



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΔΕΚΤΩΝ FULL GNSS RTK ΓΙΑ
ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΗΜΙΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ»**

ΓΚΟΥΦΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ – ΑΜ: 17012



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΓΙΑΝΝΙΟΥ ΜΙΧΑΗΛ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΠΑ.Δ.Α

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2023



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

SCHOOL OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF SURVEYING AND

GEOINFORMATICS ENGINEERING

DIPLOMA THESIS

**«Potential of modern full GNSS RTK receivers for topographic surveys in
semi-urban areas»**

GKOUFAS DIMITRIOS – Registration Number: 17012



SUPERVISOR: GIANNIOU MICHAEL, PROFESSOR OF UNI.W.A.

ATHENS, JULY 2023

**«ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΔΕΚΤΩΝ FULL GNSS RTK ΓΙΑ
ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΗΜΙΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ»**

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

A/a	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	ΓΙΑΝΝΙΟΥ ΜΙΧΑΗΛ	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
2	ΠΑΓΟΥΝΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
3	ΑΝΔΡΙΤΣΑΝΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	

Δήλωση Συγγραφέα Διπλωματικής Εργασίας

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Γκούφας Δημήτριος, με αριθμό μητρώου 17012, φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών

Γκούφας Δημήτριος





ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ABSTRACT	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	12
1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ GNSS-RTK	13
2.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ GNSS	13
2.1.1 GPS.....	13
2.1.2 GLONASS.....	18
2.1.3 GALILEO.....	20
2.1.4 BEIDOU/COMPASS	22
2.2 Η ΤΕΧΝΙΚΗ RTK	25
2.2.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	25
2.2.2 ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΣΩΣΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ RTK	26
2.2.3 ΤΡΟΠΟΙ ΖΕΥΞΗΣ BASE-ROVER.....	26
2.2.4 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ RTK.....	27
2.3 ΔΙΚΤΥΑ ΜΟΝΙΜΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	28



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

2.3.1 ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ (HEPOS).....	28
2.3.2 ΙΔΙΩΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ	29
2.4 FULL GNSS.....	32
2.4.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ FULL GNSS	32
2.4.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ FULL GNSS ΣΤΟ RTK.....	33
2.4.3 ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΟΥ ΑΝΑΔΥΚΝΟΥΝ ΤΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ FULL GNSS ΣΤΟ RTK....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ FULL GNSS ΔΕΚΤΗ	46
3.1 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ	47
3.2 ΔΙΚΤΥΟ ΜΟΝΙΜΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ	48
3.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	49
3.3.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	49
3.3.2 ΕΠΙΛΥΣΗ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	50
3.3.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	118
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	120
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	122

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση την διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλλαν στην εκπόνησή της. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Γιαννίου Μιχαήλ, Καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας & Γεωπληροφορικής του ΠΑΔΑ για τη συνεχή καθοδήγηση για όλες τις υποδείξεις και συμβουλές του, καθώς για την προθυμία και για τις γνώσεις που αποκόμισα καθ' όλη την διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων. Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω και σε όλους τους καθηγητές του τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας & Γεωπληροφορικής του ΠΑΔΑ για όλες τις γνώσεις που αποκόμισα κατά τη διάρκεια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών μου. Θερμές ευχαριστίες εκφράζονται στο ν.π.δ.δ. «Ελληνικό Κτηματολόγιο» για τη δωρεάν χορήγηση δεδομένων του σταθμού 098Α για την επίλυση των στατικών μετρήσεων και κωδικού πρόσβασης στις υπηρεσίες του Ελληνικού Συστήματος Εντοπισμού HEPOS για τη διεξαγωγή των μετρήσεων RTK της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την πλήρη στήριξη σε κάθε τομέα της ζωής μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία με τίτλο «ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΔΕΚΤΩΝ FULL GNSS RTK ΓΙΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΗΜΙΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ» διερευνήθηκε η χρήση της τεχνικής GNSS RTK σε περιοχές που δεν εξασφαλίζεται πάντοτε μία καλή ορατότητα δορυφόρων, όπως για παράδειγμα συμβαίνει σε ημιαστικές περιοχές.

Πραγματοποιήθηκαν πειραματικές μετρήσεις πεδίου RTK με δέκτες Full GNSS τελευταίας τεχνολογίας σε σημεία που επιλέχθηκαν προσεκτικά και αποτελούν χαρακτηριστικές περιπτώσεις δύσκολων σημείων που παρουσιάζονται συχνά σε ημιαστικές περιοχές. Το κάθε σημείο μετρήθηκε με χρήση RTK, χρησιμοποιώντας GPS, συνδυασμούς GNSS και Full GNSS. Επίσης σε κάθε σημείο πραγματοποιήθηκε στατική μέτρηση για τον προσδιορισμό συντεταγμένων αναφοράς.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψε ότι το RTK με συνδυασμό διαφόρων GNSS και ιδιαίτερα το Full GNSS πλεονεκτούν σημαντικά σε αποδοτικότητα, ακρίβεια και αξιοπιστία έναντι του GPS RTK. Σε ιδιαίτερα δύσκολα σημεία διαπιστώθηκε πάντως ότι οι λύσεις, αν και fixed, μερικές φορές αποκλίνουν αισθητά (10-20 cm) από τις σωστές τιμές, κάτι το οποίο πρέπει να έχει υπόψη ο Τοπογράφος Μηχανικός όταν χρησιμοποιεί RTK στα περιβάλλοντα αυτά.

Λέξεις Κλειδιά: GNSS, RTK, GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU, FULL GNSS, Τοπογραφική Αποτύπωση

ABSTRACT

In this diploma thesis entitled "Potential of modern full GNSS RTK receivers for topographic surveys in semi-urban areas " the use of the GNSS RTK technique in areas with unfavorable satellite visibility, for example in semi-urban areas, was investigated.

RTK field measurements were contacted using state-of-the-art Full GNSS receivers at carefully selected points that represent typical cases of unfavorable points often encountered in semi-urban areas. Each point was measured with RTK, using GPS, GNSS combinations and Full GNSS. Each point was also measured using the static method, in order to determine reference coordinates.

From the analysis of the results, it was shown that RTK using combinations of various GNSS and especially Full GNSS has significant advantages in productivity, accuracy and reliability over GPS RTK. In especially difficult places, however, it was found that the RTK solutions, although fixed, sometimes deviate significantly (10-20 cm) from the correct values, something that the Surveying Engineer must keep in mind when using RTK in such environments.

Key words: GNSS, RTK, GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU, FULL GNSS, Topographic Survey

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Συχνότητες GPS.....	15
Πίνακας 2.2: Συχνότητες GLONASS.....	19
Πίνακας 2.3: Συχνότητες Galileo.....	21
Πίνακας 2.4: Συχνότητες BeiDou.....	24
Πίνακας 2.5: Αριθμός δορυφόρων GNSS.....	32
Πίνακας 2.6: Αριθμός δορυφόρων για κάθε GNSS και για Full GNSS.....	35
Πίνακας 2.7: Σφάλμα RMS των λύσεων RTK για τις μετρήσεις κάτω από φυλλωσιες.....	38
Πίνακας 2.8: Αξιοπιστία των λύσεων RTK για τις μετρήσεις κάτω από φύλλο.....	38
Πίνακας 2.9: Τιμές canopy και open sky για τη γεωμετρία GDOP.....	41
Πίνακας 2.10: RTK solutions σε canopy και open sky.....	42
Πίνακας 2.11: Time to Fix Σε canopy και open sky.....	42
Πίνακας 2.12: Time to Fix σε canopy και open sky.....	43
Πίνακας 2.13: Συνδυασμός GNSS για επίλυση στατικών μετρήσεων.....	44
Πίνακας 2.14: Συνδυασμός GNSS για επίλυση στατικών μετρήσεων.....	44
Πίνακας 3.1: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 1).....	55
Πίνακας 3.2: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 1).....	55
Πίνακας 3.3: Συντεταγμένες (m) σημείου 1 και στατιστικά από επίλυση static.....	55
Πίνακας 3.4: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNS.....	56
Πίνακας 3.5: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 2).....	58
Πίνακας 3.6: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο).....	58
Πίνακας 3.7: Συντεταγμένες (m) σημείου 2 και στατιστικά από επίλυση static.....	58
Πίνακας 3.8: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 2).....	59
Πίνακας 3.9: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 3).....	60
Πίνακας 3.10: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 3).....	61
Πίνακας 3.11: Συντεταγμένες (m) σημείου 3 και στατιστικά από επίλυση static.....	61
Πίνακας 3.12: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 3).....	61
Πίνακας 3.13: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 4).....	64
Πίνακας 3.14: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 4).....	64
Πίνακας 3.15: Συντεταγμένες (m) σημείου 4 και στατιστικά από επίλυση static.....	64
Πίνακας 3.16: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 4).....	65
Πίνακας 3.17: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 5).....	66

Πίνακας 3.18: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 5).....	67
Πίνακας 3.19: Συντεταγμένες (m) σημείου 5 και στατιστικά από επίλυση static.....	67
Πίνακας 3.20: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 5).....	67
Πίνακας 3.21: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 6).....	70
Πίνακας 3.22: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 6).....	70
Πίνακας 3.23: Συντεταγμένες (m) σημείου 6 και στατιστικά από επίλυση static.....	70
Πίνακας 3.24: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 6).....	71
Πίνακας 3.25: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 7).....	73
Πίνακας 3.26: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 7).....	73
Πίνακας 3.27: Συντεταγμένες (m) σημείου 7 και στατιστικά από επίλυση static.....	73
Πίνακας 3.28: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 7).....	74
Πίνακας 3.29: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 8).....	76
Πίνακας 3.30: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 8).....	76
Πίνακας 3.31: Συντεταγμένες (m) σημείου 8 και στατιστικά από επίλυση static.....	76
Πίνακας 3.32: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 8).....	77
Πίνακας 3.33: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 9).....	79
Πίνακας 3.34: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 9).....	79
Πίνακας 3.35: Συντεταγμένες (m) σημείου 9 και στατιστικά από επίλυση static.....	79
Πίνακας 3.36: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 9).....	79
Πίνακας 3.37: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 10).....	82
Πίνακας 3.38: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 10).....	82
Πίνακας 3.39: Συντεταγμένες (m) σημείου 10 και στατιστικά από επίλυση static.....	82
Πίνακας 3.40: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 10).....	83
Πίνακας 3.41: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 11).....	85
Πίνακας 3.42: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 11).....	85
Πίνακας 3.43: Συντεταγμένες (m) σημείου 11 και στατιστικά από επίλυση static.....	85
Πίνακας 3.44: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 11).....	86
Πίνακας 3.45: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 12).....	88
Πίνακας 3.46: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 12).....	88
Πίνακας 3.47: Συντεταγμένες (m) σημείου 12 και στατιστικά από επίλυση static.....	88
Πίνακας 3.48: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 12).....	89

Πίνακας 3.49: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 13).....	91
Πίνακας 3.50: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 13).....	91
Πίνακας 3.51: Συντεταγμένες (m) σημείου 13 και στατιστικά από επίλυση static.....	91
Πίνακας 3.52: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 13).....	92
Πίνακας 3.53: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 14).....	94
Πίνακας 3.54: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 14).....	94
Πίνακας 3.55: Συντεταγμένες (m) σημείου 14 και στατιστικά από επίλυση static.....	94
Πίνακας 3.56: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 14).....	95
Πίνακας 3.57: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 15).....	97
Πίνακας 3.58: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 15).....	97
Πίνακας 3.59: Συντεταγμένες (m) σημείου 15 και στατιστικά από επίλυση static.....	97
Πίνακας 3.60: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 15).....	98
Πίνακας 3.61: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 16).....	100
Πίνακας 3.62: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 16).....	100
Πίνακας 3.63: Συντεταγμένες (m) σημείου 16 και στατιστικά από επίλυση static.....	100
Πίνακας 3.64: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 16).....	101
Πίνακας 3.65: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 17).....	103
Πίνακας 3.66: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 17).....	103
Πίνακας 3.67: Συντεταγμένες (m) σημείου 17 και στατιστικά από επίλυση static.....	103
Πίνακας 3.68: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 17).....	104
Πίνακας 3.69: Αποτελέσματα για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 18).....	107
Πίνακας 3.70: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 18).....	107
Πίνακας 3.71: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS για Hi-Target (σημείο 18).....	107
Πίνακας 3.72: Συντεταγμένες (m) σημείου 18 και στατιστικά από επίλυση static για δέκτη Hi-Target.....	108
Πίνακας 3.74: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 18) για δέκτη Hi-Target.....	108
Πίνακας 3.75: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 18) για δέκτη Trimble.....	108
Πίνακας 3.76: Αποτελέσματα για διάφορους συνδυασμούς GNSS για Hi-Target(σημείο 19).....	111
Πίνακας 3.77: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 19).....	111

Πίνακας 3.78: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS(σημείο 19).....	111
Πίνακας 3.79: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 19).....	112
Πίνακας 3.80: Συντεταγμένες (m) σημείου 19 και στατιστικά από επίλυση static για δέκτη Hi-Target.....	112
Πίνακας 3.81: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 19) για δέκτη Hi-Target.....	112
Πίνακας 3.82: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 19) για δέκτη Trimble.....	112
Πίνακας 3.83: Αποτελέσματα για διάφορους συνδυασμούς GNSS για Hi-Target (σημείο 20).....	115
Πίνακας 3.84: Ορατού/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 20).....	115
Πίνακας 3.85: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS για Trimble(σημείο 20).....	115
Πίνακας 3.86: Συντεταγμένες (m) σημείου 20 και στατιστικά από επίλυση static για δέκτη Hi-Target.....	116
Πίνακας 3.87: Συντεταγμένες (m) σημείου 20 και στατιστικά από επίλυση static για δέκτη Trimble.....	116
Πίνακας 3.88: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 20) για δέκτη Hi-Target.....	116
Πίνακας 3.89: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 20) για δέκτη Trimble.....	116

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Στα πλαίσια εκπόνησης της Διπλωματικής Εργασίας, ανατέθηκε η εργασία με θέμα *Δυνατότητες σύγχρονων δεκτών Full GNSS RTK για τοπογραφική αποτύπωση ημιαστικών περιοχών*.

Το κύριο πλεονέκτημα που χαρακτηρίζει τους σύγχρονους δέκτες είναι η δυνατότητα να πραγματοποιούν επιλύσεις ασαφειών φάσης συνδυάζοντας τέσσερα δορυφορικά συστήματα GNSS: GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU. Η δυνατότητα αυτή αποφέρει μεγαλύτερη διαθεσιμότητα δορυφόρων συγκριτικά με παλαιότερους δέκτες και συνεπώς βελτιωμένες επιλύσεις και αξιοπιστία σε συνήθεις τοπογραφικές μελέτες.

1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός και στόχοι της εργασίας είναι η μελέτη και αξιολόγηση της ύπαρξης Full GNSS στους σύγχρονους δέκτες. Για τον σκοπό αυτό θα χρησιμοποιηθεί δέκτης Full GNSS νέας τεχνολογίας ο οποίος χορηγήθηκε από το Πανεπιστήμιο. Στο πλαίσιο αυτό θα πραγματοποιηθούν μετρήσεις RTK σε επιλεγμένα σημεία διαφορετικής δυσκολίας με όλους τους πιθανούς συνδυασμούς συστημάτων GNSS, ώστε να συγκριθεί το Full GNSS με αυτούς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ GNSS-RTK

2.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ GNSS

2.1.1 GPS

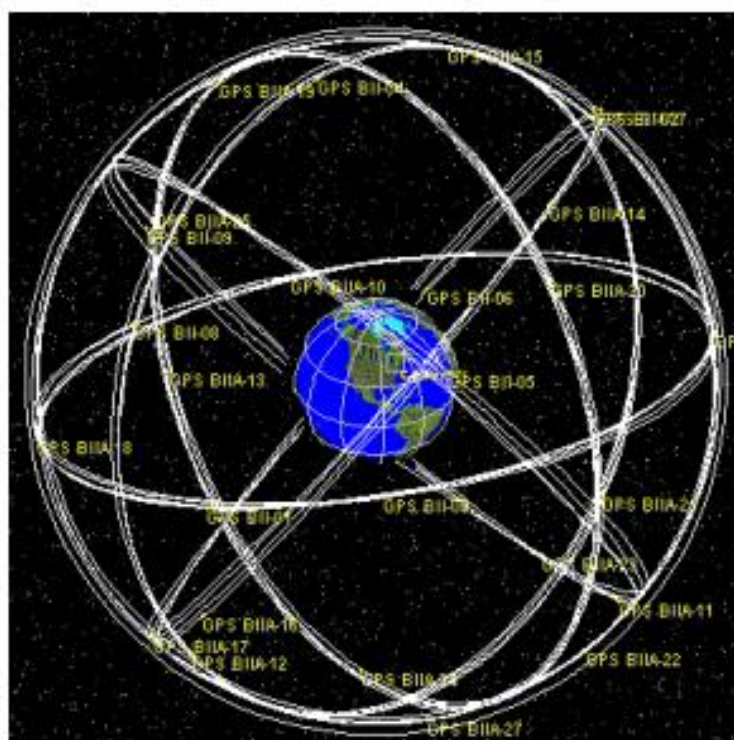
Γενική περιγραφή του GPS

Το GPS (Global Positioning System) αποτελεί ένα από τα τέσσερα Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης (GNSS: Global Navigation Satellite Systems) και αναπτύχθηκε από τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής με την επίσημη ονομασία NAVSTAR (NAVigation System with Time and Ranging) Global Positioning System. Ο σχεδιασμός του ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του 1970 και το 1993 ήταν ήδη πλήρως λειτουργικό με 24 δορυφόρους. Το τμήμα ελέγχου (Control Segment) στην αρχική του μορφή (πριν τον εκμοντερνισμό του συστήματος) αποτελείτο από: Τον κεντρικό σταθμό ελέγχου (Master Control Station) στο Colorado Springs των ΗΠΑ, τους 5 σταθμούς παρακολούθησης (monitor stations) και τους 3 επίγειες κεραίες (ground antennas) για την αποστολή στοιχείων στους δορυφόρους. Το GPS αντικατέστησε παλαιότερα συστήματα πλοήγησης, όπως το Loran C και το OMEGA. Ο πρώτος δορυφόρος GPS εκτοξεύτηκε στις 22 Φεβρουαρίου 1978 με το όνομα OPS 5111 ή αλλιώς Navstar 1 που παρείχε υπηρεσίες έως το 1985.



Εικόνα 2.1: Δορυφόρος Navstar 1 (Πηγή: <http://www.astronautix.com/g/gpsblock1.html>)

Συνολικά το σύστημα GPS έχει εκτοξεύσει 78 δορυφόρους από τους οποίους οι 31 είναι σήμερα σε τροχιά και παρέχουν υπηρεσίες, ενώ 41 από αυτούς έχουν αποσυρθεί. Οι δορυφόροι στο σύστημα GPS εκτελούν σχεδόν κυκλικές τροχιές και κινούνται σε ύψος περίπου 20200 km (δορυφόροι MEO), με περίοδο ελάχιστα μικρότερη από 12 ώρες ηλιακού χρόνου (12 ώρες ακριβώς σε αστρικό χρόνο). Οι δορυφόροι αυτοί είναι κατανομημένοι σε 6 τροχιακά επίπεδα με κλίση 55 μοιρών και δίνεται η δυνατότητα εξασφάλισης παρατήρησης τουλάχιστον τεσσάρων δορυφόρων από τον εκάστοτε δέκτη σε κάθε σημείο της Γης ανά πάσα στιγμή. Διαθέτουν ταλαντωτές μεγάλης ακρίβειας, συστήματα επικοινωνιών, υπολογιστές και διάφορα βοηθητικά συστήματα.



Εικόνα 2.2: Κατανομή δορυφόρων GPS. (Πηγή: <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>)

Η μετάδοση πληροφοριών από τους δορυφόρους στο δέκτη γίνεται μέσω ψηφιακών μηνυμάτων στο δυαδικό σύστημα τα οποία μεταφέρονται με δύο φέρουσες συχνότητες $L1:154 \cdot 10,23 \text{ MHz} = 1575,42 \text{ MHz}$ και $L2=120 \cdot 10,23 \text{ MHz} = 1227,60 \text{ MHz}$ και $L5=115 \cdot 1176,45 \text{ MHz}$. Η μετάδοση γίνεται μέσω της δυαδικής διφασικής διαμόρφωσης. Τα δεδομένα παρέχονται στο χρήστη μέσω

της εκπεμπόμενης εφημερίδας (broadcast ephemeris) και επιτρέπουν τον υπολογισμό στοιχείων όπως η θέση του δορυφόρου κάθε χρονική στιγμή και το σφάλμα ρολογιού του δορυφόρου.

Συνοπτικά, οι συχνότητες του GPS φαίνονται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1: Συχνότητες GPS.

Όνομασία	Συχνότητα (MHz)
L1	1575.42
L2	1227.60
L5	1176.45

Η πληροφορία που φθάνει από τους δορυφόρους GPS στους δέκτες γίνεται μέσω των κωδίκων PNR (Pseudo Random Noise) δηλαδή του κώδικα P και C/A που είναι σειρές με επαναλήψεις των ψηφίων 1 και 0 του δυαδικού συστήματος.

Οι σταθμοί παρακολούθησης στο τμήμα ελέγχου είναι εφοδιασμένοι με δέκτες που μετρούν συνεχώς ψευδοαποστάσεις των ορατών σε αυτούς δορυφόρων και αφού συγκεντρώνονται τα δεδομένα, γίνεται η επεξεργασία τους, υπολογίζονται οι τροχιές των δορυφόρων και οι παράμετροι των ρολογιών τους. Οι παράμετροι αυτοί μεταδίδονται στους σταθμούς ελέγχου από όπου μεταδίδονται στους δορυφόρους προκειμένου να συμπεριληφθούν στο τελικά μεταδιδόμενο μήνυμα των δεδομένων (navigation message).

Block δορυφόρων GPS

Οι δορυφόροι GPS χωρίζονται σε μπλοκ τα οποία είναι τα εξής: Block I, II, IIA, IIR, IIRM, IIF, III, IIIF.

Οι δορυφόροι του block I είναι οι πρώτοι χρονικά δορυφόροι που εκτοξεύτηκαν από το 1978 έως και το 1985 και έχουν σταματήσει να λειτουργούν από το 1994, δεδομένου ότι η διάρκεια της ζωής των δορυφόρων είναι κατά μέσο όρο 5 χρόνια. Σε αυτή τη σειρά εντάσσεται και ο πρώτος δορυφόρος GPS Navstar 1, ενώ 11 συνολικά δορυφόροι πρώτης σειράς εκτοξεύτηκαν την περίοδο αυτή.

Οι δορυφόροι του block II εκτοξεύτηκαν από τον Φεβρουάριο του 1989 έως τον Οκτώβριο του 1990 και συνολικά εκτοξεύτηκαν 9 δορυφόροι αυτού του block. Σύντομα ακολούθησε η προχωρημένη σειρά ΙΙΑ και για το διάστημα 1990-1997 εκτοξεύτηκαν συνολικά 19 δορυφόροι. Και από τις δύο προαναφερμένες σειρές όλοι οι δορυφόροι έχουν αποσυρθεί σήμερα. Ακολούθησε η σειρά ΙΙR για την οποία από το 1998 έχουν εκτοξευτεί 13 δορυφόροι με τους 7 από αυτούς να είναι ενεργοί έως και σήμερα με σκοπό την προειδοποίηση κινδύνων αλλά και έρευνες διάσωσης. Στη συνέχεια και το διάστημα 2005-2009 εκτοξεύτηκαν οι δορυφόροι σειράς ΙΙRΜ από τους οποίους 7 από τους 8 είναι σε λειτουργία σήμερα και τέλος, το διάστημα 2010-2016 εκτοξεύτηκαν 12 δορυφόροι από τους οποίους και οι 12 παρέχουν έως και σήμερα υπηρεσίες και κατασκευάστηκαν με τεχνολογία που τους επιτρέπει να διατηρούνται έως και 12 χρόνια. Με τους δορυφόρους της σειράς Block ΙΙR Μ ξεκίνησε η εκπομπή του νέου πολιτικού σήματος L2C που πρόκειται μία νέα διαμόρφωση της φέρουσας συχνότητας L2. Η νέα αυτή συχνότητα συνεχίστηκε και στους νεότερους δορυφόρους και αποτελείται από δύο νέους μετρητικούς κώδικες PRN, τον κώδικα CM και τον κώδικα CL. Επίσης στους δορυφόρους σειράς Block ΙΙF άρχισε να εκπέμπεται από το φθινόπωρο του 2010 η νέα συχνότητα L5=1176.45 MHz, με την εκτόξευση των δύο πρώτων δορυφόρων της σειράς αυτής. Το πλεονέκτημα του νέου σήματος L5 είναι ότι σε συνδυασμό με την L2C προσφέρει τον προσδιορισμό του ιονοσφαιρικού σφάλματος και στην μεγαλύτερη ακρίβεια εντοπισμού θέσης.

Από την 3^η γενιά δορυφόρων GPS ή αλλιώς Block ΙΙΙ εκτοξεύθηκαν την περίοδο 2018-2023 6 δορυφόροι που παρέχουν υπηρεσίες με υψηλότερα επίπεδα ισχύος και εμβέλεια σημάτων συγκριτικά με τις προηγούμενες γενιές. Από τους δορυφόρους αυτούς εκπέμπεται και το νέο πολιτικό σήμα L1C προκειμένου να δώσει λύση, μεταξύ άλλων, στις παρεμβολές που συχνά παρουσιάζονται στη συχνότητα L1. Επίσης, είναι στα σχέδια και η σειρά ΙΙIF, για την οποία δεν έχουν εκτοξευθεί ακόμη δορυφόροι.

Κατηγορίες δεκτών GPS

Υπάρχουν διάφοροι τύποι δεκτών GPS που διαχωρίζονται ως είδος ανάλογα με τον κώδικα που χρησιμοποιούν και τη δυνατότητα να αξιοποιούν τις φέρουσες συχνότητες μέσω παρατηρήσεων διαφορών φάσης. Μια βασική διάκριση των δεκτών είναι η εξής:

Δέκτες κώδικα C/A: Πρόκειται για δέκτες μικρής ακρίβειας που τους χρησιμοποιούν σκάφη αναψυχής, αυτοκίνητα και είναι οι πιο γνωστοί στο ευρύ κοινό. Έχουν μικρές διαστάσεις

(περίπου όσο ένα κινητό τηλέφωνο) και διαθέτουν 1 έως 6 διαύλους από τους οποίους αρκεί ένας δίαυλος σε σταθερή θέση που παρατηρεί διαφορετικούς δορυφόρους προκειμένου να γίνει προσδιορισμός, ενώ σε κίνηση απαιτούνται τέσσερις δίαυλοι.

Δέκτες κώδικα Υ: Αποτελούν δέκτες στους οποίους έχουν πρόσβαση μόνο εξουσιοδοτημένοι χρήστες του συστήματος. Επιτρέπουν την πρόσβαση στον κρυπτογραφημένο κώδικα P(Y), εξασφαλίζοντας μεγαλύτερη ακρίβεια.

Γεωδαιτικού δέκτες φέρουσας συχνότητας και κώδικα C/A: Αποτελούν δέκτες που μπορούν να πραγματοποιούν παρατηρήσεις τόσο ψευδοαποστάσεων όσο και φάσης των φερουσών συχνοτήτων. Χρησιμοποιούνται σε γεωδαιτικές-τοπογραφικές εφαρμογές όπως στατικές μετρήσεις και RTK.



Εικόνα 2.3: Γεωδαιτικός δέκτης GPS. (Πηγή: <https://www.metrigon.gr/metrigon/?product=leica-gs08-plus-net-rover>)

2.1.2 GLONASS

Γενική περιγραφή του GLONASS

Το σύστημα GLONASS αποτελεί επίσης ένα από τα τέσσερα Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης GNSS και αναπτύχθηκε από την τότε Σοβιετική Ένωση και νυν Ρωσία το 1976, ως παρόμοιο με αυτό του GPS. Αποτελεί ένα από τα πιο ακριβά έργα που έχει επενδύσει η Ρωσική κυβέρνηση (περίπου 15 δισεκατομμύρια δολάρια) με διαρκείς αναβαθμίσεις, νέους δορυφόρους και νέες εκδόσεις.

Δορυφόροι GLONASS

Το σύστημα GLONASS περιλαμβάνει σήμερα ένα σύνολο από 24 λειτουργικούς δορυφόρους. Οι δορυφόροι GLONASS είναι κατανομημένοι σε τρία τροχιακά επίπεδα και το κάθε τροχιακό επίπεδο έχει σχεδιαστεί να περιλαμβάνει 8 δορυφόρους. Οι δορυφόροι διατηρούν σχεδόν κυκλική τροχιά με γωνία κλίσης 64.8 μοιρών ως προς το ισημερινό επίπεδο και περίοδο περιφοράς 11 hours 5 minutes. Αποτελούν, όπως και στο σύστημα GPS, δορυφόρους MEO καθώς το μέσο ύψος τους πάνω από την επιφάνεια της Γης είναι 19100 km. Σε αντίθεση με τους δορυφόρους GPS, ο κάθε δορυφόρος GLONASS εκπέμπει σε διαφορετική συχνότητα βάσει του αριθμού PNR που έχει στο σύστημα. Οι συχνότητες εκπέμπουν οι δορυφόροι προκύπτουν από δύο βασικές συχνότητες L1 και L2 με ένα offset που εξαρτάται τον αριθμό PNR που διαθέτουν στο σύστημα. Οι συχνότητες GLONASS είχαν σχεδιαστεί να καλύπτουν ένα σημαντικό μέρος των ραδιοκυμάτων από 1602.5625 έως 1615.5 MHz για τη συχνότητα L1 και εύρος 1246.4375 έως 1256.5 MHz για την L2, όμως λόγω της μεγάλης ζήτησης από διάφορες υπηρεσίες, όπως ραδιοαστρονόμους και υπηρεσίες συστημάτων τηλεπικοινωνιών, η Ρωσική υπηρεσία πραγματοποίησε μεταβολή στο εύρος των συχνοτήτων εκπομπής από 1598.0625 έως 1605.375 MHz. Αξίζει να αναφερθεί ότι οι πολιτικοί κώδικες που μεταδίδονται από τους δορυφόρους GLONASS είναι διαμορφωμένοι και στις δύο συχνότητες με αποτέλεσμα να προσφέρουν μεγαλύτερη ακρίβεια στον απόλυτο προσδιορισμό θέσης σε σχέση με το GPS, το οποίο είχε τον πολιτικό κώδικα C/A διαμορφωμένο μόνο στην L1 και τον κώδικα P κρυπτογραφημένο (αυτό άλλαξε με την προσθήκη του σήματος L2C). Συνοπτικά οι συχνότητες των δορυφόρων GLONASS δίνονται στον Πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.2: Συχνότητες GLONASS

Όνομασία	Συχνότητα (MHz)
L1	1602 (κεντρική)
L2	1246 (κεντρική)
L3	1202.025

Γενιές/block δορυφόρων GLONASS

Η πρώτη γενιά δορυφόρων GLONASS που ξεκίνησε στις 12 Οκτωβρίου 1982 με την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου και χρησιμοποιήθηκε για την αρχική υλοποίηση του GLONASS. Οι πρώτοι δορυφόροι που εκτοξεύθηκαν ήταν της σειράς Block I ενώ από το 1985 παράχθηκαν δορυφόροι με βελτιωμένα χαρακτηριστικά και συγκεκριμένα σειρών Block II ακαι II b. Από το 1987 εκτοξεύθηκαν 12 δορυφόροι σειράς IIb από τους οποίους οι 6 διατηρήθηκαν σε τροχιά 22 μήνες, προσφέροντας αξιόπιστα υπηρεσίες. Την περίοδο 1988 έως και 2000 κατασκευάστηκαν και εκτοξεύθηκαν οι δορυφόροι σειράς IIv που ήταν και η πιο αξιόπιστη σειρά για την 1^η γενιά GLONASS. Η διάρκεια ζωής τους ήταν σχεδιασμένη για περίπου τρία χρόνια, ωστόσο πολλές ήταν οι περιπτώσεις που αυτό το όριο ξεπεράστηκε. Για τη συγκεκριμένη σειρά πραγματοποιήθηκαν 56 εκτοξεύσεις δορυφόρων και μάλιστα συνέχισαν ως το 2005.

Η δεύτερη γενιά δορυφόρων GLONASS ξεκίνησε από το 2003 και είναι γνωστοί και ως GLONASS-M καθώς αντιπροσωπεύουν τη νέα πιο εξελιγμένη έκδοση του GLONASS. Συγκριτικά με τους δορυφόρους 1^{ης} γενιάς έχουν πολύ μεγαλύτερη διάρκεια ζωής που υπολογίζεται στα 7 έτη και εκτοξεύθηκαν συνολικά 52 δορυφόροι GLONASS-M. Χρησιμοποιούν βελτιωμένα χρονόμετρα καισίου.

Η τρίτη γενιά δορυφόρων GLONASS ξεκίνησε από το 2011 και είναι γνωστοί ως GLONASS-K (ή GLONASS-K1) καθώς αντιπροσωπεύουν την νεότερη έκδοση του GLONASS, με τη διάρκεια ζωής τους να αυξάνεται στα 10 χρόνια. Η πιο πρόσφατη εκτόξευση GLONASS-K ήταν του δορυφόρου Kosmos 2559 στις 10 Οκτωβρίου 2022 (Block III) , ο οποίος είναι και ο 7^{ος} σε σειρά για την γενιά αυτή. Από τους 7 δορυφόρους οι 6 είναι ενεργοί έως και σήμερα και παρέχουν

υπηρεσίες. Αξίζει να αναφερθεί ότι είναι υπό σχεδιασμό οι νέες εκδόσεις GLONASS-K2 και GLONASS-KM.

Εφαρμογές του GLONASS

Πολλές είναι οι χρήσεις και οι εφαρμογές του συστήματος GLONASS στην καθημερινότητα αλλά και σε ειδικότερες Τοπογραφικές εφαρμογές. Όσο αναφορά την εμπορική χρήση του, χρησιμοποιήθηκε στην συσκευή πλοηγού αυτοκινήτων Glospace SGK-70 ενώ στα κινητά τηλέφωνα χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά ο συνδυασμός GPS-GLONASS για τον εντοπισμό θέσης στο iPhone 4S της Apple. Πολύ σημαντικό όμως είναι ότι εδώ και πολύ καιρό οι περισσότερες κατασκευάστριες εταιρείες δεκτών GNSS έχουν εντάξει το σύστημα GLONASS στους δέκτες τους. Μερικές από αυτές είναι η Leica, Topcon, Trimble, Javad GNSS, Furuno και C-Nav και έχουν ευρεία χρήση σε εφαρμογές όπως το RTK και το post-processing. Με τον συνδυασμό GLONASS και GPS επιτυγχάνεται σε μεγάλο βαθμό η βελτιωμένη απόδοση στον εντοπισμό θέσης με δυνατότητα μέτρησης σε δύσκολα περιβάλλοντα.

2.1.3 GALILEO

Γενική περιγραφή Galileo

Το σύστημα Galileo αποτελεί ένα από τα τέσσερα Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης GNSS και αναπτύχθηκε στην Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω της ESA (European Space Agency). Το σύστημα Galileo ξεκίνησε τη λειτουργία του πειραματικά στις 28 Δεκεμβρίου του 2005 όταν και εκτοξεύτηκε και ο πρώτος δορυφόρος με το όνομα GIOVE-A (Galileo In-Orbit Validation Element) από το κοσμοδρόμιο Baikonur και ακολούθησε ο GIOVE-B και προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι απαιτούμενοι έλεγχοι ακολούθησε μία σειρά επιχειρησιακών δορυφόρων (Φωτίου & Πικριδάς, 2012). Ύστερα από τις απαιτούμενες δοκιμές, το Galileo ξεκίνησε επίσημα να παρέχει υπηρεσίες το 2014. Η διαχείριση του συστήματος γίνεται από την EUSPA (European Union Agency for the Space Programme που εδρεύει στην Πράγα της Τσεχίας. Το κόστος ανάπτυξης ανήλθε στα 10 δισεκατομμύρια δολάρια. Παρέχει 1m ακρίβεια με χρήση δεκτών δύο συχνοτήτων και έως 20 cm με την νέα υπηρεσία Galileo HAS (High Accuracy Service).

Δορυφόροι και Σήματα

Το σύστημα Galileo έως και σήμερα περιλαμβάνει συνολικά 30 εκτοξεύσεις δορυφόρων εκ των οποίων οι 23 είναι λειτουργικοί και οι υπόλοιποι λειτουργούν ως εφεδρικοί ή έχουν αποσυρθεί. Το μέσο ύψος της τροχιάς των δορυφόρων Galileo είναι στα 23600 km γεγονός που τους καθιστά δορυφόρους MEO (Medium Earth Orbit). Είναι τοποθετημένοι σε τρία τροχιακά επίπεδα με γωνία κλίσης 56 μοιρών ως προς το ισημερινό επίπεδο με περίοδο περιφοράς περίπου 14 ώρες, Υποστηρίζονται από ένα δίκτυο 20 επίγειων σταθμών παρακολούθησης και δύο κέντρων ελέγχου (Φωτίου & Πικριδάς, 2012).

Όλοι οι δορυφόροι Galileo σύμφωνα με την επίσημη ιστοσελίδα της ESA (https://www.esa.int/Applications/Navigation/Galileo/Galileo_navigation_signals_and_frequencies) εκπέμπουν σε μία συχνότητα $L1=1575,42$ MHz. Για να μπορούν οι δέκτες να αναγνωρίζουν από ποιους δορυφόρους προέρχονται τα σήματα και ταυτόχρονα να μετρούν το χρόνο που χρειάζεται να διανύσει το δορυφορικό σήμα ώστε να υπολογίσουν την απόσταση δορυφόρου-έκτη, χρησιμοποιείται και ένας κώδικας στην L1. Ο κώδικας αυτός διαφέρει από δορυφόρο σε δορυφόρο. Για να αντιμετωπιστούν μεταγενέστερα διάφορα προβλήματα στο RTK όπως το Multipath και το ιονοσφαιρικό σφάλμα, προστέθηκαν στην L1 οι συχνότητες E5 (E5a και E5b) και η E6. Οι συχνότητες με τους αντίστοιχους κωδικούς τους δίνονται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.3: Συχνότητες Galileo

Όνομασία	Συχνότητα(MHz)
L1	1575.42
E5a	1146.45
E5b	1207.14
E6	1278.75

Στην επίσημη ιστοσελίδα της ESA αναγράφονται διάφορες χρήσεις των συχνοτήτων αλλά και συνδυασμοί ανάλογα με την υπηρεσία που απαιτείται. Για παράδειγμα στις υπηρεσίες ελεύθερης πρόσβασης χρησιμοποιούνται οι συχνότητες L1, E5a και E5b ενώ για την αντιμετώπιση και

μείωση του ιονοσφαιρικού σφάλματος αλλά και τη μεγαλύτερη ακρίβεια εντοπισμού θέσης χρησιμοποιείται ο συνδυασμός διπλής συχνότητας L1 και E5a (dual frequency).

Για το σύστημα Galileo έχουν σχεδιαστεί δύο γενιές δορυφόρων εκ των οποίων μόνο η πρώτη γενιά έχει χρησιμοποιηθεί έως και σήμερα καθώς η δεύτερη γενιά αναμένεται να λειτουργήσει από το 2024. Στην πρώτη γενιά εντάσσονται οι δορυφόροι GIOVE (GIOVE-A & GIOVE-B), οι οποίοι ήταν δοκιμαστικοί και λειτούργησαν την περίοδο 2005 έως 2008, οι δορυφόροι IOV (In Orbit Validation) που ήταν επίσης δοκιμαστικοί δορυφόροι (τέσσερις συνολικά στον αριθμό) και εκτοξεύθηκαν την περίοδο 2011-2012 και οι δορυφόροι FOC (Full Operational Capability), οι οποίοι και αποτελούν τους δορυφόρους με τους οποίους παρέχει το Galileo δεδομένα. Από το 2014 έχουν εκτοξευθεί 22 στο σύνολο από τους οποίους οι 21 παραμένουν σε τροχιά. Για τη δεύτερη γενιά δορυφόρων αναμένεται το 2024 να εκτοξευθούν οι δορυφόροι G2G.

Χρήσεις και δέκτες Galileo

Πολλές είναι οι χρήσεις και οι εφαρμογές του συστήματος Galileo στην καθημερινότητα αλλά και σε ειδικότερες εφαρμογές, όπως τοπογραφικές εργασίες ακριβείας. Σύμφωνα με την ιστοσελίδα Galileo GNSS (<https://galileognss.eu/is-your-phone-using-galileo/>) χρήση Galileo εντοπίζεται και σε μερικά σύγχρονα κινητά τηλέφωνα smartphones των εταιρειών Apple, BQ, Google, Huawei, LG όπως το iPhone 8 της Apple. Πολύ σημαντικό είναι ότι το Galileo χρησιμοποιείται και σε δέκτες GNSS και σε συνδυασμό με άλλα GNSS συστήματα όπως το GPS επιτυγχάνοντας μεγαλύτερη ακρίβεια στον εντοπισμό θέσης αλλά διαθεσιμότητα λύσης. Μερικές από τις εταιρίες που παράγουν τέτοιους δέκτες είναι η Leica, Topcon, Trimble, Javad GNSS οι οποίοι έχουν ευρεία χρήση σε εφαρμογές όπως το RTK και το post-processing.

2.1.4 BEIDOU/COMPASS

Γενική περιγραφή BeiDou/Compass

Το BeiDou/Compass αποτελεί ένα από τα τέσσερα Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης GNSS και αναπτύσσεται στην Κίνα από το 2000. Έως και σήμερα έχουν έρθει εις πέρας 3 φάσεις του BeiDou. Η πρώτη φάση του συστήματος (BeiDou-1) λειτούργησε από το 2000 με την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου (BeiDou-1A) και σταμάτησε να παρέχει

υπηρεσίες το 2012 μετά και την έναρξη υλοποίησης της 2^{ης} φάσης BeiDou-2. Η 3^η και νεότερη φάση BeiDou-3 υλοποιήθηκε το 2020 και οι δορυφόροι της παρέχουν υπηρεσίες μαζί με εκείνους της 2^{ης} φάσης. Το σύνολο των εκτοξεύσεων δορυφόρων που έχουν πραγματοποιηθεί για το BeiDou είναι 59 από τους οποίους οι 45 είναι σε τροχιά σήμερα. Σε αντίθεση με τα υπόλοιπα συστήματα GNSS, στο BeiDou χρησιμοποιούνται δορυφόροι σε γεωστατική τροχιά GEO (Geosynchronous Equatorial Orbit) αλλά και σε μη γεωστατική τροχιά (Non GEO) και το μέσο τους ύψος είναι περίπου στα 21500 km. Το BeiDou διαθέτει δικό του σύστημα ελέγχου αποτελούμενο από έναν κεντρικό σταθμό ελέγχου, δύο σταθμούς τηλεπικοινωνιών και τριάντα σταθμούς παρακολούθησης (Φωτίου & Πικριδάς, 2012). Επίσης χρησιμοποιεί το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς CGCS 2000 (China Geodetic Coordinate System 2000) το οποίο ταυτίζεται με ακρίβεια καλύτερη από τα 10 cm με το ITRF.

BeiDou-1

Το BeiDou-1 όπως αναφέρθηκε ήταν το πρώτο στάδιο του συστήματος και λειτούργησε από το 2000 έως το 2012 με συνολικά τέσσερις γεωστατικούς δορυφόρους GEO, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν περισσότερο ως πειραματικοί με τους τρεις να βρίσκονται σε υπηρεσία και έναν να χρησιμοποιείται ως εφεδρικός. Το BeiDou-1 δεν παρείχε πλήρη κάλυψη της Γης αλλά η κάλυψη περιοριζόταν σε γεωγραφικό μήκος από 70 έως 140 μοίρες Ανατολικά και σε γεωγραφικό πλάτος από 5 έως 55 μοίρες. Το γεγονός ότι το σύστημα δεν κάλυπτε μεγάλο μέρος της Γης οφειλόταν αφενός στο μικρό αριθμό δορυφόρων και αφετέρου στη χρήση γεωστατικών δορυφόρων. Διέθεταν μία συχνότητα ίση με 2491,75 MHz.

BeiDou-2

Το BeiDou-2 ξεκίνησε να παρέχει υπηρεσίες από το 2012 και δεν αποτέλεσε εκσυγχρονισμό της προηγούμενης φάσης BeiDou-1 αλλά την αντικατέστησε πλήρως. Για την γενιά αυτή εκτοξεύθηκαν συνολικά 20 δορυφόροι εκ των οποίων οι 12 παραμένουν έως και σήμερα σε τροχιά. Στους δορυφόρους αυτούς περιλαμβάνονται δορυφόροι γεωστατικής τροχιάς (GEO), αλλά και δορυφόροι ΜΕΟ και IGSO. Ο πρώτος πειραματικός δορυφόρος για το BeiDou-2 είναι ο Compass M1 που εκτοξεύθηκε το 2007 σε τροχιά ΜΕΟ και εκπέμπει τις συχνότητες E2, E5B και E6.

BeiDou-3

Το BeiDou-3 αποτελεί τη νεότερη γενιά του συστήματος και παράγει υπηρεσίες ως ολοκληρωμένο από το 2020. Από το 2015 έχουν εκτοξευθεί για το BeiDou-3 35 δορυφόροι εκ των οποίων οι 30 από αυτούς συνεχίζουν να είναι σε τροχιά και να παρέχουν υπηρεσίες. Σε αυτούς τους δορυφόρους περιλαμβάνονται 3 GEO, 3 IGSO και 24 MEO δορυφόροι. Οι νέες συχνότητες που παράγονται από τους δορυφόρους αυτούς και αποτελούν πλέον και τις συχνότητες του BeiDou είναι οι εξής: B1 στα 1575.42 MHz, B2 στα 1191.795 MHz και B3 στα 1268.52 MHz. Επίσης υπάρχει και η συχνότητα BS 2492.038 MHz που χρησιμοποιείται ως πειραματική για δοκιμές.

Συνοπτικά οι συχνότητες του BeiDou δίνονται στον Πίνακα 2.4.

Πίνακας 2.4: Συχνότητες BeiDou

Ονομασία	Συχνότητα (MHz)
B1	1575.42
B2	1191.765
B3	1268.52
BS	2492.028

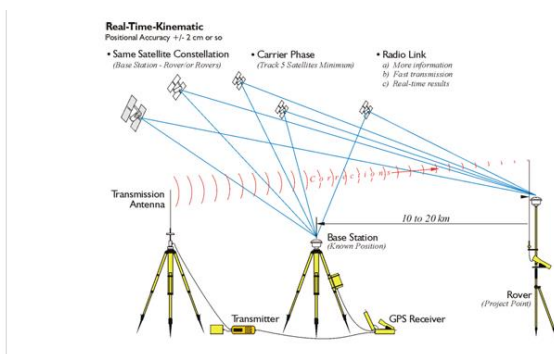
Χρήσεις και Δέκτες BeiDou

Πολλές είναι οι χρήσεις και οι εφαρμογές του συστήματος BeiDou στην καθημερινότητα αλλά και σε ειδικότερες εφαρμογές ακριβείας, όπως οι τοπογραφικές. Εδώ η χρήση του μαζί με τα άλλα τρία GNSS βελτιώνει ακόμα περισσότερο της παρεχόμενες δυνατότητες. ευνοώντας τη χρήση δεκτών GNSS σε πολύ απαιτητικά περιβάλλοντα. Σημαντικός είναι ο αριθμός των ορατών δορυφόρων BeiDou, που είναι σημαντικά μεγαλύτερος από οποιοδήποτε άλλο GNSS.

2.2 Η ΤΕΧΝΙΚΗ RTK

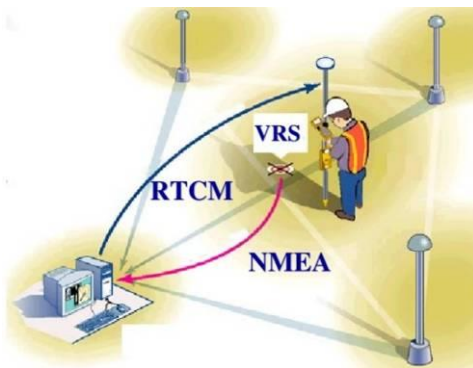
2.2.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Η ευρεία χρήση των τεσσάρων συστημάτων GNSS έχει οδηγήσει σε μία σειρά από εφαρμογές σε Τοπογραφικές μεθόδους, δηλαδή σε μεθόδους εντοπισμού και προσδιορισμού θέσης με υψηλή ακρίβεια. Οι μέθοδοι εντοπισμού διακρίνονται σε μεθόδους πραγματικού χρόνου και μεθόδους μετεπεξεργασίας (post-processing). Μία από τις πιο συνηθισμένες και πιο πρακτικές μεθόδους προσδιορισμού θέσης, η οποία και μελετάται στην παρούσα εργασία, είναι αυτή του RTK (Real Time Kinematic) και η χρήση της εντοπίζεται σε μεγάλο βαθμό τα τελευταία χρόνια σε Τοπογραφικές εργασίες. Το RTK είναι η μοναδική μέθοδος εντοπισμού στην Τοπογραφία που παρέχει εντοπισμό ακριβείας (2-3 cm) σε πραγματικό χρόνο. Η λειτουργία της βασίζεται στην ύπαρξη σταθμών αναφοράς (reference stations) με γνωστή θέση και παρέχει στο χρήστη με τον κινούμενο δέκτη (rover) δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για τον προσδιορισμό θέσης (Φωτίου & Πικριδάς, 2012). Το RTK έχει πλεονεκτήματα όπως η υψηλή ακρίβεια στον εντοπισμό θέσης σε μικρότερο χρόνο παρατήρησης στο πεδίο και σε real-time. Ως σταθμός αναφοράς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας μεμονωμένος single base σταθμός και ο χρήστης με τον κινηματικό δέκτη (rover), έχοντας πραγματοποιήσει σύζευξη με τον base, έχει τη δυνατότητα να κινηθεί στον χώρο και να λάβει τα ζητούμενα δεδομένα σε υψηλή ακρίβεια και σε πραγματικό χώρο (Εικόνα 2.4). Επίσης υπάρχει και η μέθοδος του εικονικού σταθμού αναφοράς VRS (Virtual Reference Station) RTK, δηλαδή σημείου με γνωστές συντεταγμένες για το οποίο δημιουργούνται εικονικά δεδομένα σταθμού αναφοράς για μία θέση κοντά στο χώρο μετρήσεων του δέκτη rover (Εικόνα 2.5).



Εικόνα 2.4: Γενική αναπαράσταση της μεθόδου RTK (Πηγή:

<https://www.everythingrf.com/community/what-is-real-time-kinematics>)



Εικόνα 2.5: Γενική αναπαράσταση της μεθόδου RTK VRS RTK (Πηγή:

<https://www.semanticscholar.org/paper/Network-RTK-Versus-Single-Base-RTK-Understanding-Vollath-Landau/7e99863a69325ae70a813597ac637e37a97b678d/figure/0>)

2.2.2 ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΣΩΣΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ RTK

Προκειμένου να επιτευχθεί η ομαλή λειτουργία του RTK απαιτούνται ορισμένες προϋποθέσεις. Βασικό είναι να χρησιμοποιείται δέκτης δύο (ή περισσότερων) συχνοτήτων σύγχρονης τεχνολογίας και να λαμβάνει σήματα από όσο το δυνατόν περισσότερους δορυφόρους κατά προτίμηση από τα συστήματα GPS και GLONASS προκειμένου να μειώνει τον χρόνο επίλυσης ασαφειών φάσης (fix solution). Ο ελάχιστος αριθμός παρατηρούμενων δορυφόρων που απαιτείται για απλές αποτυπώσεις είναι 5 ενώ για μεγαλύτερη ακρίβεια 7. Σημαντικό είναι να χρησιμοποιείται σύγχρονη κεραία ώστε να αποφευχθούν σφάλματα πολυανάκλασης multipath σε σημεία όπου εννοούνται και το firmware του δέκτη να είναι ενημερωμένο και να διαθέτει νέες εκδόσεις RTCM (από την 3.0 και άνω). Επίσης, χρησιμοποιείται γωνία αποκοπής ~15 μοίρες και είναι ιδανικότερο είναι η απόσταση μεταξύ base-rover να μην ξεπερνά τα 20 km. Ακόμη, η δυνατότητα διαδικτυακής λύσης (Network RTK) ελαχιστοποιεί την επίδραση σφαλμάτων που δημιουργούνται από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες (ιονοσφαιρική και τροποσφαιρική επίδραση).

2.2.3 ΤΡΟΠΟΙ ΖΕΥΞΗΣ BASE-ROVER

Η ζεύξη μεταξύ του σταθμού αναφοράς (base) και του κινητού δέκτη (rover) μπορεί να πραγματοποιηθεί με 3 τρόπους:

- Με ραδιοσυχνότητες UHF (Ultra High Frequencies).

- Με διαδικτυακό τρόπο μέσω του πρωτοκόλλου NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) που έχει ως σκοπό τη συνεχή ροή δεδομένων GNSS προς κάθε χρήστη μέσω διαδικτύου (Φωτίου & Πικριδάς, 2012). Με NTRIP λειτουργούν τα δίκτυα εγκατεστημένων σταθμών αναφοράς και παρέχουν δεδομένα στους rovers σε οποιοδήποτε σημείο στον χώρο.
- Με Ion grange Bluetooth όπου χρησιμοποιείται για αποστάσεις μικρής εμβέλειας μεταξύ base και rover και είναι ένας εύκολος εναλλακτικός τρόπος για τους χρήστες που δεν απαιτεί τη άδεια χρήσης (όπως τα συστήματα UHF που υπερβαίνουν κάποια συγκεκριμένη ισχύ που καθορίζουν οι κανονισμοί της κάθε χώρας).

2.2.4 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ RTK

Τα δεδομένα και οι διορθώσεις παρέχονται στο RTK σε δυαδικά πρωτόκολλα RTCM με τις εκδόσεις RTCM να ποικίλουν ανάλογα με τους σταθμούς αναφοράς που χρησιμοποιούνται αλλά και τη χρήση που απαιτείται.

Έκδοση RTCM 2

Η έκδοση RTCM 2.0 κυκλοφόρησε το 1990 και αποτελεί την 1^η έκδοση RTCM που έχει τη δυνατότητα να περιλαμβάνει τύπους μηνυμάτων που είναι χρήσιμοι για εφαρμογές πλοήγησης και σχετικού εντοπισμού με DGPS και η ακρίβεια που επιτυγχάνεται είναι της τάξης του 1 m ή και καλύτερη (sub-meter). Η έκδοση RTCM 2.1 που κυκλοφόρησε το 1993 είχε ως σκοπό να εμπεριέχει τις διορθώσεις για μετρήσεις φάσεων που δεν περιλαμβάνονταν στην προηγούμενη έκδοση με ακρίβεια τάξης μερικών εκατοστών. Η επόμενη έκδοση που κυκλοφόρησε το 1998 ήταν το RTCM 2.2 που δεν διέφερε με την προηγούμενη σε μεγάλο βαθμό αλλά κατέχει επιπλέον πληροφορίες από δορυφόρους του συστήματος GLONASS. Η τελική και νεότερη έκδοση του RTCM 2 είναι το RTCM 2.3 που κυκλοφόρησε το 2001 και αφορά γεωδαιτικές εφαρμογές και προσδιορίζει με ακρίβεια τα υψόμετρα στο πεδίο (Φωτίου & Πικριδάς, 2012).

Έκδοση RTCM 3

Η έκδοση RTCM 3.0 αποτέλεσε εξέλιξη συγκριτικά με τις εκδόσεις 2 στο γεγονός ότι τα μηνύματα χωρίζονται σε ομάδες με αποτέλεσμα τα διαφορετικά μηνύματα σε κάθε ομάδα να περιέχουν παρόμοια πληροφορία και μπορούν να συνδυάζονται για διάφορες επιλύσεις. Στη συνέχεια κυκλοφόρησε και η έκδοση RTCM 3.1, που αποτέλεσε την τεχνική επίλυση διαδικτυακού RTK (Network-RTK) και σε σχέση με τη χρήση μεμονωμένης βάσης single base

αυξάνει την εφαρμογή RTK σε μεγαλύτερες αποστάσεις (Φωτίου & Πικριδάς, 2012). Η επόμενη έκδοση RTCM 3.2 καθιέρωσε το MSM (Multiple Signal Message) το οποίο μπορεί να μεταδίδει πληροφορίες σε πιο γενική μορφή καθιστώντας την κωδικοποίηση και την αποκωδικοποίηση πιο εύκολη και πιο βολική καθώς μπορεί να περιέχει μεγάλη ζώνη ταυτόχρονων συχνοτήτων (https://www.tersus-gnss.com/tech_blog/new-additions-in-rtcm3-and-What-is-msm).

Το πρωτόκολλο RTCM είναι διεθνώς αποδεκτό και έχει σχεδιαστεί για την βελτιστοποίηση απόδοσης της επικοινωνίας base-rover. Επίσης υπάρχει και το πρωτόκολλο CMR που το παρέχει η Trimble από το 1992 και αναπτύχθηκε ως μέθοδος μετάδοσης δεδομένων διόρθωσης κωδικού και φέρουσας φάσης σε compactμορφή από σταθμούς base σε rover. Το πρωτόκολλο αυτό μετεξελίχθηκε στο CMR+ (CMRplus) και CMRx.

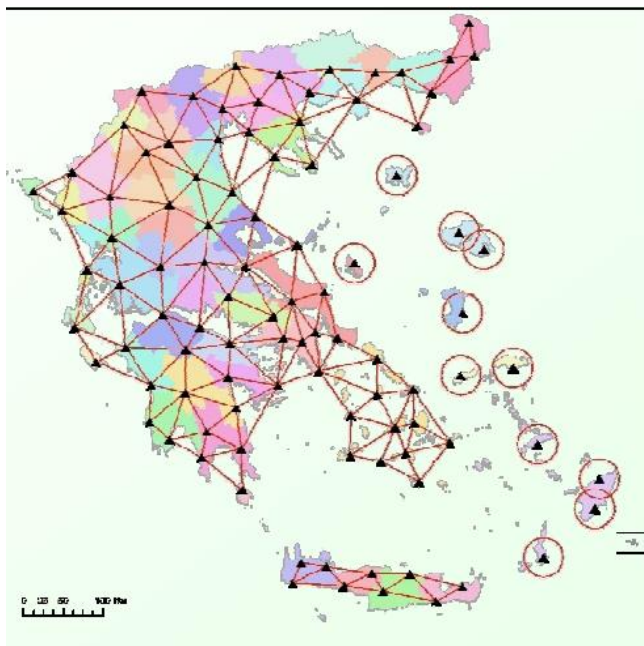
Στη συνέχεια θα αναφερθούν μερικά από τα Ελληνικά δίκτυα μόνιμων επίγειων σταθμών αναφοράς όπου διαχωρίζονται σε κρατικά και ιδιωτικά. Για να έχει πρόσβαση ο χρήστης θα πρέπει να κατέχει την σχετική άδεια πρόσβασης για το κάθε σύστημα.

2.3 ΔΙΚΤΥΑ ΜΟΝΙΜΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

2.3.1 ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ (HEPOS)

Το σύστημα HEPOS (Hellenic Positioning System) είναι το κρατικό δίκτυο μόνιμων επίγειων σταθμών αναφοράς που ανέπτυξε και λειτουργεί το Εθνικό Κτηματολόγιο. Έχει ευρεία χρήση στο RTK καθώς καλύπτει πρακτικά όλη την επιφάνεια της χώρας μας. Διαθέτει 98 σταθμούς αναφοράς με τους 87 να είναι διαδικτυακής χρήσης και τους 11 μεμονωμένους και είναι κατανομημένοι με τρόπο που ο χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση δεδομένων σε όλες πρακτικά τις περιοχές της Ελλάδας (Gianniou, 2008). Τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται στο HEPOS για τη μετάδοση των δεδομένων στον δέκτη rovereίναι της μορφής RTCM (εκδόσεις 2.3, 3.0, 3.1, 3.2) CMR+, όπως αναφέρεται στην επίσημη ιστοσελίδα του Κτηματολογίου. Για τη ζεύξη base-roverχρησιμοποιείται το διαδίκτυο και το πρωτόκολλο NTRIP. Όλα τα δεδομένα είναι σε ΕΓΣΑ 87' και μπορεί να υποστηρίξει δέκτες ανεξαρτήτως κατασκευαστή. Πρόσφατα αναβαθμίστηκε και πλέον παρέχει υπηρεσίες Full GNSS υποστηρίζοντας σε όλους τους σταθμούς αναφορά GPS, GLONASS, Galileo και BeiDou (Gianniou et al., 2021).

Η κατανομή των σταθμών είναι η εξής:



Εικόνα 2.6: Κατανομή σταθμών HEPOS (Πηγή: www.hepos.gr)

2.3.2 ΙΔΙΩΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Εκτός από το κρατικό Ελληνικό Σύστημα Εντοπισμού, υπηρεσίες RTK παρέχουν και τα ιδιωτικά δίκτυα μόνιμων σταθμών στη χώρα μας.

Ευρεία χρήση στο RTK στην Ελλάδα έχει και το σύστημα επίγειων σταθμών που παρέχεται από τη Metrica. Ονομάζεται HxGN Smart Net και εμπεριέχει 100 μόνιμους σταθμούς αναφοράς με ευρεία κάλυψη στην Ελλάδα και όπως αναφέρεται στην ιστοσελίδα της Metrica εξασφαλίζεται σύμπτωση με τις συντεταγμένες του Hepos. Οι επίγειοι σταθμοί υποστηρίζουν δέκτες rover ανεξαρτήτως κατασκευαστή με συνδρομή, όμως απαραίτητο είναι να υποστηρίζουν πρωτόκολλο NTRIP και προσδίδει μεγάλη ακρίβεια καθώς μπορεί να συνδυάσει Galileo-BeiDou.

Οι επίγειοι σταθμοί του HxGN SmartNet κατανέμονται στον Ελλαδικό χώρο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.7.



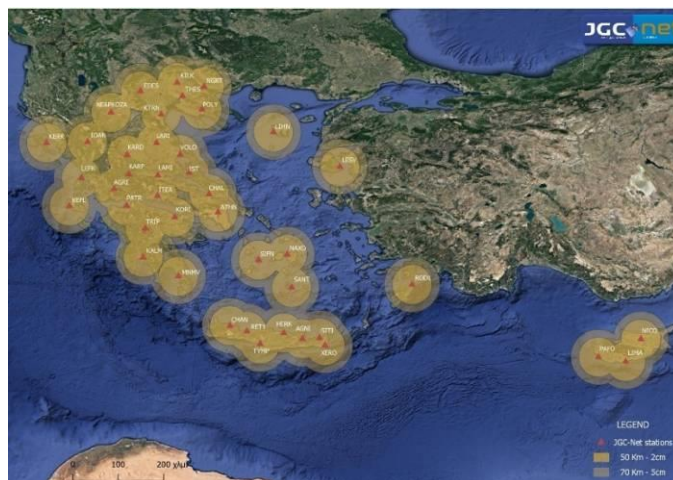
Εικόνα 2.7: Κατανομή σταθμών HxGN SmartNet (Πηγή: www.metrica.gr/)

Επίσης το δίκτυο σταθμών U.R.A.N.U.S χρησιμοποιείται έντονα για τη χρήση RTK. Το U.R.A.N.U.S. είναι της εταιρίας TREE COMPANY. Είναι GNSS δίκτυο μόνιμων σταθμών αναφοράς που απαιτεί συνδρομή και παρέχει διορθώσεις GNSS σε δέκτες rover. Διαθέτει 114 μόνιμους σταθμούς με 99% κάλυψη χώρας με 4 σταθμούς να βρίσκονται στην Κύπρο (εικόνα 2.8). Η ζεύξη base-rover πραγματοποιείται με NTRIP (<https://www.uranus.gr/>) .



Εικόνα 2.8: Κατανομή σταθμών U.R.A.N.U.S. (Πηγή: <https://www.uranus.gr/>).

Επίσης σημαντική χρήση στο RTK καταλαμβάνει και το δίκτυο σταθμών αναφοράς JGC-Net. Το δίκτυο αυτό κατέχει συνολικά 38 σταθμούς με τον κάθε σταθμό να καλύπτει ακτίνα 70 km και έτσι παρέχεται κάλυψη σε όλη την Ελλάδα. Επίσης διαθέτει 3 σταθμούς στην Κύπρο (Εικόνα 2.9). Οι διορθώσεις παρέχονται σε πρωτόκολλο NTRIP και μορφής RTCM 3.1 και 3.2 και τα δορυφορικά συστήματα που υποστηρίζονται είναι GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou αλλά και οι SBAS δορυφόροι.



Εικόνα 2.9: Κατανομή σταθμών JGC Net (Πηγή: www.jgc.gr).

2.4 FULL GNSS

2.4.1 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ FULL GNSS

Η ορολογία Full GNSS χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη συνδυασμένη αξιοποίηση όλων των Παγκόσμιων Δορυφορικών Συστημάτων Πλοήγησης GNSS με βασικό σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης του δορυφορικού εντοπισμού. Σήμερα, για τα δορυφορικά συστήματα (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou) ισχύει ο εξής αριθμός δορυφόρων του Πίνακα 2.5:

Πίνακας 2.5: Αριθμός δορυφόρων GNSS

GNSS	ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ	ΕΙΔΟΣ ΤΡΟΧΙΩΝ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ
GPS	USA	MEO	31
GLN	RUSSIA	MEO	24
GAL	EUROPE	MEO	24
BDS	CHINA	MEO, GEO, IGSO	45

Ο αριθμός των δορυφόρων στα δορυφορικά συστήματα GPS και GLONASS έχει παραμείνει σχετικά σταθερός την τελευταία δεκαετία ενώ για το Galileo και το BeiDou έχει σημειωθεί μεγάλη άνοδος στους διαθέσιμους δορυφόρους με τους οποίους παρέχουν τις υπηρεσίες τους. Το Full GNSS αποτελεί σημαντικό παράγοντα με πολλά πλεονεκτήματα στο RTK ώστε να πραγματοποιείται η επίλυση των ασαφειών φάσης σε ταχύτερο χρονικό διάστημα αλλά και με παροχή ποιοτικότερων δεδομένων, καθώς συνδυάζονται δορυφόροι από όλα τα συστήματα. Κυρίως όμως η χρήση Full GNSS επιτρέπει τη μέτρηση με RTK δύσκολων σημείων, όπου μόνο με GPS ή με GPS & GLONASS είναι αδύνατον. Για τον λόγο αυτό το Full GNSS έχει ζωτική σημασία στο RTK των Τοπογραφικών Εφαρμογών στη σημερινή εποχή.

2.4.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ FULL GNSS ΣΤΟ RTK

Η χρήση του Full GNSS γίνεται από τα περισσότερα μοντέλα των σύγχρονων δεκτών και αυτό επέφερε πολλά πλεονεκτήματα στις μετρήσεις για τους χρήστες, τα οποία περιγράφονται παρακάτω:

- Το σημαντικότερο ίσως πλεονέκτημα που έχει η επίλυση ασαφειών φάσης με δέκτη Full GNSS είναι η ελευθερία από φυσικούς περιορισμούς και εμπόδια όπως μετρήσεις ανάμεσα σε υψηλά δέντρα ή τοίχους (Εικόνα 2.10). Χρησιμοποιώντας το Full GNSS ο δέκτης έχει μεγαλύτερη διαθεσιμότητα δορυφόρων, άρα και δεδομένων, και έτσι μπορεί να πραγματοποιήσει επίλυση ασαφειών φάσης και εντοπισμό θέσης σε γρήγορο χρόνο και με υψηλή ακρίβεια μερικών χιλιοστών. Σε αντίθεση, αν η διαδικασία αυτή γινόταν μόνο με τη χρήση του GPS ή μόνο ενός άλλου συστήματος GNSS δεν θα μπορούσε να γίνει η επίλυση στους συγκεκριμένους χώρους. Το πλεονέκτημα αυτό κατέχει ιδιαίτερη σημασία στην Τοπογραφία και στις αποτυπώσεις με RTK.



Εικόνα 2.10 : Δέκτης GNSS κάτω από πυκνές φυλλωσιές (Πηγή: <https://www.gpsworld.com/how-galileo-benefits-high-precision-rtk/>)

- Επίσης, με τη χρήση Full GNSS RTK πραγματοποιείται γρηγορότερη επίλυση των ασαφειών φάσης λόγω της μεγαλύτερης πληρότητας δορυφόρων από όλα τα συστήματα και ταυτόχρονα επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ακρίβεια.
- Άλλο πλεονέκτημα της χρήσης Full GNSS είναι η αποτελεσματικότερη αφαίρεση του ιονοσφαιρικού σφάλματος.
- Ο περιορισμός του σφάλματος πολυανάκλασης multipath αποτελεί ένα ακόμη πλεονέκτημα της χρήσης Full GNSS στο RTK. Με τον όρο multipath εννοούμε την παραμόρφωση των σημάτων άμεσης οπτικής επαφής που επηρεάζονται από άλλα σήματα που ανακλώνται σε επιφάνειες κτιρίων, αυτοκινήτων, υδάτινων επιφανειών κλπ. Στο full-

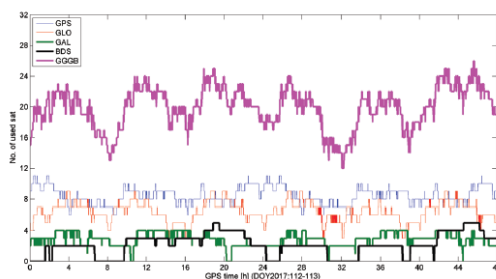
GNSS συμπεριλαμβάνονται και οι συχνότητες L5 από GPS και E5-AltBoc από Galileo που είναι ιδιαίτερα ανθεκτικές στο Multipath.

- Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι με το Full GNSS εντοπίζονται και διορθώνονται ευκολότερα και πιο αξιόπιστα τα Cycle Slips (CS).

2.4.3 ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΟΥ ΑΝΑΔΥΚΝΟΥΝ ΤΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ FULL GNSS ΣΤΟ RTK

Περίπτωση μελέτης με ανοιχτό ουρανό

Ένα από τα πειράματα που παρουσιάζονται είναι η μέθοδος “open sky” η οποία πραγματοποιήθηκε σε θάλαμο test bed στο Heerbrugg της Ελβετίας το 2017 και επικεντρώθηκε στη χρησιμότητα του Galileo στο RTK GNSS υπό κανονικές συνθήκες (Luo et al.,2017). Αρχικά συνδέθηκαν 2 δέκτες σε μία κεραία μέσω ενός διαχωριστή σήματος (splitter). Ο ένας από τους δύο δέκτες έλαβε διορθώσεις Full GNSS σε μορφή RCTM V.3 MSM σε βάση μήκους 2 km (short base line), ενώ ο άλλος δέκτης έλαβε δεδομένα στην ίδια μορφή σε βάση μήκους 116 km (long baseline). Τα δύο αυτά διαφορετικά μήκη βάσεων λήφθηκαν υπ’ όψη και πάρθηκαν δεδομένα (GNSS 1-Hz) για 2 ημέρες τα οποία διερευνήθηκαν σε σχέση με την ακρίβεια εντοπισμού θέσης. Στη συνέχεια έγινε η χρήση διαφορετικών συνδυασμών GNSS προκειμένου να αναλυθούν τα δεδομένα από τη μικρή βάση των 2 km. Ο μέσος αριθμός των χρησιμοποιούμενων δορυφόρων για τον συνδυασμό GPS+GLONASS (GG) ήταν 15, για τον συνδυασμό GPS+GLONASS+BEIDOU (GGB) ήταν 17 και για τον συνδυασμό GPS+GLONASS+BEIDOU+GALILEO (GGGB) ήταν 20. Στην Εικόνα 2.11 προβάλλεται το γράφημα της δορυφορικής χρήσης όπου ο κατακόρυφος άξονας αντιπροσωπεύει τον αριθμό των χρησιμοποιούμενων δορυφόρων ενώ ο οριζόντιος τον χρόνο GPS (h):



Εικόνα 2.11: Αριθμός δορυφόρων για κάθε GNSS και για Full GNSS (Πηγή: <https://www.gpsworld.com/how-galileo-benefits-high-precision-rtk/>)

Επίσης, γίνεται παράθεση του πίνακα 2.6 που δίνει τα ποσοστά πλήθους χρησιμοποιούμενων δορυφόρων Galileo στις βάσεις μήκους 2 km και 116 km αντίστοιχα για συνδυασμένες λύσεις τεσσάρων συστημάτων (GGGB):.

Πίνακας 2.6: Ποσοστά πλήθους χρησιμοποιούμενων δορυφόρων Galileo στις βάσεις μήκους 2 km και 116 km (Πηγή: <https://www.gpsworld.com/how-galileo-benefits-high-precision-rtk/>)

Number of used Galileo satellites n	Short basellne (2 km)	Long basellne (116 km)
n = 0	1.9	15.0
n = 1	0.4	0.6
n = 2	28.8	41.0
n = 3	40.7	30.4
n = 4	28.2	13.0
n ≥ 2	97.7	84.4
n ≥ 3	68.9	43.4

Περίπτωση μελέτης με φαινόμενο multipath

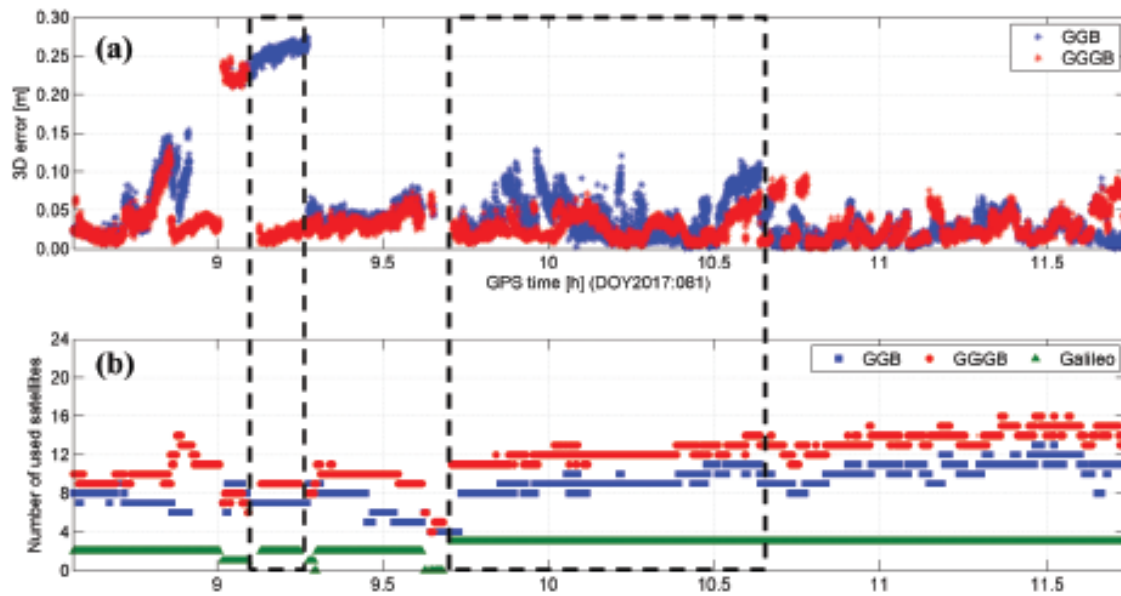
Στη συγκεκριμένη μέθοδο τοποθετήθηκε αρχικά κεραία (smart antenna) σε περιοχή όπου ευνοείται το φαινόμενο της πολυανάκλασης (multipath), το οποίο συμβαίνει όταν υπάρχουν επιφάνειες που ευνοούν της ανάκλαση του σήματος σε διάφορες κατευθύνσεις αυξάνοντας την παρουσία σφαλμάτων στις μετρήσεις (Luo et al.,2017). Το σημείο των μετρήσεων φαίνεται στην Εικόνα 2.12.



Εικόνα 2.12 : Το περιβάλλον μετρήσεων με επίδραση multipath (Πηγή: <https://www.gpsworld.com/how-galileo-benefits-high-precision-rtk/>)

Όπως και στην πρώτη μέθοδο η γωνία αποκοπής που χρησιμοποιήθηκε ήταν 10 μοίρες και ο δέκτης έλαβε διορθώσεις VRS των τεσσάρων συστημάτων στη μορφή RCTM V.3-MSM. Η απόσταση από τον σταθμό αναφοράς ήταν 200 m και τα δεδομένα που πάρθηκαν μετά από 4 ώρες αναλύθηκαν ως προς την ακρίβεια και την αξιοπιστία και το time to fix.

Στην Εικόνα 2.13 απεικονίζονται τα 3D σφάλματα από το multi GNSS RTK με ή χωρίς το Galileo με τον αριθμό των χρησιμοποιούμενων δορυφόρων. Μπορούν να διακριθούν οι σημαντικές βελτιώσεις στην ακρίβεια εντοπισμού στην τάξη των μερικών cm έως και dm.



Εικόνα 2.13 : Αριθμός δορυφόρων και 3D σφάλματα για τις μετρήσεις σε περιβάλλον multipath
(Πηγή: <https://www.gpsworld.com/how-galileo-benefits-high-precision-rtk/>)

Επίσης επισημαίνεται ότι ο χρόνος που απαιτείται για την επίλυση (time to fix) προσδιορίζεται με συνεχές reset έως ότου οι ασάφειες φάσης στο RTK επιλυθούν. Τέλος ακόμη ένα δείγμα που αποδεικνύει την μεγαλύτερη διαθεσιμότητα λύσεων με την ενσωμάτωση του Galileo είναι το γεγονός ότι με τα τρία συστήματα (GGB) χωρίς το Galileo πάρθηκαν έγιναν μόνο 765 επιλύσεις fixed, ενώ και με την ενσωμάτωσή του Galileo (GGGB) ο αντίστοιχος αριθμός έφτασε το 1128.

Περίπτωση μελέτης κάτω από φυλλωσιές

Στη συγκεκριμένη μέθοδο τοποθετήθηκε κεραία σε περιοχή με βλάστηση και ειδικότερα κάτω από δέντρα όπου παρεμποδίζονται, εξασθενούνται ή ακόμα και μπλοκάρονται τα σήματα μεταξύ δορυφόρων και δέκτη (Luo et al.,2017). Ως αποτέλεσμα αυτού είναι η μειωμένη λήψη και ποιότητα των δεδομένων και γενικότερα η υποβαθμισμένη απόδοση ενός RTK.



Εικόνα 2.14 : Το περιβάλλον μετρήσεων κάτω από φυλλώματα δέντρων (Πηγή: <https://www.gpsworld.com/how-galileo-benefits-high-precision-rtk/>)

Όπως και στις προηγούμενες μελέτες, τα δεδομένα πάρθηκαν με χρήση γωνίας αποκοπής 10 μοιρών και στη μορφή RTCM v.3 MSM. Τα δεδομένα λήφθηκαν για 7 ώρες σε baseline 116 km όπου ελέγχθηκε η διαθεσιμότητα, ακρίβεια και αξιοπιστία τους.

Στη μελέτη φάνηκε ότι με την ενσωμάτωση Galileo βελτιώνεται η διαθεσιμότητα RTK fixed positions από 65.7 % με GGB σε 77.9 % με GGGB και ταυτόχρονα μειώνονται τα σφάλματα θέσης (position errors) στην τάξη των dm.

Στον πίνακα 2.7 μπορεί να διακριθεί η σημαντική συμβολή της ενσωμάτωσης του Galileo στη μείωση των σφαλμάτων κατά 23.7 % από GGB σε GGGB αντίστοιχα σε 3D διαστάσεις, σε 4.6 % σε 2D και σε 26.5 % σε 1D.

Πίνακας 2.7: Σφάλμα RMS των λύσεων RTK για τις μετρήσεις κάτω από φυλλωσιές (Πηγή: <https://www.gpsworld.com/how-galileo-benefits-high-precision-rtk/>)

	Total (3D)	Horizontal (2D)	Height (1D)
GGB	0.114	0.065	0.102
GGGB	0.087	0.062	0.075
Improvement	23.7%	4.6%	26.5%

Στον πίνακα 2.8 γίνεται η σύγκριση των ποσοστών αξιοπιστίας RTK fixed positions σε GGB και GGGB στην συγκεκριμένη περίπτωση (canopy case study) σε μήκος βάσης 116 km. Η μικρή βελτίωση (περίπου 2%) που παρατηρείται με την ενσωμάτωση Galileo μπορεί να δικαιολογηθεί από το γεγονός ότι η αξιοπιστία ήταν ήδη πολύ υψηλή χωρίς την προσθήκη του Galileo.

Πίνακας 2.8: Αξιοπιστία των λύσεων RTK για τις μετρήσεις κάτω από φυλλωσιές (Πηγή: <https://www.gpsworld.com/how-galileo-benefits-high-precision-rtk/>)

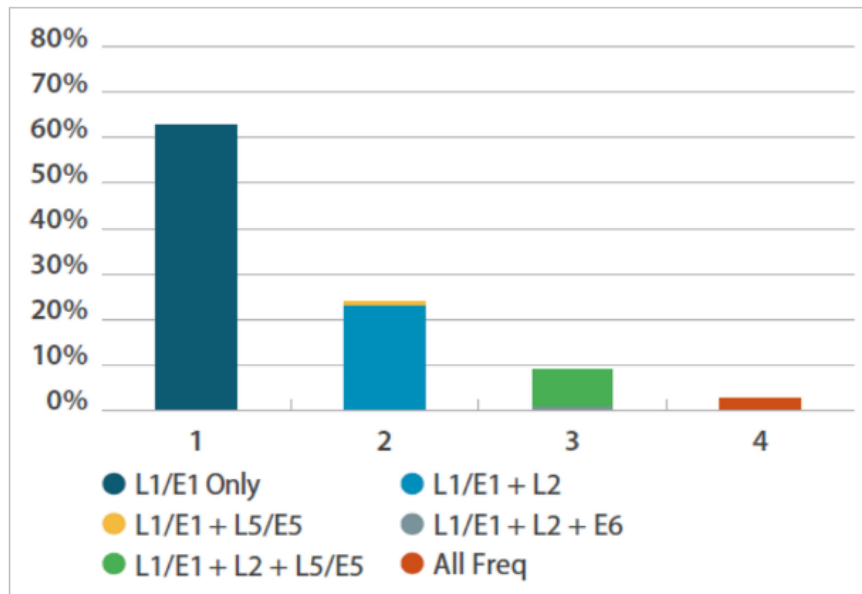
	Total (3D)	Horizontal (2D)	Height (1D)
GGB	92.6	99.2	94.6
GGGB	94.5	99.5	96.0
Improvement	1.9	0.3	1.4

Περίπτωση μελέτης: Σφάλματα ολίσθησης κύκλων (Cycle Slip)

Ένα από τα πιο συνηθισμένα σφάλματα που είναι πιθανό να συμβεί είναι η προσωρινή απώλεια σημάτων GNSS, λόγω πολλαπλών παραγόντων όπως η ύπαρξη εμποδίων που μπορεί να είναι η πυκνή βλάστηση αλλά και υψηλά τοιχεία και επιφάνειες που μπορούν να προκαλέσουν αντανάκλαστικότητα (τυχαία και συστηματικά σφάλματα). Προσωρινή απώλεια σημάτων GNSS

είναι πιθανό να γίνει και από ανθρώπινο λάθος κατά τον χειρισμό του εκάστοτε δέκτη αλλά και της τυχόν κακής τεχνικής κατάστασης των δεκτών (χονδροειδή σφάλματα). Η προσωρινή απώλεια σημάτων προκαλεί ασυνέχεια στις μετρήσεις φέρουσας φάσης ή αλλιώς ολίσθηση κύκλου CS (Cycle Slip). Βασικός στόχος είναι η εξάλειψη ή και ο περιορισμός του CS.

Τα τελευταία χρόνια με τους δέκτες διπλής συχνότητας έχουν επιτευχθεί τεχνικές ανάλυσης CS ευκολότερη σε σχέση με τους δέκτες μονής συχνότητας, ωστόσο λόγω της μεγάλης εμπορικής χρήσης των δεκτών μονής συχνότητα αλλά και λόγω του χαμηλότερου κόστους τους, έγινε προσπάθεια να αναπτυχθούν και σε αυτούς τεχνικές εξάλειψης CS. Όπως φαίνεται στο γράφημα, η εμπορική χρήση των δεκτών μίας συχνότητας είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με τους δέκτες διπλών συχνοτήτων:



Εικόνα 2.15: Ποσοστά αριθμού δεκτών στην αγορά σε σχέση με τις συχνότητες που λαμβάνουν (Πηγή: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1049/iet-rsn.2019.0084>)

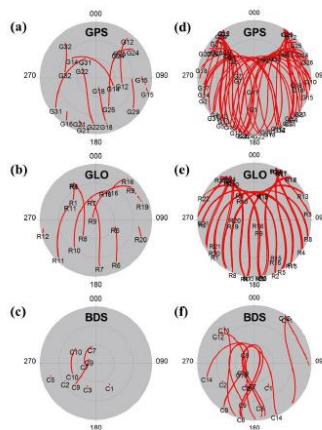
Για την μείωση του CS είναι σημαντικό να μπορεί να ενσωματωθεί ένα σύστημα ανίχνευσης και αφαίρεσης ακραίων τιμών καθώς όταν συμβαίνει το CS προκαλούνται άλματα στις ακέραιες τιμές της στιγμιαίας συσσωρευμένης φάσης. Η ανίχνευση CS ελέγχει την ύπαρξη της ασυνέχειας στις μετρήσεις καθώς μπορούν έτσι να εκτιμηθούν και να επινοηθούν οι τεχνικές για την εκτίμηση του μεγέθους. Εφαρμόζονται για την επίλυση ξεχωριστές τεχνικές για τον προσδιορισμό του μεγέθους του CS όπως στρογγυλοποίηση ή αλγόριθμοι παρόμοιας ανάλυσης ασάφειας φάσης για ακέραιες λύσεις.

Περιπτώσεις μελέτης: GDOP, διαθεσιμότητας, ακρίβειας, time to fix

Για την ακρίβεια και την αξιοπιστία των συστημάτων πραγματοποιήθηκαν από την εταιρία Leica δοκιμές με σύγχρονο δέκτη της αυτής μάρκας (Luo et al., 2014). Οι συγκρίσεις έγιναν σε διάφορους τομείς: GDOP, Availability, Accuracy, Time to fix.

1) GDOP:

Σε πρώτη φάση έγινε η συλλογή δεδομένων από όργανο LEICA VIVA GS15 όπου παρακολουθήθηκαν 12 GPS, 11 GLONASS και 7 BeiDou δορυφόροι (4 GEO, 3 IGSO) προκειμένου να ελεγχθεί το GDOP (Geometry Dilution Of Position) του κάθε συστήματος. Σε σύγκριση με το GPS και το GLONASS το BeiDou είχε το μικρότερο επίπεδο αξιοπιστίας και αυτό το αποδεικνύουν τα skyplots της Εικόνας 2.16.



Εικόνα 2.16. Αριθμός δορυφόρων της περίπτωσης μελέτης

Τα Skyplots a-c αποτελούν τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για 3 ώρες (canopy) ενώ τα Skyplots d-f για 24 ώρες (open sky). Όπως φαίνεται στα πρώτα τρία (canopy) η γεωμετρία των δορυφόρων συστημάτων GPS-GLONASS είναι πολύ καλύτερη σε σχέση με το BeiDou καθώς διακρίνονται δορυφόροι μόνο στο 3^ο και 4^ο τεταρτημόριο με εξαίρεση το δορυφόρο C1. Επίσης παρατηρήθηκε ότι το GDOP ήταν μικρότερο από 5 για τους δορυφόρους GPS-Galileo γεγονός που σημαίνει την καλύτερη γεωμετρία τους, καθώς οι μικρότερες τιμές αποδεικνύουν και την καλύτερη γεωμετρία. Για το BeiDou η τιμή του GDOP για τις μετρήσεις τριών ωρών ήταν 13.4 γεγονός που σημαίνει και την κακή γεωμετρία των δορυφόρων. Η τιμή αυτή βελτιώθηκε σε μεγάλο βαθμό για το BeiDou (5.3) στις open sky μετρήσεις καθώς υπήρχε καλύτερη διαθεσιμότητα δορυφόρων (11 συνολικά: 3GEO, 5 IGSO, 3 MEO). Στον παρακάτω πίνακα 2.9 που συνοψίζονται όλες οι τιμές του GDOP σε canopy και open sky για το κάθε σύστημα

διακρίνεται ότι ο συνδυασμός όλων (GGB) δίνει τη μικρότερη τιμή, άρα και την καλύτερη γεωμετρία:

Πίνακας 2.9: Τιμές canopy και open sky για τη γεωμετρία GDOP

RTK test	GPS	GLO	BDS	GGB
Canopy	2.3	3.7	13.4	1.8
Open sky	2.1	4.5	5.3	1.3

2) Availability:

Όπως και στο πρώτο πείραμα για το GDOP πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε canopy και open sky. Στο RTK test τριών ωρών (canopy) το GPS και ο συνδυασμός GGB προσφέρουν 10% περισσότερες RTK-fixed positions και 30% περισσότερες από το BeiDou το οποίο λόγω της γεωμετρίας των δορυφόρων του. Ωστόσο το ποσοστό αυτό βελτιώνεται σε μεγάλο βαθμό στις μετρήσεις open sky καθώς η μεγαλύτερη διαθεσιμότητα δορυφόρων επιτρέπει σε όλα τα συστήματα να έχουν περίπου το ίδιο ποσοστό διαθεσιμότητας fixed-positions (98-99%).

Συνοπτικά οι τιμές διαθεσιμότητας για όλα τα συστήματα σε canopy και open sky αντίστοιχα είναι τα εξής:

CANOPY:

GNSS	#Pos_{all}	Nav	DGNSS	RTK fixed
GPS	11111	0.00	0.30	99.70
GLO	11111	2.23	8.93	88.84
BDS	11074	14.02	17.07	68.91
GGB	11111	0.00	0.04	99.96

OPEN SKY:

GNSS	#Pos_{all}	Nav	DGNSS	RTK fixed
GPS	87094	0.02	0.04	99.94
GLO	87094	0.42	0.63	98.95
BDS	84226	0.89	1.08	98.03
GGB	87094	0.00	0.01	99.99

3) Accuracy:

Στις εκ νέου μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε canopy και open sky στόχος ήταν να μετρηθεί το 3D σφάλμα θέσης (3D position error) για το κάθε σύστημα, όπου το μικρότερο σφάλμα συνεπάγεται με την καλύτερη ακρίβεια. Στο Differential GNSS το σφάλμα θέσης του GGB είναι μεγαλύτερο από αυτό του GLONASS γεγονός που οφείλεται στη χαμηλή διαθεσιμότητα θέσεων DGNS για GPS (0.3 %) και GGB (0.04%) και οδηγεί σε ανακριβείς εκτιμήσεις του σφάλματος μέσης θέσης. Το υψηλότερο σφάλμα το έχει το BeiDou λόγω της γεωμετρίας των δορυφόρων (πίνακας 2.10).

Πίνακας 2.10: DGNS solutions σε canopy και open sky .

GNSS	Canopy (3h)	Open sky (24h)
GPS	1.59	0.35
GLO	0.53	0.83
BDS	3.25	1.50
GGB	1.44	0.32

Επίσης παρουσιάζονται και οι τιμές σε RTK-Fixed solutions με το GGB να έχει το μικρότερο σφάλμα στον πίνακα 2.11:

Πίνακας 2.11: RTK solutions σε canopy και open sky.

GNSS	Canopy (3h)	Open sky (24h)
GPS	0.022	0.007
GLO	0.025	0.014
BDS	0.058	0.024
GGB	0.015	0.005

4) Time to Fix:

Επίσης πραγματοποιήθηκαν πειραματικές μετρήσεις για να διακριθεί ο χρόνος που χρειάζεται ο δέκτης να επιλύσει τις ασάφειες φάσεις για το κάθε σύστημα αντίστοιχα (time to fix). Ο χρόνος αυτός αποτελεί συνδυασμό μεταξύ της ταχύτητας, απόδοσης και αξιοπιστίας όλου του συστήματος. Σε μετρήσεις canopy ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται είναι 5 sec ενώ σε open sky ο ελάχιστος χρόνος είναι 4 sec. Σημαντικότερο ρόλο για το time to fix κατέχει η γεωμετρία των δορυφόρων και όχι τόσο η διαθεσιμότητα. Σε canopy και open sky τον λιγότερο χρόνο για

επιδιόρθωση χρειάζεται το GPS με το GLONASS να χρειάζεται 4sec παραπάνω ενώ το BeiDou 9 sec. Οι διαφορές αυτές είναι πολύ μικρότερες σε open sky καθώς η διαφορά time to fix GPS με τα άλλα συστήματα είναι 1,5 sec. Συνοπτικά:

Πίνακας 2.12: Time to Fix Σε canopy και open sky.

RTK test	GPS	GLO	BDS	GGB
Canopy	6.8	10.5	15.4	6.2
Open sky	5.0	6.5	6.5	5.0

Απαιτούμενοι συνδυασμοί GNSS για την επίλυση ασαφειών φάσης

Στόχος για κάθε RTK διαδικασία είναι να επιλυθούν οι ασάφειες φάσης και ο δέκτης να οδηγηθεί σε επίλυση fixed προκειμένου να παρέχει με ακρίβεια τις συντεταγμένες του εκάστοτε σημείου. Για να γίνει αυτό θα πρέπει ο δέκτης να λάβει δεδομένα από τουλάχιστον πέντε δορυφόρους.

Για να επιτευχθεί όμως η επίλυση των ασαφειών φάσης και ο δέκτης να «φιξάρει» δεν επαρκεί μόνο ο απαιτούμενος αριθμός δορυφόρων αλλά και ο κατάλληλος συνδυασμός των ελάχιστων δορυφόρων που απαιτούνται για την επίλυση. Για το ζήτημα αυτό αναζητήθηκαν διάφορες περιπτώσεις δεκτών και παρατηρήθηκε ότι κάθε εταιρεία ορίζει

Για την εταιρεία Spectra Geospatial ισχύει ότι κάθε δορυφόρος είναι ισάξιος με οποιοδήποτε άλλον και ότι τα δορυφορικά σήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν εναλλακτικά για τους υπολογισμούς θέσης, μέσω της τεχνολογίας Z-Blade που διαθέτουν οι δέκτες. Αυτή η προσέγγιση αυξάνει σημαντικά τη δυναμική διαθεσιμότητα δορυφόρων και ακόμη και σε περιοχές που δεν είναι ορατοί πολλοί δορυφόροι λόγω εμποδίων. Για παράδειγμα αν σε μία περιοχή με υψηλά εμπόδια ληφθούν δεδομένα από 3 δορυφόρους GPS και 2 GLONASS τότε ο δέκτης θα μπορεί να προσδιορίσει τη θέση και να επιλύσει τις ασάφειες, καθώς συμπληρώνονται οι 5 απαιτούμενοι δορυφόροι (Spectra Geospatial, 2013).

Για την εταιρεία Trimble απαιτούνται τουλάχιστον 4 δορυφόροι για να επιλυθούν οι ασάφειες φάσης σε στατικές μετρήσεις. Οι απαιτούμενοι συνδυασμοί δορυφόρων για την επίλυση στατικών μετρήσεων δίνονται στον πίνακα 2.13. (Trimble, 2018).

Πίνακας 2.13: Συνδυασμοί GNSS για επίλυση στατικών μετρήσεων.
https://help.trimblegeospatial.com/TrimbleAccess/2018.00/en/PP_Initialization_Times.htm

Satellite systems	Required satellites
GPS only	4 GPS
GPS + QZSS	3 GPS + 1 QZSS
GPS + GLONASS	3 GPS + 2 GLONASS
GPS + BeiDou	3 GPS + 2 BeiDou
GPS + Galileo	3 GPS + 2 Galileo
BeiDou only	4 BeiDou
BeiDou + GPS	3 BeiDou + 2 GPS
BeiDou + GLONASS	3 BeiDou + 2 GLONASS
GLONASS only	N/A
Galileo only	N/A

Για την επίλυση ασαφειών φάσης και τον υπολογισμό θέσης σε μετρήσεις RTK ισχύουν τα αναφερόμενα στον πίνακα 2.14.

Πίνακας 2.14: Συνδυασμοί GNSS για επίλυση ασαφειών και για υπολογισμό θέσης με RTK
 (Πηγή:

https://help.trimblegeospatial.com/TrimbleAccess/2018.00/en/PP_Initialization_Times.htm)

Satellite systems	Required satellites for initialization	Required satellites to produce positions
GPS only	5 GPS	4 GPS
GPS + QZSS	4 GPS + 1 QZSS	3 GPS + 1 QZSS
GPS + GLONASS	4 GPS + 2 GLONASS	3 GPS + 2 GLONASS
GPS + BeiDou	4 GPS + 2 BeiDou	3 GPS + 2 BeiDou
GPS + Galileo	4 GPS + 2 Galileo	3 GPS + 2 Galileo
BeiDou only	5 BeiDou	4 BeiDou
BeiDou + GPS	4 BeiDou + 2 GPS	3 BeiDou + 2 GPS
BeiDou + GLONASS	4 BeiDou + 2 GLONASS	3 BeiDou + 2 GLONASS
GLONASS only	-	-
Galileo only	-	-

NOTE – The QZSS system operates in the same time-base as GPS and therefore is included in the counters as another GPS satellite.

Για την εταιρεία Leica, παρόλο που στο παρελθόν απαιτούνταν 4 GPS δορυφόροι για την επίλυση, μπορούν πλέον να χρησιμοποιούνται και συνδυασμοί GNSS, όπως 3GPS+2GLN+0BDS, 2GPS+3GLN+0BDS και 2GPS+2GLN+2BDS

<https://www.metrice.gr/component/content/article?id=531:nea-ekdosi-smatworx-viva-550&Itemid=101>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ FULL GNSS ΔΕΚΤΗ

Στα πλαίσια της εργασίας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε διάφορα σημεία στην Αττική προκειμένου να δοκιμαστούν η απόδοση του RTK, με διάφορους συνδυασμούς δορυφορικών δορυφορικά συστήματα GNSS αλλά και κυρίως με Full GNSS. Για τον σκοπό αυτό, σε κάθε θέση στηνόταν ο Full GNSS δέκτης σε σταθερό σημείο προκειμένου να γίνουν οι μετρήσεις RTK με GPS (μόνο) αλλά και με συνδυασμούς διαφόρων GNSS και να μελετηθεί η σύγκριση των συντεταγμένων που απέδωσαν, το εκάστοτε σφάλμα, η διαθεσιμότητα δορυφόρων και η γεωμετρία τους (PDOP). Για την πραγματοποίηση των πειραμάτων επιλέχθηκαν διάφορων τύπων σημεία, όπως σημεία που μπορεί ο δέκτης να έχει πολύ καλό δορυφορικό σήμα και δεν παρεμβάλλονται από εμπόδια (open sky), σημεία στα οποία ο δέκτης επιλύει τις ασάφειες φάσης αλλά με την ύπαρξη εμποδίων που μπορούν να επηρεάσουν τις μετρήσεις (φυλλωσιές δέντρων, τοίχοι κτιρίων) αλλά και σημεία στα οποία ο δέκτης είτε δεν επιλύει εύκολα ασάφειες φάσης, είτε αποδίδει προβληματικές μετρήσεις με μεγάλες αποκλίσεις (πολύ κοντά ή ανάμεσα από ψηλά κτίρια ή με επιφάνειες που ευνοούν το multipath , κάτω από πυκνές φυλλωσιές δέντρων ή συνδυασμό αυτών των παραγόντων). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με μέθοδο RTK. Έγιναν όμως και Static μετρήσεις, προκειμένου να προσδιοριστούν ακριβείς συντεταγμένες για τα μετρούμενα σημεία. Στην εικόνα 3.1 διακρίνονται οι θέσεις των σημείων μετρήσεων ενδεικτικά με κίτρινες πινέζες σε άποψη του λεκανοπεδίου από την εφαρμογή Google Earth.



Εικόνα 3.1: Θέσεις των σημείων που μετρήθηκαν στην Αττική

3.1 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ

Για τις πειραματικές μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν δέκτης Full GNSS που αποτελείται από χειριστήριο και δέκτη-κεραία , τρίποδας για την επίτευξη μέγιστης σταθερότητας του δέκτη στο εκάστοτε σημείο και τρικόγλιο για την οριζοντίωση και κέντρωση της κεραίας- δέκτη.

Ο δέκτης GNSS που χρησιμοποιήθηκε είναι νέας τεχνολογίας της εταιρείας HI-TARGET και αποτελεί εξοπλισμό που αποκτήθηκε πρόσφατα από το Εργαστήριο Γεωδαισίας-Τοπογραφίας του ΠΑ.Δ.Α..Ο δέκτης-κεραία είναι το μοντέλο Hi-Target Irtk-5 V30 plus και συνδέεται με Bluetooth με το χειριστήριο iHand 30 της Hi-Target που είναι εξοπλισμένο με λειτουργικό Android 10.0. Η εφαρμογή που χρησιμοποιείται από την Hi-Target για την πραγματοποίηση όλων των πιθανών μετρήσεων είναι η Hi-Survey Road, στην οποία εκτελέστηκαν οι πειραματικές μετρήσεις. Βασική προϋπόθεση για να πραγματοποιηθεί μέτρηση είναι η ενεργοποίηση των συστημάτων GPS ή BeiDou καθώς αν δεν είναι ενεργοποιημένα τουλάχιστον ένα από αυτά ο δέκτης δεν μπορεί να δώσει λύση. Με την ενεργοποίηση μόνο του BeiDou στο RTK αλλά και με τους υπόλοιπους συνδυασμούς χωρίς την παρουσία του GPS ο δέκτης δίνει λύσεις με Differential GPS (DGPS) (και όχι fixed) που έχουν μη επιτρεπτές αποκλίσεις για την Τοπογραφία.



Εικόνα 3.2: Δέκτης-κεραία και χειριστήριο που χρησιμοποιήθηκαν για τις μετρήσεις.

3.2 ΔΙΚΤΥΟ ΜΟΝΙΜΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων RTK ο δέκτης ήταν συνδεδεμένος στο Ελληνικό Σύστημα Εντοπισμού (HEPOS). Συγκεκριμένα για τις μετρήσεις στην ευρύτερη έκταση του Χαλανδρίου αλλά και στο Αιγάλεω, ο σταθμός 098Α του Κτηματολογίου επί της λεωφόρου Μεσογείων λειτούργησε ως σταθμός αναφοράς τόσο για τις RTK μετρήσεις όσο και για τις Static.



Εικόνα 3.3: Εναέρια άποψη της τοποθεσίας του σταθμού Κτηματολογίου επί της Λεωφόρου Μεσογείων. (Εικόνα από Google Earth)

3.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στόχος είναι η αξιολόγηση των δορυφορικών συστημάτων και κυρίως της αξιοπιστίας του Full GNSS καθώς οι περισσότεροι σύγχρονοι δέκτες μπορούν να επιλύουν ασάφειες φάσης συνδυάζοντας δορυφόρους από όλα τα συστήματα. Για να πραγματοποιηθεί αυτό ο δέκτης στήθηκε σε συνολικά 20 σημεία τα οποία διαφέρουν ως προς την δυσκολία επίλυσης ασαφειών φάσης (open sky, canopy) .Ο δέκτης τοποθετήθηκε σε τρίποδα για την επίτευξη μέγιστης σταθερότητας. Υπήρχαν ορισμένα σημεία, παραδείγματα των οποίων φαίνονται στο **Παράρτημα 1** στα οποία είτε η λύση ήταν float για όλους τους συνδυασμούς ή οι λύσεις ήταν πολύ προβληματικές. Στο κάθε σημείο προσδιορίστηκαν οι συντεταγμένες του οκτώ φορές με RTK με τους συνολικά οκτώ συνδυασμούς δορυφορικών συστημάτων που πρόκειται να αξιολογηθούν ως προς την αξιοπιστία τους στις RTK μετρήσεις.

Οι συνδυασμοί που μελετήθηκαν ήταν οι εξής:

1. GPS
2. GPS+GLONASS
3. GPS+GALILEO
4. GPS+BEIDOU
5. FULL GNSS
6. GPS+GLONASS+GALILEO
7. GPS+GLONASS+BEIDOU
8. GPS+GALILEO+BEIDOU

3.3.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Για να γίνει όσο το δυνατόν καλύτερη καταγραφή μετρήσεων ώστε να συγκριθούν οι οκτώ συνδυασμοί των συστημάτων ακολουθήθηκε μια συγκεκριμένη σειρά βημάτων για το κάθε σημείο.

Το πρώτο βήμα της διαδικασίας ήταν να στηθεί ο δέκτης στον τρίποδα όπου προτιμήθηκε η οριζοντίωση και κέντρωση για τη μέγιστη δυνατή σταθερότητα του. Στη συνέχεια γινόταν η σύζευξη μέσω Bluetooth χειριστηρίου-κεραίας και επιλεγόταν ο επιθυμητός συνδυασμός δορυφορικού συστήματος. Σε κάθε σημείο προηγήθηκαν οι RTK μετρήσεις και για τον λόγο

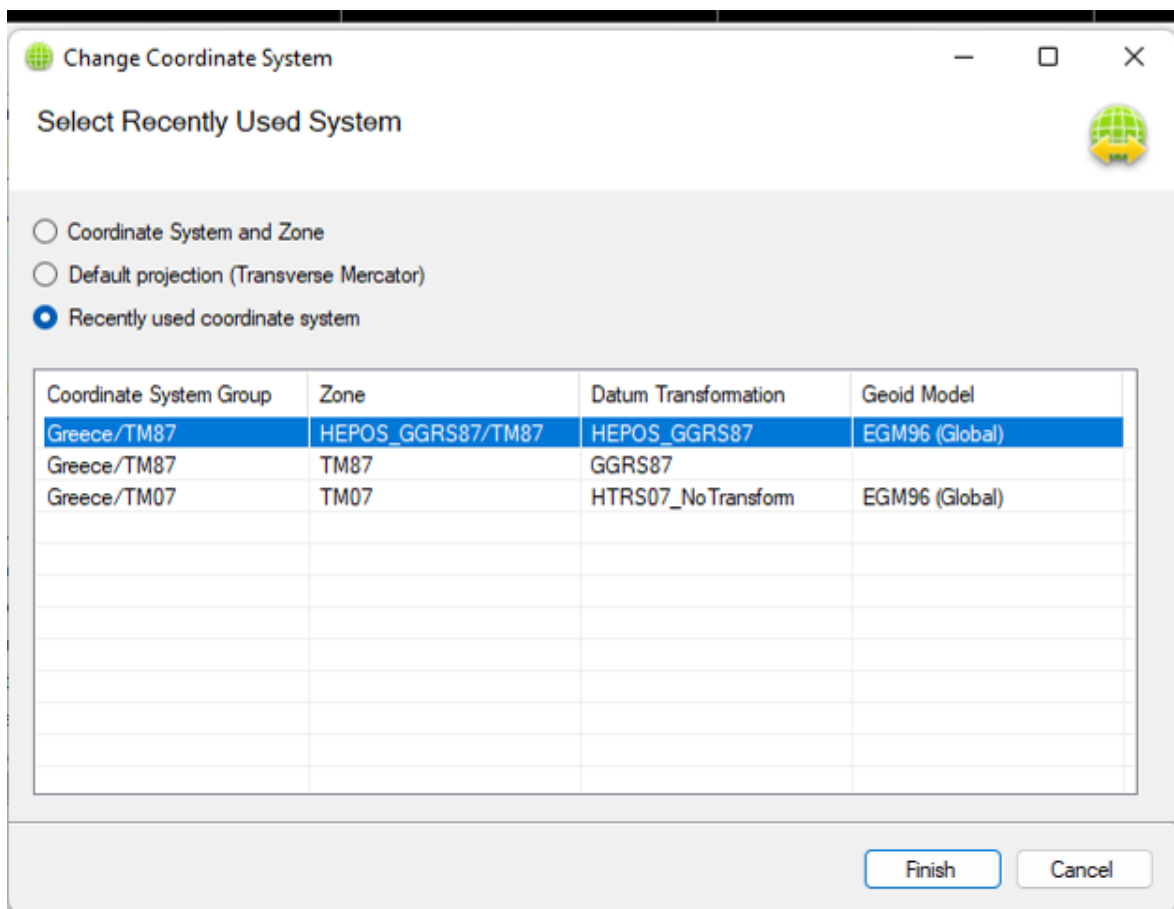
αυτό ο δέκτης συνδέθηκε στον server του HEPOS διαδικτύου και πρωτοκόλλου NTRIP. Για την μέτρηση με RTK γινόταν RTK reset προκειμένου να επιλυθούν οι ασάφειες φάσης με τον εκάστοτε συνδυασμό. Σε περίπτωση που το δορυφορικό σήμα ήταν κάτι διαφορετικό απ' ό,τι fixed (float, DGPS) η καταγραφή δεν πραγματοποιούνταν. Τα βήματα αυτά ακολουθήθηκαν για το κάθε συνδυασμό με μικρή χρονική απόκλιση μεταξύ τους ώστε ο δορυφορικός σχηματισμός να μην υποστεί μεταβολές. Για το κάθε σημείο στο RTK δημιουργήθηκε project στο οποίο πραγματοποιήθηκε εξαγωγή .csv αρχείου που εμπεριέχει: Τις συντεταγμένες E,N,H του κάθε σημείου σε ΕΓΣΑ 87 και wgs84, τα σφάλματα σX,σY,σH ,τους διαθέσιμους δορυφόρους αλλά και αυτούς που χρησιμοποιήθηκαν για την εκάστοτε μέτρηση, το PDOP και τις συντεταγμένες του σταθμού αναφοράς.

Τις μετρήσεις RTK ακολουθούσε πάντα η στατική μέτρηση του κάθε σημείου προκειμένου να αποτελέσουν το βασικό παράγοντα σύγκρισης για τον κάθε συνδυασμό (λύση αναφοράς) . Για τις static μετρήσεις αφιερώθηκε χρόνος από 10 έως 20 λεπτά ώστε ο δέκτης να λάβει τα απαραίτητα τα δεδομένα, με βάση τις συνθήκες του περιβάλλοντος χώρου. Το διάστημα καταγραφής (interval) ρυθμίστηκε στα 15 sec και το elevation mask στις 10 μοίρες. Μετά το πέρας του επιθυμητού χρονικού διαστήματος επιλεγόταν να σταματήσει η καταγραφή των δεδομένων και το αρχείο για το κάθε σημείο αποθηκευόταν στο δέκτη.

3.3.2 ΕΠΙΛΥΣΗ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Η επίλυση των βάσεων πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό Spectra Precision Survey Office.

Τα static αρχεία που θα εισήχθησαν στο πρόγραμμα είναι της μορφής RINEX. Πριν γίνει η εισαγωγή μετρήσεων επιλέχθηκε ως σύστημα αναφοράς το HEPOS_GGRS87/TM87 ,στο γεωδαιτικό datum HEPOS GGRS87, όπως διακρίνεται και στην εικόνα 3.4. Το σύστημα αυτό υλοποιεί τον επίσημο μετασχηματισμό από το HTRS07 στο ΕΓΣΑ87, δηλαδή 7-παραμετρικός μετασχηματισμός ομοιότητας και κάρναβοι διορθώσεων (Κωτσάκης et al., 2010).



Εικόνα 3.4: Επιλογή του κατάλληλου συστήματος αναφοράς

Στη συνέχεια έγινε η επιλογή των σωστών παραμέτρων με σκοπό να υπάρχει συμβατότητα με τον δέκτη για την επίλυση. Για το κάθε σημείο ρυθμίστηκε ως κατασκευαστής η εταιρεία της κεραίας HI-TARGET και ως τύπος V90 GNSS ο οποίος εξετάστηκε και βρέθηκε πρακτικά συμβατός με τον τύπο του δέκτη-κεραίας, με τον οποίο έγιναν οι μετρήσεις, καθώς το μοντέλο των μετρήσεων δεν έχει προς το παρόν καταχωρηθεί στο λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε.

Import	File Name	Survey Mode	Reference Station Type	Start Time	End Time	Manufacturer	Type	Serial Number
<input checked="" type="checkbox"/>	CHAL1420.23o	Static	Single Base Station	5/22/2023 8:31:12 PM	5/22/2023 8:50:57 PM	Hi-Target	V90 GNSS	13682282
<input checked="" type="checkbox"/>	CHPA1440.23o	Static	Single Base Station	5/24/2023 8:20:12 PM	5/24/2023 8:34:57 PM	Hi-Target	V90 GNSS	13682282
<input checked="" type="checkbox"/>	chal1440.23o	Static	Single Base Station	5/24/2023 8:55:27 PM	5/24/2023 9:10:12 PM	Hi-Target	V90 GNSS	13682282
<input checked="" type="checkbox"/>	_Atr1480.23o	Static	Single Base Station	5/28/2023 6:26:12 PM	5/28/2023 6:45:57 PM	Hi-Target	V90 GNSS	13682282
<input checked="" type="checkbox"/>	Atrm1480.23o	Static	Single Base Station	5/28/2023 7:07:12 PM	5/28/2023 7:21:57 PM	Hi-Target	V90 GNSS	13682282
<input checked="" type="checkbox"/>	AIGT1480.23o	Static	Single Base Station	5/28/2023 7:50:57 PM	5/28/2023 8:05:42 PM	Hi-Target	V90 GNSS	13682282
<input checked="" type="checkbox"/>	aiop1480.23o	Static	Single Base Station	5/28/2023 8:25:27 PM	5/28/2023 8:35:12 PM	Hi-Target	V90 GNSS	13682282
<input checked="" type="checkbox"/>	aiop1481.23o	Static	Single Base Station	5/28/2023 8:36:12 PM	5/28/2023 8:45:57 PM	Hi-Target	V90 GNSS	13682282
<input checked="" type="checkbox"/>	AiHb1480.23o	Static	Single Base Station	5/28/2023 9:17:27 PM	5/28/2023 9:26:57 PM	Hi-Target	V90 GNSS	13682282
<input checked="" type="checkbox"/>	PADA1520.23o	Static	Single Base Station	6/1/2023 6:41:57 PM	6/1/2023 7:11:57 PM	Hi-Target	V90 GNSS	13682282
<input checked="" type="checkbox"/>	PAD21520.23o	Static	Single Base Station	6/1/2023 7:42:57 PM	6/1/2023 7:53:42 PM	Hi-Target	V90 GNSS	13682282
<input checked="" type="checkbox"/>	_2821520.23o	Static	Single Base Station	6/1/2023 8:38:27 PM	6/1/2023 8:55:42 PM	Hi-Target	V90 GNSS	13682282
<input checked="" type="checkbox"/>	_HAL1540.23o	Static	Single Base Station	6/3/2023 6:34:42 PM	6/3/2023 6:54:42 PM	Hi-Target	V90 GNSS	13682282
<input checked="" type="checkbox"/>	HALN1540.23o	Static	Single Base Station	6/3/2023 7:12:27 PM	6/3/2023 7:22:27 PM	Hi-Target	V90 GNSS	13682282
<input checked="" type="checkbox"/>	_2821560.23o	Static	Single Base Station	6/5/2023 12:08:12 PM	6/5/2023 12:13:12 PM	Hi-Target	V90 GNSS	13682282
<input checked="" type="checkbox"/>	chs1560.23o	Static	Single Base Station	6/5/2023 12:54:12 PM	6/5/2023 1:09:12 PM	Hi-Target	V90 GNSS	13682282
<input checked="" type="checkbox"/>	chs11560.23o	Static	Single Base Station	6/5/2023 1:29:27 PM	6/5/2023 1:44:12 PM	Hi-Target	V90 GNSS	13682282
<input checked="" type="checkbox"/>	chs21560.23o	Static	Single Base Station	6/5/2023 2:02:42 PM	6/5/2023 2:17:12 PM	Hi-Target	V90 GNSS	13682282
<input checked="" type="checkbox"/>	chs31560.23o	Static	Single Base Station	6/5/2023 2:30:12 PM	6/5/2023 2:44:12 PM	Hi-Target	V90 GNSS	13682282
<input checked="" type="checkbox"/>	ckep1600.23o	Static	Single Base Station	6/9/2023 7:49:27 PM	6/9/2023 8:03:57 PM	Hi-Target	V90 GNSS	13682282
<input checked="" type="checkbox"/>	cmp11600.23o	Static	Single Base Station	6/9/2023 8:25:42 PM	6/9/2023 8:35:57 PM	Hi-Target	V90 GNSS	13682282
<input checked="" type="checkbox"/>	cmp21600.23o	Static	Single Base Station	6/9/2023 8:55:27 PM	6/9/2023 9:10:12 PM	Hi-Target	V90 GNSS	13682282

Εικόνα 3.5: Ρύθμιση παραμέτρων κεραίας.

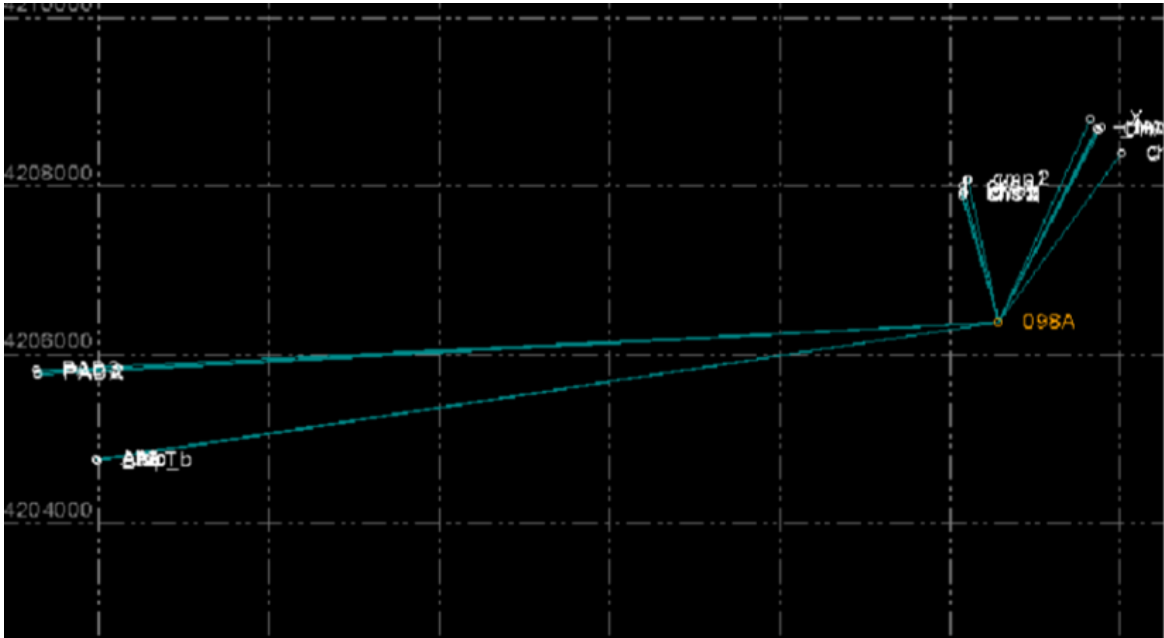
Επίσης, για την Antenna Method ορίστηκε η επιλογή Bottom of Antenna Mount όπως ορίζει και ο κατασκευαστής του δέκτη.

Ant. Method	Ant. Manufacturer	Ant. Type
Bottom of antenna mount	Hi-Target	V90 GNSS

Εικόνα 3.6: Επιλογή Ant.Method.

Η επιλογή του Base σταθμού αναφοράς έγινε από την ιστοσελίδα του HEPOS που εμπεριέχει τους 98 σταθμούς αναφοράς του HEPOS. Ο σταθμός αναφοράς που ορίστηκε είναι των εγκαταστάσεων του Κτηματολογίου που βρίσκεται επί της λεωφόρου Μεσογείων.

Στη συνέχεια έγινε η επίλυση των βάσεων. Από τις στατικές επιλύσεις προέκυψαν συντεταγμένες σε Ελληνικό Σύστημα ΕΓΣΑ 87 Ε,Ν,Η οι οποίες θα συγκριθούν με τις αντίστοιχες RTK συντεταγμένες για το κάθε σημείο. Οι βάσεις που προέκυψαν από την επίλυση των στατικών μετρήσεων διακρίνονται στην εικόνα 3.7.



Εικόνα 3.7: Βάσεις των στατικών μετρήσεων.

Για την αξιολόγηση του εκάστοτε συνδυασμού δορυφορικών συστημάτων πραγματοποιήθηκε η αφαίρεση των RTK συντεταγμένων ΕΓΣΑ 87 του κάθε σημείου με τις αντίστοιχες των στατικών μετρήσεων. Με τις διαφορές αυτές προσδιορίστηκαν οι αποκλίσεις dE, dN, dH που αποτελούν κριτήριο αξιολόγησης του κάθε συνδυασμού. Επίσης προσδιορίστηκε το οριζοντιογραφικό σφάλμα dS για τις διαφορές dE, dN για την καλύτερη μελέτη των αποκλίσεων. Η εξίσωση του οριζοντιογραφικού σφάλματος που εφαρμόστηκε είναι η εξής:

$$dS = \sqrt{(dE^2 + dN^2)}.$$

Ακολουθούν οι περιγραφές και οι αξιολογήσεις των RTK λύσεων για το κάθε σημείο.

3.3.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΑΝΩ ΧΑΛΑΝΔΡΙ

Σημείο 1 (CHAL)

Ένα από τα σημεία που επιλέχθηκαν για καταγραφή μετρήσεων RTK και Static ήταν σε περιβάλλον όπου ο δέκτης περιβαλλόταν από μεσαίου ύψους κτίρια χωρίς όμως να υπάρχει μεγάλη γωνία αποκοπής και δυσκολία στην επίλυση ασαφειών από τον δέκτη. Στις Εικόνες 3.8 και 3.9 φαίνεται το περιβάλλον μετρήσεων του σημείου 1.



Εικόνα 3.8: Ευρύτερη άποψη της περιοχής του σημείου 1.



Εικόνα 3.9: Λεπτομέρεια της περιοχής του σημείου 1.

Αρχικά έγινε η μέτρηση του σημείου με RTK με τους οκτώ συνδυασμούς που φαίνονται στον πίνακα 3.1, στον οποίο δίνονται και οι συντεταγμένες που προέκυψαν καθώς και οι ακρίβειές τους. Στον πίνακα 3.2 δίνονται για κάθε έναν από τους συνδυασμούς GNSS που χρησιμοποιήθηκαν: ο αριθμός των ορατών δορυφόρων των εκάστοτε αξιοποιούμενων GNSS, ο αριθμός των δορυφόρων που χρησιμοποιήθηκαν στην επίλυση, το PDOP και ο χρόνος που χρειάστηκε να για επιτευχθεί η λύση fixed.

Πίνακας 3.1: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 1)

GNSS SYSTEM	E	N	H	σE	σN	σH
GPS	483736.578	4208661.089	204.636	0.009	0.010	0.020
GPS+GLN	483736.573	4208661.111	204.655	0.007	0.008	0.017
GPS+GAL	483736.582	4208661.098	204.650	0.006	0.006	0.013
GPS+BDS	483736.595	4208661.099	204.665	0.009	0.010	0.022
FULL GNSS	483736.589	4208661.096	204.658	0.005	0.005	0.012
GPS+GLN+GAL	483736.579	4208661.093	204.649	0.005	0.006	0.012
GPS+GLN+BDS	483736.595	4208661.093	204.664	0.006	0.007	0.015
GPS+GAL+BDS	483736.589	4208661.093	204.648	0.006	0.006	0.013

Πίνακας 3.2: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 1).

GNSS SYSTEM	Sats	Used Sats	PDOP	Time to Fix
GPS	10	7	2.7	10 sec
GPS+GLN	14	10	2.3	10 sec
GPS+GAL	15	12	2.0	8 sec
GPS+BDS	22	12	1.7	8 sec
FULL GNSS	30	18	1.9	8 sec
GPS+GLN+GAL	21	16	1.5	8 sec
GPS+GLN+BDS	25	15	1.6	8 sec
GPS+GAL+BDS	28	17	1.5	8 sec

Όπως διακρίνεται στον πίνακα 3.1, στην προκειμένη περίπτωση οι διαφορές μεταξύ των συντεταγμένων των οκτώ διαφορετικών λύσεων είναι μικρές (έως 2-3 cm) και εντός των ορίων ακρίβειας των μετρήσεων RTK καθώς αποτελεί φαινομενικά εύκολο περιβάλλον, περίπου open sky.

Από την επίλυση των στατικών μετρήσεων οι συντεταγμένες που προέκυψαν για το συγκεκριμένο σημείο και τα στατιστικά της επίλυσης δίνονται στον πίνακα 3.3 :

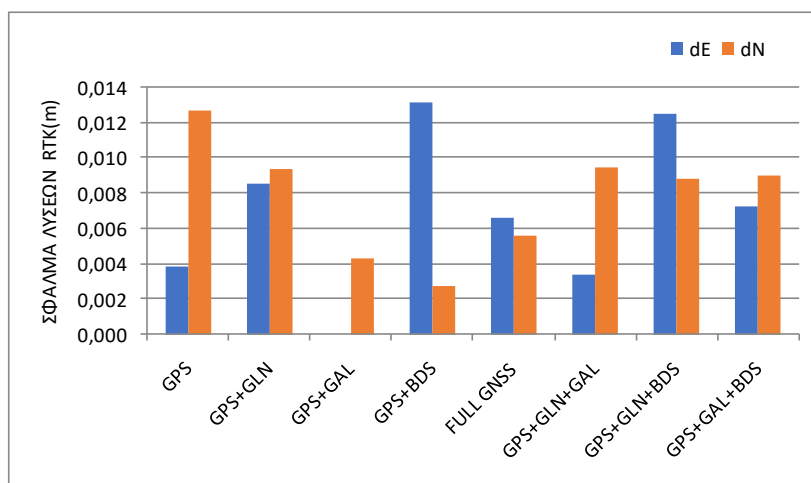
Πίνακας 3.3: Συντεταγμένες (m) σημείου 1 και στατιστικά από επίλυση static.

E	N	H	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΜΗΚΟΣ ΒΑΣΗΣ (m)	σHor	σVer	RMS
483736.582	4208661.102	204.365	FIXED	2557.830	0.012	0.019	0.015

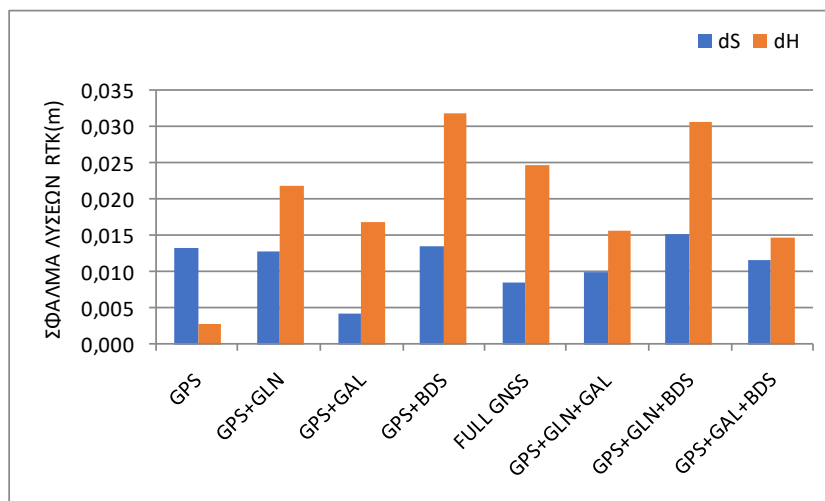
Η σύγκριση των συντεταγμένων RTK με τις συντεταγμένες της στατικής επίλυσης (οι οποίες θεωρούνται ως συντεταγμένες αναφοράς) φαίνεται στον πίνακα 3.4 και στις εικόνες 3.10 και 3.11. Όλες οι διαφορές είναι πολύ μικρές και επιτρεπτές για συνήθεις τοπογραφικές εφαρμογές.

Πίνακας 3.4: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 1)

GNSS SYSTEM	dE	dN	dS	dH
GPS	0.004	0.013	0.013	0.003
GPS+GLN	0.009	0.009	0.013	0.022
GPS+GAL	0.000	0.004	0.004	0.017
GPS+BDS	0.013	0.003	0.013	0.032
FULL GNSS	0.007	0.006	0.009	0.025
GPS+GLN+GAL	0.003	0.009	0.010	0.016
GPS+GLN+BDS	0.013	0.009	0.015	0.031
GPS+GAL+BDS	0.007	0.009	0.012	0.015



Εικόνα 3.10: Διάγραμμα διαφορών dE,dN/ GNSS SYSTEM



Εικόνα 3.11: Διάγραμμα διαφορών dS,dH/ GNSS SYSTEM

Σημείο 2 (HAL):

Το επόμενο σημείο επιλέχθηκε να είναι σε δυσκολότερο περιβάλλον, καθώς ο δέκτης τοποθετήθηκε σε σημείο που περικλείεται από φυλλωσιές δέντρων και κτίρια. Από τους οκτώ συνδυασμούς ο δέκτης επέλεξε με τους επτά (εκτός του GPS). Στις Εικόνες 3.12,3.13,3.14 φαίνεται το περιβάλλον μετρήσεων του σημείου 2.



Εικόνα 3.12: Ευρύτερη άποψη της περιοχής του σημείου 2.



Εικόνες 3.13,3.14: Λεπτομέρειες της περιοχής του σημείου 2.

Αρχικά έγινε η μέτρηση του σημείου με RTK με τους επτά συνδυασμούς που φαίνονται στον πίνακα 3.5, στον οποίο δίνονται και οι συντεταγμένες που προέκυψαν καθώς και οι ακρίβειές τους. Στον πίνακα 3.6 δίνονται για κάθε έναν από τους συνδυασμούς GNSS που χρησιμοποιήθηκαν: ο αριθμός των ορατών δορυφόρων των εκάστοτε αξιοποιούμενων GNSS, ο αριθμός των δορυφόρων που χρησιμοποιήθηκαν στην επίλυση, το PDOP και ο χρόνος που χρειάστηκε να για επιτευχθεί η λύση fixed.

Πίνακας 3.5: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 2)

GNSS SYSTEM	E	N	H	σ_N	σ_E	σ_H
GPS+GLN	483716.535	4208674.628	205.047	0.016	0.007	0.023
GPS+GAL	483716.555	4208674.618	205.014	0.011	0.005	0.015
GPS+BDS	483716.547	4208674.589	205.017	0.023	0.013	0.041
FULL GNSS	483716.550	4208674.572	204.992	0.007	0.004	0.008
GPS+GLN+GAL	483716.545	4208674.573	204.984	0.016	0.010	0.028
GPS+GLN+BDS	483716.532	4208674.575	204.979	0.007	0.005	0.010
GPS+GAL+BDS	483716.533	4208674.601	205.008	0.018	0.007	0.022

Πίνακας 3.6: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 2).

GNSS SYSTEM	Sats	Used Sats	PDOP	Time to Fix
GPS+GLN	14	9	2.6	1 min
GPS+GAL	11	6	4.7	1 min
GPS+BDS	18	7	4.8	1 min
FULL GNSS	24	13	2.3	40 sec
GPS+GLN+GAL	15	9	2.4	40 sec
GPS+GLN+BDS	21	9	2.4	45 sec
GPS+GAL+BDS	18	9	4.5	45 sec

Όπως διακρίνεται στον πίνακα 3.5, στην προκειμένη περίπτωση οι διαφορές μεταξύ των συντεταγμένων των οκτώ διαφορετικών λύσεων είναι ελαφρώς μεγαλύτερες (έως και 5 cm) καθώς αποτελεί φαινομενικά δυσκολότερο περιβάλλον.

Από την επίλυση των στατικών μετρήσεων οι συντεταγμένες που προέκυψαν για το συγκεκριμένο σημείο και τα στατιστικά της επίλυσης δίνονται στον πίνακα 3.7 :

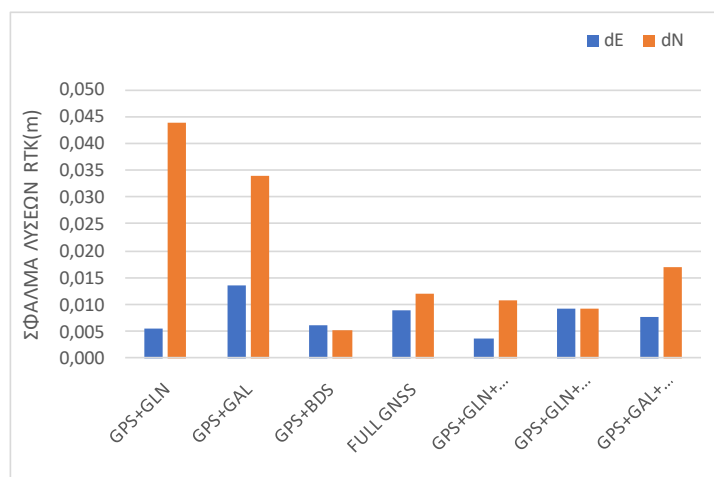
Πίνακας 3.7: Συντεταγμένες (m) σημείου 1 και στατιστικά από επίλυση static.

E	N	H	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΜΗΚΟΣ ΒΑΣΗΣ (m)	σ_{Hor}	σ_{Ver}	RMS
483716.541	4208674.584	204.972	FIXED	2560.807	0.013	0.018	0.020

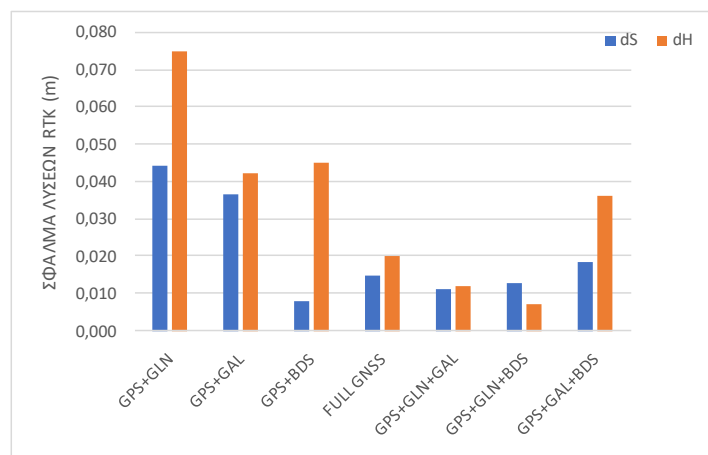
Η σύγκριση των συντεταγμένων RTK με τις συντεταγμένες της στατικής επίλυσης (οι οποίες θεωρούνται ως συντεταγμένες αναφοράς) φαίνεται στον πίνακα 3.8 και στις εικόνες 3.15 και 3.16. Όλες οι διαφορές είναι σχετικά επιτρεπτές για συνήθεις τοπογραφικές εφαρμογές με εξαίρεση το GPS+GLN που έχει οριζοντιογραφικό σφάλμα 4.4 cm και υψομετρική απόκλιση dH 7.5 cm

Πίνακας 3.8: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 2)

GNSS SYSTEM	dE	dN	dS	dH
GPS+GLN	0.006	0.044	0.044	0.075
GPS+GAL	0.014	0.034	0.037	0.042
GPS+BDS	0.006	0.005	0.008	0.045
FULL GNSS	0.009	0.012	0.015	0.020
GPS+GLN+GAL	0.004	0.011	0.011	0.012
GPS+GLN+BDS	0.009	0.009	0.013	0.007
GPS+GAL+BDS	0.008	0.017	0.019	0.036



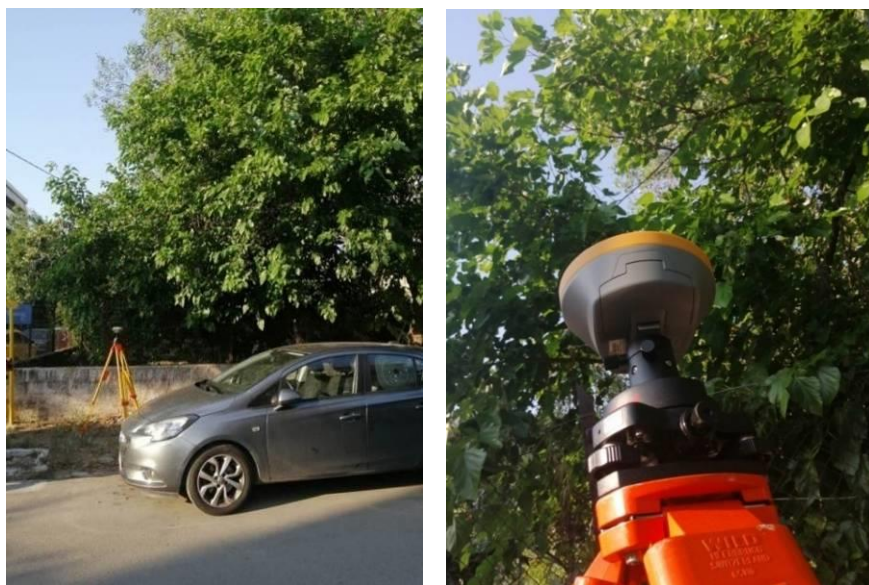
Εικόνα 3.15: Διάγραμμα διαφορών dE,dN/ GNSS SYSTEM



Εικόνα 3.16: Διάγραμμα διαφορών dS,dH/ GNSS SYSTEM

Σημείο 3 (HALN):

Το επόμενο σημείο βρισκόταν σε επίσης δύσκολο φαινομενικά σημείο καθώς ο δέκτης τοποθετήθηκε πολύ κοντά σε δέντρα. Για τον λόγο αυτό το φιξάρισμα ήταν αρκετά δύσκολο και ο δέκτης δεν μπορούσε να φιξάρει έχοντας ως διαθέσιμα συστήματα το GPS και τον συνδυασμό GPS-Galileo. Στις Εικόνες 3.17,3.18 φαίνεται το περιβάλλον μετρήσεων του σημείου 3.



Εικόνες 3.17,3.18: Γενική και λεπτομερής εικόνα του σημείου 3.

Αρχικά έγινε η μέτρηση του σημείου με RTK με τους έξι συνδυασμούς που φαίνονται στον πίνακα 3.9, στον οποίο δίνονται και οι συντεταγμένες που προέκυψαν καθώς και οι ακρίβειές τους. Στον πίνακα 3.10 δίνονται για κάθε έναν από τους συνδυασμούς GNSS που χρησιμοποιήθηκαν: ο αριθμός των ορατών δορυφόρων των εκάστοτε αξιοποιούμενων GNSS, ο αριθμός των δορυφόρων που χρησιμοποιήθηκαν στην επίλυση, το PDOD και ο χρόνος που χρειάστηκε να για επιτευχθεί η λύση fixed.

Πίνακας 3.9: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 3)

GNSS SYSTEM	E	N	H	σN	σE	σH
GPS+GLN	483775.813	4208690.927	205.086	0.016	0.015	0.025
GPS+BDS	483775.773	4208690.898	205.130	0.010	0.009	0.016
FULL GNSS	483775.771	4208690.890	205.131	0.008	0.007	0.014
GPS+GLN+GAL	483775.767	4208690.880	205.125	0.006	0.006	0.011
GPS+GLN+BDS	483775.751	4208690.874	205.141	0.011	0.013	0.024
GPS+GAL+BDS	483775.735	4208690.879	205.192	0.010	0.017	0.030

Πίνακας 3.10: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 3).

GNSS SYSTEM	Sats	Shared Sats	PDOP	Time to Fix
GPS+GLN	15	11	2.2	1 min
GPS+BDS	15	7	2.2	1,5 min
FULL GNSS	27	15	1.7	30 sec
GPS+GLN+GAL	18	15	1.6	35 sec
GPS+GLN+BDS	19	11	2.2	1 min
GPS+GAL+BDS	25	10	3.6	1 min

Όπως διακρίνεται στον πίνακα 3.9, στην προκειμένη περίπτωση οι διαφορές μεταξύ των συντεταγμένων των έξι διαφορετικών λύσεων είναι ελαφρώς μεγαλύτερες (έως και 5 cm) καθώς αποτελεί φαινομενικά δυσκολότερο περιβάλλον.

Από την επίλυση των στατικών μετρήσεων οι συντεταγμένες που προέκυψαν για το συγκεκριμένο σημείο και τα στατιστικά της επίλυσης δίνονται στον πίνακα 3.11 :

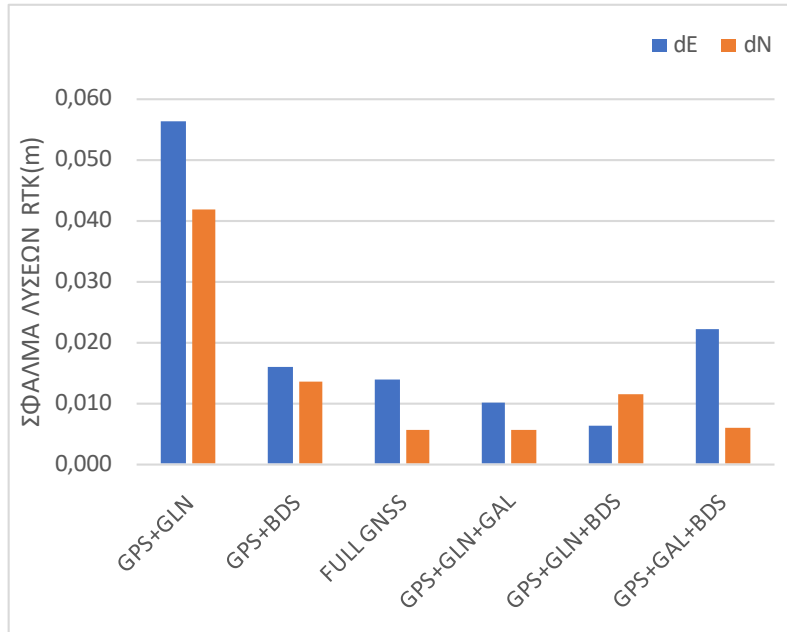
Πίνακας 3.11: Συντεταγμένες (m) σημείου 3 και στατιστικά από επίλυση static.

E	N	H	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΜΗΚΟΣ ΒΑΣΗΣ (m)	σHor	σVer	RMS
483775.757	4208690.885	205.144	FIXED	2602.298	0.025	0.038	0.024

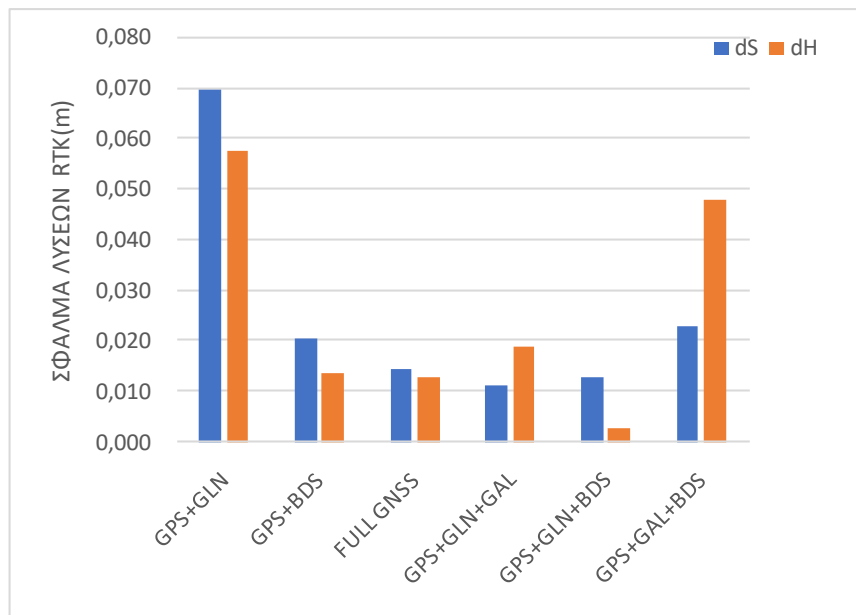
Η σύγκριση των συντεταγμένων RTK με τις συντεταγμένες της στατικής επίλυσης (οι οποίες θεωρούνται ως συντεταγμένες αναφοράς) φαίνεται στον πίνακα 3.12 και στις εικόνες 3.19 και 3.20. Οι αποκλίσεις βάσει το dS και dH είναι ικανοποιητικές. Ιδιαιτερότητες παρατηρούνται στο ds και dh για τον συνδυασμό GPS+GLN που έχει απόκλιση 7 cm κατά dS και 5.8 cm κατά dH. Επίσης στον συνδυασμό GPS+GAL+BDs παρατηρείται η απόκλιση των 4.8 cm κατά dH. Οι αποκλίσεις αυτές μπορεί να είναι προβληματικές σε συνήθεις Τοπογραφικές μελέτες.

Πίνακας 3.12: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 3)

GNSS SYSTEM	dE	dN	dS	dH
GPS+GLN	0.056	0.042	0.070	0.058
GPS+BDS	0.016	0.013	0.021	0.014
FULL GNSS	0.014	0.005	0.015	0.013
GPS+GLN+GAL	0.010	0.005	0.011	0.019
GPS+GLN+BDS	0.006	0.011	0.013	0.003
GPS+GAL+BDS	0.022	0.006	0.023	0.048



Εικόνα 3.19: Διάγραμμα διαφορών dE,dN/ GNSS SYSTEM



Εικόνα 3.20: Διάγραμμα διαφορών dS,dH/ GNSS SYSTEM

Σημείο 4 (CHPA):

Το 4^ο και 5^ο σημείο που στήθηκε ο δέκτης τοποθετούνται σε πάρκο της γειτονιάς όπου χαρακτηρίζεται από αρκετή πυκνότητα δέντρων. Για το 4^ο σημείο ο δέκτης επιλέχθηκε να τοποθετηθεί σε έκταση που περιβαλλόταν από δέντρα, ωστόσο υπήρχε πρόσβαση σε ανοιχτό ουρανό, γι αυτό και ο δέκτης επίλυσε με όλους τους συνδυασμούς. Επομένως θα μπορούσε αν χαρακτηριστεί τόσο ως open sky όσο και canopy. Στις Εικόνες 3.21,3.22 φαίνεται το περιβάλλον μετρήσεων του σημείου 4.



Εικόνα 3.21: Ευρύτερη άποψη της περιοχής του σημείου 4.



Εικόνα 3.22: Λεπτομέρειες της περιοχής του σημείου 4.

Αρχικά έγινε η μέτρηση του σημείου με RTK με τους οκτώ συνδυασμούς που φαίνονται στον πίνακα 3.13, στον οποίο δίνονται και οι συντεταγμένες που προέκυψαν καθώς και οι ακρίβειές τους. Στον πίνακα 3.14 δίνονται για κάθε έναν από τους συνδυασμούς GNSS που χρησιμοποιήθηκαν: ο αριθμός των ορατών δορυφόρων των εκάστοτε αξιοποιούμενων GNSS, ο αριθμός των δορυφόρων που χρησιμοποιήθηκαν στην επίλυση, το PDOP και ο χρόνος που χρειάστηκε να για επιτευχθεί η λύση fixed.

Πίνακας 3.13: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 4)

GNSS SYSTEM	E	N	H	σE	σN	σH
GPS	484009.060	4208380.978	204.198	0.011	0.012	0.024
GPS+GLN	484009.064	4208380.979	204.209	0.007	0.008	0.016
GPS+GAL	484009.055	4208380.974	204.211	0.007	0.007	0.015
GPS+BDS	484009.063	4208380.982	204.190	0.008	0.009	0.018
FULL GNSS	484009.063	4208380.981	204.212	0.005	0.005	0.010
GPS+GLN+GAL	484009.062	4208380.989	204.208	0.004	0.005	0.009
GPS+GLN+BDS	484009.055	4208380.990	204.160	0.008	0.010	0.019
GPS+GAL+BDS	484009.054	4208380.977	204.197	0.006	0.006	0.012

Πίνακας 3.14: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 4).

GNSS SYSTEM	Sats	Used Sats	PDOP	Time to Fix
GPS	11	7	2.8	15 sec
GPS+GLN	17	11	2.5	13 sec
GPS+GAL	18	12	1.7	13 sec
GPS+BDS	20	10	1.9	17 sec
FULL GNSS	29	19	1.3	10 sec
GPS+GLN+GAL	22	18	1.3	11 sec
GPS+GLN+BDS	25	15	1.6	12 sec
GPS+GAL+BDS	22	15	1.6	13 sec

Όπως διακρίνεται στον πίνακα 3.13, στην προκειμένη περίπτωση οι διαφορές μεταξύ των συντεταγμένων των οκτώ διαφορετικών λύσεων είναι ικανοποιητικές (έως και 4.5 cm κατά E) καθώς αποτελεί μέτριας δυσκολίας περιβάλλον.

Από την επίλυση των στατικών μετρήσεων οι συντεταγμένες που προέκυψαν για το συγκεκριμένο σημείο και τα στατιστικά της επίλυσης δίνονται στον πίνακα 3.15 :

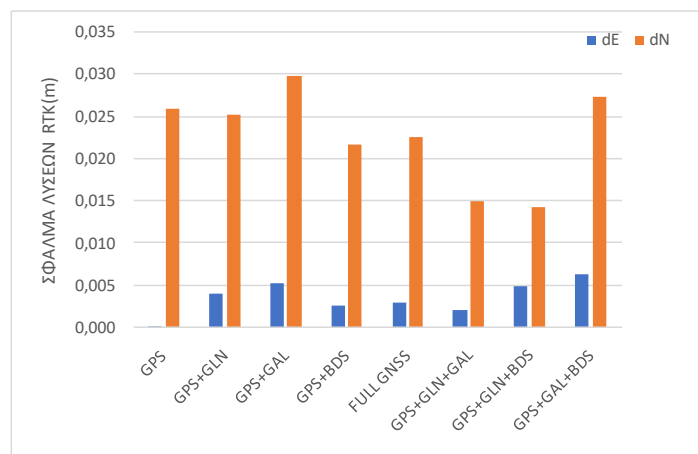
Πίνακας 3.15: Συντεταγμένες (m) σημείου 4 και στατιστικά από επίλυση static

E	N	H	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΜΗΚΟΣ ΒΑΣΗΣ (m)	σHor	σVer	RMS
484009.060	4208381.004	204.198	FIXED	2460.673	0.017	0.028	0.023

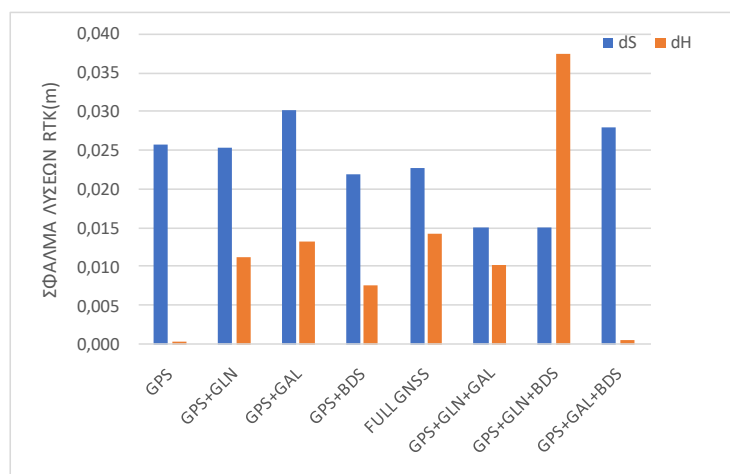
Η σύγκριση των συντεταγμένων RTK με τις συντεταγμένες της στατικής επίλυσης (οι οποίες θεωρούνται ως συντεταγμένες αναφοράς) φαίνεται στον πίνακα 3.16 και στις εικόνες 3.23 και 3.24. Όλες οι διαφορές βάσει dS και dH είναι πολύ ικανοποιητικές και επιτρεπτές για συνήθεις τοπογραφικές εφαρμογές.

Πίνακας 3.16: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 3)

GNSS SYSTEM	dE	dN	dS	dH
GPS	0.000	0.026	0.026	0.000
GPS+GLN	0.004	0.025	0.026	0.011
GPS+GAL	0.005	0.030	0.030	0.013
GPS+BDS	0.003	0.022	0.022	0.008
FULL GNSS	0.003	0.023	0.023	0.014
GPS+GLN+GAL	0.002	0.015	0.015	0.010
GPS+GLN+BDS	0.005	0.014	0.015	0.038
GPS+GAL+BDS	0.006	0.027	0.028	0.001



Εικόνα 3.23: Διάγραμμα διαφορών dE,dN/ GNSS SYSTEM



Εικόνα 3.24: Διάγραμμα διαφορών dS,dH/ GNSS SYSTEM

Σημείο 5 (chal2):

Ο δέκτης στη συνέχεια στήθηκε πλησιέστερα σε φυλλωσιές δέντρων στον ίδιο χώρο. Ωστόσο και στην περίπτωση αυτή έγινε επίλυση με τους οκτώ συνδυασμούς. Στην Εικόνα 3.24 φαίνεται το περιβάλλον μετρήσεων του σημείου 5.



Εικόνα 3.25: Ευρύτερη άποψη της περιοχής του σημείου 5.

Αρχικά έγινε η μέτρηση του σημείου με RTK με τους οκτώ συνδυασμούς που φαίνονται στον πίνακα 3.17, στον οποίο δίνονται και οι συντεταγμένες που προέκυψαν καθώς και οι ακρίβειές τους. Στον πίνακα 3.18 δίνονται για κάθε έναν από τους συνδυασμούς GNSS που χρησιμοποιήθηκαν: ο αριθμός των ορατών δορυφόρων των εκάστοτε αξιοποιούμενων GNSS, ο αριθμός των δορυφόρων που χρησιμοποιήθηκαν στην επίλυση, το PDOD και ο χρόνος που χρειάστηκε να για επιτευχθεί η λύση fixed.

Πίνακας 3.17: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 5)

GNSS SYSTEM	E	N	H	σE	σN	σH
GPS	484005.232	4208383.534	204.184	0.012	0.014	0.030
GPS+GLN	484005.234	4208383.546	204.163	0.007	0.008	0.017
GPS+GAL	484005.227	4208383.541	204.151	0.011	0.011	0.023
GPS+BDS	484005.238	4208383.537	204.168	0.012	0.015	0.035
FULL GNSS	484005.230	4208383.542	204.161	0.004	0.005	0.010
GPS+GLN+GAL	484005.229	4208383.540	204.161	0.005	0.005	0.011
GPS+GLN+BDS	484005.236	4208383.553	204.139	0.005	0.006	0.014
GPS+GAL+BDS	484005.237	4208383.543	204.145	0.006	0.006	0.014

Πίνακας 3.18: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 2).

GNSS SYSTEM	Sats	Used Sats	PDOP	Time to Fix
GPS	13	8	2.2	45 sec
GPS+GLN	18	13	1.6	33 sec
GPS+GAL	18	11	1.7	29 sec
GPS+BDS	22	11	2	35 sec
FULL GNSS	32	20	1.2	25 sec
GPS+GLN+GAL	21	16	1.4	25 sec
GPS+GLN+BDS	28	15	1.6	25 sec
GPS+GAL+BDS	29	15	1.5	25 sec

Όπως διακρίνεται στον πίνακα 3.17, στην προκειμένη περίπτωση οι διαφορές μεταξύ των συντεταγμένων των οκτώ διαφορετικών λύσεων είναι ικανοποιητικές καθώς αποτελεί μέτριας δυσκολίας περιβάλλον.

Από την επίλυση των στατικών μετρήσεων οι συντεταγμένες που προέκυψαν για το συγκεκριμένο σημείο και τα στατιστικά της επίλυσης δίνονται στον πίνακα 3.19 :

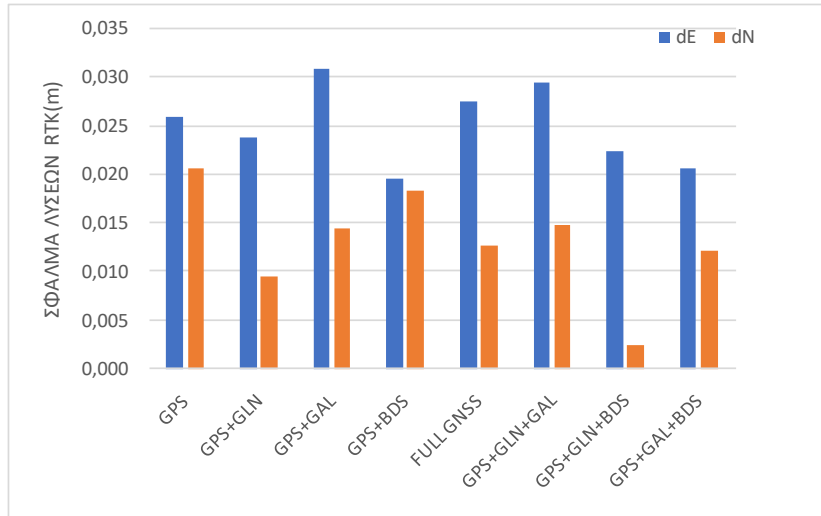
Πίνακας 3.19: Συντεταγμένες (m) σημείου 5 και στατιστικά από επίλυση static

E	N	H	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΜΗΚΟΣ ΒΑΣΗΣ (m)	σ_{Hor}	σ_{Ver}	RMS
484005.258	4208383.555	204.165	FIXED	2557.830	0.012	0.019	0.015

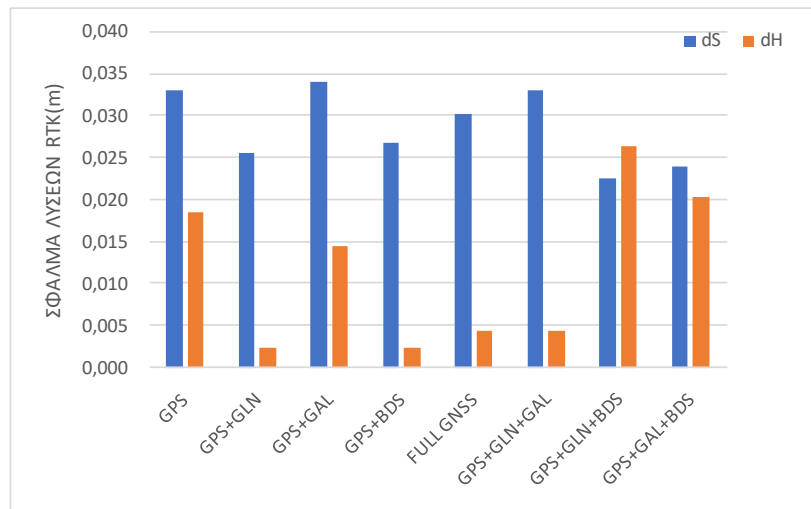
Η σύγκριση των συντεταγμένων RTK με τις συντεταγμένες της στατικής επίλυσης (οι οποίες θεωρούνται ως συντεταγμένες αναφοράς) φαίνεται στον πίνακα 3.20 και στις εικόνες 3.26 και 3.27. Όλες οι διαφορές είναι σχετικά μικρές και επιτρεπτές για συνήθεις τοπογραφικές εφαρμογές.

Πίνακας 3.20: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 5)

GNSS SYSTEM	dE	dN	dS	dH
GPS	0.026	0.021	0.033	0.019
GPS+GLN	0.024	0.009	0.026	0.002
GPS+GAL	0.031	0.014	0.034	0.014
GPS+BDS	0.020	0.018	0.027	0.002
FULL GNSS	0.028	0.013	0.030	0.004
GPS+GLN+GAL	0.029	0.015	0.033	0.004
GPS+GLN+BDS	0.022	0.002	0.023	0.026
GPS+GAL+BDS	0.021	0.012	0.024	0.020



Εικόνα 3.26: Διάγραμμα διαφορών dE, dN / GNSS SYSTEM



Εικόνα 3.27: Διάγραμμα διαφορών dS, dH / GNSS SYSTEM

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΧΑΛΑΝΔΡΙΟΥ

Σημείο 6 (chsq):

Το πρώτο σημείο που έγινε στήσιμο του δέκτη στην κεντρική πλατεία του Χαλανδρίου βρίσκεται πλησίον σε δέντρα, ωστόσο ο δέκτης έχει αρκετά μεγάλο μέρος open sky. Θα μπορούσε να χαρακτηριστεί open sky και canopy το περιβάλλον. Στην περίπτωση αυτή ο δέκτης επίλυσε τις ασάφειες φάσης με όλα τα δορυφορικά συστήματα. Στις Εικόνες 3.28,3.29,,3.30 φαίνεται το περιβάλλον μετρήσεων του σημείου 6.



Εικόνα 3.28: Ευρύτερη άποψη της περιοχής του σημείου 6.



Εικόνες 3.29,3.30: Λεπτομέρειες της περιοχής του σημείου 6.

Αρχικά έγινε η μέτρηση του σημείου με RTK με τους οκτώ συνδυασμούς που φαίνονται στον πίνακα 3.21, στον οποίο δίνονται και οι συντεταγμένες που προέκυψαν καθώς και οι ακρίβειές τους. Στον πίνακα 3.22 δίνονται για κάθε έναν από τους συνδυασμούς GNSS που χρησιμοποιήθηκαν: ο αριθμός των ορατών δορυφόρων των εκάστοτε αξιοποιούμενων GNSS, ο αριθμός των δορυφόρων που χρησιμοποιήθηκαν στην επίλυση, το PDOP και ο χρόνος που χρειάστηκε να για επιτευχθεί η λύση fixed.

Πίνακας 3.21: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 6)

GNSS SYSTEM	E	N	H	σE	σN	σH
GPS	482168.983	4207920.392	182.273	0.010	0.011	0.021
GPS+GLN	482168.978	4207920.393	182.311	0.008	0.008	0.017
GPS+GAL	482168.977	4207920.385	182.311	0.013	0.012	0.025
GPS+BDS	482168.982	4207920.393	182.289	0.011	0.013	0.038
FULL GNSS	482168.987	4207920.369	182.298	0.005	0.005	0.010
GPS+GLN+GAL	482168.982	4207920.366	182.300	0.006	0.007	0.014
GPS+GLN+BDS	482168.991	4207920.372	182.278	0.009	0.010	0.024
GPS+GAL+BDS	482168.981	4207920.364	182.281	0.010	0.010	0.022

Πίνακας 3.22: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 6).

GNSS SYSTEM	Sats	Used Sats	PDOP	Time to Fix
GPS	9	6	2.2	15 sec
GPS+GLN	15	11	1.7	15 sec
GPS+GAL	15	11	2.2	15 sec
GPS+BDS	19	7	2.1	30 sec
FULL GNSS	34	18	1.4	13 sec
GPS+GLN+GAL	21	18	1.4	15 sec
GPS+GLN+BDS	28	12	1.9	40 sec
GPS+GAL+BDS	27	12	1.6	40 sec

Όπως διακρίνεται στον πίνακα 3.21, στην προκειμένη περίπτωση οι διαφορές μεταξύ των συντεταγμένων των οκτώ διαφορετικών λύσεων είναι ικανοποιητικές καθώς αποτελεί μέτριας δυσκολίας περιβάλλον. Ιδιαιτερότητες παρατηρούνται στον πίνακα 3.22 όπου το time to fix για τους συνδυασμούς GPS+GLN+BDS και GPS+GLN+BDS είναι 40 second.

Από την επίλυση των στατικών μετρήσεων οι συντεταγμένες που προέκυψαν για το συγκεκριμένο σημείο και τα στατιστικά της επίλυσης δίνονται στον πίνακα 3.23 :

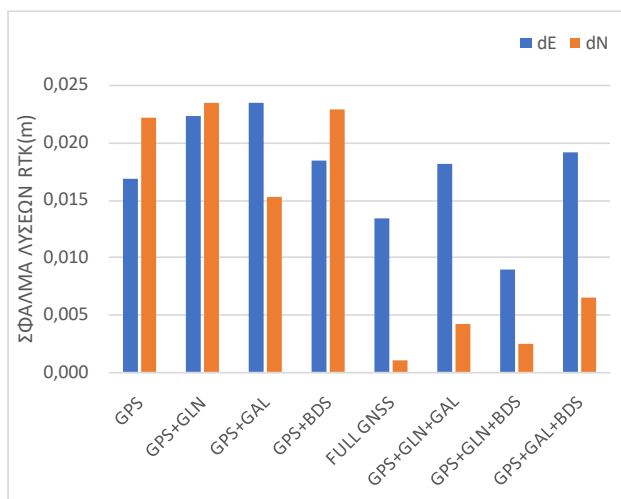
Πίνακας 3.23: Συντεταγμένες (m) σημείου 6 και στατιστικά από επίλυση static

E	N	H	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΜΗΚΟΣ ΒΑΣΗΣ (m)	σHor	σVer	RMS
482169.000	4207920.370	182.295	FIXED	1587.696	0.012	0.020	0.027

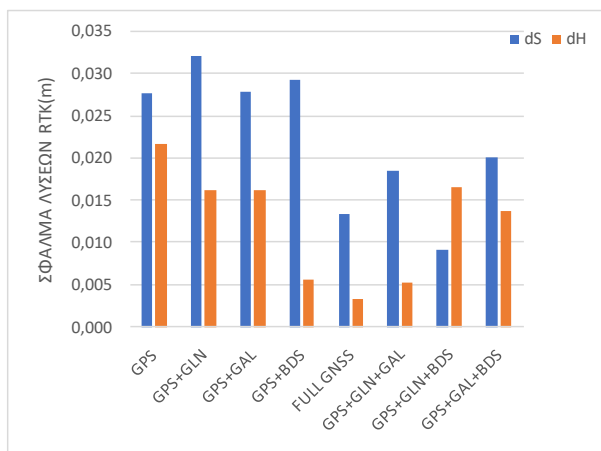
Η σύγκριση των συντεταγμένων RTK με τις συντεταγμένες της στατικής επίλυσης (οι οποίες θεωρούνται ως συντεταγμένες αναφοράς) φαίνεται στον πίνακα 3.24 και στις εικόνες 3.27 και 3.28. Όλες οι διαφορές είναι σχετικά μικρές και επιτρεπτές (κατά dS και dH) για συνήθεις τοπογραφικές εφαρμογές.

Πίνακας 3.24: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 6)

GNSS SYSTEM	dE	dN	dS	dH
GPS	0.017	0.022	0.028	0.022
GPS+GLN	0.022	0.023	0.032	0.016
GPS+GAL	0.023	0.015	0.028	0.016
GPS+BDS	0.018	0.023	0.029	0.006
FULL GNSS	0.013	0.001	0.013	0.003
GPS+GLN+GAL	0.018	0.004	0.019	0.005
GPS+GLN+BDS	0.009	0.002	0.009	0.017
GPS+GAL+BDS	0.019	0.007	0.020	0.014



Εικόνα 3.27: Διάγραμμα διαφορών dE,dN/ GNSS SYSTEM



Εικόνα 3.28: Διάγραμμα διαφορών dS,dH/ GNSS SYSTEM

Σημείο 7 (chs1):

Το επόμενο σημείο επιλέχθηκε να βρίσκεται κοντά σε αρκετά ψηλό κτίριο (εκκλησία Αγίου Νικολάου Χαλανδρίου). Η επιλογή του σημείου αυτού έγινε με σκοπό να μελετηθεί η αξιοπιστία των συνδυασμών συστημάτων όταν ο δέκτης βρίσκεται κοντά σε αρκετά ψηλά εμπόδια. Στην περίπτωση αυτή για να επιλύσει ο δέκτης τις ασάφειες φάσης χρειάστηκε συνδυασμό τουλάχιστον τριών δορυφορικών συστημάτων, καθώς αδυνατούσε το σήμα να φιξάρει μόνο με δύο δορυφορικά συστήματα στη διάθεση. Στις Εικόνες 3.30,3.31,3.32 φαίνεται το περιβάλλον μετρήσεων του σημείου 7.



Εικόνα 3.30: Ευρύτερη άποψη της περιοχής του σημείου 7.



Εικόνες 3.31,3.32: Λεπτομέρειες της περιοχής του σημείου 7.

Αρχικά έγινε η μέτρηση του σημείου με RTK με τους τέσσερις συνδυασμούς που φαίνονται στον πίνακα 3.25, στον οποίο δίνονται και οι συντεταγμένες που προέκυψαν καθώς και οι ακρίβειές τους. Στον πίνακα 3.26 δίνονται για κάθε έναν από τους συνδυασμούς GNSS που χρησιμοποιήθηκαν: ο αριθμός των ορατών δορυφόρων των εκάστοτε αξιοποιούμενων GNSS, ο αριθμός των δορυφόρων που χρησιμοποιήθηκαν στην επίλυση, το PDOP και ο χρόνος που χρειάστηκε να για επιτευχθεί η λύση fixed.

Πίνακας 3.25: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 7)

GNSS SYSTEM	E	N	H	σE	σN	σH
GPS+GLN+GAL	482138.617	4207918.266	181.887	0.005	0.006	0.015
GPS+GLN+BDS	482138.616	4207918.290	181.908	0.004	0.009	0.015
GPS+GAL+BDS	482138.615	4207918.274	181.850	0.008	0.009	0.028
FULL GNSS	482138.602	4207918.272	181.854	0.002	0.005	0.008

Πίνακας 3.26: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 7).

GNSS SYSTEM	Sats	Used Sats	PDOP	Time to fix
GPS+GLN+GAL	21	17	1.6	30 sec
GPS+GLN+BDS	27	13	1.8	30 sec
GPS+GAL+BDS	25	14	1.6	30 sec
FULL GNSS	31	17	1.8	30 sec

Όπως διακρίνεται στον πίνακα 3.25, στην προκειμένη περίπτωση οι διαφορές μεταξύ των συντεταγμένων των τεσσάρων διαφορετικών λύσεων είναι ικανοποιητικές. Ωστόσο λόγω της δυσκολίας του σημείου, η αξιολόγηση θα γίνει καλύτερα μετά από σύγκριση με τις στατικές μετρήσεις.

Από την επίλυση των στατικών μετρήσεων οι συντεταγμένες που προέκυψαν για το συγκεκριμένο σημείο και τα στατιστικά της επίλυσης δίνονται στον πίνακα 3.27 :

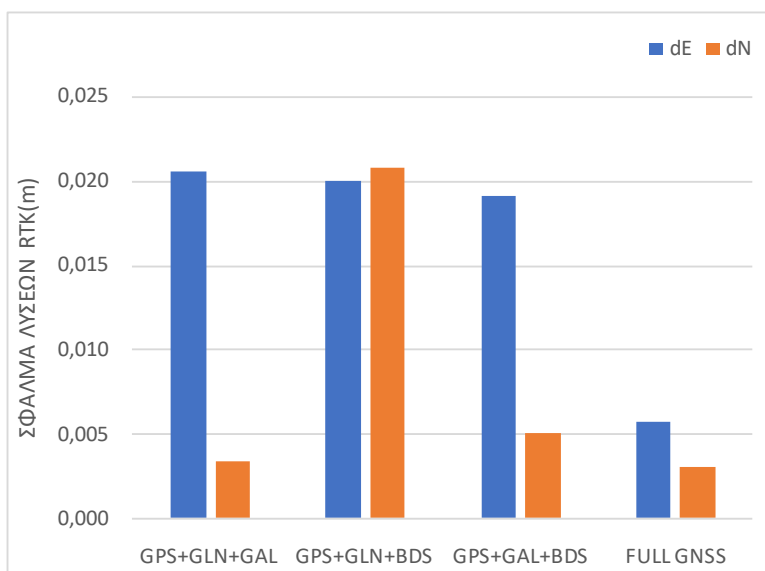
Πίνακας 3.27: Συντεταγμένες (m) σημείου 7 και στατιστικά από επίλυση static

E	N	H	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΜΗΚΟΣ ΒΑΣΗΣ (m)	σHor	σVer	RMS
482138.596	4207918.269	181.873	FIXED	1593.661	0.015	0.024	0.018

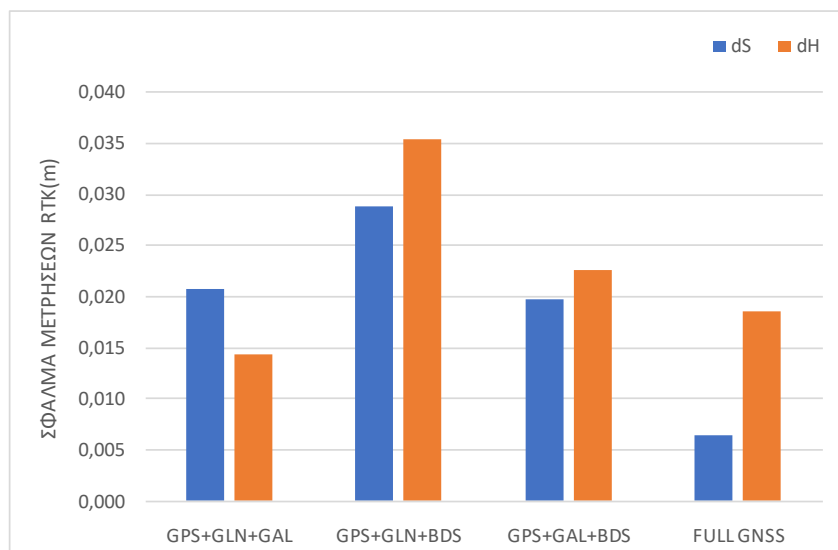
Η σύγκριση των συντεταγμένων RTK με τις συντεταγμένες της στατικής επίλυσης (οι οποίες θεωρούνται ως συντεταγμένες αναφοράς) φαίνεται στον πίνακα 3.28 και στις εικόνες 3.33 και 3.34. Όλες οι διαφορές είναι μικρές και επιτρεπτές για συνήθεις τοπογραφικές εφαρμογές κατά DS και DH.

Πίνακας 3.28: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 7)

GNSS SYSTEM	dE	dN	dS	dH
GPS+GLN+GAL	0.020	0.003	0.021	0.014
GPS+GLN+BDS	0.020	0.021	0.029	0.035
GPS+GAL+BDS	0.019	0.005	0.020	0.023
FULL GNSS	0.006	0.003	0.006	0.019



Εικόνα 3.33: Διάγραμμα διαφορών dE,dN/ GNSS SYSTEM



Εικόνα 3.34: Διάγραμμα διαφορών dS,dH/ GNSS SYSTEM

Σημείο 8 (chs2):

Το τρίτο σημείο ήταν φαινομενικά το δυσκολότερο από τα προηγούμενα καθώς ο δέκτης στήθηκε ανάμεσα σε δέντρα και την εκκλησία, με αποτέλεσμα το elevation mask να είναι πολύ μικρότερο. Η δυσκολία αποδείχθηκε στο ότι ο δέκτης επίλυσε ασάφειες φάσης με μόνο δύο συνδυασμούς: GPS+GLN+GAL, FULL GNSS. Στις Εικόνες 3.35,3.36,3.37,3.38 φαίνεται το περιβάλλον μετρήσεων του σημείου 8.



Εικόνες 3.35,3.36: Λεπτομέρειες της περιοχής του σημείου 8.



Εικόνες 3.37,3.38: Λεπτομέρειες της περιοχής του σημείου 8.

Αρχικά έγινε η μέτρηση του σημείου με RTK με τους δύο συνδυασμούς που φαίνονται στον πίνακα 3.29, στον οποίο δίνονται και οι συντεταγμένες που προέκυψαν καθώς και οι ακρίβειές τους. Στον πίνακα 3.30 δίνονται για κάθε έναν από τους συνδυασμούς GNSS που χρησιμοποιήθηκαν: ο αριθμός των ορατών δορυφόρων των εκάστοτε αξιοποιούμενων GNSS, ο αριθμός των δορυφόρων που χρησιμοποιήθηκαν στην επίλυση, το PDOP και ο χρόνος που χρειάστηκε να για επιτευχθεί η λύση fixed.

Πίνακας 3.29: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 8)

GNSS SYSTEM	E	N	H	σE	σN	σH
GPS+GLN+GAL	482139.085	4207895.612	182.077	0.013	4207895.612	0.057
FULL GNSS	482139.089	4207895.599	182.160	0.012	4207895.599	0.048

Πίνακας 3.30: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 8).

GNSS SYSTEM	Sats	Used Sats	PDOP	Time to Fix
GPS+GLN+GAL	22	18	1.7	1,5 min
FULL GNSS	33	16	1.8	45 sec

Οι διαφορές μεταξύ των μετρήσεων RTK είναι μικρές και επιτρεπτές για τις Τοπογραφικές μελέτες, όπως διακρίνεται στον πίνακα 3.29. Ο χρόνος επίλυσης (time to fix) διαφέρει σημαντικά μεταξύ των δύο συνδυασμών όπως διακρίνεται στον πίνακα 3.30 για τους δύο συνδυασμούς.

Από την επίλυση των στατικών μετρήσεων οι συντεταγμένες που προέκυψαν για το συγκεκριμένο σημείο και τα στατιστικά της επίλυσης δίνονται στον πίνακα 3.31 :

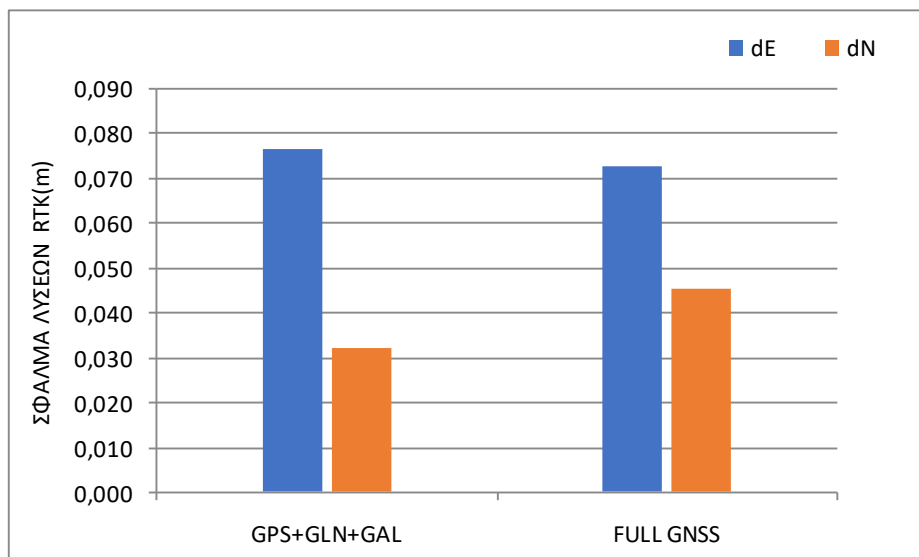
Πίνακας 3.31: Συντεταγμένες (m) σημείου 8 και στατιστικά από επίλυση static

E	N	H	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΜΗΚΟΣ ΒΑΣΗΣ (m)	σ_{Hor}	σ_{Ver}	RMS
482139.162	4207895.644	181.870	FIXED	1571.634	0.109	0.045	0.022

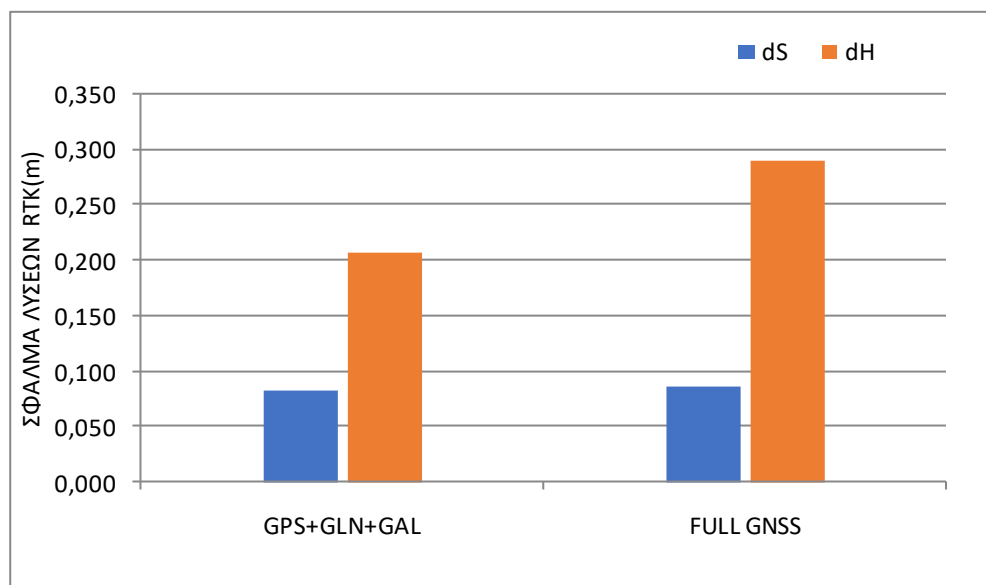
Η σύγκριση των συντεταγμένων RTK με τις συντεταγμένες της στατικής επίλυσης (οι οποίες θεωρούνται ως συντεταγμένες αναφοράς) φαίνεται στον πίνακα 3.32 και στις εικόνες 3.39 και 3.40. Από το οριζοντιογραφικό σφάλμα προκύπτει ότι οι δύο συνδυασμοί είναι πολύ κοντά, ωστόσο η απόκλιση των 8,3 και 8.6 cm για τους συνδυασμούς GPS+GLN+GAL και FULL GNSS αντίστοιχα μπορεί αν αποβεί προβληματική για τις Τοπογραφικές μελέτες. Επίσης υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις των 20.7 και 29 cm που προκύπτουν από τις υψομετρικές αποκλίσεις dH.

Πίνακας 3.32: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 8)

GNSS SYSTEM	dE	dN	dS	dH
GPS+GLN+GAL	0.077	0.032	0.083	0.207
FULL GNSS	0.073	0.045	0.086	0.290



Εικόνα 3.39: Διάγραμμα διαφορών dE,dN



Εικόνα 3.40: Διάγραμμα διαφορών dS,dH/ GNSS SYSTEM

Σημείο 9 (chs3):

Το επόμενο σημείο που τοποθετήθηκε ο δέκτης εμπεριείχε δυσκολίες αλλά διέθετε μεγαλύτερο εύρος ανοιχτού ουρανού συγκριτικά με το προηγούμενο σημείο. Και στην περίπτωση αυτή ο δέκτης περιβαλλόταν από δέντρα και κτίρια. Συνολικά επιλύθηκαν ασάφειες φάσης με τους 6 από τους 8 συνδυασμούς (εκτός του GPS). Στις Εικόνες 3.41,3.42 φαίνεται το περιβάλλον μετρήσεων του σημείου 9.



Εικόνες 3.41,3.42: Λεπτομέρειες της περιοχής του σημείου 9.

Αρχικά έγινε η μέτρηση του σημείου με RTK με τους έξι συνδυασμούς που φαίνονται στον πίνακα 3.33, στον οποίο δίνονται και οι συντεταγμένες που προέκυψαν καθώς και οι ακρίβειές τους. Στον πίνακα 3.34 δίνονται για κάθε έναν από τους συνδυασμούς GNSS που χρησιμοποιήθηκαν: ο αριθμός των ορατών δορυφόρων των εκάστοτε αξιοποιούμενων GNSS, ο αριθμός των δορυφόρων που χρησιμοποιήθηκαν στην επίλυση, το PDOD και ο χρόνος που χρειάστηκε να για επιτευχθεί η λύση fixed.

Πίνακας 3.33: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 9)

GNSS SYSTEM	E	N	H	σE	σN	σH
GPS+GLN	482151.819	4207889.552	182.162	0.014	0.009	0.061
GPS+GAL	482151.819	4207889.572	182.139	0.007	0.008	0.024
FULL GNSS	482151.817	4207889.573	182.187	0.006	0.008	0.017
GPS+GLN+GAL	482151.814	4207889.546	182.118	0.008	0.010	0.020
GPS+GLN+BDS	482151.821	4207889.541	182.132	0.013	0.014	0.036
GPS+GAL+BDS	482151.814	4207889.584	182.189	0.007	0.009	0.022

Πίνακας 3.34: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 9).

GNSS SYSTEM	Sats	Used Sats	PDOP	Time to Fix
GPS+GLN	16	9	2.7	30 sec
GPS+GAL	13	9	3.1	30 sec
FULL GNSS	30	12	2.7	25 sec
GPS+GLN+GAL	19	16	1.8	25 sec
GPS+GLN+BDS	20	11	2.1	25 sec
GPS+GAL+BDS	22	12	2	25 sec

Οι διαφορές μεταξύ των μετρήσεων RTK είναι σχετικά μικρές και επιτρεπτές για τις Τοπογραφικές μελέτες, όπως διακρίνεται στον πίνακα 3.33.

Από την επίλυση των στατικών μετρήσεων οι συντεταγμένες που προέκυψαν για το συγκεκριμένο σημείο και τα στατιστικά της επίλυσης δίνονται στον πίνακα 3.35 :

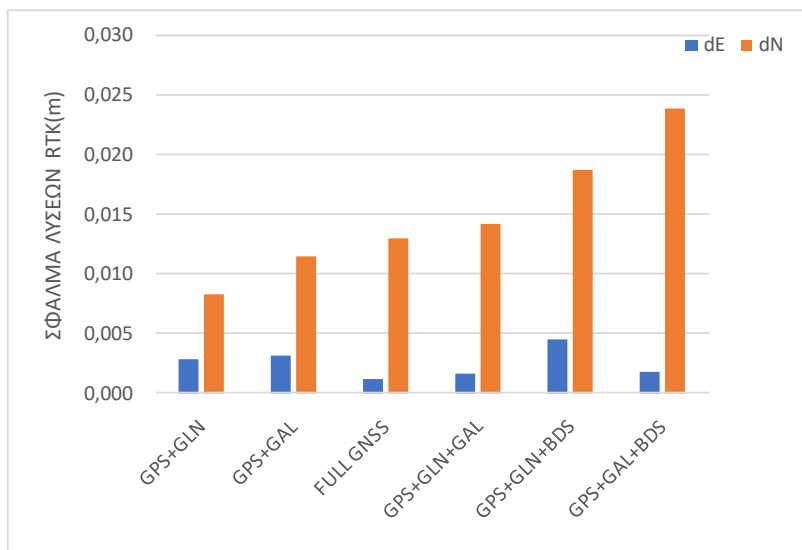
Πίνακας 3.35: Συντεταγμένες (m) σημείου 9 και στατιστικά από επίλυση static

E	N	H	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΜΗΚΟΣ ΒΑΣΗΣ (m)	σ_{Hor}	σ_{Ver}	RMS
482151.816	4207889.560	182.166	FIXED	1562.435	0.016	0.025	0.032

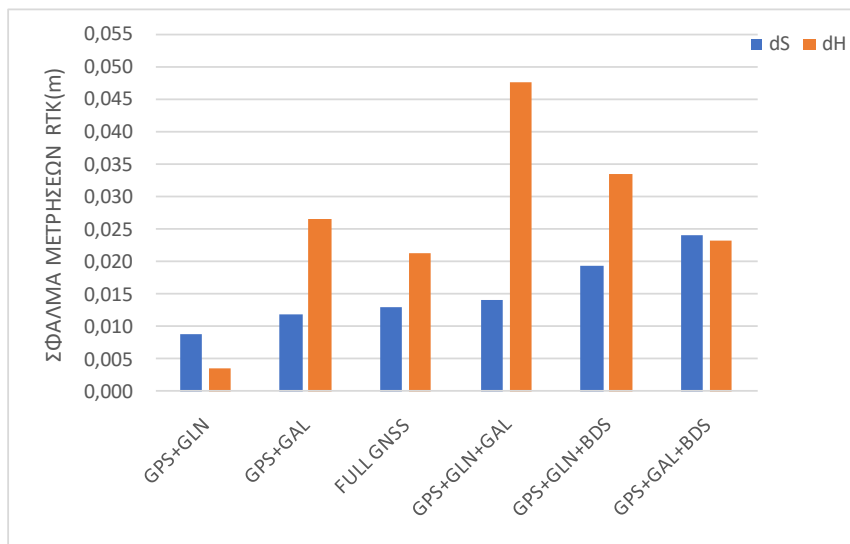
Η σύγκριση των συντεταγμένων RTK με τις συντεταγμένες της στατικής επίλυσης (οι οποίες θεωρούνται ως συντεταγμένες αναφοράς) φαίνεται στον πίνακα 3.36 και στις εικόνες 3.43 και 3.44. Από το οριζοντιογραφικό σφάλμα προκύπτει ότι οι διαφορές είναι μικρές και επιτρεπτές για συνήθεις Τοπογραφικές μελέτες. Οι υψομετρικές αποκλίσεις είναι επίσης ικανοποιητικές με την μοναδική ιδιαιτερότητα να εντοπίζεται για τον συνδυασμό GPS+GLN+GAL (4.8 cm).

Πίνακας 3.36: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 7)

GNSS SYSTEM	dE	dN	dS	dH
GPS+GLN	0.003	0.008	0.009	0.004
GPS+GAL	0.003	0.012	0.012	0.027
FULL GNSS	0.001	0.013	0.013	0.021
GPS+GLN+GAL	0.002	0.014	0.014	0.048
GPS+GLN+BDS	0.004	0.019	0.019	0.034
GPS+GAL+BDS	0.002	0.024	0.024	0.023



Εικόνα 3.43: Διάγραμμα διαφορών dE,dN/GNSS SYSTEM



Εικόνα 3.44: Διάγραμμα διαφορών dS,dH/ GNSS SYSTEM

Σημείο 10 (cker):

Το επόμενο σημείο επιλέχθηκε να βρίσκεται αρκετά κοντά σε κτίριο και σε θάλαμο ανελκυστήρα με γυάλινο υλικό που θα μπορούσε να ευνοήσει πιθανότατα το σφάλμα της πολυανάκλασης (multipath). Η δυσκολία του σημείου ήταν μέτρια καθώς ο δέκτης είχε από τη μία πλευρά σχετικά ανοιχτό ουρανό, ενώ από την άλλη υπήρχε το εμπόδιο του κτιρίου. Από τους 8 συνδυασμούς επιλύθηκαν ασάφειες φάσης με όλους. Στις Εικόνες 3.45,3.46,3.47 φαίνεται το περιβάλλον μετρήσεων του σημείου 10.



Εικόνα 3.45: Ευρύτερη άποψη της περιοχής του σημείου 10.



Εικόνες 3.46,3.47: Λεπτομέρειες της περιοχής του σημείου 10.

Αρχικά έγινε η μέτρηση του σημείου με RTK με τους οκτώ συνδυασμούς που φαίνονται στον πίνακα 3.37, στον οποίο δίνονται και οι συντεταγμένες που προέκυψαν καθώς και οι ακρίβειές τους. Στον πίνακα 3.38 δίνονται για κάθε έναν από τους συνδυασμούς GNSS που χρησιμοποιήθηκαν: ο αριθμός των ορατών δορυφόρων των εκάστοτε αξιοποιούμενων GNSS, ο αριθμός των δορυφόρων που χρησιμοποιήθηκαν στην επίλυση, το PDOP και ο χρόνος που χρειάστηκε να για επιτευχθεί η λύση fixed.

Πίνακας 3.37: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 10)

GNSS SYSTEM	E	N	H	σE	σN	σH
GPS	482147.094	4208006.374	178.584	0.024	0.016	0.045
GPS+GLN	482147.043	4208006.340	178.677	0.006	0.005	0.012
GPS+GAL	482147.026	4208006.349	178.717	0.012	0.009	0.022
GPS+BDS	482147.062	4208006.355	178.655	0.009	0.007	0.017
GPS+GLN+GAL	482147.051	4208006.351	178.689	0.009	0.008	0.018
GPS+GLN+BDS	482147.052	4208006.347	178.684	0.006	0.005	0.011
GPS+GAL+BDS	482147.030	4208006.345	178.726	0.013	0.010	0.023
FULL GNSS	482147.039	4208006.347	178.700	0.009	0.007	0.016

Πίνακας 3.38: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 10).

GNSS SYSTEM	Sats	Used Sats	PDOP	Time to Fix
GPS	11	7	3.1	40 sec
GPS+GLN	15	10	2.1	20 sec
GPS+GAL	15	12	2.3	20 sec
GPS+BDS	15	7	3.1	20 sec
GPS+GLN+GAL	20	17	1.5	18 sec
GPS+GLN+BDS	19	10	2.2	20 sec
GPS+GAL+BDS	22	13	2.1	22 sec
FULL GNSS	27	17	1.7	17,5 sec

Στις διαφορές μεταξύ των συντεταγμένων λύσεων RTK αποκλίσεις παρατηρούνται στη μέτρηση του σημείου με GPS και GPS+BDs.

Από την επίλυση των στατικών μετρήσεων οι συντεταγμένες που προέκυψαν για το συγκεκριμένο σημείο και τα στατιστικά της επίλυσης δίνονται στον πίνακα 3.33 :

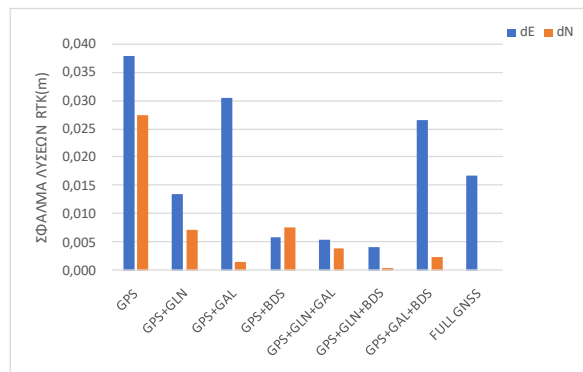
Πίνακας 3.39: Συντεταγμένες (m) σημείου 10 και στατιστικά από επίλυση static

E	N	H	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΜΗΚΟΣ ΒΑΣΗΣ (m)	σHor	σVer	RMS
482147.056	4208006.347	178.682	FIXED	1676.510	0.015	0.022	0.020

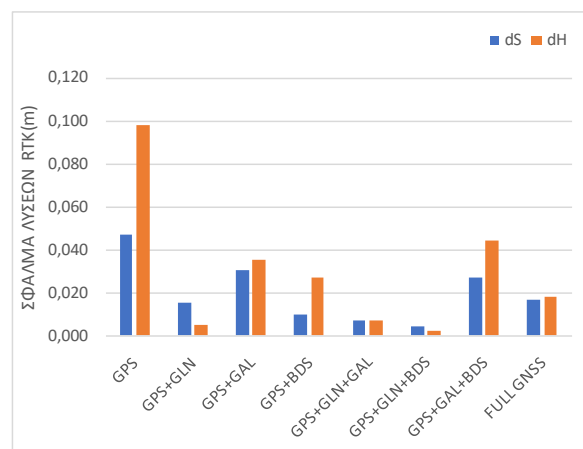
Η σύγκριση των συντεταγμένων RTK με τις συντεταγμένες της στατικής επίλυσης (οι οποίες θεωρούνται ως συντεταγμένες αναφοράς) φαίνεται στον πίνακα 3.35 και στις εικόνες 3.48 και 3.49. Από το οριζοντιογραφικό σφάλμα και την απόκλιση dH προκύπτει ότι οι διαφορές είναι ικανοποιητικές με ιδιαιτερότητα τη μέτρηση μόνο με GPS που οι τιμές dS και dH είναι αντίστοιχα 4.7 και 9.8 cm και μπορεί να αποβεί προβληματική σε Τοπογραφικές μελέτες.

Πίνακας 3.40: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 10)

GNSS SYSTEM	dE	dN	dS	dH
GPS	0.038	0.027	0.047	0.098
GPS+GLN	0.014	0.007	0.015	0.005
GPS+GAL	0.030	0.002	0.031	0.035
GPS+BDS	0.006	0.008	0.010	0.027
GPS+GLN+GAL	0.005	0.004	0.007	0.007
GPS+GLN+BDS	0.004	0.001	0.004	0.002
GPS+GAL+BDS	0.026	0.002	0.027	0.044
FULL GNSS	0.017	0.000	0.017	0.018



Εικόνα 3.48: Διάγραμμα διαφορών dE,dN/GNSS SYSTEM



Εικόνα 3.49: Διάγραμμα διαφορών dS,dH/ GNSS SYSTEM

Σημείο 11 (cmp1)

Το επόμενο σημείο επιλέχθηκε να βρίσκεται πλησίον σε κτίριο το οποίο διαθέτει γυάλινη επιφάνεια που πιθανότατα ευνοεί το σφάλμα πολυανάκλασης (multipath) αλλά και με την παρουσία δέντρων με αποτέλεσμα το μικρότερο εύρος open sky. Στην περίπτωση αυτή οι μοναδικοί συνδυασμοί με τους οποίους πάρθηκαν λύσεις RTK είναι το Full GNSS και GPS+GLN. Στις Εικόνες 3.50,3.51,3.52 φαίνεται το περιβάλλον μετρήσεων του σημείου 11.



Εικόνα 3.50: Ευρύτερη άποψη της περιοχής του σημείου 11.



Εικόνα 3.51,3.52: Λεπτομέρειες της περιοχής του σημείου 11.

Αρχικά έγινε η μέτρηση του σημείου με RTK με τους δύο συνδυασμούς που φαίνονται στον πίνακα 3.41, στον οποίο δίνονται και οι συντεταγμένες που προέκυψαν καθώς και οι ακρίβειές τους. Στον πίνακα 3.42 δίνονται για κάθε έναν από τους συνδυασμούς GNSS που χρησιμοποιήθηκαν: ο αριθμός των ορατών δορυφόρων των εκάστοτε αξιοποιούμενων GNSS, ο αριθμός των δορυφόρων που χρησιμοποιήθηκαν στην επίλυση, το PDOP και ο χρόνος που χρειάστηκε να για επιτευχθεί η λύση fixed.

Πίνακας 3.41: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 11)

GNSS SYSTEM	E	N	H	σE	σN	σZ
FULL GNSS	482210.305	4208083.984	177.005	0.009	0.018	0.020
GPS+GLN	482210.331	4208083.912	176.988	0.016	0.018	0.038

Πίνακας 3.42: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 11).

GNSS SYSTEM	Sats	Used Sats	PDOP	Time to Fix
FULL GNSS	36	15	2.2	30 sec
GPS+GLN	17	9	2.4	1,5 min

Μεταξύ των συνδυασμών αυτών παρατηρείται διαφορά 7.2 cm η οποία μπορεί να αποβεί προβληματική για Τοπογραφικές μελέτες.

Από την επίλυση των στατικών μετρήσεων οι συντεταγμένες που προέκυψαν για το συγκεκριμένο σημείο και τα στατιστικά της επίλυσης δίνονται στον πίνακα 3.42 :

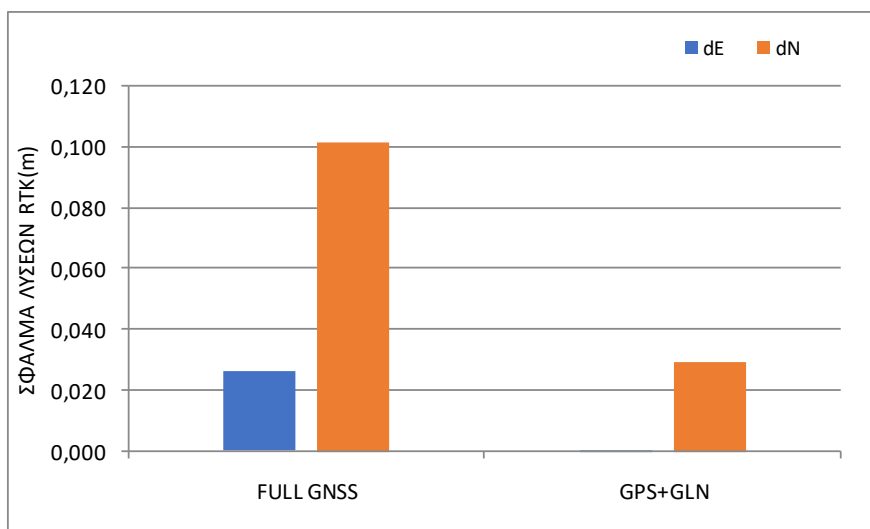
Πίνακας 3.43: Συντεταγμένες (m) σημείου 11 και στατιστικά από επίλυση static

E	N	H	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΜΗΚΟΣ ΒΑΣΗΣ (m)	σHor	σVer	RMS
482210.331	4208083.882	176.908	FIXED	1737.426	0.019	0.020	0.022

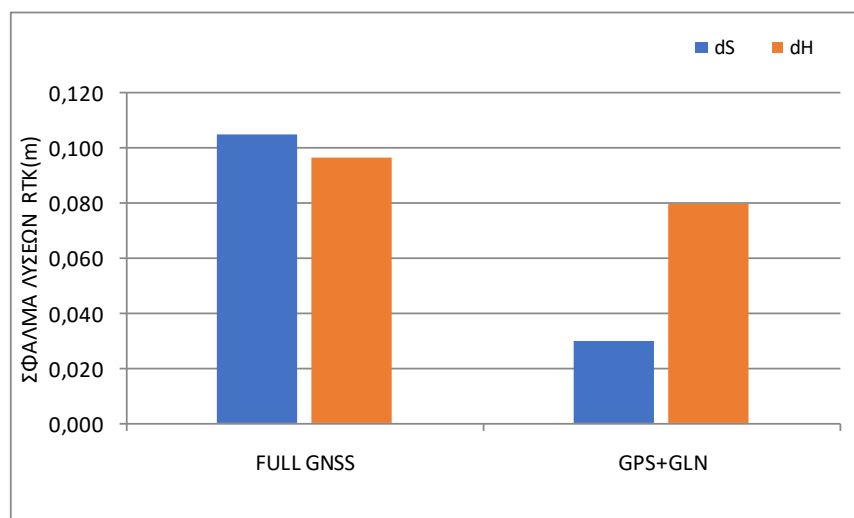
Η σύγκριση των συντεταγμένων RTK με τις συντεταγμένες της στατικής επίλυσης (οι οποίες θεωρούνται ως συντεταγμένες αναφοράς) φαίνεται στον πίνακα 3.44 και στις εικόνες 3.53 και 3.54. Από το οριζοντιογραφικό σφάλμα προκύπτει προβληματική διαφορά των 10 cm κατά dN για το Full GNSS και αυτό οδηγεί σε οριζοντιογραφικό σφάλμα των 10.5 cm. Μεγάλες αποκλίσεις παρατηρούνται και στις υψομετρικές διαφορές dH , 9.7 και 8 cm αντίστοιχα που μπορούν να χαρακτηριστούν προβληματικές στην Τοπογραφία.

Πίνακας 3.44: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 11)

GNSS SYSTEM	dE	dN	dS	dH
FULL GNSS	0.026	0.101	0.105	0.097
GPS+GLN	0.000	0.030	0.030	0.080



Εικόνα 3.53: Διάγραμμα διαφορών dE,dN/GNSS SYSTEM.



Εικόνα 3.54: Διάγραμμα διαφορών dS,dH/ GNSS SYSTEM.

Σημείο 12 (cmp2)

Το επόμενο σημείο επιλέχθηκε να βρίσκεται όπως και το προηγούμενο σε εμπορικό κέντρο με επιφάνειες που ευνοούν την ύπαρξη σφάλματος πολυανάκλασης. Ο δέκτης επίλυσε με έξι συνδυασμούς (εκτός από GPS και GPS+BDs). Στις Εικόνες 3.55,3.56, φαίνεται το περιβάλλον μετρήσεων του σημείου 12.



Εικόνα 3.55: Ευρύτερη άποψη της περιοχής του σημείου 12.



Εικόνα 3.56: Λεπτομέρειες της περιοχής του σημείου 12.

Αρχικά έγινε η μέτρηση του σημείου με RTK με τους έξι συνδυασμούς που φαίνονται στον πίνακα 3.45, στον οποίο δίνονται και οι συντεταγμένες που προέκυψαν καθώς και οι ακρίβειές τους. Στον πίνακα 3.46 δίνονται για κάθε έναν από τους συνδυασμούς GNSS που χρησιμοποιήθηκαν: ο αριθμός των ορατών δορυφόρων των εκάστοτε αξιοποιούμενων GNSS, ο αριθμός των δορυφόρων που χρησιμοποιήθηκαν στην επίλυση, το PDOD και ο χρόνος που χρειάστηκε να για επιτευχθεί η λύση fixed.

Πίνακας 3.45: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 12).

GNSS SYSTEM	E	N	H	σE	σN	σH
GPS+GAL	482221.356	4208075.898	177.177	0.013	0.016	0.038
GPS+GLN	482221.370	4208075.848	177.080	0.011	0.015	0.046
GPS+GLN+GAL	482221.382	4208075.822	177.031	0.009	0.009	0.026
GPS+GLN+BDS	482221.385	4208075.824	177.056	0.010	0.015	0.023
GPS+GAL+BDS	482221.382	4208075.834	177.062	0.024	0.021	0.059
FULL GNSS	482221.379	4208075.821	177.021	0.005	0.008	0.016

Πίνακας 3.46: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 12).

GNSS SYSTEM	Sats	Used Sats	PDOP	Time to Fix
GPS+GAL	16	11	1.9	2 min
GPS+GLN	15	11	2.1	1.2 min
GPS+GLN+GAL	25	16	1.8	40 sec
GPS+GLN+BDS	31	13	1.9	50 sec
GPS+GAL+BDS	27	13	2.1	1 min
FULL GNSS	34	10	3.2	20 sec

Μεταξύ των συνδυασμών αυτών παρατηρείται λίγο μεγαλύτερη διαφορά στον συνδυασμό GPS+GAL.

Από την επίλυση των στατικών μετρήσεων οι συντεταγμένες που προέκυψαν για το συγκεκριμένο σημείο και τα στατιστικά της επίλυσης δίνονται στον πίνακα 3.47 :

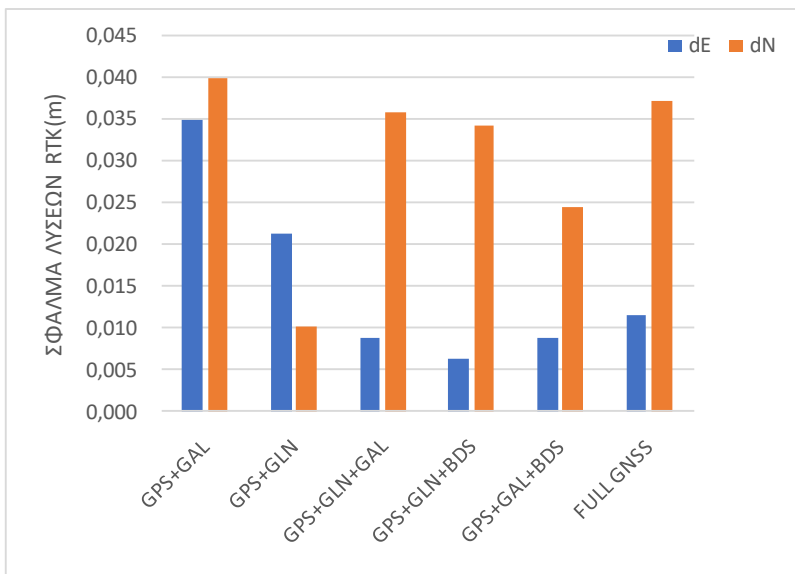
Πίνακας 3.47: Συντεταγμένες (m) σημείου 12 και στατιστικά από επίλυση static

E	N	H	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΜΗΚΟΣ ΒΑΣΗΣ (m)	σ_{Hor}	σ_{Ver}	RMS
482221.391	4208075.858	177.098	FIXED	1727.297	0.014	0.020	0.026

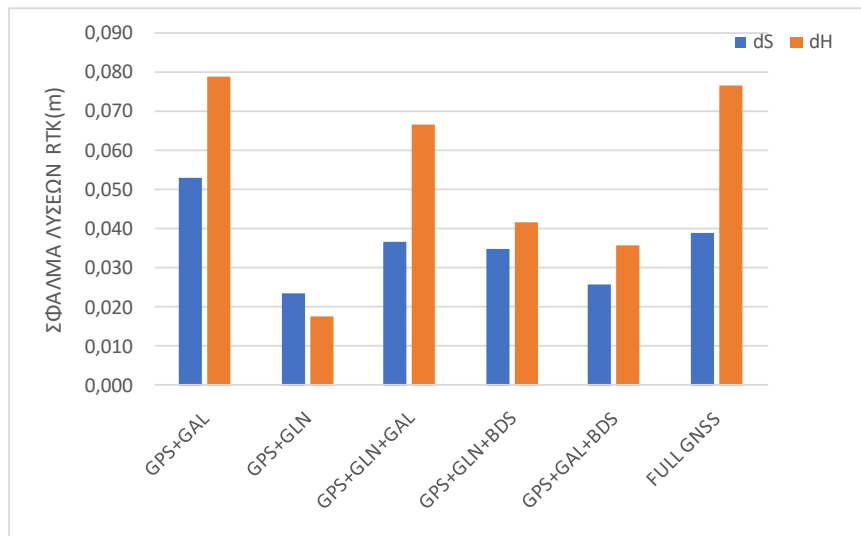
Η σύγκριση των συντεταγμένων RTK με τις συντεταγμένες της στατικής επίλυσης (οι οποίες θεωρούνται ως συντεταγμένες αναφοράς) φαίνεται στον πίνακα 3.48 και στις εικόνες 3.53 και 3.54. Από το οριζοντιογραφικό σφάλμα προκύπτει η μεγαλύτερη απόκλιση για τον συνδυασμό GPS+GAL (5.3 cm), ενώ οι υπόλοιπες αποκλίσεις είναι σχετικά επιτρεπτές για τις Τοπογραφικές μελέτες. Στις υψομετρικές αποκλίσεις ισχύει ότι την μεγαλύτερη την έχει ο συνδυασμός GPS+GAL, ενώ προβληματικές είναι και για τους συνδυασμούς Full GNSS και GPS+GLN+GAL (7.7 και 6.7 cm αντίστοιχα).

Πίνακας 3.48: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 12)

GNSS SYSTEM	dE	dN	dS	dH
GPS+GAL	0.035	0.040	0.053	0.079
GPS+GLN	0.021	0.010	0.024	0.018
GPS+GLN+GAL	0.009	0.036	0.037	0.067
GPS+GLN+BDS	0.006	0.034	0.035	0.042
GPS+GAL+BDS	0.009	0.025	0.026	0.036
FULL GNSS	0.012	0.037	0.039	0.077



Εικόνα 3.57: Διάγραμμα διαφορών dE,dN/GNSS SYSTEM.



Εικόνα 3.58: Διάγραμμα διαφορών dS,dH/ GNSS SYSTEM.

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΤΕΙΑ ΕΣΤΑΥΡΩΜΕΝΟΥ-ΑΙΓΑΛΕΩ**Σημείο 13 (Atr):**

Το πρώτο σημείο που επιλέχθηκε για καταγραφή δορυφόρων βρίσκεται κάτω από φυλλωσιές δέντρου και ως αποτέλεσμα αυτού ήταν δύσκολο να επιλυθούν οι ασάφειες φάσης από τον δέκτη. Ωστόσο επιτεύχθηκε να γίνει επίλυση με τους συνδυασμούς Full GNSS και GPS+GLN+GAL. Στις Εικόνες 3.59,3.60, φαίνεται το περιβάλλον μετρήσεων του σημείου 13.



Εικόνα 3.59: Όψη 1 της περιοχής του σημείου 13



Εικόνα 3.60: Όψη 2 της περιοχής του σημείου 13.

Αρχικά έγινε η μέτρηση του σημείου με RTK με τους δύο συνδυασμούς που φαίνονται στον πίνακα 3.49, στον οποίο δίνονται και οι συντεταγμένες που προέκυψαν καθώς και οι ακρίβειές τους. Στον πίνακα 3.50 δίνονται για κάθε έναν από τους συνδυασμούς GNSS που χρησιμοποιήθηκαν: ο αριθμός των ορατών δορυφόρων των εκάστοτε αξιοποιούμενων GNSS, ο αριθμός των δορυφόρων που χρησιμοποιήθηκαν στην επίλυση, το PDOP και ο χρόνος που χρειάστηκε να για επιτευχθεί η λύση fixed.

Πίνακας 3.49: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 13).

GNSS SYSTEM	E	N	H	σ_E	σ_N	σ_H
FULL GNSS	471981.686	4204750.806	34.921	0.019	0.017	0.038
GPS+GLN+GAL	471981.716	4204750.776	34.916	0.071	0.065	0.115

Πίνακας 3.50: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 13).

GNSS SYSTEM	Sats	Used Sats	PDOP	Time to Fix
FULL GNSS	29	18	1.6	1.5 min
GPS+GLN+GAL	21	15	1.8	1 min

Μεταξύ των δύο μετρήσεων RTK υπάρχει μεγάλη απόκλιση (έως και 3 cm κατά E,N). Για τον λόγο αυτό η καλύτερη αξιολόγηση θα γίνει με σύγκριση με τις στατικές μετρήσεις.

Από την επίλυση των στατικών μετρήσεων οι συντεταγμένες που προέκυψαν για το συγκεκριμένο σημείο και τα στατιστικά της επίλυσης δίνονται στον πίνακα 3.51 :

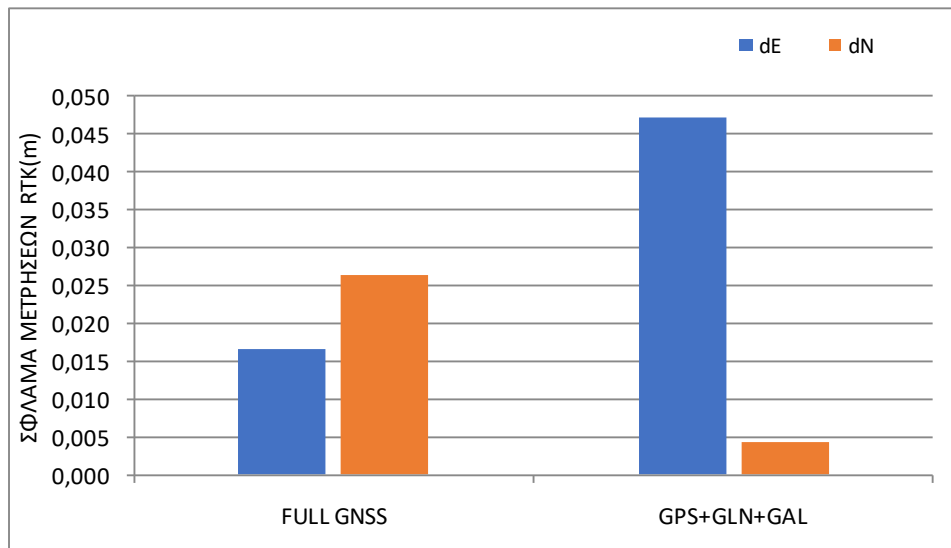
Πίνακας 3.51: Συντεταγμένες (m) σημείου 13 και στατιστικά από επίλυση static

E	N	H	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΜΗΚΟΣ ΒΑΣΗΣ (m)	σ_{Hor}	σ_{Ver}	RMS
471981.669	4204750.780	34.964	FIXED	10720.849	0.062	0.078	0.043

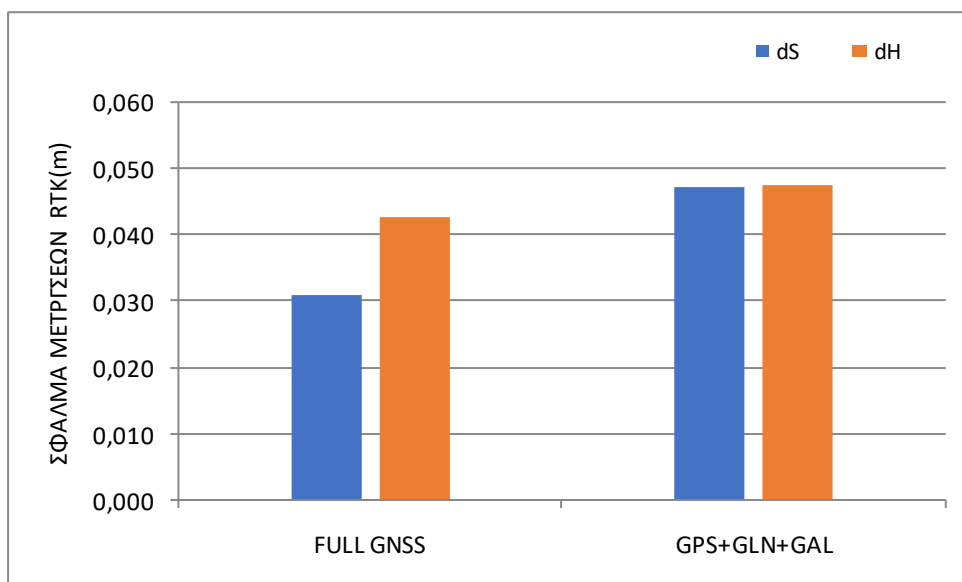
Η σύγκριση των συντεταγμένων RTK με τις συντεταγμένες της στατικής επίλυσης (οι οποίες θεωρούνται ως συντεταγμένες αναφοράς) φαίνεται στον πίνακα 3.52 και στις εικόνες 3.61 και 3.62. Από τις αποκλίσεις που προκύπτουν από το οριοζοντιογραφικό σφάλμα τη μικρότερη απόκλιση έχει το Full GNSS. Οι υψομετρικές αποκλίσεις είναι σχετικά κοντά μεταξύ τους (4.3 και 4.8 cm αντίστοιχα) και θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως μέτριες λύσεις για Τοπογραφικές μελέτες.

Πίνακας 3.52: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 12)

GNSS SYSTEM	dE	dN	dS	dH
FULL GNSS	0.017	0.026	0.031	0.043
GPS+GLN+GAL	0.047	0.004	0.047	0.048



Εικόνα 3.61: Διάγραμμα διαφορών dE,dN/GNSS SYSTEM.



Εικόνα 3.62: Διάγραμμα διαφορών dS,dH/ GNSS SYSTEM.

Σημείο 14 (AIGT):

Για το επόμενο σημείο ο δέκτης τοποθετήθηκε αφενός πλησίον σε δέντρα , αφετέρου σε μεγαλύτερο εύρος open sky. Έγιναν επιλύσεις με όλους τους συνδυασμούς που θα μελετηθούν ως προς την αξιοπιστία τους. Στην εικόνα 3.63 φαίνεται το περιβάλλον μετρήσεων του σημείου 14.



Εικόνα 3.63: Ευρύτερη άποψη της περιοχής του σημείου 14.

Αρχικά έγινε η μέτρηση του σημείου με RTK με τους οκτώ συνδυασμούς που φαίνονται στον πίνακα 3.53, στον οποίο δίνονται και οι συντεταγμένες που προέκυψαν καθώς και οι ακρίβειές τους. Στον πίνακα 3.54 δίνονται για κάθε έναν από τους συνδυασμούς GNSS που χρησιμοποιήθηκαν: ο αριθμός των ορατών δορυφόρων των εκάστοτε αξιοποιούμενων GNSS, ο αριθμός των δορυφόρων που χρησιμοποιήθηκαν στην επίλυση, το PDOD και ο χρόνος που χρειάστηκε να για επιτευχθεί η λύση fixed.

Μεταξύ των δύο μετρήσεων RTK οι διαφορές όλες είναι ικανοποιητικές και επιτρεπτές στην Τοπογραφία, όπως φαίνεται στον πίνακα 3.53.

Πίνακας 3.53: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 14).

GNSS SYSTEM	E	N	H	σE	σN	σH
GPS	471982.076	4204747.107	34.839	0.015	0.016	0.033
GPS+GLN	471982.076	4204747.094	34.841	0.010	0.011	0.021
GPS+GAL	471982.073	4204747.082	34.835	0.009	0.008	0.019
GPS+BDS	471982.074	4204747.081	34.840	0.011	0.011	0.022
FULL GNSS	471982.071	4204747.085	34.830	0.011	0.010	0.022
GPS+GLN+GAL	471982.059	4204747.098	34.835	0.012	0.012	0.025
GPS+GLN+BDS	471982.058	4204747.096	34.794	0.014	0.014	0.027
GPS+GAL+BDS	471982.056	4204747.095	34.800	0.041	0.024	0.082

Πίνακας 3.54: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 14).

GNSS SYSTEM	Sats	Used Sats	PDOP	Time to Fix
GPS	12	7	2.2	30 sec
GPS+GLN	15	12	1.7	20 sec
GPS+GAL	15	11	1.9	20 sec
GPS+BDS	22	11	1.8	20 sec
FULL GNSS	31	19	1.5	15 sec
GPS+GLN+GAL	20	15	1.6	15 sec
GPS+GLN+BDS	28	16	1.5	20 sec
GPS+GAL+BDS	28	14	1.8	20 sec

Από την επίλυση των στατικών μετρήσεων οι συντεταγμένες που προέκυψαν για το συγκεκριμένο σημείο και τα στατιστικά της επίλυσης δίνονται στον πίνακα 3.55 :

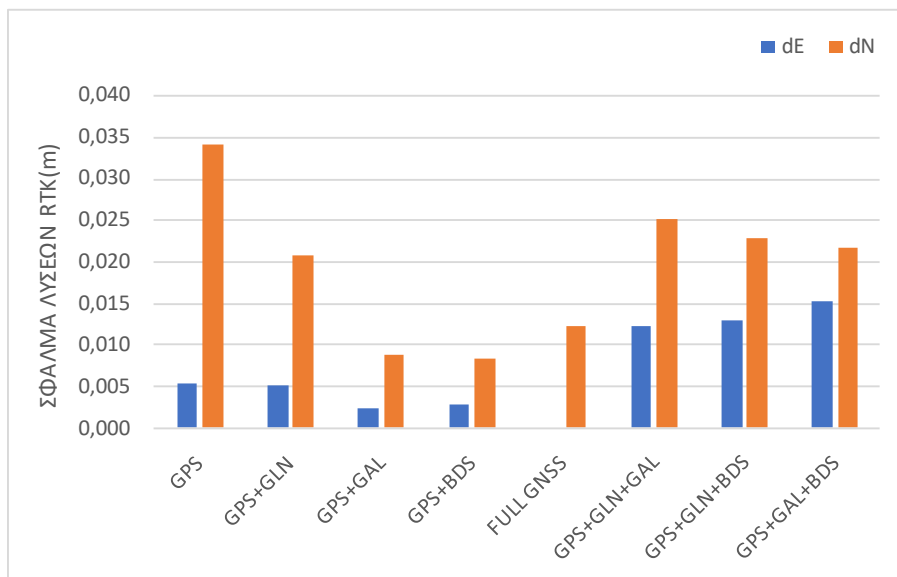
Πίνακας 3.55: Συντεταγμένες (m) σημείου 14 και στατιστικά από επίλυση static

E	N	H	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΜΗΚΟΣ ΒΑΣΗΣ (m)	σHor	σVer	RMS
471982.071	4204747.073	34.826	FIXED	10721.019	0.022	0.034	0.024

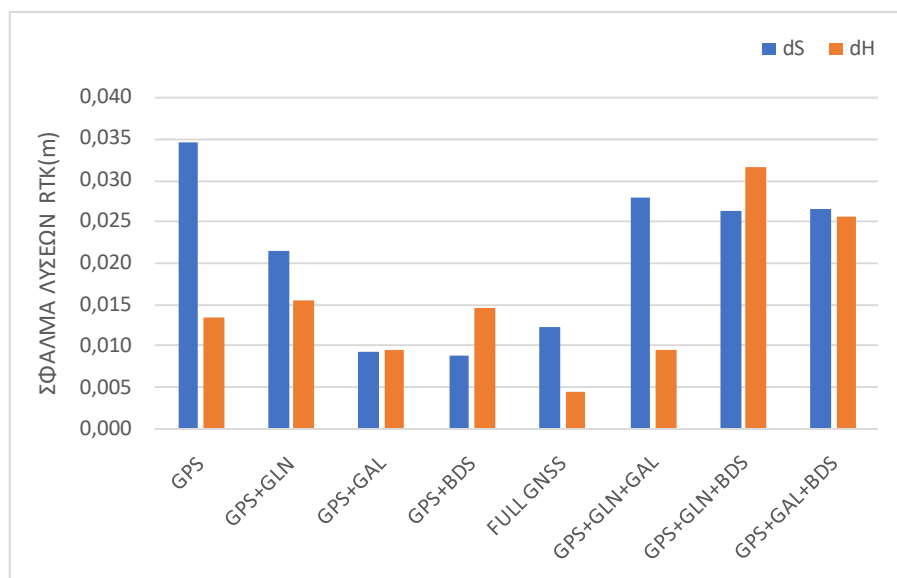
Η σύγκριση των συντεταγμένων RTK με τις συντεταγμένες της στατικής επίλυσης (οι οποίες θεωρούνται ως συντεταγμένες αναφοράς) φαίνεται στον πίνακα 3.56 και στις εικόνες 3.64 και 3.65. Όλες οι αποκλίσεις είναι επιτρεπτές σε συνήθεις Τοπογραφικές μελέτες, με τη μεγαλύτερη διαφορά να κατέχει η μέτρηση με GPS στο οριζοντιογραφικό σφάλμα (3.5 cm).

Πίνακας 3.56: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 12)

GNSS SYSTEM	dE	dN	dS	dH
GPS	0.005	0.034	0.035	0.013
GPS+GLN	0.005	0.021	0.021	0.015
GPS+GAL	0.002	0.009	0.009	0.009
GPS+BDS	0.003	0.008	0.009	0.014
FULL GNSS	0.000	0.012	0.012	0.004
GPS+GLN+GAL	0.012	0.025	0.028	0.009
GPS+GLN+BDS	0.013	0.023	0.026	0.032
GPS+GAL+BDS	0.015	0.022	0.026	0.026



Εικόνα 3.64: Διάγραμμα διαφορών dE,dN/GNSS SYSTEM.



Εικόνα 3.65: Διάγραμμα διαφορών dS,dH/ GNSS SYSTEM.

Σημείο 15 (Atrn):

Στη συνέχεια ακολούθησε σημείο σε ελαφρώς open sky περιβάλλον, πλησίον στα δύο παραπάνω σημεία. Θα μπορούσε να χαρακτηριστεί συγκριτικά ίδιας δυσκολίας με το προηγούμενο σημείο. Στις εικόνες 3.66,3.67 φαίνεται το περιβάλλον μετρήσεων του σημείου 15.



Εικόνα 3.66: Ευρύτερη άποψη της περιοχής του σημείου 15.



Εικόνα 3.67: Λεπτομέρειες της περιοχής του σημείου 15.

Αρχικά έγινε η μέτρηση του σημείου με RTK με τους οκτώ συνδυασμούς που φαίνονται στον πίνακα 3.57, στον οποίο δίνονται και οι συντεταγμένες που προέκυψαν καθώς και οι ακρίβειές τους. Στον πίνακα 3.58 δίνονται για κάθε έναν από τους συνδυασμούς GNSS που χρησιμοποιήθηκαν: ο αριθμός των ορατών δορυφόρων των εκάστοτε αξιοποιούμενων GNSS, ο αριθμός των δορυφόρων που χρησιμοποιήθηκαν στην επίλυση, το PDOP και ο χρόνος που χρειάστηκε να για επιτευχθεί η λύση fixed.

Πίνακας 3.57: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 15).

GNSS SYSTEM	E	N	H	σE	σN	σZ
GPS	471981.085	4204744.788	34.846	0.020	0.023	0.036
GPS+GLN	471981.114	4204744.763	34.783	0.014	0.019	0.036
GPS+GAL	471981.148	4204744.736	34.680	0.011	0.012	0.032
GPS+BDS	471981.112	4204744.770	34.793	0.014	0.018	0.032
FULL GNSS	471981.120	4204744.773	34.781	0.008	0.009	0.020
GPS+GLN+GAL	471981.127	4204744.780	34.802	0.009	0.010	0.026
GPS+GLN+BDS	471981.136	4204744.783	34.809	0.011	0.011	0.024
GPS+GAL+BDS	471981.133	4204744.776	34.780	0.007	0.007	0.016

Πίνακας 3.58: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 13).

GNSS SYSTEM	Sats	Used Sats	PDOP	Time to Fix
GPS	9	8	2.1	20 sec
GPS+GLN	12	10	2.2	18 sec
GPS+GAL	12	12	2.1	18 sec
GPS+BDS	22	11	2	18 sec
FULL GNSS	28	15	1.9	12 sec
GPS+GLN+GAL	22	16	2.1	10 sec
GPS+GLN+BDS	27	16	1.7	12 sec
GPS+GAL+BDS	24	15	1.7	12 sec

Μεταξύ των δύο μετρήσεων RTK οι διαφορές όλες είναι ικανοποιητικές και επιτρεπτές στην Τοπογραφία, όπως φαίνεται στον πίνακα 3.57.

Από την επίλυση των στατικών μετρήσεων οι συντεταγμένες που προέκυψαν για το συγκεκριμένο σημείο και τα στατιστικά της επίλυσης δίνονται στον πίνακα 3.59 :

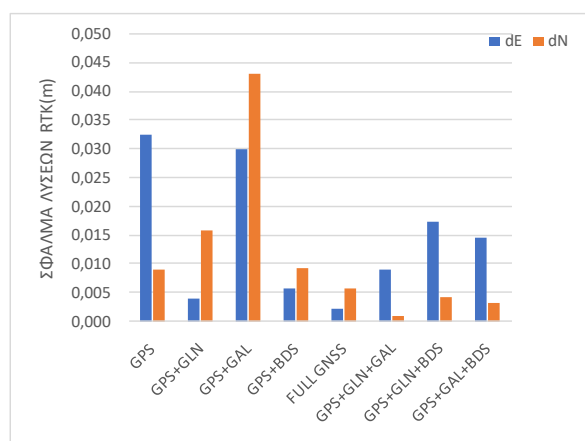
Πίνακας 3.59: Συντεταγμένες (m) σημείου 15 και στατιστικά από επίλυση static

E	N	H	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΜΗΚΟΣ ΒΑΣΗΣ (m)	σHor	σVer	RMS
471981.1180	4204744.7790	34.8030	FIXED	10722.312	0.023	0.042	0.020

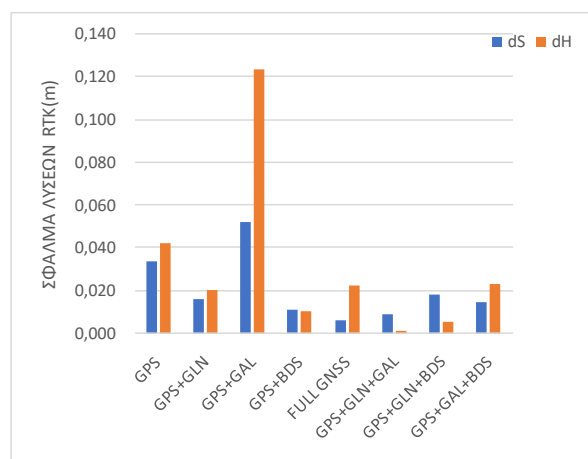
Η σύγκριση των συντεταγμένων RTK με τις συντεταγμένες της στατικής επίλυσης (οι οποίες θεωρούνται ως συντεταγμένες αναφοράς) φαίνεται στον πίνακα 3.60 και στις εικόνες 3.68 και 3.69. Όλες οι αποκλίσεις είναι επιτρεπτές σε συνήθεις Τοπογραφικές μελέτες, με τη μεγαλύτερη διαφορά να κατέχει η μέτρηση με GPS στο οριζοντιογραφικό σφάλμα και ο συνδυασμός GPS+GAL την μεγαλύτερη υψομετρική διαφορά (12.4 cm)

Πίνακας 3.60: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 15)

GNSS SYSTEM	dE	dN	dS	dH
GPS	0.033	0.009	0.034	0.043
GPS+GLN	0.004	0.016	0.016	0.020
GPS+GAL	0.030	0.043	0.053	0.124
GPS+BDS	0.006	0.009	0.011	0.011
FULL GNSS	0.002	0.006	0.006	0.022
GPS+GLN+GAL	0.009	0.001	0.009	0.002
GPS+GLN+BDS	0.017	0.004	0.018	0.006
GPS+GAL+BDS	0.015	0.003	0.015	0.023



Εικόνα 3.68: Διάγραμμα διαφορών dE,dN/GNSS SYSTEM.



Εικόνα 3.69: Διάγραμμα διαφορών dS,dH/ GNSS SYSTEM.

Σημείο 16 (αιόρ):

Για το επόμενο σημείο προτιμήθηκε ο δέκτης να τοποθετηθεί σε περιβάλλον open sky το οποίο αποφέρει ευκολία ως προς την επίλυση των ασαφειών φάσης. Στις εικόνες 3.70, 3.71 φαίνεται το περιβάλλον μετρήσεων του σημείου 16.



Εικόνα 3.70: Ευρύτερη άποψη της περιοχής του σημείου 16.



Εικόνα 3.71: Λεπτομέρειες της περιοχής του σημείου 16.

Αρχικά έγινε η μέτρηση του σημείου με RTK με τους οκτώ συνδυασμούς που φαίνονται στον πίνακα 3.61, στον οποίο δίνονται και οι συντεταγμένες που προέκυψαν καθώς και οι ακρίβειές τους. Στον πίνακα 3.62 δίνονται για κάθε έναν από τους συνδυασμούς GNSS που χρησιμοποιήθηκαν: ο αριθμός των ορατών δορυφόρων των εκάστοτε αξιοποιούμενων GNSS, ο αριθμός των δορυφόρων που χρησιμοποιήθηκαν στην επίλυση, το PDOP και ο χρόνος που χρειάστηκε να για επιτευχθεί η λύση fixed.

Πίνακας 3.61: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 16).

GNSS SYSTEM	E	N	H	σE	σN	σH
GPS	471977.060	4204744.939	36.417	0.009	0.010	0.022
GPS+GLN	471977.062	4204744.933	36.418	0.007	0.007	0.016
GPS+GAL	471977.063	4204744.933	36.425	0.007	0.007	0.018
GPS+BDS	471977.060	4204744.927	36.454	0.008	0.009	0.018
FULL GNSS	471977.070	4204744.931	36.448	0.006	0.005	0.015
GPS+GLN+GAL	471977.061	4204744.924	36.453	0.007	0.007	0.016
GPS+GLN+BDS	471977.067	4204744.934	36.476	0.006	0.006	0.014
GPS+GAL+BDS	471977.066	4204744.934	36.476	0.006	0.006	0.015

Πίνακας 3.62: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 16).

GNSS SYSTEM	Sats	Used Sats	PDOP	Time to Fix
GPS	10	9	1.8	10 sec
GPS+GLN	14	13	1.7	8 sec
GPS+GAL	17	13	1.7	8 sec
GPS+BDS	22	12	1.7	8 sec
FULL GNSS	20	17	1.6	8 sec
GPS+GLN+GAL	28	16	1.6	8 sec
GPS+GLN+BDS	27	16	1.6	8 sec
GPS+GAL+BDS	33	20	1.5	8 sec

Μεταξύ των δύο μετρήσεων RTK οι διαφορές όλες είναι ικανοποιητικές και επιτρεπτές στην Τοπογραφία, όπως φαίνεται στον πίνακα 3.61.

Από την επίλυση των στατικών μετρήσεων οι συντεταγμένες που προέκυψαν για το συγκεκριμένο σημείο και τα στατιστικά της επίλυσης δίνονται στον πίνακα 3.63 :

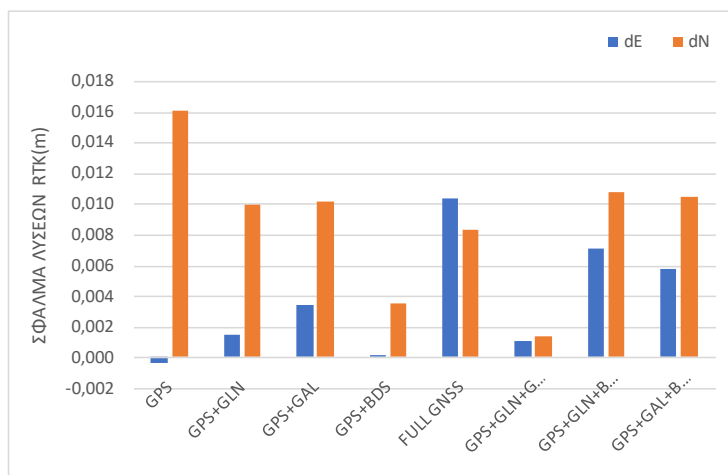
Πίνακας 3.63: Συντεταγμένες (m) σημείου 15 και στατιστικά από επίλυση static

E	N	H	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΜΗΚΟΣ ΒΑΣΗΣ (m)	σHor	σVer	RMS
471977.060	4204744.923	36.464	FIXED	10726.277	0.015	0.026	0.014

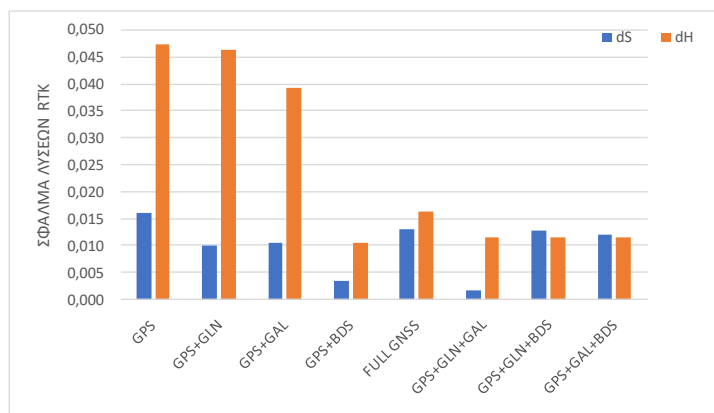
Η σύγκριση των συντεταγμένων RTK με τις συντεταγμένες της στατικής επίλυσης (οι οποίες θεωρούνται ως συντεταγμένες αναφοράς) φαίνεται στον πίνακα 3.64 και στις εικόνες 3.72 και 3.73. Όλες οι διαφορές είναι μικρές και επιτρεπτές στην Τοπογραφία. Ως μέτριες θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν οι υψομετρικές αποκλίσεις για τους συνδυασμούς GPS (4.7 cm), GPS+GLN(4.7 cm), GPS+GAL(3.9 cm)

Πίνακας 3.64: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 16)

GNSS SYSTEM	dE	dN	dS	dH
GPS	0.000	0.016	0.016	0.047
GPS+GLN	0.002	0.010	0.010	0.047
GPS+GAL	0.003	0.010	0.011	0.039
GPS+BDS	0.000	0.003	0.004	0.011
FULL GNSS	0.010	0.008	0.013	0.017
GPS+GLN+GAL	0.001	0.001	0.002	0.011
GPS+GLN+BDS	0.007	0.011	0.013	0.011
GPS+GAL+BDS	0.006	0.010	0.012	0.011



Εικόνα 3.72: Διάγραμμα διαφορών dE,dN/GNSS SYSTEM.



Εικόνα 3.73: Διάγραμμα διαφορών dS,dH/ GNSS SYSTEM.

Σημείο 17(Aihb):

Το επόμενο σημείο επιλέχθηκε να είναι πλησίον του τοίχου του Ιερού Ναού Εσταυρωμένου στο Αιγάλεω (υψηλός τοίχος-εμπόδιο). Ο δέκτης έλυσε με όλους τους συνδυασμούς. Στις εικόνα 3.73, φαίνεται το περιβάλλον μετρήσεων του σημείου 17.



Εικόνα 3.74: Ευρύτερη άποψη της περιοχής του σημείου 16.

Αρχικά έγινε η μέτρηση του σημείου με RTK με τους επτά συνδυασμούς που φαίνονται στον πίνακα 3.51, στον οποίο δίνονται και οι συντεταγμένες που προέκυψαν καθώς και οι ακρίβειές τους. Στον πίνακα 3.52 δίνονται για κάθε έναν από τους συνδυασμούς GNSS που χρησιμοποιήθηκαν: ο αριθμός των ορατών δορυφόρων των εκάστοτε αξιοποιούμενων GNSS, ο αριθμός των δορυφόρων που χρησιμοποιήθηκαν στην επίλυση, το PDOD και ο χρόνος που χρειάστηκε να για επιτευχθεί η λύση fixed.

Πίνακας 3.65: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 17).

GNSS SYSTEM	E	N	H	σE	σN	σH
GPS+GAL	471953.971	4204757.345	36.350	0.011	0.012	0.028
GPS+BDS	471953.968	4204757.334	36.379	0.017	0.022	0.046
GPS+GLN	471953.986	4204757.320	36.423	0.015	0.019	0.043
GPS	471954.004	4204757.370	36.318	0.023	0.041	0.089
FULL GNSS	471954.010	4204757.389	36.271	0.009	0.011	0.022
GPS+GAL+BDS	471954.041	4204757.412	36.296	0.016	0.022	0.036
GPS+GLN+GAL	471954.041	4204757.395	36.326	0.008	0.011	0.023
GPS+GLN+BDS	471954.035	4204757.403	36.355	0.009	0.012	0.023

Πίνακας 3.66: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 17).

GNSS SYSTEM	Sats	Used Sats	PDOP	Time to Fix
GPS+GAL	14	12	1.7	30 sec
GPS+BDS	24	8	2.2	30 sec
GPS+GLN	17	13	1.5	30 sec
GPS	8	8	2.1	1 min
FULL GNSS	34	15	1.5	25 sec
GPS+GAL+BDS	29	11	1.9	25 sec
GPS+GLN+GAL	19	14	1.8	25 sec
GPS+GLN+BDS	29	11	1.6	25 sec

Όπως παρατηρείται στον πίνακα 3.65 υπάρχουν αρκετά μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των συντεταγμένων RTK.

Από την επίλυση των στατικών μετρήσεων οι συντεταγμένες που προέκυψαν για το συγκεκριμένο σημείο και τα στατιστικά της επίλυσης δίνονται στον πίνακα 3.67 :

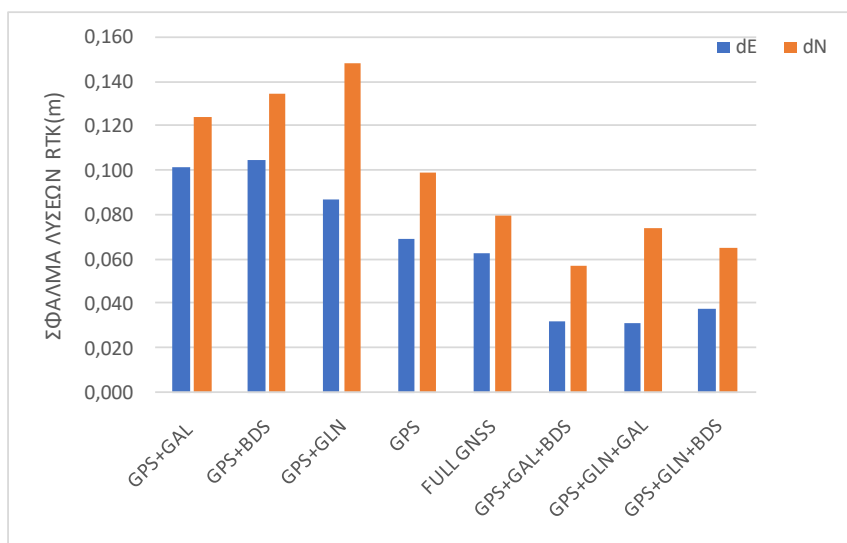
Πίνακας 3.67: Συντεταγμένες (m) σημείου 17 και στατιστικά από επίλυση static

E	N	H	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΜΗΚΟΣ ΒΑΣΗΣ (m)	σ_{Hor}	σ_{Ver}	RMS
471954.073	4204757.469	36.235	FIXED	10747.095	0.033	0.056	0.021

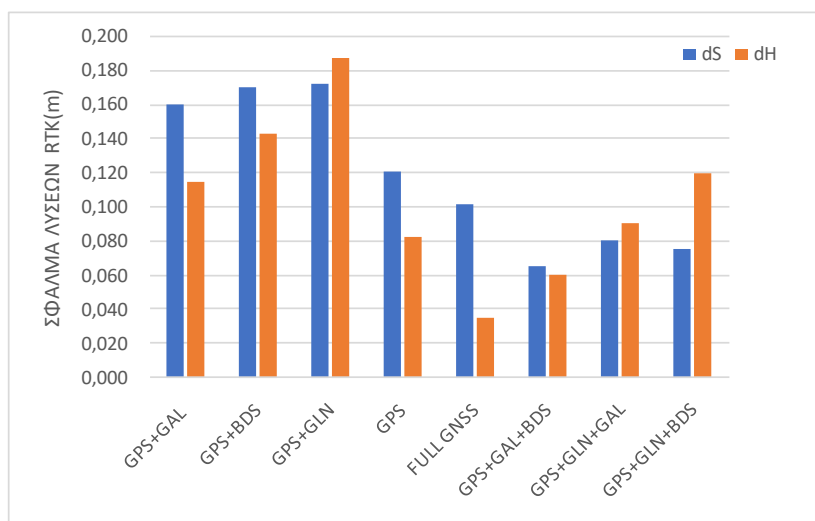
Η σύγκριση των συντεταγμένων RTK με τις συντεταγμένες της στατικής επίλυσης (οι οποίες θεωρούνται ως συντεταγμένες αναφοράς) φαίνεται στον πίνακα 3.68 και στις εικόνες 3.75 και 3.76. Οι αποκλίσεις είναι μεγάλες, ιδίως για τα συστήματα με λιγότερους από τρεις δορυφόρους τόσο σε dS όσο σε dH.

Πίνακας 3.68: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 17)

GNSS SYSTEM	dE	dN	dS	dH
GPS+GAL	0.102	0.124	0.161	0.115
GPS+BDS	0.105	0.135	0.171	0.144
GPS+GLN	0.087	0.149	0.173	0.188
GPS	0.069	0.099	0.121	0.083
FULL GNSS	0.063	0.080	0.102	0.036
GPS+GAL+BDS	0.032	0.057	0.066	0.061
GPS+GLN+GAL	0.032	0.074	0.081	0.091
GPS+GLN+BDS	0.038	0.066	0.076	0.120



Εικόνα 3.75: Διάγραμμα διαφορών dE,dN/GNSS SYSTEM.



Εικόνα 3.76: Διάγραμμα διαφορών dS,dH/GNSS SYSTEM.

ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΗΣΗ ΜΕ ΔΕΚΤΗ TRIMBLE

Στις επόμενες μετρήσεις συμμετείχε παράλληλα σε πολύ κοντινή απόσταση δέκτης της εταιρείας Trimble. Στόχος ήταν να πραγματοποιηθούν ταυτόχρονα μετρήσεις από τους δύο δέκτες ώστε να ελεγχθεί η αξιοπιστία του δέκτη Hi-Target με τον οποίο και πραγματοποιήθηκαν όλες οι πειραματικές μετρήσεις. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στον χώρο του Πανεπιστημίου. Για τις συγκεκριμένες μετρήσεις επιλέχθηκαν τρία σημεία από τα οποία το ένα ήταν σε περιβάλλον ανοιχτού ουρανού και τα άλλα δύο πλησίον σε κτίρια ή δέντρα, μεγαλύτερης δυσκολίας. Οι μετρήσεις RTK πραγματοποιήθηκαν ταυτόχρονα έχοντας πρώτα τοποθετήσει τους δέκτες σε απόσταση 30-50 cm μεταξύ τους, ώστε να είναι εφικτή η άμεση σύγκριση των αποτελεσμάτων των δύο δεκτών. Τις μετρήσεις RTK ακολούθησαν οι στατικές με τις οποίες και θα συγκριθούν όπως και στα παραπάνω σημεία.

Σημεία 18 (PADA για Hi-Target, pada1-tr για Trimble):

Τα πρώτα σημεία στο οποίο στήθηκαν οι δύο δέκτες αποτελούν σημεία open sky και για τον λόγο αυτό η επίλυση ασαφειών φάσης έγιναν με ευκολία. Στις εικόνες 3.77,3,78,3.79 φαίνεται το περιβάλλον μετρήσεων των σημείων 18 με τους δύο δέκτες να απέχουν μεταξύ τους περίπου 50 cm.



Εικόνα 3.77: Ευρύτερη άποψη της περιοχής του σημείου 18.



Εικόνα 3.78,3.79: Λεπτομέρειες της περιοχής του σημείου 18.

Αρχικά έγινε η μέτρηση του σημείου με RTK με τους οκτώ συνδυασμούς που εφαρμόστηκαν στον δέκτη Hi Target και φαίνονται στον πίνακα 3.69, στον οποίο δίνονται και οι συντεταγμένες που προέκυψαν καθώς και οι ακρίβειές τους. Στον πίνακα 3.70 δίνονται για κάθε έναν από τους συνδυασμούς GNSS που χρησιμοποιήθηκαν: ο αριθμός των ορατών δορυφόρων των εκάστοτε αξιοποιούμενων GNSS, ο αριθμός των δορυφόρων που χρησιμοποιήθηκαν στην επίλυση, το PDOP και ο χρόνος που χρειάστηκε να για επιτευχθεί η λύση fixed.

Πίνακας 3.69: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS-Hi Target(σημείο 18).

GNSS SYSTEM	E	N	H	σE	σN	σH
GPS	471273.791	4205764.071	58.969	0.007	0.009	0.015
GPS+GLN	471273.805	4205764.086	58.949	0.007	0.008	0.015
GPS+GAL	471273.807	4205764.078	58.970	0.009	0.009	0.018
GPS+BDS	471273.804	4205764.078	58.964	0.007	0.008	0.015
FULL GNSS	471273.806	4205764.079	58.944	0.006	0.006	0.012
GPS+GLN+GAL	471273.806	4205764.082	58.961	0.006	0.007	0.013
GPS+GLN+BDS	471273.809	4205764.094	58.966	0.007	0.008	0.016

Πίνακας 3.70: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 18).

GNSS SYSTEM	Sats	Shared Sats	PDOP	Time to Fix
GPS	12	10	1.5	10 sec
GPS+GLN	18	14	1.4	8 sec
GPS+GAL	16	16	1.2	8 sec
GPS+BDS	24	11	1.7	8 sec
FULL GNSS	33	21	1.2	8 sec
GPS+GLN+GAL	21	17	1.4	8 sec
GPS+GLN+BDS	28	15	1.5	8 sec

Πίνακας 3.71: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS για Trimble (σημείο 18).

GNSS SYSTEM	E	N	H
GPS	471273.556	4205763.674	58.934
GPS-GLN	471273.555	4205763.663	58.941
GPS-GAL	471273.559	4205763.675	58.968
GPS-BDs	471273.566	4205763.682	58.934
Full GNSS	471273.566	4205763.673	58.936
GPS-GLN-GAL	471273.564	4205763.687	58.961
GPS-GLN-BDs	471273.553	4205763.67	58.956
GPS-GAL-BDs	471273.557	4205763.679	58.956

Και για τους δύο δέκτες όπως διακρίνεται στους πίνακες 3.69 και 3.71 αντίστοιχα οι διαφορές μεταξύ των συντεταγμένων είναι μικρές και αποδεκτές για τις Τοπογραφικές μελέτες.

Από την επίλυση των στατικών μετρήσεων οι συντεταγμένες που προέκυψαν για τα συγκεκριμένα σημεία και τα στατιστικά της επίλυσης δίνονται στους πίνακες 3.72,3.73 :

Πίνακας 3.72: Συντεταγμένες (m) σημείου 18 και στατιστικά από επίλυση static για δέκτη Hi-Target.

E	N	H	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΜΗΚΟΣ ΒΑΣΗΣ (m)	σHor	σVer	RMS
471273.800	4205764.077	58.948	FIXED	11320.420	0.006	0.008	0.011

Πίνακας 3.73: Συντεταγμένες (m) σημείου 18 και στατιστικά από επίλυση static για δέκτη Trimble.

E	N	H	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΜΗΚΟΣ ΒΑΣΗΣ (m)	σHor	σVer	RMS
471273.550	4205763.668	58.929	FIXED	11320.539	0.012	0.019	0.015

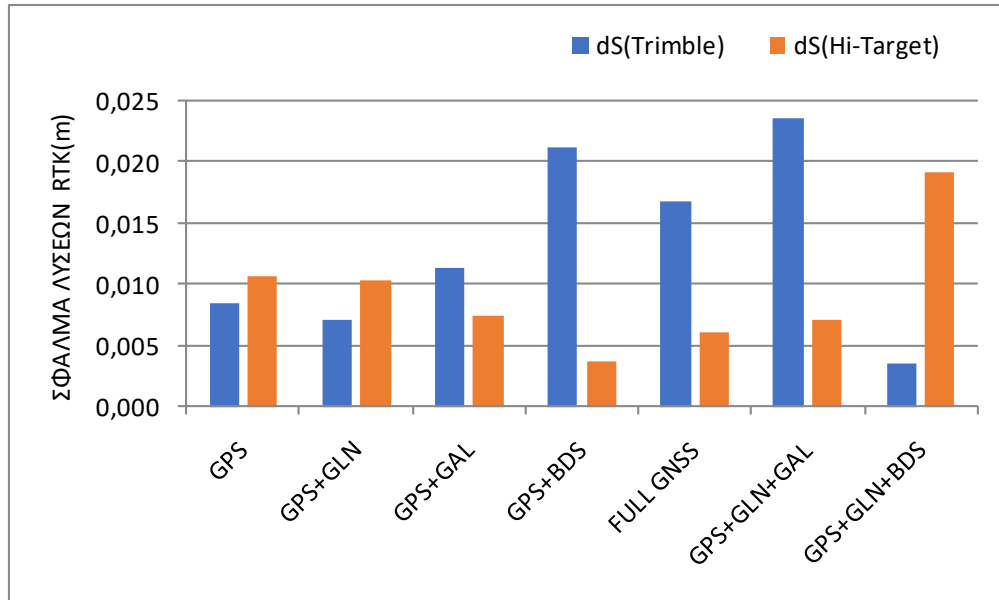
Η σύγκριση των συντεταγμένων RTK με τις συντεταγμένες της στατικής επίλυσης (οι οποίες θεωρούνται ως συντεταγμένες αναφοράς) φαίνεται στους πίνακες 3.74 (Hi-Target),3.75 (Trimble) και στις εικόνες 3.74 και 3.75.... Οι αποκλίσεις και για τους δύο δέκτες είναι μικρές και επιτρεπτές για συνήθεις Τοπογραφικές μελέτες.

Πίνακας 3.74: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 18) για δέκτη Hi-Target.

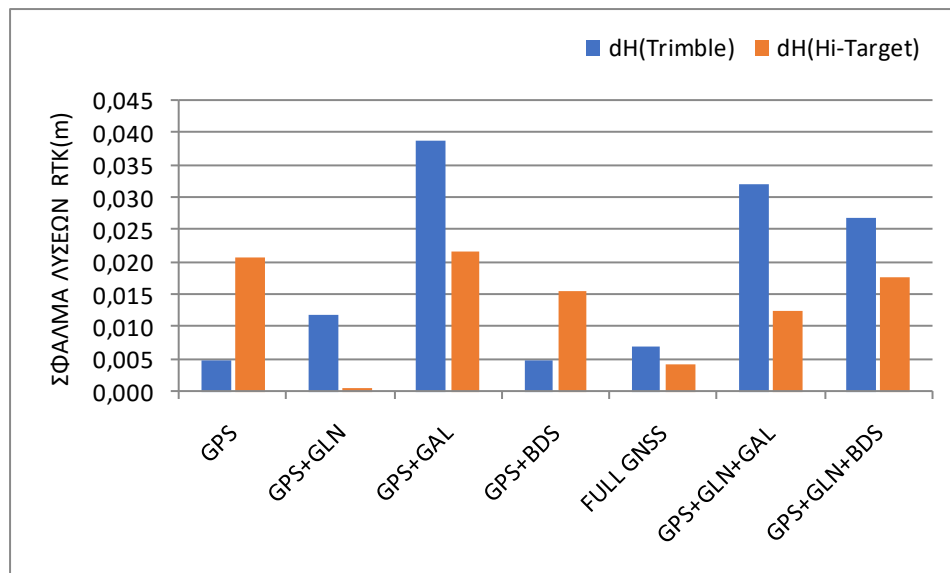
GNSS SYSTEM	dE	dN	dS	dH
GPS	0.009	0.006	0.011	0.021
GPS+GLN	0.005	0.009	0.010	0.001
GPS+GAL	0.007	0.001	0.007	0.022
GPS+BDS	0.003	0.001	0.004	0.016
FULL GNSS	0.006	0.002	0.006	0.004
GPS+GLN+GAL	0.006	0.005	0.007	0.013
GPS+GLN+BDS	0.009	0.017	0.019	0.018

Πίνακας 3.75: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 18) για δέκτη Trimble.

GNSS SYSTEM	dE	dN	dS	dH
GPS	0.006	0.006	0.008	0.005
GPS-GLN	0.005	0.005	0.007	0.012
GPS-GAL	0.009	0.007	0.011	0.039
GPS-BDs	0.016	0.014	0.021	0.005
Full GNSS	0.016	0.005	0.017	0.007
GPS-GLN-GAL	0.014	0.019	0.024	0.032
GPS-GLN-BDs	0.003	0.002	0.004	0.027
GPS-GAL-BDs	0.007	0.011	0.013	0.027



Εικόνα 3.80: Διάγραμμα οριζοντιογραφικού σφάλματος dS(Trimble & Hi-Target)/GNSS SYSTEM.



Εικόνα 3.81: Διάγραμμα διαφορών dH(Trimble & Hi-Target)/GNSS SYSTEM.

Σημεία 19 (PAD1 για Hi-Target, pada2-tr για Trimble):

Τα επόμενα σημεία στο οποίο στήθηκαν οι δύο δέκτες αποτελούν σημεία canopy καθώς οι δέκτες τοποθετήθηκαν σε χώρο μεταξύ κτιρίου και δέντρων και για τον λόγο αυτό η επίλυση ασαφειών φάσης έγιναν με αρκετή δυσκολία. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο δέκτης Hi-Target επίλυσε με όλους τους συνδυασμούς ενώ ο δέκτης Trimble με έξι (εκτός GPS &GPS+GAL) Στις εικόνες 3.82,3.83,3.84 φαίνεται το περιβάλλον μετρήσεων των σημείων 19 με τους δύο δέκτες να απέχουν μεταξύ τους περίπου 40 cm.



Εικόνα 3.82: Ευρύτερη άποψη της περιοχής των σημείων 19.



Εικόνα 3.83,3.84: Λεπτομέρειες της περιοχής των σημείων 19.

Αρχικά έγινε η μέτρηση του σημείου με RTK με τους οκτώ συνδυασμούς που εφαρμόστηκαν στον δέκτη Hi Target και φαίνονται στον πίνακα 3.69, στον οποίο δίνονται και οι συντεταγμένες που προέκυψαν καθώς και οι ακρίβειές τους. Στον πίνακα 3.70 δίνονται για κάθε έναν από τους συνδυασμούς GNSS που χρησιμοποιήθηκαν: ο αριθμός των ορατών δορυφόρων των εκάστοτε

αξιοποιούμενων GNSS, ο αριθμός των δορυφόρων που χρησιμοποιήθηκαν στην επίλυση, το PDOP και ο χρόνος που χρειάστηκε να για επιτευχθεί η λύση fixed.

Πίνακας 3.76: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS για Hi-Target(σημείο 19).

GNSS SYSTEM	E	N	H	σE	σN	σH
GPS	471284.978	4205786.031	59.432	0.010	0.011	0.024
GPS+GLN	471284.971	4205786.025	59.442	0.009	0.010	0.023
GPS+GAL	471284.973	4205786.034	59.461	0.013	0.013	0.026
GPS+BDS	471285.034	4205786.036	59.562	0.026	0.026	0.072
FULL GNSS	471284.944	4205786.010	59.483	0.016	0.016	0.038
GPS+GLN+GAL	471284.973	4205786.031	59.476	0.018	0.018	0.053
GPS+GLN+BDS	471284.968	4205786.027	59.495	0.018	0.010	0.056
GPS+GAL+BDS	471284.954	4205786.020	59.483	0.013	0.013	0.029

Πίνακας 3.77: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 19).

GNSS SYSTEM	Sats	Used Sats	PDOP	Time to Fix
GPS	14	9	2.1	40 sec
GPS+GLN	14	8	2.4	40 sec
GPS+GAL	15	13	1.7	40 sec
GPS+BDS	17	8	2.3	40 sec
FULL GNSS	32	17	1.6	30 sec
GPS+GLN+GAL	23	17	1.6	30 sec
GPS+GLN+BDS	26	9	2.5	30 sec
GPS+GAL+BDS	24	13	1.7	30 sec

Πίνακας 3.78: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS για Trimble(σημείο 19).

GNSS SYSTEM	E	N	H
GPS-GLN	471284.687	4205786.202	59.459
GPS-BDs	471284.706	4205786.216	59.445
Full GNSS	471284.682	4205786.194	59.514
GPS-GLN-GAL	471284.699	4205786.194	59.520
GPS-GLN-BDs	471284.652	4205786.186	59.435
GPS-GAL-BDs	471284.666	4205786.199	59.476

Και για τους δύο δέκτες όπως διακρίνεται στους πίνακες 3.69 και 3.71 αντίστοιχα οι διαφορές μεταξύ των συντεταγμένων είναι μικρές και αποδεκτές για τις Τοπογραφικές μελέτες.

Από την επίλυση των στατικών μετρήσεων οι συντεταγμένες που προέκυψαν για τα συγκεκριμένα σημεία και τα στατιστικά της επίλυσης δίνονται στους πίνακες 3.72,3.73 :

Πίνακας 3.79: Συντεταγμένες (m) σημείου 19 και στατιστικά από επίλυση static για δέκτη Hi-Target.

E	N	H	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΜΗΚΟΣ ΒΑΣΗΣ (m)	σHor	σVer	RMS
471284.970	4205786.020	59.449	FIXED	11307.894	0.023	0.035	0.021

Πίνακας 3.80: Συντεταγμένες (m) σημείου 19 και στατιστικά από επίλυση static για δέκτη Trimble.

E	N	H	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΜΗΚΟΣ ΒΑΣΗΣ (m)	σHor	σVer	RMS
471284.694	4205786.207	59.426	FIXED	11308.185	0.028	0.037	0.033

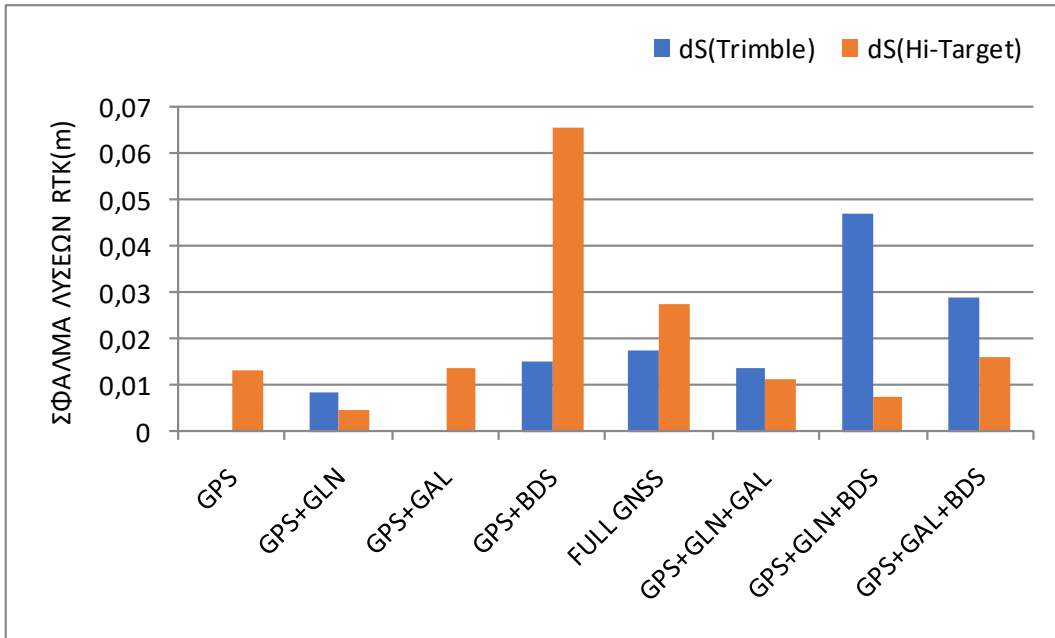
Η σύγκριση των συντεταγμένων RTK με τις συντεταγμένες της στατικής επίλυσης (οι οποίες θεωρούνται ως συντεταγμένες αναφοράς) φαίνεται στους πίνακες 3.81 (Hi-Target), 3.82 (Trimble) και στις εικόνες 3.85 και 3.86. Οι περισσότερες αποκλίσεις και για τους δύο δέκτες είναι μικρές και επιτρεπτές για συνήθεις Τοπογραφικές μελέτες. Σημαντική απόκλιση διακρίνεται κατά τις μετρήσεις με δέκτη Hi-Target στον συνδυασμό GPS+BDs σε dS και dH (πίνακας 3.81). Στα διαγράμματα (εικόνες 3.85 και 3.86) δεν υπάρχουν τιμές για δέκτη Trimble στους συνδυασμούς GPS, GPS+GLN, καθώς δεν έγινε επίλυση.

Πίνακας 3.81: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 19) για δέκτη Hi-Target.

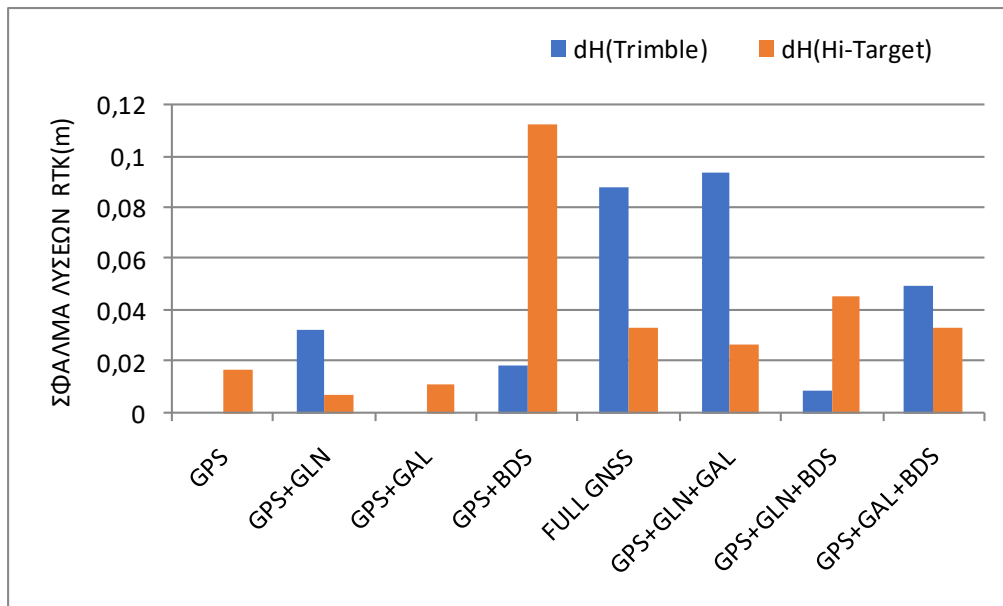
GNSS SYSTEM	dE	dN	dS	dH
GPS	0.008	0.011	0.013	0.017
GPS+GLN	0.001	0.005	0.005	0.007
GPS+GAL	0.003	0.014	0.014	0.012
GPS+BDs	0.064	0.016	0.066	0.113
FULL GNSS	0.026	0.010	0.027	0.034
GPS+GLN+GAL	0.003	0.011	0.011	0.027
GPS+GLN+BDs	0.002	0.007	0.008	0.046
GPS+GAL+BDs	0.016	0.000	0.016	0.034

Πίνακας 3.82: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 19) για δέκτη Trimble.

GNSS SYSTEM	dE	dN	dS	dH
GPS-GLN	0.007	0.005	0.009	0.033
GPS-BDs	0.012	0.009	0.015	0.019
Full GNSS	0.012	0.013	0.018	0.088
GPS-GLN-GAL	0.005	0.013	0.014	0.094
GPS-GLN-BDs	0.042	0.021	0.047	0.009
GPS-GAL-BDs	0.028	0.008	0.029	0.050



Εικόνα 3.85: Διάγραμμα οριζοντιογραφικού σφάλματος dS(Trimble & Hi-Target)/GNSS SYSTEM.



Εικόνα 3.86: Διάγραμμα διαφορών dH(Trimble & Hi-Target)/GNSS SYSTEM.

Σημεία 20 (PAD2 για Hi-Target, pada3-tr για Trimble):

Τα επόμενα σημεία στο οποίο στήθηκαν οι δύο δέκτες αποτελούν δύσκολο περιβάλλον καθώς βρίσκονται πολύ κοντά σε εμπόδιο (θάλαμος ανελκυστήρα και κτίριο). Στην περίπτωση αυτή ο δέκτης Hi-Target επίλυσε με πέντε συνδυασμούς, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι είναι το μοναδικό σημείο που ο δέκτης δεν φίζαρε με το Full GNSS. Ο δέκτης Trimble αντιθέτως επίλυσε με το Full GNSS και οι συνδυασμοί με τους οποίους καταγράφηκαν μετρήσεις ήταν συνολικά τέσσερις. Στις εικόνες 3.87,3.88,3.89 φαίνεται το περιβάλλον μετρήσεων των σημείων 18 με τους δύο δέκτες να απέχουν μεταξύ τους περίπου 50 cm.



Εικόνα 3.87: Ευρύτερη άποψη της περιοχής του σημείου 20.



Εικόνα 3.88,3.89: Λεπτομέρειες της περιοχής του σημείου 20.

Αρχικά έγινε η μέτρηση του σημείου με RTK με τους οκτώ συνδυασμούς που εφαρμόστηκαν στον δέκτη Hi Target και φαίνονται στον πίνακα 3.83, στον οποίο δίνονται και οι συντεταγμένες που προέκυψαν καθώς και οι ακρίβειές τους. Στον πίνακα 3.84 δίνονται για κάθε έναν από τους συνδυασμούς GNSS που χρησιμοποιήθηκαν: ο αριθμός των ορατών δορυφόρων των εκάστοτε αξιοποιούμενων GNSS, ο αριθμός των δορυφόρων που χρησιμοποιήθηκαν στην επίλυση, το PDOP και ο χρόνος που χρειάστηκε να για επιτευχθεί η λύση fixed.

Πίνακας 3.83: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS για Hi-Target(σημείο 20).

GNSS SYSTEM	E	N	H	σE	σN	σH
GPS+GLN	471267.212	4205814.677	59.666	0.038	0.032	0.055
GPS+GAL	471267.209	4205814.621	59.681	0.020	0.021	0.051
GPS+GLN+GAL	471267.254	4205814.659	59.662	0.015	0.018	0.045
GPS+GLN+BDS	471267.273	4205814.653	59.649	0.018	0.022	0.046
GPS+GAL+BDS	471267.278	4205814.596	59.656	0.029	0.061	0.072

Πίνακας 3.84: Ορατοί/χρησιμοποιούμενοι δορυφόροι, PDOP και χρόνος για RTK fix για διάφορους συνδυασμούς GNSS (σημείο 20).

GNSS SYSTEM	Sats	Used Sats	PDOP	Time to Fix
GPS+GLN	18	10	5.3	1,5 min
GPS+GAL	15	11	2.4	1,5 min
GPS+GLN+GAL	22	14	2.2	1 min
GPS+GLN+BDS	27	10	2.5	1 min
GPS+GAL+BDS	25	13	1.9	1 min

Πίνακας 3.85: Αποτελέσματα RTK για διάφορους συνδυασμούς GNSS για Trimble(σημείο 20).

GNSS SYSTEM	E	N	H
GPS-GAL	471267.437	4205814.535	59.634
Full GNSS	471267.421	4205814.539	59.696
GPS-GLN-GAL	471267.479	4205814.554	59.606
GPS-GAL-BDs	471267.416	4205814.571	59.685

Και για τους δύο δέκτες όπως διακρίνεται στους πίνακες 3.83 και 3.85 αντίστοιχα οι διαφορές μεταξύ των συντεταγμένων είναι αρκετά μεγάλες και χρήζουν σύγκριση με τις στατικές μετρήσεις.

Από την επίλυση των στατικών μετρήσεων οι συντεταγμένες που προέκυψαν για τα συγκεκριμένα σημεία και τα στατιστικά της επίλυσης δίνονται στους πίνακες 3.86,3.87 :

Πίνακας 3.86: Συντεταγμένες (m) σημείου 20 και στατιστικά από επίλυση static για δέκτη Hi-Target.

E	N	H	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΜΗΚΟΣ ΒΑΣΗΣ (m)	σHor	σVer	RMS
471267.157	4205814.693	59.580	FIXED	11324.204	0.046	0.088	0.017

Πίνακας 3.87: Συντεταγμένες (m) σημείου 20 και στατιστικά από επίλυση static για δέκτη Trimble.

E	N	H	ΕΠΙΛΥΣΗ	ΜΗΚΟΣ ΒΑΣΗΣ (m)	σHor	σVer	RMS
471267.290	4205814.636	59.794	FIXED	11320.539	0.052	0.085	0.078

Η σύγκριση των συντεταγμένων RTK με τις συντεταγμένες της στατικής επίλυσης (οι οποίες θεωρούνται ως συντεταγμένες αναφοράς) φαίνεται στους πίνακες 3.88 (Hi-Target), 3.89 (Trimble) και στις εικόνες 3.90 και 3.91. Οι αποκλίσεις και για τους δύο δέκτες τόσο στο οριζοντιογραφικό σφάλμα (dS) όσο και στις υψομετρικές διαφορές (dH) παρουσιάζουν προβλήματα και θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ακατάλληλες για τις Τοπογραφικές μελέτες.

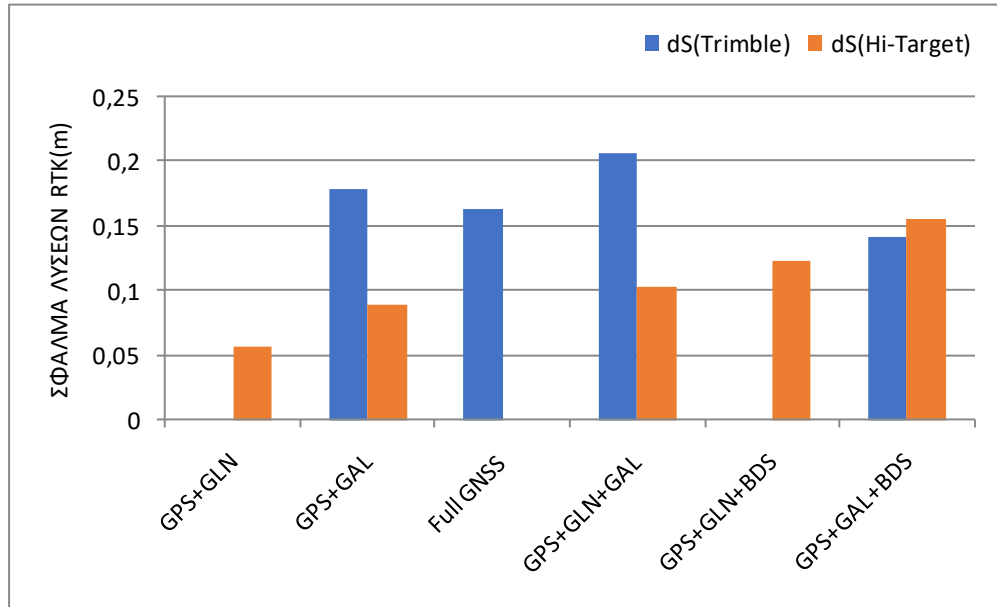
Επομένως η δυσκολία των σημείων αυτών τα καθιστά μη αξιόπιστα για μετρήσεις RTK.

Πίνακας 3.88: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 20) για δέκτη Hi-Target.

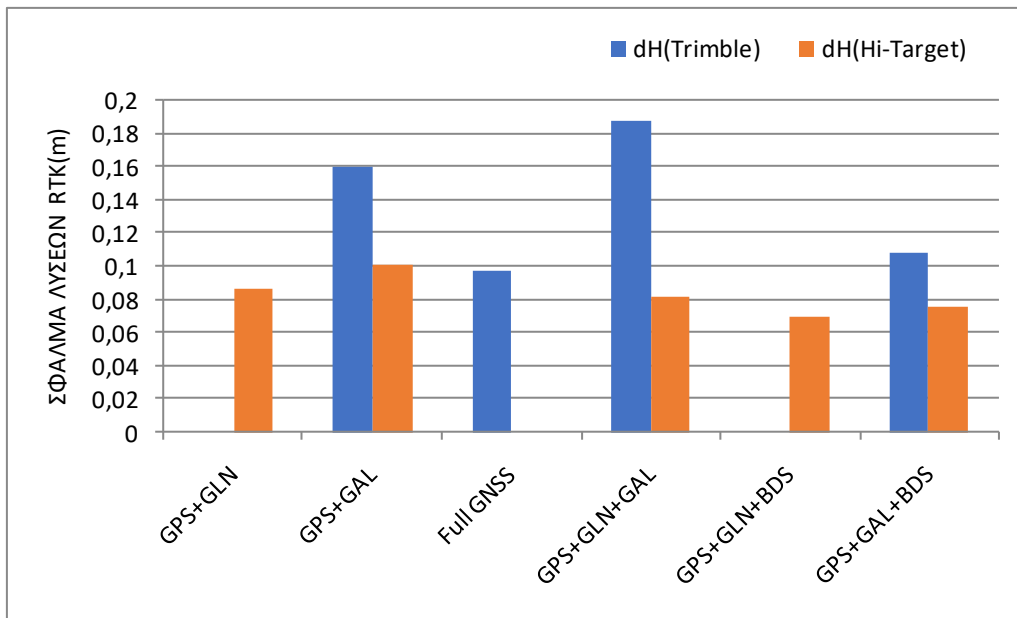
GNSS SYSTEM	dE	dN	dS	dH
GPS+GLN	0.055	0.016	0.057	0.086
GPS+GAL	0.052	0.072	0.089	0.101
GPS+GLN+GAL	0.097	0.034	0.103	0.082
GPS+GLN+BDS	0.116	0.040	0.123	0.069
GPS+GAL+BDS	0.121	0.097	0.155	0.076

Πίνακας 3.89: Διαφορές συντεταγμένων (m) μεταξύ RTK και Full GNSS Static (σημείο 20) για δέκτη Trimble.

GNSS SYSTEM	dE	dN	dS	dH
GPS-GAL	0.147	0.101	0.178	0.160
Full GNSS	0.131	0.097	0.163	0.098
GPS-GLN-GAL	0.189	0.082	0.206	0.188
GPS-GAL-BDs	0.126	0.065	0.142	0.109



Εικόνα 3.90: Διάγραμμα οριζοντιογραφικού σφάλματος $dS(Trimble \& Hi-Target)/GNSS \text{ SYSTEM}$.



Εικόνα 3.91: Διάγραμμα διαφορών $dH(Trimble \& Hi-Target)/GNSS \text{ SYSTEM}$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως έχει αναφερθεί το βασικό πλεονέκτημα που χαρακτηρίζει τους σύγχρονους δέκτες GNSS είναι η δυνατότητα συνδυασμού όλων των δορυφορικών συστημάτων για την πραγματοποίηση μετρήσεων στο πεδίο. Η δυνατότητα αυτή επιτρέπει στον Τοπογράφο Μηχανικό να μετράει RTK σημεία με περιορισμένη ορατότητα δορυφόρων, τα οποία δεν θα μπορούσαν να μετρηθούν χρησιμοποιώντας μόνο το GPS. Με άλλα λόγια ο Τοπογράφος μπορεί πλέον να πραγματοποιεί αποτύπωση με RTK σε περιβάλλοντα όπου δεν θα ήταν δυνατό με την παραδοσιακή τεχνική GPS-RTK. Χαρακτηριστική περίπτωση τέτοιων αποτυπώσεων αποτελούν οι ημιαστικές περιοχές όπου ο Τοπογράφος παλαιότερα αναγκαζόταν να ολοκληρώσει την αποτύπωση εφαρμόζοντας συμβατικές τοπογραφικές μεθόδους (Total Station).

Για τη διερεύνηση των νέων δυνατοτήτων που προσφέρουν οι διάφοροι συνδυασμοί GNSS και κυρίως το Full GNSS πραγματοποιήθηκαν πειραματικές μετρήσεις σε προσεκτικά επιλεγμένα σημεία που αποτελούν χαρακτηριστικές περιπτώσεις δύσκολων σημείων λεπτομερειών ημιαστικών αποτυπώσεων. Συνολικά μετρήθηκαν 23 σημεία σε διάφορες περιοχές της Αττικής χρησιμοποιώντας δύο δέκτες: ένα δέκτη Hi-Target και έναν δέκτη Trimble. Τα σημεία αυτά αποτέλεσαν πηγή συμπερασμάτων για την χρησιμότητα και την αξιοπιστία της χρήσης GNSS RTK και κυρίως Full GNSS RTK. Στις περισσότερες περιπτώσεις των σημείων φάνηκε ότι η επίλυση ασαφειών φάσης με Full GNSS αποφέρει πλεονεκτήματα όπως μικρότερος χρόνος επίλυσης ασαφειών, μεγαλύτερη διάθεση δορυφόρων. Επίσης από τις συγκρίσεις που έγιναν με τις στατικές μετρήσεις παρατηρήθηκε ότι στα περισσότερα σημεία οι αποκλίσεις τόσο στο οριζοντιογραφικό σφάλμα dS όσο και στις υψομετρικές διαφορές dH είναι πιο ικανοποιητικές συγκριτικά με τις μετρήσεις χρησιμοποιώντας ένα ή δύο δορυφορικά συστήματα στα περισσότερα σημεία, επομένως μπορεί να ειπωθεί ότι το Full GNSS προσδίδει βελτίωση στην αξιοπιστία. Σε λίγες περιπτώσεις που η δυσκολία επίλυσης ήταν μεγάλη λόγω διαφόρων παραγόντων, όπως υψηλή τοιχοποιία και φυλλωσιές δέντρων παρατηρήθηκε ότι ο δέκτης φίξαρε μόνο με Full GNSS ή με τρία τουλάχιστον δορυφορικά συστήματα.

Ωστόσο η καταγραφή RTK μετρήσεων σε δύσκολα σημεία μπορεί να αποδειχθεί προβληματική στις τοπογραφικές εφαρμογές όπου απαιτείται ακρίβεια λίγων cm καθώς από τη σύγκριση RTK-Static προέκυψαν σε ορισμένες περιπτώσεις μεγαλύτερες αποκλίσεις. Συμπερασματικά θα μπορούσε να ειπωθεί ότι σε σημεία με ψηλά εμπόδια και δυσκολία επίλυσης, η ακρίβεια που

αποφέρει μία λύση είναι της τάξης των 8-10 cm στις RTK μετρήσεις που θα μπορούσε να δημιουργήσει προβλήματα. Για τον λόγο αυτό οι λύσεις RTK σε δύσκολα σημεία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν μόνο σε ορισμένες περιπτώσεις που δεν απαιτείται υψηλή ακρίβεια στις μετρήσεις.

Συνοψίζοντας μπορούμε να πούμε ότι η συνδυαστική χρήση περισσότερων του ενός GNSS-και ιδιαίτερα η χρήση Full GNSS - δρουν καταλυτικά στην αποδοτικότητα RTK σε δύσκολα περιβάλλοντα μετρήσεων, όπως οι ημιαστικές περιοχές. Σε τέτοια περιβάλλοντα δεν πρέπει όμως η χρήση του RTK να γίνεται αβασάνιστα θεωρώντας πως η ακρίβεια και η αξιοπιστία των λύσεων fixed παραμένουν ανεπηρέαστες παρά τις αντίξοες συνθήκες. Όπως έδειξε και η ανάλυση μετρήσεων της παρούσας διπλωματικής εργασίας, σε εξαιρετικά δύσκολα σημεία όπου η ορατότητα προς τον ουρανό είναι ιδιαίτερα περιορισμένη και όταν η λύση Fixed επιτυγχάνεται με σημαντική καθυστέρηση, οι προσδιοριζόμενες συντεταγμένες έχουν συχνά σφάλματα που μπορούν να φθάσουν έως 10-20 cm, παρότι προέρχονται από λύση RTK-Fixed.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Gianniou M. (2008), HEPOS: Designing and Implementing an RTK-Network , *Geoinformatics Magazine for Surveying, Mapping & GIS Professionals*, Jan./Feb. 2008 Vol 11(1), p.p 10-13.
- Gianniou, M., D. Mastoris, E. Mitropoulou (2021), National Report of Greece to EUREF 2021, *EUREF 2021 Symposium*, May 30 – June 1 2021, Ljubljana, Slovenia
- Luo, X., Richter, B., Cole, A. (2014). GLONASS only and BeiDou only RTK Positioning. In *Proceedings of the 27th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2014)* (pp. 653-661).
- Luo, X., Chen, J., Richter, B. (2017). How Galileo benefits high-precision RTK. *GPS World*, 22-28.
- Trimble (2020), Trimble Access-General Survey User Guide, Version 2020.10
- Oleynik, E., Revnivykh, S. (2011). GLONASS status and modernization. In 51st Meeting of the Civil GPS Service Interface Committee at the Institute of Navigation GNSS 2011 Conference (CGSIC 51th Meeting), Portland, OR.
- Vollath, U., Landau, H., Chen, X., Doucet, K., Pagels, C. (2002), Network RTK versus single base RTK-understanding the error characteristics. In *Proceedings of the 15th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 2002)* (pp. 2774-2781).
- Zainab Farooq, S., Yang, D., Joshua Ada, E. N. (2019), CS detection and correction techniques for RTK positioning using single-frequency GNSS receivers: trends and comparison. *IET Radar, Sonar & Navigation*, 13(11), 1857-1866.
- Κωτσάκης, Χ., Κ. Κατσάμπαλος, Μ. Γιαννίου (2010), Μοντέλο μετασχηματισμού συντεταγμένων μεταξύ του συστήματος αναφοράς του HEPOS (HTRS07) και του Ελληνικού Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς (ΕΓΣΑ87) - Βασική μεθοδολογία και αριθμητικά παραδείγματα”, ΤΑΜΤ/ΑΠΘ – ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε.
- Φωτίου , Α.Ι., Πικριδάς, Χ.Κ. (2012) ,GPS και ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ .-Θεσσαλονίκη 2012 : *ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ*.

Πηγές στο διαδίκτυο:

GPS.Gov (12 Ιουλίου 2023), Space segment, <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>

ESA (12 Ιουλίου 2023), Galileo navigation signals and frequencies, https://www.esa.int/Applications/Navigation/Galileo/Galileo_navigation_signals_and_frequencies

Spectra Precision (2015), SP60,GNSS Receiver,
<https://geosense.gr/assets/pdf/SP60%20Brochure.pdf>

Tersus-Gnss (12 Ιουλίου 2023), New additions in RTCM-3 and what is MSM .New additions in RTCM 3 and what is MSM , https://www.tersus-gnss.com/tech_blog/new-additions-in-rtcm3-and-What-is-msm

Spectra Precision (2013), Z-blade Technology (White Paper, Μάρτιος 2013) ,
<https://spectrageospatial.com/wp-content/uploads/File-1436354931.pdf>)

Trimble (2018), On the fly initialization and new point initialization,(Trimble Inc, 2018) ,
https://help.trimblegeospatial.com/TrimbleAccess/2018.00/en/PP_Initialization_Times.htm)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Εικόνες από σημεία που η επίλυση RTK ήταν προβληματική και αναξιόπιστη:



Εικόνα 6.1: Δέκτης ανάμεσα σε κτίρια (Περιοχή Αμπελοκήπων)



Εικόνα 6.2: Δέκτης σε κτίριο που εννοεί το multipath (Ζωγράφου).



Εικόνα 6.3: Δέκτης κάτω από δέντρο (Ζωγράφου).

(https://www.esa.int/Applications/Navigation/Galileo/Galileo_navigation_signals_and_frequencies)



Εικόνα 6.4: Δέκτης ανάμεσα σε κτίρια (Περιοχή Αμπελοκήπων).



Εικόνα 6.5: Δέκτης δίπλα από υψηλό κτίριο (Ρεματιά Χαλανδρίου).