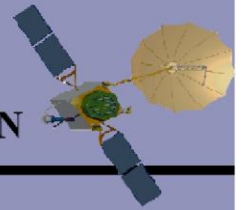


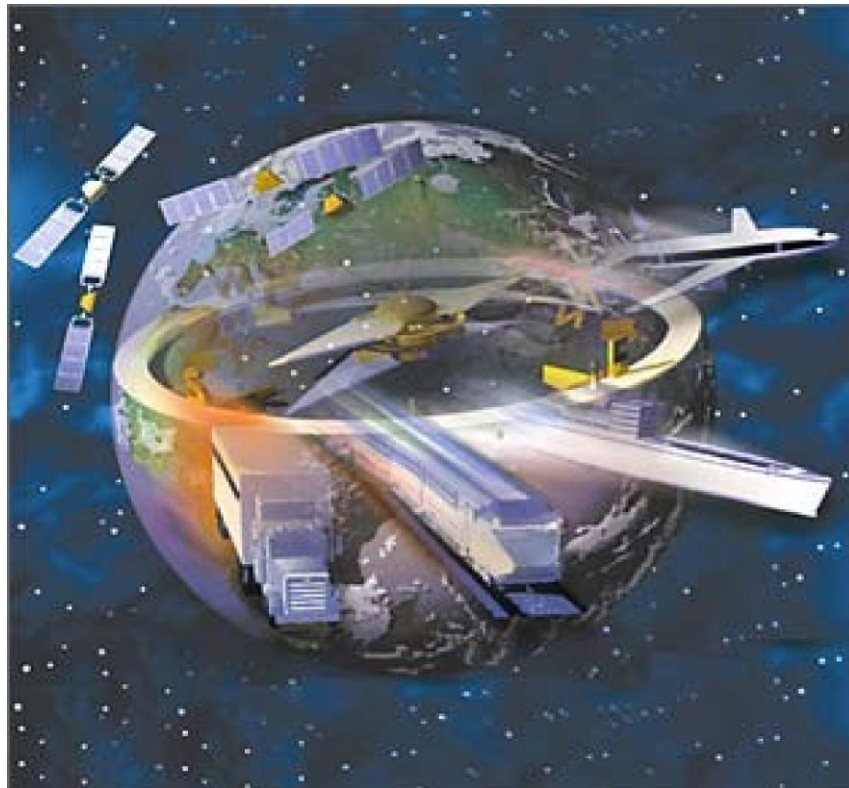


**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ**



## **Ανάλυση Επιδόσεων των Επερχόμενων Συστημάτων GNSS για Κινηματικές Εφαρμογές Εντοπισμού στον Ελληνικό Χώρο**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
**ΚΑΤΣΙΓΙΑΝΝΗ ΓΕΩΡΓΙΑ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ :** **ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΔΕΛΗΚΑΡΑΟΓΛΟΥ**  
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2011

Αφιερωμένο στην οικογένειά μου  
και σε όλους αυτούς που μου μεταδίδουν τις γνώσεις τους  
και με κάνουν καλύτερο άνθρωπο.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και η σύγκριση των παρόντων και των μελλοντικών δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης και εντοπισμού θέσης (GNSS: Global Navigation Satellite Systems). Συγκεκριμένα η μελέτη εστιάζει στα συστήματα GPS (Global Navigation Satellite System), Galileo και EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System), τα οποία συγκρίνονται ως προς την απόδοσή τους αναφορικά με τις συνθήκες ορατότητας των δορυφόρων, τη γεωμετρική ακρίβεια, τα επίπεδα πλοήγησης και ακεραιότητας για το εκάστοτε σύστημα ή το συνδυασμό τους. Για το σκοπό αυτό μελετήθηκαν κυρίως κινηματικές πραγματικές πορείες με διάφορα μέσα μεταφοράς στον Ελλαδικό χώρο.

Η εργασία χωρίζεται σε δύο μέρη. Στο πρώτο, το βιβλιογραφικό όπου γίνεται μία λεπτομερής περιγραφή των δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης και προσδιορισμού θέσης, των συστημάτων επαύξησης και γίνεται μία αναφορά του Ελληνικού Συστήματος Προσδιορισμού (HEPOS: Hellenic Positioning System). Επίσης, περιγράφονται οι αναλυτικές έννοιες που εξετάζονται: ο δείκτης γεωμετρίας DOP (Dilution of Precision), η ακρίβεια NSP (Navigation System Precision) και οι εξισώσεις από τις οποίες προκύπτουν. Στο δεύτερο μέρος, το ερευνητικό όπου παρουσιάζονται αναλυτικά τα σενάρια και οι προσομοιώσεις οι οποίες έγιναν στη παρούσα εργασία με το λογισμικό πακέτο Galileo System Simulation Facility (GSSF) που διατίθεται από την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (ESA: European Space Agency).

## ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

GNSS, GPS, Galileo, EGNOS, GIOVE, Δορυφορικός Σχηματισμός, GSSF, Ορατότητα, DOP, Σενάρια, Κινηματικές Πορείες, NSP, Ακεραιότητα, Εφαρμογές Δορυφορικής Πλοήγησης, HEPOS

## **ABSTRACT**

---

The purpose of this thesis is the study and comparison of present and future Global Navigation Satellite Systems (GNSS). More specifically, the study is focused on the GPS (Global Navigation Satellite System), Galileo and EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System) systems which are compared in their performances in regard to the conditions of satellite visibility, the dilution of precision (DOP), the level of Navigation System Precision (NSP) and system integrity. For this purpose mainly mobile tracks were studied, using different means of transportation over the territory of Greece.

The paper is separated in two parts. The first one (dealing with a thorough bibliographical research) describes in detail the use of global navigation satellite systems, augmentation systems and gives a short account of the Hellenic Positioning System (HEPOS). Useful terms such as Dilution of Precision (DOP), Navigation System Precision (NSP) are also described extensively. In the second part, various scenarios and respective simulations are presented with the use of Galileo System Simulation Facility (GSSF) program which is a product of the European Space Agency (ESA).

## **KEY WORDS**

GNSS, GPS, Galileo, EGNOS, GIOVE, Constellation, GSSF, Visibility, DOP, Scenario, Mobile Tracks, NSP, Integrity, GNSS Applications, HEPOS

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

---

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Ανώτερης και Δορυφορικής Γεωδαισίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. εντός του ακαδημαϊκού έτους 2010-2011 υπό την επίβλεψη του καθηγητή κ. **Δημήτρη Δεληκαράογλου**.

Προσωπικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω πρωτίστως τον καθηγητή μου κ. Δ. Δεληκαράογλου για την ανάθεση της συγκεκριμένης εργασίας, την πολύτιμη καθοδήγησή του, τις ορθές παρατηρήσεις του, την κατανόηση και την ενθάρρυνση που έδειξε σε πολλές ατυχίες και δύσκολες στιγμές καθώς και την άψογη συνεργασία μας καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κ. **Κυριάκο Φράγκο** (Υποψήφιο Διδάκτορα) και τον κ. **Βασίλη Γκίκα** (Επίκουρο Καθηγητή) για την βοήθειά τους, η οποία ήταν πολύτιμη για την εύρεση πραγματικών κινηματικών πορειών που εξετάστηκαν στο ερευνητικό μέρος της εργασίας. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές κ. **Δημήτρη Παραδείση** και κ. **Βασίλη Γκίκα** για την αντικειμενική και αμερόληπτη αξιολόγηση της παρούσας εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη συμπαράσταση, την υποστήριξη και υπομονή που μου έδειξαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου στη σχολή αλλά και τους φίλους μου για τη συμπαράστασή τους και τις πολύτιμες συμβουλές τους.

Σας ευχαριστώ όλους

Γεωργία Κατσιγιάννη

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	2
ABSTRACT.....	3
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	4
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	8
Σκοπός και Στόχοι της Διπλωματικής Εργασίας .....	8
Δομή της Διπλωματικής Εργασίας .....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> –ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ GNSS.....	10
1.1. Εισαγωγή.....	10
1.2. NAVSTAR GPS .....	14
1.2.1. Σύντομη περιγραφή του συστήματος GPS .....	14
1.2.2. Εκσυγχρονισμός GPS .....	16
1.3. GALILEO .....	29
1.3.1. Στόχοι.....	29
1.3.2. Χρονοδιάγραμμα Galileo.....	29
1.3.3. Συστήματα Αναφοράς.....	30
1.3.4.Τμήματα Συστήματος .....	31
1.3.5. Υπηρεσίες .....	35
1.3.6. Σήματα Galileo .....	41
1.3.7. Διαλειτουργικότητα .....	45
1.3.8. Πλεονεκτήματα Galileo Έναντι Άλλων GNSS.....	46
1.4. Άλλα Συστήματα (COMPASS-GLONASS) .....	47
1.4.1. GLONASS .....	47
1.4.2. COMPASS.....	49
1.5. GNSS Augmentation .....	52
1.5.1. Δορυφορικά Συστήματα Επαύξησης SBAS .....	53
1.5.2. Επίγεια Συστήματα Αύξησης.....	54
1.5.3. Τα συστήματα επαύξησης σε αεροσκάφος ABAS .....	55
1.6. Το Σύστημα EGNOS .....	55
1.6.1. Διόρθωση Δεδομένων.....	56
1.6.2. Μήνυμα Ακεραιότητας .....	56
1.6.3. Συγχρονισμός με τον συντονισμένο παγκόσμιο χρόνο UTC.....	57

1.6.4. Υποδομή.....	58
1.6.5. Υπηρεσίες EGNOS .....	60
1.6.6. Οφέλη του Συστήματος EGNOS .....	61
1.6.7. Πώς βοηθά το EGNOS .....	62
1.6.8. Χρόνος EGNOS και Γεωδαιτικά Πλαίσια Αναφοράς .....	63
1.7. Το Σύστημα HEPOS .....	64
1.7.1. Αρχιτεκτονική του Συστήματος HEPOS .....	64
1.7.2. Οι Υπηρεσίες Προσδιορισμού Θέσης.....	66
1.7.3. Εφαρμογές του HEPOS .....	66
1.7.4. Πλεονεκτήματα.....	67
1.7.5. Δικτυακές Τεχνικές του HEPOS.....	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> – ΣΦΑΛΜΑΤΑ .....	69
2.1. Σφάλματα και Πηγές Σφαλμάτων GNSS.....	69
2.1.1. Σφάλματα Δορυφόρων.....	70
2.1.2. Σφάλματα Δεκτών.....	71
2.1.3. Σφάλματα Διάδοσης Σήματος.....	72
2.2. Οι Δείκτες DOP-RDOP .....	74
2.2.1. DOP (Dilution of Precision) .....	75
2.2.2. RDOP (Relative Dilution of Precision) .....	82
2.3. Ο Δείκτης UERE.....	86
2.4. Ο Δείκτης NSP.....	89
2.5. Ακεραιότητα των Συστημάτων .....	90
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> - ΣΕΝΑΡΙΑ.....	91
3.1. Εισαγωγή.....	91
3.2. Εφαρμογές Galileo.....	92
3.3. Μεταφορές .....	96
3.3.1. Οδικές Μεταφορές .....	96
3.3.2. Εναέριες Μεταφορές.....	97
3.3.3. Θαλάσσιες Μεταφορές .....	98
3.3.4. Σιδηροδρομικές Μεταφορές .....	99
3.4. Αναψυχή .....	100
3.5. Γεωργία.....	100
3.6. Τοπογραφικές Εφαρμογές.....	103

3.6.1. Βυθομετρία και Επιφανειακή Αλτιμετρία .....	103
3.6.2. Φωτογραμμετρικές Αποτυπώσεις με τη Βοήθεια GNSS.....	105
3.6.3. Κινηματική Χαρτογράφηση.....	107
3.6.4. Αυτοκίνητη Τριγωνομετρική Ύψομετρία .....	109
3.7. Το Πρόγραμμα GSSF .....	111
3.8. Σενάρια .....	116
3.8.1. Σενάριο 1 <sup>ο</sup> : Στατικός Δέκτης .....	116
3.8.2. Σενάριο 2 <sup>ο</sup> : Κινηματικές Πορείες Πλοίων.....	125
3.8.3. Σενάριο 3 <sup>ο</sup> : Κινηματικές Πορείες Ιστιοπλοϊκών .....	138
3.8.4. Σενάριο 4 <sup>ο</sup> : Κινηματικές Πορείες Αεροπλάνων .....	143
3.8.5. Σενάριο 5 <sup>ο</sup> : Κινηματικές Πορείες Σε Αστικές Περιοχές .....	151
3.8.6. Σενάριο 6 <sup>ο</sup> : Κινηματικές Πορείες Σε Ηπειρωτικές Περιοχές .....	162
3.8.7. Σενάριο 7 <sup>ο</sup> : Κινηματικές Πορείες Σε Μονοπάτια.....	171
3.8.8. Σενάριο 8 <sup>ο</sup> : Κινηματικές Πορείες Τρένων.....	177
3.8.9. Σενάριο 9 <sup>ο</sup> : Κινηματική Πορεία Στη Λίμνη Του Μόρνου.....	187
3.8.10. Σενάριο 10 <sup>ο</sup> : Σενάρια με τη συνδρομή υπηρεσιών τύπου HEPOS.....	193
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup> – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	198
4.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	198
4.2. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	203
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	204
ΙΣΤΟΧΩΡΟΙ .....	208
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	212
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	214
ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ .....	219
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ .....	221



## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

---

Από τα μέσα της δεκαετίας του '80 η κλασική γεωδαιτική και τοπογραφική μεθοδολογία άλλαξε ριζικά με τον ερχομό του αμερικανικού δορυφορικού συστήματος εντοπισμού GPS. Μια νέα εποχή της δορυφορικής και διαστημικής γεωδαισίας είχε πλέον αρχίσει. Αρχικά το σύστημα χρησιμοποιούνταν κυρίως για στρατιωτικές εφαρμογές και στη συνέχεια μετά από απόφαση των ΗΠΑ δόθηκε και για πολιτική χρήση, ωστόσο με εσκεμμένη μείωση της ακρίβειάς του μέχρι και το 2000. Την ίδια περίπου εποχή η Ρωσία φτιάχνει το δικό της δορυφορικό σύστημα GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System) που όμως είχε αρκετές δυσκολίες και περιορισμούς που εν πολλοίς παραμένουν μέχρι και σήμερα.

Στις μέρες μας η Ευρωπαϊκή Ένωση και η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος προχωράει στην ανάπτυξη του δικού της Galileo το οποίο αναμένεται να είναι πλήρως επιχειρησιακό και να τεθεί σε λειτουργία από το 2014 και μετά. Ένα αμιγώς πολιτικό σύστημα, πολλά υποσχόμενο που αναμένεται να αλλάξει σημαντικά την υπάρχουσα κατάσταση και να άρει όποιες στρατιωτικές δεσμεύσεις των υπολοίπων. Εκμεταλλευόμενο την τεχνογνωσία των προκατόχων του, το σύστημα Galileo είναι ένα φιλόδοξο διαστημικό πρόγραμμα, περισσότερο τεχνολογικά προηγμένο καλύτερων επιδόσεων, ασφαλέστερο και με ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών.

### **Σκοπός και Στόχοι της Διπλωματικής Εργασίας**

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση των παγκόσμιων δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης και εντοπισμού θέσης, τα οποία στη βιβλιογραφία αναφέρονται συλλογικά με τον όρο GNSS (Global Navigation Satellite Systems). Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στο αμερικανικό σύστημα GPS και τον εκμοντερνισμό του, το μελλοντικό και πολλά υποσχόμενο ευρωπαϊκό Galileo, στα ευρωπαϊκά συστήματα λειτουργικής επέκτασης και κυρίως στο ευρωπαϊκό σύστημα EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System). Επίσης γίνεται μια σύντομη αναφορά στο ελληνικό σύστημα εντοπισμού HEPOS (HEPOS: Hellenic Position System) το οποίο θα επιφέρει αλλαγές στις μέχρι τώρα τοπογραφικές εφαρμογές.

Στη συνέχεια έγινε προσπάθεια σύγκρισης των συστημάτων αυτών ως προς την αποδοτικότητά τους με προσομοιώσεις για κινηματικές πορείες σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας και για μία ποικιλία σεναρίων (π.χ. πορείες αεροσκαφών, πλοίων, οχημάτων κ.α.). Με κάθε προσομοίωση γίνεται ένας συσχετισμός με κάποια παραδείγματα εφαρμογών με τη χρήση των δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης και εντοπισμού θέσης.

## Δομή της Διπλωματικής Εργασίας

Για την κάλυψη των παραπάνω στόχων η διπλωματική εργασία χωρίζεται στα εξής επιμέρους κεφάλαια:

Στο πρώτο κεφάλαιο δίνεται μια πλήρης περιγραφή των δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού θέσης GNSS (του αμερικανικού GPS, του μελλοντικού ευρωπαϊκού Galileo, του ρωσικού GLONASS και του μελλοντικού κινεζικού COMPASS), του τρόπου λειτουργίας τους, των βελτιώσεών τους και των ποικίλων υπηρεσιών που παρέχονται στους χρήστες από το κάθε ένα από αυτά. Επίσης, γίνεται μία πλήρης αναφορά στα **συστήματα επέκτασης λειτουργίας των GNSS (GNSS Augmentation)**, ενώ εκτενής ανάλυση γίνεται στο ευρωπαϊκό σύστημα επαύξησης EGNOS. Στο τέλος δίνεται μια σύντομη αναφορά στο σχετικά πρόσφατο σύστημα HEPOS, τις υπηρεσίες προσδιορισμού θέσεις, τις εφαρμογές του και τις δικτυακές τεχνικές εντοπισμού που θα παρέχει.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μία επεξήγηση των παραγόντων που επηρεάζουν την ακρίβεια των δορυφορικών συστημάτων GNSS. Περιγράφονται δηλαδή τα σφάλματα δορυφόρων, τα σφάλματα δεκτών και τα σφάλματα διάδοσης σήματος. Επίσης εξετάζονται κάποιοι δείκτες με τους οποίους μετράται η επίδοση των συστημάτων πλοήγησης και εντοπισμού οι οποίοι χρησιμοποιούνται στο ερευνητικό μέρος της εργασίας. Αυτοί είναι οι γεωμετρικοί δείκτες DOP (Dilution of Precision) και RDOP (Relative DOP), ο δείκτης UERE (User Equivalent Range Error), ο δείκτης ακρίβειας συστημάτων πλοήγησης NSP (Navigation System Precision) και η ακεραιότητα (Integrity).

Το τρίτο κεφάλαιο αποτελεί το ερευνητικό μέρος της παρούσας εργασίας. Περιγράφονται οι νέες εφαρμογές με τις οποίες το καινούργιο ευρωπαϊκό σύστημα Galileo στοχεύει στη βελτίωση των συστημάτων καθοδήγησης, στη πρόληψη ατυχημάτων, στην αποδοτικότητα της πολιτικής προστασίας και στην προστασία του περιβάλλοντος. Επίσης, γίνεται μια αναφορά σε ήδη υπάρχουσες τοπογραφικές εφαρμογές με τη χρήση του συστήματος GPS που αναμένεται να βελτιωθούν με τις νέες εξελίξεις πάνω στα συστήματα GNSS. Δεδομένου όμως ότι το σύστημα Galileo δεν είναι ακόμα πλήρως επιχειρησιακό χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό προσομοίωσης GSSF (Galileo System Simulation Facility). Εξετάστηκαν η λειτουργικότητα και η απόδοση των συστημάτων GPS, Galileo και EGNOS και των συνδυασμών τους. Σε ποιο βαθμό δηλαδή ικανοποιούνται οι απαιτήσεις διαθεσιμότητας ακρίβειας και ακεραιότητας. Για το σκοπό αυτό δομήθηκαν σενάρια με κινηματικές πορείες (πλοίων, αεροπλάνων, τρένων, αυτοκινήτων και άλλων οχημάτων) σε διαφορετικές περιπτώσεις περιβάλλοντος των μετρήσεων (π.χ. αστικό, αγροτικό) και συνθηκών (π.χ. με διορθώσεις από ένα σύστημα τύπου HEPOS), στον ελλαδικό χώρο.

Τέλος, στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο παρατίθενται τα τελικά συμπεράσματα που προέκυψαν από το βιβλιογραφικό και το ερευνητικό μέρος και προτάσεις για μελλοντικές μελέτες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> –ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ GNSS

---

### 1.1. Εισαγωγή

Εδώ και αιώνες, έχουμε γυρίσει την προσοχή μας στους ουρανοί για την καθοδήγησή μας. Τα αστέρια παρείχαν στους πρώτους εξερευνητές και στους ναυτικούς που αποτόλμησαν στους άγνωστους κόσμους πέρα από τον ορίζοντα μια αξιόπιστη πηγή πληροφοριών πλοήγησης. Σήμερα, οι ουρανοί προσφέρουν νέα μέσα για πλοήγηση με μια ακρίβεια που οι εξερευνητές μόνο στα όνειρά τους θα μπορούσαν να φανταστούν. Αυτό είναι η δορυφορική πλοήγηση: χρησιμοποιώντας τα σήματα που εκπέμπονται από δορυφόρους με τροχιές γύρω από τη Γη μπορούμε να προσδιορίσουμε σε πραγματικό χρόνο τη θέση αεροσκαφών, σκάφων και οχημάτων, μαζί με ένα πλήθος άλλων εφαρμογών, με ακρίβεια μερικών μέτρων. Από την εισαγωγή της δορυφορικής πλοήγησης στη δεκαετία του '70, εφαρμογές για τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης έχουν αυξηθεί πέρα από όλες τις προσδοκίες. Σήμερα, εκατομμύρια μικροί φορητοί δεκτές ικανοί να δέχονται δορυφορικά σήματα πωλούνται ετησίως και ικανοποιούν ένα τεράστιο αριθμό εφαρμογών.

**Τα Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα (Εντοπισμού και) Πλοήγησης (GNSS)** είναι ο γενικός όρος για **τα δορυφορικά συστήματα πλοήγησης** που παρέχουν αυτόνομο προσδιορισμό θέσης παγκοσμίως. Τα συστήματα GNSS επιτρέπουν σε μικρούς ηλεκτρονικούς δέκτες το καθορισμό της γεωγραφικής θέσης τους (γεωγραφικό μήκος, γεωγραφικό πλάτος και ύψος) με ακρίβεια της τάξης μερικών μέτρων. Οι δέκτες υπολογίζουν τον ακριβή χρόνο καθώς επίσης και τη θέση τους στο χώρο, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αναφορά για επιστημονικά πειράματα ή πρακτικές εφαρμογές και άλλες ποικίλες ανάγκες.

Μέχρι σήμερα, το παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσης **NAVSTAR GPS** των Ηνωμένων Πολιτειών είναι το μόνο μέχρι τώρα πλήρως λειτουργικό σύστημα GNSS. Το Ρωσικό **GLONASS** είναι ένα σύστημα GNSS στο στάδιο της αποκατάστασης μέχρι να γίνει πλήρως επιχειρησιακό (οι 21 από τους 24 δορυφόρους βρίσκονται σε λειτουργία) και συνεπώς δεν έτυχε της ευρείας αποδοχής και χρήσης όπως το **GPS**. Το Ευρωπαϊκό **GALILEO** είναι ένα σύστημα GNSS στην αρχική φάση ανάπτυξής του, που αναμένεται να είναι επιχειρησιακά έτοιμο το 2014. Η Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας έχει δηλώσει την επέκταση του τοπικού συστήματος **Beidou** στο παγκόσμιο σύστημα **COMPASS** από το 2010. Στον Πίνακα 1 αναγράφονται τα συστήματα που αναφέρθηκαν με τα επιμέρους χαρακτηριστικά τους, τη χώρα προέλευσης, ύψος τροχιάς, κατάσταση λειτουργίας κ.τ.λ..

Σύστημα	Χώρα	Ύψος Τροχιάς ,Περίοδος	Αριθμός Δορυφόρων	Κατάσταση
GPS	ΗΠΑ	20,200km, 12.0h	≥ 24	σε λειτουργία
GLONASS	Ρωσία	19,100km, 11.3h	24	σε λειτουργία υπό περιορισμούς
GALILEO	Ευρώπη	23,222km, 14.1h	≥ 27	υπό κατασκευή
COMPASS	Κίνα	21,150km, 12.6h	35	Compass-2 υπό κατασκευή

Πίνακας 1 : Σύγκριση Συστημάτων GNSS

(Πηγή: <http://en.wikipedia.org/wiki/GNSS>)

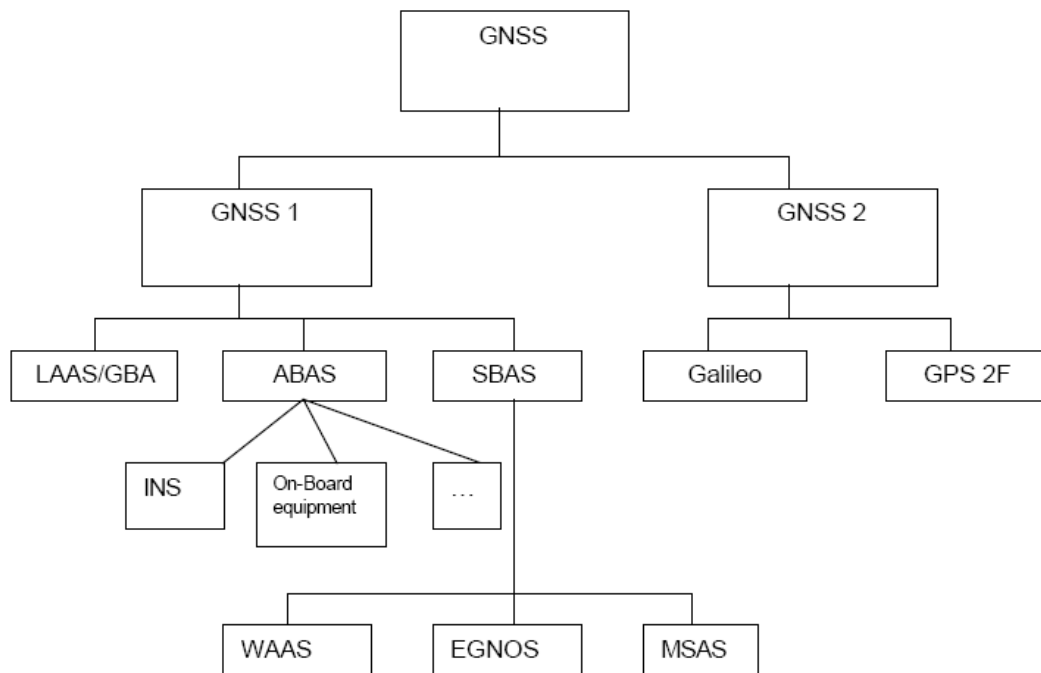
Τα συστήματα GNSS παρέχουν υψηλό έλεγχο της ακρίβειας και της ακεραιότητας ως προς τη λειτουργικότητά τους είναι ταξινομημένα ως εξής: (Εικόνα 1, Πίνακας 2)

- **GNSS-1** είναι τα συστήματα πρώτης γενιάς και ο συνδυασμός των υπαρχόντων δορυφορικών συστημάτων (GPS και GLONASS), με δορυφορικά συστήματα επαύξησης (SBAS: Satellite Based Augmentation System) ή συστήματα επαύξησης στο έδαφος (GBAS: Ground Based Augmentation System). Στις ΗΠΑ λειτουργεί το σύστημα διαφορικού GPS ευρείας κάλυψης (WAAS: Wide Area Augmentation System), στην Ευρώπη το σύστημα EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service), στην Ιαπωνία το σύστημα MSAS (Multi-Functional Satellite Augmentation System) και στην Κίνα το σύστημα SNAS (Satellite Navigation Augmentation System).
- **GNSS-2** είναι η δεύτερη γενιά συστημάτων που παρέχει ανεξάρτητα ένα πλήρες δορυφορικό σύστημα πλοήγησης πολιτικής χρήσης, όπως για παράδειγμα το Ευρωπαϊκό σύστημα GALILEO. Αυτά τα συστήματα θα παρέχουν στον χρήστη τον έλεγχο ακρίβειας και ακεραιότητας απαραίτητο για πολιτικούς σκοπούς. Αυτό το σύστημα αποτελείται από τις συχνότητες L1 και L2 για την πολιτική χρήση και την L5 για την ακεραιότητα του συστήματος. Σε εξέλιξη είναι η ανάπτυξη των συχνοτήτων L2 και L5 του συστήματος GPS για πολιτική χρήση, καθιστώντας το ένα σύστημα δεύτερης γενιάς.

GNSS components	Name	Nationality	Nature of Control	Technical status
Core systems	GPS	US	Military	Modernisation 2011/2013
	GLONASS	RUS	Military	Inadequate constellation
	Galileo	EUR	Civilian	Operational in 2008
Regional augmentations (SBAS)	WAAS	US	Civilian	Operational in 2003
	EGNOS	EUR	Civilian	Operational in 2004
	MSAS	JAP	Civilian	Operational in 2004
Local Augmentations (GBAS)	LAAS	US	Civilian	Operational between 2005 and 2007
	In Europe	Nationality of the state	Civilian	Starting 2004
Aircraft Based Augmentation Systems (ABAS)	RAIM, inertial navigation, other onboard instruments...	Nationality of the plane	Civilian	Failure detection in operation, failure detection and exclusion as part of Do-229C receivers, AIME and similar FMS/INS/GPS systems operational

Πίνακας 2 : Τα Χαρακτηριστικά των GNSS

(Πηγή: <http://html.rincondelvago.com/amss-applications.html>)

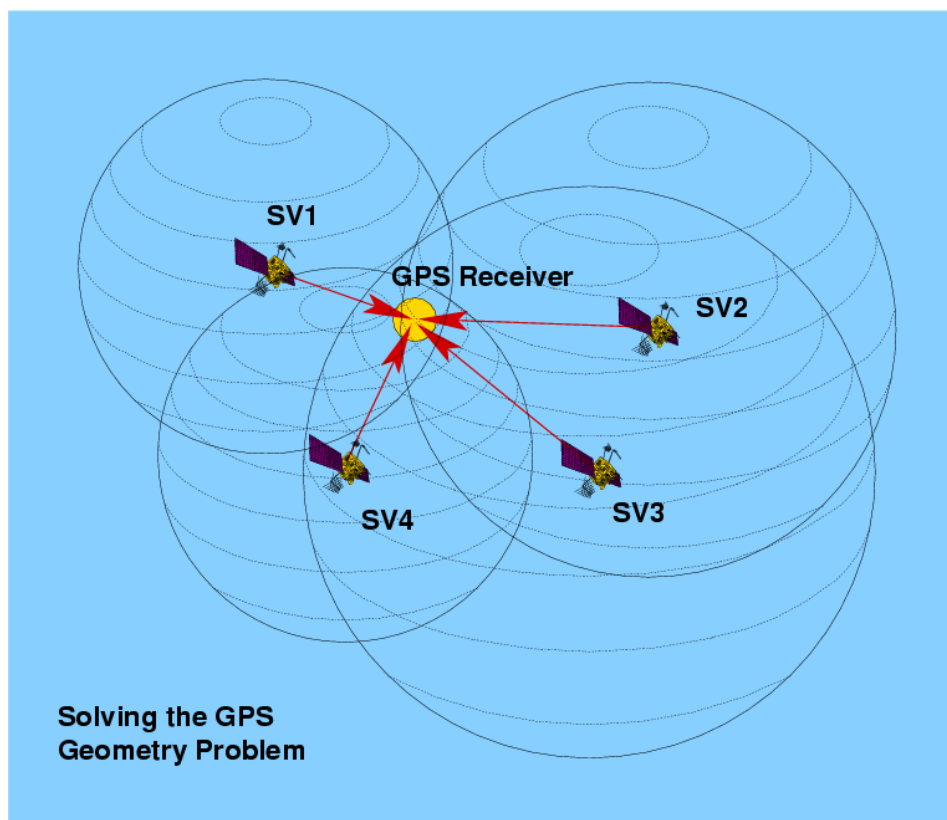


Εικόνα 1 : Τα Συστήματα GNSS

(Πηγή: A Beginner's Guide to GNSS in Europe, <http://www.ifatca.org/docs/gnss.pdf>)

Η παγκόσμια κάλυψη για κάθε σύστημα επιτυγχάνεται από ένα σχηματισμό από 20 έως 30 δορυφόρους μέσης γήινης τροχιάς (MEO: Medium Earth Orbit) που διανέμονται μεταξύ διάφορων τροχιακών επιπέδων. Τα συστήματα ποικίλλουν, αλλά χρησιμοποιούν κλίσεις τροχιάς μεγαλύτερες από 50° και τροχιακές περιόδους περίπου 10-14 ώρες ανάλογα με το σύστημα (ύψος περίπου 20.000 χλμ/12.500 μίλια).

Η βασική αρχή όλων των συστημάτων GNSS είναι ότι ένας χρήστης καθορίζει την θέση του με ταυτόχρονες μετρήσεις από τουλάχιστον 4 δορυφόρους GNSS. Αυτές οι μετρήσεις δίνουν στο χρήστη 4 μετρήσεις απόστασης μεταξύ αυτού και των 4 δορυφόρων. Με τέσσερις μετρήσεις είναι δυνατόν να επιλυθούν 4 άγνωστες παράμετροι. Αυτές οι άγνωστες παράμετροι είναι οι τρεις της θέσης του δέκτη (X, Y, και Z ή γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος και ύψος) και το σφάλμα χρονομέτρων του δέκτη GNSS. Γενικά, η αρχή λειτουργίας των GNSS για τον προσδιορισμό της θέσης ενός μεμονωμένου σημείου με έναν δέκτη, μπορεί να συγκριθεί με την πλευρική οπισθοτομία στο χώρο όπου τα γνωστά σημεία είναι οι δορυφόροι και παρατηρήσεις οι αποστάσεις μεταξύ του σημείου και των δορυφόρων (Εικόνα 2). Ουσιαστικά η μέτρηση βασίζεται στη θεώρηση ότι οι δορυφόροι στο διάστημα είναι «σημεία αναφοράς» που χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό της θέσης από κάποιο δέκτη στη γη με τον χρόνο να παίζει τον πιο σημαντικό ρόλο.



Εικόνα 2 : Η Θέση του χρήστη με τομές σφαιρών

(Πηγή: <http://www.ausairpower.net/TE-GPS-Guided-Weps.html>)

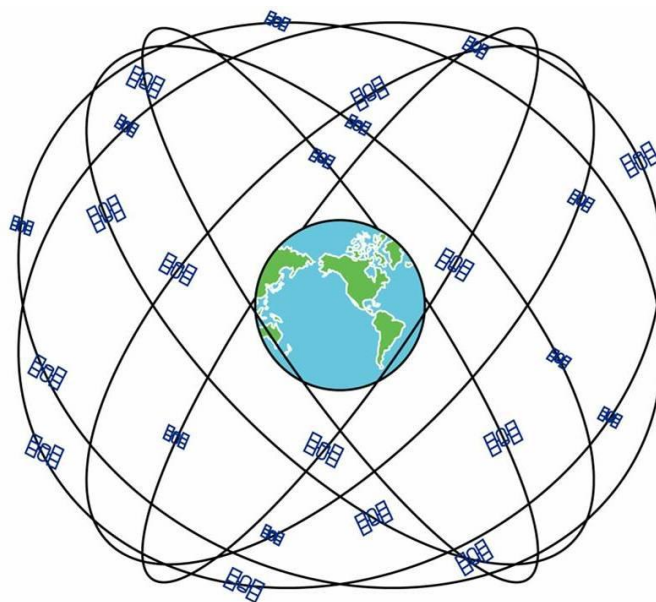
## 1.2. NAVSTAR GPS

Το NAVSTAR GPS (NAVigation Satellite Timing And Ranging, Global Positioning System) ή απλά το GPS, είναι το μοναδικό μέχρι σήμερα πλήρως επιχειρησιακό παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσης, χρόνου και ταχύτητας. Το σύστημα σχεδιάστηκε στη δεκαετία του 1970, αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 1980 και βρίσκεται υπό τον έλεγχο του Υπουργείου Άμυνας των ΗΠΑ. Είναι προσιτό σε κάθε χρήστη με έναν δέκτη GPS. Πρόκειται για ένα στρατιωτικό και πολιτικό σύστημα με πρωταρχικό σκοπό την κάλυψη των στρατιωτικών και στη συνέχεια και πολιτικών αναγκών πλοήγησης.

### 1.2.1. Σύντομη περιγραφή του συστήματος GPS

Το σύστημα GPS αποτελείται από τρία λειτουργικά τμήματα, αυτό του διαστήματος (Space Segment), το επίγειο τμήμα (Control Segment) και το τμήμα των χρηστών (User Segment).

Το **τμήμα του διαστήματος** αποτελείται από 28 δορυφόρους κατανεμημένους σε 6 τροχιακά επίπεδα (Εικόνα 3) ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη κάλυψη της Γης. Ο αριθμός των δορυφόρων αλλάζει ανά διαστήματα, αφού όποτε απαιτείται εκτοξεύονται καινούριοι δορυφόροι στο διάστημα ή όταν σταματάνε να λειτουργούν οι παλαιοί. Σήμερα (αρχές του 2011) αριθμούμε 31 δορυφόρους στον σχηματισμό του GPS. Οι δορυφόροι περιστρέφονται σε σχεδόν κυκλικές τροχιές και σε ύψος περίπου 20200 km πάνω από την επιφάνεια της Γης. Ο εξοπλισμός των δορυφόρων αποτελείται από τέσσερα ατομικά χρονόμετρα ρουβιδίου και καισίου, τα οποία παρέχουν ακρίβεια μέτρησης του χρόνου της τάξης τουλάχιστον του  $10^{-12}$ .



Εικόνα 3 : Ο Δορυφορικός Σχηματισμός GPS

(Πηγή: <http://140.137.13.100/derceng/Application.htm>)

Το **επίγειο τμήμα** αποτελείται από πέντε σταθμούς παρακολούθησης (Monitor Stations), τρεις σταθμούς επικοινωνίας (Upload Ground Antennas) και ένα κεντρικό σταθμό ελέγχου (Master control station – MCS) (Εικόνα 4).

Οι επίγειοι σταθμοί παρακολούθησης πραγματοποιούν συνεχώς μετρήσεις χρησιμοποιώντας όλους τους ορατούς δορυφόρους. Οι μετρήσεις αυτές χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των τροχιακών εφημερίδων, καθώς και για τον υπολογισμό των διορθωτικών παραμέτρων για τα μοντέλα που περιγράφουν τα σφάλματα των χρονομέτρων των δορυφόρων. Ο υπολογισμός των τροχιακών εφημερίδων καθώς και η ενημέρωσή τους είναι αρμοδιότητα του κεντρικού σταθμού ελέγχου. Οι τροχιές αυτές προεκτείνονται στο μέλλον, κωδικοποιούνται και φορτώνονται στη μνήμη των δορυφόρων κάθε 26 ώρες. Όταν απαιτούνται, για παράδειγμα μικρές διορθωτικές ενέργειες, ο κεντρικός σταθμός έχει τη δυνατότητα παρέμβασης στο δορυφορικό εξοπλισμό μεταβάλλοντας τη θέση και τη λειτουργία των δορυφόρων. Οι σταθμοί επικοινωνίας είναι επίγειες κεραίες που μεταδίδουν δεδομένα στον κάθε δορυφόρο.



Εικόνα 4 : Επίγειο Τμήμα GPS

(Πηγή: [http://www.kowoma.de/en/gps/control\\_segment.htm](http://www.kowoma.de/en/gps/control_segment.htm))

Το **τμήμα χρηστών** αποτελείται από εκατοντάδες χιλιάδες χρήστες των ΗΠΑ που χρησιμοποιούν υπηρεσίες ακριβείας (GPS Precise Positioning Service) για στρατιωτικούς σκοπούς και περίπου δέκα εκατομμύρια χρήστες πολιτικών, εμπορικών και επιστημονικών εφαρμογών που χρησιμοποιούν την κανονική υπηρεσία (Standard Positioning Service). Γενικά οι δέκτες GPS αποτελούνται από μια κεραία (antenna) που συντονίζεται στις συχνότητες που εκπέμπουν οι δορυφόροι, από δέκτες επεξεργασίας (receiver-processors) και πολύ ακριβή χρονόμετρα. Ένας δέκτης συχνά περιγράφεται από τον αριθμό των καναλιών του: πόσους δορυφόρους δηλαδή μπορεί να «παρακολουθεί» ταυτόχρονα. Αρχικά οι δέκτες μπορούσαν να



λαμβάνουν σήμα ταυτόχρονα από τέσσερις ή πέντε δορυφόρους, σταδιακά ο αριθμός αυτός αυξήθηκε σε 12 έως 20 κανάλια. Σήμερα διατίθενται στην αγορά δέκτες (κυρίως γεωδαιτικού τύπου) που μπορούν να λαμβάνουν ταυτόχρονα σήματα από 40-50 δορυφόρους GPS, EGNOS και GLONASS και νέες τεχνολογίες δεκτών με δυνατότητες χρήσης μέχρι και 136 κανάλια σχεδιάζονται για το άμεσο μέλλον ώστε να μπορούν να χρησιμοποιούν ταυτόχρονα σήματα από όλα τα διαθέσιμα συστήματα GNSS.

Υπάρχουν πολλά είδη δορυφορικών δεκτών GPS. Κάποιοι για παράδειγμα μπορούν να λαμβάνουν διαφορικές διορθώσεις DGPS (Differential GPS) ή μπορούν να αναμεταδώσουν τις πληροφορίες θέσης σε ένα H/Y (PC) ή κάποια άλλη συσκευή.

Στην εικόνα 5 απεικονίζονται τρεις δέκτες GPS από τους κατασκευαστές Trimble, Garmin και Leica (από δεξιά προς αριστερά). Οι δέκτες GPS υπάρχουν σε ποικίλα σχήματα και κάποιοι μπορούν να ενσωματώνονται σε αυτοκίνητα, τηλέφωνα, ακόμα και ρολόγια.



Εικόνα 5 : Δέκτες GPS

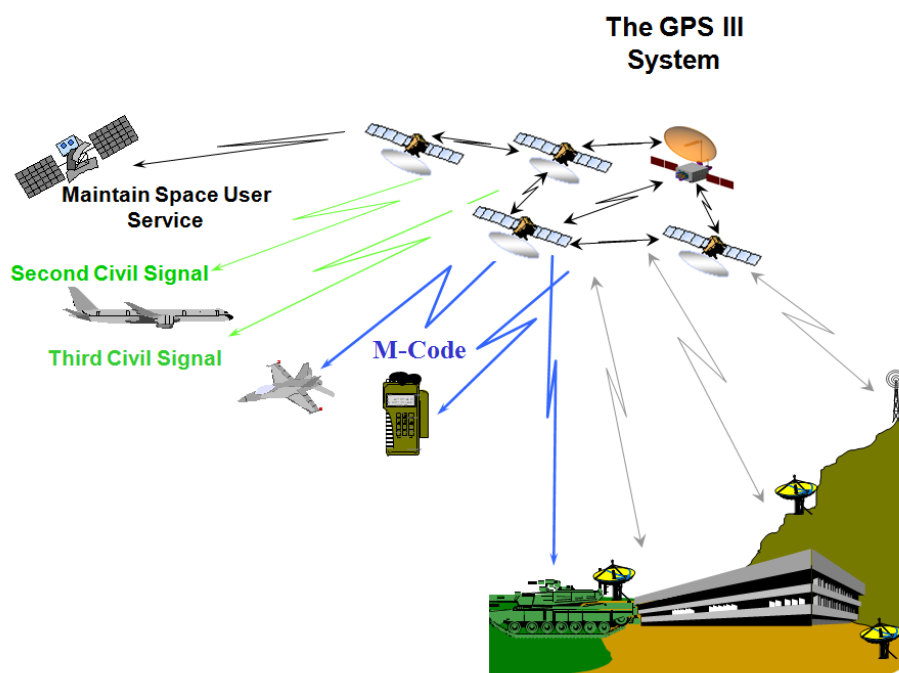
(Πηγή: [http://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_Positioning\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System))

### 1.2.2. Εκσυγχρονισμός GPS

Το σύστημα GPS από το 1995 είναι πλήρως λειτουργικό και έχει ολοκληρώσει τους αρχικούς του στόχους. Ωστόσο οι επιπρόσθετες πρόοδοι της τεχνολογίας και οι νέες απαιτήσεις στο υπάρχον σύστημα, οδήγησαν στην προσπάθεια εκσυγχρονισμού του, για τη βελτίωση των τριών επιμέρους τμημάτων του. Το 2000 το Κογκρέσο των ΗΠΑ ενέκρινε αυτή τη προσπάθεια, αποκαλούμενη ως GPS III (GPS 3ης γενιάς).

Το πρόγραμμα εκσυγχρονισμού περιλαμβάνει νέους σταθμούς εδάφους και νέους δορυφόρους, με επιπρόσθετα σήματα πλοήγησης και για τους πολιτικούς και στρατιωτικούς σκοπούς, και στοχεύει να βελτιώσει την ακρίβεια και τη

διαθεσιμότητα για όλους τους χρήστες διατηρώντας την συμβατότητα με τον ήδη υπάρχοντα εξοπλισμό GPS (Εικόνα 6).



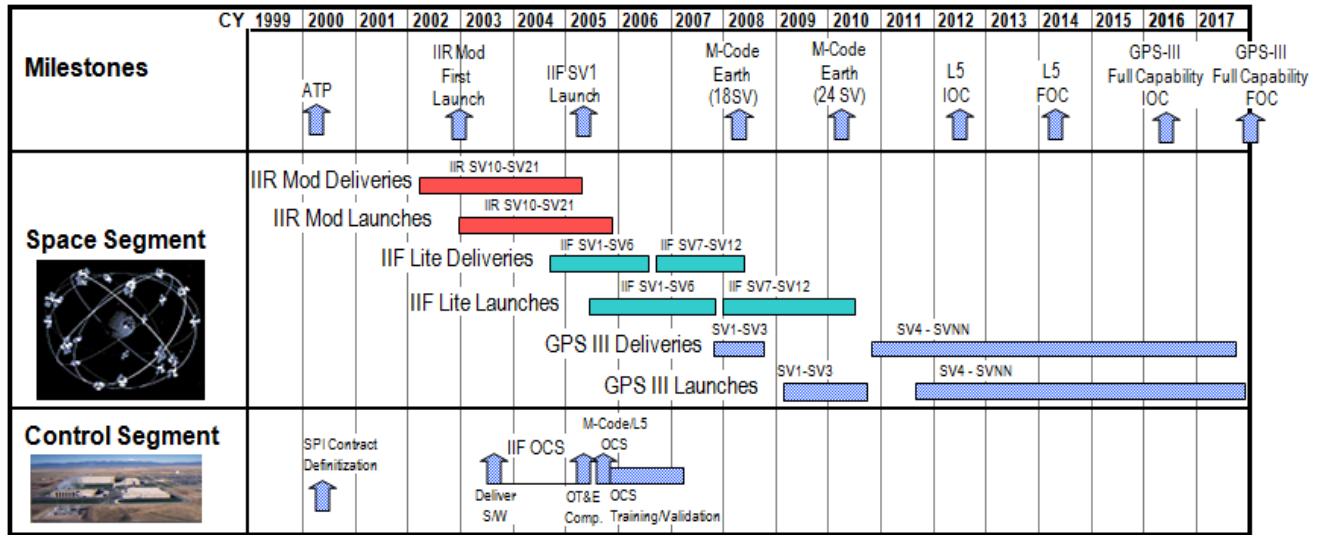
Εικόνα 6 : GPS III

(Πηγή: Planned GPS Civil Signals and Their Benefits to the Civil Community, A. VaDierendonck)

Οι στόχοι οι οποίοι έχουν τεθεί για τον εκσυγχρονισμό του συστήματος GPS αφορούν:

- Αύξηση ακρίβειας συστημάτων
- Το βελτιωμένο επίπεδο ακεραιότητας
- Βελτιωμένη διαθεσιμότητα ακρίβειας με ακεραιότητα
- Συμβατότητα με τους ήδη υπάρχοντες δέκτες
- Υποστήριξη των νέων σημάτων σε συνδυασμό με τους δορυφόρους IIR-M & IIF (L2C, L5, νέα στρατιωτικά σήματα)
- Πρόσθετο νέο L1 αστικό σήμα (L1C) και μελλοντική ευχέρεια για τα νέα μηνύματα ναυσιπλοΐας, εύκαμπτα επίπεδα δύναμης
- Ομαλή μετάβαση από GPS Block II στο Block III

Στην εικόνα 7 δίνεται το χρονοδιάγραμμα του εκσυγχρονισμού για το τμήμα διαστήματος και το τμήμα έλεγχου μέχρι το έτος 2017.



Εικόνα 7 : Χρονοδιάγραμμα Εκσυγχρονισμού GPS

(Πηγή: Planned GPS Civil Signals and Their Benefits to the Civil Community-Dr. A. J. Van Dierendonck-AJ Systems)

### Νέα πολιτικά σήματα πλοήγησης

Η κεντρική εστίαση του προγράμματος εκσυγχρονισμού του GPS είναι η προσθήκη των νέων σημάτων πλοήγησης (Εικόνα 8). Τα νέα σήματα εισάγονται σταδιακά δεδομένου ότι οι νέοι δορυφόροι GPS εκτοξεύονται για να αντικαταστήσουν τους παλαιότερους. Μέχρι και σήμερα ο κάθε δορυφόρος του συστήματος μεταδίδει ένα μοναδικό σήμα που διαμορφώνεται πάνω σε δύο φέρουσες συχνότητες στην περιοχή L του φάσματος των μικροκυμάτων, τις L<sub>1</sub> (1575.42 MHz, με μήκος κύματος 19.05 cm) και L<sub>2</sub> (1227.60 MHz, με αντίστοιχο μήκος κύματος 24.45 cm). Η αμερικανική κυβέρνηση είναι στο στάδιο της τοποθέτησης τριών νέων σημάτων που σχεδιάζονται για την πολιτική χρήση: L2C, L5 και L1C. Η κληρονομία των πολιτικών σημάτων, που καλούνται L1 C/A ή C/A στην L1 (C/A: Coarse Acquisition Code), θα συνεχίσουν τη μετάδοση, για την ύπαρξη συνολικά τεσσάρων πολιτικών σημάτων GPS στο μέλλον.

#### L2 (L2C)

Μια από τις πρώτες ανακοινώσεις ήταν η προσθήκη ενός νέου σήματος πολιτικής χρήσης που διαβιβάζεται σε μια συχνότητα εκτός από τη L1 συχνότητα που χρησιμοποιήθηκε για το κώδικα C/A στο υπάρχον GPS. Τελικά, αυτό έγινε γνωστό ως σήμα L2C επειδή μεταδίδεται στη L2 συχνότητα (1227.6 MHz). Διαβιβάζεται από όλους τους δορυφόρους Block IIR-M και τους πιο πρόσφατους που σχεδιάζονται. Το σήμα L2C παρέχει βελτιωμένη ακρίβεια στη πλοήγηση και δρα σαν εφεδρικό σήμα σε περίπτωση εντοπισμένης παρέμβασης.

Όταν συνδυάζεται με τη συχνότητα L1 C/A σε έναν δέκτη διπλής συχνότητας, η L2C επιτρέπει την ιονοσφαιρική διόρθωση, μια τεχνική που ενισχύει την τελική ακρίβεια εντοπισμού. Για τους επαγγελματικούς χρήστες με τις υπάρχουσες διαδικασίες διπλής-συχνότητας, η L2C παρέχει γρηγορότερη απόκτηση σημάτων, ενισχυμένη αξιοπιστία, και μεγαλύτερο εύρος λειτουργιών. Η άμεση επίδραση της κατοχής δύο πολιτικών συχνοτήτων που διαβιβάζονται από έναν δορυφόρο είναι η δυνατότητα να μετρήσει άμεσα, και επομένως να αφαιρέσει, το ιονοσφαιρικό σφάλμα καθυστέρησης για εκείνο τον δορυφόρο. Χωρίς μια τέτοια μέτρηση, ένας δέκτης GPS θα πρέπει να χρησιμοποιήσει ένα γενικό μοντέλο ή να λάβει τις ιονοσφαιρικές διορθώσεις από μια άλλη πηγή (SBAS).

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- L2C περιέχει δύο ευδιάκριτες ακολουθίες PRN (Pseudorandom Noise Sequence: Ψευδοτυχαίες Ακολουθίες Κωδικοποίησης) :
  - Το CM (Civilian Moderate length code) είναι 10.230 bits στο μήκος και επαναλαμβάνεται κάθε 20 msec.
  - Το CL (Civilian Long length code) είναι 767.250 bits και επαναλαμβάνεται κάθε 1.5 sec.
  - Κάθε σήμα διαβιβάζεται σε 511.500 bit/s, εντούτοις είναι πολλαπλασιασμένος για να διαμορφώσει ένα σήμα 1.023.000 bit/s.
- Το CM είναι διαμορφωμένο με ένα μήνυμα πλοήγησης 25 bit/s με διαβιβασμένη διόρθωση σφάλματος, ενώ το CL είναι μια ακολουθία μη-στοιχείων ή κενά μηνύματα (δεν περιέχει δηλαδή πρόσθετα διαμορφωμένα στοιχεία).
- Επειδή το σφάλμα της ιονοσφαιρικής διάθλασης είναι αντιστρόφως ανάλογο προς το τετράγωνο της συχνότητας, το ιονοσφαιρικό σφάλμα στα σήματα L2C της συχνότητας L2 είναι 65% μεγαλύτερο από ότι στα αντίστοιχα στη συχνότητα L1.

Στην προηγούμενη τελευταία περίπτωση, εάν οι χρήστες έχουν στη διάθεση τους ένα τοπικό σήμα διαφορικής διόρθωσης GPS (DGPS), ο αυξημένος θόρυβος εξ αιτίας της ιονόσφαιρας στα σήματα L2C δεν είναι πάρα πολύ σοβαρό πρόβλημα. Ωστόσο, εν μέρει επειδή οι τροχιά των δορυφόρων και η ακρίβεια των χρονομέτρων τους έχουν βελτιωθεί τόσο πολύ, η ιονόσφαιρα παραμένει η μεγαλύτερη πηγή σφάλματος με δέκτες μονής συχνότητας, κάτι που θα επιδεινωθεί ιδιαίτερα κατά την περίοδο της αναμενόμενης μέγιστης ηλιακής δραστηριότητας (οπότε και η επίδραση της ιονόσφαιρας είναι πιο έντονη) περίπου σε τρία χρόνια. Αν και το L2C σήμα είναι διαθέσιμο σήμερα, η αξία αυτού του σήματος στη κοινότητα των πολιτικών χρηστών θα αυξηθεί καθώς πρόσθετοι δορυφόροι θα εισάγονται στον δορυφορικό σχηματισμό. Το σήμα L2C καθιστά δυνατή την ανάπτυξη δεκτών GPS διπλής-συχνότητας με χαμηλότερο κόστος, για πολιτικούς σκοπούς που θα επιτρέπουν τη διόρθωση των ιονοσφαιρικών σφαλμάτων χρονικής καθυστέρησης. Μόλις ο εκσυγχρονισμός του τμήματος ελέγχου εκπληρωθεί, βελτιώσεις όπως τα κανάλια χωρίς δεδομένα και

πειραματικά κανάλια για βελτίωση της απόδοσης και του μηνύματος πλοήγησης θα είναι διαθέσιμα με πιο ακριβείς πληροφορίες χρονομέτρων και εφημερίδων. Το L2C θα είναι επίσης διαλειτουργικό με το δορυφορικό σύστημα Quasi-Zenith (QZSS: Quasi Zenith Satellite System) που είναι υπό ανάπτυξη στην Ιαπωνία.

Ο πρώτος δορυφόρος GPS IIR-M που μεταδίδει στη L2C εκτοξεύτηκε το 2005. Κάθε δορυφόρος GPS που τοποθετείται από τότε σε τροχιά περιλαμβάνει μια συσκευή εκπομπής σημάτων L2C.

### ***Safety of Life (L5)***

Το L5 είναι το τρίτο πολιτικό σήμα GPS και θα μεταδίδεται σε μια ζώνη ραδιοσυχνοτήτων που προορίζεται αποκλειστικά για τις υπηρεσίες ασφάλειας της αεροπλοΐας. Με το προστατευμένο φάσμα, την υψηλότερη δύναμη, το μεγαλύτερο εύρος ζώνης, και άλλα χαρακτηριστικά γνωρίσματα, το σήμα L5 έχει ως σκοπό να υποστηρίξει τις μεταφορές με υψηλά επίπεδα προστασίας της ασφάλειας ζωής και άλλες υψηλής απόδοσης εφαρμογές.

Ο κώδικας ασφάλειας ζωής (SoL: Safety of Life) είναι ένα σήμα πολιτικής χρήσης, που μεταδίδεται στην συχνότητα L5 (1176.45 MHz) και προγραμματίζεται να εφαρμοστεί με την πρώτη εκτόξευση δορυφόρων της σειράς GPS IIF (GPS II – Follow on) (2010). Θα είναι συμβατό με τα συστήματα Galileo, GLONASS και QZSS, με στόχο να διασφαλίζει τη διαλειτουργικότητα με αυτά.

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Βελτιώνει τη δομή των σημάτων για ενισχυμένη απόδοση
- Υψηλότερη δύναμη μετάδοσης (ισχυρότερο εκπεμπόμενο σήμα) από ότι το L1 ή L2C σήμα
- Μεγαλύτερο εύρος ζώνης, που αποδίδει 10 φορές μεγαλύτερο κέρδος επεξεργασίας
- Πιο μακριοί εκπεμπόμενοι κώδικες (10 φορές μακρύτερος από ότι οι χρησιμοποιημένοι στον κώδικα C/A)
- Είναι τοποθετημένος στο φασματικό εύρος ARNS (Aeronautical Radio Navigation Services band), μια ζώνη ραδιοσυχνοτήτων που είναι δεσμευμένες από τη Παγκόσμια Ένωση Τηλεπικοινωνιών για τις ανάγκες της αεροπλοΐας παγκοσμίως

Τα μελλοντικά αεροσκάφη θα χρησιμοποιούν το σήμα L5 σε συνδυασμό με το L1 C/A (επίσης σε μια προστατευμένη ζώνη) για να βελτιώσουν την ακρίβεια μέσω της ιονοσφαιρικής διόρθωσης, και για να βελτιώσουν την ευρωστία (robustness) των διεργασιών εντοπισμού μέσω του πλεονασμού σημάτων. Η χρήση του L5 θα αυξήσει την ικανότητα ακριβούς πλοήγησης, την αποδοτικότητα καυσίμων, και την ασφάλεια στους εναέριους χώρους, τους σιδηροδρόμους, τις υδάτινες οδούς, και τις εθνικές οδούς.

Εκτός από τις μεταφορές, το L5 θα παρέχει στους χρήστες παγκοσμίως το πιο προηγμένο πολιτικό σήμα GPS. Όταν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με L1 C/A και L2C, το L5 θα παράσχει μια ιδιαίτερα ισχυρή υπηρεσία που μπορεί να επιτρέψει ακρίβειες κάτω του ενός μέτρου χωρίς περεταίρω αναγκαίες επαυξήσεις (augmentations).

Τον Απρίλιο του 2009, η Πολεμική Αεροπορία των ΗΠΑ ανήγγειλε την επιτυχή ενεργοποίηση της πρώτης πειραματικής L5 συσκευής αποστολής σημάτων στο δορυφόρο GPS IIR-20(M). Αυτό ήταν ένα σημαντικό βήμα για την εξασφάλιση της συχνότητας 1176.45 MHz προς χρήση του GPS.

Το λειτουργικό σήμα L5 θα τεθεί σε λειτουργία στους δορυφόρων GPS, της σειράς Block III.

### ***New Civilian L1 (L1C)***

Το L1C είναι το τέταρτο πολιτικό σήμα GPS, με σκοπό να επιτρέψει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ του GPS και άλλων των διεθνών δορυφορικών συστημάτων πλοήγησης. Οι Ηνωμένες Πολιτείες και η Ευρώπη ανέπτυξαν αρχικά το L1C ως κοινό πολιτικό σήμα για το GPS και το Galileo. Χαρακτηρίζεται από ένα δυαδικό κύμα τύπου MBOC (Multiplexed Binary Offset Carrier) με σκοπό να βελτιώσει την λήψη του σήματος από κινούμενους δέκτες μέσα στις πόλεις και άλλα περιβάλλοντα όπου επικρατούν αντίξοες (π.χ. υψηλά κτίρια, βλάστηση κ.ά.) συνθήκες λήψης του σήματος. Άλλοι προμηθευτές δορυφορικών δεκτών πλοήγησης υιοθετούν το L1C ως μελλοντικό πρότυπο για τη διεθνή διαλειτουργικότητα. Το δορυφορικό σύστημα Quasi-Zenith της Ιαπωνίας (QZSS), το ινδικό περιφερειακό δορυφορικό σύστημα ναυσιπλοΐας (IRNSS: Indian Regional Navigational Satellite System), και σύστημα Compass της Κίνας, σχεδιάζουν τη μετάδοση σημάτων L1C.

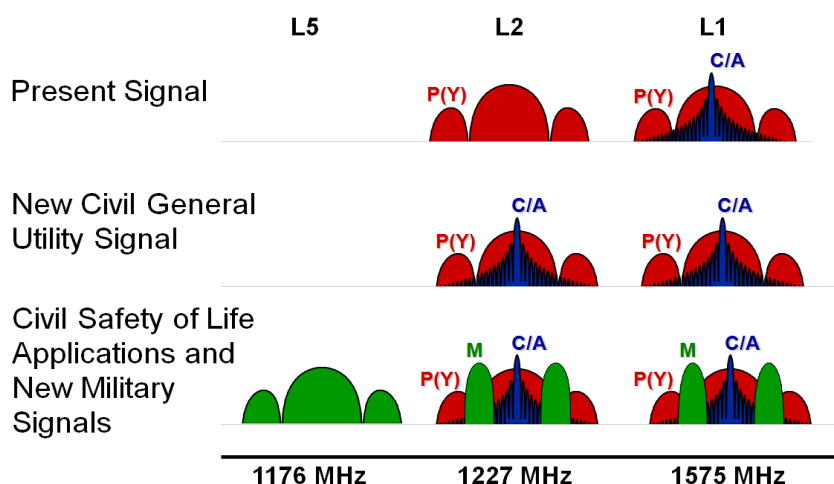
Το L1C είναι ένα σήμα πολιτικής-χρήσης, και θα μεταδίδεται στην ίδια L1 συχνότητα (1575.42 MHz) που περιέχει αυτήν την περίοδο το σήμα με τον κώδικα C/A που χρησιμοποιείται από όλους τους τρέχοντες χρήστες GPS. Το L1C θα είναι διαθέσιμο με την εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου Block III, που σχεδιάζεται αυτήν την περίοδο για το 2016.

Τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Η εφαρμογή θα παρέχει τον κώδικα C/A για να εξασφαλίσει συμβατότητα με προηγούμενης τεχνολογίας δέκτες (backward compatibility)
- Το τμήμα σημάτων χωρίς δεδομένα θα περιέχει ένα πιλοτικής χρήσης πιλοτικό φέρον κύμα για να βελτιώσει την παρακολούθηση της τροχιάς των δορυφόρων
- Διασφαλίζει μεγαλύτερη κατά 1.5 dB ισχύ στο κωδικοποιημένο με τον κώδικα C/A σήμα προκειμένου να μετριαστούν τα επίπεδα αυξημένου θορύβου
- Επιτρέπει μεγαλύτερη διαλειτουργικότητα στα συστήματα πολιτικής χρήσης με το σήμα Galileo L1

Πρόσφατα υπογράφηκε μία διάταξη από τις Ηνωμένες Πολιτείες και τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης για ένα συμβατό και διαλειτουργικό σήμα στη L1 συχνότητα για τα συστήματα GPS και Galileo.

## Modernized Signal Evolution



Εικόνα 8 : Εξέλιξη Δορυφορικών Σημάτων GPS

(Πηγή: Planned GPS Civil Signals and Their Benefits to the Civil Community, A. VaDierendonck)

### **Δορυφόροι Block III**

Δεδομένου ότι η κοινότητα σχεδιάζει το μέλλον του δορυφορικού σχηματισμού, από την άποψη του εκσυγχρονισμού και του GPS III, η γενική ηλικία του σχηματισμού αναγκάζει αναπόφευκτα τους διαχειριστές του προγράμματος στη λήψη δύσκολων αποφάσεων σχετικά με την εξισορρόπηση των μακροπρόθεσμων στόχων της αύξησης ποιότητας των επιμέρους υποσυστημάτων με τις βραχυπρόθεσμες ανάγκες της συντήρησης των δορυφόρων.

Τέσσερις γενεές δορυφόρων έχουν «πετάξει» στο δορυφορικό σχηματισμό του GPS και αποτελούν σήμερα το δορυφορικό τμήμα του συστήματος: Block I, Block II, Block IIA (Augmentation: επέκταση λειτουργίας), and Block IIR (Replenishment: επαναπλήρωση) (Εικόνες 9, 10). Ο πρώτος δορυφόρος ήταν της σειράς Block I (1<sup>η</sup> εκτόξευση το 1978). Οι 11 Block I δορυφόροι χρησιμοποιήθηκαν για να δοκιμαστούν οι λειτουργικές αρχές της διαστημικής πλοήγησης. Οι δορυφόροι της σειράς II τέθηκαν σε τροχιά από το 1989, ενώ το 2005 εκτοξεύτηκε ο πρώτος δορυφόρος της σειράς IIR-M. Ένας συνδυασμός δορυφόρων Block II, IIA και IIR αποτελεί τον τρέχοντα δορυφορικό σχηματισμό. Οι Block IIR άρχισαν να αντικαθιστούν τούς παλαιότερους Block II και IIA από το 1997. Υπάρχουν αυτήν την περίοδο δώδεκα δορυφόροι Block IIR σε τροχιά. Οι δορυφόροι Block IIR έχουν σημαντικές βελτιώσεις σε σχέση με τους προηγούμενους. Οκτώ δορυφόροι Block IIR έχουν εκμοντερνιστεί ώστε να εκπέμπουν στο νέο πολιτικό σήμα (L2C) στη συχνότητα L2. Ο πρώτος εκσυγχρονισμένος Block IIR (που αναφέρεται ως IIR-M) με σήμα L2C προωθήθηκε σε τροχιά στις 26 Σεπτεμβρίου του 2005. Τα τρέχοντα σχέδια

απαιτούν την τροποποίηση των τελευταίων 12 των δορυφόρων Block IIR, με την προσθήκη ισχυρότερων σημάτων, ενός δεύτερου πολιτικού σήματος και ενός νέου, πιο δυνατού στρατιωτικού σήματος.

Οι δορυφόροι Block IIF είναι η επόμενη γενεά των διαστημικών οχημάτων GPS. Οι Block IIF παρέχουν όλες τις δυνατότητες όπως και οι προηγούμενοι με μερικά πρόσθετα οφέλη (όπως επιπρόσθετα εκπεμπόμενα σήματα). Οι βελτιώσεις περιλαμβάνουν: μια εκτεταμένη διάρκεια ζωής 12 ετών, γρηγορότερους επεξεργαστές με περισσότερη μνήμη, και ένα νέο πολιτικό σήμα σε μια τρίτη συχνότητα (L5). Ο πρώτος δορυφόρος Block IIF σχεδιάζεται να εκτοξευτεί στο εγγύς μέλλον.

Οι τέταρτης γενεάς δορυφόροι, Block IIF, είναι υπό ανάπτυξη. Αυτά τα διαστημικά σκάφη θα έχουν πολλές βελτιώσεις σε σχέση με τους προκατόχους τους, που περιλαμβάνουν: βελτιωμένη αξιοπιστία, περισσότερη δύναμη, και ένα τρίτο πολιτικό σήμα ικανό στις απαιτήσεις SoL για την πολιτική αεροπορία. Αυτοί οι νέοι δορυφόροι θα μεταδώσουν ραδιοφωνικά δύο νέα πολιτικά σήματα: ένα το οποίο εισήχθη το 2003 και το άλλο το 2007. Τα προστιθέμενα σήματα θα αυξήσουν την ευρωστία της δημόσιας υπηρεσίας και θα βελτιώσουν την ακρίβεια σε 3-5 μέτρα.

**Summary of satellites**

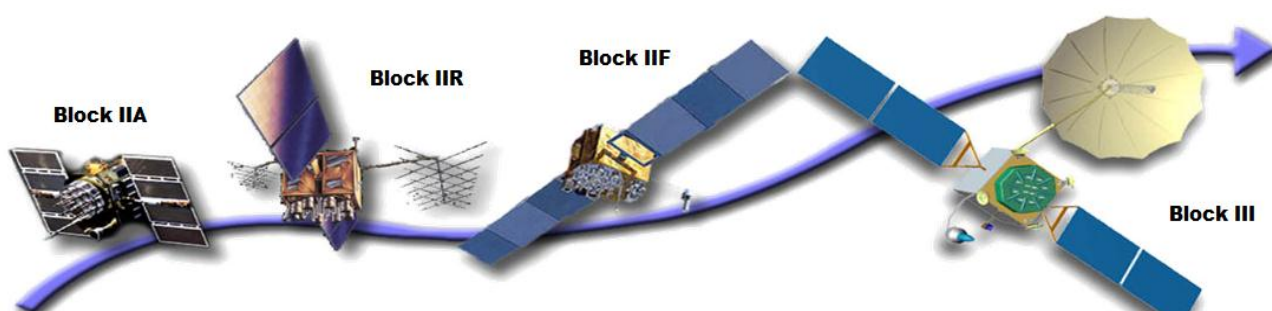
Block	Launch Period	Satellite launches				Currently in orbit and healthy
		Suc-cess	Fail-ure	In prep-eration	Plan-ned	
I	1978–1985	10	1	0	0	0
II	1989–1990	9	0	0	0	0
IIA	1990–1997	19	0	0	0	10 of the 19 launched
IIR	1997–2004	12	1	0	0	12 of the 13 launched
IIR-M	2005–2009	8	0	0	0	7 of the 8 launched
IIF	2010–2011	1	0	11	0	0 of the 1 launched
IIIA	2014–?	0	0	0	12	0
IIIB		0	0	0	8	0
IIIC		0	0	0	16	0
<b>Total</b>		<b>59</b>	<b>2</b>	<b>11</b>	<b>36</b>	<b>29</b>

Εικόνα 9 : Οι Δορυφόροι Block

(Πηγή: [http://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_Positioning\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System))



Η επόμενη γενιά αποτελείται από τους δορυφόρους GPS III, οι οποίοι θα περιλάβουν όλες τις δυνατότητες των προηγούμενων δορυφόρων, συν την προσθήκη του μεγάλης ισχύος, στρατιωτικού κώδικα χωρίς παράσιτα μαζί με άλλη ακρίβεια, αξιοπιστία, και άλλες βελτιώσεις ακεραιότητας στοιχείων. Οι νέες προδιαγραφές αποσκοπούν στη δημιουργία δορυφορικού συστήματος πλοήγησης επόμενης γενιάς, GPS III, ικανό των στρατιωτικών και πολιτικών αναγκών για το 2030. Αυτή η ανθεκτική στις παρεμβολές παρασίτων, εκσυγχρονισμένη έκδοση του συστήματος GPS θα αναπτυχθεί για να εξασφαλίσει στις ΗΠΑ την ακριβέστερη και την πιο ασφαλή ικανότητα προσδιορισμού θέσης, πλοήγησης και συγχρονισμού.



Εικόνα 10: Απεικόνιση Δορυφόρων GPS

(Πηγή: “GPS Status and Modernization”, Harold Martin)

### **Κώδικες**

Οι δύο συχνότητες L1 και L2 που χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα μεταφέρουν τον κώδικα P (Precision), τον κώδικα C/A και τον κώδικα D (Data code). Ο κώδικας P είναι ένας ψευδοτυχαίος κώδικας ο οποίος αρχίζει να μεταδίδεται στην αρχή κάθε βδομάδας GPS (μεσάνυχτα Σαββάτου προς Κυριακή) ενώ σε κάθε δορυφόρο αντιστοιχεί ένα μοναδικό τμήμα αυτού του κώδικα. Ο κώδικας C/A βασίζεται σε παρόμοιους αλγορίθμους και επαναλαμβάνεται κάθε 1 msec. Οι κώδικες P και C/A χρησιμοποιούνται για την χρονομέτρηση της διάδοσης του σήματος από τους δορυφόρους προς την εκάστοτε κεραία του δέκτη ενός χρήστη. Ο κώδικας D περιέχει το λεγόμενο μήνυμα πλοήγησης του δορυφόρου (άλλα και των άλλων δορυφόρων στο σχηματισμό) με τα απαραίτητα τροχιακά στοιχεία που επιτρέπουν τον υπολογισμό της θέσης του δορυφόρου στην τροχιά του. Επιπλέον, το εν λόγω εκπεμπόμενο από τους δορυφόρους μήνυμα περιλαμβάνει πληροφορίες για την κατάσταση καλής λειτουργίας του δορυφόρου, πληροφορία χρόνου, τις διορθωτικές παραμέτρους των χρονομέτρων, και τις διορθώσεις για την καθυστέρηση της διάδοσης του σήματος λόγω ιονόσφαιρας.

### **Military (M-code)**

Ένα σημαντικό συστατικό της διαδικασίας εκσυγχρονισμού, είναι ένα νέο στρατιωτικό σήμα αποκαλούμενο M-κώδικας (M-code) που σχεδιάστηκε για να βελτιώσει περαιτέρω την αποσυμφορητική και ασφαλή πρόσβαση των στρατιωτικών

σημάτων GPS. Ο M-code διαβιβάζεται στις ίδιες L1 και L2 συχνότητες που χρησιμοποιούνταν ήδη από τον προηγούμενο στρατιωτικό κώδικα, το κώδικα P(Y). Το νέο σήμα διαμορφώνεται για να τοποθετήσει το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειάς του στις άκρες της κυματομορφής του ραδιοσήματος (μακριά από τα υπάρχοντα P(Y) και C/A).

Αντίθετα από τον κώδικα P(Y), ο M-κώδικας έχει ως σκοπό να είναι αυτόνομος, που σημαίνει ότι οι χρήστες μπορούν να υπολογίσουν τις θέσεις τους χρησιμοποιώντας μόνο το σήμα M-code. Οι δέκτες κώδικα P(Y) πρέπει να βρουν το κώδικα C/A και έπειτα να μεταφερθούν στον P(Y) κώδικα.

Ενώ το σήμα του M-κώδικα είναι διαθέσιμο στους δορυφόρους Block IIR-M, οι κεραιές δεν θα είναι διαθέσιμες έως ότου αναπτυχθούν οι δορυφόροι Block III, δοκιμαστικά το 2013.

Άλλα χαρακτηριστικά του M-κώδικα είναι:

- Οι δορυφόροι θα διαβιβάζουν δύο ευδιάκριτα σήματα από δύο ξεχωριστές κεραιές: ένας για ολόκληρη τη γήινη κάλυψη και ένας σε τοπική ακτίνα.
- Καταλαμβάνει 24 MHz του εύρους ζώνης
- Θα χρησιμοποιεί ένα νέο μήνυμα πλοήγησης MNAV
- Υπάρχουν τέσσερα αποτελεσματικά κανάλια δεδομένων: τα διαφορετικά δεδομένα μπορούν να σταλούν σε κάθε συχνότητα και σε κάθε κεραία.
- Μπορεί να περιλάβει την ανίχνευση σφάλματος.

### ***Βελτιώσεις Ακρίβειας και Αυξήσεις Απόδοσης Συστήματος GPS***

#### ***Βελτιώσεις ακρίβειας***

Η αμερικανική κυβέρνηση συνεχίζει να βελτιώνει το τμήμα διαστήματος και τα επίγεια τμήματα GPS για να αυξηθεί η απόδοση και η ακρίβεια. Δεδομένου ότι ο δορυφορικός σχηματισμός έχει εποικηθεί με τους δορυφόρους Block IIR και IIR-M, η ακρίβεια προσδιορισμού θέσης έχει βελτιωθεί βαθμιαία. Το 2005, έξι νέοι σταθμοί ελέγχου ενσωματώθηκαν στο επίγειο τμήμα που παρέχει το μεγαλύτερη ορατότητα του σχηματισμού. Οι δορυφόροι Block III θα βελτιώσουν περαιτέρω την ακρίβεια του συστήματος με τη μείωση του χρόνου της μετάδοσης του μηνύματος πλοήγησης και πληροφοριών χρονομέτρων στους χρήστες.

#### **SA**

Το πρώτο βήμα στο πρόγραμμα εκσυγχρονισμού του GPS έγινε τον Μάιο του 2000, όταν ο Πρόεδρος των ΗΠΑ και το Υπουργείο Άμυνας αποφάσισαν τη λήξη της επιλεκτικής διαθεσιμότητας (SA: Selective Availability). Η SA ήταν μια σκόπιμη υποβάθμιση της πολιτικής ακρίβειας του συστήματος GPS που εφαρμόστηκε σε παγκόσμια βάση από τους δορυφόρους GPS. Πριν από την απενεργοποίησή της, η ακρίβεια για πολιτικούς σκοπούς υποβιβάζονταν στα 100 μέτρα για την οριζόντια θέση και στα 156 στο γεωμετρικό υψόμετρο. Αφότου σταμάτησε η χρήση της, η

πολιτική ακρίβεια του GPS βελτιώθηκε αμέσως κατά μία τάξη μεγέθους και ωφέλησε τους αστικούς και εμπορικούς χρήστες παγκοσμίως.

Τον Σεπτέμβριο του 2007, η κυβέρνηση των ΗΠΑ ανήγγειλε την απόφασή της η μελλοντική γενεά των δορυφόρων GPS (GPSIII) να μην έχουν τη δυνατότητα επανενεργοποίησης της επιλεκτικής διαθεσιμότητας. Αυτό κατέστησε την πολιτική απόφαση του 2000 μόνιμη.

Η ουσιαστική βελτίωση στην αυτόνομη ακρίβεια GPS στους πολιτικούς χρήστες έχει γίνει προφανής. Ακόμη και κατά την διάρκεια των ηλιακών μέγιστων επιδράσεων από την ιονόσφαιρα (το 2000-2001), η απόδοση των δεκτών είναι τώρα χαρακτηριστικά στο επίπεδο των 5-10 μέτρων. Η αφαίρεση SA που συνδυάζεται με τη διαθεσιμότητα μιας δεύτερης (και τρίτης) συχνότητας σημάτων πολιτικής χρήσης μπορεί να βελτιώσει την οριζόντια ακρίβεια GPS στα 1-3 μέτρα (σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%). Η αφαίρεση SA ασκεί επίσης ουσιαστική επίδραση στη μείωση της αναγκαιότητας διαφορικού εντοπισμού DGPS (Differential GPS) λόγω της μειωμένης ανάγκης για τις συχνές διορθώσεις που ήταν απαραίτητες για να ανταπεξέλθουν οι χρήστες στις αρνητικές επιπτώσεις της SA.

### ***Ιονοσφαιρικό σφάλμα***

Η ιονοσφαιρική διασπορά στα σήματα GPS προκαλεί το μεγαλύτερο μέρος του εναπομείναντος σφάλματος των δεκτών. Αυτά τα αποτελέσματα καθυστέρησης ποικίλλουν αρκετά ανάλογα με τις τυχαίες επιδράσεις, το χρόνο της ημέρας, την εποχή του έτους και την κατάσταση δραστηριότητας του ηλιακού κύκλου (ηλιακές κηλίδες) περιόδου 11 ετών.

Τα ιονοσφαιρικά σφάλματα καθυστέρησης μπορούν να εξαλειφθούν αποτελεσματικά με τη χρησιμοποίηση της ιονοσφαιρικής τεχνικής διορθώσεων χρησιμοποιώντας δύο συχνότητες που ο αμερικανικός στρατός και οι χρήστες γεωδαιτικών εφαρμογών χρησιμοποιούν σήμερα. Για αυτόν τον λόγο, υπάρχει ενδιαφέρον εδώ και πολλά χρόνια για μια δεύτερη συχνότητα που θα χρησιμοποιείται από τους πολιτικούς χρήστες GPS. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η συμφωνία έχει επιτευχθεί για να ενσωματώσει ένα δεύτερο πολιτικής χρήσης σήμα (L2) και ένα τρίτο επίσης πολιτικής χρήσης σήμα (L5, στη ζώνη ARNS σε 1176.45 MHz) στο μελλοντικό διαστημικό σκάφος Block IIF. Οι άριστες ικανότητες αυτών των σημάτων για την ιονοσφαιρική διόρθωση μπορούν να βελτιώσουν την ακρίβεια των δεκτών πολιτικής χρήσης για τους αυτόνομους χρήστες GPS στο επίπεδο των 1-3 μέτρων, ή και καλύτερα.

Δυστυχώς, το τρέχον πρόγραμμα για την επέκταση αρκετών διαστημικών σκαφών Block IIF (περίπου 18 απαιτούνται) για να επιτρέψει τη σίγουρη πρόσβαση στα L5 σήματα είναι μακριά κατά μια δεκαετία, δεδομένου ότι οι εν ενεργεία δορυφόροι των παλαιότερων γενεών συνεχίζουν να λειτουργούν ξεπερνώντας το προδιαγεγραμμένο χρόνο ζωής τους. Μια λογική εκτίμηση για την ημερομηνία στην

οποία θα υπάρχει η πλήρης λειτουργική υποδοχή των L5 σημάτων θα ήταν περίπου το 2015, ανάλογα με τη διάρκεια ζωής των διαστημικών σκαφών IIA, IIR και IIF.

Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται οι ακρίβειες του συστήματος GPS χωρίς την επιλεκτική διαθεσιμότητα. Οι στήλες αναγράφουν τους παράγοντες που επηρεάζουν το σφάλμα με και χωρίς τα νέα σήματα. Όπως παρατηρείται, η μείωση στο ιονοσφαιρικό σφάλμα είναι σημαντική.

Error Source	Typical Range Error Magnitude (meters, 1σ)	
	Without SA	Without SA plus 2 or more coded signals
Selective Availability	0.0	0.0
Atmospheric Error		
Ionospheric	7.0	0.01
Tropospheric	0.2	0.2
Clock and Ephemeris Error	2.3	2.3
Receiver Noise	0.6	0.6
Multipath	1.5	1.5
Total User Equivalent Range Error (UERE)	7.5	2.8
Typical Horizontal DOP (HDOP)	1.5	1.5
Total Stand-Alone Horizontal Accuracy, 95%	22.5	8.5

Πίνακας 3 : Ακρίβειες GPS

(Πηγή: Shaw, GNSS 2000)

### **Διαθεσιμότητα σημάτων**

Ο αρχικός σχεδιασμένος σχηματισμός GPS 24 δορυφόρων καθιερώθηκε για τις στρατιωτικές εφαρμογές. Οι περισσότεροι παρατηρητές μελετούν τη διαθεσιμότητα των σημάτων δορυφόρων για μερικές πολιτικές εφαρμογές, ειδικά εκείνες σχετικά με τις εφαρμογές που σχετίζονται με την ασφάλεια ζωής SoL. Επίσης, στους όρους περιορισμένης ορατότητας, όπως η κατάσταση "αστικών φαραγγιών" ("urban canyons") όπου ένας δέκτης GPS περιβάλλεται από ψηλά κτήρια από κάθε πλευρά, ο αριθμός των ορατών δορυφόρων μπορεί να μειωθεί ουσιαστικά. Κατά περιόδους, αυτό οδηγεί σε έναν ανεπαρκή αριθμό σημάτων για να παρέχει μια λύση πλοήγησης. Για αυτούς και άλλους λόγους, έχει υπάρξει ενδιαφέρον για την αύξηση του σχηματισμού GPS, ενδεχομένως κατά 6 έως 12 δορυφόρους, για να παρέχονται συνολικά 30 έως 36 λειτουργικοί δορυφόροι.

### ***Βελτίωση Γεωμετρίας***

Τον Ιούνιο του 2011 ο δορυφορικός σχηματισμός GPS αναμένεται να φτάσει στη ευνοϊκότερη γεωμετρία στην 33χρονη ιστορία του συστήματος. Αυτό συνεπάγεται πιο δυνατά σήματα, περισσότερη ακρίβεια και αξιοπιστία σε απαιτητικά περιβάλλοντα μετρήσεων. Η επανομαζόμενη επιχείρηση “Επέκταση 24” (Expandable-24) χωρίζεται σε δύο φάσεις και έχει στόχο τη μετακίνηση έξι εν λειτουργία δορυφόρων σε πιο ευνοϊκές θέσεις στα τροχιακά επίπεδα του δορυφορικού σχηματισμού.

Η πρώτη φάση ξεκίνησε τον Ιανουάριο 2010 με τη μετακίνηση τριών δορυφόρων: SVN 24, SVN26 και SVN 49. Ένας από αυτούς χρειάστηκε 351 μέρες μπει σε σωστή θέση. Τον Ιανουάριο 2011 ο τρίτος δορυφόρος ολοκλήρωσε τη μετακίνηση του.

Το τρέχων σύστημα έχει έξι περισσότερους δορυφόρους από ότι προέβλεπε ο αρχικός σχεδιασμός (24 δορυφόροι). Είναι αναγκαία η λειτουργικότητα του συστήματος κατά 95% του χρόνου. Πριν από την επιχείρηση επέκτασης η γεωμετρία του δορυφορικού σχηματισμού δεν μεγιστοποιούσε τη χρήση των επιπλέον δορυφόρων.

Η δεύτερη φάση επέκτασης ξεκίνησε τον Αύγουστο 2010 και αναμένεται να ολοκληρωθεί τον Ιούνιο του 2011, όπου άλλοι τρεις δορυφόροι θα μετακινηθούν στις καινούργιες τους θέσεις. (Πηγή: <http://www.insidegnss.com/node/2466>)

### 1.3. GALILEO

Το Galileo είναι το ευρωπαϊκό σύστημα GNSS και είναι το πρώτο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού θέσης και πλοήγησης που σχεδιάστηκε για πολιτική χρήση. Δρομολογήθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και αναπτύχθηκε αποκλείστηκε από την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (ESA) με στόχο να προσφέρει στην Ευρωπαϊκή Ένωση τεχνολογική ανεξαρτησία από το αμερικανικό σύστημα GPS και το ρωσικό GLONASS. Ορισμένα προβλήματα των δυο συστημάτων, κυρίως του στρατιωτικού χαρακτήρα και τυχόν επανάληψης πάλι στο μέλλον σκόπιμων υποβαθμίσεων του τύπου της επιλεκτικής διαθεσιμότητας και της «αντί-εξαπάτησης» για το GPS, καθώς και των αδυναμιών του GLONASS κυρίως επειδή δεν είναι μέχρι σήμερα πλήρως επιχειρησιακό, ενέτειναν την ανάγκη ανάπτυξης ενός νέου συστήματος παγκόσμιας κάλυψης. Το νέο ευρωπαϊκό σύστημα Galileo φιλοδοξεί να ξεπεράσει τα υπάρχοντα με καλύτερες επιδόσεις, ασφάλεια και μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών. Η ονομασία του δόθηκε προς τιμήν του Ιταλού επιστήμονα του 17<sup>ου</sup> αιώνα Galileo Galilei (1564-1642) για τα επιτεύγματά του και τις ανακαλύψεις του.

#### 1.3.1. Στόχοι

Το πρόγραμμα Galileo δημιουργήθηκε με αρχικούς στόχους:

- Να δοθεί ώθηση στη τεχνολογική βιομηχανία και στον τομέα των υπηρεσιών στην Ευρώπη και να διασφαλιστεί η ανεξαρτησία της Ευρώπης από το σύστημα GPS.
- Να αναπτυχθούν εφαρμογές και υπηρεσίες που χρησιμοποιούν δορυφόρους για τον εντοπισμό θέσης, την πλοήγηση και την ακριβή μέτρηση του χρόνου.
- Να αναδείξει την ικανότητα της Ευρώπης να παρέχει ασφαλή, οικονομικά και αποτελεσματικά συστήματα εντοπισμού θέσης, συγχρονισμού και πλοήγησης.
- Να επεκτείνει τη χρήση των τεχνολογιών δορυφορικής πλοήγησης.
- Να καλύψει το κενό που αφήνουν τα άλλα δύο υπάρχοντα συστήματα πλοήγησης (GPS και Glonass).

#### 1.3.2. Χρονοδιάγραμμα Galileo

Το πρόγραμμα Galileo υλοποιείται σε τέσσερις φάσεις (Εικόνα 11):

##### 1) Καθορισμός του συστήματος (Definition Phase:1999 – 2005)

Στη φάση αυτή, η οποία έχει ολοκληρωθεί, πραγματοποιήθηκε

- ο προσδιορισμός των απαιτήσεων του συστήματος, και
- η επαλήθευση του βασικού σχεδιασμού του προγράμματος.

## 2) Ανάπτυξη και επικύρωση του συστήματος (In-Orbit Validation: 2005 – 2010)

Αυτή η φάση στοχεύει στην λειτουργική επιβεβαίωση της τροχιάς των δορυφόρων του συστήματος χρησιμοποιώντας έναν μερικό σχηματισμό τεσσάρων δορυφόρων (που είναι ο ελάχιστος αριθμός, για τον οποίο εγγυάται η παροχή ακρίβειας στον προσδιορισμού θέσης και χρόνου για τις περιοχές δοκιμής) σε συνδυασμό με διάφορους σχετικούς επίγειους σταθμούς.

Μέρος της φάσης επικύρωσης της τροχιάς των δορυφόρων του προγράμματος αποτελούν οι δύο δοκιμαστικοί δορυφόροι του ευρωπαϊκού συστήματος πλοήγησης Galileo, ο GIOVE-A και ο GIOVE-B (Galileo In-Orbit Validation Element – A και – B).

## 3) Εγκατάσταση του συστήματος (Deployment Phase: 2009 – 2013)

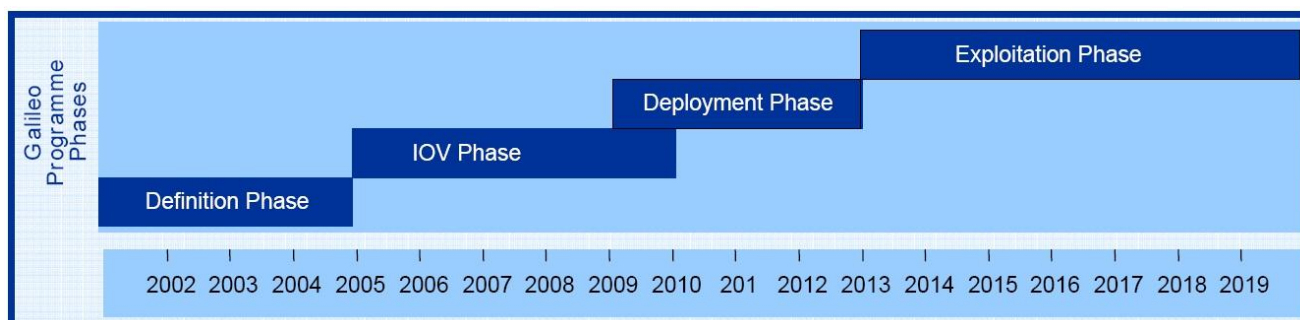
Περιλαμβάνει:

- την κατασκευή
- την εκτόξευση 26 δορυφόρων
- και την πλήρη συγκρότηση του επίγειου τμήματος των σταθμών παρακολούθησης και κέντρων ελέγχου

## 4) Εμπορική εκμετάλλευση (Exploitation Phase: από το 2013)

Περιλαμβάνει:

- την εμπορική εκμετάλλευση του συστήματος
- την ανανέωση των δορυφόρων
- τη λειτουργία των Κέντρων Ελέγχου και τη συντήρησή τους.



Εικόνα 11 : Χρονοδιάγραμμα Galileo

(Πηγή: <http://www.oosa.unvienna.org/pdf/icg/2008/expert/2-2.pdf>)

### 1.3.3. Συστήματα Αναφοράς

Το σύστημα Galileo θα έχει το δικό του σύστημα ελέγχου και το δικό του πλαίσιο αναφοράς GTRF (Galileo Terrestrial Reference Frame) το οποίο θα είναι μια υλοποίηση του συστήματος ITRS (International Terrestrial Reference System) της IERS (International Earth Rotation Service). Η διαφορά από το WGS84 (World Geodetic System) και τα άλλα ITRF πλαίσια (International Terrestrial Reference Frame) θα είναι της τάξης των λίγων εκατοστών του μέτρου, πρακτικά αμελητέα για

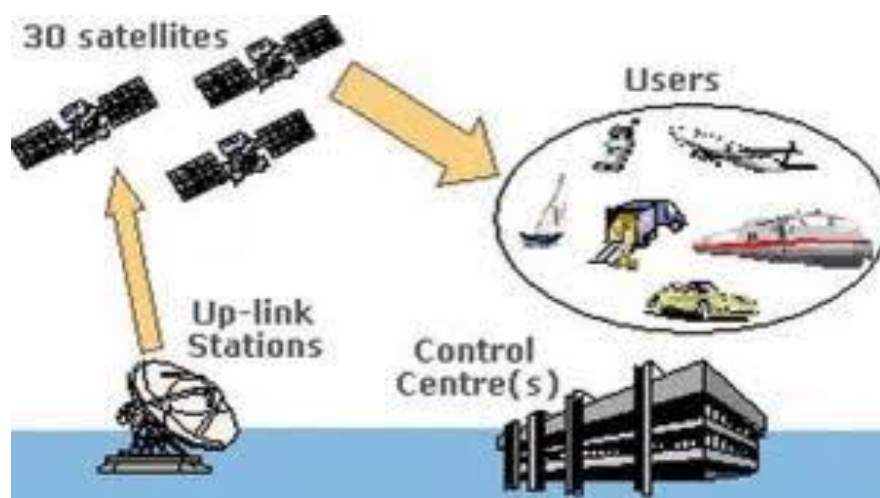
τις μαζικές εφαρμογές πλοήγησης. Το GTRF είναι προσανατολισμένο με το ITRF σε επίπεδο θέσης  $\pm 3$  cm ( $2\sigma$ ) για λόγους διαλειτουργικότητας.

Ακόμα, η χρονική κλίμακα του GALILEO (GALILEO Time System-GTS), όπως και η χρονική κλίμακα GPS (GPS Time System), θα έχουν σαν αναφορά τον διεθνή ατομικό χρόνο, και η μεταξύ τους απόκλιση προβλέπεται να είναι μικρότερη από περίπου 50 nanoseconds. Οι τιμές από οποιοσδήποτε διαφορές επιβάλλεται να τίθενται στην διάθεση των χρηστών.

### 1.3.4.Τμήματα Συστήματος

Το σύστημα Galileo αποτελείται από τρία επιμέρους τμήματα, όπως ακριβώς και το GPS (Εικόνα 12). Αυτά είναι:

- 1) Το δορυφορικό τμήμα (Space Segment)
- 2) Το τμήμα ελέγχου (Ground Segment)
- 3) Το τμήμα χρηστών (User Segment)



Εικόνα 12 : Τα Τμήματα Galileo

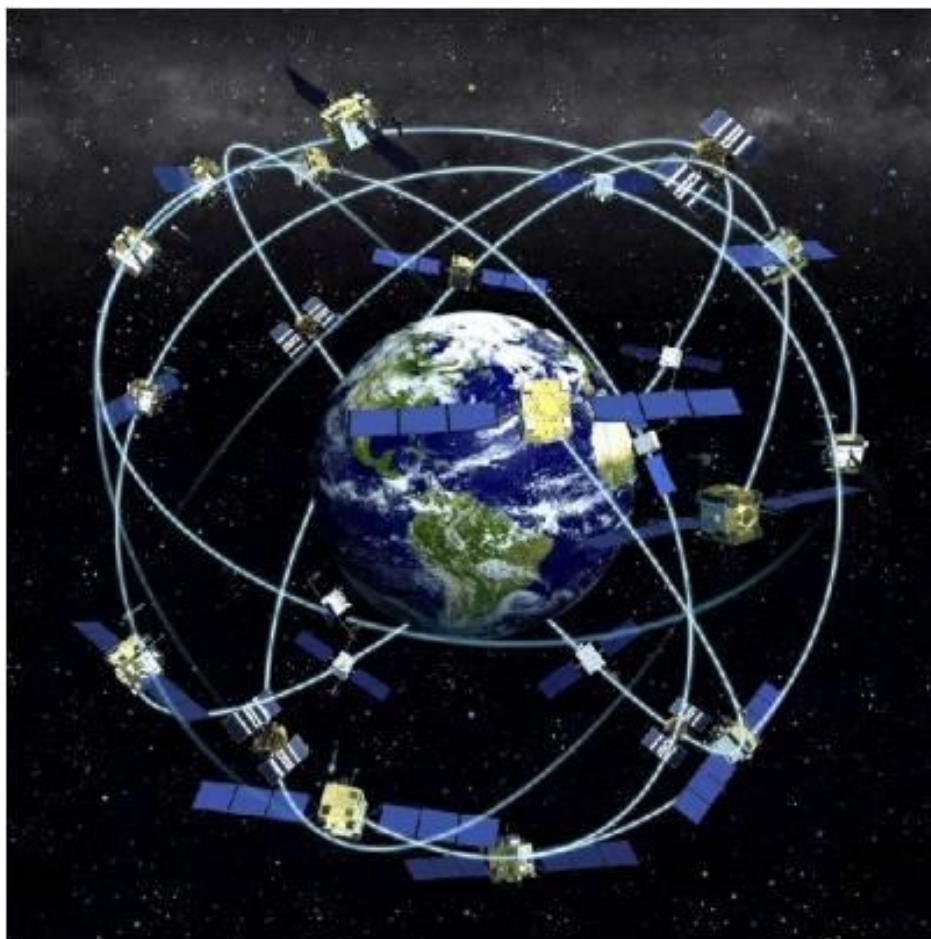
(Πηγή: <http://www.mobilecomms-technology.com/projects/galileo/galileo4.html>)

#### ***Το δορυφορικό τμήμα***

Το ευρωπαϊκό σύστημα Galileo αποτελείται συνολικά από 30 δορυφόρους (27 + 3 εφεδρικούς) τοποθετημένους σε 3 τροχιακά επίπεδα σε μέση γήινη τροχιά (MEO Medium Earth Orbit) με γωνία κλίσης  $56^\circ$  σε σχέση με τον ισημερινό και περίοδο περιστροφής 14 ώρες και 4 λεπτά (Εικόνα 13). Κάθε τροχιακό επίπεδο περιέχει 10 δορυφόρους (9 επιχειρησιακοί και ένας ενεργός εφεδρικός) που απέχουν το ίδιο διάστημα  $36^\circ$  μεταξύ τους. Ο εφεδρικός δορυφόρος εξασφαλίζει ότι σε περίπτωση βλάβης ο δορυφορικός σχηματισμός μπορεί να αναπληρωθεί γρήγορα με άμεση κίνηση του εφεδρικού για την αντικατάσταση του προβληματικού δορυφόρου. Αυτό είναι θέμα ημερών, σε αντίθεση με μια νέα εκτόξευση δορυφόρου, που θα μπορούσε να χρειαστεί πολλούς μήνες. Επιπλέον, η διαθεσιμότητα των τριών ενεργών εφεδρικών δορυφόρων, θα εξασφαλίσει το ότι η απώλεια ενός δορυφόρου δεν θα έχει



καμία ευδιάκριτη επίδραση στο χρήστη. Το ύψος των δορυφόρων θα είναι 23222 km που συνεπάγεται την επανάληψη του δορυφορικού σχηματισμού κάθε περίπου 10 ημέρες, κατά την διάρκεια των οποίων κάθε δορυφόρος θα ολοκληρώνει 17 περιστροφές. Κάθε δορυφόρος θα είναι εφοδιασμένος με δυο πολύ μεγάλης ακρίβειας ατομικά χρονόμετρα ρουβιδίου και 2 ατομικά χρονόμετρα υδρογόνου, που θα επιτρέπουν τον εντοπισμό θέσης κάθε κινούμενου ή ακίνητου αντικειμένου με ακρίβεια μέτρου. Η σταθερότητα των χρονομέτρων ρουβιδίου είναι τόσο καλή που θα έχαναν μόνο 3 δευτερόλεπτα σε 1 εκατομμύριο έτη, ενώ το μείζερ υδρογόνου είναι ακόμα πιο σταθερό και θα έχανε μόνο 1 το δεύτερο σε 3 εκατομμύριο έτη. Η μέση διάρκεια ζωής των δορυφόρων του Galileo θα είναι περίπου 12 έτη, ενώ οι συσσωρευτές τους θα παρέχουν ενέργεια περίπου 1500 W.



Εικόνα 13 : Δορυφορικός Σχηματισμός Galileo

(Πηγή : [http://www.raes.org.uk/cmspage.asp?cmsitemid=SG\\_Space\\_HotTopics](http://www.raes.org.uk/cmspage.asp?cmsitemid=SG_Space_HotTopics))

Οι αρμόδιοι σχεδιαστές και μηχανικοί της ESA μελέτησαν διεξοδικά τις εναλλακτικές σχεδιαστικές λύσεις του δορυφορικού σχηματισμού του Galileo με στόχο την βελτιστοποίησή του. Οι τροχιές των δορυφόρων, η κλίση και ο αριθμός τους είναι τέτοιος, ώστε να καλύπτεται σε μόνιμη βάση το σύνολο της υδρογείου. Με 30 δορυφόρους σε ένα τέτοιο ύψος, είναι πολύ μεγάλη η πιθανότητα (περισσότερο από 90%) για οποιονδήποτε δέκτη οπουδήποτε στον κόσμο να βρίσκεται πάντα στη

θέα τουλάχιστον τεσσάρων δορυφόρων και ως εκ τούτου να είναι σε θέση να προσδιορίσει τη θέση του.

Από τις περισσότερες θέσεις, έξι έως οκτώ δορυφόροι θα είναι πάντα ορατοί, επιτρέποντας τον εντοπισμό θέσης με πολύ καλή ακρίβεια. Ακόμη και για τα πυκνοκατοικημένα αστικά κέντρα με τα ψηλά κτίρια και τα πολλά εμπόδια ο δορυφορικός σχηματισμός έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να παρέχει τη μέγιστη δυνατή διαθεσιμότητα.

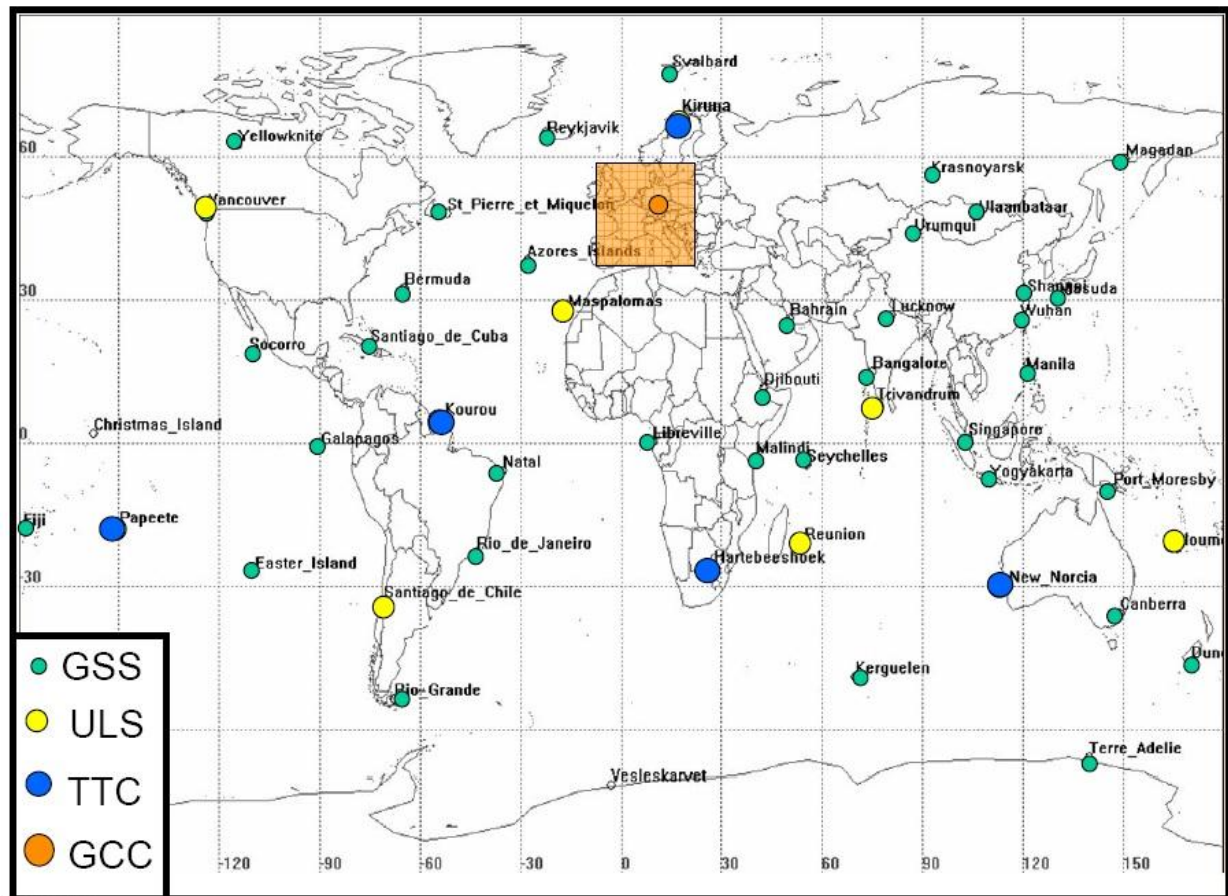
### ***Το τμήμα ελέγχου***

Ένα παγκόσμιο δίκτυο επίγειων σταθμών, αποτελούμενο από σταθμούς παρακολούθησης, κέντρα ελέγχου και σταθμούς τηλεπικοινωνιών up-link θα υποστηρίζει τη λειτουργία του δορυφορικού τμήματος (Εικόνα 14).

Είκοσι επίγειοι σταθμοί παρακολούθησης θα ελέγχουν αδιάλειπτα τους δορυφόρους Galileo και θα διαχειρίζονται με συνέπεια τα εκπεμπόμενα από αυτούς μηνύματα πλοήγησης. Στη συνέχεια, οι σταθμοί αυτοί (GSSs – Galileo Sensor Stations) θα μεταβιβάζουν τα δεδομένα των δορυφόρων στα δυο κέντρα ελέγχου (GCCs – Galileo Control Centers), για περαιτέρω επεξεργασία. Το πρώτο κέντρο ετοιμάστηκε κοντά στο Μόναχο της Γερμανίας, και άρχισε τη λειτουργία του από το 2008. Εκεί βρίσκεται ήδη το διαστημικό επιχειρησιακό κέντρο της Γερμανίας (German Space Operations Centre, GSOS), με εμπειρία 40 χρόνων στις διαστημικές επιχειρήσεις. Ενώ το δεύτερο GCC θα δημιουργηθεί στο Fucino της Ιταλίας, 130 χλμ. ανατολικά της Ρώμης. Εκεί, με χρήση προηγμένου λογισμικού θα υπολογίζονται τα στοιχεία των δορυφορικών τροχιών και άλλες χρήσιμες ποσότητες, όπως οι παράμετροι διόρθωσης του δορυφορικού χρόνου. Τα δεδομένα αυτά θα μεταβιβάζονται στους δορυφόρους κάθε 2 ώρες μέσω των κεραιών τηλεπικοινωνίας και θα αναμεταδίδονται στη συνέχεια από τους δορυφόρους στο τμήμα των χρηστών, δηλαδή στους δέκτες, οι οποίοι θα τα χρησιμοποιούν στους αλγόριθμους υπολογισμού της θέσης τους. Η τόσο συχνή ενημέρωση μηνύματος πλοήγησης θα συμβάλλει στην επίτευξη υψηλής ακρίβειας εντοπισμού θέσης, γεγονός που αποτελεί σημαντική απαίτηση του συστήματος Galileo. Τα κέντρα ελέγχου θα υπολογίζουν, επίσης, τα στοιχεία ακεραιότητας, τα οποία θα μεταβιβάζονται στους δορυφόρους ακόμη πιο συχνά από εκείνα των τροχιών και του χρόνου. Σε περίπτωση συναγερμού, π.χ. λόγω δυσλειτουργίας των σημάτων, το σύστημα θα είναι σε θέση να ειδοποιεί τους χρήστες με καθυστέρηση μόλις 6 – 10 δευτερολέπτων.

Η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των σταθμών παρακολούθησης και των δορυφόρων θα πραγματοποιείται μέσω τηλεπικοινωνιακών σταθμών up-link (ULS: Up-Link Stations). Για τον σκοπό αυτό θα εγκατασταθούν σε όλη την έκταση της υδρογείου 15 τέτοιοι σταθμοί, εκ των οποίων οι 5 θα μεταδίδουν στην ζώνη S του φάσματος των ραδιοσυχνοτήτων, και οι 10 στην C, αντίστοιχα. Τα δεδομένα για την ακεραιότητα του συστήματος, που θα προσφέρουν τα κέντρα ελέγχου, θα είναι διαθέσιμα σε όλους τους χρήστες παγκοσμίως, καθώς αυτά βασίζονται σε μετρήσεις του δικτύου των σταθμών παρακολούθησης, το οποίο καλύπτει όλη τη γη. Εντούτοις,

θα δίνεται η δυνατότητα στους περιφερειακούς φορείς παροχής υπηρεσιών να αναπτύξουν στα δίκτυά τους δίκτυα σταθμών παρακολούθησης, για να υπολογίζουν την ακεραιότητα των σημάτων Galileo για την περιοχή τους. Αυτά τα ‘περιφερειακά’ στοιχεία ακεραιότητας θα μπορούν να τεθούν στην διάθεση των χρηστών μέσω των εξουσιοδοτημένων καναλιών ακεραιότητας uplink, που παρέχονται στους δορυφόρους Galileo. Εναλλακτικά, θα μπορούν επίσης να σταλούν στα κέντρα ελέγχου για να ενσωματωθούν με τα υπόλοιπα στοιχεία ακεραιότητας.



Εικόνα 14 : Οι Επίγειοι Σταθμοί Galileo

(Πηγή: “Galileo Control Center, Workshop “Time and Frequency Services with Galileo”, Paffgen W)

### ***Το τμήμα χρηστών***

Το Galileo είναι ένα πρόγραμμα, που βρίσκεται σε εξέλιξη. Ως εκ τούτου και όντας στη φάση ανάπτυξης των δορυφόρων, δεν υπάρχει ακόμη πλήρης εικόνα για τα στοιχεία των δεκτών και των συσκευών χρήσης του συστήματος. Είναι όμως γεγονός, πως το σύστημα Galileo πρόκειται να υιοθετήσει πολλές νέες μεθόδους και τεχνολογίες, προκειμένου να προσφέρει την καλύτερη δυνατή απόδοση και αξιοπιστία. Προς αυτήν την κατεύθυνση, έχουν ξεκινήσει και βρίσκονται υπό εξέλιξη τρεις δραστηριότητες ανάπτυξης δεκτών, που απευθύνονται στις διαφορετικές ανάγκες, οι οποίες προκύπτουν κατά τη διαδικασία ανάπτυξης του συστήματος.

Αυτές καλύπτουν τον τομέα των σημάτων και των υπηρεσιών που θα παρέχει το σύστημα αναπτύσσοντας τα εξής:

- Δοκιμαστικό τμήμα δεκτών, για την επικύρωση του συστήματος και την αναμετάδοση των σημάτων
- Δέκτες συμβατούς με τα σήματα που εκπέμπονται από τους πρώτους πειραματικούς δορυφόρους GIOVE
- Υψηλής απόδοσης και αξιοπιστίας δέκτες για τον εξοπλισμό των σταθμών παρακολούθησης του τμήματος ελέγχου

Οι δέκτες θα είναι παρόμοιοι με αυτούς που χρησιμοποιεί το GPS, αλλά θα χρησιμοποιούν νέες προηγμένες τεχνικές όσο αναφορά την ψηφιακή επεξεργασία των δορυφορικών σημάτων και θα παρέχουν ποικίλες πληροφορίες για τη συγκεκριμένη δομή του σήματος του Galileo. Οι δέκτες που συνδυάζουν σήματα GPS και Galileo θα είναι σχεδιασμένοι για τουλάχιστον 4 συχνότητες, E5a (L5), E5b, E6, E2-L1-E1.

### **1.3.5. Υπηρεσίες**

Το σύστημα Galileo θα παρέχει τις υπηρεσίες πλοήγησης, αναζήτησης και διάσωσης σε μια παγκόσμια βάση. Το 2011, με την ολοκλήρωση της εγκατάστασης των 4 αρχικών δορυφόρων της φάσης επικύρωσης τροχιάς θα αρχίσουν σταδιακά να παρέχονται οι υπηρεσίες του προγράμματος Galileo. Αυτό προσφέρει πέντε επίπεδα υπηρεσιών ελεύθερης ή περιορισμένης πρόσβασης, με μικρότερο βαθμό ακριβείας, με χρέωση ή χωρίς.

#### ***Υπηρεσία ανοικτής πρόσβασης (Open Services-OS):***

Η υπηρεσία ανοικτής πρόσβασης είναι αποτέλεσμα ενός συνδυασμού από ανοικτά σήματα, χωρίς χρέωση στον χρήστη, και παρέχει απόδοση προσδιορισμού θέσης και χρονισμού συγκρίσιμη με άλλα συστήματα GNSS. Όπως το GPS δηλαδή, το Galileo θα προσφέρει αυτή τη βασική υπηρεσία δωρεάν για όλους τους χρήστες. Προορίζεται επομένως ιδίως για τις εφαρμογές για το ευρύ κοινό και για τις υπηρεσίες γενικότερου ενδιαφέροντος, όπως συμβαίνει και με τις υπηρεσίες του GPS. Για την πρόσβαση σε αυτήν αρκεί ένας δέκτης ενώ δεν χρειάζεται καμία έγκριση. Θα παράσχει σήματα προσδιορισμού θέσης, σήματα πλοήγησης και σήματα χρόνου για όλον τον κόσμο με βάση σήματα που διαμορφώνονται πάνω σε δυο φέρουσες συχνότητες, και θα επιτρέψει στους φορείς παροχής υπηρεσιών να προσφέρουν μια σειρά υπηρεσιών που βασίζονται σε αυτό το σήμα, από το βασικό προσδιορισμό θέσης μέσω των κινητών τηλεφώνων έως πιο σύνθετες υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας που απαιτούν επίγεια υποδομή.

Οι χρήστες του Galileo θα αποκομίσουν επιπλέον όφελος από τη διαλειτουργικότητα και συμβατότητα του σήματος του συστήματος Galileo με αυτό του GPS καθώς ο εξοπλισμός των χρηστών έχει σχεδιαστεί με σκοπό να λαμβάνει σήματα Galileo και συγχρόνως σήματα GPS. Αυτό θα επιτρέψει στο δέκτη να υπολογίζει μια ακριβέστερη θέση σε σύγκριση με το αποτέλεσμα από καθένα από

αυτά τα συστήματα εάν λειτουργούσαν αυτόνομα ενώ θα εξασφαλίσει βελτιωμένη απόδοση σε δύσκολα περιβάλλοντα όπως οι αστικές περιοχές. Θα παρέχει επίσης ένα εναλλακτικό σήμα σε περίπτωση που κάποιο από αυτά τα συστήματα δεν θα είναι διαθέσιμο για οποιοδήποτε λόγο, ή εάν δεν υπάρχει καμία γραμμή οπτικής επαφής για κάποιο από αυτά τα δορυφορικά συστήματα.

Ειδικότερα τα σήματα OS θα μεταδίδονται σε δύο ζώνες συχνοτήτων, είτε μία εκ των E2-L1-E1 είτε αν απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί και μία εκ των E5a-E5b. Οι δέκτες θα επιτυγχάνουν σε πραγματικό χρόνο ακρίβεια μικρότερη από 4m οριζοντιογραφικά και από 8m υψομετρικά χρησιμοποιώντας και στις δύο αυτές συχνότητες. Σε δέκτες με χρήση μόνο της μιας ζώνης για εφαρμογές που απαιτούν μειωμένη ακρίβεια και πάλι αυτή θα είναι μικρότερη από 15m οριζοντιογραφικά και από 35m υψομετρικά, μεγέθη που είναι συγκρίσιμα με την ακρίβεια που προσφέρει η πολιτική υπηρεσία του GPS σήμερα. Η υπηρεσία μπορεί να συνδυαστεί και με το σύστημα GPS για βελτιστοποίηση της κάλυψης. Παρόλα αυτά η ανοικτή υπηρεσία δεν προσφέρει πληροφορίες ακεραιότητας και ο προσδιορισμός της ποιότητας των σημάτων επαφίεται στους χρήστες, με άλλα λόγια δεν θα υπάρχει εγγύηση των υπηρεσιών.

Στους πίνακες 4 και 5 περιγράφονται τα χαρακτηριστικά της ανοικτής υπηρεσίας, κάποια από τα οποία αναλύθηκαν παραπάνω.

		<b>Open Service (positioning)</b>	
<b>Type of Receiver</b>	<b>Carriers</b>	<i>Single Frequency</i>	<i>Dual-Frequency<sup>8</sup></i>
	<b>Computes Integrity</b>	<i>No<sup>9</sup></i>	
	<b>Ionospheric correction</b>	<i>Based on simple model</i>	<i>Based on dual-frequency measurements</i>
<b>Coverage</b>		<i>Global</i>	
<b>Accuracy (95%)<sup>10</sup></b>		<i>H: 15 m V: 35 m</i>	<i>H: 4 m V: 8m</i>
<b>Integrity</b>	<b>Alarm Limit</b>	<i>Not Applicable</i>	
	<b>Time-To-Alarm</b>		
	<b>Integrity risk</b>		
<b>Availability</b>		<i>99.8 %</i>	

Πίνακας 4 : Χαρακτηριστικά Θέσης Υπηρεσίας OS

(Πηγή: [ec.europa.eu/dgs/energy\\_transport/galileo/doc/galileo\\_hld\\_v3\\_23\\_09\\_02.pdf](http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/doc/galileo_hld_v3_23_09_02.pdf))

	<b>Open Service (timing)</b>
<b>Carriers</b>	<i>Three- Frequency</i>
<b>Coverage</b>	<i>Global</i>
<b>Timing Accuracy wrt UTC/TAI</b>	<i>30 nsec</i>
<b>Availability</b>	<i>99.8 %</i>

Πίνακας 5 : Χαρακτηριστικά Χρόνου Υπηρεσίας OS

(Πηγή: [ec.europa.eu/dgs/energy\\_transport/galileo/doc/galileo\\_hld\\_v3\\_23\\_09\\_02.pdf](http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/doc/galileo_hld_v3_23_09_02.pdf))

### ***Εμπορικές υπηρεσίες (Commercial Services-CS):***

Η εμπορική υπηρεσία παρέχει πρόσβαση σε τρεις ραδιοσυχνότητες (τις δύο της OS, και μία ακόμη συχνότητα την E6) τα οποία επιτρέπουν υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και δίνουν τη δυνατότητα στους χρήστες για βελτιωμένη ακρίβεια. Τα σήματα είναι κρυπτογραφημένα και η υπηρεσία θα διατίθεται έναντι χρέωσης. Προβλέπεται να παρέχεται εγγύηση για αυτές τις υπηρεσίες. Η υπηρεσία αυτή θα καταστήσει επομένως δυνατή την ανάπτυξη εφαρμογών για επαγγελματικούς σκοπούς και δεν πρέπει σε καμιά περίπτωση να υφίσταται διαταραχές.

Οι αναπτυσσόμενες εμπορικές εφαρμογές είτε με τη χρήση των εμπορικών σημάτων μόνο, είτε σε συνδυασμό με άλλα σήματα του Galileo ή άλλων συστημάτων επικοινωνιών, δημιουργούν ένα ευρύ πεδίο δυνατοτήτων ενώ η παγκόσμια κάλυψη είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα για εφαρμογές που απαιτούν παγκόσμια μετάδοση δεδομένων. Τυπικές υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας περιλαμβάνουν τις εγγυήσεις υπηρεσιών, ακριβείς υπηρεσίες συγχρονισμού, την πρόβλεψη των ιονοσφαιρικών μοντέλων καθυστέρησης, την διόρθωση τοπικών διαφορικών σημάτων για εξαιρετικής ακρίβειας προσδιορισμό θέσης και άλλες υπηρεσίες βασισμένες στη μετάδοση δεδομένων πληροφορίας του συστήματος. Συγκεκριμένα έναντι της εν λόγω πληρωμής η ακρίβεια που θα παρέχεται θα είναι καλύτερη από 1m ενώ σε συνδυασμό με επίγειους σταθμούς θα φτάνει σε λιγότερο από 10cm.

### ***Υπηρεσία ασφάλειας της ζωής (Safety of Life Service-SoL):***

Η υπηρεσία ασφάλειας ζωής (SoL: Safety of Life) προορίζεται για κρίσιμες υπηρεσίες ασφαλείας, όπως οι αστυνομικές αρχές, η πυροσβεστική, η αεροπλοΐα και άλλες υπηρεσίες που προϋποθέτουν άριστης ποιότητας σήμα στο πλαίσιο εξασφάλισης της ασφάλειας της ανθρώπινης ζωής. Η υπηρεσία αυτή βελτιώνει την απόδοση της ανοικτής υπηρεσίας μέσω της διάθεσης έγκαιρων προειδοποιήσεων στον χρήστη όταν αποτυγχάνει στην επίτευξη συγκεκριμένων αποκλίσεων ακρίβειας και προβλέπεται ότι για αυτή την υπηρεσία θα παρέχεται εγγύηση. Η SoL θα παράσχει επομένως μια σειρά από υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας μέσω διάφορων πρόσθετων σημάτων που μπορούν να κρυπτογραφούνται για να περιοριστεί η πρόσβαση μόνο στους χρήστες που πληρώνουν για αυτές. Αυτά τα πρόσθετα σήματα θα παρέχουν μεγάλη ακρίβεια, μεγάλη ακεραιότητα και ένα χρονικό διάστημα ειδοποίησης, ώστε οι χρήστες να μπορούν να γνωρίζουν μέσα σε μερικά δευτερόλεπτα εάν η λαμβανόμενη πληροφορία εντοπισμού θέσης έχει υποστεί φθορά. Τέτοια πρόσθετη λειτουργικότητα θα μπορούσε να διευκολύνει μια σειρά εφαρμογών στις οποίες είναι κρίσιμη η ασφάλεια (π.χ. εναέριος έλεγχος κυκλοφορίας) ή που απαιτούν πολύ μεγάλη ακρίβεια και ακεραιότητα για εμπορικούς λόγους.

Η υπηρεσία θα εκπέμπει σήματα στις δύο συχνότητες E5a και E5b για εφαρμογές ακριβείας, ενώ με πρόσθετη χρήση του σήματος E2-L1-E1 θα αντισταθμίζονται οι ιονοσφαιρικές διαταραχές. Για το κρίσιμο επίπεδο, το οποίο θα καλύπτει εφαρμογές κρίσιμου χρόνου, όπως αυτή της αεροπλοΐας, θα παρέχεται οριζοντιογραφική ακρίβεια της τάξης των 4m και υψομετρική της τάξης των 8m. Ενώ

για το μη κρίσιμο επίπεδο, το οποίο θα καλύπτει εφαρμογές λιγότερο κρίσιμες ως προς το χρόνο, όπως αυτή της πλοήγησης σε ανοιχτή θάλασσα, η ακρίβεια θα είναι της τάξης των 220 m (Πίνακας 6).

		<b>Safety-Of-Life Service</b>	
<b>Type of Receiver</b>	<b>Carriers</b>	<i>Three Frequencies<sup>12</sup></i>	
	<b>Computes Integrity</b>	<i>Yes</i>	
	<b>Ionospheric correction</b>	<i>Based on dual-frequency measurements</i>	
<b>Coverage</b>		<i>Global</i>	
		<b>Critical level</b>	<b>Non-critical level</b>
<b>Accuracy (95%)</b>		<i>H: 4 m V: 8 m</i>	<i>H: 220 m</i>
<b>Integrity</b>	<b>Alarm Limit</b>	<i>H: 12 V 20 m</i>	<i>H: 556 m</i>
	<b>Time-To-Alarm</b>	<i>6 seconds<sup>13</sup></i>	<i>10 seconds</i>
	<b>Integrity risk</b>	<i>3.5x10<sup>-7</sup> / 150 s</i>	<i>10<sup>-7</sup>/hour</i>
<b>Continuity Risk</b>		<i>10<sup>-5</sup>/15 s</i>	<i>10<sup>-4</sup>/hour – 10<sup>-8</sup>/hour</i>
<b>Certification/Liability</b>		<i>Yes</i>	
<b>Availability of integrity</b>		<i>99.5%</i>	
<b>Availability of accuracy</b>		<i>99.8 %</i>	

Πίνακας 6 : Χαρακτηριστικά Υπηρεσίας SoL

(Πηγή: ec.europa.eu/dgs/energy\_transport/galileo/doc/galileo\_hld\_v3\_23\_09\_02.pdf)

#### **Δημόσια ρυθμιζόμενη υπηρεσία (Public Regulated Service-PRS):**

Η υπηρεσία αυτή παρέχεται σε εξειδικευμένους χρήστες και είναι μία αξιόπιστη και ελεγχόμενη υπηρεσία, που προορίζεται για εξουσιοδοτημένες κυβερνητικές εφαρμογές. Δύο σήματα πλοήγησης PRS με κρυπτογραφημένους κώδικες και δεδομένα θα είναι διαθέσιμα (E6-PRS και E2-L1-E1-PRS). Η PRS θα παρέχεται σε ορισμένες δεσμευμένες συχνότητες για: υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης (αστυνομία, πυροσβεστική, ακτοφυλακή, τελωνεία), προστασία των πολιτών, εφαρμογές στις τηλεπικοινωνίες, στις μεταφορές και στην ενέργεια. Πολιτικά ιδρύματα θα ελέγχουν την πρόσβαση στην PRS μέσω περίπλοκων τεχνικών ελέγχου πρόσβασης. Η PRS θα είναι λειτουργική όλες τις ώρες και σε όλες τις περιστάσεις, συμπεριλαμβανομένων των περιόδων κρίσεων.

Βασικό στοιχείο της PRS είναι η ευρωστία του σήματος της που τη προστατεύει από τις παρεμβολές. Θα παρέχει δηλαδή ένα δυνατό σήμα, ανθεκτικό στις παρεμβολές (jamming) και σε άλλες τυχαίες παρεμβάσεις, ή τεχνικές αντί-εξαπάτησης (AS-Anti-Spoofing). Το σήμα αυτό θα περιοριστεί στα κράτη μέλη και σε άλλα κράτη που εγκρίνονται από αυτά.

Επομένως η υπηρεσία αυτή προορίζεται να χρησιμοποιηθεί κατά κύριο λόγο για τις ανάγκες των δημόσιων οργανισμών στους οποίους επιβάλλεται η κατοχύρωση απόλυτης προστασίας στους τομείς της πολιτικής προστασίας, της εθνικής ασφάλειας και του σεβασμού του δικαίου. Μια ακόμα εφαρμογή της είναι η διασφάλιση της συνέχειας εκπομπής των σημάτων για κρίσιμες εφαρμογές, που απαιτούν ασφάλεια, ακρίβεια και συγχρονισμό, όπως τα συστήματα ενέργειας, μεταφορών και τηλεπικοινωνιών καθώς επίσης και οι οικονομικές και βιομηχανικές δραστηριότητες, που είναι στρατηγικής σημασίας για την Ευρώπη. Για τις εφαρμογές θα παρέχει οριζοντιογραφική ακρίβεια της τάξης των 6,5 m και υψομετρική της τάξης των 12m (Πίνακας 7).

		<b><i>Public-Regulated Service</i></b>
<b><i>Type of Receiver</i></b>	<b><i>Carriers</i></b>	<i>Dual-Frequency</i>
	<b><i>Computes Integrity</i></b>	<i>Yes</i>
	<b><i>Ionospheric correction</i></b>	<i>Based on dual-frequency measurements</i>
<b><i>Coverage</i></b>		<i>Global</i>
<b><i>Accuracy (95%)</i></b>		<i>H: 6.5 m V: 12 m</i>
<b><i>Integrity</i></b>	<b><i>Alarm Limit</i></b>	<i>H:20-V:35</i>
	<b><i>Time-To-Alarm</i></b>	<i>10 s</i>
	<b><i>Integrity risk</i></b>	<i><math>3.5 \times 10^{-7}/150 \text{ sec}</math></i>
<b><i>Continuity Risk</i></b>		<i><math>10^{-9}/15 \text{ s}</math></i>
<b><i>Timing Accuracy w.r.t. UTC/TAI</i></b>		<i>100 nsec</i>
<b><i>Availability</i></b>		<i>99.5 %</i>

Πίνακας 7 : Χαρακτηριστικά της Υπηρεσίας PRS

(Πηγή: [ec.europa.eu/dgs/energy\\_transport/galileo/doc/galileo\\_hld\\_v3\\_23\\_09\\_02.pdf](http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/doc/galileo_hld_v3_23_09_02.pdf))

#### ***Υπηρεσία έρευνας και διάσωσης (Search and Rescue Service-SAR):***

Η στήριξη του Galileo στην υπηρεσία έρευνας και διάσωσης αντικατοπτρίζει την συμβολή της Ευρώπης στην διεθνή προσπάθεια της COSPAS-SARSAT πάνω σε ανθρωπιστικές δραστηριότητες έρευνας και διάσωσης. Το Galileo θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στο σύστημα MEOSAR (Medium Earth Orbit Search and Rescue system). Οι δορυφόροι Galileo θα είναι σε θέση να λαμβάνουν σήματα από φάρους έκτακτης ανάγκης σε πλοία, αεροπλάνα ή άτομα και τελικά να τα επανεκπέμπουν σε διεθνή κέντρα διάσωσης. Από κει, ένα διασωστικό κέντρο μπορεί να γνωρίζει την ακριβή τοποθεσία ενός ατυχήματος. Τουλάχιστον ένας δορυφόρος Galileo θα είναι ορατός από οποιοδήποτε σημείο στη γη έτσι ώστε να είναι δυνατή η σήμανση συναγερμού κινδύνου σε πραγματικό χρόνο. Σε μερικές περιπτώσεις, θα μπορεί να αποστέλλεται στο φάρο ανατροφοδότηση, κάτι που είναι εφικτό μόνο από το Galileo.



Συγκεκριμένα θα επιτρέψει τις εξής βελτιώσεις στο υπάρχον σύστημα:

- Λήψη μηνυμάτων κινδύνου σε πραγματικό χρόνο από οπουδήποτε στη γη ενώ ο τωρινός μέσος χρόνος αναμονής είναι μία ώρα
- Ακριβής εντοπισμός των συναγερμών σε μερικά μέτρα έναντι της απόκλισης των 5km που προσδιορίζονται μέχρι τώρα
- Πολλαπλή δορυφορική ανίχνευση για την αντιμετώπιση εδαφικών εμποδίων σε δύσκολες συνθήκες
- Αυξημένη διαθεσιμότητα του διαστημικού τμήματος (30 δορυφόροι MEO προστιθέμενοι στους τέσσερις LEO και τους τρεις γεωστατικούς δορυφόρους του υπάρχοντος συστήματος COSPAS-SARSAT)

Τα σήματα αυτής της υπηρεσίας θα ανιχνεύονται στη ζώνη συχνοτήτων 406.0-406.1MHz και θα μεταδίδει αυτές τις πληροφορίες στους επίγειους σταθμούς στη ζώνη L6 γεγονός που τα καθιστά μέρος του Παγκόσμιου Συστήματος Ασφάλειας Ναυτικών Εκτάκτων Αναγκών (Global Maritime Distress Safety System).

Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας με τα στοιχεία κάθε υπηρεσίας:

	Κάλυψη	Ακρίβεια - οριζόντια (h) - κατακόρυφη (v)	Διαθεσιμότητα	Ακεραιότητα
<b>OS</b>	Παγκόσμια	h=4μ v=8μ (διπλή συχνότητα) h=15μ v=35μ (μονή συχνότητα)	99.8%	Όχι
<b>CS</b>	Παγκόσμια	<1μ (διπλή συχνότητα)	99.8%	υπηρεσία προστιθέμενης αξίας
	Τοπική	<10εκ. (τοπικά ενισχυμένα σήματα)		
<b>PRS</b>	Παγκόσμια	h=6.5μ v=12μ	99-99.9%	Ναι
	Τοπική	1μ (τοπικά ενισχυμένα σήματα)		
<b>SoL</b>	Παγκόσμια	4-6μ (διπλή συχνότητα)	99.8%	Ναι

Πίνακας 8 : Χαρακτηριστικά Υπηρεσιών

(Πηγή: [ec.europa.eu/dgs/energy\\_transport/galileo/doc/galileo\\_hld\\_v3\\_23\\_09\\_02.pdf](http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/doc/galileo_hld_v3_23_09_02.pdf))

### 1.3.6. Σήματα Galileo

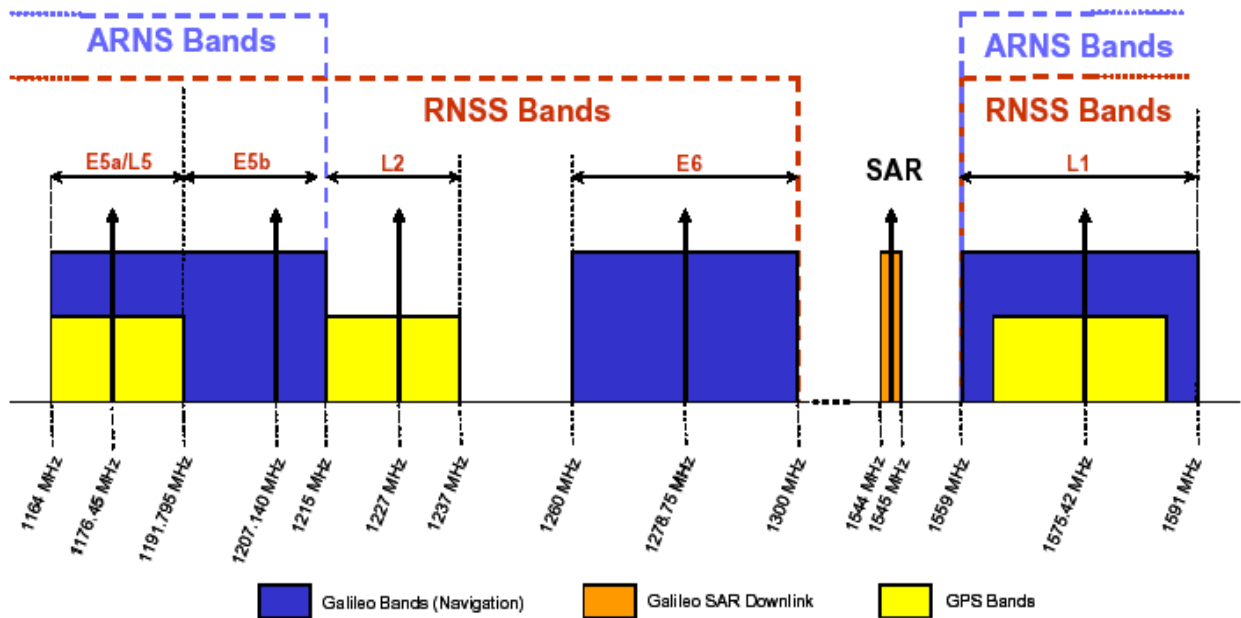
Οι δορυφόροι του Galileo σχεδιάστηκαν να εκπέμπουν σήματα σε ένα ευρύτερο φάσμα συχνοτήτων από ότι οι δορυφόροι του GPS, όχι μόνο με στόχο να βελτιωθεί η λήψη τους, αλλά κυρίως για να μπορέσουν να υποστηρίξουν τις πολυάριθμες υπηρεσίες που το σύστημα Galileo θα παρέχει.

Προτού όμως γίνει οποιαδήποτε παρουσίαση και μελέτη των σημάτων Galileo θα πρέπει να επεξηγηθούν οι παρακάτω έννοιες:

Το σύνθετο σήμα ή μεταδιδόμενο σήμα (composite signal or transmitted signal) είναι το σήμα που παράγεται στους δορυφόρους σε μια ορισμένη ζώνη και συχνότητα φέροντος κύματος. Υπάρχουν 3 σύνθετα σήματα στο Galileo: τα σήματα E5, E6 και L1.

Κανάλι σημάτων ή τμήμα (signal channel or component) είναι κάθε ένα από τα τμήματα που μεταδίδονται σε μια συγκεκριμένη συχνότητα φέροντος κύματος. Αποτελείται από τη διαμόρφωση δεδομένων πλοήγησης (αναλόγως αν πρόκειται για κανάλι δεδομένων ή πειραματικό) και ενός κώδικα εξάπλωσης (spreading code). Υπάρχουν 10 κανάλια σημάτων στο Galileo που θα περιγραφούν στη συνέχεια πολύ αναλυτικά: 4 E5, 3 E6 και 3 L1. Συγκεκριμένα ένα κανάλι δεδομένων (data channel) είναι το αποτέλεσμα της διαμόρφωσης ενός κώδικα ταξινόμησης με δεδομένα πλοήγησης ενώ ένα πειραματικό κανάλι (pilot channel) αποτελείται από έναν κώδικα ταξινόμησης μόνο, χωρίς να περιέχει δηλαδή δεδομένα πλοήγησης. Σήμα πλοήγησης (navigation signal) είναι ένα σύνολο τμημάτων των σύνθετων σημάτων που χαρακτηρίζονται από τον τύπο της υπηρεσίας πλοήγησης που μπορούν να παρέχουν λόγω του περιεχομένου του ρεύματος δεδομένων πλοήγησης τους. Απορρέει από τη μετάδοση ενός καναλιού δεδομένων, ή από ένα συνδυασμό ενός καναλιού δεδομένων με ένα πειραματικό κανάλι. Υπάρχουν 6 σήματα πλοήγησης στο Galileo: τα σήματα L1F, L1P, E6C, E6P, E5a και E5b.

Τα σήματα αυτά θα μεταδίδονται από ένα αρκετά ευρύ φάσμα τεσσάρων ζωνών συχνοτήτων, που θα βρίσκεται μεταξύ των 1.1 και 1.6 GHz ( μικροκυματική ζώνη L). Αυτές οι τέσσερις ζώνες συχνοτήτων είναι οι E5a, E5b, E6 και E2-L1-E1. Οι ζώνες συχνοτήτων έχουν επιλεγεί μέσα από το διατιθέμενο φάσμα των δορυφορικών υπηρεσιών ραδιοπλοήγησης (Radio Navigation Satellite Services – RNSS) και, εκτός από αυτό, οι συχνότητες E5a, E5b και L1 συμπεριλαμβάνονται και στο φάσμα των υπηρεσιών αεροναυτικής ραδιοπλοήγησης (Aeronautical Radio Navigation Services – ARNS), που χρησιμοποιείται από χρήστες πολιτικής αεροπορίας, επιτρέποντας αξιόπιστες εφαρμογές κρίσιμες για την ασφάλεια πτήσεων.



Εικόνα 15 : Οι Συχνότητες Galileo

(Πηγή: “Galileo Signal Design: State of Art”, Robustelli, Gaglione, Santamaria)

Κάθε δορυφόρος Galileo μεταδίδει έξι σήματα πλοήγησης, τα οποία ονομάζονται L1F, L1P, E6C, E6P, E5A, και E5B (Εικόνα 15):

1. Σήμα L1F: είναι ένα σήμα ανοικτής πρόσβασης, που εκπέμπεται στην ζώνη L1, και περιλαμβάνει ένα κανάλι δεδομένων και ένα πειραματικό κανάλι (οι L1-B και L1-C συνιστώσες του σήματος αντίστοιχα). Έχει μη κρυπτογραφημένους κώδικες μετάδοσης και μηνύματα πλοήγησης, τα οποία είναι προσιτά σε όλους τους χρήστες. Το L1F σήμα πλοήγησης αντιστοιχεί σε έναν I/Nav (Integrity Navigation) τύπο μηνυμάτων και περιέχει μηνύματα ακεραιότητας, καθώς επίσης και κρυπτογραφημένα εμπορικά στοιχεία.
2. Σήμα L1P: είναι ένα σήμα περιορισμένης πρόσβασης, που εκπέμπεται στο κανάλι L1. Οι κώδικες μετάδοσης και τα μηνύματα πλοήγησης είναι κρυπτογραφημένα με χρήση ενός αλγόριθμου κρυπτογράφησης. Το L1P σήμα πλοήγησης αντιστοιχεί σε έναν G/Nav (Governmental Access Navigation) τύπο μηνυμάτων.
3. Σήμα E6C: είναι ένα σήμα εμπορικής πρόσβασης, που εκπέμπεται στη ζώνη E6, και περιλαμβάνει ένα κανάλι δεδομένων και ένα πειραματικό κανάλι (οι E6-B και E6-C συνιστώσες του σήματος αντίστοιχα). Οι κώδικες μετάδοσης και τα μηνύματα πλοήγησης είναι κρυπτογραφημένα με χρήση ενός αλγόριθμου. Το E6C σήμα πλοήγησης αντιστοιχεί στον C/Nav (Commercial Navigation) τύπο μηνυμάτων.

4. Σήμα E6P: είναι ένα σήμα περιορισμένης πρόσβασης, που εκπέμπεται στο κανάλι σημάτων E6. Οι κώδικες μετάδοσης και τα μηνύματα πλοήγησης είναι κρυπτογραφημένα με χρήση ενός αλγόριθμου κρυπτογράφησης. Το E6P σήμα πλοήγησης αντιστοιχεί σε έναν G/Nav (Governmental Access Navigation) τύπο μηνυμάτων.
5. Σήμα E5a: είναι ένα σήμα ανοικτής πρόσβασης, που εκπέμπεται στη E5 ζώνη και περιλαμβάνει ένα κανάλι δεδομένων και ένα πειραματικό κανάλι (οι E5a-I και E5a-Q συνιστώσες του σήματος αντίστοιχα). Έχει μη κρυπτογραφημένους κώδικες μετάδοσης και μηνύματα πλοήγησης, τα οποία είναι προσιτά σε όλους τους χρήστες. Το E5a σήμα πλοήγησης αντιστοιχεί σε έναν F/Nav (Freely Accessible Navigation) τύπο μηνυμάτων και εκπέμπει τα βασικά δεδομένα για να μπορεί να υποστηρίξει τις λειτουργίες πλοήγησης και συγχρονισμού.
6. Σήμα E5b: είναι ένα σήμα ανοικτής πρόσβασης, που εκπέμπεται στην E5 ζώνη και περιλαμβάνει ένα κανάλι δεδομένων και ένα πειραματικό κανάλι (οι E5b-I και E5b-Q συνιστώσες του σήματος αντίστοιχα). Έχει μη κρυπτογραφημένους κώδικες μετάδοσης και μηνύματα πλοήγησης, τα οποία είναι προσιτά σε όλους τους χρήστες. Το E5b σήμα πλοήγησης αντιστοιχεί σε έναν I/Nav (Integrity Navigation) τύπο μηνυμάτων και περιέχει μηνύματα ακεραιότητας καθώς επίσης και κρυπτογραφημένα εμπορικά στοιχεία.

Στους πίνακες 9 και 10 δίνονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά των συχνοτήτων που χρησιμοποιεί το σύστημα Galileo :

<b>Σήμα</b>	<b>Κανάλια RF</b>	<b>Τύπος σήματος πλοήγησης</b>	<b>Κρυπτογράφηση κωδικών</b>	<b>Κρυπτογράφηση δεδομένων</b>
L1F	L1-B L1-C	I/Nav	Όχι	Μερική
L1P	L1-A	G/Nav	Κυβερνητική	Κυβερνητική
E6C	E6-B E6-C	C/Nav	Εμπορική	Εμπορική
E6P	E6-A	G/Nav	Κυβερνητική	Κυβερνητική
E5a	E5a-I E5a-Q	F/Nav	Όχι	Όχι
E5b	E5b-I E5b-Q	I/Nav	Όχι	Μερική
E5	Συνδυασμός των σημάτων E5a και E5b			

Πίνακας 9 : Χαρακτηριστικά Μηνυμάτων

(Πηγή: “Εφαρμογές Ευρωπαϊκού Δορυφορικού Συστήματος Πλοήγησης Galileo”, Α. Κοτσιφάκη)

<b>Ζώνη Συχνοτήτων</b>	<b>Συχνότητα φέροντος</b>	<b>Εύρος ζώνης μετάδοσης</b>
E5a/L5	1176,450 MHz	
E5b	1207,140 MHz	
E5 (E5a+E5b)	1191,795 MHz	90 × 1,023 MHz
E6	1278,75 MHz	40 × 1,023 MHz
E2-L1-E1	1575,42 MHz	40 × 1,023 MHz
L1(μόνο)	1575,42 MHz	32 × 1,023 MHz

Πίνακας 10 : Φέρουσες Συχνότητες

(Πηγή: “Εφαρμογές Ευρωπαϊκού Δορυφορικού Συστήματος Πλοήγησης Galileo”, Α. Κοτσιφάκη)

Τα μηνύματα κινδύνου SAR, θα ανιχνεύονται από τους δορυφόρους Galileo στη ζώνη 406-406.1MHz και θα μεταδίδονται έπειτα στους αντίστοιχους επίγειους σταθμούς λήψης στη ζώνη 1544-1545MHz, αποκαλούμενη και L6 (που βρίσκεται κάτω από τη ζώνη πλοήγησης E2 και είναι ρεζερβέ για τις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης). Τα δεδομένα SAR, από τους χειριστές SAR προς τους ραδιοφάρους θα χρησιμοποιούνται για την επαγρύπνηση και το συντονισμό των ομάδων διάσωσης και θα ενσωματωθούν στα δεδομένα του σήματος OS που μεταδίδεται στη συχνότητα φέροντος E2-L1-E1. Τα σήματα E5a και E5b είναι διαμορφωμένα πάνω σε έναν ενιαίο φορέα E5. Αυτό το σήμα είναι γνωστό ως E5, και μπορεί να επεξεργαστεί ως ένα ενιαίο σήμα από έναν κατάλληλο δέκτη.

Η επιλογή του αριθμού των σημάτων του Galileo βασίζεται στο ότι υπάρχουν στην πραγματικότητα πολλά και ποικίλα περιβάλλοντα, όπως και τύποι δεκτών. Επομένως η καλύτερη δυνατή λύση είναι αυτή που προσφέρει εναλλακτικούς κώδικες με διαφορετικά χαρακτηριστικά για τα διάφορα σήματα. Αυτός είναι ένας από τους λόγους ύπαρξης πολλών σημάτων Galileo. Ένας άλλος λόγος είναι η ανάγκη εξάλειψης του σφάλματος λόγω της ιονοσφαιρικής καθυστέρησης. Αυτό το σφάλμα προκύπτει από την καθυστέρηση (διάθλαση) της διάδοσης του σήματος καθώς αυτό ταξιδεύει μέσα στην ιονόσφαιρα. Η καθυστέρηση αυτή μεταφράζεται για τον δέκτη σε μεγαλύτερη απ’ ότι είναι στην πραγματικότητα απόσταση, σφάλμα που αν δεν διορθωθεί θα εισαγάγει μεγάλη αβεβαιότητα στον προσδιορισμό της θέσης του δέκτη. Όμως, η καθυστέρηση είναι ανάλογη προς τη συχνότητα του σήματος. Έτσι, τα σήματα χαμηλότερης συχνότητας επιδέχονται μεγαλύτερη καθυστέρηση από τα σήματα υψηλότερης συχνότητας. Επομένως, με παρατηρήσεις ως προς τον ίδιο δορυφόρο σε δύο διαφορετικές συχνότητες είναι δυνατό να παραχθεί μια άλλη μέτρηση, όπου το ιονοσφαιρικό σφάλμα θα έχει ουσιαστικά απαλειφθεί. Αυτή η απαλοιφή γίνεται αποτελεσματικότερη, καθώς ο χωρισμός μεταξύ των δύο συχνοτήτων αυξάνεται. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο οι υπηρεσίες του Galileo χρησιμοποιούν γενικότερα συνδυασμούς συχνοτήτων.

Σε ότι αφορά στην ακρίβεια που θα επιτυγχάνει το σύστημα Galileo, αυτό εξαρτάται από τον συνδυασμό των παραπάνω συχνοτήτων. Για δέκτη μονής συχνότητας (L1, E5a, E5b ή E5a και E5b μαζί – AltBOC) αναμένεται σε πραγματικό χρόνο οριζοντιογραφική και υψομετρική ακρίβεια καλύτερη από 15m και 35m αντίστοιχα, ακρίβεια ταχύτητας καλύτερη από 50cm/s, και ακρίβεια συγχρονισμού καλύτερη από 100 ns. Για έναν δέκτη διπλής συχνότητας, (L1 και E5a ή L1 και E5b), οι αντίστοιχες ακρίβειες θα είναι 7 m, 15 m, 20 cm/s, και 100 ns. Επίσης, για εφαρμογές όπου απαιτείται πολύ μεγάλη ακρίβεια (ακρίβεια cm), υπάρχει και η δυνατότητα χρήσης τριπλής συχνότητας (L1, E5a και E5b)

Από το σύνολο των δέκα σημάτων πλοήγησης, έξι θα εξυπηρετούν τις υπηρεσίες ανοικτής πρόσβασης (OS) και ασφάλειας ζωής (SoL), δύο θα εξυπηρετούν τις εμπορικές υπηρεσίες (CS) και τα άλλα δύο θα υποστηρίζουν τις δημόσια ελεγχόμενες υπηρεσίες (PRS) (Πίνακας 11).

Σήμα	Υπηρεσία			
	OS	SoL	CS	PRS
L1F	x (*)	x (*)	x (*)	
L1P				x
E6C			x	
E6P				x
E5a	x	x	x	
E5b	x (*)	x (*)	x	

(\*): χωρίς πρόσβαση σε κρυπτογραφημένα εμπορικά δεδομένα

Πίνακας 11 : Σήματα και Υπηρεσίες

(Πηγή: “Εφαρμογές Ευρωπαϊκού Δορυφορικού Συστήματος Πλοήγησης Galileo”, Α. Κοτσιφάκη)

### 1.3.7. Διαλειτουργικότητα

Το GPS, το Galileo και το GLONASS είναι σχεδιασμένα για να είναι αυτόνομα συστήματα για προφανείς στρατηγικούς λόγους της κάθε χώρας. Εντούτοις, από τον προσεκτικό συνδυασμό των σημάτων που χρησιμοποιούνται από τους πολίτες από τα τρία αυτά συστήματα GNSS ξετυλίγεται ένας νέος κόσμος δυνατοτήτων για τους σχεδιαστές εφαρμογών εντοπισμού και αξιοποίησης της γεωγραφικής θέσης. Σε αναγνώριση αυτής της δυνατότητας, το Galileo σχεδιάζεται για να είναι όσο πιο συμβατό και όσο το δυνατόν πιο διαλειτουργικό με υπάρχοντα συστήματα GNSS και τις γνωστές προγραμματισμένες βελτιώσεις τους.

Η συμβατότητα αναφέρεται σε ένα σύστημα με χαρακτηριστικά από τη διαμοίραση συχνότητας με άλλα συστήματα GNSS, ενώ η διαλειτουργικότητα είναι ένα λειτουργικό χαρακτηριστικό ενός συστήματος που χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλα σε επίπεδο δεκτών των χρηστών. Στο εγγύς μέλλον, η

διαλειτουργικότητα με συστήματα που δεν χρησιμοποιούνται για πλοήγηση, ιδίως επικοινωνιακά συστήματα θα αποκτήσει μεγάλη σημασία για να παρέχει υπηρεσίες προστιθέμενης αξίας στον τομέα των μεταφορών καθώς επίσης και στους εξατομικευμένους χρήστες.

Σαφώς, η διαλειτουργικότητα Galileo και GPS έχει να προσφέρει τα περισσότερα σήμερα. Η επιλογή του Galileo των ζωνών σημάτων E5A και L1 θα είναι η βάση που θα στηρίξει μια τέτοια διαλειτουργικότητα. Έτσι, οι σχεδιαστές εφαρμογών θα έχουν ένα αποτελεσματικό σχηματισμό 60 δορυφόρων πάνω στον οποίο θα χτίσουν τις υπηρεσίες και τις εφαρμογές τους.

Η διαλειτουργικότητα επίσης υπονοεί ότι τα πλαίσια αναφοράς του Galileo και του GPS πρέπει να είναι συμβατά και ότι οι τιμές από οποιοδήποτε διαφορές να τίθενται στην διάθεση των χρηστών. Το Galileo θα χρησιμοποιήσει έναν γεωδαιτικό πλαίσιο αναφοράς που θα είναι ουσιαστικά ίδιο με αυτό του GPS και ο χρόνος του Galileo θα έχει σαν αναφορά τον διεθνή ατομικό χρόνο.

### **1.3.8. Πλεονεκτήματα Galileo Έναντι Άλλων GNSS**

Ο κύριος λόγος για τον οποίο επιχειρείται αυτό το σημαντικό βήμα είναι η ευρωπαϊκή ανεξαρτησία από τα υπάρχοντα συστήματα GNSS. Ωστόσο κάποιοι ακόμα λόγοι είναι οι εξής:

- Το Galileo έχει σχεδιαστεί και αναπτυχθεί ως ένα μη στρατιωτικό σύστημα. Ωστόσο ενσωματώνει όλα τα απαραίτητα προστατευτικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα ασφαλείας. Αντίθετα με τα υπάρχοντα συστήματα GPS και GLONASS που σχεδιάστηκαν ουσιαστικά για στρατιωτικούς σκοπούς, το Galileo παρέχει για μερικές από τις προσφερόμενες υπηρεσίες, ένα πολύ υψηλό επίπεδο συνέχειας που απαιτείται από τις σύγχρονες επιχειρήσεις.
- Το Galileo θα είναι πιο αξιόπιστο λόγω του μηνύματος ακεραιότητας που θα ενημερώνει το χρήστη αμέσως για οποιαδήποτε σφάλματα ή ανώμαλες συνθήκες λειτουργίας.
- Το Galileo θα τελεί υπό πολιτικό έλεγχο και θα επιτρέπει τον προσδιορισμό θέσης με ακρίβεια για τις περισσότερες περιοχές στη γη, ακόμη και σε πυκνοκατοικημένες πόλεις, όπου ψηλά κτήρια αποκόπτουν τα σήματα που εκπέμπουν οι δορυφόροι που βρίσκονται χαμηλά στον ορίζοντα.
- Τα τροχιακά επίπεδα θα έχουν μεγαλύτερη κλίση ως προς τον ισημερινό και αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την επίτευξη καλύτερης παγκόσμιας κάλυψης (99% της γήινης επιφάνειας) στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. Ιδιαίτερα χρήσιμο για την Βόρεια Ευρώπη οποία δεν καλύπτεται επαρκώς από το GPS.

- Η ακρίβεια του στίγματος που θα προσφέρει θα είναι της τάξεως του 1m έναντι των 10 m που προσφέρει το GPS. Η ακρίβεια των μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο για το Galileo είναι 10 φορές καλύτερη από αυτή του GPS.

Είναι σημαντικό ωστόσο να αναφερθεί πως αν το σύστημα Galileo από μόνο του αποδεικνύεται πολύ λειτουργικό και αποδοτικό, ο σχεδιασμός του να είναι συμβατό με το GPS είναι υψίστης σημασίας, αφού διπλασιάζεται ο αριθμός των διαθέσιμων δορυφόρων και έτσι επιτυγχάνεται πολύ καλή ακρίβεια και αξιοπιστία για οποιονδήποτε χρήστη σε οποιαδήποτε περιοχή πάνω στη γη.

## 1.4. Άλλα Συστήματα (COMPASS-GLONASS)

### 1.4.1. GLONASS

Το σύστημα **GLONASS** (**GLO**bal **NA**avigation **Sat**ellite **Sy**stem) είναι ένα δορυφορικό σύστημα πλοήγησης, που αναπτύχθηκε από την πρώην Σοβιετική Ένωση στα πλαίσια ανταγωνισμού της με τις ΗΠΑ και τώρα λειτουργεί για Ρωσική κυβέρνηση από Ρωσικές διαστημικές δυνάμεις.

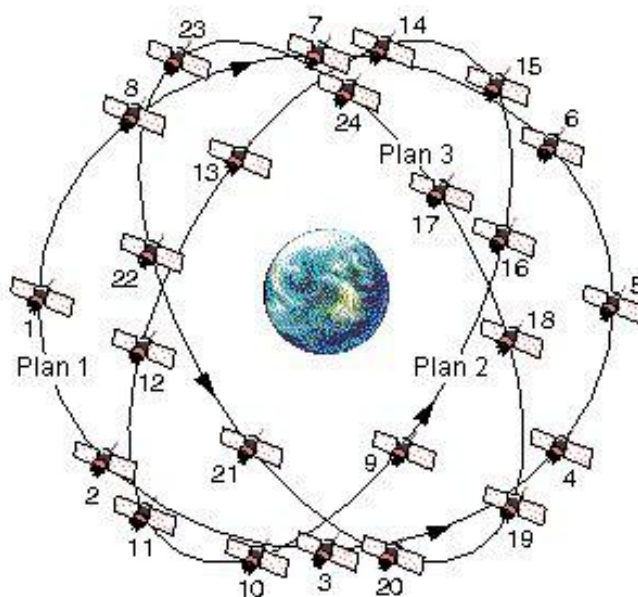
Η ανάπτυξη στο GLONASS άρχισε το 1976, με στόχο τη παγκόσμια κάλυψη το 1991, αρχίζοντας στις 12 Οκτωβρίου 1982 (όπου εκτοξεύτηκε ο πρώτος δορυφόρος), πολυάριθμοι δορυφόροι προστέθηκαν στο σύστημα έως ότου ολοκληρώθηκε ο δορυφορικός σχηματισμός το 1995. Το σύστημα αναπτύχθηκε για να παρέχει πληροφορίες θέσης και ταχύτητας σε πραγματικό χρόνο, αρχικά για σοβιετικές στρατιωτικές εφαρμογές πλοήγησης. Το σύστημα δεν ολοκληρώθηκε πλήρως λόγω της κατάρρευσης της Σοβιετικής Ένωσης και της έλλειψης οικονομικών πόρων και έτσι δεν έτυχε ευρείας αποδοχής. Κατάφερε να εξασφαλίσει παγκόσμια κάλυψη μέχρι το 1991 και να διατηρήσει ικανοποιητικά επίπεδα διαθεσιμότητας και εξυπηρέτησης μέχρι το 1995 με 24 δορυφόρους όμως σταδιακά ο αριθμός τους μειώθηκε στους 8. Αρχίζοντας το 2001, η Ρωσία δεσμεύτηκε την αποκατάσταση του συστήματος εισάγοντας την ινδική κυβέρνηση ως συνεργάτη και μέχρι τον Απρίλιο του 2010 αυτό αποκαθίσταται ουσιαστικά (21 εκ των 24 δορυφόρων είναι λειτουργικοί).

Αυτό το σχέδιο προέβλεπε 18 λειτουργικούς δορυφόρους σε τροχιά μέχρι το 2008 και 24 δορυφόρους (21 λειτουργικούς και 3 εφεδρικούς σε τροχιά που επεκτείνονται σε τρία τροχιακά επίπεδα) σε ισχύ μέχρι το 2009 και απόδοση που ταιριάζει με αυτή του GPS μέχρι το 2011. Έξι δορυφόροι GLONASS σχεδιάστηκαν και προστέθηκαν το 2008, και οι πρώτοι δύο βελτιωμένοι δορυφόροι GLONASS-K προωθήθηκαν σε τροχιά το 2009.



## Δορυφορικός Σχηματισμός

Το πλήρως λειτουργικό GLONASS αποτελείται από 24 δορυφόρους, με 21 που χρησιμοποιούνται για τη διαβίβαση των σημάτων και τρεις εφεδρικούς, που επεκτείνονται σε τρία τροχιακά επίπεδα. Τα τρία τροχιακά επίπεδα χωρίζονται ανά  $120^\circ$  με κάθε επίπεδο να περιέχει οκτώ δορυφόρους σε ίσες διαστάσεις. Οι τροχιές είναι κατά προσέγγιση κυκλικές, με μια κλίση περίπου  $64.8^\circ$ , και περιστρέφονται γύρω από τη Γή σε ένα ύψος 19.100 χλμ, με τροχιακή περίοδο περίπου 11 ωρών και 15 λεπτών. Τα ίδια τα επίπεδα έχουν μια μετατόπιση τροχιακού πλάτους  $15^\circ$  (argument of latitude), που έχει σαν αποτέλεσμα οι δορυφόροι να διασχίζουν τον ισημερινό ένας κάθε φορά, αντί τρεις αμέσως. Η γενική ρύθμιση είναι τέτοια ώστε, κατ' ελάχιστο 5 δορυφόροι είναι ορατοί από οποιοδήποτε σημείο σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Αυτό εγγυάται τη συνεχή και παγκόσμια πλοήγηση για τους χρήστες σε όλο τον κόσμο. Κάθε δορυφόρος προσδιορίζεται από έναν αριθμό, ο οποίος καθορίζει το αντίστοιχο τροχιακό επίπεδο και τη θέση μέσα στο επίπεδο οι αριθμοί 1-8 είναι στο επίπεδο ένα, 9-16 είναι στο επίπεδο δύο, και 17-24 είναι στο επίπεδο τρία (Εικόνα 16).



Εικόνα 16 : Ο Δορυφορικός Σχηματισμός GLONASS

(Πηγή: elektro-wind.pl)

Ένα χαρακτηριστικό του συστήματος GLONASS είναι ότι οποιοσδήποτε δεδομένος δορυφόρος περνά πάνω από το ίδιο σημείο στη γη κάθε οκτώ αστρικές ημέρες. Εντούτοις, δεδομένου ότι κάθε επίπεδο τροχιάς περιέχει οκτώ δορυφόρους, ένας δορυφόρος θα περάσει πάνω από την ίδια θέση κάθε αστρική ημέρα. Για τη σύγκριση, κάθε δορυφόρος GPS περνά πάνω από το ίδιο σημείο μία φορά κάθε αστρική ημέρα. Έτσι σε αντίθεση με τη διαδρομή στο έδαφος των δορυφόρων GPS η διαδρομή των δορυφόρων GLONASS δεν επαναλαμβάνεται μετά από μια ημέρα.

Οι δορυφόροι GLONASS επαναλαμβάνονται με το να αναλαμβάνουν τη θέση των άλλων. Μέσα σε ένα τροχιακό επίπεδο οι δορυφόροι διαχωρίζονται ανά 15 λεπτά. Με τροχιακή περίοδο 11:15 ωρών αυτό σημαίνει ότι μετά από μια ημέρα ένας δορυφόρος περνά από το ίδιο σημείο όπως ο "προηγούμενος" δορυφόρος στο ίδιο τροχιακό επίπεδο μια ημέρα πριν. Αυτό εξασφαλίζει ότι ο δορυφορικός σχηματισμός παραμένει σταθερός.

### ***Εκσυγχρονισμός του GLONASS***

Πολλά έχουν συμβεί με το GLONASS από την πτώση της Σοβιετικής Ένωσης. Η ρωσική κυβέρνηση είχε μερικά οικονομικά εμπόδια να υπερνικήσει, αλλά τώρα υποστηρίζει πλήρως το πρόγραμμα με τη βοήθεια άλλων εθνών όπως της Κίνας.

Οι νέοι δορυφόροι GLONASS-M έχουν έναν δεύτερο πολιτικό κώδικα. Οι νέοι δορυφόροι GLONASS-K θα προσθέσουν μια τρίτη πολιτική συχνότητα. Η προσθήκη του δεύτερου πολιτικού κώδικα στους δορυφόρους GLONASS-M είναι ένα συν για το ρωσικό σύστημα.

Μηνύματα αυτού του πρόσθετου κώδικα ασκούν λίγη επίδραση στις εφαρμογές ακρίβειας, αλλά είναι σημαντική για τους δέκτες τύπων GIS/mapping. Το πρόσθετο μήνυμα κώδικα θεωρείται ότι θα βοηθήσει τη δορυφορική παρακολούθηση των χαμηλών δορυφόρων στον ορίζοντα, το οποίο μπορεί να ωφελήσει ελαφρώς στην εφαρμογή ακρίβειας. Τώρα που έχει η Ρωσία τρεις δορυφόρους με το δεύτερο πολιτικό κώδικα, μπορούν να είναι σε θέση να φτιάξουν δέκτες που λαμβάνουν μόνο σήματα GLONASS.

## **1.4.2. COMPASS**

Το σύστημα **COMPASS** (επίσης γνωστό ως **Beidou-2**) είναι ένα πρόγραμμα από την Κίνα για να αναπτυχθεί ένα ανεξάρτητο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης. Το τρέχον σύστημα Beidou-1 (φτιαγμένο με 4 δορυφόρους) είναι πειραματικό και έχει περιορισμένη κάλυψη και εφαρμογή. Δεν είναι δηλαδή μία προέκταση του συστήματος Beidou-1, αλλά ένα νέο σύστημα GNSS παρόμοιο με τα GPS και Galileo. Εντούτοις, με το σύστημα COMPASS, η Κίνα προγραμματίζει να αναπτύξει ένα παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης που αποτελείται από 35 δορυφόρους.

Το νέο σύστημα θα είναι ένας σχηματισμός από 35 δορυφόρους, οι οποίοι περιλαμβάνουν 5 δορυφόρους γεωστατικής τροχιάς (GEO) και 30 δορυφόρους μέσης γήινης τροχιάς (MEO), οι οποίοι θα προσφέρουν την πλήρη κάλυψη της γης. Όπως και τα άλλα GNSS συστήματα το COMPASS θα προσφέρει δύο είδη υπηρεσιών: την ανοιχτή και την περιορισμένη (για στρατιωτική χρήση). Το σύστημα COMPASS θα προσφέρει συνολικά 10 υπηρεσίες. Πέντε ελεύθερες-ανοικτές υπηρεσίες, και πέντε

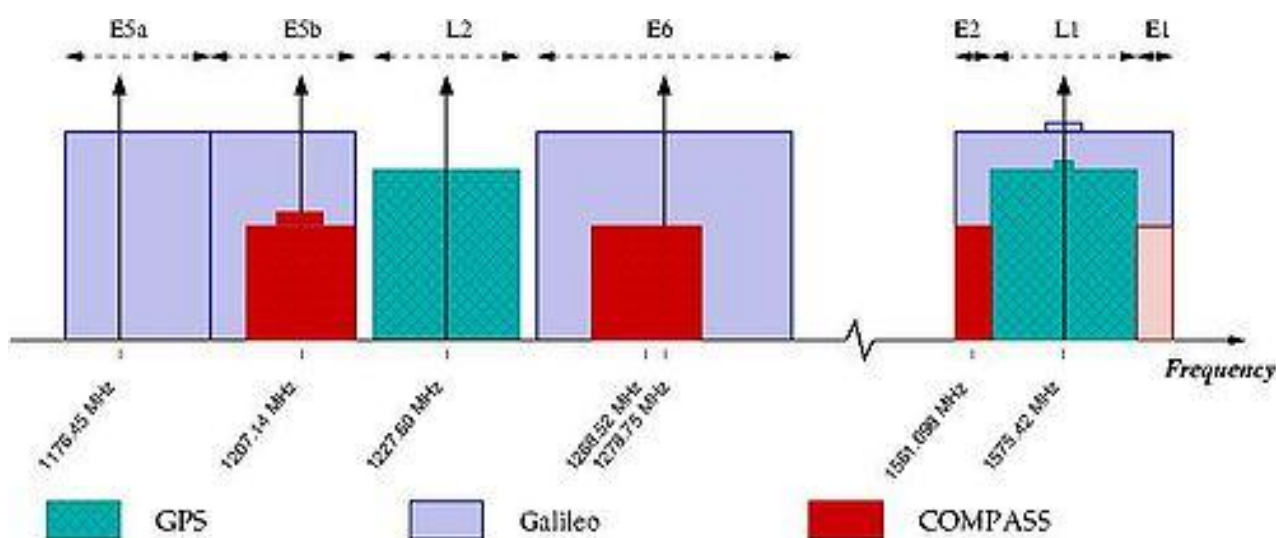
περιορισμένες υπηρεσίες. Αυτές οι υπηρεσίες θα επικεντρώνονται σε οκτώ διαφορετικές συχνότητες.

- Η ελεύθερη υπηρεσία θα έχει 10 μετρά στην ακρίβεια θέσης, θα συγχρονίζει τα χρονόμετρα με μια ακρίβεια 50 nsec, και θα υπολογίζει ταχύτητες με απόκλιση 0,2 m/s. Αυτή η υπηρεσία θα είναι διαθέσιμη σε όλους τους χρήστες.
- Η εξουσιοδοτημένη (ή χορηγημένη με άδεια) υπηρεσία θα είναι ακριβέστερη από την ελεύθερη υπηρεσία, θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επικοινωνία, και θα παρέχει τις πληροφορίες για τη θέση συστημάτων στους χρήστες.

Δύο δορυφόροι COMPASS τέθηκαν σε τροχιά στις αρχές του 2007. Στα επόμενα μερικά έτη, η Κίνα προγραμματίζει να συνεχίσει τις διαδικασίες συστημάτων πειραματισμού και οργάνωσης. Έως το 2010 προγραμματίζεται να υπάρχουν 10 δορυφόροι COMPASS.

### Συχνότητες και σήματα του COMPASS

Η έκταση των σημάτων έχει τη σύνθετη δομή όπως το Galileo και το εκσυγχρονισμένο GPS. Οι συχνότητες του COMPASS διατίθενται σε τέσσερις ζώνες: E1, E2, E5B, και E6 και επικαλύπτονται με το Galileo (Εικόνα 17). Το γεγονός της επικάλυψης θα μπορούσε να είναι πλεονεκτικό από την σκοπιά των δεκτών, αλλά από τη άλλη προκύπτουν ζητήματα διασυστημικής παρεμβολής, ειδικά στις E1 και E2 ζώνες, οι οποίες διατίθενται για την ελεύθερη υπηρεσία του Galileo .



Εικόνα 17 : Οι συχνότητες των GPS, Galileo & COMPASS

(Πηγή: [http://www.positim.com/gnss\\_signals.html](http://www.positim.com/gnss_signals.html))

Όπως στους δοκιμαστικούς ευρωπαϊκούς δορυφόρους Galileo (GIOVE-A και GIOVE-B), έχει τεθεί επίσης ένας δοκιμαστικός δορυφόρος σε τροχιά αποκαλούμενος COMPASS-M1. Η εκτόξευση πραγματοποιήθηκε στις 14 Απριλίου, το 2007. Όπως και στους δύο δορυφόρους GIOVE, οι κύριοι λόγοι εκτόξευσης είναι η δοκιμή και η επικύρωση σημάτων και η κατοχύρωση συχνότητας.

Η τροχιά του COMPASS-M1 είναι σχεδόν κυκλική έχει ύψος 21150km και μια κλίση 55,5 μοιρών.

Στον παρακάτω πίνακα 12 παρατίθενται τα κυριότερα χαρακτηριστικά των τεσσάρων συστημάτων GNSS.

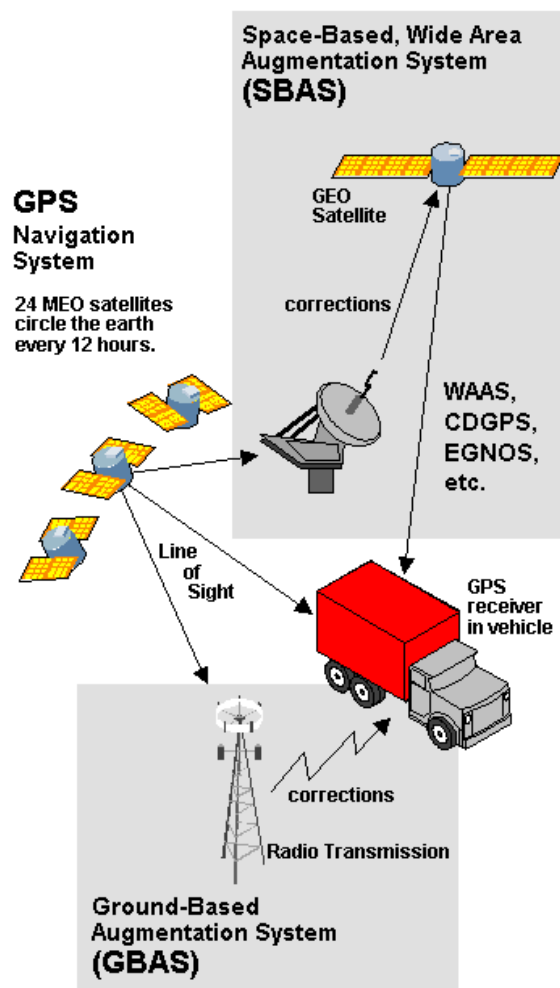
	GPS	GLONASS	GALILEO	COMPASS
Number of Satellites	21 + 3	21 + 3	27 + 3	30 + 5 GEO
Number of orbital planes	6	3	3	?
Semi-major axis	26600 km	25440 km	29600 km	? 21500 km
Orbital revolution period	11:58 H	11:15 H	14:07 H	? 12:35 H
Inclination	55 deg	64 deg	56 deg	? 55 deg
Satellite Mass	1100 kg (IIR)	1400 kg	700 kg	? 2200 kg
Solar panel area	14 m <sup>2</sup>	23 m <sup>2</sup>	13 m <sup>2</sup>	???

Πίνακας 12 : Συγκρίσεις μεταξύ GPS, GLONASS, Galileo & COMPASS

(Πηγή: [http://www.positim.com/navsys\\_overview.html](http://www.positim.com/navsys_overview.html))

## 1.5. GNSS Augmentation

Η επέκταση λειτουργίας των συστημάτων GNSS (Augmentation) είναι μια μέθοδος που βελτιώνει τις ιδιότητες του συστήματος πλοήγησης, όπως η ακρίβεια, η αξιοπιστία, και η διαθεσιμότητα, μέσω της ένταξης των εξωτερικών πληροφοριών στη διαδικασία υπολογισμού. Υπάρχουν πολλά τέτοια συστήματα σε ισχύ και ονομάζονται γενικά ή περιγράφονται βάσει του τρόπου με τον οποίο ο αισθητήρας GNSS λαμβάνει τις εξωτερικές πληροφορίες. Μερικά συστήματα διαβιβάζουν τις πρόσθετες πληροφορίες για τις πηγές σφαλμάτων (όπως η κλίση χρονομέτρων, εφημερίδες, ή η ιονοσφαιρική καθυστέρηση), άλλα παρέχουν τις άμεσες μετρήσεις πόσο το σήμα ήταν εκτός πορείας, ενώ μια τρίτη ομάδα παρέχει τις πρόσθετες πληροφορίες οχημάτων που ενσωματώνονται στη διαδικασία υπολογισμού.



Εικόνα 18 : Αύξηση Συστημάτων GNSS

(Πηγή: <http://www.answers.com/topic/gnss-augmentation>)

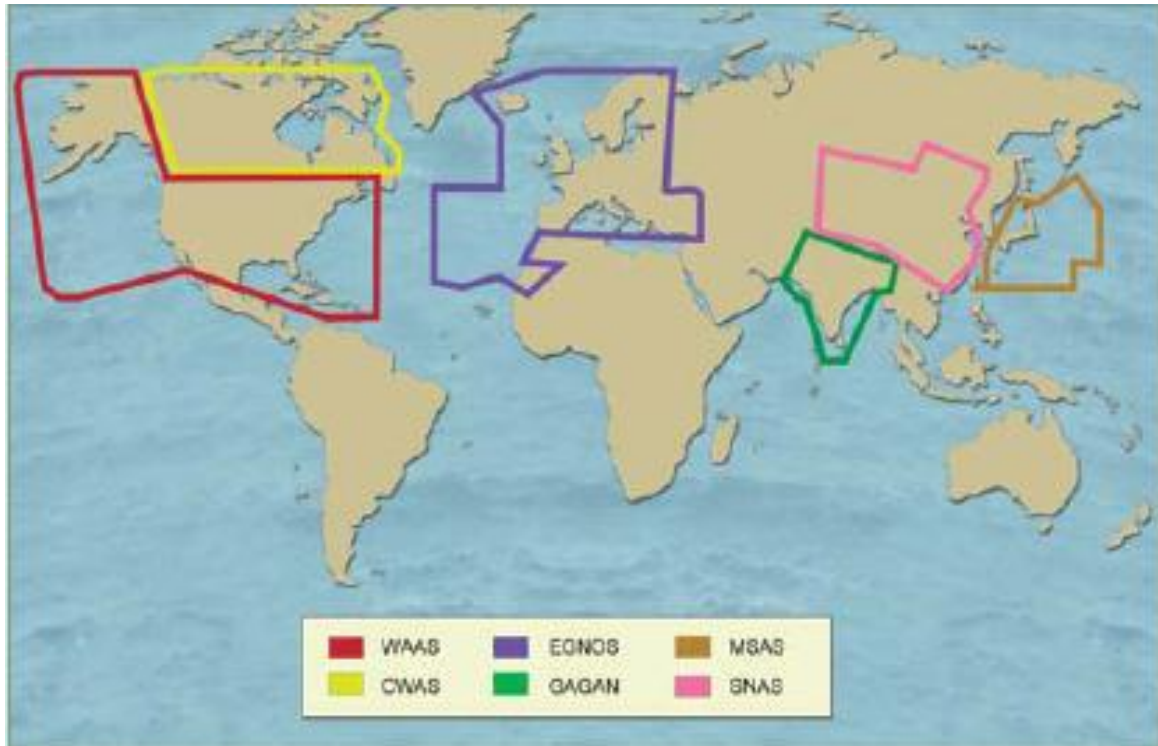
### 1.5.1. Δορυφορικά Συστήματα Επαύξησης SBAS

Ένα δορυφορικό σύστημα επαύξησης ή λειτουργικής επέκτασης (SBAS: Satellite Based Augmentation System) είναι ένα σύστημα που υποστηρίζει την ζώνη ή την περιφερειακή επαύξηση μέσω της χρήσης των πρόσθετων μηνυμάτων δορυφόρων (Εικόνα 18). Τέτοια συστήματα αποτελούνται συνήθως από πολλαπλούς επίγειους σταθμούς, που βρίσκονται σε γνωστά (με μεγάλη ακρίβεια) σημεία. Οι επίγειοι σταθμοί παίρνουν τις μετρήσεις από έναν ή περισσότερους δορυφόρους GNSS, σήματα ή άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες που μπορούν να επιδράσουν στο σήμα που παραλαμβάνεται από τους χρήστες. Χρησιμοποιώντας αυτές τις μετρήσεις, δημιουργούνται μηνύματα πληροφοριών και στέλνονται σε έναν ή περισσότερους δορυφόρους για τη μετάδοσή τους στους τελικούς χρήστες.

Ενδεικτικά αναφέρονται κάποια από τα συστήματα SBAS:

- Το σύστημα **WAAS** (Wide Area Augmentation System), που χρησιμοποιείται από τις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ομοσπονδιακή διοίκηση αεροπορίας (FAA-Federal Aviation Administration).
- Το σύστημα **EGNOS**, που χρησιμοποιείται από Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία (ESA).
- Το δορυφορικό σύστημα αύξησης **MSAS** (Multi-functional Satellite Augmentation System), που χρησιμοποιείται στην Ιαπωνία από Υπουργείο Εδάφους, Υποδομής και Μεταφοράς (JCAB: Japanese Civil Aviation Bureau).
- Το δορυφορικό σύστημα **Quasi-Zenith** (QZSS-Quasi-Zenith Satellite System), που προτείνεται από την Ιαπωνία.
- Το σύστημα **GAGAN** (GPS Aided Geo Augmented Navigation), της Ινδίας.
- Πρόσφατα οι κυβερνήσεις του Καναδά, της Δημοκρατίας της Κίνας έχουν αναγγείλει τη δημιουργία των δικών τους συστημάτων SBAS: **CWAS** (Wide-Area Augmentation System) και **SNAS** (Satellite Navigation Augmentation System).

Στην εικόνα 19 παρουσιάζονται τα κυριότερα συστήματα SBAS και οι εμβέλειές τους.



Εικόνα 19 : Τα συστήματα SBAS

(Πηγή: <http://html.rincondelvago.com/amss-applications.html>)

### 1.5.2. Επίγεια Συστήματα Αύξησης

Κάθε ένα από το **επίγειο σύστημα επαύξησης** (GBAS: Ground Based Augmentation Systems) και **το επίγειο περιφερειακό σύστημα αύξησης** (GRAS: Ground Based Regional Augmentation System) περιγράφουν ένα σύστημα που υποστηρίζει την επαύξηση μέσω της χρήσης των επίγειων σημάτων. Όπως με τα δορυφορικά συστήματα επαύξησης, τα επίγεια συστήματα επαύξησης GBAS αποτελούνται συνήθως από έναν ή περισσότερους επίγειους σταθμούς με γνωστές με μεγάλη ακρίβεια γεωγραφικές συντεταγμένες, που παίρνουν τις μετρήσεις σχετικά με το GNSS, και μια ή περισσότερες συσκευές αποστολής σημάτων, οι οποίοι μεταδίδουν τις πληροφορίες άμεσα στον τελικό χρήστη.

Γενικά, τα δίκτυα GBAS είναι εντοπισμένοι, βοηθητικοί δέκτες μέσα σε ακτίνα 20km, και εκπέμπουν σε ζώνες πολύ υψηλής συχνότητας (VHF: Very High Frequency) ή εξαιρετικά υψηλής συχνότητας (UHF: Ultra High Frequency). Τα συστήματα GRAS εφαρμόζονται σε συστήματα που υποστηρίζουν μια μεγαλύτερη, περιφερειακή περιοχή, και διαβιβάζουν επίσης σε ζώνες VHF. Το σύστημα GRAS είναι ένας συνδυασμός των SBAS και GBAS για να ενισχύσει την απόδοση των GNSS. Είναι όπως τα SBAS, χρησιμοποιούν ένα διανεμημένο δίκτυο σταθμών αναφοράς για τον έλεγχο του GPS (ή άλλων δορυφορικών σχηματισμών) και μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας για τον υπολογισμό της ακεραιότητας και των διαφορικών πληροφοριών διορθώσεων. Αντί της διαβίβασης αυτών των πληροφοριών στους χρήστες μέσω των γεωστατικών δορυφόρων, το GRAS παραδίδει τα στοιχεία

μηνυμάτων SBAS σε ένα δίκτυο επίγειων σταθμών για έναν τοπικό έλεγχο και μια επαναμορφοποίηση. Κάθε περιοχή μεταδίδει ένα σήμα VHF που μπορεί να παραληφθεί από τα αεροσκάφη και να λάβει στοιχεία επαύξησης στη συχνότητα.

Τα συστήματα διαφορικού GPS τοπικής κάλυψης (Local Area Augmentation Systems, LAAS) προορίζονται να συμπληρώσουν τη λειτουργία των συστημάτων ευρείας κάλυψης WAAS, ώστε να εκπληρώσουν όλες τις υψηλές απαιτήσεις ακρίβειας, διαθεσιμότητας και ακεραιότητας των διαδικασιών πλοήγησης. Τα συστήματα GBAS είναι η εφαρμογή των LAAS στην Ευρώπη.

### **1.5.3. Τα συστήματα επαύξησης σε αεροσκάφος ABAS**

Το βασισμένο σε αεροσκάφος σύστημα επαύξησης ABAS (Aircraft-based augmentation system) επαυξάνει ή/και ενσωματώνει πληροφορίες που λαμβάνονται από τα στοιχεία GNSS με άλλες πληροφορίες διαθέσιμες στα αεροσκάφη. Ο στόχος είναι να ενισχυθεί η γενική απόδοση του εξοπλισμού GPS εν πλω ως προς την ακεραιότητα, συνέχεια, τη διαθεσιμότητα και την ακρίβεια. Η τεχνική ABAS μέχρι σήμερα έχει σχεδιαστεί για να επιλύσει τις ανεπάρκειες ακεραιότητας, αν και τα μελλοντικά συστήματα μπορούν να εξετάσουν άλλες πτυχές. Τα δύο συστήματα αυτήν την περίοδο σε χρήση είναι το σύστημα RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring) και το σύστημα AAIM (Aircraft Autonomous Integrity Monitor).

## **1.6. Το Σύστημα EGNOS**

Το σύστημα **EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service)** είναι μία από τις τρεις διαπεριφερειακές, διαλειτουργικές δορυφορικές προστιθέμενες υπηρεσίες SBAS (οι άλλες δύο είναι η αμερικανική WAAS και η ιαπωνική MSAS). Αποτελεί το πρώτο ευρωπαϊκό εγχείρημα στην τεχνολογία των δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού του 21<sup>ου</sup> αιώνα. Υλοποιείται μέσα από ένα κοινό πρόγραμμα της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Διαστήματος (European Space Agency, ESA), της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (European Commission: EC) και της Eurocontrol, της ευρωπαϊκής οργάνωσης για την ασφάλεια της αεροπλοΐας και συνιστά την πρώτη φάση ανάπτυξης του παγκόσμιου πολιτικού δορυφορικού συστήματος εντοπισμού και πλοήγησης (GNSS-1). Είναι πρώτη δραστηριότητα της Ευρώπης στον τομέα των δορυφορικών συστημάτων GNSS και είναι ένας πρόδρομος του συστήματος GALILEO.

Το EGNOS συμπληρώνει τα δύο στρατιωτικά δορυφορικά συστήματα πλοήγησης που λειτουργούν προς το παρόν, το αμερικανικό GPS και το ρωσικό GLONASS, και τα καθιστά κατάλληλα για τις κρίσιμες εφαρμογές ασφάλειας όπως η πτήση αεροσκαφών ή η πλοήγηση σκαφών μέσω στενών καναλιών.





Εικόνα 20 : Λογότυπο του Συστήματος EGNOS

(Πηγή: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Egnoslogo.jpg>)

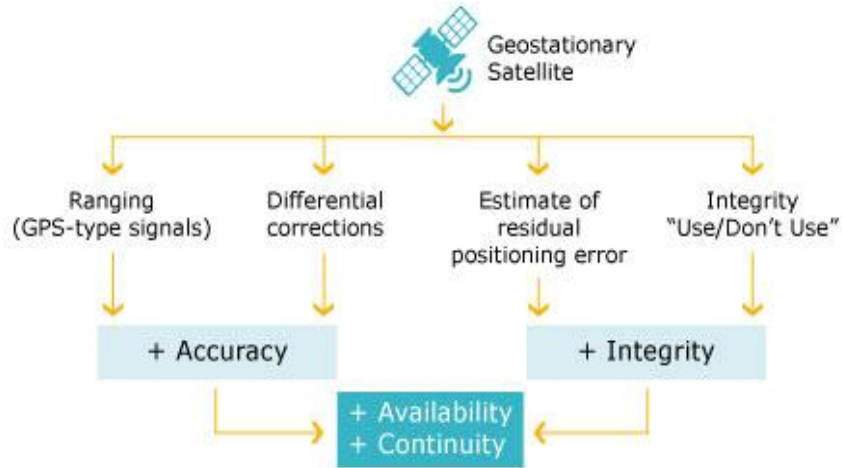
### 1.6.1. Διόρθωση Δεδομένων

Σαν δορυφορικό σύστημα επαύξησης της πλοήγησης, το σύστημα EGNOS βελτιώνει την ακρίβεια του GPS με την παροχή μιας ακρίβειας προσδιορισμού θέσης της τάξης των τριών μέτρων. Συγκριτικά, κάποιος που χρησιμοποιεί έναν αυτόνομο δέκτη GPS (δηλαδή χωρίς τη συνδρομή του EGNOS) μπορεί να αναμένει ότι το επίπεδο ακρίβειας για τον εντοπισμό της θέσης του θα είναι τυπικά της τάξης των 17 μέτρων.

### 1.6.2. Μήνυμα Ακεραιότητας

Το σύστημα EGNOS παρέχει επίσης την εξακρίβωση της ακεραιότητας του συστήματος, η οποία σχετίζεται με την εμπιστοσύνη στην ακρίβεια των πληροφοριών θέσης που παρέχονται από το σύστημα πλοήγησης. Επιπλέον, παρέχει τις έγκαιρες προειδοποιήσεις όταν δεν πρέπει το σύστημα ή τα στοιχεία του να χρησιμοποιηθούν για τη ναυσιπλοΐα. Η ακεραιότητα είναι ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα που ικανοποιεί τις απαιτήσεις των κρίσιμων σε ασφάλεια εφαρμογών στους τομείς όπως αεροπορία και ναυτιλία, όπου οι ζωές μπορεί να τεθούν σε κίνδυνο εάν τα σήματα θέσης είναι ανακριβή.

Αυτές οι πληροφορίες, ή στοιχεία ακεραιότητας, είναι διαμορφωμένες επάνω στο σήμα μέτρησης απόστασης που περιλαμβάνει τις ακριβείς πληροφορίες για τη θέση κάθε δορυφόρου GPS και GLONASS, για την ακρίβεια των ατομικών ρολογιών στους δορυφόρους καθώς και τις πληροφορίες για διαταραχές μέσα στην ιονόσφαιρα που μπορούν να έχουν επιπτώσεις στην ακρίβεια των μετρήσεων προσδιορισμού θέσης. Επομένως ο δέκτης του EGNOS, που είναι πιο περίπλοκος από ένα τυποποιημένο δέκτη δορυφορικής πλοήγησης, αποκωδικοποιεί το σήμα για να δώσει μια ακριβέστερη θέση από ότι είναι δυνατό με το GPS ή το GLONASS μόνο, και μια ακριβή εκτίμηση σφαλμάτων.



Εικόνα 21 : Τα Οφέλη του Συστήματος EGNOS

(Πηγή: <http://egnos-portal.gsa.europa.eu/discover-egnos/about-egnos/benefits>)

### 1.6.3. Συγχρονισμός με τον συντονισμένο παγκόσμιο χρόνο UTC

Το σύστημα EGNOS χρησιμοποιεί μία χρονική κλίμακα γνωστή ως χρόνος δικτύων EGNOS (EGNOS Network Time: ENT), η οποία συνδέεται με τον παγκόσμιο συντονισμένο χρόνο UTC (Universal Time Coordinated). Όλες οι διορθώσεις που μεταδίδονται από το EGNOS αναφέρονται στο χρόνο ENT.

Κατά συνέπεια, ο χρόνος που λαμβάνεται από το χρήστη όταν υπολογίζει τη θέση του χρησιμοποιώντας τα στοιχεία EGNOS παραπέμπεται επίσης σε ENT, όχι στο χρονόμετρο του GPS. Επιπλέον, το EGNOS εκπέμπει επίσης ένα συγκεκριμένο μήνυμα που περιέχει διάφορες παραμέτρους που επιτρέπουν στο δέκτη για να υπολογίσει το χρόνο UTC. Ο χρήστης έπειτα αποκτά μια ακριβή, αξιόπιστη ένδειξη του χρόνου άμεσα συγχρονισμένο με τον χρόνο σε UTC. Η ακρίβεια που εξασφαλίζεται μέσω του EGNOS σχετικά με τον χρόνο UTC είναι λιγότερο από 50 νανοδευτερόλεπτα.

Ο χρόνος UTC είναι μία κλίμακα χρόνου που χρησιμεύει ως ένας διεθνής χρόνος αναφοράς. Είναι κοντά στον παγκόσμιο χρόνο (UT: Universal Time), ο οποίος συνδέεται άμεσα με τη γήινη περιστροφή και διαφέρει από το διεθνή ατομικό χρόνο (TAI: International Atomic Time) κατά έναν ακέραιο αριθμό δευτερολέπτων.

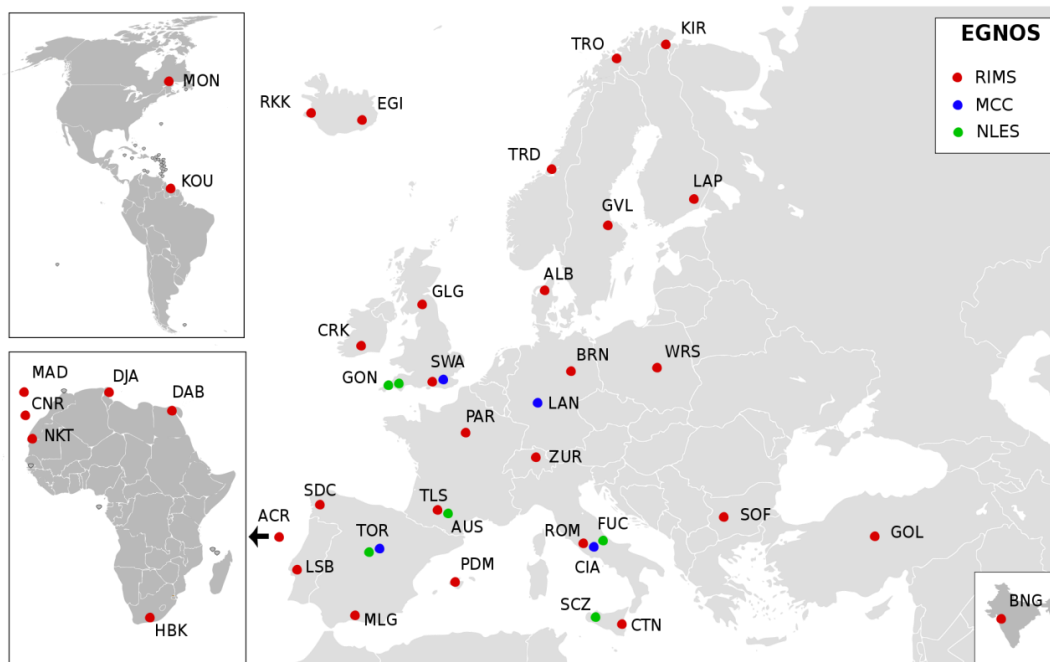
#### 1.6.4. Υποδομή

Αποτελούμενο από τρεις γεωστατικούς δορυφόρους και ένα δίκτυο επίγειων σταθμών, το σύστημα EGNOS επιτυγχάνει το στόχο του που είναι η διαβίβαση σημάτων που περιέχουν πληροφορίες για την αξιοπιστία και την ακρίβεια των σημάτων που στέλνονται από το GPS. Δεδομένου ότι είναι βασισμένο στο GPS, το σήμα EGNOS δεν απαιτεί σημαντικές αλλαγές στους δέκτες. Σήμερα, πολλοί δέκτες GPS που είναι διαθέσιμοι στην αγορά δέχονται και σήματα EGNOS.

**Επίγειο Τμήμα:** Περισσότεροι από 40 επίγειοι σταθμοί συνδέονται για να δημιουργήσουν το δίκτυο EGNOS (Εικόνα 22) που αποτελείται:

- 34 **Επίγειους σταθμούς παρακολούθησης RIMS (Ranging and Integrity Monitoring Stations)** που λαμβάνουν τα σήματα από τους δορυφόρους του αμερικανικού GPS. Τα κέντρα RIMS μετρούν τις θέσεις κάθε δορυφόρου EGNOS και συγκρίνουν τις ακριβείς μετρήσεις των θέσεων κάθε δορυφόρου GPS με τις μετρήσεις που λαμβάνονται από τα σήματα των δορυφόρων. Τα κέντρα RIMS στέλνουν έπειτα αυτά τα δεδομένα στα κέντρα ελέγχου, μέσω του υπάρχοντος δικτύου επικοινωνιών.
- 4 **Κέντρα ελέγχου MCC (Mission Control Centers)** όπου γίνεται η επεξεργασία δεδομένων και οι διαφορικές διορθώσεις που υπολογίζονται. Τα κέντρα ελέγχου καθορίζουν την ακρίβεια των σημάτων GPS και GLONASS που λαμβάνονται σε κάθε σταθμό και καθορίζουν τις ανακρίβειες θέσης λόγω των διαταραχών στην ιονόσφαιρα. Όλα τα δεδομένα απόκλισης ενσωματώνονται έπειτα σε ένα σήμα και στέλνονται μέσω της ασφαλούς σύνδεσης επικοινωνιών με τους σταθμούς NLES. Οι σταθμοί αυτοί στέλνουν το σήμα στους τρεις δορυφόρους EGNOS, οι οποίοι το διαβιβάζουν έπειτα για την αποδοχή από τους χρήστες GPS με έναν EGNOS δέκτη.
- 6 **Σταθμοί NLES (Navigation Land Earth Stations)** που στέλνουν τα στοιχεία ακρίβειας και αξιοπιστίας στους τρεις γεωστατικούς δορυφορικούς αναμεταδότες πολλαπλών σταθμών και επιτρέπουν έτσι στους τελικούς χρήστες να τις λάβουν.

Ο ιδιαίτερος πλεονασμός στο EGNOS απαιτείται έτσι ώστε η υπηρεσία να είναι εγγυημένη σε όλες τις περιπτώσεις. Σε οποιαδήποτε στιγμή, μόνο ένα κύριο κέντρο ελέγχου θα είναι το κύριο, με ένα άλλο σε ετοιμότητα να αναλάβει στιγμιαία εάν αποτύχει το πρώτο. Υπάρχει επίσης πλεονασμός στους up-link σταθμούς NLES. Μόνο τρεις απαιτούνται για να λειτουργήσει το EGNOS, ένας για κάθε δορυφόρο. Οι άλλοι τρεις είναι σε εφεδρεία σε περίπτωση ανεπάρκειας.



Εικόνα 22 : Το Επίγειο Τμήμα του Συστήματος EGNOS

(Πηγή: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:EGNOS\\_map.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:EGNOS_map.svg))

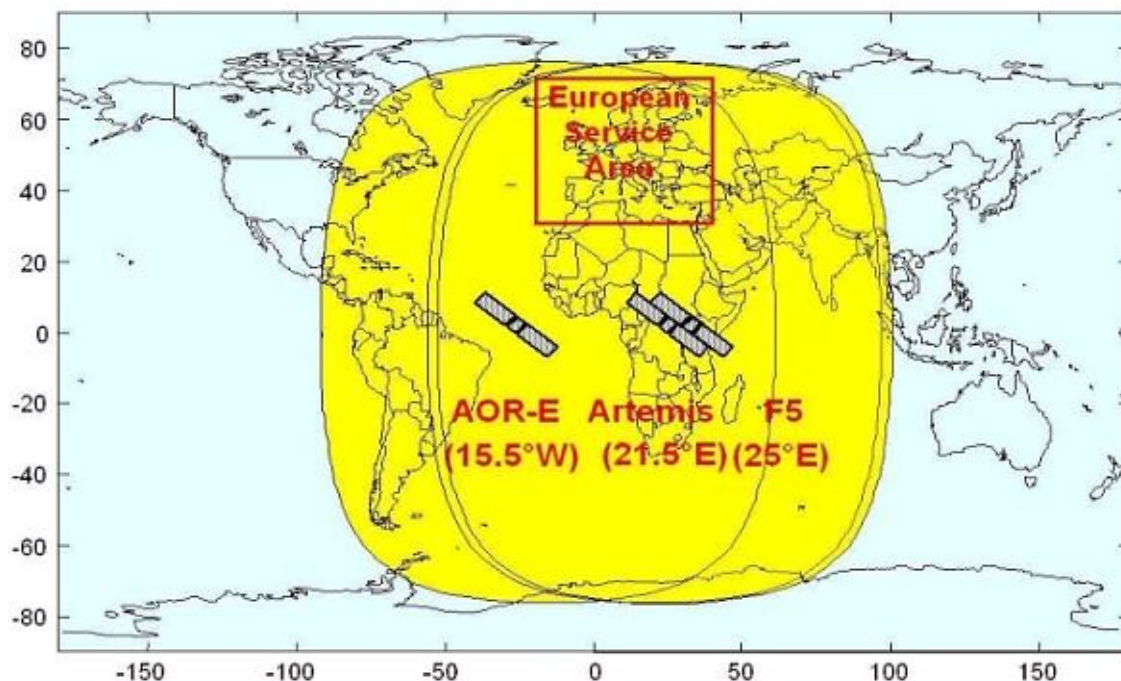
**Τμήμα Διαστήματος:** Μια **γεωστατική τροχιά** (ή **γεωστατική γήινη τροχιά - GEO**) είναι μια γεωσύγχρονη τροχιά ακριβώς επάνω από τον ισημερινό της γης με μια περίοδο ίση με τη γήινη περιστροφική περίοδο και τροχιακή εκκεντρικότητα περίπου μηδέν. Αυτά τα χαρακτηριστικά απαιτούνται έτσι ώστε, από τις θέσεις στην επιφάνεια της γης, τα γεωστατικά αντικείμενα εμφανίζονται ακίνητα στον ουρανό. Λόγω του σταθερού γεωγραφικού πλάτους  $0^\circ$  και της κυκλικότητας των γεωστατικών τροχιών, οι δορυφόροι GEO διαφέρουν στη θέση μόνο κατά το γεωγραφικό μήκος (Πίνακας 13). Το σήμα EGNOS εκπέμπεται τελικώς από τους τρεις γεωστατικούς δορυφόρους: δύο Inmarsat-3 δορυφόρους, έναν πάνω από το ανατολικό μέρος του Ατλαντικού, και τον άλλο πάνω από τον Ινδικό Ωκεανό, και τον δορυφόρο ESA Artemis επάνω από την Αφρική (Εικόνα 23). Η χρήση EGNOS στο έδαφος, ειδικά στις αστικές περιοχές, είναι περιορισμένη λόγω σχετικά χαμηλής γωνίας ύψους περίπου  $30^\circ$  πάνω από τον ορίζοντα στη κεντρική Ευρώπη και πολύ λιγότερο στο βόρειο τμήμα της Ευρώπης.

Όνομα Δορυφόρων	NMEA/PRN	Τοποθεσία
Atlantic Ocean Region-East	NMEA #33 / PRN #120	$15.5^\circ\text{W}$
ARTEMIS	NMEA #37 / PRN #124	$21.5^\circ\text{E}$
Europe Middle East Africa	NMEA #39 / PRN #126	$25^\circ\text{E}$
Indian Ocean	NMEA #44 / PRN #131	$64.5^\circ\text{E}$
Sirius 5 (από το 2011)		$5.0^\circ\text{E}$

Πίνακας 13 : Οι Δορυφόροι του Συστήματος EGNOS

(Πηγή: <http://en.wikipedia.org/wiki/EGNOS>)

Η περιοχή κάλυψης του EGNOS περιλαμβάνει όλα τα ευρωπαϊκά κράτη και θα μπορούσε να επεκταθεί εύκολα για να περιλάβει και άλλες περιοχές, όπως η Νότια Αμερική, η Αφρική, και μέρη της Ασίας και της Αυστραλίας, μέσα στην κάλυψη των τριών χρησιμοποιούμενων γεωστατικών δορυφόρων.



Εικόνα 23 : Οι Δορυφόροι του Συστήματος EGNOS

(Πηγή: [www.fig.net/pub/monthly\\_articles/february\\_2007/february\\_2007\\_venturatravaset\\_etal.htm](http://www.fig.net/pub/monthly_articles/february_2007/february_2007_venturatravaset_etal.htm) )

### 1.6.5. Υπηρεσίες EGNOS

Το σύστημα EGNOS θα προσφέρει τρεις υπηρεσίες (Εικόνα 24). Αυτές είναι:

- **Open Service-Ανοικτή υπηρεσία:** Η υπηρεσία παρέχεται δωρεάν χωρίς οποιαδήποτε εγγύηση ή προκύπτουσα ευθύνη. Είναι ανοικτή για τη χρήση σε κάθε χρήστη με ένα δορυφορικό δέκτη EGNOS. Αυτός μπορεί να είναι οποιοσδήποτε δέκτης συμβατός με τα δορυφορικά συστήματα επαύξησης SBAS. Η ανοικτή υπηρεσία ξεκίνησε να λειτουργεί την 1η Οκτωβρίου 2009.
- **Safety-of-life Service-Υπηρεσία ασφαλείας:** Το σύστημα EGNOS παρέχει ένα πολύτιμο μήνυμα ακεραιότητας που θα προειδοποιεί το χρήστη για οποιαδήποτε δυσλειτουργία του σήματος GPS μέσα σε έξι δευτερόλεπτα. Αυτό το μήνυμα ακεραιότητας είναι απαραίτητο όταν χρησιμοποιείται η δορυφορική πλοήγηση για τις εφαρμογές όπου οι ανθρωπινές ζωές δεν πρέπει να τίθενται σε κίνδυνο.

- **Commercial Service-Εμπορική υπηρεσία:** Το σύστημα EGNOS παρέχει μια επίγεια εμπορική υπηρεσία στοιχείων αποκαλούμενη EGNOS Data Access Service (EDAS), η οποία διαδίδει τα στοιχεία EGNOS σε πραγματικό χρόνο και είναι το ενιαίο σημείο της πρόσβασης για τα στοιχεία που συλλέγονται και που παράγονται από την υποδομή EGNOS.

<b>Navigation</b>	<b>Open Service</b>	Free to air; Mass market; Simple positioning; free of charge	
	<b>Commercial</b>	High accuracy; Encrypted; Professional guaranteed service	
	<b>Safety of Life</b>	Open Service + Integrity and Authentication of signal	

Εικόνα 24 : Οι Υπηρεσίες EGNOS

(Πηγή: [http://www2.technion.ac.il/~liaison/open-calls/galileo\\_applications\\_0209.ppt](http://www2.technion.ac.il/~liaison/open-calls/galileo_applications_0209.ppt))

#### 1.6.6. Οφέλη του Συστήματος EGNOS

Το EGNOS αυξάνει την ακρίβεια των δορυφορικών σημάτων GNSS. Παρέχει πληροφορίες για το επίπεδο εμπιστοσύνης που ένας χρήστης μπορεί να έχει για τον προσδιορισμό θέσης και το συγχρονισμό που παρέχονται από τους δορυφόρους GPS, μια έννοια γνωστή ως ακεραιότητα (integrity). Επιπλέον, το σύστημα EGNOS παρέχει τις πληροφορίες για τη συνοχή των σημάτων GPS (η δυνατότητα του συστήματος να λειτουργήσει χωρίς διακοπή) και της διαθεσιμότητάς του (το ποσοστό του χρόνου κατά τη διάρκεια του οποίου τα σήματα εκπληρώνουν τα κριτήρια ακρίβειας, ακεραιότητας και συνοχής).

Χάρη στο σύστημα EGNOS, θα διευκολυνθεί η σταδιακή μετάβαση στις υπηρεσίες του Galileo καθώς αυξάνονται σημαντικά οι εφαρμογές δορυφορικής πλοήγησης και εξασφαλίζεται η απαραίτητη πιστοποίηση και έγκριση των διαδικασιών εντοπισμού.

### 1.6.7. Πώς βοηθά το EGNOS

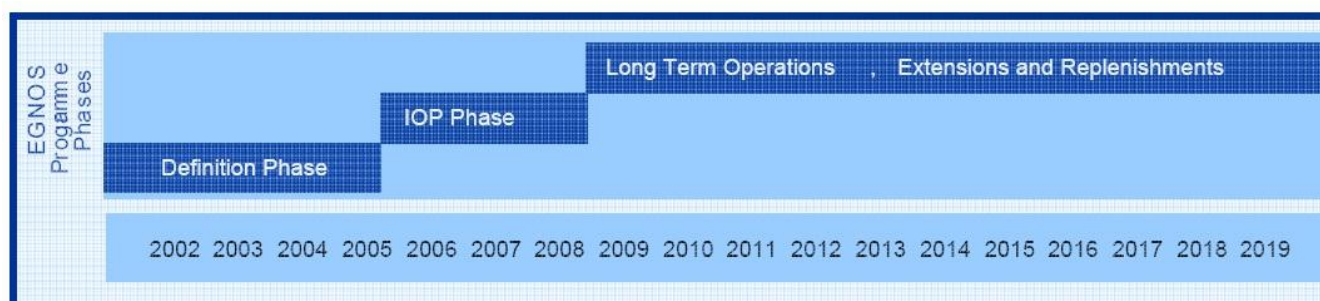
Το σύστημα EGNOS επιτρέπει στο χρήστη με έναν δέκτη GPS/GNSS που είναι συμβατός με το σύστημα:

- να βελτιώσει την ακρίβεια της θέσης του σε λιγότερο από τρία μέτρα
- να έχει πρόσβαση στα στοιχεία ακεραιότητας που επικυρώνουν τα σήματα που διαβιβάζονται από τους δορυφόρους GNSS μαζί με τις προειδοποιήσεις με προσέγγιση πραγματικού χρόνου (λιγότερο από έξι δευτερόλεπτα) οποιονδήποτε ανεπαρκειών στην αξιοπιστία των σημάτων θέσης
- να αυξήσει τη διαθεσιμότητα του σήματος GPS/GNSS σε σχέση με τα κριτήρια ακρίβειας, ακεραιότητας και συνοχής
- να ωφεληθεί από τον ακριβή και αξιόπιστο συγχρονισμό με τον συντονισμένο παγκόσμιο χρόνο UTC (Universal Time Coordinated)

Η ενσωμάτωση του EGNOS στο Galileo δε δημιουργεί ιδιαίτερα προβλήματα. Σε θεσμικό επίπεδο, η ενσωμάτωση της διαχείρισης των προγραμμάτων EGNOS και Galileo είναι η καλύτερη λύση που εξασφαλίζει άριστη συμπληρωματικότητα. Έτσι, η συνέργεια με το Galileo έχει ως στόχους μεταξύ άλλων:

- την επίβλεψη της λειτουργίας του EGNOS μετά την ολοκλήρωση της Σύνοψης Λειτουργικής Ετοιμότητας τον Ιούνιο του 2004
- την προκήρυξη προσκλήσεων για την υπογραφή σύμβασης παραχώρησης της λειτουργίας του EGNOS από τον Ιούνιο του 2004.

Το σύστημα ξεκίνησε την αρχική λειτουργία του το 2005 (Εικόνα 25), παρουσιάζοντας εξαιρετικές αποδόσεις από άποψη ακρίβειας (καλύτερη από 2 μέτρα) και διαθεσιμότητας (πάνω από 99%) και προορίστηκε για χρήση στις εφαρμογές ασφάλειας της ζωής το 2008.



Εικόνα 25 : Χρονοδιάγραμμα EGNOS

(Πηγή: <http://www.oosa.unvienna.org/pdf/icg/2008/expert/2-2.pdf>)

Στις 28 Ιουλίου 2005, η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος ανήγγειλε ότι είχε υπογράψει μια σύμβαση με μια επιχείρηση, τον Ευρωπαϊκό Φορέα Παροχής Δορυφορικών Υπηρεσιών (European Satellite Services Provider), για να λειτουργεί το EGNOS.

Από τον Ιούλιο του 2005 το EGNOS μεταδίδει ένα συνεχές σήμα, και μάλιστα στα τέλη του ίδιου μήνα το σύστημα χρησιμοποιήθηκε για την παρακολούθηση των ποδηλατιστών του γύρου της Γαλλίας (Tour de France).

#### **1.6.8. Χρόνος EGNOS και Γεωδαιτικά Πλαίσια Αναφοράς**

Ο χρόνος και οι πληροφορίες θέσης που παράγονται από έναν δέκτη SBAS ο οποίος εφαρμόζει κατάλληλα τις διορθώσεις EGNOS δεν αναφέρονται στο χρόνο GPS και τα συστήματα αναφοράς WGS84. Πιο συγκεκριμένα, οι συντεταγμένες θέσης και οι χρονικές πληροφορίες αναφέρονται στα ξεχωριστά συστήματα που ιδρύθηκαν από το σύστημα EGNOS, δηλαδή στη χρονική κλίμακα που υλοποιείται μέσω των ατομικών χρονομέτρων του EGNOS Network Time (ENT) και το επίγειο πλαίσιο αναφοράς EGNOS (ETRF). Ωστόσο, τα συστήματα αναφοράς EGNOS είναι πολύ καλά ευθυγραμμισμένα με τα αντίστοιχα συστήματα GPS και για τη μεγάλη πλειοψηφία των χρηστών, η διαφορά μεταξύ αυτών δύο χρόνων και πλαισίων αναφοράς είναι αμελητέες.



## 1.7. Το Σύστημα HEPOS

Το Ελληνικό Σύστημα Εντοπισμού (HEPOS: Hellenic POsitioning System) είναι μία υπηρεσία η οποία επιτρέπει τον προσδιορισμό θέσης με υψηλή ακρίβεια αξιοποιώντας το υφιστάμενο παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα εντοπισμού GPS και βρίσκεται σε λειτουργία εδώ και δύο περίπου έτη. Το HEPOS αποτελεί ένα σύγχρονο σύστημα εντοπισμού αντίστοιχο με αυτά που λειτουργούν τα τελευταία χρόνια στις περισσότερες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ήδη το μεγαλύτερο μέρος της τοπογραφικής κοινότητας γνωρίζει τις δυνατότητες του συστήματος και τα οφέλη από τη χρήση του.

### 1.7.1. Αρχιτεκτονική του Συστήματος HEPOS

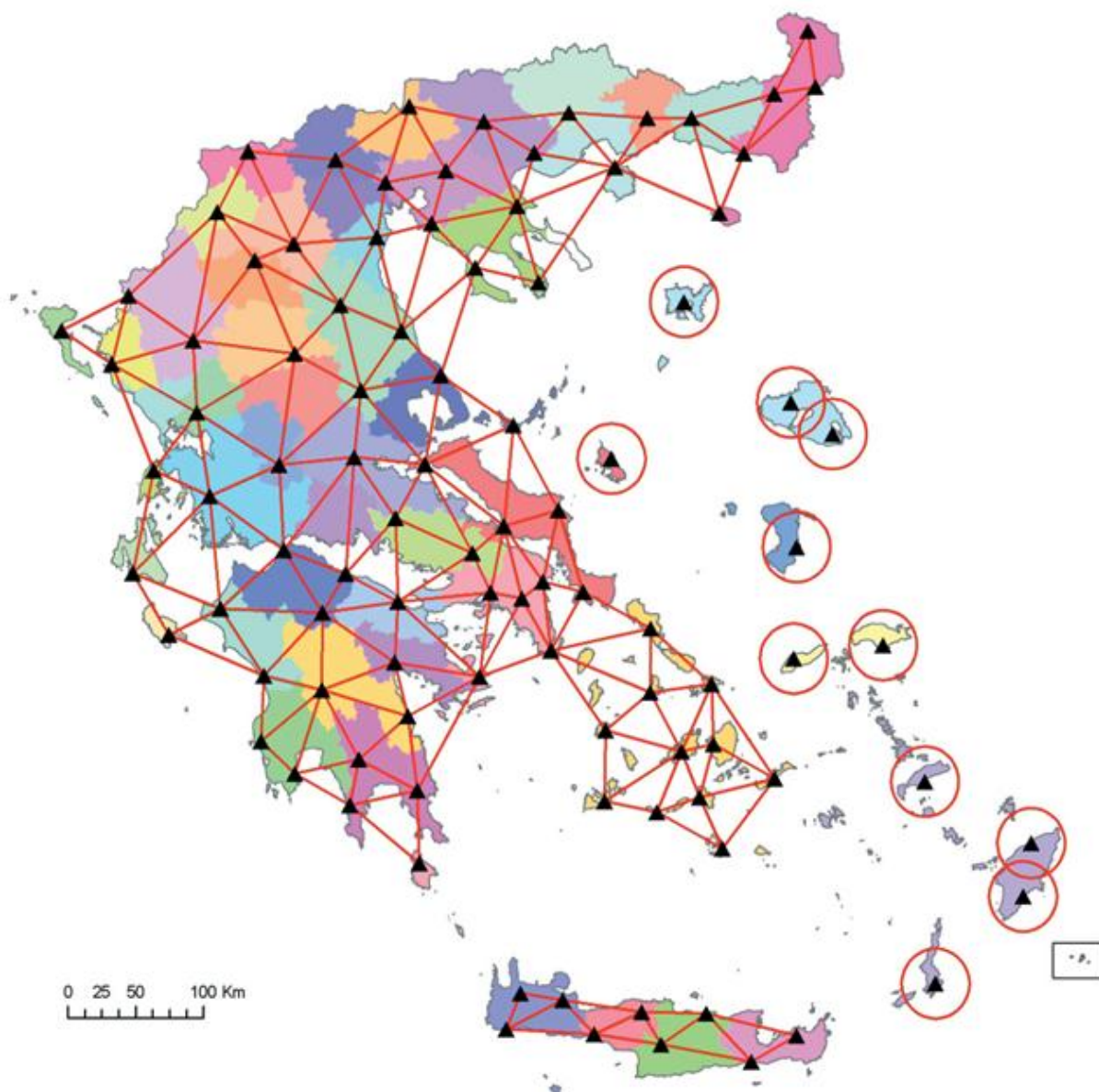
Το HEPOS αποτελείται από ένα σύνολο 98 μόνιμων Σταθμών Αναφοράς (ΣΑ) GPS, ένα Κέντρο Ελέγχου (ΚΕ) και ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο το οποίο διασυνδέει αμφίδρομα τους ΣΑ με το ΚΕ. Οι ΣΑ βρίσκονται κατανεμημένοι σε ολόκληρη τη χώρα, όπως φαίνεται στην εικόνα 27 (έχουν εγκατασταθεί κατά ένα μεγάλο ποσοστό σε δημόσια κτήρια, κυρίως κτήρια του ΟΤΕ, για λόγους ασφάλειας (Εικόνα 26)). Οι δέκτες GPS των ΣΑ βρίσκονται σε συνεχή λειτουργία και αποστέλλουν ανά δευτερόλεπτο τις μετρήσεις τους μέσω του τηλεπικοινωνιακού δικτύου στο Κέντρο Ελέγχου, το οποίο βρίσκεται στις εγκαταστάσεις της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. στο Χολαργό Αττικής.



Εικόνα 26 : Ο Θόλος Σταθμού HEPOS

(Πηγή: <http://www.hepos.gr>)

Στο ΚΕ γίνεται η συλλογή των δεδομένων, η επεξεργασία τους για την αποστολή διορθώσεων στους χρήστες σε πραγματικό χρόνο και η αρχειοθέτηση των πρωτογενών και παράγωγων δεδομένων. Επίσης το Κέντρο Ελέγχου παραλαμβάνει και αιτήματα των χρηστών, ετοιμάζει τα δεδομένα που ζητήθηκαν και τα αποστέλλει στους χρήστες. Η εξυπηρέτηση λοιπόν των χρηστών γίνεται πάντοτε μέσω του Κέντρου Ελέγχου.



Εικόνα 27 : Οι Σταθμοί Αναφοράς HEPOS

(Πηγή: [http://www.psdadm.gr/psdatm/docs/magazine/ETHNIKO\\_KTHMATOLOGIO\\_191.pdf](http://www.psdadm.gr/psdatm/docs/magazine/ETHNIKO_KTHMATOLOGIO_191.pdf))

### 1.7.2. Οι Υπηρεσίες Προσδιορισμού Θέσης

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

Οι υπηρεσίες **πραγματικού χρόνου (real-time)** του HEPOS που επιτρέπουν τον προσδιορισμό θέσης με υψηλή ακρίβεια. Με τις υπηρεσίες αυτές ο χρήστης μπορεί να μετράει με ένα γεωδαιτικό δέκτη GPS στο σημείο που θέλει να προσδιορίσει και να υπολογίζει τις συντεταγμένες του σημείου κατά τη στιγμή της μέτρησης. Δεν απαιτείται δηλαδή επεξεργασία δεδομένων στο γραφείο, όπως συμβαίνει με τις υπηρεσίες μετεπεξεργασίας. Οι υπηρεσίες πραγματικού χρόνου περιλαμβάνουν τόσο τεχνικές DGPS (ακρίβεια της τάξης του 0.5m), όσο και εφαρμογές RTK (ακρίβεια τάξης λίγων cm).

Οι υπηρεσίες **μετεπεξεργασίας (post-processing)** του HEPOS επιτρέπουν τον προσδιορισμό θέσης με υψηλή ακρίβεια. Για τη χρήση των υπηρεσιών αυτών ο χρήστης μετράει με ένα γεωδαιτικό δέκτη GPS στα σημεία που θέλει να προσδιορίσει και στη συνέχεια επεξεργάζεται τα δεδομένα αυτών των μετρήσεων σε συνδυασμό με δεδομένα σταθμού αναφοράς από το HEPOS για τον υπολογισμό των συντεταγμένων των σημείων. Η επεξεργασία αυτή γίνεται στο γραφείο μετά την μέτρηση. Οι υπηρεσίες μετεπεξεργασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μέτρηση με τις ακόλουθες τεχνικές GPS (στατικό εντοπισμό (static), σύντομο στατικό εντοπισμό (rapid-static), κινηματικό εντοπισμό (post-processed kinematic)).

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

### 1.7.3. Εφαρμογές του HEPOS

Το HEPOS αναπτύχθηκε από την ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. για να καλύψει τις ανάγκες σύνταξης του Εθνικού Κτηματολογίου. Παράλληλα, ως έργο υποδομής μπορεί να έχει και μία σειρά εφαρμογές και σε άλλους τομείς όπου υπάρχουν αυξημένες ανάγκες χωρικής ακρίβειας. Το HEPOS απευθύνεται σε ένα ευρύ φάσμα φορέων όπως :

- Δημόσιες Υπηρεσίες και Οργανισμούς
- Αναδόχους Έργων της Κτηματολόγιο Α.Ε.
- Τοπογράφους Μηχανικούς και γενικότερα επαγγελματίες του χώρου των γεωεπιστημών
- Ιδιώτες μελετητές και κατασκευαστές έργων

Παράλληλα με τις κτηματογραφικές εργασίες το HEPOS μπορεί να καλύψει και πλήθος άλλων εφαρμογών στα πεδία της Τοπογραφίας, Γεωδαισίας, Χαρτογραφίας, Υδρογραφίας, κατασκευής χωρικών δεδομένων και γεωεπιστημών.

Επίσης, το HEPOS μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στην επιστημονική έρευνα σε τομείς όπως η Γεωδυναμική, η Γεωλογία και η Σεισμολογία .

#### **1.7.4. Πλεονεκτήματα**

Το HEPOS υλοποιεί ένα δυναμικό, σύγχρονο σύστημα δορυφορικού εντοπισμού με πολλά πλεονεκτήματα:

- Προσδιορίζει με ακρίβεια λίγων εκατοστών τη θέση ενός σημείου σε πραγματικό χρόνο
- Βελτιώνει την αμεσότητα, οικονομία και αποδοτικότητα στην καθημερινή τοπογραφική πρακτική
- Απλοποιεί τη μετρητική διαδικασία
- Εξασφαλίζει ενιαία ακρίβεια και ομοιογένεια σε όλη την Επικράτεια.

#### **1.7.5. Δικτυακές Τεχνικές του HEPOS**

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

##### ***Τι είναι δικτυακές τεχνικές ;***

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

##### ***Πλεονεκτήματα***

Η χρήση των δικτυακών τεχνικών έχει το βασικό πλεονέκτημα ότι καθώς αυξάνεται το μήκος της βάσης:

- Δεν μειώνεται η ακρίβεια εντοπισμού
- Δεν απαιτείται αυξημένος χρόνος παρατήρησης προκειμένου να λυθεί η βάση
- Δεν μειώνεται η αξιοπιστία και η αποδοτικότητα του RTK

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

Το HEPOS υποστηρίζει και τις τρεις κατηγορίες δικτυακών τεχνικών που υπάρχουν. Συγκεκριμένα οι τεχνικές που υποστηρίζει είναι οι VRS, FKP και MAC. Στη συνέχεια δίνονται τα βασικότερα στοιχεία καθεμίας από αυτές.

### ***Τεχνική VRS***

Στην περίπτωση του VRS (Virtual Reference Station ή Εικονικός Σταθμός Αναφοράς) τα δεδομένα των (πραγματικών) σταθμών αναφοράς και τα υπολογισμένα μοντέλα των σφαλμάτων χρησιμοποιούνται για να δημιουργηθούν εικονικές παρατηρήσεις σε οποιοδήποτε σημείο εντός της περιοχής του δικτύου. Σύμφωνα με τη θεωρία του VRS, οι παρατηρήσεις αυτές είναι ίδιες με αυτές που θα κατέγραφε ένας δέκτης εάν βρισκόταν σε λειτουργία στο σημείο αυτό κατά το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Το σημείο για το οποίο μπορεί να ζητηθεί δημιουργία VRS, μπορεί στη φυσική πραγματικότητα να είναι εντελώς ακατάλληλο για μετρήσεις, όπως π.χ. μέσα σε δάσος, σε κτίσμα, ή ακόμα και κάτω από το έδαφος! Οι μετρήσεις θα αντιστοιχούν στις μετρήσεις που θα είχε καταγράψει ένας δέκτης τοποθετημένος στο σημείο αυτό, εάν δεν υπήρχε κανένα εμπόδιο.

### ***Τεχνική FKP***

Στην περίπτωση της τεχνικής FKP (Flachen Korrekturparameter ή Area Correction Parameters) το δίκτυο στέλνει στο χρήστη τις παραμέτρους μαθηματικών επιφανειών που περιγράφουν τα εκάστοτε σφάλματα που υπεισέρχονται στις μετρήσεις. Ο χρήστης χρησιμοποιεί αυτές τις επιφάνειες για να υπολογίσει τις τιμές των σφαλμάτων στο σημείο στο οποίο βρίσκεται και να κάνει τις ανάλογες διορθώσεις στις παρατηρήσεις.

### ***Τεχνική MAC***

Στην περίπτωση της τεχνικής MAC (Master Auxiliary Concept) το δίκτυο στέλνει στο χρήστη τις Διορθώσεις (Corrections) ενός κύριου σταθμού αναφοράς (Master station) καθώς και Διαφορές Διορθώσεων (Correction differences) γειτονικών βοηθητικών σταθμών αναφοράς (Auxiliary stations). Σύμφωνα με τη θεωρία της τεχνικής MAC, ο χρήστης λαμβάνει όλη την πρωτογενή πληροφορία σχετικά με τα σφάλματα χωρίς να μεσολαβεί κάποια μοντελοποίηση από το δίκτυο. Μπορεί έτσι να εφαρμόσει προηγμένους αλγόριθμους και να πετύχει μεγαλύτερη ακρίβεια.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> – ΣΦΑΛΜΑΤΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά των σημαντικότερων σφαλμάτων που επηρεάζουν την ακρίβεια και την απόδοση των συστημάτων GNSS. Κάποιες έννοιες θα χρησιμοποιηθούν και στο επόμενο κεφάλαιο, για αυτό το λόγο κρίθηκε σκόπιμο να περιγραφούν αναλυτικά οι παράμετροι των σφαλμάτων καθώς και οι δείκτες DOP, RDOP (Relative DOP), NSP και UERE (User Equivalent Range Error) με τους οποίους αντιλαμβανόμαστε την ακρίβεια των αποτελεσμάτων και την ποιότητα των μετρήσεών μας.

### 2.1. Σφάλματα και Πηγές Σφαλμάτων GNSS

Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά απόδοσης για όλα τα συστήματα GNSS είναι (Εικόνα 28):

- Ακρίβεια – ( Accuracy )
- Διαθεσιμότητα – (Availability )
- Ακεραιότητα – (Integrity )
- Συνέχεια - (Continuity )

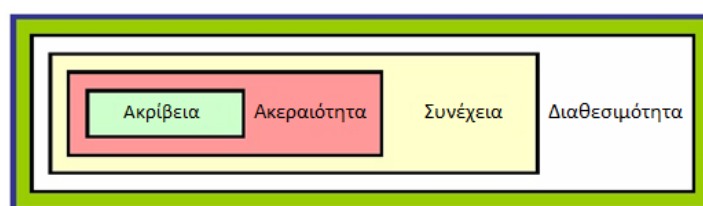
Η ποιότητα αυτών εξαρτάται από το ίδιο το σύστημα GNSS. Κάθε χαρακτηριστικό καθορίζεται ως (Hynek Mocek, 2008):

**Ακρίβεια:** για έναν δεδομένο δορυφορικό σχηματισμό, πόσο κοντά στη θεωρητική αληθινή θέση μπορεί να είναι ο δέκτης στις τρεις διαστάσεις. Για διάφορες μετρήσεις που λαμβάνονται σε μια στατική θέση, διευκρινίζεται κανονικά ως τη σφαίρα μεγέθους σφάλματος που περιέχει το 95% των μετρήσεων.

**Ακεραιότητα:** η δυνατότητα του GNSS να παρέχει έγκαιρες προειδοποιήσεις και συναγερμούς κινδύνου στους χρήστες και συμβουλεύει τότε δεν πρέπει να χρησιμοποιηθούν.

**Συνέχεια:** η πιθανότητα η διευκρινισμένη απόδοση του συστήματος να διατηρηθεί κατά τη διάρκεια μιας φάσης εφαρμογής.

**Διαθεσιμότητα:** το ποσοστό του χρόνου που οι υπηρεσίες του συστήματος είναι προς χρήση.



Εικόνα 28 : Χαρακτηριστικά Απόδοσης Συστημάτων GNSS

(Πηγή: “Galileo as an instrument of unification of the European railway transport”,  
Hynek Mocek, 2008)

Στο δορυφορικά συστήματα πλοήγησης, η ακρίβεια προσδιορισμού της θέσης των χρηστών υπολογίζεται κυρίως από δύο παράγοντες: το δείκτη γεωμετρικής ακρίβειας (DOP) και του UERE (User Equivalent Range Error) (το ισοδύναμο σφάλμα της απόστασης του χρήστη από τους δορυφόρους). Η πρώτη παράμετρος υπολογίζεται αρχικά από τις θέσεις των δορυφόρων και είναι συνάρτηση της γεωμετρίας του δορυφορικού σχηματισμού ως προς το χρήστη την εκάστοτε χρονική στιγμή μιας μέτρησης. Η δεύτερη υπολογίζεται από την ενιαία συμβολή των διαφόρων σφαλμάτων τα οποία δεν απαλείφονται από τα μοντέλα και έχουν επιπτώσεις στις μετρήσεις ψευδοαποστάσεων και συσχετίζονται κυρίως με τις διαταραχές των σημάτων.

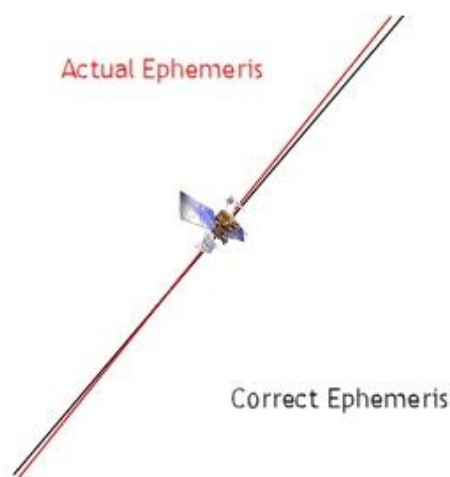
Τα σφάλματα που επηρεάζουν τη λειτουργία των συστημάτων GNSS τα διακρίνουμε με μια σειρά σφαλμάτων, συστηματικού κυρίως χαρακτήρα (systematic errors, biases) που επηρεάζουν τον προσδιορισμό θέσης (και χρόνου κατά περίπτωση) με παρατηρήσεις GNSS. Τα τυχαία σφάλματα (random errors), που προφανώς είναι αναπόφευκτα κατά την εκτέλεση των μετρήσεων, αποκαλούνται συνήθως ως θόρυβος (noise, white noise). Τα σφάλματα GNSS μπορούν να χωρισθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες με τις επιμέρους υποκατηγορίες τους:

### **2.1.1. Σφάλματα Δορυφόρων**

1. Σφάλμα χρονομέτρου δορυφόρου, οφείλεται στον μη συγχρονισμό του ατομικού χρονομέτρου του κάθε δορυφόρου ως προς το χρόνο GNSS, που αποτελεί την κλίμακα χρόνου του συστήματος. Αντί να γίνει διόρθωση του χρόνου στο ατομικό χρονόμετρο του κάθε δορυφόρου, έγινε η επιλογή της ελεύθερης ροής χρόνου με αποτέλεσμα την απόκλιση των ονομαστικών κλιμάκων των δορυφόρων από την κλίμακα του GNSS και τον υπολογισμό των αντίστοιχων σφαλμάτων με πρόγνωση για χρήση σε πραγματικό χρόνο.

2. Σφάλμα τροχιάς δορυφόρου, είναι η συστηματική παρέκκλιση της θέσης (και της ταχύτητας) του δορυφόρου από την πραγματική θέση, την θέση που είναι γνωστή με βάση τις παρατηρήσεις για τον υπολογισμό τροχιών και των μαθηματικών μοντέλων που χρησιμοποιούνται (Εικόνα 29). Αν και οι δορυφόροι τοποθετούνται στις πολύ ακριβείς τροχιές, οι μικρές μετατοπίσεις των τροχιών οφείλονται στις διαταρακτικές δυνάμεις του γήινου πεδίου βαρύτητας. Ο Ήλιος και η Σελήνη επίσης ασκούν μια μικρή επιρροή στις τροχιές εξ αιτίας ανάλογων βαρυτικών επιδράσεων. Επομένως η επιρροή στην ακρίβεια του προσδιορισμού θέσης είναι μάλλον χαμηλή, το σφάλμα που προκύπτει δεν ξεπερνά τα 2m. Σφάλματα στην ακρίβεια μπορούν να συντεθούν από τις μικρές ανακρίβειες στη τροχιακή εφημερίδα κάθε δορυφόρου. Η εφημερίδα είναι ένας πίνακας που δίνει τις συντεταγμένες ενός δορυφόρου κατά τη διάρκεια του χρόνου. Εάν η πραγματική πορεία του δορυφόρου παρεκκλίνει από την τροχιά της εφημερίδας του, η ακρίβεια μπορεί να “αραιωθεί” (δηλαδή να ελαττωθεί) περαιτέρω. Γενικά εάν τα σφάλματα μιας τροχιάς υπερβούν καθορισμένα αποδεκτά επίπεδα αποκλίσεων από την εκάστοτε σχεδιασμένη τροχιά, αυτά μπορούν να διορθωθούν με την ενεργοποίηση των μικρών πυραύλων που βρίσκονται στους

ίδιους τους δορυφόρους. Οι εντολές για τέτοιες ρυθμίσεις διαβιβάζονται προς τον εκάστοτε συγκεκριμένο δορυφόρο από τον κύριο σταθμό ελέγχου (Master Control Stations).



Εικόνα 29 : Αποκλίσεις από την Πραγματική Πορεία

(Πηγή: [www.developerfusion.com/article/4652/writing-your-own-gps-applications-part-2/2/](http://www.developerfusion.com/article/4652/writing-your-own-gps-applications-part-2/2/))

3. Σφάλμα επιλεκτικής διαθεσιμότητας, είναι μια μέθοδος σκόπιμης μείωσης της ενδογενούς ακρίβειας του συστήματος, που επιβάλλεται με δυο διαφορετικές τεχνικές, είτε μειώνοντας την ακρίβεια των παραμέτρων της εκπεμπόμενης δορυφορικής εφημερίδας είτε μέσω μεταβολής της συχνότητας εξόδου του δορυφορικού χρονομέτρου. Αυτή όμως δεν εφαρμόζεται πλέον.

### 2.1.2. Σφάλματα Δεκτών

1. Σφάλμα χρονομέτρου δέκτη, οφείλεται στον μη συγχρονισμό του χρονομέτρου του δέκτη με την κλίμακα χρόνου GNSS εκφράζεται από το αντίστοιχο σφάλμα που είναι σημαντικό και δεν μπορεί να αγνοηθεί. Το σφάλμα αυτό είναι συνάρτηση του χρόνου, μπορεί να υπολογίζεται σε κάθε εποχή παρατήρησης και σχεδόν απαλείφεται από τις παρατηρήσεις με τις διαδικασίες σχετικού προσδιορισμού θέσης. Στον απόλυτο προσδιορισμό θέσης σε πραγματικό χρόνο υπολογίζεται ταυτόχρονα με τη θέση.

2. Τυχαίο σφάλμα παρατήρησης ή θόρυβος, είναι αναπόφευκτο σε κάθε παρατήρηση. Ο όρος τυχαίο πολύ απλά αντανακλά το σφάλμα που κατά μέσο όρο τείνει στο μηδέν όσο αυξάνονται οι επαναλήψεις της μέτρησης κάτω από τις ίδιες συνθήκες.

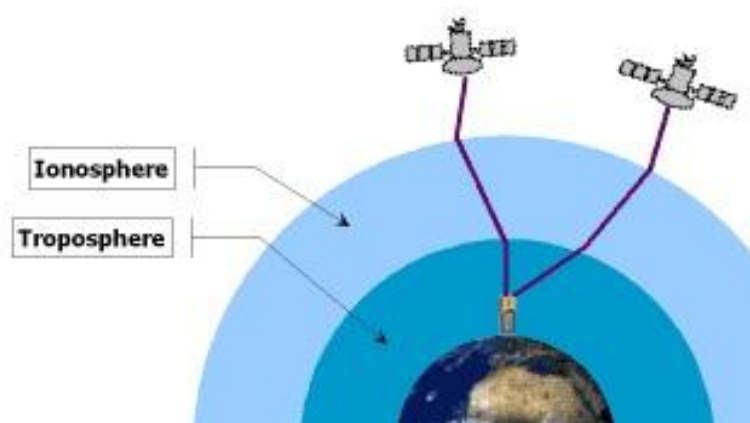
Αν και ο θόρυβος του κώδικα δεκτών για έναν συμβατικό δέκτη C/A κώδικα είναι ισοδύναμος με σφάλματα περίπου της τάξης ενός μέτρου, τα σφάλματα θορύβου κώδικα μπορούν να είναι αρκετά χαμηλότερα, τυπικά της τάξης των 10-20 cm. Θόρυβοι από διάφορους παράγοντες θερμικής απόδοσης των δεκτών στο επίπεδο των 10 cm με 1m θεωρούνται ικανοποιητικοί, εντούτοις οι ακριβέστερες μετρήσεις



φάσης του φέροντος κύματος GPS είναι χαρακτηριστικά αρκετά καλύτερες, ονομαστικά μεταξύ 0.5-2 mm ισοδύναμο με το αντίστοιχο επίπεδο του θορύβου τους.

3. Μεταβολές των κέντρων φάσης της κεραίας. Το κέντρο φάσης (δηλαδή το σημείο που γίνεται η λήψη δορυφορικών σημάτων) δεν ταυτίζεται με το μηχανικό σημείο (δηλαδή το σημείο αναφοράς ως προς το οποίο προσδιορίζεται το ύψος της κεραίας) και λόγω των χαρακτηριστικών της κεραίας και της κατασκευαστικής της δυσκολίας δεν είναι φυσικό και σταθερό σημείο που μπορεί να μετρηθεί άμεσα. Οι μεταβολές των κέντρων φάσης γύρω από μία μέση θέση είναι της τάξης των λίγων χιλιοστών και αποκτούν κρίσιμο χαρακτήρα στις εφαρμογές υψηλής ακρίβειας. Αν δεν ληφθούν υπόψη, το σφάλμα μπορεί να φτάσει τα 10 cm στην υψομετρική διαφορά, ανεξάρτητα από το μήκος της βάσης.

4. Σφάλμα της αβεβαιότητας του γνωστού σημείου. Στο σχετικό προσδιορισμό θέσης οποιοδήποτε σφάλμα στη θέση του σημείου που διατηρείται σταθερό κατά την επίλυση μιας βάσης επηρεάζει σημαντικά τις εκτιμήσεις των συνιστωσών ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ).



Εικόνα 30 : Το Ατμοσφαιρικό Σφάλμα

(Πηγή: <http://www.malfreemaps.com/viewtopic.php?p=18796>)

### 2.1.3. Σφάλματα Διάδοσης Σήματος

1. Τροποσφαιρικό σφάλμα, προκύπτει από την επίδραση του χαμηλότερου τμήματος ( $H < 50m$ ) της ατμόσφαιρας στη διαδρομή του δορυφορικού σήματος (Εικόνα 30). Η τροποσφαιρική διάθλαση καθυστερεί χρονικά τη διάδοση του σήματος λόγω αλλαγής της κατεύθυνσης του σήματος σε σχέση με την ευθύγραμμη διαδρομή στο κενό. Η τροποσφαιρική καθυστέρηση εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την πίεση και την υγρασία της ατμόσφαιρας. Το τροποσφαιρικό σφάλμα επιδρά το ίδιο στους κώδικες και στις μετρήσεις φάσεις ανεξάρτητα από τη συχνότητα L1 και

L2. Δεν μπορεί να απαλειφεί με δέκτες δυο συχνοτήτων όπως συμβαίνει με το ιονοσφαιρικό σφάλμα και υπολογίζεται μερικώς από μοντέλα που βασίζονται σε μετρήσεις της θερμοκρασίας, πίεσης και υγρασίας της ατμόσφαιρας στη θέση του εκάστοτε δέκτη.

2. Ιονοσφαιρικό σφάλμα, προκύπτει από την επίδραση του τμήματος της ατμόσφαιρας, που εκτείνεται από περίπου 50 έως 1000 km από τη γήινη επιφάνεια, στη διάδοση του δορυφορικού σήματος. Η ύπαρξη ελευθέρων φορτισμένων σωματιδίων στην ιονόσφαιρα μεταβάλλει την ταχύτητα, τη διεύθυνση και την πολικότητα με μεγαλύτερη την επίδραση στην ταχύτητα και συνεπώς στην απόσταση δορυφόρου – δέκτη. Με δέκτες διπλής συχνότητας το ιονοσφαιρικό σφάλμα μπορεί ουσιαστικά να απαλειφτεί αν χρησιμοποιήσουμε κατάλληλο γραμμικό συνδυασμό πρωτογενών παρατηρήσεων των δυο συχνοτήτων. Το μέγεθος του ιονοσφαιρικού σφάλματος, γενικά ποικίλει και κυμαίνεται από περίπου 1 m έως και πάνω από 100m στον ορίζοντα. Κατά τη διάρκεια της νύκτας το ιονοσφαιρικό σφάλμα μειώνεται πέντε φορές περίπου ή και περισσότερο σε σχέση με τη μέρα.

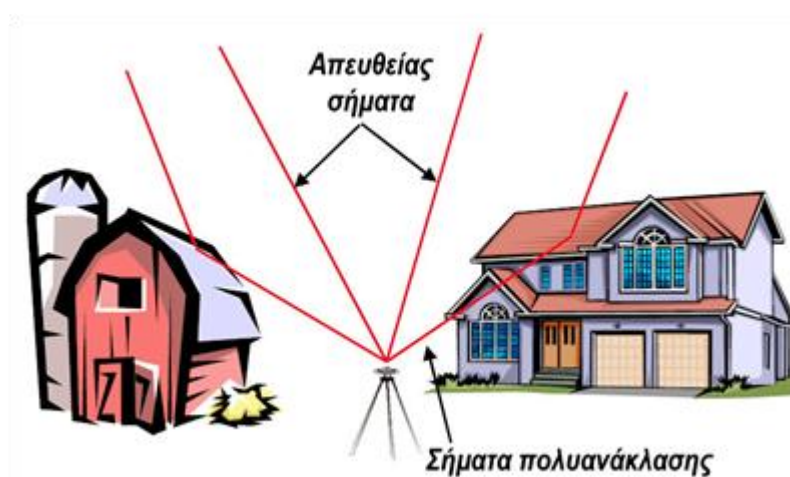
3. Σφάλμα πολυανάκλασης (multipath), προκύπτει όταν το ίδιο δορυφορικό σήμα λαμβάνεται και από άλλη ή άλλες έμμεσες διαδρομές εκτός από την κανονική του πορεία, εξαιτίας της ανάκλασής του σε γειτονικές επιφάνειες, π.χ. επιφάνειες κτιρίων, μεγάλες μεταλλικές επιφάνειες κ.α. (Εικόνα 31). Έτσι, το σήμα ακολουθώντας μεγαλύτερη διαδρομή από την κανονική, καθυστερεί και επηρεάζει τις παρατηρήσεις GNSS.

Το σφάλμα πολυανάκλασης του δέκτη είναι συνάρτηση της γεωμετρίας του περιβάλλοντα χώρου. Επίσης εξαρτάται από την γωνία ύψους του δορυφόρου. Όσο πιο μικρή η γωνία ύψους τόσο μεγαλύτερο το σφάλμα πολυανάκλασης. Ο πιο ασφαλής τρόπος για την ελαχιστοποίηση του σφάλματος της πολυανάκλασης είναι η κατάλληλη επιλογή της θέσης του δέκτη για τις στατικές εφαρμογές (όχι κοντά σε ψηλά γειτονικά κτίρια και γενικά κοντά σε εμπόδια).

Γενικά το σφάλμα της πολυανάκλασης είναι από τα πιο δύσκολα στη μοντελοποίησή του, γιατί είναι αδύνατο να γνωρίζουμε εξαρχής την επίδραση των γύρω επιφανειών στο σημείο που τοποθετούμε τον δέκτη, με αποτέλεσμα να μην συμπεριλαμβάνεται στο μαθηματικό μοντέλο της συνόρθωσης.

Στις εφαρμογές στατικού τύπου οι επιδράσεις του τείνουν να μειωθούν λόγω της μεταβολής της γεωμετρίας δέκτη-δορυφόρου κατά τη διάρκεια μιας μετρητικής περιόδου που διαρκεί περισσότερο χρόνο, ενδεικτικά πάνω από μια ώρα. Ωστόσο, το σφάλμα πολυανάκλασης είναι το μόνο που δεν εξαλείφεται ακόμη και με διαδικασίες σχετικού εντοπισμού σε μικρές γραμμές βάσης μεταξύ σημείων. Αυτό συμβαίνει επειδή εξαρτάται από τη γεωμετρία και το περιβάλλον κάθε σημείου στο οποίο η κεραία GPS κάνει τις μετρήσεις. Ως εκ τούτου, οι πολλαπλές ανακλάσεις αποτελούν σημαντική πηγή εναπομείναντος σφάλματος ακόμα και στις διπλές διαφορές μετρήσεων GPS, οι οποίες ως επί το πλείστον χρησιμοποιούνται στις απαιτητικές

γεωδαιτικές εφαρμογές. Η επίδρασή του στις κινηματικές εφαρμογές είναι μεγαλύτερη, καθώς η συνεχώς (εξ αιτίας της κίνησης) μεταβαλλόμενη συμπεριφορά των σφαλμάτων πολυανάκλασης κάνει το πρόβλημα ακόμα εντονότερο, αφού είναι πολύ δύσκολο να αφαιρεθεί η συγκεκριμένη επίδραση από τα δεδομένα.



Εικόνα 31 : Σφάλμα Πολυανάκλασης

4. Σφάλμα ολίσθησης κύκλων, είναι χαρακτηριστικό των μετρήσεων φάσης του φέροντος κύματος και οφείλεται σε περιπτώσεις εμποδίων στην πορεία του σήματος, σε αδυναμία των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων του δέκτη ή και υψηλής ιονοσφαιρικής δραστηριότητας, που έχουν ως αποτέλεσμα την στιγμιαία απώλεια λήψης του σήματος. Μετά την απώλεια λήψης σήματος, από τη στιγμή επανεγκλωβισμού του σήματος από τον δέκτη όλες οι επόμενες μετρήσεις είναι επηρεασμένες κατά τον ίδιο ακέραιο αριθμό κύκλων, που μεσολάβησαν στο διάστημα της αδυναμίας λήψης. Το συστηματικό αυτό σφάλμα είναι εύκολα ανιχνεύσιμο αλλά δύσκολα προσδιορίσιμο και ο ακριβής υπολογισμός του είναι εφικτός μόνο με τη σύνθεση παράγωγων μετρήσεων (derived observables) που αποτελούνται από γραμμικούς συνδυασμούς των πρωτογενών ή/και των απλών ή διπλών διαφορών μετρήσεων φάσης και ενδεχομένως μετρήσεων ψευδοαπόστασης με τη λήψη σημάτων σε δύο ή περισσότερες συχνότητες.

## 2.2. Οι Δείκτες DOP-RDOP

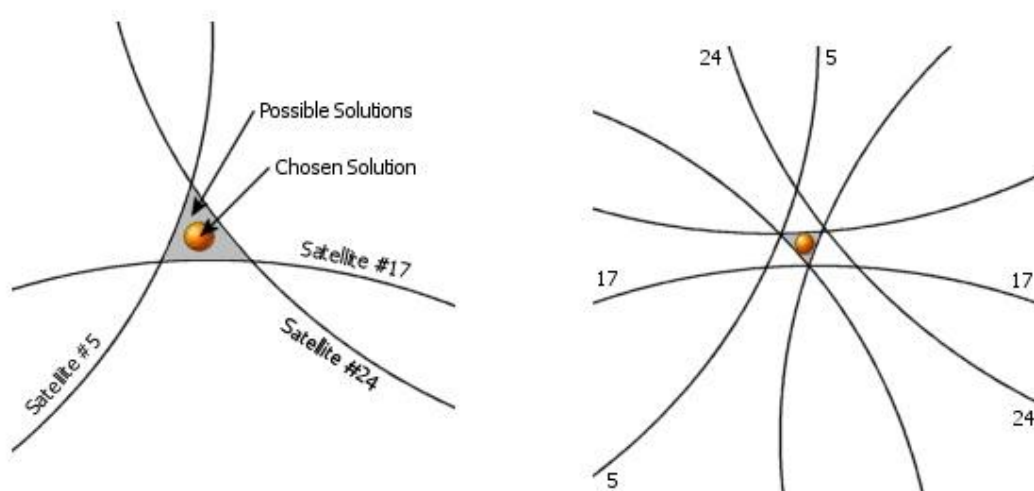
Ο δείκτης DOP είναι ένας γεωμετρικός δείκτης που αντιπροσωπεύει τη γεωμετρική συμβολή των παρατηρήσεων σε μια λύση. Συμβατικά το DOP χρησιμοποιείται για να αντιπροσωπεύσει τη γεωμετρία του προσδιορισμού θέσης ενός σημείου, αλλά μπορεί να επεκταθεί για να αντιπροσωπεύσει τη γεωμετρία για τις παρατηρήσεις φάσης διπλών διαφορών πρωτογενών μετρήσεων. Αυτή η επέκταση αναφέρεται ως RDOP (Relative DOP ή relative Dilution of Precision) (σχετική αραίωση της ακρίβειας).

### 2.2.1. DOP (Dilution of Precision)

Ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ακρίβεια του προσδιορισμού θέσης είναι η "γεωμετρία των δορυφόρων". Με απλά λόγια, η δορυφορική γεωμετρία περιγράφει τη θέση των δορυφόρων από την άποψη του δέκτη.

Οι συσκευές GPS υπολογίζουν τη θέση τους χρησιμοποιώντας μια τεχνική αποκαλούμενη "τρισδιάστατος πολυπλευρισμός", η οποία είναι η διαδικασία όπου διάφορες σφαίρες τέμνονται. Στην περίπτωση του GPS, κάθε σφαίρα έχει έναν δορυφόρο στο κέντρο της και η ακτίνα της σφαίρας είναι η υπολογισμένη απόσταση από το δορυφόρο στο δέκτη GPS. Ιδανικά, αυτές οι σφαίρες θα τέμνονταν σε ακριβώς ένα σημείο, με αποτέλεσμα να υπάρχει μόνο μια πιθανή λύση στην τρέχουσα θέση, αλλά στην πραγματικότητα, αυτό δεν συμβαίνει, οι τομές διαμορφώνουν περισσότερο μία περιοχή μορφής σφαιρικού πολύεδρου. Η θέση του δέκτη θα μπορούσε να βρίσκεται μέσα σε οποιοδήποτε σημείο στην περιοχή. Η τρέχουσα θέση θα μπορούσε να είναι οποιοδήποτε σημείο μέσα στην γκριζα χρωματισμένη περιοχή. Η ακρίβεια εξασθενεί όταν η περιοχή γίνεται μεγαλύτερη. Η παρακολούθηση και ο έλεγχος του συντελεστή γεωμετρικής ακρίβειας **DOP (Dilution of Precision)** είναι απαραίτητα σε εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη ακρίβεια.

Στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 32) απεικονίζονται στη γκριζα περιοχή οι πιθανές θέσεις του δέκτη. Στο σχήμα αριστερά με τρεις δορυφόρους οι δέκτες θα πρέπει να επιλέξουν μία από τις πολλές πιθανές λύσεις, ενώ δεξιά με ακόμη τρεις δορυφόρους που διανέμονται ομοιόμορφα δημιουργούν ένα μικρότερου μεγέθους σφαιρικό πολύεδρο στο οποίο μπορεί να αναζητηθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η λύση για τη θέση του δέκτη (ο δείκτης DOP είναι χαμηλότερος).

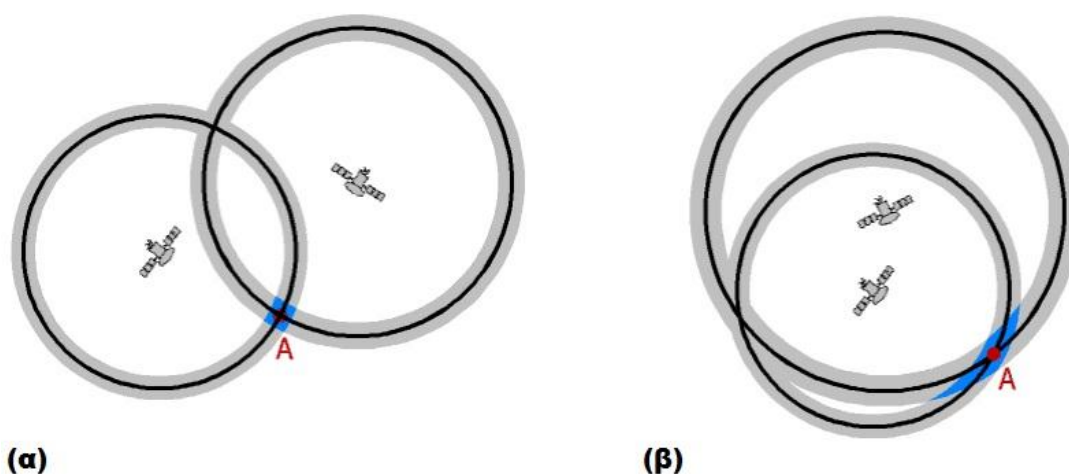


Εικόνα 32 : Οι πιθανές Θέσεις του Δέκτη

(Πηγή: [www.developerfusion.com/article/4652/writing-your-own-gps-applications-part-2/2/](http://www.developerfusion.com/article/4652/writing-your-own-gps-applications-part-2/2/))

Ο αριθμός των δορυφόρων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της θέσης και η σχετική γεωμετρία τους ως προς τον ορίζοντα προσδιορίζουν το σφάλμα υπολογισμού της θέσης ενός χρήστη. Για παράδειγμα, αν τέσσερις δορυφόροι είναι συγκεντρωμένοι σε μια ίδια κατεύθυνση στον ορίζοντα, τότε ένα μέτρο σφάλματος στον υπολογισμό των αποστάσεων προς αυτούς είναι πιθανό να εισάγει δεκάδες ή εκατοντάδες μέτρα σφάλματος στον υπολογισμό της θέσης. Αν όμως αρκετοί δορυφόροι είναι διασκορπισμένοι σε διαφορετικές κατευθύνσεις ως προς τον ορίζοντα τότε το σφάλμα στον υπολογισμό της θέσης είναι πιθανό να είναι μικρότερο από 1.5m (εκτίμηση για GPS) για κάθε μέτρο σφάλματος στον υπολογισμό των αποστάσεων προς τους δορυφόρους. Η επίδραση της γεωμετρίας των δορυφόρων στο σφάλμα υπολογισμού της θέσης ονομάζεται GDOP (Geometric Dilution of Precision) και μπορεί χονδρικά να ερμηνευτεί ως ο λόγος του σφάλματος υπολογισμού της θέσης με το σφάλμα υπολογισμού των αποστάσεων προς τους δορυφόρους, που περιλαμβάνει και τις επιδράσεις από τη μέτρηση του χρόνου.

Το ακόλουθο σχήμα παρουσιάζει τη περίπτωση δύο δορυφόρων για τη δισδιάστατη περίπτωση. Εάν οι δύο δορυφόροι είναι σε συμφέρουσα διάταξη όπως στο σχήμα αριστερά, από την άποψη του δέκτη μπορούν να φανούν σε μια γωνία περίπου  $90^\circ$  από τον ένα στον άλλο. Οι πιθανές θέσεις που προκύπτουν από τη μέτρηση των αποστάσεων του δέκτη από κάθε δορυφόρο χαρακτηρίζονται από τους γκρίζους κύκλους όπως φαίνεται και στην εικόνα 33. Το σημείο της διατομής A των δύο κύκλων είναι ένας μικρός, τετραγωνικός τομέας (μπλε) και η καθορισμένη θέση θα είναι σχετικά ακριβής. Ωστόσο εάν οι δορυφόροι τοποθετούνται λίγο πολύ σε μια γραμμή από την άποψη του δέκτη, το επίπεδο της διατομής των πιθανών θέσεων είναι αρκετά μεγαλύτερο και επιμηκυμένο και επομένως ο προσδιορισμός της θέσης είναι λιγότερο ακριβής.



Εικόνα 33 : (α) Καλή, (β) Κακή Ευθυγράμμιση Δύο Δορυφόρων

(Πηγή: <http://www.kowoma.de/en/gps/errors.htm> )

Η ιδανική περίπτωση γεωμετρίας από θεωρητική άποψη και από πρακτική εμπειρία προκύπτει όταν οι τέσσερις επιλεγόμενοι δορυφόροι και το σημείο ενδιαφέροντος σχηματίζουν ένα κανονικό τετράεδρο στο χώρο και βρίσκονται σε τέτοια διάταξη, ώστε ο ένας δορυφόρος να είναι κατευθείαν κατακόρυφα πάνω από την τοποθεσία του δέκτη του χρήστη και οι άλλοι τρεις δορυφόροι να είναι ομοιόμορφα κατανομημένοι στον ορίζοντα του δέκτη και να βρίσκονται όσο το δυνατόν σε χαμηλότερες γωνίες ύψους (βλ. συγκριτικά την Εικόνα 35).

Μία από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της απόστασης δορυφόρου – δέκτη, είναι η μέτρηση της ψευδοαπόστασης. Ξεκινώντας από την μαθηματική σχέση που μας δίνει την ψευδοαπόσταση, μπορούμε να βρούμε τις σχέσεις που υπολογίζουν τις τιμές για τους δείκτες DOP, για την περίπτωση που ο αριθμός των παρατηρούμενων δορυφόρων υπερβαίνει τους τέσσερις. Η παρακάτω σχέση μας δίνει την μέτρηση της ψευδοαπόστασης προς τους δορυφόρους:

$$\begin{aligned} P_{r^s} &= \rho_r^s + c(dt - dT) + d_{iono} + d_{trop} + dp + de \\ &\approx \sqrt{(X^s - X_r)^2 + (Y^s - Y_r)^2 + (Z^s - Z_r)^2} - c dT \end{aligned}$$

όπου ο δείκτης  $s$  είναι ο αριθμός του δορυφόρου, ο δείκτης  $r$  είναι ο δέκτης, η παράμετρος  $c$  είναι η ταχύτητα του φωτός,  $dt$  και  $dT$  είναι τα σφάλματα του χρονομέτρου του δορυφόρου και του δέκτη αντίστοιχα από τη χρονική κλίμακα του δορυφορικού συστήματος,  $d_{iono}$  και  $d_{trop}$  είναι τα σφάλματα στη μέτρηση εξ αιτίας των επιδράσεων της ιονόσφαιρας και της τροπόσφαιρας,  $dp$  είναι το σφάλμα στην υπολογισμένη απόσταση δέκτη δορυφόρου από τα σφάλματα στην τροχιακή εφημερίδα,  $de$  υποδηλώνει το θόρυβο της μέτρησης, και  $(X^s, Y^s, Z^s)$ ,  $(X_r, Y_r, Z_r)$  είναι οι γεωκεντρικές συντεταγμένες του δορυφόρου και του δέκτη αντίστοιχα. Τα σφάλματα των δορυφορικών χρονομέτρων  $dt$  λαμβάνονται υπόψη από τις παραμέτρους στο εκπεμπόμενο από τους δορυφόρους μήνυμα πλοήγησης. Τα ιονοσφαιρικά σφάλματα  $d_{iono}$  μοντελοποιούνται με τη χρήση μετρήσεων σε δύο συχνότητες ή με τη χρήση παραμέτρων που εκπέμπονται μέσω του μηνύματος πλοήγησης, ενώ για τα σφάλματα της τροπόσφαιρας  $d_{trop}$  χρησιμοποιούνται εμπειρικά μοντέλα σε συνάρτηση με ενδείξεις των παραμέτρων (θερμοκρασία, πίεση, υγρασία) της ατμόσφαιρας. Ο όρος  $(c \times dT)$  υποδηλώνει ότι η μέτρηση της απόστασης δορυφόρου-δέκτη εμπεριέχει ένα σημαντικό σφάλμα από την έλλειψη συγχρονισμού του χρονομέτρου του δέκτη και για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται ο όρος «ψευδοαπόσταση» για να δηλώσει ότι η παραπάνω τιμή είναι απλά μια ακριβής προσέγγιση της γεωμετρικής (πραγματικής) απόστασης δορυφόρου-δέκτη που δίνεται από τη σχέση :

$$\rho_r^s = \sqrt{(X^s - X_r)^2 + (Y^s - Y_r)^2 + (Z^s - Z_r)^2}$$

Ο πίνακας σχεδιασμού A των παρατηρήσεων διαμορφώνεται μετά από τη γραμμικοποίηση της σχέσης της ψευδοαπόστασης, βρίσκοντας τις μερικές παραγώγους ως προς τους αγνώστους (τις συντεταγμένες του δέκτη X,Y,Z και την απόκλιση των χρονομέτρων dt).

Οι μερικές παράγωγοι είναι :

$$\frac{\partial Pr_r^s}{\partial X_r} = \frac{X^s - X_r}{\rho_r^s}, \quad \frac{\partial Pr_r^s}{\partial Y_r} = \frac{Y^s - Y_r}{\rho_r^s}, \quad \frac{\partial Pr_r^s}{\partial Z_r} = \frac{Z^s - Z_r}{\rho_r^s} \quad \text{και} \quad \frac{\partial Pr_r^s}{\partial dt_r} = -c$$

έτσι ώστε ο πίνακας σχεδιασμού A παίρνει τη μορφή :

$$A = \begin{pmatrix} \frac{\partial Pr_r^1}{\partial X_r} & \frac{\partial Pr_r^1}{\partial Y_r} & \frac{\partial Pr_r^1}{\partial Z_r} & \frac{\partial Pr_r^1}{\partial dt_r} \\ \frac{\partial Pr_r^2}{\partial X_r} & \frac{\partial Pr_r^2}{\partial Y_r} & \frac{\partial Pr_r^2}{\partial Z_r} & \frac{\partial Pr_r^2}{\partial dt_r} \\ \vdots & & & \\ \frac{\partial Pr_r^i}{\partial X_r} & \frac{\partial Pr_r^i}{\partial Y_r} & \frac{\partial Pr_r^i}{\partial Z_r} & \frac{\partial Pr_r^i}{\partial dt_r} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{X^1 - X_r}{\rho_r^1} & \frac{Y^1 - Y_r}{\rho_r^1} & \frac{Z^1 - Z_r}{\rho_r^1} & -c \\ \frac{X^2 - X_r}{\rho_r^2} & \frac{Y^2 - Y_r}{\rho_r^2} & \frac{Z^2 - Z_r}{\rho_r^2} & -c \\ \vdots & & & \\ \frac{X^i - X_r}{\rho_r^i} & \frac{Y^i - Y_r}{\rho_r^i} & \frac{Z^i - Z_r}{\rho_r^i} & -c \end{pmatrix}$$

Τις τιμές των DOP μπορούμε να τις αποκτήσουμε από τα στοιχεία της διαγωνίου του πίνακα μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας για τον προσδιορισμό θέσης από το σχηματισμό των δορυφόρων, ο οποίος δίνεται από τη σχέση :

$$C_X = (A^T \times A)^{-1}$$

και έχει τα εξής στοιχεία (για γεωδαιτικές συντεταγμένες (a) και για καρτεσιανές (b)):

$$C_X = \begin{bmatrix} \sigma_\phi^2 & \sigma_{\phi\lambda} & \sigma_{\phi h} & \sigma_{\phi t} \\ \sigma_{\lambda\phi} & \sigma_\lambda^2 & \sigma_{\lambda h} & \sigma_{\lambda t} \\ \sigma_{h\phi} & \sigma_{h\lambda} & \sigma_h^2 & \sigma_{ht} \\ \sigma_{t\phi} & \sigma_{t\lambda} & \sigma_{th} & \sigma_t^2 \end{bmatrix} \quad (a) \quad C_X = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} & \sigma_{xt} \\ \sigma_{yx} & \sigma_y^2 & \sigma_{yz} & \sigma_{yt} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_z^2 & \sigma_{zt} \\ \sigma_{tx} & \sigma_{ty} & \sigma_{tz} & \sigma_t^2 \end{bmatrix} \quad (b)$$

Συνήθως είναι πιο εξυπηρετικό να μελετούμε τα αποτελέσματα στη μορφή του τοπικού γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς.

Από τους πίνακες  $C_X$  οι δείκτες DOP υπολογίζονται από τη τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των στοιχείων της διαγωνίου ως εξής (Πίνακας 14):

DOP	Τύπος	Καρτεσιανές (x, y, z)	Γεωδαιτικές (φ, λ, h)
GDOP	geometrical	$(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 + \sigma_t^2)^{1/2}$	$(\sigma_\phi^2 + \sigma_\lambda^2 + \sigma_h^2 + \sigma_t^2)^{1/2}$
PDOP	positional	$(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2)^{1/2}$	$(\sigma_\phi^2 + \sigma_\lambda^2 + \sigma_h^2)^{1/2}$
HDOP	horizontal	---	$(\sigma_\phi^2 + \sigma_\lambda^2)^{1/2}$
VDOP	vertical	---	$\sigma_h$
TDOP	time	$\sigma_t$	$\sigma_t$

Πίνακας 14 : Είδη Διαφορετικών Δεικτών DOP

ΤΙΜΗ DOP	ΕΚΤΙΜΗΣΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	Ιδανικό	Είναι το πιο υψηλό επίπεδο εμπιστοσύνης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές που απαιτούν την υψηλότερη ακρίβεια κάθε χρονική στιγμή.
2-3	Εξαιρετικό	Σ' αυτό το επίπεδο εμπιστοσύνης, οι μετρήσεις είναι ακριβείς για όλες τις εφαρμογές εκτός από τις πολύ ευαίσθητες
4-6	Καλό	Απεικονίζει το επίπεδο που χαρακτηρίζεται ως λιγότερο κατάλληλο για εκτέλεση εφαρμογών ακριβείας. Οι μετρήσεις θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία αξιόπιστων προτάσεων στις διαδρομές πλοήγησης.
7-8	Μέτριο	Οι μετρήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για υπολογισμούς
9-20	Επαρκές	Αναπαριστά ένα χαμηλό επίπεδο εμπιστοσύνης και θα χρησίμευε σε μία χοντρική εκτίμηση της θέσης.
21-50	Φτωχό	Σε αυτό το επίπεδο, οι μετρήσεις είναι ανακριβείς και πρέπει να απορρίπτονται

Πίνακας 15 : Ερμηνεία των Τιμών PDOP

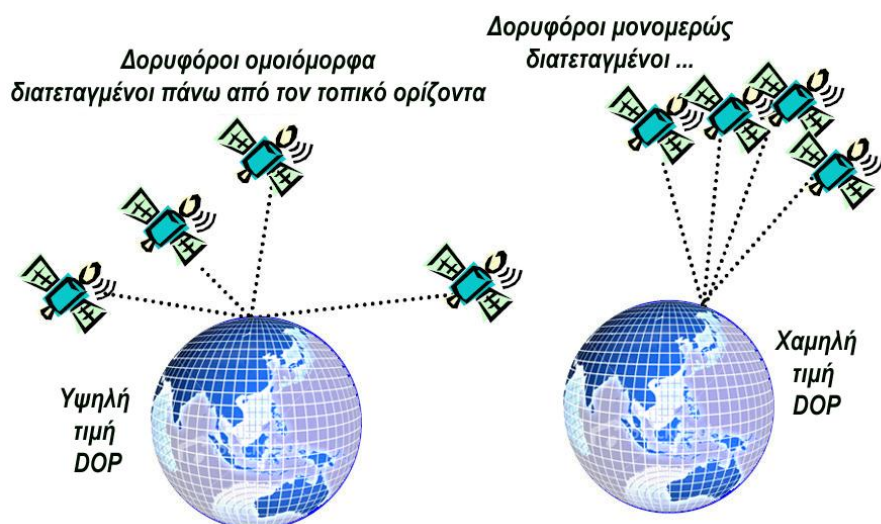
(Πηγή: [www.developerfusion.com/article/4652/writing-your-own-gps-applications-part-2/2/](http://www.developerfusion.com/article/4652/writing-your-own-gps-applications-part-2/2/))



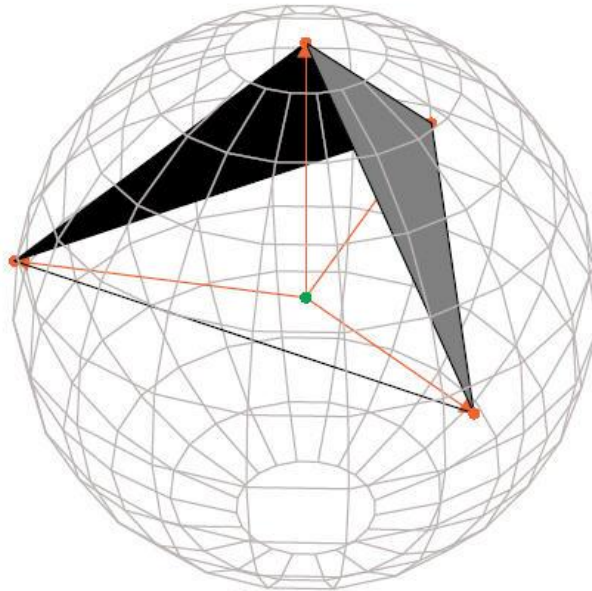
Στον πίνακα 15 παρουσιάζεται μια κλίμακα ταξινόμησης των τιμών των δεικτών DOP που χρησιμοποιούνται στις διάφορες εφαρμογές. Συνήθως χρησιμοποιούνται τιμές μεταξύ 2 και 8.

Η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων των τελικών καρτεσιανών ή επίπεδων ορθογωνίων συντεταγμένων όσο και του σφάλματος του χρονομέτρου του δέκτη ονομάζεται GDOP (Geometric Dilution of Precision). Είναι ένα μέτρο ακριβείας που εξαρτάται από την γεωμετρία του δορυφορικού σχηματισμού ως προς το δέκτη τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

Στη παρακάτω εικόνα (Εικόνα 34) απεικονίζονται δυο νοητά τετράεδρα τα οποία σχηματίζονται από τη διάταξη των δορυφόρων στο χώρο πάνω από τον δέκτη. Όσο πιο ομοιόμορφη είναι η κατανομή των δορυφόρων σε όλες τις κατευθύνσεις πάνω από τον τοπικό ορίζοντα του δέκτη, τόσο μικρότερο (καλύτερο) είναι το GDOP. Γενικά όσους περισσότερους δορυφόρους λαμβάνουμε τόσο καλύτερο είναι το GDOP.



Εικόνα 34 : (αριστερά) Κακή, (δεξιά) Κακή Γεωμετρία Δορυφόρων



Εικόνα 35 : Η Μοναδιαία Σφαίρα & Τέσσερα Διανύσματα

(Πηγή: “Dilution of Precision”, Richard Langley, [www.gpsworld.com](http://www.gpsworld.com))

Αν θεωρήσουμε μία μοναδιαία σφαίρα με κέντρο τον δέκτη, τότε τα διανύσματα από τον δέκτη προς τους τέσσερις δορυφόρους τέμνουν την μοναδιαία σφαίρα σε τέσσερα σημεία. Με κορυφές τα τέσσερα σημεία δημιουργείται ένα τετράεδρο (Εικόνα 35). Αποδεικνύεται ότι η τιμή του PDOP είναι ισοδύναμη με την αντίστροφη τιμή του όγκου  $V$  του τετράεδρου .

Ισχύει δηλαδή :  $PDOP=1/V$

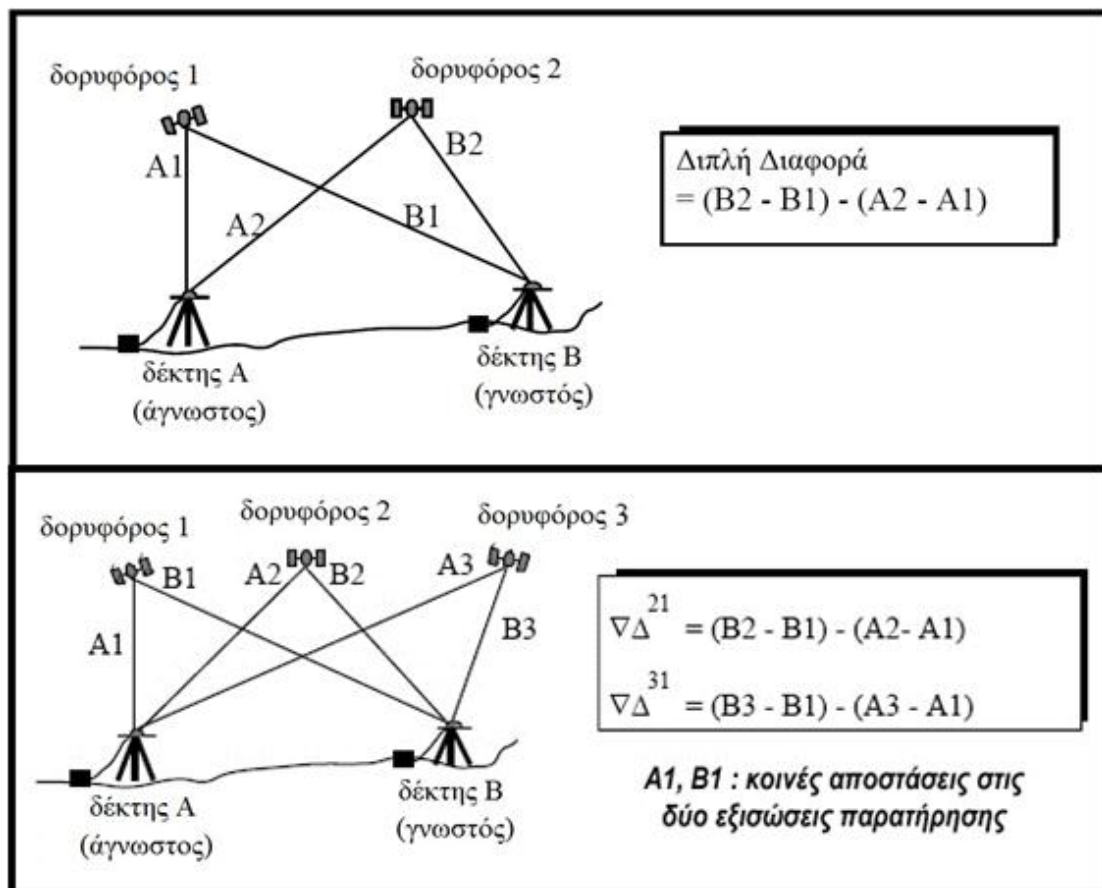
Η γεωμετρία των δορυφόρων είναι επίσης σχετική όταν χρησιμοποιείται ο δέκτης σε οχήματα ή κοντά σε υψηλά κτήρια. Εάν μερικά από τα σήματα μπλοκάρονται, οι υπόλοιποι δορυφόροι καθορίζουν την ποιότητα του προσδιορισμού θέσης και εάν ο προσδιορισμός είναι εφικτός. Εάν ο προσδιορισμός θέσης είναι δυνατός σε τέτοια περιβάλλοντα, συνήθως δεν είναι πολύ ακριβής. Όσο μεγαλύτερο είναι το κρυμμένο μέρος του ουρανού, τόσο δυσκολότερος γίνεται και ο προσδιορισμός θέσης του δέκτη.

Οι περισσότεροι δέκτες GPS όχι μόνο δείχνουν τον αριθμό λαμβανόμενων δορυφόρων, αλλά και τη θέση τους στον ουρανό. Αυτό επιτρέπει στο χρήστη να κρίνει, εάν ένας σχετικός δορυφόρος κρύβεται από ένα εμπόδιο και εάν αλλάξει τη θέση του για μερικά μέτρα βελτιώσει την ακρίβειά του. Πολλά όργανα παρέχουν μια δήλωση της ακρίβειας των μετρημένων τιμών.

### 2.2.2. RDOP (Relative Dilution of Precision)

Ο δείκτης **RDOP (Relative Dilution of Precision)**, όπως ο DOP υπολογίζεται ως η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος της διαγωνίου του πίνακα μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας  $C_X$  στη περίπτωση των διπλών διαφορών φάσης στις διαδικασίες σχετικού εντοπισμού που συνήθως εφαρμόζονται στις γεωδαιτικές εφαρμογές.

Η διπλή διαφορά ορίζεται ως η διαφορά δυο ταυτόχρονων παρατηρήσεων μεταξύ δύο δεκτών ως προς δύο δορυφόρους. Στην εικόνα 36 το σύμβολο A1 αντιπροσωπεύει την παρατήρηση μεταξύ του δέκτη A και του δορυφόρου 1, το σύμβολο B2 αντιπροσωπεύει την παρατήρηση μεταξύ του δέκτη B και του δορυφόρου 2 και ούτω καθεξής.



Εικόνα 36 : Διπλή Διαφορά Παρατηρήσεων GPS

(Πηγή: C. Erikson, 1992)

Ένα βασικό όφελος στην εφαρμογή διπλών διαφορών είναι η δυνατότητά του να μειώσει ή να αποβάλει κανείς πολλά από τα σφάλματα των πρωτογενών παρατηρήσεων GPS. Απαλείφονται με αυτό τον τρόπο τα κοινά σφάλματα των δεκτών, κυρίως τα σφάλματα των χρονομέτρων τους, επειδή τα σφάλματα χρονομέτρων των δορυφόρων και των δεκτών ακυρώνονται. Τα ιονοσφαιρικά, τροποσφαιρικά και τροχιακά σφάλματα μειώνονται επίσης σε μεγάλο βαθμό μέσω των διπλών διαφορών για μικρές βάσεις (< 10 km), όπου τα σφάλματα των δύο δεκτών συσχετίζονται σε μεγάλο βαθμό, όπως φαίνεται ενδεικτικά στη δεύτερη από τις εικόνες 36, όπου η συσχέτιση υποδηλώνεται από τη συμπίληψη στις δύο εξισώσεις παρατήρησης διπλών διαφορών που σχηματίζονται στη προκειμένη περίπτωση μεταξύ των ταυτόχρονων παρατηρήσεων δύο δεκτών προς τρεις δορυφόρους.

Η εξίσωση της διπλής διαφοράς των αντίστοιχων ψευδοαποστάσεων σε αυτή τη περίπτωση γίνεται:

$$\begin{aligned} \nabla\Delta\rho = & \sqrt{(X^{s2} - X_{rB})^2 + (Y^{s2} - Y_{rB})^2 + (Z^{s2} - Z_{rB})^2} - \\ & \sqrt{(X^{s1} - X_{rB})^2 + (Y^{s1} - Y_{rB})^2 + (Z^{s1} - Z_{rB})^2} + \\ & \sqrt{(X^{s2} - X_{rA})^2 + (Y^{s2} - Y_{rA})^2 + (Z^{s2} - Z_{rA})^2} - \\ & \sqrt{(X^{s1} - X_{rA})^2 + (Y^{s1} - Y_{rA})^2 + (Z^{s1} - Z_{rA})^2} \end{aligned}$$

όπου οι δείκτες s1 και s2 υποδηλώνουν τους δορυφόρους 1 και 2, οι δείκτες rA και rB τους δέκτες A και B, και  $(X^{s1}, Y^{s1}, Z^{s1})$ ,  $(X^{s2}, Y^{s2}, Z^{s2})$ ,  $(X_{rA}, Y_{rA}, Z_{rA})$ ,  $(X_{rB}, Y_{rB}, Z_{rB})$  είναι οι γεωκεντρικές συντεταγμένες του δορυφόρου και του δέκτη αντίστοιχα.

Ο πίνακας σχεδιασμού A των παρατηρήσεων σε αυτή τη περίπτωση διαμορφώνεται επίσης μετά από τη γραμμικοποίηση της προηγούμενης σχέσης των ψευδοαποστάσεων, βρίσκοντας τις μερικές παραγώγους ως προς τους αγνώστους (τις συντεταγμένες  $(X_{rA}, Y_{rA}, Z_{rA})$  του άγνωστου δέκτη).

Οι μερικές παράγωγοι είναι :

$$\begin{aligned} \frac{\partial \nabla\Delta\rho}{\partial X_{rA}} &= -\frac{(X^{s2} - X_{rB})}{\rho_{rB}^{s2}} + \frac{(X^{s1} - X_{rB})}{\rho_{rB}^{s1}} \\ \frac{\partial \nabla\Delta\rho}{\partial Y_{rA}} &= -\frac{(Y^{s2} - Y_{rB})}{\rho_{rB}^{s2}} + \frac{(Y^{s1} - Y_{rB})}{\rho_{rB}^{s1}} \\ \frac{\partial \nabla\Delta\rho}{\partial Z_{rA}} &= -\frac{(Z^{s2} - Z_{rB})}{\rho_{rB}^{s2}} + \frac{(Z^{s1} - Z_{rB})}{\rho_{rB}^{s1}} \end{aligned}$$

Σε αυτή τη περίπτωση ο πίνακας σχεδιασμού  $A_{DD}$  (ο δείκτης DD χρησιμοποιείται για να τον διαφοροποιήσει από τον αντίστοιχο προηγούμενο πίνακα A των πρωτογενών μετρήσεων ψευδοαπόστασης) είναι :

$$A_{DD} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \nabla \Delta \rho 1}{\partial X_{rA}} & \frac{\partial \nabla \Delta \rho 1}{\partial Y_{rA}} & \frac{\partial \nabla \Delta \rho 1}{\partial Z_{rA}} \\ \frac{\partial \nabla \Delta \rho 2}{\partial X_{rA}} & \frac{\partial \nabla \Delta \rho 2}{\partial Y_{rA}} & \frac{\partial \nabla \Delta \rho 2}{\partial Z_{rA}} \\ \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$$

Ο πίνακας μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας στο γεωδαιτικό σύστημα που αντιστοιχεί στις διπλές διαφορές δίνεται από την αντίστοιχη σχέση:  $C_X = (A_{DD}^T \times A_{DD})^{-1}$

$$C_X = \begin{bmatrix} \sigma_\phi^2 & \sigma_{\phi\lambda} & \sigma_{\phi h} \\ \sigma_{\lambda\phi} & \sigma_\lambda^2 & \sigma_{\lambda h} \\ \sigma_{h\phi} & \sigma_{h\lambda} & \sigma_h^2 \end{bmatrix}$$

Η διαφορά του από τον αντίστοιχο πίνακα μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας του δείκτη DOP είναι ότι σε αυτή τη περίπτωση απουσιάζει η γραμμή και η στήλη των σφαλμάτων του χρόνου αφού εξαλείφονται τα σφάλματα χρονομέτρων των δορυφόρων και των δεκτών. Συνεπώς στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται μετρήσεις ψευδοαπόστασης ή μετρήσεις φάσης με τις παραμέτρους της ασάφειας φάσης να προσδιορίζονται σε μορφή ακέραιων τιμών (fixed ambiguities) ο αντίστοιχος δείκτης RGDOP δεν προσδιορίζεται, και αντί αυτού χρησιμοποιείται ο δείκτης RPDOP. Επιπλέον, εάν χρησιμοποιούνται διπλές διαφορές μετρήσεων φάσης (αντί ψευδοαποστάσεων), ο παραπάνω πίνακας μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας περιλαμβάνει επιπλέον σειρές και στήλες που αντιστοιχούν στις αντίστοιχες παραμέτρους ασάφειας της φάσης για τα αντίστοιχα ζεύγη μεταξύ δεκτών και δορυφόρων. Από τον  $C_X$  οι σχετικοί δείκτες DOP υπολογίζονται από τη τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των στοιχείων της διαγωνίου ως εξής:

Acronym	Type	Code or Carrier with Fixed Ambiguities	Carrier with Floating Ambiguities
RGDOP	geometrical		$(\sigma_{\phi}^2 + \sigma_{\lambda}^2 + \sigma_h^2 + \sigma_{N1}^2 + \sigma_{N2}^2 + \sigma_{N3}^2)^{1/2}$
RPDOP	positional	$(\sigma_{\phi}^2 + \sigma_{\lambda}^2 + \sigma_h^2)^{1/2}$	$(\sigma_{\phi}^2 + \sigma_{\lambda}^2 + \sigma_h^2)^{1/2}$
RHDOP	horizontal	$(\sigma_{\phi}^2 + \sigma_{\lambda}^2)^{1/2}$	$(\sigma_{\phi}^2 + \sigma_{\lambda}^2)^{1/2}$
RVDOP	vertical	$\sigma_h$	$\sigma_h$

Πίνακας 16 : Είδη των σχετικών δεικτών DOP για διπλές διαφορές

(Πηγή: C. Erikson, 1992)

Έχει αποδειχθεί (από τους C. Park, και I. Kim, 2000) ότι για τις διπλές διαφορές μετρήσεων κώδικα ή φάσης, μεταξύ των δεικτών PDOP και RPDOP ισχύει η σχέση:  $RPDOP = \sqrt{2} \times PDOP$ . Δηλαδή, η γεωμετρική ακρίβεια των μετρήσεων διπλής διαφοράς χειροτερεύει κατά  $1.44 = \sqrt{2}$  σε σχέση με τη γεωμετρική ακρίβεια των αντίστοιχων πρωτογενών μετρήσεων κατά τη διαδικασία απόλυτου εντοπισμού, ωστόσο η τελική ακρίβεια των αποτελεσμάτων του σχετικού εντοπισμού με τις διπλές διαφορές μετρήσεων κώδικα ή φάσης θα είναι καλύτερη αφού τα σφάλματα των πρωτογενών μετρήσεων μειώνονται σε μεγάλο βαθμό ή σχεδόν απαλείφονται, τουλάχιστον στις περιπτώσεις που οι βάσεις μεταξύ των επίγειων σημείων είναι μικρού μήκους (π.χ. < 10 km).

Στην πράξη, οι δείκτες DOP είναι ένα ευρέως αποδεκτό μέτρο εκτίμησης της επίδρασης της σχετικής γεωμετρίας δεκτών-δορυφόρων στην τελική αναμενόμενη ακρίβεια εντοπισμού των σημείων ενδιαφέροντος και γι' αυτό χρησιμοποιούνται στις περισσότερες περιπτώσεις. Αντίθετα, οι σχετικοί δείκτες RDOP χρησιμοποιούνται σπάνια και δεν έχουν γίνει αποδεκτοί στον ίδιο βαθμό.

Πρέπει να σημειωθεί ότι DOP και RDOP είναι αριθμοί και δεν παρέχουν το πλήρες σύνολο πληροφοριών που παρέχονται στο πίνακα μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας. Εντούτοις, και οι δύο αυτοί δείκτες είναι σημαντικά εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αναλύσουν τη γεωμετρική δύναμη των λύσεων GPS.

### 2.3. Ο Δείκτης UERE

Για τους λόγους που αναλύθηκαν παραπάνω για τα σφάλματα των αποτελεσμάτων, είναι βολικό να μετατραπεί κάθε σφάλμα σε ένα ισοδύναμο σφάλμα της απόστασης χρήστη-δορυφόρου που μετράται από τον δέκτη, το οποίο αποκαλείται **UERE (User Equivalent Range Error Budget)**.

Το UERE αφορά έναν προϋπολογισμό σφαλμάτων, που εκφράζει τη συνολική επίδραση των σφαλμάτων τα οποία σχετίζονται με τη διάδοση του σήματος (ατμοσφαιρικά σφάλματα, σφάλμα πολυανάκλασης), με τους δορυφόρους (σφάλμα δορυφορικής εφημερίδας, σφάλμα χρονομέτρου δορυφόρου) και με τους δέκτες (θόρυβος, σφάλμα χρονομέτρου δέκτη). Το σύνολο αυτό προκύπτει από κάθε ανεξάρτητη πηγή σφαλμάτων και μετατρέπεται σε ένα και μοναδικό σφάλμα απόστασης, το οποίο είναι πρακτικά το UERE.

Ο δείκτης UERE ορίζεται ως εξής :

$$UERE = \sqrt{\sum_i \sigma_i^2} \quad , [cm]$$

όπου  $\sigma_i$  είναι η εκάστοτε επιμέρους συνεισφορά λόγω των επιδράσεων της τροπόσφαιρας και ιονόσφαιρας, θορύβου δεκτών, τροχιακών εφημερίδων, δορυφορικών ρολογιών και πολυανάκλασης [cm].

Ο παρακάτω πίνακας 17, αποτελεί ένα τυπικό παράδειγμα ενός πίνακα τιμών UERE για το σύστημα Galileo. Στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ένας πίνακας για την ανοιχτή υπηρεσία Open Service για μονή συχνότητα E5a για πεζούς και οχήματα που χρησιμοποιείται από το πρόγραμμα επεξεργασίας GSSF.

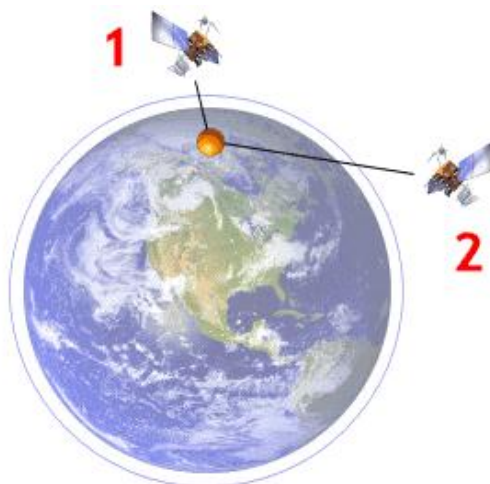
Παρατηρούμε ότι στο τελικό αποτέλεσμα συνεισφέρουν διάφορα σφάλματα όπως: των εναπομενόντων σφαλμάτων από τη μοντελοποίηση των επιδράσεων της ιονόσφαιρας, λόγω καθορισμού της τροχιάς και συγχρονισμού των δορυφορικών χρονομέτρων, των εναπομενόντων σφαλμάτων για τις επιδράσεις της τροπόσφαιρας, λόγω θερμικού θορύβου, παρεμβολών και τυχαίας πολυανάκλασης, λόγω συστηματικού σφάλματος πολυανάκλασης, λόγω διαφορετικών επιδράσεων στις μετρήσεις κώδικα και φάσης εξ αιτίας της ιονόσφαιρας. Παρατηρούμε ότι οι δείκτες UERE δίνονται με βάση την γωνία ύψους διότι το σφάλμα απόστασης που εκφράζεται κυμαίνεται μεταβαλλόμενο αντιστρόφως ανάλογα από τη γωνία ανύψωσης. Καθώς αυξάνεται η γωνία ανύψωσης μειώνεται το σφάλμα. Για παράδειγμα σε γωνίες 90 μοιρών γίνονται μετρήσεις προς δορυφόρους κάθετους στον ορίζοντα όπου το σήμα διανύει τη συντομότερη διαδρομή με τις μικρότερες ατμοσφαιρικές επιδράσεις.

UERE/1	Error Source	Elevation angle [deg]								
		5	10	15	20	30	40	50	60	90
	Residual Ionosphere	1322	1183	1060	950	772	641	582	582	582
	OD&TS	67	67	67	67	67	67	67	67	67
	Residual Troposphere	135	75	51	39	27	21	18	16	14
	Thermal Noise, Interference, Multipath Random	20	20	19	18	18	17	17	17	17
	Multipath Bias	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	Satellite BGD	65	65	65	65	65	65	65	65	65
	Code-Carrier Ionospheric Divergence	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	Total (1-sigma error [cm])	1335	1192	1068	959	782	653	595	595	595
	Total + 10% Margin (1-sigma error [cm])	1468	1311	1175	1055	860	718	655	655	655

Πίνακας 17 : Παράδειγμα Πίνακα Τιμών UERE

(Πηγή: [www.gssf.info/Documents/GSSFP2.OM.002](http://www.gssf.info/Documents/GSSFP2.OM.002) - Algorithms and Models)

Στην Εικόνα 37 το σήμα από το δορυφόρο 1 ταξιδεύει μέσω μικρότερου πάχους της ατμόσφαιρας, με συνέπεια τη λιγότερη διαστρέβλωση του. Ο δορυφόρος 2 είναι χαμηλά στον ορίζοντα, με συνέπεια τη σημαντική ατμοσφαιρική διαστρέβλωση των σημάτων του.

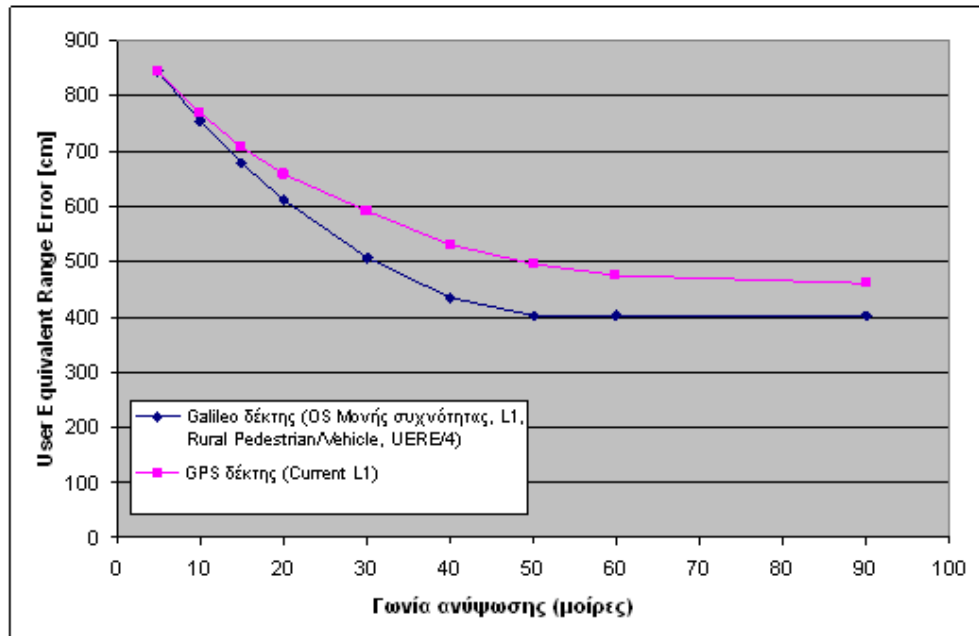


Εικόνα 37 : Διαφορετικά Πάχη Ατμόσφαιρας

(Πηγή: [www.developerfusion.com/article/4652/writing-your-own-gps-applications-part-2/2/](http://www.developerfusion.com/article/4652/writing-your-own-gps-applications-part-2/2/))

Παρακάτω (Εικόνα 38) δίνεται ενδεικτικά ένα μέτρο σύγκρισης μεταξύ των δυο συστημάτων GPS και Galileo, που προκύπτει από την αντιστοιχία των UERE για δέκτες μονής συχνότητας L1.





Εικόνα 38: Σύγκριση UERE για συστήματα GPS και Galileo

(Πηγή: [www.gssf.info/Documents/GSSFP2.OM.002](http://www.gssf.info/Documents/GSSFP2.OM.002) - Algorithms and Models)

Όπως φαίνεται στο σχήμα, το Galileo για παρατηρήσεις ίδιας συχνότητας (L1) δίνει μικρότερες τιμές UERE σε σχέση με το GPS για τις ίδιες γωνίες ύψους των δορυφόρων. Άρα αναμένεται και καλύτερη ακρίβεια στον εντοπισμό θέσης. Η απόκλιση στις μεταξύ τους τιμές των σφαλμάτων για τα δυο συστήματα ξεκινά από λίγα εκατοστά και φτάνει σχεδόν μέχρι το 1 m (για γωνία ύψους 50°). Το σφάλμα απόστασης που εκφράζεται με την τιμή UERE κυμαίνεται μεταξύ των 4 m έως 8,5 m μεταβαλλόμενο αντιστρόφως ανάλογα από τη γωνία ύψους. Καθώς αυξάνεται η γωνία ύψους μειώνεται το σφάλμα, γεγονός αναμενόμενο αφού π.χ. για γωνία 90 μοιρών γίνονται μετρήσεις μόνο ως προς δορυφόρους που βρίσκονται κάθετα πάνω από τον ορίζοντα και ως εκ τούτου το σήμα ταξιδεύει από την πιο σύντομη διαδρομή με τις μικρότερες επιδράσεις.

Αποδεικνύεται ότι για το τελικό σφάλμα μετρήσεων σε ένα συνδυασμό δύο GNSS (π.χ. GPS και Galileo) ισχύει ο παρακάτω τύπος:

$$e_{GPS+Galileo} = \sqrt{\frac{2}{\frac{1}{e_{Gal}^2} + \frac{1}{e_{GPS}^2}}} DOP_{GPS+Galileo}$$

ο συντελεστής με τον οποίο πολλαπλασιάζεται το DOP και στα δύο συστήματα είναι ο συνδυασμός των UERE των δύο συστημάτων. (Πηγή: “Combining Galileo PRS and GPS M-Code”, G. Hein, J. Rodriguez )

## 2.4. Ο Δείκτης NSP

Ο δείκτης ακρίβειας συστημάτων πλοήγησης (**NSP: Navigation System Precision**) περιγράφει τη διασπορά, κατά το διάστημα μιας σειράς μετρήσεων, των εκτιμώμενων τιμών της θέσης του δέκτη γύρω από τη μέση θέση. Ο ίδιος ο μέσος όρος μπορεί να είναι διαφορετικός από την πραγματική θέση αλλά ο δείκτης NSP δεν δείχνει αυτό. Το NSP υπολογίζεται από τον δείκτη UERE που είναι υπολογισμένο από το τύπο περιβάλλοντος (T. Jordan, 2004).

$$\text{NSP} = \text{UERE} \times \text{PDOP (ή GDOP)}$$

Η ανάλυση NSP επιστρέφει τη μέση, μέγιστη, ελάχιστη, και σταθερή απόκλιση NSP για κάθε σημείο σε ένα πλέγμα (grid) σειράς δεκτών στη περιοχή ενδιαφέροντος. Η ανάλυση υπολογίζει και καταγράφει το διαφορετικό NSP εκτιμά συγκεκριμένα ONSP (Overall NSP), TNSP (Time NSP), HNSP (Horizontal NSP) και VNSP (Vertical NSP) ως στιγμιαία καταγραμμένα στοιχεία, για κάθε δέκτης χρηστών και για ολόκληρη τη διάρκεια μιας προσομοίωσης για περαιτέρω μετά επεξεργασία.

Για να υπολογίσει το NSP, απαιτείται ο πίνακας μεταβλητότητας-συμμεταβλητότητας C:

$$C = (A^T W A)^{-1}$$

όπου A είναι ο πίνακας παρατηρήσεων ο οποίος υπολογίζεται όπως στο δείκτη DOP. όπου W είναι ο πίνακας βάρους:

$$W = \begin{pmatrix} w_1 & & \mathbf{0} \\ & \ddots & \\ \mathbf{0} & & w_n \end{pmatrix}$$

Εάν οι ισότιμοι συντελεστές εκφράζονται στο τοπικό πλαίσιο αναφοράς δεκτών, τότε οι δείκτες PNSP (Position NSP), HNSP (Horizontal NSP), VNSP (Vertical NSP) και TNSP (Time NSP) μπορούν να υπολογιστούν ως:

$$\text{PNSP} = \sqrt{C_{1,1} + C_{2,2} + C_{3,3}} \quad \text{Positional NSP}$$

$$\text{HNSP} = \sqrt{\max \left( \text{eigenvalues} \begin{pmatrix} C_{1,1} & C_{1,2} \\ C_{2,1} & C_{2,2} \end{pmatrix} \right)} \quad \text{Horizontal NSP}$$

$$\text{VNSP} = \sqrt{C_{3,3}} \quad \text{Vertical NSP}$$

$$\text{TNSP} = \sqrt{C_{4,4}} \quad \text{Time NSP}$$

Εάν ο πίνακας **A** δεν υπολογίζεται στις τοπικές συντεταγμένες του δέκτη του χρήστη, τότε πρέπει να εκτελεστεί πρώτα ένας μετασχηματισμός.

Τα στοιχεία της διαγωνίου του πίνακα βάρους **W** υπολογίζονται ως εξής:

$$w_i = \sigma_i^{-2} = \left( \sigma_{ODTS}^2 + \sigma_{iono}^2 + \sigma_{tropo}^2 + \sigma_{multipath}^2 + \sigma_{Rxnoise}^2 \right)_i^{-1}$$

Η συμβολή του κάθε όρου στην παραπάνω εξίσωση παράγεται από το πρότυπο UERE (Πίνακας 17).

## 2.5. Ακεραιότητα των Συστημάτων

Η ακεραιότητα (Integrity) είναι η ικανότητα του δορυφορικού συστήματος να παρέχει εγκαίρως προειδοποιήσεις στον χρήστη όταν οι παρατηρήσεις δεν είναι συνετό ή σκόπιμο να χρησιμοποιηθούν. Η ακεραιότητα σχετίζεται με την εμπιστοσύνη της ορθότητας των πληροφοριών και περιγράφεται από δύο παραμέτρους:

- **Κατώφλι τιμής ή όριο προειδοποίησης (Threshold value or alert limit):** το μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα της μετρούμενης θέσης πριν την ενεργοποίηση του συναγερμού.
- **Χρόνος προειδοποίησης (Time-to-alarm):** ο μέγιστος επιτρεπόμενος χρόνος ανάμεσα σε μία κατάσταση συναγερμού και σε μία κατάσταση εκτός συναγερμού.

Η ακεραιότητα εκφράζεται με τον όρο PHMI (Probability of Hazardous Misleading Information) δηλαδή την πιθανότητα επικίνδυνων παραπλανητικών πληροφοριών και εκφράζεται σαν συνάρτηση των οριζοντίων ορίων προειδοποίησης HAL (Horizontal Alert Limits) και των κατακόρυφων ορίων προειδοποίησης VAL (Vertical Alert Limits).

Η παράμετρος HAL (με την οποία ασχοληθήκαμε στο ερευνητικό μέρος) εκφράζει το μέγιστο ανεκτό σφάλμα στην οριζοντιογραφική θέση, για το οποίο είναι ασφαλές να γίνονται παρατηρήσεις προς τους δορυφόρους. Αυτό είναι ορισμένο από το πρόγραμμα (default value) στα 12 m. Αν ξεπεραστεί αυτό το όριο πρέπει να σταλεί προειδοποίηση στους χρήστες.

### 3.1. Εισαγωγή

Στις ενότητες του παρόντος κεφαλαίου, γίνεται μία αναφορά σε μια σειρά ενδεικτικών εφαρμογών που αναμένεται να ευνοηθούν με τη βελτίωση των συστημάτων GNSS. Είναι γεγονός ότι οι σύγχρονες τεχνολογίες των συστημάτων GNSS αφορούν όλο και περισσότερους κλάδους της καθημερινής ζωής. Επόμενο είναι λοιπόν, οι σχετικές εφαρμογές να καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα τομέων, τις μεταφορές, τις τοπογραφικές εφαρμογές αλλά και τομείς όπως οι τηλεπικοινωνίες, ο τουρισμός, η επιστημονική έρευνα, διαχείριση φυσικών πόρων και άλλους.

Λόγω του πολύ μεγάλου φάσματος εφαρμογών όμως, έμφαση δίνεται κυρίως στις μεταφορές και στις τοπογραφικές εφαρμογές, που ενδιαφέρουν κυρίως το κλάδο των Τοπογράφων Μηχανικών.

Επίσης, παρουσιάζονται περιγραφικά οι λειτουργίες του προγράμματος επεξεργασίας GSSF (Galileo System Simulation Facility) που έχει αναπτυχθεί από την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος ESA, με το οποίο έγιναν μια σειρά σενάρια στην παρούσα εργασία στα οποία βασίστηκαν κυρίως και τα συμπεράσματα που ακολουθούν στο τέλος της εργασίας. Το λογισμικό αυτό προσομοιώνει και αξιολογεί τη χρήση του συστήματος Galileo για μία μεγάλη ποικιλία χρηστών κάτω από διαφορετικές συνθήκες εφαρμογών. Επίσης έχει τη δυνατότητα να προσομοιώσει και τις ανάλογες συνθήκες χρήσης για τα άλλα συστήματα GNSS, εφ' όσον ο χρήστης εισάγει σε αυτό κατάλληλα στοιχεία για τον αντίστοιχο δορυφορικό σχηματισμό. Επιπλέον δίνει τη δυνατότητα ανάλυσης σεναρίων συνδυασμένης χρήσης του Galileo μαζί με το GPS και το EGNOS, κάτι που έγινε και στη συγκεκριμένη εργασία

Στη συνέχεια παρατίθενται τα σενάρια επεξεργασίας που έγιναν για διαφορετικές πορείες και τύπους εφαρμογών με διαφορετικούς κάθε φορά δορυφορικούς σχηματισμούς. Επιλέχτηκαν για εξέταση κυρίως κινηματικές πορείες που έχουν ήδη πραγματοποιηθεί με διαφορετικά μέσα μεταφοράς (πλοία, αεροπλάνα, τρένα κ.τ.λ.) καθώς περιγράφονται για κάθε μία περίπτωση και οι σχετικές εφαρμογές για τις οποίες η βελτίωση της ακρίβειας εντοπισμού των δορυφορικών συστημάτων αναμένεται να είναι ιδιαίτερα επωφελής.

Γίνεται επίσης μία προσπάθεια σύνδεσης των εφαρμογών με τα σενάρια του προηγούμενου ούτως ώστε να δικαιολογηθεί και ο σκοπός για τον οποίο δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στα διαφορετικά οχήματα και περιβάλλοντα.

### 3.2. Εφαρμογές Galileo

Οι τεχνολογίες δορυφορικής πλοήγησης αφορούν όλους τους κλάδους της σύγχρονης οικονομίας. Σύμφωνα με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, η αγορά προϊόντων και υπηρεσιών που αφορούν τα συστήματα δορυφορικού εντοπισμού και πλοήγησης αυξάνεται με ρυθμό 25% ετησίως. Μαζί με το σήμα GPS, το EGNOS σήμερα, και το GALILEO αργότερα, ενισχύεται η υποδομή που οδηγεί σε μια παγκόσμια αγορά προϊόντων και υπηρεσιών GNSS, που συλλογικά ονομάζονται δευτερεύουσες εφαρμογές GNSS (*secondary GNSS applications*), οι οποίες μόνο το 2008 αντιπροσώπευαν αξία 124 δισεκατομμυρίων ευρώ.

Κατά το 2020 προβλέπεται να λειτουργούν περίπου 3 δισεκατομμύρια δέκτες δορυφορικής πλοήγησης, με κύριο χαρακτηριστικό των νέων τάσεων ότι η τεχνολογία των δεκτών εξελίσσεται συνεχώς για να εκπληρώνει την υψηλότερη ζήτηση για ευέλικτες νέες εφαρμογές GNSS. Η δορυφορική πλοήγηση εισέρχεται όλο και περισσότερο στην καθημερινή ζωή των Ευρωπαίων πολιτών, όχι μόνον στα αυτοκίνητα και τα κινητά τηλέφωνα τους αλλά και στα δίκτυα διανομής ενέργειας ή τα τραπεζικά συστήματα. Ωστόσο, αυτό που αναμένεται να τροφοδοτήσει την ευρύτερη αποδοχή των συστημάτων GNSS είναι ότι οι καινοτομίες δεν θα είναι μόνο για την τεχνολογία, άλλα και κατά κύριο λόγο για το επιχειρηματικό μοντέλο των νέων αυτών εφαρμογών, π.χ. με το άνοιγμα νέων αγορών και συμβάλλοντας στην ανάκαμψη της οικονομίας, καθιστώντας την πιο βιώσιμη και βασισμένη στη γνώση (Pietka και Urrutia, 2010).

Οι εφαρμογές του νέου ευρωπαϊκού συστήματος Galileo αφορούν ένα ευρύ φάσμα τομέων, όχι μόνο τις μεταφορές και τις επικοινωνίες αλλά και άλλες αγορές όπως η τοπογραφία, η γεωργία, η επιστημονική εύρυνα, ο τουρισμός και άλλα. Δεκτές υπάρχουν πλέον σε όλα τα είδη ηλεκτρονικών συσκευών καθημερινής χρήσης όπως κινητά τηλέφωνα, προσωπικοί υπολογιστές ή ρολόγια χειρός. Η κινητή τηλεφωνία είναι μία αναπτυσσόμενη αγορά με περισσότερους από δύο εκατομμύρια συνδρομητές ενώ κατά τα επόμενα έτη προβλέπεται ότι το 50% των πωλήσεων υπολογιστικών συσκευών δεν θα είναι προσωπικοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές, αλλά τα λεγόμενα “έξυπνα τηλέφωνα”, στον οποίων τα βασικά χαρακτηριστικά συμπεριλαμβάνονται και δυνατότητες εντοπισμού GNSS και αξιοποίηση της γεωγραφικής θέσης (location-based services). Έως το 2020 αυτού του είδους οι υβριδικές συσκευές αναμένεται να αντιπροσωπεύουν το πλέον χαρακτηριστικό παράδειγμα σύγκλισης των τεχνολογιών GNSS, πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών.

Επιπλέον, οχήματα είναι όλο και περισσότερο εξοπλισμένα με συσκευές πλοήγησης. Προβλέψεις αναφέρουν ότι οι πωλήσεις θα φθάσουν τα 50 εκατομμύρια συσκευές έως το 2020, εξυπηρετώντας τόσο τις ανάγκες πλοήγησης των οχημάτων, αλλά και σε μεγάλο βαθμό, με την προσαρμογή οικονομικά προσιτών και μικρού μεγέθους πομπών GNSS, ως λύση στα προβλήματα κλοπής, κρούσματα αυτοκινητοπειρατείας (carjacking) κλπ.

Στην Πράσινη Βίβλο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για τις εφαρμογές της δορυφορικής πλοήγησης (Commission of the European Union, 2006) αναφέρονται ήδη διάφοροι τομείς οι οποίοι θα επωφεληθούν από την εφαρμογή του συστήματος Galileo μέσω πολυάριθμων εφαρμογών που θα μπορούσαν να αναπτυχθούν. Συγκεκριμένα, όλοι οι τομείς εφαρμογής που χρησιμοποιούν πληροφορίες προσδιορισμού θέσης και ταχύτητας μπορούν να επωφεληθούν από τη βελτιωμένη ακρίβεια του Galileo και, μέσω της συμβατότητας του και της διαλειτουργικότητας του με τα άλλα συστήματα GNSS, και παρέχοντας ενισχυμένη αμοιβαία υποστήριξη και οφέλη στους χρήστες: όλοι οι τρόποι μεταφοράς, μέσω της διαχείρισης υποδομής και της παροχής πληροφοριών γεωεντοπισμού, η γεωργία βασισμένη σε καλλιέργειες υποστηριζόμενες από εφαρμογές υψηλής ακρίβειας γεωεντοπισμού, η πολιτική προστασία και η διαχείριση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, η χαρτογράφηση και η κτηματογράφηση, η αλιεία, η ενέργεια, η διαχείριση των φυσικών πόρων, η εξόρυξη, οι γεωεπιστήμες, η μετεωρολογία, η μοντελοποίηση της αλλαγής του κλίματος, το περιβάλλον, η δικαιοσύνη και ο έλεγχος εφαρμογής του νόμου, οι συνοριακοί έλεγχοι κ.λπ.

Στοχεύοντας στην ανάπτυξη ενός κατάλληλου πολιτικού και νομικού πλαισίου, προκειμένου να αξιοποιήσει πλήρως το σύστημα Galileo, μεταξύ άλλων, η πράσινη βίβλος εκθέτει διάφορες χαρακτηριστικές εφαρμογές, όπως ενδεικτικά:

- **Υπηρεσίες βασισμένες στον εντοπισμό θέσης και κλήσεις έκτακτης ανάγκης:** με την ενσωμάτωση των δεκτών του συστήματος Galileo σε πολυάριθμα μέσα, όπως στα κινητά τηλέφωνα, οι υπηρεσίες που βασίζονται στον εντοπισμό θέσης και η κινητικότητα των προσώπων αποτελούν τη μεγαλύτερη αγορά για τη δορυφορική πλοήγηση. Οι χρήστες θα μπορούν να έχουν πρόσβαση σε ειδικές πληροφορίες «εγγύτητας» (όπως π.χ. πού βρίσκεται το πλησιέστερο νοσοκομείο, ποια είναι η συντομότερη διαδρομή για το πλησιέστερο εστιατόριο κ.λπ.), αξιοποιώντας έτσι τη γνώση της γεωγραφικής τους θέσης.
- **Οδικές μεταφορές:** ο τομέας αυτός περικλείει μια σειρά λειτουργιών, οι οποίες κυμαίνονται από τις συσκευές πλοήγησης έως τα συστήματα αυτόματων διοδίων και η διαλειτουργικότητα των συστημάτων τηλεδιοδίων και άλλων Ευφυών Συστημάτων Μεταφορών (intelligent transportation systems), όπως επίσης τις εφαρμογές ασφαλείας ή την ασφάλιση βάσει χρέωσης ανά χρήση, μέχρι την παρακολούθηση εμπορευματοκιβωτίων και επικίνδυνων φορτίων σε πραγματικό χρόνο, την ελεγχόμενη μεταφορά ζώων και την υποστήριξη των δημόσιων μεταφορών μεγάλων αποστάσεων.
- **Σιδηροδρομικές μεταφορές:** οι σιδηροδρομικές υποδομές περιλαμβάνουν συστήματα σηματοδότησης και εντοπισμού των τρένων, εγκατεστημένων κυρίως κατά μήκος των γραμμών. Τα συστήματα αυτά αντικαθίστανται σταδιακά από τα συστήματα ERTMS/ETCS [Ευρωπαϊκό Σύστημα

Διαχείρισης της Σιδηροδρομικής Κυκλοφορίας (ERTMS, European Rail Traffic Management System) και Ευρωπαϊκό Σύστημα Ελέγχου των Τρένων (ETCS, European Train Control System)]. Ήδη, η σκοπιμότητα των συστημάτων ελέγχων των τρένων με τα πρότυπα ασφάλειας των σιδηροδρόμων που χρησιμοποιούν το GNSS είναι αποδεδειγμένη. Ως εκ τούτου θεωρείται δεδομένο ότι το Galileo θα αναβαθμίσει την ασφάλεια για τα αυτόματα συστήματα προστασίας και ελέγχου των τρένων.

- **θαλάσσιες μεταφορές, αλιεία, εσωτερική ναυσιπλοΐα:** η αποτελεσματικότητα, η ασφάλεια και η βελτιστοποίηση των θαλάσσιων μεταφορών μπορούν να επωφεληθούν από τη χρήση του GNSS. Το Galileo παρέχει πλεονεκτήματα για τις εφαρμογές ασφάλειας της ζωής, τη βελτίωση της ασφάλειας και τα «αυτόματα συστήματα αναγνώρισης». Θα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την προσέγγιση σε λιμένες. Για την εσωτερική ναυσιπλοΐα, η οδηγία 2004/44/EK συνιστά τη χρήση των τεχνολογιών εντοπισμού θέσης μέσω δορυφόρου για τον εντοπισμό και την ιχνηλάτηση των πλοίων, και σε διαβούλευση με τον ‘Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό’, προκειμένου να βελτιωθούν οι θαλάσσιες μεταφορές ειδικότερα σε λιμένες, σε παράκτιες περιοχές ή σε πολυσύχναστες λωρίδες θαλάσσιας ναυσιπλοΐας, καθώς και στις εσωτερικές πλωτές γραμμές (π.χ. στους πλωτούς ποταμούς της κεντρικής Ευρώπης).
- **αεροπορικές μεταφορές:** στον τομέα αυτό, η δορυφορική πλοήγηση ανοίγει πολύ ενδιαφέρουσες προοπτικές. Οι αναλύσεις προβλέπουν μεγάλη ανάπτυξη των αεροπορικών μεταφορών έως το 2025. Η ακρίβεια και η ακεραιότητα που προσφέρει το σύστημα Galileo θα επιτρέψουν τη βελτιστοποίηση της χρήσης των υπάρχοντων αερολιμένων μέσω της ανάπτυξης και χρησιμοποίησης βασισμένων στο EGNOS και το Galileo διαδικασιών προσγείωσης, και πιστοποιημένων διαδικασιών και υπηρεσιών που θα βασίζονται σε αυτά τα συστήματα. Αυτό επιπρόσθετα συνιστά στρατηγική απαίτηση για την υλοποίηση του ενιαίου ευρωπαϊκού εναέριου χώρου (*open sky policy*).
- **πολιτική προστασία, διαχείριση έκτακτων καταστάσεων και ανθρωπιστική βοήθεια:** για την παροχή βοήθειας έπειτα από σεισμούς, πλημμύρες, τσουνάμι και άλλες φυσικές ή ανθρωπογενείς καταστροφές απαιτείται ο εντοπισμός ανθρώπων, περιουσιών και πόρων. Η δορυφορική πλοήγηση θα καταστήσει ταχύτερες τις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης και θα βελτιστοποιήσει την κατανομή τους. Επιπλέον, με την ενσωμάτωση των δεκτών δορυφορικής πλοήγησης στα έξυπνα κινητά τηλέφωνα και άλλα μέσα επικοινωνίας, οι υπηρεσίες που βασίζονται στον εντοπισμό θέσης και η κινητικότητα των προσώπων προβλέπεται ότι θα αποτελέσουν τη μεγαλύτερη μαζική αγορά για τη δορυφορική πλοήγηση.

- **επικίνδυνα εμπορεύματα:** το νομικό πλαίσιο πρέπει να επικαιροποιηθεί έτσι ώστε να ληφθούν υπόψη πολλές δυνατότητες που θα μπορούσε να προσφέρει το Galileo. Σε περίπτωση διαπίστωσης προβλημάτων, η λήψη μέτρων έκτακτης ανάγκης θα μπορούσε εξάλλου να βελτιωθεί με τη χρήση αυτής της τεχνολογίας.
- **μεταφορά ζωικού κεφαλαίου:** κάθε χρόνο, μεταφέρονται εκατομμύρια ζώα στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Η ιχνηλασιμότητα του ζωικού κεφαλαίου είναι εξαιρετικής σημασίας για την πρόληψη υγειονομικής απάτης, την ασφάλεια της διατροφής και την εξασφάλιση καλής μεταχείρισης των ζώων. Ο κανονισμός (ΕΚ) 1/2005, ο οποίος θεσπίζει απαιτήσεις για τη μεταφορά ζώων, επιβάλλει τη χρήση του GNSS σε όλα τα καινούρια φορτηγά που εκτελούν μεγάλες διαδρομές, ώστε σε συνδυασμό και με τη ραδιοσυχνική αναγνώριση (*RFID, Radio Frequency Identification*) να παρέχεται τόσο η ακριβής, επαληθευμένη θέση όσο και η ηλεκτρονική ταυτότητα του οχήματος, λαμβανομένων δεόντως υπόψη της προστασίας της ιδιωτικής ζωής και των κανόνων προστασίας των δεδομένων.
- **γεωργία, μέτρηση αγροτεμαχίων, γεωδαισία και κτηματογράφηση:** στην ΕΕ, 11 εκατομμύρια γεωργοί καλλιεργούν 110 εκατομμύρια εκτάρια γης. Ο χώρος και το μέγεθος των αγροτεμαχίων αποτελούν καίρια στοιχεία προς χρήση για την ανταλλαγή εμπορικών πληροφοριών στην περίπτωση χορήγησης επιδοτήσεων. Ο έλεγχος των πληρωμών με βάση την κοινή γεωργική πολιτική απαιτεί συνεχώς λεπτομερή πληροφόρηση. Επιπλέον, οι γεωργοί χρησιμοποιούν το GNSS για τη βελτίωση της συγκομιδής τους, τη μείωση των λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων και την καλύτερη χρήση εδάφους και νερού.
- **ενέργεια, πετρέλαιο και φυσικό αέριο:** η βιομηχανία πετρελαιοειδών και φυσικού αερίου κάνει εκτεταμένη χρήση του GNSS για τις δραστηριότητες εξερεύνησης και εκμετάλλευσης. Η ασφάλεια και η προστασία της μεταφοράς πετρελαίου και φυσικού αερίου εξασφαλίζονται με τη συνδρομή των λειτουργιών εντοπισμού θέσης του Galileo. Μπορεί επίσης να διευκολύνει το συγχρονισμό των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.
- **υπηρεσία έρευνας και διάσωσης:** με την παραλαβή των μηνυμάτων κινδύνου σε πραγματικό χρόνο σχεδόν από οποudήποτε στη Γη που θα περιέχουν ακριβείς πληροφορίες χωροθέτησης και με την επαφή από τα κέντρα διάσωσης προς όσους κινδυνεύουν, το σύστημα θα διευκολύνει τις ενέργειες διάσωσης και θα μειώσει το ποσοστό των εσφαλμένων συναγερμών. Αυτό έχει επίσης επιπτώσεις στην καταπολέμηση της παράνομης



μετανάστευσης και στην ικανότητα να διασώζονται μετανάστες που κινδυνεύουν στη θάλασσα.

- **πολλές άλλες εφαρμογές:** εφοδιαστική, περιβάλλον, επιστήμη, επιβολή του νόμου και λοιπά: το GNSS μπορεί επίσης να παρέχει πλεονεκτήματα στον τομέα της εφοδιαστικής και να διευκολύνει την πολυτροπικότητα. Επίσης πολλοί άλλοι τομείς εφαρμογών όπως: τα συστήματα δημόσιων συγκοινωνιών, τα δημόσια έργα και τα έργα πολιτικού μηχανικού, η μετανάστευση και ο συνοριακός έλεγχος, η αστυνομία, η παρακολούθηση κρατουμένων, η παραγωγή βιομάζας και η διαχείριση πρώτων υλών, η διαχείριση του περιβάλλοντος, οι ιατρικές εφαρμογές και τα άτομα με αναπηρίες, η επιστημονική έρευνα, το κυνήγι, τα σπορ, ο τουρισμός, η διάθεση αποβλήτων και πολλά άλλα.

(Πηγή: Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2006) - Πράσινη Βίβλος για τις εφαρμογές της δορυφορικής πλοήγησης)

Επομένως, οι εφαρμογές του προγράμματος Galileo είναι απεριόριστες και η τεχνολογία αυτή θα βελτιώσει επίσης σημαντικά εκτός από τα συστήματα καθοδήγησης, την πρόβλεψη των ατυχημάτων, την αποδοτικότητα της πολιτικής προστασίας και την προστασία του περιβάλλοντος. Το Galileo είναι ζωτικής σημασίας για το μέλλον των ευρωπαϊκών βιομηχανιών υψηλής τεχνολογίας οι οποίες, όταν υλοποιηθεί το πρόγραμμα, από τις μεγάλες αγορές που θα δημιουργηθούν, θα έχουν ουσιαστικό τεχνολογικό προβάδισμα στον παγκόσμιο ανταγωνισμό.

Γενικά, για το σύστημα Galileo θεωρείται ότι οι προοπτικές ανάπτυξης είναι απεριόριστες και καλύπτουν σχεδόν όλο το φάσμα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

### **3.3. Μεταφορές**

Οι μεταφορές στο σύνολό τους, θαλάσσιες, εναέριας, οδικές και σιδηροδρομικές είναι ο τομέας που αναμένεται να επωφεληθεί περισσότερο από κάθε άλλον, από τη βελτίωση των συστημάτων GNSS.

#### **3.3.1. Οδικές Μεταφορές**

Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται συστήματα πλοήγησης σε αυτοκίνητα για τον καθορισμό πορειών εντός και εκτός πόλης. Είναι ένας τομέας που τώρα βρίσκεται στη κύρια φάση ανάπτυξής του.

Με τις τελευταίες εξελίξεις πάνω στο τομέα αυτό, οι δέκτες GNSS θα δίνουν ακριβέστερες πληροφορίες στο δέκτη, θα του επιτρέπουν να καθορίσει τη θέση του και να επιλέξει τη συντομότερη και τη βέλτιστη διαδρομή. Επίσης, αναμένεται τα συστήματα να παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες στους οδηγούς για τη κατάσταση του οδικού δικτύου, την κίνηση και τις καιρικές συνθήκες (Εικόνα 39).



Εικόνα 39 : Συστήματα πλοήγησης σε Αυτοκίνητα

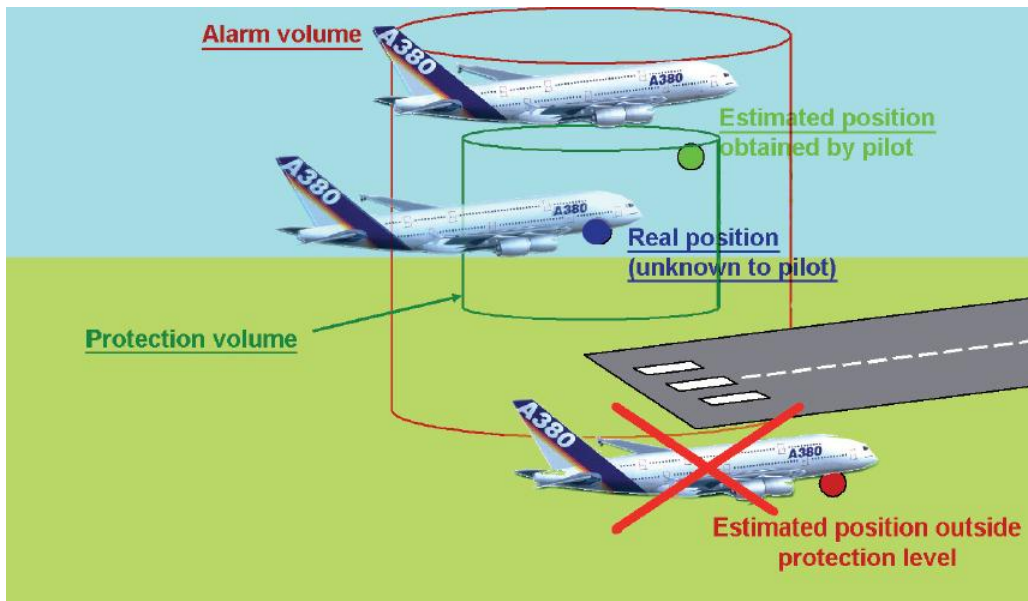
(Πηγή: <http://www.xblog.gr/ipad-gps-navigator/>)

### 3.3.2. Εναέριες Μεταφορές

Στο τομέα των εναέριων μεταφορών η βελτίωση των συστημάτων θα βοηθήσει κυρίως στη αεροπλοΐα και στο να περιοριστούν τα ατυχήματα που οφείλονται σε λόγους ανακρίβειας στίγματος των αεροσκαφών. Οι πιλότοι με ακριβείς μετρήσεις θα έχουν την πλήρη εικόνα του αεροσκάφους ενώ θα δέχονται λιγότερες καθοδηγήσεις από το έδαφος.

Το διαλειτουργικό και συμπληρωματικό σύστημα Galileo θα βοηθήσει στη καθοδήγηση πτήσεων, στην προσέγγιση αερολιμένων, στην προσγείωση, καθώς και στην επίγεια καθοδήγηση ενός αεροσκάφους. Επίσης, με τη χρήση του Galileo οι υποδομές των αεροδρομίων θα μπορέσουν να προσαρμοστούν στην αυξανόμενη κυκλοφορία εξασφαλίζοντας παράλληλα καλύτερο έλεγχο της κυκλοφορίας και ασφάλεια.

Στην παρακάτω εικόνα 40, φαίνονται οι περιπτώσεις σε μία προσγείωση αεροσκάφους σε έναν αεροδιάδρομο. Απεικονίζονται η πραγματική θέση του αεροσκάφους (που είναι άγνωστη στον πιλότο), η θέση που υπολογίζεται από τα όργανα του αεροσκάφους εντός της περιοχής προστασίας (δηλαδή το χώρο που περιβάλλει το αεροσκάφος, όπου για λόγους ασφάλειας της πτήσης δεν πρέπει να κυκλοφορούν άλλα αεροσκάφη κατά τη διάρκεια της προσέγγισης στον αεροδιάδρομο), καθώς και η θέση εντός και εκτός της περιοχής συναγερμού.



Εικόνα 40 : Περιπτώσεις Θέσης ενός Αεροσκάφους κατά την Προσγείωση  
 (Πηγή: “User Guide For EGNOS Application Developers”, [http://www.essp-sas.eu/docs/printed\\_documents/guide\\_egnos\\_2009\\_va\\_hd\\_bat3.pdf](http://www.essp-sas.eu/docs/printed_documents/guide_egnos_2009_va_hd_bat3.pdf))

### 3.3.3. Θαλάσσιες Μεταφορές

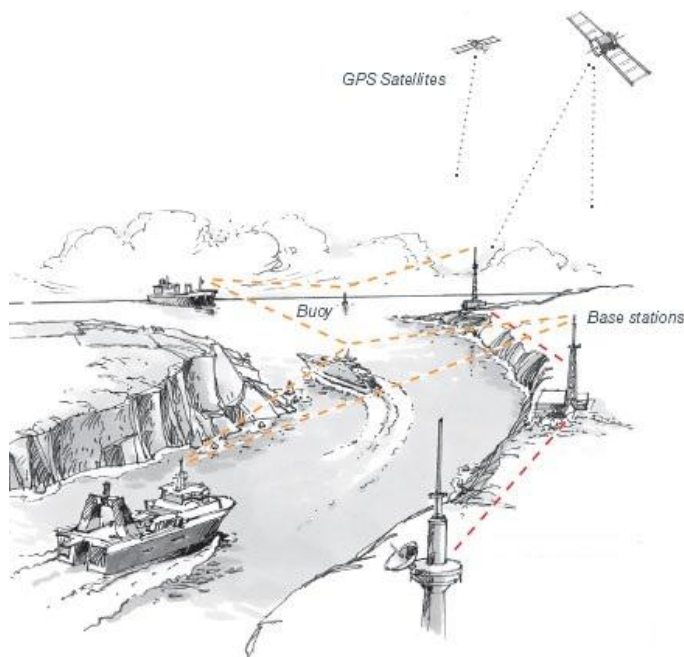
Στις θαλάσσιες μεταφορές το σύστημα Galileo αναμένεται να αποτελέσει ένα εργαλείο που θα φέρει πολλές καινοτομίες στο τομέα της ναυσιπλοΐας. Η ασφάλεια των πλοίων στις θαλάσσιες μεταφορές θα αποτελεί την κύρια απαίτηση.

Αλλά και με την βελτίωση του συστήματος GPS θα μειωθούν τα ατυχήματα που οφείλονται από ανακριβή δεδομένα και λανθασμένες συντεταγμένες. Ο έλεγχος της κίνησης των σκαφών και η παρακολούθηση των εμπορικών πλοίων, θα συνδράμουν προς αυτή την κατεύθυνση. Η μείωση των συγκρούσεων των πλοίων κατά την είσοδο και την έξοδο από τα λιμάνια αναμένεται επίσης να μειωθεί. (Εικόνα 41)



Εικόνα 41 : Πλοήγηση Πλοίων κατά την Είσοδο και Έξοδο από Λιμάνια

Επίσης, σημαντικές αλλαγές θα επέλθουν από την βελτίωση των συστημάτων και σε περιπτώσεις πλοήγησης σε στενά ποτάμια, κανάλια και λίμνες όπου η ακρίβεια του στίγματος αποτελεί ουσιώδη προτεραιότητα. (Εικόνα 42)



Εικόνα 42 : Πλοήγηση Σκαφών σε Κανάλια

### 3.3.4. Σιδηροδρομικές Μεταφορές

Στο τομέα των σιδηροδρομικών μεταφορών τα οφέλη αναμένεται να είναι πολλά από τη βελτίωση του GPS και του ερχομού του Galileo. Τα δύο συστήματα θα βοηθήσουν στο καλύτερο έλεγχο της κυκλοφορίας των τρένων, στην αποδοτικότερη διαχείριση του στόλου των τρένων και στη σωστότερη και πιο έγκαιρη ενημέρωση των επιβατών για τους χρόνους άφιξης και αναχώρησης των συρμών. Επιπλέον αναμένεται επίσης να μειωθεί ο αριθμός των ατυχημάτων μεταξύ των συρμών αλλά και με οχήματα σε διασταυρώσεις με δρόμους.

### 3.4. Αναφυχή

Στον τομέα της αναφυχής, οι χρήστες ορισμένες φορές θέλουν να γνωρίζουν το στίγμα των διαδρομών που κάνουν, αλλά και για λόγους ασφαλείας των ιδίων ή των ομάδων που ανήκουν. Σε τέτοιες περιπτώσεις τα συστήματα GNSS θα αποτελέσουν την «διαστημική πυξίδα» των οδοιπόρων και των εξερευνητών. Τα τελευταία χρόνια ακόμα και κινητά τηλέφωνα θα έχουν ενσωματωμένο σύστημα πλοήγησης GPS (Εικόνα 43).



Εικόνα 43 : Κινητό Τηλέφωνο με Ενσωματωμένο GPS

(Πηγή: “Next generation satellite navigation systems”, Paul Kempfi )

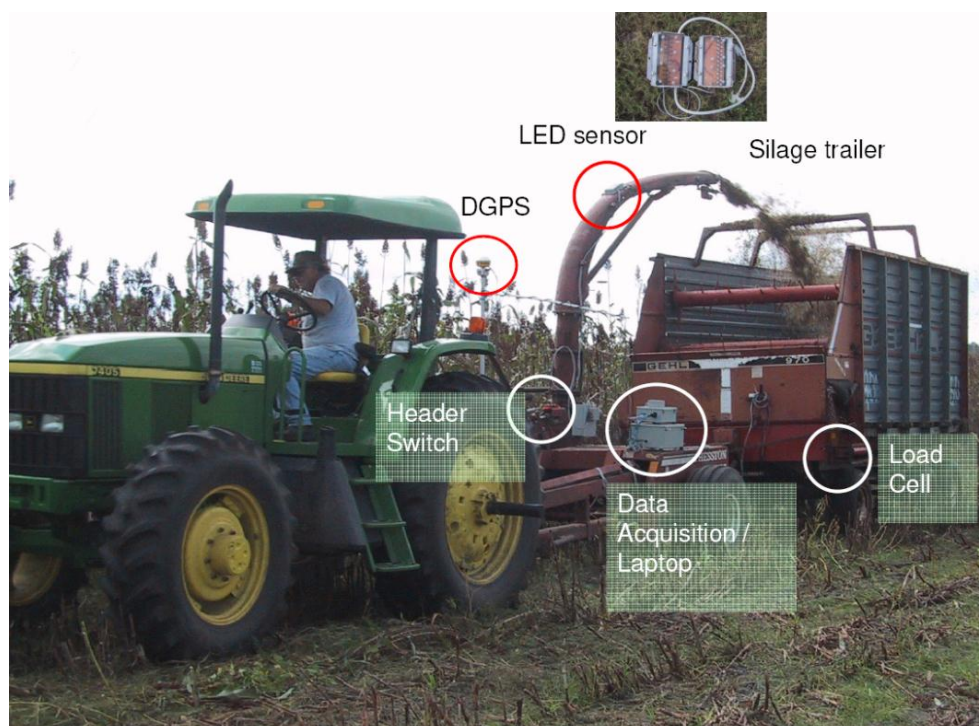
Οδοιπόροι, ορειβάτες, ακόμη και πεζοί σε αστικά ή αγροτικά περιβάλλοντα μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα συστήματα GNSS για να καθορίσουν τη θέση τους, με ή χωρίς αναφορά σε χάρτες. Στις απομονωμένες περιοχές, η δυνατότητα των GNSS να παρέχουν μια ακριβή θέση μπορεί να ενισχύσει τις πιθανότητες διάσωσης οι ορειβάτες ή οι οδοιπόροι όταν είναι εξουθενωμένοι ή χάνονται.

### 3.5. Γεωργία

Τα τελευταία χρόνια τα συστήματα GNSS κάνουν την εμφάνιση τους στην επονομαζόμενη «γεωργία ακριβείας» που ορίζεται ως: Η διαχείριση κάθε εισαγωγής παραγωγής συγκομιδών (λίπασμα, ασβεστόλιθος, ζιζανιοκτόνο, σπόρος, εντομοκτόνο, κ.τ.λ.) σε συγκεκριμένη περιοχή για να μειώσει τη σπατάλη, να αυξήσει τα κέρδη, και να διατηρήσει την ποιότητα του περιβάλλοντος. (Morgan & Ess, 2003).

Στον τομέα της «γεωργίας ακρίβειας», η διαδικασία λήψης αποφάσεων θα μπορούσε να βελτιωθεί σημαντικά με τη χρήση των γεω-χωρικών τεχνολογιών, οι οποίες επιτρέπουν την έγκαιρη, τακτική ή στρατηγική λήψη αποφάσεων σε διάφορα επίπεδα. Η χρήση GNSS θα μπορούσε να ωφελήσει τους διάφορους τομείς του γεωργικού τομέα, που κυμαίνονται από το βασικό αγροτικό κτηματολόγιο και τοπογραφία μέχρι τη προηγμένη γεωργία ακρίβειας. Κλιματολογικοί και οικονομικοί χωρισμοί, ο έλεγχος και η πρόβλεψη της σοδειάς είναι μόνο μερικά παραδείγματα των γεωργικών δραστηριοτήτων όπου ο προσδιορισμός θέσης είναι ύψιστης σημασίας.

Μέχρι τώρα μόνο το σύστημα GPS έχει δώσει λύσεις. Με το σύστημα Galileo οι Ευρωπαίοι προσδοκούν την ανάμειξή του σε παρόμοιες εφαρμογές για την καλύτερη διαχείριση της γης. Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση των GNSS όπως η προσαρμογή της δόσης των σπόρων, το πότισμα αναμένονται να εξελιχθούν σε αυτοματοποιημένες διαδικασίες (Εικόνα 44).



Εικόνα 44 : Γεωργία Ακρίβειας με GNSS

(Πηγή: “Precision Agriculture: Methods and Applications”, W. Lee)

Επίσης τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται το σύστημα AutoLevel είναι βασισμένο με τη χρήση του GPS και χρησιμοποιεί τα σήματα από τους δορυφόρους για να ελέγξει αυτόματα ένα τρακτέρ με μια ενσωματωμένη «ξύστρα» (scraper), το οποίο μετακινεί το χώμα από τα υψηλότερα σημεία προς τα χαμηλότερα σε έναν αγρό. Για πάνω από 20 έτη, αυτός ο τρόπος οριζοντίωσης γινόταν χρησιμοποιώντας τεχνολογία λείζερ για τον έλεγχο του τρακτέρ (Εικόνα 45).



Εικόνα 45 : Σύστημα Οριζοντίωσης Εδάφους AutoLevel

(Πηγή: “AutoLevel, GPS Land Leveling System, The #1 Choice in Ag Leveling”,  
AUTOFARM, 2004)

Η εφαρμογή AutoLevel χρησιμοποιεί την ίδια τεχνολογία GPS RTK, που χρησιμοποιούν οι εφαρμογές AutoSteer και AutoSpray, οι οποίες οδηγούν τα συστήματα για τα τρακτέρ και τους ψεκαστήρες. Η ακρίβεια αυτών των συστημάτων είναι κάτω από 2,5 cm και η ακρίβεια AutoLevel επίσης μέχρι 10 km από το σταθμό βάσης. Αυτή η ακρίβεια διατηρείται σε όλο πεδίο, όχι μόνο κοντά στο σταθμό βάσεων. Το σύστημα ελέγχεται από μια οθόνη αφής που τοποθετείται στο αμάξι τρακτέρ, και ολόκληρο το σύστημα είναι ηλεκτρονικό χωρίς τα μηχανικά κινούμενα μέρη, εκτός από την υδραυλική βαλβίδα που ελέγχει τη «ξύστρα» (Εικόνα 46).



Εικόνα 46 : Η Οθόνη Αφής στο Αμάξι-Τρακτέρ

(Πηγή: J. Inman, “The Latest in Land Leveling” ,INTO GEAR, 2002)

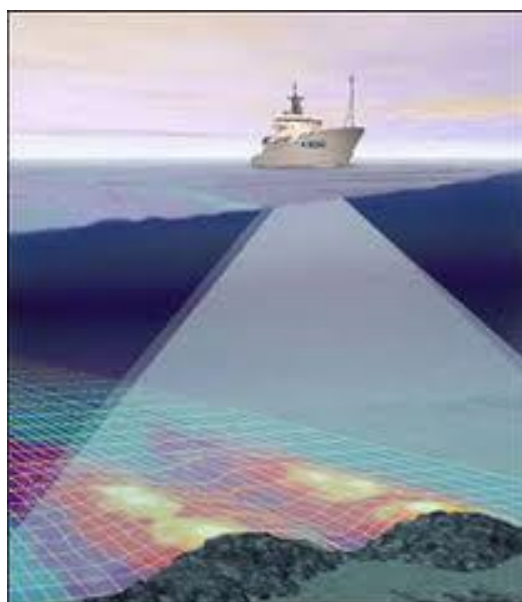
### 3.6. Τοπογραφικές Εφαρμογές

Στη συνέχεια αναφέρονται κάποιες από τις εφαρμογές που ενδιαφέρουν τον κλάδο των Τοπογράφων Μηχανικών, στις οποίες η βελτίωση των συστημάτων GNSS αναμένεται να βελτιώσει την ακρίβεια και την αξιοπιστία των τοπογραφικών και γεωδαιτικών εφαρμογών τους. Οι εφαρμογές αυτές συνδέονται και με το ερευνητικό κομμάτι της παρούσας εργασίας αφού ασχολούνται κυρίως με οχήματα και περιβάλλοντα σχετικά με τα σενάρια που έγιναν.

#### 3.6.1. Βυθομετρία και Επιφανειακή Αλτιμετρία

Η Βυθομετρία είναι μία τεχνική με τις οποία χαρτογραφείται ο βυθός της θάλασσας και αναμένεται να επωφεληθεί διότι κάνει χρήση των συστημάτων GNSS.

Η μέθοδος της βαθυμετρίας πολλαπλής δέσμης που εφαρμόζεται τα τελευταία χρόνια είναι βασισμένη στο γεγονός ότι με πολλές ακτίνες του ήχου γίνεται να πάρουμε ταυτόχρονα μια σειρά αναγνώσεων βάθους ύδατος σύμφωνα με τη γραμμή ενός κινούμενου σκάφους. Ο ήχος αναπηδά από το θαλάσσιο πυθμένα στις διαφορετικές γωνίες και παραλαμβάνεται από το σκάφος σε ελαφρώς διαφορετικούς χρόνους. Όλα τα σήματα υποβάλλονται σε επεξεργασία έπειτα από τους υπολογιστές στο σκάφος, οι ενδείξεις τους μετατρέπονται σε τιμές βάθους ύδατος, και σχεδιάζονται αυτόματα ως βαθυμετρικός χάρτης με μια ακρίβεια περίπου 10 μέτρων.



Εικόνα 47 : Βυθομετρία με τη βοήθεια GNSS

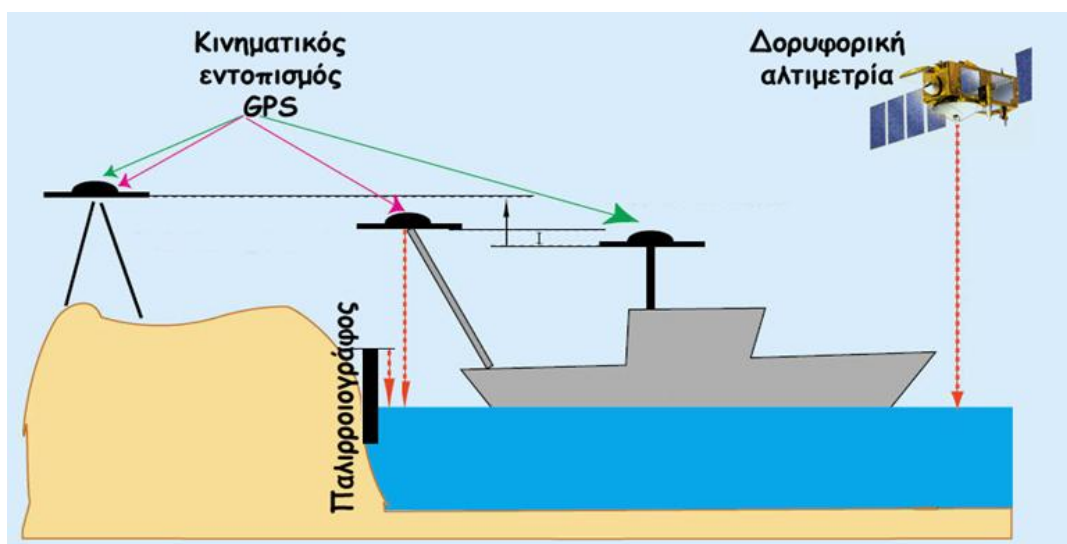
(Πηγή: [http://hawaiianatolls.org/research/June2006/painting\\_seafloor.php](http://hawaiianatolls.org/research/June2006/painting_seafloor.php))



Τα πολλαπλής δέσμης βαθυμετρικά συστήματα τώρα συνήθως χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια των ερευνητικών κρουαζιερών για να χαρτογραφήσουν τις περιοχές του θαλάσσιου πυθμένα. Για την πλοήγησή τους αλλά και για τον προσδιορισμό της διαδρομής τους χρησιμοποιούν συστήματα GNSS (Εικόνα 47).

Η μέθοδος της επιφανειακής αλιμετρίας είναι μια μέθοδος προσδιορισμού της θαλάσσιας επιφάνειας, και μετά από κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων τον υπολογισμό του θαλάσσιου γεωειδούς σε τοπική κλίμακα και κυρίως κοντά στις παράκτιες ζώνες, όπου άλλες τεχνικές όπως της δορυφορικής αλιμετρίας μειονεκτούν. Ως προς τις βασικές αρχές δεν διαφέρει ιδιαίτερα προς τις αρχές της εναέριας και της δορυφορικής αλιμετρίας. Η μόνη διαφορά είναι ότι αντί για αλτίμετρο που καταγράφει την απόσταση της θαλάσσιας επιφάνειας από το μέσο, το ίδιο το μέσο (σε αυτή τη περίπτωση είναι κάποιο σκάφος) βρίσκεται επί της επιφάνειας. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται με τη μορφή πλωτών επιστημονικών σταθμών (Buoy GPS). Επίσης συναντάται σε εγχειρίδια συστημάτων υδρογραφίας (Marine Kongsberg Seapath).

Υπό το πρίσμα της αδυναμίας της δορυφορικής αλιμετρίας να προσφέρει ικανοποιητικά δεδομένα σε παράκτιες ζώνες καθώς και της ανακρίβειας των παγκόσμιων μοντέλων παλίρροιας σε κλειστές θάλασσες, η επιφανειακή αλιμετρία μπορεί να αποδώσει ακριβέστερα αποτελέσματα στο προσδιορισμό της Μέσης Στάθμης της Θάλασσας και στον εμπλουτισμό των παλιρροιακών δεδομένων και στον έλεγχο αντίστοιχων μοντέλων ως προς τη συμπεριφορά τους.



Εικόνα 48 : Τα Επιμέρους Μέρη στην Εφαρμογή της Επιφανειακής Αλιμετρίας

Στην εικόνα 49 φαίνονται τα επιμέρους μέρη που χρειάζονται για την εφαρμογή της επιφανειακής αλτιμετρίας. Για τον προσδιορισμό της επιφάνειας της θάλασσας εφαρμόζεται σχετικός κινηματικός εντοπισμός. Στην επόμενη εικόνα 50 είναι δύο φωτογραφίες σε εφαρμογή αυτής της μεθόδου. Αριστερά φαίνονται οι δέκτες GPS ενώ δεξιά είναι ένας πλωτός επιστημονικός σταθμός (Buoy GPS).



Εικόνα 49 : Παράδειγμα Επιφανειακής Αλτιμετρίας

(Πηγή: Limpach, P., A. Geiger και H.-G. Kahle (2006))

### 3.6.2. Φωτογραμμετρικές Αποτυπώσεις με τη Βοήθεια GNSS

Την τελευταία δεκαετία η χρήση ενός δέκτη GPS επί των αεροπλάνων, είναι αναπόσπαστο στοιχείο στη διαδικασία λήψης αεροφωτογραφιών (Εικόνα 51). Οι δέκτες GPS βοηθούν στην ακριβή πλοήγηση και στη λήψη αεροφωτογραφιών σε προκαθορισμένες θέσεις. Η ζητούμενη ακρίβεια σε τέτοιου είδους εφαρμογές είναι της τάξης των μερικών μέτρων, ανάλογα με την κλίμακα αεροφωτογράφισης. Η σύνδεση των συντεταγμένων του εδάφους με τις αεροφωτογραφίες γίνεται με τη βοήθεια φωτοσταθερών σημείων που εντοπίζονται στις αεροφωτογραφίες και τα οποία αποτυπώνουμε με επίγειες μεθόδους στο έδαφος. Με την εξέλιξη των συστημάτων GNSS, ο τρόπος με τον οποίο αποτυπώνονται πλέον τα φωτοσταθερά είναι με τους γεωδαιτικούς δέκτες GPS. Τα αποτελέσματα γίνονται ακριβέστερα με τη χρήση κινηματικού σχετικού εντοπισμού θέσης (ακρίβεια τάξης λίγων cm) καθιστώντας τη χρήση των φωτογραμμετρικών μεθόδων στην Τοπογραφία το Κτηματολόγιο, τις μελέτες Τεχνικών Έργων, την Αρχιτεκτονική, την Αρχαιολογία αποδοτικότερες και οικονομικότερες.

Τελευταία, μια μεθοδολογία η οποία αναπτύσσεται ραγδαία βασίζεται στη συνδυαζόμενη χρήση προηγμένων τεχνολογιών, όπως η τηλεκατευθυνόμενη από αέρα φωτογράφιση με τη βοήθεια ελικοπτέρων ή μικρών αεροσκαφών αερομοντελισμού, η αυτοματοποιημένη ψηφιακή φωτογραμμετρία, η επεξεργασία εικόνας, η τρισδιάστατη μοντελοποίηση, ο συνδυασμός των οποίων δεν θα ήταν εφικτός χωρίς τη σημαντικές νέες δυνατότητες των συστημάτων GNSS για τον ακριβή καθορισμό της πορείας των εναέριων συσκευών κατά τη διάρκεια των λήψεων και τη μέτρηση σημείων ελέγχου στο έδαφος. Ο συνδυασμός της χρήσης των συστημάτων GNSS με τις συγκεκριμένες μεθοδολογίες και τεχνικές βρίσκει πλέον εφαρμογή σε πλήθος πεδία που απαιτούν γρήγορη αποτύπωση με τοπογραφική ακρίβεια χωρίς να υπάρχει καθόλου επαφή με το αντικείμενο ή το χώρο ενδιαφέροντος, όπως για παράδειγμα στην αποτύπωση πολιτισμικού πλούτου, όπως αρχαιολογικών χώρων, ανασκαφών ή/και μνημείων γενικότερα, στη μοντελοποίηση κτιριακών κατασκευών κλπ. Επιπλέον, επιτρέπει μέσα σε λίγη ώρα από τη στιγμή της λήψης, θα παίρνουμε τα τελικά προϊόντα, δηλ. ψηφιακά μοντέλα του εδάφους των περιοχών ενδιαφέροντος, γραμμικά σχέδια σε ψηφιακή μορφή ή εκτυπωμένα, ανηγμένες εικόνες κ.ά.

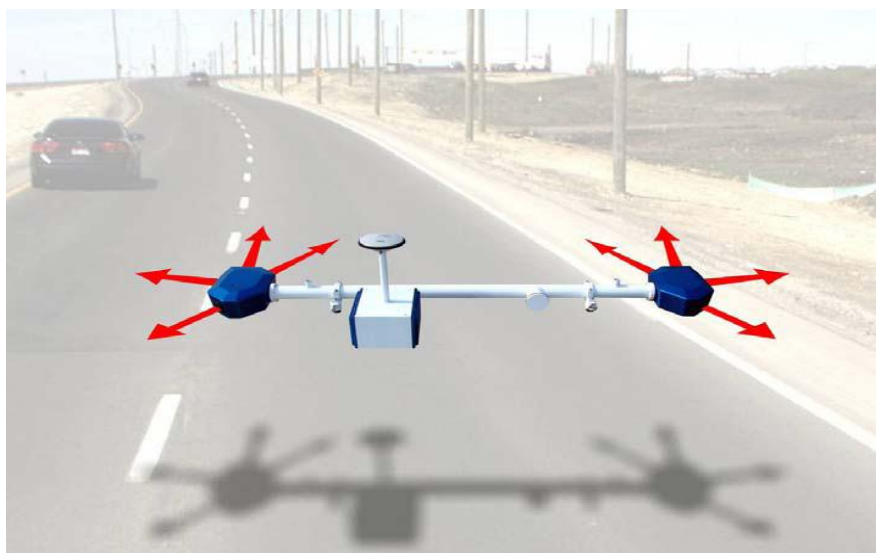


Εικόνα 50 : Κινηματικός Σχετικός Εντοπισμός σε Πτήση Λήψης Αεροφωτογραφιών

(Πηγές: “Προγραμματισμός Πτήσης”, Α. Γεωργόπουλος (2010) και Polyline A.E. (2010), <http://www.polyline.gr>)

### 3.6.3. Κινηματική Χαρτογράφηση

Μια ενδιαφέρουσα εφαρμογή με αυτοκίνητα σε αστικό αλλά και αγροτικό περιβάλλον που αναμένεται να βοηθηθεί από τη βελτίωση των συστημάτων GNSS αποτελεί η περίπτωση της Κινηματικής Χαρτογράφησης (Mobile Mapping Systems MMS). Με τα συστήματα της κινηματικής χαρτογράφησης παράγονται τρισδιάστατα γεω-αναφερόμενα δεδομένα που απεικονίζουν με αντικειμενικότητα και ακρίβεια το οδικό δίκτυο και το περιβάλλον του (εξοπλισμός, σηματοδότηση, όψεις κτιρίων, κλπ). Η μέθοδος παρουσιάζει σαφή πλεονεκτήματα ως προς τον χρόνο και το κόστος για κάθε είδους αποτυπώσεις εντός αστικού χώρου. Με την εξέλιξη των συστημάτων GNSS και των τεχνολογιών βιντεοσκόπησης τα δυσκίνητα συστήματα που βασίζονταν στις φωτογραφίες καταγραφής αντικαταστάθηκαν από συστήματα βιντεοσκόπησης συνδεδεμένα με GPS. Ως συνέπεια, με την πρόοδο που πραγματοποιείται στις δορυφορικές (αλλά και τις αδρανειακές τεχνικές) γεωαναφοράς και τη ευρύτερη διαθεσιμότητα των ψηφιακών αισθητήρων απεικόνισης, ένα σημαντικό ποσοστό των GIS δεδομένων, μπορεί εν δυνάμει να αποκτηθεί από κινούμενα οχήματα.



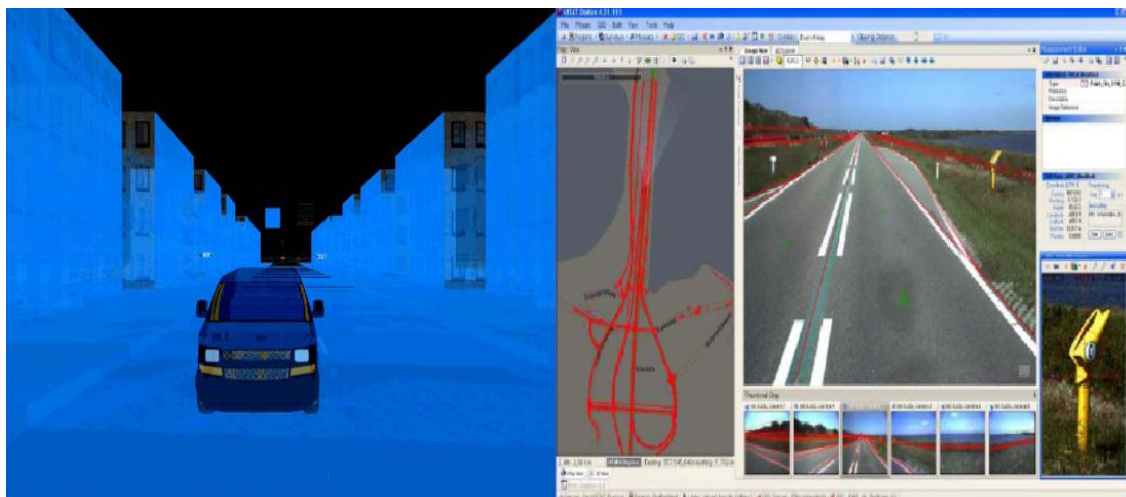
Εικόνα 51 : Διάταξη 8 Καμερών για 360° Αποτύπωση

(Πηγή: “Τρισδιάστατα Γεω-αναφερόμενα Δεδομένα Υψηλής Ακρίβειας με Σύστημα Κινηματικής Χαρτογράφησης”, Δ. Αύφαντοπούλου, Ν. Ζύγρας, 2010)

Το σύστημα συλλογής δεδομένων αποτελείται από μία πλατφόρμα στην οποία ενσωματώνεται 8 ψηφιακές έγχρωμες κάμερες πανοραμικής λήψης, και δύο σταθμοί GPS (Εικόνα 51). Το κύριο πλεονέκτημα της συλλογής δεδομένων με αυτές τις κινηματικές τεχνικές είναι ότι η αποτύπωση μπορεί να εκτελεστεί πολύ γρηγορότερα και επομένως πιο οικονομικά. Με την λειτουργία του Galileo, η αύξηση του αριθμού των δορυφόρων του συστήματος δορυφορικού εντοπισμού και ο πληρέστερος γεωμετρικός σχηματισμός τους, αλλά και η αναμενόμενη μέχρι τότε περαιτέρω ανάπτυξη και τεχνολογική βελτίωση μιας ιδιαίτερης κατηγορίας αδρανειακών

συστημάτων, τα αποκαλούμενα προσκολλημένα αδρανειακά συστήματα (*strapdown inertial systems*) προβλέπεται να εισάγουν ένα ακόμα πιο εκτεταμένο πεδίο κινηματικών γεωδαιτικών εφαρμογών με χαμηλό κόστος και υψηλές ακρίβειες απόδοσης.

Στην παρακάτω εικόνα 52 παρατίθενται τα αποτελέσματα της κινηματικής χαρτογράφησης (τελική τρισδιάστατη απεικόνιση) και η φάση επεξεργασίας των δεδομένων .



Εικόνα 52 : Επεξεργασία και Τρισδιάστατο Αποτέλεσμα Κινηματικής Χαρτογράφησης

(Πηγή: “Τρισδιάστατα Γεω-αναφερόμενα Δεδομένα Υψηλής Ακρίβειας με Σύστημα Κινηματικής Χαρτογράφησης”, Δ. Αύφαντοπούλου, Ν. Ζύγρας, 2010)

Στη δεξιά εικόνα απεικονίζεται η τρισδιάστατη αποτύπωση κτηματολογικών πληροφοριών στην υπό κτηματογράφηση περιοχή μελέτης. Το μπλε χρώμα υποδεικνύει το τμήμα της περιοχής που αποτυπώνεται κατά την φορά κίνησης του οχήματος. Διαβαθμίσεις του μπλε υποδεικνύουν τη συχνότητα που ένα σημείο στον χώρο αποτυπώνεται από τις πολλαπλές κάμερες του οχήματος και τις διαδοχικές λήψεις

Κατά την καταγραφή λαμβάνονται εικόνες από 8 κάμερες σε απόσταση μεταξύ τους ανάλογη με το σχεδιασμό καταγραφής. Κάθε σημείο που χαρτογραφείται στο χώρο μπορεί να αποδοθεί από 20 στερεοζεύγη (ακρίβεια καλύτερη από 10cm). Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε χαρτογραφήσεις οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου, σε καταγραφές έργων κοινής ωφέλειας (γραμμές μεταφοράς ισχύος, τηλεφωνικές γραμμές κ.α.) και σε αποτυπώσεις για κτηματολόγιο. (Δ. Αύφαντοπούλου, Ν. Ζύγρας, 2010)

### 3.6.4. Αυτοκίνητη Τριγωνομετρική Υψομετρία

Η μέθοδος της Αυτοκίνητης Τριγωνομετρικής Υψομετρίας (Motorized Leveling), είναι μία μέθοδος προσδιορισμού υψομετρικών διαφορών στην οποία χρησιμοποιούνται όργανα ολοκληρωμένων σταθμών (Total Stations) αντί για τους συμβατικούς χωροβάτες. Εφαρμόστηκε πειραματικά τη δεκαετία του 1980, κυρίως από τους χαρτογραφικούς οργανισμούς του Καναδά, των ΗΠΑ και των Σκανδιναβικών χωρών, σε μια προσπάθεια αναζήτησης μιας αποδοτικής τεχνικής που θα μπορούσε να αντικαταστήσει τις συμβατικές εργασίες πεδίου για την εκτέλεση γεωδαιτικών χωροσταθμίσεων, οι οποίες είναι χρονοβόρες και υψηλού κόστους.

Στην πρωτογενή εκδοχή της, για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτούνται τρία πανομοιότυπα ειδικά σχεδιασμένα ημιφορτηγά οχήματα με τον ίδιο εξοπλισμό: ένα total station, ένα ειδικό τρίποδα, φορητό Η/Υ, σταδία με προσαρμοσμένους 4 στόχους σε διαφορετικά ύψη. Για τη στελέχωση του συνεργείου απαιτούνται 3 Τοπογράφοι Μηχανικοί (ένας σε κάθε όχημα).



Εικόνα 53 : Το σύστημα A.T.Y. της Καναδικής Χαρτογραφικής Υπηρεσίας

(Πηγή: [geod.nrcan.gc.ca](http://geod.nrcan.gc.ca))

Σύμφωνα με τη μέχρι σήμερα εμπειρία από την εφαρμογή της A.T.Y., η ανά ημέρα πρόοδος ενός εξειδικευμένου συνεργείου καλύπτει ένα μήκος χωροσταθμικής όδευσης της τάξης των 12 km (περίπου 2km/h) για 6 ώρες εργασία πεδίου. Ο μέσος χρόνος που απαιτείται για μια πλήρη μέτρηση, συμπεριλαμβανομένου και του χρόνου μετακίνησης, είναι 5min με μήκη σκόπευσης που κυμαίνονται από 150 έως 200m. Το μέσο κόστος για 1km χωροστάθμισης είναι μικρότερο του κόστους της κλασικής γεωμετρική χωροστάθμισης.



Εικόνα 54 : Το σύστημα Α.Τ.Υ. της Εθνικής Γεωδαιτικής Υπηρεσίας των ΗΠΑ

(Πηγή: <http://www.photolib.noaa.gov/htmls/geod1147.htm>)

Η μέθοδος αυτή έχει εφαρμοστεί εκτεταμένα σε Σουηδία, ΗΠΑ, Ολλανδία και άλλες χώρες, επιτυγχάνοντας ακρίβειες της τάξης των μερικών mm/km, εφόσον ο προσδιορισμός των υψομετρικών διαφορών γίνεται σε μετάβαση και επιστροφή με total stations ακριβείας. Επομένως η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ίδρυση και πύκνωση κρατικών χωροσταθμικών δικτύων, με κύρια οφέλη την ολοκλήρωση των εργασιών πεδίου σε σημαντικά μικρότερο χρονικό διάστημα καθώς και την πλήρη αυτοματοποίηση μετρήσεων και υπολογισμών (Δ. Μπαλοδήμος, Ο. Αραμπατζή, 2004).

Σήμερα, στη μοντέρνα εκδοχή της η συγκεκριμένη τεχνική χρησιμοποιείται σε τετράτροχες μοτοσυκλέτες με χονδρές ρόδες που μπορούν να κινηθούν και σε ανώμαλα εδάφη και σε συνδυασμό με διεργασίες GPS/GNSS κινηματικού εντοπισμού για την παροχή υψηλής ακρίβειας χωροσταθμίσεων της τάξης των 2-5 cm (Hartzheim και Darin, 2003).



Εικόνα 55 : Μοντέρνα Εκδοχή Συστήματος Α.Τ.Υ. (*four-wheeled chariots*)

της Χαρτογραφικής Υπηρεσίας της πολιτείας Wisconsin, ΗΠΑ

(Πηγή: P. Hartzheim, Darin, “Leveling with Four-Wheeled Chariots”, 2003)

### 3.7. Το Πρόγραμμα GSSF

Από την έναρξη του προγράμματος Galileo έχουν αναπτυχθεί από την ESA διάφορα λογισμικά προσομοίωσης συστημάτων με σκοπό το σχεδιασμό του συστήματος σύμφωνα με τις προκαθορισμένες απαιτήσεις διαθεσιμότητας (availability), συνέχειας (continuity) και ακεραιότητας (integrity). Η ανάγκη χρήσης τέτοιων λογισμικών οφείλεται στο γεγονός ότι το σύστημα Galileo προς το παρόν δεν έχει τεθεί πλήρως σε λειτουργία, καθώς μόνο δύο από τους 30 δορυφόρους έχουν τεθεί σε τροχιά. Σκοπός λοιπόν των λογισμικών αυτών είναι η αξιολόγηση του Galileo και η σύγκρισή του με άλλα υπάρχοντα συστήματα GNSS μέσω εκτιμήσεων από προσομοιωμένα δεδομένα. Αυτά είναι κυρίως τα εξής εργαλεία: 1) το λογισμικό Galileo Mission Analysis Simulator (GMAS), που αφορά στο σχεδιασμό του Τμήματος Διαστήματος, 2) το Galileo Service Volume Simulator (GSVS), που αναλύει το σύνολο των απαιτήσεων απόδοσης βάσει αναλύσεων κάλυψης για διαφορετικά επίπεδα υπηρεσιών, 3) το Galileo Signal Validation Facility (GSVF), που αξιολογεί τη δομή των δορυφορικών σημάτων και μηνυμάτων, και, τέλος, 4) το Galileo System Simulation Facility (GSSF), που αξιολογεί τη χρήση του συστήματος για μια μεγάλη ποικιλία χρηστών κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Και τα τέσσερα λογισμικά πακέτα διατίθενται από την ESA με παροχή αδείας. Στο ερευνητικό μέρος της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα GSSF.

Το λογισμικό Galileo System Simulation Facility (GSSF) ξεκίνησε ως περιβάλλον προσομοίωσης από την ESA που αναπαράγει τη λειτουργική συμπεριφορά απόδοσης του δορυφορικού συστήματος Galileo. Έχει ενσωματωμένη ευελιξία για να υποστηρίξει τις ανάγκες προσομοίωσης συστημάτων κατά τη διάρκεια του ολόκληρου κύκλου της ζωής προγράμματος Galileo. Το λογισμικό αυτό πακέτο είναι διαθέσιμο στους ενδιαφερόμενους χρήστες με παροχή αδείας από την ESA και η επίσημη ιστοσελίδα του είναι η <http://www.gssf.eu/default.htm>.



Εικόνα 56 : Galileo Simulation Facility, GSSF

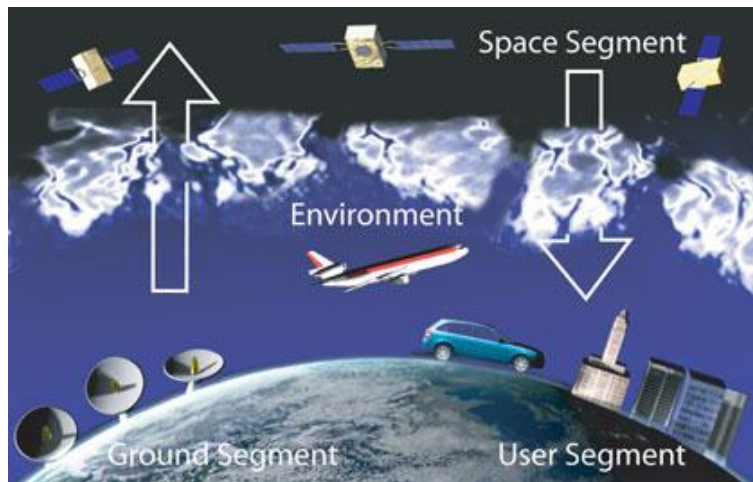
(Πηγή: <http://www.gssf.info>)



Το GSSF παρέχει στον χρήστη τη δυνατότητα να δημιουργήσει μοντέλα που να προσομοιώνουν τη λειτουργικότητα του Galileo και άλλων συστημάτων GNSS, η οποία εκφράζεται μέσω της ακρίβειας στον εντοπισμό θέσης, της ακεραιότητας των δεδομένων, της επίδρασης του περιβάλλοντος στην πλοήγηση και της λειτουργίας του τμήματος ελέγχου. Διαθέτει μοντέλα που εξομοιώνουν τα επιμέρους τμήματα τόσο του συστήματος Galileo όσο και άλλων συστημάτων (GPS και EGNOS) τα οποία είναι το τμήμα διαστήματος, το τμήμα χρηστών, το τμήμα ελέγχου και οι συνθήκες του περιβάλλοντος των μετρήσεων:

- Δορυφορικό Τμήμα (Space Segment): σχετικά μοντέλα βασισμένα σε Κεπλέρια τροχιακά στοιχεία προσομοιώνουν τον δορυφορικό σχηματισμό του κάθε συστήματος.
- Τμήμα Χρηστών (User Segment): προκειμένου να αναλυθεί η απόδοση του εντοπισμού θέσης και της ακεραιότητας σε επίπεδο χρήστη, το GSSF μοντελοποιεί τον δέκτη του χρήστη και τους εσωτερικούς αλγόριθμους, που υπολογίζουν τους ποιοτικούς δείκτες του εντοπισμού. Οι δέκτες μπορεί θεωρηθούν ότι είναι σε σταθερά σημεία (π.χ. σε πλέγμα σημείων) ή κινούμενοι σε πορείες που προκαθορίζονται από τον χρήστη του λογισμικού ως μέρος της ανάλυσης.
- Τμήμα Ελέγχου (Ground Segment): παρέχονται μοντέλα που υποστηρίζουν αναλύσεις σχετικές με τη θέση των σταθμών και τον καθορισμό των δορυφόρων.
- Περιβάλλον (Environment): οι διαταρακτικές παράμετροι προστίθενται στο σενάριο ώστε να προσομοιωθεί η επίδραση της ατμόσφαιρας, της πολυανάκλασης (multipath) και του θορύβου του δέκτη στην διαδικασία του εντοπισμού θέσης του χρήστη.

Το λογισμικό προσφέρει επίσης, ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον προσομοίωσης, το οποίο χρησιμοποιεί εναλλακτικά μοντέλα ανάλογα με τα σενάρια λειτουργίας και τον τύπο ανάλυσης που ο τελικός χρήστης επιθυμεί να εκτελέσει.



Εικόνα 57 : Τα Τμήματα του Δορυφορικού Συστήματος

(Πηγή: <http://www.gssf.info/GSSF%20subpage%20GSSF%20models.htm>)

Όπως διακρίνεται στην παραπάνω εικόνα, τα επιμέρους τμήματα ενός δορυφορικού συστήματος σχετίζονται άμεσα μεταξύ τους. Το δορυφορικό τμήμα είναι εκείνο που αποτελείται από τους δορυφόρους που βρίσκονται σε καθορισμένες τροχιές και εκπέμπουν τα σήματα ραδιοπλοήγησης προς τους δέκτες του τμήματος χρηστών. Ανάμεσα στα δύο τμήματα παρεμβάλλεται το περιβάλλον, που περιέχει την τροπόσφαιρα, την ιονόσφαιρα κ.ά. Τα σήματα φτάνουν στους δέκτες με σφάλματα που προκύπτουν από την επίδραση όλων αυτών των παραμέτρων του περιβάλλοντος. Αυτά τα σφάλματα και οι παράμετροι εξετάζονται και ελέγχονται από το τμήμα ελέγχου και αποστέλλονται πάλι πίσω στους δορυφόρους σε μορφή εφημερίδων, ώστε τα εκπεμπόμενα σήματα να είναι διορθωμένα. Όλη αυτή τη διαδικασία μοντελοποιεί το πρόγραμμα GSSF, για το οποίο δίνονται συνοπτικές επεξηγήσεις χρήσης του (από την Αφεντουλίδου, 2008), ενώ πλήρεις οδηγίες και περιγραφή των μοντέλων δίνονται στα σχετικά εγχειρίδια χρήσης του προγράμματος. (GSSFP3.OM.003, GSSFP3.OM.002)

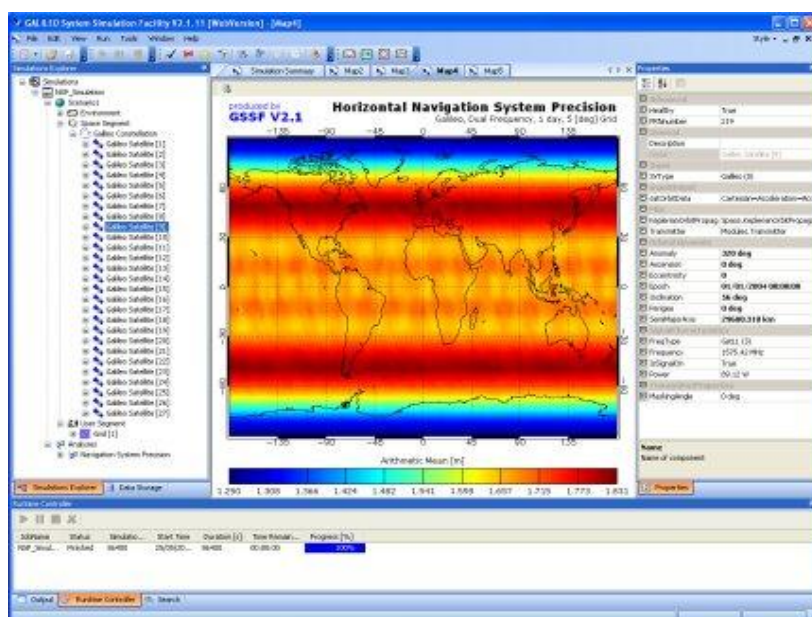
Συνοπτικά το πρόγραμμα λειτουργεί ξεκινώντας από το δορυφορικό τμήμα όπου γνωστοί αλγόριθμοι εκτελούν κατάλληλους μετασχηματισμούς στις κεπλέριες τροχιές για τον υπολογισμό των θέσεων των δορυφόρων και του δορυφορικού σχηματισμού (δορυφορικό τμήμα).

Σε δεύτερη φάση υπολογίζονται μοντέλα τροπόσφαιρας, ιονόσφαιρας, ορατότητας, πολυανάκλασης και σφαλμάτων από αλγόριθμους. Με αυτούς τους υπολογισμούς μπορεί μετέπειτα να προσδιοριστεί το τμήμα χρηστών.

Οι διαθέσιμοι αλγόριθμοι υπολογίζουν μετρήσεις απόστασης, γωνίες ανύψωσης, αζιμουθία και ορατότητες που χρησιμεύουν στον προσδιορισμό των ορατών από τον χρήστη δορυφόρων και τελικώς στον υπολογισμό της τελικής θέσης του δέκτη. Επιπλέον, το λογισμικό επιτρέπει την εύκολη τροποποίηση μιας ευρείας σειράς παραμέτρων της προσομοίωσης, επιτρέποντας την εύκολη και άμεση δοκιμή

εναλλακτικών σεναρίων που μπορεί και να μεταβάλλονται ανάλογα με τις ανάγκες των σεναρίων τόσο στο χώρο, όσο και στο χρόνο. Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατόν να εξεταστούν και να συγκριθούν οι αποδόσεις ενός εκάστου ή/και σε συνδυασμό μεταξύ τους των συστημάτων GNSS σε διαφορετικές χρονικές περιόδους ενδιαφέροντος (π.χ. GPS και το EGNOS του σήμερα, το GPS της 3<sup>ης</sup> γενιάς, το Galileo της επιχειρησιακής φάσης του, κλπ).

Εν ολίγοις δηλαδή ο χρήστης διαμορφώνει τα σενάρια που επιθυμεί να και εισάγει τα απαραίτητα δεδομένα. Αυτά τα στοιχεία αποτελούν τα δεδομένα εισόδου, που είναι οι προσομοιωμένες μετρήσεις οι οποίες εξέρχονται μέσω διαγραμμάτων και απεικονίσεων. Το πρόγραμμα δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας γραφικών απεικονίσεων των αποτελεσμάτων των αναλύσεων που πραγματοποιεί. Για κάθε ανάλυση εξάγονται αυτόματα οι κατάλληλες κάθε φορά απεικονίσεις.



Εικόνα 58 : Περιβάλλον Εργασίας GSSF

(Πηγή: <http://www.gssf.info/GSSF%20subpage%20GSSF%20models.htm>)

Στις δυνατότητες ανάλυσης και απεικόνισης που υποστηρίζονται από το πρόγραμμα είναι οι εξής:

- Ανάλυση Ορατότητας (Visibility Analysis): Υπολογίζει την ορατότητα ανάμεσα στους δορυφόρους και στους διάφορους χρήστες ή επίγειους σταθμούς. Δίνει τον μέγιστο, ελάχιστο και μέσο αριθμό των ορατών δορυφόρων για κάθε χρονικό βήμα καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης.

- Ανάλυση Εκτεταμένης Ορατότητας (Extended Visibility Analysis):

Υπολογίζει τον αριθμό των ορατών δορυφόρων για κάθε εποχή της προσομοίωσης. Το κατώτατο όριο του αριθμού των δορυφόρων μπορεί να οριστεί από τον χρήστη.

- Ανάλυση Κάλυψης (Depth of Coverage Analysis): Υπολογίζει τον αριθμό των επίγειων σταθμών που είναι ορατοί από κάθε δορυφόρο για κάθε χρονικό βήμα της προσομοίωσης. Τα στοιχεία αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή ενός παγκοσμίου κλίμακας χάρτη κάλυψης (Depth of Coverage (DOC) map).
- Ανάλυση Αντίστροφης Κάλυψης (Inverse Coverage Analysis): Υπολογίζει τον αριθμό των δορυφόρων που έχουν κατ' ελάχιστο έναν συγκεκριμένο αριθμό επίγειων σταθμών σε ορατότητα για κάθε εποχή της προσομοίωσης. Το κατώτατο όριο του αριθμού των επίγειων σταθμών μπορεί να οριστεί από τον χρήστη.
- Ανάλυση Γεωμετρίας (Geometry Analysis): Υπολογίζει τα στοιχεία γεωμετρίας (γωνία ανύψωσης, αζιμούθιο, απόσταση) για κάθε δέκτη, όπως επίσης και τους ορατούς δορυφόρους αντίστοιχα, για κάθε εποχή της προσομοίωσης.
- Ανάλυση Εσωτερικής Ακρίβειας (Dilution of Precision Analysis): Υπολογίζει τους συντελεστές της γεωμετρίας των ορατών δορυφόρων (DOP) για κάθε χρήστη ή επίγειο σταθμό για κάθε χρονικό βήμα καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Δίνει τη μέγιστη, ελάχιστη και μέση τιμή DOP καθώς και τα στιγμιαία δεδομένα για κάθε εποχή. Η ανάλυση υπολογίζει όλα τα μέτρα DOP: Time DOP (TDOP), Positional DOP (PDOP), Geometric DOP (GDOP), Horizontal DOP (HDOP), και Vertical DOP (VDOP).
- Ανάλυση Ακρίβειας Συστήματος Πλοήγησης (Navigation System Precision Analysis): Υπολογίζει το μέτρο NSP, δηλαδή τη διασπορά της εκτιμώμενης θέσης του δέκτη από την μέση θέση, για κάθε τύπο χρήστη ή επίγειο σταθμό και για όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης. Δίνει τη μέγιστη, ελάχιστη και μέση τιμή NSP καθώς και τα στιγμιαία δεδομένα για κάθε εποχή. Η ανάλυση υπολογίζει όλα τα μέτρα NSP: Overall NSP (ONSP), Time NSP (TNSP), Horizontal NSP (HNSP), and Vertical NSP (VNSP).
- Ανάλυση Ακρίβειας Ακεραιότητας Συστήματος (Signal-In-Space Monitoring Accuracy Analysis): Υπολογίζει την ακρίβεια της ακεραιότητας του συστήματος (accuracy of the integrity monitoring system), η οποία εκφράζεται από το μέτρο SISMA, για κάθε δορυφόρο για κάθε χρονικό βήμα της προσομοίωσης. Τα στοιχεία αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή ενός παγκοσμίου κλίμακας χάρτη SISMA.
- Ανάλυση Ακεραιότητας (Integrity Analysis): Υπολογίζει διεξοδικά το μέτρο της ακεραιότητας, την παράμετρο, δηλαδή, που εξασφαλίζει την ποιότητα και ασφάλεια του συστήματος ως προς τις παρεχόμενες στους χρήστες υπηρεσίες. Προσφέρει τη δυνατότητα επιλογής από μια λίστα εξισώσεων ακεραιότητας με τις αντίστοιχες παραμέτρους τους. Μεταξύ αυτών υπάρχουν εξισώσεις σχετικές με το Probability of Hazardous Misleading Information (PHMI) επίσης αποκαλούμενου Integrity Risk, το SBAS (Space-Based Augmentation Systems), όπως επίσης και με την ακεραιότητα του Galileo. Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα καθορισμού εξισώσεων από τον ίδιο τον χρήστη.

Εν ολίγοις, το GSSF αποτελεί ένα πλούσιο λειτουργικό πακέτο που επιτρέπει στον χρήστη:

- Να δημιουργήσει και να διαμορφώσει σενάρια προσομοίωσης.
- Να τρέξει μια προσομοίωση
- Να αναλύσει τα δεδομένα
- Να τα απεικονίσει και να τα οπτικοποιήσει σε ένα ιδιαίτερα εύχρηστο και φιλικό γραφικό περιβάλλον
- Να εισάγει και εξάγει δεδομένα
- Να αναπτύξει διαδικασίες μοντελοποίησης

### **3.8. Σενάρια**

Τα σενάρια που εκτελέστηκαν στην παρούσα εργασία επιχειρούν να διερευνήσουν και να τεκμηριώσουν ορισμένα από τα χαρακτηριστικά του συστήματος Galileo. Έχουν επίσης ως στόχο να εξετάσουν και να διερευνήσουν τη λειτουργικότητα διαφόρων δορυφορικών σχηματισμών που αποτελούν συνδυασμούς των συστημάτων GPS, Galileo και EGNOS. Μας ενδιαφέρει δηλαδή κατά πόσο ικανοποιούνται οι απαιτήσεις διαθεσιμότητας ακρίβειας και ακεραιότητας για ποικίλες εφαρμογές σε διαφορετικά περιβάλλοντα και διαφορετικές συνθήκες.

Τα σενάρια που δημιουργήθηκαν στο λογισμικό προσομοιώνουν πραγματικές κινηματικές πορείες εντοπισμού θέσης για να αναλύσουν ποιοτικά χαρακτηριστικά των συστημάτων σε διαφορετικά περιβάλλοντα με διαφορετικά κινηματικά μέσα (πλοία, αεροπλάνα κτλ.). Ο λόγος είναι ότι για διαφορετικά κινηματικά μέσα ισχύουν και διαφορετικές συνθήκες και περιβάλλοντα μετρήσεων.

#### **3.8.1. Σενάριο 1<sup>ο</sup> : Στατικός Δέκτης**

Σε αυτό το εισαγωγικό σενάριο εξετάστηκαν ο αριθμός των ορατών δορυφόρων και οι δείκτες DOP με διάφορους συνδυασμούς δορυφορικών σχηματισμών από τα συστήματα GPS, Galileo, και EGNOS σε γεωγραφικά πλέγματα στις περιοχές της Ευρώπης, Μεσογείου και Ελλάδας. Αυτό που μας ενδιέφερε σε αυτό το σενάριο είναι αρχικά να έχουμε μια πρώτη εικόνα των συστημάτων και να δούμε κατά πόσο επηρεάζονται οι παράμετροι που εξετάζονται συναρτήσει του γεωγραφικού πλάτους.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι οι οχτώ δορυφορικοί σχηματισμοί ενδιαφέροντος (που είναι συνδυασμοί δορυφορικών συστημάτων) δεν υπάρχουν σαν προκαθορισμένες επιλογές (default) από το πρόγραμμα. Για αυτό τον λόγο δημιουργήθηκαν ως σχηματισμοί καθορισμένοι από τον χρήστη (user defined constellation) χρησιμοποιώντας τα κεπλέρια στοιχεία του κάθε δορυφόρου (Παράρτημα Δ). Στο δορυφορικό σχηματισμό προστέθηκαν 27 δορυφόροι Galileo, 3 EGNOS και 31 GPS για την τωρινή εποχή (2011).

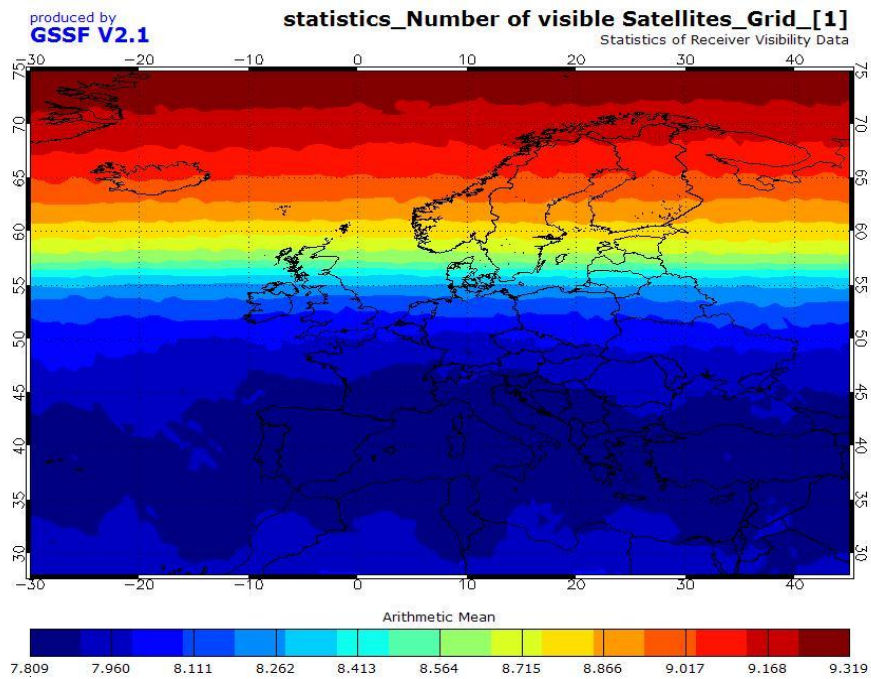
Στο παρακάτω πίνακα συγκεντρώνονται οι πληροφορίες που αφορούν το πρώτο σε σειρά σενάριο. Ως τύπος χρήστη επιλέχθηκε να είναι ένα σύνολο δεκτών σε διατεταγμένων σε ένα γεωγραφικό πλέγμα (User Grid), το οποίο εφαρμόζεται αντίστοιχα στις περιοχές της Ευρώπης, Μεσογείου και της Ελλάδας.

A/A Σενάριο	Τύπος Χρήστη	Περιοχή	Δορυφορικοί Σχηματισμοί	Παράμετροι	Στόχος Σεναρίου
1	Γεωγραφικό Πλέγμα	Ευρώπη Μεσόγειος Ελλάδα	GPS	Ορατότητα DOP	Σύγκριση Συστημάτων & Λειτουργικότητα
			GPS + EGNOS		
			GPS + GIOVE		
			GPS + EGNOS + GIOVE		
			GPS + GALILEO		
			GALILEO		
			GALILEO + EGNOS		
			GPS + GALILEO + EGNOS		

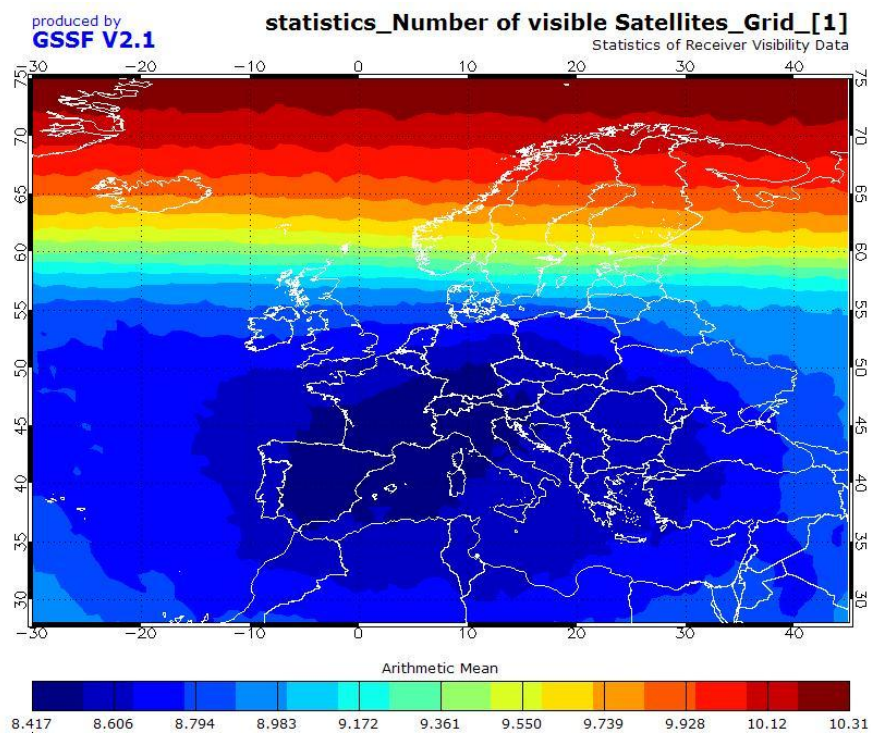
Πίνακας 18: Σενάριο 1<sup>ο</sup>

Για την επεξεργασία του σεναρίου επιλέχθηκε διάρκεια μιας ημέρας, της 28/04/10 προς 29/04/10 με χρονικό βήμα 300 δευτερόλεπτα με βήμα του πλέγματος καθορισμένο σε μία μοίρα και χωρίς περιορισμό στη γωνία ύψους των δορυφόρων. Εξήχθησαν αποτελέσματα σχετικά με τον αριθμό των ορατών δορυφόρων (visibility) και των τιμών DOP (GDOP, PDOP, TDOP, HDOP, VDOP) (μέσος όρος, μέγιστη και ελάχιστη τιμή και τυπική απόκλιση των τιμών). Ενδεικτικά παρατίθενται κάποια από διαγράμματα τα οποία εξήχθησαν από το πρόγραμμα διότι λόγω του μεγάλου αριθμού τους δεν είναι δυνατόν να παρατεθούν όλα.

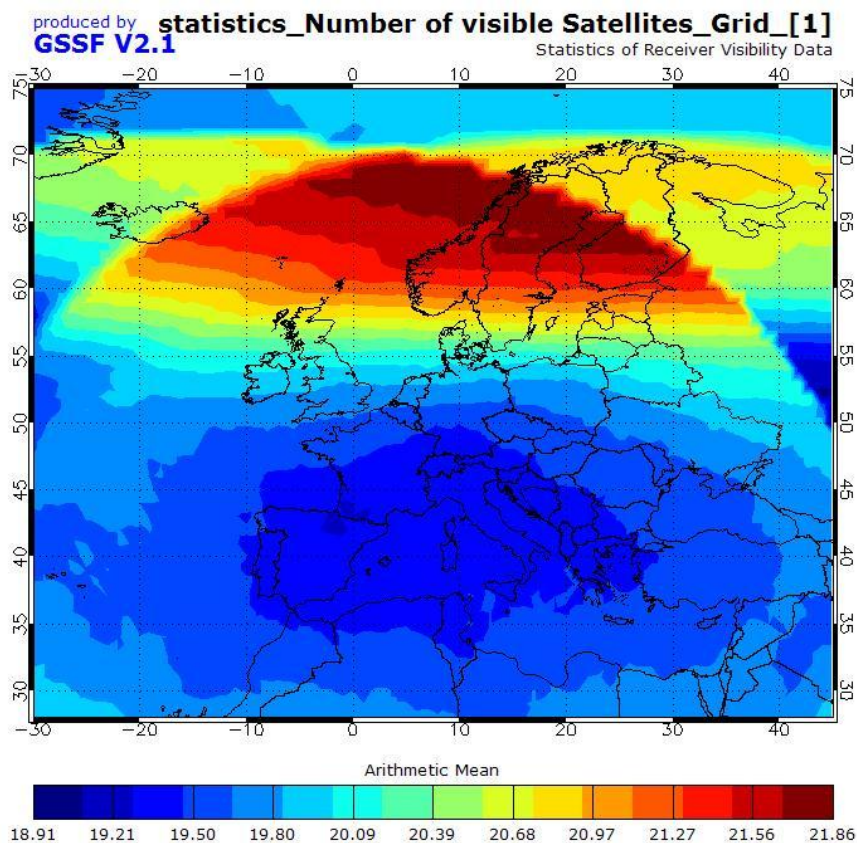
Στις τρεις πρώτες εικόνες (Εικόνες 59-61) βλέπουμε τον αριθμό των ορατών δορυφόρων με τα Galileo, GPS και το συνδυασμό GPS, Galileo και EGNOS. Παρατηρούμε ότι στις δύο πρώτες εικόνες έχουμε περίπου ίδιο αποτέλεσμα για τα συστήματα Galileo και GPS. Περισσότεροι ορατοί δορυφόροι στις βορειότερες περιοχές. Οι τιμές των ορατών δορυφόρων του GPS είναι κατά μία μονάδα μεγαλύτερες και η περιοχή με τους λιγότερους ορατούς δορυφόρους εκτείνεται στις περιοχές της Ισπανίας, κεντρικής Γαλλίας, Ελβετίας και βόρειας Ιταλίας, ενώ με το σύστημα Galileo η περιοχή με τους λιγότερους ορατούς δορυφόρους εκτείνεται σε όλη τη Μεσόγειο από 30<sup>ο</sup> μέχρι 45<sup>ο</sup> γεωγραφικό πλάτος.



Εικόνα 59:Ορατοί δορυφόροι με Galileo



Εικόνα 60:Ορατοί Δορυφόροι με GPS

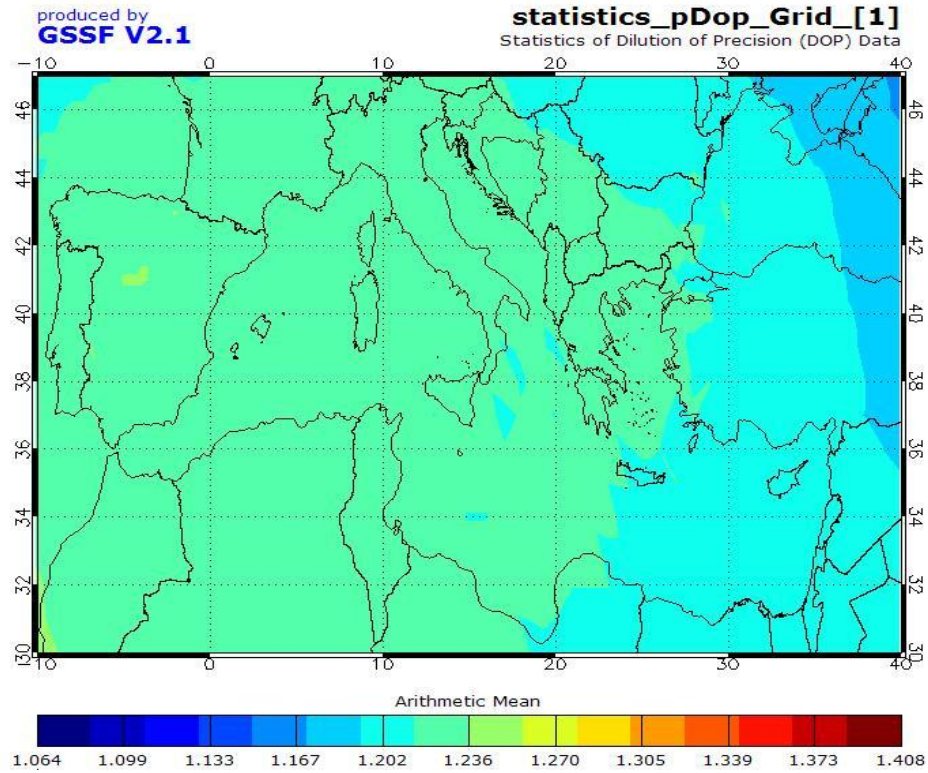


Εικόνα 61: Ορατοί Δορυφόροι με συνδυασμό GPS ,Galileo και EGNOS

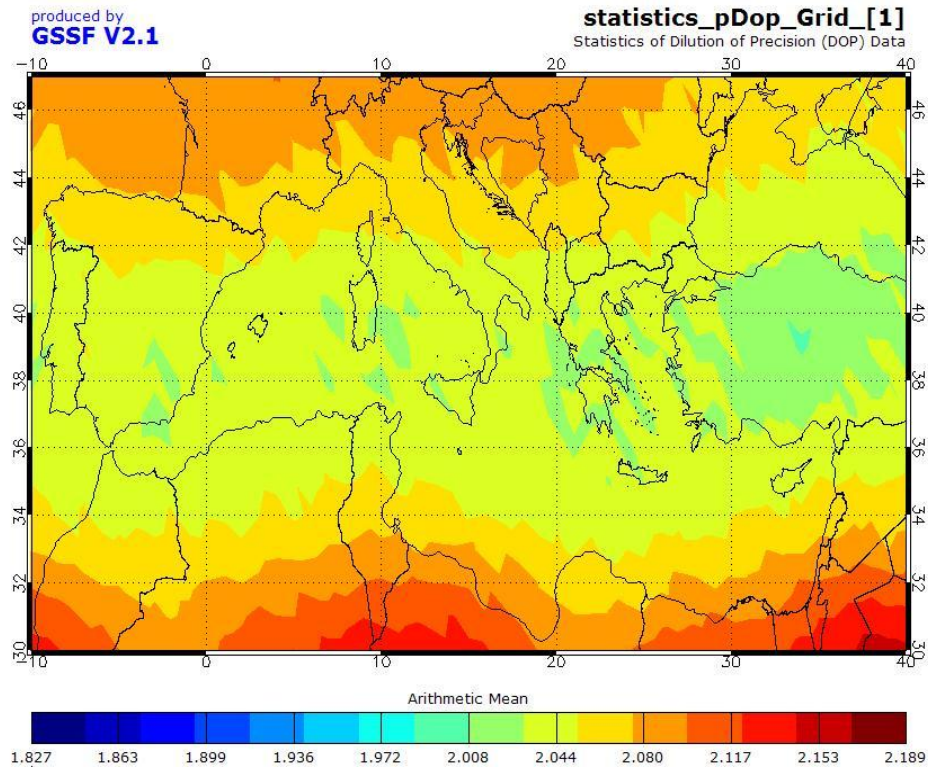
Στη εικόνα 61 με λύση από τον συνδυασμό GPS, Galileo και EGNOS παρατηρούμε τα ίχνη των δορυφόρων EGNOS και την κοινή περιοχή που καλύπτουν. Στη περιοχή της Μεσογείου και της κεντρικής Ευρώπης έχουμε περίπου 19 ορατούς δορυφόρους. Η περιοχή με τους περισσότερους ορατούς δορυφόρους είναι η περιοχή της νότιας Σκανδιναβίας με 21 δορυφόρους.

Στη συνέχεια ακολουθούν μερικές εικόνες για τις τιμές PDOP (Εικόνες 62-65) για την περιοχή της Μεσογείου και HDOP (Εικόνες 66, 67) για την περιοχή της Ελλάδας. Οι χαμηλότερες τιμές PDOP για τη περιοχή της Ελλάδας παρατηρούνται στους συνδυασμούς GPS & Galileo και GPS & Galileo & EGNOS με τιμές 1,28 και 1,21 αντίστοιχα. Στη περιοχή της Ελλάδας οι τιμές του HDOP κυμαίνονται από 1,059 έως 1,077 για το σύστημα GPS και 1,059 έως 1,093 για το σύστημα Galileo.

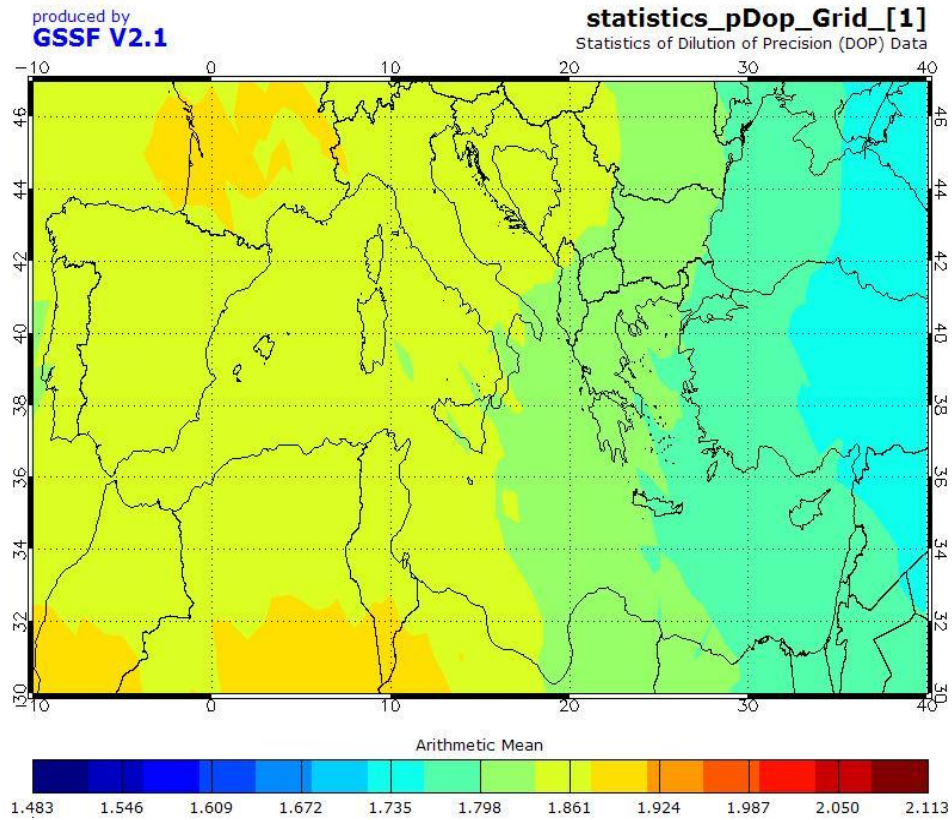




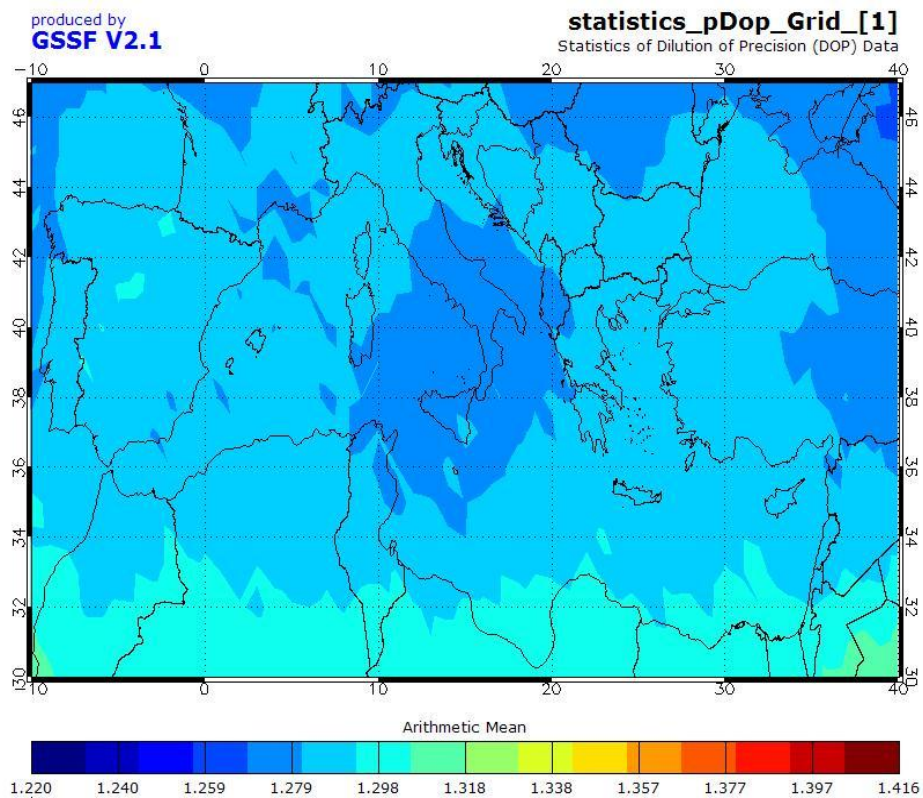
Εικόνα 62: Δείκτης PDOP στη Μεσόγειο με συνδυασμό GPS ,Galileo και EGNOS



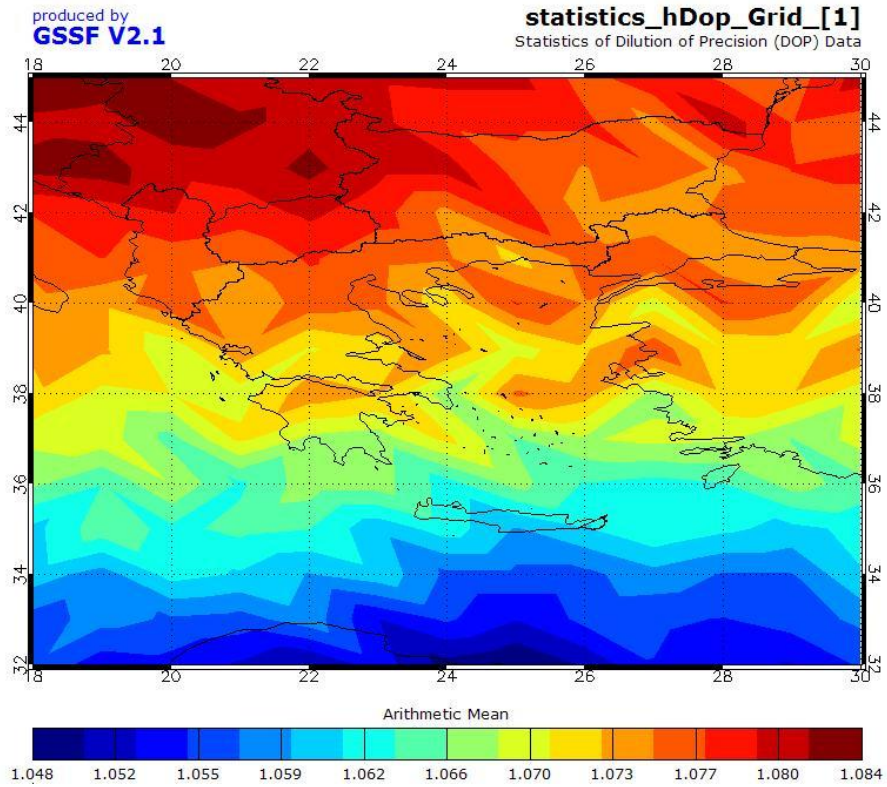
Εικόνα 63: Δείκτης PDOP στη Μεσόγειο με Galileo



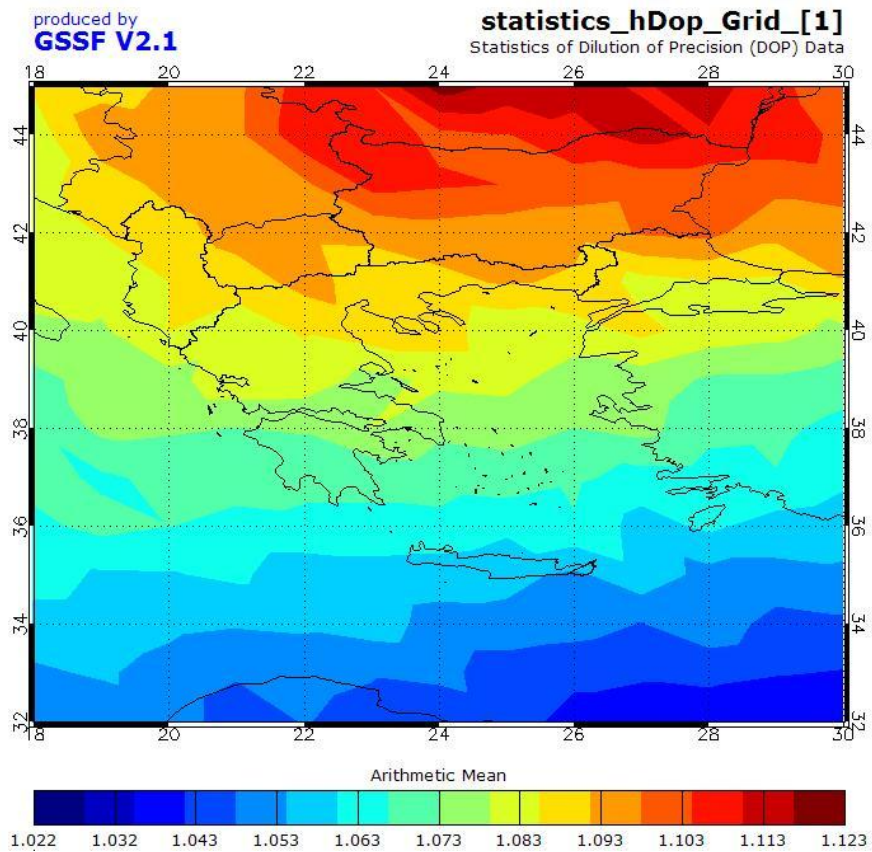
Εικόνα 64 : Δείκτης PDOP στη Μεσόγειο με συνδυασμό Galileo, EGNOS



Εικόνα 65 : Δείκτης PDOP στη Μεσόγειο με συνδυασμό GPS, Galileo



Εικόνα 66 : Δείκτης HDOP στην Ελλάδα με Galileo



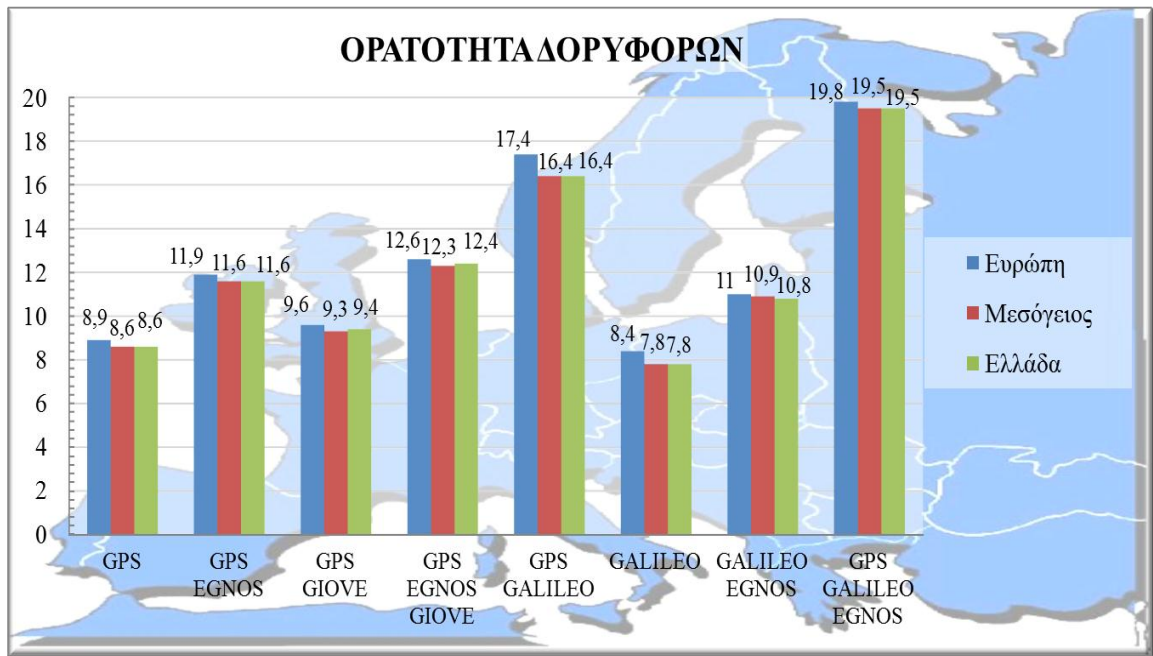
Εικόνα 67 : Δείκτης HDOP στην Ελλάδα με GPS

Επιπλέον έγινε επεξεργασία των αποτελεσμάτων από το πρόγραμμα σε λογιστικά φύλλα για περισσότερο συμπυκνωμένη και κατανοητή πληροφορία. Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν φαίνονται στους παρακάτω πίνακες (όπου αναγράφονται η μέση τιμή της παραμέτρου καθώς και εντός παρενθέσεων η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή που καταγράφηκε) και ιστογράμματα (για την ευκολότερη σύγκριση των αποτελεσμάτων).

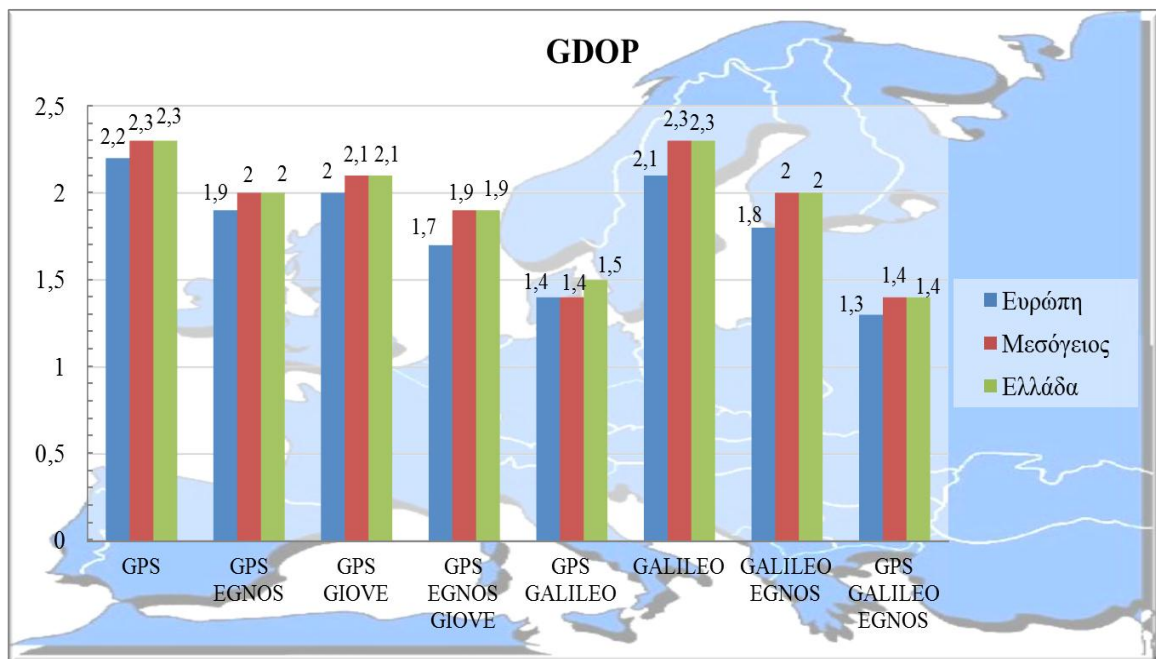
<b>Visibility</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Ευρώπη</b>	<b>Μεσόγειος</b>	<b>Ελλάδα</b>
	GPS	8.9 (6-12)	8.6 (6-12)	8.6 (6-12)
	GPS + EGNOS	11.9 (9-15)	11.6 (9-15)	11.6 (9-15)
	GPS + GIOVE	9.6 (6-13)	9.3 (6-13)	9.4 (6-13)
	GPS + EGNOS + GIOVE	12.6 (9,10-16)	12.3 (9-15)	12.4 (9-16)
	GPS + GALILEO	17.4 (13-22)	16.4 (13-20)	16.4 (13-20)
	GALILEO	8.4 (6-11)	7.8(6-11)	7.8(6-11)
	GALILEO + EGNOS	11.0 (9-13)	10.9 (9-14)	10.8(9-14)
	GPS + GALILEO + EGNOS	19.8 (16-24)	19.5(16-23)	19.5(16-23)
<b>GDOP</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Ευρώπη</b>	<b>Μεσόγειος</b>	<b>Ελλάδα</b>
	GPS	2.2 (1.4-5.8)	2.3 (1.5-4)	2.3 (1.5-4.5)
	GPS + EGNOS	1.9 (1.3-2.8)	2.0 (1.4-3.4)	2.0 (1.4-3.4)
	GPS + GIOVE	2.0 (1.4-3.9)	2.1 (1.4-4.0)	2.1 (1.4-4.5)
	GPS + EGNOS + GIOVE	1.7 (1.3-2.9)	1.9 (1.3-3.0)	1.9 (1.4-3.2)
	GPS + GALILEO	1.4 (1.0-2.1)	1.4 (1.1-2.2)	1.5 (1.1-2.0)
	GALILEO	2.1 (1.6-3.4)	2.3 (1.6-3.5)	2.3 (1.6-3.5)
	GALILEO + EGNOS	1.8 (1.4-3.0)	2.0 (1.5-3.1)	2.0 (1.5-3.1)
	GPS + GALILEO + EGNOS	1.3 (1.0-1.7)	1.4 (1.1-1.9)	1.4 (1.2-1.9)

Πίνακας 19 : Πινάκας Αποτελεσμάτων 1<sup>ου</sup> Σεναρίου

Από τις εικόνες, τον πίνακα και τα δύο ιστογράμματα (Εικόνα 68, 69) γίνεται φανερό ότι ο μέσος όρος των ορατών δορυφόρων είναι ελαφρώς υψηλότερος σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη. Στη περιοχή της Ευρώπης έχουμε περισσότερους ορατούς δορυφόρους ενώ παρατηρούμε περίπου ίδιες τιμές στις περιοχές της Μεσογείου και της Ελλάδας αφού εκτείνονται περίπου στα ίδια γεωγραφικά πλάτη. Παρόμοια είναι και τα αποτελέσματα για τους δείκτες γεωμετρίας DOP. Στην Ευρώπη οι τιμές είναι ελαφρώς χαμηλότερες για τη τιμή GDOP (περίπου 0,1 με 0,2 χαμηλότερες) πράγμα λογικό αφού με περισσότερους δορυφόρους συνήθως έχουμε καλύτερη διασπορά στον ουρανό άρα και καλύτερη γεωμετρία. Επίσης και στη περίπτωση των δεικτών γεωμετρίας παρατηρούνται οι ίδιες τιμές περίπου για Μεσόγειο και Ευρώπη. Όπως ήταν αναμενόμενο, ο συνδυασμός και των τριών συστημάτων δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα (περίπου 20 ορατούς δορυφόρους και τιμές GDOP 1,4).



Εικόνα 68 : Ορατοί δορυφόροι για Ευρώπη, Μεσόγειο και Ελλάδα



Εικόνα 69 : Δείκτης GDOP για Ευρώπη, Μεσόγειο και Ελλάδα

### 3.8.2. Σενάριο 2<sup>ο</sup> : Κινηματικές Πορείες Πλοίων

Στο επόμενο σενάριο μελετήθηκαν κινηματικές πορείες πλοίων. Έγινε η προσπάθεια της διαλογής πορειών σε πολλές περιοχές της Ελλάδας και όσο το δυνατόν προς κάθε κατεύθυνση με διαφορετικές διάρκειες πλεύσης. Η ημέρα που επιλέχθηκε ήταν και πάλι 28/04/10 ενώ δεν ορίστηκε περιορισμός στη γωνία ύψους αφού στις θαλάσσιες διαδρομές έχουμε συνήθως ανοιχτό ουρανό. Οι πίνακες UERE που χρησιμοποιήθηκαν ήταν για μετρήσεις μονής συχνότητας στη συχνότητα L1 (Παράρτημα Β).

A/A Σενάριο	Τύπος Χρήστη	Πορείες	Δορυφορικοί Σχηματισμοί	Παράμετροι	Στόχος Σεναρίου
2	Κινηματικός (πλοία)	Πειραιάς-Χίος Θεσ/νίκη-Μυτιλήνη Πειραιάς-Ηράκλειο Πειραιάς-Θήρα Αλεξ/πόλη-Σαμοθράκη	GPS	Ορατότητα DOP Ακεραιότητα NSP	Σύγκριση Συστημάτων & Λειτουργικότητα
			GPS + EGNOS		
			GPS + GIOVE		
			GPS + EGNOS + GIOVE		
			GPS + GALILEO		
			GALILEO		
			GALILEO + EGNOS		
			GPS + GALILEO + EGNOS		

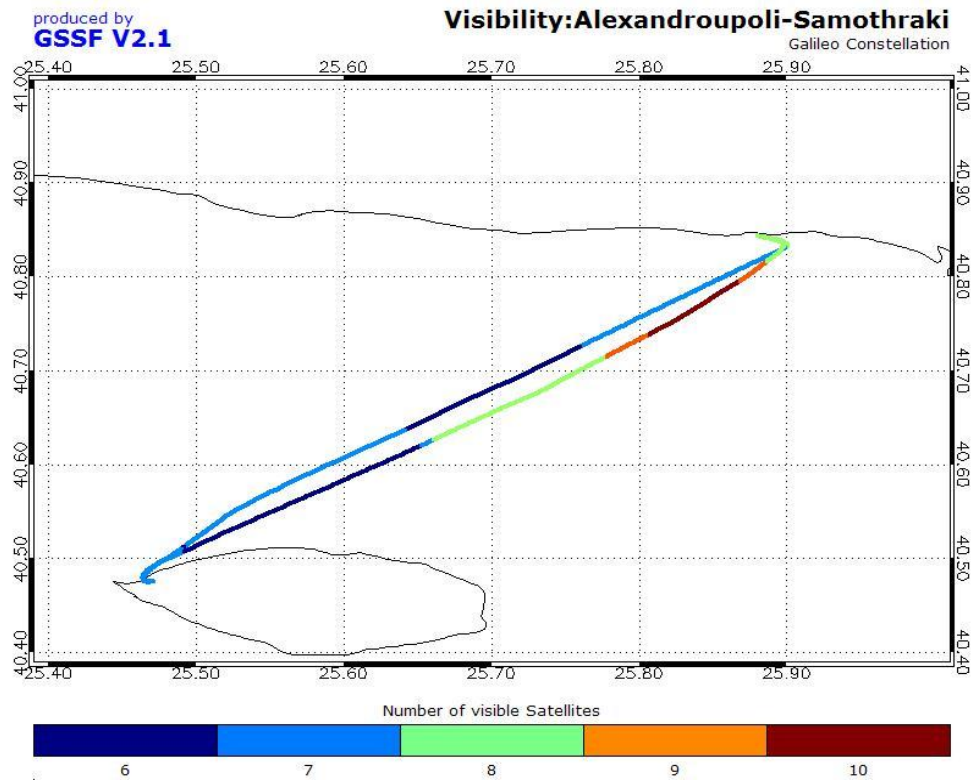
Πίνακας 20 : Σενάριο 2<sup>ο</sup>

Στον πίνακα 21 δίνονται οι πορείες που χρησιμοποιήθηκαν, με τη διάρκεια πλεύσης και το χρονικό βήμα της κάθε μίας αντίστοιχα:

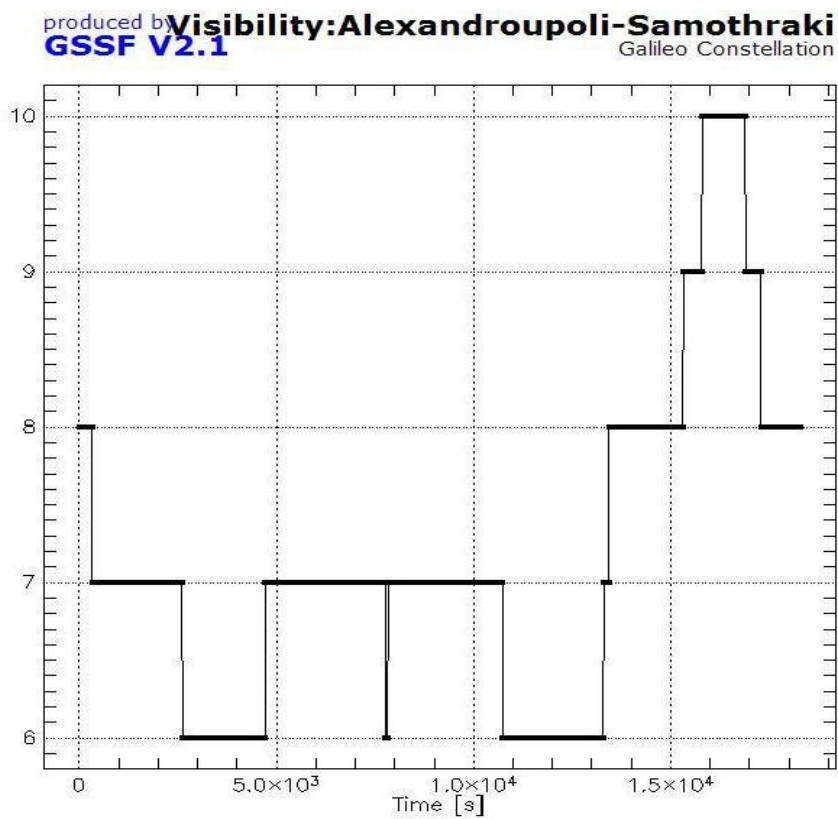
Πορεία	Διάρκεια	Χρονικό Βήμα
Πειραιάς-Χίος	5hr 45min 10 sec	10 sec
Θεσ/νίκη-Μυτιλήνη	15hr 15min 45sec	15sec
Πειραιάς-Ηράκλειο	8hr 33min	15sec
Πειραιάς-Θήρα	9hr 20 min 30 sec	15sec
Αλεξ/πόλη-Σαμοθράκη	5hr 4min 30sec	15sec

Πίνακας 21 : Πορείες Διαδρομών Πλοίων

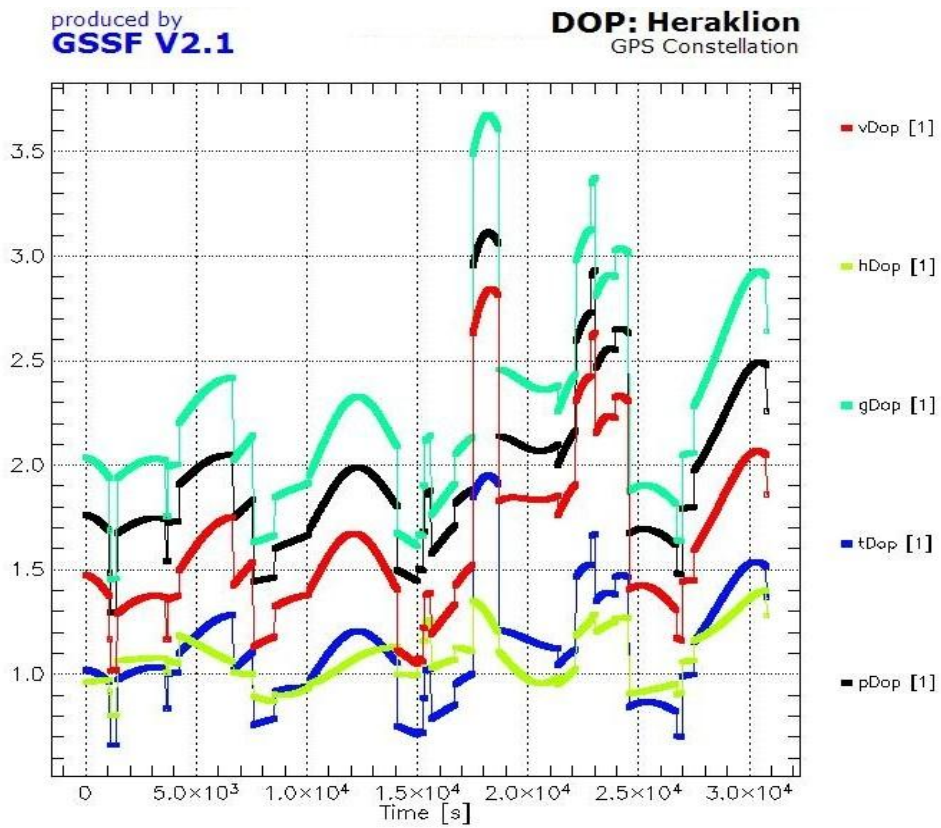
Παρακάτω δίνονται ενδεικτικά, γραφήματα που παράχθηκαν από το GSSF στις διαδρομές των πλοίων (δύο για την κάθε διαδρομή):



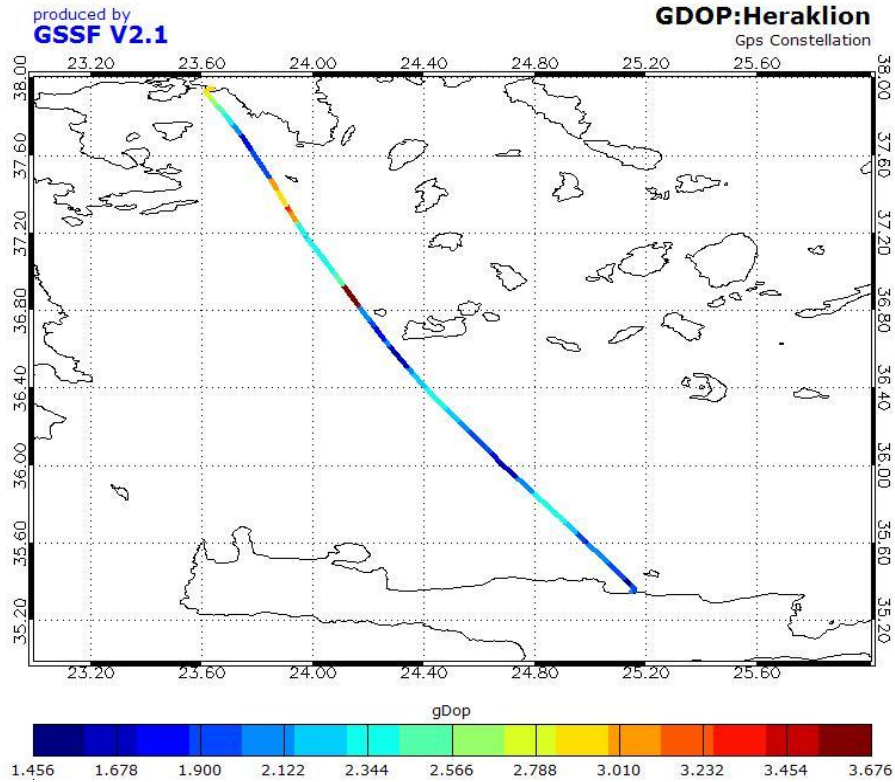
Εικόνα 70 : Χάρτης Ορατότητας Δορυφόρων Αλεξ/πολη-Σαμοθράκη για Galileo



Εικόνα 71 : Διάγραμμα Ορατότητας Δορυφόρων Αλεξ/πολη-Σαμοθράκη για Galileo



Εικόνα 72 : Διάγραμμα DOP στην Διαδρομή Πειραιάς-Ηράκλειο με GPS

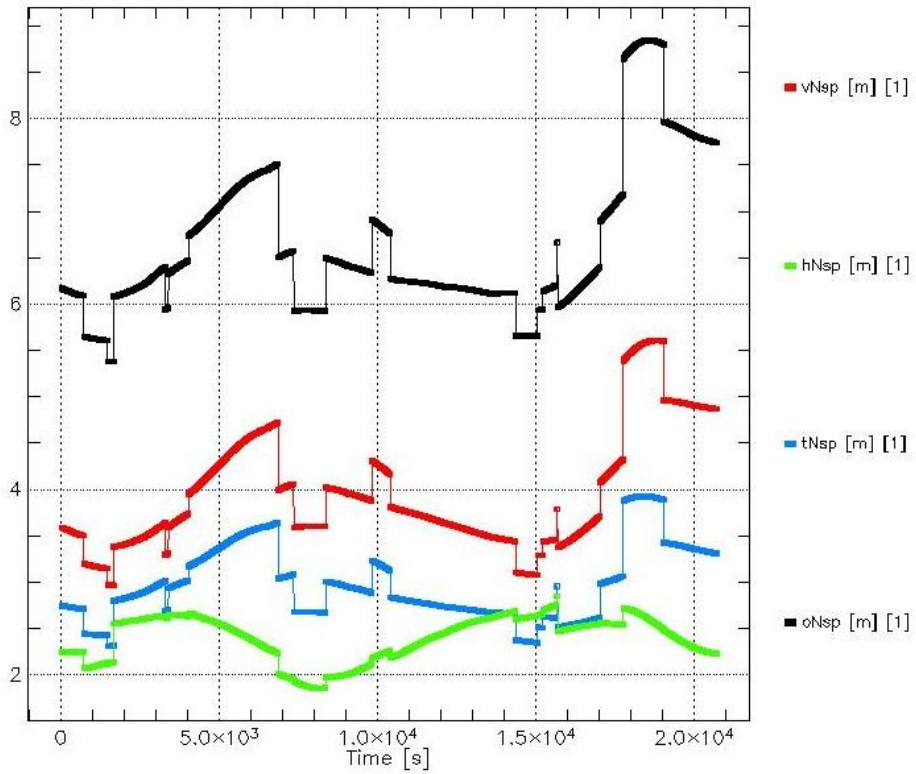


Εικόνα 73 : Χάρτης τιμών GDOP στην Διαδρομή Πειραιάς-Ηράκλειο με GPS

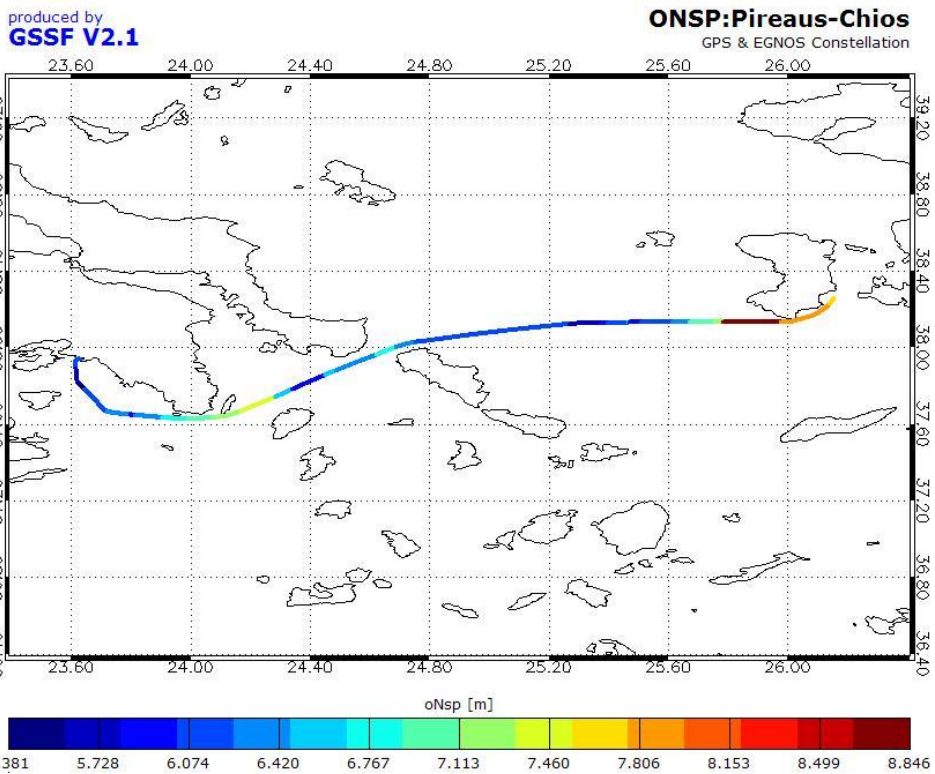


produced by  
**GSSF V2.1**

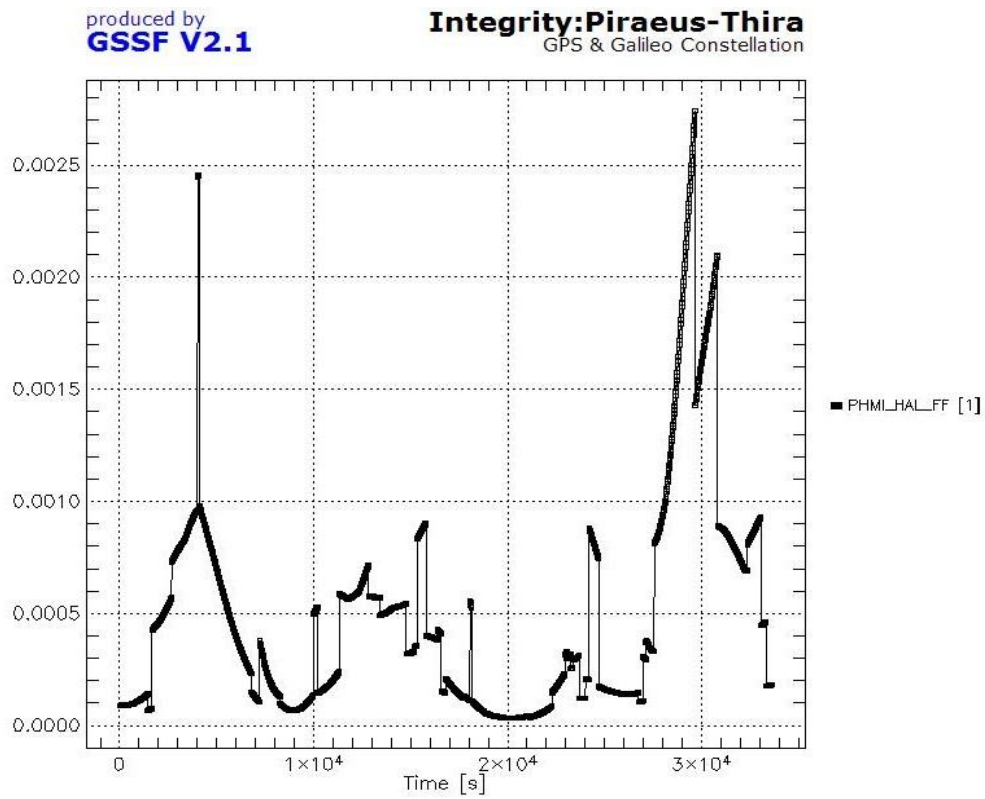
**NSP:Pireaus-Chios**  
GPS & EGNOS Constellation



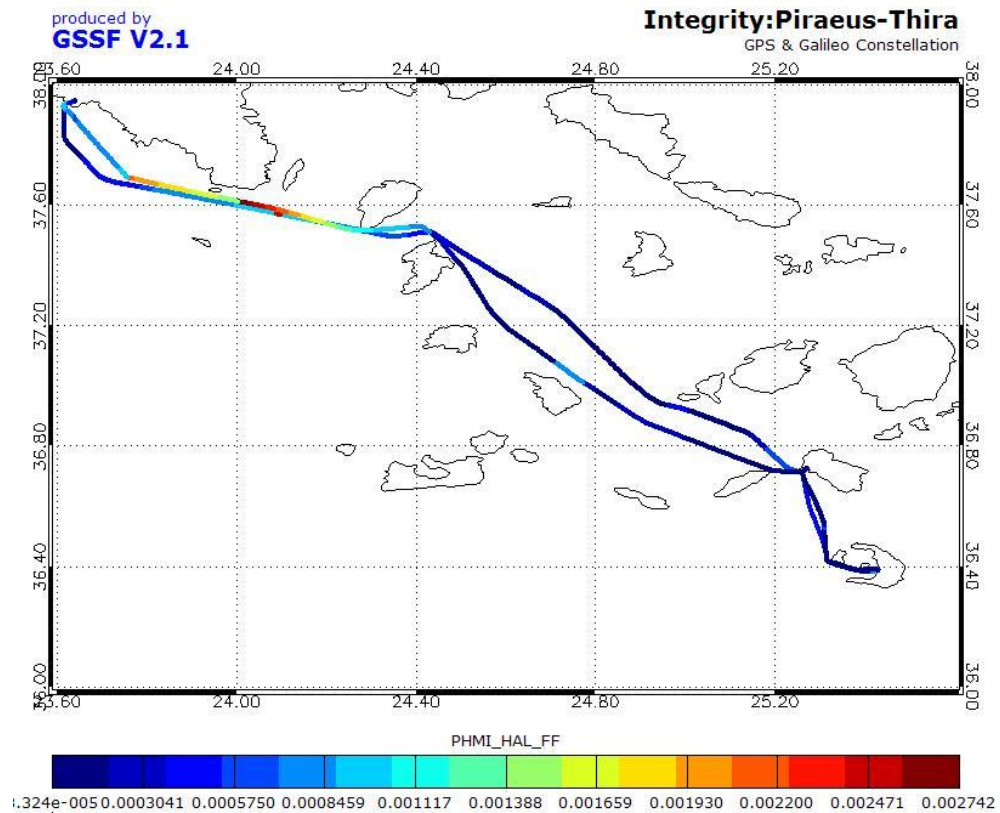
Εικόνα 74 : Διάγραμμα NSP στην Διαδρομή Πειραιάς-Χίος με GPS και EGNOS



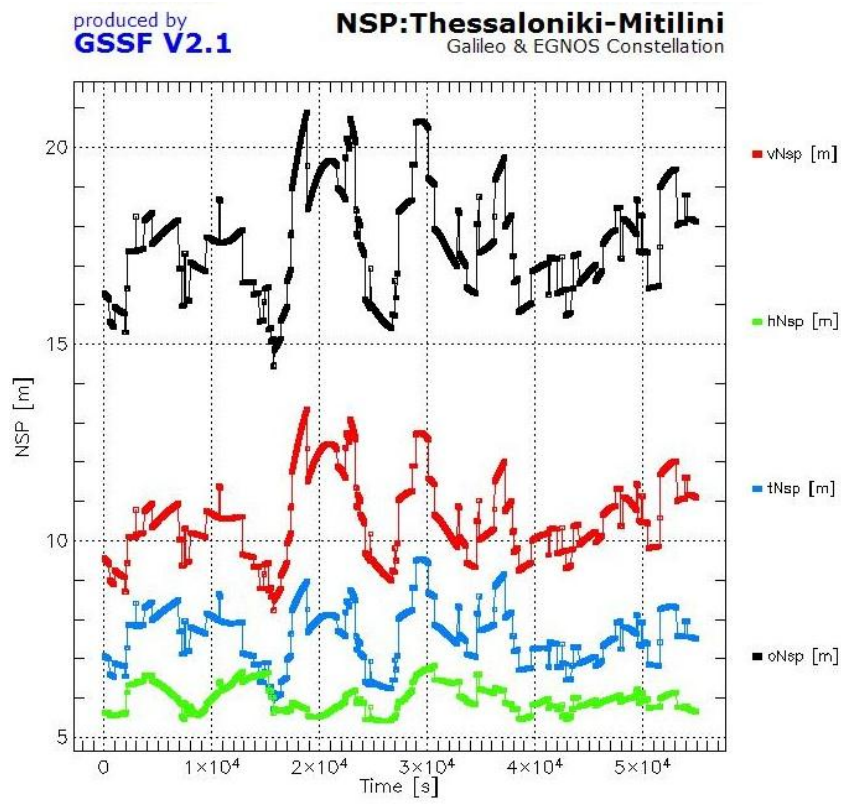
Εικόνα 75 : Χάρτης ONSP στην Διαδρομή Πειραιάς-Χίος με GPS και EGNOS



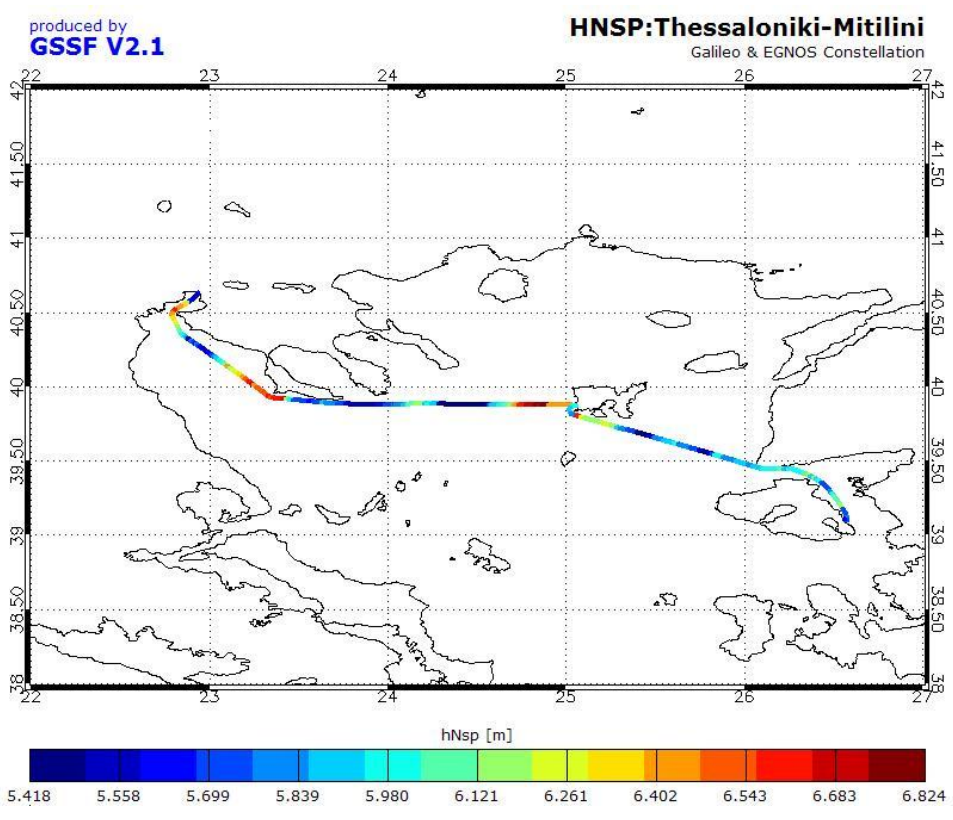
Εικόνα 76 : Διάγραμμα Ακεραιότητας στην Διαδρομή Πειραιάς-Θήρα με GPS και Galileo



Εικόνα 77 : Χάρτης Ακεραιότητας στην Διαδρομή Πειραιάς-Θήρα με GPS και Galileo

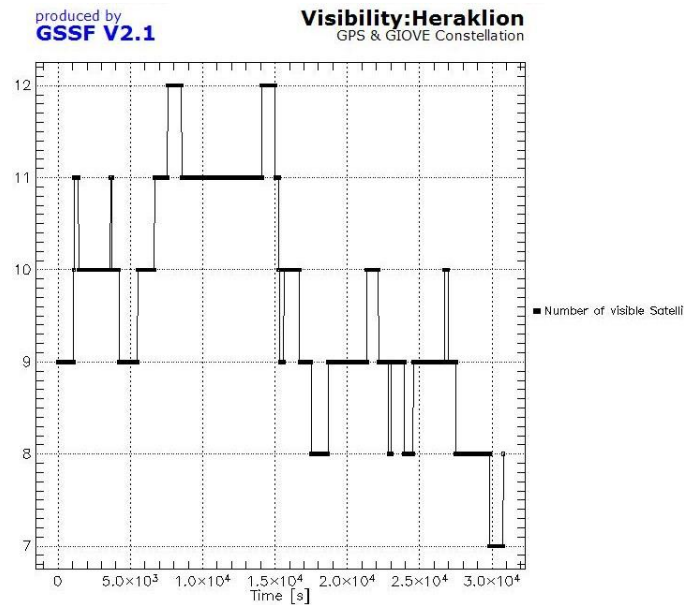


Εικόνα 78 : Διάγραμμα NSP στην Διαδρομή Θεσ/νίκη-Μυτιλήνη με Galileo και EGNOS

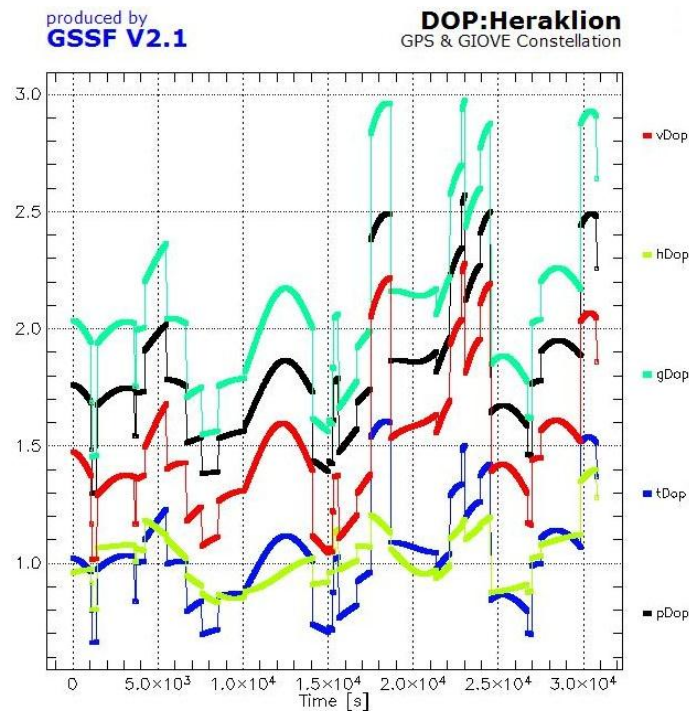


Εικόνα 79 : Χάρτης HNSP στην Διαδρομή Θεσ/νίκη-Μυτιλήνη με Galileo και EGNOS

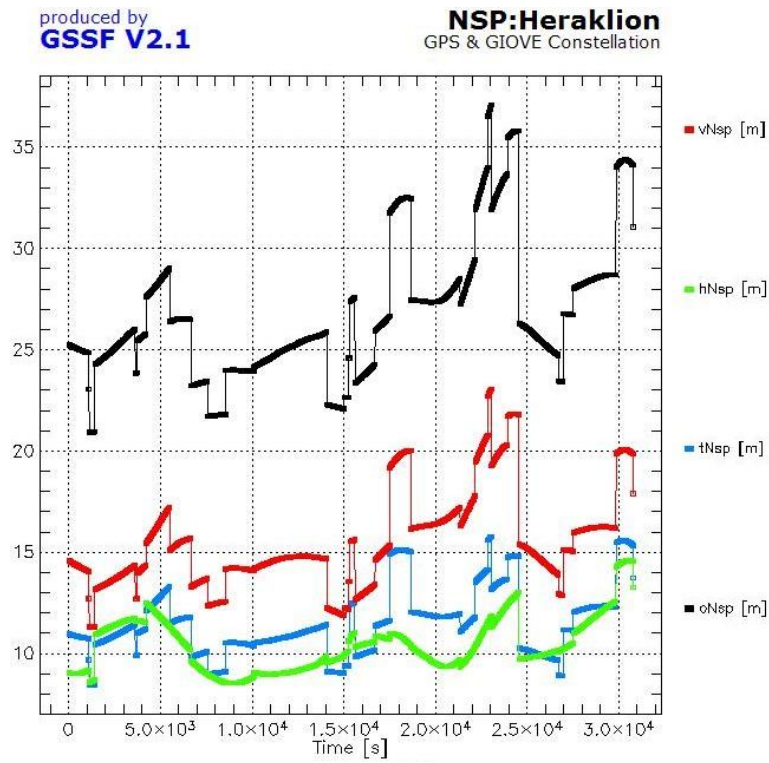
Μία σημαντική παρατήρηση που πρέπει να γίνει είναι ότι στα διαγράμματα παρατηρούνται κάποια «κοψίματα» των γραμμών που γίνονται πάντα σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Αυτά εξαρτώνται από το διάγραμμα των ορατών δορυφόρων και εξηγούνται ως μικρές αναπροσαρμογές στον αριθμό των ορατών δορυφόρων εξ αιτίας της καθόδου κάτω από τον τοπικό ορίζοντα κάποιων από τους ήδη ορατούς δορυφόρους και της ανόδου από τον ορίζοντα κάποιων άλλων. Ακολουθεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα με τις εικόνες 80 έως 83:



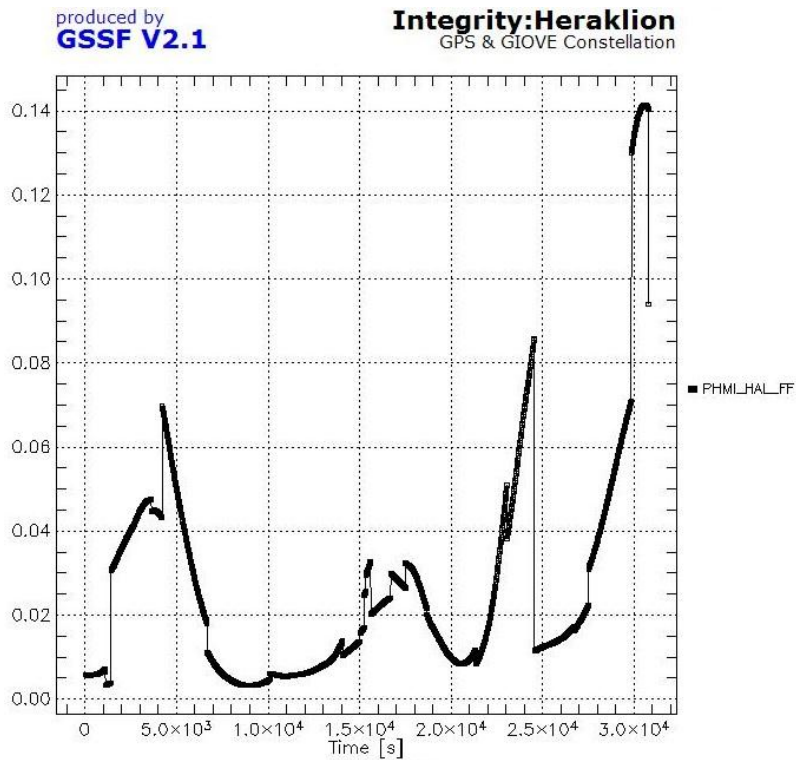
Εικόνα 80 : Διάγραμμα Ορατότητας στη Διαδρομή Πειραιάς-Ηράκλειο με GPS και GIOVE



Εικόνα 81 : Διάγραμμα DOP στη Διαδρομή Πειραιάς-Ηράκλειο με GPS και GIOVE



Εικόνα 82 : Διάγραμμα NSP στη Διαδρομή Πειραιάς-Ηράκλειο με GPS και GIOVE



Εικόνα 83 : Διάγραμμα Ακεραιότητας στη Διαδρομή Πειραιάς-Ηράκλειο με GPS και GIOVE

Εν συνεχεία, δίνονται οι πίνακες των αποτελεσμάτων (Πίνακες 22-24) :

<b>Visibility</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Αλεξ/πολη-Σαμοθράκη</b>	<b>Πειραιάς-Ηράκλειο</b>
	GPS	9.7 (7-12)	8.9(7-11)
	GPS + EGNOS	12.7(10-15)	11.9(10-14)
	GPS + GIOVE	10.5(8-13)	9.6(7-12)
	GPS + EGNOS + GIOVE	13.5(11-16)	12.6(10-15)
	GPS + GALILEO	16.9(15-20)	16.7(13-20)
	GALILEO	7.2(6-10)	7.8(6-10)
	GALILEO + EGNOS	10.2(9-13)	10.8(9-13)
GPS + GALILEO + EGNOS	19.9(18-23)	19.7(16-23)	
<b>GDOP</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Αλεξ/πολη-Σαμοθράκη</b>	<b>Πειραιάς-Ηράκλειο</b>
	GPS	2.07(1.45-4.0)	2.26(1.46-3.68)
	GPS + EGNOS	1.86(1.38-3.14)	2.04(1.4-3.11)
	GPS + GIOVE	1.95(1.4-3.8)	2.09(1.46-2.98)
	GPS + EGNOS + GIOVE	1.77(1.33-2.57)	1.92(1.4-2.55)
	GPS + GALILEO	1.44(1.1-1.89)	1.49(1.13-2.06)
	GALILEO	2.43(1.62-3.49)	2.34(1.72-3.47)
	GALILEO + EGNOS	2.13(1.53-3.13)	2.12(1.6-3.2)
GPS + GALILEO + EGNOS	1.38(1.07-1.79)	1.42(1.1-1.89)	
<b>ONSP [m]</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Αλεξ/πολη-Σαμοθράκη</b>	<b>Πειραιάς-Ηράκλειο</b>
	GPS	28.34(22.2-47.7)	30.83(22.11-45.13)
	GPS + EGNOS	6.33(5.42-8.89)	6.87(5.38-8.91)
	GPS + GIOVE	25.1(20.12-41.85)	26.77(20.93-37.08)
	GPS + EGNOS + GIOVE	7.26(6.19-8.92)	7.81(6.46-10.06)
	GPS + GALILEO	18.92(16.09-22.85)	19.57(16.46-24.08)
	GALILEO	28.59(22.80-35.08)	28.52(24.32-35.08)
	GALILEO + EGNOS	7.13(6.01-8.75)	7.24(6.46-8.67)
GPS + GALILEO + EGNOS	5.72(5.01-6.8)	5.97(5.2-7.01)	
<b>Integrity</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Αλεξ/πολη-Σαμοθράκη</b>	<b>Πειραιάς-Ηράκλειο</b>
	GPS	0.059(0.0052-0.31)	0.062(0.0063-0.19)
	GPS + EGNOS	2E-17(7E-41-3E-16)	1E-17(2E-38 - 1E-15)
	GPS + GIOVE	0.026(0.0022-0.2)	0.027(0.0033-0.14)
	GPS + EGNOS + GIOVE	6E-14(1E-34-1E-12)	1E-14(5E-32 - 5E-13)
	GPS + GALILEO	0.00064(4E-5-0.0023)	0.00042(0.00004-0.0026)
	GALILEO	0.024(0.0059-0.065)	0.017(0.0051-0.051)
	GALILEO + EGNOS	6E-17(6E-32 - 7E-15)	4E-17(6E-35 - 5E-15)
GPS + GALILEO + EGNOS	6E-28(5E-44 - 4E-26)	1E-27(2E-44 - 1E-25)	

Πίνακας 22 : Αποτελέσματα Διαδρομών Αλεξανδρούπολη-Σαμοθράκη, Ηράκλειο

<b>Visibility</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Πειραιάς-Χίος</b>	<b>Πειραιάς-Θήρα</b>
	GPS	9.4(7-11)	8.8(7-11)
	GPS + EGNOS	12.4(10-14)	11.8(10-14)
	GPS + GIOVE	10.1(8-12)	9.5(7-12)
	GPS + EGNOS + GIOVE	13.1(11-15)	12.5(10-15)
	GPS + GALILEO	16.8(15-20)	16.5(13-20)
	GALILEO	7.4(6-10)	7.7(6-10)
	GALILEO + EGNOS	10.4(9-13)	10.7(9-13)
GPS + GALILEO + EGNOS	19.8(18-23)	19.5(16-23)	
<b>GDOP</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Πειραιάς-Χίος</b>	<b>Πειραιάς-Θήρα</b>
	GPS	2.17(1.46-3.68)	2.26(1.46-3.68)
	GPS + EGNOS	1.98(1.41-3.12)	2.04(1.41-3.11)
	GPS + GIOVE	2.02(1.46-2.97)	2.11(1.46-2.98)
	GPS + EGNOS + GIOVE	1.85(1.41-2.56)	1.92(1.41-2.56)
	GPS + GALILEO	1.47(1.17-1.93)	1.49(1.19-2.06)
	GALILEO	2.4(1.67-3.47)	2.38(1.73-3.47)
	GALILEO + EGNOS	2.14(1.57-3.19)	2.15(1.64-3.19)
GPS + GALILEO + EGNOS	1.4(1.13-1.81)	1.43(1.15-1.89)	
<b>ONSP [m]</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Πειραιάς-Χίος</b>	<b>Πειραιάς-Θήρα</b>
	GPS	29.48(22.11-43.41)	30.82(22.11-45.28)
	GPS + EGNOS	6.63(5.38-8.85)	6.85(5.38-8.91)
	GPS + GIOVE	25.68(20.93-32.66)	26.92(20.93-37.22)
	GPS + EGNOS + GIOVE	7.49(6.46-8.93)	7.82(6.46-10.06)
	GPS + GALILEO	19.22(16.72-23.11)	19.65(16.72-24.07)
	GALILEO	28.6(23.29-34.73)	28.79(24.5-35.1)
	GALILEO + EGNOS	7.19(6.12-8.69)	7.29(6.5-8.8)
GPS + GALILEO + EGNOS	5.85(5.21-6.87)	5.99(5.2-7.01)	
<b>Integrity</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Πειραιάς-Χίος</b>	<b>Πειραιάς-Θήρα</b>
	GPS	0.054(0.0073-0.12)	0.065(0.0073-0.195)
	GPS + EGNOS	5E-18(1E-38 - 2E-15)	2E-17(1E-38 - 1E-15)
	GPS + GIOVE	0.022(0.084-0.0036)	0.03(0.0035-0.14)
	GPS + EGNOS + GIOVE	1E-15(8E-31 - 2E-14)	1E-14(2E-31 - 5E-13)
	GPS + GALILEO	0.00041(0.00005-0.0025)	0.00049(3E-5-0.0027)
	GALILEO	0.02(0.0047-0.051)	0.018(0.0042-0.05)
	GALILEO + EGNOS	3E-17(6E-34 - 2E-15)	2E-17(3E-35 - 2E-15)
GPS + GALILEO + EGNOS	7E-30(3E-41 - 5E-28)	2E-27(7E-43 - 1E-25)	

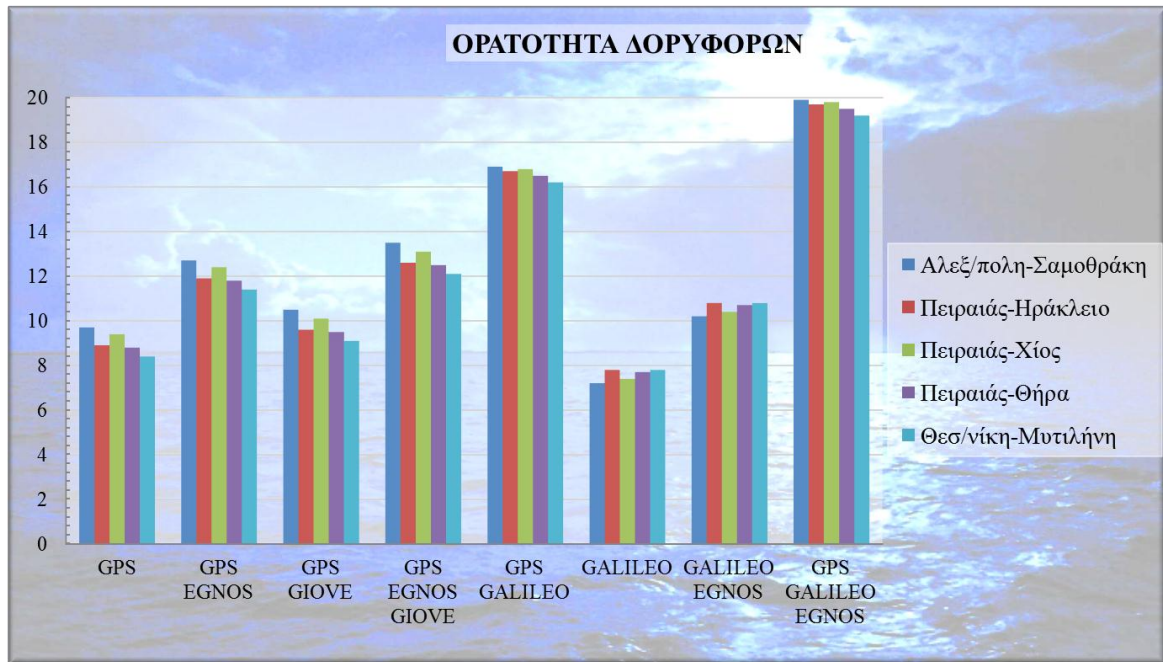
Πίνακας 23 : Αποτελέσματα Διαδρομών Πειραιάς-Χίος, Πειραιάς-Θήρα

<b>Visibility</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Θεσ/νίκη-Μυτιλήνη</b>
	GPS	8.4(6-11)
	GPS + EGNOS	11.4(9-14)
	GPS + GIOVE	9.1(6-12)
	GPS + EGNOS + GIOVE	12.1(9-15)
	GPS + GALILEO	16.2(13-20)
	GALILEO	7.8(6-10)
	GALILEO + EGNOS	10.8(9-13)
GPS + GALILEO + EGNOS	19.2(16-23)	
<b>GDOP</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Θεσ/νίκη-Μυτιλήνη</b>
	GPS	2.35(1.46-4.65)
	GPS + EGNOS	2.07(1.4-3.12)
	GPS + GIOVE	2.18(1.46-4.65)
	GPS + EGNOS + GIOVE	1.94(1.4-3.11)
	GPS + GALILEO	1.49(1.1-2.05)
	GALILEO	2.35(1.61-3.49)
	GALILEO + EGNOS	2.09(1.52-3.17)
GPS + GALILEO + EGNOS	1.42(1.07-1.89)	
<b>ONSP [m]</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Θεσ/νίκη-Μυτιλήνη</b>
	GPS	31.87(22.16-54.67)
	GPS + EGNOS	7.02(5.41-9.41)
	GPS + GIOVE	27.81(21.02-49.77)
	GPS + EGNOS + GIOVE	7.98(6.42-11.3)
	GPS + GALILEO	19.64(16.01-23.97)
	GALILEO	28.34(22.67-35.2)
	GALILEO + EGNOS	7.11(5.98-8.8)
GPS + GALILEO + EGNOS	5.97(4.99-7.09)	
<b>Integrity</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Θεσ/νίκη-Μυτιλήνη</b>
	GPS	0.075(0.005-0.25)
	GPS + EGNOS	3E-15(1E-13 - 6E-37)
	GPS + GIOVE	0.037(0.002-0.18)
	GPS + EGNOS + GIOVE	1.5E-13(6E-31 - 3E-11)
	GPS + GALILEO	0.00065(5E-5 - 0.0028)
	GALILEO	0.019(0.0054-0.063)
	GALILEO + EGNOS	2E-17(9E-34 - 4E-15)
GPS + GALILEO + EGNOS	1E-27(1E-42 - 1E-25)	

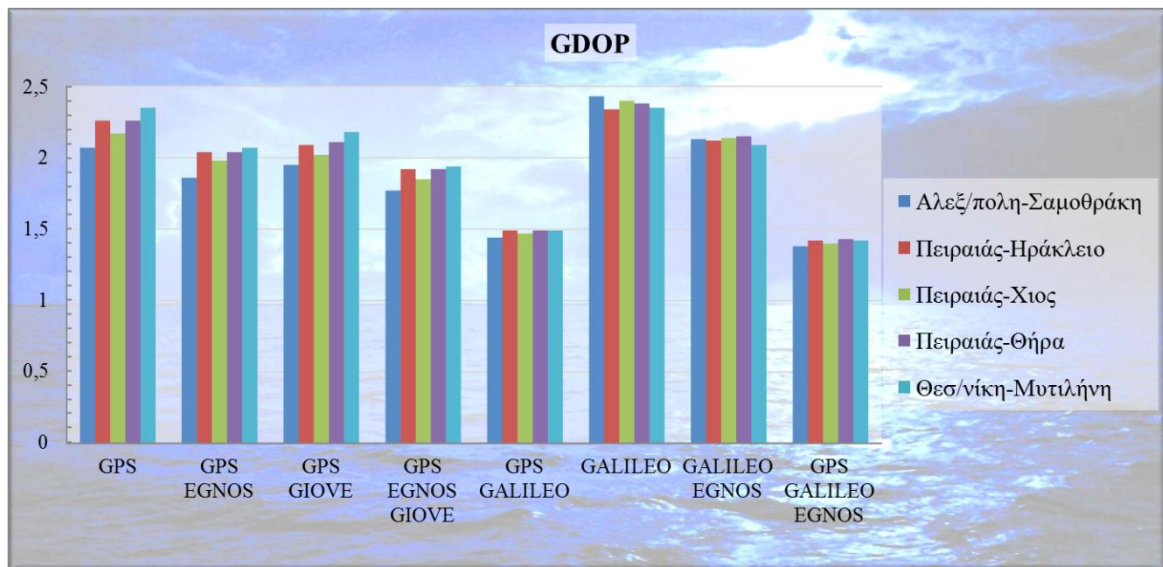
Πίνακας 24 : Αποτελέσματα Διαδρομών Θεσσαλονίκη-Μυτιλήνη



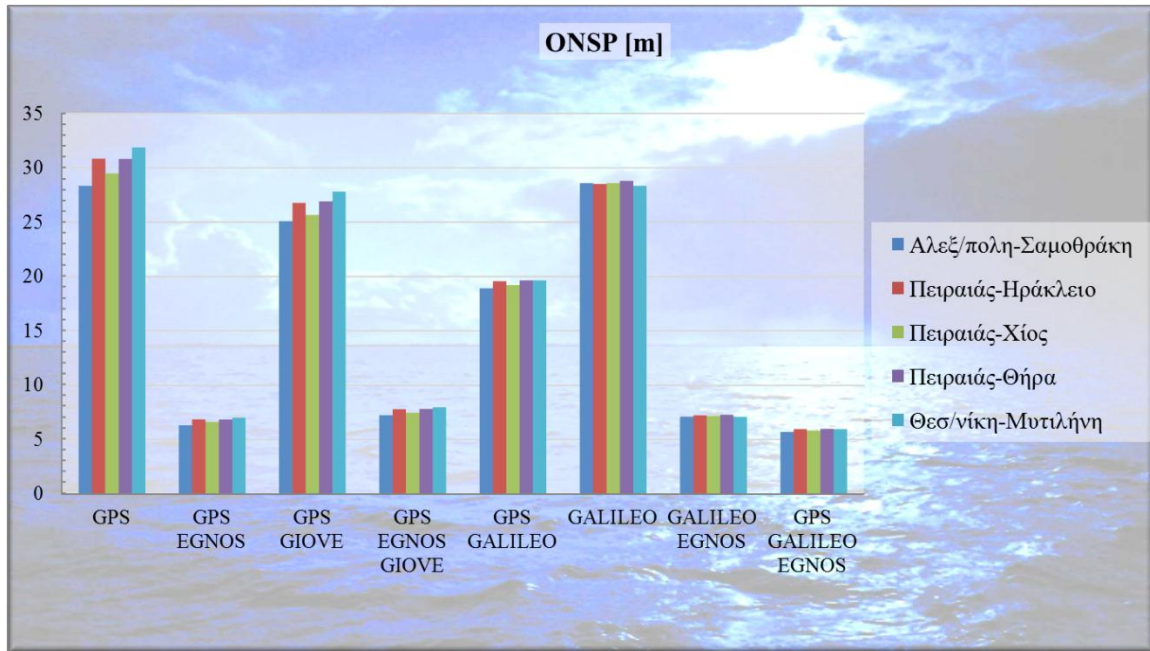
Επίσης, έγιναν και ιστογράμματα από τους πίνακες αποτελεσμάτων για στην ευκολότερη σύγκριση μεταξύ των διαδρομών και των δορυφορικών σχηματισμών (Εικόνες 84-87):



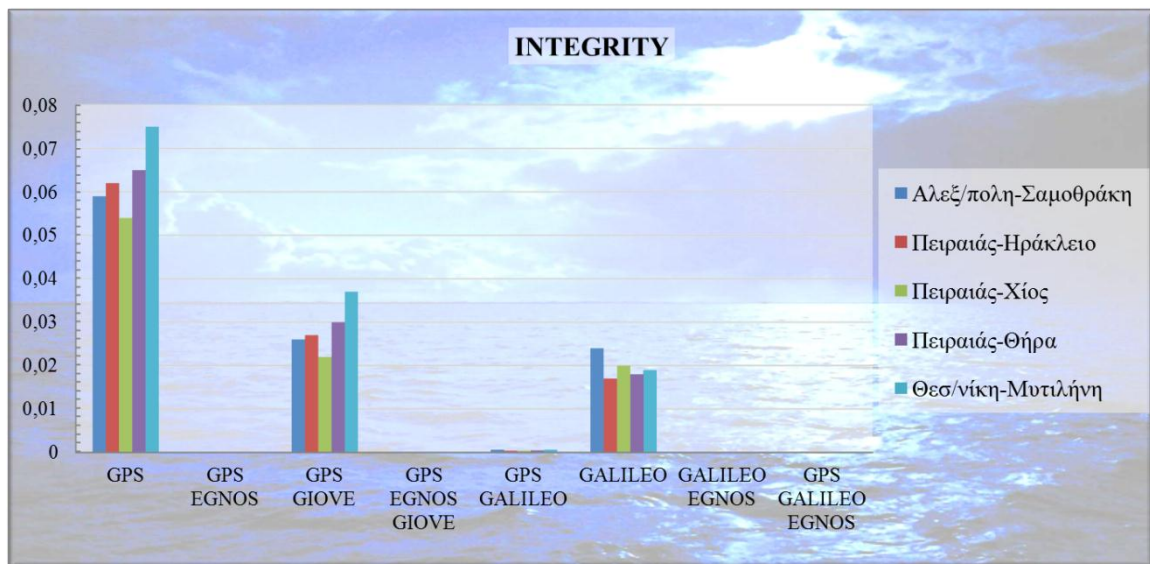
Εικόνα 84 : Ορατότητα Δορυφόρων στις Διαδρομές Πλοίων



Εικόνα 85 : Ο Δείκτης GDOP στις Διαδρομές Πλοίων



Εικόνα 86 : Ο Δείκτης ONSP στις Διαδρομές Πλοίων



Εικόνα 87 : Ο Δείκτης Ακεραιότητας στις Διαδρομές Πλοίων

Τα συστήματα GPS και Galileo από μόνα τους δίνουν 6-11 ορατούς δορυφόρους με γεωμετρία περίπου 1,4-3,4 με ακρίβεια (σε πραγματικό χρόνο) περίπου 22-40 m και ποσοστά ακεραιότητας 6% για το σύστημα GPS και 2% για το σύστημα Galileo. Στα ιστογράμματα της ακρίβειας ONSP και ακεραιότητας παρατηρούμε ότι η χρήση και του συστήματος EGNOS στους συνδυασμούς δίνει πολύ καλές ακρίβειες (κάτω από 8m ανάλογα την διαδρομή) και σχεδόν μηδενικές τιμές ακεραιότητας. Για τον συνδυασμό και των τριών συστημάτων έχουμε 16-23 ορατούς δορυφόρους, τιμή γεωμετρίας περίπου στο 1,4, ακρίβεια περίπου 6m και σχεδόν μηδενικό ποσοστό ακεραιότητας.

### 3.8.3. Σενάριο 3<sup>ο</sup> : Κινηματικές Πορείες Ιστιοπλοϊκών

Το τρίτο σενάριο είναι παρόμοιο με το προηγούμενο. Σε αυτή τη περίπτωση μελετήθηκαν πορείες ιστιοπλοϊκών σκαφών. Η ημέρα που επιλέχθηκε ήταν και πάλι 28/04/10, δεν υπήρχε περιορισμός στη γωνία ύψους και τα UERE ήταν και εδώ μονής συχνότητας L1. Η διαφορά των διαδρομών των ιστιοπλοϊκών με τις διαδρομές πλοίων είναι ότι έχουν πιο ευέλικτες πορείες και αλλάζουν πιο συχνά κατευθύνσεις και αφορούν διαδρομές πιο τοπικού χαρακτήρα με σχετικά μέτριες ως χαμηλές ταχύτητας πλεύσης και διάρκειας αρκετών ωρών.

A/A Σενάριο	Τύπος Χρήστη	Πορείες	Δορυφορικοί Σχηματισμοί	Παράμετροι	Στόχος Σεναρίου
3	Κινηματικός (ιστιοπλοϊκά)	Γύθειο Λευκάδα-Ιθάκη	GPS	Ορατότητα DOP Ακεραιότητα NSP	Σύγκριση Συστημάτων & Λειτουργικότητα
			GPS + EGNOS		
			GPS + GIOVE		
			GPS + EGNOS + GIOVE		
			GPS + GALILEO		
			GALILEO		
			GALILEO + EGNOS		
			GPS + GALILEO + EGNOS		

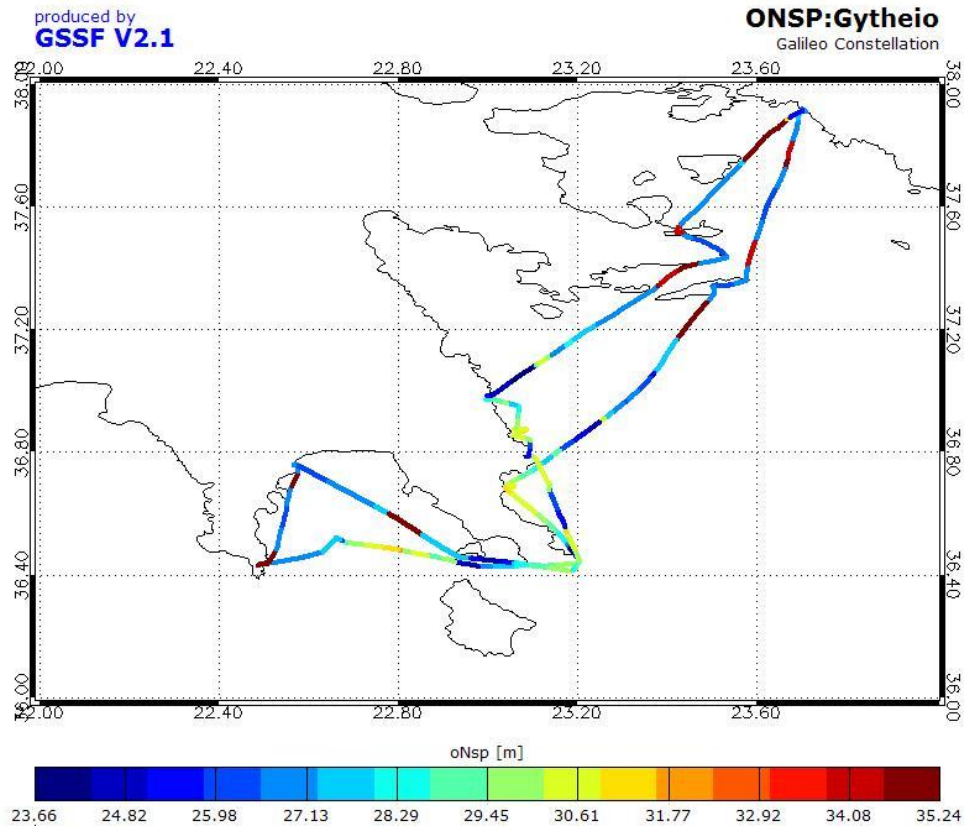
Πίνακας 25 : Σενάριο 3<sup>ο</sup>

Στον πίνακα 26 δίνονται οι δύο πορείες ιστιοπλοϊκών που χρησιμοποιήθηκαν με τις διάρκειές τους και το χρονικό τους βήμα:

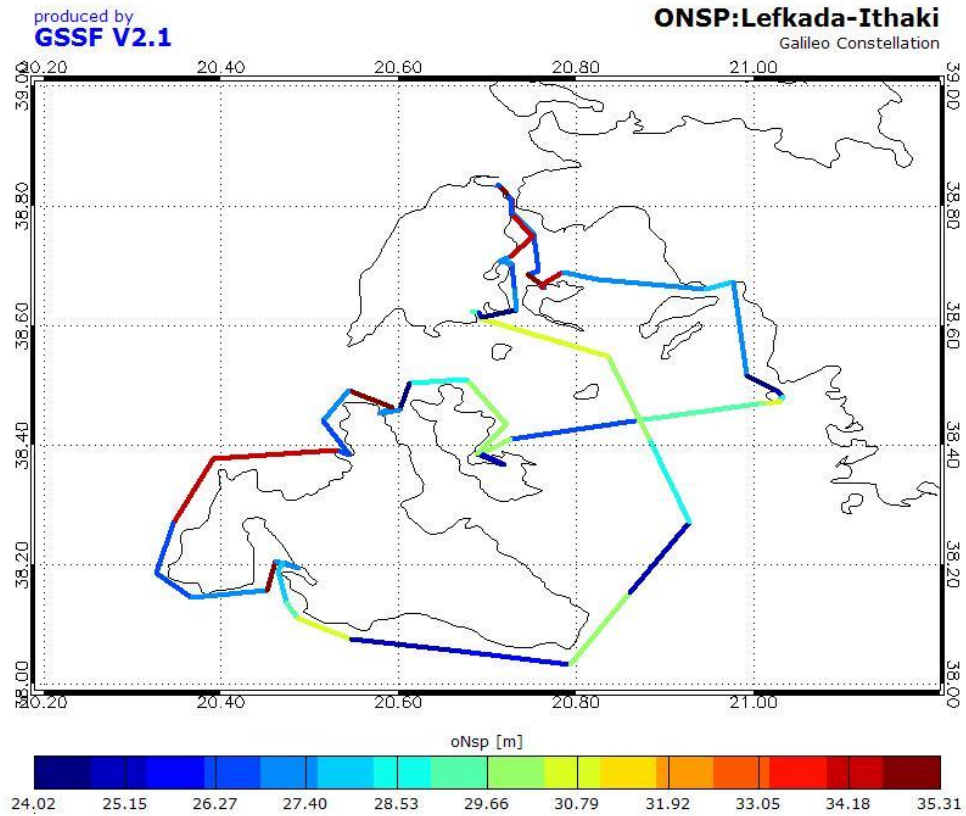
Πορεία	Διάρκεια	Χρονικό Βήμα
Γύθειο	20hr 1min 30sec	15sec
Λευκάδα-Ιθάκη	18hr 45min	900sec

Πίνακας 26 : Πορείες Διαδρομών Ιστιοπλοϊκών

Στις εικόνες 88 και 89 δίνονται χάρτες της τιμής ONSP με το σύστημα Galileo για την απεικόνιση των δύο διαδρομών:



Εικόνα 88 : Χάρτης Δείκτη ONSP για Διαδρομή Γύθειο με Galileo

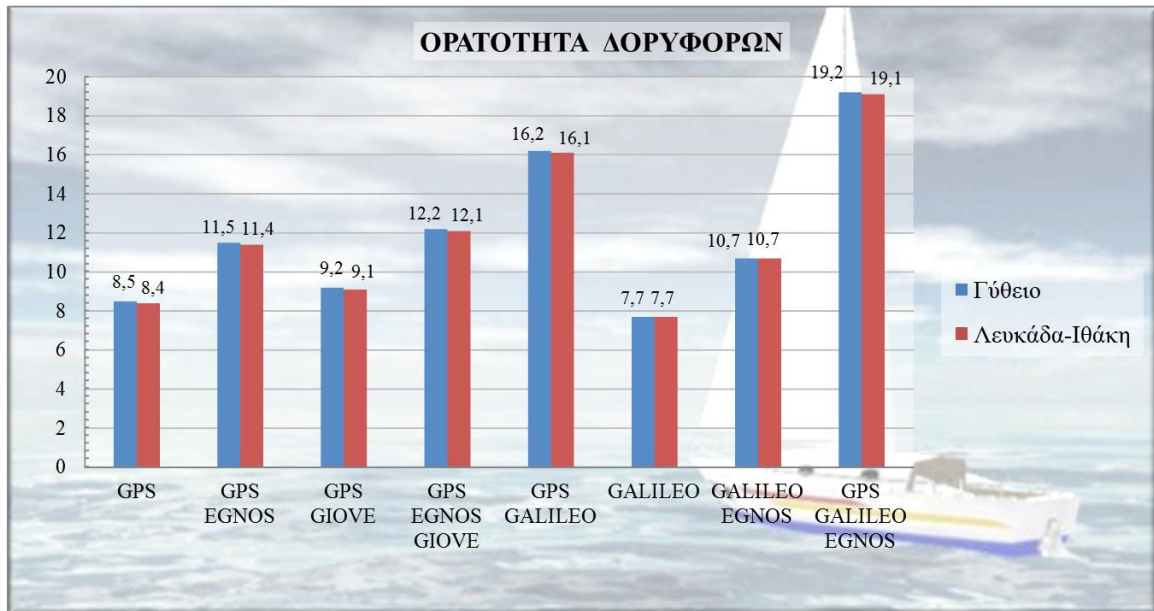


Εικόνα 89 : Χάρτης Δείκτη ONSP για Διαδρομή Λευκάδα-Ιθάκη με Galileo

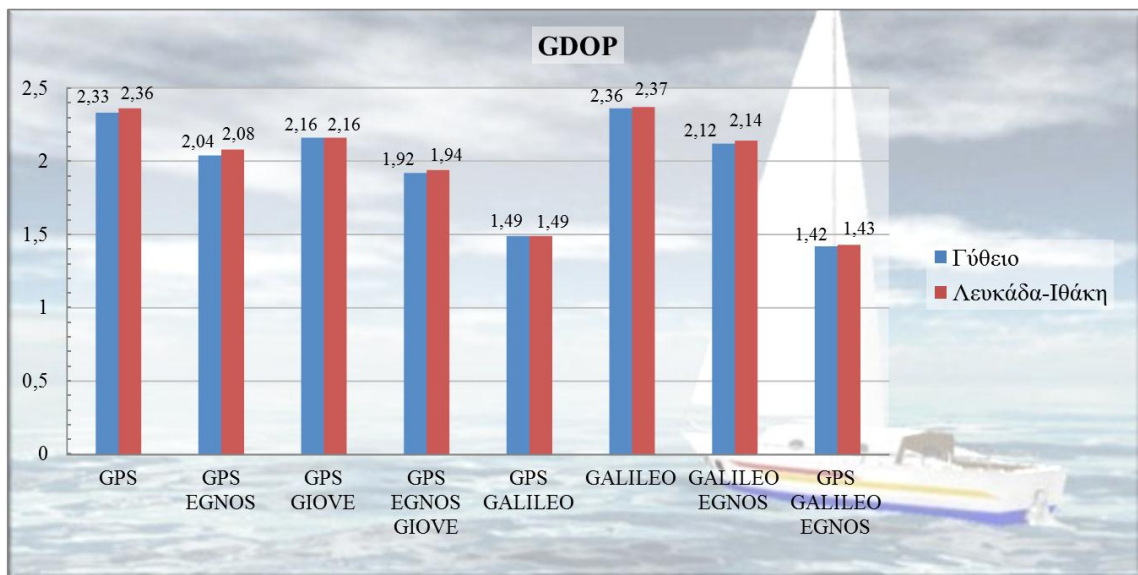
Παρακάτω δίνεται ο πίνακας αποτελεσμάτων (Πίνακας 27) και τα ιστογράμματα για τις διαδρομές με τα ιστοπλοϊκά (Εικόνες 90-93):

Visibility	Σχηματισμός	Γύθαιο	Λευκάδα-Ιθάκη
	GPS	8.5(6-11)	8.4(6-11)
	GPS + EGNOS	11.5(9-14)	11.4(9-14)
	GPS + GIOVE	9.2(6-12)	9.1(6-12)
	GPS + EGNOS + GIOVE	12.2(9-15)	12.1(9-15)
	GPS + GALILEO	16.2(13-19)	16.1(13-18)
	GALILEO	7.7(6-11)	7.7(6-10)
	GALILEO + EGNOS	10.7(9-14)	10.7(9-13)
	GPS + GALILEO + EGNOS	19.2(16-22)	19.1(16-21)
GDOP	Σχηματισμός	Γύθαιο	Λευκάδα-Ιθάκη
	GPS	2.33(1.45-4.66)	2.36(1.55-4.55)
	GPS + EGNOS	2.04(1.4-3.76)	2.08(1.47-3.56)
	GPS + GIOVE	2.16(1.45-4.66)	2.16(1.55-4.55)
	GPS + EGNOS + GIOVE	1.92(1.37-3.76)	1.94(1.47-3.56)
	GPS + GALILEO	1.49(1.14-2.21)	1.49(1.2-1.94)
	GALILEO	2.36(1.67-3.48)	2.37(1.75-3.48)
	GALILEO + EGNOS	2.12(1.47-3.24)	2.14(1.6-3.24)
	GPS + GALILEO + EGNOS	1.42(1.11-1.97)	1.43(1.16-1.74)
ONSP [m]	Σχηματισμός	Γύθαιο	Λευκάδα-Ιθάκη
	GPS	31.85(22.05-55.73)	32.1(22.91-54.51)
	GPS + EGNOS	6.96(5.32-10.62)	7.07(5.41-10.03)
	GPS + GIOVE	27.88(20.31-50.75)	27.82(21.71-50.21)
	GPS + EGNOS + GIOVE	7.93(6.2-12.73)	7.99(6.5-12.03)
	GPS + GALILEO	18.65(15.75-23.53)	19.76(16.86-23.49)
	GALILEO	28.62(23.66-35.24)	28.55(24.02-35.31)
	GALILEO + EGNOS	7.19(6.04-8.94)	7.22(6.3-8.97)
	GPS + GALILEO + EGNOS	5.99(5.16-7.18)	6.02(5.22-6.96)
Integrity	Σχηματισμός	Γύθαιο	Λευκάδα-Ιθάκη
	GPS	0.076(0.0047-0.52)	0.082(0.0069-0.3)
	GPS + EGNOS	1E-15(2E-38 - 7E-14)	4E-16(2E-36 - 2E-14)
	GPS + GIOVE	0.039(0.0013-0.38)	0.04(0.0027-0.23)
	GPS + EGNOS + GIOVE	2E-14(1E-30 - 2E-12)	9E-14(9E-31 - 4E-12)
	GPS + GALILEO	0.00027(8E-6 - 0.0035)	0.00077(4E-5 - 0.0057)
	GALILEO	0.018(0.0026-0.053)	0.019(0.006-0.052)
	GALILEO + EGNOS	6E-17(3E-37 - 2E-14)	1E-16(5E-35 - 8E-15)
	GPS + GALILEO + EGNOS	4E-25(8E-45 - 2E-22)	4E-25(2E-44 - 3E-23)

Πίνακας 27 : Αποτελέσματα Διαδρομών Ιστοπλοϊκών

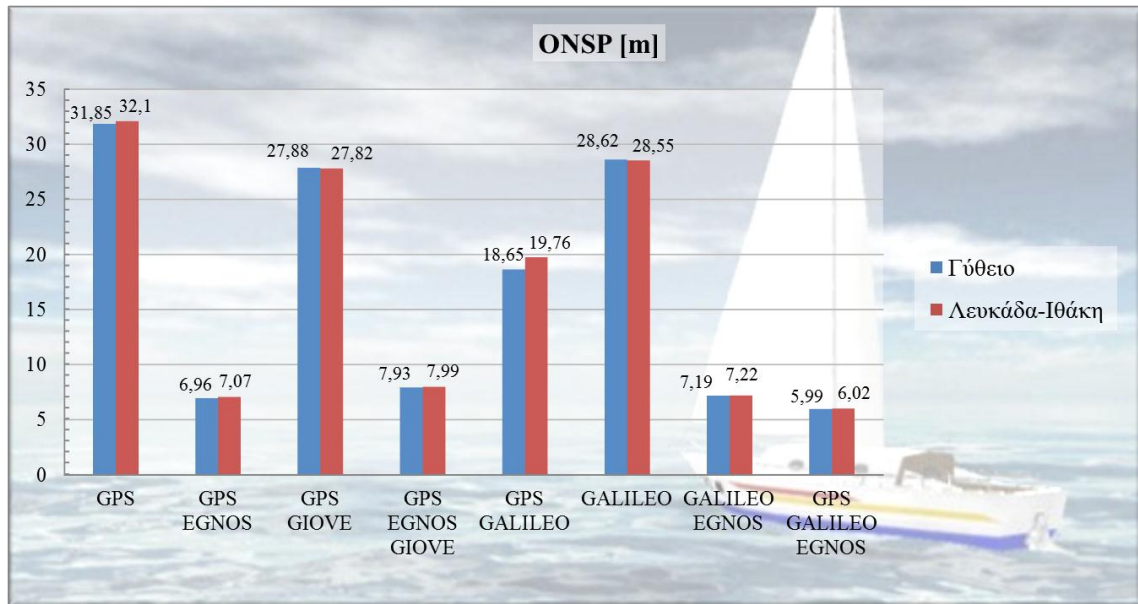


Εικόνα 90 : Ορατότητα Δορυφόρων στις Διαδρομές Ιστιοπλοϊκών

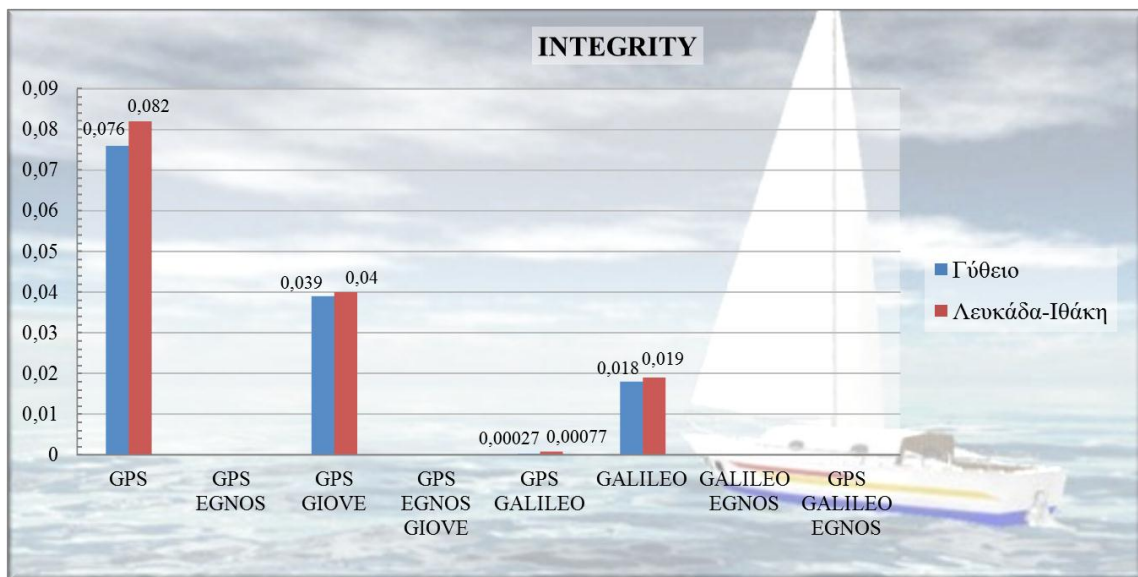


Εικόνα 91 : Τιμές GDOP σε Διαδρομές Ιστιοπλοϊκών

Από τα ιστογράμματα παρατηρούμε ότι οι τιμές ανάμεσα στις δυο διαδρομές είναι πολύ κοντά μεταξύ τους. Στη περίπτωση της ορατότητας, της γεωμετρικής ακρίβειας GDOP, και της ακεραιότητας έχουμε ελαφρώς καλύτερα αποτελέσματα στη διαδρομή Γύθειο. Στη περίπτωση ONSP εξαρτάται από τον δορυφορικό σχηματισμό. Στους σχηματισμούς GPS με GIOVE, Galileo έχουμε ελαφρώς καλύτερα αποτελέσματα στη διαδρομή Λευκάδα-Ιθάκη.



Εικόνα 92 : Τιμές ONSP σε Διαδρομές Ιστιοπλοϊκών



Εικόνα 93 : Τιμές Ακεραιότητας σε Διαδρομές Ιστιοπλοϊκών

Τα αποτελέσματα στις διαδρομές των ιστιοπλοϊκών είναι παρόμοια με εκείνα από τις διαδρομές των πλοίων. Τα συστήματα GPS και Galileo από μόνα τους δίνουν 6-11 ορατούς δορυφόρους με γεωμετρία περίπου 2,4 με ακρίβεια περίπου 32m για το GPS και 39m για το Galileo και ποσοστά ακεραιότητας 8% για το σύστημα GPS και 2% για το σύστημα Galileo. Για τον συνδυασμό και των τριών συστημάτων έχουμε 16-22 ορατούς δορυφόρους, τιμή γεωμετρίας περίπου στο 1,4, ακρίβεια περίπου 6m και σχεδόν μηδενικό ποσοστό ακεραιότητας ( $10^{-25}$ ).

### 3.8.4. Σενάριο 4<sup>ο</sup> : Κινηματικές Πορείες Αεροπλάνων

Στο σενάριο αυτό εξετάστηκαν διαδρομές μικρών αεροπλάνων (εκτός από τη διαδρομή του Κιθαιρώνα που χρησιμοποιήθηκε αλεξίπτωτο πλαγιάς τύπου paragliding), χωρίς περιορισμό στη γωνία ύψους (αφού τα αεροπλάνα έχουν ανοιχτό ουρανό), η ημέρα που επιλέχθηκε ήταν η 28/04/10. Τα UERE που χρησιμοποιήθηκαν ήταν πολύ χαμηλά, διπλής συχνότητας, GPS III (L1/L5) και στη περίπτωση του Galileo από την υπηρεσία SoL (L1/E5a) (Παράρτημα Β).

Α/Α Σενάριο	Τύπος Χρήστη	Πορείες	Δορυφορικοί Σχηματισμοί	Παράμετροι	Στόχος Σεναρίου
4	Κινηματικός (αεροπλάνα)	Καλάβρυτα Κιθαιρώνας Πρέβεζα Παραμυθιά Σκιάθος-Κωπαΐδα	GPS	Ορατότητα DOP Ακεραιότητα NSP	Σύγκριση Συστημάτων & Λειτουργικότητα
			GPS + EGNOS		
			GPS + GIOVE		
			GPS + EGNOS + GIOVE		
			GPS + GALILEO		
			GALILEO		
			GALILEO + EGNOS		
GPS + GALILEO + EGNOS					

Πίνακας 28 : Σενάριο 4<sup>ο</sup>

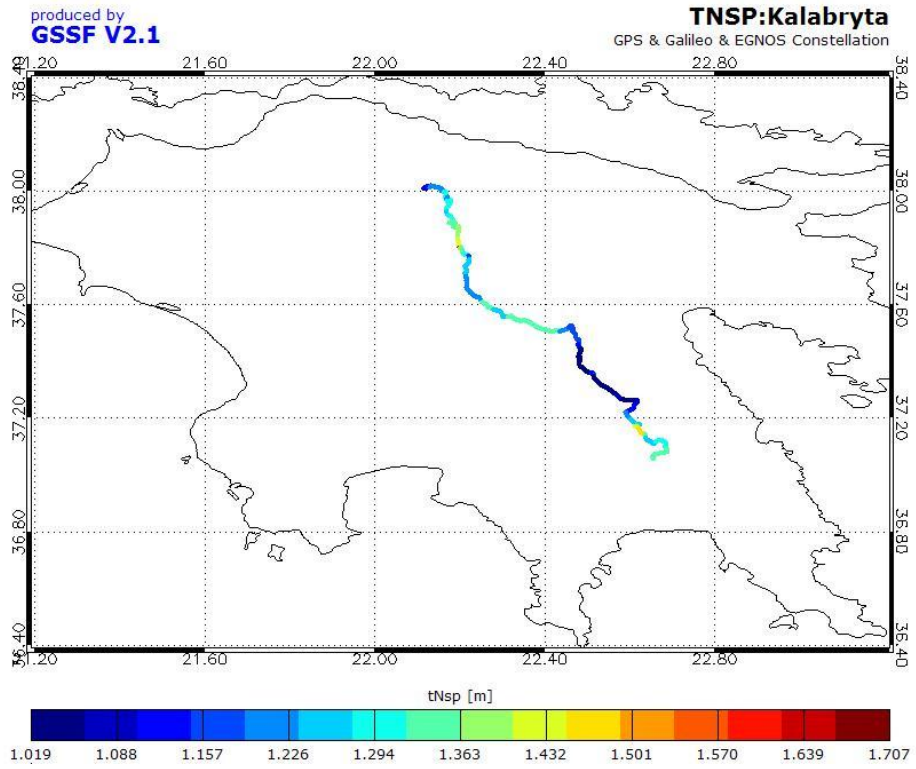
Στο παρακάτω πίνακα δίνονται τα χαρακτηριστικά των διαδρομών των αεροπλάνων:

Πορεία	Διάρκεια	Χρονικό Βήμα
<b>Καλάβρυτα</b>	5hr 55min 30 sec	5sec
<b>Κιθαιρώνας</b>	2hr 3min 24sec	4sec
<b>Σκιάθος-Κωπαΐδα</b>	5hr 44min	15sec
<b>Πρέβεζα-Παπαδάτες</b>	2hr 16 min 35 sec	5sec
<b>Παραμυθιά</b>	2hr 13min	3sec

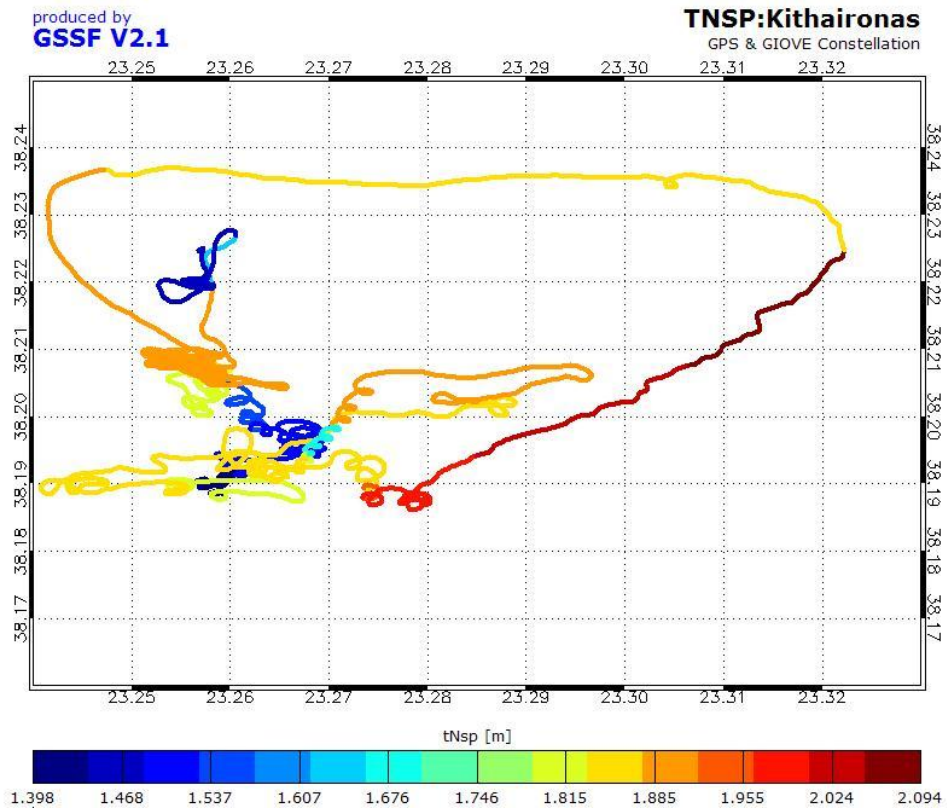
Πίνακας 29 : Πορείες Διαδρομών Αεροπλάνων

Στη συνέχεια παρατίθενται χάρτες από κάθε διαδρομή που έβγαλε το πρόγραμμα GSSF:

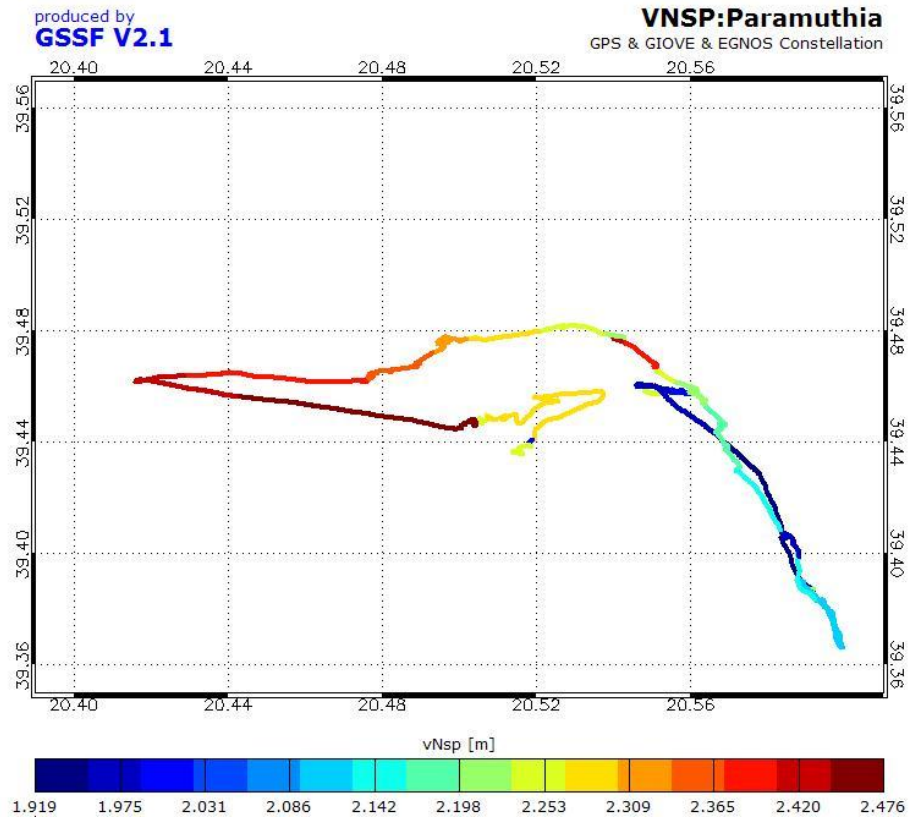




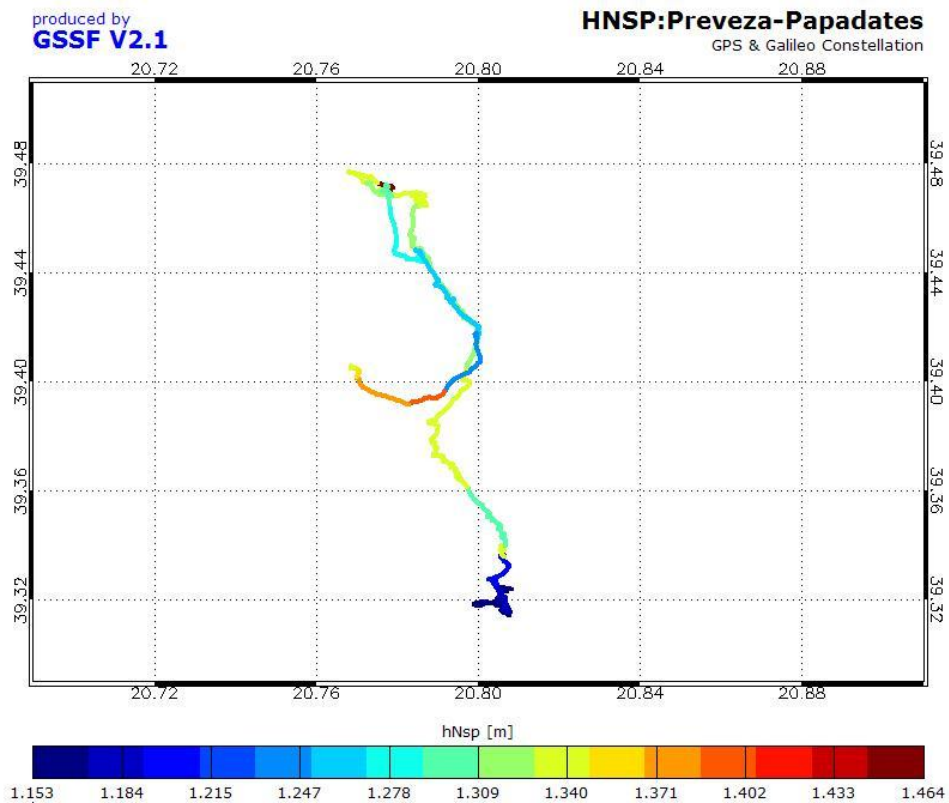
Εικόνα 94 : Ο Δείκτης TNSP για τα Καλάβρυτα με GPS, Galileo και EGNOS



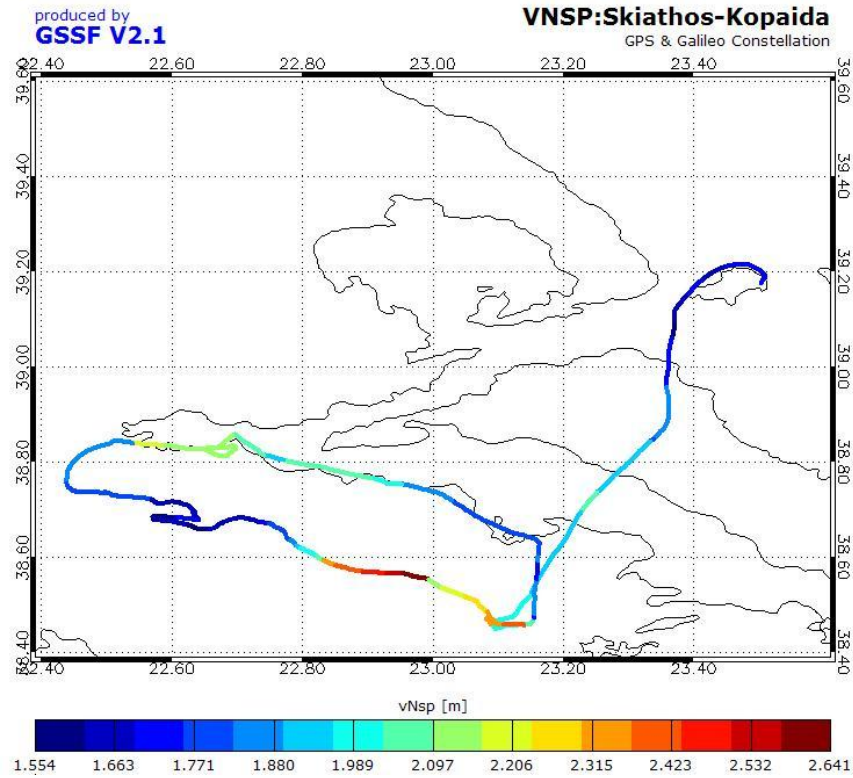
Εικόνα 95 : Ο Δείκτης TNSP για Κιθαρώνα με GPS και GIOVE



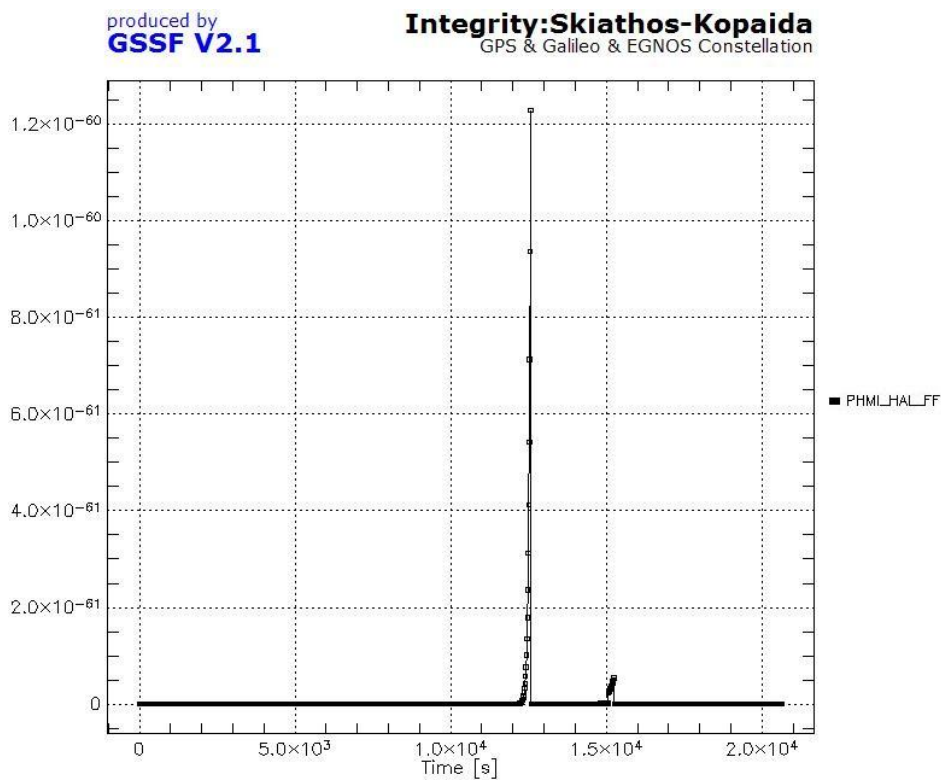
Εικόνα 96 : Ο Δείκτης VNSP στη Παραμυθιά με GPS,GIOVE και EGNOS



Εικόνα 97 : Ο Δείκτης HNSP στη Διαδρομή Πρέβεζα-Παπαδάτες με GPS και Galileo



Εικόνα 98 : Ο Δείκτης VNSP στη Διαδρομή Σκιάθος- Κωπαίδα με GPS και Galileo



Εικόνα 99 : Διάγραμμα Ακεραιότητας στη Διαδρομή Σκιάθος- Κωπαίδα με GPS , Galileo και EGNOS

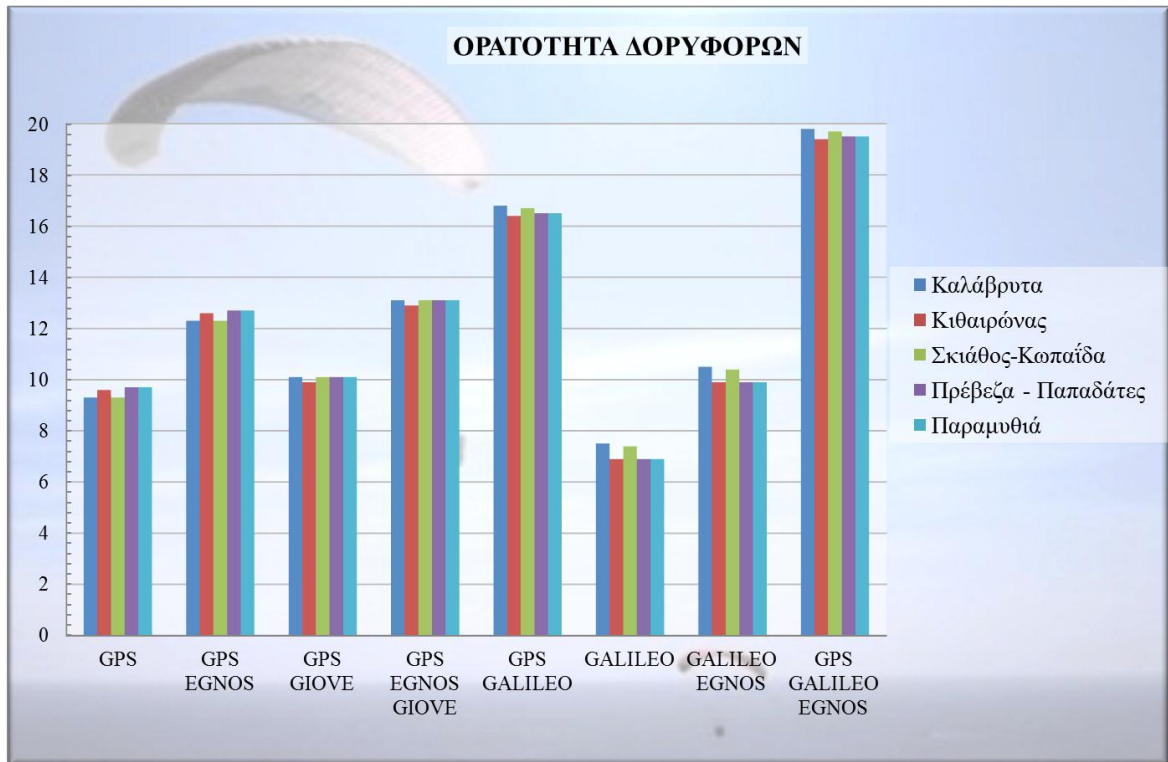
Στη συνέχεια, δίνονται οι πίνακες αποτελεσμάτων και τα ιστογράμματα για τις διαδρομές με τα αεροπλάνα :

<b>Visibility</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Σκιάθος-Κωπαΐδα</b>	<b>Πρέβεζα-Παπαδάτες</b>
	GPS	9.3(7-11)	9.7(9-11)
	GPS + EGNOS	12.3(10-14)	12.7(12-14)
	GPS + GIOVE	10.1(8-12)	10.1(9-12)
	GPS + EGNOS + GIOVE	13.1(11-15)	13.1(12-15)
	GPS + GALILEO	16.7(15-19)	16.5(15-18)
	GALILEO	7.4(6-10)	6.9(6-8)
	GALILEO + EGNOS	10.4(9-13)	9.9(9-11)
GPS + GALILEO + EGNOS	19.7(18-22)	19.5(18-21)	
<b>GDOP</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Σκιάθος-Κωπαΐδα</b>	<b>Πρέβεζα-Παπαδάτες</b>
	GPS	2.19(1.46-3.67)	2.01(1.6-2.43)
	GPS + EGNOS	2(1.4-3.11)	1.89(1.52-2.25)
	GPS + GIOVE	2.02(1.46-2.96)	1.9(1.55-2.21)
	GPS + EGNOS + GIOVE	1.86(1.4-2.55)	1.79(1.45-2.09)
	GPS + GALILEO	1.47(1.14-1.97)	1.44(1.2-1.69)
	GALILEO	2.4(1.63-3.47)	2.52(1.91-3.48)
	GALILEO + EGNOS	2.15(1.53-3.19)	2.27(1.77-3.21)
GPS + GALILEO + EGNOS	1.41(1.11-1.85)	1.39(1.17-1.61)	
<b>ONSP [m]</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Σκιάθος-Κωπαΐδα</b>	<b>Πρέβεζα-Παπαδάτες</b>
	GPS	5.22(3.9-8.03)	4.85(4.11-5.69)
	GPS + EGNOS	4.38(3.43-6.36)	3.91(3.38-4.57)
	GPS + GIOVE	4.49(3.61-5.97)	4.31(3.79-4.79)
	GPS + EGNOS + GIOVE	3.81(3.19-4.77)	3.77(3.35-4.1)
	GPS + GALILEO	3.33(2.8-4.18)	3.26(2.9-3.61)
	GALILEO	4.97(3.84-6.44)	5.13(4.38-6.45)
	GALILEO + EGNOS	4.15(3.36-5.39)	4.34(3.87-5.48)
GPS + GALILEO + EGNOS	2.96(2.52-3.64)	2.94(2.63-3.27)	
<b>Integrity</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Σκιάθος-Κωπαΐδα</b>	<b>Πρέβεζα-Παπαδάτες</b>
	GPS	7,00E-18	8,00E-18
	GPS + EGNOS	3,00E-28	2,00E-33
	GPS + GIOVE	2,00E-19	4,00E-19
	GPS + EGNOS + GIOVE	9,00E-33	4,00E-33
	GPS + GALILEO	7,00E-45	2,00E-44
	GALILEO	1,00E-17	9,00E-17
	GALILEO + EGNOS	4,00E-27	8,00E-26
GPS + GALILEO + EGNOS	4,00E-63	1,00E-67	

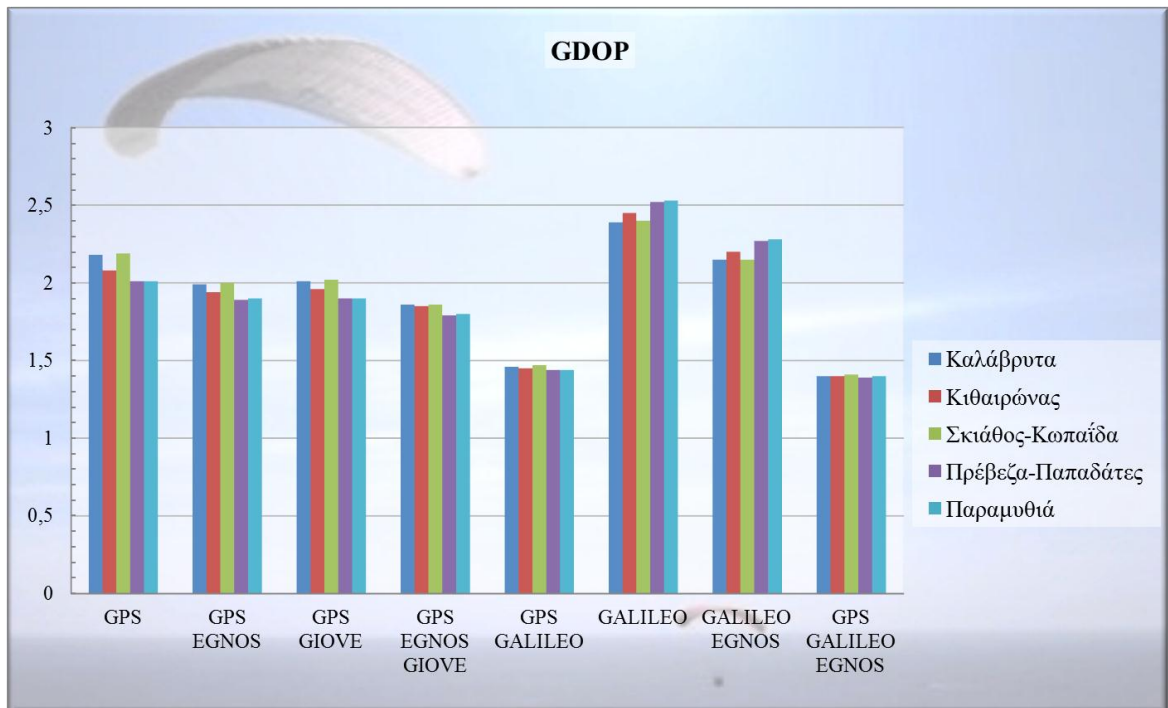
Πίνακας 30 : Αποτελέσματα Διαδρομών Σκιάθος- Κωπαΐδα , Πρέβεζα-Παπαδάτες

<b>Visibility</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Καλάβρυτα</b>	<b>Κιθαιρώνας</b>	<b>Παραμυθιά</b>
	GPS	9.3(7-11)	9.6(9-11)	9.7(9-11)
	GPS + EGNOS	12.3(10-14)	12.6(12-14)	12.7(12-14)
	GPS + GIOVE	10.1(8-12)	9.9(9-12)	10.1(9-12)
	GPS + EGNOS + GIOVE	13.1(11-15)	12.9(12-15)	13.1(12-15)
	GPS + GALILEO	16.8(15-19)	16.4(15-18)	16.5(15-18)
	GALILEO	7.5(6-9)	6.9(6-8)	6.9(6-8)
	GALILEO + EGNOS	10.5(9-12)	9.9(9-11)	9.9(9-11)
GPS + GALILEO + EGNOS	19.8(18-22)	19.4(18-21)	19.5(18-21)	
<b>GDOP</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Καλάβρυτα</b>	<b>Κιθαιρώνας</b>	<b>Παραμυθιά</b>
	GPS	2.18(1.46-3.67)	2.08(1.46-2.42)	2.01(1.6-2.43)
	GPS + EGNOS	1.99(1.41-3.1)	1.94(1.41-2.25)	1.9(1.52-2.25)
	GPS + GIOVE	2.01(1.46-2.96)	1.96(1.46-2.3)	1.9(1.55-2.21)
	GPS + EGNOS + GIOVE	1.86(1.41-2.55)	1.85(1.41-2.17)	1.8(1.45-2.09)
	GPS + GALILEO	1.46(1.19-1.93)	1.45(1.19-1.69)	1.44(1.2-1.69)
	GALILEO	2.39(1.74-3.47)	2.45(1.98-3.47)	2.53(1.91-3.48)
	GALILEO + EGNOS	2.15(1.63-3.21)	2.2(1.83-3.19)	2.28(1.76-3.21)
GPS + GALILEO + EGNOS	1.4(1.15-1.83)	1.4(1.16-1.61)	1.4(1.17-1.61)	
<b>ONSP [m]</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Καλάβρυτα</b>	<b>Κιθαιρώνας</b>	<b>Παραμυθιά</b>
	GPS	5.21(3.91-8.03)	4.92(3.91-5.65)	4.85(4.11-5.7)
	GPS + EGNOS	4.07(3.25-5.76)	3.93(3.25-4.51)	3.92(3.39-4.58)
	GPS + GIOVE	4.47(3.61-5.97)	4.39(3.61-4.91)	4.31(3.8-4.78)
	GPS + EGNOS + GIOVE	3.82(3.24-4.76)	3.82(3.23-4.23)	3.77(3.36-4.09)
	GPS + GALILEO	3.32(2.89-4.11)	3.26(2.88-3.62)	3.27(2.9-3.61)
	GALILEO	4.97(4.06-6.45)	5.02(4.39-6.45)	5.15(4.38-6.45)
	GALILEO + EGNOS	4.16(3.54-5.41)	4.23(3.82-5.39)	4.35(3.87-5.49)
GPS + GALILEO + EGNOS	2.96(2.61-3.6)	2.92(2.61-3.16)	2.94(2.63-3.27)	
<b>Integrity</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Καλάβρυτα</b>	<b>Κιθαιρώνας</b>	<b>Παραμυθιά</b>
	GPS	4,00E-17	5,00E-18	8,00E-18
	GPS + EGNOS	3,00E-28	3,00E-33	2,00E-33
	GPS + GIOVE	4,00E-20	3,00E-19	4,00E-19
	GPS + EGNOS + GIOVE	3,00E-34	5,00E-33	3,00E-33
	GPS + GALILEO	3,00E-46	9,00E-45	2,00E-44
	GALILEO	5,00E-18	9,00E-18	9,00E-17
	GALILEO + EGNOS	4,00E-28	3,00E-27	9,00E-26
GPS + GALILEO + EGNOS	6,00E-62	3,00E-69	1,00E-67	

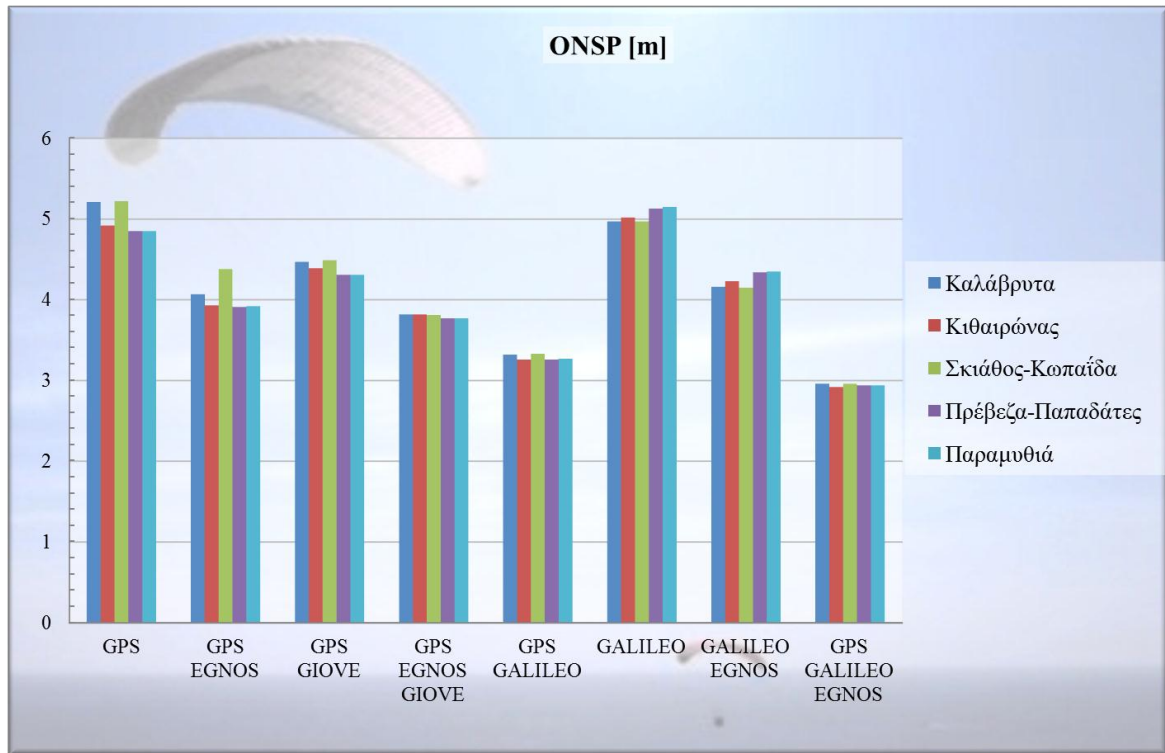
Πίνακας 31 : Αποτελέσματα Διαδρομών Καλάβρυτα, Κιθαιρώνας, Παραμυθιά



Εικόνα 100 : Ορατότητα Δορυφόρων στις Διαδρομές Αεροπλάνων



Εικόνα 101 : Ο Δείκτης GDOP στις Διαδρομές Αεροπλάνων



Εικόνα 102 : Ο Δείκτης ONSP στις Διαδρομές Αεροπλάνων

Από τους πίνακες και τα ιστογράμματα συμπεραίνουμε ότι η χρήση της διπλής συχνότητας μας δίνει πολύ καλύτερη ακρίβεια και ακεραιότητα σε σχέση με τη χρήση μονής συχνότητας, λόγω των χαμηλών πινάκων UERE. Στη περίπτωση της διπλής συχνότητας μειώνεται πολύ το σφάλμα ιονόσφαιρας, εξαλείφεται το σφάλμα καθυστέρησης της δορυφορικής εφημερίδας και το σφάλμα λόγω απόκλισης του σήματος εξ αιτίας της ιονόσφαιρας.

Από το διάγραμμα ONSP (Εικόνα 101) γίνεται φανερό ότι τα συστήματα GPS και Galileo δίνουν περίπου τις ίδιες ακρίβειες, περίπου στα 5m, ο συνδυασμός των δύο δίνει ακρίβεια περίπου στα 3,5m, ενώ η καλύτερη περίπτωση είναι ο συνδυασμός και των τριών συστημάτων που δίνει ακρίβειες κάτω από 3m. Στη περίπτωση της ακεραιότητας οι τιμές όλων των συνδυασμών είναι σχεδόν μηδενικές αφού κυμαίνονται από  $10^{-17}$  έως  $10^{-67}$ .

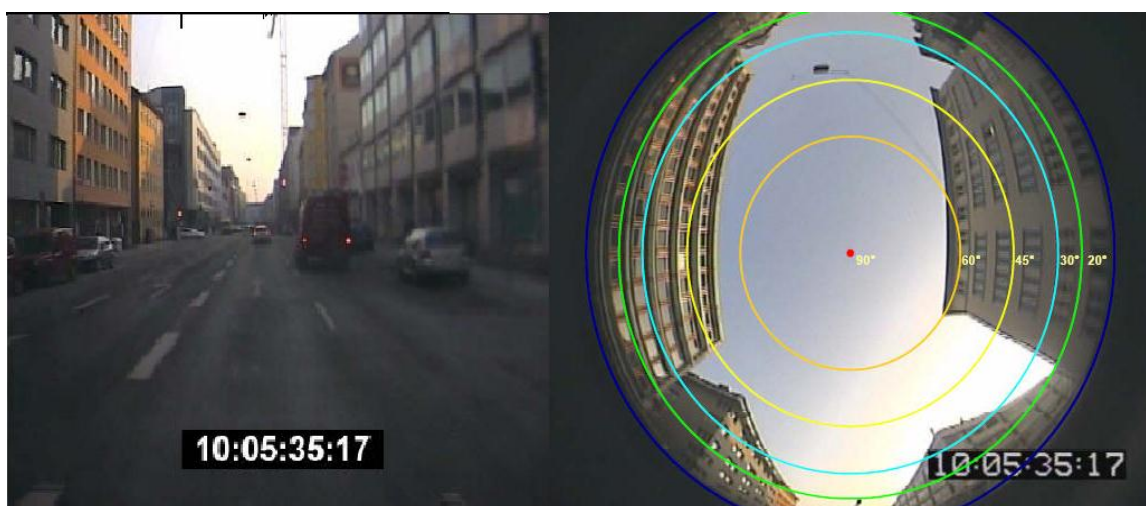
### 3.8.5. Σενάριο 5<sup>ο</sup> : Κινηματικές Πορείες Σε Αστικές Περιοχές

Το επόμενο σενάριο ασχολείται με δύο πορείες σε αστικό περιβάλλον και πιο συγκεκριμένα σε περιοχές της Αθήνας. Στόχος αυτού του σεναρίου είναι η εξέταση των διαφορών ανάμεσα σε μονή και διπλή συχνότητα με περιορισμό όμως στη γωνία ύψους εξ αιτίας της παρουσίας υψηλών κτιρίων.

A/A Σενάριο	Τύπος Χρήστη	Πορείες	Δορυφορικοί Σχηματισμοί	Παράμετροι	Στόχος Σεναρίου
5	Κινηματικός (Αυτοκίνητα σε αστικά περιβάλλοντα)	N.Σμύρνη-ΟΑΚΑ Θησείο-Ψυχικό-Τλιον	GPS	Ορατότητα DOP Ακεραιότητα NSP	Σύγκριση Συστημάτων Λειτουργικότητα Σύγκριση μονής/διπλής Συχνότητας
			GPS + EGNOS		
			GPS + GIOVE		
			GPS + EGNOS + GIOVE		
			GPS + GALILEO		
			GALILEO		
			GALILEO + EGNOS		
			GPS + GALILEO + EGNOS		

Πίνακας 32 : Σενάριο 5<sup>ο</sup>

Συνήθως σε αστικά περιβάλλοντα λόγω των κτιρίων, υψηλών δένδρων δεν είναι ορατός όλος ο ουράνιος θόλος. Ακολουθεί ένα παράδειγμα (Εικόνα 103):



Εικόνα 103 : Όψη του ουράνιου θόλου σε αστικό περιβάλλον

(Πηγή: “Galileo Performance Assessment”, T. Noack, A. Kononaltsev)

Οι προσομοιώσεις των διαδρομών έγιναν την 28/04/10 με περιορισμό στη γωνία ύψους στις 35°. Οι πίνακες UERE που χρησιμοποιήθηκαν ήταν με την L1 συχνότητα στις προσομοιώσεις μονής συχνότητας και με Galileo στις E5a/L1, GPS στις L1/L5 για τις προσομοιώσεις διπλής συχνότητας.

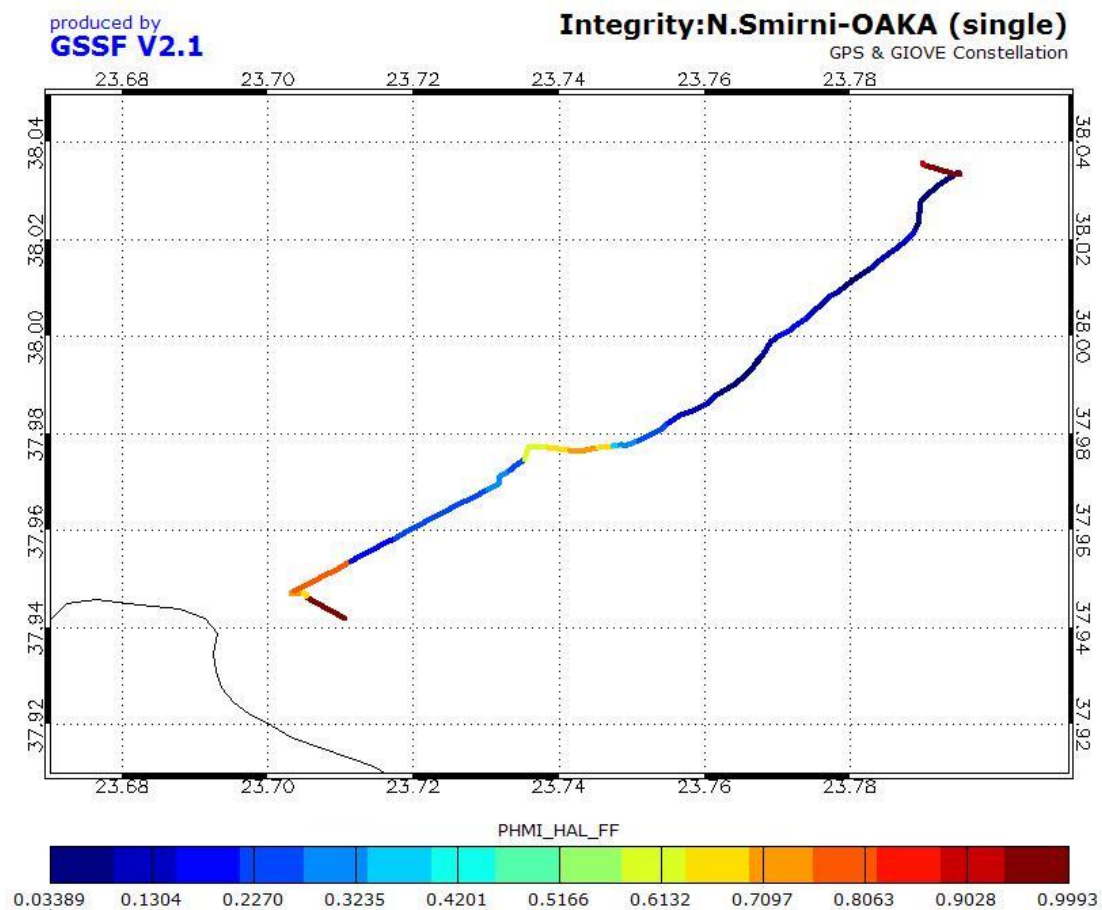


Παρακάτω δίνονται σχετικές πληροφορίες με τις διαδρομές σε αστικά περιβάλλοντα:

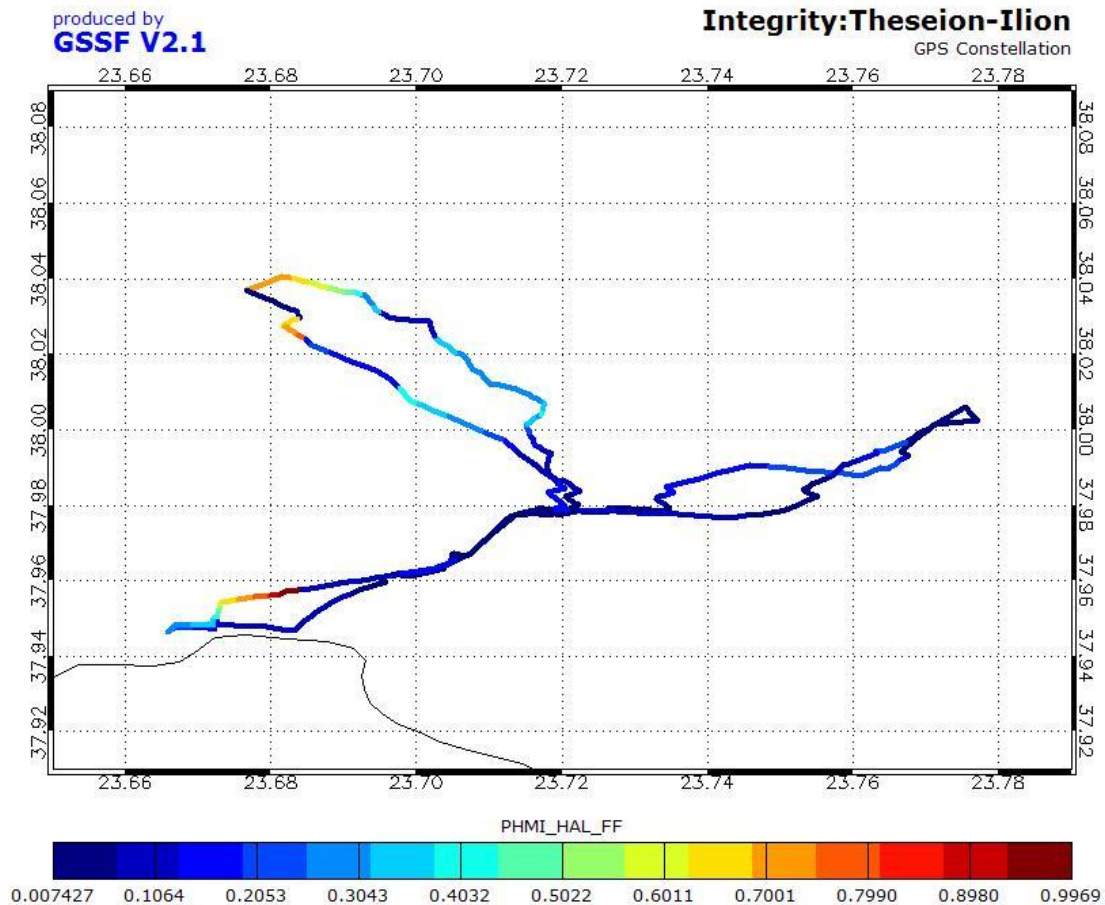
Πορεία	Διάρκεια	Χρονικό Βήμα
N.Σμύρνη-ΟΑΚΑ	3hr 26min	120sec
Θησείο-Γλιον	11hr 16min 40sec	100sec

Πίνακας 33 : Πορείες Διαδρομών σε Αστικό Περιβάλλον

Για την απεικόνιση των διαδρομών δίνονται ενδεικτικά κάποιιοι χάρτες των διαδρομών στα συγκεκριμένα αστικά περιβάλλοντα:



Εικόνα 104 : Ακεραιότητα στη Διαδρομή N.Σμύρνη-ΟΑΚΑ με GPS & GIOVE (μονή συχνότητα)



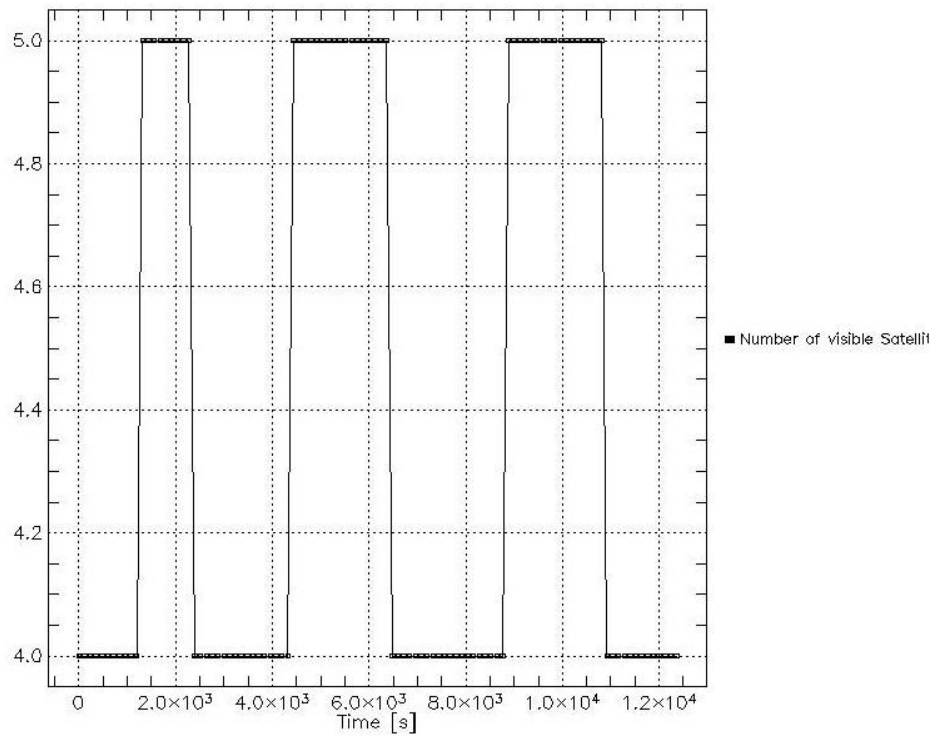
Εικόνα 105 : Ακεραιότητα στη Διαδρομή Θησείο-Ιλιον με GPS (διπλή συχνότητα)

Αξίζει να παρατηρηθεί ότι τα διαγράμματα των ορατοτήτων, DOP, ακρίβειας NSP και ακεραιότητας συνδέονται κατά κάποιον τρόπο. Στα επόμενα διαγράμματα δίνεται ένα παράδειγμα (Εικόνες 106-111). Εκτός του ότι οι καμπύλες έχουν τα ίδια «κοψίματα» ανάλογα με το πόσοι δορυφόροι είναι ορατοί, οι καμπύλες στα διαγράμματα DOP και ακεραιότητας σε μονή και διπλή συχνότητα είναι ίδιες. Το μόνο που αλλάζει είναι οι τιμές του άξονα x.

Οι πολύ ψηλές τιμές σε DOP, NSP και Integrity οφείλονται στο ότι σε εκείνα τα χρονικά διαστήματα είναι ορατοί μόνο τέσσερις δορυφόροι, δηλαδή το ελάχιστο δυνατό ώστε να έχουμε λύση.

produced by  
**GSSF V2.1**

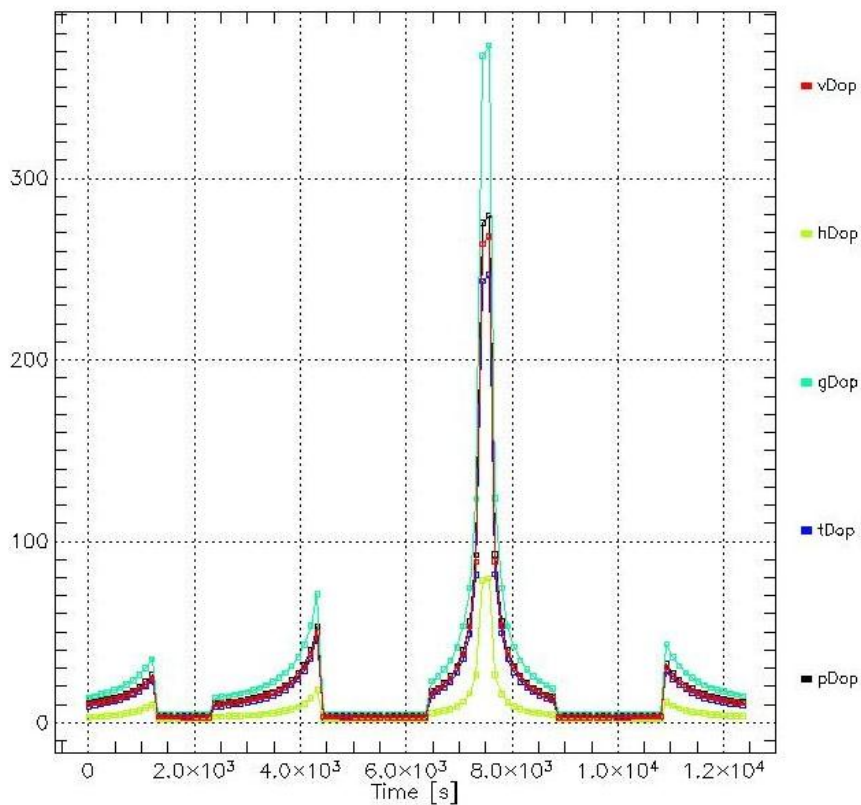
**Visibility:n.Smirni-OAKA**  
Galileo Constellation



Εικόνα 106 : Ορατότητα Δορυφόρων στη Διαδρομή Ν.Σμύρνη-ΟΑΚΑ με Galileo

produced by  
**GSSF V2.1**

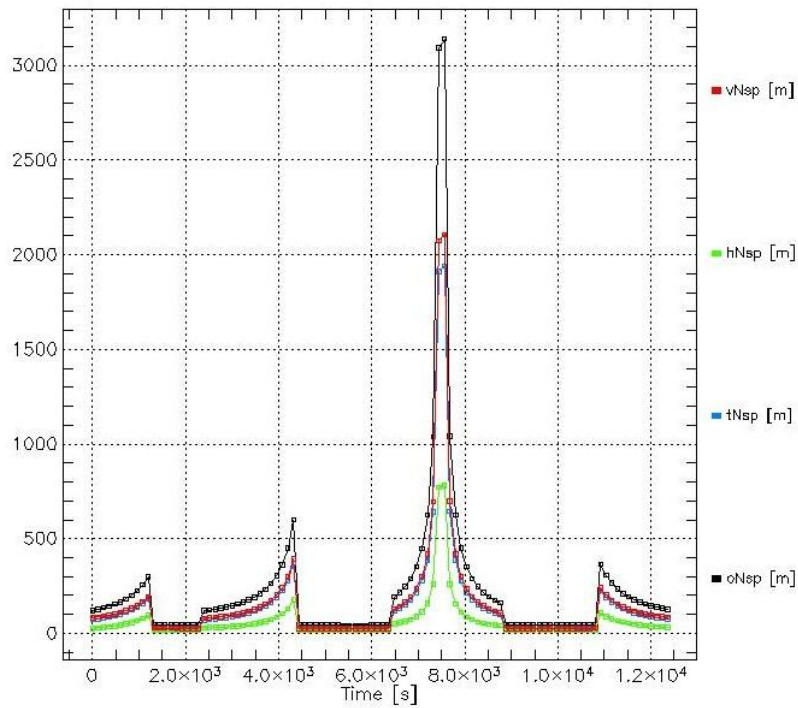
**DOP:N.Smirni-OAKA**  
Galileo Constellation



Εικόνα 107 : Δείκτες DOP στη Διαδρομή Ν.Σμύρνη-ΟΑΚΑ με Galileo

produced by  
**GSSF V2.1**

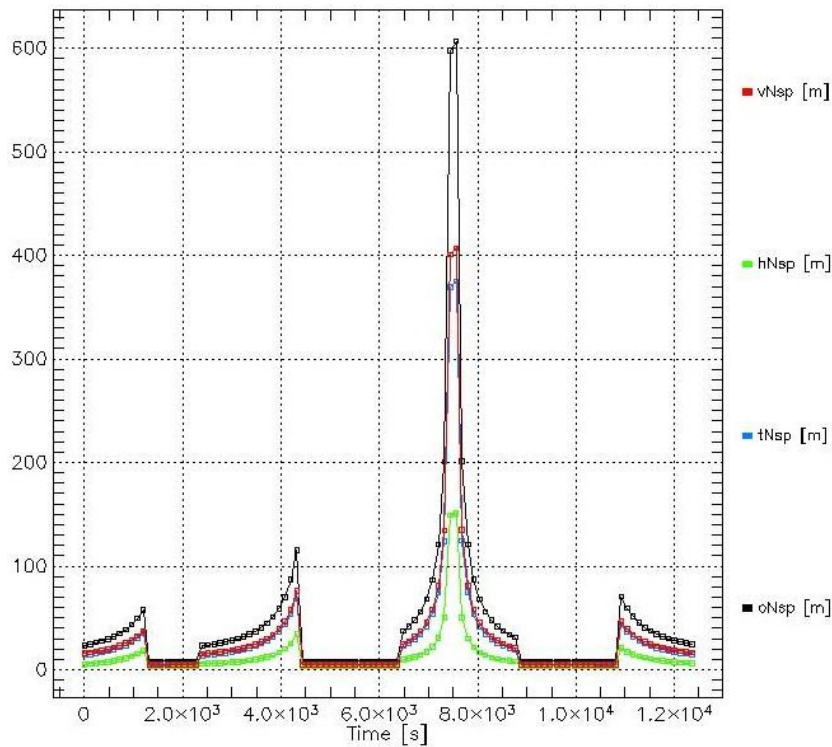
**NSP:N.Smirni-OAKA (single)**  
Galileo Constellation



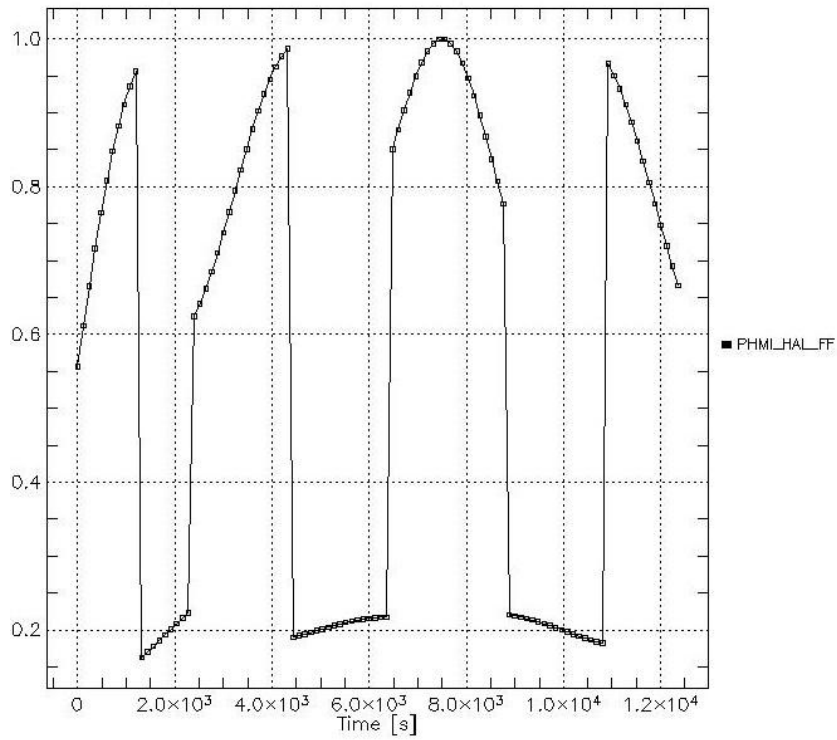
Εικόνα 108 : Δείκτες NSP στη Διαδρομή Ν.Σμύρνη-ΟΑΚΑ με Galileo (μονή συχνότητα)

produced by  
**GSSF V2.1**

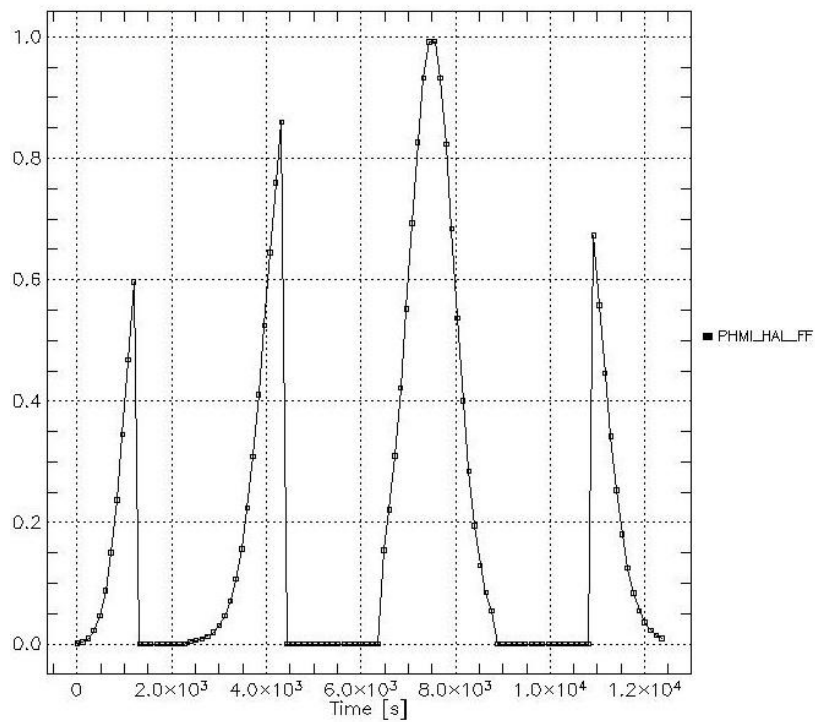
**NSP:N.Smirni-OAKA (dual)**  
Galileo Constellation



Εικόνα 109 : Δείκτες NSP στη Διαδρομή Ν.Σμύρνη-ΟΑΚΑ με Galileo (διπλή συχνότητα)



Εικόνα 110 : Ακεραιότητα στη Διαδρομή Ν.Σμύρνη-ΟΑΚΑ με Galileo (μονή συχνότητα)



Εικόνα 111 : Ακεραιότητα στη Διαδρομή Ν.Σμύρνη-ΟΑΚΑ με Galileo (διπλή συχνότητα)

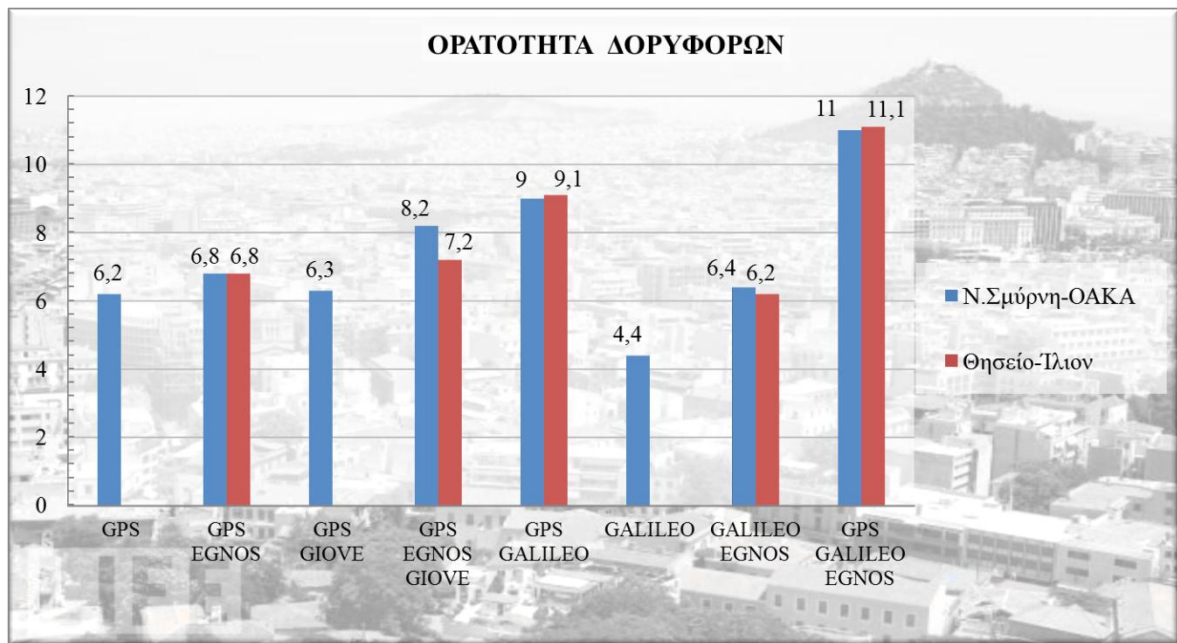
Παρακάτω δίνονται οι σχετικοί πίνακες (Πίνακες 34-36) και ιστογράμματα (Εικόνες 112-117) με τα αποτελέσματα σε μονή και διπλή συχνότητα. Εκεί όπου δεν αναγράφονται τιμές δεν υπήρχε λύση διότι δεν ήταν ορατοί τουλάχιστον τέσσερις δορυφόροι καθ' όλη τη διάρκεια της πορείας λόγω του περιορισμού στις γωνίες ύψους.

Ο πίνακας ορατότητας και DOP είναι κοινός και για τις δύο περιπτώσεις μονής και διπλής συχνότητας αφού αυτοί οι παράμετροι είναι γεωμετρικοί και δεν εξαρτώνται από πίνακες UERE.

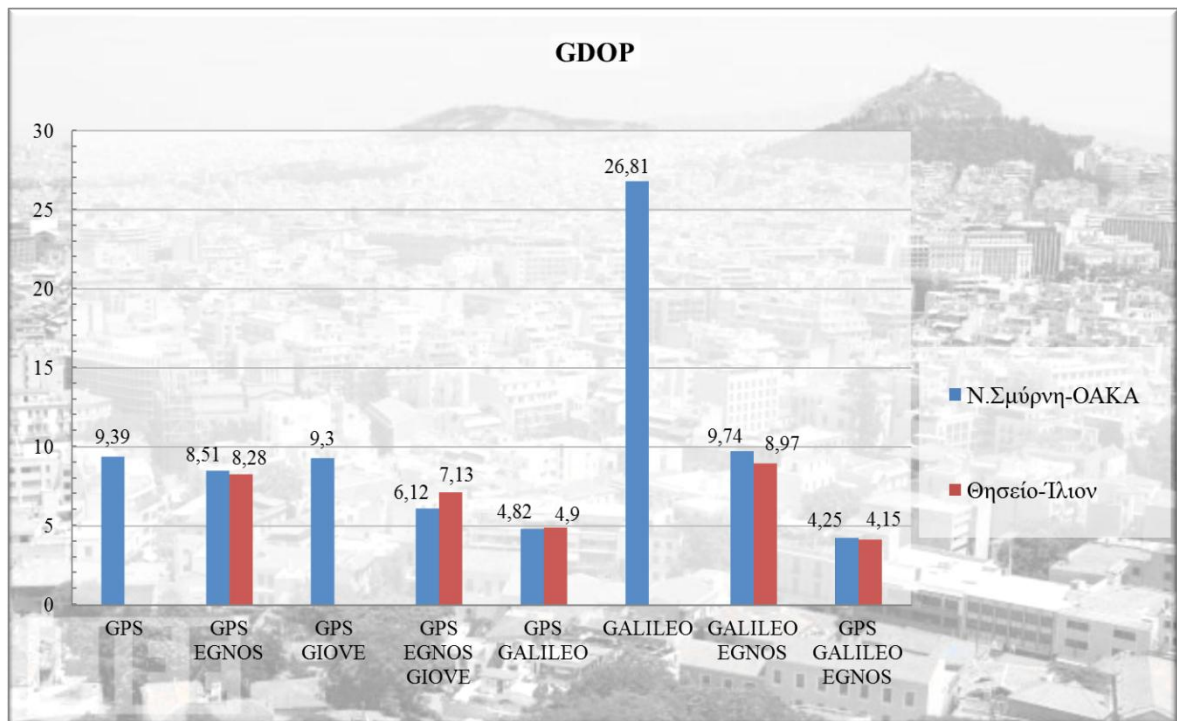
Visibility	Σχηματισμός	N.Σμύρνη-ΟΑΚΑ	Θησείο-Ιλιον
	GPS	6.2(4-7)	-
	GPS + EGNOS	6.8(4-9)	6.8(5-9)
	GPS + GIOVE	6.3(4-8)	-
	GPS + EGNOS + GIOVE	8.2(6-10)	7.2(5-10)
	GPS + GALILEO	9(6-12)	9.1(7-12)
	GALILEO	4.4(4-5)	-
	GALILEO + EGNOS	6.4(6-7)	6.2(5-7)
	GPS + GALILEO + EGNOS	11(8-14)	11.1(9-14)
GDOP	Σχηματισμός	N.Σμύρνη-ΟΑΚΑ	Θησείο-Ιλιον
	GPS	9.39(3.12-90)	-
	GPS + EGNOS	8.51(3.01-58.99)	8.28(3.01-58.97)
	GPS + GIOVE	9.3(3-90)	-
	GPS + EGNOS + GIOVE	6.12(2.88-19.87)	7.13(2.88-19.81)
	GPS + GALILEO	4.82(2.53-14.66)	4.9(2.78-12.67)
	GALILEO	26.81(4.47-373.11)	-
	GALILEO + EGNOS	9.74(4.09-45.01)	8.97(4.06-46.98)
	GPS + GALILEO + EGNOS	4.25(2.46-12.58)	4.15(2.67-8.7)

Πίνακας 34 : Ορατότητα Δορυφόρων και Δείκτες GDOP

Τα δύο πρώτα ιστογράμματα (Εικόνες 112, 113) είναι κοινά και για μονή και για διπλή συχνότητα. Οι δύο διαδρομές δίνουν παραπλήσιες τιμές και στην ορατότητα των δορυφόρων και στο δείκτη γεωμετρίας GDOP. Στη περίπτωση Galileo για τη διαδρομή N.Σμύρνη-ΟΑΚΑ η τιμή GDOP είναι περίπου στο 27, τιμή πολύ μεγαλύτερη από τις υπόλοιπες. Αυτό οφείλεται στο ότι σε αυτή τη περίπτωση ότι σε αυτή τη διαδρομή ορατοί δορυφόροι είναι μόνο τέσσερις, με τους οποίους δεν έχουμε πάντα τη βέλτιστη γεωμετρία.



Εικόνα 112 : Ορατότητα Δορυφόρων σε Διαδρομές σε Αστικά Περιβάλλοντα



Εικόνα 113 : Ο Δείκτης GDOP σε Διαδρομές σε Αστικά Περιβάλλοντα

		<b>Dual frequency</b>	
<b>ONSP</b> <b>[m]</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Ν.Σμύρνη-ΟΑΚΑ</b>	<b>Θησείο-Ίλιον</b>
	GPS	19.46(6.71-211.41)	-
	GPS + EGNOS	14.42(5.39-100.23)	14.08(5.39-100.06)
	GPS + GIOVE	17.72(5.91-193.73)	-
	GPS + EGNOS + GIOVE	10.44(5.18-32.44)	12.13(5.18-32.34)
	GPS + GALILEO	9.08(4.95-26.03)	9.17(5.4-22.46)
	GALILEO	44.09(8.03-606.76)	-
	GALILEO + EGNOS	15.2(6.73-68.26)	14.25(6.73-71.39)
	GPS + GALILEO + EGNOS	7.35(4.4-20.5)	7.18(4.75-14.27)
<b>Integrity</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Ν.Σμύρνη-ΟΑΚΑ</b>	<b>Θησείο-Ίλιον</b>
	GPS	0.064(5E-17-0.99)	-
	GPS + EGNOS	0.026(3E-28-0.93)	0.037(1E-28-0.93)
	GPS + GIOVE	0.06(1E-23-0.99)	-
	GPS + EGNOS + GIOVE	0.0044(1E-35-0.099)	0.01(1E-35-0.23)
	GPS + GALILEO	0.0004(1E-40-0.065)	0.00012(4E-30-0.017)
	GALILEO	0.18(9E-10-0.99)	-
	GALILEO + EGNOS	0.051(1E-15-0.69)	0.038(3E-27-0.72)
	GPS + GALILEO + EGNOS	5E-5(2E-49-0.02)	3E-10(2E-48-7E-8)

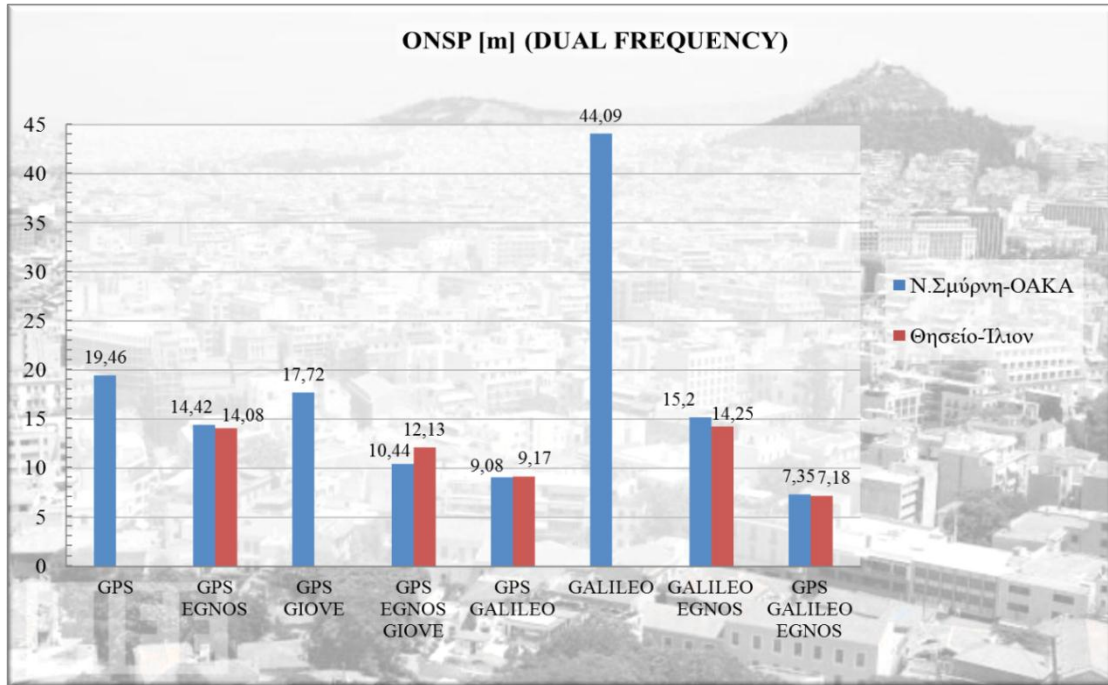
Πίνακας 35 : Δείκτης ONSP και Ακεραιότητα για Δέκτες Διπλής Συχνότητας

		<b>Single frequency</b>	
<b>ONSP</b> <b>[m]</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Ν.Σμύρνη-ΟΑΚΑ</b>	<b>Θησείο-Ίλιον</b>
	GPS	103.4(37.04-1083.64)	-
	GPS + EGNOS	21.58(8.22-163.07)	21.17(8.22-161.83)
	GPS + GIOVE	93.38(32.14-998.47)	-
	GPS + EGNOS + GIOVE	18.34(9.3-54.41)	21.86(9.3-54.23)
	GPS + GALILEO	48.2(26.91-135.22)	48.65(29.36-118.38)
	GALILEO	228.63(42.56-3139.8)	-
	GALILEO + EGNOS	23.41(10.64-106.12)	22.48(10.64-112.05)
	GPS + GALILEO + EGNOS	13.16(8.03-35.53)	12.86(8.74-24.81)
<b>Integrity</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Ν.Σμύρνη-ΟΑΚΑ</b>	<b>Θησείο-Ίλιον</b>
	GPS	0.41(0.1-0.999)	-
	GPS + EGNOS	0.026(3E-28-0.93)	0.047(2E-18-0.96)
	GPS + GIOVE	0.35(0.033-0.999)	-
	GPS + EGNOS + GIOVE	0.016(1E-17-0.27)	0.032(1E-17-0.48)
	GPS + GALILEO	0.127(0.002-0.8)	0.1(0.0058-0.73)
	GALILEO	0.58(0.16-0.999)	-
	GALILEO + EGNOS	0.075(5E-10-0.79)	0.055(6E-16-0.81)
	GPS + GALILEO + EGNOS	0.00046(9E-24-0.11)	9E-7(3E-23-0.00011)

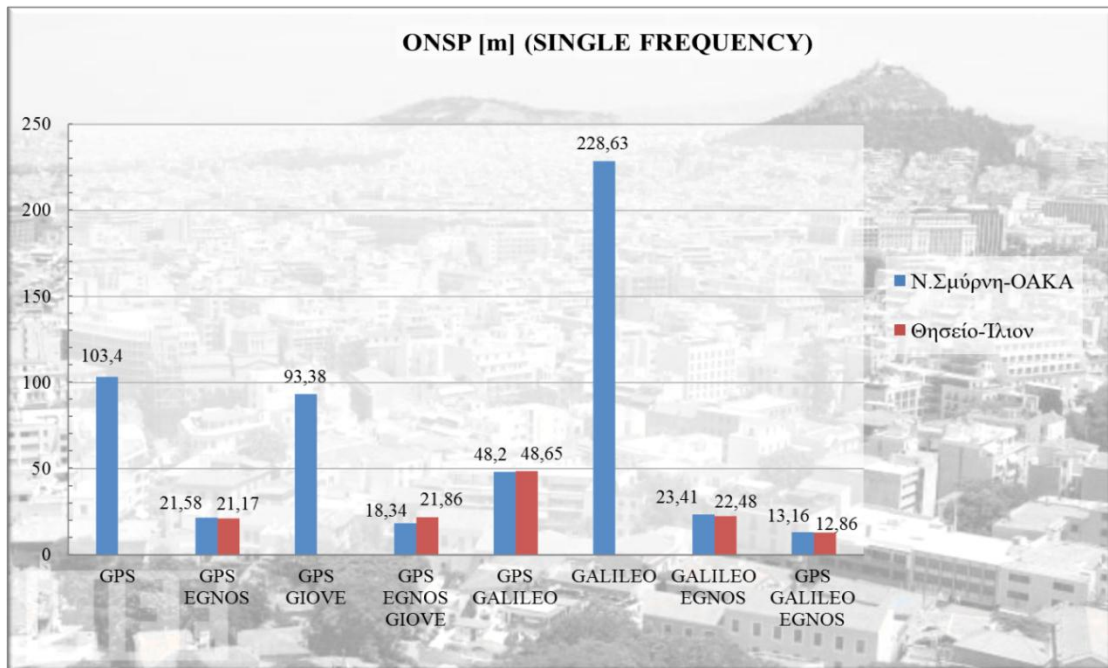
Πίνακας 36 : Δείκτης ONSP και Ακεραιότητα για Δέκτες Μονής Συχνότητας



Όπως ήταν αναμενόμενο οι τιμές με διπλή συχνότητα είναι καλύτερες από ότι με μονή. Το GPS και το Galileo μόνα τους σε μονή συχνότητα δίνουν ακρίβεια της τάξης των 100m και 200m αντίστοιχα, ενώ με διπλή συχνότητα της τάξης των 20m και 44m. Για τους συνδυασμούς GPS & Galileo & EGNOS και GPS & Galileo οι τιμές σε διπλή συχνότητα κυμαίνονται περίπου στα 7m ενώ σε μονή συχνότητα περίπου στα 13m (Εικόνες 114, 115).

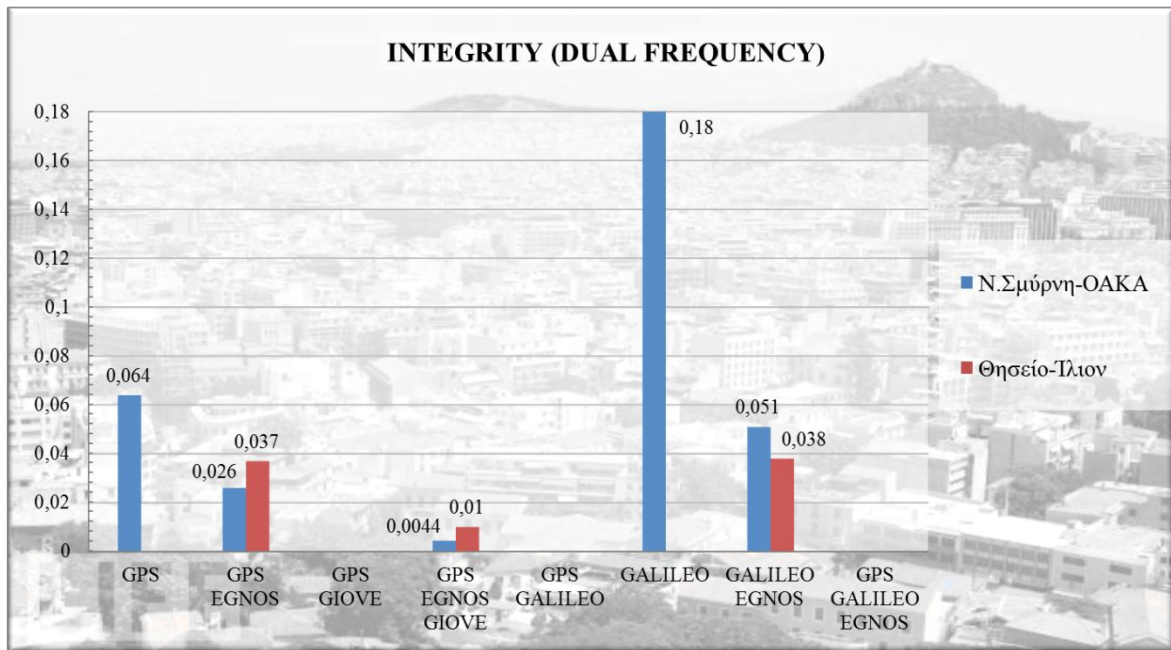


Εικόνα 114 : Ο Δείκτης ONSP σε Δέκτες Διπλής Συχνότητας

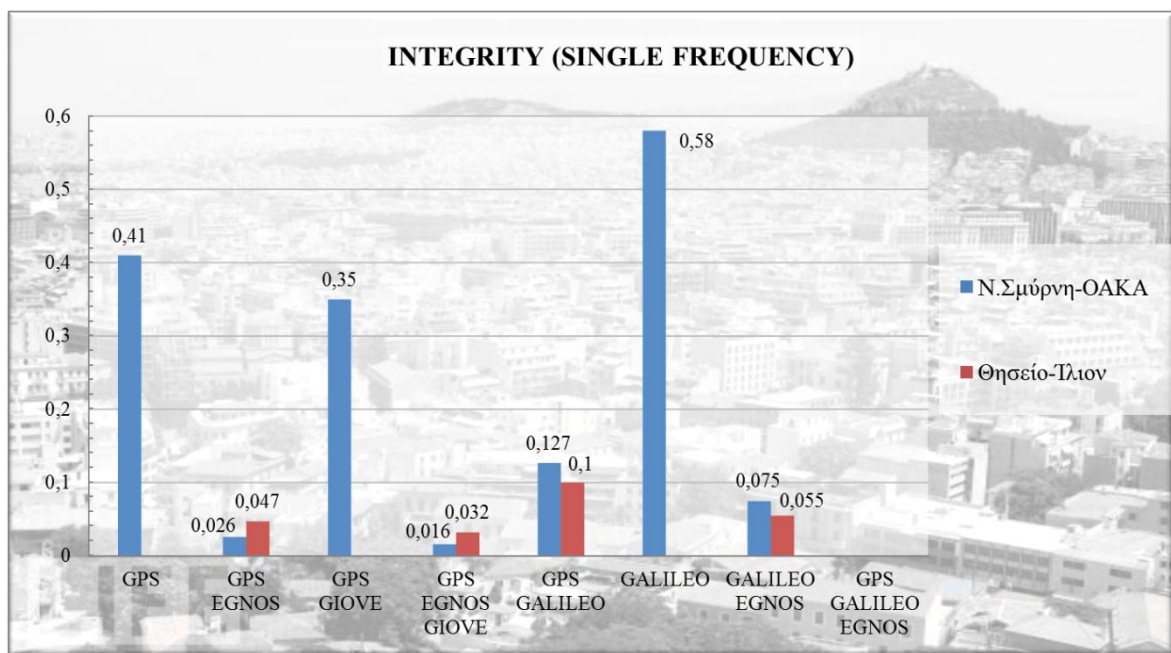


Εικόνα 115 : Ο Δείκτης ONSP σε Δέκτες Μονής Συχνότητας

Στα ιστογράμματα της ακεραιότητας παρατηρούμε ότι σε μονή συχνότητα οι πιθανότητες κυμαίνονται από 0,35-0,6 για τα συστήματα GPS, Galileo, GPS & GIOVE ενώ για GPS & Galileo και για όλους τους συνδυασμούς με το EGNOS κυμαίνονται από  $0,1 \cdot 10^{-7}$ . Για διπλή συχνότητα οι τιμές είναι της τάξης των εκατοστών και λιγότερο εκτός από τη περίπτωση του Galileo (Εικόνες 116, 117).



Εικόνα 116 : Ακεραιότητα σε Δέκτες Διπλής Συχνότητας



Εικόνα 117 : Ακεραιότητα σε Δέκτες Μονής Συχνότητας

### 3.8.6. Σενάριο 6<sup>ο</sup> : Κινηματικές Πορείες Σε Ηπειρωτικές Περιοχές

Στο 6<sup>ο</sup> σενάριο προσομοιώθηκε μία εκτεταμένη διαδρομή με αρχή στην Καστοριά και τερματισμό στο Λιδωρίκι. Η διαδρομή αυτή παρουσιάζει πολλές εναλλαγές στο τοπίο και τη μορφολογία του εδάφους. Άλλες περιοχές είναι ορεινές και άλλες πεδινές. Για αυτό το λόγο η πορεία «σπάστηκε» σε επιμέρους μικρότερες και εφαρμόστηκαν σε κάθε τμήμα ξεχωριστά διαφορετικοί περιορισμοί στη γωνία ύψους (Πίνακας 37). Η έναρξη της προσομοίωσης της πορείας ήταν η ημέρα της 28/04/10.

A/A Σενάριο	Τύπος Χρήστη	Πορείες	Δορυφορικοί Σχηματισμοί	Παράμετροι	Στόχος Σεναρίου
6	Κινηματικός (Αυτοκίνητα σε αγροτικά περιβάλλοντα)	Καστοριά-Κόνιτσα- Ιωάννινα-Σαγιάδα- Ηγουμενίτσα- Πρέβεζα- Μεσολόγγι- Λιδωρίκι	GPS	Ορατότητα DOP Ακεραιότητα NSP	Σύγκριση Συστημάτων & Λειτουργικότητα
			GPS + EGNOS		
			GPS + GIOVE		
			GPS + EGNOS + GIOVE		
			GPS + GALILEO		
			GALILEO		
			GALILEO + EGNOS		
			GPS + GALILEO + EGNOS		

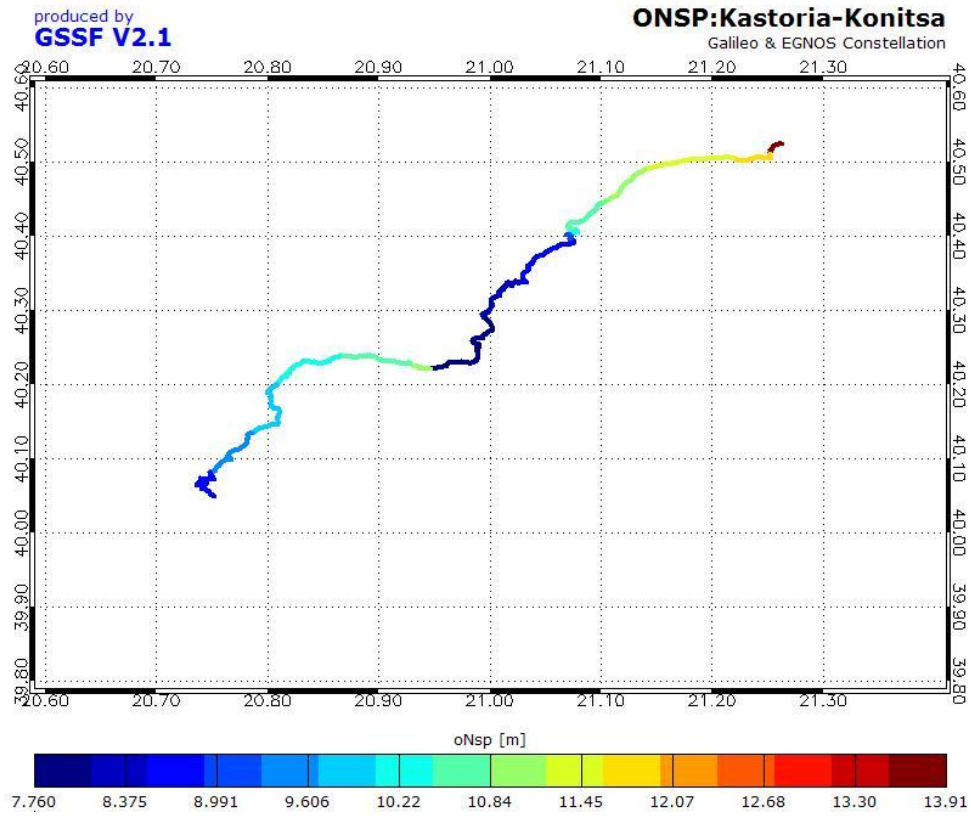
Πίνακας 37 : Σενάριο 6ο

Στο παρακάτω πίνακα αναγράφονται τα χαρακτηριστικά κάθε επιμέρους τμήματος της διαδρομής, η διάρκεια, το χρονικό βήμα καθώς και οι περιορισμοί στις γωνίες ανύψωσης.

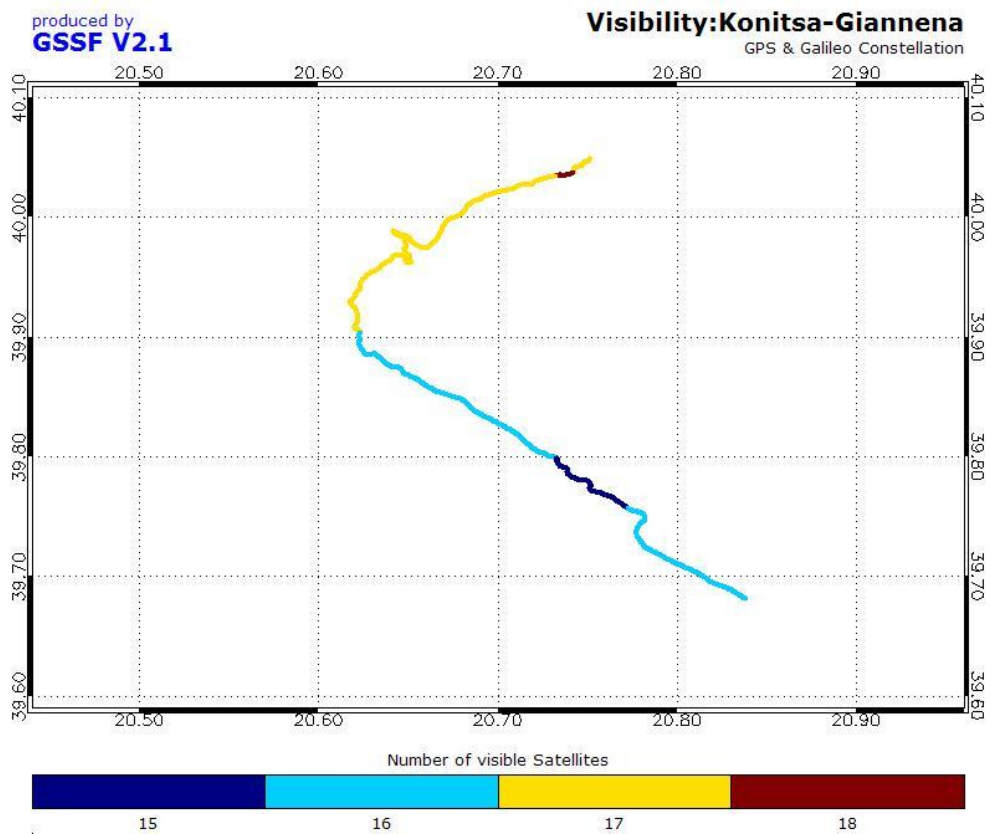
Πορεία	Διάρκεια	Χρονικό Βήμα	Γωνία Ύψους
<b>Καστοριά -Κόνιτσα</b>	2hr 5min 15sec	5sec	25
<b>Κόνιτσα-Γιάννενα</b>	1hr 6min 35sec	5sec	10
<b>Γιάννενα-Σαγιάδα</b>	2hr 6min 5sec	5sec	30
<b>Σαγιάδα-Πρέβεζα</b>	2hr 2min 30sec	5sec	15
<b>Πρέβεζα-Μεσολόγγι</b>	1hr 56min 55sec	5sec	10
<b>Μεσολόγγι-Λιδωρίκι</b>	2hr 43 min 15sec	5sec	20

Πίνακας 38 : Πορείες Διαδρομών σε Ηπειρωτικές Περιοχές

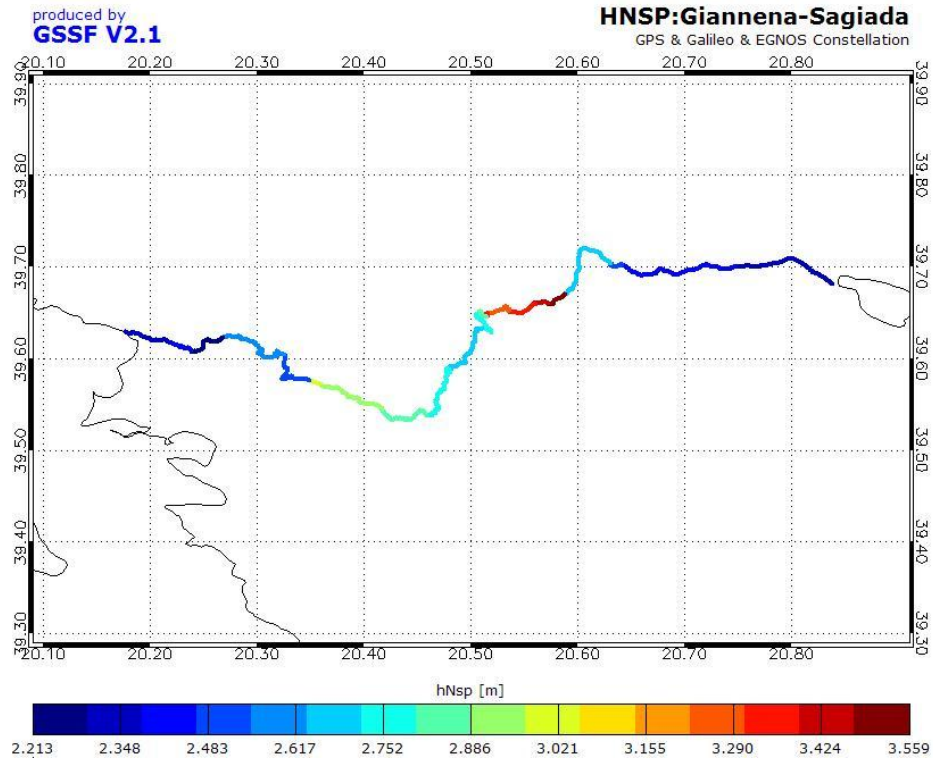
Τα επιμέρους τμήματα της διαδρομής που έγινε απεικονίζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν (Εικόνες 118-123).



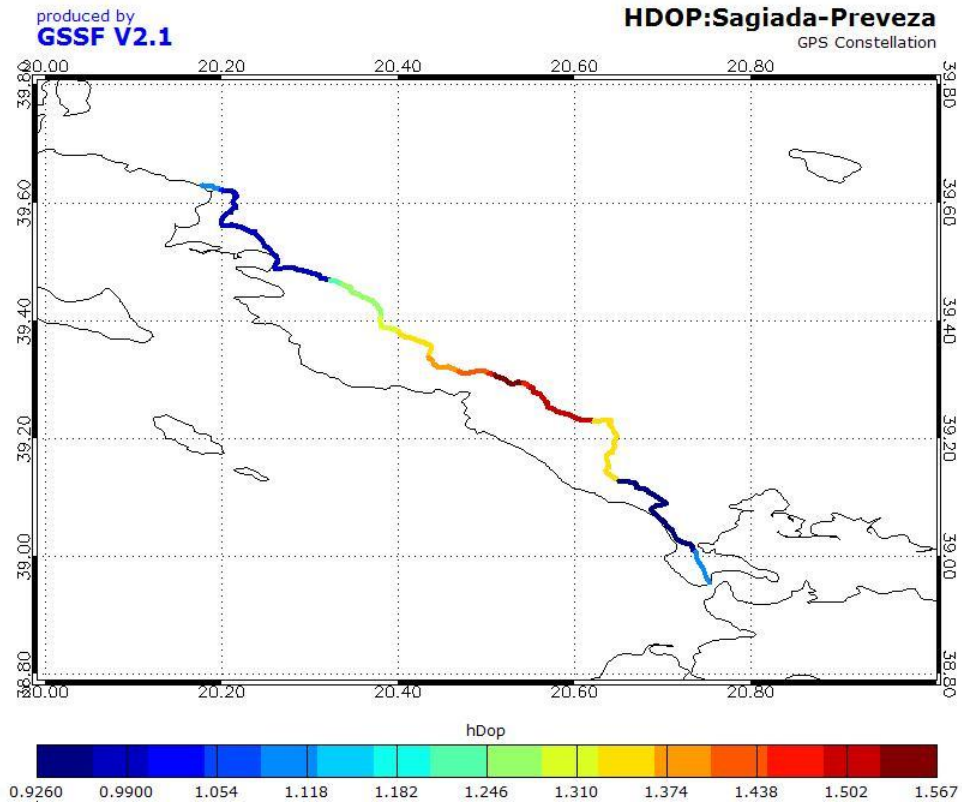
Εικόνα 118 : Δείκτης ONSP στο Τμήμα Καστοριά-Κόνιτσα με Galileo & EGNOS



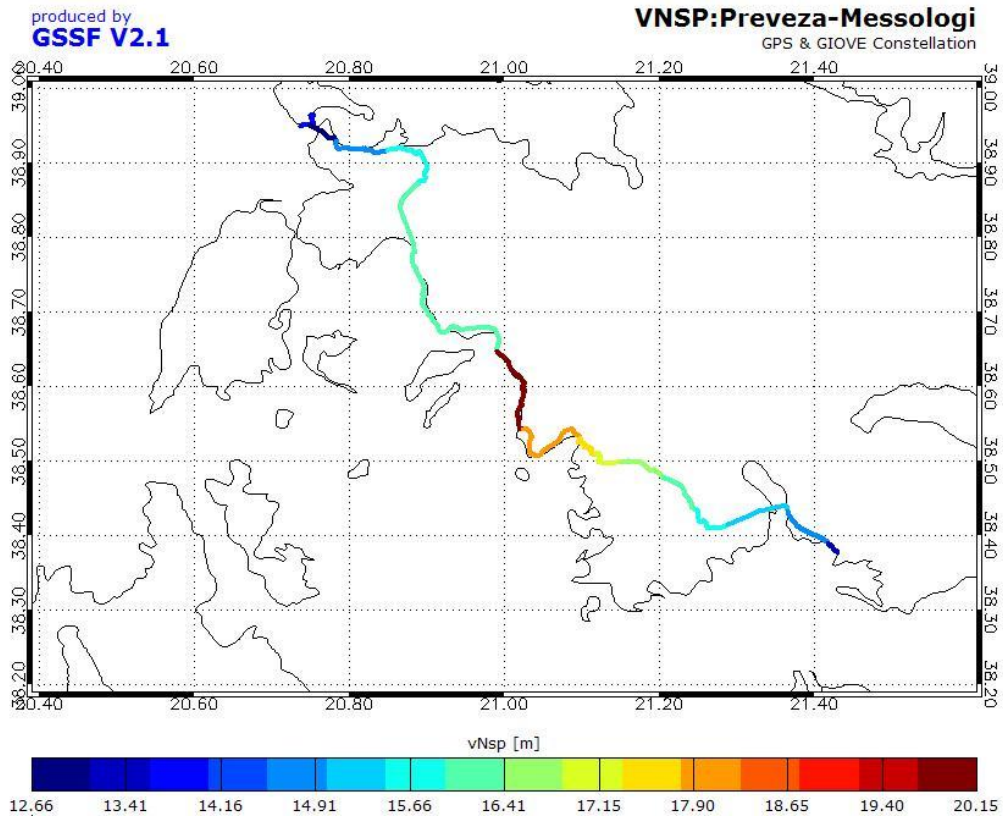
Εικόνα 119 : Ορατότητα στο Τμήμα Κόνιτσα-Γιάννενα με GPS & Galileo



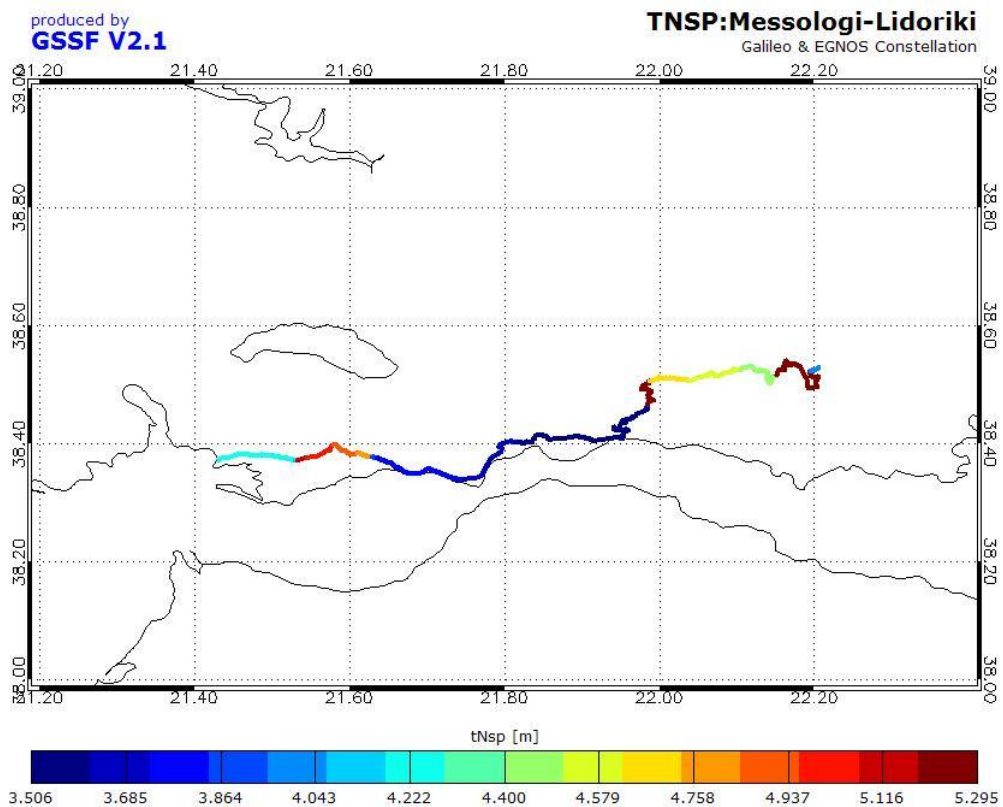
Εικόνα 120 : Δείκτης HNSP στο Τμήμα Γιάννενα-Σαγράδα με GPS & Galileo & EGNOS



Εικόνα 121 : Δείκτης HDOP στο Τμήμα Σαγιάδα-Πρέβεζα με GPS



Εικόνα 122 : Δείκτης VNSP στο Τμήμα Πρέβεζα-Μεσολόγγι με GPS & GIOVE



Εικόνα 123 : Δείκτης TNSP στο Τμήμα Μεσολόγγι-Λιδωρίκι με Galileo & EGNOS

Στη συνέχεια δίνονται οι πίνακες (Πίνακας 39-41) με τα αποτελέσματα της διαδρομής και των επιμέρους τμημάτων.

<b>Visibility</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Καστοριά -Κόνιτσα</b>	<b>Κόνιτσα-Γιάννενα</b>
	GPS	7.1(6-8)	9.6(9-11)
	GPS + EGNOS	10.2(9-11)	12.6(12-14)
	GPS + GIOVE	7.2(6-8)	10.6(10-12)
	GPS + EGNOS + GIOVE	10.2(9-11)	13.6(13-15)
	GPS + GALILEO	12.6(11-14)	16.4(15-18)
	GALILEO	5.4(4-6)	6.7(6-7)
	GALILEO + EGNOS	8.4(7-9)	9.7(9-10)
GPS + GALILEO + EGNOS	15.6(14-17)	19.4(18-21)	
<b>GDOP</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Καστοριά -Κόνιτσα</b>	<b>Κόνιτσα-Γιάννενα</b>
	GPS	3.69(2.62-7.45)	2.16(1.64-2.58)
	GPS + EGNOS	3.19(2.45-4.89)	1.92(1.52-2.16)
	GPS + GIOVE	3.69(2.62-7.45)	2.06(1.55-2.48)
	GPS + EGNOS + GIOVE	3.19(2.45-4.89)	1.84(1.45-2.08)
	GPS + GALILEO	2.44(1.90-3.12)	1.53(1.24-1.97)
	GALILEO	4.26(3.33-14.99)	2.48(2.13-3.48)
	GALILEO + EGNOS	3.49(2.59-5.06)	2.18(1.98-2.66)
GPS + GALILEO + EGNOS	2.27(1.78-3.01)	1.43(1.19-1.71)	
<b>ONSP [m]</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Καστοριά -Κόνιτσα</b>	<b>Κόνιτσα-Γιάννενα</b>
	GPS	43.59(33.55-80.99)	29.48(24.54-33.63)
	GPS + EGNOS	8.95(7.4-12.76)	6.6(6.03-7.02)
	GPS + GIOVE	39.93(30.87-73.05)	24.58(20.95-28.11)
	GPS + EGNOS + GIOVE	10.75(8.88-15.32)	7.53(6.85-8.04)
	GPS + GALILEO	26.86(22.34-32.47)	19.77(17.67-22.72)
	GALILEO	41.59(34.14-129.46)	28.61(26.45-34.44)
	GALILEO + EGNOS	9.68(7.76-13.91)	7.1(6.8-7.68)
GPS + GALILEO + EGNOS	7.76(6.53-9.64)	5.91(5.57-6.28)	
<b>Integrity</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Καστοριά -Κόνιτσα</b>	<b>Κόνιτσα-Γιάννενα</b>
	GPS	0.2(0.06-0.45)	0.041(0.011-0.088)
	GPS + EGNOS	6E-8(1E-19-2E-6)	1E-22(7E-35-4E-21)
	GPS + GIOVE	0.15(0.032-0.38)	0.0078(0.002-0.018)
	GPS + EGNOS + GIOVE	1E-6(1E-15-4E-5)	2E-23(3E-31-8E-22)
	GPS + GALILEO	0.014(0.0016-0.069)	0.00055(9E-5-0.0025)
	GALILEO	0.13(0.022-0.59)	0.023(0.014-0.05)
	GALILEO + EGNOS	2E-11(3E-19-3E-10)	2E-18(2E-20-2E-17)
GPS + GALILEO + EGNOS	6E-14(2E-28-3E-12)	1E-30(1E-39-2E-29)	

Πίνακας 39 : Αποτελέσματα για τις Διαδρομές Καστοριά-Κόνιτσα και Κόνιτσα-Γιάννενα

<b>Visibility</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Γιάννενα-Σαγιάδα</b>	<b>Σαγιάδα-Πρέβεζα</b>
	GPS	5.5(4-7)	7.1(5-8)
	GPS + EGNOS	8.5(7-10)	10.1(8-11)
	GPS + GIOVE	6.5(5-8)	8.1(6-9)
	GPS + EGNOS + GIOVE	9.5(8-11)	11.1(9-12)
	GPS + GALILEO	10.1(8-13)	15.2(12-17)
	GALILEO	4.6(4-6)	8.2(7-9)
	GALILEO + EGNOS	7.6(7-9)	11.2(10-12)
GPS + GALILEO + EGNOS	13.1(11-16)	18.2(15-20)	
<b>GDOP</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Γιάννενα-Σαγιάδα</b>	<b>Σαγιάδα-Πρέβεζα</b>
	GPS	19.9(2.9-270.66)	2.9(1.87-4.35)
	GPS + EGNOS	3.53(2.6-5.42)	2.55(1.76-3.61)
	GPS + GIOVE	15.03(2.81-60.09)	2.66(1.84-4.17)
	GPS + EGNOS + GIOVE	3.34(2.53-5.26)	2.38(1.75-3.38)
	GPS + GALILEO	3.78(2.18-11.79)	1.79(1.41-2.47)
	GALILEO	7.83(3.42-23.72)	2.77(2.21-3.37)
	GALILEO + EGNOS	4.43(2.63-5.21)	2.49(1.97-3.00)
GPS + GALILEO + EGNOS	2.8(1.95-3.57)	1.7(1.37-2.31)	
<b>ONSP</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Γιάννενα-Σαγιάδα</b>	<b>Σαγιάδα-Πρέβεζα</b>
	GPS	210.07(35.52-2766.89)	38.51(26.95-53.37)
	GPS + EGNOS	9.63(7.32-13.08)	8.3(6.22-10.62)
	GPS + GIOVE	144.45(30.76-556.94)	32.67(24.87-46.15)
	GPS + EGNOS + GIOVE	10.92(8.42-15.22)	9.25(7.4-11.95)
	GPS + GALILEO	38.85(24.06-109.4)	22.76(18.79-29.13)
	GALILEO	71.45(34.14-202.07)	33.03(29.51-39.33)
	GALILEO + EGNOS	12(7.67-14.55)	8.24(7.41-9.47)
GPS + GALILEO + EGNOS	9.24(6.71-11.02)	6.86(5.79-8.57)	
<b>Integrity</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Γιάννενα-Σαγιάδα</b>	<b>Σαγιάδα-Πρέβεζα</b>
	GPS	0.6(0.049-0.999)	0.1(0.022-0.23)
	GPS + EGNOS	2E-7(2E-22-9E-6)	6E-16(5E-26-6E-15)
	GPS + GIOVE	0.53(0.018-0.98)	0.049(0.01-0.14)
	GPS + EGNOS + GIOVE	2E-6(5E-20-9E-5)	5E-13(2E-20-6E-12)
	GPS + GALILEO	0.029(0.0014-0.54)	0.0019(7E-5-0.0087)
	GALILEO	0.27(0.025-0.86)	0.042(0.01-0.097)
	GALILEO + EGNOS	9E-8(1E-18-1E-6)	2E-22(1E-31-4E-21)
GPS + GALILEO + EGNOS	2E-12(1E-28-1E-10)	2E-26(5E-40-2E-25)	

Πίνακας 40 : Αποτελέσματα για τις Διαδρομές Γιάννενα-Σαγιάδα και  
Σαγιάδα-Πρέβεζα

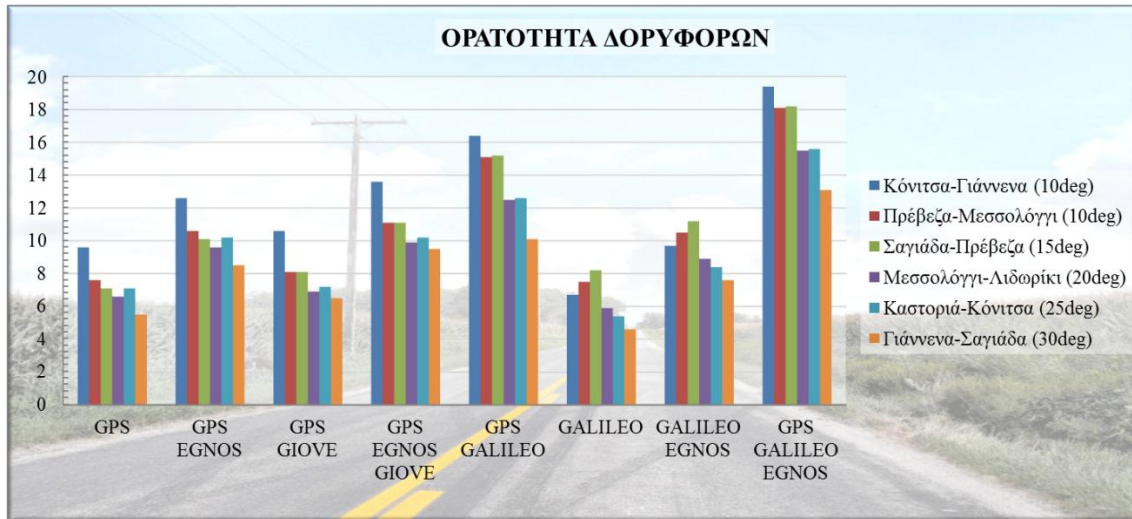


<b>Visibility</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Πρέβεζα-Μεσολόγγι</b>	<b>Μεσολόγγι-Λιδωρίκι</b>
	GPS	7.6(7-9)	6.6(5-8)
	GPS + EGNOS	10.6(10-12)	9.6(8-11)
	GPS + GIOVE	8.1(7-10)	6.9(5-9)
	GPS + EGNOS + GIOVE	11.1(10-13)	9.9(8-12)
	GPS + GALILEO	15.1(14-18)	12.5(10-14)
	GALILEO	7.5(6-9)	5.9(5-7)
	GALILEO + EGNOS	10.5(9-12)	8.9(8-10)
GPS + GALILEO + EGNOS	18.1(17-21)	15.5(13-17)	
<b>GDOP</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Πρέβεζα-Μεσολόγγι</b>	<b>Μεσολόγγι-Λιδωρίκι</b>
	GPS	2.42(1.64-2.92)	3.77(2.14-10.13)
	GPS + EGNOS	2.19(1.54-2.55)	3.13(1.95-6.98)
	GPS + GIOVE	2.3(1.62-2.92)	3.52(2.14-10.13)
	GPS + EGNOS + GIOVE	2.1(1.53-2.55)	3.00(1.95-6.98)
	GPS + GALILEO	1.55(1.23-1.81)	2.17(1.72-3.63)
	GALILEO	2.39(1.93-3.47)	3.65(3.01-4.64)
	GALILEO + EGNOS	2.25(1.85-3.14)	3.05(2.43-3.91)
GPS + GALILEO + EGNOS	1.49(1.2-1.67)	2.02(1.64-3.18)	
<b>ONSP [m]</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Πρέβεζα-Μεσολόγγι</b>	<b>Μεσολόγγι-Λιδωρίκι</b>
	GPS	31.92(25-37.08)	46.02(29.72-109.75)
	GPS + EGNOS	7.06(5.95-7.86)	9.28(6.48-18.64)
	GPS + GIOVE	28.58(23.28)	39.94(27.79-99.38)
	GPS + EGNOS + GIOVE	8.29(7.08-9.44)	10.83(7.83-22.54)
	GPS + GALILEO	20.03(17.26-22.25)	25.06(21.56-36.74)
	GALILEO	28.71(25.56-35.29)	36.71(33.04-45.16)
	GALILEO + EGNOS	7.52(6.88-8.99)	8.7(7.5-10.41)
GPS + GALILEO + EGNOS	6.13(5.42-6.59)	7.32(6.42-10.15)	
<b>Integrity</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Πρέβεζα-Μεσολόγγι</b>	<b>Μεσολόγγι-Λιδωρίκι</b>
	GPS	0.09(0.018-0.18)	0.17(0.011-0.47)
	GPS + EGNOS	2E-18(5E-28-2E-17)	1E-9(8E-31-2E-7)
	GPS + GIOVE	0.051(0.011-0.13)	0.12(0.0048-0.39)
	GPS + EGNOS + GIOVE	9E-15(1E-21-1E-13)	5E-8(5E-25-5E-6)
	GPS + GALILEO	0.00067(4E-5-0.0017)	0.0047(0.00028-0.019)
	GALILEO	0.019(0.0098-0.05)	0.081(0.02-0.21)
	GALILEO + EGNOS	1E-17(6E-25-4E-16)	4E-11(1E-26-2E-9)
GPS + GALILEO + EGNOS	5E-28(6E-43-2E-26)	5E-22(7E-35-7E-20)	

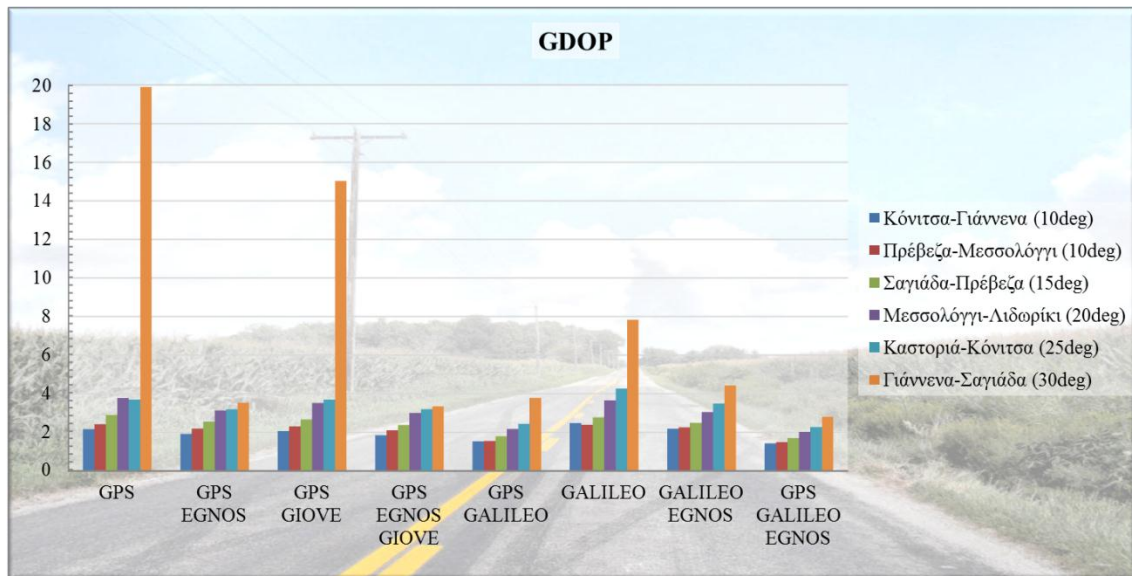
Πίνακας 41 : Αποτελέσματα για τις Διαδρομές Πρέβεζα-Μεσολόγγι και  
Μεσολόγγι-Λιδωρίκι

Στα ιστογράμματα τα τμήματα ταξινομήθηκαν με βάση τη γωνία ύψους για να είναι πιο κατανοητά τα αποτελέσματα και πιο συγκρίσιμα τα τμήματα μεταξύ τους.

Όπως παρατηρούμε στο πρώτο διάγραμμα, ο αριθμός των ορατών δορυφόρων δεν είναι πάντα αντιστρόφως ανάλογος της γωνίας ύψους. Στις περιπτώσεις του Galileo και Galileo & EGNOS οι περισσότεροι δορυφόροι βρίσκονται στην διαδρομή με 15° γωνία ύψους, ενώ θα περίμενε κανείς αυτό να γίνεται στις διαδρομές χωρίς περιορισμό (10°).



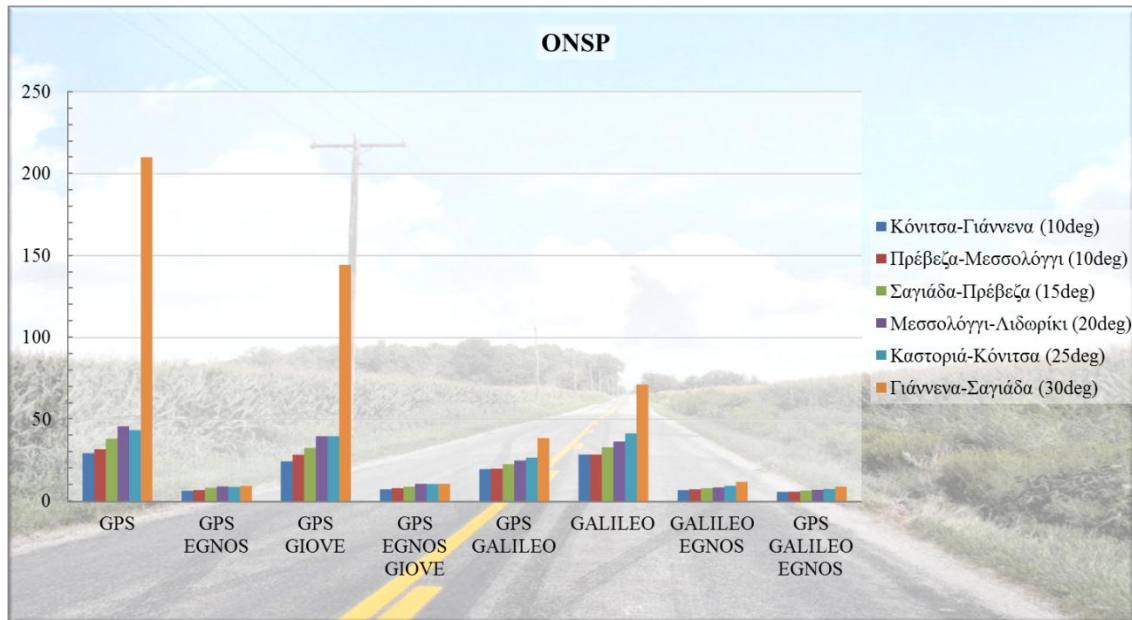
Εικόνα 124 : Τιμές Ορατότητα Δορυφόρων στη Διαδρομή Καστοριά-Λιδωρίκι



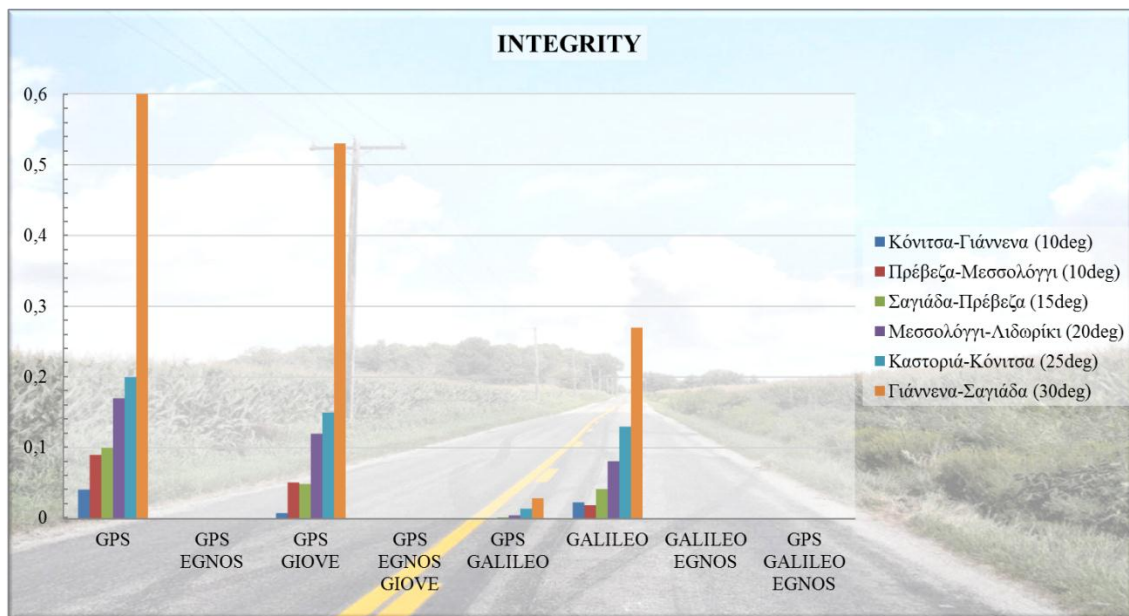
Εικόνα 125 : Τιμές Δείκτης GDOP στη Διαδρομή Καστοριά-Λιδωρίκι

Στη περίπτωση του δείκτη γεωμετρίας, τα αποτελέσματα είναι περισσότερο αναμενόμενα. Οι μεγαλύτερες τιμές GDOP βρίσκονται στο τμήμα όπου υπήρχε περιορισμός στις 30°. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε αυτό το τμήμα διαδρομής το σύστημα Galileo έχει χαμηλότερη τιμή από ότι το GPS (περίπου 20 για το GPS και περίπου 8 για το Galileo), αν και με λίγο λιγότερους ορατούς δορυφόρους.

Στις περιπτώσεις όπου εμφανίζεται το EGNOS στο δορυφορικό σχηματισμό, αλλά και η περίπτωση GPS & Galileo οι τιμές ανάμεσα στα τμήματα δεν έχουν τόσο μεγάλη διασπορά μεταξύ τους.



Εικόνα 126 : Τιμές Δείκτη ONSP στη Διαδρομή Καστοριά-Λιδωρίκι



Εικόνα 127 : Τιμές Ακεραιότητας στη Διαδρομή Καστοριά-Λιδωρίκι

Παρόμοια είναι και τα συμπεράσματα για την ακρίβεια και την ακεραιότητα. Οι τιμές είναι αντιστρόφως ανάλογες της γωνίας ύψους. Στη περίπτωση της ακεραιότητας οι συνδυασμοί με το EGNOS δίνουν σχεδόν μηδενικές τιμές.

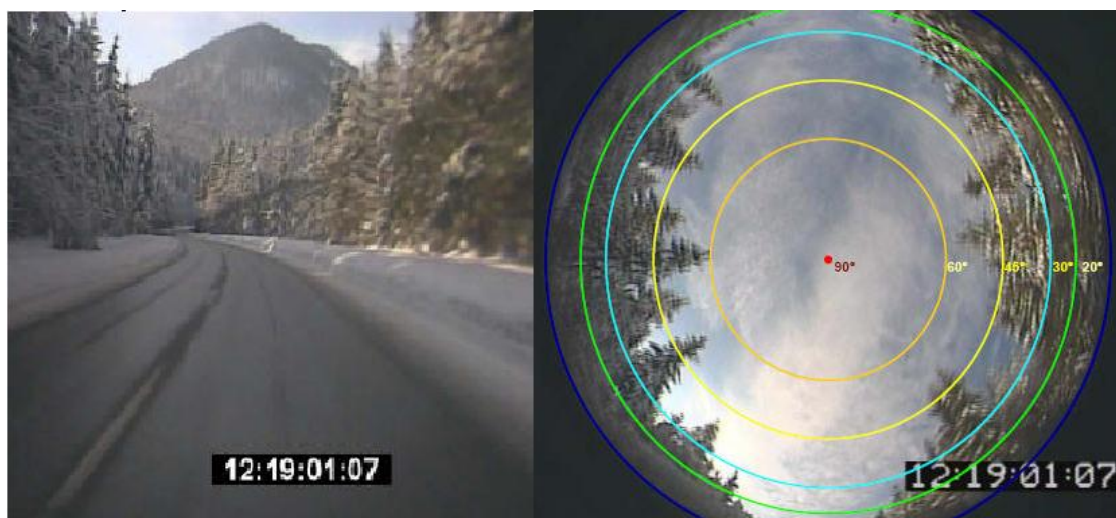
### 3.8.7. Σενάριο 7<sup>ο</sup> : Κινηματικές Πορείες Σε Μονοπάτια

Μετά το σενάριο στις ηπειρωτικές περιοχές ακολουθεί ένα ακόμα μικρό σενάριο που προσομοιώνει δύο διαδρομές σε μονοπάτια. Η πρώτη διαδρομή Αβδέλα-Βασιλίτσα βρίσκεται στο νομό Γρεβενών και η δεύτερη Γκίγκιλος βρίσκεται στο νομό Χανίων. Σε αυτή τη περίπτωση τα μονοπάτια είναι σε ορεινές περιοχές (φαράγγια), περιοχές δηλαδή με περιορισμένη ορατότητα. Η διαφορά αυτού του σεναρίου με τα προηγούμενα είναι ότι οι διαδρομές αυτές είναι περπατημένες από πεζούς. Η ταχύτητα πορείας είναι πολύ μικρή σε σχέση με τις ταχύτητες σε αεροπλάνα ή πλοία και μοιάζει σαν ο κινούμενος χρήστης να είναι στατικός.

A/A Σενάριο	Τύπος Χρήστη	Πορείες	Δορυφορικοί Σχηματισμοί	Παράμετροι	Στόχος Σεναρίου
7	Κινηματικός (Μονοπάτια)	Αβδέλα - Βασιλίτσα Γκίγκιλος	GPS	Ορατότητα DOP Ακεραιότητα NSP	Σύγκριση Συστημάτων & Λειτουργικότητα
			GPS + EGNOS		
			GPS + GIOVE		
			GPS + EGNOS + GIOVE		
			GPS + GALILEO		
			GALILEO		
			GALILEO + EGNOS		
GPS + GALILEO + EGNOS					

Πίνακας 42 : Σενάριο 7ο

Σε αυτές τις προσομοιώσεις επιλέχθηκε περιορισμός στην γωνία ανύψωσης στις 30° ενώ ημερομηνία ήταν και πάλι η 28/04/10. Παρακάτω οι εικόνες αποτελούν ένα παράδειγμα μίας τέτοιας διαδρομής (Εικόνα 128).



Εικόνα 128 : Η Περιορισμένη Ορατότητα σε Μονοπάτια

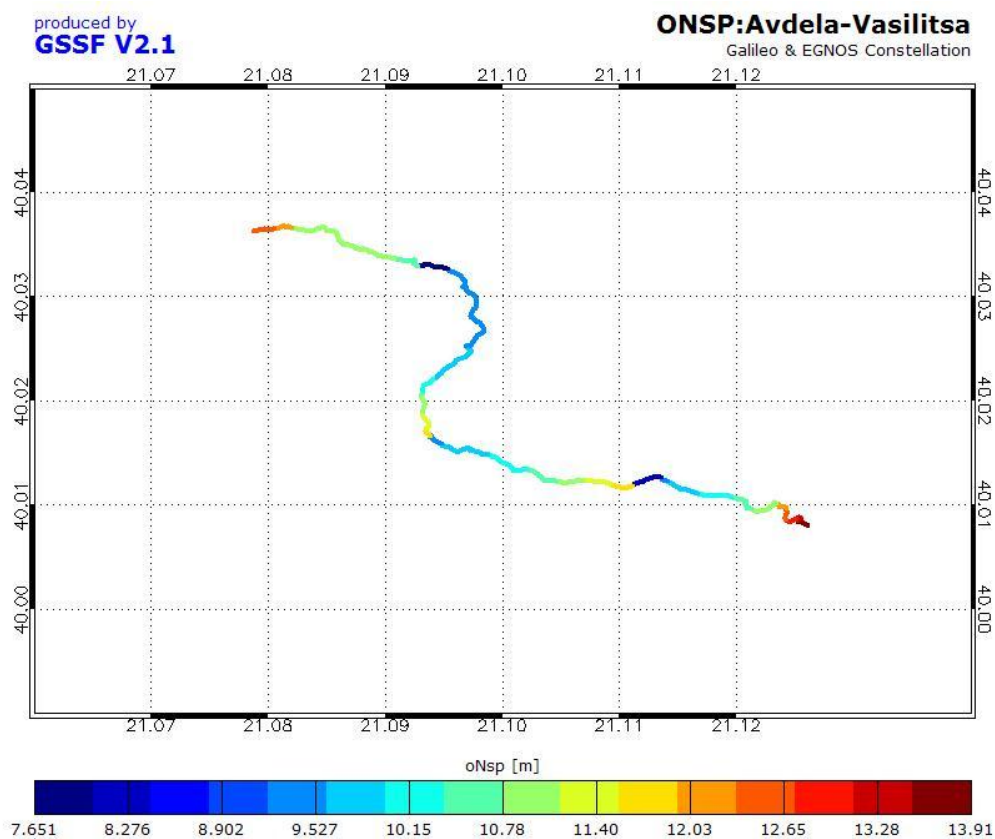
(Πηγή: “Galileo Performance Assessment”, T. Noack, A. Kononaltsev)

Στο παρακάτω πίνακα συνοψίζονται πληροφορίες που αφορούν τις διαδρομές στα μονοπάτια:

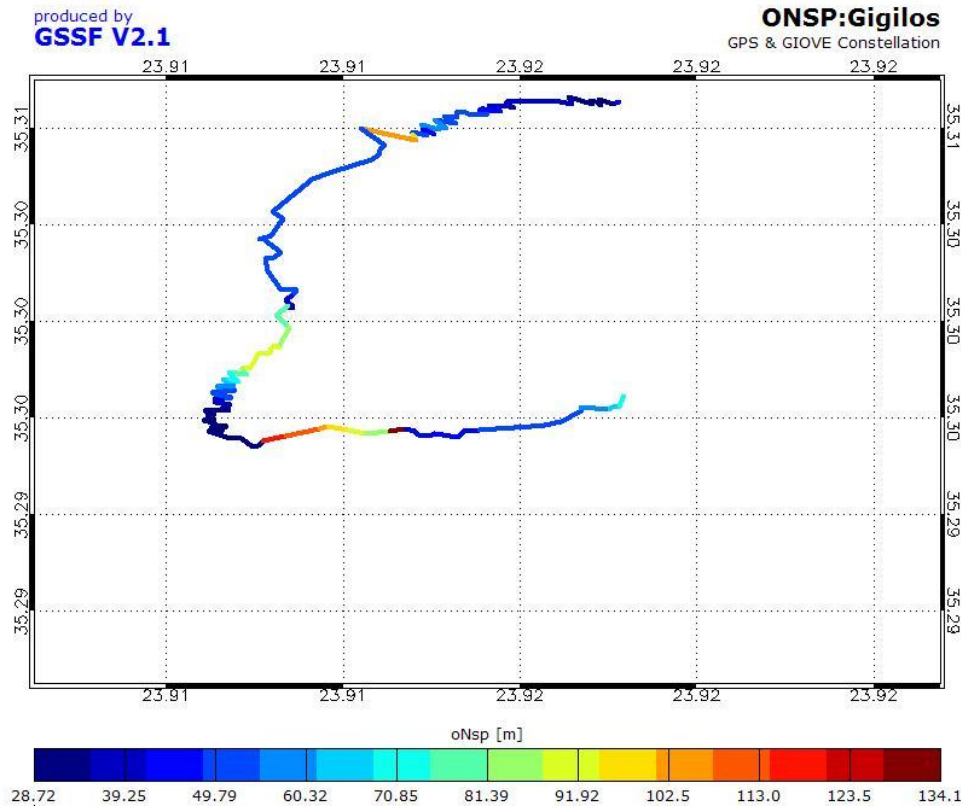
Πορεία	Διάρκεια	Χρονικό Βήμα
Γκίγκιλος	4hr 6min	20sec
Αβδέλα-Βασιλίτσα	4hr 13min 20sec	100sec

Πίνακας 43 : Πορείες Διαδρομών σε Μονοπάτια

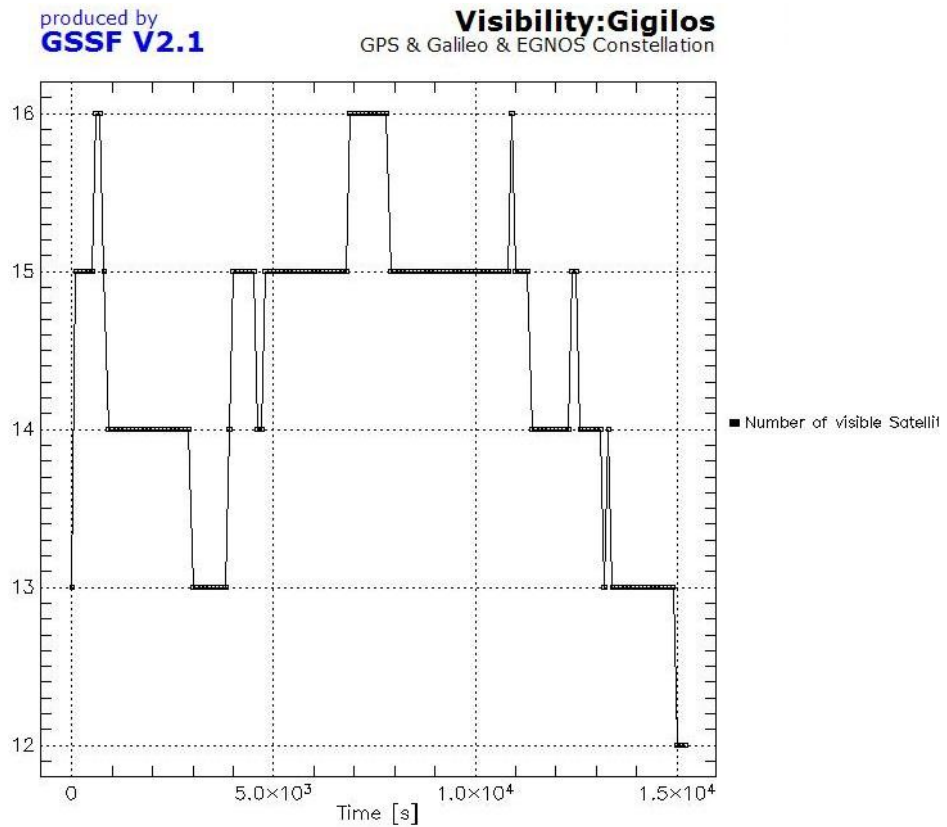
Ενδεικτικά δίνονται χάρτες (Εικόνες 129,130) από το πρόγραμμα για την ευκολότερη κατανόηση των δύο διαδρομών:



Εικόνα 129 : Οι Τιμές ONSP για το Μονοπάτι Αβδέλα-Βασιλίτσα με Galileo & EGNOS



Εικόνα 130 : Οι Τιμές ONSP για το Μονοπάτι Γκίγκιλος με GPS & GIOVE

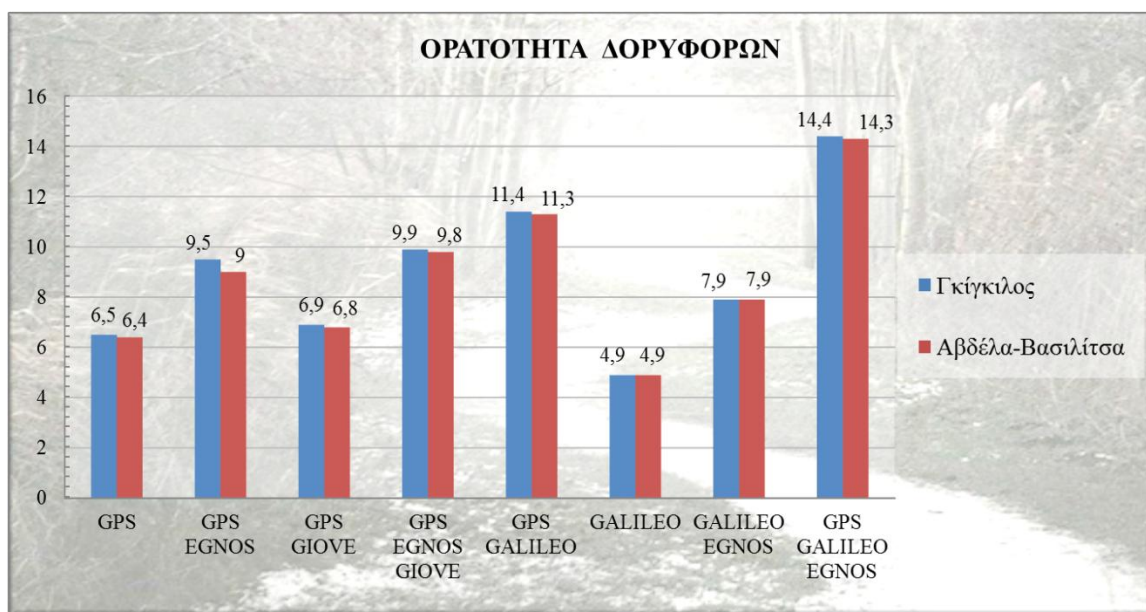


Εικόνα 131 : Ορατότητα δορυφόρων για το Μονοπάτι Γκίγκιλος με GPS, Galileo & EGNOS

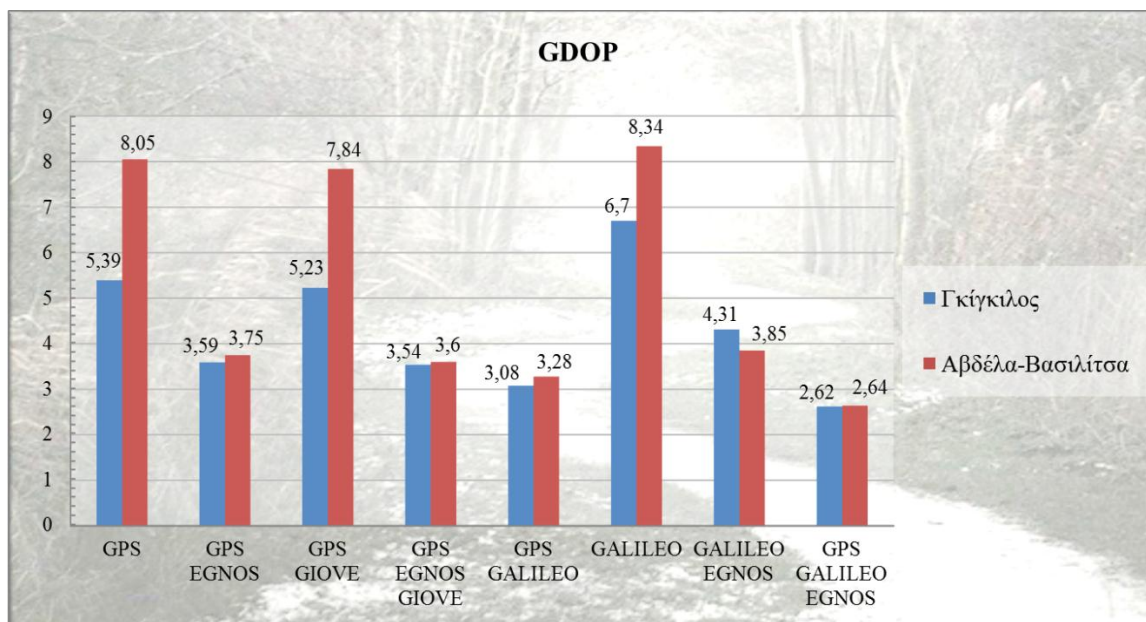
Στη συνέχεια δίνονται ο πίνακας (Πίνακας 44) με τα αποτελέσματα και τα αντίστοιχα ιστογράμματα (Εικόνες 132-135) για τις διαδρομές στα μονοπάτια:

<b>Visibility</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Γκίγκιλος</b>	<b>Αβδέλα-Βασιλίτσα</b>
	GPS	6.5(5-8)	6.4(4-8)
	GPS + EGNOS	9.5(8-11)	9(7-11)
	GPS + GIOVE	6.9(6-9)	6.8(5-9)
	GPS + EGNOS + GIOVE	9.9(9-12)	9.8(8-12)
	GPS + GALILEO	11.4(9-13)	11.3(8-13)
	GALILEO	4.9(4-6)	4.9(4-6)
	GALILEO + EGNOS	7.9(7-9)	7.9(7-9)
GPS + GALILEO + EGNOS	14.4(12-16)	14.3(11-16)	
<b>GDOP</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Γκίγκιλος</b>	<b>Αβδέλα-Βασιλίτσα</b>
	GPS	5.39(2.56-14.23)	8.05(2.87-48.92)
	GPS + EGNOS	3.59(2.4-7.57)	3.75(2.52-5.35)
	GPS + GIOVE	5.23(2.56-13.92)	7.84(2.83-48.1)
	GPS + EGNOS + GIOVE	3.54(2.4-7.57)	3.6(2.44-5.2)
	GPS + GALILEO	3.08(2.19-4.74)	3.28(2.17-11.9)
	GALILEO	6.7(3.56-29.83)	8.34(3.31-46.59)
	GALILEO + EGNOS	4.31(3.1-11.1)	3.85(2.63-5.06)
GPS + GALILEO + EGNOS	2.62(2.04-3.27)	2.64(1.94-3.58)	
<b>ONSP [m]</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Γκίγκιλος</b>	<b>Αβδέλα-Βασιλίτσα</b>
	GPS	60.62(31.26-149.5)	73.38(29.92-406.61)
	GPS + EGNOS	9.84(6.9-19.85)	10.28(7.2-14.24)
	GPS + GIOVE	53.62(28.72-134.06)	77.29(30.9-429.21)
	GPS + EGNOS + GIOVE	11.61(8.25-23.82)	11.69(8.27-15.71)
	GPS + GALILEO	32.22(24.1-47.52)	34.14(23.96-110.52)
	GALILEO	61.81(33.95-251.43)	76.48(34.05-393)
	GALILEO + EGNOS	11.6(8.45-28.05)	10.43(7.65-13.91)
GPS + GALILEO + EGNOS	8.68(7.11-10.86)	8.68(6.69-11.06)	
<b>Integrity</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Γκίγκιλος</b>	<b>Αβδέλα-Βασιλίτσα</b>
	GPS	0.3(0.051-0.93)	0.29(0.02-0.95)
	GPS + EGNOS	4E-6(5E-22-0.0003)	7E-7(6E-25-4E-5)
	GPS + GIOVE	0.23(0.027-0.91)	0.32(0.028-0.96)
	GPS + EGNOS + GIOVE	2E-5(3E-22-0.0018)	1E-5(8E-25-0.00034)
	GPS + GALILEO	0.022(0.0007-0.068)	0.035(0.0026-0.55)
	GALILEO	0.27(0.032-0.89)	0.32(0.028-0.95)
	GALILEO + EGNOS	0.0009(2E-18-0.045)	5E-8(1E-18-2E-6)
GPS + GALILEO + EGNOS	4E-14(2E-27-3E-12)	4E-12(9E-27-2E-10)	

Πίνακας 44 : Αποτελέσματα Διαδρομών Μονοπατιών



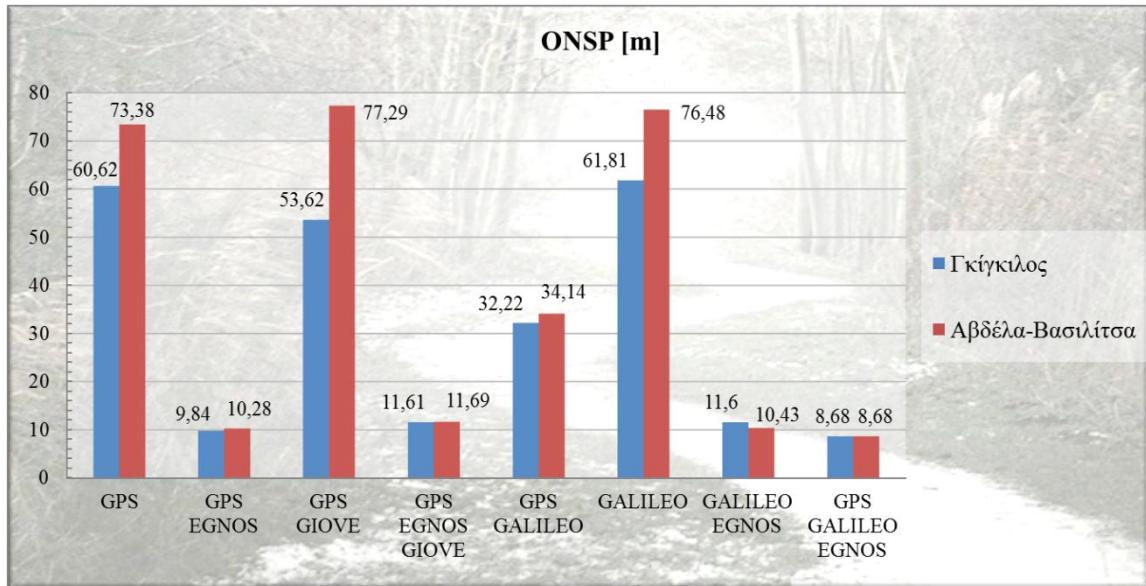
Εικόνα 132 : Ορατότητα Δορυφόρων σε Διαδρομές σε Μονοπάτια



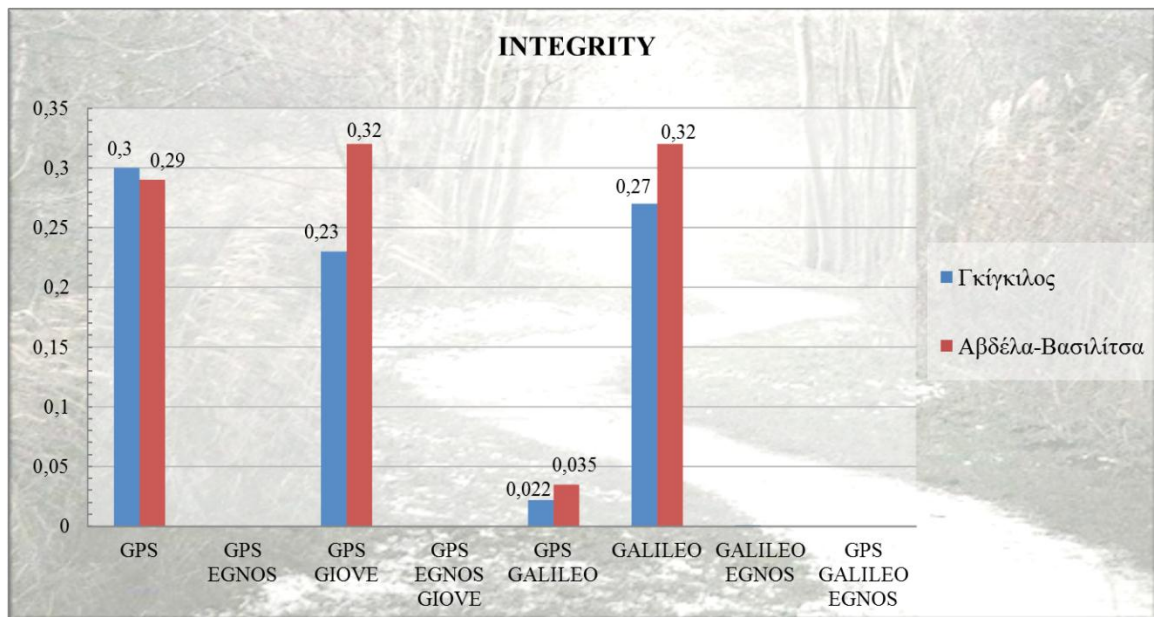
Εικόνα 133 : Ο Δείκτης GDOP σε Διαδρομές σε Μονοπάτια

Παρατηρούμε ότι ενώ στο διάγραμμα με τους ορατούς δορυφόρους έχουμε περίπου ίδιες τιμές, τα GDOP διαφέρουν που σημαίνει ότι η γεωμετρία εξαρτάται και από την πορεία της διαδρομής. Οι διαφορές σε GDOP και ONSP είναι μικρότερες στις περιπτώσεις που στο σχηματισμό υπάρχει το EGNOS. Στο διάγραμμα της ακεραιότητας έχουμε σχεδόν μηδενικές τιμές όπου στους δορυφορικούς σχηματισμούς συνδυάζεται το σύστημα EGNOS.





Εικόνα 134 : Ο Δείκτης ONSP σε Διαδρομές σε Μονοπάτια



Εικόνα 135 : Ακεραιότητα σε Διαδρομές σε Μονοπάτια

Από το διάγραμμα της ακρίβειας (Εικόνα 134), παρατηρούμε ότι τα συστήματα GPS και Galileo μόνα τους δίνουν ακρίβεια περίπου 60-70m, ενώ συνδυασμένα δίνουν περίπου 30m. Οι καλύτερες περιπτώσεις είναι αυτές όπου στον συνδυασμό γίνεται χρήση του συστήματος EGNOS και δίνουν ακρίβεια περίπου 10-11m, ενώ στο συνδυασμό και των τριών συστημάτων η ακρίβεια είναι περίπου 9m.

Στη περίπτωση της ακεραιότητας (Εικόνα 135) τα συστήματα GPS και Galileo μόνα τους δίνουν ποσοστά περίπου 30%, ενώ μαζί δίνουν 2%-3,5%. Στους συνδυασμούς με το σύστημα EGNOS τα ποσοστά ακεραιότητας είναι σχεδόν μηδενικά.

### 3.8.8. Σενάριο 8<sup>ο</sup> : Κινηματικές Πορείες Τρένων

Έχοντας πλέον κατανοήσει από προηγούμενα σενάρια την επίδραση της γωνίας ύψους στα τελικά αποτελέσματα, το επόμενο σενάριο εξετάζει την επίδραση διάφορων περιορισμών στη γωνία ύψους σε διαδρομές τρένων (Πίνακας 45).

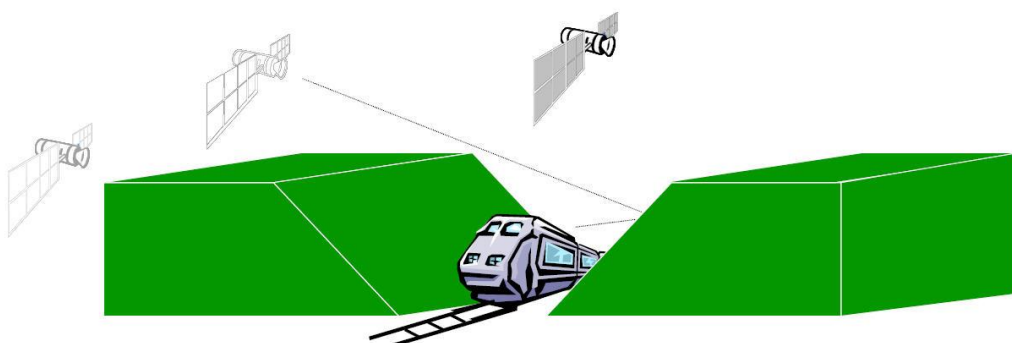
A/A Σενάριο	Τύπος Χρήστη	Πορείες	Δορυφορικοί Σχηματισμοί	Παράμετροι	Στόχος Σεναρίου
8	Κινηματικός (Τρένα)	Αλεξ/πολη-Δαδιά Karlsruhe-Paris	GPS	Ορατότητα DOP Ακεραιότητα NSP	Σύγκριση Συστημάτων & Λειτουργικότητα σε Γωνίες Ύψους
			GPS + EGNOS		
			GPS + GIOVE		
			GPS + EGNOS + GIOVE		
			GPS + GALILEO		
			GALILEO		
			GALILEO + EGNOS		
GPS + GALILEO + EGNOS					

Πίνακας 45 :Σενάριο 8<sup>ο</sup>

Συνήθως οι διαδρομές τρένων λαμβάνουν χώρα σε δασώδεις περιοχές ή διαμέσου ορεινών όγκων και φαραγγιών. Σε ένα περιβάλλον φαραγγιών, οι καταστάσεις από κάθε λήψη δορυφορικού σήματος μπορεί να κατηγοριοποιηθούν σε τρία είδη (Juliette Marais):

- Άμεση λήψη σήματος όταν δεν εμφανίζεται κανένα εμπόδιο μεταξύ του δορυφόρου και του δέκτη.
- Λήψη σήματος από μία άλλη πορεία όταν δεν μπορεί να ληφθεί το σήμα με άμεσο τρόπο και λαμβάνεται μετά από αντανάκλαση (multipath). Έχει αποδειχθεί (Marais, 2005) ότι οι πολλαπλές διαδρομές περιορίζονται σε μία αντανάκλαση.
- Παρεμποδισμένη λήψη όταν εμποδίζεται εντελώς το σήμα και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

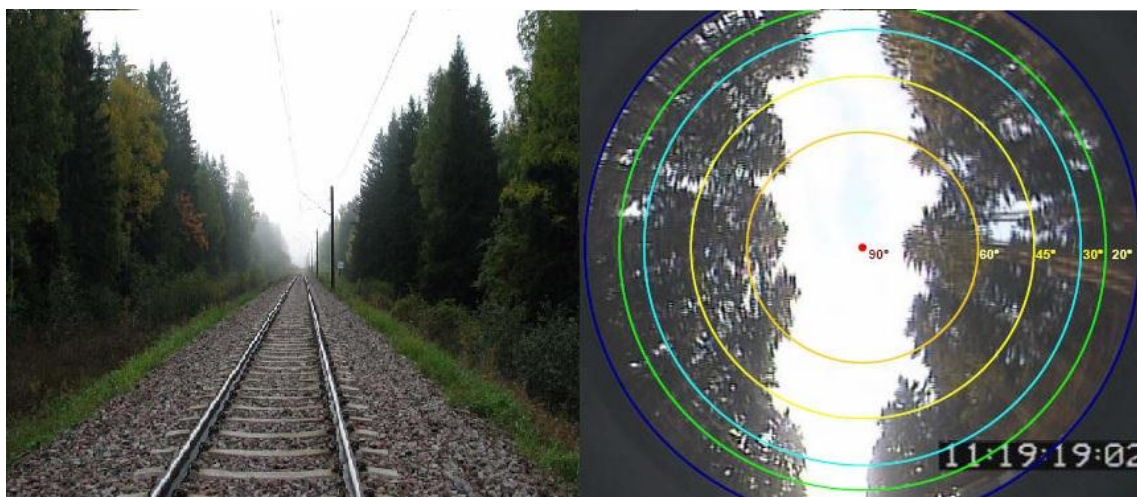
Οι τρεις αυτές κατηγορίες λήψης σήματος που προαναφέρθηκαν απεικονίζονται στην παρακάτω εικόνα 136:



Εικόνα 136 : Λήψη Δορυφορικού Σήματος σε Διαδρομές Τρένων

(Πηγή: “Satellite Propagation Analysis in a Masking Environment for GNSS Applications”, Juliette Marais)

Οι δύο διαδρομές που επιλέχθηκαν ήταν μία στον ελλαδικό χώρο στην περιοχή της Αλεξανδρούπολης και η άλλη λίγο πιο βόρεια σε περιοχή της κεντρικής Ευρώπης, για να έχουμε μία σύγκριση των δύο περιπτώσεων. Θα πρέπει βέβαια να σημειώσουμε σε αυτό το σημείο ότι η διαδρομή Αλεξανδρούπολη-Δαδιά δεν είναι πραγματική πορεία τρένου αφού δεν υπάρχει γραμμή τρένου σε αυτή τη περιοχή. Η διαδρομή όμως είναι πραγματοποιημένη με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να προσομοιάσει μια διαδρομή τρένου γιατί έχει ανωφέρειες και κατωφέρειες δια μέσου διαδρομών με υψηλά δένδρα και βλάστηση. Στην επόμενη εικόνα 137, δίδεται ένα παράδειγμα του ουράνιου θόλου σε μία τέτοια περίπτωση διαδρομής τρένου.



Εικόνα 137 : Παράδειγμα Περιβάλλοντος μίας Διαδρομής Τρένου

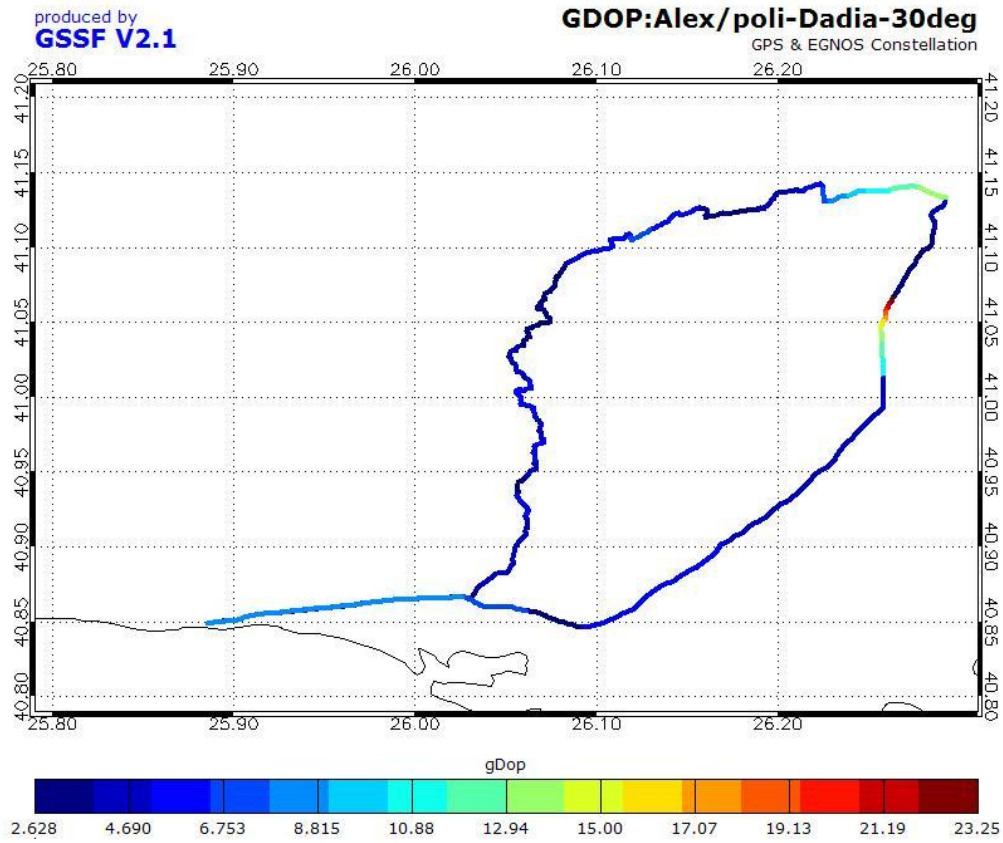
(Πηγή: “Galileo Performance Assessment”, T. Noack, A. Kononaltsev)

Στο παρακάτω πίνακα 46 συγκεντρώνονται οι πληροφορίες που αφορούν τις διαδρομές των τρένων. Η ημέρα προσομοίωσης ήταν και πάλι η 28/04/10 και οι περιορισμοί στη γωνία ύψους που δόθηκαν ήταν  $10^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$  και  $50^\circ$  για όλες τις περιπτώσεις. Στους πίνακες UERE χρησιμοποιήθηκε η περίπτωση με τη μονή συχνότητα L1.

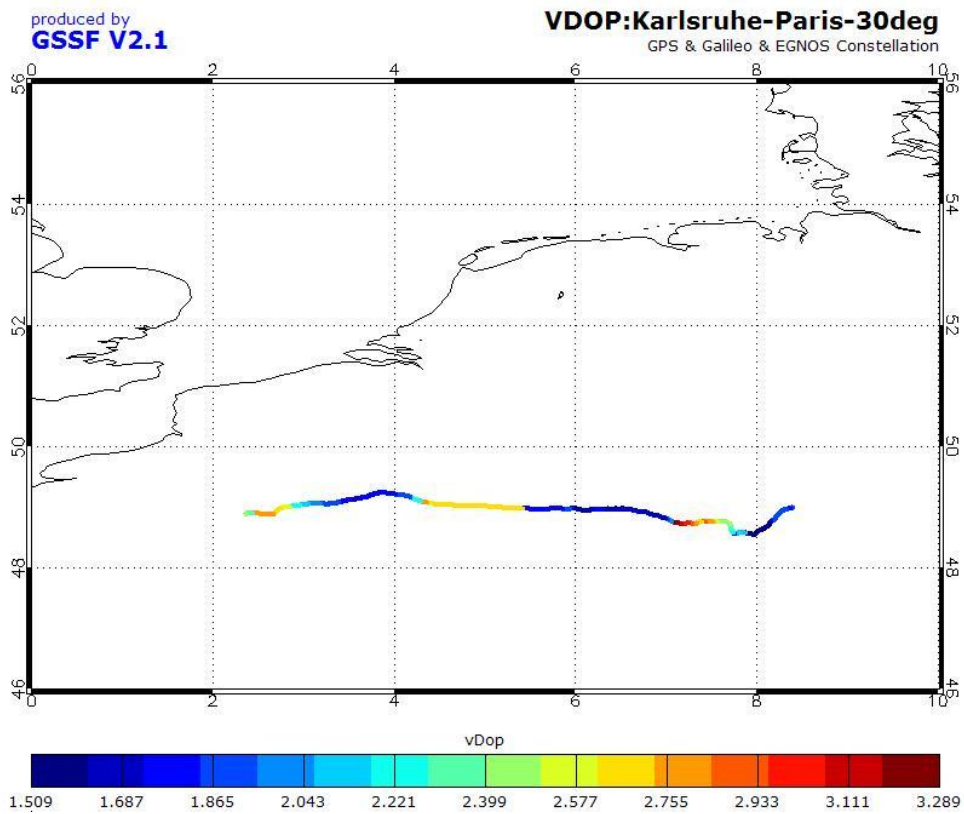
Πορεία	Διάρκεια	Χρονικό Βήμα
Αλεξ/πολη-Δαδιά	9hr 20min	30sec
Karlsruhe-Paris	5hr 55min	10sec

Πίνακας 46 : Πορείες Διαδρομών Τρένων

Στις επόμενες εικόνες δίνονται ενδεικτικά τα διαγράμματα που εξήχθησαν από το πρόγραμμα για την απεικόνιση των διαδρομών.



Εικόνα 138 : GDOP στη Διαδρομή Αλεξ/πολη-Δαδιά με  $30^\circ$



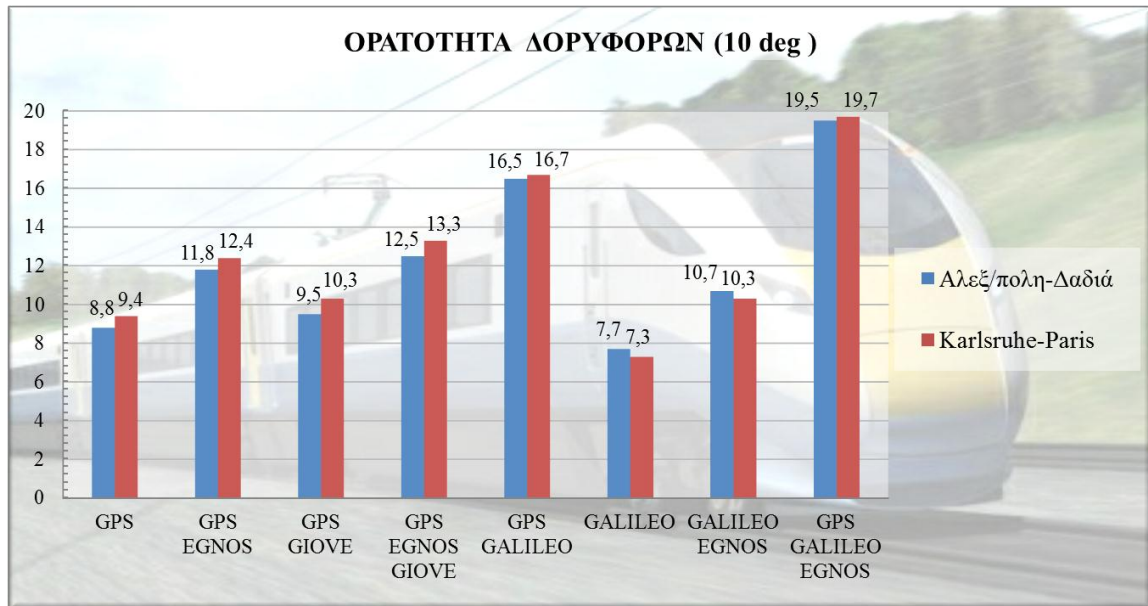
Εικόνα 139 : VDOP στη Διαδρομή Karlsruhe-Paris με  $30^\circ$

Μετά από την επεξεργασία των διαδρομών στο GSSF εξήχθησαν τα παρακάτω αποτελέσματα. Σε γωνίες ύψους 10° και 30° είχαμε αποτελέσματα σε όλους τους δορυφορικούς σχηματισμούς. Σε γωνία 40° αποτελέσματα έδωσαν μόνο οι συνδυασμοί GPS & Galileo και GPS & Galileo & EGNOS. Αντίθετα σε περιορισμό της γωνίας ανύψωσης στις 50° κανένας συνδυασμός δεν έδωσε αποτέλεσμα.

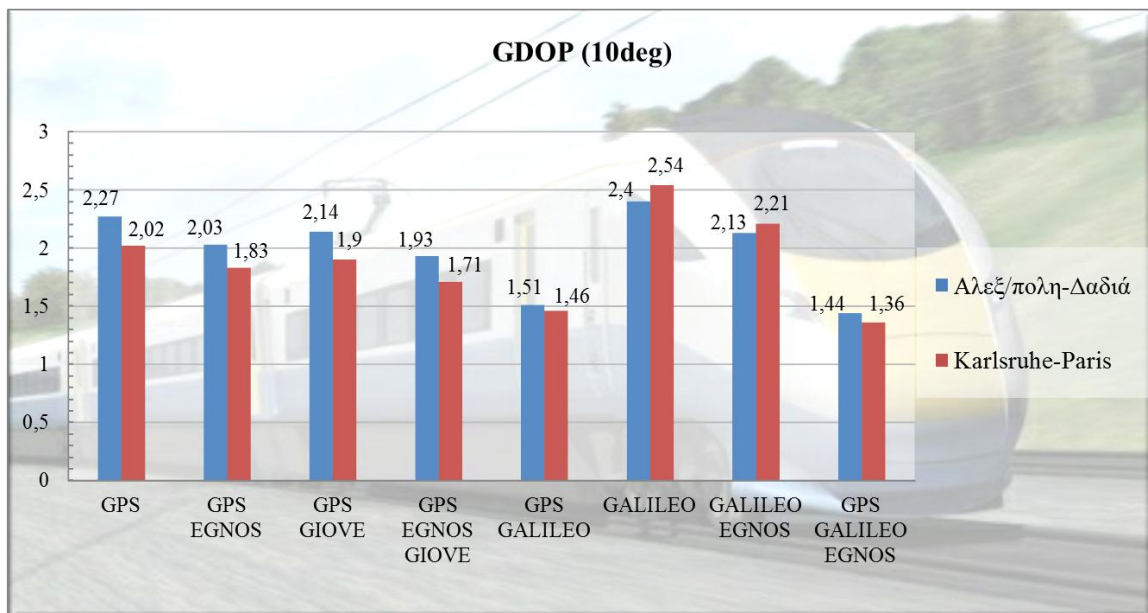
Παρακάτω δίνονται σε κάθε περίπτωση ο πίνακας (Πίνακας 47) και τα ιστογράμματα (Εικόνες 140-143) χωρίς περιορισμό στη γωνία ανύψωσης:

<b>Visibility</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Αλεξ/πολη-Δαδιά</b>	<b>Karlsruhe-Paris</b>
	GPS	8.8(6-12)	9.4(7-11)
	GPS + EGNOS	11.8(9-15)	12.4(10-14)
	GPS + GIOVE	9.5(7-13)	10.3(8-12)
	GPS + EGNOS + GIOVE	12.5(10-16)	13.3(11-15)
	GPS + GALILEO	16.5(13-20)	16.7(14-19)
	GALILEO	7.7(6-11)	7.3(6-10)
	GALILEO + EGNOS	10.7(9-14)	10.3(9-13)
<b>GDOP</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Αλεξ/πολη-Δαδιά</b>	<b>Karlsruhe-Paris</b>
	GPS	2.27(1.45-4)	2.02(1.43-2.97)
	GPS + EGNOS	2.03(1.38-3.14)	1.83(1.3-2.56)
	GPS + GIOVE	2.14(1.42-3.8)	1.9(1.34-2.62)
	GPS + EGNOS + GIOVE	1.93(1.33-2.94)	1.71(1.23-2.21)
	GPS + GALILEO	1.51(1.11-2.05)	1.46(1.08-2.03)
	GALILEO	2.4(1.57-3.48)	2.54(1.54-3.5)
	GALILEO + EGNOS	2.13(1.51-3.00)	2.21(1.46-2.81)
<b>ONSP [m]</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Αλεξ/πολη-Δαδιά</b>	<b>Karlsruhe-Paris</b>
	GPS	30.92(22.21-50.77)	28.57(22.54-37.71)
	GPS + EGNOS	6.83(5.41-9.79)	6.41(5.11-7.87)
	GPS + GIOVE	27.21(20.1-44.27)	25.33(20.18-30.97)
	GPS + EGNOS + GIOVE	7.83(6.18-11.35)	7.24(5.87-8.6)
	GPS + GALILEO	19.65(15.97-23.93)	19.22(15.96-23.27)
	GALILEO	28.5(22.04-34.67)	28.9(22.1-35.47)
	GALILEO + EGNOS	7.17(5.95-8.46)	7.09(5.82-8.07)
<b>Integrity</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Αλεξ/πολη-Δαδιά</b>	<b>Karlsruhe-Paris</b>
	GPS	0.072(0.0053-0.031)	0.065(0.009-0.26)
	GPS + EGNOS	3E-17(2E-40 - 6E-16)	1E-14(7E-36 - 3E-13)
	GPS + GIOVE	0.036(0.0022-0.19)	0.044(0.004-0.22)
	GPS + EGNOS + GIOVE	7E-14(2E-34 - 2E-12)	1E-11(2E-30 - 3E-10)
	GPS + GALILEO	0.0007(3E-05 - 0.003)	0.0012(4E-5 - 0.008)
	GALILEO	0.02(0.003-0.054)	0.029(0.0089-0.07)
	GALILEO + EGNOS	2E-17(4E-38 - 3E-15)	2E-16(4E-32 - 2E-14)
GPS + GALILEO + EGNOS	4E-27(3E-45 - 3E-25)	2E-25(7E-42 - 5E-24)	

Πίνακας 47 : Αποτελέσματα Διαδρομών Τρένων στις 10°

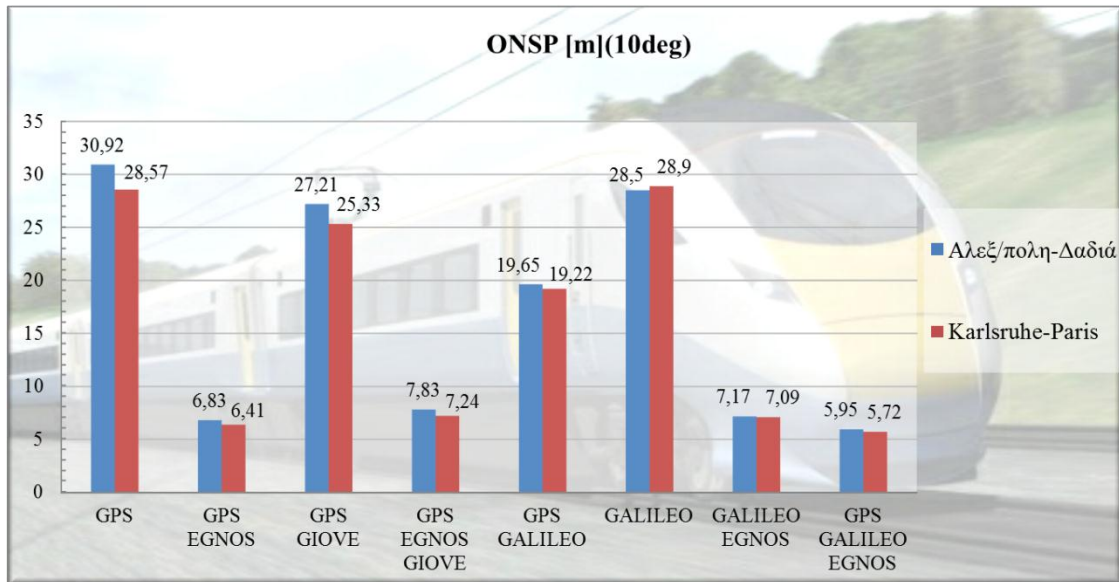


Εικόνα 140 : Ορατότητα Δορυφόρων στις Διαδρομές Τρένων στις 10°

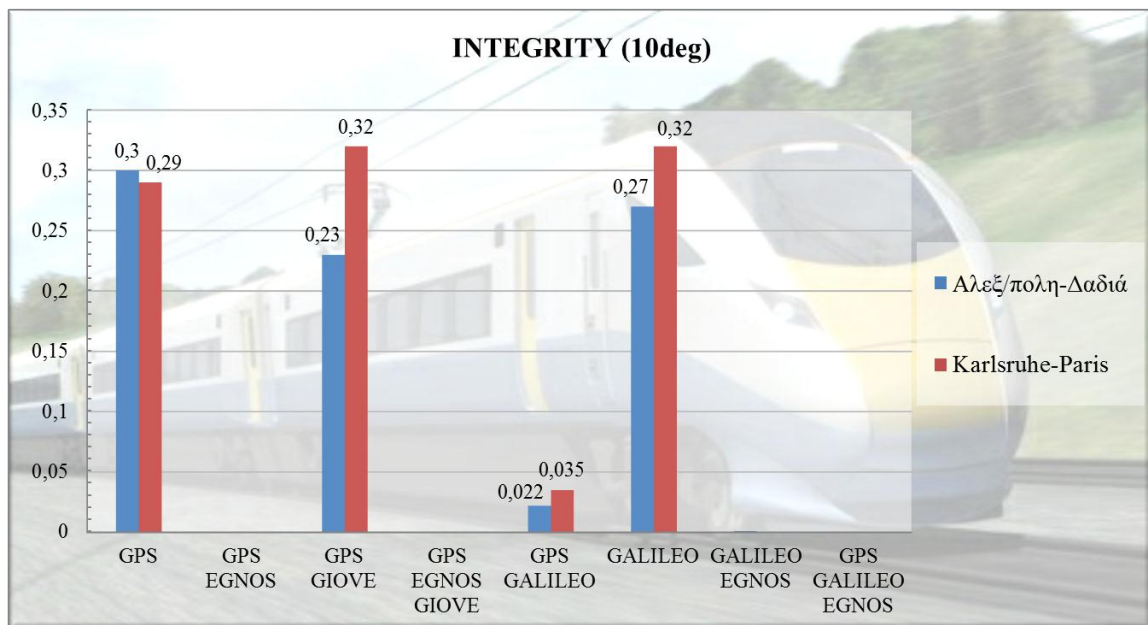


Εικόνα 141 : Ο Δείκτης GDOP στις Διαδρομές Τρένων στις 10°

Από τα ιστογράμματα της ορατότητας και του δείκτη GDOP, παρατηρούμε ότι η διαδρομή Karlsruhe-Paris δίνει καλύτερα αποτελέσματα (περισσότεροι δορυφόροι και χαμηλότεροι δείκτες DOP) σε όλες τις περιπτώσεις με GPS. Στις περιπτώσεις με το σύστημα Galileo συμβαίνει το αντίθετο.



Εικόνα 142 : Ο Δείκτης ONSP στις Διαδρομές Τρένων στις 10°



Εικόνα 143 : Ακεραιότητα στις Διαδρομές Τρένων στις 10°

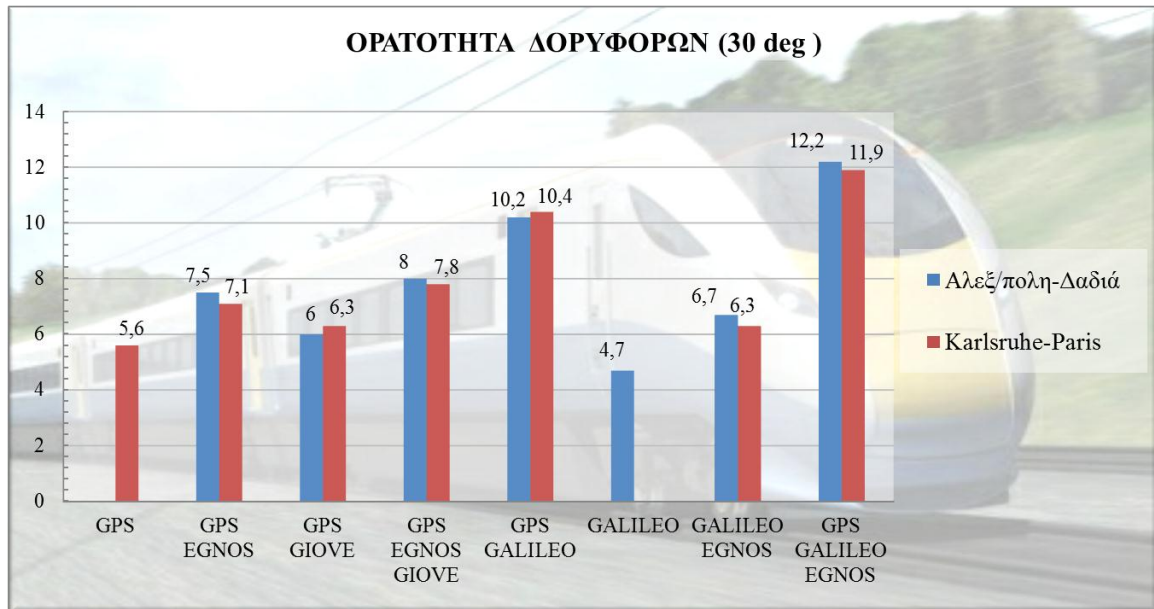
Στα ιστογράμματα της ακρίβειας ONSP και ακεραιότητας παρατηρούμε ότι οι τιμές μειώνονται πολύ στους σχηματισμούς με το EGNOS. Στη περίπτωση της ακεραιότητας μάλιστα είναι μηδενικές οι τιμές. Στη περίπτωση της ακρίβειας οι τιμές κυμαίνονται 6-7 m ενώ στη καλύτερη περίπτωση και με τα τρία συστήματα η ακρίβεια είναι λίγο πιο κάτω από 6 m.

Στη συνέχεια δίνονται τα αποτελέσματα (Πίνακας 48, Εικόνες 144-147) με περιορισμό στη γωνία ανύψωσης στις 30°. Στις περιπτώσεις Αλεξ/πολη-Δαδιά για το GPS και Karlsruhe-Paris για το Galileo τα πρόγραμμα δεν έδωσε αποτελέσματα.

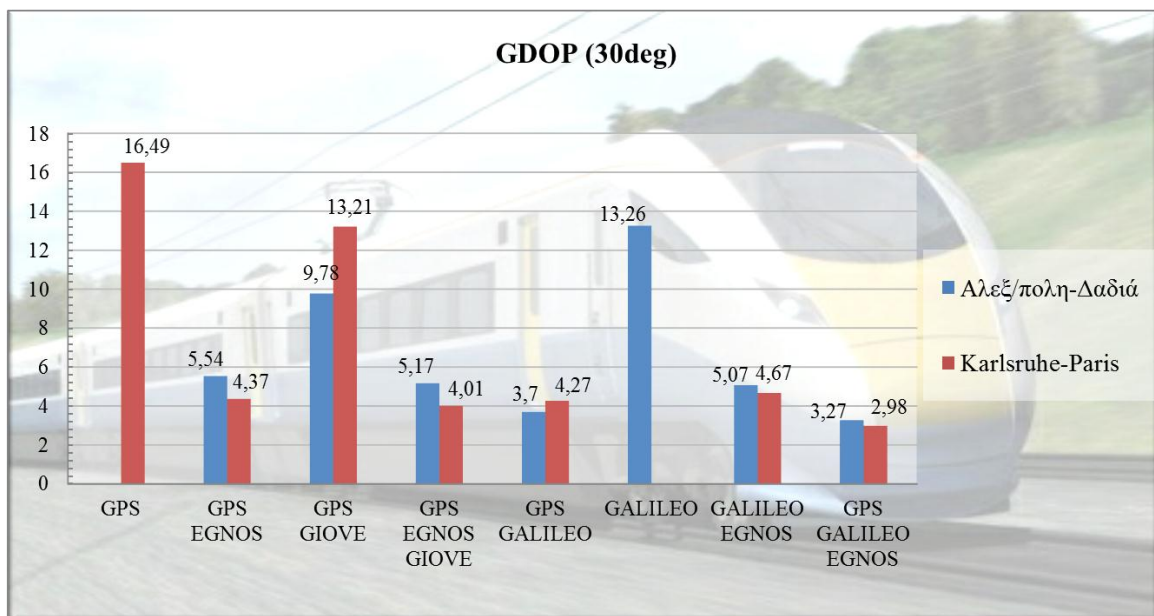
<b>Visibility</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Αλεξ/πολη-Δαδιά</b>	<b>Karlsruhe-Paris</b>
	GPS	-	5.6(4-8)
	GPS + EGNOS	7.5(5-10)	7.1(5-9)
	GPS + GIOVE	6(4-9)	6.3(5-9)
	GPS + EGNOS + GIOVE	8(6-11)	7.8(6-10)
	GPS + GALILEO	10.2(7-13)	10.4(8-14)
	GALILEO	4.7(4-6)	-
	GALILEO + EGNOS	6.7(6-8)	6.3(5-8)
GPS + GALILEO + EGNOS	12.2(9-15)	11.9(9-15)	
<b>GDOP</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Αλεξ/πολη-Δαδιά</b>	<b>Karlsruhe-Paris</b>
	GPS	-	16.49(3.38-144.8)
	GPS + EGNOS	5.54(2.63-23.25)	4.37(2.74-8.99)
	GPS + GIOVE	9.78(2.61-208.68)	13.21(2.8-58.46)
	GPS + EGNOS + GIOVE	5.17(2.49-13.22)	4.01(2.64-8.99)
	GPS + GALILEO	3.7(2.3-6.84)	4.27(2.26-12.15)
	GALILEO	13.26(3.34-376.88)	-
	GALILEO + EGNOS	5.07(2.97-8.27)	4.67(2.97-8.15)
GPS + GALILEO + EGNOS	3.27(2.23-5.23)	2.98(2.08-4.52)	
<b>ONSP [m]</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Αλεξ/πολη-Δαδιά</b>	<b>Karlsruhe-Paris</b>
	GPS	-	173.25(39.31-1565.18)
	GPS + EGNOS	14.79(7.45-55.62)	11.84(8.18-22.56)
	GPS + GIOVE	98.28(29.38-2198.36)	126.02(30.79-538.31)
	GPS + EGNOS + GIOVE	16.61(8.37-43.89)	13.07(9.03-27.13)
	GPS + GALILEO	38.37(25.64-65.81)	43.04(25-110.87)
	GALILEO	117.57(34-3172.79)	-
	GALILEO + EGNOS	13.5(8.32-21.4)	12.54(8.35-21.16)
GPS + GALILEO + EGNOS	10.61(7.46-16.61)	9.9(7.3-14.17)	
<b>Integrity</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Αλεξ/πολη-Δαδιά</b>	<b>Karlsruhe-Paris</b>
	GPS	-	0.5(0.05-0.998)
	GPS + EGNOS	0.016(1E-22 - 0.76)	0.012 (1E-19 - 0.28)
	GPS + GIOVE	0.4(0.017-0.999)	0.44(0.02-0.99)
	GPS + EGNOS + GIOVE	0.014(3E-23 - 0.51)	0.016(4E-17 - 0.36)
	GPS + GALILEO	0.05(0.002-0.32)	0.08(0.0006-0.35)
	GALILEO	0.37(0.02-1)	-
	GALILEO + EGNOS	1E-6(8E-17 - 3E-5)	0.0002(9E-17 - 0.006)
GPS + GALILEO + EGNOS	3E-11(3E-27 - 5E-9)	1E-7(2E-28 - 9E-6)	

Πίνακας 48 : Αποτελέσματα Διαδρομών Τρένων στις 30°



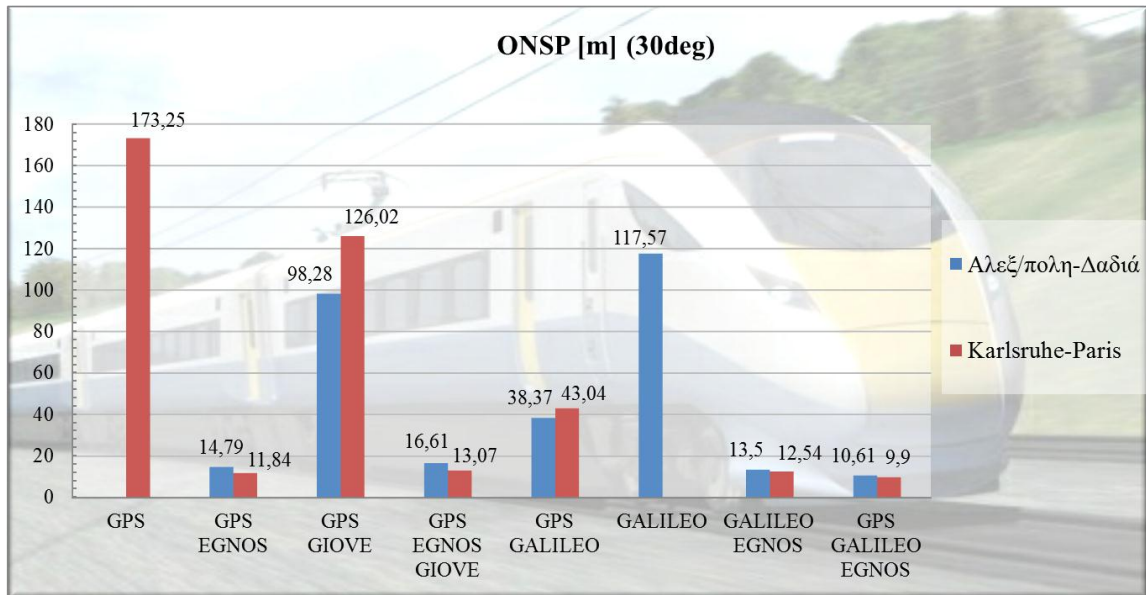


Εικόνα 144 : Ορατότητα Δορυφόρων Στις Διαδρομές Τρένων στις 30°

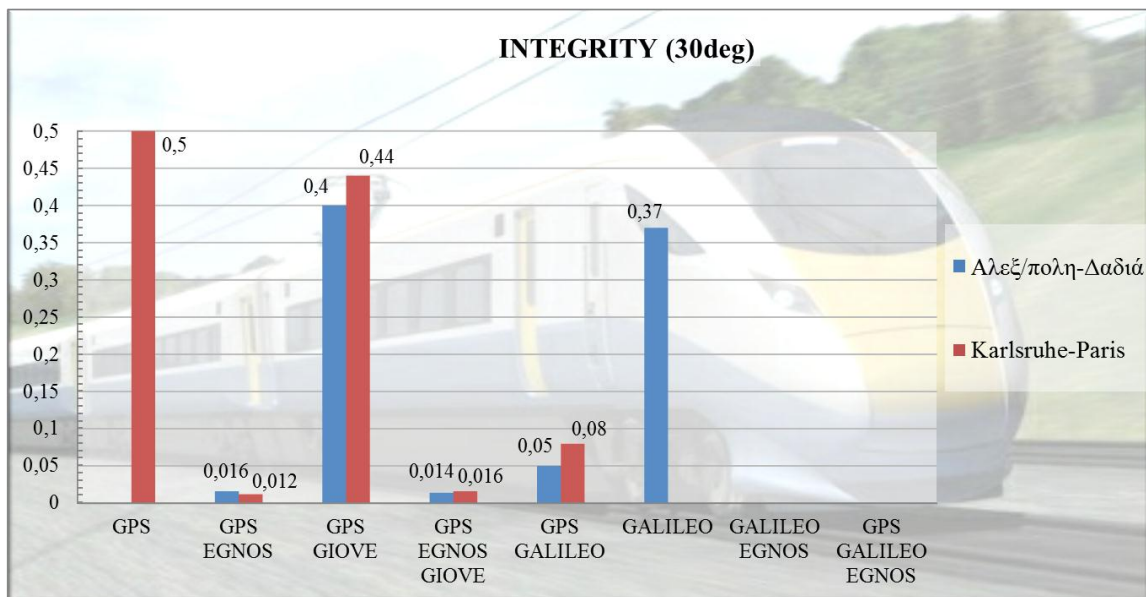


Εικόνα 145 : Ο Δείκτης GDOP στις Διαδρομές Τρένων στις 30°

Στη περίπτωση με περιορισμό στη γωνία ανύψωσης στις 30° οι ορατοί δορυφόροι μειώνονται (στη περίπτωση με όλα τα συστήματα από περίπου 20 δορυφόρους στους 12). Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι είναι ορατοί οι δύο από τους τρεις δορυφόρους EGNOS. Στη περίπτωση GDOP υψηλότερες είναι οι τιμές GPS και Galileo (οι περιπτώσεις δηλαδή με τους λιγότερους ορατούς δορυφόρους).



Εικόνα 146 : Ο Δείκτης ONSP στις Διαδρομές Τρένων στις 30°



Εικόνα 147 : Ακεραιότητα στις Διαδρομές Τρένων στις 30°

Παρόμοια είναι και τα συμπεράσματα στα διαγράμματα της ακρίβειας και της ακεραιότητας. Οι υψηλότερες τιμές βρίσκονται στις περιπτώσεις με χαμηλές ορατότητες και υψηλά DOP. Στις περιπτώσεις όπου στο δορυφορικό σχηματισμό συνδυάζεται το σύστημα EGNOS τα αποτελέσματα κυμαίνονται από 10 έως 16 m για την περίπτωση της ακρίβειας. Στη περίπτωση της ακεραιότητας το σύστημα EGNOS επίσης βοηθάει πολύ δίνοντας τιμές της τάξης των εκατοστών ενώ στις περιπτώσεις που συνδυάζεται και με το Galileo οι τιμές της ακεραιότητας είναι μηδενικές.

Στο παρακάτω πίνακα 49 δίνονται τα αποτελέσματα μετά από το περιορισμό της γωνίας ανύψωσης στις 40°. Μόνο οι δύο αυτοί συνδυασμοί έδωσαν αποτελέσματα. Στη περίπτωση Karlsruhe-Paris για τον συνδυασμό GPS & Galileo & EGNOS δεν αναγράφονται αποτελέσματα, όχι γιατί το πρόγραμμα δεν έδωσε λύση, αλλά επειδή ο αριθμός των ορατών δορυφόρων είναι ίδιος με την αντίστοιχη περίπτωση χωρίς το EGNOS και επομένως συμπεραίνουμε ότι οι τρεις δορυφόροι του συστήματος δεν είναι ορατοί σε τόσο μεγάλο περιορισμό στη γωνία ύψους. Αυτό εξηγείται γιατί λόγω της γεωστατικής θέσης τους πάνω από τον Ισημερινό, οι δορυφόροι EGNOS είναι ορατοί σε χαμηλές γωνίες ανύψωσης (μέχρι 30°) και η διαθεσιμότητα των σημάτων EGNOS δεν μπορεί να εγγυηθεί στα περιβάλλοντα με μεγάλες γωνίες ύψους (Bortolotto, 2003).

<b>Visibility</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Αλεξανδρούπολη-Λαδιά</b>	<b>Karlsruhe-Paris</b>
	GPS + GALILEO	8(5-11)	8(5-11)
	GPS + GALILEO + EGNOS	9.1(6-12)	8(5-11)
<b>GDOP</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Αλεξανδρούπολη-Λαδιά</b>	<b>Karlsruhe-Paris</b>
	GPS + GALILEO	6.97(3.22-19.43)	7.35(2.9-16.58)
	GPS + GALILEO + EGNOS	5.5(3.04-13.01)	-
<b>ONSP</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Αλεξανδρούπολη-Λαδιά</b>	<b>Karlsruhe-Paris</b>
	GPS + GALILEO	66.94(32.76-174.58)	69.75(29.62-151.18)
	GPS + GALILEO + EGNOS	16.48(9.56-36.53)	-
<b>Integrity</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Αλεξανδρούπολη-Λαδιά</b>	<b>Karlsruhe-Paris</b>
	GPS + GALILEO	0.23(0.015-0.91)	0.28(0.0086-0.79)
	GPS + GALILEO + EGNOS	0.0002(4E-19 - 0.013)	-

Πίνακας 49 : Αποτελέσματα Διαδρομών Τρένων στις 40°

Το σημαντικότερο συμπέρασμα σε αυτό το σενάριο είναι ότι ο συνδυασμός και των τριών συστημάτων μπορεί να δώσει λύση, ακόμα και στις πιο αντίξοες συνθήκες, με ακρίβεια της ίδιας τάξης μεγέθους με τα συστήματα GPS και Galileo μόνα τους χωρίς περιορισμό στη γωνία ύψους.

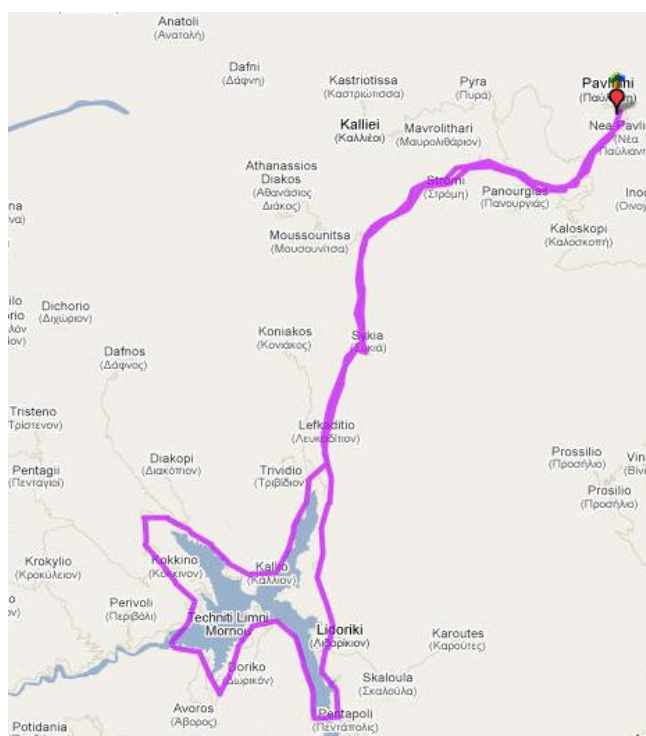
### 3.8.9. Σενάριο 9<sup>ο</sup> : Κινηματική Πορεία Στη Λίμνη Του Μόρνου

Μετά από τη μελέτη διαδρομών από κάθε μεταφορικό μέσο, το επόμενο σενάριο ασχολείται με τη σύγκριση των πινάκων UERE που χρησιμοποιήθηκαν στα παραπάνω σενάρια. Δηλαδή η σύγκριση γίνεται μεταξύ τριών περιπτώσεων: μόνης συχνότητας, διπλής συχνότητας και διπλής συχνότητας με ακεραιότητα από την υπηρεσία SoL. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε μόνο μία κοινή διαδρομή. Η διαδρομή πραγματοποιήθηκε από αυτοκίνητο γύρω από τη λίμνη του Μόρνου.

A/A Σενάριο	Τύπος Χρήστη	Πορείες	Δορυφορικοί Σχηματισμοί	Παράμετροι	Στόχος Σεναρίου
9	Κινηματικός	Λίμνη Μόρνου	GPS	Ορατότητα DOP Ακεραιότητα NSP	Σύγκριση UERE που χρησιμοποιήθηκαν
			GPS + EGNOS		
			GPS + GIOVE		
			GPS + EGNOS + GIOVE		
			GPS + GALILEO		
			GALILEO		
			GALILEO + EGNOS		
GPS + GALILEO + EGNOS					

Πίνακας 50 : Σενάριο 9ο

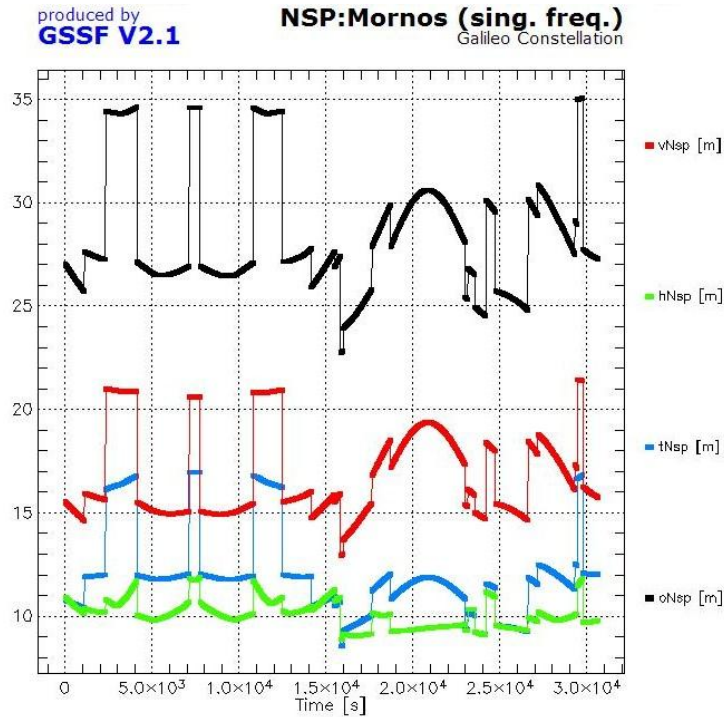
Η διαδρομή όπως όλες οι άλλες προσομοιώθηκε για την 28/04/10, είχε διάρκεια 8 ώρες 30 λεπτά και 20 δευτερόλεπτα, χρονικό βήμα 20 δευτερόλεπτα και δεν επιβλήθηκε περιορισμός στη γωνία ύψους. Δίνονται ενδεικτικά διαγράμματα:



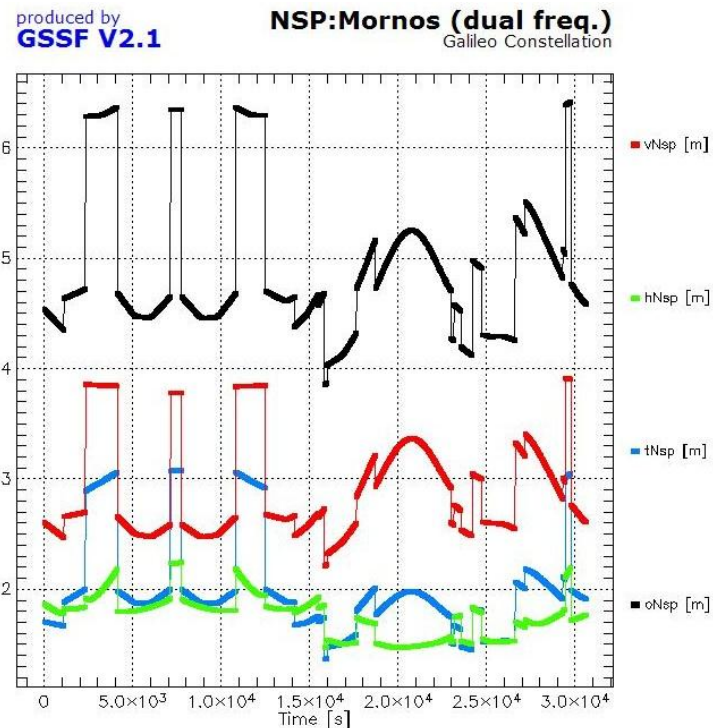
Εικόνα 148 : Χάρτης Διαδρομής της Λίμνης του Μόρνου

(Πηγή: <http://www.google.gr/maps>)

Στα επόμενα δύο διαγράμματα (Εικόνες 149, 150) με ίδιο δορυφορικό σχηματισμό, βλέπουμε ότι οι καμπύλες διατηρούν την ίδια μορφή, τις ίδιες χρονοσειρές, τα μέγιστα και τα ελάχιστα. Το μόνο διαφορετικό είναι οι τιμές του άξονα x και το εύρος των «κοψιμάτων» ως προς τον άξονα x.



Εικόνα 149 : Δείκτης NSP για Galileo (Μονή Συχνότητα)



Εικόνα 150 : Δείκτης NSP για Galileo (Διπλή Συχνότητα)

Στη συνέχεια δίνονται οι πίνακες (Πίνακες 51-53) και τα διαγράμματα για τα αποτελέσματα που βγήκαν :

Visibility	Σχηματισμός	Single /Dual/SoL frequency
	GPS	8.8(7-11)
	GPS + EGNOS	11.8(10-14)
	GPS + GIOVE	9.6(7-12)
	GPS + EGNOS + GIOVE	12.6(10-15)
	GPS + GALILEO	16.6(13-19)
	GALILEO	7.8(6-10)
	GALILEO + EGNOS	10.8(9-13)
	GPS + GALILEO + EGNOS	19.6(16-22)
GDOP	Σχηματισμός	Single /Dual/SoL frequency
	GPS	2.27(1.46-3.67)
	GPS + EGNOS	2.06(1.41-3.11)
	GPS + GIOVE	2.1(1.46-2.99)
	GPS + EGNOS + GIOVE	1.93(1.41-2.55)
	GPS + GALILEO	1.48(1.14-2.06)
	GALILEO	2.35(1.63-3.48)
	GALILEO + EGNOS	2.13(1.53-3.2)
	GPS + GALILEO + EGNOS	1.42(1.1-1.89)

Πίνακας 51: Ορατότητα και DOP για τη Λίμνη του Μόρνου

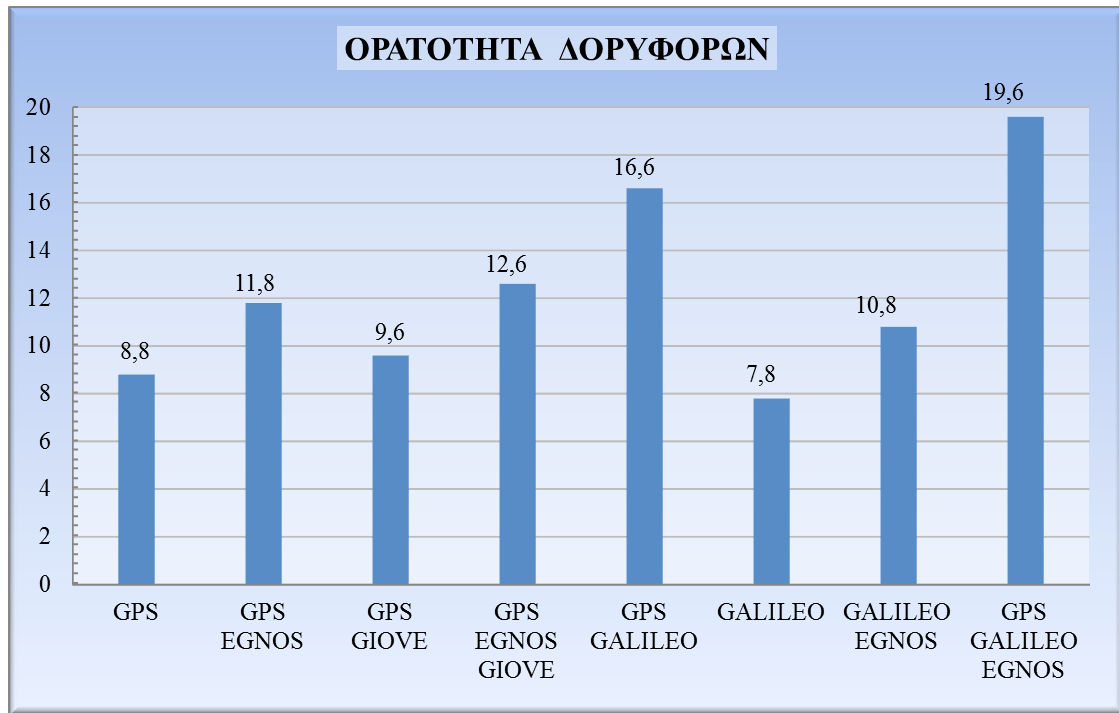
ONSP	Σχηματισμός	Single frequency
	GPS	30.94(22.11-45.09)
	GPS + EGNOS	6.87(5.36-8.89)
	GPS + GIOVE	26.83(20.94-37.15)
	GPS + EGNOS + GIOVE	7.83(6.39-10.1)
	GPS + GALILEO	19.54(16.45-24.04)
	GALILEO	28.44(22.75-35.07)
	GALILEO + EGNOS	7.24(6-8.76)
	GPS + GALILEO + EGNOS	5.96(5.12-6.99)
Integrity	Σχηματισμός	Single frequency
	GPS	0.067(0.0079-0.19)
	GPS + EGNOS	3E-18(2E-37-7E-17)
	GPS + GIOVE	0.03(0.0038-0.13)
	GPS + EGNOS + GIOVE	7E-15(1E-30-3E-13)
	GPS + GALILEO	0.0005(4E-5-0.003)
	GALILEO	0.018(0.0048-0.054)
	GALILEO + EGNOS	9E-18(2E-34-6E-16)
	GPS + GALILEO + EGNOS	4E-28(4E-44-4E-26)

Πίνακας 52 : Δείκτες Ακρίβειας και Ακεραιότητας για τη Λίμνη Μόρνου (Μονή Συχνότητα)

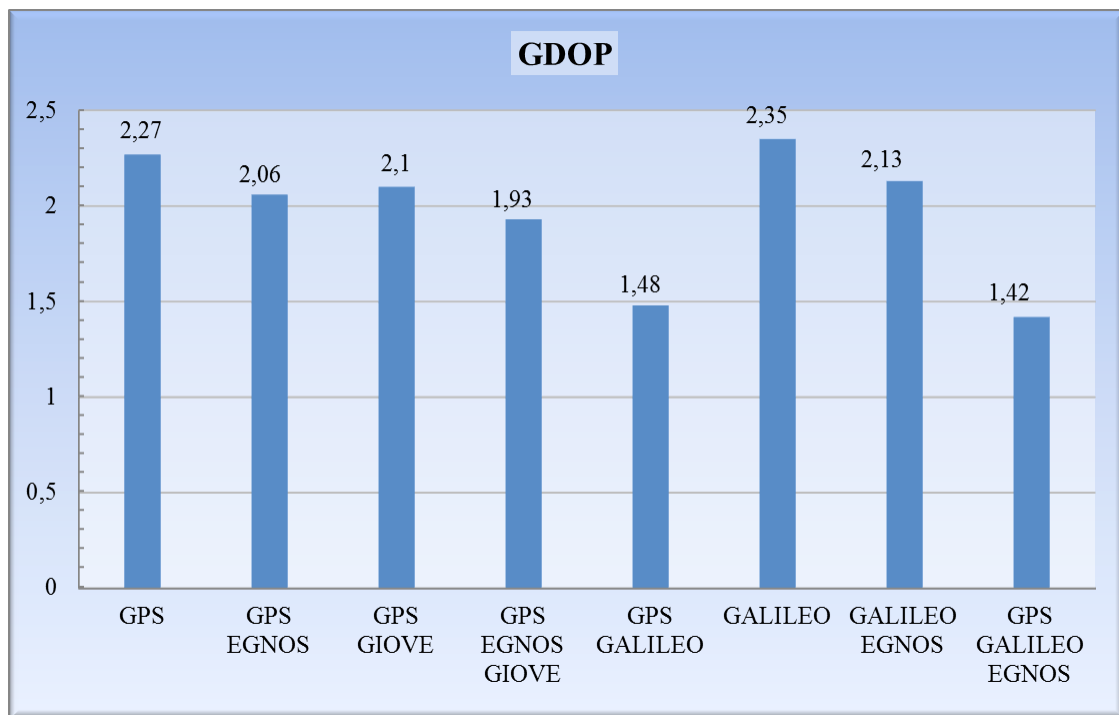
<b>ONSP</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Dual frequency</b>	<b>SoL</b>
	GPS	5.43(3.9-8.02)	5.43(3.9-8.02)
	GPS + EGNOS	4.19(3.25-5.77)	4.19(3.25-5.77)
	GPS + GIOVE	4.66(3.62-6.5)	4.67(3.61-6.51)
	GPS + EGNOS + GIOVE	3.95(3.18-5.04)	3.96(3.18-5.06)
	GPS + GALILEO	3.38(2.81-4.24)	3.38(2.8-4.25)
	GALILEO	4.91(3.85-6.42)	4.94(3.83-6.49)
	GALILEO + EGNOS	4.17(3.37-5.41)	4.17(3.36-5.41)
	GPS + GALILEO + EGNOS	3(2.52-3.61)	3(2.52-3.62)
<b>Integrity</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Dual frequency</b>	<b>SoL</b>
	GPS	1E-14(6E-42-1E-12)	1E-14(6E-42-1E-12)
	GPS + EGNOS	2E-30(3E-64-3E-28)	2E-30(3E-64-3E-28)
	GPS + GIOVE	1E-15(2E-45-1E-13)	1E-15(7E-46-2E-13)
	GPS + EGNOS + GIOVE	5E-31(1E-73-6E-29)	6E-31(2E-73-7E-29)
	GPS + GALILEO	3E-41(7E-86-9E-39)	4E-41(4E-86-1E-38)
	GALILEO	7E-18(1E-44-4E-16)	1E-17(5E-45-6E-16)
	GALILEO + EGNOS	2E-27(6E-69-3E-25)	3E-27(3E-69-3E-25)
	GPS + GALILEO + EGNOS	2E-59(5E-117-3E-57)	2E-59(7E-117-4E-57)

Πίνακας 53 : Δείκτες Ακρίβειας και Ακεραιότητας για τη Λίμνη Μόρνου  
(Διπλή Συχνότητα)

Στα ιστογράμματα της ορατότητας των δορυφόρων και του δείκτη GDOP δεν βλέπουμε και μεγάλες διαφορές με το αντίστοιχο πρώτο σενάριο (Ευρώπη-Μεσόγειος-Ελλάδα) για τη περιοχή της Ελλάδας. Σε γενικές γραμμές οι τιμές είναι ίδιες.



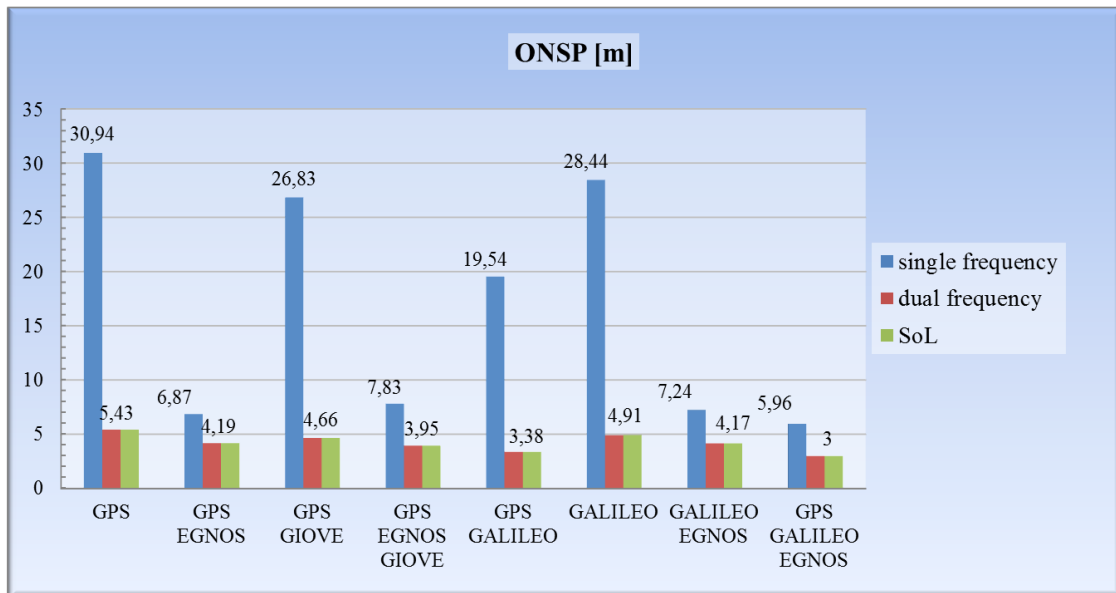
Εικόνα 151 : Ορατότητα Δορυφόρων για τη Λίμνη Μόρνου



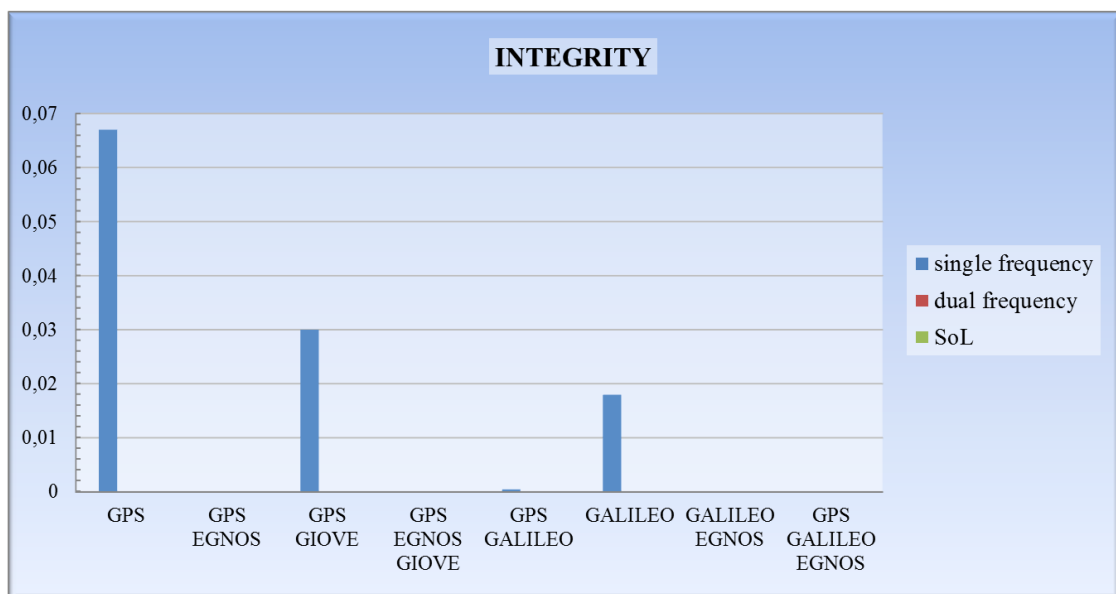
Εικόνα 152 : Ο Δείκτης GDOP για τη Λίμνη του Μόρνου



Στα διαγράμματα της ακρίβειας (Εικόνα 153) όπου γίνεται και η σύγκριση των τριών περιπτώσεων παρατηρούμε ότι οι περιπτώσεις με τις διπλές συχνότητες δίνουν πολύ καλύτερα αποτελέσματα και ότι οι δύο περιπτώσεις με διπλές συχνότητες δεν διαφέρουν και δίνουν τα ίδια αποτελέσματα. Στη περίπτωση της ακεραιότητας (Εικόνα 154) στο διάγραμμα εμφανίζονται μόνο οι τιμές που αφορούν τη μονή συχνότητα διότι οι άλλες δύο περιπτώσεις δίνουν απειροελάχιστες τιμές.



Εικόνα 153 : Ο Δείκτης ONSP για τη Λίμνη του Μόρνου



Εικόνα 154 : Ακεραιότητα για τη Λίμνη του Μόρνου

### 3.8.10. Σενάριο 10<sup>ο</sup> : Σενάρια με τη συνδρομή υπηρεσιών τύπου HEPOS

Στο τελευταίο σενάριο εξετάζεται η περίπτωση της συνδυασμένης χρήσης των δορυφορικών μετρήσεων για τη περίπτωση που ο χρήστης θα λαμβάνει διορθώσεις από μία υπηρεσία τύπου HEPOS. Παρόλο που σήμερα το HEPOS δεν προβλέπεται να έχει δυνατότητες επέκτασης της λειτουργίας του και με τους μελλοντικούς δορυφόρους του συστήματος Galileo, η κεντρική ιδέα είναι να εξεταστεί η απόδοση του Galileo μαζί και με τα άλλα συστήματα GPS και EGNOS, εάν ο χρήστης θα έχει τη δυνατότητα να λαμβάνει μαζί με τα σήματα από τους δορυφόρους των εν λόγω συστημάτων και διορθώσεις από ένα δίκτυο εικονικών σταθμών αναφοράς όπως το HEPOS. Για την ευκολότερη σύγκριση των σεναρίων χρησιμοποιήθηκε και πάλι η διαδρομή στη λίμνη του Μόρνου με τις ίδιες παραμέτρους όπως στο 9<sup>ο</sup> σενάριο.

Στόχος της συγκεκριμένης προσομοίωσης ήταν να εξεταστεί η περίπτωση μιας καθαρά γεωδαιτικής εφαρμογής, όπως παραδείγματος χάριν μιας κινηματικής όδευσης για τις ανάγκες της τεχνικής της αυτοκίνητης τριγωνομετρικής υψομετρίας.

A/A Σενάριο	Τύπος Χρήστη	Πορείες	Δορυφορικοί Σχηματισμοί	Παράμετροι	Στόχος Σεναρίου
10	Κινηματικός	Λίμνη Μόρνου	GPS	Ορατότητα DOP Ακεραιότητα NSP	Χρήση HEPOS
			GPS + EGNOS		
			GPS + GIOVE		
			GPS + EGNOS + GIOVE		
			GPS + GALILEO		
			GALILEO		
			GALILEO + EGNOS		
GPS + GALILEO + EGNOS					

Πίνακας 54 : Σενάριο 10<sup>ο</sup>

Στη περίπτωση σεναρίων με τις διορθώσεις από το σύστημα HEPOS παράμετροι στους πίνακες των UERE μειώνονται ή εξαλείφονται (Παράρτημα Γ). Παρακάτω δίνεται ένα παράδειγμα των αλλαγών στους πίνακες με τη χρήση του συστήματος HEPOS (Εικόνες 155, 156). Ο αρχικός πίνακας αναφέρεται σε τιμές με το σύστημα Galileo με μονή συχνότητα (L1).

UERE/4	Error Source	Elevation angle [deg]								
		5	10	15	20	30	40	50	60	90
	Residual Ionosphere	737	660	591	530	430	357	325	325	325
	OD&TS	67	67	67	67	67	67	67	67	67
	Residual Troposphere	135	75	51	39	27	21	18	16	14
	Thermal Noise, Interference, Multipath Random	55	50	46	43	40	38	38	38	38
	Multipath Bias	120	120	120	120	120	120	120	120	120
	Satellite BGD	56	56	56	56	56	56	56	56	56
	Code-Carrier Ionospheric Divergence	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	Total (1-sigma error [cm])	768	685	616	557	462	394	364	364	364
	Total + 10% Margin (1-sigma error [cm])	845	753	678	612	508	433	401	401	401

Εικόνα 155 : Παράδειγμα Υπολογισμού HEPOS-UERE: Ο αρχικός πίνακας UERE

Οι εγγραφές του πίνακα για τα σφάλματα της ιονόσφαιρας και της τροπόσφαιρας μειώνονται κατά 95%, το σφάλμα λόγω απόκλισης του σήματος από την ιονόσφαιρα μειώνεται κατά 98%, ενώ τα σφάλματα συγχρονισμού, καθορισμού της τροχιάς και καθυστέρησης της εφημερίδας εξαλείφονται τελείως.

UERE/4	Error Source	Elevation angle [deg]								
		5	10	15	20	30	40	50	60	90
-95%	Residual Ionosphere	37	33	30	27	22	18	16	16	16
0	OD&TS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-95%	Residual Troposphere	7	4	3	2	1	1	1	1	1
	Thermal Noise, Interference, Multipath Random	55	50	46	43	40	38	38	38	38
	Multipath Bias	120	120	120	120	120	120	120	120	120
0	Satellite BGD	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-98%	Code-Carrier Ionospheric Divergence	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Total (1-sigma error [cm])	137	134	132	130	128	127	127	127	127
	Total + 10% Margin (1-sigma error [cm])	151	148	145	143	141	140	140	140	140

Εικόνα 156: Παράδειγμα Υπολογισμού HEPOS-UERE: Ο τελικός πίνακας HEPOS –UERE

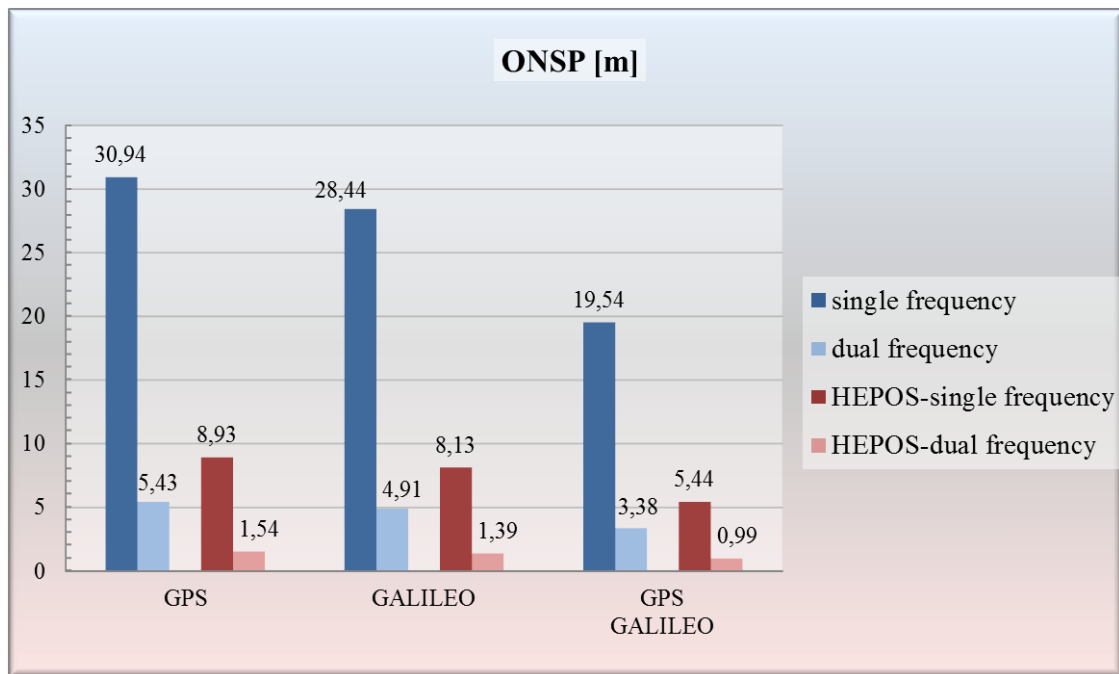
Παρακάτω δίνονται οι πίνακες από τις προσομοιώσεις που έγιναν στο πρόγραμμα. Επεξεργασία έγινε μόνο για τις περιπτώσεις των συνδυασμών GPS, Galileo και GPS μαζί με Galileo. Για την καλύτερη σύγκριση στα ιστογράμματα δίνονται και οι τιμές χωρίς τις διορθώσεις από το HEPOS (όπως ακριβώς εξήχθησαν στο 9<sup>ο</sup> σενάριο):

<b>Visibility</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Single frequency</b>	<b>Dual frequency</b>
	GPS	8.8(7-11)	8.8(7-11)
	GALILEO	7.8(6-10)	7.8(6-10)
	GPS + GALILEO	16.6(13-19)	16.6(13-19)
<b>GDOP</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Single frequency</b>	<b>Dual frequency</b>
	GPS	2.27(1.46-3.67)	2.27(1.46-3.67)
	GALILEO	2.35(3.48-1.63)	2.35(3.48-1.63)
	GPS + GALILEO	1.48(1.14-2.06)	1.48(1.14-2.06)
<b>ONSP</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Single frequency</b>	<b>Dual frequency</b>
	GPS	30.94(22.11-45.09)	5.43(3.9-8.02)
	GALILEO	28.44(22.75-35.07)	4.91(3.85-6.42)
	GPS + GALILEO	19.54(16.45-24.04)	3.38(2.81-4.24)
<b>Integrity</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Single frequency</b>	<b>Dual frequency</b>
	GPS	0.067(0.0079-0.19)	1E-14(6E-42-1E-12)
	GALILEO	0.018(0.0048-0.054)	7E-18(1E-44-4E-16)
	GPS + GALILEO	0.0005(4E-5-0.003)	3E-41(7E-86-9E-39)

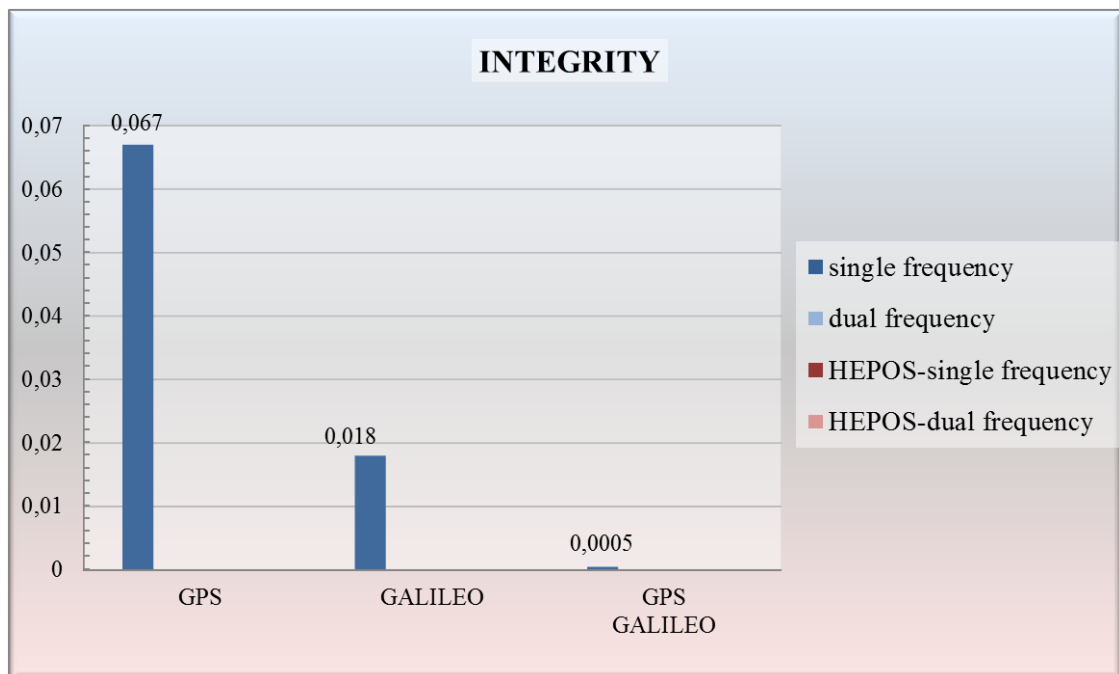
Πίνακας 55 : Αποτελέσματα για τη Λίμνη του Μόρνου (χωρίς χρήση HEPOS)

<b>Visibility</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Single frequency</b>	<b>Dual frequency</b>
	GPS	8.8(7-11)	8.8(7-11)
	GALILEO	7.8(6-10)	7.8(6-10)
	GPS + GALILEO	16.6(13-19)	16.6(13-19)
<b>GDOP</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Single frequency</b>	<b>Dual frequency</b>
	GPS	2.27(1.46-3.67)	2.27(1.46-3.67)
	GALILEO	2.35(3.48-1.63)	2.35(3.48-1.63)
	GPS + GALILEO	1.48(1.14-2.06)	1.48(1.14-2.06)
<b>ONSP</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Single frequency</b>	<b>Dual frequency</b>
	GPS	8.93(5.73-14.34)	1.54(1.18-2.15)
	GALILEO	8.13(5.92-11.28)	1.39(1.18-1.63)
	GPS + GALILEO	5.44(4.31-7.31)	0.99(0.87-1.15)
<b>Integrity</b>	<b>Σχηματισμός</b>	<b>Single frequency</b>	<b>Dual frequency</b>
	GPS	3E-8(3E-27-2E-6)	3E-25(4E-87-5E-23)
	GALILEO	2E-10(1E-27-8E-9)	1E-27(1E-80-6E-26)
	GPS + GALILEO	2E-22(4E-51-5E-20)	8E-70(2E-160-4E-67)

Πίνακας 56 : Αποτελέσματα για τη Λίμνη του Μόρνου (με χρήση διορθώσεων από σταθμούς τύπου HEPOS)



Εικόνα 157 : Ακρίβεια ONSP για την Λίμνη του Μόρνου



Εικόνα 158 : Ακεραιότητα για την Λίμνη του Μόρνου

Από τους πίνακες και τα διαγράμματα γίνεται εμφανές ότι οι περιπτώσεις με χρήση διορθώσεων από δίκτυα εικονικών σταθμών (VRS) τύπου HEPOS δίνουν πολύ καλύτερα αποτελέσματα από ότι σε αντίστοιχες περιπτώσεις χωρίς τη χρήση του.

Επίσης, η περίπτωση διπλής συχνότητας δίνει καλύτερη ακρίβεια και ακεραιότητα από την περίπτωση μονής συχνότητας με συνδυασμό με VRS διορθώσεις. Η περίπτωση με τις καλύτερες ακρίβειες είναι βέβαια αυτή της διπλής συχνότητας με GPS και Galileo συνδυασμένη με τη χρήσης διορθώσεων που δίνει ακρίβεια της τάξης του ενός μέτρου και ακεραιότητα της τάξης του  $10^{-70}$ . Αλλά και ξεχωριστά στα GPS και Galileo η ακρίβεια είναι 1,5 και 1,4 μέτρα, με ακεραιότητα της τάξης  $10^{-25}$  και  $10^{-27}$  αντίστοιχα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στο κεφάλαιο αυτό συνοψίζονται τα κυριότερα συμπεράσματα που εξήχθησαν από το θεωρητικό και ερευνητικό μέρος της εργασίας.

### 4.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από το θεωρητικό μέρος της εργασίας προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα συστήματα GNSS εξελίσσονται με ταχύτετους ρυθμούς. Το επερχόμενο και πολλά υποσχόμενο ευρωπαϊκό σύστημα Galileo αναμένεται να άρει τις όποιες στρατιωτικές δεσμεύσεις και να έχει πολλά πλεονεκτήματα έναντι των άλλων προκατόχων του. Το αμερικανικό σύστημα GPS και το ρωσικό GLONASS ολοένα εξελίσσονται και βελτιώνονται, ενώ παράλληλα άλλα συστήματα όπως το κινεζικό COMPASS αναμένεται να κάνουν την εμφάνισή τους. Επίσης, συστήματα λειτουργικής επέκτασης όπως το ευρωπαϊκό EGNOS συμπληρώνουν τα συστήματα πλοήγησης και τα καθιστούν ικανά για πιο απαιτητικές εφαρμογές όπως για παράδειγμα σε κρίσιμες εφαρμογές ασφαλείας.

Μαζί με τις εξελίξεις των συστημάτων GNSS εξελίσσονται και οι ποικίλες εφαρμογές που συνδέονται με αυτά τα συστήματα. Οι εφαρμογές αυτές αφορούν όλο και περισσότερους κλάδους της καθημερινής ζωής και νέες καινοτόμες εφαρμογές πρακτικού και επιστημονικού ενδιαφέροντος. Επόμενο είναι λοιπόν να ευνοηθούν και οι τοπογραφικές εφαρμογές που κάνουν χρήση τέτοιων συστημάτων.

Στη συνέχεια μέσω των σεναρίων σε κινηματικές πορείες βγήκαν τα ακόλουθα γενικά συμπεράσματα. Υπενθυμίζεται ότι σε όλες τις περιπτώσεις οι αναφορές περί ακρίβειας αφορούν τη χρήση μετρήσεων κώδικα σε πραγματικό χρόνο, αφού οι τιμές UERE που χρησιμοποιήθηκαν αναφέρονται σε τέτοιες μετρήσεις:

- Για στατικό εντοπισμό το σύστημα Galileo παρέχει (6-11) ορατούς δορυφόρους με γεωμετρία (1,6-3,5) ενώ το σύστημα GPS περίπου ίδιες τιμές με (6-12) ορατούς δορυφόρους με τιμές γεωμετρίας (1,4-5,8). Η συνδυαστική χρήση του συστήματος EGNOS με τα προηγούμενα δύο συστήματα αυξάνει την ορατότητά τους σταθερά κατά 3 τους δορυφόρους και μειώνει κατά 0,3 τις τιμές του GDOP. Καλύτερα αποτελέσματα έχουμε με τον συνδυασμό και των τριών συστημάτων που δίνει περίπου 20 (16-14) ορατούς δορυφόρους και τιμή γεωμετρίας 1,4 (1-1,9).
- Σε κινηματικές πορείες πλοίων και ιστιοπλοϊκών με μονή συχνότητα και χωρίς περιορισμό στη γωνία ανύψωσης τα συστήματα GPS και Galileo μόνα τους δίνουν 6-11 ορατούς δορυφόρους με γεωμετρία 1,4-3,4 με ακρίβεια 22-40 m και ποσοστά ακεραιότητας 6% και 2% αντίστοιχα. Για τον συνδυασμό και των τριών συστημάτων έχουμε 16-23 ορατούς δορυφόρους, τιμή γεωμετρίας περίπου στο 1,4 και σχεδόν μηδενικό ποσοστό ακεραιότητας. Είναι εμφανές, συγκρίνοντας και με τα προηγούμενα αποτελέσματα από τις

περιπτώσεις στατικού εντοπισμού, ότι με τόσους ορατούς δορυφόρους κινηματικές πορείες πλοίων θα μπορούν να καθοριστούν με ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας και ορθότητας των αποτελεσμάτων εντοπισμού.

- Σε κινηματικές πορείες αεροπλάνων που συνήθως χρησιμοποιούνται δεκτές διπλής συχνότητας και υπηρεσίες Ασφάλειας Ζωής (SoL) η ακρίβεια πλοήγησης (σε πραγματικό χρόνο) με το GPS και Galileo κυμαίνεται από 4 έως 6 m. Στο συνδυασμό των δύο συστημάτων η ακρίβεια βελτιώνεται στα 3,5 m ενώ και με τη χρήση του συστήματος EGNOS ακρίβεια βελτιώνεται με τιμές περίπου (λίγο χαμηλότερα) στα 3 m. Σε αυτό το σενάριο οι τιμές της ακεραιότητας ήταν μηδενικές για όλες τις περιπτώσεις συνδυασμών. Συνεπάγεται λοιπόν ότι με τη συνδυασμένη χρήση των τριών συστημάτων, θα μπορούμε να επιτύχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια και σχεδόν μηδενικά ποσοστά ακεραιότητας (περιπτώσεις επικίνδυνων τιμών), δηλαδή πολύ ασφαλέστερες αεροπορικές μεταφορές σε πραγματικό χρόνο.
- Σε κινηματικές πορείες αυτοκινήτων σε αστικά περιβάλλοντα όπου η γωνία ύψους είναι μεγάλες (περίπου  $30^\circ$ ) λόγω των ψηλών κτιρίων εξετάστηκαν δύο περιπτώσεις: με χρήση μονής συχνότητας και διπλής συχνότητας.

Σε συνθήκες με περιορισμό στη γωνία ύψους τα δύο συστήματα GPS και Galileo από μόνα τους δίνουν περίπου 4 έως 7 και 4 έως 5 (οριακή τιμή για να έχουμε λύση) ορατούς δορυφόρους και πολύ υψηλές τιμές DOP περίπου 9 και 27 αντίστοιχα, ενώ δεν αποκλείεται και να μην δώσουν καθόλου αποτέλεσμα (ανάλογα με τη διαδρομή). Στο συνδυασμό GPS μαζί με Galileo οι ορατοί δορυφόροι είναι περίπου 9 (6-12) και η τιμή του δείκτη DOP είναι περίπου 5. Από αυτή τη διαπίστωση γίνεται εμφανές και το μεγάλο πλεονέκτημα που προσδίδει ο συνδυασμός των δύο συστημάτων GPS και Galileo, αφού επιτρέπει τον διπλασιασμό των ορατών δορυφόρων ακόμα σε στα δύσκολα αστικά περιβάλλοντα μετρήσεων όπου σήμερα το GPS μόνο του δοκιμάζεται σε πολύ υψηλό βαθμό.

Η βέλτιστη περίπτωση είναι αυτή του συνδυασμού των GPS, Galileo και EGNOS όπου οι ορατοί δορυφόροι είναι περίπου 11 (8 έως 14) και οι τιμές του δείκτη DOP είναι περίπου 4 (οι τιμές κυμαίνονται από 2,5 έως 12).

Όσον αφορά την ακρίβεια πλοήγησης (σε πραγματικό χρόνο) η περίπτωση του GPS στη χρήση μετρήσεων του κώδικα μονής συχνότητας έδωσε ακρίβεια 100 m, ενώ για χρήση διπλής συχνότητας έδωσε 20 m. Αντίστοιχα το σύστημα Galileo έδωσε τιμές περίπου διπλάσιες, 200 m για μονή και 40 m για διπλή συχνότητα. Η τιμή από μετρήσεις διπλής συχνότητας είναι περίπου το 20% της αντίστοιχης τιμής της μονής όταν τα δύο συστήματα χρησιμοποιούνται από μόνα τους. Στο συνδυασμό GPS και Galileo οι



αντίστοιχες τιμές ακρίβειας είναι περίπου 48 m για μονή και 9 m για διπλή και στο συνδυασμό GPS & Galileo & EGNOS 13 m και 7 m αντίστοιχα.

Για τις τιμές της ακεραιότητας αντίστοιχα για το GPS είναι 6,4% για διπλή και 41% για μονή, για το Galileo 18% και 58% αντίστοιχα. Στους συνδυασμούς GPS & Galileo και GPS & Galileo & EGNOS οι τιμές ακεραιότητας είναι σχεδόν μηδενικές.

- Σε κινηματικές πορείες αυτοκινήτων σε αγροτικά περιβάλλοντα όπου εφαρμόστηκαν διάφοροι περιορισμοί στη γωνία ύψους ( $10^\circ$  έως  $30^\circ$ ) οι τιμές με το μεγαλύτερο περιορισμό στη γωνία ύψους ( $30^\circ$ ), όπως είναι αναμενόμενο δίνουν λιγότερους ορατούς δορυφόρους, υψηλότερες τιμές DOP, μεγαλύτερες τιμές ακρίβειας και υψηλότερα ποσοστά ακεραιότητας.

Γενικά, η ορατότητα, η γεωμετρία του δορυφορικού συστήματος, η ακρίβεια και η ακεραιότητα εξαρτώνται από την γωνία ύψους. Καθώς αυξάνεται η γωνία περιορίζεται ο αριθμός των ορατών δορυφόρων, η γεωμετρία γίνεται χειρότερη και κατ' επέκταση και οι τιμές της ακρίβειας και οι τιμές της ακεραιότητας μεγαλώνουν.

- Σε κινηματικές πορείες πεζών σε μονοπάτια υπάρχουν επίσης περιορισμοί στη γωνία ύψους ( $30^\circ$ ). Τα συστήματα GPS και Galileo μόνα τους δίνουν ακρίβεια πλοήγησης 60-70 m και ποσοστό ακεραιότητας περίπου 30%. Ο συνδυασμός GPS & GALILEO δίνει αντίστοιχες τιμές ακρίβειας περίπου 30 m και ποσοστό ακεραιότητας περίπου 2-3,5%, ενώ ο συνδυασμός μαζί με το EGNOS δίνει αντίστοιχα περίπου 9 m και τιμή ακεραιότητας σχεδόν μηδέν.
- Σε κινηματικές πορείες τρένων, εξετάστηκαν οι γωνίες ανύψωσης  $10^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$  και βγήκαν τα ακόλουθα γενικά συμπεράσματα:

Στη περίπτωση που δεν υπάρχει περιορισμός στη γωνία ύψους ( $10^\circ$ ), τα συστήματα GPS και Galileo μόνα τους δίνουν 9 και 8 ορατούς δορυφόρους, με τιμές DOP 2 και 2,5 αντίστοιχα, ενώ η ακρίβεια είναι περίπου 30m και το ποσοστό της ακεραιότητας κυμαίνεται από 27% έως 30%. Ο συνδυασμός των δύο δίνει ως αποτέλεσμα 17 ορατούς δορυφόρους, τιμή DOP 1,5, ακρίβεια περίπου 20m και ποσοστό ακεραιότητας 2,2-3,5%. Ο συνδυασμός και των τριών (GPS & Galileo & EGNOS) δίνει 20 ορατούς δορυφόρους, τιμή DOP περίπου στο 1,4, ακρίβεια 6m και σχεδόν μηδενικό ποσοστό ακεραιότητας.

Στη περίπτωση περιορισμού της γωνίας ύψους στις  $30^\circ$  τα συστήματα GPS και Galileo μόνα τους δίνουν 5-6 ορατούς δορυφόρους, με τιμές DOP 16 και 13 αντίστοιχα, ενώ η ακρίβεια είναι περίπου 173m και 118m αντίστοιχα και το ποσοστό της ακεραιότητας 50% έως 37% αντίστοιχα. Ο συνδυασμός των

δύο δίνει αποτέλεσμα 10 ορατούς δορυφόρους, τιμή DOP περίπου 4, ακρίβεια περίπου 40m και ποσοστό ακεραιότητας 5-8%. Ο συνδυασμός και των τριών (GPS & Galileo & EGNOS) δίνει 12 ορατούς δορυφόρους, τιμή DOP περίπου στο 3, ακρίβεια 10m και σχεδόν μηδενικό ποσοστό ακεραιότητας.

Στη περίπτωση περιορισμού της γωνίας ύψους στις 40° μόνο οι συνδυασμοί GPS & Galileo και GPS & Galileo & EGNOS δίνουν λύση. Ο πρώτος δίνει 8 ορατούς δορυφόρους, τιμή DOP περίπου στο 7, ακρίβεια 67m και ποσοστό ακεραιότητας 23-28%. Ο συνδυασμός και των τριών δίνει 8 ορατούς δορυφόρους, τιμή DOP περίπου στο 5,5, ακρίβεια 16m και ποσοστό ακεραιότητας 0,02%.

- Από τη σύγκριση μονής και διπλής συχνότητας στη διαδρομή του Μόρνου, τα συστήματα GPS Galileo μόνα τους δίνουν ακρίβεια περίπου 30m με τη χρήση μονής συχνότητας και περίπου 5m με τη χρήση διπλής συχνότητας. Ο συνδυασμός των δύο συστημάτων GPS & Galileo δίνει 6m σε μονή συχνότητα και 3m σε διπλή συχνότητα. Τέλος, ο συνδυασμός και των τριών συστημάτων σε μονή συχνότητα δίνει 6m και σε διπλή συχνότητα δίνει 3m. Η χρήση διπλής συχνότητας και διπλής συχνότητας της υπηρεσίας Ασφάλειας Ζωής (SoL) δίνει σχεδόν τα ίδια αποτελέσματα.
- Με τη χρήση μιας υπηρεσίας τύπου HEPOS τα συστήματα GPS και Galileo μόνα τους δίνουν ακρίβεια περίπου 8-9m στη μονή συχνότητα και 1,5m στη διπλή, ενώ ο συνδυασμός και των δύο συστημάτων δίνει ακρίβεια περίπου 5m στη μονή συχνότητα και 1m στη διπλή συχνότητα.

Τέλος από τη συνολική έρευνα ύστερα από την αξιολόγηση των συστημάτων GNSS σε κινηματικές πορείες βγήκαν τα εξής γενικά συμπεράσματα:

- Στη περίπτωση του στατικού εντοπισμού οι ενδείξεις DOP συνεπάγονται ότι, εάν χρησιμοποιούμε μετρήσεις αντίστοιχα με τυπική ακρίβεια (precision)  $\sigma_{obs}$  της τάξης των
  - $\pm 10m$  (π.χ. μετρήσεις κώδικα του τύπου C/A),
  - $\pm 1m$  (π.χ. μετρήσεις κώδικα ακριβείας P)
  - $\pm 0.01m$  (π.χ. μετρήσεις φάσης του φέροντος κύματος σε μια συχνότητα)
  - $\pm 0.1m$  (π.χ. μετρήσεις φάσης του φέροντος κύματος σε δύο συχνότητες)

από τη συνδυασμένη χρήση π.χ. και των τριών συστημάτων (που έδωσε τιμή DOP 1,4), η προαναφερόμενη τυπική τιμή γεωμετρίας DOP θα μας δίνει τη δυνατότητα να επιτυγχάνουμε τον εντοπισμό της θέσης σημείων οπουδήποτε στον ελλαδικό χώρο με ορθότητα (accuracy) της τάξης DOP  $\times \sigma_{obs}$ , δηλαδή αντίστοιχα:

- $1,4 \times 10\text{m} = 14\text{m}$
- $1,4 \times 1\text{m} = 1,4\text{m}$
- $1,4 \times 0,1\text{m} = 0,14\text{m}$
- $1,4 \times 0,01\text{m} = 0,014\text{m}$

- Οι τιμές της ακρίβειας και της ακεραιότητας επηρεάζονται από τη γωνία ύψους διότι περιορίζει τον αριθμό των ορατών δορυφόρων και τη γεωμετρία. Όμως με το συνδυασμό και των τριών συστημάτων είναι δυνατό να έχουμε λύση σε πραγματικό χρόνο ακόμα και σε πολύ απαιτητικά περιβάλλοντα (με περιορισμό σε μεγάλες γωνίες ύψους π.χ.  $40^\circ$ )
- Από τις ενδείξεις αυτοκινήτων σε αστικά περιβάλλοντα συνάγεται και αξίζει να σημειωθεί ότι, εάν οι ίδιες διαδρομές εκτελεστούν με μετρήσεις φάσης μέσω διαδικασιών RTK ή ο χρήστης λαμβάνει αντίστοιχα διαφορικές διορθώσεις από σταθμούς αναφοράς τύπου HEPOS, οι αντίστοιχες αποδόσεις των δύο συστημάτων θα βελτιωθούν περίπου κατά δύο τάξεις μεγέθους αφού οι αντίστοιχες τιμές RPDOP θα είναι μειωμένες με ανάλογα ποσοστά εξ αιτίας των χαμηλότερων UERE που συνεπάγονται οι εν λόγω διαδικασίες.
- Με τη χρήση περισσότερων δορυφορικών συστημάτων ταυτόχρονα επιτυγχάνουμε την ορατότητα ολοένα και περισσότερων δορυφόρων με αποτέλεσμα η τιμή DOP να τείνει να παίρνει τιμή 1 (ιδανική). Συμφωνά και με τον τύπο  $NSP = DOP \times UERE$  αυτό έχει σαν συνέπεια, η ακρίβεια μελλοντικά να εξαρτάται μόνο από το δείκτη UERE, δηλαδή από τις συνθήκες του περιβάλλοντος των μετρήσεων (με την προϋπόθεση ότι αυτές εκτελούνται σε συνθήκες ανοιχτού ουρανού, δηλαδή πλήρους ορατότητας). Επιπλέον, με τη χρήση διπλής συχνότητας ή διορθώσεων από συστήματα τύπου HEPOS οι τιμές UERE τείνουν και αυτές προς τη μονάδα ή και λιγότερο με συνέπεια μελλοντικά η ακρίβεια κινηματικού εντοπισμού να είναι ένα προς ένα.

## 4.2. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η έρευνα πάνω στους διαφορετικούς παράγοντες και τομείς που επηρεάζουν την απόδοση των επερχόμενων συστημάτων GNSS όμως δεν σταματάει εδώ. Ο τομέας της δορυφορικής πλοήγησης και εντοπισμού θέσης φαίνεται να είναι εξαιρετικά υποσχόμενος και εξελίσσεται ραγδαία με σημαντική αποδοχή από τους χρήστες. Ολοένα και καινούργιες εφαρμογές κάνουν την εμφάνισή τους καθιστώντας όλο και περισσότερο επιτακτική την ανάγκη προσδιορισμού της θέσης του χρήστη. Για κάποιον που ενδιαφέρεται να πραγματοποιήσει περαιτέρω μία μελέτη πάνω σε αυτό το αντικείμενο προτείνεται:

- Να συγκριθούν τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, με αποτελέσματα από πραγματικά δεδομένα από τα ίδια συστήματα GNSS, και τους ίδιους συνδυασμούς μεταξύ τους, για τις ίδιες πορείες όταν το σύστημα Galileo θα είναι πλήρως επιχειρησιακό, για να διαπιστωθεί κατά πόσο τα πραγματικά αποτελέσματα θα συγκλίνουν με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που εξήχθησαν.
- Σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας με αντίστοιχα αποτελέσματα των ίδιων σεναρίων με χρήση άλλων παρόμοιων λογισμικών προσομοίωσης για το σύστημα Galileo, όπως π.χ. τα εργαλεία GMAS (Galileo Mission Analysis Simulator), GSVS (Galileo Service Volume Simulator, GSVF (Galileo Signal Validation Facility) για την περαιτέρω αξιολόγηση του προγράμματος προσομοίωσης και τη σύγκριση της απόδοσής του με τα υπόλοιπα.
- Σύγκριση των συστημάτων Galileo και GPS και με άλλα συστήματα όπως το ρωσικό σύστημα GLONASS και το μελλοντικό κινεζικό σύστημα COMPASS, με συνδυασμούς μεταξύ τους και με χρήση των συστημάτων λειτουργικής επέκτασης, και υπηρεσιών τύπου HEPOS (π.χ. με χρήση δικτυακών τεχνικών VRS) με παρόμοια κινηματικά σενάρια.
- Υλοποίηση κάθε μίας τοπογραφικής εφαρμογής που αναλύθηκαν με πραγματικές μετρήσεις από τα υπάρχοντα και μελλοντικά συστήματα GNSS, όταν αυτό θα είναι δυνατό για τη καλύτερη σύγκριση των συστημάτων μεταξύ τους στις εκάστοτε εφαρμογές πάνω στη πράξη.
- Σύγκριση του μελλοντικού ευρωπαϊκού συστήματος Galileo με το εκσυγχρονισμένο αμερικανικό σύστημα GPS 3<sup>ης</sup> γενιάς (GPS III), όταν τα δύο συστήματα τεθούν σε λειτουργία και θα είναι πλήρως επιχειρησιακά, σε κινηματικές πορείες αλλά και σε στατικούς δέκτες.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

### ΚΕΦ.1.

1. Κορακίτης Ρ. (2006) – “Σημειώσεις Γεωδαιτικής Αστρονομίας”, Εκδόσεις ΕΜΠ
2. Α. Φωτίου και Ε. Λιβιεράτος (2000) - “Γεωμετρική Γεωδαισία και Δίκτυα”, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη, ISBN 960-431-612-5
3. Δ. Δεληκαράογλου, κεφ. 5: “Δορυφορικά Συστήματα Εντοπισμού και Πλοήγησης, Εδικά Θέματα Δορυφορικής Γεωδαισίας”, Εκδόσεις ΕΜΠ, (Αθήνα 2005)
4. A Beginner’s Guide to GNSS in Europe, ‘International Federation of air traffic controllers’ associations. <http://www.ifatca.org/docs/gnss.pdf>
5. Scott Gleason, Demoz Gebre-Egziabher, “GNSS Applications and Methods”, Artech House, (London, 2009)
6. Elliott D. Kaplan ,Christopher J. Hegarty, “Understanding GPS Principles and Applications”, Artech House, (London, 2006)
7. W. Päßgen, “Galileo Control Center, Workshop Time and Frequency Services with Galileo”, Oberpfaffenhofen, German Space operations Center, (2005)
8. Soehne W., G. Gendt, M. Rothacher (2007) – “GGSP: Realisation of the Galileo Terrestrial ReferenceFrame”, Geophysical Research Abstracts, Vol. <http://209.85.129.132/search?q=cache:03q4eNn7DMsJ:www.cosis.net/abstracts/EGU2007/03263/EGU2007-J-03263-1.pdf+GALILEO+frame+reference&cd=2&hl=el&ct=clnk&gl=gr>
9. Moudrak A., A. Konovaltsev, J. Furthner, J. Hammesfahr, A. Bauch, P. Defraigne, S. Bedrich and A. Schroth (2005) - “Interoperability on time: GPS-Galileo offset will bias position”, GPS World, March 2005, [http://findarticles.com/p/articles/mi\\_m0BPW/is\\_3\\_16/ai\\_n13477518/](http://findarticles.com/p/articles/mi_m0BPW/is_3_16/ai_n13477518/)
10. “Planned GPS Civil Signals and Their Benefits to the Civil Community”-Dr. A. J. Van Dierendonck-AJ Systems
11. Dave Ross ,“GPS Modernization”, Headquarters U.S. Air Force,(2004)
12. Professor Per Enge, “GPS Modernization: Capabilities of the New Civil Signals”, (2003)
13. H. Cabler, “Principles of GPS positioning GPS signal and observables Error and corrections Processing GPS data GPS measurement strategies Precision and accuracy”
14. Keith D. McDonald, “The Modernization of GPS: Plans, New Capabilities and the Future Relationship to Galileo”
15. Larry Hothem, “GPS Modernization Program Current Status and Plans”, IGS Workshop (2006)
16. Larry Hothem, “The GPS Modernization Program and Policy Update”, FIG Congress (2006)

17. EU-US Cooperation on Satellite Navigation, “Combined Performances for Open GPS/Galileo Receivers”, (2010)
18. S. Ryan, G. Lachapelle, “Impact of GPS/Galileo Integration on Marine Navigation” ,(2000)
19. Zofia Rzepecka, Alojzy Wasilewski, Sawomir Cellmer “INTEGRATION OF GPS AND PSEUDOLITES EFFECT ON THE POSITIONING ACCURACY”, (2005)
20. Paul Kempfi, “Next generation satellite navigation systems”, VIT (2007)
21. “GPS Status and Modernization” Munich Satellite Navigation Summit Munich, Germany 20 Feb 2008
22. John Wilt, “Civil GPS Service Interface Committee”, U.S. Air Force, (2001)
23. European Commission Directorate-General for Energy and Transport “Service Definition Document Open service the Role of time and frequency in EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System)”  
[http://tycho.usno.navy.mil/ptti/1998/Vol%2030\\_43.pdf](http://tycho.usno.navy.mil/ptti/1998/Vol%2030_43.pdf)
24. ESA, “EGNOS: European Geostationary Navigation Overlay Service”
25. A. Job, J. Legenne, M. Brunet, J-M. Pieplu, “The Role of Time and Frequency in EGNOS (european geostationary navigation overlay system)”, PTTI Meeting
26. CNES, ESA, “USER GUIDE FOR EGNOS APPLICATION DEVELOPERS”(2009)
27. Pieter De Smet, “European GNSS Programmes EGNOS and Galileo”, (June,2009)
28. Daniel Ludwig ,“Growing Galileo”, GACELA Workshop (2010)
29. U.Robustelli1, S. Gaglione, R. Santamaria, M. Vultaggio, “Galileo Signal Design: State of Art”.
30. Vladimir Glotov, “GLObal Navigation Satellite System (GLONASS)” (2009)
31. “Improvement of UERE Receiver Performance due to Multipath Mitigation with an Adaptive Antenna” <ftp://ftp.estec.esa.nl/pub3/tos-ett/navitec2004/papers/14.4-Konovaltsev.pdf>
32. Glen Gibbons, “China GNSS 101 Compass in the Rearview Mirror”, GNSS WORLD, Inside GNSS, (January/February 2008)
33. Steven Lazar, “Modernization and GPS III”, Crosslink, (Summer 2002)
34. Sam Pullen, Per Enge “A Civil User Perspective on Near-Term and Long-Term GPS Modernization”
35. Ενημερωτικό Δελτίο Πανελληνίου Συλλόγου Διπλωματούχων Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Τεύχος 191(Νοέμβριος- Δεκέμβριος 2008)

## ΚΕΦ.2.

1. “Global positioning systems, inertial navigation, and integration” , Mohinder S. Grewal, Lawrence Randolph Weill, Lawrence R. Weill, Angus P. Andrews
2. “Introduction to GPS: the Global Positioning System” ,Ahmed El- Rabbany

3. “Satellite Systems for Personal Applications: Concepts and Technology”  
Madhavendra Richharia, Leslie David Westbrook
4. Satheesh Gopi ,“Global Positioning System: Principles And Applications”
5. “Detailed analysis on Giove-B User Equivalent Range Error (UERE)”,  
Massimo Eleuteri, Daniele Cretoni, Monica Gotta
6. Richard B. Langley, “Dilution of Precision”, GPS World (May 1999)
7. Spirent Communications, “Testing GNSS System Errors”
8. Michaël Moins, Carine Bruyninx , “Relative Positioning in Europe: Influence  
of the GPS+Galileo Satellite Geometry”
9. “Combining Galileo PRS and GPS M-Code”, G. Hein, J. Rodriguez,  
InsideGNSS, (January/February 2006)
10. “An Analysis of Dilution of Precision in Global Positioning System”, C. Park,  
I. Kim, Seoul, Korea (2000)
11. Tommy Jordan , “Introduction to Global Positioning System”, Liking Lichens  
Workshop (2004)
12. Erickson, C. (1992) - "Investigations of C/A Code and Carrier Measurements  
and Techniques for Rapid Static GPS Surveys", MSc Thesis, UCGE Report  
Number 20044, Department of Geomatics Engineering, Univ. of Calgary,  
Alberta, Canada, June.

### ΚΕΦ.3.

1. “Satellite Propagation Analysis in a Masking Environment for GNSS  
Applications”, Juliette Marais INRETS-LEOST
2. Bortolotto, M., Choquette, F. (2003) “EGNOS trials on Italian high-speed  
tilting trains”, Proceedings of GNSS 2003, Graz, Austria.
3. “GNSS RAIL USER FORUM REQUIREMENTS OF RAIL  
APPLICATIONS” J-M. Wiss (UIC), G. Barbu (ERRI), P. Frøsig (DSB), M.  
Schröder (DB), C. Edwards and K. Walter (RAILTRACK), A. Filip (ČD), A.  
Sage and S. Forsyth (HELIOS - GENESIS) (May 2000).
4. “Galileo as an instrument of unification of the European railway transport” ,  
Hynek Mocek SŽDC, TÚDC - Laboratory of Intelligent Systems Pardubice  
(October 2008)
5. Paul Kemppi, ‘Next Generation Satellite Navigation Systems’, VTT  
TIEDOTTEITA (2007)
6. Wonsuk “Daniel” Lee , ‘Precision Agriculture: Methods and Applications’  
University of Florida Agricultural and Biological Engineering
7. Δ. Αύφαντοπούλου, Ν. Ζύγρας, Χ. Κοντοές, Τ. Πρασσάς “Τρισδιάστατα Γεω-  
αναφερόμενα Δεδομένα Υψηλής Ακρίβειας με Σύστημα Κινηματικής  
Χαρτογράφησης (Mobile Mapping System - MMS)”, ΓΕΩΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ  
ΑΕΜ & ΓΕ (2010)
8. John W. Inman, “The Latest in Land Leveling” ,INTO GEAR (2002)
9. AUTOFARM, “AutoLevel, GPS Land Leveling System, The #1 Choice in Ag  
Leveling”, (2004)

10. Χ. Ιωαννίδης “Φωτογραμμετρία II: Συμπληρωματικές Σημειώσεις και Διαφάνειες από τις Παραδόσεις”. Εκδόσεις Ε.Μ.Π., (Αθήνα 2008)
11. “Υψομετρία”, Δ. Μπαλοδήμος, Ο. Αραμπατζή, Εκδόσεις Ε.Μ.Π. (2004)
12. Pietka, A. and Urrutia, B (2010) – “How Galileo can help Europe recover from the economic crisis ”, Inside GNSS, Jan/Febr.
13. Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2006) - Πράσινη Βίβλος για τις εφαρμογές της δορυφορικής πλοήγησης  
[http://europa.eu/legislation\\_summaries/transport/intelligent\\_transport\\_navigation\\_by\\_satellite/124463\\_el.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/transport/intelligent_transport_navigation_by_satellite/124463_el.htm)
14. Limpach, P., A. Geiger and H.-G. Kahle (2006) - Sea Surface Topography by Airborne Laser Altimetry and Offshore GPS Buoys in the Eastern Mediterranean: Comparison with JASON-1 Altimeter Data and GRACE Gravity Field, presentation in the ‘Geodesy Week 2006’, Munich.
15. Becker, J.-M., M. Lilje and P.-O. Eriksson (2000) – “Motorized Leveling”, Point of Beginning Magazine, April
16. Paul J. Hartzheim, P.J., PE, Darin, J. Henkel and R. Quandt (2003) – “Leveling with Four-Wheeled Chariots”, Point of Beginning Magazine, May.  
<http://www.pobonline.com/Articles/Features/6f86be768d0f6010VgnVCM100000f932a8c0>
17. Εγχειρίδια Χρήσης GSSF: GSSFP3.OM.003 - Reference Scenarios - Issue 1 - Revision 2, GSSFP3.OM.002 - Algorithms and Models - Issue 1 - Revision 5, GSSF Team (2007)



## ΙΣΤΟΧΩΡΟΙ

---

### ΚΕΦ.1.

1. <http://www.insidegnss.com/regional?page=1>
2. <http://html.rincondelvago.com/amss-applications.html>
3. <http://en.wikipedia.org/wiki/GNSS>
4. [http://www.positim.com/navsys\\_overview.html](http://www.positim.com/navsys_overview.html)
5. [http://www.positim.com/gnss\\_principles.html](http://www.positim.com/gnss_principles.html)
6. <http://html.rincondelvago.com/amss-applications.html>
7. <http://www.insidegnss.com/node/1624>
8. [http://www.positim.com/navsys\\_overview.html](http://www.positim.com/navsys_overview.html)
9. [http://www.positim.com/gnss\\_signals.html](http://www.positim.com/gnss_signals.html)
10. <http://www.ifatca.org/docs/gnss.pdf>
11. <http://en.wikipedia.org/wiki/GNSS>
12. <http://html.rincondelvago.com/amss-applications.html>
13. <http://www.oosa.unvienna.org/pdf/icg/2008/expert/2-2.pdf>
14. [http://www.esa.int/esaNA/SEMTHVXEM4E\\_galileo\\_0.html](http://www.esa.int/esaNA/SEMTHVXEM4E_galileo_0.html)
15. [http://ec.europa.eu/dgs/energy\\_transport/galileo/doc/galileo\\_hld\\_v3\\_23\\_09\\_0\\_2.pdf](http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/doc/galileo_hld_v3_23_09_0_2.pdf)
16. [http://www.enc-gnss09.it/proceedingsPDF/Poster1/8\\_poster1.pdf](http://www.enc-gnss09.it/proceedingsPDF/Poster1/8_poster1.pdf)
17. <http://www.oosa.unvienna.org/pdf/icg/2008/expert/2-2.pdf>
18. [http://www.raes.org.uk/cmspage.asp?cmsitemid=SG\\_Space\\_HotTopics](http://www.raes.org.uk/cmspage.asp?cmsitemid=SG_Space_HotTopics)
19. [http://www.esa.int/esaNA/GGGMX650NDC\\_galileo\\_0.html](http://www.esa.int/esaNA/GGGMX650NDC_galileo_0.html)
20. <http://www.ausairpower.net/TE-GPS-Guided-Weps.html>
21. [http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps\\_survey/chap1/141.htm](http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps_survey/chap1/141.htm)
22. [http://en.wikipedia.org/wiki/GPS\\_modernization](http://en.wikipedia.org/wiki/GPS_modernization)
23. <http://www.insidegnss.com/node/2466>
24. [http://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_Positioning\\_System](http://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System)
25. <http://www.space.commerce.gov/gps/modernization.shtml>
26. <http://www.defenseindustrydaily.com/the-gps-constellation-now-and-future-01069/>
27. <http://www.boeing.com/defense-space/space/gps/>
28. <http://www.aero.org/publications/crosslink/summer2002/07.html>
29. [http://www.globalsecurity.org/space/systems/gps\\_3.htm](http://www.globalsecurity.org/space/systems/gps_3.htm)

30. <http://www.space.commerce.gov/gps/modernization.shtml>
31. [http://www.kowoma.de/en/gps/control\\_segment.htm](http://www.kowoma.de/en/gps/control_segment.htm)
32. <http://140.137.13.100/derceng/Application.htm>
33. <http://humanitarianfutures.wordpress.com/2009/05/17/gps-accuracy-could-start-dropping-in-2010/>
34. [http://www.positim.com/gnss\\_signals.html](http://www.positim.com/gnss_signals.html)
35. [http://147.102.106.44/ILRS\\_W2009/docs/PP02B\\_GLOTOV\\_GLONASS.pdf](http://147.102.106.44/ILRS_W2009/docs/PP02B_GLOTOV_GLONASS.pdf)
36. <http://www.gpsandmachinecontrol.com/glonasswhat.php>
37. [http://www.positim.com/gnss\\_signals.html](http://www.positim.com/gnss_signals.html)
38. <http://www.azavea.com/blogs/atlas>
39. [http://news.xinhuanet.com/english/2010-01/15/content\\_12813638.htm](http://news.xinhuanet.com/english/2010-01/15/content_12813638.htm)
40. <http://html.rincondelvago.com/amss-applications.html>
41. [http://en.wikipedia.org/wiki/File:EGNOS\\_map.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:EGNOS_map.svg)
42. <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Egnoslogo.jpg>
43. [https://www.fig.net/pub/monthly\\_articles/february\\_2007/february\\_2007\\_ventu\\_ratraveset\\_etal.htm](https://www.fig.net/pub/monthly_articles/february_2007/february_2007_ventu_ratraveset_etal.htm)
44. <http://www.gpsworld.com/survey/whats-difference-between-a-used-car-salesman-and-a-gps-salesman-9101>
45. [http://www.esa.int/esaCP/ESA091V9EYC\\_Benefits\\_1.html](http://www.esa.int/esaCP/ESA091V9EYC_Benefits_1.html)
46. [http://www.esa.int/esaNA/GGG63950NDC\\_egnos\\_0.html](http://www.esa.int/esaNA/GGG63950NDC_egnos_0.html)
47. <http://www.egnos-portal.eu/index.cfm?objectid=B73432D1-AC0C-11DE-AAA50013D3D65949>
48. <http://en.wikipedia.org/wiki/EGNOS>
49. [http://www2.technion.ac.il/~liaison/open-calls/galileo\\_aplications\\_0209.ppt](http://www2.technion.ac.il/~liaison/open-calls/galileo_aplications_0209.ppt)
50. <http://www.egnos-portal.eu/index.cfm?objectid=B73432D6-AC0C-11DE-AAA50013D3D65949>
51. [http://en.wikipedia.org/wiki/GNSS\\_Augmentation](http://en.wikipedia.org/wiki/GNSS_Augmentation)
52. <http://www.answers.com/topic/gnss-augmentation>
53. [http://www.essp-sas.eu/docs/printed\\_documents/guide\\_egnos\\_2009\\_va\\_hd\\_bat3.pdf](http://www.essp-sas.eu/docs/printed_documents/guide_egnos_2009_va_hd_bat3.pdf)
54. [www.essp-sas.eu/docs/printed\\_documents/egnos\\_sdd\\_os\\_v1.pdf](http://www.essp-sas.eu/docs/printed_documents/egnos_sdd_os_v1.pdf)
55. [www.psdadm.gr/psdatm/docs/magazine/ETHNIKO\\_KTHMATOLOGIO\\_191.pdf](http://www.psdadm.gr/psdatm/docs/magazine/ETHNIKO_KTHMATOLOGIO_191.pdf)
56. <http://www.hepos.gr>

57. <http://www.ktimatologio.gr>

#### ΚΕΦ.2.

1. <http://www.developerfusion.com/article/4652/writing-your-own-gps-applications-part-2/2/>
2. <http://www.gps-tracking-solution.com/blog/>
3. <http://www.kowoma.de/en/gps/errors.htm>
4. <http://www.freepatentsonline.com/6057800.html>
5. [http://www.ucalgary.ca/engo\\_webdocs/GL/92.20044.CErickson.pdf](http://www.ucalgary.ca/engo_webdocs/GL/92.20044.CErickson.pdf)
6. <http://www.freepatentsonline.com/6057800.html>
7. [http://www.precision-topo.com/GPS\\_fr.htm#LinkTarget\\_7679](http://www.precision-topo.com/GPS_fr.htm#LinkTarget_7679)
8. [http://edu-observatory.org/gps/gps\\_accuracy.html](http://edu-observatory.org/gps/gps_accuracy.html)
9. [http://nptel.iitm.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT-KANPUR/ModernSurveyingTech/lectureB\\_11/B\\_11\\_2sat\\_geo.htm](http://nptel.iitm.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT-KANPUR/ModernSurveyingTech/lectureB_11/B_11_2sat_geo.htm)
10. [www.gssf.info/Documents/GSSFP2.OM.002](http://www.gssf.info/Documents/GSSFP2.OM.002)
11. [http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps\\_survey/chap2/243.htm](http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps_survey/chap2/243.htm)
12. <http://www.globmaritime.com/200904103124/marine-navigation/gps-user-range-errors-and-geometric-dilution-of-precision.html>

#### ΚΕΦ.3.

1. <http://www.climbincrete.com/english/trekking/iraklio/agiofarago-crete.php>
2. <http://www.hellaspath.gr/index.php?p=2&m=1&mntid=8>
3. [http://www.neos-omalos.gr/index.php?option=com\\_rsgallery2&page=slideshow&gid=6&Itemid=50&lang=el-GR](http://www.neos-omalos.gr/index.php?option=com_rsgallery2&page=slideshow&gid=6&Itemid=50&lang=el-GR)
4. [http://en.wikipedia.org/wiki/Sarakina\\_Gorge](http://en.wikipedia.org/wiki/Sarakina_Gorge)
5. <http://www.hellaspath.gr/index.php?p=2&m=1&mntid=53>
6. <http://www.google.gr/maps>
7. [http://en.wikipedia.org/wiki/GNSS\\_applications](http://en.wikipedia.org/wiki/GNSS_applications)
8. <http://www.km.kongsberg.com>
9. <http://www.divediscover.who.edu/tools/sonar-multibeam.html>
10. [http://sanctuaries.noaa.gov/missions/2009nancy\\_foster/multibeaming.html](http://sanctuaries.noaa.gov/missions/2009nancy_foster/multibeaming.html)

11. <http://www.gns.cri.nz/layout/set/print/Home/Learning/Science-Topics/Ocean-Floor/Underwater-Exploration/Mapping-the-Ocean-Floor>
12. <http://www.divediscover.who.edu/tools/sonar-multibeam.html>
13. [http://www.application-days.eu/index.php?anzeige=press\\_release.html](http://www.application-days.eu/index.php?anzeige=press_release.html)
14. <http://www.gssf.eu/default.htm>
15. <http://sofia.usgs.gov/publications/fs/96-98/>
16. [http://www.esspsas.eu/docs/printed\\_documents/guide\\_egnos\\_2009\\_va\\_hd\\_bat\\_3.pdf](http://www.esspsas.eu/docs/printed_documents/guide_egnos_2009_va_hd_bat_3.pdf)
17. <http://www.topnews.in/gps-systems-can-alert-drivers-what-routes-avoid-290874>

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 : Σύγκριση Συστημάτων GNSS.....	11
Πίνακας 2 : Τα Χαρακτηριστικά των GNSS .....	12
Πίνακας 3 : Ακρίβειες GPS .....	27
Πίνακας 4 : Χαρακτηριστικά Θέσης Υπηρεσίας OS.....	36
Πίνακας 5 : Χαρακτηριστικά Χρόνου Υπηρεσίας OS.....	36
Πίνακας 6 : Χαρακτηριστικά Υπηρεσίας SoL.....	38
Πίνακας 7 : Χαρακτηριστικά της Υπηρεσίας PRS .....	39
Πίνακας 8 : Χαρακτηριστικά Υπηρεσιών.....	40
Πίνακας 9 : Χαρακτηριστικά Μηνυμάτων .....	43
Πίνακας 10 : Φέρουσες Συχνότητες .....	44
Πίνακας 11 : Σήματα και Υπηρεσίες .....	45
Πίνακας 12 : Συγκρίσεις μεταξύ GPS, GLONASS, Galileo & COMPASS.....	51
Πίνακας 13 : Οι Δορυφόροι του Συστήματος EGNOS .....	59
Πίνακας 14 : Είδη Διαφορετικών Δεικτών DOP .....	79
Πίνακας 15 : Ερμηνεία των Τιμών PDOP .....	79
Πίνακας 16 : Είδη των σχετικών δεικτών DOP για διπλές διαφορές .....	85
Πίνακας 17 : Παράδειγμα Πίνακα Τιμών UERE.....	87
Πίνακας 18: Σενάριο 1 <sup>ο</sup> .....	117
Πίνακας 19 : Πινάκας Αποτελεσμάτων 1 <sup>ο</sup> Σεναρίου .....	123
Πίνακας 20 : Σενάριο 2 <sup>ο</sup> .....	125
Πίνακας 21 : Πορείες Διαδρομών Πλοίων .....	125
Πίνακας 22 : Αποτελέσματα Διαδρομών Αλεξανδρούπολη-Σαμοθράκη, Ηράκλειο.....	133
Πίνακας 23 : Αποτελέσματα Διαδρομών Πειραιάς-Χίος, Πειραιάς-Θήρα .....	134
Πίνακας 24 : Αποτελέσματα Διαδρομών Θεσσαλονίκη-Μυτιλήνη .....	135
Πίνακας 25 : Σενάριο 3 <sup>ο</sup> .....	138
Πίνακας 26 : Πορείες Διαδρομών Ιστιοπλοϊκών .....	138
Πίνακας 27 : Αποτελέσματα Διαδρομών Ιστιοπλοϊκών .....	140
Πίνακας 28 : Σενάριο 4 <sup>ο</sup> .....	143
Πίνακας 29 : Πορείες Διαδρομών Αεροπλάνων.....	143
Πίνακας 30 : Αποτελέσματα Διαδρομών Σκιάθος- Κωπαΐδα , Πρέβεζα-Παπαδάτες.....	147
Πίνακας 31 : Αποτελέσματα Διαδρομών Καλάβρυτα, Κιθαιρώνας, Παραμυθιά.....	148
Πίνακας 32 : Σενάριο 5 <sup>ο</sup> .....	151
Πίνακας 33 : Πορείες Διαδρομών σε Αστικό Περιβάλλον.....	152
Πίνακας 34 : Ορατότητα Δορυφόρων και Δείκτες GDOP .....	157
Πίνακας 35 : Δείκτης ONSP και Ακεραιότητα για Δέκτες Διπλής Συχνότητας .....	159
Πίνακας 36 : Δείκτης ONSP και Ακεραιότητα για Δέκτες Μονής Συχνότητας.....	159
Πίνακας 37 : Σενάριο 6ο.....	162
Πίνακας 38 : Πορείες Διαδρομών σε Ηπειρωτικές Περιοχές .....	162
Πίνακας 39 : Αποτελέσματα για τις Διαδρομές Καστοριά-Κόνιτσα και.....	166
Πίνακας 40 : Αποτελέσματα για τις Διαδρομές Γιάννενα-Σαγιάδα και .....	167
Πίνακας 41 : Αποτελέσματα για τις Διαδρομές Πρέβεζα-Μεσολόγι και .....	168
Πίνακας 42 : Σενάριο 7ο.....	171

Πίνακας 43 : Πορείες Διαδρομών σε Μονοπάτια.....	172
Πίνακας 44 : Αποτελέσματα Διαδρομών Μονοπατιών .....	174
Πίνακας 45 : Σενάριο 8 <sup>ο</sup> .....	177
Πίνακας 46 : Πορείες Διαδρομών Τρένων .....	178
Πίνακας 47 : Αποτελέσματα Διαδρομών Τρένων στις 10 <sup>ο</sup> .....	180
Πίνακας 48 : Αποτελέσματα Διαδρομών Τρένων στις 30 <sup>ο</sup> .....	183
Πίνακας 49 : Αποτελέσματα Διαδρομών Τρένων στις 40 <sup>ο</sup> .....	186
Πίνακας 50 : Σενάριο 9ο .....	187
Πίνακας 51: Ορατότητα και DOP για τη Λίμνη του Μόρνου .....	189
Πίνακας 52 : Δείκτες Ακρίβειας και Ακεραιότητας για τη Λίμνη Μόρνου (Μονή Συχνότητα) .....	189
Πίνακας 53 : Δείκτες Ακρίβειας και Ακεραιότητας για τη Λίμνη Μόρνου (Διπλή Συχνότητα).....	190
Πίνακας 54 : Σενάριο 10 <sup>ο</sup> .....	193
Πίνακας 55 : Αποτελέσματα για τη Λίμνη τού Μόρνου (χωρίς χρήση HEPOS).....	195
Πίνακας 56 : Αποτελέσματα για τη Λίμνη τού Μόρνου (με χρήση διορθώσεων από σταθμούς τύπου HEPOS) .....	195

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 : Τα Συστήματα GNSS .....	12
Εικόνα 2 : Η Θέση του χρήστη με τομές σφαιρών .....	13
Εικόνα 3 : Ο Δορυφορικός Σχηματισμός GPS .....	14
Εικόνα 4 : Επίγειο Τμήμα GPS.....	15
Εικόνα 5 : Δέκτες GPS.....	16
Εικόνα 6 : GPS III.....	17
Εικόνα 7 : Χρονοδιάγραμμα Εκσυγχρονισμού GPS .....	18
Εικόνα 8 : Εξέλιξη Δορυφορικών Σημάτων GPS.....	22
Εικόνα 9 : Οι Δορυφόροι Block.....	23
Εικόνα 10: Απεικόνιση Δορυφόρων GPS.....	24
Εικόνα 11 : Χρονοδιάγραμμα Galileo .....	30
Εικόνα 12 : Τα Τμήματα Galileo .....	31
Εικόνα 13 : Δορυφορικός Σχηματισμός Galileo.....	32
Εικόνα 14 : Οι Επίγειοι Σταθμοί Galileo .....	34
Εικόνα 15 : Οι Συχνότητες Galileo.....	42
Εικόνα 16 : Ο Δορυφορικός Σχηματισμός GLONASS .....	48
Εικόνα 17 : Οι συχνότητες των GPS, Galileo & COMPASS .....	50
Εικόνα 18 : Αύξηση Συστημάτων GNSS .....	52
Εικόνα 19 : Τα συστήματα SBAS.....	54
Εικόνα 20 : Λογότυπο του Συστήματος EGNOS .....	56
Εικόνα 21 : Τα Οφέλη του Συστήματος EGNOS .....	57
Εικόνα 22 : Το Επίγειο Τμήμα του Συστήματος EGNOS .....	59
Εικόνα 23 : Οι Δορυφόροι του Συστήματος EGNOS.....	60
Εικόνα 24 : Οι Υπηρεσίες EGNOS.....	61
Εικόνα 25 : Χρονοδιάγραμμα EGNOS.....	62
Εικόνα 26 : Ο Θόλος Σταθμού HEPOS .....	64
Εικόνα 27 : Οι Σταθμοί Αναφοράς HEPOS .....	65
Εικόνα 28 : Χαρακτηριστικά Απόδοσης Συστημάτων GNSS.....	69
Εικόνα 29 : Αποκλίσεις από την Πραγματική Πορεία .....	71
Εικόνα 30 : Το Ατμοσφαιρικό Σφάλμα .....	72
Εικόνα 31 : Σφάλμα Πολυανάκλασης .....	74
Εικόνα 32 : Οι πιθανές Θέσεις του Δέκτη .....	75
Εικόνα 33 : (α) Καλή, (β) Κακή Ευθυγράμμιση Δύο Δορυφόρων.....	76
Εικόνα 34 : (αριστερά) Κακή, (δεξιά) Κακή Γεωμετρία Δορυφόρων.....	80
Εικόνα 35 : Η Μοναδιαία Σφαίρα & Τέσσερα Διανύσματα.....	81
Εικόνα 36 : Διπλή Διαφορά Παρατηρήσεων GPS.....	82
Εικόνα 37 : Διαφορετικά Πάχη Ατμόσφαιρας.....	87
Εικόνα 38: Σύγκριση UERE για συστήματα GPS και Galileo.....	88
Εικόνα 39 : Συστήματα πλοήγησης σε Αυτοκίνητα .....	97
Εικόνα 40 : Περιπτώσεις Θέσης ενός Αεροσκάφους κατά την Προσγείωση.....	98
Εικόνα 41 : Πλοήγηση Πλοίων κατά την Είσοδο και Έξοδο από Λιμάνια.....	98
Εικόνα 42 : Πλοήγηση Σκαφών σε Κανάλια .....	99

Εικόνα 43 : Κινητό Τηλέφωνο με Ενσωματωμένο GPS .....	100
Εικόνα 44 : Γεωργία Ακριβείας με GNSS .....	101
Εικόνα 45 : Σύστημα Οριζοντίωσης Εδάφους AutoLevel.....	102
Εικόνα 46 : Η Οθόνη Αφής στο Αμάξι-Τρακτέρ.....	102
Εικόνα 47 : Βυθομετρία με τη βοήθεια GNSS .....	103
Εικόνα 48 : Τα Επιμέρους Μέρη στην Εφαρμογή της Επιφανειακής Αλτιμετρίας ..	104
Εικόνα 49 : Παράδειγμα Επιφανειακής Αλτιμετρίας .....	105
Εικόνα 50 : Κινηματικός Σχετικός Εντοπισμός σε Πτήση Λήψης Αεροφωτογραφιών .....	106
Εικόνα 51 : Διάταξη 8 Καμερών για 360° Αποτύπωση.....	107
Εικόνα 52 : Επεξεργασία και Τρισδιάστατο Αποτέλεσμα Κινηματικής Χαρτογράφησης.....	108
Εικόνα 53 : Το σύστημα A.T.Y. της Καναδικής Χαρτογραφικής Υπηρεσίας .....	109
Εικόνα 54 : Το σύστημα A.T.Y. της Εθνικής Γεωδαιτικής Υπηρεσίας των ΗΠΑ ...	110
Εικόνα 55 : Μοντέρνα Εκδοχή Συστήματος A.T.Y. ( <i>four-wheeled chariots</i> ).....	110
Εικόνα 56 : Galileo Simulation Facility, GSSF .....	111
Εικόνα 57 : Τα Τμήματα του Δορυφορικού Συστήματος.....	113
Εικόνα 58 : Περιβάλλον Εργασίας GSSF.....	114
Εικόνα 59:Ορατοί δορυφόροι με Galileo .....	118
Εικόνα 60:Ορατοί Δορυφόροι με GPS .....	118
Εικόνα 61: Ορατοί Δορυφόροι με συνδυασμό GPS ,Galileo και EGNOS.....	119
Εικόνα 62: Δείκτης PDOP στη Μεσόγειο με συνδυασμό GPS ,Galileo και EGNOS .....	120
Εικόνα 63: Δείκτης PDOP στη Μεσόγειο με Galileo.....	120
Εικόνα 64 : Δείκτης PDOPστη Μεσόγειο με συνδυασμό Galileo,EGNOS .....	121
Εικόνα 65 : Δείκτης PDOP στη Μεσόγειο με συνδυασμό GPS, Galileo .....	121
Εικόνα 66 : Δείκτης HDOP στην Ελλάδα με Galileo.....	122
Εικόνα 67 : Δείκτης HDOP στην Ελλάδα με GPS .....	122
Εικόνα 68 : Ορατοί δορυφόροι για Ευρώπη, Μεσόγειο και Ελλάδα .....	124
Εικόνα 69 : Δείκτης GDOP για Ευρώπη, Μεσόγειο και Ελλάδα.....	124
Εικόνα 70 : Χάρτης Ορατότητας Δορυφόρων Αλεξ/πολη-Σαμοθράκη για Galileo	126
Εικόνα 71 : Διάγραμμα Ορατότητας Δορυφόρων Αλεξ/πολη-Σαμοθράκη για Galileo .....	126
Εικόνα 72 : Διάγραμμα DOP στην Διαδρομή Πειραιάς-Ηράκλειο με GPS.....	127
Εικόνα 73 : Χάρτης τιμών GDOP στην Διαδρομή Πειραιάς-Ηράκλειο με GPS .....	127
Εικόνα 74 : Διάγραμμα NSP στην Διαδρομή Πειραιάς-Χίος με GPS και EGNOS .	128
Εικόνα 75 : Χάρτης ONSP στην Διαδρομή Πειραιάς-Χίος με GPS και EGNOS....	128
Εικόνα 76 : Διάγραμμα Ακεραιότητας στην Διαδρομή Πειραιάς-Θήρα με GPS και Galileo.....	129
Εικόνα 77 : Χάρτης Ακεραιότητας στην Διαδρομή Πειραιάς-Θήρα με GPS και Galileo.....	129
Εικόνα 78 : Διάγραμμα NSP στην Διαδρομή Θεσ/νίκη-Μυτιλήνη με Galileo και EGNOS .....	130



Εικόνα 79 : Χάρτης HNSP στην Διαδρομή Θεσ/νίκη-Μυτιλήνη με Galileo και EGNOS .....	130
Εικόνα 80 : Διάγραμμα Ορατότητας στη Διαδρομή Πειραιάς-Ηράκλειο με GPS και GIOVE .....	131
Εικόνα 81 : Διάγραμμα DOP στη Διαδρομή Πειραιάς-Ηράκλειο με GPS και GIOVE .....	131
Εικόνα 82 : Διάγραμμα NSP στη Διαδρομή Πειραιάς-Ηράκλειο με GPS και GIOVE .....	132
Εικόνα 83 : Διάγραμμα Ακεραιότητας στη Διαδρομή Πειραιάς-Ηράκλειο με GPS και GIOVE .....	132
Εικόνα 84 : Ορατότητα Δορυφόρων στις Διαδρομές Πλοίων .....	136
Εικόνα 85 : Ο Δείκτης GDOP στις Διαδρομές Πλοίων .....	136
Εικόνα 86 : Ο Δείκτης ONSP στις Διαδρομές Πλοίων .....	137
Εικόνα 87 : Ο Δείκτης Ακεραιότητας στις Διαδρομές Πλοίων .....	137
Εικόνα 88 : Χάρτης Δείκτη ONSP για Διαδρομή Γύθειο με Galileo .....	139
Εικόνα 89 : Χάρτης Δείκτη ONSP για Διαδρομή Λευκάδα-Ιθάκη με Galileo.....	139
Εικόνα 90 : Ορατότητα Δορυφόρων στις Διαδρομές Ιστιοπλοϊκών.....	141
Εικόνα 91 : Τιμές GDOP σε Διαδρομές Ιστιοπλοϊκών.....	141
Εικόνα 92 : Τιμές ONSP σε Διαδρομές Ιστιοπλοϊκών .....	142
Εικόνα 93 : Τιμές Ακεραιότητας σε Διαδρομές Ιστιοπλοϊκών.....	142
Εικόνα 94 : Ο Δείκτης TNSP για τα Καλάβρυτα με GPS,Galileo και EGNOS .....	144
Εικόνα 95 : Ο Δείκτης TNSP για Κιθαιρώνα με GPS και GIOVE .....	144
Εικόνα 96 : Ο Δείκτης VNSP στη Παραμυθιά με GPS,GIOVE και EGNOS.....	145
Εικόνα 97 : Ο Δείκτης HNSP στη Διαδρομή Πρέβεζα-Παπαδάτες με GPS και Galileo .....	145
Εικόνα 98 : Ο Δείκτης VNSP στη Διαδρομή Σκιάθος- Κωπαΐδα με GPS και Galileo .....	146
Εικόνα 99 : Διάγραμμα Ακεραιότητας στη Διαδρομή Σκιάθος- Κωπαΐδα με GPS , Galileo και EGNOS .....	146
Εικόνα 100 : Ορατότητα Δορυφόρων στις Διαδρομές Αεροπλάνων .....	149
Εικόνα 101 : Ο Δείκτης GDOP στις Διαδρομές Αεροπλάνων .....	149
Εικόνα 102 : Ο Δείκτης ONSP στις Διαδρομές Αεροπλάνων .....	150
Εικόνα 103 : Όψη του ουράνιου θόλου σε αστικό περιβάλλον.....	151
Εικόνα 104 : Ακεραιότητα στη Διαδρομή Ν.Σμύρνη-ΟΑΚΑ με GPS & GIOVE (μονή συχνότητα).....	152
Εικόνα 105 : Ακεραιότητα στη Διαδρομή Θησείο-Ίλιον με GPS (διπλή συχνότητα) .....	153
Εικόνα 106 : Ορατότητα Δορυφόρων στη Διαδρομή Ν.Σμύρνη-ΟΑΚΑ με Galileo	154
Εικόνα 107 : Δείκτες DOP στη Διαδρομή Ν.Σμύρνη-ΟΑΚΑ με Galileo .....	154
Εικόνα 108 : Δείκτες NSP στη Διαδρομή Ν.Σμύρνη-ΟΑΚΑ με Galileo (μονή συχνότητα).....	155
Εικόνα 109 : Δείκτες NSP στη Διαδρομή Ν.Σμύρνη-ΟΑΚΑ με Galileo (διπλή συχνότητα).....	155

Εικόνα 110 : Ακεραιότητα στη Διαδρομή Ν.Σμύρνη-ΟΑΚΑ με Galileo (μονή συχνότητα).....	156
Εικόνα 111 : Ακεραιότητα στη Διαδρομή Ν.Σμύρνη-ΟΑΚΑ με Galileo (διπλή συχνότητα).....	156
Εικόνα 112 : Ορατότητα Δορυφόρων σε Διαδρομές σε Αστικά Περιβάλλοντα.....	158
Εικόνα 113 : Ο Δείκτης GDOP σε Διαδρομές σε Αστικά Περιβάλλοντα.....	158
Εικόνα 114 : Ο Δείκτης ONSP σε Δέκτες Διπλής Συχνότητας.....	160
Εικόνα 115 : Ο Δείκτης ONSP σε Δέκτες Μονής Συχνότητας.....	160
Εικόνα 116 : Ακεραιότητα σε Δέκτες Διπλής Συχνότητας.....	161
Εικόνα 117 : Ακεραιότητα σε Δέκτες Μονής Συχνότητας.....	161
Εικόνα 118 : Δείκτης ONSP στο Τμήμα Καστοριά-Κόνιτσα με Galileo & EGNOS.....	163
Εικόνα 119 : Ορατότητα στο Τμήμα Κόνιτσα-Γιάννενα με GPS & Galileo.....	163
Εικόνα 120 : Δείκτης HNSP στο Τμήμα Γιάννενα-Σαγράδα με GPS & Galileo & EGNOS.....	164
Εικόνα 121 : Δείκτης HDOP στο Τμήμα Σαγιάδα-Πρέβεζα με GPS.....	164
Εικόνα 122 : Δείκτης VNSP στο Τμήμα Πρέβεζα-Μεσολόγγι με GPS & GIOVE ..	165
Εικόνα 123 : Δείκτης TNSP στο Τμήμα Μεσολόγγι-Λιδωρίκι με Galileo & EGNOS.....	165
Εικόνα 124 : Τιμές Ορατότητα Δορυφόρων στη Διαδρομή Καστοριά-Λιδωρίκι.....	169
Εικόνα 125 : Τιμές Δείκτης GDOP στη Διαδρομή Καστοριά-Λιδωρίκι.....	169
Εικόνα 126 : Τιμές Δείκτη ONSP στη Διαδρομή Καστοριά-Λιδωρίκι.....	170
Εικόνα 127 : Τιμές Ακεραιότητας στη Διαδρομή Καστοριά-Λιδωρίκι.....	170
Εικόνα 128 : Η Περιορισμένη Ορατότητα σε Μονοπάτια.....	171
Εικόνα 129 : Οι Τιμές ONSP για το Μονοπάτι Αβδέλα-Βασιλίτσα με Galileo & EGNOS.....	172
Εικόνα 130 : Οι Τιμές ONSP για το Μονοπάτι Γκίγκιλος με GPS & GIOVE.....	173
Εικόνα 131 : Ορατότητα δορυφόρων για το Μονοπάτι Γκίγκιλος με GPS, Galileo & EGNOS.....	173
Εικόνα 132 : Ορατότητα Δορυφόρων σε Διαδρομές σε Μονοπάτια.....	175
Εικόνα 133 : Ο Δείκτης GDOP σε Διαδρομές σε Μονοπάτια.....	175
Εικόνα 134 : Ο Δείκτης ONSP σε Διαδρομές σε Μονοπάτια.....	176
Εικόνα 135 : Ακεραιότητα σε Διαδρομές σε Μονοπάτια.....	176
Εικόνα 136 : Λήψη Δορυφορικού Σήματος σε Διαδρομές Τρένων.....	177
Εικόνα 137 : Παράδειγμα Περιβάλλοντος μίας Διαδρομής Τρένου.....	178
Εικόνα 138 : GDOP στη Διαδρομή Αλεξ/πολη-Δαδιά με 30°.....	179
Εικόνα 139 : VDOP στη Διαδρομή Karlsruhe-Paris με 30°.....	179
Εικόνα 140 : Ορατότητα Δορυφόρων στις Διαδρομές Τρένων στις 10°.....	181
Εικόνα 141 : Ο Δείκτης GDOP στις Διαδρομές Τρένων στις 10°.....	181
Εικόνα 142 : Ο Δείκτης ONSP στις Διαδρομές Τρένων στις 10°.....	182
Εικόνα 143 : Ακεραιότητα στις Διαδρομές Τρένων στις 10°.....	182
Εικόνα 144 : Ορατότητα Δορυφόρων Στις Διαδρομές Τρένων στις 30°.....	184
Εικόνα 145 : Ο Δείκτης GDOP στις Διαδρομές Τρένων στις 30°.....	184
Εικόνα 146 : Ο Δείκτης ONSP στις Διαδρομές Τρένων στις 30°.....	185

Εικόνα 147 : Ακεραιότητα στις Διαδρομές Τρένων στις 30° .....	185
Εικόνα 148 : Χάρτης Διαδρομής της Λίμνης του Μόρνου .....	187
Εικόνα 149 : Δείκτης NSP για Galileo (Μονή Συχνότητα).....	188
Εικόνα 150 : Δείκτης NSP για Galileo (Διπλή Συχνότητα).....	188
Εικόνα 151 : Ορατότητα Δορυφόρων για τη Λίμνη Μόρνου.....	191
Εικόνα 152 : Ο Δείκτης GDOP για τη Λίμνη του Μόρνου .....	191
Εικόνα 153 : Ο Δείκτης ONSP για τη Λίμνη του Μόρνου.....	192
Εικόνα 154 : Ακεραιότητα για τη Λίμνη του Μόρνου .....	192
Εικόνα 155 : Παράδειγμα Υπολογισμού HEPOS-USERE: Ο αρχικός πίνακας USERE .....	194
Εικόνα 156:Παράδειγμα Υπολογισμού HEPOS-USERE: Ο τελικός πίνακας HEPOS –USERE .....	194
Εικόνα 157 : Ακρίβεια ONSP για την Λίμνη του Μόρνου.....	196
Εικόνα 158 : Ακεραιότητα για την Λίμνη του Μόρνου .....	196

## ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

---

AAIM	Aircraft Autonomous Integrity Monitor
ABAS	Aircraft-based Augmentation System
Acc	Accuracy
ARNS	Aeronautical Radio Navigation Service
AS	Anti-Spoofing
C/A	Clear Access code ή Coarse Acquisition Code
CDMA	Code Division Multiple Access
CL	Civilian Long length code
CM	Civilian Moderate length code
C/Nav	Commercial Navigation
CS	Commercial Services
DOP	Dilution of Precision
EC	European Commission
ENT	EGNOS Network Time
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay System
ESA	European Space Agency
ETRF	EGNOS Terrestrial Frame
EU	European Union
FAA	Federal Aviation Administration
FF	Fault Free-mode
F/Nav	Freely Accessible Navigation
GBAS	Ground Based Augmentation System
GCCs	Galileo Control Centers
GDOP	Geometric Dilution of Precision
GEO	Geostationary Orbit
GIOVE	Galileo In-Orbit Validation Element
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GMDSS	Global Maritime Distress Safety System
G/Nav	Governmental Access Navigation
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GRAS	Ground Based Regional Augmentation System
GSOS	German Space Operations Centre
GSSs	Galileo Sensor Stations
GSSF	Galileo System Simulation Facility
GTS	Galileo System Time
GTRF	Galileo Terrestrial Reference Frame
GUS	Galileo Up-link Station
HAL	Horizontal Alert Limit
HNSP	Horizontal Navigation System Precision
IERS	International Earth Rotation Service
I/Nav	Integrity Navigation
Int	Integrity
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
ITRS	International Terrestrial Reference System
IRNSS	Indian Regional Navigational Satellite System

LAAS	Local Area Augmentation System
LEO	Low Earth Orbit
MBOC	Multiplexed Binary Offset Carrier
MCC	Mission Control Centers
MCS	Master Control Station
MEO	Medium Earth Orbit
MS	Monitor Stations
MSAS	Multi-Functional Satellite Augmentation System
NLES	Navigation Land Earth Stations
NMEA	National Maritime Electronics Association
NSP	Navigation System Precision
OD&TS	Orbit Time and Time Synchronization
OS	Open Services
QZSS	Quasi-Zenith
PHMI	Probability of Hazardous Misleading Information
PRS	Public Regulated Service
RAIM	Receiver Autonomous Integrity Monitoring
RDOP	Relative Dilution of Precision
RIMS	Ranging and Integrity Monitoring Stations
SA	Selective Availability
SAR	Search and Rescue
SBAS	Satellite Based Augmentation System
SNAS	Satellite Navigation Augmentation System
SoL	Safety of Life
TAI	International Atomic Time
UERE	User Equivalent Range Error
UGA	Upload Ground Antennas
ULS	Up-Link Stations
UTC	Universal Time Coordinated
UT	Universal Time
WAAS	Wide Area Augmentation System
WGS84	World Geodetic System

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ**

---

A) ΣΕΝΑΡΙΑ

B) ΠΙΝΑΚΕΣ UERE ΣΥΝΔΥΑΣΜΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Γ) ΠΙΝΑΚΕΣ ΗΕΡΟΣ UERE

Δ) ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΕΠΛΕΡΙΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

## A)ΣΕΝΑΡΙΑ

Α/Α Σενάριο	Τύπος Χρήστη	Περιοχή	Δορυφορικοί Σχηματισμοί	Παράμετροι	Στόχος Σεναρίου
1	Γεωγραφικό Πλέγμα	Ευρώπη Μεσόγειος Ελλάδα	GPS	Ορατότητα DOP	Σύγκριση Συστημάτων & Λειτουργικότητα
			GPS + EGNOS		
			GPS + GIOVE		
			GPS + EGNOS + GIOVE		
			GPS + GALILEO		
			GALILEO		
			GALILEO + EGNOS		
			GPS + GALILEO + EGNOS		
2	Κινηματικός (πλοία)	Πειραιάς-Χίος Θεσ/νίκη-Μυτιλήνη Πειραιάς-Ηράκλειο Πειραιάς-Θήρα Αλεξ/πόλη- Σαμοθράκη	GPS	Ορατότητα DOP Ακεραιότητα NSP	Σύγκριση Συστημάτων & Λειτουργικότητα
			GPS + EGNOS		
			GPS + GIOVE		
			GPS + EGNOS + GIOVE		
			GPS + GALILEO		
			GALILEO		
			GALILEO + EGNOS		
			GPS + GALILEO + EGNOS		
3	Κινηματικός (ιστιοπλοϊκά)	Γύθειο Λευκάδα-Ιθάκη	GPS	Ορατότητα DOP Ακεραιότητα NSP	Σύγκριση Συστημάτων & Λειτουργικότητα
			GPS + EGNOS		
			GPS + GIOVE		
			GPS + EGNOS + GIOVE		
			GPS + GALILEO		
			GALILEO		
			GALILEO + EGNOS		
			GPS + GALILEO + EGNOS		
4	Κινηματικός (αεροπλάνα)	Καλάβρυτα Κιθαιρόνας Πρέβεζα Παραμυθιά Σκιάθος-Κωπαΐδα	GPS	Ορατότητα DOP Ακεραιότητα NSP	Σύγκριση Συστημάτων & Λειτουργικότητα
			GPS + EGNOS		
			GPS + GIOVE		
			GPS + EGNOS + GIOVE		
			GPS + GALILEO		
			GALILEO		
			GALILEO + EGNOS		
			GPS + GALILEO + EGNOS		
5	Κινηματικός (Αυτοκίνητα σε αστικά περιβάλλοντα)	Ν.Σμύρνη-ΟΑΚΑ Θησείο-Ψυχικό- Τλιον	GPS	Ορατότητα DOP Ακεραιότητα NSP	Σύγκριση Συστημάτων & Λειτουργικότητα
			GPS + EGNOS		
			GPS + GIOVE		
			GPS + EGNOS + GIOVE		
			GPS + GALILEO		
			GALILEO		
			GALILEO + EGNOS		
			GPS + GALILEO + EGNOS		

Πίνακας Α1 : Πίνακας των Χαρακτηριστικών των Σεναρίων (α)

Α/Α Σενάριο	Τύπος Χρήστη	Περιοχή	Δορυφορικοί Σχηματισμοί	Παράμετροι	Στόχος Σεναρίου
6	Κινηματικός (Αυτοκίνητα σε αγροτικά περιβάλλοντα)	Καστοριά-Κόνιτσα- Ιωάννινα-Σαγιάδα- Ηγουμενίτσα- Πρέβεζα- Μεσολόγγι- Λιδωρίκι	GPS	Ορατότητα DOP Ακεραιότητα NSP	Σύγκριση Συστημάτων & Λειτουργικότητα
			GPS + EGNOS		
			GPS + GIOVE		
			GPS + EGNOS + GIOVE		
			GPS + GALILEO		
			GALILEO		
			GALILEO + EGNOS		
			GPS + GALILEO + EGNOS		
7	Κινηματικός (Μονοπάτια)	Αβδέλα - Βασιλίτσα Γκίγκιλος	GPS	Ορατότητα DOP Ακεραιότητα NSP	Σύγκριση Συστημάτων & Λειτουργικότητα
			GPS + EGNOS		
			GPS + GIOVE		
			GPS + EGNOS + GIOVE		
			GPS + GALILEO		
			GALILEO		
			GALILEO + EGNOS		
			GPS + GALILEO + EGNOS		
8	Κινηματικός (Τρένα)	Αλεξ/πολη-Δαδιά Karlsruhe-Paris	GPS	Ορατότητα DOP Ακεραιότητα NSP	Σύγκριση Συστημάτων & Λειτουργικότητα σε Γωνίες Ύψους
			GPS + EGNOS		
			GPS + GIOVE		
			GPS + EGNOS + GIOVE		
			GPS + GALILEO		
			GALILEO		
			GALILEO + EGNOS		
			GPS + GALILEO + EGNOS		
9	Κινηματικός	Λιμνη Μόρνου	GPS	Ορατότητα DOP Ακεραιότητα NSP	Σύγκριση UERE που χρησιμοποιήθηκαν
			GPS + EGNOS		
			GPS + GIOVE		
			GPS + EGNOS + GIOVE		
			GPS + GALILEO		
			GALILEO		
			GALILEO + EGNOS		
			GPS + GALILEO + EGNOS		
10	Κινηματικός	Λιμνη Μόρνου	GPS	Ορατότητα DOP Ακεραιότητα NSP	Χρήση HEPOS
			GPS + EGNOS		
			GPS + GIOVE		
			GPS + EGNOS + GIOVE		
			GPS + GALILEO		
			GALILEO		
			GALILEO + EGNOS		
			GPS + GALILEO + EGNOS		

Πίνακας Α2 : Πίνακας των Χαρακτηριστικών των Σεναρίων (β)



## B) ΠΙΝΑΚΕΣ UERE ΣΥΝΔΥΑΣΜΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Single frequency Routes									
Elevation (°)	5	10	15	20	30	40	50	60	90
SBAS L1	207	166	144	127	105	91	83	78	73
GPS, Current L1	844	770	709	659	581	529	496	476	460
GPS,EGNOS,CurrentL1	284	229	200	176	146	127	116	109	102
Elevation (°)	5	10	15	20	30	40	50	60	90
SBAS L1	207	166	144	127	105	91	83	78	73
Galileo L1(UERE/4)	845	753	678	612	508	433	401	401	401
GAL,EGNOS,L1	284	229	199	176	145	126	115	108	102
Elevation (°)	5	10	15	20	30	40	50	60	90
Galileo L1(UERE/4)	845	753	678	612	508	433	401	401	401
GPS, Current L1	844	770	709	659	581	529	496	476	460
GPS,GAL,L1	844	762	693	634	540	474	441	434	427
Elevation (°)	5	10	15	20	30	40	50	60	90
SBAS L1	207	166	144	127	105	91	83	78	73
Galileo L1(UERE/4)	845	753	678	612	508	433	401	401	401
GPS, Current L1	844	770	709	659	581	529	496	476	460
GAL,GPS,EGNOS,L1	339	275	239	212	175	152	139	131	123

Πίνακας B1 : Πίνακας των Τιμών UERE για Συνδυασμούς GNSS σε μονή συχνότητα

Aerial (SoL) Routes									
Elevation (°)	5	10	15	20	30	40	50	60	90
GPS III L1/L5	190	136	115	104	96	93	92	91	91
SBAS L1/L5	179	121	96	84	73	69	67	67	66
GPSIII,EGNOS,L1,L5	184	128	104	92	82	78	77	76	76
Elevation (°)	5	10	15	20	30	40	50	60	90
GPS III L1/L5	190	136	115	104	96	93	92	91	91
GALILEO UERE/11	171	116	101	91	84	81	79	79	78
GPSIII,GAL11	180	125	107	97	89	86	85	84	84
Elevation (°)	5	10	15	20	30	40	50	60	90
GALILEO UERE/11	171	116	101	91	84	81	79	79	78
SBAS L1/L5	179	121	96	84	73	69	67	67	66
GAL11,EGNOSL1,L5	175	118	98	87	78	74	72	72	71
Elevation (°)	5	10	15	20	30	40	50	60	90
GPS III L1/L5	190	136	115	104	96	93	92	91	91
SBAS L1/L5	179	121	96	84	73	69	67	67	66
GALILEO UERE/11	171	116	101	91	84	81	79	79	78
GAL11,GPSL1L5,EGNOS	179	124	103	92	83	79	77	77	76

Πίνακας B2 : Πίνακας των Τιμών UERE για Συνδυασμούς GNSS σε υπηρεσία SoL

<b>Dual Frequency Routes</b>									
<b>Elevation (°)</b>	5	10	15	20	30	40	50	60	90
<b>GPS III L1/L5</b>	190	136	115	104	96	93	92	91	91
<b>SBAS L1/L5</b>	179	121	96	84	73	69	67	67	66
<b>GPSIII,EGNOS,L1,L5</b>	184	128	104	92	82	78	77	76	76
<b>Elevation (°)</b>	5	10	15	20	30	40	50	60	90
<b>GPS III L1/L5</b>	190	136	115	104	96	93	92	91	91
<b>GALILEO UERE/8</b>	175	120	101	91	83	80	78	78	77
<b>GPSIII,GAL8</b>	182	127	107	97	89	86	84	84	83
<b>Elevation (°)</b>	5	10	15	20	30	40	50	60	90
<b>GALILEO UERE/8</b>	175	120	101	91	83	80	78	78	77
<b>SBAS L1/L5</b>	179	121	96	84	73	69	67	67	66
<b>GAL8,EGNOSL1,L5</b>	177	120	98	87	78	74	72	72	71
<b>Elevation (°)</b>	5	10	15	20	30	40	50	60	90
<b>GPS III L1/L5</b>	190	136	115	104	96	93	92	91	91
<b>SBAS L1/L5</b>	179	121	96	84	73	69	67	67	66
<b>GALILEO UERE/8</b>	175	120	101	91	83	80	78	78	77
<b>GAL8,GPSIII,EGNOSL1L5</b>	181	125	103	92	82	79	77	77	76

Πίνακας Β3 : Πίνακας των Τιμών UERE για Συνδυασμούς GNSS σε διπλή συχνότητα

<b>HEPOS Routes</b>									
<b>Elevation (°)</b>	5	10	15	20	30	40	50	60	90
<b>HEPOS GALILEO L1</b>	151	148	145	143	141	140	140	140	140
<b>HEPOS GPS Current L1</b>	151	151	152	154	162	171	173	166	160
<b>HEPOS GPS_GAL_L1</b>	151	149	148	148	150	153	154	151	149
<b>Elevation (°)</b>	5	10	15	20	30	40	50	60	90
<b>HEPOS GALILEO L1/E5a</b>	55	46	38	32	24	20	18	18	18
<b>HEPOS GPS III L1/L5</b>	60	52	44	36	28	24	22	21	22
<b>HEPOS GPSIII_GAL_L1</b>	57	49	41	34	26	22	20	20	20

Πίνακας Β4 : Πίνακας των Τιμών UERE για Συνδυασμούς GNSS με χρήση υπηρεσίας HEPOS

## Γ) ΠΙΝΑΚΕΣ HEPOS UERE

Galileo Single Frequency, L1	Error Source	Elevation Angle[deg]								
		5	10	15	20	30	40	50	60	90
	Residual Ionosphere	737	660	591	530	430	357	325	325	325
	OD&TS	67	67	67	67	67	67	67	67	67
	Residual Troposphere	135	75	51	39	27	21	18	16	14
	Thermal Noise, Interference, Multipath Random	55	50	46	43	40	38	38	38	38
	Multipath Bias	120	120	120	120	120	120	120	120	120
	Satellite BGD	56	56	56	56	56	56	56	56	56
	Code-Carrier Ionospheric Divergence	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	Total (1-sigma error [cm])	768	685	616	557	461	394	365	365	365
	Total + 10% Margin	845	754	678	612	507	433	401	401	401

Πίνακας Γ1 : Πίνακας των Τιμών UERE Galileo σε μονή συχνότητα

HEPOS-Galileo Sing. Freq., L1	Error Source	Elevation Angle[deg]								
		5	10	15	20	30	40	50	60	90
	Residual Ionosphere	37	33	30	27	22	18	16	16	16
	OD&TS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Residual Troposphere	7	4	3	2	1	1	1	1	1
	Thermal Noise, Interference, Multipath Random	55	50	46	43	40	38	38	38	38
	Multipath Bias	120	120	120	120	120	120	120	120	120
	Satellite BGD	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Code-Carrier Ionospheric Divergence	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Total (1-sigma error [cm])	137	134	132	130	128	127	127	127	127
	Total + 10% Margin	151	148	145	143	141	140	140	140	140

Πίνακας Γ2 : Πίνακας των Τιμών UERE Galileo με χρήση υπηρεσίας HEPOS σε μονή συχνότητα

Galileo Dual Frequency, E5a-L1	Error Source	Elevation Angle[deg]								
		5	10	15	20	30	40	50	60	90
	Residual Ionosphere	8	7	6	6	5	4	3	3	3
	OD&TS	67	67	67	67	67	67	67	67	67
	Residual Troposphere	135	75	51	39	27	21	18	16	14
	Thermal Noise, Interference, Multipath Random	49	41	34	28	21	17	15	15	15
	Multipath Bias	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	Satellite BGD	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Code-Carrier Ionospheric Divergence	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total (1-sigma error [cm])	159	109	92	83	76	73	71	71	70
	Total + 10% Margin	175	120	101	91	83	80	78	78	77

Πίνακας Γ3 : Πίνακας των Τιμών UERE Galileo σε διπλή συχνότητα

HEPOS-Galileo Dual Freq, E5a-L1	Error Source	Elevation Angle[deg]								
		5	10	15	20	30	40	50	60	90
	Residual Ionosphere	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	OD&TS	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Residual Troposphere	7	4	3	2	1	1	1	1	1
	Thermal Noise, Interference, Multipath Random	49	41	34	28	21	17	15	15	15
	Multipath Bias	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	Satellite BGD	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Code-Carrier Ionospheric Divergence	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total (1-sigma error [cm])	50	42	35	29	22	18	17	17	17
	Total + 10% Margin	55	46	38	32	24	20	18	18	18

Πίνακας Γ4 : Πίνακας των Τιμών UERE Galileo με χρήση υπηρεσίας HEPOS σε διπλή συχνότητα

## Δ) ΠΙΝΑΚΕΣ ΚΕΠΛΕΡΙΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

GPS	ΔΟΡΥΦΟΡΟΣ	PRN	i	Ω	e	ω	M	α
	GPS_BIIA-10	(PRN 32)	54,9829	270,6838	0,0128947	302,7406	55,9982	26561,332031
	GPS_BIIA-11	(PRN 24)	54,3910	208,7151	0,0058280	331,2314	28,4839	26572,927734
	GPS_BIIA-14	(PRN 26)	56,7819	329,4454	0,0192681	61,5383	300,4217	26546,605465
	GPS_BIIA-15	(PRN 27)	56,0325	22,6873	0,0218667	277,6400	79,9173	26560,052734
	GPS_BIIA-21	(PRN 09)	56,1705	24,0921	0,0166867	86,5822	275,3245	26561,363281
	GPS_BIIA-23	(PRN 04)	53,8096	205,8675	0,0089542	34,7266	325,8907	26560,369141
	GPS_BIIA-24	(PRN 06)	53,5394	142,9228	0,0063738	296,5663	62,8507	26560,306641
	GPS_BIIA-25	(PRN 03)	53,1199	138,9182	0,0127721	56,1152	305,1619	26560,695313
	GPS_BIIA-26	(PRN 10)	54,6554	267,0505	0,0089743	37,1993	323,3909	26558,394531
	GPS_BIIA-27	(PRN 30)	54,7568	83,244	0,0118192	84,7234	276,6104	26561,222656
	GPS_BIIR-02	(PRN 13)	56,9049	329,6578	0,0040928	95,8150	264,6964	26559,201172
	GPS_BIIA-28	(PRN 08)	56,8710	29,8072	0,0109506	179,2335	180,7986	26560,648438
	GPS_BIIR-03	(PRN 11)	50,9068	192,4585	0,0104187	45,4220	315,4818	26561,072266
	GPS_BIIR-04	(PRN 20)	53,7246	264,0174	0,0041221	74,4784	285,9501	26559,986328
	GPS_BIIR-05	(PRN 28)	55,5725	87,7285	0,0161604	248,1280	110,1357	26560,298828
	GPS_BIIR-06	(PRN 14)	56,5225	328,4102	0,0051423	240,4533	119,0709	26560,861326
	GPS_BIIR-07	(PRN 18)	53,7361	267,0919	0,0112906	226,4831	132,5459	26560,472656
	GPS_BIIR-08	(PRN 16)	55,6736	87,3113	0,0059008	343,7988	15,9987	26561,044922
	GPS_BIIR-09	(PRN 21)	53,4379	206,5513	0,0163850	217,7196	141,1633	26560,603516
	GPS_BIIR-10	(PRN 22)	53,6031	267,3941	0,0053157	250,5278	108,8696	26560,236328
	GPS_BIIR-11	(PRN 19)	54,8778	150,2426	0,0063799	348,4322	11,4940	26560,832031
	GPS_BIIR-12	(PRN 23)	55,4757	326,192	0,0064061	174,7631	185,4628	26560,677734
	GPS_BIIR-13	(PRN 02)	53,8589	204,8607	0,0095066	172,8658	187,3129	26559,408203
GPS_BIIRM-1	(PRN 17)	55,0150	147,0768	0,0054716	216,3496	143,3550	26559,462891	
GPS_BIIRM-2	(PRN 31)	55,9521	25,9202	0,0077116	298,3302	60,9135	26560,160156	
GPS_BIIRM-3	(PRN 12)	55,6008	86,2815	0,0035865	326,7639	33,0011	26560,824219	
GPS_BIIRM-4	(PRN 15)	54,6667	324,8382	0,0025191	343,9558	15,9988	26561,074219	
GPS_BIIRM-5	(PRN 29)	55,0296	147,5408	0,0032964	285,3936	74,3215	26561,337891	
GPS_BIIRM-6	(PRN 07)	55,6494	25,9258	0,0033144	179,4011	180,6232	26560,820313	
GPS_BIIRM-7	(PRN 01)	55,2496	85,4907	0,0043797	47,4906	312,8637	26571,748047	
GPS_BIIRM-8	(PRN 05)	54,9396	265,5607	0,0017870	11,5955	348,4168	26560,423828	

Πίνακας Δ1 : Πίνακας Τιμών Κεπλέριων Στοιχείων των Δορυφόρων GPS

EGNOS	ΔΟΡΥΦΟΡΟΣ	PRN	i	Ω	e	ω	M	α
	AOR-E (EGNOS)	(PRN 120)	0,0801	358,5186	0,0005152	18,0876	218,2640	42164,691406
	IOR-W (EGNOS)	(PRN 126)	0,5133	8,5897	0,0003551	19,7551	165,6276	42165,593750
	ARTEMIS (EGNOS)	(PRN 124)	8,1819	64,9112	0,0004389	335,7645	194,5379	42164,550781

Πίνακας Δ2 : Πίνακας Τιμών Κεπλέριων Στοιχείων των Δορυφόρων EGNOS

	ΔΟΥΦΟΡΟΣ	i	Ω	e	ω	M	α
G A L I L E O	GIOVE-A GALILEO Sat	56,0921	149,3389	0,0009697	341,2967	18,7456	29717,179688
	GIOVE-B GALILEO Sat	55,9257	184,0495	0,0020473	219,4781	140,4452	29545,343750
	GALILEO-01	56,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	29600,333984
	GALILEO-02	56,0000	0,0000	0,0000	0,0000	40,0000	29600,333984
	GALILEO-03	56,0000	0,0000	0,0000	0,0000	80,0000	29600,333984
	GALILEO-04	56,0000	0,0000	0,0000	0,0000	120,0000	29600,333984
	GALILEO-05	56,0000	0,0000	0,0000	0,0000	160,0000	29600,333984
	GALILEO-06	56,0000	0,0000	0,0000	0,0000	200,0000	29600,333984
	GALILEO-07	56,0000	0,0000	0,0000	0,0000	240,0000	29600,333984
	GALILEO-08	56,0000	0,0000	0,0000	0,0000	280,0000	29600,333984
	GALILEO-09	56,0000	0,0000	0,0000	0,0000	320,0000	29600,333984
	GALILEO-10	56,0000	120,0000	0,0000	0,0000	13,3333	29600,333984
	GALILEO-11	56,0000	120,0000	0,0000	0,0000	53,3333	29600,333984
	GALILEO-12	56,0000	120,0000	0,0000	0,0000	93,3333	29600,333984
	GALILEO-13	56,0000	120,0000	0,0000	0,0000	133,3333	29600,333984
	GALILEO-14	56,0000	120,0000	0,0000	0,0000	173,3333	29600,333984
	GALILEO-15	56,0000	120,0000	0,0000	0,0000	213,3333	29600,333984
	GALILEO-16	56,0000	120,0000	0,0000	0,0000	253,3333	29600,333984
	GALILEO-17	56,0000	120,0000	0,0000	0,0000	293,3333	29600,333984
	GALILEO-18	56,0000	120,0000	0,0000	0,0000	333,3333	29600,333984
	GALILEO-19	56,0000	240,0000	0,0000	0,0000	26,6666	29600,333984
	GALILEO-20	56,0000	240,0000	0,0000	0,0000	66,6666	29600,333984
	GALILEO-21	56,0000	240,0000	0,0000	0,0000	106,6666	29600,333984
	GALILEO-22	56,0000	240,0000	0,0000	0,0000	146,6666	29600,333984
	GALILEO-23	56,0000	240,0000	0,0000	0,0000	186,6666	29600,333984
	GALILEO-24	56,0000	240,0000	0,0000	0,0000	226,6666	29600,333984
	GALILEO-25	56,0000	240,0000	0,0000	0,0000	266,6666	29600,333984
GALILEO-26	56,0000	240,0000	0,0000	0,0000	306,6666	29600,333984	
GALILEO-27	56,0000	240,0000	0,0000	0,0000	346,6666	29600,333984	

Πίνακας Δ3 : Πίνακας Τιμών Κεπλέρων Στοιχείων των Δορυφόρων Galileo