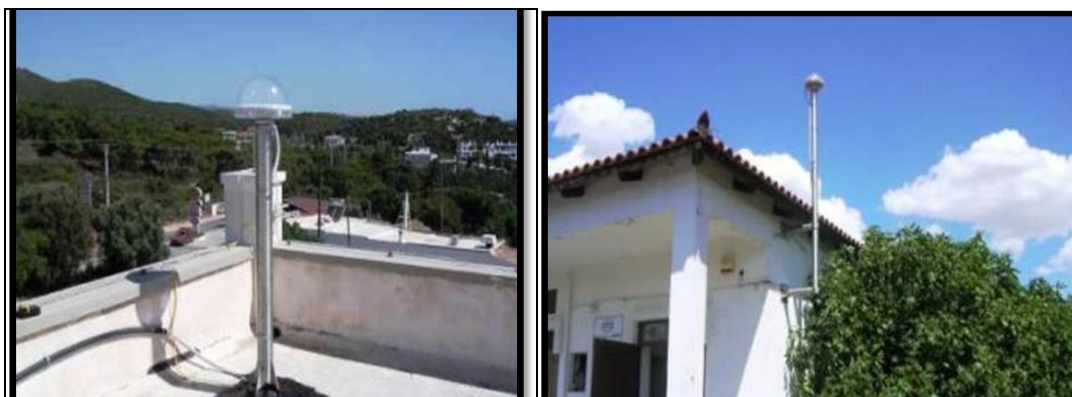
Πολλές ευρωπαϊκές χώρες έχουν συστήσει DGNSS υπηρεσίες από σταθμούς αναφοράς από τη δεκαετία του ενενήντα, παρέχοντας διαφορική διόρθωση δεδομένων GNSS σε πραγματικό χρόνο ή, τουλάχιστον, τα στοιχεία τους για την παρατήρηση μετά DGNSS-επεξεργασία. Το EUPOS παρέχει τη θεμελιώδη υποδομή για την παροχή χωρικών πληροφοριών. Έτσι δημιουργείται μια σημαντική βάση για τον προγραμματισμό και τη δράση των διοικητικών, νομικών, οικονομικών και επιστημονικών πεδίων. [eupos.vgtu.lt]

2.6.3 Το Ελληνικό Σύστημα Εντοπισμού - Hepos

Το Ελληνικό Σύστημα Εντοπισμού **HEPOS** (Hellenic POsitioning System) είναι ένα σύστημα το οποίο επιτρέπει τον προσδιορισμό θέσης με υψηλή ακρίβεια αξιοποιώντας το υφιστάμενο παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού GPS. Σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε από την Κτηματολόγιο Α.Ε., η οποία και διαχειρίζεται το σύστημα. Αποτελεί ένα σύγχρονο σύστημα εντοπισμού αντίστοιχο με αυτά που λειτουργούν τα

τελευταία χρόνια στις περισσότερες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
[hepos.gr]

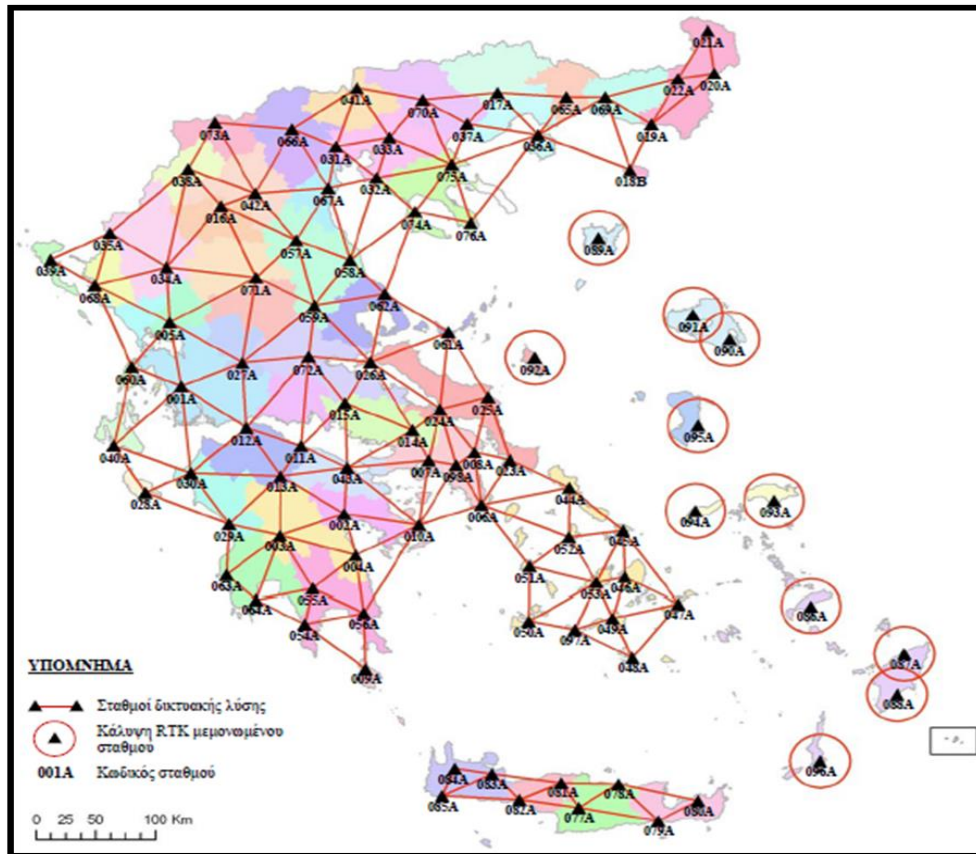
Το HEPOS υλοποιείται από ένα δίκτυο 98 μόνιμων επίγειων σταθμών αναφοράς (εικόνα 2.13) και ένα Κέντρο Ελέγχου που βρίσκεται στις εγκαταστάσεις της Κτηματολόγιο Α.Ε. στην Αθήνα. Οι σταθμοί αναφοράς (εικόνα 2.12) είναι ομοιόμορφα κατανομημένοι σε όλη την Ελλάδα και με κατάλληλη διάταξη έτσι ώστε οι αποστάσεις μεταξύ των γειτονικών σταθμών να μην υπερβαίνουν τα 70km. Από αυτούς οι 87 είναι δικτυακής λύσης, ενώ οι υπόλοιποι 11 είναι μεμονωμένοι. Οι δέκτες των σταθμών αναφοράς είναι οι «Trimble NetRS» και οι κεραιές που έχουν χρησιμοποιηθεί για τους σταθμούς αναφοράς είναι οι «Trimble Zephyr Geodetic» με θόλο, οι οποίες έχουν τοποθετηθεί σε βάθρα σε κτήρια του ΟΤΕ είτε στηριζόμενες σε οροφή ή σε τοίχο.



*Εικόνα 2.12 Κεραία Σταθμού Αναφοράς του HEPOS τοποθετημένη σε βάθρο σε οροφή και σε τοίχο
[Πηγή: hepos.gr/]*

Οι υπηρεσίες που παρέχει διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες :

- Υπηρεσίες «**πραγματικού χρόνου**» (real time), στις οποίες η θέση ενός σημείου προσδιορίζεται κατά τη στιγμή της μέτρησης.
- Υπηρεσίες «**μετεπεξεργασίας**» (post processing), όπου η θέση ενός σημείου προσδιορίζεται εκ των υστέρων μετά από επεξεργασία μετρήσεων στο γραφείο.



Εικόνα 2.13 Δίκτυο Σταθμών Αναφοράς του HEPOS
[Πηγή: hepos.gr/]

✓ Υπηρεσίες πραγματικού χρόνου

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

Ο εξοπλισμός που χρειάζεται ο χρήστης για να αξιοποιήσει το HEPOS είναι συνάρτηση της αβεβαιότητας που θέλει να έχει και της υπηρεσίας που θα χρησιμοποιήσει. Για υπηρεσίες «πραγματικού χρόνου» χρειάζονται :

- ❖ Ένας δέκτης του δορυφορικού συστήματος RTK με δυνατότητα χρήσης δικτυακών τεχνικών.
- ❖ Και ένα GSM ή GPRS modem για επικοινωνία με το κέντρο ελέγχου.

Για τον προσδιορισμό θέσης σε πραγματικό χρόνο με το GPS (τεχνικές RTK και DGPS) απαιτούνται δεδομένα σταθμού αναφοράς. Τα

δεδομένα, τα οποία πρέπει να είναι σε κάποια συγκεκριμένη μορφή, έχει επικρατήσει να αποκαλούνται διορθώσεις.

Για εφαρμογές RTK το HEPOS μπορεί να παρέχει διορθώσεις RTCM:

- ❖ **Διορθώσεις Single-Base RTK**, δηλαδή δεδομένα που υπολογίζονται από τις παρατηρήσεις ενός από τους 98 σταθμούς αναφοράς του HEPOS, (τον πιο κοντινό).
- ❖ **Διορθώσεις Network-RTK (δικτυακή λύση)**, δηλαδή δεδομένα που προκύπτουν από συνδυασμένη επεξεργασία δεδομένων πολλών πραγματικών σταθμών.

✓ Υπηρεσίες μετεπεξεργασίας

Ο εξοπλισμός που χρειάζεται ο χρήστης για να αξιοποιήσει το HEPOS με υπηρεσίες μετεπεξεργασίας ανάλογα με την ακρίβεια που επιθυμεί είναι τα εξής :

- ❖ Για σφάλμα της τάξης των λίγων cm απαιτείται ένας γεωδαιτικός δέκτης του δορυφορικού συστήματος εντοπισμού μίας ή δύο συχνοτήτων.
- ❖ Για σφάλμα της τάξης των 0.5m αρκεί ένας πιο απλός δέκτης αν παρέχει τη δυνατότητα λήψης των διαφορικών διορθώσεων του HEPOS.
- ❖ Ένα εξειδικευμένο λογισμικό γραφείου με δυνατότητα επεξεργασίας RINEX αρχείων.

[\[hepos.gr\]](http://hepos.gr)

Το HEPOS μπορεί να παρέχει δύο κατηγορίες δεδομένων σταθμού αναφοράς:

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

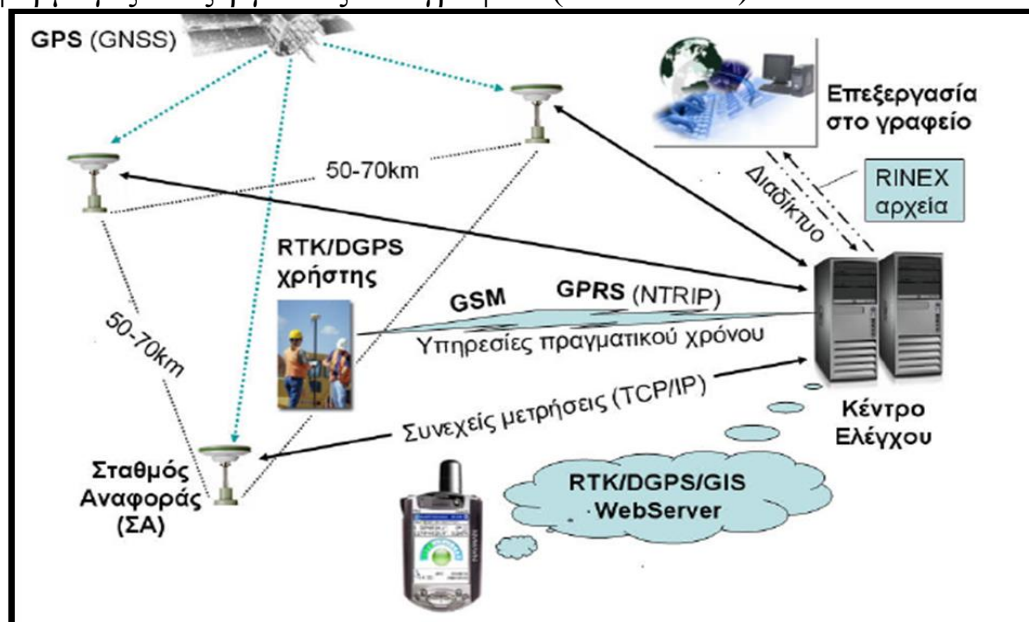
Τα δεδομένα σταθμού αναφοράς, τα οποία ο χρήστης λαμβάνει από το HEPOS, μπορούν να χορηγηθούν από το σύστημα είτε σε μορφή RINEX (Receiver INdependent EXchange format) είτε σε μορφή CRINEX (Compact RINEX ή αλλιώς Hatanaka format). Οι δύο μορφές δεδομένων είναι πρακτικά ισοδύναμες. Η μορφή CRINEX έχει το βασικό

πλεονέκτημα ότι τα αρχεία έχουν σημαντικά περιορισμένο μέγεθος (περίπου το 1/3 του αντίστοιχου αρχείου RINEX). Αυτό διευκολύνει τόσο τη διαδικασία λήψης τους από την ιστοσελίδα του HEPOS, όσο και τη μόνιμη αποθήκευσή τους.

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

✓ Τρόπος λειτουργίας

Οι σταθμοί αναφοράς βρίσκονται σε συνεχή λειτουργία και αποστέλλουν ανά δευτερόλεπτο τις μετρήσεις τους προς το Κέντρο Ελέγχου. Το λογισμικό δικτύωσης του κέντρου ελέγχου συγχρονίζει τις μετρήσεις που αναφέρονται στην ίδια εποχή (epoch), στο ίδιο δηλαδή δευτερόλεπτο του χρόνου GPS, και τις επεξεργάζεται για τη μοντελοποίηση των σφαλμάτων και τον υπολογισμό των δεδομένων σταθμού αναφοράς, τα οποία απαιτούνται για το σχετικό προσδιορισμό θέσης με GPS. Οι χρήστες μπορούν να παίρνουν τα δεδομένα είτε σε πραγματικό χρόνο, (Real Time), μέσω GSMmodem ή GPRS για εφαρμογές RTK, είτε μέσω διαδικτυακού εξυπηρετητή (web server) για εφαρμογές επεξεργασίας στο γραφείο (εικόνα 2.14).



Εικόνα 2.14 Απεικόνιση βασικών λειτουργιών και υπηρεσιών που εξυπηρετεί η τηλεπικοινωνιακή υποδομή του HEPOS

[Πηγή : Δεληκαράογλου,2007]

2.6.3.1 Το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς του HEPOS

Το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς στο οποίο επιλύθηκε το δίκτυο των μόνιμων σταθμών του HEPOS ονομάζεται **HTRS'07** (Hellenic Terrestrial Reference System 2007). Το σύστημα αυτό :

[hepos.gr]

Ορίζεται :

- ❖ Σύμφωνα με το ETRS'89 στο πλαίσιο ETRF'05epoch 2007.5 (το ETRS'89 ταυτίζεται με το ITRS'89) με σταθερό σταθμό τον AUT1, που ανήκει στο δίκτυο μόνιμων σταθμών EPN (Euref Permanent Network) της Ευρώπης και είναι εγκατεστημένος στο κτήριο του Τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.
- ❖ Ως ελλειψοειδές αναφοράς ορίστηκε το παγκόσμιο ελλειψοειδές GRS'80 χωρίς καμία μετατόπιση (το κέντρο του ταυτίζεται με το γεώκεντρο του ETRS'89).

Υλοποιείται :

- ❖ Με τη μέτρηση του γεωδαιτικού δικτύου των 98 σταθμών.
- ❖ Με τον υπολογισμό των συντεταγμένων X, Y, Z και φ, λ των κορυφών του δικτύου στο νέο Datum και του γεωμετρικού υψομέτρου h, ως προς το ελλειψοειδές αναφοράς.
- ❖ Με τον υπολογισμό ενός χάρτη του υψομέτρου N του γεωειδούς για την Ελλάδα, ώστε να είναι άμεση η μετατροπή των γεωμετρικών υψομέτρων σε ορθομετρικά.

Εφαρμόζεται :

- ❖ Με την απεικόνιση (προβολή) του ελλειψοειδούς σε ένα επίπεδο. Ως προβολή επελέγη η εγκάρσια μερκατορική προβολή με κεντρικό μεσημβρινό $\lambda=24^\circ$, $x_0=500000\text{m}$, $y_0=-2000000\text{m}$ στην τομή του κεντρικού μεσημβρινού με τον ισημερινό και συντελεστή κλίμακας $K_0=0.9996$.
Για το Καστελόριζο χρησιμοποιείται ως κεντρικός μεσημβρινός αυτός των $\lambda=30^\circ$ και ως συντελεστής κλίμακας $K_0=1$.
- ❖ Με τον υπολογισμό των προβολικών επίπεδων συντεταγμένων x, y των κορυφών του δικτύου
[Λάμπρου, Πανταζής, 2010].

Επειδή το ΕΓΣΑ'87 παραμένει το επίσημο κρατικό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς της Ελλάδας και των μελετών του κτηματολογίου, υπολογίστηκαν οι παράμετροι μετασχηματισμού των συντεταγμένων του

συστήματος HTRS'07 στο ΕΓΣΑ'87 και αντίστροφα. Πρόκειται για έναν 7-παραμετρικό μετασχηματισμό που περιλαμβάνει 3 μεταθέσεις, 3 στροφές και 1 κλίμακα, του ενός συστήματος προς το άλλο.

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

2.6.4 Άλλα δίκτυα μόνιμων σταθμών στον Ελληνικό χώρο

Στην Ελλάδα έχουν εγκατασταθεί διάφοροι σταθμοί από τη δεκαετία του 1990 με σκοπό τη μελέτη των τεκτονικών μετακινήσεων στη περιοχή. Κυρίως οι σταθμοί εστιάζουν στην περιοχή του Νοτίου Αιγαίου, στα νησιά του Ιονίου κατά μήκος του Δυτικού Ελληνικού τόξου και στην περιοχή του Κορινθιακού Κόλπου. Βασικός σταθμός και από τους πρώτους που εγκαταστάθηκαν είναι ο σταθμός του Διονύσου (DION) στο Διόνυσο Πεντέλης από το Κέντρο Δορυφόρων Διονύσου του Ε.Μ.Π.

Ένα από τα δίκτυα μόνιμων σταθμών GPS είναι το **HELLAS continuous network**. Το δίκτυο είναι συνέχεια του προγενέστερου δικτύου **CION** (CGPS Ionian Network) το οποίο κάλυπτε την περιοχή του Ρήγματος της Κεφαλονιάς και το βορειοδυτικό τμήμα του Δυτικού Ελληνικού Τόξου. Οι σταθμοί GPS εγκαταστάθηκαν στα βορειότερα νησιά του Ιονίου και στον κόλπο της Άρτας (Αμβρακικός κόλπος) το 1995. Τα τελευταία χρόνια το δίκτυο CION έχει επεκταθεί στο δίκτυο **HELLAS** καλύπτοντας το μεγαλύτερο μέρος της Ελλάδας. Βασίζεται σε 15 σταθμούς εκτεινόμενοι από τα βόρεια της Ηπείρου στα νησιά του Ιονίου και ακολουθώντας το Ελληνικό τόξο έως τη Ρόδο και το Καστελόριζο. Πλέον το δίκτυο καλύπτει και μέρος της Βόρειας Ελλάδας.

Σε συνεργασία του Εργαστηρίου Ανώτερης Γεωδαισίας της ΣΑΤΜ του ΕΜΠ με αντίστοιχα πανεπιστήμια του εξωτερικού έχουν εγκατασταθεί **δύο δίκτυα μόνιμων σταθμών GPS**. Το πρώτο σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο της Οξφόρδης καλύπτει την περιοχή της Πελοποννήσου και του νότιου Αιγαίου. Επίσης σε συνεργασία με το Ινστιτούτο IPGP της Γαλλίας έχουν εγκατασταθεί σταθμοί στην περιοχή του Κορινθιακού κόλπου.

Το **δίκτυο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών** είναι το πιο πρόσφατα εγκατεστημένο δίκτυο που καλύπτει κύρια την περιοχή των νησιών του Ιονίου αλλά και του βορείου Αιγαίου.

Επιπλέον 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 Αριστοτέλειου 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

Τα ιδιωτικά δίκτυα που έχουν υλοποιηθεί στην Ελλάδα αφορούν είτε σε αυτά που έχουν δημιουργηθεί για εμπορικούς σκοπούς και διαθέτουν μικρό αριθμό σταθμών είτε σε εκείνα που δημιουργήθηκαν με σκοπό να διευκολύνουν τις τρέχουσες γεωδαιτικές εφαρμογές και καλύπτουν όλη την χώρα.

✓ **Ο σταθμός της εταιρείας Geotech**

Η εταιρεία Geotech Λύσεις Γεωπληροφορικής ΕΠΕ αντιπροσωπεύει αποκλειστικά από το 1991 τα προϊόντα του οίκου Trimble στην Ελλάδα. Από το τέλος του 2005, στις εγκαταστάσεις της εταιρείας στον Γέρακα Αττικής, λειτουργεί συνεχώς μόνιμος Σταθμός Αναφοράς. Όσο αφορά στις υπηρεσίες πραγματικού χρόνου υπάρχει δυνατότητα δωρεάν σύνδεσης με τον σταθμό αναφοράς, ενώ υπάρχει δυνατότητα μόνο για RTK, και όχι για DGPS, με ρυθμό 1 Hz. [geotech.gr]

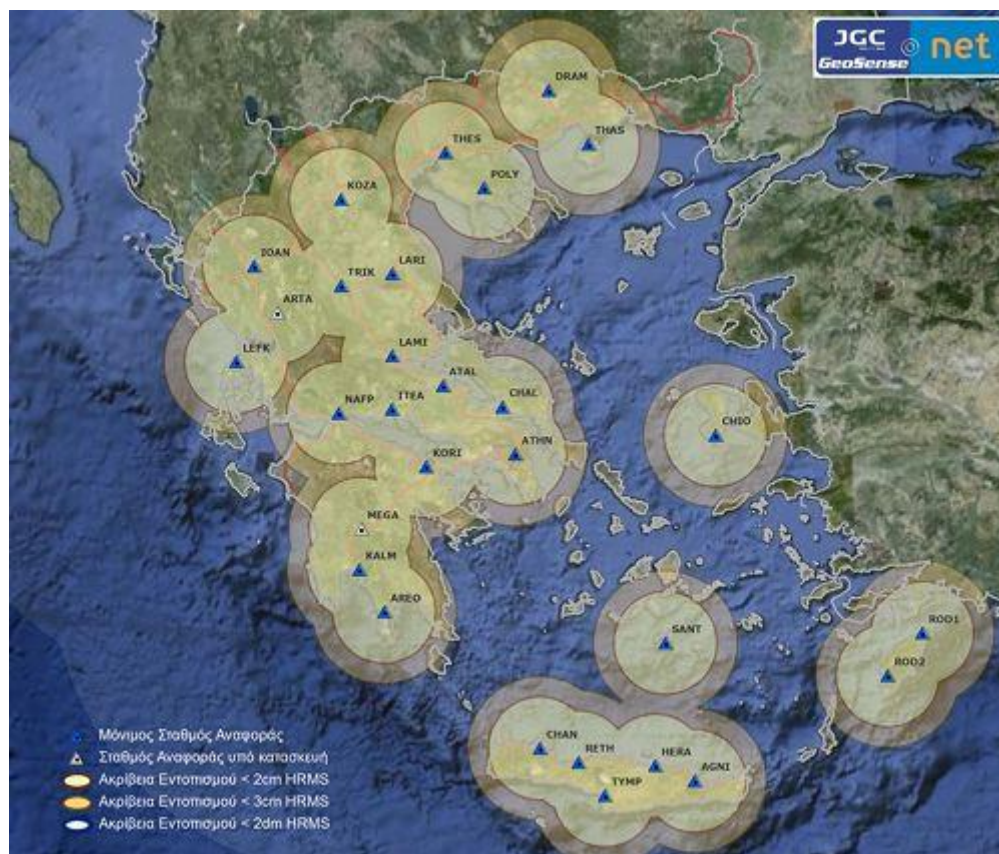
✓ **Οι σταθμοί της εταιρείας JGC**

Η JGC Συστήματα Γεωπληροφορικής Α.Ε. ιδρύθηκε το 1999 και ήταν αρχικά αντιπρόσωπος της Javad Positioning Systems. Όσο αφορά στους δέκτες GNSS, από το 2002 είναι αντιπρόσωπος της Magellan Navigation, από το 2007 της NovAtel και από το 2009 της Geomax, (θυγατρική της Leica).

Η JGC έχει θέσει σε λειτουργία από τον Δεκέμβρη του 2006, μόνιμο σταθμό αναφοράς GPS με την ονομασία JGC1 στο κτήριο της εταιρείας στο Μαρούσι παρέχοντας RTK και DGPS διορθώσεις μέσω Internet, ενώ παράλληλα παρέχει και δεδομένα μορφής RINEX με ρυθμό 1 sec, με ελεύθερη πρόσβαση στις υπηρεσίες αυτές. [jgc.gr]

Από τότε έχει δημιουργηθεί ένα διευρυμένο δίκτυο μόνιμων σταθμών συνεχούς λειτουργίας που αποτελείται από συνολικά 28 σταθμούς, με την ονομασία JGC-Net. Το δίκτυο παρέχει RTK

διορθώσεις αλλά και post processing δεδομένα στους εγγεγραμμένους χρήστες. Σκοπός είναι η σταδιακή κάλυψη του συνόλου της Ελληνικής επικράτειας. Η χωρική κατανομή των μόνιμων σταθμών παρουσιάζεται στην εικόνα 2.15.



Εικόνα 2.15 Χάρτης κάλυψης δικτύου JGC-Net
[Πηγή : jgc.gr/jgc-net,2016]

✓ Ο σταθμός της εταιρείας Landmark

Η εταιρεία είναι αποκλειστικός αντιπρόσωπος της Sokkia στην Ελλάδα από το 1968.

Ο μόνιμος σταθμός αναφοράς της εταιρίας βρίσκεται στο κτίριό της στον Άγιο Δημήτριο, και ξεκίνησε την λειτουργία του τον Αύγουστο του 2008. Ο δέκτης που χρησιμοποιείται είναι ο GSR2700 RSX και πραγματοποιεί μετρήσεις στα συστήματα GPS και GLONASS.

Τα δεδομένα του σταθμού συλλέγονται κάθε 10 sec σε μορφή RINEX v2.11, και κάθε 1 sec σε μορφή RAW, ενώ και στις 2 μορφές υπάρχουν μετρήσεις από τους δορυφόρους του GLONASS. Παράλληλα διατίθενται δεδομένα για RTK και DGPS μέσω internet.

[landmark/sokkia.gr]

✓ Οι σταθμοί της εταιρείας **Metrica**

Η εταιρεία της METRICA ΑΕ ιδρύθηκε το 2005, ενώ προϋπήρχε στον χώρο τα προηγούμενα 20 χρόνια με διαφορετικές επωνυμίες. Αντιπροσωπεύει τα προϊόντα του οίκου Leica στην Ελλάδα και έχει έδρα στην Μεταμόρφωση Αττικής.

Η Metrica διαθέτει μόνιμο δίκτυο σταθμών αναφοράς GPS σε όλη σχεδόν την Ελλάδα, καθώς και δυνατότητα δικτυακής λύσης για την ευρύτερη περιοχή της Αττικής. Ο πρώτος σταθμός στη Μεταμόρφωση λειτούργησε το τέλος του 2006 ενώ σταδιακά αύξησε τους σταθμούς ώστε σήμερα να έχει συνολικά περίπου 89. Πλέον οι υπάρχοντες σταθμοί αποστέλλουν και διορθώσεις για GLONASS. Το δίκτυο καλύπτει σχεδόν όλο τον Ελλαδικό χώρο με ακρίβεια DGPS (50cm), καθώς και πολλές πρόσθετες περιοχές με ακρίβεια RTK (1-5cm), ενώ υπάρχει και η δυνατότητα για Post Processing. Μερικοί από τους σταθμούς είναι του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, καθώς η εταιρεία έχει συμφωνήσει να έχει πρόσβαση στους σταθμούς αυτούς με κάποιο οικονομικό αντάλλαγμα, τους οποίους έχει εγκαταστήσει για λογαριασμό τους δέκτες LEICA.

Εκτός των δικτυακών υπηρεσιών πραγματικού χρόνου που προσφέρονται στις περιοχές Αττικής – Βοιωτίας – Κορινθίας και Α. Πελοποννήσου, που ήδη προσφέρονται από το MetricaNet, παρέχονται δεδομένα πραγματικού χρόνου σε όλη την Ελλάδα (DGPS 30–70cm), όπως επίσης και προϊόντα RTK (1-5cm), σε συγκεκριμένες περιοχές. Οι περιοχές αυτές εν συντομία καλύπτουν μεγάλο μέρος της Κεντρικής Ελλάδας, Βόρειας Ελλάδας, Πελοποννήσου, Βορείου Αιγαίου και Ιονίων νησιών, ενώ παρέχονται όλα τα μηνύματα διόρθωσης για πραγματικό χρόνο. [metrica.gr]

✓ Οι σταθμοί της εταιρείας **Tree Company**

Η εταιρεία της Tree Company Corporation A.E.B.E ιδρύθηκε το 1988, και αντιπροσωπεύει τα προϊόντα του οίκου Topcon στην Ελλάδα.

Η εταιρεία TREE CO έχει υλοποιήσει ένα ιδιόκτητο δίκτυο 105 Σταθμών αναφοράς σε Ελλάδα και Κύπρο, με ονομασία URANUS (Unique Reference Autonomus Network Universal System), με λήψη διορθώσεων για GPS και GLONASS. Οι σταθμοί συλλέγουν στατικές μετρήσεις σε μορφή Rinex, ενώ αποστέλλουν δεδομένα μέσω Internet για RTK και DGPS. [treecomp.gr]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΔΕΚΤΩΝ GNSS ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ

3.1 Γενικά

Αντικείμενο του συγκεκριμένου κεφαλαίου αποτελεί η έρευνα σχετικά με τις διαδικασίες που εφαρμόζονται σε όλα τα ανεπτυγμένα κράτη και αφορά στην εξαγωγή συμπερασμάτων για την ορθή λειτουργία των δεκτών GNSS.

Τα περισσότερα κράτη υιοθετούν και εφαρμόζουν τις διατάξεις που προτείνει ο παγκόσμιος οργανισμός ISO, με μερικές εξαιρέσεις να αποτελούν κράτη που επιλέγουν να προσαρμόσουν τις διαδικασίες των προτύπων, προσθέτοντας ορισμένες προϋποθέσεις στην εφαρμογή τους. Καθώς η ισχύς των προτύπων του οργανισμού ISO είναι συμβουλευτικές, τα κράτη μπορούν να τα εφαρμόσουν είτε με αυτό τον τρόπο είτε με την μορφή νόμων να τα θεωρήσουν δεσμευτικά.

Πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Προτύπων υφίστανται τρεις κατηγορίες μελών. Κάθε κατηγορία συμμετέχει με διαφορετικό επίπεδο πρόσβασης και επιρροή στο σύστημα των προτύπων. Η ιδιότητα αυτή βοηθά τα πρότυπα να μην δημιουργούν αποκλεισμούς στην εφαρμογή τους, αναγνωρίζοντας ταυτόχρονα τις διαφορετικές ανάγκες και την ικανότητα του κάθε εθνικού φορέα προτύπων.

Οι κατηγορίες αυτές περιλαμβάνουν:

- ❖ **Τακτικά μέλη (member bodies).** Τα μέλη αυτά επηρεάζουν τη δημιουργία, ανάπτυξη και στρατηγική των προτύπων, με τη συμμετοχή και την ψήφο τους στις τεχνικές και πολιτικές συναντήσεις του οργανισμού. Τα τακτικά μέλη οφείλουν να υιοθετήσουν τα ISO Διεθνή Πρότυπα σε εθνικό επίπεδο.
- ❖ **Συνεργαζόμενα μέλη (correspondent members).** Τα μελη αυτά παρατηρούν την ανάπτυξη προτύπων και τη στρατηγική του οργανισμού με την παρουσία τους στις τεχνικές και πολιτικές συνεδριάσεις ως παρατηρητές. Τα συνεργαζόμενα μέλη κράτη μπορούν, εάν επιθυμούν, να υιοθετήσουν τα ISO Διεθνή Πρότυπα σε εθνικό επίπεδο.

- ❖ **Μέλη συνδρομητές (subscriber members).** Τα μέλη αυτά ενημερώνονται σχετικά με τις εξελίξεις των διεθνών προτύπων αλλά δεν μπορούν να συμμετέχουν στην δημιουργία και υλοποίηση αυτών. Τα μέλη αυτά δεν μπορούν θεσπίζουν ISO Διεθνή Πρότυπα σε εθνικό επίπεδο.

[\[iso.org\]](http://iso.org)

Όσο αφορά στο Ελληνικό κράτος αποτελεί τακτικό μέλος του διεθνή οργανισμού προτύπων και συμμετέχει μέσω της ανεξάρτητης αρχής του ελληνικού οργανισμού τυποποίησης (ΕΛΟΤ).

3.2 Έλεγχος δεκτών GNSS στην Αυστραλία

Η Αυστραλία έχει δημιουργήσει διατάξεις (guidelines) που σχετίζονται με τη χρήση δεκτών GNSS σε γεωδαιτικές εφαρμογές με σκοπό να πραγματοποιηθεί προσαρμογή των στοιχείων του διεθνούς προτύπου ISO 17123-8. Αυτές οι κατευθυντήριες γραμμές έχουν συνταχθεί για να βοηθήσουν τους μελετητές μηχανικούς που χρησιμοποιούν δορυφορικά συστήματα και εξοπλισμό, και απαιτούν επαλήθευση της απόδοσής τους.

Οι διατάξεις περιγράφουν προτεινόμενες διαδικασίες για τις δοκιμές του εξοπλισμού GNSS για τοπογραφικές εφαρμογές με τη χρήση δικτύου επαλήθευσης. Ο στόχος των κατευθυντήριων γραμμών είναι να ενθαρρύνει όλους τους παρατηρητές να χρησιμοποιήσουν μια συνεκτική προσέγγιση κατά τη δοκιμή του εξοπλισμού τους, έτσι ώστε τα αποτελέσματα που επιτυγχάνονται να παρέχουν μια αξιόπιστη επαλήθευση.

Σε κάθε βήμα εφαρμογής των δοκιμών ελέγχου σύμφωνα με την Αυστραλιανή νομοθεσία τονίζεται ότι οι διαδικασίες δεν συνιστούν νομική ιχνηλασιμότητα των μετρήσεων GNSS και δεν αντικαθιστούν την εφαρμογή του διεθνούς προτύπου ISO 17123-8. Με την εξαγωγή συμπερασμάτων ο μελετητής είναι σε θέση να γνωρίζει εάν ο εξοπλισμός του πραγματοποιεί μετρήσεις με ακρίβεια που υπερκαλύπτει τις προϋποθέσεις της εφαρμογής που θα υλοποιήσει.

Όσο αφορά στο περιεχόμενο και στο εύρος υλοποίησης των διατάξεων αυτών καλύπτουν όλες τις διαδικασίες από την επιλογή του χρονικού διαστήματος μεταξύ των διαφορετικών φάσεων ελέγχου έως και το μαθηματικό μοντέλο επεξεργασίας των μετρήσεων.

[\[Act Guideline\]](#)

Τα βασικά στοιχεία που δομούν τις κατευθυντήριες γραμμές είναι:

- Οι συνθήκες μετρήσεις
- Η επαναληψιμότητα των ελέγχων
- Οι πρότυπες τιμές συντεταγμένων των θέσεων του πεδίου ελέγχου που χρησιμοποιούνται

Η υλοποίηση του ελέγχου συνίσταται σε καθεμία από τις παρακάτω περιπτώσεις:

- ❖ Τουλάχιστον κάθε 12 μήνες
- ❖ Απευθείας μετά από την επισκευή των δεκτών
- ❖ Ύστερα από αναβάθμιση των δεκτών (τόσο των μηχανικών μερών όσο και του λογισμικού που ενυπάρχουν σε αυτούς)
- ❖ Ύστερα από την αναβάθμιση ή αλλαγή του λογισμικού μετά – επεξεργασίας των μετρήσεων και επίλυσης των διανυσμάτων βάσης στο γραφείο.

Επίσης συνίσταται οι μελετητές να επιλύουν τα διανύσματα βάσης με παραπάνω από ένα, διαφορετικά λογισμικά επεξεργασίας.

Τέλος ένας ξεχωριστός έλεγχος, πραγματοποιείται κάθε χρόνο, με σκοπό να εξασφαλίζεται η ορθή λειτουργία των δεκτών χρησιμοποιώντας διαφορετικές μεθόδους εντοπισμού. Πιο συγκεκριμένα:

- ❖ Γρήγορος στατικός εντοπισμός. Γίνεται έλεγχος σε ένα δίκτυο σταθμών GNSS που συνίσταται στον υπολογισμό διανυσμάτων βάσης μεταβλητού μήκους.
- ❖ RTK εντοπισμός. Γίνεται έλεγχος των δεκτών σε ένα δίκτυο σταθμών GNSS που δεν απέχει περισσότερο από 10 χιλιόμετρα από τον ελεγχόμενο δέκτη.
- ❖ RTK εντοπισμός. Γίνεται έλεγχος των δεκτών με την βοήθεια ενός σταθμού αναφοράς (CORS, Continuously Operated Reference Station) που λειτουργεί αδιάκοπα.

[\[Act Guideline\]](#)

✓ Διαδικασίες ελέγχου

Η Αυστραλιανή νομοθετική οδηγία περιλαμβάνει τρεις διαφορετικές διαδικασίες με τις οποίες μπορεί να προκύψει αποτέλεσμα σχετικά με την ορθή λειτουργία των δορυφορικών δεκτών.

Οι διαδικασίες αυτές αναφέρονται:

- Στη δοκιμασία ελέγχου μηδενικής βάσης (Zero Baseline Test)
- Στη δοκιμασία ελέγχου μέσω της χρήσης ενός πεδίου ελέγχου που είναι γνωστές οι πρότυπες τιμές του με μεγάλη ακρίβεια από γεωδαιτικό σταθμό πρώτης τάξης (EDM Baseline)
- Στη δοκιμασία ελέγχου μέσω της δημιουργίας ενός δικτύου παρατηρήσεων και τη χρήση ενός μεγάλου πεδίου ελέγχου
[\[Act Guideline\]](#)

Πιο συγκεκριμένα η οδηγία προτείνει την υλοποίηση του ελέγχου των δεκτών GNSS με την τρίτη κατά σειρά διαδικασία, διότι το τεστ μηδενικής βάσης πραγματοποιεί βαθμονόμηση του υπό μελέτη δέκτη.

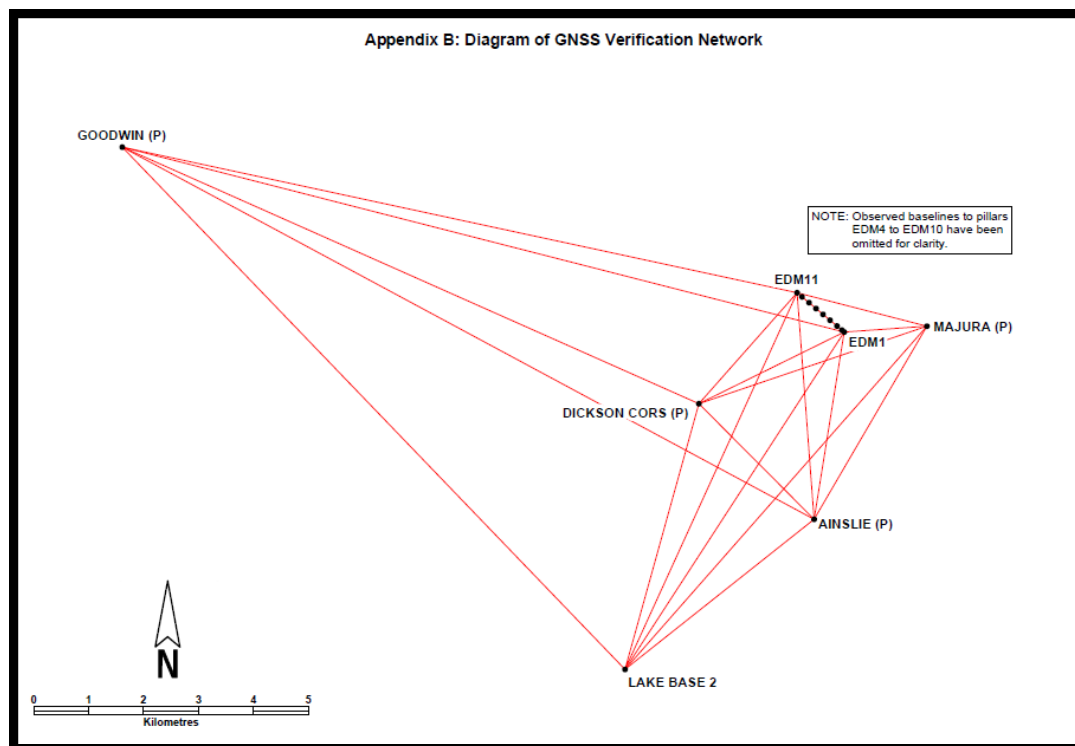
Όσο αφορά στον έλεγχο μέσω της διαδικασίας EDM Baseline Test αξιοποιείται η βάση ελέγχου και ειδικότερα οι θέσεις EDM 1-11 όπως χωροθετούνται στο σχήμα 3.1. Πιο συγκεκριμένα στο πεδίο ελέγχου υπάρχουν 11 θέσεις στις οποίες μπορεί να τοποθετηθεί ο υπό έλεγχο δέκτης και να πραγματοποιήσει μετρήσεις. Οι μετρήσεις αφορούν στην τοποθέτηση του δέκτη base στην κορυφή EDM 1 και την εναλλαγή των θέσεων του δέκτη rover μεταξύ των άλλων διαθέσιμων θέσεων EDM 2 έως 11. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων, ανάλογα με τη μέθοδο εντοπισμού, συγκρίνονται άμεσα με τις πρότυπες τιμές της βάσης ελέγχου που προκύπτουν ετήσια με επίγειες μεθόδους. Ωστόσο το περιορισμένο εύρος αποστάσεων (από 117 έως 1171 μέτρα) που καλύπτει η συγκεκριμένη βάση ελέγχου δεν θεωρήθηκε ικανό να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο δεκτών που ενδέχεται να χρησιμοποιηθούν σε τοπογραφικές εργασίες μεγαλύτερων αποστάσεων.
[\[Act Guideline\]](#)

✓ Χρήση δικτύου ελέγχου

Με σκοπό ο έλεγχος των δεκτών να πραγματοποιείται με ευκολία και να είναι δυνατή υλοποίηση του από κάθε μελετητή έχει δημιουργηθεί ένα δίκτυο σταθμών (σχήμα 3.1) που είναι γνωστές οι συντεταγμένες τους.

Ουσιαστικά εισάγεται η έννοια της διακρίβωσης καθώς πλέον πραγματοποιείται σύγκριση των πρότυπων τιμών συντεταγμένων με εκείνες που παρέχονται από το εθνικό σύστημα μετρολογίας της Αυστραλίας.

Ωστόσο παρατηρείται ότι αυτό δεν είναι πλήρως εφαρμόσιμο διότι οι πρότυπες συντεταγμένες προκύπτουν ύστερα από μαθηματική επίλυση με χρήση βαρών με σκοπό να εξαλείφονται οποιεσδήποτε παραμορφώσεις (παράμετροι) στο συνολικό δίκτυο ελέγχου. Αντίστοιχα οι τιμές των ορθομετρικών υψομέτρων προκύπτουν από τη χρήση του μοντέλου γεωειδούς AUSGeoid09.



Σχήμα 3.1 Διάγραμμα δικτύου ελέγχου στην Αυστραλία
[Πηγή : act.gov.au,2011]

Επομένως το δίκτυο αποτελείται από συγκεκριμένο αριθμό βάθρων που φιλοξενούν ειδικές διατάξεις όπου προσαρμόζονται οι δέκτες GNSS. Ανάλογα με τη σχετική θέση των βάθρων και με τη μέθοδο που θα εφαρμοστεί για τον έλεγχο των δεκτών πραγματοποιούνται οι εξής δοκιμασίες:

- ❖ Τεστ μηδενικής βάσης (Zero Baseline Test)
- ❖ Σύγκριση της απόστασης στο ελλειψοειδές των διανυσμάτων βάσης με την αντίστοιχη απόσταση μεταξύ των βάθρων (η οποία έχει υπολογιστεί με EDM)
- ❖ Επαλήθευση δυνατοτήτων δέκτη με τη μέθοδο του γρήγορου στατικού εντοπισμού
- ❖ Επαλήθευση δυνατοτήτων δέκτη με την μέθοδο RTK
[Act Guideline, 2011]

✓ Μέθοδοι εντοπισμού και μετρήσεις

Η οδηγία περιλαμβάνει αναφορές στην υλοποίηση του ελέγχου με διαφορετικές μεθόδους δορυφορικού εντοπισμού και προτρέπει τους μελετητές να πραγματοποιήσουν τον έλεγχο με την ίδια μέθοδο εντοπισμού που θα υλοποιήσουν και τις μετέπειτα εργασίες τους.

Πιο συγκεκριμένα όσο αφορά στην διαδικασία ελέγχου με την δημιουργία δικτύου ορίζονται οι εξής προϋποθέσεις:

- ❖ Μέτρηση τουλάχιστον 6 βάσεων με τη μέθοδο του σχετικού στατικού εντοπισμού και επίλυση δικτύου. Στην επίλυση διατηρείται σταθερή μία από τις κορυφές της βάσης ελέγχου, και η ορθή λειτουργία εξασφαλίζεται με την σύγκριση των συνορθωμένων τιμών συντεταγμένων με τις πρότυπες
- ❖ Μέτρηση όσο το δυνατόν περισσότερων βάσεων με τη μέθοδο κινηματικού εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο, ανάλογα με την ικανότητα της ραδιοζεύξης μεταξύ των δύο δεκτών. Η εξαγωγή συμπερασμάτων για τη λειτουργία των δεκτών προκύπτει με τον ίδιο τρόπο όπως προηγουμένως
- ❖ Μέτρηση όσο το δυνατόν περισσότερων βάσεων με τη μέθοδο κινηματικού εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο, με χρήση του μόνιμου σταθμού αναφοράς (Dickson Station), που εδρεύει στην περιοχή. Η εξαγωγή συμπερασμάτων για τη λειτουργία των δεκτών προκύπτει με τον ίδιο τρόπο όπως προηγουμένως. Στην επίλυση του δικτύου τα στοιχεία του μόνιμου σταθμού εισάγονται χωρίς σφάλμα.

✓ Συνθήκες μετρήσεων

Τέλος η οδηγία της Αυστραλιανής νομοθεσίας προβλέπει την ικανοποίηση ορισμένων συνθηκών πριν και κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης των μετρήσεων. Πιο συγκεκριμένα:

- ❖ Το σύνολο του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στον έλεγχο πρέπει να είναι σε πλήρη λειτουργική κατάσταση
- ❖ Το σύνολο του εξοπλισμού πρέπει να έχει ρυθμιστεί σύμφωνα με τον κατασκευαστή
- ❖ Οι κεραίες των δεκτών GNSS πρέπει να είναι προσανατολισμένες στον βορρά κατά τη διάρκεια του ελέγχου
- ❖ Η καταγραφή των μετρήσεων πρέπει να είναι πλήρης για κάθε διαδικασία ελέγχου και περιλαμβάνει τον τύπο, τον σειριακό

αριθμό και οποιαδήποτε διακριτικά στοιχεία των δεκτών που ελέγχονται

- ❖ Η μέτρηση των ατμοσφαιρικών συνθηκών δεν είναι απαραίτητη και δεσμευτική. Η διόρθωση της τροποσφαιρικής διάθλασης και των υπόλοιπων σφαλμάτων πραγματοποιείται από τα λογισμικά μετεπεξεργασίας.

[Act Guideline, 2011]

Εκτός από τις προτεινόμενες συνθήκες που πρέπει να ικανοποιούνται πριν τις μετρήσεις, η Αυστραλιανή οδηγία περιλαμβάνει διατάξεις που καθορίζουν τις διορθώσεις (αναγωγές) που θα πρέπει να γίνουν στις τελικές συντεταγμένες ανάλογα με τη γεωμετρία των δορυφόρων που δημιουργείται κατά την χρονική διάρκεια των μετρήσεων. Πιο συγκεκριμένα για τις περιπτώσεις των ελέγχων:

Τα κριτήρια ελέγχου επηρεάζονται καθοριστικά από την τιμή του δείκτη αλλοίωσης της ακρίβειας PDOP και τον αριθμό των παρατηρούμενων δορυφόρων κατά την διάρκεια των μετρήσεων.

- ❖ Εάν $PDOP < 2.0$ και ο αριθμός των δορυφόρων > 7 , οι διαφορές μεταξύ των προσδιοριζόμενων τιμών και των πρότυπων θα πρέπει να είναι μικρότερες από 0.02m οριζοντιογραφικά και 0.04m υψομετρικά για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.
- ❖ Εάν $PDOP < 3.0$ και ο αριθμός των δορυφόρων > 6 , οι διαφορές μεταξύ των προσδιοριζόμενων τιμών και των πρότυπων θα πρέπει να είναι μικρότερες από 0.04m οριζοντιογραφικά και 0.05m υψομετρικά για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

[Act Guideline, 2011]

3.3 Έλεγχος δεκτών GNSS στον Καναδά

Ο Καναδάς αποτελεί ιδρυτικό μέλος του παγκόσμιου οργανισμού προτύπων ISO, επομένως η εφαρμογή των διατάξεων του 17123-8 είναι δεσμευτική με τη μορφή νόμων.

Όσον αφορά στον έλεγχο της λειτουργίας των δεκτών GNSS δεν προτείνεται κάποια αλλαγή ή προσθήκη προϋποθέσεων. Ωστόσο λόγω της ιδιαίτερης τοποθεσίας και έκτασης του κράτους υπάρχουν κατευθυντήριες οδηγίες, που βοηθούν τους μελετητές να πραγματοποιήσουν τις μετρήσεις με τα συστήματα GNSS με την καλύτερη δυνατή ακρίβεια και ορθότητα.

Οι οδηγίες αφορούν τόσο στο στάδιο της προετοιμασίας των μετρήσεων όσο και στη διάρκεια αυτών. Επίσης προσδιορίζονται οι

συνήθεις πηγές σφαλμάτων για όλες τις σύγχρονες μεθόδους δορυφορικού εντοπισμού.

Τα κύρια στοιχεία που επισημαίνουν οι οδηγίες των Καναδικών νόμων αναφέρονται στα εξής:

- ❖ Επιλογή περιοχή μελέτης και ανάδειξη ιδιαιτεροτήτων της
- ❖ Επικοινωνία μεταξύ των δεκτών (είτε για σχετικό στατικό εντοπισμό είτε για εφαρμογές RTN – RTK)
- ❖ Συντήρηση παρελκόμενου εξοπλισμού
- ❖ Σχεδιασμός και βελτιστοποίηση μετρήσεων
- ❖ Εκ των προτέρων αξιολόγηση της ποιότητας των μετρήσεων μέσω της μελέτης της διακύμανσης των δεικτών αλλοίωσης (DOP) της ακρίβειας
- ❖ Μετασχηματισμό γεωμετρικών σε ορθομετρικά υψόμετρα
- ❖ Προσδιορισμός χρονικού διαστήματος έναρξης των μετρήσεων (initialization)
- ❖ Πηγές σφαλμάτων λόγω πολυανάκλασης και φυσικών εμποδίων
- ❖ Πηγές σφαλμάτων λόγω τροποσφαιρικής και ιονοσφαιρικής διάθλασης

[Donahue, Wentzel, Berg, 2013]

Πιο συγκεκριμένα ο κρατικός οργανισμός γεωδαιτικών μετρήσεων του Καναδά προτείνει:

- Έλεγχο του συστήματος αναφοράς που χρησιμοποιείται. (Ο έλεγχος πραγματοποιείται μέσω του επαναπροσδιορισμού των παραμέτρων του συστήματος αναφοράς χρησιμοποιώντας αποκλειστικά δορυφορικές παρατηρήσεις).
- Γνώση των περιορισμών και ιδιοτήτων των μεθοδολογιών RTK και RTN
- Ανά τακτά χρονικά διαστήματα χρήση και των δύο δορυφορικών δεκτών (εάν αυτοί είναι διαθέσιμοι) με τον ίδιο τρόπο
- Εάν υπάρχουν ενδείξεις για τη μη ορθή λειτουργία των δεκτών να πραγματοποιείται η εφαρμογή της πλήρους διαδικασίας ελέγχου του ISO 17123-8
- Σε περίπτωση που οι μετρήσεις οφείλουν να είναι μεγάλης ακρίβειας προτείνεται να επαναλαμβάνονται οι μετρήσεις σε παραπάνω σειρές μετρήσεων

- Μελέτη των ατμοσφαιρικών συνθηκών και πραγματοποίηση μετρήσεων σε περιόδους χαμηλής επίδρασης της ιονόσφαιρας
- Έλεγχος της συνέχειας και πληρότητας των παρατηρήσεων με τα συστήματα GNSS
- Έλεγχος της διαλειτουργικότητας του παρελκόμενου εξοπλισμού, σε περίπτωση που αυτός είναι διαφορετικού είδους ή εμπορικής ονομασίας από τον δέκτη
[nrcan.gc.ca]

3.4 Έλεγχος δεκτών GNSS στην Κίνα

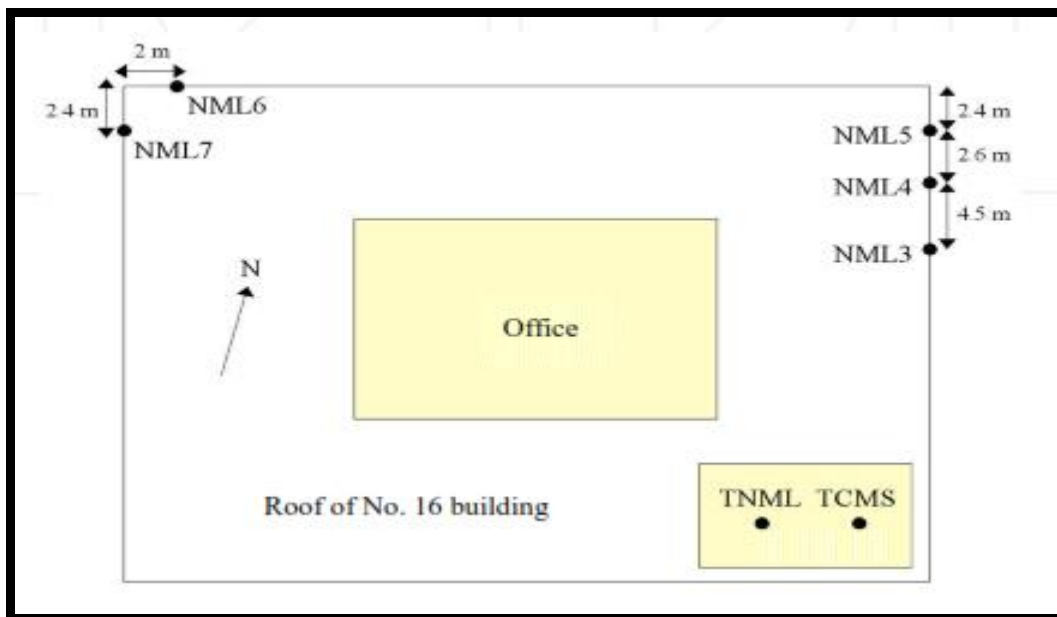
Η Κίνα αποτελεί ένα από τα σύγχρονα και μεγαλύτερα αναπτυγμένα κράτη. Η υψηλή τεχνολογική εξέλιξη έχει οδηγήσει στην ανάγκη για ύπαρξη δεδομένων για όλες τις φυσικές και τεχνητές υποδομές. Οι πλειονότητα των δεδομένων αυτών παρέχεται από μετρήσεις δορυφορικών συστημάτων GNSS. Τα συστήματα αυτά λόγω του μεγάλου αριθμού τους διαχωρίζονται σε δυο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τους μικρούς σε διαστάσεις και χαμηλού κόστους δέκτες και η δεύτερη τους εμπορικούς δέκτες των εταιρειών που χρησιμοποιούνται σε όλο τον κόσμο.

Εξαιτίας του μεγάλου αριθμού και της διαφορετικότητας των δεκτών GNSS μεταξύ τους, διάφορες έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί στην Κίνα με σκοπό τον έλεγχο όλων των δορυφορικών δεκτών.

Πιο συγκεκριμένα προτείνεται η δημιουργία πεδίου ελέγχου (σχήμα 3.2) σε υψηλό σημείο κτιρίου, που περιλαμβάνει πυλώνες και βάθρα όπου τοποθετείται ο υπό μελέτη δέκτης. Σε άλλα σημεία τοποθετούνται οι σταθεροί δέκτες αναφοράς που συμμετέχουν στην διαδικασία (εικόνα 3.1).



*Εικόνα 3.1 Τοποθέτηση σταθερών δεκτών
[Πηγή : dx.doi.org,2014]*



Σχήμα 3.2 Διάγραμμα πεδίου ελέγχου στην Κίνα
 [Πηγή : dx.doi.org,2014]

✓ Προετοιμασία μετρήσεων

Το στάδιο της προετοιμασίας περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

- ❖ Το υπό έλεγχο όργανο θα πρέπει να ελεγχθεί ως προς την δυνατότητα να μετρήσει με την ενέργεια που του προσφέρει η εσωτερική του μπαταρία
- ❖ Ο έλεγχος πρέπει να πραγματοποιείται από μελετητή που είναι ενήμερος για τη διαδικασία, και την ικανοποίηση των συνθηκών χρήσης του δέκτη σύμφωνα με τον κατασκευαστή
- ❖ Απαραίτητη είναι η καταγραφή του σειριακού αριθμού του υπό έλεγχο δέκτη καθώς επίσης και του παρελκόμενου εξοπλισμού
- ❖ Έλεγχος της επαρκούς και συνεχούς καταγραφής των μόνιμων σταθμών αναφοράς
- ❖ Όλοι οι δέκτες πρέπει να έχουν ανοικτό ορίζοντα με σκοπό να μπορούν να πραγματοποιούν παρατηρήσεις με τον μέγιστο δυνατό αριθμό δορυφόρων

✓ Διαδικασία μετρήσεων

Το πεδίο ελέγχου (σχήμα 3.2) χωροθετείται σε οροφή κτιρίου. Το πεδίο περιλαμβάνει δύο σταθερούς δέκτες αναφοράς (TNML, TCMS)

από τους οποίους ο TNML είναι συνεχούς λειτουργίας και αποτελεί σταθμό του παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού (IGS).

Οι υπόλοιπες θέσεις (NML3 – NML7) χωροθετούνται σε κοντινές αποστάσεις μεταξύ τους και διαθέτουν κατάλληλες υποδοχές για την προσαρμογή του δέκτη που πρόκειται να ελεγχθεί. Η τοποθέτηση του δέκτη σε αυτές τις θέσεις πραγματοποιείται με μοναδικό τρόπο. Οι συντεταγμένες των θέσεων αυτών είναι γνωστές και έχουν προκύψει από χρονοσειρές μετρήσεων τουλάχιστον δύο εβδομάδων.

Η διαδικασία του ελέγχου περιλαμβάνει τη μέτρηση με τη μέθοδο του σχετικού στατικού εντοπισμού μεταξύ του μόνιμου σταθμού και του υπό μελέτη δέκτη και περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- Αρχικό έλεγχο συχνοτήτων μόνιμων σταθμών
- Έναρξη λειτουργίας μόνιμου σταθμού
- Επιλογή μίας από τις θέσεις του πεδίου ελέγχου στην οποία θα τοποθετηθεί ο υπό μελέτη δέκτης
- Μέτρηση με τον υπό έλεγχο δέκτη για ακριβώς 8 ώρες με τη μέθοδο του σχετικού στατικού εντοπισμού
- Μέτρηση στην ίδια θέση με δέκτη αναφοράς (ο οποίος έχει ελεγχθεί από έγκριτο οργανισμό) για χρονικό διάστημα 24 ωρών

Μοναδικός περιορισμός των μετρήσεων είναι το πλήθος των δορυφόρων (τουλάχιστον 4) και την ελάχιστη τιμή της γωνίας ύψους να ορίζεται στις 15 μοίρες.

Μετά την ολοκλήρωση των μετρήσεων ακολουθεί η αρχικοποίηση αυτών και η μετατροπή τους σε κατάλληλο σύστημα αναφοράς. Ουσιαστική διαδικασία του ελέγχου είναι ο προσδιορισμός συντεταγμένων στο σύστημα ITRF. [Ta-Kang, 2014]

✓ Στατιστικοί έλεγχοι – Μελέτη αβεβαιότητας

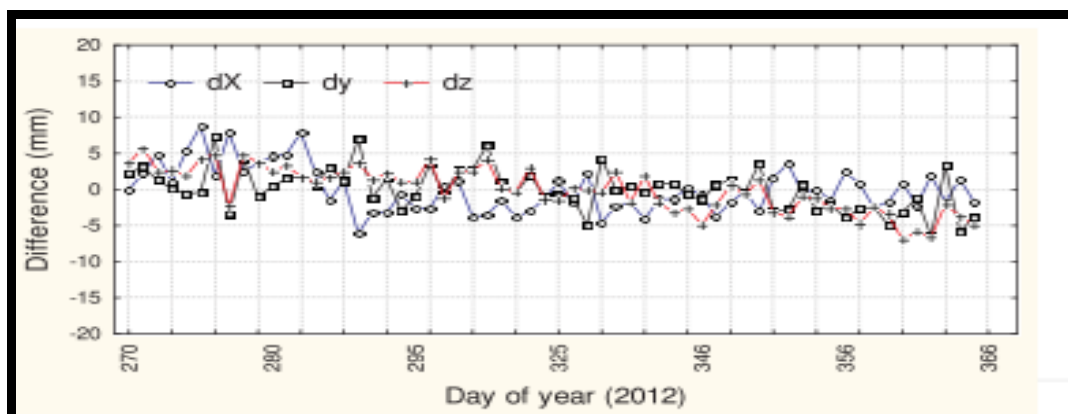
Οι στατιστικοί έλεγχοι μπορούν να συμβαδίζουν με εκείνους που προτείνουν οι διατάξεις του προτύπου ISO 17123-8. Πραγματοποιείται και η απλοποιημένη και η πλήρης στατιστική ανάλυση για συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης.

Ωστόσο μπορεί να προκύπτει συμπέρασμα σχετικά με την ορθή λειτουργία του υπό μελέτη δέκτη μέσω διαφορετικής διαδικασίας στατιστικής ανάλυσης, η οποία είναι προσαρμοσμένη στις συνθήκες μέτρησης που υφίστανται στην Κίνα.

Πιο συγκεκριμένα περιλαμβάνονται τα εξής στάδια στατιστικής ανάλυσης:

- Υπολογισμός διαφορών μεταξύ των μετρημένων μεγεθών και των πρότυπων μεγεθών όσο αφορά στις τιμές ΔX , ΔY , ΔZ και αποστάσεων
- Μελέτη χρονοσειράς αβεβαιοτήτων μόνιμου σταθμού αναφοράς

Εφόσον μόλις πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις του ελέγχου, στις θέσεις αυτές τοποθετούνται δέκτες που συνεχίζουν τις μετρήσεις προκύπτουν χρονοσειρές μετρήσεων (εικόνα 3.3) μεταξύ όλων των θέσεων του πεδίου ελέγχου. Με την παραπάνω ιδιότητά είναι δυνατή η παρακολούθηση και η μοντελοποίηση των σφαλμάτων που εισάγονται στον προσδιορισμό των πρότυπων τιμών (βαθμονόμηση μόνιμου σταθμού). [Ta-Kang, 2014]



Εικόνα 3.3 Χρονοσειρά μετρήσεων για μία κορυφή του πεδίου ελέγχου
[Πηγή : dx.doi.org,2014]

- Υπολογισμός δεικτών εκτίμησης σφαλμάτων που θα αξιοποιηθούν για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ορθή λειτουργία του δέκτη. Οι δείκτες αυτοί προσδιορίζονται μέσω της μοντελοποίησης των παραγόντων της τροπόσφαιρας, της ιονόσφαιρας, της αποχής του κέντρου φάσης και της συχνότητας των δεκτών προκύπτει μία συνολική τιμή μέγιστου σφάλματος, η οποία θα χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή συμπεράσματος σχετικά με την λειτουργία του δέκτη.

Για να θεωρηθεί ότι ένας δέκτης πραγματοποιεί παρατηρήσεις ορθά θα πρέπει κάθε μία από τις επιμέρους διαφορές μεταξύ των συντεταγμένων, να είναι μικρότερες από τη μέγιστη τιμή σφάλματος που υπολογίζεται μέσω των δεικτών εκτίμησης.

✓ Βαθμονόμηση μόνιμου σταθμού συνεχούς λειτουργίας

Για τη διαδικασία του ελέγχου αξιοποιείται ο μόνιμος σταθμός συνεχούς λειτουργίας TNML και μία από τις υπόλοιπες θέσεις, όπου μπορεί να τοποθετηθεί ο υπό έλεγχο δέκτης.

Ωστόσο η χωροθέτηση όλων των θέσεων NML3-7 καθώς επίσης και η ύπαρξη ενός ακόμα μόνιμου σταθμού TCMS χρησιμοποιούνται για τη βαθμονόμηση του μόνιμου σταθμού συνεχούς λειτουργίας TNML.

Πιο συγκεκριμένα τοποθετούνται δέκτες σε όλες τις θέσεις και πραγματοποιούνται μετρήσεις για χρονικό διάστημα 24 ωρών με τη βοήθεια του μόνιμου σταθμού.

Εφόσον προκύψουν οι χρονοσειρές των μετρήσεων αυτών, υπολογίζονται οι μέσοι όροι και οι αβεβαιότητες προσδιορισμού των συντεταγμένων κάθε θέσης και συγκρίνονται με τις αντίστοιχες των προηγούμενων σειρών. Εάν οι διαφορές βρίσκονται εντός του ορίου της αβεβαιότητας της μέτρησης, τότε οι συντεταγμένες εισάγονται στα συνολικά δεδομένα από όπου και προσδιορίζονται από την αρχή οι παράμετροι με τις οποίες συμμετέχει ο μόνιμος σταθμός TNML στις επιλύσεις του παγκόσμιου δίκτυο μόνιμων σταθμών. [Ta-Kang, 2014]

3.5 Έλεγχος δεκτών GNSS στην Ευρώπη

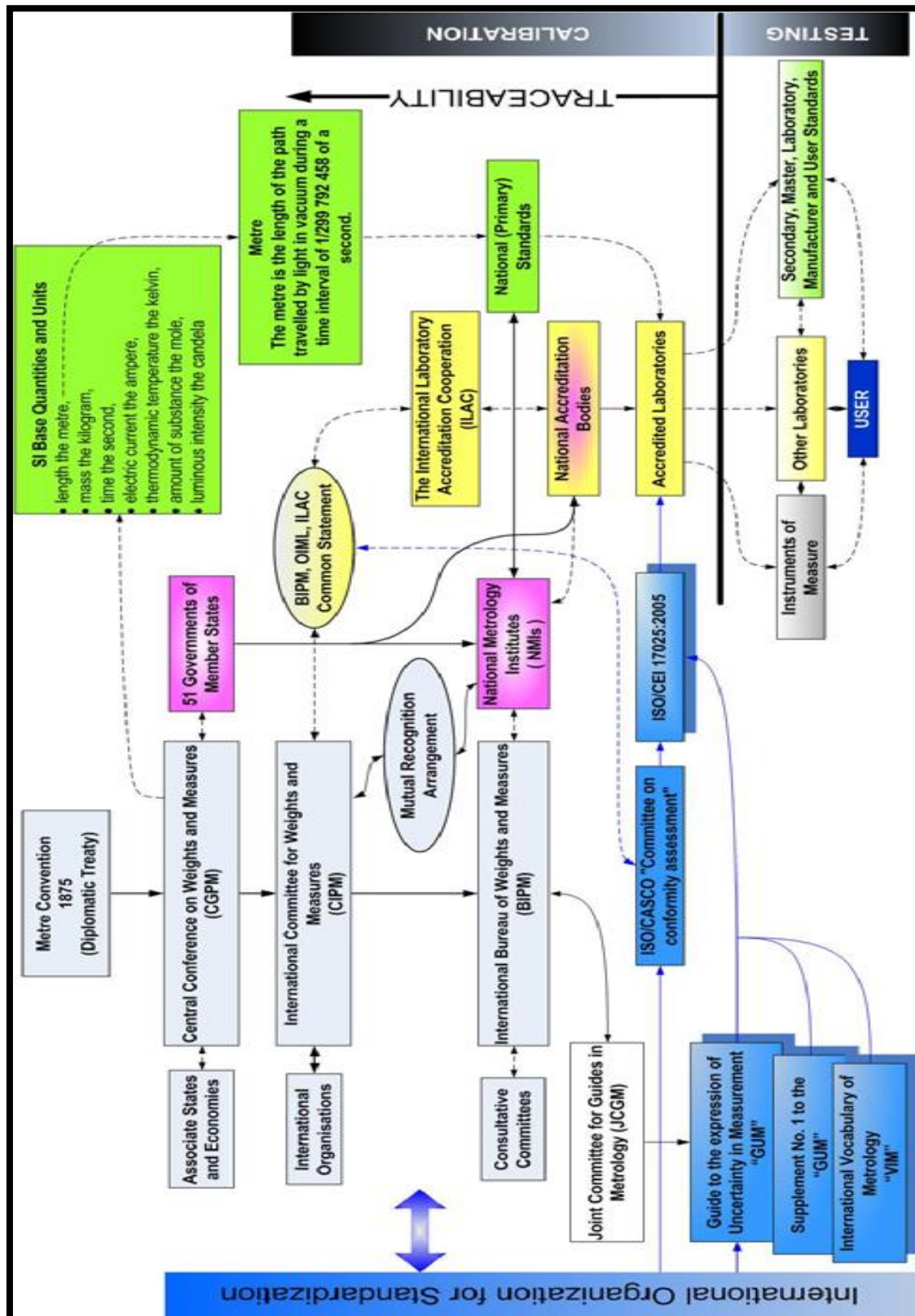
Οι περισσότερες χώρες που ανήκουν στην Ευρωπαϊκή Ένωση αποτελούν τακτικά μέλη του παγκόσμιου οργανισμού ISO, με αποτέλεσμα να εφαρμόζουν τα πρότυπα αυτού, ενσωματώνοντας τα με την μορφή νόμων στο σύνταγμα τους. Επίσης οι χώρες μέλη της ΕΕ συμμετέχουν σε μεγάλο βαθμό στην δημιουργία νέων προτύπων καθώς επίσης και στην ανανέωση και εκσυγχρόνιση των υπαρχόντων.

Επίσης ορισμένες χώρες, όπως η Γαλλία, είναι υπεύθυνες για τη δημιουργία και διαχείριση θεσμών που αποτελούν βασικές συνιστώσες του συστήματος διακρίβωσης, ελέγχου και ιχνηλασιμότητας του Διεθνούς Οργανισμού Μέτρων και Βαρών, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 3.4.

Ωστόσο υπάρχουν και έρευνες σε άλλες χώρες, όπως είναι η Γερμανία, που ενώ συμβαδίζουν με τις σύγχρονες διατάξεις των προτύπων ISO, επιλέγουν μέσω διαδικασιών μέτρησης, να απομονώσουν ορισμένους από τους παράγοντες εισαγωγής σφαλμάτων, με συστήματα GNSS, και να τους αναλύσουν διεξοδικά.

Με αυτόν τον τρόπο αναγνωρίζονται οι βασικές πηγές αβεβαιότητας και μελετώνται με πειράματα εκείνες που ο κάθε

ερευνητής πιστεύει ότι συμμετέχουν περισσότερο στην εξαγωγή των τελικών συμπερασμάτων.



Σχήμα 3.4 Οργανόγραμμα μετρολογικών όρων και λειτουργιών [Πηγή : Martin,2014]

Οι πιο πολλές από αυτές τις έρευνες αναφέρονται σε εργαστηριακούς ελέγχους που αντιμετωπίζουν τον δέκτη ως μία πολύπλοκη ηλεκτρονική συσκευή και χρησιμοποιώντας κατάλληλα ηλεκτρονικά κυκλώματα μπορούν να ελέγξουν την ορθή λειτουργία των δορυφορικών δεκτών. Επομένως σε αυτές τις περιπτώσεις δεν πραγματοποιούνται μετρήσεις, όσο αφορά στην παρατήρηση δορυφόρων ή στην εξαγωγή συντεταγμένων, ούτε εφαρμόζονται στατιστικοί έλεγχοι και ανάλυση.

Από αυτές τις έρευνες δεν προκύπτει συμπέρασμα σχετικά με τον έλεγχο και τη διακρίβωση των δεκτών GNSS, αλλά ουσιαστικά διαπιστώνεται η ορθή λειτουργία των ηλεκτρονικών μερών τους. Επομένως οι διαδικασίες αυτές εντάσσονται στη βαθμονόμηση δεκτών GNSS.

Επίσης υπάρχουν έρευνες που συνδυάζουν την εργαστηριακή μελέτη αλλά πραγματοποιούνται σε εξωτερικό πεδίο ελέγχου με σκοπό να πραγματοποιούνται και μετρήσεις. Οι σύγχρονες αυτές έρευνες περιλαμβάνουν την δημιουργία και λειτουργία ρομποτικών κατασκευών, στις οποίες προσαρμόζεται ο υπό έλεγχο δέκτης και πραγματοποιούνται παρατηρήσεις.

Τέτοιου είδους ερευνητική δραστηριότητα εμφανίζεται στην Γερμανία όπου απομονώθηκε από τις πηγές εισαγωγής σφαλμάτων, η μη ταύτιση του κέντρου της κεραίας του δέκτη με το κέντρο αναφοράς των μετρήσεων. Πιο συγκεκριμένα η συνθήκη της μη ταύτισης οδηγεί σε σφάλματα στα διανύσματα βάσης της τάξης των πολλών εκατοστών.

[[Martin, Wubbena, Boettcher, 2002](#)]

Η μελέτη σχετικά με τη βαθμονόμηση της κεραίας ενός δέκτη GNSS με τη μέθοδο του απόλυτου εντοπισμού χρησιμοποιώντας ρομπότ, ξεκίνησε το 1992. Με το πέρασμα των χρόνων διευκολύνεται η διαδικασία των μετρήσεων και βελτιώνεται η αξιοπιστία και η ορθή λειτουργία του ρομποτικού μηχανισμού (εικόνα 3.4)

Ωστόσο η συγκεκριμένη διαδικασία προϋποθέτει ακριβή γνώση των διαδικασιών λειτουργίας και της θέσης του ρομποτικού μηχανισμού καθώς εισάγεται και άλλος ένας παράγοντας αβεβαιότητας που είναι ο τριδιάστατος μετασχηματισμός μεταξύ του συστήματος συντεταγμένων του μηχανισμού και του δέκτη. Άλλωστε ο ρομποτικός μηχανισμός αποτελεί και εκείνος αντικείμενο έρευνας όσο αφορά στον παροδικό έλεγχο της λειτουργίας του.

Επίσης το πλήθος των μαθηματικών επιλύσεων όπου σε αυτές εισέρχονται και μετρήσεις σε πολλές συχνότητες απαιτούν αυξημένες

απαιτήσεις σε χρόνο και υπολογιστική ισχύ που δεν είναι προσεγγίσιμη από όλο το σύνολο των μελετητών.



Εικόνα 3.4 Ρομποτικός μηχανισμός βαθμονόμησης δεκτών GNSS
[Πηγή : ife.uni-hannover.de,2014]

Αντίστοιχες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί απομονώνοντας τα σφάλματα που εισάγονται από την πολυανάκλαση. Η διαδικασία AMCS (Antenna and Multipath Calibration System) περιλαμβάνει τη χρήση δύο δεκτών GNSS (από τους οποίους ο ένας πρόκειται να ελεγχθεί) και μίας μεγάλης παραβολικής κεραίας τριών μέτρων που είναι απαλλαγμένη από το φαινόμενο της πολυανάκλασης (εικόνα 3.5).

[Elonsegui, Park, Davis, Normandeu, 2005]



Εικόνα 3.5 Συστατικά μέρη μεθοδολογίας AMCS
[Πηγή : ife.uni-hannover.de,2014]

Η μεθοδολογία περιλαμβάνει τον έλεγχο εναλλάξ των δύο δεκτών. Ο δέκτης που ελέγχεται είναι εκείνος που βρίσκεται συνδεδεμένος και τοποθετημένος στο εσωτερικό της μεγάλης κεραίας που είναι απαλλαγμένη από το φαινόμενο της πολυανάκλασης.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων αφορά στις παρατηρήσεις όταν και οι δύο δέκτες τοποθετούνται σε ελεύθερες θέσεις, και όταν ο ένας από τους δύο δέκτες τοποθετείται στο εσωτερικό της παραβολικής κεραίας. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να εξαχθεί συμπέρασμα σχετικά με την επίδραση του φαινομένου της πολυανάκλασης στις μετρήσεις.

[Elonsegui, Park, Davis, Normandeau, 2005]

Αν και η μέθοδος AMCS βασίζεται στις μετρήσεις πρωτογενών στοιχείων και στην μελέτη των παρατηρήσεων ανά συχνότητα, δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις συνθήκες καθώς προϋποθέτει κατάλληλη συνδεσμολογία, ανοικτό ορίζοντα καθώς επίσης και μεγάλου ύψους παραβολική κεραία. Επίσης σύγχρονες μελέτες έχουν αποφανθεί ότι το φαινόμενο της πολυανάκλασης δεν επιδρά ως αυτόνομη οντότητα αλλά συν επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες που εισάγουν σφάλματα στις μετρήσεις με δορυφορικά συστήματα.

3.6 Έλεγχος δεκτών GNSS στον Ελλαδικό χώρο

Στην Ελλάδα υφίστανται δημόσιες και ιδιωτικές πρωτοβουλίες που προωθούν τον έλεγχο των γεωδαιτικών οργάνων. Οι φορείς αυτοί είναι οι αντιπροσωπείες των διεθνών εταιρειών που παρέχουν γεωδαιτικό εξοπλισμό στον ελληνικό χώρο. Οι εταιρίες αυτές στην πλειονότητα τους προσφέρουν την δυνατότητα ελέγχου των δεκτών GNSS εφαρμόζοντας, σε δικές τους εγκαταστάσεις, τις διαδικασίες του ισχύοντος προτύπου ISO 17123-8.

Η έρευνα σχετικά με το ισχύον πρότυπο ελέγχου περιλαμβάνει προτάσεις που αφορούν τόσο στην ενίσχυση των προϋποθέσεων εφαρμογής του όσο και στην αλλαγή της μεθόδου εντοπισμού που χρησιμοποιείται για την διεξαγωγή των πειραμάτων. [Κανελλόπουλος, 2015]

Επίσης μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί σχετικά με την επίδραση και την συμμετοχή των διαφορετικών παραγόντων στην διεξαγωγή των μετρήσεων με την μέθοδο RTK, όπως προωθεί ο οργανισμός ISO. Τέτοιοι παράγοντες είναι ο χρόνος διεξαγωγής των σειρών μέτρησης καθώς επίσης και η μελέτη σχετικά με την περιοχή χωροθέτησης του πεδίου ελέγχου. [Πουλίδης, 2014]

Επίσης μελέτες αναφέρονται στην διεξαγωγή διαδικασιών τόσο βαθμονόμησης όσο και ελέγχου και διακρίβωσης δεκτών GNSS. Παρακάτω αναλύονται βασικές μελέτες που καλύπτουν τις τρεις αυτές κατηγορίες της επιστήμης της μετρολογίας.

✓ Βαθμονόμηση δορυφορικών δεκτών

Σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνονται, όπως αναπτύχθηκε και προηγουμένως, τα σφάλματα που οφείλονται κυρίως στα ηλεκτρονικά κυκλώματα των δεκτών GNSS. Πιο συγκεκριμένα προκειμένου να αναδειχθεί η επίδραση αυτών πραγματοποιούνται μετρήσεις σε μηδενική βάση ελέγχου (Zero Baseline Test).

Στην περίπτωση αυτή, δύο δέκτες συνδέονται με τη βοήθεια ενός διαχωριστή σήματος (splitter) με κεραία τύπου σπειροειδών δακτυλίων (choke ring), που έχει την ικανότητα εξάλειψης σε μεγάλο βαθμό του σφάλματος της πολυανάκλασης. Το σύστημα συνδέεται μαζί με τον αντίστοιχο ενισχυτή, ο οποίος στέλνει **όμοια αντίγραφα** του δορυφορικού σήματος σε κάθε δέκτη που είναι συνδεδεμένος σε αυτόν. Με αυτή την τεχνική όλα τα σφάλματα που προέρχονται από εξωτερικές πηγές, όπως σφάλματα τροχιάς, ατμόσφαιρας, πολυανάκλασης και κέντρωσης, απαλείφονται ενώ αντιθέτως παραμένουν όλα εκείνα που προέρχονται από τα διάφορα ηλεκτρονικά κυκλώματα.

Ο εντοπισμός και η εκτίμηση των συστηματικών σφαλμάτων που προέρχονται από τα ηλεκτρονικά κυκλώματα ενός δέκτη GNSS, είναι μία διαδικασία σημαντική πριν από τη χρησιμοποίησή του σε εφαρμογές και ιδιαίτερα σε αυτές που απαιτούν υψηλή ακρίβεια προσδιορισμού θέσης, καλύτερης του ενός εκατοστού, όπως για μελέτες μικρομετακινήσεων του γήινου φλοιού ή μεγάλων τεχνικών έργων. Τα σφάλματα αυτά, που ονομάζονται και θόρυβος του δέκτη (receiver noise), οφείλονται κυρίως στην ηλεκτρική ισχύ των κυκλωμάτων, που υπάρχουν στο κύκλωμα των ραδιοσυχνοτήτων.

Οι μετρήσεις αφορούν στον προσδιορισμό του μήκους και της υψομετρικής διαφοράς της μηδενικής βάσης. Οι μετρήσεις διαρκούν εννέα ώρες για τέσσερις συνεχόμενες μέρες με ρυθμό καταγραφής 1sec και γωνία αποκοπής των δορυφορικών σημάτων (cutoff angle) 15°. Οι δέκτες καταγράφουν στη συχνότητα L1 μετρήσεις φάσης και κώδικα (C/A) και στη συχνότητα L2 μετρήσεις φάσης και κώδικα (P).

Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων αφορά στον υπολογισμό των ελάχιστων και μέγιστων τιμών καθώς και των σφαλμάτων τους, και την σύγκρισή τους για ένα συγκεκριμένο επίπεδο

εμπιστοσύνης, με μία τιμή κατωφλίου που καθορίζεται από τον αριθμό των παρατηρούμενων δορυφόρων κατά την διάρκεια του πειράματος. [Πικριδάς, 2005]

✓ Εφαρμογή του ISO 17123-8 με την τεχνική MAC της μεθοδολογίας RTN

Η αλλαγή της μεθόδου εντοπισμού καθώς επίσης και της δυνατότητας ελέγχου ενός μόνο δέκτη διερευνήθηκε χρησιμοποιώντας ένα δίκτυο μόνιμων σταθμών και τη χρήση της υπό - τεχνικής MAX. Ταυτόχρονα πραγματοποιήθηκε μελέτη σχετικά με την επίδραση του χρόνου παρατήρησης στην ακρίβεια των μετρήσεων.

Οι μετρήσεις αφορούσαν την πλήρη εφαρμογή του ισχύοντος προτύπου ISO 17123-8 και υλοποιήθηκαν σε αυτοσχέδια εξωτερική βάση ελέγχου, όπως προϋποθέτουν οι διατάξεις του προτύπου.

Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης αναφέρονται στην μηδαμινή επίδραση του χρόνου παρατήρησης (30 δευτερόλεπτα έως και 1 λεπτό) στον προσδιορισμό συντεταγμένων με κινηματικές μεθόδους καθώς επίσης και στην αδυναμία χρήσης της τεχνικής MAC, ως μέθοδο εντοπισμού, για τον έλεγχο δεκτών GNSS, λόγω της αυξημένης αβεβαιότητας προσδιορισμού συντεταγμένων, που αυτή εισάγει. [Πουλίδης, 2014]

✓ Έλεγχος και διακρίβωση δορυφορικών δεκτών

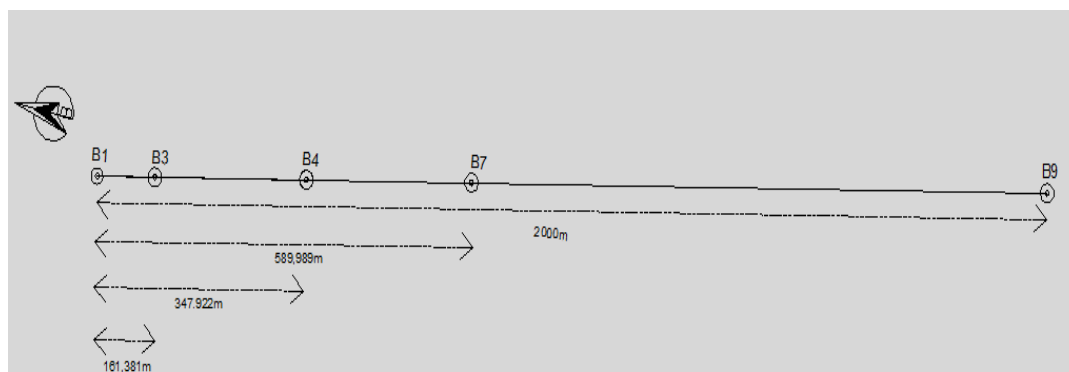
Έρευνα πραγματοποιείται για τον έλεγχο των δεκτών με τη μέθοδο του σχετικού στατικού εντοπισμού, καθώς επίσης και στην συμπλήρωση των προδιαγραφών του ισχύοντος προτύπου με σκοπό να πραγματοποιείται εκτός από έλεγχο και διακρίβωση του δέκτη.

Έτσι αναπτύχθηκε μία μεθοδολογία βασισμένη στο ισχύον πρότυπο ISO 17123-8, διαφοροποιώντας όμως τη μέθοδο εντοπισμού και τα μετρούμενα στοιχεία.

Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιείται η μέθοδος του σχετικού στατικού εντοπισμού και τα μετρούμενα μεγέθη είναι διανύσματα βάσης μεταξύ των σημείων μιας κατάλληλα κατασκευασμένης βάσης ελέγχου.

Η βάση ελέγχου (σχήμα 3.5) χωροθετείται σε εξωτερικό χώρο και είναι κατάλληλα κατασκευασμένη με σκοπό να εξαλείφονται πηγές σφαλμάτων, όπως είναι η πολυανάκλαση και η απότομη μεταβολή του αναγλύφου. Η βάση ελέγχου αποτελείται από 9 αποσπώμενα βάρη (σε

συνολικό μήκος δύο χιλιομέτρων) στην κορυφή των οποίων μπορεί να τοποθετηθεί ο υπό έλεγχο δέκτης με μονοσήμαντο τρόπο.



Σχήμα 3.5 Σκαρίφημα σχετικής θέσης κορυφών βάσης ελέγχου

Η διαδικασία του ελέγχου των δεκτών αξιοποιεί τα πρωτογενή στοιχεία ΔX , ΔY και ΔZ όπως προκύπτουν από τα μετρούμενα διανύσματα βάσης. Το μαθηματικό μοντέλο περιλαμβάνει την επίλυση δικτύου καθώς μετρούνται όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί μεταξύ της θέσης του base και των θέσεων του rover. Η επίλυση περιλαμβάνει αρχικά την ανάπτυξη των γραμμικών σχέσεων και καταλήγει στον προσδιορισμό των καλύτερων τιμών και των αβεβαιοτήτων προσδιορισμού των γεωκεντρικών συντεταγμένων. Τόσο οι τιμές όσο και οι αβεβαιότητες μετασχηματίζονται από το γεωκεντρικό στο τοποκεντρικό σύστημα αναφοράς με σκοπό να είναι άμεσα δυνατή η σύγκριση με τις ονομαστικές τιμές που προσδιορίζει ο κατασκευαστής των δεκτών.

Οι τιμές αβεβαιότητας προσδιορισμού των τοποκεντρικών συντεταγμένων συγκρίνονται με την ονομαστική ακρίβεια προσδιορισμού συντεταγμένων με δορυφορικές μεθόδους, όπως ορίζει ο κατασκευαστής. Επομένως προσδιορίζεται η **εσωτερική ακρίβεια** του συστήματος μέτρησης και πραγματοποιείται **έλεγχος** των δεκτών.

[Κανελλόπουλος, 2015]

Η διαδικασία της διακρίβωσης των δεκτών αξιοποιεί την μετρούμενη απόσταση μεταξύ δύο θέσεων της βάσης ελέγχου, όπως προκύπτει από την επίλυση του διανύσματος βάσης. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιείται η εξίσωση $y=a \cdot x+b$ με σκοπό να πραγματοποιηθεί μοντελοποίηση των τυχαίων και συστηματικών σφαλμάτων καθώς επίσης να προσδιοριστεί η κλίμακα του συστήματος μέτρησης. Στην συγκεκριμένη διαδικασία ως ανεξάρτητη μεταβλητή νοούνται οι τιμές αναφοράς των αποστάσεων και ως εξαρτημένες οι αντίστοιχες μετρημένες. Οι τιμές αναφοράς, δηλαδή τα μήκη μεταξύ των βάθρων,

έχουν προκύψει με μετρήσεις από ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό πρώτης τάξης.

Οι τιμές της απόστασης μεταξύ των κορυφών της βάσης ελέγχου αξιοποιούνται για τον υπολογισμό και την μοντελοποίηση των τυχαίων και συστηματικών σφαλμάτων μέσω της άμεσης σύγκρισής τους με τις πρότυπες τιμές, οι οποίες έχουν προκύψει με επίγειες μεθόδους. Επομένως προσδιορίζεται η **εξωτερική ακρίβεια** του συστήματος μέτρησης και υλοποιείται η **διακρίβωση** των δεκτών GNSS. [Κανελλόπουλος, 2015]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ISO 17123-8 ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ VRS ΚΑΙ SINGLE BASE RTK

4.1 Γενικά

Η αυξανόμενη χρήση ενός μόνο δέκτη GNSS σε συνδυασμό με ένα δίκτυο μόνιμων σταθμών αναφοράς στις περισσότερες τοπογραφικές εργασίες, οδηγεί στην ανάγκη ορισμού μιας διαδικασίας ελέγχου της ορθής λειτουργίας αυτού του ενός δέκτη.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο διερευνάτε η δυνατότητα εφαρμογής του ισχύοντος προτύπου ISO 17123-8 με χρήση σύγχρονων τεχνικών εντοπισμού που αξιοποιούν την ύπαρξη ενός μόνο δέκτη και ενός δικτύου μόνιμων σταθμών.

Οι τεχνικές VRS και Single Base RTK αξιοποιούν τη χρήση μόνο ενός δέκτη GNSS και τη διαθεσιμότητα ενός δικτύου μόνιμων σταθμών αναφοράς.

Και στις δύο περιπτώσεις αξιοποιήθηκε ένα δίκτυο μόνιμων σταθμών αναφοράς συνεχούς λειτουργίας. Χρησιμοποιήθηκε μόνο ένας δέκτης, ο οποίος ρυθμίστηκε κατάλληλα με σκοπό να μπορεί να επικοινωνεί αμφίδρομα με το κέντρο ελέγχου του δικτύου μόνιμων σταθμών και να υποστηρίζει και τις δυο τεχνικές μέτρησης.

Η περιοχή μελέτης επιλέχθηκε με σκοπό να ακολουθούνται οι προϋποθέσεις εφαρμογής του ισχύοντος προτύπου και να δημιουργούνται ευνοϊκές συνθήκες για τη μέτρηση στοιχείων με χρήση δορυφορικών παρατηρήσεων.

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τις διατάξεις του ισχύοντος προτύπου μόνο όσο αφορά στο χρονικό διάστημα μεταξύ των διαφορετικών σειρών μετρήσεων. Πραγματοποιήθηκαν όμως περισσότερες σε πλήθος παρατηρήσεις με σκοπό την εξαγωγή πρόσθετων συμπερασμάτων σχετικά με την επίδραση του δορυφορικού σχηματισμού.

Οι στατιστικοί έλεγχοι και η επεξεργασία των παρατηρήσεων πραγματοποιήθηκαν ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που προτείνει το ισχύον πρότυπο ISO 17123-8.

Ο τελικός στόχος του πειράματος είναι η αξιολόγηση:

- της δυνατότητας χρήσης των δύο τεχνικών μέτρησης για τον έλεγχο δεκτών GNSS

- της επίδρασης των διαφορετικών παραγόντων μέτρησης στην καταλληλότητα χρήσης του υπό έλεγχο δέκτη GNSS για μία τρέχουσα τοπογραφική μελέτη

Σημειώνεται ότι ο εικονικός σταθμός αναφοράς που δημιουργείται στην περίπτωση της τεχνικής VRS προκύπτει ύστερα από πλήθος παρατηρήσεων μεταξύ αυτού και των κοντινών του μόνιμων σταθμών και συμπεριλαμβάνεται στη συνολική επίλυση του δικτύου.

Σημειώνεται ότι ο εικονικός σταθμός λειτουργεί ως ένας φυσικός μόνιμος σταθμός αναφοράς, για το χρονικό διάστημα πραγματοποίησης των μετρήσεων. Επομένως ο εικονικός σταθμός αναφοράς πραγματοποιεί παρατηρήσεις της ίδιας τάξης ακρίβειας με εκείνες που πραγματοποιούν οι μόνιμοι σταθμοί αναφοράς.

Κάθε φορά, ο δέκτης GNSS συνδέεται είτε με το κέντρο ελέγχου είτε απευθείας με τον σταθμό αναφοράς που επιλέγεται, και πραγματοποιεί μετρήσεις αξιοποιώντας τις διορθώσεις που λαμβάνει από αυτούς. Ουσιαστικά ο δέκτης GNSS πραγματοποιεί παρατηρήσεις ως δέκτης rover, ενώ ο μόνιμος σταθμός λειτουργεί ως δέκτης base.

Το ισχύον πρότυπο ISO αναφέρει ότι ο δέκτης που ελέγχεται είναι εκείνος που παραμένει σταθερός σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Στην περίπτωση των δικτυακών τεχνικών ο δέκτης που παραμένει σταθερός είναι είτε ο εικονικός είτε ο φυσικός σταθμός αναφοράς.

Έτσι στην συγκεκριμένη μελέτη, έγινε αρχικά η παραδοχή ότι οι σταθμοί αναφοράς πραγματοποιούν μετρήσεις απαλλαγμένες από σφάλματα, διότι υλοποιούν συνεχείς παρατηρήσεις, οι οποίες συνορθώνονται μέσω της συμπερίληψης του σταθμού αναφοράς σε ένα ευρύτερο δίκτυο μόνιμων σταθμών. Άρα το σφάλμα των μετρήσεων θα οφείλεται ολοκληρωτικά στον κινούμενο δέκτη, ο οποίος και θα ελέγχεται.

Για να αιτιολογηθεί η παραδοχή αυτή έγινε μελέτη όλων των παραγόντων που εισάγουν σφάλματα στις μετρήσεις ενός μόνο δέκτη (receiver) κατά τις μεθόδους εντοπισμού RTK. [Emardson, 2011]

Τα σφάλματα αυτά αφορούν:

- Στην τροπόσφαιρα
- Στη ιονόσφαιρα
- Στην πολυανάκλαση και διαδρομή δορυφορικού σήματος
- Στις συνθήκες του πεδίου ελέγχου
- Στον δορυφορικό σχηματισμό
- Στις δορυφορικές τροχιές

Σε αυτές τις πηγές σφάλματος δεν εμπεριέχονται εκείνες που αναφέρονται στις αποκλίσεις των χρονομέτρων των δορυφόρων και στην ασύρματη επικοινωνία μεταξύ των δεκτών. [Zeimetz, Kuhlmann, 2011]

Λόγω των απαιτήσεων του ισχύοντος προτύπου και ιδιαίτερα με τον τρόπο που πραγματοποιούνται οι μετρήσεις μεταξύ των δύο θέσεων, εναλλάξ και στον ίδιο χρόνο, τα περισσότερα από αυτά τα σφάλματα εξαλείφονται.

Όπως περιγράφηκε στην παράγραφο 1.7, τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή των συμπερασμάτων είναι η απόσταση και η υψομετρική διαφορά μεταξύ των δύο θέσεων του κινούμενου δέκτη. Τα δύο αυτά γεωμετρικά παράγωγα προκύπτουν μαθηματικά μέσω της αφαίρεσης των τιμών των συντεταγμένων και έτσι ουσιαστικά εξαλείφονται και τα συστηματικά σφάλματα των θέσεων αυτών. Το γεγονός αυτό ενισχύει και η κοντινή απόσταση που έχουν οι δύο θέσεις του κινούμενου δέκτη, επομένως δεν εισάγεται διαφορετική μοντελοποίηση σφαλμάτων λόγω μεταβολών του περιβάλλοντος χώρου. Άρα απαλείφονται οι πηγές συστηματικού σφάλματος και πιθανά εναπομείναντα σφάλματα δεν είναι ικανά να συνεισφέρουν στατιστικά σημαντικές και ανιχνεύσιμες τιμές.

Επομένως γίνεται κατανοητό ότι ο έλεγχος των δεκτών με την υφιστάμενη μεθοδολογία που νομοθετικά ορίζει το πρότυπο ISO 17123-8, και με χρήση των μεθοδολογιών RTN δεν είναι δυνατή καθώς με αυτόν τον τρόπο επαληθεύεται η ορθή λειτουργία του μόνιμου σταθμού αναφοράς που αξιοποιείται για τις μετρήσεις.

Έτσι επιλέχθηκε στην συγκεκριμένη μελέτη να τροποποιηθεί μερικώς το ισχύον πρότυπο ελέγχου, με τη χρήση ενός μόνο δέκτη.

Η διαφοροποίηση, σε σχέση με το ισχύον πρότυπο, αφορά στην αλλαγή της τεχνικής εντοπισμού, όπου και χρησιμοποιείται η σύγχρονη μέθοδος RTK/RTN:

- είτε με μετρήσεις από έναν εικονικό σταθμό αναφοράς (VRS) που δημιουργείται,
- είτε με μετρήσεις από έναν μόνιμο σταθμό αναφοράς (Single Base).

Με την πειραματική διαδικασία, που εφαρμόζεται σχετικά τροποποιημένη από αυτήν που αυστηρά ορίζει το ISO 17123-8, προκύπτουν συμπεράσματα σχετικά:

- Με την ορθή λειτουργία του VRS σταθμού ή του αντίστοιχου μόνιμου σταθμού

- Με την αδυναμία της στατιστικής ανάλυσης των αποτελεσμάτων να εξάγουν συμπεράσματα για τον κινούμενο δέκτη
- Την ύπαρξη χονδροειδών σφαλμάτων κατά τις μετρήσεις
- Την επίδραση του δορυφορικού σχηματισμού

4.2 Το πεδίο ελέγχου

Η περιοχή μελέτης ορίστηκε σύμφωνα με τις προδιαγραφές του ισχύοντος προτύπου ISO 17123-8. Το πρότυπο ορίζει ότι η απόσταση μεταξύ των δύο δεκτών πρέπει να είναι αντίστοιχης τάξης μεγέθους με την μέση έκταση της τοπογραφικής εργασίας που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν οι δέκτες.

Πιο συγκεκριμένα στην περίπτωση της εφαρμογής:

- ❖ Στην τεχνική VRS ο εικονικός δέκτης δημιουργείται, από το κέντρο ελέγχου, σε μικρή απόσταση από την περιοχή μελέτης με σκοπό να διευκολύνονται οι μετρήσεις
- ❖ Στην τεχνική Single Base RTK επιλέχθηκε ο κοντινότερος μόνιμος σταθμός.

(Σε περίπτωση που δεν είναι γνωστός ο κωδικός του μόνιμου σταθμού, που πρέπει να συνδεθεί με σκοπό να λαμβάνει διορθώσεις, υπάρχει και η δυνατότητα επιλογής αυτόματα του κοντινότερου σταθμού από το κέντρο ελέγχου).

Όσο αφορά στις δύο κορυφές του πεδίου ελέγχου, το ισχύον πρότυπο ορίζει ότι ενδείκνυται να απέχουν περισσότερο από δύο αλλά λιγότερο από είκοσι μέτρα. Επίσης πρέπει να ικανοποιούνται οι συνθήκες ανοικτού ορίζοντα και η μελέτη φαινομένων πολυανάκλασης για την περιοχή ελέγχου. Ακολουθώντας τα παραπάνω, το πεδίο ελέγχου ορίστηκε στην ταράτσα του κτιρίου Λαμπαδάριου, που βρίσκεται στην Πολυτεχνειούπολη του Ζωγράφου (εικόνα 4.1).

Για την απλούστευση των μετρήσεων και για την ελαχιστοποίηση σφαλμάτων που οφείλονται στην κέντρωση και οριζοντίωση του δέκτη, αποφασίστηκε να αξιοποιηθούν τα βάθρα που υπάρχουν στην ταράτσα του κτιρίου. Τα βάθρα αυτά βρίσκονται στο ανατολικό τμήμα αυτής και απέχουν μεταξύ τους περίπου 10m.

Αν και οι συντεταγμένες των βάρων είναι γνωστές, οι τιμές αυτές χρησιμοποιήθηκαν μόνο για την ανίχνευση χονδροειδών σφαλμάτων κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, όπως προϋποθέτει ο προκαταρκτικός έλεγχος του ισχύοντος προτύπου ελέγχου δεκτών GNSS. Οι τιμές της

οριζόντιας απόστασης και της υψομετρικής διαφοράς προσδιορίστηκαν με επίγειες μεθόδους.



*Εικόνα 4.1 Σχετική θέση κορυφών βάσης ελέγχου
[Πηγή :maps.google.gr,2016]*

Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε ολοκληρωμένος γεωδαιτικός σταθμός και προσδιορίστηκαν οι τιμές του μήκους και της κατακόρυφης γωνίας σε δύο περιόδους μέτρησης. Επίσης μετρήθηκαν και τα ύψη οργάνου και στόχου σε κάθε θέση εναλλάξ με σκοπό τον προσδιορισμό της υψομετρικής διαφοράς των δύο κορυφών με την μέθοδο της τριγωνομετρικής υψομετρίας. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν ήταν αμοιβαίες και ταυτόχρονες, και ο γεωδαιτικός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε περιλαμβάνει εκτός από τον ολοκληρωμένο γεωδαιτικό σταθμό και έναν ανακλαστήρα, δύο βάσεις εξαναγκασμένης κέντρωσης με σκοπό να ικανοποιούνται οι συνθήκες μετρήσεων υψηλής ακρίβειας (εικόνες 4.2) .



Εικόνα 4.2 Τοποθέτηση κατάφωτου για τη μέτρηση πρότυπων τιμών

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων καθώς επίσης και οι πρότυπες τιμές της απόστασης και της υψομετρικής διαφοράς που προσδιορίστηκαν παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1.

ΜΕΤΑΒΑΣΗ		Υ.Ο (2)	0.378 m	Υ.Σ (1)	0.375 m
ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΓΩΝΙΑ		ΜΗΚΟΣ	
2	1	100.1366	299.8645	10.062	10.062
	1	100.1356	299.8643	10.062	10.062
2	1	100.1360	299.8642	10.062	10.062
	1	100.1364	299.8634	10.062	10.062
ΕΠΙΣΤΡΟΦΗ		Υ.Ο (1)	0.375 m	Υ.Σ (2)	0.378 m
ΑΠΟ	ΠΡΟΣ	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΓΩΝΙΑ		ΜΗΚΟΣ	
1	2	99.7354	300.2644	10.062	10.062
	2	99.7366	300.2655	10.062	10.062
1	2	99.7359	300.2645	10.062	10.062
	2	99.7354	300.2640	10.062	10.062
ΠΡΟΤΥΠΗ ΤΙΜΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ		10.062 m			
ΠΡΟΤΥΠΗ ΤΙΜΗ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ		ΔΗ(1-2)	(-) 5.5 mm	(+) 5.6 mm	
		ΔΗ(2-1)	(+) 5.8 mm		

Πίνακας 4.1 Πρότυπες τιμές πεδίου ελέγχου

4.3 Χρήση του δικτύου μόνιμων σταθμών του HEPOS

Για να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις με δικτυακές τεχνικές RTK είναι απαραίτητη η αξιοποίηση ενός δικτύου μόνιμων σταθμών συνεχούς λειτουργίας (CORS).

Για την πειραματική εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε το δίκτυο του HEPOS, καθώς αποτελεί την επίσημη κρατική υποδομή της Ελλάδος και χρησιμοποιείται στις περισσότερες συνήθεις τοπογραφικές εργασίες.

Τόσο για τη δημιουργία του εικονικού σταθμού όσο και για την επιλογή του σταθμού που θα αξιοποιηθεί για τις μετρήσεις με την τεχνική single base, ο μελετητής οφείλει να γνωρίζει τη σχετική του θέση ως προς τις θέσεις των μόνιμων σταθμών.

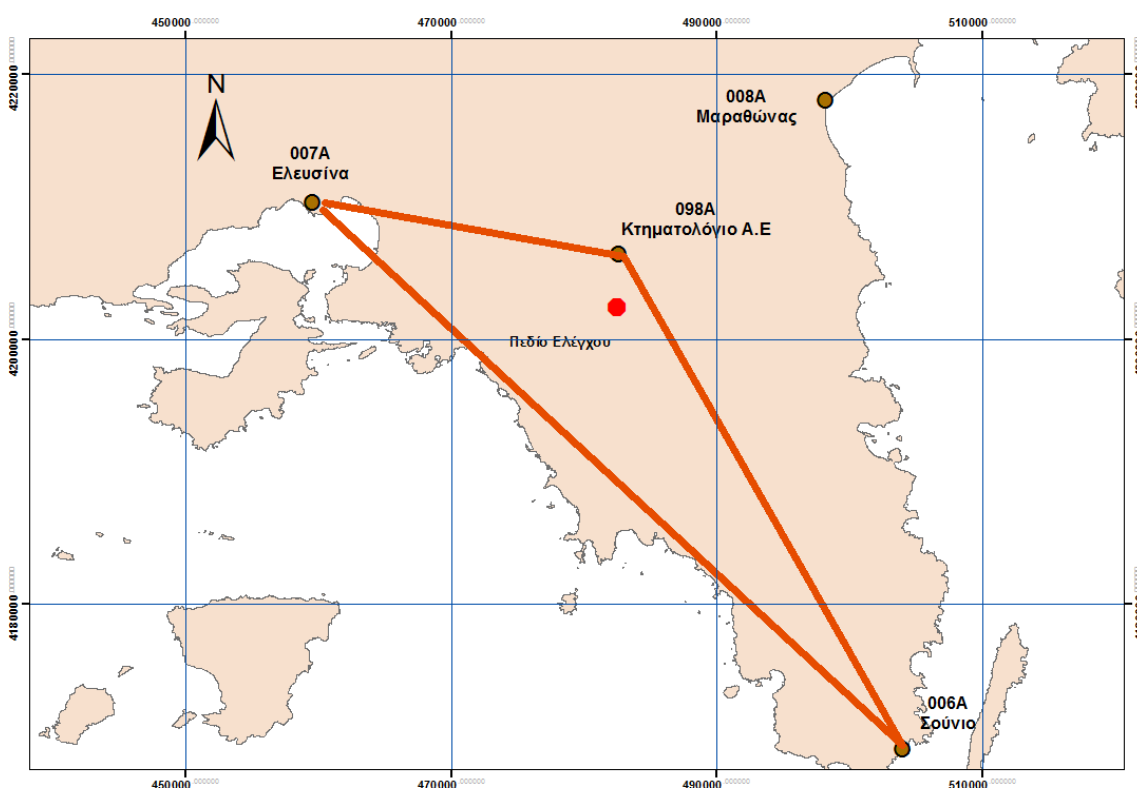
Οι τρεις κοντινότεροι σταθμοί, (σε ακτίνα 70 km), χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία του εικονικού σταθμού. Πιο συγκεκριμένα κάθε τριάδα μόνιμων σταθμών αναφοράς δημιουργεί ένα ιδεατό τρίγωνο. Σε ένα από αυτά τα τρίγωνα περιέχεται και η θέση των κορυφών του πεδίου

ελέγχου. Το ιδεατό τρίγωνο στο χώρο οριοθετεί την περιοχή εντός της οποίας θα δημιουργηθεί ο εικονικός σταθμός.

Επίσης εφόσον είναι γνωστή η θέση στο χώρο των μόνιμων σταθμών, γίνεται και η επιλογή του κοντινότερου μόνιμου σταθμού που πρόκειται να αξιοποιηθεί για την τεχνική single base.

Στο σχήμα 4.1 παρουσιάζεται η θέση του πεδίου ελέγχου όπως ορίζεται στην περιοχή της Πολυτεχνειούπολης στον Δήμο Ζωγράφου. Ο κοντινότερος μόνιμος σταθμός είναι εκείνος με κωδικό 098Α και ονομασία Κτηματολόγιο Α.Ε ο οποίος χωροθετείται στον Δήμο Χολαργού. Η απόσταση μεταξύ του πεδίου ελέγχου και του σταθμού 098Α υπολογίστηκε 4326m.

Επίσης απεικονίζονται και οι υπόλοιποι κοντινοί σταθμοί του δικτύου όπου και σχηματίζεται το ιδεατό τρίγωνο μεταξύ των σταθμών 098Α, 007Α (Ελευσίνα) και 006Α (Σούνιο). Παρατηρείται ότι και ο σταθμός 008Α (Μαραθώνας) βρίσκεται σε ακτίνα εντός 30 χιλιομέτρων από το πεδίο ελέγχου αλλά αυτό δεν βρίσκεται στο εσωτερικό τρίγωνο που σχηματίζει ο συγκεκριμένος μόνιμος σταθμός.



Σχήμα 4.1 Θέσεις μόνιμων σταθμών αναφοράς

4.4 Ο γεωδαιτικός εξοπλισμός

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διαδικασία των εφαρμογών περιλαμβάνει:

- ❖ Δέκτης δύο συχνοτήτων της σειράς Trimble R8s (S/N 5530P00192)
- ❖ Χειριστήριο (Controller) δέκτη της σειράς Trimble Juno T41
- ❖ Κατάλληλα κατασκευασμένες βάσεις εξαναγκασμένης κέντρωσης
- ❖ 2 Τρικόχλια
- ❖ 1 Βάση προσαρμογής του δέκτη στα τρικόχλια

Ο δέκτης δύο συχνοτήτων της εταιρείας Trimble της σειράς R8s υποστηρίζει όλες τις σύγχρονες μεθόδους μέτρησης με χρήση δορυφορικών παρατηρήσεων.

Με την τοποθέτηση του δέκτη, μέσω του τρικοχλίου του, στο πάνω μέρος του βάρους παρέχεται η μοναδικότητα της κέντρωσης καθώς επίσης και η αδυναμία κίνησης. Επομένως με τη χρήση των ειδικών βάσεων επιλύεται το κύριο πρόβλημα εισαγωγής σφαλμάτων που αναφέρονται στην κέντρωση και οριζοντίωση.

Ο δέκτης Trimble R8s GNSS διαθέτει την τεχνολογία Trimble 360 με 440 κανάλια ταυτόχρονης λήψης δορυφορικού σήματος. Επίσης συνοδεύονται από την εφαρμογή Trimble DL η οποία επιτρέπει τη χρήση ενός έξυπνου τηλεφώνου αντί του χειριστηρίου. Ο δέκτης μπορεί να πραγματοποιήσει ταυτόχρονη λήψη σήματος από τους δορυφόρους του συστήματος GPS στις συχνότητες L1, L2, L2C και στη μελλοντική L5, του δορυφορικού συστήματος Galileo, του ρωσικού δορυφορικού συστήματος Glonass L1, L2, του συστήματος Compass (Beidou) και των SBAS / WAAS / EGNOS / GAGAN / QZSS.

Ο δέκτης διαθέτει δύο ενσωματωμένες πλακέτες Trimble Maxwell 6 chips, δυνατότητα επιλογής αναβάθμισης ανάμεσα σε ενσωματωμένο GPRS/GSM ή UHF radio, ή και εξωτερικού radio modem καθιστώντας δυνατή τη χρήση του σαν network rover είτε σαν base ή rover, ζεύγους GPS. Επίσης διαθέτει ενσωματωμένη τεχνολογία Bluetooth, για πλήρη ασύρματη λειτουργία του συστήματος.

Επίσης ενσωματώνει τη δυνατότητα καταγραφής static μετρήσεων με το πάτημα ενός κουμπιού, χωρίς τη χρήση χειριστηρίου (power up mode) και έχει τη δυνατότητα ταυτόχρονης λειτουργίας σε PProcessing και RTK μετρήσεις.

Τέλος ο δέκτης που αξιοποιήθηκε στην συγκεκριμένη εφαρμογή είναι πλήρως συμβατός τόσο με το επίσημο δίκτυο HEPOS όσο και με οποιοδήποτε άλλο NTRIP, VRS δίκτυο σε λειτουργία. [\[trimble.com\]](http://trimble.com)

Τα εξωτερικά χαρακτηριστικά του δέκτη, όπως αυτά παρέχονται από την κατασκευάστρια εταιρεία (Trimble), παρουσιάζονται στις εικόνες 4.4 έως 4.5.

Ουσιαστικά τρεις λυχνίες και ένα πλήκτρο ενεργοποίησης καθορίζουν και πληροφορούν σχετικά με την λειτουργία των δεκτών. Κάθε διαφορετικός συνδυασμός έντασης φωτισμού των λυχνιών παρέχει πληροφορία για τη διαδικασία ενεργοποίησης του δορυφορικού εντοπισμού, την επικοινωνία με τον άλλο δέκτη ή το κέντρο ελέγχου του δικτύου μόνιμων σταθμών καθώς επίσης και την εξάντληση της μπαταρίας. [\[trimble.com\]](http://trimble.com)



Εικόνα 4.4 Δυνατότητες σύνδεσης και επικοινωνίας δέκτη Trimble R8s



Εικόνα 4.5 Στοιχεία ελέγχου και πληροφόρησης δορυφορικού δέκτη R8s
[Πηγή: Trimble.com]

Εφόσον ο δέκτης πραγματοποιεί παρατηρήσεις σε πραγματικό χρόνο και τα στοιχεία που αποθηκεύονται είναι συντεταγμένες, η

εποπτεία των μετρούμενων μεγεθών και των συνθηκών μέτρησης πραγματοποιείται μέσω χειριστηρίου (controller) που συνδέεται με ασύρματη σύνδεση με τον δέκτη. Στην περίπτωση της εφαρμογής το χειριστήριο διαθέτει σύνδεση κινητής τηλεφωνίας μέσω της οποίας ο μελετητής συνδέεται στο διαδίκτυο με σκοπό να λαμβάνει τις διορθώσεις που χρειάζονται κάθε φορά. Επίσης μέσω του χειριστηρίου πραγματοποιείται και η εισαγωγή των παραμέτρων της διαδικασίας μέτρησης όσο αφορά στην επιλογή των μόνιμων σταθμών, στην εντολή δημιουργίας του εικονικού σταθμού, στην αποθήκευση των σημείων ενδιαφέροντος και στην μελέτη των τιμών των δεικτών αλλοίωσης της ακρίβειας και του πλήθους των παρατηρούμενων δορυφόρων.



Εικόνα 4.6 Χειριστήριο δορυφορικού δέκτη R8s

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του δέκτη που αναφέρονται κυρίως στις συχνότητες λήψης του δορυφορικού σήματος και στην αβεβαιότητα μέτρησης ανά διαφορετική μέθοδο εντοπισμού, όπως αυτά παρέχονται από την κατασκευάστρια εταιρεία Trimble, παρουσιάζονται στους πίνακες 4.2 και 4.3. [\[trimble.com\]](http://trimble.com)

Μέγεθος	19x10.4 cm
Βάρος	1.52 kg
Διάρκεια μπαταρίας	9.9 h
Εντοπισμός	
Έναρξη	Αυτόματη
Ελάχιστος χρόνος έναρξης (Initialization)	5 sec + 0.5x(διάνυσμα βάσης)(km)
Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά	
1) Ανθεκτικότητα στην σκόνη 2) Ανθεκτικότητα στις δονήσεις 3) Λειτουργία σε ακραίες τιμές πίεσης και θερμοκρασίας 4) Ανθεκτικότητα στις μετακινήσεις και πτώσεις	

Πίνακας 4.2 Βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά δεκτών Trimble R8s

Μέθοδος εντοπισμού		Οριζοντιογραφική ακρίβεια (RMS)	Υψομετρική ακρίβεια (RMS)
Real Time Kinematic (RTK)	Single Base <30 km	$\pm 8\text{mm} \pm 1\text{ppm}$	$\pm 15\text{mm} \pm 1\text{ppm}$
	VRS RTN	$\pm 8\text{mm} \pm 0.5\text{ppm}$	$\pm 15\text{mm} \pm 0.5\text{ppm}$
	Post Process	$\pm 8\text{mm} \pm 1\text{ppm}$	$\pm 15\text{mm} \pm 1\text{ppm}$
Σχετικός Στατικός		$\pm 3\text{mm} \pm 0.1\text{ppm}$	$\pm 3.5\text{mm} \pm 0.4\text{ppm}$
Γρήγορος Στατικός		$\pm 3\text{mm} \pm 0.5\text{ppm}$	$\pm 5\text{mm} \pm 0.5\text{ppm}$

Πίνακας 4.3 Αβεβαιότητες μέτρησης ανάλογα με τη μέθοδο εντοπισμού

4.5 Προετοιμασία μετρήσεων

Η διαδικασία των μετρήσεων ξεκινά με την τοποθέτηση του δέκτη σε μία από τις δύο κορυφές του πεδίου ελέγχου. Χρησιμοποιείται η βάση στήριξης που επιτρέπει την μονοσήμαντη και σταθερή τοποθέτηση του δέκτη στο βάθρο για το χρονικό διάστημα των μετρήσεων (εικόνα 4.7).



Εικόνα 4.7 Διάταξη τοποθέτησης δέκτη στην κορυφή του πεδίου ελέγχου

Η διάταξη αυτή επιτρέπει επίσης την εύκολη εναλλαγή του δέκτη μεταξύ των δύο κορυφών του πεδίου καθώς ο δέκτης αποσπάται μαζί με την βάση η οποία προσαρμόζεται κάθε φορά στα διαφορετικά τρικόχλια.

Μόλις ο δέκτης τοποθετηθεί σε μία από τις κορυφές, ακολουθεί η διαδικασία που αφορά στην εισαγωγή των παραμέτρων της εφαρμογής, στο χειριστήριο που συνεργάζεται με τον δέκτη.

Επομένως κάθε φορά πραγματοποιείται σύνδεση με το δίκτυο μόνιμων σταθμών του HEPOS όπου και δίνεται η δυνατότητα επιλογής της μεθόδου εντοπισμού που θα χρησιμοποιηθεί.

Πιο συγκεκριμένα:

- ❖ Όταν εφαρμόζεται η μέθοδος VRS πραγματοποιείται σύνδεση με το κέντρο ελέγχου του HEPOS, και επιλέγεται η δυνατότητα δημιουργίας εικονικού σταθμού. Στην περίπτωση των παρατηρήσεων σε πραγματικό χρόνο η θέση του εικονικού σταθμού δεν είναι γνωστή καθώς το κέντρο ελέγχου επιλέγει την χωροθέτηση του σταθμού σε κοντινή απόσταση από το πεδίο ελέγχου
- ❖ Όταν εφαρμόζεται η μέθοδος Single Base πραγματοποιείται σύνδεση με το κέντρο ελέγχου του HEPOS, όπου μέσω μενού επιλέγεται ο μόνιμος σταθμός αναφοράς που θα συνδεθεί (Στη συγκεκριμένη μελέτη ο μόνιμος σταθμός 098A στον Χολαργό).

Μετά τη σύνδεση με το σύστημα HEPOS ακολουθεί η διαδικασία των μετρήσεων που περιλαμβάνει την αποθήκευση των σημείων με συγκεκριμένους κωδικούς καθώς επίσης και η επιλογή του χρόνου παρατήρησης σε κάθε σημείο (occupation time) και ο αριθμός των μετρήσεων που πραγματοποιούνται για να εξαχθούν οι συντεταγμένες μέσω συνόρθωσης.

Η διαδικασία αυτή των μετρήσεων δεν παρουσιάζει καμία διαφορά με την αντίστοιχη RTK με τη χρήση δύο δεκτών GNSS (base και rover).

4.6 Εφαρμογή

Για την κατανόηση των προϋποθέσεων εφαρμογής των τεχνικών εντοπισμού VRS και Single Base RTK πραγματοποιήθηκαν **δύο εποχές μετρήσεων**, οι οποίες αναφέρονται σε διαφορετικές ημερολογιακές ημέρες. Ουσιαστική διαφορά μεταξύ των δύο εποχών μέτρησης είναι πως στην πρώτη επιλέχθηκε οι σειρές μετρήσεων, τόσο για την απλοποιημένη όσο και για την πλήρη διαδικασία, να πραγματοποιηθούν χωρίς να υπάρχει χρονικό διάστημα που να τις διαχωρίζει.

Στην δεύτερη εποχή πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις ακολουθώντας πιστά τις διατάξεις του ισχύοντος προτύπου.

Με αυτόν τον τρόπο εξετάζεται η αναγκαιότητα της επαναληψιμότητας των μετρήσεων σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα που πρέπει να παρεμβάλλονται μεταξύ των διαφορετικών σειρών (90 λεπτά), ώστε να έχει μεταβληθεί ο δορυφορικός σχηματισμός.

Στο πλαίσιο της μεταπτυχιακής εργασίας, σκοπός των διαφορετικών εποχών μετρήσεων είναι η διεξαγωγή δοκιμών για την ενίσχυση της αξιοπιστίας και ορθότητας των αποτελεσμάτων.

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, πραγματοποιήθηκε προκαταρκτικός έλεγχος των παρατηρήσεων μεταξύ των διαφορετικών σειρών, μέσω της σύγκρισης των παρατηρούμενων συντεταγμένων με τις αντίστοιχες γνωστές των βάθρων του πεδίου ελέγχου, ώστε να ανιχνευθούν ενδεχόμενα χονδροειδή σφάλματα.

✓ Τιμές ελέγχου και στατιστικές υποθέσεις

Οι τιμές ελέγχου (τυπική απόκλιση) έχουν προκύψει από το νόμο μετάδοσης των σφαλμάτων, σύμφωνα με τα στοιχεία του κατασκευαστή για την αβεβαιότητα προσδιορισμού των συντεταγμένων (πίνακας 4.4). Τα στοιχεία αυτά καθορίζονται από το μήκος του διανύσματος βάσης που δημιουργείται μεταξύ δύο κορυφών. Για τους υπολογισμούς το μήκος αυτό θεωρήθηκε:

- Τέσσερα χιλιόμετρα για τις μετρήσεις με την μέθοδο Single Base RTK, καθώς τόση είναι η απόσταση του πεδίου ελέγχου από τον μόνιμο σταθμό
- Χωρίς συνεισφορά για τις μετρήσεις με τη μέθοδο VRS, καθώς ο μόνιμος σταθμός δημιουργείται από το δίκτυο σε πολύ κοντινή απόσταση σε σχέση με το πεδίο ελέγχου

Αβεβαιότητα προσδιορισμού		Τιμές ελέγχου σύμφωνα με το ISO 17123-8
Οριζοντιογραφική (VRS)	$\pm 8\text{mm} \pm 0.5\text{ppm}$	$ \varepsilon_{D,i,j} \leq 2.5 \cdot \sqrt{2} \cdot 8 = \pm 28(\text{mm})$
Υψομετρική (VRS)	$\pm 15\text{mm} \pm 0.5\text{ppm}$	$ \varepsilon_{h,i,j} \leq 2.5 \cdot \sqrt{2} \cdot 15 = \pm 53(\text{mm})$
Οριζοντιογραφική (Single Base)	$\pm 8\text{mm} \pm 1\text{ppm}$	$ \varepsilon_{D,i,j} \leq 2.5 \cdot \sqrt{2} \cdot 8.94 = \pm 33(\text{mm})$
Υψομετρική (Single Base)	$\pm 15\text{mm} \pm 1\text{ppm}$	$ \varepsilon_{h,i,j} \leq 2.5 \cdot \sqrt{2} \cdot 15.52 = \pm 55(\text{mm})$

Πίνακας 4.4 Υπολογισμός αβεβαιότητας προσδιορισμού συντεταγμένων

Στον πίνακα 4.5 παρουσιάζονται οι αρχικές συνθήκες που θεωρούνται για να πραγματοποιηθούν οι στατιστικοί έλεγχοι καθώς επίσης και η εναλλακτική περίπτωση. Από τα αποτελέσματα του ελέγχου θα διαπιστωθεί εάν ικανοποιείται η αρχική υπόθεση ή εάν ισχύει η εναλλακτική μέσω σύγκρισης των τιμών τυπικής απόκλισης που έχουν προκύψει από το πείραμα με τις πρότυπες τιμές του κατασκευαστή.

ΕΡΩΤΗΜΑ	ΑΡΧΙΚΗ ΥΠΟΘΕΣΗ	ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΥΠΟΘΕΣΗ
1	$S_{\text{iso-RTK-xy}} < \sigma_{xy}$	$S_{\text{iso-RTK-xy}} > \sigma_{xy}$
2	$S_{\text{iso-RTK-h}} < \sigma_h$	$S_{\text{iso-RTK-h}} > \sigma_h$

Πίνακας 4.5 Συνθήκες στατιστικών ελέγχων

Επομένως για δεδομένο επίπεδο εμπιστοσύνης και βαθμό ελευθερίας υπολογίζονται αρχικά μέσω της εξίσωσης 1.7 η μέση τιμή για κάθε συντεταγμένη x,y,h και στη συνέχεια με τις εξισώσεις 1.8 και 1.10 τα υπόλοιπα των μετρήσεων και η οριζοντιογραφική και υψομετρική πειραματική τυπική απόκλιση.

Με την ικανοποίηση της συνθήκης του ερωτήματος 1 και 2 συμπεραίνεται εάν η πειραματική τυπική απόκλιση προσδιορισμού οριζοντιογραφικής θέσης (x,y) και του υψομέτρου (h) αντίστοιχα, είναι μικρότερη από την πρότυπη τιμή που θεωρεί ο κατασκευαστής του οργάνου, επομένως επιβεβαιώνεται η ορθή λειτουργία του δέκτη, εάν:

	ΕΡΩΤΗΜΑ 1	ΕΡΩΤΗΜΑ 2
VRS	$S_{\text{iso-RTK-xy}} < 1.15 \cdot \sigma_{xy} = \pm 9.2\text{mm}$	$S_{\text{iso-RTK-h}} < 1.22 \cdot \sigma_h = \pm 18.3\text{mm}$
Single Base	$S_{\text{iso-RTK-xy}} < 1.15 \cdot \sigma_{xy} = \pm 11.7\text{mm}$	$S_{\text{iso-RTK-h}} < 1.22 \cdot \sigma_h = \pm 18.9\text{mm}$

Πίνακας 4.5α Συνθήκες στατιστικών ελέγχων

4.6.1 Πρώτη εποχή μετρήσεων

Η πρώτη εποχή μετρήσεων υλοποιήθηκε με σκοπό να επιβεβαιωθούν τα στοιχεία εκείνα που αναφέρονται στην αργiori μελέτη των δεικτών αλλοίωσης της ακρίβειας καθώς επίσης και στην δυνατότητα εφαρμογής των τεχνικών εντοπισμού VRS και Single Base στο πεδίο ελέγχου.

Με την ολοκλήρωσή της και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, προέκυψαν οι αβεβαιότητες προσδιορισμού συντεταγμένων με τις οποίες οι διαφορετικές τεχνικές εντοπισμού.

Οι τρεις σειρές μετρήσεων που ορίζει η πλήρης διαδικασία του ISO 17123-8 πραγματοποιήθηκαν σε συνεχή ρυθμό χωρίς χρονική διακοπή. Άρα το χρονικό διάστημα για την ολοκλήρωση της διαδικασίας

ελέγχου είναι 75 λεπτά τα οποία κατανέμονται σε κάθε σειρά (3 σειρές που διαρκούν 25 λεπτά η καθεμία).

Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις 1.1-1.4 υπολογίζονται τα στοιχεία της επίλυσης και τα αποτελέσματα της πλήρους διαδικασίας εφαρμογής του προτύπου ISO 17123-8, παρουσιάζονται στους πίνακες 4.6 έως και 4.8 για τις τεχνικές VRS και Single Base αντίστοιχα.

ΠΛΗΡΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ISO 17123-8										
ΘΕΣΗ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΔΕΚΤΗ			VRS					ΠΡΟΤΥΠΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (m)	10.062
									ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (m)	0.006
Α/Α	ΣΕΙΡΑ	ΣΕΤ	ΘΕΣΗ ΚΙΝΟΥΜΕΝΟΥ ΔΕΚΤΗ	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ (m)			ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ	ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ (mm)	
				x	y	h			ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ
11	1	1	VR50	480537.251	4202800.590	208.031	-	-	-	-
12	1	1	VR51	480527.591	4202797.794	208.068	10.057	0.037	-5	37
13	1	2	VR52	480537.252	4202800.587	208.038	-	-	-	-
14	1	2	VR53	480527.589	4202797.791	208.072	10.059	0.034	-3	34
15	1	3	VR54	480537.251	4202800.586	208.040	-	-	-	-
16	1	3	VR55	480527.588	4202797.789	208.070	10.060	0.030	-2	30
17	1	4	VR56	480537.251	4202800.580	208.044	-	-	-	-
18	1	4	VR57	480527.589	4202797.791	208.064	10.056	0.020	-6	20
19	1	5	VR58	480537.255	4202800.585	208.029	-	-	-	-
20	1	5	VR59	480527.591	4202797.791	208.064	10.060	0.035	-2	35
21	2	1	VR90	480537.249	4202800.584	208.015	-	-	-	-
22	2	1	VR91	480527.594	4202797.794	208.060	10.050	0.045	-12	45
23	2	2	VR92	480537.252	4202800.585	208.020	-	-	-	-
24	2	2	VR93	480527.594	4202797.798	208.062	10.052	0.042	-10	42
25	2	3	VR94	480537.252	4202800.587	208.018	-	-	-	-
26	2	3	VR95	480527.594	4202797.799	208.058	10.052	0.040	-10	40
27	2	4	VR96	480537.253	4202800.588	208.014	-	-	-	-
28	2	4	VR97	480527.594	4202797.799	208.063	10.054	0.049	-8	49
29	2	5	VR98	480537.248	4202800.590	208.019	-	-	-	-
30	2	5	VR99	480527.593	4202797.802	208.065	10.049	0.046	-13	46
31	3	1	VR120	480537.260	4202800.588	208.035	-	-	-	-
32	3	1	VR121	480527.604	4202797.793	208.069	10.052	0.034	-10	34
33	3	2	VR122	480537.268	4202800.586	208.033	-	-	-	-
34	3	2	VR123	480527.607	4202797.790	208.066	10.057	0.033	-5	33
35	3	3	VR124	480537.264	4202800.582	208.020	-	-	-	-
36	3	3	VR125	480527.606	4202797.790	208.063	10.053	0.043	-9	43
37	3	4	VR126	480537.267	4202800.584	208.020	-	-	-	-
38	3	4	VR127	480527.606	4202797.793	208.059	10.056	0.039	-6	39
39	3	5	VR128	480537.264	4202800.590	208.018	-	-	-	-
40	3	5	VR129	480527.601	4202797.801	208.054	10.057	0.036	-5	36
								ΤΙΜΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ	±28	±53

Πίνακας 4.6 Πλήρης διαδικασίας ελέγχου ISO με τη χρήση σταθμού VRS (πρώτη εποχή μετρήσεων)

Προκύπτει ότι όλες οι τιμές απόκλισης που προέκυψαν ικανοποιούν τις συνθήκες που θέτει το πρότυπο και προσδιορίζονται σύμφωνα με τις εξισώσεις 1.5 και 1.6, όσο αφορά στην υλοποίηση της διαδικασίας ελέγχου τόσο με τη χρήση εικονικού σταθμού (VRS) όσο και με τη χρήση μόνιμου σταθμού (Single Base RTK).

ΠΛΗΡΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ISO 17123-8											
ΘΕΣΗ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΔΕΚΤΗ				SB	482571.321	4206385.358	206.818	ΠΡΟΤΥΠΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (m)	10.062	
									ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (m)	0.006	
Α/Α	ΣΕΙΡΑ	ΣΕΤ	ΘΕΣΗ ΚΙΝΟΥΜΕΝΟΥ ΔΕΚΤΗ	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ (m)			ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ	ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ (mm)		
				x	y	h			ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ	
11	1	1	SB50	480537.250	4202800.595	208.006	-	-	-	-	
12	1	1	SB51	480527.587	4202797.801	208.051	10.059	0.045	-3	39.4	
13	1	2	SB52	480537.247	4202800.597	208.014	-	-	-	-	
14	1	2	SB53	480527.587	4202797.803	208.055	10.056	0.041	-6	35.4	
15	1	3	SB54	480537.249	4202800.597	208.020	-	-	-	-	
16	1	3	SB55	480527.588	4202797.800	208.062	10.058	0.042	-4	36.4	
17	1	4	SB56	480537.248	4202800.592	208.014	-	-	-	-	
18	1	4	SB57	480527.589	4202797.798	208.055	10.055	0.041	-7	35.4	
19	1	5	SB58	480537.251	4202800.589	208.013	-	-	-	-	
20	1	5	SB59	480527.587	4202797.793	208.049	10.060	0.036	-2	30.4	
21	2	1	SB90	480537.254	4202800.594	207.988	-	-	-	-	
22	2	1	SB91	480527.597	4202797.804	208.023	10.052	0.035	-10	29.4	
23	2	2	SB92	480537.255	4202800.594	207.986	-	-	-	-	
24	2	2	SB93	480527.596	4202797.803	208.032	10.054	0.046	-8	40.4	
25	2	3	SB94	480537.256	4202800.592	207.994	-	-	-	-	
26	2	3	SB95	480527.597	4202797.801	208.031	10.054	0.037	-8	31.4	
27	2	4	SB96	480537.256	4202800.592	207.989	-	-	-	-	
28	2	4	SB97	480527.596	4202797.797	208.028	10.056	0.039	-6	33.4	
29	2	5	SB98	480537.257	4202800.589	207.992	-	-	-	-	
30	2	5	SB99	480527.596	4202797.796	208.026	10.057	0.034	-5	28.4	
31	3	1	SB120	480537.254	4202800.598	208.001	-	-	-	-	
32	3	1	SB121	480527.594	4202797.808	208.041	10.055	0.04	-7	34.4	
33	3	2	SB122	480537.252	4202800.599	207.988	-	-	-	-	
34	3	2	SB123	480527.591	4202797.803	208.031	10.057	0.043	-5	37.4	
35	3	3	SB124	480537.255	4202800.597	207.997	-	-	-	-	
36	3	3	SB125	480527.596	4202797.801	208.030	10.056	0.033	-6	27.4	
37	3	4	SB126	480537.252	4202800.592	207.989	-	-	-	-	
38	3	4	SB127	480527.593	4202797.802	208.026	10.054	0.037	-8	31.4	
39	3	5	SB128	480537.256	4202800.593	207.991	-	-	-	-	
40	3	5	SB129	480527.595	4202797.798	208.029	10.057	0.038	-5	32.4	
								ΤΙΜΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ	±33	±55	

Πίνακας 4.7 Πλήρης διαδικασίας ελέγχου ISO με χρήση μόνιμου σταθμού αναφοράς (Single Base RTK) (πρώτη εποχή μετρήσεων)

Απο τα στοιχεία του πίνακα 4.8 προκύπτει ότι όλες οι αριθμητικές σχέσεις ισχύουν, επομένως ικανοποιείται η αρχική υπόθεση που αναφέρεται στην ορθή λειτουργία του δέκτη που ελέγχεται.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΕΝΗ ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ			
	S _x (mm)	S _y (mm)	S _h (mm)
VRS	±5.9	±3.1	±7.7
Single Base	±3.7	±2.9	±11.5
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ			
	ΕΡΩΤΗΜΑ 1	ΕΡΩΤΗΜΑ 2	
VRS	S _{iso_RTK_xy} =±6.6 <9.2mm	S _{iso_RTK_h} =±7.7 <18.3mm	ΙΣΧΥΕΙ
Single Base	S _{iso_RTK_xy} =±4.8 <11.8mm	S _{iso_RTK_h} =±11.5 <18.9mm	ΙΣΧΥΕΙ

Πίνακας 4.8 Αποτελέσματα πλήρους διαδικασίας ελέγχου ISO (πρώτη εποχή μετρήσεων)

4.6.2 Δεύτερη εποχή μετρήσεων

Η δεύτερη εποχή μετρήσεων (δεύτερη ημερολογιακή μέρα) πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με όλες τις προϋποθέσεις του ισχύοντος προτύπου όσο αφορά στο χρονικό διάστημα και τις συνθήκες μετρήσεων. Πιο συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκε παρεμβολή χρονικού διαστήματος 90 λεπτών μεταξύ των τριών διαφορετικών σειρών μέτρησης, όπως ορίζεται το ISO 17123-8.

Άρα το χρονικό διάστημα για την ολοκλήρωση της διαδικασίας ελέγχου είναι 255 λεπτά τα οποία κατανέμονται σε 3 σειρές που διαρκούν 25 λεπτά η καθεμία και στο χρονικό διάστημα που παρεμβάλλεται μεταξύ αυτών. Δηλαδή σε 2 παρεμβολές μεταξύ των τριών σειρών που διαρκούν 90 λεπτά η καθεμία.

Στους πίνακες 4.9 έως και 4.11 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της πλήρους διαδικασίας ελέγχου για τις μεθοδολογίες VRS και Single Base αντίστοιχα.

Προκύπτει ότι όλες οι τιμές απόκλισης που προέκυψαν, ικανοποιούν τις συνθήκες που θέτει το πρότυπο και προσδιορίζονται σύμφωνα με τις εξισώσεις 1.5 και 1.6, όσο αφορά στην υλοποίηση της διαδικασίας ελέγχου τόσο με την χρήση εικονικού σταθμού (VRS) όσο και με την χρήση μόνιμου σταθμού (Single Base RTK).

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΕΝΗ ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ			
	S _x (mm)	S _y (mm)	S _h (mm)
VRS	±5.8	±2.9	±7.1
Single Base	±3.6	±5.9	±12.9
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ			
	ΕΡΩΤΗΜΑ 1	ΕΡΩΤΗΜΑ 2	
VRS	S _{iso_RTK_xy} =±6.5<9.2mm	S _{iso_RTK_h} =±7.1<18.3mm	ΙΣΧΥΕΙ
Single Base	S _{iso_RTK_xy} =±6.8 <11.8mm	S _{iso_RTK_h} =±12.9<18.9mm	ΙΣΧΥΕΙ

Πίνακας 4.9 Αποτελέσματα πλήρους διαδικασίας ελέγχου ISO (δεύτερη εποχή μετρήσεων)

ΠΛΗΡΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ISO 17123-8											
ΘΕΣΗ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΔΕΚΤΗ			VRS					ΠΡΟΤΥΠΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (m)	10.062	
								ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (m)	0.006		
A/A	ΣΕΙΡΑ	ΣΕΤ	ΘΕΣΗ ΚΙΝΟΥΜΕΝΟΥ ΔΕΚΤΗ	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ (m)			ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ	ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ (mm)		
				x	y	h			ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ	
11	1	1	VR70	480537.245	4202800.597	207.999	-	-	-	-	
12	1	1	VR71	480527.582	4202797.801	208.035	10.059	0.036	-3	30	
13	1	2	VR72	480537.246	4202800.596	207.997	-	-	-	-	
14	1	2	VR73	480527.582	4202797.799	208.033	10.061	0.036	-1	30	
15	1	3	VR74	480537.243	4202800.596	207.999	-	-	-	-	
16	1	3	VR75	480527.583	4202797.802	208.039	10.056	0.040	-6	34	
17	1	4	VR76	480537.244	4202800.593	207.987	-	-	-	-	
18	1	4	VR77	480527.583	4202797.800	208.025	10.057	0.038	-5	32	
19	1	5	VR78	480537.245	4202800.594	207.988	-	-	-	-	
20	1	5	VR79	480527.586	4202797.803	208.030	10.054	0.042	-8	36	
21	2	1	VR100	480537.252	4202800.586	208.009	-	-	-	-	
22	2	1	VR101	480527.591	4202797.799	208.036	10.055	0.027	-7	21	
23	2	2	VR102	480537.250	4202800.590	208.007	-	-	-	-	
24	2	2	VR103	480527.590	4202797.800	208.045	10.055	0.038	-7	32	
25	2	3	VR104	480537.249	4202800.593	208.006	-	-	-	-	
26	2	3	VR105	480527.588	4202797.804	208.044	10.056	0.038	-6	32	
27	2	4	VR106	480537.248	4202800.592	208.010	-	-	-	-	
28	2	4	VR107	480527.586	4202797.804	208.046	10.056	0.036	-6	30	
29	2	5	VR108	480537.246	4202800.593	208.011	-	-	-	-	
30	2	5	VR109	480527.584	4202797.803	208.044	10.057	0.033	-5	27	
31	3	1	VR130	480537.256	4202800.594	208.009	-	-	-	-	
32	3	1	VR131	480527.597	4202797.801	208.045	10.055	0.036	-7	30	
33	3	2	VR132	480537.259	4202800.592	208.013	-	-	-	-	
34	3	2	VR133	480527.598	4202797.801	208.036	10.056	0.023	-6	17	
35	3	3	VR134	480537.253	4202800.597	207.997	-	-	-	-	
36	3	3	VR135	480527.593	4202797.800	208.039	10.057	0.042	-5	36	
37	3	4	VR136	480537.260	4202800.586	208.005	-	-	-	-	
38	3	4	VR137	480527.597	4202797.797	208.039	10.057	0.034	-5	28	
39	3	5	VR138	480537.255	4202800.590	208.002	-	-	-	-	
40	3	5	VR139	480527.598	4202797.796	208.036	10.053	0.034	-9	28	
								ΤΙΜΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ	±28	±53	

Πίνακας 4.10 Πλήρης διαδικασίας ελέγχου ISO με τη μέθοδο μέτρησης VRS (δεύτερη εποχή μετρήσεων)

ΠΛΗΡΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ISO 17123-8										
ΘΕΣΗ ΣΤΑΘΕΡΟΥ ΔΕΚΤΗ			SB	482571.321	4206385.358	206.818	ΠΡΟΤΥΠΕΣ ΤΙΜΕΣ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (m)	10.062	
								ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ (m)	0.006	
A/A	ΣΕΙΡΑ	ΣΕΤ	ΘΕΣΗ ΚΙΝΟΥΜΕΝΟΥ ΔΕΚΤΗ	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ (m)			ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ	ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ (mm)	
				x	y	h			ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ
11	1	1	SB70	480537.253	4202800.595	207.986	-	-	-	-
12	1	1	SB71	480527.591	4202797.799	208.026	10.058	0.04	-4	34.4
13	1	2	SB72	480537.252	4202800.594	207.984	-	-	-	-
14	1	2	SB73	480527.590	4202797.797	208.026	10.059	0.042	-3	36.4
15	1	3	SB74	480537.249	4202800.593	207.989	-	-	-	-
16	1	3	SB75	480527.588	4202797.797	208.031	10.057	0.042	-5	36.4
17	1	4	SB76	480537.250	4202800.595	207.987	-	-	-	-
18	1	4	SB77	480527.596	4202797.808	208.033	10.048	0.046	-14	40.4
19	1	5	SB78	480537.251	4202800.600	207.996	-	-	-	-
20	1	5	SB79	480527.597	4202797.809	208.030	10.049	0.034	-13	28.4
21	2	1	SB100	480537.255	4202800.586	208.002	-	-	-	-
22	2	1	SB101	480527.597	4202797.796	208.042	10.053	0.04	-9	34.4
23	2	2	SB102	480537.254	4202800.587	207.996	-	-	-	-
24	2	2	SB103	480527.599	4202797.794	208.038	10.051	0.042	-11	36.4
25	2	3	SB104	480537.257	4202800.585	207.994	-	-	-	-
26	2	3	SB105	480527.600	4202797.792	208.037	10.053	0.043	-9	37.4
27	2	4	SB106	480537.258	4202800.586	207.994	-	-	-	-
28	2	4	SB107	480527.598	4202797.792	208.036	10.056	0.042	-6	36.4
29	2	5	SB108	480537.261	4202800.584	207.991	-	-	-	-
30	2	5	SB109	480527.598	4202797.795	208.032	10.057	0.041	-5	35.4
31	3	1	SB130	480537.252	4202800.597	207.994	-	-	-	-
32	3	1	SB131	480527.595	4202797.805	208.027	10.053	0.033	-9	27.4
33	3	2	SB132	480537.250	4202800.599	207.997	-	-	-	-
34	3	2	SB133	480527.592	4202797.805	208.038	10.054	0.041	-8	35.4
35	3	3	SB134	480537.251	4202800.598	208.005	-	-	-	-
36	3	3	SB135	480527.592	4202797.807	208.034	10.054	0.029	-8	23.4
37	3	4	SB136	480537.255	4202800.596	208.007	-	-	-	-
38	3	4	SB137	480527.593	4202797.802	208.039	10.058	0.032	-4	26.4
39	3	5	SB138	480537.254	4202800.597	208.002	-	-	-	-
40	3	5	SB139	480527.590	4202797.807	208.039	10.059	0.037	-3	31.4
								ΤΙΜΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ	±33	±55

Πίνακας 4.11 Πλήρης διαδικασίας ελέγχου ISO με τη μέθοδο μέτρησης Single Base RTK (δεύτερη εποχή μετρήσεων)

4.6.3 Σχολιασμός

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή του κεφαλαίου ο δέκτης που ελέγχεται είναι εκείνος που παραμένει σταθερός, επομένως στην συγκεκριμένη περίπτωση ο μόνιμος ή ο εικονικός σταθμός αντίστοιχα. Επομένως και στις δύο περιπτώσεις οι σταθμοί του δικτύου πραγματοποιούν παρατηρήσεις σύμφωνα με τις προδιαγραφές του συστήματος που ανήκουν (HEPOS).

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι ο μόνιμος σταθμός "περνά" τον έλεγχο και στην περίπτωση που χρησιμοποιείται εικονικός (VRS) όσο και σε εκείνη που αξιοποιείται μόνιμος σταθμός αναφοράς (Single Base RTK), διότι όλες οι υπολογισμένες τιμές τυπικής απόκλισης ικανοποιούν τους στατιστικούς ελέγχους.

Επίσης από τους παραπάνω πίνακες 4.8 και 4.9 εκτός από την ορθή λειτουργία του υπό έλεγχο δέκτη προκύπτει συμπέρασμα σχετικά με τις διαφορές στην αβεβαιότητα προσδιορισμού των οριζοντιογραφικών και της υψομετρικής συντεταγμένης μεταξύ των τεχνικών VRS και Single Base RTK. Η μικρότερη συνολική αβεβαιότητα που επιτυγχάνεται με τη χρήση εικονικού σταθμού (VRS) οφείλεται στην χωροθέτηση του σταθμού αυτού σε πολύ κοντινή απόσταση σε σχέση με το πεδίο ελέγχου.

Η συγκεκριμένη στατιστική ανάλυση που αναφέρεται στο ισχύον πρότυπο δεν μπορεί να ανιχνεύσει περαιτέρω πηγές σφαλμάτων, όπως είναι τα συστηματικά, καθώς αυτά περιλαμβάνονται στις μετρήσεις και μέσω των αμοιβαίων παρατηρήσεων απαλείφονται.

Επίσης από τη μελέτη των εναπομεινάντων σφαλμάτων που προκύπτουν από την μέτρηση με μόνον ένα δέκτη, προκύπτει ότι δεν είναι δυνατή η συμπερίληψή τους στην στατιστική ανάλυση καθώς ενυπάρχουν στην συνολική αβεβαιότητα προσδιορισμού συντεταγμένων.

Επομένως το ισχύον πρότυπο ISO 17123-8 δεν μπορεί να αξιοποιηθεί για τον έλεγχο ενός μόνο δέκτη GNSS.

Επίσης συμπεραίνεται πως δεν έχει εισαχθεί κάποιο χονδροειδές σφάλμα στις μετρήσεις καθώς όλες οι παρατηρήσεις περνούν τον προκαταρκτικό έλεγχο της διαδικασίας ελέγχου. (Ο έλεγχος αυτός πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια των μετρήσεων όπου γίνεται σύγκριση των παρατηρούμενων συντεταγμένων των βάθρων της βάσης ελέγχου, με τις αντίστοιχες γνωστές).

Αντίστοιχα από τη μελέτη των συνθηκών μέτρησης, δηλαδή στην τροχιά και στον δορυφορικό σχηματισμό μέσω της καταγραφής των δεικτών αλλοίωσης της ακρίβειας (DOP), συμπεραίνεται η

σημαντικότητα της παρέλευσης χρονικού διαστήματος μεταξύ των διαφορετικών σειρών μετρήσεων (Πίνακας 4.12).

Παρατηρείται ότι μεταξύ των δύο διαφορετικών εποχών μέτρησης υπάρχουν αποκλίσεις όσο αφορά στους δείκτες αλλοίωσης της ακρίβειας και στον συνολικό αριθμό παρατηρούμενων δορυφόρων. Εφόσον οι δείκτες αυτοί συμμετέχουν στους στατιστικούς ελέγχους, προκύπτει ότι ο σχηματισμός των δορυφόρων επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την αβεβαιότητα με την οποία προσδιορίζονται οι συντεταγμένες με τις κινηματικές μεθόδους.

ΕΠΟΧΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΔΕΙΚΤΕΣ ΑΛΛΟΙΩΣΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ			ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ
	HDOP	PDOP	VDOP	
1	HDOP	PDOP	VDOP	9
	1.2	1.9	2.4	
2	HDOP	PDOP	VDOP	12
	0.8	1.4	1.1	

Πίνακας 4.12 Μελέτη παραγόντων εισαγωγής σφαλμάτων στις δύο εποχές μετρήσεων

Τα στοιχεία του πίνακα 4.12 αναφέρονται στις τιμές του πλήθους των δορυφόρων και των δεικτών DOP κατά τη διάρκεια των μετρήσεων της πρώτης εποχής μέτρησης. Όσο αφορά στην δεύτερη εποχή μέτρησης αναγράφονται οι μέσες τιμές των στοιχείων αυτών όπως έχουν προκύψει από τις διαφορετικές σειρές μετρήσεων στα διακριτά χρονικά διαστήματα όπως ορίζει το πρότυπο ISO 17123-8.

Σύμφωνα με τις εποχές μέτρησης 1 και 2 προκύπτει ότι και στις δύο περιπτώσεις οι στατιστικές υποθέσεις ισχύουν. Στην περίπτωση της εφαρμογής 1 παρουσιάζονται μικρότερες τιμές αβεβαιότητας προσδιορισμού της απόστασης και της υψομετρικής διαφοράς. Αυτό συμβαίνει διότι οι μετρήσεις της εφαρμογής αυτής, έχουν πραγματοποιηθεί χωρίς να μεσολαβεί χρονικό διάστημα μεταξύ των διαφορετικών σειρών επομένως δεν έχει αλλάξει ο δορυφορικός σχηματισμός.

Ωστόσο μία τέτοια συνθήκη δεν ενδείκνυται για τον έλεγχο των δεκτών GNSS καθώς δεν μελετά μία από τις σημαντικότερες πηγές σφαλμάτων (δορυφορικός σχηματισμός), και ενδεχομένως να προκύψουν μη αληθή αποτελέσματα σχετικά με την ορθή λειτουργία τους, σε όλες τις συνθήκες μέτρησης.

Επίσης με την παρέλευση χρονικού διαστήματος μεταξύ των διαφορετικών σειρών μέτρησης ικανοποιείται και η απαίτηση της στατιστικής ανεξαρτησίας αυτών, όπως ορίζεται και από τις διατάξεις του ισχύοντος προτύπου ISO 17123-8.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗΣ ΕΝΟΣ ΔΕΚΤΗ GNSS

5.1 Γενικά

Όπως αναφέρθηκε, σήμερα οι περισσότερες εργασίες που πραγματοποιούνται με χρήση συστημάτων GNSS χρησιμοποιούν έναν δέκτη ο οποίος συνδέεται με κάποιο δίκτυο μόνιμων σταθμών αναφοράς. Επομένως θα ήταν βολικό κάθε χρήστης να μπορεί να ελέγχει τον έναν δέκτη που χρησιμοποιεί με κάποια γρήγορη και αξιόπιστη διαδικασία.

Από την εφαρμογή του ισχύοντος προτύπου ISO 17123-8 με τις σύγχρονες τεχνικές VRS και Single Base RTK που προηγήθηκε, δεν προκύπτει συμπέρασμα σχετικά με την ορθή λειτουργία του ενός δέκτη (κινούμενου), που χρησιμοποιείται για τη διεξαγωγή των μετρήσεων.

Επομένως κρίθηκε σκόπιμη η ανάπτυξη μίας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας ελέγχου και διακρίβωσης της λειτουργίας ενός μόνο δέκτη GNSS, χρησιμοποιώντας τις σύγχρονες μεθόδους εντοπισμού VRS και Single Base RTK, με αξιοποίηση ενός δικτύου μόνιμων σταθμών αναφοράς.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία αποτελείται από:

- μία διαδικασία διακρίβωσης δέκτη GNSS
- μία διαδικασία ελέγχου δέκτη GNSS

Η διαδικασία διακρίβωσης αξιοποιεί τον άμεσο προσδιορισμό συντεταγμένων για μια κορυφή μιας βάσης ελέγχου, χρησιμοποιώντας τις δικτυακές τεχνικές κινηματικού εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο. Σκοπός είναι η σύγκριση των μετρημένων μεγεθών, με τις αντίστοιχες πρότυπες τιμές και η εξαγωγή συμπεράσματος σχετικά με την καταλληλότητα χρήσης του δέκτη για μία εφαρμογή, που χαρακτηρίζεται από συνθήκες παρόμοιες με αυτές που υφίστανται στη βάση ελέγχου.

Η διαδικασία ελέγχου αξιοποιεί τη δημιουργία κλειστών γεωμετρικών σχημάτων (τρίγωνα) τα οποία προκύπτουν από τη διάταξη μιας βάσης ελέγχου. Σκοπός είναι αρχικά η εύρεση τυχόν χονδροειδών σφαλμάτων στις μετρήσεις, που οφείλονται στην μη ορθή λειτουργία του δέκτη και ο υπολογισμός μιας "αντικειμενικής" τιμής αβεβαιότητας που επιτυγχάνεται με το σύστημα μέτρησης.

Για κάθε μία από τις δύο διαδικασίες εφαρμόζονται στατιστικοί έλεγχοι. Αυτοί ακολουθούν την επεξεργασία των μετρημένων μεγεθών, με σκοπό να εξαχθούν συμπεράσματα για την ορθότητα των μετρήσεων και για τη λειτουργία του υπό μελέτη δέκτη.

Οι στατιστικοί έλεγχοι που εφαρμόζονται αναφέρονται στον υπολογισμό:

- των διαφορών μεταξύ των πρότυπων τιμών συντεταγμένων και των αντίστοιχων προσδιοριζόμενων
- της συνολικής αβεβαιότητας μέτρησης του δέκτη GNSS, μετά από σύγκριση με τις τιμές του κατασκευαστή.
- της αβεβαιότητας προσδιορισμού των τοποκεντρικών συντεταγμένων.

5.2 Προτεινόμενη μεθοδολογία διακρίβωσης δέκτη GNSS

Η διαδικασία της διακρίβωσης αποτελείται από δύο διακριτά στάδια. Κάθε στάδιο μπορεί να εφαρμοστεί ανεξάρτητα από το άλλο, ωστόσο τα αποτελέσματα σχετικά με τη διακρίβωση του δέκτη οφείλουν να είναι συμβατά μεταξύ τους.

Το πρώτο στάδιο αναφέρεται στον προσδιορισμό της μέσης τιμής των διαφορών μεταξύ των πρότυπων (x_{π} , y_{π} , H_{π}) και των παρατηρούμενων συντεταγμένων (x_{μ} , y_{μ} , H_{μ}), μίας κορυφής του πεδίου ελέγχου καθώς επίσης και στην αβεβαιότητα προσδιορισμού τους.

Το δεύτερο στάδιο αναφέρεται στην αξιοποίηση των στοιχείων της απόστασης και της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ της κορυφής του πεδίου ελέγχου και του μόνιμου σταθμού που προκύπτουν από τα στοιχεία των συντεταγμένων (πρότυπων και προσδιοριζόμενων).

Για να πραγματοποιηθούν και τα δύο στάδια διακρίβωσης είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός πρότυπων τιμών των συντεταγμένων του πεδίου ελέγχου.

5.2.1 Προσδιορισμός πρότυπων τιμών

Η διαδικασία προσδιορισμού των πρότυπων τιμών των συντεταγμένων του πεδίου ελέγχου αποτελεί σημαντικό τμήμα της μεθοδολογίας διακρίβωσης. Ο προσδιορισμός των πρότυπων τιμών θα πρέπει να έχει ακρίβεια τουλάχιστον μίας τάξης καλύτερη από τις παρατηρήσεις.

Ωστόσο στη συγκεκριμένη διαδικασία προτείνεται ο προσδιορισμός των πρότυπων τιμών να υλοποιείται με την ίδια μέθοδο εντοπισμού (δηλαδή RTK) με εκείνη που πρόκειται να πραγματοποιηθεί ο έλεγχος ή η διακρίβωση.

Με αυτόν τον τρόπο είτε δεν εισάγονται είτε εξαλείφονται διάφοροι παράγοντες εισαγωγής σφαλμάτων, λόγω δυνατοτήτων ή αδυναμιών μεταξύ διαφορετικών μεθόδων εντοπισμού.

Επίσης χρησιμοποιώντας την ίδια μέθοδο εντοπισμού τόσο για τον προσδιορισμό των πρότυπων τιμών όσο και για τη διακρίβωση, δίνεται η δυνατότητα ανάπτυξης πεδίων ελέγχου, εύχρηστων και σε σύντομο χρόνο.

Για να εξασφαλίζεται η ορθότητα και η ακρίβεια (δηλαδή η αξιοπιστία) των πρότυπων τιμών οφείλει να προσδιοριστεί το πλήθος των παρατηρήσεων που απαιτούνται.

Σε όλη τη διαδικασία προσδιορισμού των πρότυπων τιμών πρέπει να ακολουθούνται οι κανόνες σχετικά με την επαναληψιμότητα και την ορθή διεξαγωγή των μετρήσεων σε τακτά χρονικά διαστήματα. Στόχος είναι να λαμβάνεται υπόψιν η αλλαγή της γεωμετρίας του δορυφορικού σχηματισμού, με σκοπό να ελαχιστοποιείται η τιμή των δεικτών DOP, που όπως αναφέρθηκε αποτελούν σημαντικό παράγοντα εισαγωγής σφαλμάτων.

5.2.1.1 Προσδιορισμός απαιτούμενου πλήθους παρατηρήσεων

Για να προσδιοριστεί το βέλτιστο πλήθος παρατηρήσεων που απαιτούνται για τον προσδιορισμό των πρότυπων τιμών συντεταγμένων, των σημείων μιας βάσης ελέγχου χρησιμοποιήθηκαν οι αβεβαιότητες – ονομαστικές τιμές ακρίβειας προσδιορισμού συντεταγμένων σύμφωνα με τα στοιχεία του κατασκευαστή του δέκτη.

Θεωρώντας ότι οι μετρήσεις είναι ισοβαρείς, το πλήθος των παρατηρήσεων (n) θα βελτιώνει κάθε φορά την αβεβαιότητα ($\sigma_{\text{OPTIMIZATION}}$) με την οποία προσδιορίζονται οι πρότυπες τιμές σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση.

$$\sigma_{\text{OPT}} = \frac{\sigma_{\text{ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ}}}{\sqrt{n}} \quad (5.1)$$

Όπου για τον προσδιορισμό της τιμής ($\sigma_{\text{ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ}}$) και για κάθε μία από τις διαφορετικές τεχνικές εντοπισμού VRS και Single Base RTK

και για την οριζοντιογραφία και υψομετρία ξεχωριστά, ο δέκτης μπορεί να προσδιορίσει συντεταγμένες με αβεβαιότητα:

	Οριζοντιογραφικά (mm)	Υψομετρικά (mm)
VRS	$\pm 8\text{mm} \pm 0.5\text{ppm}$	$\pm 15\text{mm} \pm 0.5\text{ppm}$
Single Base RTK	$\pm 8\text{mm} \pm 1\text{ppm}$	$\pm 15\text{mm} \pm 1\text{ppm}$

Σημειώνεται ότι ως πλήθος των παρατηρήσεων (n) ορίζεται ο συνολικός αριθμός των ανεξάρτητων προσδιορισμών των συντεταγμένων (x,y,H) της κάθε κορυφής με τη μέθοδο του σχετικού κινηματικού εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο.

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση 5.1 υπολογίζεται το πλήθος των παρατηρήσεων (n) που απαιτείται για τον προσδιορισμό των πρότυπων τιμών με αβεβαιότητα της τάξης του 1mm οριζοντιογραφικά και 2mm υψομετρικά, για κάθε μέθοδο εντοπισμού ξεχωριστά.

Η αβεβαιότητα προσδιορισμού των οριζοντιογραφικών συντεταγμένων δεν είναι ίδια με εκείνη των υψομέτρων. Έτσι υπολογίζεται η μέγιστη τιμή πλήθους μετρήσεων που θα ικανοποιεί όλες τις συντεταγμένες ταυτόχρονα.

Αριθμός Μετρήσεων (n)	VRS		Single Base RTK	
	Οριζοντιογραφικά (mm)	Υψομετρικά (mm)	Οριζοντιογραφικά (mm)	Υψομετρικά (mm)
10	± 2.5	± 4.7	± 2.8	± 4.9
20	± 1.7	± 3.3	± 1.9	± 3.5
30	± 1.4	± 2.7	± 1.6	± 2.8
40	± 1.2	± 2.4	± 1.4	± 2.4
50	± 1.2	± 2.1	± 1.3	± 2.2
60	± 1.2	± 2.0	± 1.1	± 2.01

Πίνακας 5.1 Βελτιστοποίηση για τον προσδιορισμό των πρότυπων τιμών

Από τον πίνακα 5.1 προκύπτει ότι σύμφωνα με τις τιμές αβεβαιότητας που παρέχει ο δέκτης, για τον προσδιορισμό των πρότυπων τιμών για τη μέθοδο VRS απαιτούνται 50 παρατηρήσεις, αφού περαιτέρω αύξηση του πλήθους δεν επιφέρει σημαντική μείωση της αβεβαιότητας. Αντίστοιχα όσο αφορά στη μέθοδο Single Base RTK το πλήθος των απαιτούμενων παρατηρήσεων αυξάνεται σε 60. Επομένως ορίζεται ως απαιτούμενο πλήθος παρατηρήσεων, η μέγιστη τιμή μεταξύ των δύο διαφορετικών μεθόδων εντοπισμού, άρα 60 παρατηρήσεις.

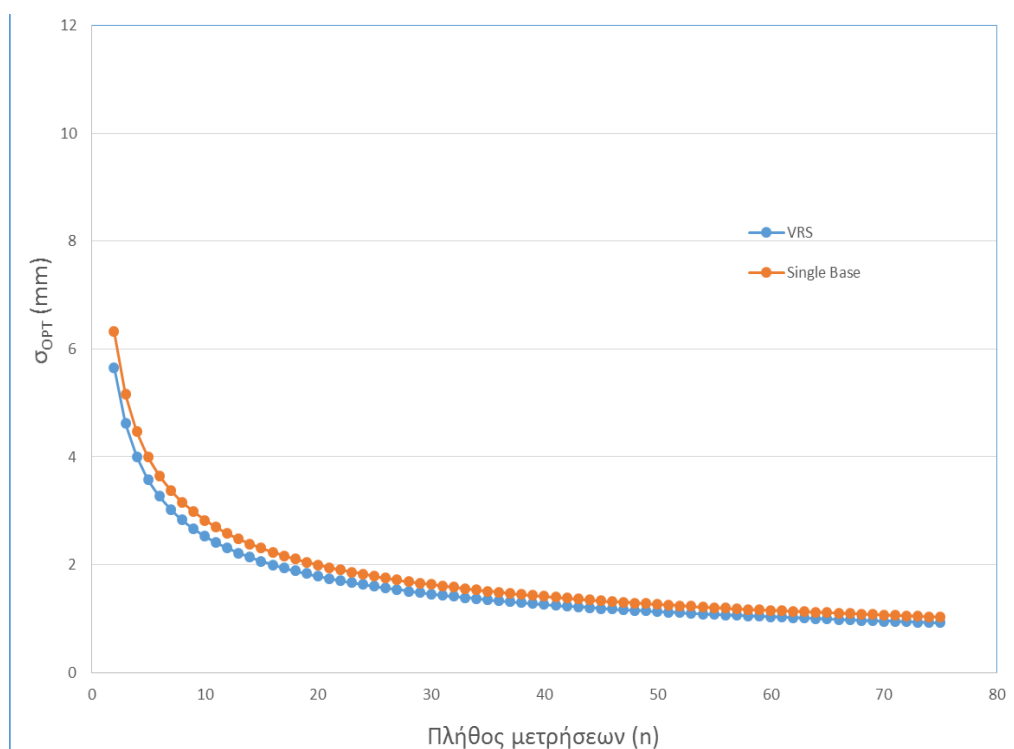
Οι παρατηρήσεις οφείλουν να καλύπτουν όλες τις χρονικές περιόδους μιας ημερολογιακής ημέρας, όπου ο δέκτης συνδέεται με τον μόνιμο τόσες φορές όσες οι διαφορετικές φάσεις μετρήσεων.

Κάθε μοναδιαίος προσδιορισμός συντεταγμένων διαρκεί από 30 δευτερόλεπτα έως και 1 λεπτό. Αυτό προέκυψε από πειράματα που πραγματοποιήθηκαν πειράματα στο πλαίσιο της μεταπτυχιακής εργασίας σχετικά με τον χρόνο μέτρησης (occupation time) που επιλέγεται για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων σε πραγματικό χρόνο.

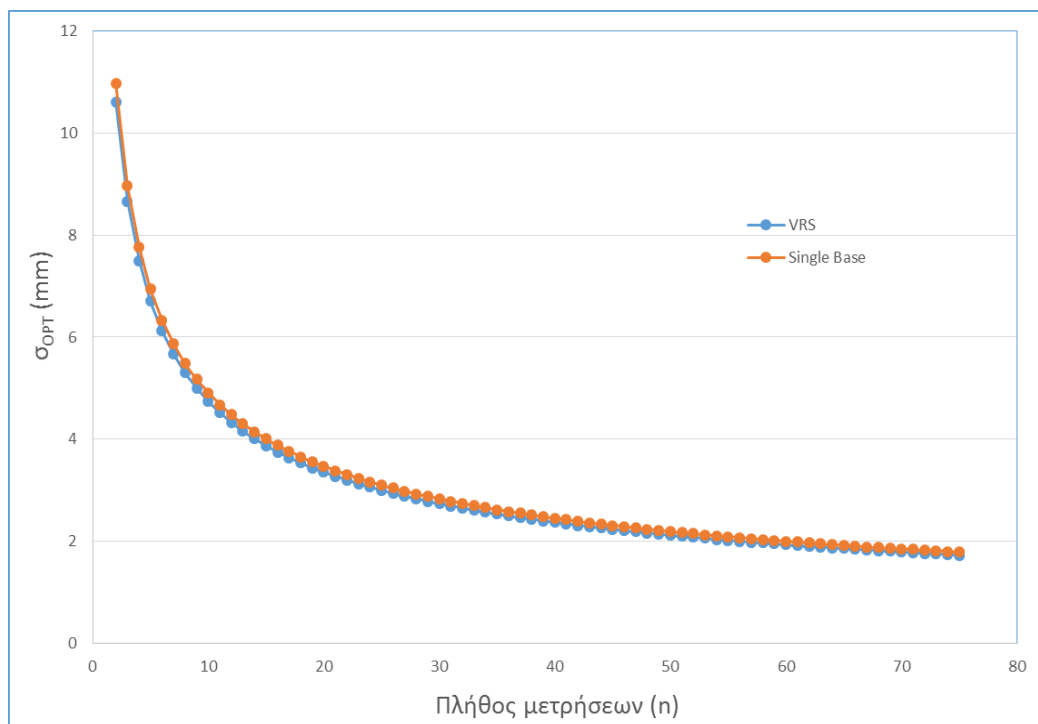
Παρατηρήθηκε ότι χρόνος που ξεπερνά το ένα λεπτό, δεν συμβάλει παραπάνω στη μείωση της αβεβαιότητας προσδιορισμού των συντεταγμένων.

Μετά την εκτέλεση του πλήθους των μετρήσεων για τον υπολογισμό των πρότυπων τιμών, προσδιορίζεται η μέση τιμή κάθε μίας ξεχωριστά και η α posteriori τυπική απόκλιση τους.

Τα διαγράμματα (σχήμα 5.1 και 5.2) παρουσιάζουν τις καμπύλες μεταβολής της αβεβαιότητας ($\sigma_{OPTIMIZATION}$) και για τις δύο μεθόδους εντοπισμού, οριζοντιογραφικά και υψομετρικά, αντίστοιχα. Τα στοιχεία των διαγραμμάτων έχουν προκύψει από πειράματα, στα οποία μεταβάλλεται το πλήθος των παρατηρήσεων κάθε φορά ανά μία μονάδα.



Σχήμα 5.1 Μεταβολή της αβεβαιότητας προσδιορισμού πρότυπων τιμών οριζοντιογραφικών συντεταγμένων, σε συνάρτηση με το πλήθος των παρατηρήσεων



Σχήμα 5.2 Μεταβολή της αβεβαιότητας προσδιορισμού πρότυπων τιμών υψομέτρου, σε συνάρτηση με το πλήθος των παρατηρήσεων

5.2.1.2 Χρονοσειρές πρότυπων τιμών συντεταγμένων

Ο προσδιορισμός των πρότυπων τιμών των κορυφών μίας βάσης ελέγχου προτείνεται να επαναλαμβάνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα από δέκτη ο οποίος έχει ελεγχθεί και έχει πιστοποιηθεί η ορθή λειτουργία του. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτουν χρονοσειρές μετρήσεων που αναφέρονται σε κάθε μία από τις συντεταγμένες ξεχωριστά.

Από τη συνολική μελέτη και των τριών χρονοσειρών (x, y, H) επιλέγονται οι αξιόπιστες μετρήσεις, που θα συμμετέχουν στον υπολογισμό των πρότυπων τιμών.

Οι χρονοσειρές αυτές μπορούν να αξιοποιηθούν για έναν αρχικό έλεγχο της ποιότητας των μετρήσεων που πραγματοποιεί ο υπό διακρίβωση δέκτης. Η ανάλυση τους και η προκαταρκτική σύγκριση με τις πρότυπες τιμές μπορούν να χρησιμοποιηθούν με σκοπό να προκύψει ένας πρώτος έλεγχος ενδεχόμενων χονδροειδών σφαλμάτων.

Όσο αφορά στον χρονικό παράγοντα, από την ανάλυση μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα που αφορούν στην:

- ύπαρξη συστηματικού σφάλματος στις μετρήσεις εκείνης της περιόδου

- επίδραση του δορυφορικού σχηματισμού κατά τη χρονική διάρκεια των μετρήσεων

Για να πραγματοποιηθεί αυτό οφείλεται να γίνεται συνδυαστική μελέτη μεταξύ των χρονοσειρών και των τριών συντεταγμένων.

Τα στατιστικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των χρονοσειρών είναι η μεταβλητότητα των τιμών και το εύρος διακύμανσης αυτών.

Οι διαφορές των ακραίων τιμών της χρονοσειράς δεν πρέπει να απέχουν από τη μέση της τιμή παραπάνω από την αβεβαιότητα προσδιορισμού συντεταγμένων όπως την ορίζει ο κατασκευαστής, με σκοπό να συμπεραίνεται ότι οι διαφορές οφείλονται στην επίδραση των δεικτών αλλοίωσης της ακρίβειας (DOP) κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεων.

Οι 60 μετρήσεις για τον προσδιορισμό των πρότυπων τιμών θα πρέπει να βρίσκονται εντός των ορίων σφάλματος για κάθε συντεταγμένη ξεχωριστά. Με αυτόν τον τρόπο πραγματοποιείται "καθαρισμός" (denoise) των χρονοσειρών από μεμονωμένες ακραίες τιμές που χαρακτηρίζονται ως θόρυβος των παρατηρήσεων.

5.2.2 Προσδιορισμός συντεταγμένων

Τα στοιχεία που συμμετέχουν στη διαδικασία διακρίβωσης δέκτη, είναι οι πρότυπες και οι πειραματικές τιμές των συντεταγμένων που προκύπτουν για τη βάση ελέγχου.

Στη διαδικασία της διακρίβωσης, χρησιμοποιείται μία κορυφή της βάσης ελέγχου, όπου τοποθετείται ο υπό διακρίβωση δέκτης.

Για αυτή την κορυφή της βάσης ελέγχου θα πρέπει να εξασφαλίζεται η μονοσήμαντη τοποθέτηση του δέκτη καθώς επίσης να είναι γνωστές με μεγάλη ακρίβεια οι πρότυπες τιμές συντεταγμένων αυτής. Στην περίπτωση που οι μετρήσεις πραγματοποιούνται με την χρήση ενός μόνιμου σταθμού αναφοράς (μέθοδος Single Base RTK), συνίσταται η απόσταση αυτού από την κορυφή της βάσης ελέγχου, να είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με εκείνη των βάσεων, που θα μετρήσει ο δέκτης κατά τις γεωδαιτικές εργασίες.

Οι μετρήσεις αφορούν στον προσδιορισμό των τιμών συντεταγμένων της μίας κορυφής της βάσης ελέγχου. Οι μετρήσεις αυτές αναπτύσσονται σε τρεις σειρές που η καθεμία αποτελείται από 5 σετ. Κάθε σετ μετρήσεων περιλαμβάνει τον μοναδιαίο προσδιορισμό των τριδιάστατων συντεταγμένων της κορυφής. Επομένως για την υλοποίηση

της διαδικασίας διακρίβωσης χρειάζονται συνολικά 15 σετ μετρήσεων και έτσι η μαθηματική ανάλυση πραγματοποιείται με 15 τριάδες τιμών συντεταγμένων (15 x, 15 y, 15 H, συνολικά 45 τιμές).

Κάθε σειρά μετρήσεων θα πρέπει να απέχει κατάλληλο χρονικό διάστημα από την προηγούμενη, με σκοπό να εξασφαλίζεται η αλλαγή του δορυφορικού σχηματισμού και των συνθηκών της ατμόσφαιρας. Το χρονικό αυτό διάστημα ποικίλει ανάλογα με την περιοχή μελέτης και την χρονική στιγμή έναρξης των μετρήσεων, και η ελάχιστη τιμή του ορίζεται στα 90 λεπτά.

Το χρονικό διάστημα για την ολοκλήρωση της διαδικασίας διακρίβωσης αντιστοιχεί σε 3 ώρες και 20 λεπτά.

Σε όλους τους στατιστικούς ελέγχους που πραγματοποιούνται η συνεισφορά των δεικτών αλλοίωσης της ακρίβειας (DOP) υπολογίζεται ξεχωριστά για τις οριζοντιογραφικές συντεταγμένες και το υψόμετρο. Αυτό πραγματοποιείται με σκοπό την καλύτερη ανάλυση των σφαλμάτων που εισάγονται στον προσδιορισμό των διαφορετικών συντεταγμένων.

5.2.3 Στατιστική ανάλυση

✓ Πρώτο στάδιο στατιστικών ελέγχων

Η ανάλυση εφαρμόζεται ξεχωριστά για κάθε μία από τις συντεταγμένες (x,y,H) σύμφωνα με τις σχέσεις 5.2 – 5.4.

Πιο συγκεκριμένα για κάθε συντεταγμένη που προσδιορίζεται (x_M), υπολογίζεται η διαφορά από την αντίστοιχη πρότυπη (x_{Π}).

$$\Delta_x = x_M - x_{\Pi}, \Delta_y = y_M - y_{\Pi}, \Delta_H = H_M - H_{\Pi} \quad (5.2)$$

Στη συνέχεια προσδιορίζεται η καλύτερη τιμή για κάθε διαφορά συντεταγμένων ξεχωριστά (σχέση 5.3) καθώς και τα αντίστοιχα σφάλματα προσδιορισμού τους.

$$\Delta \hat{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta x}{n}, \Delta \hat{y} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta y}{n}, \Delta \hat{H} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta H}{n}, \text{ όπου } n=15 \quad (5.3)$$

Κάθε μία από τις υπολογισμένες τιμές $\Delta_{x,y}$, Δ_H συμμετέχει ξεχωριστά στην εξαγωγή συμπεράσματος σχετικά με την ορθή λειτουργία του δέκτη σύμφωνα με τα στοιχεία της σχέσης 5.5.

Για να εξασφαλιστεί η ορθή λειτουργία θα πρέπει να ικανοποιούνται ταυτόχρονα και οι συνθήκες που ορίζει η σχέση 5.5 για κάθε μία από τις συντεταγμένες.

$$\hat{\Delta}_{x,y} = \sqrt{\Delta_{\hat{x}}^2 + \Delta_{\hat{y}}^2} \quad (5.4)$$

$$\hat{\Delta}_{x,y} \leq z_{95\%} \cdot \sigma_{\Delta_{x,y}}, \quad \hat{\Delta}_H \leq z_{95\%} \cdot \sigma_{\Delta_H} \quad (5.5)$$

Όπου:

$$\sigma_{\Delta_{x,y}} = \pm \sqrt{\sigma_{(x_i, y_i)_{\text{ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ}}}^2 + \sigma_{(x_i, y_i)_{\text{ΠΡΟΤΥΠΟ}}}^2} \quad (5.6)$$

$$\sigma_{\Delta_H} = \pm \sqrt{\sigma_{(H_i)_{\text{ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ}}}^2 + \sigma_{(H_i)_{\text{ΠΡΟΤΥΠΟ}}}^2} \quad (5.7)$$

$$\sigma_{(x_i, y_i)_{\text{ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ}}} = \sigma_{(x_i, y_i)_{\text{ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ}}} \cdot \text{HDOP} \quad (5.8)$$

$$\sigma_{(H_i)_{\text{ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ}}} = \sigma_{(H_i)_{\text{ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ}}} \cdot \text{VDOP} \quad (5.9)$$

Η ικανοποίηση της σχέσης 5.5 επομένως αποτελεί το αποτέλεσμα της διαδικασίας διακρίβωσης του δέκτη GNSS για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Επομένως στην διακρίβωση του δέκτη συμμετέχουν:

- Η αβεβαιότητα προσδιορισμού των πρότυπων τιμών
- Η αβεβαιότητα με την οποία ο δέκτης πραγματοποιεί παρατηρήσεις σύμφωνα με τον κατασκευαστή
- Οι συνθήκες που αναφέρονται στον δορυφορικό σχηματισμό για την διάρκεια υλοποίησης του ελέγχου

✓ Δεύτερο στάδιο στατιστικών ελέγχων

Το δεύτερο στάδιο αξιοποιεί τα στοιχεία της απόστασης και της υψομετρικής διαφοράς. Οι τιμές αυτές υπολογίζονται από τις συντεταγμένες μέσω των σχέσεων 5.10 και 5.11 .

$$D_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} \quad (5.10)$$

$$\Delta H_{ij} = H_j - H_i \quad (5.11)$$

Όπου:

- i: ο μόνιμος ή ο virtual σταθμός αναφοράς
- j: το σημείο του πεδίου ελέγχου

Δεν είναι δυνατή η υλοποίηση του δεύτερου σταδίου της διαδικασίας διακρίβωσης με τη μέθοδο εντοπισμού VRS, διότι δεν είναι γνωστή η θέση του virtual σταθμού επομένως δεν είναι δυνατός ο προσδιορισμός των σχετικών τιμών απόστασης και υψομετρικής διαφοράς.

Η συγκεκριμένη ανάλυση αναφέρεται στον προσδιορισμό της κλίμακας ενός συστήματος μέτρησης, συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που προκύπτουν με δορυφορικές μεθόδους με τις αντίστοιχες πρότυπες τιμές.

Η κλίμακα ενός συστήματος, εκφράζει το βαθμό της ταύτισης του κάθε συστήματος με το πρότυπο ή την ομοιομορφία του σε όλο το εύρος των μετρήσεων. Η κλίμακα προσδιορίζεται με τη μοντελοποίηση της αβεβαιότητας του συστήματος μέσω μίας εξίσωσης που περιλαμβάνει τόσο το συστηματικό σφάλμα όσο και τα τυχαία σφάλματα. Η τυπική απόκλιση των πραγματικών τιμών προκύπτει από την προσαρμογή των σημείων στην εξίσωση (ευθείας) της μοντελοποίησης.

Η εξίσωση της ευθείας η οποία περιγράφει το σύστημα όσο αφορά τα συστηματικά και τυχαία σφάλματα έχει τη μορφή:

$$y_i = ax_i + \beta \quad (5.12)$$

Όπου:

- y_i είναι οι μετρήσεις με κάθε υπό έλεγχο σύστημα σε ένα πεδίο ελέγχου
- x_i είναι οι αντίστοιχες πρότυπες μετρήσεις ή μετρήσεις αναφοράς
- β είναι το συστηματικό σφάλμα του συστήματος
- a είναι η κλίμακα του συστήματος (μαθηματικά εκφράζει την κλίση της ευθείας προσαρμογής)
[Λάμπρου, Νικολίτσας, 2012]

Από τον προσδιορισμό της εξίσωσης ενός συστήματος, προκύπτει:

- Διόρθωση των μετρήσεων, που πραγματοποιούνται από το συγκεκριμένο κάθε φορά σύστημα.
- Εκτίμηση του μεγέθους της αβεβαιότητας, σε σχέση με την ονομαστική-κατασκευαστική ακρίβεια των οργάνων.

- Αποτέλεσμα σχετικά με την καταλληλότητα του συστήματος για κάποια συγκεκριμένη εργασία.

Το αποτέλεσμα σχετικά με την καταλληλότητα εξάγεται υπολογίζοντας τη κλίμακα (α) ενός συστήματος και την τυπική απόκλιση των πραγματικών τιμών. Επίσης, με την επίλυση προσδιορίζονται οι τιμές του συστηματικού (β) και του τυχαίου σφάλματος (σ).

Από την εφαρμογή του δεύτερου σταδίου της διαδικασίας διακρίβωσης θα προκύψουν δύο τιμές κλίμακας συστήματος. Από τις τιμές αυτές η μία αναφέρεται στον προσδιορισμό αποστάσεων και η άλλη στην υψομετρική διαφορά. Το ίδιο συμβαίνει και για τις τιμές συστηματικών και τυχαίων σφαλμάτων.

Για να πραγματοποιηθεί το δεύτερο στάδιο της διαδικασίας διακρίβωσης αρκεί ο υπολογισμός των αγνώστων α, β , άρα γίνεται κατανοητό ότι χρειάζονται τουλάχιστον τρεις τιμές αποστάσεων (ή υψομετρικών διαφορών) ώστε να δίνεται η δυνατότητα συνόρθωσης των μετρήσεων.

Η ελαχιστοτετραγωνική επίλυση πραγματοποιείται ξεχωριστά για τις αποστάσεις και τις υψομετρικές διαφορές.

Ο πίνακας σχεδιασμού (A) της επίλυσης έχει κάθε φορά γραμμές (15 σε πλήθος) όσες οι υπολογισμένες τιμές απόστασης (ή υψομετρικής διαφοράς) και δύο στήλες που αντιστοιχούν στις ανεξάρτητες καθοριστικές παραμέτρους της επίλυσης (μεταβλητές α, β).

Η επίλυση πραγματοποιείται θεωρώντας τις παρατηρήσεις ισοβαρείς. Από τον πίνακα μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας της επίλυσης προκύπτουν τα σφάλματα προσδιορισμού των δύο παραμέτρων που θα συμμετέχουν σε μεταγενέστερο στάδιο στον στατιστικό έλεγχο και στην εξαγωγή πρόσθετων συμπερασμάτων σχετικά με τη λειτουργία των δεκτών.

Ο στατιστικός έλεγχος συνίσταται αρχικά στο αν οι τιμές των παραμέτρων α, β είναι στατιστικά σημαντικές. Συγκρίνονται οι τιμές αυτές με τις αντίστοιχες αβεβαιότητες προσδιορισμού πολλαπλασιασμένες με την τιμή της πιθανότητας που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης (95%). Με αυτό τον τρόπο (σχέση 5.13) ελέγχεται η αξιοπιστία της επίλυσης.

$$\begin{aligned} \alpha > z_{95\%} \cdot \sigma_{\alpha} &= 1.96 \cdot \sigma_{\alpha} \\ \beta > z_{95\%} \cdot \sigma_{\beta} &= 1.96 \cdot \sigma_{\beta} \end{aligned} \tag{5.13}$$

Σε περιπτώσεις όπου η αβεβαιότητα σ_β του συστηματικού σφάλματος β του συστήματος είναι μεγαλύτερη από την τιμή του β , τότε αυτή η τιμή του β είναι αμελητέα και δεν πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

Εφόσον οι τιμές των παραμέτρων είναι στατιστικά σημαντικές, η καταλληλότητα του δέκτη για συγκεκριμένη εφαρμογή κρίνεται από την σύγκριση των τιμών του συστηματικού (β) και τυχαίου (σ_0) σφάλματος με την ονομαστική ακρίβεια που θεωρεί ο κατασκευαστής.

Η ονομαστική ακρίβεια για τις αποστάσεις και τις υψομετρικές διαφορές, σύμφωνα με τον κατασκευαστή, προκύπτει από την εφαρμογή του νόμου μετάδοσης των σφαλμάτων στις σχέσεις 5.10 και 5.11. Στον υπολογισμό αυτό θεωρείται ότι οι συντεταγμένες του φυσικού ή εικονικού μόνιμου σταθμού αναφοράς δεν έχουν σφάλμα, επομένως $\sigma_{x_j} = \sigma_{y_j} = \sigma_{H_j} = 0$ και θα ισχύει:

$$\sigma_{D_{ij}} = \pm \sqrt{\left(\frac{dD_{ij}}{d\Delta x_{ij}}\right)^2 \cdot \sigma_{\Delta x_{ij}}^2 + \left(\frac{dD_{ij}}{d\Delta y_{ij}}\right)^2 \cdot \sigma_{\Delta y_{ij}}^2} \quad (5.14)$$

$$\sigma_{\Delta H_{ij}} = \pm \sqrt{\left(\frac{d\Delta H_{ij}}{dH_j}\right)^2 \cdot \sigma_{H_j}^2 + \left(\frac{d\Delta H_{ij}}{dH_i}\right)^2 \cdot \sigma_{H_i}^2} = \pm \sqrt{\sigma_{H_i}^2} = \pm \sigma_{H_i} \quad (5.15)$$

όπου $\sigma_{\Delta x_{ij}} = \sigma_{\Delta y_{ij}} = \pm \sigma_{(x_i, y_i) \text{ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ}}$, $\sigma_{\Delta H_{ij}} = \sigma_{H_i} = \pm \sigma_{(H_i) \text{ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ}}$

Τα αποτελέσματα των σχέσεων 5.14, 5.15 πολλαπλασιάζονται με την αντίστοιχη τιμή των δεικτών αλλοίωσης HDOP, VDOP με σκοπό να συμπεριληφθεί η συνεισφορά του δορυφορικού σχηματισμού στην επίλυση.

Υπενθυμίζεται ότι η ονομαστική ακρίβεια, αντιστοιχεί στην αβεβαιότητα προσδιορισμού συντεταγμένων που παρέχει ο κατασκευαστής πολλαπλασιασμένη με την αντίστοιχη τιμή των δεικτών DOP.

Μετά τον υπολογισμό της ονομαστικής ακρίβειας του δέκτη που διακριβώνεται, ελέγχεται εάν κάποιο από τα σφάλματα (β , σ_0) υπερβαίνει την ονομαστική ακρίβεια.

$$\begin{aligned} \sigma_{0(\Delta H)} \cdot \beta_{(\Delta H)} &\leq \sigma_{\text{ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ}(\Delta H)} \\ \sigma_{0(D)} \cdot \beta_{(D)} &\leq \sigma_{\text{ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ}(D)} \end{aligned} \quad (5.16)$$

Εάν αυτό συμβαίνει, δηλαδή έστω και μία μαθηματική σχέση δεν ισχύει, συμπεραίνεται ότι ο υπό διακρίβωση δέκτης δεν πραγματοποιεί

μετρήσεις σύμφωνα με τα πρότυπα του κατασκευαστή επομένως δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε γεωδαιτικές εφαρμογές.

Εάν αυτό δεν συμβαίνει, δηλαδή όλες οι μαθηματικές σχέσεις ισχύουν, συμπεραίνεται ότι ο υπό διακρίβωση δέκτης πραγματοποιεί μετρήσεις σύμφωνα με τα πρότυπα του κατασκευαστή και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια εργασία όπου η απαιτούμενη αβεβαιότητά της (σ_ε) είναι μεγαλύτερη από την αβεβαιότητα που συνολικά προσδίδουν το συστηματικό και το τυχαίο σφάλμα του συστήματος σύμφωνα με την σχέση 5.16α.

$$\sigma_\varepsilon \geq \pm \sqrt{\sigma_0^2 + \beta^2} \quad (5.16\alpha)$$

5.3 Προτεινόμενη μεθοδολογία Ελέγχου δέκτη GNSS

Τα στοιχεία που συμμετέχουν στη διαδικασία ελέγχου είναι οι πειραματικές τιμές των συντεταγμένων για τις δύο κορυφές της βάσης ελέγχου.

Οι παρατηρήσεις αφορούν στον προσδιορισμό των τιμών συντεταγμένων των δύο κορυφών της βάσης ελέγχου, οι οποίες αναπτύσσονται σε τρεις σειρές που η καθεμία αποτελείται από 5 σετ. Κάθε σετ μετρήσεων περιλαμβάνει τον μοναδιαίο προσδιορισμό των τρισδιάστατων συντεταγμένων της κάθε κορυφής. Επομένως για την υλοποίηση της διαδικασίας ελέγχου χρειάζονται συνολικά 15 μοναδιαίες μετρήσεις για δύο όμως θέσεις κινούμενου δέκτη επομένως η μαθηματική ανάλυση πραγματοποιείται με 30 τριάδες διαφορών συντεταγμένων (30 τιμές Δx , 30 τιμές Δy και 30 ΔH , συνολικά 90 τιμές).

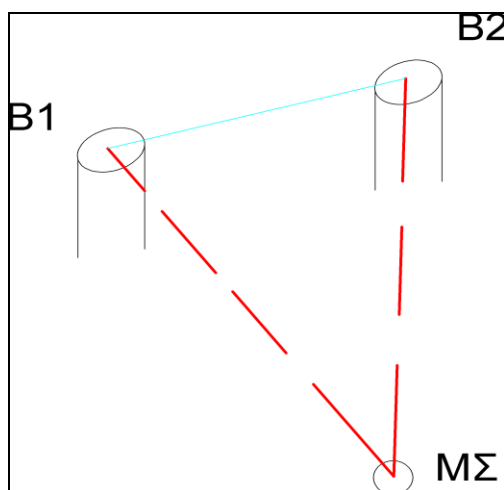
Η διαδικασία παρατήρησης των συντεταγμένων (επαναληψιμότητα, οργάνωση) πραγματοποιείται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως και στην αντίστοιχη της διακρίβωσης. Ο χρόνος υλοποίησης της διαδικασίας ελέγχου αντιστοιχεί σε 4 ώρες και 10 λεπτά.

5.3.1 Στατιστική ανάλυση

Οι μετρήσεις, ζεύγος παρατηρήσεων για τις δύο κορυφές, οργανώνονται σε διαφορές συντεταγμένων ($\Delta x, \Delta y, \Delta H$).

Η διαδικασία ελέγχου πραγματοποιείται σε μια βάση ελέγχου (σχήμα 5.6), η οποία αποτελείται από συνολικά τρεις κορυφές. Οι δύο κορυφές αντιστοιχίζονται σε δύο σημεία της βάσης ελέγχου (B1, B2) και

η τρίτη στη θέση του μόνιμου (ΜΣ) ή virtual σταθμού αναφοράς. Συνίσταται οι δύο κορυφές της βάσης ελέγχου να μην απέχουν πολύ μεγάλη απόσταση μεταξύ τους (>25m) με σκοπό να εξασφαλίζονται οι ίδιες συνθήκες του περιβάλλοντα χώρου και του φαινομένου της πολυανάκλασης.



Σχήμα 5.6 Σχεδιάγραμμα βάσης για τη διαδικασία ελέγχου

Για την υλοποίηση της διαδικασίας ελέγχου αξιοποιείται το ιδεατό χωρικό τρίγωνο που δημιουργείται μεταξύ των θέσεων της βάσης ελέγχου και του μόνιμου ή εικονικού σταθμού. Κάθε τρίγωνο υλοποιείται από τρεις πλευρές. Κάθε μία από τις πλευρές αντιστοιχεί σε ένα διάνυσμα που αποτελείται από τρεις συνιστώσες (Δx , Δy , ΔH), οι οποίες προκύπτουν από τα μετρούμενα στοιχεία μέσω των στοιχείων της σχέσης 5.17.

$$\Delta x = x_{\text{ΜΣ}} - x_{\text{B}}, \Delta y = y_{\text{ΜΣ}} - y_{\text{B}}, \Delta H = H_{\text{ΜΣ}} - H_{\text{B}} \quad (5.17)$$

Όπου: (ΜΣ) Στοιχεία μόνιμου ή virtual σταθμού αναφοράς

(B) Στοιχεία κορυφών της βάσης ελέγχου που έχουν μετρηθεί

Μέσω της σχέσης 5.17 προκύπτουν τα στοιχεία που αφορούν στις δύο πλευρές (ΜΣ-B1, B2-ΜΣ) των τριγώνων (σχήμα 5.6) .

Η τρίτη πλευρά (B1-B2) αναφέρεται στη διαφορά των συντεταγμένων (Δx , Δy , ΔH) μεταξύ των δύο κορυφών του πεδίου ελέγχου. Οι τιμές αυτές δεν συμμετέχουν στους στατιστικούς ελέγχους καθώς παραμένουν οι ίδιες για όλα τα δημιουργούμενα τρίγωνα και λαμβάνονται χωρίς σφάλμα. Επομένως στις τιμές των συνιστωσών της πλευράς B1-B2, μπορούν να δοθούν αυθαίρετες τιμές. (Συνίσταται να

οριστούν τιμές οι οποίες να μην απέχουν πολύ από τις πραγματικές τιμές συντεταγμένων των δύο κορυφών του πεδίου ελέγχου).

Στο σύστημα εξισώσεων για τον προσδιορισμό του σφάλματος κλεισίματος των τριγώνων η μία πλευρά (βάση B1 – B2) παραμένει κάθε φορά σταθερή, επομένως αναδεικνύονται οι τιμές αβεβαιότητας προσδιορισμού των άλλων δύο πλευρών.

Αυτό γίνεται διότι, εφόσον το σύστημα μέτρησης παραμένει ίδιο και προσδιορίζονται οι διαφορές μεταξύ των μετρημένων (συντεταγμένες βάθρων B1 και B2) και σταθερών στοιχείων (συντεταγμένες μόνιμου σταθμού), οποιεσδήποτε διαφορές που θα οδηγούσαν σε στατιστική ανάλυση σφαλμάτων απαλείφονται. Αυτό οφείλεται στη χρήση σχετικών μεγεθών (διαφορές συντεταγμένων) για την υλοποίηση της επίλυσης.

Κάθε ζεύγος μετρήσεων που αφορά στον προσδιορισμό των συντεταγμένων των δύο κορυφών B1 και B2 δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού των στοιχείων των πλευρών/βάσεων του μοναδικού αυτού τριγώνου. Για όλες τις μετρήσεις, τα αθροίσματα που προκύπτουν για αυτό το (B1–ΜΣ–B2) τρίγωνο $\sum_{i=1}^3 \Delta x_i$, $\sum_{i=1}^3 \Delta y_i$, $\sum_{i=1}^3 \Delta H_i$ πρέπει θεωρητικά να είναι ίσα με το μηδέν.

Τα σφάλματα κλεισίματος για κάθε συντεταγμένη ξεχωριστά και για μία ορισμένη θετική φορά υπολογίζονται αλγεβρικά από τις σχέσεις 5.18-5.20.

$$\sigma_{K_x} = 0 - \sum_{i=1}^3 \Delta x_i \quad (5.18)$$

$$\sigma_{K_y} = 0 - \sum_{i=1}^3 \Delta y_i \quad (5.19)$$

$$\sigma_{K_H} = 0 - \sum_{i=1}^3 \Delta H_i \quad (5.20)$$

Για κάθε ζεύγος μετρήσεων που αναφέρονται σε κάθε κορυφή του πεδίου ελέγχου δημιουργείται τρίγωνο και προσδιορίζεται το σφάλμα κλεισίματος. Για τα στοιχεία των σχέσεων αυτών και για κάθε τέτοιο μοναδιαίο τρίγωνο (συνολικά 15 τρίγωνα) (ΜΣ-B1-B2) ισχύει:

$$\sigma_{K_x} = \pm \sqrt{\sigma_{\Delta x_{(M\Sigma-B1)}}^2 + \sigma_{\Delta x_{(B1-B2)}}^2 + \sigma_{\Delta x_{(B2-M\Sigma)}}^2} \quad (5.21)$$

Αντίστοιχες σχέσεις προκύπτουν και για τα σφάλματα $\sigma_{K_y}, \sigma_{K_H}$

Από τις συνολικά 15 τιμές που προκύπτουν από την σχέση 5.21 υπολογίζεται η μέση τιμή κάθε σφάλματος κλεισίματος για κάθε συντεταγμένη ξεχωριστά. Οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται στην σχέση 5.22.

Εφόσον οι βάσεις που σχηματίζουν κάθε φορά το τρίγωνο έχουν το ίδιο περίπου μέγεθος, θα ισχύει $\sigma_{\Delta x_{(B2-MΣ)}} = \sigma_{\Delta x_{(MΣ-B1)}} = \sigma_{\Delta x}$. Επίσης η βάση μεταξύ των δύο κορυφών (B1-B2) θεωρείται σταθερή και χωρίς σφάλμα, θα ισχύει $\sigma_{\Delta x_{(B2-B1)}} = 0$, τότε η σχέση 5.21 γίνεται:

$$\sigma_{K_x} = \pm \sqrt{2 \cdot \sigma_{\Delta x}^2} \Rightarrow \sigma_{\Delta x} = \pm \frac{\sigma_{K_x}}{\sqrt{2}} \quad (5.22)$$

Αντίστοιχες σχέσεις προκύπτουν και για τα σφάλματα $\sigma_{\Delta y}, \sigma_{\Delta H}$.

Επίσης εφόσον οι συντεταγμένες του μόνιμου σταθμού συμμετέχουν στην επίλυση χωρίς σφάλμα θα ισχύει:

$$\sigma_{\Delta x} = \sigma_x, \sigma_{\Delta y} = \sigma_y, \sigma_{\Delta H} = \sigma_H$$

Ο στατιστικός έλεγχος και η εξαγωγή συμπεράσματος σχετικά με τον έλεγχο του δέκτη προκύπτει συγκρίνοντας την αβεβαιότητα προσδιορισμού των συντεταγμένων (x,y,H) με την ακρίβεια που παρέχει ο κατασκευαστής για συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης και δορυφορικό σχηματισμό, μέσω των σχέσεων:

$$\sigma_{x,y} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \quad (5.23)$$

$$\sigma_{x,y} \leq \sigma_{\text{ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ}_{(x,y)}} \cdot Z_{95\%} \cdot \text{HDOP} \quad (5.24)$$

$$\sigma_H \leq \sigma_{\text{ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ}_{(H)}} \cdot Z_{95\%} \cdot \text{VDOP} \quad (5.25)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

6.1 Γενικά

Η εφαρμογή περιλαμβάνει τόσο τη διαδικασία ελέγχου όσο και τη διαδικασία διακρίβωσης για τον ίδιο δέκτη, χρησιμοποιώντας κάθε φορά μία από τις διαφορετικές τεχνικές εντοπισμού Single Base RTK ή VRS.

Η εφαρμογή της μεθοδολογίας διακρίνεται στα εξής μέρη:

- Προσδιορισμός των πρότυπων συντεταγμένων των κορυφών (B1 και B2) μιας βάσης ελέγχου, σε τακτά και συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα με σκοπό τη δημιουργία χρονοσειράς παρατηρήσεων, με δέκτη ο οποίος έχει ελεγχθεί σχετικά με την ορθή λειτουργία του και θεωρείται όργανο αναφοράς.

(Οι συντεταγμένες x , y , H των κορυφών B1 και B2 προσδιορίστηκαν με μετρήσεις GPS με την τεχνική Single Base RTK, χρησιμοποιώντας δεδομένα από τον μόνιμο σταθμό 098A του Heros που βρίσκεται στο Χολαργό σε απόσταση περίπου 4100m από τη βάση ελέγχου).

- Μέτρηση των στοιχείων της βάσης ελέγχου με δέκτη της σειράς Trimble R8s.
- Υλοποίηση της διαδικασίας διακρίβωσης δέκτη του συστήματος GNSS.

(Η διαδικασία διακρίβωσης πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τη μέθοδο εντοπισμού Single Base, εφαρμόζοντας και τα δύο στάδια στατιστικής ανάλυσης)

- Υλοποίηση διαδικασίας ελέγχου δέκτη του συστήματος GNSS.

(Όσο αφορά στην εφαρμογή της διαδικασίας ελέγχου χρησιμοποιώντας τη μέθοδο εντοπισμού VRS, δόθηκαν οι αυθαίρετες τιμές (1000m,1000m,100m) στις συντεταγμένες x,y,H του εικονικού σταθμού. Εφόσον όλα τα μεγέθη προκύπτουν ως σχετικές διαφορές συντεταγμένων μεταξύ των τριών κορυφών, δεν επηρεάζεται η επίλυση).

6.2 Πεδίο εφαρμογής

Το πεδίο ελέγχου που υλοποιήθηκε για την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας είναι το ίδιο που χρησιμοποιήθηκε και για την εφαρμογή του ισχύοντος προτύπου ISO 17123-8, όπως περιεγράφηκε στο κεφάλαιο 4.3.

Η βάση ελέγχου αποτελείται από δύο εγκαταστημένα βάθρα και από τον μόνιμο ή εικονικό σταθμό αναφοράς.

Οι συντεταγμένες του μόνιμου σταθμού, που χρησιμοποιείται στην περίπτωση της τεχνικής Single Base RTK παρέχονται από το δίκτυο και εισάγονται χωρίς σφάλμα προσδιορισμού τους στις επιλύσεις.

Αντίστοιχα, οι συντεταγμένες του εικονικού σταθμού στην περίπτωση της μεθόδου VRS δεν είναι γνωστές, διότι το κέντρο ελέγχου του δικτύου μόνιμων σταθμών χωροθετεί τον virtual δέκτη σε κοντινή απόσταση από τη βάση ελέγχου, χωρίς να ενημερώνει για την ακριβή θέση του.

Για τη διαδικασία διακρίβωσης χρησιμοποιείται ένα μόνο από τα βάθρα της βάσης ελέγχου καθώς επίσης και ο μόνιμος ή virtual σταθμός αναφοράς.

Για τη διαδικασία ελέγχου χρησιμοποιούνται και τα δύο βάθρα της βάσης ελέγχου με σκοπό να δημιουργηθεί το γεωμετρικό σχήμα (τρίγωνο), με το οποίο πραγματοποιείται η στατιστική ανάλυση. Ως τρίτη κορυφή του τριγώνου όπως αναφέρθηκε, θεωρείται ο μόνιμος ή virtual σταθμός αναφοράς.

Όσο αφορά στον υπό μελέτη δέκτη GNSS που χρησιμοποιήθηκε στην εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας, είναι της σειράς Trimble R8s όπως ακριβώς περιγράφεται στο κεφάλαιο 4.4.1.

6.3 Οι πρότυπες τιμές

Οι πρότυπες τιμές για τα δύο βάθρα της βάσης ελέγχου προέκυψαν από τη δημιουργία χρονοσειρών μετρήσεων συντεταγμένων. Αξιοποιώντας τη θεωρητική ανάλυση που προηγήθηκε, πραγματοποιήθηκαν 60 σε πλήθος μετρήσεις με σκοπό να εξασφαλίζεται ότι οι πρότυπες τιμές είναι μία τάξης ακρίβειας καλύτερης από την ακρίβεια που παρέχεται από κάθε υπό διακρίβωση δέκτη.

Για όλες τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της μεταπτυχιακής εργασίας έγινε καταγραφή των δεικτών αλλοίωσης της ακρίβειας (PDOP, GDOP) καθώς επίσης και των τιμών οριζοντιογραφικής και υψομετρικής αβεβαιότητας (Horizontal, Vertical Precision) που προσδιορίζονταν σε πραγματικό χρόνο κατά τον προσδιορισμό των συντεταγμένων. Οι τιμές αυτές υπήρξαν διαθέσιμες μέσω της αναφοράς των μετρήσεων όπως παράγεται από το χειριστήριο του δέκτη (Πίνακας 6.1).

Point	VR90	E	480537.249	N	4202800.589	Up	207.996	HDOP	0.9
	Satellites	10	Hz Prec	0.008	Vt Prec	0.011		VDOP	1.1
Point	VR91	E	480537.247	N	4202800.588	Up	207.992	HDOP	1.1
	Satellites	10	Hz Prec	0.009	Vt Prec	0.012		VDOP	1.4
Point	SB90	E	480537.243	N	4202800.576	Up	207.978	HDOP	1.0
	Satellites	9	Hz Prec	0.011	Vt Prec	0.015		VDOP	1.6
Point	SB91	E	480537.257	N	4202800.569	Up	207.983	HDOP	1.7
	Satellites	11	Hz Prec	0.011	Vt Prec	0.014		VDOP	1.9

Πίνακας 6.1 Απόσπασμα (report) διαδικασίας μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο

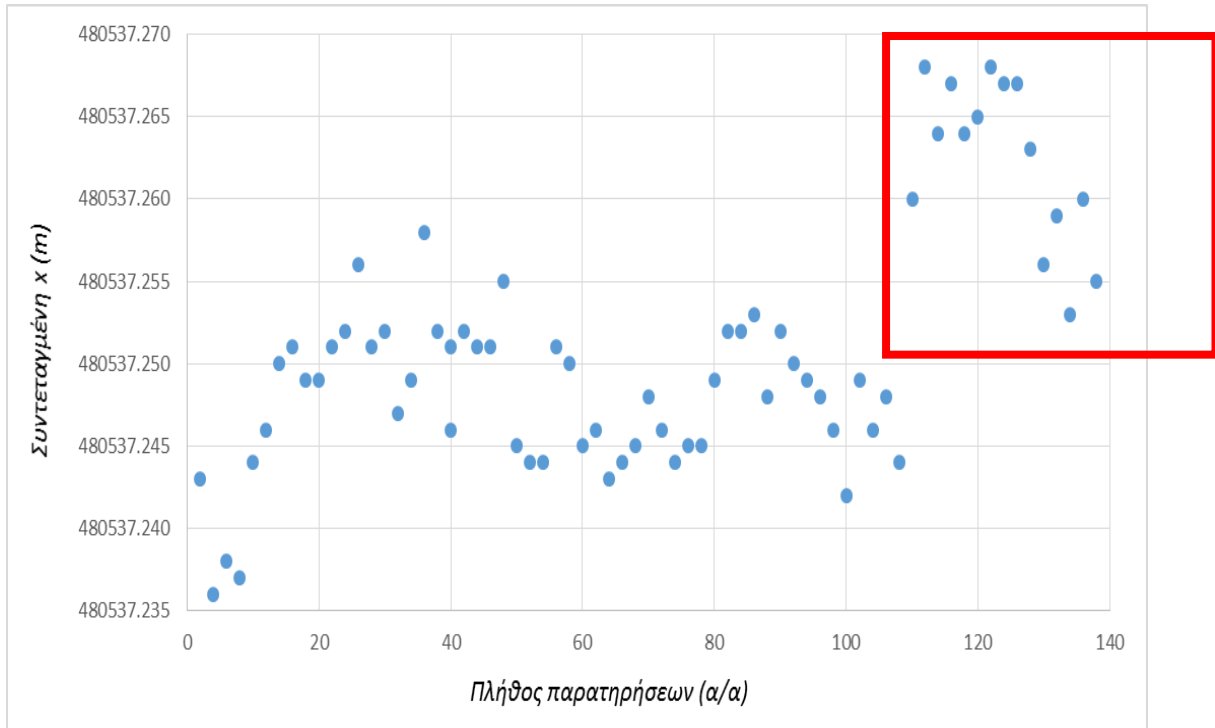
Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας τη μέθοδο εντοπισμού Single Base RTK, αξιοποιώντας το δίκτυο μόνιμων σταθμών HEPOS, όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 4.6, και ειδικότερα τον σταθμό 098A στον Χολαργό.

Στα σχήματα 6.1 – 6.3 παρουσιάζονται ενδεικτικά τυπικές χρονοσειρές συντεταγμένων (x,y,H) του βάθρου B1 της βάσης ελέγχου με μέθοδο εντοπισμού την (Single Base RTK). Οι συντεταγμένες αναφέρονται στο ΕΓΣΑ'87 καθώς οι δέκτες είναι ρυθμισμένοι να προσδιορίζουν συντεταγμένες σε πραγματικό χρόνο στο σύστημα αυτό.

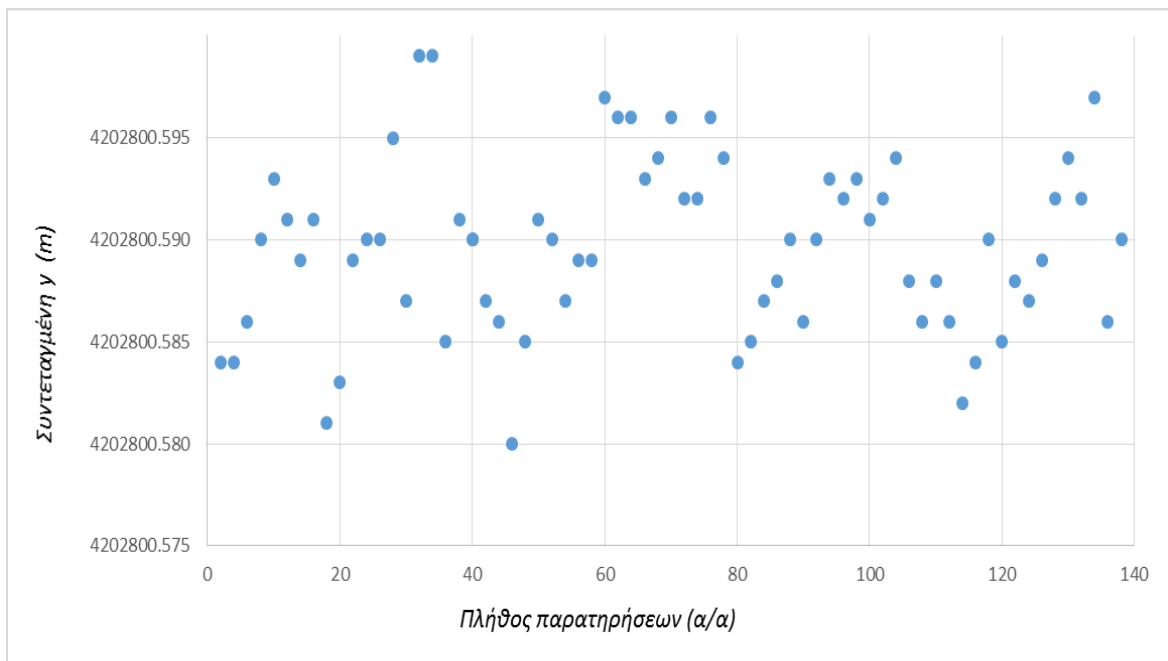
Ο άξονας Y αναφέρεται στις τιμές της κάθε συντεταγμένης και ο άξονας X στον αύξοντα αριθμό των παρατηρήσεων, ο οποίος ακολουθεί και τη χρονική σειρά αυτών καλύπτοντας χρονικό διάστημα από τις 10:00 πμ έως και τις 8:00 μμ.

Από αυτές παρατηρείται η διακύμανση των τιμών των συντεταγμένων μεταξύ των διαφορετικών χρονικών σειρών μέτρησης.

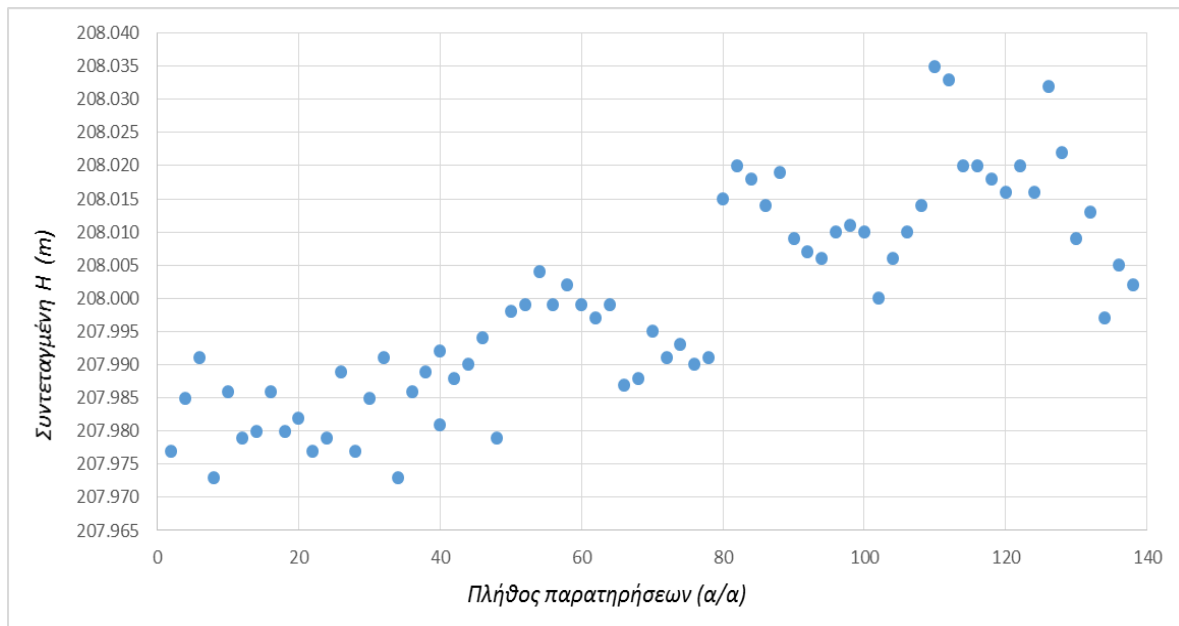
Πιο συγκεκριμένα όσο αφορά στη χρονοσειρά της συντεταγμένης x για το βάθρο B1 προκύπτει ότι οι παρατηρήσεις με αύξοντα αριθμό από 115 και μέχρι το τέλος (χρονική περίοδος μέτρησης 6:00μμ – 8:00μμ) παρουσιάζουν μέγιστες διαφορές από τα υπόλοιπα στοιχεία της χρονοσειράς της τάξης των λίγων (2-3) εκατοστών.



Σχήμα 6.1 Χρονοσειρά συντεταγμένης x του βάρου B1



Σχήμα 6.2 Χρονοσειρά συντεταγμένης y του βάρου B1



Σχήμα 6.3 Χρονοσειρά συνιστώσας Η του βάρους Β1

Το εύρος διακύμανσης των οριζοντιογραφικών συντεταγμένων, από τη μέση τιμή της χρονοσειράς, κυμαίνεται από 1mm έως 20mm, ενώ για το υψόμετρο από 2mm έως 40mm. Οι τιμές που ορίζουν τα εύρη περιλαμβάνονται στην αβεβαιότητα προσδιορισμού συντεταγμένων σύμφωνα με τον κατασκευαστή.

Οι τιμές και των τριών συντεταγμένων που παρουσιάζουν αποκλίσεις μεγαλύτερες από το εύρος διακύμανσης, απομονώνονται και δεν συμμετέχουν στον προσδιορισμό των πρότυπων τόσο για την συντεταγμένη x όσο και για την y και Η. Αυτό για παράδειγμα εμφανίζεται στο σχήμα 6.1, στις τιμές που απεικονίζονται εντός του κόκκινου πλαισίου.

Τα αποτελέσματα της καλύτερης τιμής και των σφαλμάτων προσδιορισμού των πρότυπων τιμών παρουσιάζονται στον πίνακα 6.2.

ΒΑΘΡΟ	x	y	H	M.O PDOP
B1	480537.253±0.5mm	4202800.594±0.5mm	207.998±1.4mm	1.4
B2	480527.593±0.5mm	4202797.801±0.5mm	208.035±1.4mm	1.3

Πίνακας 6.2 Πρότυπες τιμές συντεταγμένων βάσης ελέγχου

6.4 Πειράματα

Η συλλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο δύο ανεξάρτητων πειραμάτων, με σκοπό την ανάπτυξη και τον έλεγχο των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την εφαρμογή τους.

Η διαφορά μεταξύ των δύο πειραμάτων αναφέρεται στην αλλαγή της μεθόδου εντοπισμού που χρησιμοποιείται (VRS ή Single Base RTK)

Στο πρώτο πείραμα χρησιμοποιείται η μέθοδος Single Base RTK, με τον μόνιμο σταθμού 098A του δικτύου HEPOS, ενώ στο δεύτερο χρησιμοποιείται η μέθοδος VRS με εικονικό σταθμό, ο οποίος προκύπτει από τουλάχιστον τρεις μόνιμους σταθμούς του δικτύου HEPOS, σε ένα εύρος περιοχής έως 70 χιλιομέτρων.

Όσο αφορά στη διεξαγωγή των μετρήσεων υπενθυμίζεται ότι:

- Η μεθοδολογία διακρίβωσης προϋποθέτει τον προσδιορισμό των συντεταγμένων (x,y,H) ενός βάθρου της βάσης ελέγχου 15 φορές (3 σειρές, 5 σετ μετρήσεων, 1 βάθρο) (συνολικά 45 τιμές).
- Η μεθοδολογία ελέγχου προϋποθέτει τον προσδιορισμό των συντεταγμένων (x,y,H) και των δύο βάθρων της βάσης ελέγχου 15 φορές (3 σειρές, 5 σετ μετρήσεων, 2 βάθρα) (συνολικά 90 τιμές).

Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τις προδιαγραφές της προτεινόμενης μεθοδολογίας όσον αφορά στο πλήθος των μετρήσεων καθώς επίσης και στα ανεκτά όρια των τιμών των δεικτών (DOP). Επίσης για την υλοποίηση των μετρήσεων προηγήθηκε προμελέτη των συνθηκών (πλήθος, τροχιά και γεωμετρία δορυφορικού σχηματισμού) που θα επικρατούσαν στη βάση ελέγχου κατά τη διάρκεια αυτών, χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Planning του λογισμικού Trimble Business Center (εικόνες 6.1 και 6.2).

Στα παρακάτω διαγράμματα (εικόνα 6.1, 6.2) σχεδιάζεται με μαύρο πλαίσιο το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο πραγματοποιήθηκε κάθε μία από τις τρεις σειρές μετρήσεων. Προϋπόθεση αποτελεί οι τιμές των HDOP και VDOP να είναι μικρότερες από 2 και το πλήθος των παρατηρούμενων δορυφόρων να μην είναι μικρότερο από 8.

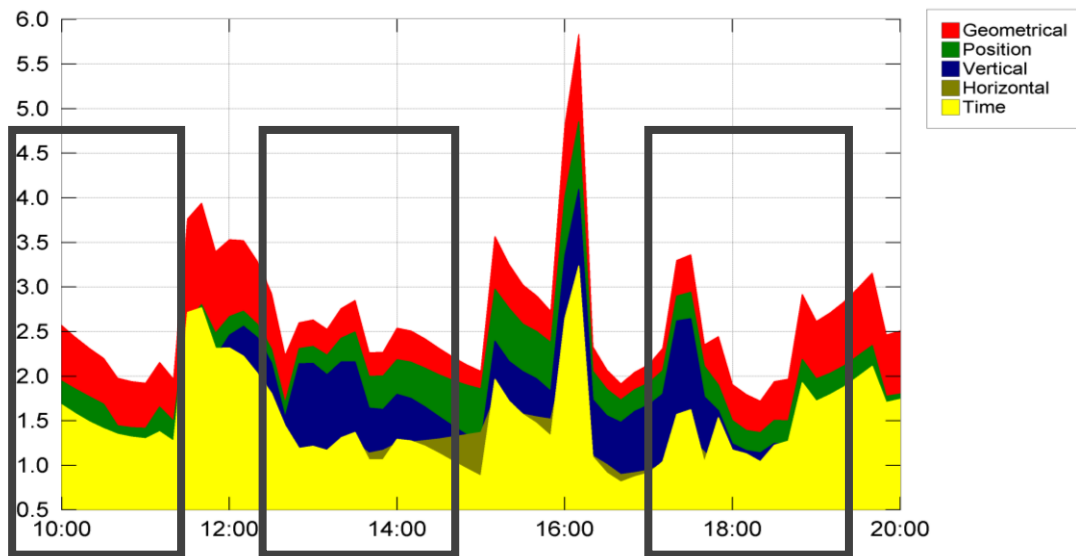
Τα διαγράμματα αυτά απεικονίζουν τη μέγιστη διακύμανση που μπορούν να παρουσιάσουν κάθε χρονική στιγμή τα μεγέθη που μελετώνται, με σκοπό να αποφασιστεί ποιο χρονικό είναι ιδανικό για τις μετρήσεις.

Ωστόσο οι πραγματικές τιμές των δεικτών DOP παρέχονται από τις λεπτομερείς εκθέσεις (reports) των μετρήσεων. Οι τιμές αυτές

αξιοποιούνται για τον υπολογισμό της συνεισφοράς του σφάλματος αυτών (DOP) στους στατιστικούς ελέγχους.

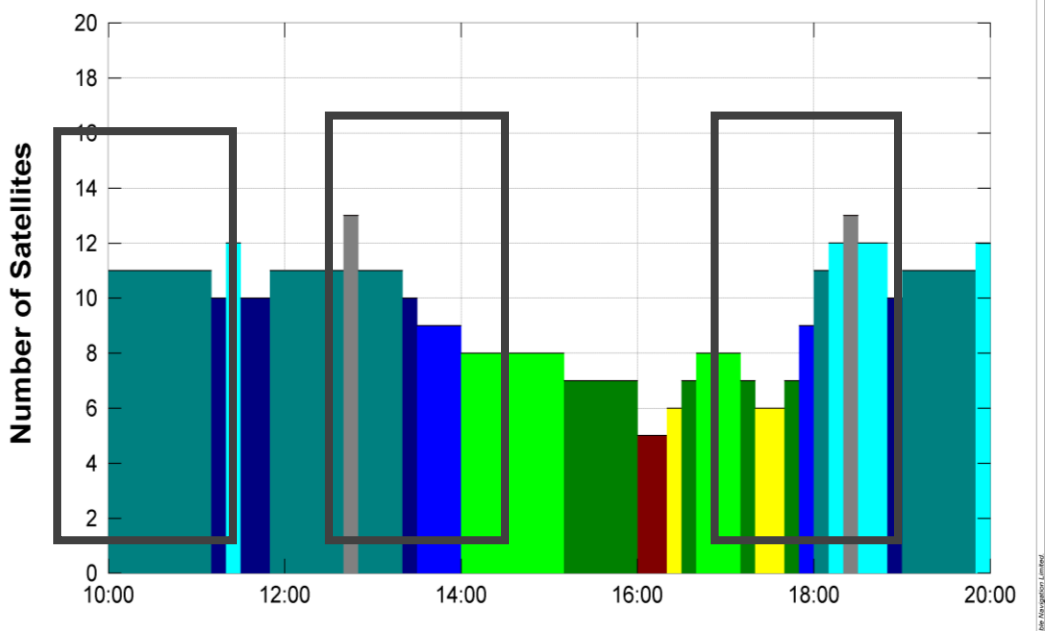
Οι μετρήσεις και για τα δύο πειράματα πραγματοποιήθηκαν την ίδια μέρα, στα χρονικά διαστήματα που ορίζουν οι διαδικασίες της μεθοδολογίας, με τις σειρές μετρήσεων των δυο διαφορετικών πειραμάτων να γίνονται η μία αμέσως μετά την άλλη.

DOP (all)



Εικόνα 6.1 Προεκτίμηση δεικτών αλλοίωσης της ακρίβειας κατά τη διάρκεια των μετρήσεων

Visibility



Εικόνα 6.2 Προεκτίμηση αριθμού δορυφόρων κατά τη διάρκεια των μετρήσεων

6.5 Διακρίβωση δέκτη GNSS

6.5.1 Με χρήση εικονικού σταθμού VRS

Το πρώτο πείραμα αντιστοιχεί στην υλοποίηση της προτεινόμενης μεθοδολογίας με χρήση της μεθόδου εντοπισμού VRS.

Αν και η διακρίβωση του δέκτη απαιτεί τον προσδιορισμό των συντεταγμένων ενός μόνο βάθρου, έγινε η επίλυση και με τα στοιχεία του δεύτερου βάθρου ξεχωριστά με σκοπό να εξεταστεί η αξιοπιστία της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

Στον πίνακα 6.4 περιλαμβάνονται οι συντεταγμένες που προσδιορίστηκαν καθώς επίσης και ο μέσος όρος των τιμών των δεικτών DOP για κάθε διαφορετική σειρά μετρήσεων για το **βάθρο B1**.

α/α	Σειρά	Σετ	x (m)	y (m)	H (m)	DOP	Πλήθος Δορυφόρων
1	1 ^η	1	480537.245	4202800.597	207.999	PDOP=1.4 HDOP=0.8 VDOP=1.1	11
2		2	480537.246	4202800.596	207.997		
3		3	480537.243	4202800.596	207.999		
4		4	480537.244	4202800.593	207.987		
5		5	480537.245	4202800.594	207.988		
6	2 ^η	1	480537.252	4202800.586	208.009	PDOP=1.6 HDOP=0.9 VDOP=1.3	12
7		2	480537.250	4202800.590	208.007		
8		3	480537.249	4202800.593	208.006		
9		4	480537.248	4202800.592	208.010		
10		5	480537.246	4202800.593	208.011		
11	3 ^η	1	480537.256	4202800.594	208.009	PDOP=1.8 HDOP=1.0 VDOP=1.6	11
12		2	480537.259	4202800.592	208.013		
13		3	480537.253	4202800.597	207.997		
14		4	480537.260	4202800.586	208.005		
15		5	480537.255	4202800.591	208.002		

Πίνακας 6.4 Μετρήσεις διαδικασίας διακρίβωσης για το βάθρο B1

Για τον υπό διακρίβωση δέκτη GNSS εφαρμόστηκε ανεξάρτητα η διαδικασία διακρίβωσης χρησιμοποιώντας και τις μετρήσεις του βάθρου B2 (Πίνακας 6.5).

α/α	Σειρά	Σετ	x (m)	y (m)	H (m)	DOP	Πλήθος Δορυφόρων
1	1 ^η	1	480527.582	4202797.801	208.035	PDOP=1.4 HDOP=0.8 VDOP=1.1	11
2		2	480527.582	4202797.799	208.033		
3		3	480527.583	4202797.802	208.039		
4		4	480527.583	4202797.800	208.025		
5		5	480527.586	4202797.803	208.030		
6	2 ^η	1	480527.591	4202797.799	208.036	PDOP=1.6 HDOP=0.9 VDOP=1.3	12
7		2	480527.59	4202797.800	208.045		
8		3	480527.588	4202797.804	208.044		
9		4	480527.586	4202797.804	208.046		
10		5	480527.584	4202797.803	208.044		
11	3 ^η	1	480527.597	4202797.801	208.045	PDOP=1.8 HDOP=1.0 VDOP=1.6	11
12		2	480527.598	4202797.801	208.036		
13		3	480527.593	4202797.800	208.039		
14		4	480527.597	4202797.797	208.039		
15		5	480527.598	4202797.796	208.036		

Πίνακας 6.5 Μετρήσεις διαδικασίας διακρίβωσης για το βάθρο B2

Από τα στοιχεία των πινάκων 6.4 και 6.5 προκύπτουν οι καλύτερες τιμές των διαφορών μεταξύ πρότυπων και μετρημένων συντεταγμένων ($\hat{\Delta}_x, \hat{\Delta}_y, \hat{\Delta}_H$) και για τα βάθρα B1 και B2 της βάσης ελέγχου. Επίσης προκύπτουν και τα σφάλματα προσδιορισμού των καλύτερων τιμών αυτών, τα οποία παρουσιάζονται στον πίνακα 6.6.

ΒΑΘΡΟ	$\hat{\Delta}_x$	$\hat{\Delta}_y$	$\hat{\Delta}_H$
B1	-3.1mm±0.3mm	1.1mm±0.3mm	4.9mm±0.7mm
B2	-3.8mm±0.5mm	1.6mm±0.3mm	3.6mm±0.7mm

Πίνακας 6.6 Καλύτερες τιμές διαφορών συντεταγμένων και σφάλματα προσδιορισμού για τα βάθρα B1 και B2

Στη συνέχεια προσδιορίζονται οι τιμές των σφαλμάτων προσδιορισμού για τον έλεγχο καθώς και η συνεισφορά των δεικτών DOP μέσω των επιμέρους σχέσεων.

Οι τιμές ελέγχου έχουν προκύψει από τις σχέσεις 5.6 και 5.7 ως εξής:

$$\sigma_{\Delta_{x,y}} = \pm\sqrt{(8 \cdot 0.9)^2 + (0.7)^2} = \pm 7.2\text{mm}$$

Όπου $\sigma_{(x_i, y_i)_{\text{ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ}}} = \pm 8\text{mm}$, $\text{HDOP}=0.9$ και $\sigma_{(x_i, y_i)_{\text{ΠΡΟΤΥΠΟ}}} = \pm 0.7\text{mm}$

$$\sigma_{\Delta_H} = \pm\sqrt{(15 \cdot 1.3)^2 + (1.4)^2} = \pm 19.5\text{mm}$$

Όπου $\sigma_{(H_i)_{\text{ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ}}} = \pm 15\text{mm}$, $\text{VDOP}=1.3$ και $\sigma_{(H_i)_{\text{ΠΡΟΤΥΠΟ}}} = \pm 1.4\text{mm}$

Οι τιμές της αβεβαιότητας προσδιορισμού συντεταγμένων σύμφωνα με τον κατασκευαστή έχουν υπολογιστεί σύμφωνα με τα στοιχεία του Πίνακα 4.3 του Κεφαλαίου 4.4.

Για τον προσδιορισμό της συνεισφοράς του σφάλματος (DOP) χρησιμοποιούνται αντίστοιχα η μέση τιμή του HDOP και VDOP, όπως έχουν προκύψει από τις τρεις σειρές μετρήσεων.

Τα αποτελέσματα σχετικά με την ορθή λειτουργία του δέκτη παρέχονται μέσω της ικανοποίησης της συνθήκης 5.5, όπου για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

ΒΑΘΡΟ B1	$ \hat{\Delta}_{x,y} \leq z_{95\%} \cdot \sigma_{\Delta_{x,y}} \Leftrightarrow 3.3\text{mm} \leq 1.96 \cdot 7.2\text{mm}$	ΙΣΧΥΕΙ
	$ \hat{\Delta}_H \leq z_{95\%} \cdot \sigma_{\Delta_H} \Leftrightarrow 4.9\text{mm} \leq 1.96 \cdot 19.5\text{mm}$	ΙΣΧΥΕΙ
ΒΑΘΡΟ B2	$ \hat{\Delta}_{x,y} \leq z_{95\%} \cdot \sigma_{\Delta_{x,y}} \Leftrightarrow 4.2\text{mm} \leq 1.96 \cdot 7.2\text{mm}$	ΙΣΧΥΕΙ
	$ \hat{\Delta}_H \leq z_{95\%} \cdot \sigma_{\Delta_H} \Leftrightarrow 3.6\text{mm} \leq 1.96 \cdot 19.5\text{mm}$	ΙΣΧΥΕΙ

Πίνακας 6.6α Αποτελέσματα διακρίβωσης δέκτη με τη μέθοδο VRS για τα βάθρα B1 και B2

Επομένως ο δέκτης που διακριβώνεται είναι ικανός να πραγματοποιεί παρατηρήσεις, οι οποίες δεν έχουν απόκλιση από τις πρότυπες τιμές, μεγαλύτερη από την ονομαστική του αβεβαιότητα.

Από τα αποτελέσματα σχετικά με τη διακρίβωση του δέκτη προκύπτει ότι είτε χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις από το βάθρο B1 είτε από το βάθρο B2, αυτά παραμένουν συμβατά και εξάγουν το ίδιο συμπέρασμα για τον δέκτη.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί με τη χρήση της μεθόδου εντοπισμού VRS δεν είναι δυνατή η διεξαγωγή του δεύτερου σταδίου των στατιστικών ελέγχων, επειδή δεν είναι γνωστές οι συντεταγμένες του virtual σταθμού. Σε περίπτωση όμως που από κάποιο σύγχρονο δίκτυο

σταθμών παρέχονται οι τιμές του virtual σταθμού, συνίσταται η εφαρμογή ολόκληρης της διαδικασίας διακρίβωσης. Με την εφαρμογή ολόκληρης της διαδικασίας παρέχεται πλήρης εποπτεία των μετρήσεων.

6.5.2 Με χρήση μόνιμου σταθμού Single Base RTK

Το δεύτερο πείραμα αντιστοιχεί στην υλοποίηση της προτεινόμενης μεθοδολογίας διακρίβωσης ενός δέκτη GNSS με χρήση της μεθόδου εντοπισμού Single Base RTK. Εφόσον χρησιμοποιείται αυτή η μέθοδος και είναι γνωστές οι συντεταγμένες του μόνιμου σταθμού αναφοράς που χρησιμοποιείται, μπορεί να πραγματοποιηθεί και το δεύτερο στάδιο της στατιστικής ανάλυσης.

✓ Πρώτο στάδιο στατιστικών ελέγχων

Στον πίνακα 6.7 περιλαμβάνονται οι συντεταγμένες που προσδιορίστηκαν καθώς επίσης και ο μέσος όρος των τιμών των δεικτών αλλοίωσης της ακρίβειας για κάθε διαφορετική σειρά μετρήσεων.

a/a	Σειρά	Σετ	x (m)	y (m)	H (m)	DOP	Πλήθος Δορυφόρων
1	1 ^η	1	480537.253	4202800.595	207.986	PDOP=1.4 HDOP=0.8 VDOP=1.1	11
2		2	480537.252	4202800.594	207.984		
3		3	480537.249	4202800.593	207.989		
4		4	480537.250	4202800.595	207.987		
5		5	480537.251	4202800.600	207.996		
6	2 ^η	1	480537.249	4202800.594	208.007	PDOP=1.6 HDOP=1.1 VDOP=1.2	12
7		2	480537.249	4202800.597	208.003		
8		3	480537.251	4202800.598	208.016		
9		4	480537.250	4202800.595	208.024		
10		5	480537.252	4202800.599	208.008		
11	3 ^η	1	480537.254	4202800.594	207.988	PDOP=1.8 HDOP=1.0 VDOP=1.6	11
12		2	480537.255	4202800.594	207.986		
13		3	480537.256	4202800.592	207.994		
14		4	480537.256	4202800.592	207.989		
15		5	480537.257	4202800.589	207.992		

Πίνακας 6.7 Μετρήσεις διαδικασίας διακρίβωσης για το βάθρο B1

Προκύπτουν οι μέσες τιμές όπως στην παράγραφο 6.2.1

ΒΑΘΡΟ	$\hat{\Delta}_x$	$\hat{\Delta}_y$	$\hat{\Delta}_H$
B1	-3.1mm±0.5mm	3.3mm±0.3mm	5.1mm±1.2mm

Πίνακας 6.8 Μέσες τιμές διαφορών συντεταγμένων και σφάλματα προσδιορισμού αυτών για το βάθρο B1

Τα αποτελέσματα σχετικά με την ορθή λειτουργία του δέκτη παρέχονται μέσω της ικανοποίησης της συνθήκης 5.5, όπου για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%

$ \hat{\Delta}_{x,y} \leq z_{95\%} \cdot \sigma_{\Delta_{x,y}} \Leftrightarrow 4.5\text{mm} \leq 1.96 \cdot 8.1\text{mm}$	ΙΣΧΥΕΙ
$ \hat{\Delta}_H \leq z_{95\%} \cdot \sigma_{\Delta_H} \Leftrightarrow 5.1\text{mm} \leq 1.96 \cdot 20.2\text{mm}$	ΙΣΧΥΕΙ

Οι τιμές ελέγχου υπολογίζονται όμοια με προηγουμένως και έχουν προκύψει από τις σχέσεις 5.6 και 5.7 ως εξής:

$$\sigma_{\Delta_{x,y}} = \pm \sqrt{(8.94 \cdot 0.9)^2 + (0.7)^2} = \pm 8.1\text{mm}$$

Όπου $\sigma_{(x_i, y_i)_{\text{ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ}}} = \pm 8.94\text{mm}$, HDOP=0.9 και $\sigma_{(x_i, y_i)_{\text{ΠΡΟΤΥΠΟ}}} = \pm 0.7\text{mm}$

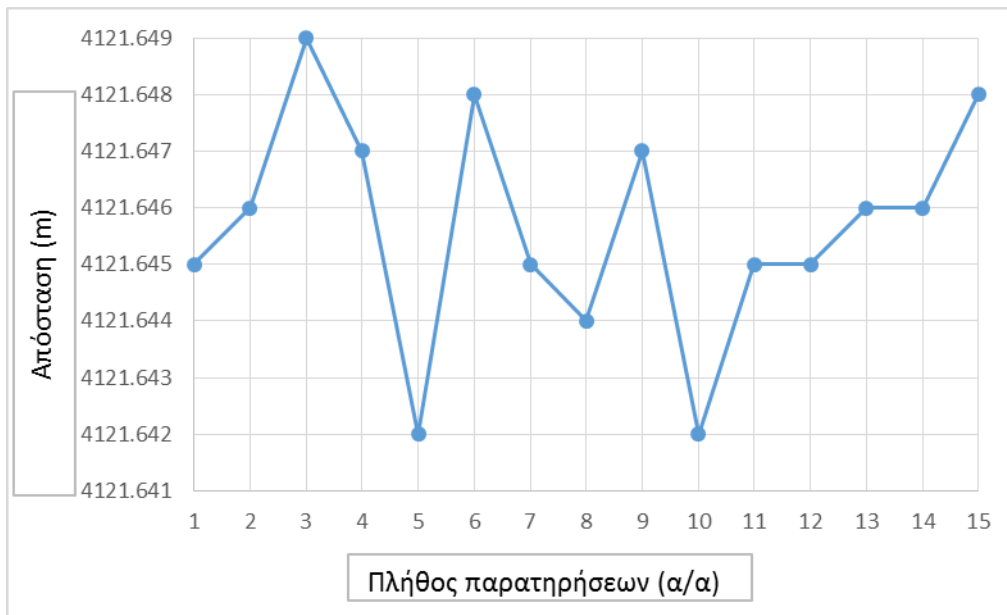
$$\sigma_{\Delta_H} = \pm \sqrt{(15.52 \cdot 1.3)^2 + (1.4)^2} = \pm 20.2\text{mm}$$

Όπου $\sigma_{(H_i)_{\text{ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ}}} = \pm 15.52\text{mm}$, VDOP=1.3 και $\sigma_{(H_i)_{\text{ΠΡΟΤΥΠΟ}}} = \pm 1.4\text{mm}$

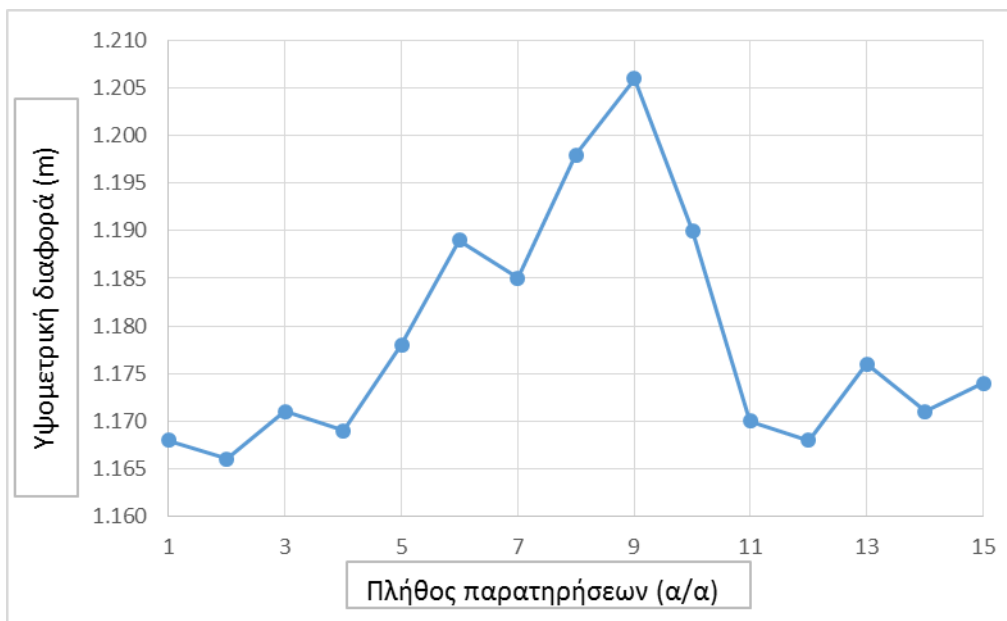
✓ Δεύτερο στάδιο στατιστικών ελέγχων

Αρχικά προσδιορίζονται οι τιμές της απόστασης και της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ του μόνιμου σταθμού και του πλήθους των μετρήσεων που έχουν πραγματοποιηθεί για το βάθρο B1.

Με σκοπό την άμεση αντίληψη και σύγκριση των υπολογισμένων τιμών, δημιουργήθηκαν διαγράμματα. Αυτά αναφέρονται στην διακύμανση των υπολογισμένων τιμών από τη μέση τιμή του μεγέθους, και κυμαίνονται από 0-4 mm όσο αφορά στις αποστάσεις (σχήμα 6.4) και από 3-30 mm στις υψομετρικές διαφορές (σχήμα 6.5).



Σχήμα 6.4 Υπολογισμένες τιμές αποστάσεων



Σχήμα 6.5 Υπολογισμένες τιμές υψομετρικών διαφορών

Οι αντίστοιχες πρότυπες τιμές απόστασης και υψομετρικής διαφοράς προκύπτουν από τον υπολογισμό των ίδιων στοιχείων χρησιμοποιώντας όμως τις πρότυπες τιμές συντεταγμένων του βάθρου B1 (Πίνακας 6.2).

ΠΡΟΤΥΠΕΣ ΤΙΜΕΣ (ΜΟΝΙΜΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ 098 ^A – ΒΑΘΡΟ Β1)	
ΑΠΟΣΤΑΣΗ S	4121.646 m
ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΔΗ	1.179 m

Πίνακας 6.10 Πρότυπες τιμές απόστασης και υψομετρικής διαφοράς

Όπου:

ΣΤΑΘΜΟΣ	x (m)	y (m)	H (m)
098A	482571.321	4206385.358	206.818

Το σύστημα εξισώσεων περιλαμβάνει κάθε φορά 15 εξισώσεις που αναφέρονται στις αποστάσεις και 15 στις υψομετρικές διαφορές. Η επίλυση πραγματοποιείται χωριστά για τα δύο μεγέθη.

Προσδιορίζεται για κάθε μέγεθος η κλίμακα του συστήματος, όπου η μία αναφέρεται στον προσδιορισμό της απόστασης και η άλλη στον προσδιορισμό της υψομετρικής διαφοράς.

Τα αποτελέσματα του δεύτερου σταδίου της διαδικασίας διακρίβωσης ελέγχονται ως προς τη στατιστική σημαντικότητά τους σύμφωνα με τη σχέση 5.13. Προκύπτει ότι οι τιμές των παραμέτρων α, β είναι στατιστικά σημαντικές.

ΜΕΓΕΘΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑ	α	σ_{α}	β (mm)	σ_{β} (mm)	σ_0 (mm)
S	± 12.6mm	0.9999	$4.12 \cdot 10^{-4}$	-2.1	±0.2	±1.5
ΔH	± 15.5mm	1.0001	$6.9 \cdot 10^{-4}$	-3.2	±0.8	±1.3

Πίνακας 6.11 Αποτελέσματα δεύτερου σταδίου διαδικασίας διακρίβωσης

Η ονομαστική ακρίβεια προσδιορισμού της απόστασης και της υψομετρικής διαφοράς υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τις τιμές που θεωρεί ο κατασκευαστής για τον προσδιορισμό συντεταγμένων και εφαρμόζοντας τον νόμο μετάδοσης των σφαλμάτων (σχέσεις 5.14, 5.15). Όπως έχει ήδη αναφερθεί τα στοιχεία που αναφέρονται στον μόνιμο σταθμό εισάγονται στην επίλυση χωρίς σφάλμα.

Πιο συγκεκριμένα:

$$\sigma_D = \pm \sqrt{2} \cdot (\sigma_{\text{ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ}(x,y)} \cdot \text{HDOP}) = \pm 12.6\text{mm}$$

$$\sigma_{\Delta H} = \pm \sigma_{\text{ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ}(H)} \cdot \text{VDOP} = \pm 15.5\text{mm}$$

Άρα ο δέκτης που διακριβώθηκε πραγματοποιεί μετρήσεις χωρίς να εισάγει θόρυβο στις μετρήσεις αποστάσεων και υψομετρικών διαφορών (μεγάλες τιμές σφαλμάτων), διότι για κάθε διαφορετική επίλυση ισχύει ότι τόσο οι τιμές του συστηματικού (β) όσο και του τυχαίου (σ_0) σφάλματος είναι μικρότερες από την ονομαστική ακρίβεια.

Επομένως ο διακριβωμένος δέκτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για γεωδαιτικές εφαρμογές συνολικής επιδιωκόμενης ακρίβειας (σ_ε) που ορίζεται από την σχέση 5.16α σε:

$$\sigma_\varepsilon(D) \geq \pm\sqrt{\sigma_0^2 + \beta^2} \Rightarrow \sigma_\varepsilon(D) \geq \pm 4.9\text{mm}$$

$$\sigma_\varepsilon(\Delta H) \geq \pm\sqrt{\sigma_0^2 + \beta^2} \Rightarrow \sigma_\varepsilon(\Delta H) \geq \pm 6.3\text{mm}$$

Από την ανεξάρτητη εφαρμογή και των δύο σταδίων στατιστικών ελέγχων παρατηρείται ότι προκύπτει το ίδιο αποτέλεσμα σχετικά με την διακρίβωση του δέκτη, καθώς τα αποτελέσματα είναι συμβατά μεταξύ τους.

Επίσης, όπως και προηγουμένως, η διαδικασία διακρίβωσης εφαρμόστηκε ανεξάρτητα χρησιμοποιώντας και τις μετρήσεις του βάθρου B2 και προέκυψαν αντίστοιχα συμβατά αποτελέσματα.

6.6 Έλεγχος δέκτη GNSS

6.6.1 Με χρήση εικονικού σταθμού VRS

Οι μετρήσεις που αφορούν στη διαδικασία ελέγχου είναι οι ίδιες με εκείνες (και για τα δύο βάθρα) που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία της διακρίβωσης, μόνο που σε αυτήν την περίπτωση συμμετέχουν όλες στην επίλυση (Πίνακες 6.4, 6.5).

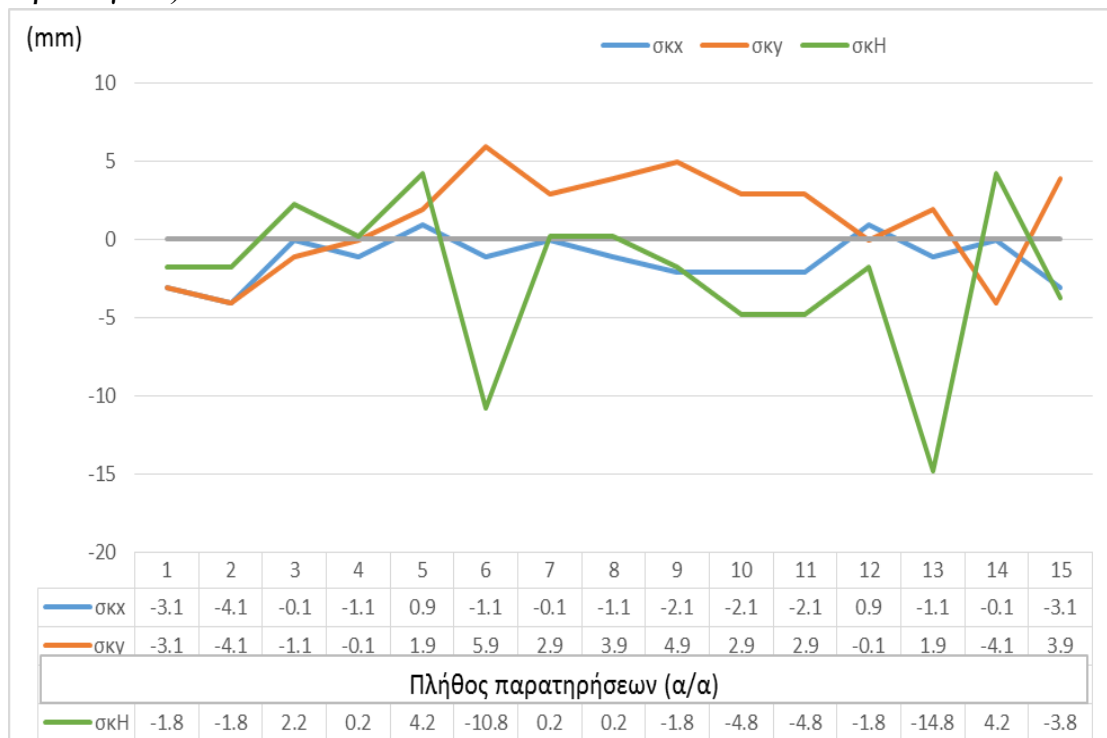
Η διαδικασία ελέγχου αναφέρεται στον προσδιορισμό του σφάλματος κλεισίματος των τριγώνων που δημιουργούνται μεταξύ των κορυφών που ορίζουν ο virtual σταθμός αναφοράς και τα δύο βάθρα της βάσης ελέγχου.

Οι συνιστώσες κάθε πλευράς του τριγώνου, προκύπτουν από αφαίρεση των συντεταγμένων κάθε βάθρου που μετρούνται, και των συντεταγμένων του virtual σταθμού που όπως έχει αναφερθεί θεωρούνται (1000,1000,100).

Οι αντίστοιχες τιμές της τρίτης πλευράς (βάση B1-B2) του τριγώνου (μεταξύ των δύο βάθρων) παραμένει σταθερή και συμμετέχει στην επίλυση χωρίς σφάλμα και ορίζεται αυθαίρετα σε $\Delta x = -10.000\text{m}$, $\Delta y = -4.000\text{m}$ $\Delta H = 0.040\text{m}$.

Επομένως οι μετρήσεις 15 ζευγών συντεταγμένων που αναφέρονται στα βάθρα B1 και B2 δημιουργούν 15 τρίγωνα που συμμετέχουν στην επίλυση.

Στο διάγραμμα (σχήμα 6.6), παρουσιάζονται τα υπολογισμένα σφάλματα κλεισίματος, σύμφωνα με τις εξισώσεις 5.18 – 5.20, για κάθε συντεταγμένη ξεχωριστά. Θετική φορά υπολογισμού του τριγώνου θεωρήθηκε η δεξιόστροφη - clockwise (όπως η φορά των δεικτών του ρολογιού).



Σχήμα 6.6 Υπολογισμένες τιμές σφαλμάτων κλεισίματος σ_{kx} , σ_{ky} , σ_{kH} (μέθοδος VRS)

Από τα στοιχεία των διαγραμμάτων προκύπτουν οι μέσες τιμές των σφαλμάτων κλεισίματος που μέσω της εξίσωσης 5.22 μετατρέπονται στα σφάλματα προσδιορισμού των πλευρών, τα οποία παρουσιάζονται στον πίνακα 6.13.

ΣΦΑΛΜΑ ΚΛΕΙΣΙΜΑΤΟΣ	σ_{kx} (mm)	σ_{ky} (mm)	σ_{kH} (mm)
		± 0.9	± 1.1
ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΠΛΕΥΡΩΝ	$\sigma_{\Delta x}$ (mm)	$\sigma_{\Delta y}$ (mm)	$\sigma_{\Delta H}$ (mm)
	± 1.3	± 2.3	± 3.5

Πίνακας 6.13 Υπολογισμός μέσης τιμής σφαλμάτων κλεισίματος (μέθοδος VRS)

Όπως και προηγουμένως για τον υπολογισμό της τιμής των δεικτών αλλοίωσης (DOP), χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες τιμές των δεικτών HDOP και VDOP όπως προέκυψαν από τις διαφορετικές σειρές μετρήσεων.

Αντίστοιχα για την εύρεση της αβεβαιότητας προσδιορισμού συντεταγμένων σύμφωνα με τον κατασκευαστή χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.4 του Κεφαλαίου 4.4.

Επομένως από την εφαρμογή των σχέσεων 5.23 – 5.25 θα ισχύει:

$\sigma_{x,y} \leq \sigma_{\text{ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ}(x,y)} \cdot Z_{95\%} \cdot \text{HDOP} \Leftrightarrow 2.6\text{mm} \leq 16.4\text{mm}$	ΙΣΧΥΕΙ
$\sigma_H \leq \sigma_{\text{ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ}(H)} \cdot Z_{95\%} \cdot \text{VDOP} \Leftrightarrow 3.5\text{mm} \leq 29.4\text{mm}$	ΙΣΧΥΕΙ

Παρατηρείται ότι όλες οι επιμέρους αβεβαιότητες ικανοποιούν τις συνθήκες ελέγχου επομένως προκύπτει συμπέρασμα σχετικά με την ορθή λειτουργία του δέκτη μέσω της ικανοποίησης των συνθηκών ελέγχου, όπως περιεγράφηκαν στο στάδιο των στατιστικών ελέγχων.

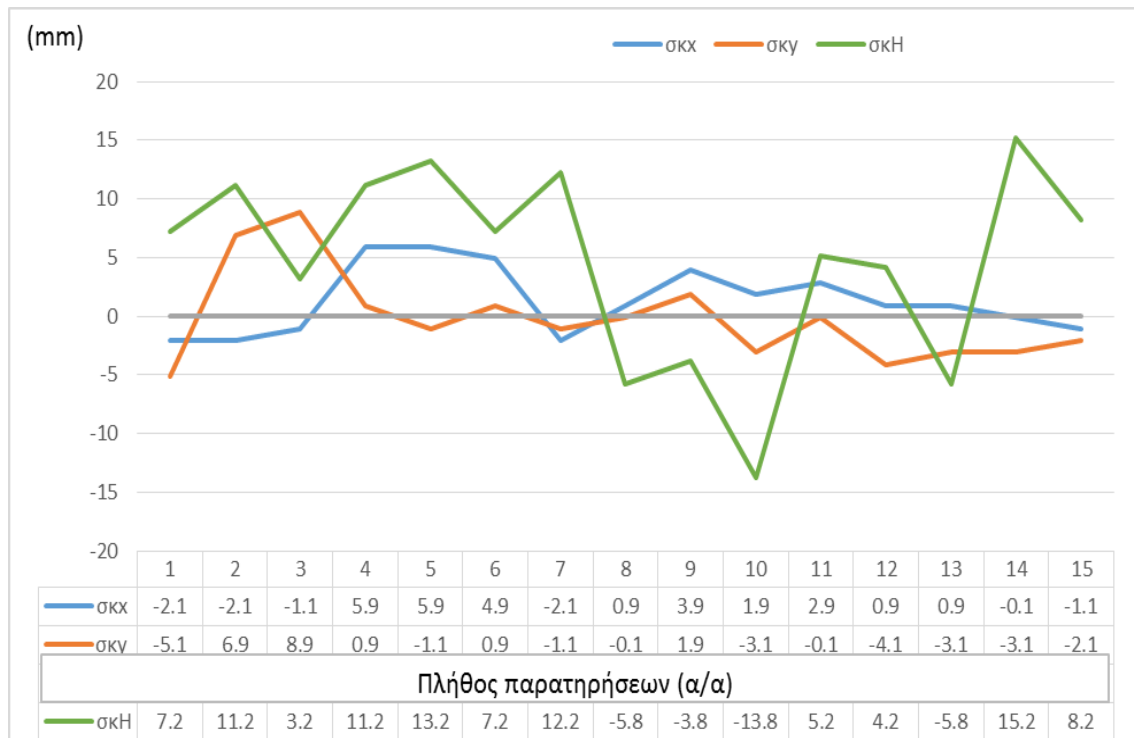
Η σύγκριση της αβεβαιότητας προσδιορισμού των οριζοντιογραφικών συντεταγμένων και του ορθομετρικού υψομέτρου, με τις αντίστοιχες ονομαστικές, επιβεβαιώνει ότι ο δέκτης λειτουργεί όπως ορίζει ο κατασκευαστής για ένα συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης και τιμές DOP. Άρα συμπεραίνεται η εσωτερική ακρίβεια του υπό μελέτη δέκτη GNSS.

6.6.2 Έλεγχος δέκτη GNSS με χρήση μόνιμου σταθμού Single Base RTK

Σύμφωνα με το μαθηματικό μοντέλο της διαδικασίας ελέγχου κάθε συνιστώσα του τριγώνου προκύπτει από αφαίρεση των συντεταγμένων κάθε βάρθρου που προσδιορίζονται, και των συντεταγμένων του κοντινότερου μόνιμου σταθμού 098A στον Χολαργό. Οι συντεταγμένες του μόνιμου σταθμού είναι γνωστές από την Κτηματολόγιο Α.Ε, που είναι υπεύθυνη για τη διαχείριση του δικτύου. Οι συντεταγμένες του μόνιμου σταθμού συμπεριλαμβάνονται στις επιλύσεις χωρίς να εισάγουν σφάλμα.

Η τιμή της τρίτης πλευράς του τριγώνου (μεταξύ των δύο βάρθρων) παραμένει σταθερή και ορίζεται αυθαίρετα σε $\Delta x = -10.000\text{m}$, $\Delta y = -4.000\text{m}$, $\Delta H = 0.040\text{m}$.

Στο διαγράμματα (σχήμα 6.7) παρουσιάζονται τα υπολογισμένα σφάλματα κλεισίματος, σύμφωνα με τις εξισώσεις 5.18 – 5.20, για κάθε συνταγμένη ξεχωριστά. Θετική φορά υπολογισμού του τριγώνου θεωρήθηκε η δεξιόστροφη (clockwise).



Σχήμα 6.7 Υπολογισμένες τιμές σφαλμάτων κλεισίματος σ_{kx} , σ_{ky} , σ_{kH} (μέθοδος Single Base RTK)

Όμοια με προηγουμένως προκύπτουν οι καλύτερες τιμές των σφαλμάτων κλεισίματος που μέσω της εξίσωσης 5.22 μετατρέπονται στα σφάλματα προσδιορισμού των πλευρών, τα οποία παρουσιάζονται στον πίνακα 6.15.

ΣΦΑΛΜΑ ΚΛΕΙΣΙΜΑΤΟΣ	σ_{kx} (mm)	σ_{ky} (mm)	σ_{kH} (mm)
		±1.3	±2.1
ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΠΛΕΥΡΩΝ	$\sigma_{\Delta x}$ (mm)	$\sigma_{\Delta y}$ (mm)	$\sigma_{\Delta H}$ (mm)
	±2.0	±2.7	±3.8

Πίνακας 6.15 Υπολογισμός μέσης τιμής σφάλματος κλεισίματος (μέθοδος Single Base RTK)

Επομένως από την εφαρμογή των σχέσεων 5.23 – 5.25 θα έχουμε:

$\sigma_{x,y} \leq \sigma_{\text{ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ}(x,y)} \cdot Z_{95\%} \cdot \text{HDOP} \Leftrightarrow 3.4\text{mm} \leq 18.2\text{mm}$	ΙΣΧΥΕΙ
$\sigma_H \leq \sigma_{\text{ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗ}(H)} \cdot Z_{95\%} \cdot \text{VDOP} \Leftrightarrow 3.8\text{mm} \leq 33.8\text{mm}$	ΙΣΧΥΕΙ

Παρατηρείται ότι όλες οι επιμέρους αβεβαιότητες ικανοποιούν τις συνθήκες ελέγχου επομένως προκύπτει συμπέρασμα σχετικά με την ορθή λειτουργία του δέκτη μέσω της ικανοποίησης των συνθηκών ελέγχου, όπως περιεγράφηκαν στο στάδιο των στατιστικών ελέγχων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

7.1 Συμπεράσματα

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας αποτελεί η πρόταση μίας μεθοδολογίας ελέγχου και διακρίβωσης ενός μόνο δέκτη GNSS χρησιμοποιώντας τις σύγχρονες τεχνικές εντοπισμού *VRS* και *Single Base RTK*. Και στις δύο περιπτώσεις αξιοποιήθηκε το επίσημο κρατικό δίκτυο μόνιμων σταθμών συνεχούς λειτουργίας *HEPOS*.

Για να προκύψουν τα χαρακτηριστικά της προτεινόμενης μεθοδολογίας προηγήθηκε:

- Η έρευνα και καταγραφή των διαδικασιών ελέγχου, διακρίβωσης και βαθμονόμησης δεκτών GNSS, που έχουν αναπτυχθεί παγκοσμίως. Με αυτόν τον τρόπο προέκυψαν όλες οι συμπληρώσεις και μεταβολές που έχουν εισάγει τα διαφορετικά κράτη στις συνήθειες διαδικασίες και αφορούν στην ορθή λειτουργία των δορυφορικών δεκτών.
- Η μελέτη σχετικά με τη δυνατότητα εφαρμογής του προτύπου ISO 17123-8 για τον έλεγχο ενός δέκτη GNSS.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία ελέγχου και διακρίβωσης αποτελεί ένα πρώτο βήμα για την συμπλήρωση του ισχύοντος προτύπου ISO 17123-8, με σκοπό να προκύπτει συμπέρασμα σχετικά με την ορθή λειτουργία του ενός μόνο δέκτη, που κατέχει πλέον και χρησιμοποιεί η πλειονότητα των μηχανικών.

Τα χαρακτηριστικά της αναπτύχθηκαν, ώστε να διευκολύνουν την διαδικασία ελέγχου αλλά να μην διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό από την οργάνωση των υπαρχόντων προτύπων ελέγχου και διακρίβωσης γεωδαιτικού εξοπλισμού.

Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της προτεινόμενης μεθοδολογίας αποτελούν:

- Η αξιοποίηση ενός δικτύου μόνιμων σταθμών αναφοράς συνεχούς λειτουργίας.
- Ο μικρός αριθμός μετρήσεων που χρειάζονται για την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων.
- Η μελέτη, ανάλυση και συμμετοχή των δεικτών αλλοίωσης της ακρίβειας DOP στη στατιστική ανάλυση.

- Η μελέτη και ανάλυση του ρόλου της επαναληψιμότητας των μετρήσεων σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα.
- Η δημιουργία χρονοσειράς μετρήσεων για τον προσδιορισμό των πρότυπων τιμών του πεδίου ελέγχου.
- Το απλό μαθηματικό μοντέλο με το οποίο προεκτιμάται η αβεβαιότητα των παρατηρούμενων μεγεθών.
- Η εξαγωγή συνολικού συμπεράσματος σχετικά με τη λειτουργία ενός δέκτη GNSS. Ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη δίνεται η δυνατότητα επιλογής της διαδικασίας ελέγχου ή διακρίβωσης.
- Η δυνατότητα ανεξάρτητης εφαρμογής κάθε μίας από τις δύο διαδικασίες, αφού καμία από τις δύο διαδικασίες δεν αποτελεί υποσύνολο της άλλης.

Σε όλες τις εργασίες πεδίου (μετρήσεις) που πραγματοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση της εργασίας, λήφθηκαν υπόψιν οι παράγοντες που εισάγουν σφάλματα στον δορυφορικό εντοπισμό και έγινε προσπάθεια ελαχιστοποίησης της επίδρασής τους.

Με την κατάλληλη επιλογή της βάσης ελέγχου ελαχιστοποιήθηκαν τα σφάλματα που οφείλονται σε φαινόμενα πολυανάκλασης, περιβάλλοντα χώρου, ανοικτού ορίζοντα καθώς επίσης και εκείνα που οφείλονται στην μη μονοσήμαντη τοποθέτηση του δέκτη GNSS σε ένα σημείο.

Όσο αφορά στις υπόλοιπες πηγές σφαλμάτων μεγαλύτερη ανάλυση πραγματοποιήθηκε για την επίδραση του δορυφορικού σχηματισμού και ειδικότερα των δεικτών αλλοίωσης της ακρίβειας (DOP). Επιβεβαιώνεται ότι οι τιμές των δεικτών αυτών μεταβάλλονται σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους της ημέρας. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τη χωρική θέση της βάσης ελέγχου οδήγησε στην υλοποίηση προετοιμασίας προγραμματισμού των παρατηρήσεων (planning). Επίσης αναφέρεται πλήρης αναλογία μεταξύ του πλήθους των παρατηρούμενων δορυφόρων και των τιμών του DOP.

Προτείνεται μαζί με τις συντεταγμένες σε πραγματικό χρόνο να καταγράφονται πλήρως και όλες οι τιμές των δεικτών HDOP, PDOP και VDOP. Οι τιμές αυτές συμμετέχουν στον υπολογισμό του συνολικού σφάλματος προσδιορισμού συντεταγμένων και αξιοποιούνται στην διεξαγωγή των στατιστικών ελέγχων.

Οι τιμές του DOP λήφθηκαν υπόψιν σε όλες τις στατιστικές αναλύσεις που συμμετείχαν μετρημένα στοιχεία καθώς επίσης στις περιπτώσεις που χρησιμοποιήθηκαν ονομαστικές τιμές ακρίβειας σύμφωνα με τον κατασκευαστή του δέκτη. Από το πλήθος των δεικτών DOP, υπολογίστηκε ο μέσος όρος τους από τις διαφορετικές σειρές

μετρήσεων και αξιοποιήθηκαν οι τιμές τους στον προσδιορισμό του συνολικού σφάλματος προσδιορισμού οριζοντιογραφικών συντεταγμένων (HDOP) και του υψομέτρου (VDOP).

Ιδιαίτερη ανάλυση πραγματοποιήθηκε με σκοπό τον βέλτιστο προσδιορισμό των πρότυπων τιμών της βάσης ελέγχου.

Οι πρότυπες τιμές είναι απαραίτητες για την υλοποίηση της διαδικασίας διακρίβωσης.

Προτείνεται ο προσδιορισμός των πρότυπων τιμών της βάσης ελέγχου με χρήση της μεθόδου εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο (τεχνικές εντοπισμού RTK). Οι πρότυπες τιμές αποτελούν μετρήσεις ακρίβειας καθώς προκύπτουν από χρονοσειρές μετρήσεων. Για να προσδιοριστούν οι πρότυπες τιμές πρέπει να χρησιμοποιείται δέκτης GNSS διακριβωμένος, (δέκτης αναφοράς).

Για τον προσδιορισμό των πρότυπων τιμών προέκυψε ότι απαιτούνται 60 ανεξάρτητοι προσδιορισμοί των συντεταγμένων κάθε κορυφής της βάσης ελέγχου με την τεχνική Single Base RTK, ώστε η αβεβαιότητα προσδιορισμού τους να είναι τουλάχιστον μίας τάξης μεγέθους καλύτερη, από την ονομαστική ακρίβεια του υπό διακρίβωση δέκτη GNSS.

Οι 60 αυτές μετρήσεις πρέπει:

- Να εμφανίζουν μεγάλη προσαρμογή στον μέσο όρο τιμών της χρονοσειράς στην οποία ανήκουν, με σκοπό να αποφεύγονται οι ακραίες τιμές που θεωρούνται θόρυβος.
- Να προκύπτουν από τον συνδυασμό και των τριών χρονοσειρών συντεταγμένων (x,y,H).
- Να καλύπτουν όλο το χρονικό φάσμα μίας ημέρας.

Όσο αφορά στην αξιολόγηση των δύο διαφορετικών μεθόδων εντοπισμού (Single Base RTK και VRS), διαπιστώνεται ότι και οι δύο μπορούν να προσδιορίσουν συντεταγμένες με την ίδια ευκολία και με αβεβαιότητα η οποία συγκλίνει μεταξύ τους όσο μικραίνει η απόσταση μεταξύ του μόνιμου σταθμού και της βάσης ελέγχου. Στην περίπτωση των πειραμάτων η απόσταση μεταξύ του μόνιμου σταθμού και της βάσης ελέγχου υπολογίστηκε περίπου στα τέσσερα χιλιόμετρα, επομένως υπήρχαν διαφορές λίγων χιλιοστών μεταξύ των μετρήσεων με τις δύο διαφορετικές τεχνικές.

Και οι δύο μέθοδοι εντοπισμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την υλοποίηση της προτεινόμενης μεθοδολογίας. Επομένως προτείνεται να χρησιμοποιείται η ίδια μέθοδος εντοπισμού με εκείνη που θα επιλέγεται στις περισσότερες γεωδαιτικές εφαρμογές που θα αξιοποιηθεί

ο δέκτης. Επίσης προτείνεται η εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας αποκλειστικά με την τεχνική VRS, μόνο σε περιπτώσεις που ο κοντινότερος μόνιμος σταθμός από το πεδίο ελέγχου απέχει περισσότερα από 25 χιλιόμετρα.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία αποτελείται από δύο ξεχωριστές διαδικασίες (έλεγχος και διακρίβωση), οι οποίες χρησιμοποιούν ως παρατηρήσεις, συντεταγμένες κορυφών ενός πεδίου ελέγχου, σε ορισμένο επιλεγμένο σύστημα αναφοράς.

Η διαδικασία της διακρίβωσης γίνεται με προσδιορισμό συντεταγμένων σε πραγματικό χρόνο για μία μόνο κορυφή της βάσης ελέγχου. Πραγματοποιούνται (15) παρατηρήσεις σε (3) σειρές μετρήσεων, οι οποίες οφείλουν να απέχουν μεταξύ τους κατάλληλο χρονικό διάστημα (τουλάχιστον 90 λεπτά) με σκοπό να έχει μεταβληθεί ο δορυφορικός σχηματισμός. Κάθε σειρά μετρήσεων προτείνεται να αποτελείται από 5 σετ μετρήσεων και μία μόνο θέση του δέκτη GNSS.

Οι στατιστικοί έλεγχοι της διαδικασίας διακρίβωσης διαχωρίζονται σε δύο στάδια, με σκοπό να πραγματοποιείται ανάλυση τόσο στις συντεταγμένες που προσδιορίζονται σε πραγματικό χρόνο, όσο και σε παράγωγα από αυτές μεγέθη (απόσταση και υψομετρική διαφορά).

Κάθε ένα από τα στάδια της διαδικασίας διακρίβωσης μπορεί να εφαρμοστεί ανεξάρτητα. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν πρέπει να είναι συμβατά μεταξύ τους.

Στο πρώτο στάδιο προσδιορίζονται οι μέσες τιμές των διαφορών μεταξύ των μετρημένων και των πρότυπων συντεταγμένων της κορυφής της βάσης ελέγχου.

Αποτέλεσμα σχετικά με την ορθή λειτουργία του δέκτη προκύπτει, ύστερα από την σύγκριση της διαφοράς μεταξύ μετρημένων και πρότυπων τιμών με τις τιμές των σφαλμάτων προσδιορισμού συντεταγμένων για ένα συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης (95%).

Εφαρμογή VRS				
$ \hat{\Delta}_{x,y} = 3.4\text{mm}$	$\leq \pm 14.1\text{mm}$	$ \hat{\Delta}_H = 4.9\text{mm}$	$\leq \pm 38.2\text{mm}$	ΙΣΧΥΕΙ
Εφαρμογή SB				
$ \hat{\Delta}_{x,y} = 4.5\text{mm}$	$\leq \pm 15.9\text{mm}$	$ \hat{\Delta}_H = 5.1\text{mm}$	$\leq \pm 39.6\text{mm}$	ΙΣΧΥΕΙ

Με την ικανοποίηση των παραπάνω ποσοτικών σχέσεων επιβεβαιώνεται η ορθή λειτουργία του υπό διακρίβωση δέκτη [Trimble R8s (S/N: 5530P00192)] . Μέσω της σύγκρισης των παρατηρούμενων μεγεθών με τις αντίστοιχες πρότυπες τιμές ικανοποιούνται οι συνθήκες της εξωτερικής ακρίβειας του δέκτη GNSS.

Στο δεύτερο στάδιο της διαδικασίας διακρίβωσης προσδιορίζονται η απόσταση και η υψομετρική διαφορά μεταξύ του μόνιμου ή εικονικού σταθμού αναφοράς και του δέκτη που έχει τοποθετηθεί στην κορυφή της βάσης ελέγχου. Τα στοιχεία αυτά προκύπτουν από τις ίδιες μετρήσεις.

Με την εφαρμογή της εξίσωσης $y=ax+\beta$ υπολογίζεται η κλίμακα του συστήματος, το συστηματικό και τυχαίο σφάλμα, μέσω της σύγκρισης του πλήθους των μετρημένων στοιχείων με τις αντίστοιχες πρότυπες τιμές.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν αφορούν:

- Στην ορθή (ή μη) λειτουργία του δέκτη σύμφωνα με τα πρότυπα του κατασκευαστή. Αυτό προκύπτει συγκρίνοντας τις τιμές του συστηματικού και τυχαίου σφάλματος με την ακρίβεια προσδιορισμού συντεταγμένων του υπό διακρίβωση δέκτη.
- Στην καλύτερη ακρίβεια μίας γεωδαιτικής εφαρμογής, που μπορεί να επιτευχθεί με το δέκτη για την μέθοδο εντοπισμού Single Base RTK, μέσω της σχέσης $\sigma_e \geq \pm\sqrt{\sigma_o^2+\beta^2}$. Η καλύτερη αυτή ακρίβεια αναφέρεται ξεχωριστά στις μετρήσεις των αποστάσεων και υψομετρικών διαφορών, αντίστοιχα.

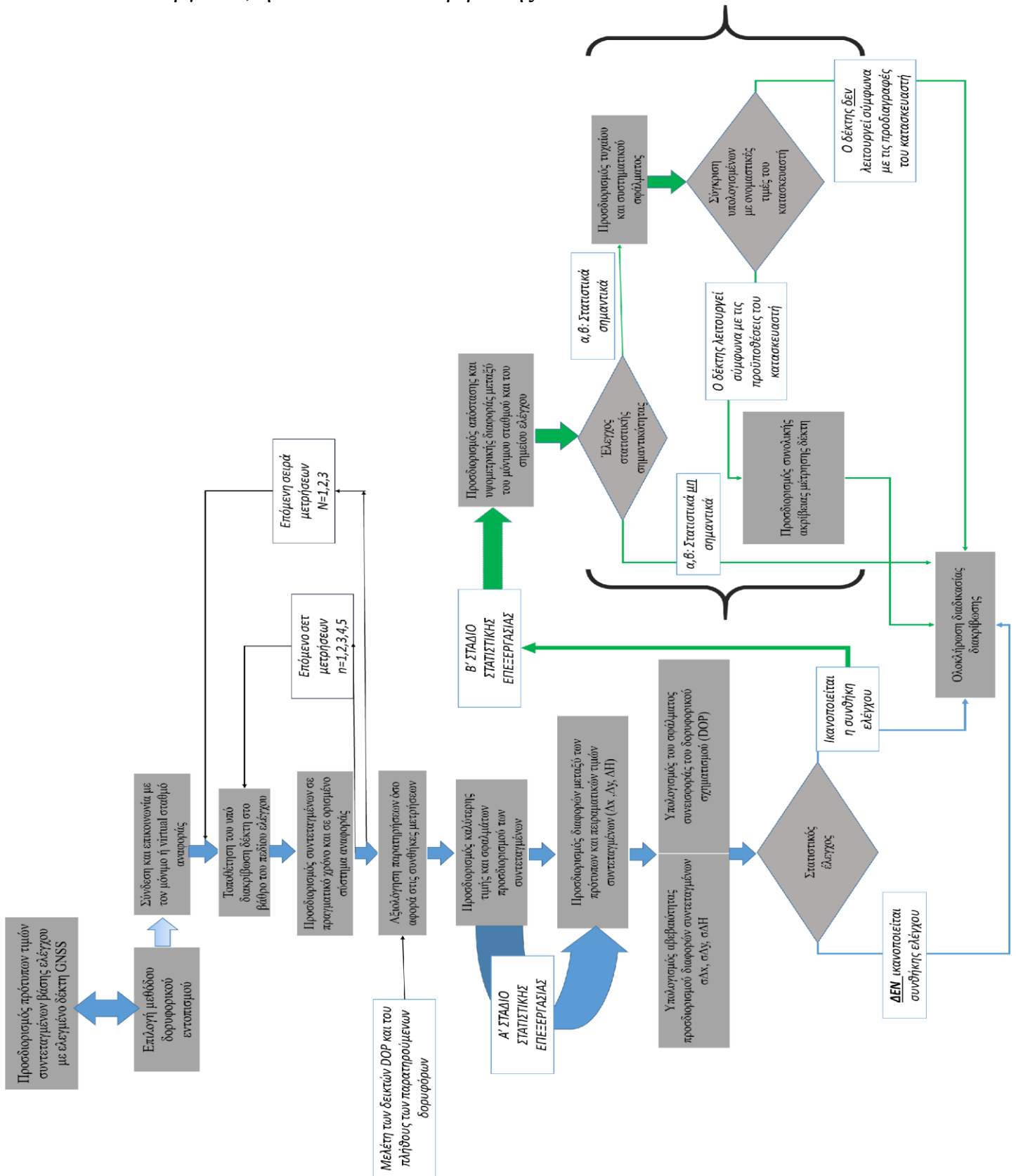
Πιο συγκεκριμένα ο υπό διακρίβωση δέκτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές όπου η καλύτερη ακρίβεια προσδιορισμού αποστάσεων είναι 4.9mm και υψομετρικών διαφορών 6.3mm. Επίσης προκύπτουν τα συστηματικά και τυχαία σφάλματα που εισάγονται στις παρατηρήσεις.

Η υλοποίηση της διαδικασίας διακρίβωσης πραγματοποιείται σε χρονικό διάστημα 3.5 ωρών, όπου σε αυτό περιλαμβάνεται και οι ενδιάμεσοι χρόνοι που παρεμβαίνουν για την μεταβολή του δορυφορικού σχηματισμού. Οι μετρήσεις διαρκούν συνολικά 20 λεπτά ανά σειρά παρατηρήσεων και για τις δύο τεχνικές εντοπισμού που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο πλαίσιο της μελέτης επιβεβαιώνεται ότι η αύξηση του χρόνου παρατήρησης (occupation time) παραπάνω από τα 60 δευτερόλεπτα για κάθε μοναδιαία μέτρηση, δεν προσφέρει στατιστικά σημαντική μείωση της αβεβαιότητας προσδιορισμού.

Στο πλαίσιο της μεταπτυχιακής εργασίας η διαδικασία διακρίβωσης εφαρμόστηκε και με χρήση των μετρήσεων που αφορούσαν στο δεύτερο βήμα του πεδίου ελέγχου, όπου προέκυψαν συμβατά αποτελέσματα σχετικά με την παρεχόμενη αβεβαιότητα του δέκτη στον προσδιορισμό συντεταγμένων.

Στο σχήμα 7.1 παρουσιάζεται σε μορφή διαγράμματος ροής ενεργειών, η διαδικασία διακρίβωσης.



Σχήμα 7.1 Διάγραμμα ροής ενεργειών για την διακρίβωση του δέκτη GNSS

Η διαδικασία του ελέγχου βασίζεται στον προσδιορισμό συντεταγμένων σε πραγματικό χρόνο για δύο κορυφές μιας βάσης ελέγχου. Οι (15) μοναδιαίες παρατηρήσεις οργανώνονται σε (3) σειρές μετρήσεων που η κάθε μία αποτελείται από 5 σετ και δύο θέσεις που τοποθετείται ο υπό έλεγχο δέκτης GNSS. Οι διαφορετικές σειρές οφείλουν να απέχουν μεταξύ τους κατάλληλο χρονικό διάστημα με σκοπό να έχει μεταβληθεί ο δορυφορικός σχηματισμός (τουλάχιστον 90 λεπτά).

Ο συνολικός χρόνος που χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία του ελέγχου διαφοροποιείται από εκείνον της διαδικασίας διακρίβωσης (4 ώρες). Αυτό οφείλεται στα χρονικά διαστήματα που πρέπει να παρεμβάλλονται μεταξύ των διαφορετικών σειρών μέτρησης. Ο χρόνος πραγματοποίησης κάθε ξεχωριστής σειράς της διαδικασίας διακρίβωσης είναι ο μισός από τη διαδικασία ελέγχου, καθώς η τελευταία προϋποθέτει παρατηρήσεις σε δύο θέσεις της βάσης ελέγχου με τον υπό μελέτη δέκτη GNSS.

Για την επίλυση αξιοποιείται το τρίγωνο που δημιουργείται μεταξύ των δύο κορυφών της βάσης ελέγχου και του μόνιμου σταθμού. Για κάθε τρίγωνο που σχηματίζεται από τις επαναλαμβανόμενες μετρήσεις υπολογίζεται το σφάλμα κλεισίματος για κάθε μία από τις οριζοντιογραφικές συντεταγμένες και το υψόμετρο.

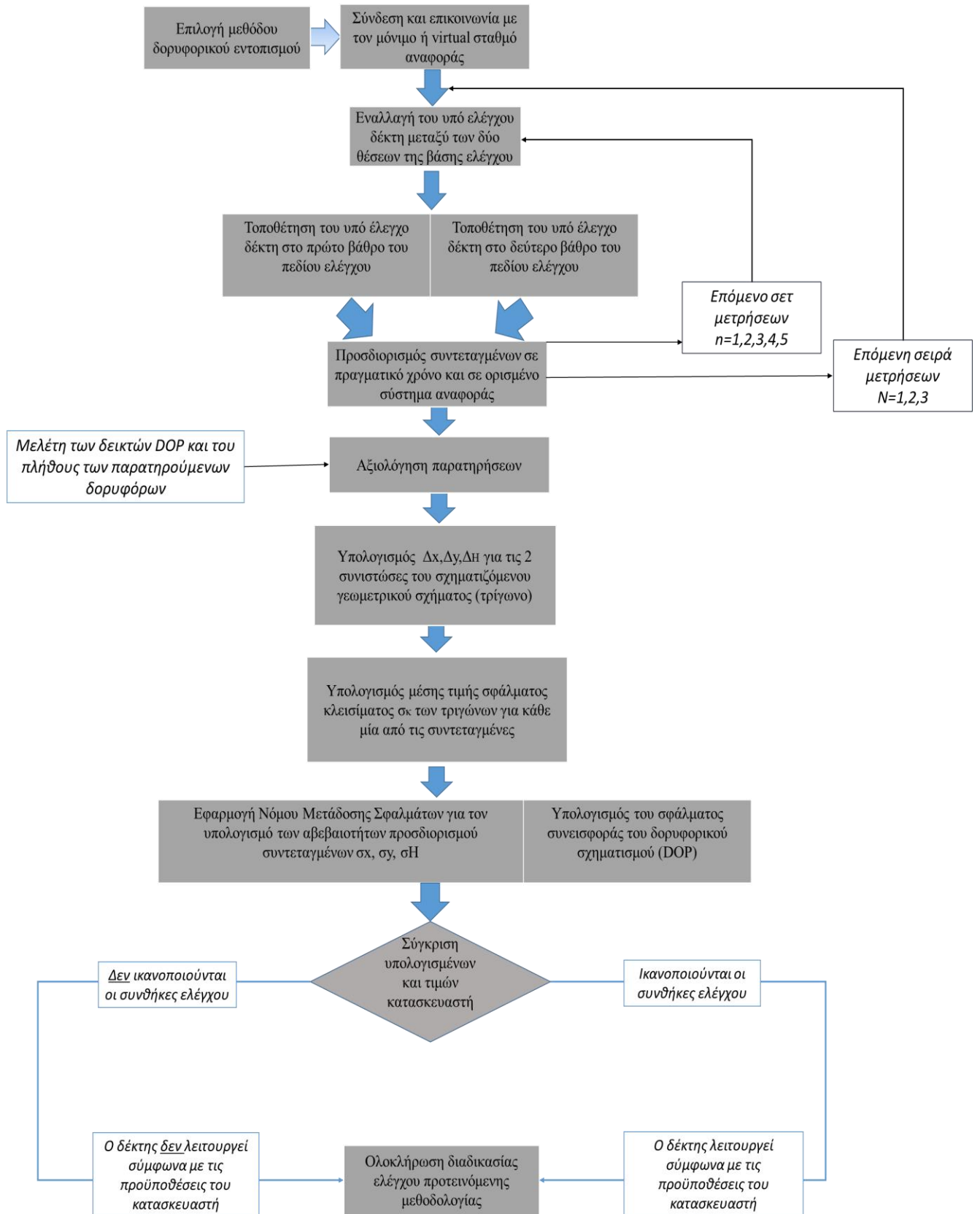
Το αποτέλεσμα σχετικά με την ορθή λειτουργία του δέκτη [Trimble R8s (S/N: 5530P00192)], προκύπτει μέσω της σύγκρισης των σφαλμάτων προσδιορισμού των τοποκεντρικών συντεταγμένων με την ονομαστική ακρίβεια προσδιορισμού συντεταγμένων που έχει θέσει ο κατασκευαστής για ένα συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης. Με τον τρόπο αυτό αξιολογείται η εσωτερική ακρίβεια του δέκτη GNSS.

Εφαρμογή VRS			
$\bar{\sigma}_{x,y} = \pm 2.6\text{mm}$	$\leq \pm 16.4\text{mm}$	$\bar{\sigma}_H = \pm 3.5\text{mm}$	$\leq \pm 29.4\text{mm}$
Εφαρμογή SB			
$\bar{\sigma}_{x,y} = \pm 3.4\text{mm}$	$\leq \pm 18.2\text{mm}$	$\bar{\sigma}_H = \pm 3.8\text{mm}$	$\leq \pm 33.8\text{mm}$

Με την ικανοποίηση των στατιστικών ελέγχων της διαδικασίας ελέγχου ανιχνεύεται εάν ο δέκτης GNSS που ελέγχεται πραγματοποιεί παρατηρήσεις σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή.

Από την υλοποίηση της μεθοδολογίας ελέγχου και με τις δύο τεχνικές εντοπισμού παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα είναι συμβατά μεταξύ τους όσο αφορά στον υπολογισμό του σφάλματος προσδιορισμού συντεταγμένων.

Στο σχήμα 7.2 παρουσιάζεται σε μορφή διαγράμματος ροής ενεργειών η διαδικασία ελέγχου της προτεινόμενης μεθοδολογίας.



Σχήμα 7.2 Διάγραμμα ροής ενεργειών για τον έλεγχο του δέκτη

Συνοπτικά για την προτεινόμενη μεθοδολογία διακρίβωσης και ελέγχου ενός δέκτη GNSS ισχύουν:

- Με μετρήσεις που καλύπτουν όλο το χρονικό φάσμα μιας ημερολογιακής ημέρας και με μέθοδο εντοπισμού ίδια με εκείνη που πρόκειται να γίνει ο έλεγχος του δέκτη GNSS, μπορεί να ιδρυθεί ένα πεδίο ελέγχου του οποίου να υπολογιστούν οι πρότυπες τιμές. (Συνολικός χρόνος μετρήσεων 6 ώρες)
- Αποτέλεσμα της διαδικασίας διακρίβωσης ενός δέκτη είναι η εξαγωγή συμπεράσματος σχετικά με την αβεβαιότητα μέτρησης που μπορεί να επιτευχθεί με ένα σύστημα μέτρησης, το οποίο περιλαμβάνει ένα δέκτη και έναν μόνιμο ή virtual σταθμό αναφοράς. Επίσης μέσω της στατιστικής ανάλυσης και της σύγκρισης πρότυπων και μετρημένων τιμών προκύπτουν αποτελέσματα σχετικά με την κλίμακα του συστήματος και τα συστηματικά και τυχαία σφάλματα. (Συνολικός χρόνος υλοποίησης 3.5 ώρες)
- Αποτέλεσμα της διαδικασίας ελέγχου είναι η εξαγωγή συμπεράσματος σχετικά με την εσωτερική ακρίβεια του δέκτη που ελέγχεται. Με την αξιοποίηση ενός κατάλληλου πεδίου ελέγχου και με τον υπολογισμό των σφαλμάτων κλεισίματος προκύπτει συμπέρασμα σχετικά με τη λειτουργία ενός δέκτη όσο αφορά στην αβεβαιότητα με την οποία προσδιορίζονται οι τοποκεντρικές συντεταγμένες. (Συνολικός χρόνος υλοποίησης 4 ώρες)

Με τον συνδυασμό και των δύο διαδικασιών που περιλαμβάνονται στην συνολική μεθοδολογία δίνεται η δυνατότητα αρχικά να προσδιοριστεί η εξωτερική ακρίβεια και η κλίμακα του συστήματος μετρήσεων (διαδικασία διακρίβωσης) και στη συνέχεια η ανάλυση της εσωτερικής ακρίβειας με την οποία πραγματοποιεί μετρήσεις ο υπό έλεγχο δέκτης (διαδικασία ελέγχου).

Επομένως δίνεται η δυνατότητα πλήρους εποπτείας των παρατηρούμενων μεγεθών και ελέγχου-διακρίβωσης ενός μόνον δέκτη με χρήση σύγχρονων τεχνικών εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο.

Ωστόσο η εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας μπορεί να πραγματοποιηθεί ανεξάρτητα όσο αφορά στον έλεγχο και στην διακρίβωση, με σκοπό να καλύπτει τις διαφορετικές ανάγκες του κάθε μηχανικού.

Οι μεταβλητές του χρόνου και του χώρου καθώς επίσης και το συμπέρασμα σχετικά με την ακρίβεια (εσωτερική ή εξωτερική)

διαμορφώνουν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των δύο διαδικασιών. Πιο συγκεκριμένα:

- Η διαδικασία διακρίβωσης χρειάζεται την ύπαρξη ενός πεδίου ελέγχου, για το οποίο πρέπει να είναι γνωστές οι συντεταγμένες με μεγάλη ακρίβεια.
Αντίθετα η διαδικασία ελέγχου δεν προϋποθέτει την ύπαρξη πεδίου ελέγχου και μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε περιοχή (αρκεί να ικανοποιούνται οι συνθήκες ορθών δορυφορικών παρατηρήσεων).
- Η διαδικασία διακρίβωσης προϋποθέτει τη γνώση πρότυπων τιμών. Επομένως επιβαρύνεται το χρονικό διάστημα εφαρμογής της, από το στάδιο του προσδιορισμού των τιμών αυτών.
(Ωστόσο εάν είναι γνωστές οι πρότυπες τιμές του πεδίου ελέγχου, η διαδικασία διακρίβωσης είναι πιο σύντομη από τη διαδικασία ελέγχου)
- Οι πρότυπες τιμές της διαδικασίας διακρίβωσης σε συνδυασμό με τη μελέτη χρονοσειρών μπορούν να συμπεράνουν σε αρχικό στάδιο την μη ορθή λειτουργία του δέκτη μέσω εντοπισμού χονδροειδών σφαλμάτων.
(Η υλοποίηση γίνεται μέσω της χονδρικής σύγκρισης των συντεταγμένων που προκύπτουν σε πραγματικό χρόνο από τον υπό διακρίβωση δέκτη με τις αντίστοιχες πρότυπες τιμές που έχουν προκύψει από τον δέκτη αναφοράς).
- Η διαδικασία ελέγχου συμπεραίνει την ορθή λειτουργία του δέκτη μέσω της σύγκρισης μεγεθών με τις τιμές του κατασκευαστή (εσωτερική ακρίβεια), χωρίς να λαμβάνει υπόψιν τα συστηματικά ή χονδροειδή σφάλματα που μπορεί να έχει ο δέκτης .
- Η διαδικασία διακρίβωσης αποτελείται από δύο στάδια στατιστικών ελέγχων. **Κάθε ένα από αυτά οφείλει να καταλήγει σε συμβατά συμπεράσματα.** Και τα δύο μπορούν να αποδείξουν την ορθή λειτουργία του δέκτη GNSS, προτείνεται όμως να προηγείται πάντοτε η εφαρμογή του πρώτου σταδίου.
- Η διαδικασία διακρίβωσης προσφέρει τη δυνατότητα εκτίμησης της συνολικής αβεβαιότητας προσδιορισμού παράγωγων μεγεθών (απόσταση και υψομετρική διαφορά),

μέσω της εφαρμογής του δεύτερου σταδίου στατιστικών ελέγχων.

Αντικείμενο επίσης της μελέτης αποτέλεσε και η προσπάθεια επέκτασης του ισχύοντος προτύπου ISO 17123-8. Πραγματοποιήθηκαν δύο ολοκληρωμένες εφαρμογές του ισχύοντος προτύπου, μεταβάλλοντας τη μέθοδο εντοπισμού από Real Time Kinematic (με χρήση ενός ζεύγους δεκτών) GNSS σε VRS και Single Base RTK αντίστοιχα (με χρήση ενός δέκτη) . Ο έλεγχος έγινε με την χρήση ενός εικονικού σταθμού ή του σταθμού 098^A του δικτύου HEPOS και ενός δέκτη Trimble R8s, που ελέγχθηκε.

Στο πλαίσιο της μελέτης πραγματοποιήθηκαν δύο εποχές μετρήσεων που υλοποιήθηκαν σε δύο διαφορετικές ημέρες και με αλλαγή του χρονικού διαστήματος παρατηρήσεων, με σκοπό την ανάλυση σχετικά με την επίδραση της χρονικής περιόδου που πραγματοποιείται ο έλεγχος.

Οι μετρήσεις για την πλήρη διαδικασία ελέγχου (πρώτη εποχή μέτρησης) διήρκησαν συνολικά 1 ώρα και 15 λεπτά.

Οι μετρήσεις για την πλήρη διαδικασία ελέγχου (δεύτερη εποχή μετρήσεων) διήρκησαν συνολικά 4 ώρες και 15 λεπτά. Στη χρονική αυτή διάρκεια περιλαμβάνεται και ο χρόνος των 90 λεπτών, που υποχρεωτικά πρέπει να μεσολαβεί μεταξύ των διαδοχικών (3) σειρών μετρήσεων.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι σε περιπτώσεις που δεν τηρούνται οι χρονικές αποστάσεις των 90 λεπτών μεταξύ των διαφορετικών σειρών μέτρησης, δεν μπορεί να γίνει πλήρη ανίχνευση των σφαλμάτων που εισάγονται στα συστήματα μέτρησης που χρησιμοποιούν δορυφορικές παρατηρήσεις. Επομένως ενδέχεται να διαμορφωθούν λανθασμένα συμπεράσματα για την ορθή λειτουργία του δεκτή GNSS.

Στην απλοποιημένη διαδικασία ελέγχου κατά ISO 17123-8, ύστερα από σύγκριση των υπολογισμένων τιμών των παραπάνω στοιχείων με τις αντίστοιχες πρότυπες, προέκυψαν οι πειραματικές τυπικές αποκλίσεις για τις οποίες ελέγχθηκαν οι συνθήκες οριζοντιογραφικά και υψομετρικά ξεχωριστά. Οι μετρήσεις για την απλοποιημένη διαδικασία διήρκησαν συνολικά 40 λεπτά.

Τα αποτελέσματα εφαρμογής της απλοποιημένης διαδικασίας ελέγχου αφορούν στην διερεύνηση της ποσοτικής σχέσης μεταξύ των υπολογισμένων αποκλίσεων κάθε υψομετρικής διαφοράς ($|\varepsilon_{h,i,j}|$) και απόστασης ($|\varepsilon_{D,i,j}|$), και των τιμών ελέγχου. Προκύπτει ότι κάθε μία από

αυτές τις αποκλίσεις ικανοποιούν τις συνθήκες 7.1 έως 7.4, και για τις δύο διαφορετικές μεθόδους εντοπισμού.

$$(VRS) \left| \varepsilon_{D_{ij}} \right|_i \leq \pm 28 \text{mm} \quad (7.1)$$

$$(VRS) \left| \varepsilon_{h_{ij}} \right|_i \leq \pm 53 \text{mm} \quad (7.2)$$

$$(SB) \left| \varepsilon_{D_{ij}} \right|_i \leq \pm 33 \text{mm} \quad (7.3)$$

$$(SB) \left| \varepsilon_{h_{ij}} \right|_i \leq \pm 55 \text{mm} \quad (7.4)$$

Όπου VRS: Virtual Reference station

SB: Single Base RTK

Στην πλήρη διαδικασία ελέγχου κατά ISO 17123-8, ύστερα από προσδιορισμό των στατιστικών μεγεθών προέκυψαν και πάλι οι τυπικές αποκλίσεις για τις οποίες ελέγχθηκαν οι συνθήκες οριζοντιογραφικά και υψομετρικά ξεχωριστά. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιήθηκαν οι ονομαστικές τιμές αβεβαιότητας που θεωρεί ο κατασκευαστής των δεκτών.

Το αποτέλεσμα εφαρμογής της πλήρους διαδικασίας ελέγχου αφορά στην ικανοποίηση των αρχικών υποθέσεων που περιλαμβάνονται στο πλαίσιο των στατιστικών ελέγχων. Προκύπτει ότι κάθε μία από αυτές ικανοποιούνται μέσω των συνθηκών 7.5 και 7.8.

$$(VRS) S_{\text{iso_RTK_xy}} = \pm 6.5 \text{ mm} \leq \pm 9.2 \text{ mm} \quad (7.5)$$

$$(VRS) S_{\text{iso_RTK_h}} = \pm 7.1 \text{ mm} \leq \pm 18.3 \text{ mm} \quad (7.6)$$

$$(SB) S_{\text{iso_RTK_xy}} = \pm 6.8 \text{ mm} \leq \pm 11.7 \text{ mm} \quad (7.7)$$

$$(SB) S_{\text{iso_RTK_h}} = \pm 12.8 \text{ mm} \leq \pm 18.9 \text{ mm} \quad (7.8)$$

Με την ικανοποίηση των απαιτήσεων τόσο του απλοποιημένου όσο και του πλήρους ελέγχου σύμφωνα με το ισχύον πρότυπο ISO 17123-8, συμπεραίνεται ότι ο δέκτης που παραμένει σταθερός σε όλη την διάρκεια του ελέγχου, πραγματοποιεί παρατηρήσεις σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Με την αλλαγή όμως της μεθόδου εντοπισμού και τη χρήση ενός μόνο δέκτη GNSS, σταθερός παραμένει είτε ο εικονικός είτε ο μόνιμος σταθμός αναφοράς.

Επομένως δεν προκύπτει συμπέρασμα σχετικά με την λειτουργία του κινούμενου δέκτη αλλά σχετικά με την ορθή λειτουργία του μόνιμου σταθμού.

Άρα το ισχύον πρότυπο ISO 17123-8 δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο ενός μόνο δέκτη GNSS με χρήση των σύγχρονων μεθόδων μέτρησης που αξιοποιούν δίκτυα μόνιμων σταθμών αναφοράς.

7.2 Προτάσεις

Στο σημείο αυτό θα μπορούσαν να γίνουν κάποιες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Πιο συγκεκριμένα, προτείνονται τα ακόλουθα:

- ❖ Χρήση του υπάρχοντος προτύπου ISO 17123-8 με χρήση των σύγχρονων δικτυακών μεθόδων εντοπισμού με σκοπό την βαθμονόμηση και παρακολούθηση της ορθής λειτουργίας ενός μόνιμου σταθμού του ευρύτερου δικτύου.
- ❖ Υλοποίηση της προτεινόμενης μεθοδολογίας με χρήση και των υπολοίπων τεχνικών της μεθόδου εντοπισμού RTN, όπως η MAC και η FKP.
- ❖ Υλοποίηση της προτεινόμενης μεθοδολογίας με χρήση ενός γνωστού μόνιμου σταθμού που να μην χαρακτηρίζεται ως ο κοντινότερος. Με αυτόν τον τρόπο θα προσδιοριστούν τα όρια της απόστασης μέσα στα οποία θα πρέπει να βρίσκεται ο μόνιμος σταθμός για να μπορεί να αξιοποιηθεί.
- ❖ Περαιτέρω επεξεργασία των χρονοσειρών με σκοπό τη βελτίωση των στοιχείων τους και την εξαγωγή των πρότυπων τιμών, αξιοποιώντας όλο το πλήθος των παρατηρήσεων.
- ❖ Ανάλυση του αλγορίθμου με τον οποίο προσδιορίζεται από το κέντρο ελέγχου του δικτύου μόνιμων σταθμών, η βέλτιστη θέση του εικονικού (virtual) σταθμού αναφοράς, με σκοπό να γίνεται γνωστή κάθε φορά η θέση που δημιουργείται (υπολογισμός απόστασης χωροθέτησης εικονικού σταθμού από τη βάση ελέγχου).
- ❖ Δημιουργία προγράμματος επεξεργασίας των μετρήσεων σε προγραμματιστικό υπολογιστικό περιβάλλον (Matlab) για εύκολη και αξιόπιστη εξαγωγή αποτελεσμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αγατζά–Μπαλοδήμου Α.–Μ., *"Θεωρία σφαλμάτων και συνορθώσεις I"*, Διδακτικές σημειώσεις, Αθήνα 2007
2. Αγατζά–Μπαλοδήμου Α.–Μ., *"Θεωρία σφαλμάτων και συνορθώσεις II"*, Διδακτικές σημειώσεις, Αθήνα 2009
3. Αθανασιάδης Κ., *"Μέτρηση, μετρολογία και αξιώματα της μετρολογίας"*, Τεχνικά Χρονικά, τεύχος 2/2006
4. Αλεβιζάκου Ε-Γ., *" Προσδιορισμός της αποχής του Γεωειδούς σε αστική περιοχή"*, Διπλωματική εργασία, Αθήνα 2010
5. Βέης Γ., Μπιλλήρης Χ., Παπαζήση Κ., *"Κεφάλαια ανώτερης Γεωδαισίας"*, Διδακτικές σημειώσεις, Αθήνα 2009
6. Bisnath, S., *"Current State of Precise Point Positioning and Future Prospects and Limitations"*, IUGG 24th General Assembly, 2009
7. Γιαννίου Μ., *"Χρήση των Υπηρεσιών Μετεπεξεργασίας του HEPOS"*, Εκδήλωση *"HEPOS και Σύγχρονα Γεωδαιτικά Συστήματα Αναφοράς : Θεωρία και Υλοποίηση, Προοπτικές και Εφαρμογές"*, Παρουσίαση, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη 2008.
8. Γιαννίου Μ., *"Heros και Σύγχρονες Δικτυακές Τεχνικές GPS"*, *"Heros και Σύγχρονα Γεωδαιτικά Συστήματα Αναφοράς": Θεωρία και υλοποίηση - προοπτικές και εφαρμογές"*, Θεσσαλονίκη 2008
9. Γιαννίου Μ.-Μάστορης Δ., *"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 2007.
10. Δεληκαράογλου Δ., *"Διεθνείς Υπηρεσίες VRS/CORS - RTNets"*, Εκδήλωση, Εκδήλωση *"HEPOS και Σύγχρονα Γεωδαιτικά Συστήματα Αναφοράς : Θεωρία και Υλοποίηση, Προοπτικές και Εφαρμογές"*, Παρουσίαση, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη 2008.

11. Δεληκαράογλου Δ., "Βιωσιμότητα του HEPOS», Εκδήλωση «HEPOS – Ένα Ενιαίο Σύστημα Εντοπισμού για την Ελλάδα – Υλοποίηση, Επιπτώσεις, Προοπτικές", Παρουσίαση, Ε.Μ.Π., Αθήνα 2007.
12. Δεληκαράογλου Δ., "Διαφαινόμενες Προοπτικές από τη Δικτυακή Υποδομή του Heros για τη Μετάδοση Χωρικών Πληροφοριών μέσω Υπηρεσιών WEB και Ασύρματων Κινητών Συσκευών", 9ο Εθνικό Συνέδριο Χαρτογραφίας, Χανιά 2006
13. Δερμάνης Α., Ρωσσικόπουλος Δ., Φωτίου Α., "Τοπογραφικοί υπολογισμοί και συνορθώσεις δικτύων", εκδόσεις Ζήτη, ISBN 908-431-200-1, Θεσσαλονίκη 1994
14. Δούκας Ι.Δ., Η Ιστορική εξέλιξη της Επιστήμης της Μετρολογίας, Επιστημονικό συνέδριο "Η εξέλιξη των οργάνων, των μεθόδων και των συστημάτων μετρήσεων των επιστημών της αποτύπωσης στη Ελλάδα" Θεσσαλονίκη, 2005
15. Donahue B., Wentzel J., Berg R., Natural Resources Canada., "Guidelines for RTK/RTN GNSS Surveying in Canada", Ministry Of Transportation, Ontario 2013
16. Elonguegui P., Park D., Davis J., Normandeau J., "Multipath characteristics of GPS signals as determined from the Antenna and Multipath Calibration System (AMCS)", 2005
17. Emardson R., Jarlemark P., "Measurement accuracy in network - RTK", TRI Sweden, 2011
18. Hofmann-Wellenhof B., Linchtenegger H., Wasle E., "GNSS : Global Navigation Satellite Systems – GPS, GLONASS, Galileo, and More", Springer-Verlag, New York 2008.
19. Zumberge J., "Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks", Journal of Geophysical Research, 1997

20. Janssen V., *"A Comparison of the VRS and MAC principles for Network RTK, International Global Navigation Satellite Systems Society Symposium"*, Queensland, Australia 2009
21. Gao, Y., *"Precise Point Positioning and Its Challenges, Aided-GNSS and Signal Tracking"*, Inside GNSS November/December 2006.
22. International Standard Organization, ISO 17123-8 *"Optics and optical instruments-Field procedures for testing geodetic and surveying instruments- Part 8:GNSS field measurement systems in real-time kinematic (RTK) "*, 2007
23. Hirst B., *"Guideline No 9 – GNSS Verification"*, Surveyor General of the Australian Capital Territory, Αυστραλία 2011
24. Hirst B., *" Guideline for Adjustment and Evaluation of Survey Control v2.1"*, Surveyor General of the Australian Capital Territory, Αυστραλία 2009
25. Hirst B., *" Guideline for Control Surveys by GNSS v2.1"*, Surveyor General of the Australian Capital Territory, Αυστραλία 2009
26. Κανελλόπουλος Ν., *"Ανάπτυξη μεθοδολογίας ελέγχου και διακρίβωσης δεκτών GNSS με τη μέθοδο του σχετικού στατικού εντοπισμού"*, Εργαστήριο Γενικής Γεωδαισίας Ε.Μ.Π, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 2015
27. Κατσάμπαλος Ν., *"Βασικά χαρακτηριστικά του δικτυακού εντοπισμού σε πραγματικό χρόνο RTN"*, 2008
28. Κατσιγιάννη Γ., *"Ανάλυση Επιδόσεων των Επερχόμενων Συστημάτων GNSS για Κινηματικές Εφαρμογές Εντοπισμού στον Ελληνικό χώρο"*, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα 2011
29. Kempe T., Jivall L., Lidberg M., *"Station Calibration of the SWEPOS Network"*, Sweden, 2011

30. Λαϊνάς Ι., "Αξιολόγηση ακρίβειας εντοπισμού της τεχνικής RTK με χρήση GNSS μόνιμων σταθμών αναφοράς", Διπλωματική εργασία, ΣΑΤΜ Ε.Μ.Π, Αθήνα 2009
31. Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., "Εφαρμοσμένη γεωδαισία", εκδόσεις Ζήτη, ISBN 978-960-456-205-3, Αθήνα 2010
32. Λάμπρου Ε., Νικολίτσας Κ., "Ανίχνευση της αβεβαιότητας του συστήματος ανάγνωσης διευθύνσεων", 4ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας, Αθήνα 2012
33. Langley R.B, "DOP Value: Investigation and Research", 1999
34. Μητροπούλου Β., "Αξιολόγηση της αβεβαιότητας προσδιορισμού θέσης με χρήση των μόνιμων σταθμών του HEPOS με τη μέθοδο του σχετικού στατικού εντοπισμού", Μεταπτυχιακή Εργασία, ΔΠΜΣ Γεωπληροφορική, Ε.Μ.Π, Αθήνα 2010
35. Μπαλοδήμος Δ.-Δ., Γεωργόπουλος Γ., Δογγούρης Σ., Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., "Σημειώσεις Τεχνικής Γεωδαισίας", Διδακτικές σημειώσεις 9ου εξαμήνου της ΣΑΤΜ, Αθήνα 2005
36. Μπαλοδήμος Δ.-Δ., Σταθάς Δ., "Σημειώσεις μαθήματος: Μετρολογία, Βασικές έννοιες και ορισμοί – Στατιστικοί έλεγχοι για την αξιοπιστία των οργάνων", Διδακτικές σημειώσεις, Αθήνα 2006
37. Μπαλοδήμος Δ.-Δ., Σταθάς Δ., "Σημειώσεις μαθήματος: Μετρολογία", Διδακτικές σημειώσεις, Αθήνα 2012
38. Martin D., "GNSS CORS Calibration and Testing", 7th FIG Regional Conference, Hanoi 2009
39. Martin S., Wubbena G., Boetcherr G., "Absolute Receiver Antenna Calibrations with a Robot", Universität Hannover, Germany 2002
40. Natural Resources Canada., "National Standards for the Survey of Canada Lands", Ministry Of Transportation, Ontario 2014
41. Nitschke M., Seeger S., Zhang F., "RTX positioning: The next generation of cm-accurate real-time GNSS positioning", 2011

42. Παραδείσης Δ., *"Δορυφορική Γεωδαισία- Γεωδαισία V"*, Διδακτικές σημειώσεις, Αθήνα 2010
43. Πικριδάς Χ., *"Βαθμονόμηση Δεκτών GPS από Μετρήσεις σε Μηδενική Βάση"*, Θεσσαλονίκη, 2005
44. Πουλίδης Π., *"Μετρολογικός Έλεγχος Δεκτών GNSS κατά ISO για RTK μετρήσεις"*, Διπλωματική εργασία, Ε.Μ.Π, Αθήνα 2014
45. Srilatha Dutt., Sasi Rao., *"Investigation of GDOP for Precise user Position Computation with all Satellites in view and Optimum four Satellite Configurations"*, 2009
46. Seepersad, G., *"Reduction of Initial Convergence Period in GPS PPP Data Processing"*, New York University, 2012
47. Ta-Kang Yeh., *"Calibration of the GNSS Receivers – Methods, Results and Evaluation"*, Department of Real Estate and Built Environment, National Taipei University, 2008
48. Teunissen P., Kleusberg A., *"GPS for Geodesy"*, Springer, 1998
49. Trimble, *"Εγχειρίδιο χρήσης και τεχνικών χαρακτηριστικών δορυφορικών δεκτών των σειρών R7,R8,R8s"*, 2015
50. Trimble, *"Χαρακτηριστικά δορυφορικού δέκτη της σειράς R8"*, 2015
51. Τσακίρη Μ., *"Δίκτυα GPS"*, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2010
52. Τσακίρη Μ., *"Γεωδαισία ΙΙΙ. Σημειώσεις Μαθήματος. Εισαγωγή στο GPS"*, Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π., Αθήνα 2005.
53. Φωτίου Α., Λιβιεράτος Ε., *"Γεωμετρική Γεωδαισία και δίκτυα"*, εκδόσεις Ζήτη, ISBN 960-431-612-5, Θεσσαλονίκη 2000
54. Φωτίου Α., Πικριδάς Χ., *"GPS και γεωδαιτικές εφαρμογές"*, εκδόσεις Ζήτη, ISBN 978-960-456-346-3, Θεσσαλονίκη 2012

55. Zeimetz P., Kuhlmann H., "Validation of the Laboratory Calibration of Geodetic Antennas based on GPS Measurements", University of Bonn, 2011

ΙΣΤΟΓΡΑΦΙΑ

1. http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=42213
(Last Access 11/2016)
2. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:17123:-8:ed-1:v1:en>
(Last Access 11/2016)
3. <http://www.mainetechnicalsource.com/downloadfiles/Calibration.pdf>
(Last Access 11/2016)
4. http://www.actpla.act.gov.au/tools_resources/maps_land_survey/surveying_data/surveyors_information/edm_calibration
(Last Access 11/2016)
5. <http://www.dse.vic.gov.au/property-titles-and-maps/surveying>
(Last Access 11/2016)
6. http://www.alsa.ab.ca/Portals/0/PDF/Member_Resources/Reference_Material/Other/CALIBRATION_of_SURVEY_EQUIPMENT_May_17_2012.pdf (Last Access 11/2016)
7. <https://www.fig.net/commission5/wg52/GNSS%20CORS%20%20Calibration%20and%20Testing%20for%20GNSS%20and%20CORS%20V3.2.pdf> (Last Access 11/2016)
8. <http://en.beidou.gov.cn> (Last Access 11/2016)
9. https://www.fig.net/pub/fig2008/papers/ts04c/ts04c_02_heister_3069.pdf (Last Access 11/2016)
10. <http://www.sac.gov.cn/sacn/Standards/Release> (Last Access 11/2016)
11. <http://www.ansi.org> (Last Access 11/2016)
12. <http://www.jisc.go.jp/eng/iso-iec> (Last Access 11/2016)
13. <http://en.wikipedia.org/wiki/Metrology> (Last Access 11/2016)
14. <http://en.wikipedia.org/wiki/Calibration> (Last Access 11/2016)

15. <http://publicationslist.org/demitris-delikaraoglou> (*Last Access 11/2016*)
16. <http://igs.cb.jpl.nasa.gov> (*Last Access 11/2016*)
17. <http://www.rtigs.net/index.php/> (*Last Access 11/2016*)
18. <http://www.epncb.oma.be> (*Last Access 11/2016*)
19. http://www.geod.rncan.gc.ca/acp/cacs_e.php (*Last Access 11/2016*)
20. <http://mekira.gsi.go.jp/ENGLISH/> (*Last Access 11/2016*)
21. <http://www.ga.gov.au/geodesy/argn/> (*Last Access 11/2016*)
22. <http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/en/home.html>
(*Last Access 11/2016*)
23. <http://swepos.lmv.lm.se/> (*Last Access 11/2016*)
24. <http://www.geotech.gr/> (*Last Access 11/2016*)
25. <http://www.jgc.gr> (*Last Access 11/2016*)
26. <http://www.metrice.gr> (*Last Access 11/2016*)
27. <http://www.treecomp.gr> (*Last Access 11/2016*)
28. <http://www.sakkia.gr> (*Last Access 11/2016*)
29. <http://www.hepos.gr> (*Last Access 11/2016*)
30. <http://www.eim.gr/υπηρεσίες/υπηρεσίες-διακρίβωσης/> (*Last Access 11/2016*)
31. <http://act.gov.au/> (*Last Access 11/2016*)
32. <http://nrcan.gc.ca> (*Last Access 11/2016*)
33. <http://dx.doi.org/10.5772/58887> (*Last Access 11/2016*)
34. <http://www.ife.uni-hannover.de/absolute-antenna-calibration.html/>
(*Last Access 11/2016*)

