



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

## **Διπλωματική Εργασία**

**Προσδιορισμός παραμορφώσεων του γήινου φλοιού μέσω μετρήσεων  
GNSS στην περιοχή της Αιτωλοακαρνανίας**

**Φοιτητής: Χαραλάμπους Αντώνιος**  
**ΑΜ: 19391125**

**Επιβλέπων Καθηγητής**

**Γιαννίου Μιχαήλ**  
**Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α**

**Αθήνα-Αιγάλεω, Ιούλιος 2024**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**  
FACULTY OF ENGINEERING  
DEPARTMENT OF SURVEYING AND GEOINFORMATICS ENGINEERING

**Diploma Thesis**

**Determination of crustal deformations in the region of Aitoloakarnania  
based on GNSS measurements**

**Student: Charalampous Antonios**  
**Registration Number: 19391125**

**Supervisor**

**Gianniou Michail**  
**Professor of UNI.W.A**

**Athens - Egaleo, JULY 2024**

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

| (Όνοματεπώνυμο),<br>(βαθμίδα) | (Όνοματεπώνυμο),<br>(βαθμίδα)   | (Όνοματεπώνυμο),<br>(βαθμίδα)                   |
|-------------------------------|---------------------------------|---|
| Γιαννίου Μιχαήλ<br>Καθηγητής  | Παγούνης Βασίλειος<br>Καθηγητής | Ηλιοδρομίτης Αθανάσιος<br>Ακαδημαϊκός Υπότροφος |
| (Υπογραφή)                    | (Υπογραφή)                      | (Υπογραφή)                                      |

**Copyright ©** Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

## **ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Χαραλάμπους Αντώνιος, Ιούλιος, 2024**

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

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

### **ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Χαραλάμπους Αντώνιος του Κωνσταντίνου, με αριθμό μητρώου 19391125, φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής, **δηλώνω υπεύθυνα ότι:**

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

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

Ο Δηλών  
Χαραλάμπους Αντώνιος



## Ευχαριστίες

Με την παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται ο κύκλος των προπτυχιακών μου σπουδών στο Τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Γιαννίου Μιχαήλ για την εμπιστοσύνη, την υποστήριξη και την καθοδήγησή του καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας. Επίσης, η συμβολή του στην αξιοποίηση στοιχείων παρελθόντων ετών ήταν καθοριστική.

Θερμές ευχαριστίες οφείλονται στο ΝΠΔΔ «Ελληνικό Κτηματολόγιο» για τη δωρεάν χορήγηση δεδομένων του συστήματος HEPOS στο πλαίσιο εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη σύζυγό μου Νίκη και τους δυο μου γιούς Κωνσταντίνο και Νικόλα. Η συμπαράσταση και η στήριξή τους ήταν η δύναμή μου τόσο κατά τη διάρκεια των σπουδών μου, όσο και κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας.

## Περίληψη

Η γεωγραφική θέση της Ελλάδας βρίσκεται στα όρια σύγκλισης δύο μεγάλων λιθοσφαιρικών πλακών, της Ευρασιατικής και της Αφρικανικής. Αυτή η σύγκλιση δημιουργεί τεκτονικά φαινόμενα ιδιαίτερα πολύπλοκα με έντονα χαρακτηριστικά. Αρκετές μελέτες τα τελευταία χρόνια κατέληξαν στο συμπέρασμα, ότι ο γήινος φλοιός της Ελλάδας αποτελείται από επιμέρους τμήματα. Σε αυτό το συμπέρασμα συνέδραμε αρκετά η ραγδαία ανάπτυξη των συστημάτων GNSS (Global Navigation Satellite System). Καθώς, λοιπόν, ο γήινος φλοιός της Ελλάδας δεν είναι ενιαίος, δέχεται αρκετές παραμορφώσεις, με αποτέλεσμα τα γεωδαιτικά και τοπογραφικά δίκτυα που βρίσκονται εγκατεστημένα σε αυτόν να μεταβάλλονται συνεχώς ως προς σχήμα και μέγεθος.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον, σε σχέση με τη μελέτη των παραμορφώσεων του γήινου φλοιού, παρουσιάζει η περιοχή της Αιτωλοακαρνανίας. Αυτό το ενδιαφέρον πηγάζει από τα έντονα τεκτονικά φαινόμενα που συμβαίνουν στην ευρύτερη περιοχή της Δυτικής Ελλάδας. Σε απόσταση μερικών δεκάδων χιλιομέτρων από τις δυτικές ακτές του ν. Αιτωλοακαρνανίας βρίσκεται το ρήγμα της Κεφαλονιάς, το οποίο χαρακτηρίζεται από έντονη κινητικότητα. Επίσης, ένα τμήμα των νότιων ακτών του νομού βρέχεται από τον Κορινθιακό κόλπο. Η περιοχή του Κορινθιακού κόλπου είναι μια ενεργή τεκτονική λεκάνη με δεκαεννέα διακριτά υποθαλάσσια ρήγματα που την καθιστά μια έντονα σεισμογενής περιοχή. Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα ανωτέρω, εύκολα συμπεραίνεται το ενδιαφέρον που παρουσιάζει η περιοχή της Αιτωλοακαρνανίας, ως προς τη μελέτη της τεκτονικής συμπεριφοράς της.

Το ελληνικό σύστημα εντοπισμού θέσης HEPOS (HEllenic POsitioning System) σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε από την ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε., πρωτίστως για να καλύψει τις ανάγκες σύνταξης του Εθνικού Κτηματολογίου. Το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς του HEPOS είναι το HTRS07 (Hellenic Terrestrial Reference System 2007), το οποίο είναι ένα τρισδιάστατο στατικό σύστημα αναφοράς. Το HTRS07 αναφέρεται σε μια συγκεκριμένη εποχή (2007.5) και οι συντεταγμένες των σταθμών του παραμένουν αμετάβλητες. Καθώς το σύστημα αναφοράς HTRS07 διαφέρει από το επίσημο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς της Ελλάδας ΕΓΣΑ87 (Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987), έπρεπε να γίνει μια σύνδεση αυτών. Για την υλοποίηση αυτής της σύνδεσης πραγματοποιήθηκαν το έτος 2007 δορυφορικές μετρήσεις σε 2470 σημεία του ελληνικού κρατικού τριγωνομετρικού δικτύου, εκ των οποίων κάποια βρίσκονταν στην περιοχή της Αιτωλοακαρνανίας. Λαμβάνοντας υπόψη τις μετρήσεις που έγιναν το έτος 2007 και στο πλαίσιο υλοποίησης της παρούσας εργασίας, πραγματοποιήθηκαν εκ νέου δορυφορικές μετρήσεις σε 15 σημεία της Αιτωλοακαρνανίας. Οι μετρήσεις αυτές έλαβαν χώρα κατά τη χρονική περίοδο από 18 έως 21 Μαΐου 2023. Με δεδομένο τις θέσεις των σημείων σε δύο διαφορετικές χρονικές περιόδους (έτη 2007 και 2023), έγινε προσπάθεια προσδιορισμού της μετατόπισης αυτών, λόγω των παραμορφώσεων που δέχεται ο γήινος φλοιός της περιοχής.

## Λέξεις – κλειδιά

HEPOS, γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς, ΕΓΣΑ87, HTRS07, GNSS, τριγωνομετρικά σημεία, δορυφορικές μετρήσεις, παραμόρφωση γήινου φλοιού, Αιτωλοακαρνανία.

## **Abstract**

The geographical position of Greece is located at the convergence of two major lithospheric plates, the Eurasian and the African plates. This convergence creates highly complex tectonic phenomena with pronounced characteristics. Several studies in recent years have come to the conclusion that the earth's crust of Greece consists of individual parts. The rapid development of GNSS (Global Navigation Satellite System) has contributed to this conclusion. Since the earth's crust of Greece is not uniform, it is subject to several deformations, so that the geodetic and topographic networks installed on it are constantly changing in shape and size.

Of particular interest in relation to the study of deformation of the earth's crust in Greece, is the region of Aitolokarnania. This interest stems from the intense tectonic phenomena occurring in the wider region of Western Greece. At a distance of a few tens of kilometers from the western coast of Aitolokarnania is the Kefalonia Transform Fault, which is characterized by intense mobility. Moreover, a part of the southern coast of the prefecture is bordered by the Corinthian Gulf. The area of the Corinthian Gulf is an active tectonic basin with nineteen distinct submarine faults, making it an earthquake-prone area. Taking all the above into account, it is easy to conclude that the region of Aitolokarnania is of interest for the study of its tectonic behavior.

The Hellenic positioning system HEPOS (HELlenic POSitioning System) was designed and implemented by the Hellenic Cadastre Agency “Ktimatologio S.A.”, primarily to meet the needs of the National Cadastre. The geodetic reference system of HEPOS is HTRS07 (Hellenic Terrestrial Reference System 2007), which is a 3D static reference system. HTRS07 refers to a specific epoch (2007.5) and the coordinates of its station remain unchanged in time. As the HTRS07 reference system differs from the official geodetic reference system of Greece HGRS87 (Hellenic Geodetic Reference System 1987), a connection of the two had to be made. For the implementation of this connection, satellite measurements were carried out in 2007 at 2470 points of the Hellenic trigonometric network, some of which were located in the region of Aitolokarnania. Taking into account the measurements made in 2007, satellite measurements were carried out again at 15 points in Aitolokarnania. These measurements were carried out during the period from 18 to 21 May 2023. Given the positions of the points in two different time periods (2007 and 2023), an attempt was made to determine the displacement of these points due to the deformation of the earth's crust of the region.

## **Keywords**

HEPOS, geodetic reference system, HGRS87, HTRS07, GNSS, trigonometric points, satellite measurements, deformation of the earth's crust, Aitolokarnania.

## Περιεχόμενα

|  |           |
|--|-----------|
| Ευχαριστίες .....  | 5         |
| Περίληψη.....  | 6         |
| Abstract .....   | 7         |
| Περιεχόμενα .....  | 8         |
| Κατάλογος πινάκων.....   | 11        |
| Κατάλογος εικόνων .....  | 13        |
| Συντομογραφίες .....   | 16        |
| <b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>   | <b>17</b> |
| Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας.....   | 17        |
| Σκοπός και στόχοι.....   | 18        |
| Μεθοδολογία .....  | 18        |
| Καινοτομία.....  | 19        |
| Δομή εργασίας.....   | 19        |
| <b>1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : Τεκτονική της Ελλάδας.....</b>                         | <b>21</b> |
| 1.1 Τεκτονικά χαρακτηριστικά του ελληνικού χώρου .....                               | 21        |
| 1.2 Τεκτονικά χαρακτηριστικά ευρύτερης περιοχής ν. Αιτωλοακαρνανίας.....             | 24        |
| <b>2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : Παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης GNSS.....</b> | <b>26</b> |
| 2.1 Αρχή λειτουργίας συστημάτων GNSS.....  | 26        |
| 2.2 Βασικά τμήματα συστημάτων GNSS .....   | 27        |
| 2.3 Το σύστημα GPS.....  | 28        |
| 2.4 Το σύστημα GLONASS.....  | 30        |
| 2.5 Το σύστημα GALILEO.....  | 31        |
| 2.6 Το σύστημα BEIDOU .....  | 32        |
| 2.7 Πηγές σφαλμάτων στον δορυφορικό εντοπισμό.....                                   | 33        |
| 2.7.1 Σφάλμα τροχιάς των δορυφόρων .....   | 33        |
| 2.7.2 Σφάλμα χρονομέτρου δορυφόρου.....  | 33        |
| 2.7.3 Σφάλμα χρονομέτρου δέκτη.....  | 33        |
| 2.7.4 Το τροποσφαιρικό σφάλμα .....  | 34        |
| 2.7.5 Το ιονοσφαιρικό σφάλμα .....   | 34        |
| 2.7.6 Το σφάλμα πολυανάκλασης.....   | 34        |
| 2.7.7 Το σφάλμα θορύβου της μέτρησης.....  | 34        |
| 2.8 Εξίσωση παρατήρησης ψευδοαπόστασης.....  | 35        |
| 2.9 Εξίσωση παρατήρησης φάσης .....  | 35        |
| 2.10 Τεχνικές δορυφορικού εντοπισμού θέσης.....                                      | 37        |
| 2.11 Δέκτες GNSS .....   | 39        |
| <b>3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> : Συστήματα αναφοράς.....</b>                            | <b>40</b> |
| 3.1 Παγκόσμιο επίγειο σύστημα αναφοράς ITRS .....                                    | 40        |
| 3.2 Παγκόσμιο επίγειο σύστημα αναφοράς WGS84 .....                                   | 41        |
| 3.3 Ευρωπαϊκό επίγειο σύστημα αναφοράς ETRS .....                                    | 41        |



|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 3.4      | Ελληνικό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ87.....                        | 42        |
| <b>4</b> | <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> : Το σύστημα εντοπισμού θέσης HEPOS.....</b>  | <b>43</b> |
| 4.1      | Σταθμοί αναφοράς του HEPOS .....  | 43        |
| 4.2      | Κέντρο ελέγχου του HEPOS.....   | 44        |
| 4.3      | Δικτυακές τεχνικές GNSS.....  | 45        |
| 4.3.1    | Τεχνική VRS .....   | 45        |
| 4.3.2    | Τεχνική FKP.....  | 46        |
| 4.3.3    | Τεχνική MAC.....  | 46        |
| 4.4      | Γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς HTRS07 .....                                | 46        |
| 4.5      | Σύνδεση του HTRS07 με το ΕΓΣΑ87.....                                    | 47        |
| <b>5</b> | <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> : Συλλογή δορυφορικών δεδομένων .....</b>     | <b>49</b> |
| 5.1      | Δορυφορικός δέκτης συλλογής δεδομένων .....                             | 49        |
| 5.2      | Μετρήσεις πεδίου.....   | 50        |
| 5.2.1    | Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «ΑΜΜΟΣ» (015024).....                 | 51        |
| 5.2.2    | Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «ΠΕΙΝΑ» (015041).....                 | 52        |
| 5.2.3    | Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «ΚΑΣΤΡΟΝ» (056025).....               | 52        |
| 5.2.4    | Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «ΠΑΛΙΟΣΤΑΝΗ» (108011).....            | 53        |
| 5.2.5    | Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «ΤΑΞΙΑΡΧΗΣ» (110011).....             | 53        |
| 5.2.6    | Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «ΠΑΛΙΟΓΑΛΛΑΡΑ» (110024) .....         | 54        |
| 5.2.7    | Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «ΠΕΤΡΑΛΩΝΑ» (110029).....             | 54        |
| 5.2.8    | Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «ΠΑΝΑΓΙΑ» (110038).....               | 55        |
| 5.2.9    | Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «ΒΑΛΤΙΟΝ» (110039) .....              | 55        |
| 5.2.10   | Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «ΔΡΥΜΟΥΛΙΑ» (117012).....             | 56        |
| 5.2.11   | Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «Ν.ΠΛΑΤΕΙΑ» (214006) .....            | 56        |
| 5.2.12   | Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «ΠΑΛΗΟΓΙΑΝΝΗΣ» (214009) .....         | 57        |
| 5.2.13   | Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «ΑΓ.ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ» (214036) .....         | 57        |
| 5.2.14   | Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «ΖΥΓΟΣ» (214039) .....                | 58        |
| 5.2.15   | Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «ΑΝΩΝΥΜΟΝ» (110004) .....             | 58        |
| <b>6</b> | <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> : Επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων.....</b>  | <b>60</b> |
| 6.1      | Επεξεργασία δεδομένων με λογισμικό HGO.....                             | 61        |
| 6.1.1    | Μετασχηματισμός συντεταγμένων HTRS07-ΕΓΣΑ87 (εφαρμογή HEPOS) .....      | 64        |
| 6.1.2    | Μετασχηματισμός συντεταγμένων HTRS07-ΕΓΣΑ87 (λογισμικό HGO) .....       | 64        |
| 6.1.3    | Σύγκριση μετασχηματισμένων χαρτογραφικών συντεταγμένων (ΕΓΣΑ87) .....   | 65        |
| 6.2      | Επεξεργασία δεδομένων με λογισμικό TBC (GPS-GLONASS).....               | 66        |
| 6.2.1    | Μετασχηματισμός συντεταγμένων HTRS07-ΕΓΣΑ87 (εφαρμογή HEPOS) .....      | 69        |
| 6.2.2    | Μετασχηματισμός συντεταγμένων HTRS07-ΕΓΣΑ87 (λογισμικό TBC).....        | 69        |
| 6.2.3    | Σύγκριση μετασχηματισμένων χαρτογραφικών συντεταγμένων (ΕΓΣΑ87) .....   | 70        |
| 6.3      | Επεξεργασία δεδομένων με λογισμικό TBC (GPS-GLONASS-GALILEO) .....      | 71        |
| 6.3.1    | Μετασχηματισμός συντεταγμένων HTRS07-ΕΓΣΑ87 (εφαρμογή HEPOS) .....      | 72        |
| <b>7</b> | <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup> : Σύγκριση αποτελεσμάτων λογισμικών .....</b> | <b>74</b> |
| 7.1      | Σύγκριση αποτελεσμάτων HGO (GPS) και TBC (GPS-GLO).....                 | 74        |
| 7.2      | Σύγκριση αποτελεσμάτων HGO (GPS) και TBC (GPS-GLO-GAL) .....            | 75        |
| 7.3      | Σύγκριση αποτελεσμάτων TBC (GPS-GLO) και TBC (GPS-GLO-GAL).....         | 77        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>8 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup> : Σύγκριση RTK και στατικών μετρήσεων .....</b> | <b>79</b>  |
| 8.1 Αποτελέσματα RTK μετρήσεων .....  | 79         |
| 8.2 Δείκτης διακύμανσης ιονόσφαιρας I95 .....                               | 80         |
| 8.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων HGO και RTK .....                                | 81         |
| 8.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων TBC (GPS-GLO) και RTK .....                      | 82         |
| 8.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων TBC (GPS-GLO-GAL) και RTK.....                   | 82         |
| 8.6 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα συγκρίσεων .....                             | 83         |
| <b>9 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup> : Υπολογισμός μετατοπίσεων .....</b>            | <b>87</b>  |
| 9.1 Τριγωνομετρικά σημεία κρατικού δικτύου .....                            | 87         |
| 9.2 Αποτελέσματα δορυφορικών μετρήσεων έτους 2007.....                      | 88         |
| 9.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων έτους 2007 με αποτελέσματα έτους 2023 .....      | 89         |
| 9.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων έτους 2007 με συντεταγμένες ΓΥΣ .....            | 93         |
| 9.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων έτους 2023 με συντεταγμένες ΓΥΣ .....            | 94         |
| <b>10 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....</b>                                      | <b>98</b>  |
| <b>Βιβλιογραφία - Αναφορές - Διαδικτυακές πηγές.....</b>                    | <b>100</b> |

## Κατάλογος πινάκων

|   |    |
|---|----|
| Πίνακας 2.1: Ακρίβειες μέτρησης απόστασης από παρατηρήσεις ψευδοαπόστασης και φάσης. ....     | 36 |
| Πίνακας 3.1: Διαφορά επιπλάτυνσης μεταξύ ΕΕΠ GRS80 και WGS84. ....                            | 41 |
| Πίνακας 5.1: Στοιχεία μετρήσεων σημείου «ΑΜΜΟΣ» (015024). ....                                | 52 |
| Πίνακας 5.2: Στοιχεία μετρήσεων σημείου «ΠΕΙΝΑ» (015041). ....                                | 52 |
| Πίνακας 5.3: Στοιχεία μετρήσεων σημείου «ΚΑΣΤΡΟΝ» (056025). ....                              | 53 |
| Πίνακας 5.4: Στοιχεία μετρήσεων σημείου «ΠΑΛΙΟΣΤΑΝΗ» (108011). ....                           | 53 |
| Πίνακας 5.5: Στοιχεία μετρήσεων σημείου «ΤΑΞΙΑΡΧΗΣ» (110011). ....                            | 54 |
| Πίνακας 5.6: Στοιχεία μετρήσεων σημείου «ΠΑΛΙΟΓΑΛΑΡΑ» (110024). ....                          | 54 |
| Πίνακας 5.7: Στοιχεία μετρήσεων σημείου «ΠΕΤΡΑΛΩΝΑ» (110029). ....                            | 55 |
| Πίνακας 5.8: Στοιχεία μετρήσεων σημείου «ΠΑΝΑΓΙΑ» (110038). ....                              | 55 |
| Πίνακας 5.9: Στοιχεία μετρήσεων σημείου «ΒΑΛΤΙΟΝ» (110039). ....                              | 56 |
| Πίνακας 5.10: Στοιχεία μετρήσεων σημείου «ΔΡΥΜΟΥΛΙΑ» (117012). ....                           | 56 |
| Πίνακας 5.11: Στοιχεία μετρήσεων σημείου «Ν.ΠΛΑΤΕΙΑ» (214006). ....                           | 57 |
| Πίνακας 5.12: Στοιχεία μετρήσεων σημείου «ΠΑΛΗΟΓΙΑΝΝΗΣ» (214009). ....                        | 57 |
| Πίνακας 5.13: Στοιχεία μετρήσεων σημείου «ΑΓ.ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ» (214036). ....                        | 58 |
| Πίνακας 5.14: Στοιχεία μετρήσεων σημείου «ΖΥΓΟΣ» (214039). ....                               | 58 |
| Πίνακας 5.15: Στοιχεία μετρήσεων σημείου «ΑΝΩΝΥΜΟΝ» (110004). ....                            | 59 |
| Πίνακας 6.1: Καρτεσιανές συντεταγμένες σημείων στο σύστημα HTRS07. ....                       | 63 |
| Πίνακας 6.2: Χαρτογραφικές συντεταγμένες σημείων στο σύστημα HTRS07. ....                     | 63 |
| Πίνακας 6.3: Χαρτογραφικές συντεταγμένες σημείων στο σύστημα ΕΓΣΑ87 (εφαρμογή HEPOS). ....    | 64 |
| Πίνακας 6.4: Χαρτογραφικές συντεταγμένες σημείων στο σύστημα ΕΓΣΑ87 (λογισμικό HGO). ....     | 65 |
| Πίνακας 6.5: Σύγκριση μετασχηματισμένων χαρτογραφικών συντεταγμένων στο σύστημα ΕΓΣΑ87. ....  | 65 |
| Πίνακας 6.6: Καρτεσιανές συντεταγμένες σημείων στο σύστημα HTRS07. ....                       | 68 |
| Πίνακας 6.7: Χαρτογραφικές συντεταγμένες σημείων στο σύστημα HTRS07. ....                     | 68 |
| Πίνακας 6.8: Χαρτογραφικές συντεταγμένες σημείων στο σύστημα ΕΓΣΑ87 (εφαρμογή HEPOS). ....    | 69 |
| Πίνακας 6.9: Χαρτογραφικές συντεταγμένες σημείων στο σύστημα ΕΓΣΑ87 (λογισμικό TBC). ....     | 69 |
| Πίνακας 6.10: Σύγκριση μετασχηματισμένων χαρτογραφικών συντεταγμένων στο σύστημα ΕΓΣΑ87. .... | 70 |
| Πίνακας 6.11: Καρτεσιανές συντεταγμένες σημείων στο σύστημα HTRS07. ....                      | 72 |
| Πίνακας 6.12: Χαρτογραφικές συντεταγμένες σημείων στο σύστημα HTRS07. ....                    | 72 |
| Πίνακας 6.13: Χαρτογραφικές συντεταγμένες σημείων στο σύστημα ΕΓΣΑ87 (εφαρμογή HEPOS). ....   | 73 |
| Πίνακας 7.1: Σύγκριση χαρτογραφικών συντεταγμένων στο σύστημα HTRS07. ....                    | 74 |
| Πίνακας 7.2: Σύγκριση χαρτογραφικών συντεταγμένων στο σύστημα HTRS07. ....                    | 76 |
| Πίνακας 7.3: Σύγκριση χαρτογραφικών συντεταγμένων στο σύστημα HTRS07. ....                    | 77 |
| Πίνακας 8.1: Χαρτογραφικές συντεταγμένες σημείων στο σύστημα ΕΓΣΑ87 (RTK μετρήσεις). ....     | 79 |
| Πίνακας 8.2: Τιμές δείκτη I95 κατά τη διάρκεια των RTK μετρήσεων. ....                        | 81 |

|  |    |
|--|----|
| Πίνακας 8.3: Σύγκριση χαρτογραφικών συντεταγμένων στο ΕΓΣΑ87 (HGO-RTK).....                | 81 |
| Πίνακας 8.4: Σύγκριση χαρτογραφικών συντεταγμένων στο ΕΓΣΑ87 (TBC(GPS-GLO)-RTK). ....      | 82 |
| Πίνακας 8.5: Σύγκριση χαρτογραφικών συντεταγμένων στο ΕΓΣΑ87 (TBC(GPS-GLO-GAL)-RTK).....   | 83 |
| Πίνακας 8.6: Σύγκριση συντεταγμένων σημείων 108011 και 214009 (σταθμός αναφοράς 012Α)..... | 86 |
| Πίνακας 9.1: Πληροφορίες τριγωνομετρικών σημείων σύμφωνα με τη ΓΥΣ. ....                   | 87 |
| Πίνακας 9.2: Καρτεσιανές συντεταγμένες σημείων στο σύστημα HTRS07 (έτος 2007). ....        | 88 |
| Πίνακας 9.3: Χαρτογραφικές συντεταγμένες σημείων σε HTRS07 και ΕΓΣΑ87 (έτος 2007). ....    | 88 |
| Πίνακας 9.4: Σύγκριση χαρτογραφικών συντεταγμένων στο HTRS07 (2007-2023). ....             | 89 |
| Πίνακας 9.5: Σύγκριση χαρτογραφικών συντεταγμένων στο ΕΓΣΑ87 (2007-2023). ....             | 90 |
| Πίνακας 9.6: Οριζοντιογραφικές διαφορές και γωνίες διεύθυνσεως (HTRS07-ΕΓΣΑ87).....        | 91 |
| Πίνακας 9.7: Σύγκριση χαρτογραφικών συντεταγμένων στο ΕΓΣΑ87 (ΓΥΣ-2007).....               | 93 |
| Πίνακας 9.8: Σύγκριση χαρτογραφικών συντεταγμένων στο ΕΓΣΑ87 (ΓΥΣ-2023).....               | 95 |
| Πίνακας 9.9: Οριζοντιογραφικές διαφορές και γωνίες διεύθυνσεως (ΕΓΣΑ87). ....              | 96 |

## Κατάλογος εικόνων

|   |    |
|---|----|
| Εικόνα 1.1: Κύρια χαρακτηριστικά ελληνικού τόξου. ....  | 21 |
| Εικόνα 1.2: Κινήσεις λιθοσφαιρικών πλακών στον ελληνικό χώρο. ....                                  | 22 |
| Εικόνα 1.3: Διανύσματα ταχυτήτων σταθμών GPS στον ελληνικό χώρο ως προς την Ευρασιατική πλάκα. .... | 23 |
| Εικόνα 1.4: Βασικοί τύποι ρηγμάτων. ....  | 24 |
| Εικόνα 1.5: Τα σημαντικότερα ρήγματα του ελληνικού χώρου. ....                                      | 24 |
| Εικόνα 1.6: Διανύσματα ταχυτήτων σταθμών GPS στη Δυτ. Ελλάδα ως προς την Ευρασιατική πλάκα. ....    | 25 |
| Εικόνα 2.1: Δορυφορικός προσδιορισμός θέσης. ....   | 26 |
| Εικόνα 2.2: Τα τρία βασικά τμήματα των συστημάτων GNSS. ....  | 27 |
| Εικόνα 2.3: Ύψη τροχιών δορυφόρων των συστημάτων GNSS. ....   | 28 |
| Εικόνα 2.4: Τροχιακά επίπεδα δορυφόρων συστήματος GPS. ....   | 29 |
| Εικόνα 2.5: Γενιές δορυφόρων GPS και μετρητικοί κώδικες PRN. ....                                   | 30 |
| Εικόνα 2.6: Τροχιακά επίπεδα δορυφόρων συστήματος GLONASS. ....                                     | 30 |
| Εικόνα 2.7: Τροχιακά επίπεδα δορυφόρων συστήματος BEIDOU. ....                                      | 32 |
| Εικόνα 2.8: Σχετικός εντοπισμός (αριστερά) και αυτόνομος εντοπισμός (δεξιά). ....                   | 37 |
| Εικόνα 2.9: Απλή διαφορά παρατηρήσεων. ....   | 38 |
| Εικόνα 2.10: Διπλή διαφορά παρατηρήσεων. ....   | 38 |
| Εικόνα 2.11: Τριπλή διαφορά παρατηρήσεων. ....  | 39 |
| Εικόνα 2.12: Γεωδαιτικός δέκτης GNSS. ....  | 39 |
| Εικόνα 3.1: Δίκτυο σταθμών για το ITRF2020. ....  | 41 |
| Εικόνα 3.2: Δίκτυο μόνιμων σταθμών αναφοράς ETRS89. ....  | 42 |
| Εικόνα 4.1: Σταθμοί αναφοράς HEPOS. ....  | 43 |
| Εικόνα 4.2: Εγκατεστημένες κεραίες σταθμών αναφοράς. ....   | 44 |
| Εικόνα 4.3: Διαφορά μεταξύ δικτυακών τεχνικών GNSS και χρήσης ενός μόνο σταθμού. ....               | 45 |
| Εικόνα 4.4: Υπόλοιπα (residuals) 7-παραμετρικού μετασχηματισμού HTRS07-ΕΓΣΑ87. ....                 | 47 |
| Εικόνα 5.1: GNSS δέκτης Hi-Target iRTK5. ....   | 49 |
| Εικόνα 5.2: Κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά δέκτη Hi-Target iRTK5. ....                                | 49 |
| Εικόνα 5.3: Θέσεις σταθμού αναφοράς HEPOS και τριγωνομετρικών σημείων. ....                         | 51 |
| Εικόνα 5.4: Τριγωνομετρικό σημείο «ΑΜΜΟΣ» (015024). ....  | 51 |
| Εικόνα 5.5: Τριγωνομετρικό σημείο «ΠΕΙΝΑ» (015041). ....  | 52 |
| Εικόνα 5.6: Τριγωνομετρικό σημείο «ΚΑΣΤΡΟΝ» (056025). ....  | 52 |
| Εικόνα 5.7: Τριγωνομετρικό σημείο «ΠΑΛΙΟΣΤΑΝΗ» (108011). ....                                       | 53 |
| Εικόνα 5.8: Τριγωνομετρικό σημείο «ΤΑΞΙΑΡΧΗΣ» (110011). ....  | 53 |
| Εικόνα 5.9: Τριγωνομετρικό σημείο «ΠΑΛΙΟΓΑΛΛΑΡΑ» (110024). ....                                     | 54 |
| Εικόνα 5.10: Τριγωνομετρικό σημείο «ΠΕΤΡΑΛΩΝΑ» (110029). ....                                       | 54 |
| Εικόνα 5.11: Τριγωνομετρικό σημείο «ΠΑΝΑΓΙΑ» (110038). ....   | 55 |

|   |    |
|---|----|
| Εικόνα 5.12: Τριγωνομετρικό σημείο «ΒΑΛΤΙΟΝ» (110039). .....  | 55 |
| Εικόνα 5.13: Τριγωνομετρικό σημείο «ΔΡΥΜΟΥΛΙΑ» (117012). .....  | 56 |
| Εικόνα 5.14: Τριγωνομετρικό σημείο «Ν.ΠΛΑΤΕΙΑ» (214006). .....  | 56 |
| Εικόνα 5.15: Τριγωνομετρικό σημείο «ΠΑΛΗΟΓΙΑΝΝΗΣ» (214009). .....                                     | 57 |
| Εικόνα 5.16: Τριγωνομετρικό σημείο «ΑΓ.ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ» (214036). .....                                     | 57 |
| Εικόνα 5.17: Τριγωνομετρικό σημείο «ΖΥΓΟΣ» (214039). .....  | 58 |
| Εικόνα 5.18: Τριγωνομετρικό σημείο «ΑΝΩΝΥΜΟΝ» (110004). .....   | 59 |
| Εικόνα 6.1: Επιλογή συστήματος αναφοράς στο λογισμικό HGO. ....                                       | 61 |
| Εικόνα 6.2: Παραμετροποίηση κεραιών στο λογισμικό HGO. ....   | 62 |
| Εικόνα 6.3: Επίλυση διανυσμάτων βάσης στο λογισμικό HGO. ....   | 62 |
| Εικόνα 6.4: Μετασχηματισμός συντεταγμένων μέσω της εφαρμογής του HEPOS (HeposTT). ....                | 64 |
| Εικόνα 6.5: Διάγραμμα διαφορών δE και δN (εφαρμογή HEPOS-λογισμικό HGO). ....                         | 66 |
| Εικόνα 6.6: Διάγραμμα διαφορών δH και δS (εφαρμογή HEPOS-λογισμικό HGO). ....                         | 66 |
| Εικόνα 6.7: Επιλογή συστήματος αναφοράς στο λογισμικό TBC (GPS-GLO). ....                             | 67 |
| Εικόνα 6.8: Παραμετροποίηση κεραιών στο λογισμικό TBC (GPS-GLO). ....                                 | 67 |
| Εικόνα 6.9: Επίλυση διανυσμάτων βάσης στο λογισμικό TBC (GPS-GLO). ....                               | 68 |
| Εικόνα 6.10: Διάγραμμα διαφορών δE,δN,δH και δS (εφαρμογή HEPOS-λογισμικό TBC). ....                  | 71 |
| Εικόνα 6.11: Επίλυση διανυσμάτων βάσης στο λογισμικό TBC (GPS-GLO-GAL). ....                          | 71 |
| Εικόνα 7.1: Διάγραμμα διαφορών δE και δN (HGO (GPS)-TBC (GPS-GLO)). ....                              | 75 |
| Εικόνα 7.2: Διάγραμμα διαφορών δH και δS (HGO (GPS)-TBC (GPS-GLO)). ....                              | 75 |
| Εικόνα 7.3: Διάγραμμα διαφορών δE και δN (HGO (GPS)-TBC (GPS-GLO-GAL)). ....                          | 76 |
| Εικόνα 7.4: Διάγραμμα διαφορών δH και δS (HGO (GPS)-TBC (GPS-GLO-GAL)). ....                          | 77 |
| Εικόνα 7.5: Διάγραμμα διαφορών δE και δN (TBC (GPS-GLO)-TBC (GPS-GLO-GAL)). ....                      | 78 |
| Εικόνα 7.6: Διάγραμμα διαφορών δH και δS (TBC (GPS-GLO)-TBC (GPS-GLO-GAL)). ....                      | 78 |
| Εικόνα 8.1: Επιλεγθείσα τεχνική για τις RTK μετρήσεις. ....   | 79 |
| Εικόνα 8.2: Ιονοσφαιρικός δείκτης I95 συστήματος HEPOS σε ωριαία βάση. ....                           | 80 |
| Εικόνα 8.3: Διάγραμμα διαφορών δE με ταυτόχρονη ένδειξη ιονοσφαιρικού δείκτη I95. ....                | 83 |
| Εικόνα 8.4: Διάγραμμα διαφορών δN με ταυτόχρονη ένδειξη ιονοσφαιρικού δείκτη I95. ....                | 84 |
| Εικόνα 8.5: Διάγραμμα διαφορών δS με ταυτόχρονη ένδειξη ιονοσφαιρικού δείκτη I95. ....                | 84 |
| Εικόνα 8.6: Διάγραμμα διαφορών δH με ταυτόχρονη ένδειξη ιονοσφαιρικού δείκτη I95. ....                | 84 |
| Εικόνα 8.7: Αποστάσεις σημείων από σταθμούς αναφοράς HEPOS 001A και 012A. ....                        | 85 |
| Εικόνα 9.1: Διάγραμμα διαφορών δE και δN (2007-2023). ....  | 90 |
| Εικόνα 9.2: Διάγραμμα διαφορών δH και δS (2007-2023). ....  | 90 |
| Εικόνα 9.3: Οριζοντιογραφικές μετατοπίσεις σημείων ως προς τον σταθμό αναφοράς 001A (2007-2023). .... | 92 |
| Εικόνα 9.4: Διάγραμμα διαφορών δE και δN (ΓΥΣ-2007). ....   | 94 |
| Εικόνα 9.5: Διάγραμμα διαφορών δH και δS (ΓΥΣ-2007). ....   | 94 |
| Εικόνα 9.6: Διάγραμμα διαφορών δE και δN (ΓΥΣ-2023). ....   | 95 |

|  |    |
|--|----|
| Εικόνα 9.7: Διάγραμμα διαφορών δH και δS (ΓΥΣ-2023).....               | 96 |
| Εικόνα 9.8: Οριζοντιογραφικές αποκλίσεις αποτελεσμάτων (ΓΥΣ-2023)..... | 97 |

## Συντομογραφίες

|         |   |
|---------|---|
| ARP     | Antenna Reference Point                                   |
| BDCS    | BeiDou Coordinate System                                  |
| CDMA    | Code Division Multiple Access                             |
| DGPS    | Differential Global Positioning System                    |
| EGM08   | Earth Gravity Model 2008                                  |
| ESA     | European Space Agency                                     |
| ETRF    | European Terrestrial Reference Frame                      |
| ETRS    | European Terrestrial Reference System                     |
| FDMA    | Frequency Division Multiple Access                        |
| FKP     | Flächen Korrekturparameter                                |
| GEO     | Geosynchronous Equatorial Orbit                           |
| GLONASS | GLOBAL Navigation Satellite System                        |
| GNSS    | Global Navigation Satellite System                        |
| GPS     | Global Positioning System                                 |
| GRS80   | Geodetic Reference System 1980                            |
| GTRF    | Galileo Terrestrial Reference System                      |
| HEPOS   | HEllenic POsitioning System                               |
| HeposTT | Hepos Transformation Tool                                 |
| HGO     | Hi-Target Geomatics Office                                |
| HTRS07  | Hellenic Terrestrial Reference System 2007                |
| IAU     | International Astronomical Union                          |
| ICRS    | International Celestial Reference System                  |
| IERS    | International Earth Rotation and Reference System Service |
| IGSO    | Inclined Geosynchronous Orbit                             |
| IRNSS   | Indian Regional Navigation Satellite System               |
| ITRF    | International Terrestrial Reference Frame                 |
| ITRS    | International Terrestrial Reference System                |
| IUGG    | International Union of Geodesy and Geophysics             |
| MAC     | Master-Auxiliary Concept                                  |
| MEO     | Medium Earth Orbit  |
| PDOP    | Position Dilution of Precision                            |
| PZ-90   | Parametry Zemli 1990                                      |
| PRN     | Pseudo Random Noise                                       |
| QZSS    | Quasi-Zenith Satellite System                             |
| RTK     | Real-Time Kinematic                                       |
| TBC     | Trimble Business Center                                   |
| VRS     | Virtual Reference Station                                 |
| WGS84   | World Geodetic System 1984                                |
| ΓΥΣ     | Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού                               |
| ΕΓΣΑ87  | Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987                 |
| ΕΕΠ     | Ελλειψοειδές Εκ Περιστροφής                               |
| ΝΠΔΔ    | Νομικό Πρόσωπο Δημοσίου Δικαίου                           |



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο ελληνικός χώρος χαρακτηρίζεται από έντονα και πολύπλοκα τεκτονικά φαινόμενα, καθώς βρίσκεται στα όρια σύγκλισης της Ευρασιατικής με την Αφρικανική λιθοσφαιρική πλάκα. Κατά τη σύγκλιση αυτή η Αφρικανική πλάκα βυθίζεται κάτω από την Ευρασιατική με κατεύθυνση βόρειο-βορειοανατολική και ταχύτητα βύθισης 2.5-3.5 cm/y (Μουντράκης, 2005). Αποτέλεσμα αυτής της σύγκλισης είναι στο άκρο της Ευρασιατικής πλάκας να δημιουργηθούν οι μικροπλάκες του Αιγαίου, της Ανατολίας και της Απουλίας (Αδριατικής), ενώ στο ανατολικό άκρο της Αφρικανικής πλάκας να δημιουργηθεί η μικροπλάκα της Αραβίας. Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι ο γήινος φλοιός της Ελλάδας δεν είναι ενιαίος αλλά αποτελείται από επιμέρους τμήματα. Κύριο χαρακτηριστικό αυτών των τμημάτων είναι ότι παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις ως προς το μέτρο και τη διεύθυνση των μετακινήσεών τους. Επομένως γίνεται εμφανές, ότι ο φλοιός της Ελλάδας υπόκειται σε συνεχή (κυρίως οριζόντια) παραμόρφωση (Χατζηνίκος & Κωτσάκης, 2014). Εξαιτίας αυτής της παραμόρφωσης τα γεωδαιτικά και τοπογραφικά δίκτυα που βρίσκονται εγκατεστημένα στον γήινο φλοιό της Ελλάδας, μεταβάλλονται συνεχώς ως προς το σχήμα και το μέγεθός τους.

Μια περιοχή με ιδιαίτερο ενδιαφέρον στη μελέτη των παραμορφώσεων του γήινου φλοιού είναι αυτή του ν. Αιτωλοακαρνανίας. Αυτό το ενδιαφέρον πηγάζει από τη γεωγραφική θέση του νομού, καθώς σε απόσταση μερικών δεκάδων χιλιομέτρων δυτικά αυτού βρίσκεται το ρήγμα της Κεφαλονιάς. Η διεύθυνση του ρήγματος είναι βορειοανατολική-νοτιοδυτική και φιλοξενεί τις κινήσεις των μικροπλακών της Αδριατικής και του Αιγαίου (Χατζηνίκος, 2013). Το συγκεκριμένο ρήγμα χαρακτηρίζεται από έντονη δραστηριότητα καθώς είναι το δεύτερο σε σειρά κινητικότητας σε όλη την Ελλάδα (Hollenstein, et al., 2008). Κατά το παρελθόν το συγκεκριμένο ρήγμα έχει προκαλέσει μεγάλους σεισμούς με χαρακτηριστικότερο αυτόν του έτους 1953 ( $M_s=7.2$ ), όπου οι συνέπειες για τη ν. Κεφαλονιά ήταν καταστροφικές. Επίσης, ένα τμήμα των νότιων ακτών του ν. Αιτωλοακαρνανίας βρέχεται από τον Κορινθιακό κόλπο, ενώ το υπόλοιπο από τον Πατραϊκό. Ο Κορινθιακός κόλπος είναι μια ενεργή τεκτονική λεκάνη, τα περιθώρια της οποίας καθορίζονται από δεκαεννέα διακριτά υποθαλάσσια ρήγματα, τα οποία είναι περίπου παράλληλα με τις ακτές του (Λυμπέρης, et al., 1998). Μέσω μετρήσεων GPS έχει διαπιστωθεί η ταχεία επέκταση του κόλπου, με άξονα επέκτασης βορράς-νότος (Briole, et al., 2000). Ο Κορινθιακός κόλπος λόγω της τεκτονικής δραστηριότητας που παρουσιάζει χαρακτηρίζεται ως μία έντονα σεισμογενής περιοχή.

### Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Κύριο αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός, μέσω δορυφορικών μετρήσεων, των παραμορφώσεων του γήινου φλοιού στην περιοχή της Αιτωλοακαρνανίας. Αυτός ο προσδιορισμός θα επιτευχθεί μέσω της σύγκρισης των θέσεων που είχαν 15 συγκεκριμένα τριγωνομετρικά σημεία, στην περιοχή της Αιτωλοακαρνανίας, σε δύο διαφορετικές χρονικές περιόδους. Η πρώτη περίοδος αφορά το έτος 2007, όπου προσδιορίστηκαν οι θέσεις των σημείων στο πλαίσιο υλοποίησης της σύνδεσης του γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς που χρησιμοποιεί το HEPOS (HTRS07) με το επίσημο γεωδαιτικό σύστημα της Ελλάδας (ΕΓΣΑ87). Η δεύτερη περίοδος αφορά το διάστημα από 18 έως 21 Μαΐου 2023 στο πλαίσιο υλοποίησης της παρούσας εργασίας. Ο προσδιορισμός των θέσεων και στις δύο χρονικές περιόδους έγινε μέσω δορυφορικών μετρήσεων στο σύστημα

HTRS07. Έχοντας, λοιπόν, γνωστές τις θέσεις των 15 τριγωνομετρικών σημείων τα έτη 2007 και 2023, θα γίνει προσπάθεια προσδιορισμού του πεδίου τεκτονικών παραμορφώσεων στην περιοχή της Αιτωλοακαρνανίας.

### **Σκοπός και στόχοι**

Η παρούσα διπλωματική εργασία συντάχθηκε με σκοπό να προσδιορίσει, μέσω δορυφορικών μετρήσεων, την παραμόρφωση που υφίσταται ο γήινος φλοιός στην περιοχή της Αιτωλοακαρνανίας. Οι βασικοί στόχοι που τέθηκαν για την ολοκλήρωση της εργασίας, ήταν:

α. Ο προσδιορισμός θέσης των σημείων να γίνει με τη μέθοδο του σχετικού στατικού δορυφορικού εντοπισμού (static) και της μετέπειτα επεξεργασίας των δεδομένων που συλλέχθηκαν (post-processing).

β. Οι συντεταγμένες ΕΓΣΑ87 της ΓΥΣ (Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού) να συγκριθούν τόσο με αυτές που προέκυψαν από τις δορυφορικές μετρήσεις του έτους 2007, όσο και με αυτές των μετρήσεων του έτους 2023, ώστε να αναδειχθεί η επίδραση των τεκτονικών κινήσεων στον προσδιορισμό συντεταγμένων ΕΓΣΑ87 με χρήση δικτύων μόνιμων σταθμών αναφοράς.

γ. Οι συντεταγμένες HTRS07 των σημείων που θα προκύψουν από τις τρέχουσες δορυφορικές μετρήσεις, να συγκριθούν με τις αντίστοιχες συντεταγμένες που προέκυψαν το έτος 2007, ώστε να προκύψει το πεδίο τεκτονικών παραμορφώσεων στην περιοχή.

Παράλληλα τέθηκαν και οι εξής δευτερεύοντες στόχοι:

α. Η επεξεργασία των στατικών μετρήσεων να γίνει με δύο λογισμικά, ώστε να διερευνηθεί κατά πόσο τα αποτελέσματα εξαρτώνται από το λογισμικό επίλυσης, ειδικά σε δύσκολα περιβάλλοντα μετρήσεων (δασωμένα σημεία).

β. Μετά το πέρας των στατικών μετρήσεων κάθε σημείου, όπου αυτό είναι εφικτό, να γίνουν και μετρήσεις σχετικού κινηματικού εντοπισμού πραγματικού χρόνου (Real-Time Kinematic-RTK). Οι RTK μετρήσεις θα γίνουν, ώστε μέσα από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων τους με τα αντίστοιχα αποτελέσματα των στατικών μετρήσεων να διερευνηθεί η ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί με RTK, ειδικά κάτω από δύσκολες συνθήκες μέτρησης (μεγάλα μήκη βάσεων και δασωμένα σημεία).

γ. Οι θέσεις των σημείων που θα προκύψουν από τις στατικές μετρήσεις στο σύστημα HTRS07, να μετασχηματιστούν στο σύστημα ΕΓΣΑ87. Ο μετασχηματισμός θα γίνει δύο φορές, αρχικά μέσω της επίσημης εφαρμογής του HEPOS και έπειτα μέσω του εκάστοτε λογισμικού επεξεργασίας των στατικών μετρήσεων. Τα τελικά αποτελέσματα των μετασχηματισμών θα συγκριθούν μεταξύ τους, ώστε να αξιολογηθεί η πιστότητα υλοποίησης του μετασχηματισμού HTRS07-ΕΓΣΑ87 από τα εμπορικά λογισμικά.

### **Μεθοδολογία**

Για τη συγγραφή της εργασίας και συγκεκριμένα για το θεωρητικό υπόβαθρο αυτής χρησιμοποιήθηκαν πληροφορίες από έγκυρες πηγές. Αυτές οι πηγές ήταν επιστημονικά βιβλία, επιστημονικές μελέτες, άρθρα επιστημονικών περιοδικών και διεθνών συνεδρίων. Αναλυτικά το σύνολο των πηγών που χρησιμοποιήθηκε αναφέρεται στο τέλος της εργασίας. Σχετικά με το πρακτικό τμήμα της εργασίας, αρχικά έγινε επιτόπιος έλεγχος των τριγωνομετρικών σημείων, ώστε να διαπιστωθεί η κατάσταση τους. Αφού διαπιστώθηκε, ότι δύνανται να γίνουν δορυφορικές μετρήσεις, αποφασίστηκε η χρονική περίοδος υλοποίησής τους. Ο μήνας που επι-

λέχθηκε ήταν ο Μάιος, καθώς χαρακτηρίζεται από ήπια καιρικά φαινόμενα, με θερμοκρασίες περιβάλλοντος ιδανικές για μετρήσεις πεδίου.

Οι στατικές μετρήσεις έγιναν μέσω του συστήματος HEPOS, όπου χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος σταθμός αναφοράς. Μετά το πέρας της στατικής μέτρησης κάθε σημείου, όπου αυτό κατέστη δυνατό, πραγματοποιήθηκαν και μετρήσεις RTK. Η επεξεργασία των στατικών μετρήσεων έγινε με χρήση δύο λογισμικών, ώστε να υπάρχει σύγκριση των αποτελεσμάτων. Αυτά τα λογισμικά ήταν το Hi-Target Geomatics Office (HGO) και το Trimble Business Center (TBC). Τα τελικά αποτελέσματα που προέκυψαν συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του έτους 2007, ώστε να διαπιστωθεί τυχόν διαφοροποίησή τους.

## **Καινοτομία**

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία προσπαθεί να συμβάλει στον προσδιορισμό των παραμορφώσεων που υφίσταται ο γήινος φλοιός της Αιτωλοακαρνανίας. Δεδομένα που προήλθαν από δορυφορικές μετρήσεις του έτους 2007, συγκρίθηκαν με αντίστοιχα δεδομένα μετρήσεων του έτους 2023. Αποτέλεσμα αυτής της σύγκρισης ήταν να υπολογιστούν οι οριζοντιογραφικές μετατοπίσεις των σημείων στο πέρασμα του χρόνου. Μέσα, λοιπόν, από την παρούσα εργασία, ο αναγνώστης θα μπορέσει να κατανοήσει τη συμπεριφορά του γήινου φλοιού της Αιτωλοακαρνανίας, εξαιτίας των παραμορφώσεων που υφίσταται η περιοχή.

## **Δομή εργασίας**

Το πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται στα τεκτονικά χαρακτηριστικά του ελληνικού χώρου, ενός χώρου με έντονη σεισμική δραστηριότητα και συνεχείς παραμορφώσεις, καθώς βρίσκεται στα όρια σύγκλισης της Ευρασιατικής με την Αφρικανική λιθοσφαιρική πλάκα. Επίσης, γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στα κινηματικά χαρακτηριστικά της Αιτωλοακαρνανίας, η οποία είναι και η περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας.

Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στα παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης (GNSS). Αρχικά, περιγράφεται η αρχή λειτουργίας τους και τα βασικά τμήματα από τα οποία αποτελούνται. Μετά, γίνεται μια ανάλυση των συστημάτων GPS, GLONASS, GALILEO και BEIDOU. Έπειτα, αναφέρονται οι βασικές πηγές σφαλμάτων κατά τον δορυφορικό εντοπισμό, οι εξισώσεις παρατήρησης (ψευδοαπόστασης και φάσης) και οι τεχνικές δορυφορικού εντοπισμού που χρησιμοποιούνται. Τέλος, γίνεται μια γενική περιγραφή της δομής και του τρόπου λειτουργίας των δεκτών GNSS.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα σημαντικότερα συστήματα αναφοράς, ξεκινώντας από τα δύο παγκόσμια επίγεια συστήματα ITRS (International Terrestrial Reference System) και WGS84 (World Geodetic System 1984). Έπειτα, ακολουθούν οι παρουσιάσεις του επίγειου ευρωπαϊκού συστήματος αναφοράς ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) και του επίγειου ελληνικού συστήματος αναφοράς ΕΓΣΑ87.

Το τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται στο σύστημα εντοπισμού HEPOS. Αρχικά, γίνεται μια σύντομη περιγραφή των σταθμών αναφοράς και του κέντρου ελέγχου του συστήματος. Έπειτα, παρουσιάζονται οι δικτυακές τεχνικές GNSS που υποστηρίζει το σύστημα HEPOS και συγκεκριμένα οι VRS, FKP και MAC. Κατόπιν, αναφέρονται τα βασικά χαρακτηριστικά του γεωδαιτικού συστήματος αναφοράς HTRS07, το οποίο και αποτελεί το σύστημα αναφοράς του HEPOS. Στο τέλος, αναλύεται ο τρόπος σύνδεσης του συστήματος αναφοράς HTRS07 με το σύστημα ΕΓΣΑ87.

Το πέμπτο κεφάλαιο αναφέρεται στη συλλογή των δορυφορικών δεδομένων στο πεδίο, παρουσιάζοντας πρωτίστως τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες του δέκτη που χρησιμοποιήθηκε. Έπειτα, ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των τριγωνομετρικών σημείων που έγιναν οι μετρήσεις. Τέλος, αναφέρονται διάφορες πληροφορίες που αφορούν τις μετρήσεις πεδίου όπως χρόνοι έναρξης και πέρατος μετρήσεων, ύψη κεραίας δέκτη κ.α.

Το έκτο κεφάλαιο αναφέρεται στην επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων που συλλέχθηκαν στο πεδίο (στατικές μετρήσεις). Αυτή η επεξεργασία έγινε χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικά λογισμικά, το HGO (Hi-Target Geomatics Office) και το TBC (Trimble Business Center). Παράλληλα με την επεξεργασία των δεδομένων παρουσιάζεται και η σύγκριση των αποτελεσμάτων που επιφέρουν οι μετασχηματισμοί συντεταγμένων από το σύστημα HTRS07 στο ΕΓΣΑ87. Αυτή η σύγκριση αφορά την επίσημη εφαρμογή μετασχηματισμού του HEPOS (Hepos Transformation Tool) και τον μετασχηματισμό που χρησιμοποιεί το εκάστοτε λογισμικό επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων. Σχετικά με την επεξεργασία των δεδομένων, αρχικά γίνεται αναφορά σε αυτή με το λογισμικό HGO. Έπειτα, ακολουθεί η επεξεργασία με το λογισμικό TBC, κάνοντας χρήση δεδομένων που προέρχονται από τα συστήματα GPS και GLONASS. Στο τέλος, αναφέρεται η επεξεργασία με το λογισμικό TBC, κάνοντας αυτή τη φορά χρήση δεδομένων που προέρχονται από τα συστήματα GPS, GLONASS και GALILEO.

Το έβδομο κεφάλαιο αναφέρεται στη σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τα λογισμικά επεξεργασίας. Πρώτα, παρουσιάζεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων από τα λογισμικά HGO και TBC (GPS-GLO). Έπειτα, ακολουθεί η σύγκριση των αποτελεσμάτων από τα λογισμικά HGO και TBC (GPS-GLO-GAL). Στο τέλος, παρουσιάζεται η σύγκριση των αποτελεσμάτων από τα λογισμικά TBC (GPS-GLO) και TBC (GPS-GLO-GAL).

Το όγδοο κεφάλαιο αφορά τη διεξαγωγή των RTK μετρήσεων. Επίσης, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτές τις μετρήσεις, καθώς και οι συγκρίσεις με τα αντίστοιχα αποτελέσματα των στατικών μετρήσεων.

Το ένατο κεφάλαιο αναφέρεται στη σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις στατικές μετρήσεις, με τα αντίστοιχα αποτελέσματα των μετρήσεων του έτους 2007 καθώς και με τις συντεταγμένες της ΓΥΣ. Αρχικά, γίνεται μια αναφορά στα αποτελέσματα που προήλθαν από τις μετρήσεις του έτους 2007. Έπειτα, παρουσιάζεται η σύγκριση μεταξύ των τρεχόντων αποτελεσμάτων και των αντίστοιχων του έτους 2007. Στη συνέχεια, ακολουθεί η σύγκριση των συντεταγμένων που προέκυψαν από τις μετρήσεις του έτους 2007, με τις αντίστοιχες συντεταγμένες της ΓΥΣ. Στο τέλος, παρουσιάζεται η σύγκριση των συντεταγμένων που προέκυψαν από τις τρέχουσες μετρήσεις, με τις αντίστοιχες συντεταγμένες της ΓΥΣ.

Στο δέκατο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις που απορρέουν από την παρούσα εργασία.

## 1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : Τεκτονική της Ελλάδας

Η Ανατολική Μεσόγειος παρουσιάζει μια έντονη γεωδυναμική δραστηριότητα σε παγκόσμια κλίμακα. Ο συγκεκριμένος χώρος γεωτεκτονικά είναι δημιούργημα του Αλπικού κύκλου, όπως άλλωστε και ολόκληρη η Νότια Ευρώπη (Νέα Ευρώπη) (Μουντράκης, 2005). Σε αυτή ανήκουν όλα τα σχηματισμένα ορεινά συγκροτήματα της Μεσογείου, καθώς και τα σύνθετα γεωδυναμικά φαινόμενα που εξελίσσονται μέχρι και σήμερα.

### 1.1 Τεκτονικά χαρακτηριστικά του ελληνικού χώρου

Ο ελληνικός χώρος βρίσκεται στα όρια σύγκλισης της Ευρασιατικής με την Αφρικανική λιθοσφαιρική πλάκα. Αυτή η σύγκλιση χαρακτηρίζεται από μια σύνθετη κίνηση του φλοιού, έντονη σεισμική δραστηριότητα, συνεχείς παραμορφώσεις του γήινου φλοιού καθώς και πολλά ηφαιστειακά φαινόμενα. Αποτέλεσμα αυτής της σύγκλισης είναι η δημιουργία του ελληνικού τόξου. Η Αφρικανική πλάκα βυθίζεται κάτω από την Ευρασιατική και συγκεκριμένα κάτω από το τμήμα αυτής που ονομάζεται πλάκα του Αιγαίου (Parazachos & Comninakis, 1971). Η κατεύθυνση βύθισης είναι βόρειο-βορειοανατολική με ταχύτητα βύθισης περίπου 3 cm/y. Τα κύρια μορφοτεκτονικά χαρακτηριστικά από τα οποία συγκροτείται το ελληνικό τόξο είναι το εξωτερικό τόξο, η ελληνική περιφερειακή τάφρος, το ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου, η λεκάνη πίσω από το τόξο και η μεσογειακή ράχη (Μουντράκης, 2005).



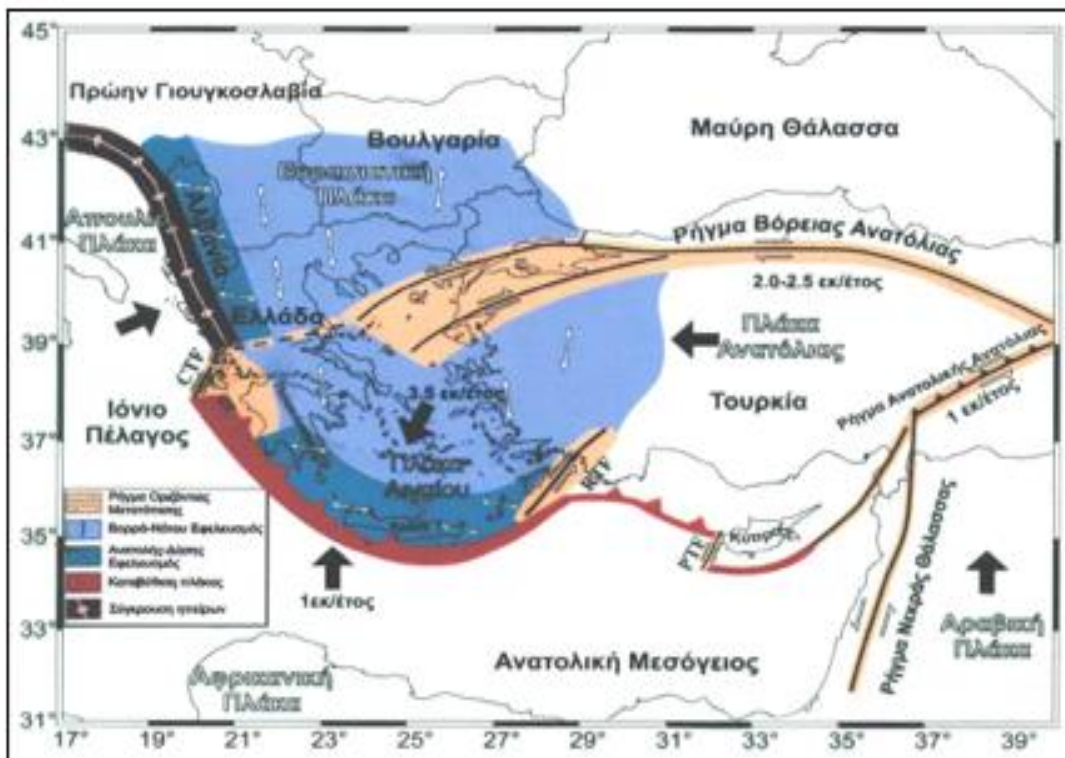
Εικόνα 1.1: Κύρια χαρακτηριστικά ελληνικού τόξου.

Πηγή: (<http://ebooks.edu.gr>).

Το εξωτερικό τόξο, το οποίο ονομάζεται και εξωτερικό ιζηματογενές τόξο, βρίσκεται στο όριο σύγκλισης της Ευρασιατικής με την Αφρικανική λιθοσφαιρική πλάκα. Στον ελληνικό χώρο περιλαμβάνει τις δυτικές εξωτερικές οροσειρές της ηπειρωτικής Ελλάδας, τη ν. Κρήτη και τα Δωδεκάνησα (Μουντράκης, 2005). Η περιφερειακή τάφρος δημιουργείται σε όλο το μήκος επαφής των δύο πλακών και περιβάλλει εξωτερικά το ιζηματογενές τόξο. Ουσιαστικά, πρόκειται για ένα σύστημα τάφρων με μεγάλα βάθη που εκτείνονται από το Ιόνιο Πέλαγος

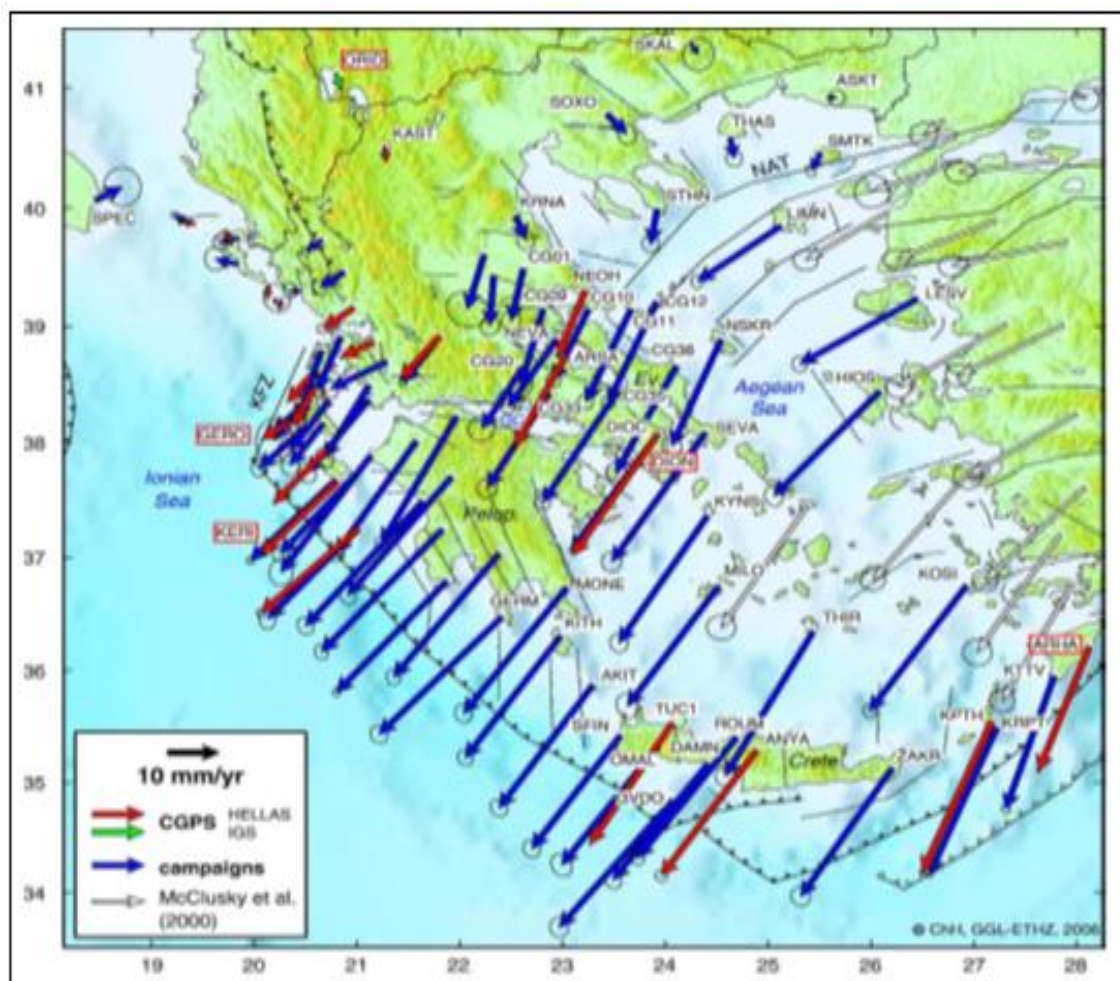
μέχρι νοτίως των ν. Κρήτης και Ρόδου. Το μέγιστο βάθος αυτών των τάφρων είναι περίπου 5200 m και βρίσκεται νοτιοδυτικά της Πύλου (φρέαρ των Οινουσσών). Το ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου βρίσκεται εσωτερικά του ιζηματογενούς τόξου και περιλαμβάνει τα ηφαίστεια του Σουσακίου, των Μεθάνων, της Μήλου, της Σαντορίνης και της Νισύρου. Η λεκάνη πίσω από το τόξο ή αλλιώς οπισθόταφος είναι μια θαλάσσια λεκάνη με βάθη μικρότερα από αυτά της περιφερειακής τάφρου (βάθη έως 2000 m) και ταυτίζεται χωρικά με το Βόρειο Κρητικό Πέλαγος. Η μεσογειακή ράχη είναι μια υποθαλάσσια έξαρση του φλοιού στην περιοχή της Μεσογείου που βρίσκεται νότια της περιφερειακής τάφρου και παράλληλα με το ελληνικό τόξο. Τέλος, στο βόρειο τμήμα του Αιγαίου βρίσκεται η θαλάσσια λεκάνη του Βορείου Αιγαίου, η οποία διέρχεται νότια της ν. Σαμοθράκης, ανατολικά της Χαλκιδικής και βόρεια των ν. Λήμνου και Αγίου Ευστράτιου.

Από τη σύγκλιση της Αφρικανικής με την Ευρασιατική πλάκα, στο άκρο της Ευρασιατικής έχουν δημιουργηθεί οι μικροπλάκες του Αιγαίου, της Ανατολίας και της Απουλίας (Αδριατικής). Επίσης, στο ανατολικό άκρο της Αφρικανικής πλάκας έχει δημιουργηθεί η μικροπλάκα της Αραβίας. Η μικροπλάκα της Ανατολίας, καθώς δέχεται ώθηση από την πλάκα της Αραβίας κινείται δυτικά (δεξιόστροφη κίνηση στο ρήγμα της Βόρειας Ανατολίας). Αυτή η κίνηση της μικροπλάκας της Ανατολίας επηρεάζει κυρίως την ενεργό τεκτονική στην περιοχή της λεκάνης του Βορείου Αιγαίου, όπου συνεχίζεται η δεξιόστροφη κίνηση. Η συγκεκριμένη περιοχή επηρεάζεται επίσης τεκτονικά και από την αριστερόστροφη περιστροφή της μικροπλάκας της Απουλίας, καθώς ασκεί συμπιεστικές δυνάμεις κατά μήκος της παράκτιας περιοχής της Αλβανίας και της βορειοδυτικής Ελλάδας. Η κύρια όμως κίνηση που επηρεάζει έντονα την ενεργό τεκτονική στο χώρο του Αιγαίου είναι η προς τα νοτιοδυτικά γρήγορη κίνηση της μικροπλάκας του Αιγαίου (Παπαζάχος, 2002). Όλα τα παραπάνω καθιστούν την Ελλάδα την πιο σεισμογενή χώρα της Ευρώπης και την έκτη σε όλο τον κόσμο.



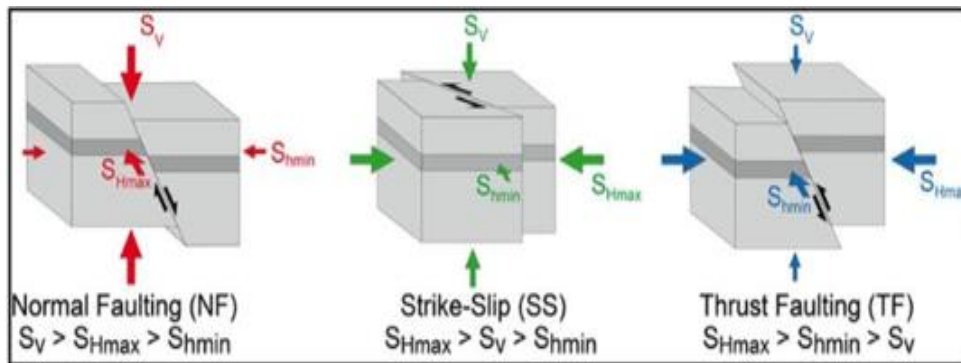
Εικόνα 1.2: Κινήσεις λιθοσφαιρικών πλακών στον ελληνικό χώρο.  
Πηγή: (Παπαζάχος, 2002).

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει πραγματοποιηθεί ένας σημαντικός αριθμός μελετών που δείχνουν ότι ο γήινος φλοιός της Ελλάδας αποτελεί ένα «μωσαϊκό», του οποίου τα κομμάτια παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις μεταξύ τους ως προς το μέτρο και τη διεύθυνση των μετακινήσεών τους. Επομένως γίνεται εμφανές, ότι ο φλοιός της Ελλάδας υπόκειται σε συνεχή (κυρίως οριζόντια) παραμόρφωση (Χατζηνίκος & Κωτσάκης, 2014). Αποτέλεσμα αυτής της παραμόρφωσης είναι η συνεχόμενη μεταβολή σχήματος και μεγέθους των γεωδαιτικών/τοπογραφικών δικτύων που είναι εγκατεστημένα στην Ελλάδα. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται τα διανύσματα των ταχυτήτων μετακίνησης συγκεκριμένων σταθμών GPS, σε σχέση με την Ευρασιατική πλάκα, από μετρήσεις στη δεκαετία 1993-2003 (Hollenstein, et al., 2008).



Εικόνα 1.3: Διανύσματα ταχυτήτων σταθμών GPS στον ελληνικό χώρο ως προς την Ευρασιατική πλάκα. Πηγή: (Hollenstein, et al., 2008).

Καθώς ο φλοιός στην Ελλάδα δεν είναι συνεχής έχουμε ύπαρξη ρηγμάτων. Ανάλογα με τον τρόπο που δημιουργούνται κατατάσσονται σε κανονικά (normal faults), ανάστροφα (thrust faults) και ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης (strike slip faults). Στα κανονικά ρήγματα τα ριξηγενή τεμάχια απομακρύνονται μεταξύ τους. Στα ανάστροφα ρήγματα τα εκατέρωθεν ριξηγενή τεμάχια πλησιάζουν μεταξύ τους με ταυτόχρονη παρουσία θλιπτικών δυνάμεων. Τέλος, στα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης τα εκατέρωθεν ριξηγενή τεμάχια ολισθαίνουν μεταξύ τους οριζόντια. Τα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης, αναλόγως της σχετικής κίνησης των δύο τεμαχίων, διακρίνονται σε δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα.



Εικόνα 1.4: Βασικοί τύποι ρηγμάτων.

Πηγή: (Heidbach, et al., 2016).

Κανονικά ρήγματα συναντιούνται σε μεγάλο βαθμό στην ηπειρωτική χώρα, τα οποία προκαλούν διαστολή του εδάφους κατά τον άξονα βορράς-νότος (Parazachos & Kiratzi, 1996). Επίσης, κανονικά ρήγματα εμφανίζονται και στο νότιο τμήμα του Αιγαίου Πελάγους (Parazachos, et al., 1984). Τα ανάστροφα ρήγματα εκτείνονται κυρίως στη Δυτική Ελλάδα και συγκεκριμένα δυτικά της ν. Κέρκυρας και της Ηπείρου μέχρι τα Βόρεια Ιόνια νησιά (Parazachos, et al., 1991). Ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης συναντιούνται στο Βόρειο Αιγαίο, με κυριότερο αυτό στην προέκταση του ρήματος της Βόρειας Ανατολίας. Τα πιο σημαντικά ρήγματα του ελληνικού χώρου είναι αυτά στο Βόρειο Αιγαίο, της Θεσσαλίας, του Κορινθιακού κόλπου, των ν. Λευκάδας και Κεφαλονιάς καθώς και τα επιμέρους ρήγματα του ελληνικού τόξου (Φωτίου, et al., 2016).



Εικόνα 1.5: Τα σημαντικότερα ρήγματα του ελληνικού χώρου.

Πηγή: (Howe & Bird, 2010).

## 1.2 Τεκτονικά χαρακτηριστικά ευρύτερης περιοχής ν. Αιτωλοακαρνανίας

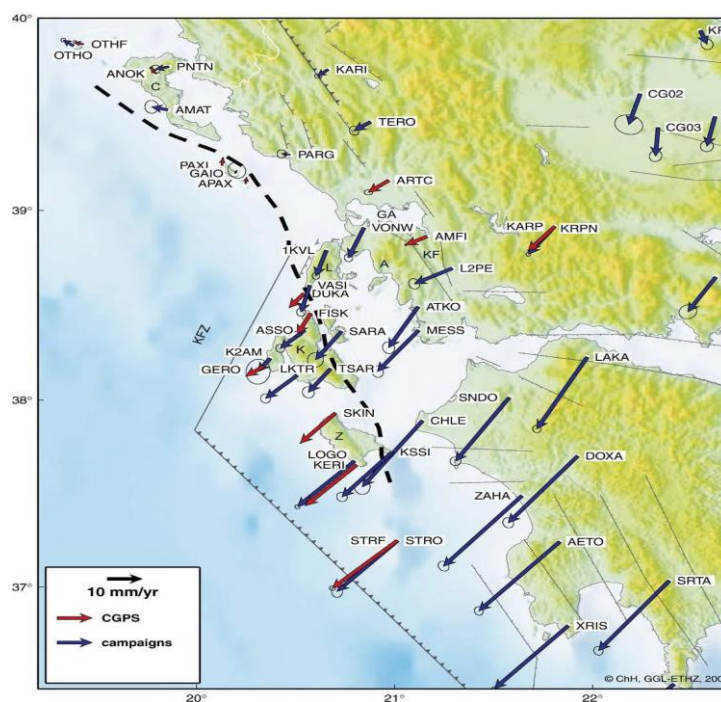
Καθώς οι δυτικές ακτές του ν. Αιτωλοακαρνανίας βρίσκονται σε κοντινή απόσταση με τη ν. Κεφαλονιά, ο νομός επηρεάζεται άμεσα από το ρήγμα που βρίσκεται δυτικά αυτής (ρήγμα της Κεφαλονιάς). Το συγκεκριμένο ρήγμα είναι οριζόντιας ολίσθησης και κινείται δεξιόστροφα. Χαρακτηρίζεται από έντονη δραστηριότητα, καθώς είναι το δεύτερο σε σειρά κινητι-



κότητας σε όλη την Ελλάδα (Hollenstein, et al., 2008). Η διεύθυνση του ρήγματος είναι βορειοανατολική-νοτιοδυτική και φιλοξενεί τις κινήσεις των μικροπλακών της Αδριατικής και του Αιγαίου (Χατζηνίκος, 2013). Η ευρύτερη περιοχή που περιλαμβάνει το συγκεκριμένο ρήγμα καθώς επίσης και το βορειοδυτικότερο τμήμα του δυτικού ελληνικού τόξου, έχει πληγεί από μεγάλους σεισμούς όπως της Ζακύνθου το 1893 ( $M_s=6.4$ ), της Λευκάδας το 1948 ( $M_s=6.5$ ), της Κεφαλλονιάς το 1953 ( $M_s=7.2$ ) και της Λευκάδας το 2003 ( $M_s=6.2$ ) (Hollenstein, et al., 2008).

Επίσης, το νότιο-νοτιοανατολικό τμήμα του νομού συνορεύει με τον Κορινθιακό κόλπο. Ο συγκεκριμένος κόλπος είναι μια ενεργή τεκτονική λεκάνη, τα περιθώρια της οποίας καθορίζονται από δεκαεννέα διακριτά υποθαλάσσια ρήγματα, τα οποία είναι περίπου παράλληλα με τις ακτές του (Λυμπέρης, et al., 1998). Ο ρυθμός επέκτασης του κόλπου είναι ταχύς όπως έχει διαπιστωθεί έπειτα από μετρήσεις GPS. Στο δυτικό τμήμα του κόλπου η επέκταση είναι περίπου 14 mm/y και στο ανατολικό 10 mm/y, με άξονα επέκτασης βοράς-νότος (Briole, et al., 2000). Τα ενεργά ρήγματα του κόλπου προκαλούν ανύψωση των νότιων ακτών με ταυτόχρονη βύθιση των βόρειων ακτών. Η περιοχή του Κορινθιακού κόλπου από τους (Moretti, et al., 2003) θεωρείται η πιο ενεργή σεισμικά ζώνη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στα κεντρικά τμήματα του ν. Αιτωλοακαρνανίας σημαντικά ρήγματα είναι αυτά της Κατούνας και της λίμνης Τριχωνίδας, τα οποία παρουσιάζουν σχετικά χαμηλή σεισμικότητα.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα ανωτέρω, εύκολα συμπεραίνεται ότι η γεωγραφική θέση της Αιτωλοακαρνανίας παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στη μελέτη των παραμορφώσεων του φλοιού που συμβαίνουν στην ευρύτερη περιοχή της Δυτικής Ελλάδας. Στην Εικόνα 1.6 παρουσιάζονται τα διανύσματα των ταχυτήτων μετακίνησης συγκεκριμένων σταθμών GPS στην περιοχή της Δυτικής Ελλάδας, σε σχέση με την Ευρασιατική πλάκα, κατά τη διάρκεια εργασίας των (Hollenstein, et al., 2008). Παρατηρώντας τα διανύσματα ταχυτήτων γίνεται σαφές ότι οι ταχύτητες εντός του νομού δεν είναι ομοιόμορφες, γεγονός που οδηγεί σε παραμορφώσεις.



**Εικόνα 1.6:** Διανύσματα ταχυτήτων σταθμών GPS στη Δυτ. Ελλάδα ως προς την Ευρασιατική πλάκα.

Πηγή: (Hollenstein, et al., 2008).

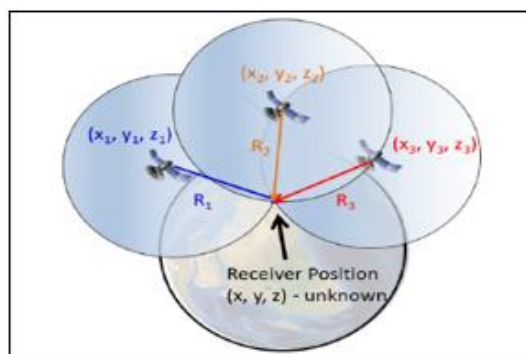
## 2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : Παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης GNSS

Τα GNSS (Global Navigation Satellite System) είναι δορυφορικά συστήματα με παγκόσμια κάλυψη που παρέχουν εντοπισμό και εξυπηρετούν κατά κύριο λόγο ανάγκες πλοήγησης (Γιαννίου, 2022). Σε αυτά τα συστήματα συγκαταλέγονται το αμερικάνικο GPS (Global Navigation System), το ρωσικό GLONASS (GLObal Navigation Satellite System), το ευρωπαϊκό GALILEO και το κινεζικό BEIDOU. Επιπλέον αυτών των τεσσάρων συστημάτων GNSS, η Ιαπωνία και η Ινδία ανέπτυξαν τα δικά τους αυτόνομα συστήματα πλοήγησης, τα οποία είναι περιφερειακής κλίμακας. Το σύστημα της Ιαπωνίας ονομάζεται QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) και της Ινδίας IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System).

Η ιστορία των δορυφόρων ξεκινά το 1957, όπου η τότε Σοβιετική Ένωση εκτόξευσε στο διάστημα τον πρώτο τεχνητό δορυφόρο με την ονομασία Sputnik-1. Μετά την εκτόξευση του Sputnik-1, άρχισαν να αναπτύσσονται από τις ΗΠΑ και τη Σοβιετική Ένωση τα πρώτα δορυφορικά συστήματα πλοήγησης (σύστημα Navsat/Transit των ΗΠΑ και Tsikada της Σοβιετικής Ένωσης) για στρατιωτικές χρήσεις (Παλληκάρης, et al., 2016). Τη δεκαετία του 1970 ξεκίνησε η σχεδίαση των πρώτων παγκόσμιων συστημάτων πλοήγησης, όπου για τις ΗΠΑ ήταν το GPS και για τη Σοβιετική Ένωση το GLONASS. Στην πορεία των ετών τα δύο αυτά συστήματα εκσυγχρονίζονται σταδιακά, ενώ παράλληλα αναπτύχθηκαν και τα άλλα δύο παγκόσμια συστήματα πλοήγησης, το GALILEO και το BEIDOU.

### 2.1 Αρχή λειτουργίας συστημάτων GNSS

Η αρχή λειτουργίας των συστημάτων GNSS βασίζεται στη μέτρηση των αποστάσεων μεταξύ ενός δέκτη και συγκεκριμένων δορυφόρων που εκπέμπουν κωδικοποιημένα σήματα. Ο δέκτης, του οποίου η θέση είναι άγνωστη, έχει τη δυνατότητα να υπολογίσει τον χρόνο  $\Delta t$  που χρειάζεται το σήμα για να φτάσει από τον δορυφόρο σε αυτόν. Η ταχύτητα με την οποία ταξιδεύει το κωδικοποιημένο σήμα του δορυφόρου είναι ίση με την ταχύτητα του φωτός  $c = 299792458 \text{ m/s}$ . Επομένως, από τη γνωστή σχέση  $S = c \cdot \Delta t$  υπολογίζεται η απόσταση  $S$  μεταξύ του δέκτη και του συγκεκριμένου δορυφόρου. Η θέση κάθε δορυφόρου ανά πάσα χρονική στιγμή υπολογίζεται μέσω των στοιχείων της τροχιάς του που περιλαμβάνονται στην εφημερίδα του δορυφόρου, η οποία περιέχεται σαν πληροφορία στο εκπεμπόμενο σήμα του. Από καθαρά γεωμετρικής πλευράς λαμβάνοντας ο δέκτης τα σήματα τριών τουλάχιστον δορυφόρων μπορεί να προσδιορίσει τη θέση του. Η θέση αυτή είναι η τομή των σφαιρικών επιφανειών που δημιουργούνται με κέντρα τις θέσεις των δορυφόρων και ακτίνες τις εξαγόμενες αποστάσεις του δέκτη με τον αντίστοιχο δορυφόρο.



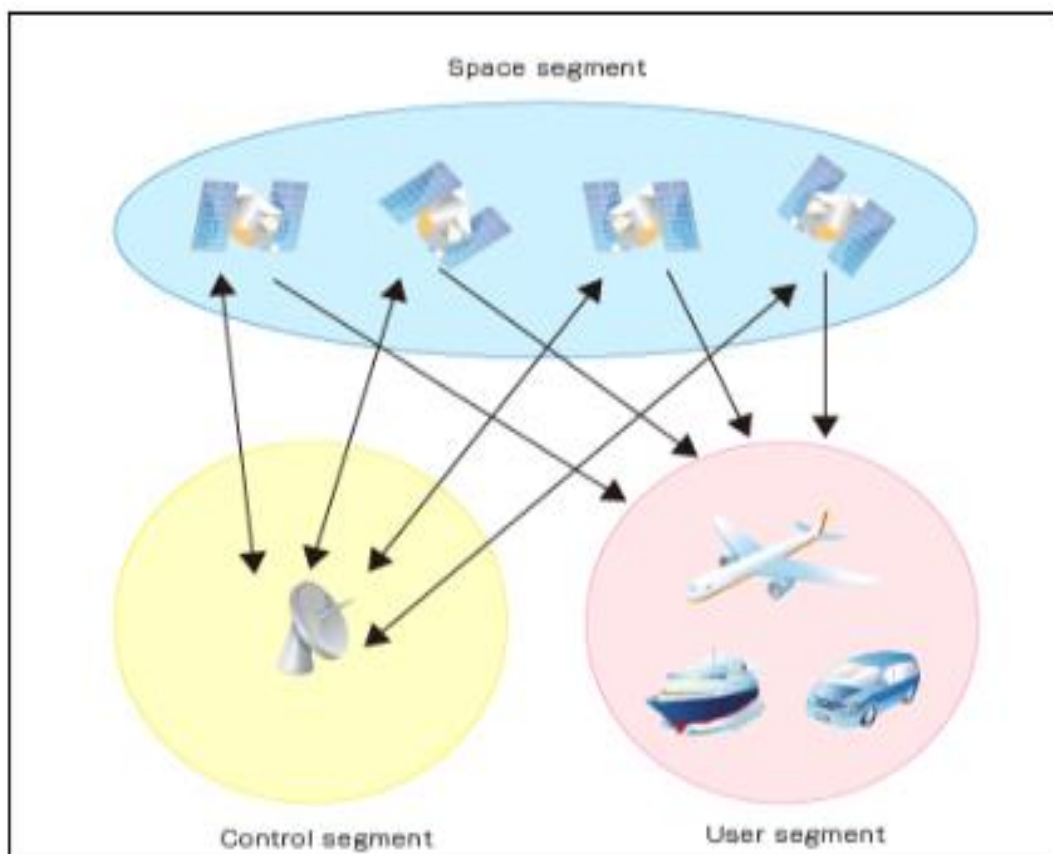
**Εικόνα 2.1:** Δορυφορικός προσδιορισμός θέσης.

Πηγή: (<https://encyclopedia.pub/entry/16243>).

Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονιστεί ότι οι δέκτες, για να είναι οικονομικά προσεγγίσιμοι, έχουν χρονόμετρα χαμηλότερης ποιότητας από αυτά των δορυφόρων. Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος είναι η ύπαρξη ενός σφάλματος συγχρονισμού του δέκτη με το χρόνο του συστήματος GPS, το οποίο δεν είναι γνωστό και εισάγει ιδιαίτερα μεγάλο σφάλμα στον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ αυτών των δύο. Το παραπάνω σφάλμα για να προσδιορισθεί, προστίθεται σαν μία επιπλέον άγνωστη παράμετρος μαζί με τις τρεις άγνωστες συντεταγμένες της θέσης του δέκτη (X,Y,Z). Επομένως, για τον προσδιορισμό της τρισδιάστατης θέσης ενός δέκτη απαιτείται η ταυτόχρονη λήψη σημάτων από τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους.

## 2.2 Βασικά τμήματα συστημάτων GNSS

Κάθε δορυφορικό σύστημα GNSS αποτελείται από τρία βασικά τμήματα, τα οποία είναι το δορυφορικό τμήμα (space segment), το τμήμα ελέγχου (control segment) και το τμήμα χρηστών (user segment).

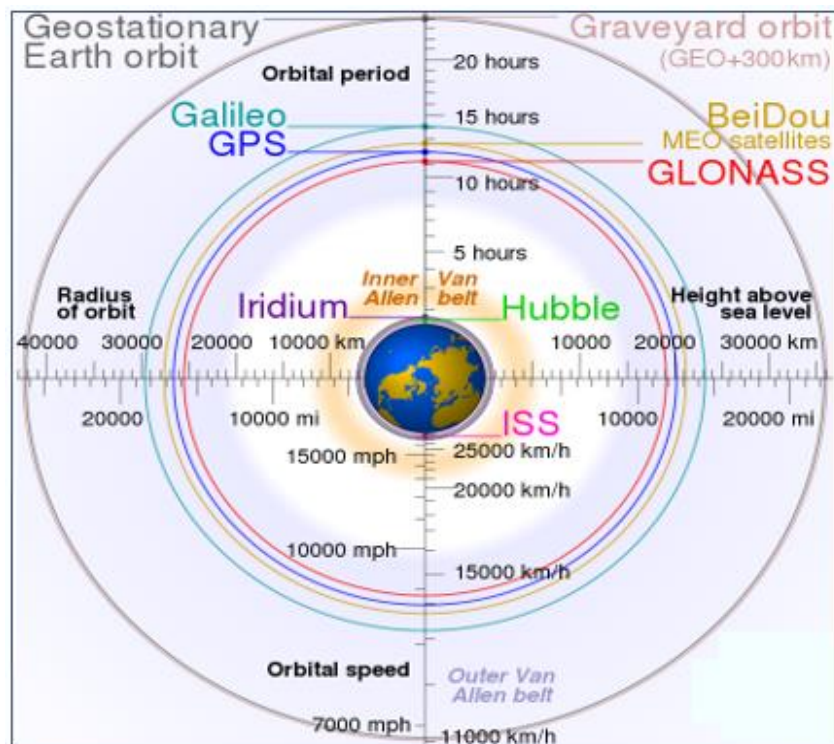


**Εικόνα 2.2:** Τα τρία βασικά τμήματα των συστημάτων GNSS.

Πηγή: ([https://www.furuno.com/en/gnss/technical/tec\\_what\\_gps](https://www.furuno.com/en/gnss/technical/tec_what_gps)).

Το δορυφορικό τμήμα αποτελείται από το σύνολο των δορυφόρων του συστήματος, οι οποίοι βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη Γη με τέτοια διάταξη, ώστε από κάθε σημείο της να είναι ορατοί ανά πάσα στιγμή τουλάχιστον τέσσερις δορυφόροι. Το ύψος περιφοράς των δορυφόρων κυμαίνεται από 19100 km (σύστημα GLONASS) έως 23200 km (σύστημα GALILEO) πάνω από την επιφάνεια της Γης και ανήκουν στην κατηγορία των δορυφόρων μέσης γήινης τροχιάς MEO (Medium Earth Orbit). Το δορυφορικό σύστημα BEIDOU, εκτός από δορυφόρους μέσης γήινης τροχιάς MEO, έχει επίσης δορυφόρους γεωσύγχρονης ισημε-

ρινής τροχιάς GEO (Geosynchronous Equatorial Orbit) και επικλινούς γεωσύγχρονης τροχιάς IGSO (Inclined Geosynchronous Orbit), με ύψος πτήσης περίπου τα 35800 km πάνω από την επιφάνεια της Γης.



Εικόνα 2.3: Ύψη τροχιών δορυφόρων των συστημάτων GNSS.

Πηγή: ([https://en.wikipedia.org/wiki/File:Comparison\\_satellite\\_navigation\\_orbits.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Comparison_satellite_navigation_orbits.svg)).

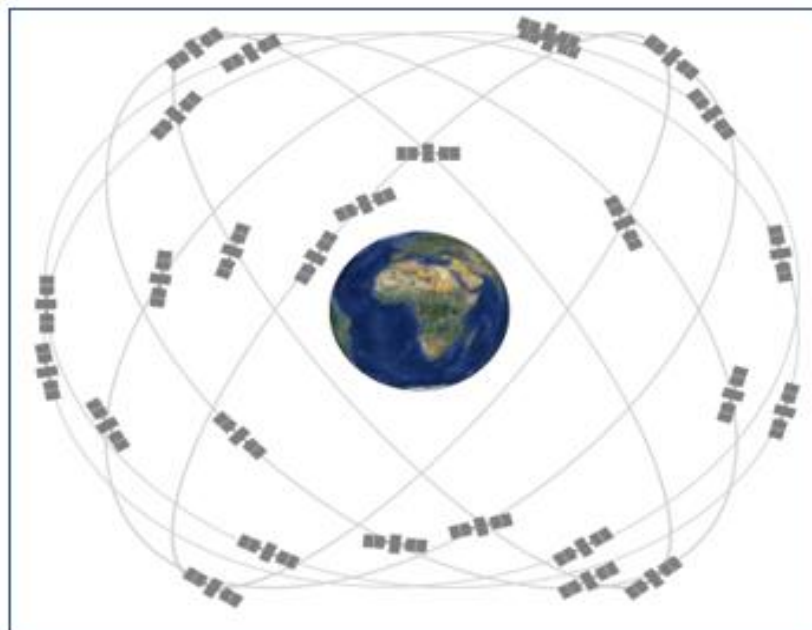
Το τμήμα ελέγχου, στη γενική του μορφή, αποτελείται από σταθμούς ελέγχου, ένα δίκτυο σταθμών παρακολούθησης και καταγραφής των δορυφορικών σημάτων καθώς και από ένα αριθμό σταθμών μετάδοσης επεξεργασμένων στοιχείων προς τους δορυφόρους (Παλληκάρης, et al., 2016). Οι εργασίες που εκτελούνται στο τμήμα ελέγχου είναι η παρακολούθηση των δορυφόρων, η λήψη και ανάλυση των εκπεμπόμενων σημάτων τους, ο υπολογισμός των τροχιών και λοιπών στοιχείων, η αποστολή των τροχιών και λοιπών στοιχείων στους δορυφόρους καθώς και ο έλεγχος/διαχείριση των δορυφόρων και των τροχιών.

Το τμήμα χρηστών αποτελείται από όλους τους χρήστες που λαμβάνουν και αποκωδικοποιούν τα εκπεμπόμενα σήματα των δορυφόρων για διάφορες εφαρμογές όπως η ναυσιπλοΐα, η αεροπλοΐα, η γεωδαισία κ.α.

### 2.3 Το σύστημα GPS

Το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού GPS είναι το παλαιότερο και το πλέον διαδεδομένο σύστημα GNSS. Αναπτύχθηκε για στρατιωτικούς σκοπούς από το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ στις αρχές τις δεκαετίας του 1970, ενώ από το έτος 1983 ανακοινώθηκε επίσημα η διάθεσή του και για πολιτική χρήση. Το GPS για να είναι πλήρως λειτουργικό και να παρέχει παγκόσμια κάλυψη, απαιτεί την ανάπτυξη 24 δορυφόρων κατανεμημένων σε έξι τροχιακά επίπεδα (σήμερα βρίσκονται σε τροχιά 31 δορυφόροι). Τα έξι τροχιακά επίπεδα σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία  $60^{\circ}$  και καθένα από αυτά σχηματίζει με το επίπεδο του ισημερινού γωνία  $55^{\circ}$ . Οι δορυφόροι διαγράφουν τροχιές σχεδόν κυκλικές, με ύψος πτήσης 20200 km και περίοδο περιφοράς 12 h σε αστρικό χρόνο που αντιστοιχεί σε 11h 58' 2.05'' ηλιακού χρόνου.

Το σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιεί το GPS είναι το WGS84, καθώς επίσης έχει και δικό του σύστημα χρόνου (GPS System Time).





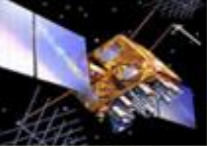
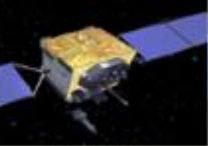
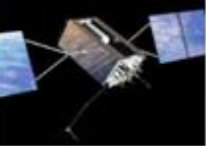
**Εικόνα 2.4:** Τροχιακά επίπεδα δορυφόρων συστήματος GPS.

Πηγή: (Gps.gov, 2023).

Όλοι οι δορυφόροι του συστήματος GPS για να εκπέμπουν τα κωδικοποιημένα σήματα χρησιμοποιούν 2 φέρουσες συχνότητες, την L1 και την L2. Από τους δορυφόρους της γενιάς Block-IIF (έτη εκτόξευσης 2010-2016) και μεταγενέστερα προστέθηκε μία ακόμα φέρουσα συχνότητα που ονομάστηκε L5. Οι συχνότητες εκπομπής των L1, L2 και L5 πηγάζουν από τη θεμελιώδη συχνότητα  $f_0=10,23$  MHz (συχνότητα ατομικού ρολογιού δορυφόρου), ως ακολούθως:

- α.  $L1 = 154 * f_0 = 1575.42$  MHz που αντιστοιχεί σε μήκος κύματος  $\lambda_1 \cong 19.03$  cm.
- β.  $L2 = 120 * f_0 = 1227.60$  MHz που αντιστοιχεί σε μήκος κύματος  $\lambda_2 \cong 24.42$  cm.
- γ.  $L5 = 115 * f_0 = 1176.45$  MHz που αντιστοιχεί σε μήκος κύματος  $\lambda_5 \cong 25.48$  cm.

Η διαμόρφωση των φερουσών συχνοτήτων γίνεται από μετρητικούς κώδικες ψευδοτυχαίου θορύβου PRN (Pseudo Random Noise) και από ένα μήνυμα με δεδομένα που ονομάζεται και μήνυμα ναυσιπλοΐας ή πλοήγησης. Σήμερα υπάρχουν διαθέσιμοι οι μετρητικοί κώδικες C/A (Coarse Acquisition code), P (Precise), L2C, M, L5 και L1C. Αυτοί οι κώδικες αποτελούνται από ακολουθίες δυαδικών ψηφίων (0 και 1) παραγόμενες με ειδικό αλγόριθμο. Ο κώδικας C/A είναι σε ελεύθερη χρήση και μεταδίδεται μέσω της συχνότητας L1. Ο κώδικας P χρησιμοποιείται για στρατιωτικούς σκοπούς και μεταδίδεται κρυπτογραφημένα ως P(Y) στις συχνότητες L1 και L2. Ο κώδικας L2C είναι για πολιτική χρήση και ξεκίνησε να μεταδίδεται από τη γενιά δορυφόρων Block-IIIR(M) (έτη εκτόξευσης 2005-2009) στη συχνότητα L2. Ο κώδικας M είναι για στρατιωτική χρήση και ξεκίνησε να μεταδίδεται από τη γενιά δορυφόρων Block-IIIR(M) στις συχνότητες L1 και L2. Ο κώδικας L5 είναι για πολιτική χρήση και ξεκίνησε να μεταδίδεται από τη γενιά δορυφόρων Block-IIIF (έτη εκτόξευσης 2010-2016) στη συχνότητα L5. Τέλος, ο κώδικας L1C είναι για πολιτική χρήση και ξεκίνησε να μεταδίδεται από την τελευταία γενιά δορυφόρων Block-III (πρώτος δορυφόρος εκτοξεύτηκε το 2018) στη συχνότητα L1.

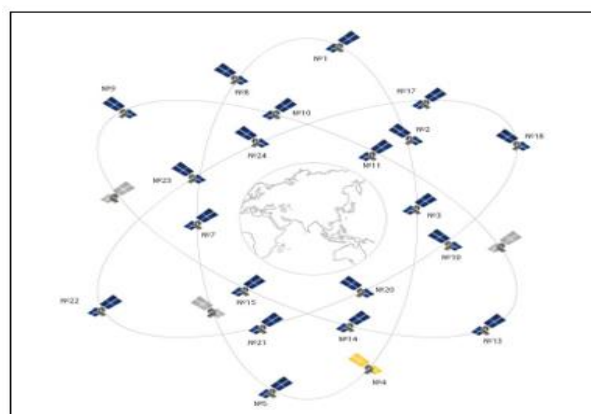
| LEGACY SATELLITES  |  | MODERNIZED SATELLITES   |  |  |
|--|--|---|--|--|
|   |   |    |    |   |
| BLOCK IIA  | BLOCK IIR  | BLOCK IIR-M   | BLOCK IIF  | GPS III/IIIF   |
| 0 operational  | 9 operational  | 7 operational   | 12 operational   | 2 operational  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Coarse Acquisition (C/A) code on L1 frequency for civil users</li> <li>Precise P(Y) code on L1 &amp; L2 frequencies for military users</li> <li>7.5-year design lifespan</li> <li>Launched in 1990-1997</li> <li>Last one decommissioned in 2019</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>C/A code on L1</li> <li>P(Y) code on L1 &amp; L2</li> <li>On-board clock monitoring</li> <li>7.5-year design lifespan</li> <li>Launched in 1997-2004</li> </ul> <p><a href="#">LEARN MORE ABOUT GPS IIR AT AF.MIL</a></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>All legacy signals</li> <li>2nd civil signal on L2 (L2C) <a href="#">LEARN MORE</a></li> <li>New military M code signals for enhanced jam resistance</li> <li>Flexible power levels for military signals</li> <li>7.5-year design lifespan</li> <li>Launched in 2005-2009</li> </ul> <p><a href="#">LEARN MORE ABOUT GPS IIR-M AT AF.MIL</a></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>All Block IIR-M signals</li> <li>3rd civil signal on L5 frequency (L5) <a href="#">LEARN MORE</a></li> <li>Advanced atomic clocks</li> <li>Improved accuracy, signal strength, and quality</li> <li>12-year design lifespan</li> <li>Launched in 2010-2016</li> </ul> <p><a href="#">LEARN MORE ABOUT GPS IIF AT AF.MIL</a></p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>All Block IIF signals</li> <li>4th civil signal on L1 (L1C) <a href="#">LEARN MORE</a></li> <li>Enhanced signal reliability, accuracy, and integrity</li> <li>No Selective Availability <a href="#">LEARN MORE</a></li> <li>15-year design lifespan</li> <li>IIIF: laser reflectors; search &amp; rescue payload</li> <li>First launch in 2018</li> </ul> <p><a href="#">LEARN MORE ABOUT GPS III AT AF.MIL</a></p> |

Εικόνα 2.5: Γενιές δορυφόρων GPS και μετρητικοί κώδικες PRN.

Πηγή: (<https://www.gps.gov>).

## 2.4 Το σύστημα GLONASS

Το παγκόσμιο σύστημα προσδιορισμού θέσης GLONASS ξεκίνησε να αναπτύσσεται για στρατιωτικούς σκοπούς το έτος 1976 από την τότε Σοβιετική Ένωση, ενώ από το έτος 1995 επιτράπηκε η λειτουργία του και για πολιτική χρήση. Ο αστερισμός του συστήματος αποτελείται από 24 δορυφόρους ισοκαταναμημένους σε τρία τροχιακά επίπεδα, με γωνία κλίσης  $64.8^{\circ}$  ως προς το ισημερινό επίπεδο. Η τροχιά των δορυφόρων είναι σχεδόν κυκλική, με περίοδο περιφοράς 11h 15' ως προς το χρόνο UTC και ύψος πτήσης 19100 km. Το σύστημα αναφοράς που χρησιμοποιεί το GLONASS είναι το PZ-90 (Parametry Zemli - 1990), καθώς επίσης έχει και δικό του σύστημα χρόνου (GLONASS System Time).



Εικόνα 2.6: Τροχιακά επίπεδα δορυφόρων συστήματος GLONASS.

Πηγή: (European Space Agency, 2023).

Σε αντίθεση με το σύστημα GPS, στο σύστημα GLONASS ο κάθε δορυφόρος εκπέμπει σε διαφορετική συχνότητα από τους υπόλοιπους δορυφόρους (τεχνική FDMA - Frequency

Division Multiple Access). Σύμφωνα με αυτή την τεχνική, όλες οι φέρουσες συχνότητες εκπομπής των δορυφόρων προκύπτουν από τις δύο βασικές συχνότητες  $F1=1602$  MHz και  $F2=1246$  MHz. Σε αυτές τις δύο συχνότητες προστίθεται ένα offset, σύμφωνα με τις σχέσεις (European Space Agency, 2023):

$$\alpha \quad G_1^j = 1602 \text{ MHz} + j * 0.5625 \text{ MHz}$$

$$\beta. \quad G_2^j = 1246 \text{ MHz} + j * 0.4375 \text{ MHz}$$

όπου  $j$  ακέραιος αριθμός (σήμερα παίρνει τις τιμές -7, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6). Είναι προφανές ότι ο αριθμός των συχνοτήτων που προκύπτουν με τον τρόπο αυτό δεν αρκεί για να δοθεί μία ξεχωριστή συχνότητα σε κάθε έναν από τους 24 δορυφόρους GLONASS. Αυτό έγινε σκόπιμα προκειμένου το φάσμα των συχνοτήτων εκπομπής να μην καταλαμβάνει πολύ μεγάλο εύρος, επηρεάζοντας σημαντικά τις λοιπές υπηρεσίες τηλεπικοινωνιών. Η λύση στο συγκεκριμένο πρόβλημα δόθηκε με την εκπομπή σημάτων στις ίδιες συχνότητες από τους δορυφόρους που βρίσκονται σε αντιδιαμετρικές θέσεις (slots). Οι δορυφόροι του συστήματος εκπέμπουν δύο κώδικες PRN, οι οποίοι είναι ο SP (Standard Precision) και ο HP (High Precision). Από τη γενιά δορυφόρων GLONASS-K (εκτόξευση πρώτου δορυφόρου το 2011) ξεκίνησε να εκπέμπεται μια επιπλέον φέρουσα συχνότητα, η  $G_3 = 1202.025$  MHz (European Space Agency, 2023). Η νέα αυτή συχνότητα βασίζεται στην τεχνική CDMA (Code Division Multiple Access) που χρησιμοποιεί και το σύστημα GPS.

## 2.5 Το σύστημα GALILEO

Το παγκόσμιο σύστημα προσδιορισμού θέσης GALILEO σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση, μέσω της ESA (European Space Agency), για αμιγώς πολιτική χρήση. Βασικός σκοπός της υλοποίησής του ήταν η δημιουργία ενός συστήματος που θα εγγυάται τη διαθεσιμότητά του ακόμα και στις πιο ακραίες καταστάσεις, παρέχοντας εντοπισμό υψηλής ακρίβειας, ώστε να μην υπάρξει εξάρτηση των ευρωπαϊκών χωρών από τα συστήματα GPS και GLONASS.

Ο πρώτος δορυφόρος εκτοξεύτηκε το 2011, με τις πρώτες υπηρεσίες του συστήματος να παρέχονται στους χρήστες στα τέλη του 2016. Σήμερα ο αστερισμός του συστήματος αποτελείται από 24 λειτουργικούς δορυφόρους, ενώ για την πλήρη επιχειρησιακή του ικανότητα προβλέπεται η ανάπτυξη 30 δορυφόρων σε τροχιά (24 δορυφόροι επιχειρησιακοί και 6 εφεδρικοί). Οι δορυφόροι κατανέμονται σε τρία τροχιακά επίπεδα με γωνία κλίσης  $56^\circ$  ως προς το ισημερινό επίπεδο. Η τροχιά των δορυφόρων είναι σχεδόν κυκλική, με περίοδο περιφοράς 14h 05' και ύψος πτήσης 23200 km. Το πλαίσιο αναφοράς που χρησιμοποιεί το GALILEO είναι το GTRF (Galileo Terrestrial Reference Frame), το οποίο είναι μια υλοποίηση του παγκόσμιου συστήματος αναφοράς ITRS (International Terrestrial Reference System), ενώ χρησιμοποιεί και το δικό του σύστημα χρόνου (GALILEO System Time).

Το σύστημα GALILEO βασίζεται στην τεχνική CDMA, όπως ακριβώς συμβαίνει και με το σύστημα GPS. Η θεμελιώδης συχνότητα του συστήματος είναι  $f_0=10,23$  MHz (συχνότητα ατομικού ρολογιού δορυφόρου), μέσω της οποίας πηγάζουν οι φέρουσες συχνότητες E1, E5, E5a, E5b και E6, ως ακολούθως (European Space Agency, 2023):

$$\alpha. \quad E1 = 154 * f_0 = 1575.42 \text{ MHz που αντιστοιχεί σε μήκος κύματος } \lambda_1 \cong 19.03 \text{ cm.}$$

$$\beta. \quad E5 = 116.5 * f_0 = 1191.80 \text{ MHz που αντιστοιχεί σε μήκος κύματος } \lambda_5 \cong 25.15 \text{ cm.}$$

$$\gamma. \quad E5a = 115 * f_0 = 1176.45 \text{ MHz που αντιστοιχεί σε μήκος κύματος } \lambda_{5a} \cong 25.48 \text{ cm.}$$

δ.  $E5b = 118 * f_0 = 1207.14$  MHz που αντιστοιχεί σε μήκος κύματος  $\lambda_{5b} \cong 24.83$  cm.

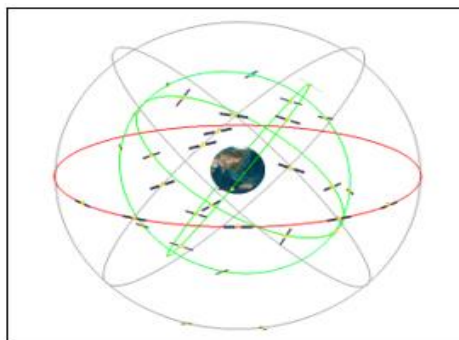
ε.  $E6 = 125 * f_0 = 1278.75$  MHz που αντιστοιχεί σε μήκος κύματος  $\lambda_6 \cong 23.44$  cm.

Οι συχνότητες E1 και E5a είναι ακριβώς ίδιες με τις αντίστοιχες συχνότητες L1 και L5 του συστήματος GPS. Αυτή η ταύτιση έγινε ηθελημένα, ώστε να υπάρχει πλήρης διαλειτουργικότητα μεταξύ των δύο δορυφορικών συστημάτων (GPS και GALILEO). Όπως και στα άλλα δορυφορικά συστήματα, τα σήματα που εκπέμπουν οι δορυφόροι μέσω των φερουσών συχνοτήτων, είναι μετρητικοί κωδικές PRN και σήματα πλοήγησης.

## 2.6 Το σύστημα BEIDOU

Το παγκόσμιο σύστημα προσδιορισμού θέσης BEIDOU (BDS) σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε από τη Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας. Η πλήρης ανάπτυξη του BEIDOU σε ένα παγκόσμιο σύστημα προσδιορισμού θέσης έγινε σε τρία στάδια (BEIDOU-1, 2 και 3). Το πρώτο στάδιο ολοκληρώθηκε το 2000, με το τότε σύστημα BEIDOU-1 να αποτελείται από τρεις δορυφόρους, παρέχοντας υπηρεσίες σε χρήστες της Κίνας και των γύρω περιοχών. Το BEIDOU-1 σταμάτησε να παρέχει τις υπηρεσίες του το 2012, καθώς από το 2011 είχε ξεκινήσει η λειτουργία του συστήματος BEIDOU-2. Το BEIDOU-2 αποτελείται από έναν αστερισμό 10 δορυφόρων σε τροχιά, με κάλυψη των περιοχών Ασίας και Ειρηνικού Ωκεανού. Το τρίτο στάδιο ολοκληρώθηκε το 2020 με το BEIDOU-3 να αποτελεί ένα παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα πλοήγησης.

Το σύστημα BEIDOU για να είναι πλήρως λειτουργικό πρέπει να έχει σε τροχιά τουλάχιστον 35 δορυφόρους (αυτή τη στιγμή βρίσκονται σε τροχιά περισσότεροι των 35). Η διαφορά του, σε σχέση με τα άλλα παγκόσμια συστήματα, είναι ότι το δορυφορικό του τμήμα εκτός από δορυφόρους μέσης γήινης τροχιάς (MEO) έχει επίσης δορυφόρους γεωσύγχρονης ισημερινής τροχιάς (γεωστατικούς - GEO) και επικλινούς γεωσύγχρονης τροχιάς (IGSO). Συγκεκριμένα, σχεδιάστηκε ώστε οι 27 από τους 35 δορυφόρους να είναι MEO, οι 5 να είναι GEO και οι 3 IGSO. Οι MEO δορυφόροι κατανέμονται σε τρία τροχιακά επίπεδα με γωνία κλίσης  $55^\circ$  ως προς το ισημερινό επίπεδο. Η τροχιά των MEO δορυφόρων είναι σχεδόν κυκλική με ύψος πτήσης περίπου 21500 km. Οι 5 GEO δορυφόροι έχουν ύψος πτήσης περίπου 35800 km και βρίσκονται στα γεωδαιτικά μήκη  $58.75^\circ$  E,  $84^\circ$  E,  $110.5^\circ$  E,  $140^\circ$  E και  $160^\circ$  E (China Satellite Navigation Office, 2018). Τέλος, οι δορυφόροι IGSO κατανέμονται σε 3 τροχιακά επίπεδα με γωνία κλίσης  $55^\circ$  ως προς το ισημερινό επίπεδο και ύψος πτήσης περίπου 35800 km. Στην εικόνα 2.7 με πράσινο χρώμα είναι τα 3 τροχιακά επίπεδα των MEO δορυφόρων, με γκρι χρώμα τα 3 τροχιακά επίπεδα των IGSO δορυφόρων και με κόκκινο το τροχιακό επίπεδο των GEO δορυφόρων.



**Εικόνα 2.7:** Τροχιακά επίπεδα δορυφόρων συστήματος BEIDOU.

Πηγή: (China Satellite Navigation Office, 2018).



Η τεχνική στην οποία βασίζεται το BEIDOU σε θέματα συχνοτήτων είναι η CDMA. Οι φέρουσες συχνότητες του συστήματος είναι οι B1I, B1C, B2A και B3I (China Satellite Navigation Office, 2018), των οποίων τα χαρακτηριστικά είναι:

- α. B1I = 1561.098 MHz που αντιστοιχεί σε μήκος κύματος  $\lambda_{1I} \cong 19.20$  cm.
- β. B1C = 1575.42 MHz που αντιστοιχεί σε μήκος κύματος  $\lambda_{1C} \cong 19.02$  cm.
- γ. B2A = 1176.45 MHz που αντιστοιχεί σε μήκος κύματος  $\lambda_{2A} \cong 25.48$  cm.
- δ. B3I = 1268.52 MHz που αντιστοιχεί σε μήκος κύματος  $\lambda_{3I} \cong 23.63$  cm.

Το BEIDOU χρησιμοποιεί το δικό του σύστημα αναφοράς με την ονομασία BDCS (BeiDou Coordinate System), καθώς επίσης έχει και δικό του σύστημα χρόνου (BEIDOU System Time).

## 2.7 Πηγές σφαλμάτων στον δορυφορικό εντοπισμό

Στον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ δορυφόρου και δέκτη υπάρχει μια σειρά σφαλμάτων, τα οποία πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη διάρκεια της επίλυσης, ώστε να προσδιορισθεί σωστά η θέση του δέκτη.

### 2.7.1 Σφάλμα τροχιάς των δορυφόρων

Οι παράμετροι της τροχιάς των δορυφόρων είναι καθοριστικής σημασίας και επηρεάζουν άμεσα την τελική λύση προσδιορισμού της θέσης του δέκτη. Το σφάλμα της τροχιάς αφορά τη διαφορά της πραγματικής θέσης του δορυφόρου, σε μια δεδομένη χρονική στιγμή, σε σχέση με αυτή που υπολογίζεται σύμφωνα με τα μαθηματικά μοντέλα και στοιχεία που περιγράφουν την τροχιά, όπως π.χ. αυτά που περιλαμβάνονται στο εκπεμπόμενο μήνυμα ναυσιπλοΐας και συγκεκριμένα στην εφημερίδα δορυφόρου. Η εκπεμπόμενη τροχιά του δορυφόρου εμπεριέχει λοιπόν κάποιο μικρό σφάλμα (1-2 m RMS), το οποίο δύναται να περιοριστεί περαιτέρω μέσω σχετικού εντοπισμού ή/και κάνοντας χρήση εφημερίδων ακριβείας.

### 2.7.2 Σφάλμα χρονομέτρου δορυφόρου

Το συγκεκριμένο σφάλμα οφείλεται στην έλλειψη συγχρονισμού του ατομικού ρολογιού κάθε δορυφόρου με το χρόνο του GPS, ο οποίος αποτελεί και τον ενιαίο χρόνο του συστήματος. Για κάθε δορυφόρο το συγκεκριμένο σφάλμα υπολογίζεται από μια πολυωνυμική σχέση με βάση τρεις συντελεστές  $a_0$  (bias, clock offset),  $a_1$  (drift),  $a_2$  (drift rate, aging) που εκπέμπονται με το μήνυμα ναυσιπλοΐας και με ακρίβεια της τάξης των 5-10 nsec (Φωτίου & Πικριδάς, 2012). Και για αυτά τα σφάλματα, όπως και στα σφάλματα τροχιάς δορυφόρων, μπορούν να γίνουν καλύτερες εκτιμήσεις εκ των υστέρων, ώστε να εξαχθούν πιο ακριβή αποτελέσματα.

### 2.7.3 Σφάλμα χρονομέτρου δέκτη

Όπως ήδη έχει αναφερθεί το χρονόμετρο του δέκτη είναι υποδιαίστερης ποιότητας από αυτή του ρολογιού του δορυφόρου, άρα και λιγότερο ακριβές. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τον μη συγχρονισμό του ρολογιού του δέκτη με την κλίμακα χρόνου του συστήματος GPS και τη δημιουργία ενός σημαντικού σφάλματος στον προσδιορισμό θέσης του δέκτη. Καθώς το συγκεκριμένο σφάλμα είναι αδύνατο να προσδιοριστεί με τη χρήση κάποιου μαθηματικού μοντέλου, προστίθεται σαν άγνωστη παράμετρος μαζί με τις τρεις άγνωστες συντεταγμένες της θέσης του δέκτη (X, Y, Z). Επομένως, για τον αξιόπιστο προσδιορισμό θέσης του δέκτη απαιτείται η ταυτόχρονη λήψη σημάτων από τουλάχιστον τέσσερις δορυφόρους.

#### **2.7.4 Το τροποσφαιρικό σφάλμα**

Η τροπόσφαιρα είναι το χαμηλότερο τμήμα της ατμόσφαιρας που εκτείνεται από την επιφάνεια της Γης έως τα 9 km περίπου στους πόλους και έως τα 16 km στον ισημερινό. Η καθυστέρηση του διερχόμενου σήματος μέσα στην τροπόσφαιρα εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την υγρασία, την απόσταση που διανύει το σήμα, τη γωνία ανύψωσης του δορυφόρου και από το υψόμετρο που βρίσκεται ο δέκτης. Ειδικά με τις γωνίες ανύψωσης των δορυφόρων, όσο αυτές μικραίνουν τόσο το σφάλμα αυξάνεται εκθετικά. Για αυτό τον λόγο συνηθίζεται η αποκοπή δεδομένων, σε γωνίες ανύψωσης μικρότερες των 10 ή 15 μοιρών. Το τροποσφαιρικό σφάλμα επηρεάζει ακριβώς το ίδιο τους μετρητικούς κώδικες και τις φάσεις, ανεξάρτητα από τη συχνότητα των φερουσών. Ο υπολογισμός του σφάλματος είναι κατά προσέγγιση, μέσω μαθηματικών μοντέλων.

#### **2.7.5 Το ιονοσφαιρικό σφάλμα**

Η ιονόσφαιρα είναι εκείνο το τμήμα της ατμόσφαιρας που εκτείνεται από 50 έως 1000 km περίπου πάνω από την επιφάνεια της Γης. Ανάλογα με το επίπεδο φόρτισης της ιονόσφαιρας και τη γωνία ανύψωσης του δορυφόρου, υπάρχει και η αντίστοιχη καθυστέρηση στη διάδοση του εκπεμπόμενου δορυφορικού σήματος (ιονοσφαιρική καθυστέρηση). Το ιονοσφαιρικό σφάλμα κυμαίνεται από 1 m έως μερικές δεκάδες μέτρα, ενώ σε πολύ ακραίες καταστάσεις μπορεί να φτάσει και τα 100 m. Το συγκεκριμένο σφάλμα δεν παραμένει σταθερό, αλλά έχει διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετράωρου. Συγκεκριμένα, έχουμε σταδιακή αύξηση με την ανατολή του ηλίου, μέγιστη τιμή τις μεσημβρινές ώρες, μείωση τις απογευματινές ώρες και ελάχιστη τιμή τις βραδινές ώρες. Χαρακτηριστική ιδιότητα της ιονόσφαιρας είναι ότι επηρεάζει τα διερχόμενα σήματα ανάλογα με τη συχνότητα εκπομπής τους. Επομένως, το ιονοσφαιρικό σφάλμα μπορεί ουσιαστικά να εξαλειφθεί με τη χρήση δεκτών 2 συχνοτήτων, χρησιμοποιώντας ένα κατάλληλο γραμμικό συνδυασμό πρωτογενών παρατηρήσεων των δυο φορέων (Φωτίου & Πικριδιάς, 2012). Στον αυτόνομο εντοπισμό με δέκτες μονής συχνότητας το ιονοσφαιρικό σφάλμα περιορίζεται με τη χρήση ιονοσφαιρικών μοντέλων, όπου οι παράμετροί του εμπεριέχονται στο εκπεμπόμενο από το δορυφόρο μήνυμα ναυσιπλοΐας.

#### **2.7.6 Το σφάλμα πολυανάκλασης**

Το σφάλμα πολυανάκλασης δημιουργείται, όταν το σήμα λαμβάνεται από τον δέκτη όχι μόνο από την κανονική του διαδρομή, αλλά και από άλλες εναλλακτικές διαδρομές λόγω ανάκλασής του στις γειτονικές επιφάνειες. Αυτές οι εναλλακτικές διαδρομές είναι μεγαλύτερες της κανονικής διαδρομής και επηρεάζουν τον τελικό προσδιορισμό θέσης του δέκτη. Καθώς το συγκεκριμένο σφάλμα μεταβάλλεται αναλόγως της θέσης του δέκτη, επομένως και της γεωμετρίας του περιβάλλοντα χώρου του, δεν μπορεί να προσδιοριστεί από κάποιο μαθηματικό μοντέλο. Για να ελαχιστοποιηθεί το σφάλμα πολυανάκλασης πρέπει να γίνεται κατάλληλη επιλογή θέσης του δέκτη. Επίσης, μπορεί να επιλεγούν κατάλληλου τύπου κεραίες (π.χ σπυροειδών δακτυλίων - Choke Ring), οι οποίες έχουν κατασκευαστεί για αυτό τον λόγο. Τέλος, ο ίδιος ο δέκτης έχει τη δυνατότητα εντοπισμού και αποκοπής λανθασμένων δεδομένων λόγω σφάλματος πολυανάκλασης κατά τη διάρκεια επεξεργασίας και συσχέτισης του δορυφορικού σήματος.

#### **2.7.7 Το σφάλμα θορύβου της μέτρησης**

Το συγκεκριμένο σφάλμα συγκαταλέγεται στα τυχαία σφάλματα και είναι αδύνατον να αποφευχθεί κατά τη διάρκεια των δορυφορικών παρατηρήσεων από έναν δέκτη, όπως

άλλωστε συμβαίνει και σε όλα τα όργανα μετρήσεων. Η ακρίβεια των πρωτογενών μετρήσεων είναι ενδεικτικά από 0.1% έως 1% του μήκους παλμού/κύματος, άρα για τον μετρητικό κώδικα C/A είναι της τάξης από 30 cm έως 3 m και για τον κώδικα P από 3 έως 30 cm (Φωτίου & Πικριδάς, 2012). Στην πράξη με συγκεκριμένες τεχνικές το συγκεκριμένο σφάλμα μπορεί να περιοριστεί, ώστε να επιτευχθούν καλύτερα αποτελέσματα.

## 2.8 Εξίσωση παρατήρησης ψευδοαπόστασης

Ο όρος ψευδοαπόσταση αφορά την υπολογιζόμενη απόσταση μεταξύ δορυφόρου και δέκτη, όπως αυτή προκύπτει από την παρατήρηση και επεξεργασία μετρητικού κώδικα (π.χ C/A, P). Σε μια ιδανική κατάσταση η εξίσωση παρατήρησης της απόστασης P μεταξύ ενός δορυφόρου  $i$  και ενός δέκτη A θα ήταν ίση με  $P_A^i = c(t_A - t^i) = \rho_A^i$ , όπου :

α. Το  $\rho_A^i = \sqrt{(X_A - X^i)^2 + (Y_A - Y^i)^2 + (Z_A - Z^i)^2}$  είναι η γεωμετρική απόσταση μεταξύ του δορυφόρου  $i$  και του δέκτη A.

β. Το  $c$  είναι η ταχύτητα μετάδοσης του δορυφορικού σήματος, η οποία είναι ίση με την ταχύτητα του φωτός.

γ. Το  $t_A$  είναι ο χρόνος λήψης του σήματος από τον δέκτη σε μία ενιαία κλίμακα χρόνου.

δ. Το  $t^i$  είναι ο χρόνος εκπομπής του σήματος από τον δορυφόρο στην ίδια ενιαία κλίμακα χρόνου.

Στην πραγματικότητα όμως, καθώς έχουμε μια σειρά σφαλμάτων, η σχέση  $P_A^i = c(t_A - t^i)$  πρέπει να τροποποιηθεί κατάλληλα, ώστε να συμπεριληφθούν και αυτά στον υπολογισμό της εξαγόμενης απόστασης μεταξύ δορυφόρου και δέκτη. Επομένως, η εξίσωση παρατήρησης της απόστασης (ψευδοαπόσταση) γίνεται (Γιαννίου, 2019):

$$P_A^i = \rho_A^i + c\delta t_A - c\delta t^i + \text{dor}b_A^i + \delta I_A^i + \delta T_A^i + \delta \mu u_A^i + \delta \text{int}^i_A + e_A^i, \text{ όπου:}$$

α. Το  $\rho_A^i$  είναι η γεωμετρική απόσταση μεταξύ του δορυφόρου  $i$  και του δέκτη A.

β. Το  $c$  είναι η ταχύτητα μετάδοσης του δορυφορικού σήματος, η οποία είναι ίση με την ταχύτητα του φωτός.

γ. Το  $\delta t_A$  είναι το σφάλμα του ρολογιού του δέκτη.

δ. Το  $\delta t^i$  είναι το σφάλμα του ρολογιού του δορυφόρου.

ε. Το  $\text{dor}b_A^i$  είναι το τροχιακό σφάλμα.

στ. Το  $\delta I_A^i$  είναι το ιονοσφαιρικό σφάλμα (αναλόγως της φέρουσας συχνότητας).

ζ. Το  $\delta T_A^i$  είναι το τροποσφαιρικό σφάλμα.

η. Το  $\delta \mu u_A^i$  είναι το σφάλμα πολυανάκλασης.

θ. Το  $\delta \text{int}^i_A$  είναι το σφάλμα λόγω ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών (εάν υπάρχει).

ι. Το  $e_A^i$  είναι ο θόρυβος λόγω τυχαίων σφαλμάτων μέτρησης και λοιπών μη μοντελοποιημένων σφαλμάτων.

## 2.9 Εξίσωση παρατήρησης φάσης

Η απόσταση μεταξύ δορυφόρου και δέκτη μπορεί επίσης να προσδιοριστεί και από μετρήσεις των κύκλων φάσης των φερουσών συχνοτήτων. Κάθε παρατήρηση φάσης εμπεριέχει και την έννοια της ασάφειας φάσης (Phase Ambiguity), η οποία είναι ο αριθμός των πλήρων ταλαντώσεων που πραγματοποιεί η φέρουσα συχνότητα από τη στιγμή εκπομπής του σήματος από τον δορυφόρο έως τη στιγμή λήψης από τον δέκτη. Ο κάθε δέκτης έχει τη

δυνατότητα να μετρά μόνο τη στιγμιαία κλασματική φάση και να παρακολουθεί τις μεταβολές της από την πρώτη στιγμή εγκλωβισμού της και μετά. Η μέτρηση αυτή γίνεται συσχετίζοντας το εισερχόμενο σήμα με ένα αντίγραφο σήματος ίδιας συχνότητας που παράγεται από τον δέκτη, προσδιορίζοντας έτσι τη διαφορά φάσης. Επομένως, το δύσκολο τμήμα στην όλη διαδικασία είναι ο υπολογισμός της ασάφειας φάσης, ο οποίος γίνεται με διάφορες τεχνικές (π.χ. SIGMA, FARA, LAMDA κ.α.).

Ιδανικά, η εξαγόμενη απόσταση  $L$  από παρατήρηση φάσης (σε μέτρα) μεταξύ ενός δορυφόρου  $i$  και ενός δέκτη  $A$ , σε μια δεδομένη χρονική στιγμή, προκύπτει από το άθροισμα της μέτρησης που κάνει ο δέκτης αφού εγκλωβίσει τη φάση της συχνότητας ( $\lambda * \varphi_A^i$ ) και του μήκους που αντιστοιχεί στην ασάφεια φάσης ( $\lambda * N$ ). Το  $\lambda$  είναι το μήκος κύματος της φέρουσας συχνότητας, το  $\varphi_A^i$  είναι η φάση από την πρώτη στιγμή εγκλωβισμού της από τον δέκτη και το  $N$  είναι η ασάφεια φάσης.

Όμως, όπως και στην περίπτωση της παρατήρησης ψευδοαπόστασης, υπάρχει μια σειρά σφαλμάτων τα οποία πρέπει να συνυπολογισθούν. Επομένως, η τελική μορφή της εξίσωσης απόστασης από παρατήρηση φάσης γίνεται:

$$L_A^i = \rho_A^i + c\delta t_A - c\delta t^i + \lambda N + \delta orb_A^i - \delta I_A^i + \delta T_A^i + \delta mu_A^i + \delta int_A^i + e_A^i, \text{ όπου:}$$

- α. Το  $\rho_A^i$  είναι η γεωμετρική απόσταση μεταξύ του δορυφόρου  $i$  και του δέκτη  $A$ .
- β. Το  $c$  είναι η ταχύτητα μετάδοσης του δορυφορικού σήματος, η οποία είναι ίση με την ταχύτητα του φωτός.
- γ. Το  $\delta t_A$  είναι το σφάλμα του ρολογιού του δέκτη.
- δ. Το  $\delta t^i$  είναι το σφάλμα του ρολογιού του δορυφόρου.
- ε. Το  $\lambda$  είναι το μήκος κύματος της φέρουσας συχνότητας.
- στ. Το  $N$  είναι η ασάφεια φάσης.
- ζ. Το  $\delta orb_A^i$  είναι το τροχιακό σφάλμα.
- η. Το  $\delta I_A^i$  είναι το ιονοσφαιρικό σφάλμα (αναλόγως της φέρουσας συχνότητας).
- θ. Το  $\delta T_A^i$  είναι το τροποσφαιρικό σφάλμα.
- ι. Το  $\delta mu_A^i$  είναι το σφάλμα πολυανάκλασης.
- ια. Το  $\delta int_A^i$  είναι το σφάλμα λόγω ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών (εάν υπάρχει).
- ιβ. Το  $e_A^i$  είναι ο θόρυβος λόγω τυχαίων σφαλμάτων μέτρησης και λοιπών μη μοντελοποιημένων σφαλμάτων.

Σε σχέση με την εξίσωση παρατήρησης ψευδοαπόστασης, στην εξίσωση παρατήρησης φάσης το ιονοσφαιρικό σφάλμα είναι με αντίθετο πρόσημο. Αυτό συμβαίνει γιατί η ιονοσφαιρα προκαλεί επιτάχυνση στο φέρον κύμα και καθυστέρηση στον κώδικα, μεγέθη ίσα σε απόλυτη τιμή (Αναστασίου, et al., 2014).

Ενδεικτικά η ακρίβεια μέτρησης της απόστασης είναι περίπου ίση με το 1% του μήκους κύματος/παλμού. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι ακρίβειες μέτρησης της απόστασης με μετρητικούς κώδικες (C/A και P) και φέρουσες συχνότητες (L1 και L2).

**Πίνακας 2.1:** Ακρίβειες μέτρησης απόστασης από παρατηρήσεις ψευδοαπόστασης και φάσης.

|                         |                                |                                    |
|-------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| Μετρητικός κώδικας: C/A | Μήκος παλμού $\cong 293.10$ m  | Ακρίβεια μέτρησης $\cong 2.93$ m   |
| Μετρητικός κώδικας: P   | Μήκος παλμού $\cong 29.31$ m   | Ακρίβεια μέτρησης $\cong 0.29$ m   |
| Φέρουσα συχνότητα: L1   | Μήκος κύματος $\cong 19.03$ cm | Ακρίβεια μέτρησης $\cong 0.002$ m  |
| Φέρουσα συχνότητα: L2   | Μήκος κύματος $\cong 24.42$ cm | Ακρίβεια μέτρησης $\cong 0.0024$ m |

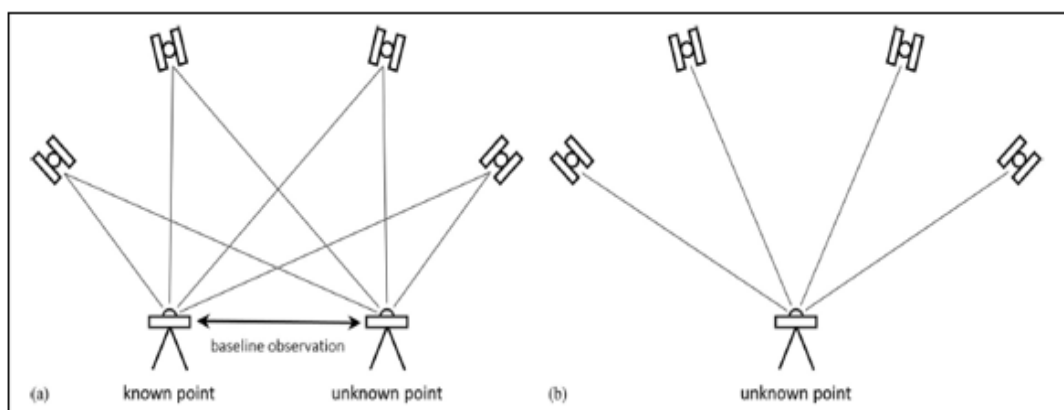
Παρατηρείται ότι ο υπολογισμός της απόστασης με μετρήσεις φάσης είναι πολύ πιο ακριβής (της τάξης περίπου των 2 mm), με την προϋπόθεση βέβαια ότι προηγουμένως έχει προσδιοριστεί η ασάφεια φάσης. Αντιθέτως, ο υπολογισμός της απόστασης με μετρήσεις ψευδοαπόστασης δεν είναι τόσο ακριβής, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατευθείαν καθώς είναι μια άμεση μέτρηση.

## 2.10 Τεχνικές δορυφορικού εντοπισμού θέσης

Η κατηγοριοποίηση των τεχνικών εντοπισμού θέσης με δορυφορικά συστήματα GNSS γίνεται με διάφορα κριτήρια και συγκεκριμένα (Γιαννίου, 2022):

- α. Ανάλογα με τον αριθμό δεκτών και το είδος της θέσης που προσδιορίζεται.
- β. Ανάλογα με το αν ο δέκτης κινείται ή παραμένει σταθερός.
- γ. Ανάλογα με τον χρόνο προσδιορισμού της θέσης.

Σχετικά με τον αριθμό των δεκτών που χρησιμοποιούνται και το είδος της θέσης που προσδιορίζεται, έχουμε τον αυτόνομο ή απόλυτο και τον σχετικό εντοπισμό. Αυτόνομο εντοπισμό έχουμε όταν χρησιμοποιούνται οι μετρήσεις ενός μόνο δέκτη και υπολογίζεται η απόλυτη θέση του. Σχετικό εντοπισμό έχουμε όταν χρησιμοποιούνται οι μετρήσεις δύο δεκτών ταυτόχρονα και υπολογίζεται η σχετική τους θέση ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ).



**Εικόνα 2.8:** Σχετικός εντοπισμός (αριστερά) και αυτόνομος εντοπισμός (δεξιά).

Πηγή: (Jamieson & Gillins, 2018).

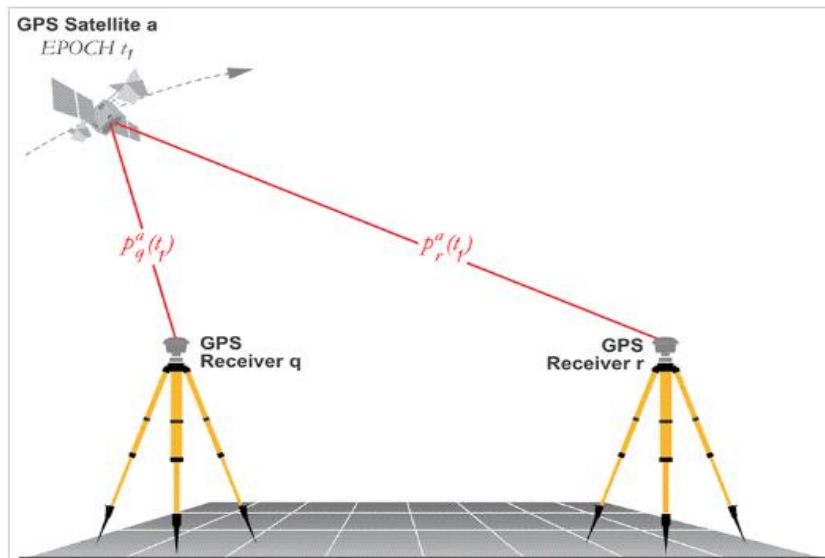
Ανάλογα με το εάν ο δέκτης κινείται ή όχι έχουμε τον στατικό, τον κινηματικό και τον ημικινηματικό εντοπισμό. Στον στατικό εντοπισμό ο δέκτης είναι ακίνητος σε ένα σημείο, του οποίου προσδιορίζεται η θέση. Στον κινηματικό ο δέκτης κινείται και προσδιορίζεται η τροχιά του, ενώ στον ημικινηματικό ο δέκτης αρχικά, για κάποιο χρονικό διάστημα, παραμένει ακίνητος και έπειτα μετακινείται από σημείο σε σημείο.

Τέλος, ανάλογα με το εάν ο εντοπισμός της θέσης καθορίζεται σε πραγματικό χρόνο ή όχι, έχουμε τον Real-Time (πραγματικού χρόνου) ή τον Post-Processing (μετεπεξεργασίας) εντοπισμό. Στον Real-Time τα αποτελέσματα υπολογίζονται κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, ενώ στον Post-Processing τα αποτελέσματα προκύπτουν μετά το πέρας των μετρήσεων.

Στις γεωδαιτικές και τοπογραφικές εργασίες ο εντοπισμός θέσης ενός σημείου βασίζεται στον σχετικό εντοπισμό που περιλαμβάνει απαραίτητα δεδομένα παρατηρήσεων φάσης. Οι παρατηρήσεις ψευδοαποστάσεων χρησιμοποιούνται ως βοηθητικές για τον προσδιορισμό καλύτερων προσεγγιστικών συντεταγμένων και μερικές φορές για την επίλυση ασαφειών φάσης μαζί με τις παρατηρήσεις φάσης (Φωτίου & Πικριδάς, 2012). Για την ελαχιστοποίηση των συστηματικών σφαλμάτων, στον σχετικό εντοπισμό χρησιμοποιούνται ΠΑΔΑ, Τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής, Διπλωματική Εργασία, Χαραλάμπους Αντώνιος

γραμμικοί συνδυασμοί παρατηρήσεων και συγκεκριμένα οι απλές, οι διπλές και οι τριπλές διαφορές παρατηρήσεων.

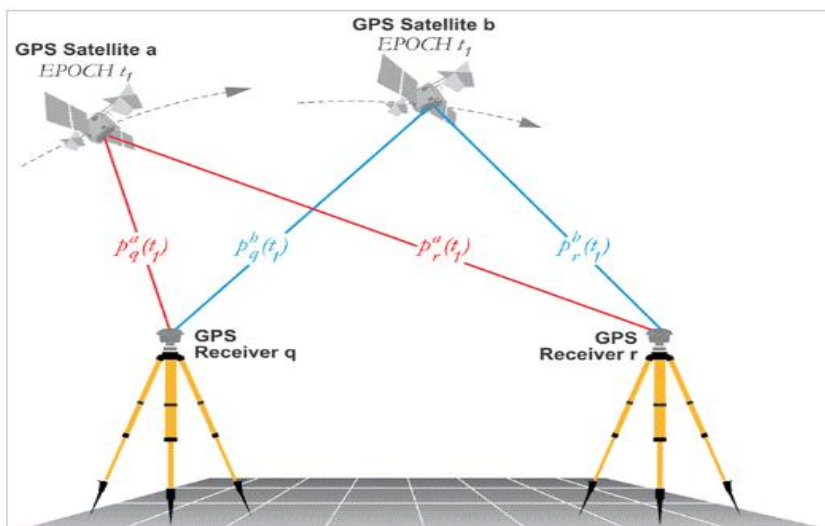
Η απλή διαφορά ορίζεται ως η διαφορά ταυτόχρονων παρατηρήσεων μεταξύ δύο δεκτών ως προς τον ίδιο δορυφόρο. Κάνοντας χρήση των απλών διαφορών επιτυγχάνεται απαλοιφή των κοινών σφαλμάτων που οφείλονται στον δορυφόρο, όπως το σφάλμα χρονομέτρου του δορυφόρου και το τροχιακό σφάλμα.



Εικόνα 2.9: Απλή διαφορά παρατηρήσεων.

Πηγή: (<https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1727>).

Η διπλή διαφορά ορίζεται ως η διαφορά δύο ταυτόχρονων απλών διαφορών μεταξύ δύο δεκτών ως προς δύο δορυφόρους. Κάνοντας χρήση των διπλών διαφορών επιτυγχάνεται απαλοιφή σφαλμάτων των δεκτών, με σημαντικότερο το σφάλμα χρονομέτρου του δέκτη.

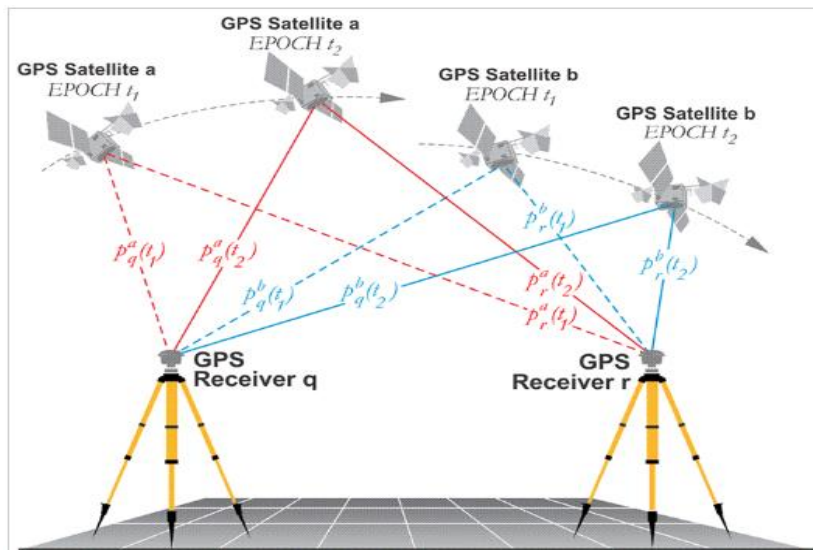


Εικόνα 2.10: Διπλή διαφορά παρατηρήσεων.

Πηγή: (<https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1727>).

Τέλος, η τριπλή διαφορά αφορά αποκλειστικά τις παρατηρήσεις φάσης και ορίζεται από τη διαφορά δύο διπλών διαφορών ως προς δύο διαφορετικές εποχές. Κάνοντας χρήση των τριπλών διαφορών έχουμε απαλοιφή των ακέραιων ασαφειών φάσης, σημαντική ιδιότητα που επιτρέπει μια a-priori συνόρθωση με ικανοποιητική εκτίμηση των συντεταγμένων που βοηθούν

ως τέτοιες στην επίλυση των ασαφειών φάσης των διπλών διαφορών (Φωτίου & Πικριδάς, 2012).



Εικόνα 2.11: Τριπλή διαφορά παρατηρήσεων.

Πηγή: (<https://www.e-education.psu.edu/geog862/node/1727>).

## 2.11 Δέκτες GNSS

Οι δέκτες GNSS αποτελούνται από δύο βασικά μέρη, την κεραία και τον δέκτη. Η κεραία μπορεί να είναι εσωτερική ή εξωτερική και ενίοτε να περιλαμβάνει προενισχυτή χαμηλού θορύβου. Σκοπός της κεραίας είναι η λήψη των εξασθενημένων δορυφορικών σημάτων, η ενίσχυσή τους από τον προενισχυτή και η διοχέτευσή τους στον κυρίως δέκτη για περαιτέρω επεξεργασία. Ο κύριος δέκτης αποτελείται από επιμέρους τμήματα όπως το τμήμα των ραδιοσυχνοτήτων, τους διαύλους (κανάλια) παρακολούθησης του δορυφορικού σήματος με τους βρόγχους παρακολούθησης, τον μικροεπεξεργαστή, την παροχή ισχύος, τη μονάδα αποθήκευσης δεδομένων και τη μονάδα επικοινωνίας με τον χρήστη (Φωτίου & Πικριδάς, 2012).

Μια ειδική κατηγορία δεκτών GNSS είναι οι γεωδαιτικοί δέκτες, οι οποίοι παρέχουν επιπλέον δυνατότητες σε σχέση με τους κοινούς δέκτες. Κύριο χαρακτηριστικό αυτών των δεκτών είναι ο προσδιορισμός θέσης με υψηλή ακρίβεια (mm έως λίγα cm). Η αντίστοιχη ακρίβεια στους κοινούς δέκτες είναι αρκετά μικρότερη (μερικά m). Βασικό μειονέκτημα των γεωδαιτικών δεκτών είναι το αυξημένο κόστος αγοράς τους.



Εικόνα 2.12: Γεωδαιτικός δέκτης GNSS.

Πηγή: (<https://metrica.gr/products/surveying-equipment/gnss-receivers/720-leica-z-rover>).

### 3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> : Συστήματα αναφοράς

Ένα σύστημα αναφοράς περιγράφεται ως ένα σύνολο προδιαγραφών, συμβάσεων και μοντέλων, ώστε να μπορούν να προσδιορισθούν η αρχή και ο προσανατολισμός των αξόνων ενός τριέδρου (Φωτίου & Πικριδάς, 2012). Η υλοποίηση ενός συστήματος αναφοράς περιγράφεται από το πλαίσιο αναφοράς, μέσω καθορισμένων με μεγάλη ακρίβεια θέσεων και κινήσεων σε συγκεκριμένο χρόνο.

Τα συστήματα αναφοράς διακρίνονται σε αδρανειακά και μη αδρανειακά, αναλόγως εάν ισχύουν σε αυτά ή όχι οι νόμοι του Νεύτωνα. Στη γεωδαισία τα αδρανειακά συστήματα ονομάζονται και ουράνια συστήματα. Βασικό μοντέλο ουράνιου συστήματος αναφοράς είναι το διεθνές ουράνιο σύστημα αναφοράς ICRS (International Celestial Reference System).

Τα μη αδρανειακά (επίγεια) συστήματα αναφοράς διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

α. Στα παγκόσμια συστήματα που η αρχή των αξόνων τους ταυτίζεται με το κέντρο μάζας της Γης.

β. Σε αυτά που υπάρχει συστηματική μετατόπιση προκειμένου να προσαρμόζονται καλύτερα σε κάποια περιοχή/χώρα.

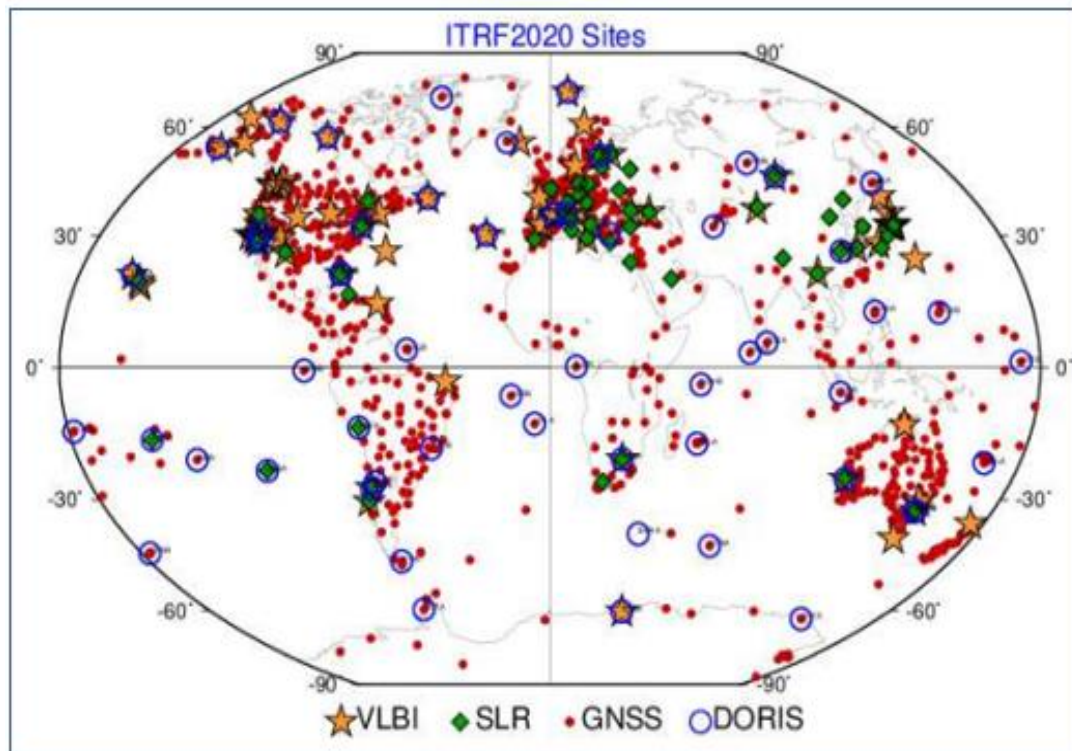
Βασικό μοντέλο επίγειου συστήματος αναφοράς είναι το παγκόσμιο σύστημα αναφοράς ITRS (International Terrestrial Reference System).

#### 3.1 Παγκόσμιο επίγειο σύστημα αναφοράς ITRS

Έπειτα από απόφαση της Διεθνούς Αστρονομικής Ένωσης IAU (International Astronomical Union) και της Διεθνούς Ένωσης Γεωδαισίας και Γεωφυσικής IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics), ιδρύθηκε το έτος 1988 η Διεθνής Υπηρεσία Συστημάτων Περιστροφής και Αναφοράς της Γης IERS (International Earth Rotation and Reference System Service). Αντικείμενο της IERS είναι ο προσδιορισμός και διατήρηση των συμβατικών πλαισίων αναφοράς, ουράνιου και επίγειου. Το παγκόσμιο επίγειο σύστημα αναφοράς που δημιουργήθηκε ονομάστηκε ITRS και υλοποιείται από το διεθνές επίγειο πλαίσιο αναφοράς ITRF (International Terrestrial Reference Frame). Το ITRS είναι ένα δεξιόστροφο τρισσορθογώνιο καρτεσιανό σύστημα με αρχή των αξόνων του το κέντρο μάζας της Γης. Ο άξονας Z διέρχεται από τον μέσο άξονα περιστροφής της Γης, ο άξονας X από τον μέσο μεσημβρινό του Greenwich και ο άξονας Y συμπληρώνει το τρισσορθογώνιο σύστημα.

Το ITRS υλοποιείται με τέτοιο τρόπο, ώστε να ακολουθεί την ημερήσια περιστροφική κίνηση της Γης (καθώς επίσης και την κίνηση της Γης στο χώρο) και να λαμβάνει υπόψη του τις χρονικές μεταβολές του σχήματος και του μεγέθους της Γης (Χατζηνίκος, 2013). Αυτή η υλοποίηση γίνεται μέσω ενός πλαισίου αναφοράς ITRF<sub>yy</sub>, το οποίο αφορά μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή (εποχή αναφοράς). Το εκάστοτε ITRF<sub>yy</sub> δημιουργείται μέσω ενός δικτύου σταθμών που βρίσκονται κατανεμημένοι σε όλη την επιφάνεια της Γης. Οι καρτεσιανές συντεταγμένες των σταθμών καθώς και οι ταχύτητες μετακίνησής τους υπολογίζονται σε μια εποχή αναφοράς, χρησιμοποιώντας παρατηρήσεις και τεχνικές της διαστημικής γεωδαισίας (GPS, VLBI, SLR και DORIS). Αν εκτός από τις καρτεσιανές συντεταγμένες υπάρχει απαίτηση και γεωδαιτικών συντεταγμένων, τότε το ΕΕΠ (Ελλειψοειδές Εκ Περιστροφής) που χρησιμοποιείται είναι το GRS80. Το πρώτο διεθνές πλαίσιο αναφοράς που χρησιμοποιήθηκε ήταν το ITRF1988, ενώ την παρούσα χρονική στιγμή το ITRS υλοποιείται από το πλαίσιο αναφοράς ITRF2020.





Εικόνα 3.1: Δίκτυο σταθμών για το ITRF2020.  
Πηγή: (Altamini, 2021).

### 3.2 Παγκόσμιο επίγειο σύστημα αναφοράς WGS84

Το παγκόσμιο επίγειο σύστημα αναφοράς WGS84 (World Geodetic System 1984) δημιουργήθηκε από το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ και αποτελεί το σύστημα αναφοράς του παγκοσμίου συστήματος εντοπισμού GPS (Global Positioning System). Χρησιμοποιεί το ΕΕΠ WGS84, του οποίου η επιπλάτυνση διαφέρει ελάχιστα από αυτή του GRS80. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές της επιπλάτυνσης των δύο ΕΕΠ.

Πίνακας 3.1: Διαφορά επιπλάτυνσης μεταξύ ΕΕΠ GRS80 και WGS84.

| ΕΕΠ   | Μεγάλος ημιάξονας $a$ (m) | Επιπλάτυνση $f$ |
|-------|---------------------------|-----------------|
| GRS80 | 6378137                   | 1/298.257222100 |
| WGS84 | 6378137                   | 1/298.257223563 |

Το WGS84 είναι ένα συμβατικό γήινο σύστημα αναφοράς και ακολουθεί τα κριτήρια της IERS (Βέης, et al., 2011). Από το 1994 και έπειτα υπάρχει μια προσαρμογή του WGS84 στο εκάστοτε ισχύον ITRF, φτάνοντας σήμερα να ταυτίζονται με ακρίβεια καλύτερη των 10 cm.

### 3.3 Ευρωπαϊκό επίγειο σύστημα αναφοράς ETRS

Το ευρωπαϊκό επίγειο σύστημα αναφοράς ETRS (European Terrestrial Reference System) είναι το επίσημο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς της Ευρώπης. Εξ ορισμού το ETRS ταυτίστηκε με το ITRS κατά την εποχή 1989.0, θεωρείται σταθερά προσκολλημένο στο σταθερό μέρος της Ευρασιατικής πλάκας και το βασικό του πλεονέκτημα είναι ότι ελαχιστοποιεί το ρυθμό μεταβολής των συντεταγμένων στην Ευρώπη (Γιαννίου, 2010). Η υλοποίησή του επιτυγχάνεται μέσω ενός μόνιμου ευρωπαϊκού δικτύου σταθμών αναφοράς GNSS με γνωστές συντεταγμένες στο σύστημα ETRS89.



**Εικόνα 3.2:** Δίκτυο μόνιμων σταθμών αναφοράς ETRS89.  
Πηγή: (<https://epncb.oma.be/>).

Τα πλαίσια αναφοράς του ETRS89 με το πέρασμα του χρόνου διαφοροποιούνται, κατ' αντιστοιχία με τα παγκόσμια πλαίσια αναφοράς του ITRS. Έτσι, ενώ το αρχικό πλαίσιο αναφοράς ήταν το ETRF1989 (European Terrestrial Reference Frame 1989), σήμερα σε ισχύ είναι το ETRF2014.

### 3.4 Ελληνικό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ87

Το ΕΓΣΑ87 (Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987) δημιουργήθηκε το 1987 από τον Γεώργιο Βέη, καθηγητή της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Άρχισε να χρησιμοποιείται στην Ελλάδα από το 1990 και σήμερα αποτελεί το επίσημο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς της χώρας. Η αφετηρία του είναι το κεντρικό βάθρο που βρίσκεται στο κέντρο δορυφόρων του Διονύσου. Το κεντρικό βάθρο σύμφωνα με το ΕΓΣΑ87 έχει  $\varphi=38^{\circ} 04' 33'' 8107$  Β,  $\lambda=023^{\circ} 55' 51'' 0095$  Α,  $h=481.743$  m και  $N= +7$  m (Μπιλλήρης, 2008). Το ελλειψοειδές αναφοράς που χρησιμοποιείται είναι το GRS80. Για την καλύτερη προσαρμογή του ΕΓΣΑ87 στο γεωειδές του ελληνικού χώρου, το κέντρο του ελλειψοειδούς αναφοράς (GRS80) είναι μετατοπισμένο παράλληλα ως προς το κέντρο του παγκόσμιου συστήματος αναφοράς WGS84 κατά  $\Delta X= +199.652$  m,  $\Delta Y= - 74.759$  m και  $\Delta Z= -246.055$  m. Η υλοποίηση του ΕΓΣΑ87 πραγματοποιείται μέσω του εθνικού τριγωνομετρικού δικτύου της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ).

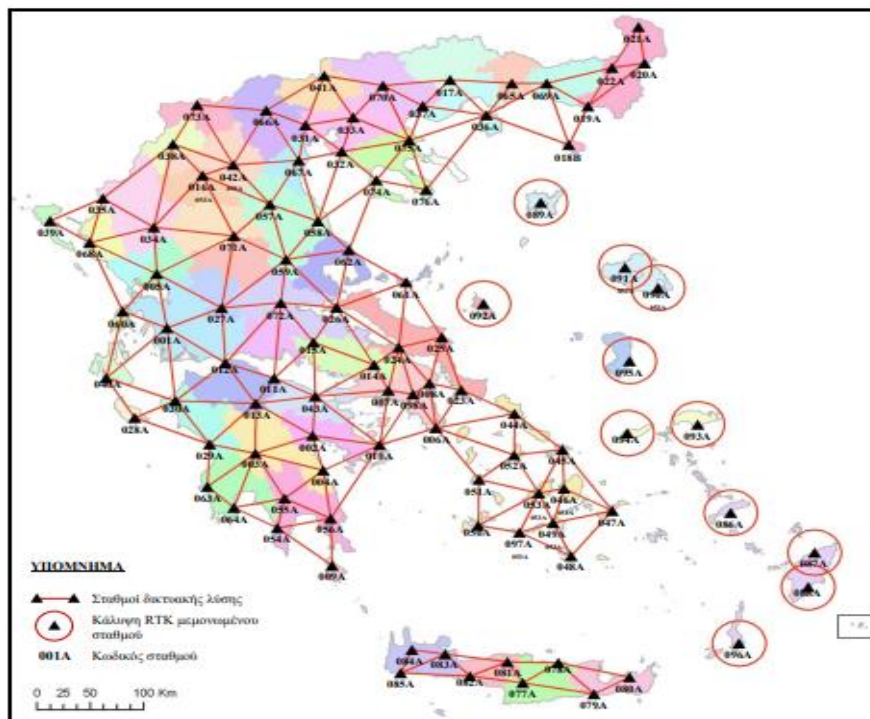
Η χαρτογραφική προβολή που χρησιμοποιείται είναι η εγκάρσια μερκατορική, η οποία είναι μια σύμμορφη προβολή (διατηρεί ίδιες τις γωνίες). Έχει κεντρικό μεσημβρινό  $\lambda_0=24^{\circ}$  ανατολικά του αστεροσκοπείου του Greenwich και καλύπτει έξι μοίρες γεωγραφικού μήκους εκατέρωθεν αυτού (από  $18^{\circ}$  ανατολικά έως  $30^{\circ}$  ανατολικά). Ο συντελεστής παραμόρφωσης στον κεντρικό μεσημβρινό είναι  $K_0=0.9996$ . Αρχή των αξόνων του θεωρείται η τομή του ισημερινού με τον κεντρικό μεσημβρινό. Για την αποφυγή αρνητικών τιμών στις τετμημένες X προστίθεται η τιμή 500000 m.

## 4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> : Το σύστημα εντοπισμού θέσης HEPOS

Το HEPOS (HElIenic POsitioning System) είναι ένα ελληνικό σύστημα εντοπισμού θέσης το οποίο σχεδίασε, υλοποίησε και λειτουργεί το Ελληνικό Κτηματολόγιο. Το HEPOS παρέχει υπηρεσίες προσδιορισμού θέσης υψηλής ακρίβειας, αξιοποιώντας το σύνολο των υφιστάμενων παγκόσμιων δορυφορικών συστημάτων εντοπισμού θέσης (GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU). Αναπτύχθηκε για να καλύψει τις ανάγκες σύνταξης του Εθνικού Κτηματολογίου αλλά ταυτόχρονα έχει εφαρμογή και σε άλλους τομείς όπως π.χ. τη Γεωδαισία. Το σύστημα αποτελείται από 98 μόνιμους σταθμούς αναφοράς κατάλληλα κατανομημένους σε όλη τη χώρα, ώστε να παρέχουν πανελλαδική κάλυψη. Τα δεδομένα των σταθμών αποστέλλονται σε πραγματικό χρόνο στο κέντρο ελέγχου για κατάλληλη επεξεργασία και αποστολή τους στους χρήστες. Οι υπηρεσίες που παρέχει το σύστημα HEPOS διακρίνονται σε πραγματικού χρόνου (Real time) και μετεπεξεργασίας (Post-processing). Με την υπηρεσία πραγματικού χρόνου ο χρήστης προσδιορίζει άμεσα τις θέσεις των σημείων κατά τη στιγμή της μέτρησης, ενώ με την υπηρεσία μετεπεξεργασίας μπορεί να προσδιορίζει θέσεις σημείων με υψηλότερη ακρίβεια σε μεταγενέστερο χρόνο.

### 4.1 Σταθμοί αναφοράς του HEPOS

Όπως ήδη ειπώθηκε, το σύστημα HEPOS αποτελείται από 98 σταθμούς αναφοράς κατάλληλα κατανομημένους σε όλο τον ελληνικό χώρο, οι οποίοι λειτουργούν αδιάλειπτα καταγράφοντας δορυφορικά δεδομένα ανά δευτερόλεπτο. Οι μέσες αποστάσεις μεταξύ των σταθμών είναι περίπου 50 έως 70 km. Μεταξύ των σταθμών αναφοράς και του κέντρου ελέγχου υφίσταται αμφίδρομη επικοινωνία, μέσω του υφιστάμενου τηλεπικοινωνιακού δικτύου. Από τους 98 σταθμούς οι 87 έχουν τη δυνατότητα δικτυακής λύσης, ενώ οι 11 είναι μεμονωμένοι σε νησιά του Ανατολικού Αιγαίου.



**Εικόνα 4.1:** Σταθμοί αναφοράς HEPOS.  
Πηγή: (Ελληνικό Κτηματολόγιο, 2023).

Οι θέσεις εγκατάστασης των σταθμών αποτέλεσαν σημαντικό παράγοντα στη λειτουργικότητα του HEPOS, καθώς έπρεπε να ικανοποιούν μια σειρά απαιτήσεων, όπως (Γιαννίου & Μάστορης, 2006):

- α. Απρόσκοπτη ορατότητα προς τους δορυφόρους.
- β. Περιβάλλον απαλλαγμένο από Η/Μ παρεμβολές και φαινόμενα πολλαπλής ανάκλασης σήματος.
- γ. Διαθεσιμότητα υποδομών όπως υφιστάμενα κτίρια, ηλεκτρικό ρεύμα και τηλεπικοινωνιακά δίκτυα.
- δ. Συνεχής προσβασιμότητα προκειμένου να μπορούν να αντιμετωπίζονται άμεσα πιθανές βλάβες .
- ε. Ελεγχόμενη πρόσβαση μόνο σε εξουσιοδοτημένα άτομα.
- στ. Δυνατότητα αλεξικέραυνης προστασίας των κεραιών GNSS.



**Εικόνα 4.2:** Εγκατεστημένες κεραιές σταθμών αναφοράς.  
Πηγή: (Γιαννίου & Μάστορης, 2007).

## 4.2 Κέντρο ελέγχου του HEPOS

Το κέντρο ελέγχου του HEPOS βρίσκεται στις εγκαταστάσεις του Ελληνικού Κτηματολογίου στον Χολαργό Αττικής. Οι κύριες εργασίες που εκτελούνται στο κέντρο ελέγχου είναι (Γιαννίου & Μάστορης, 2006):

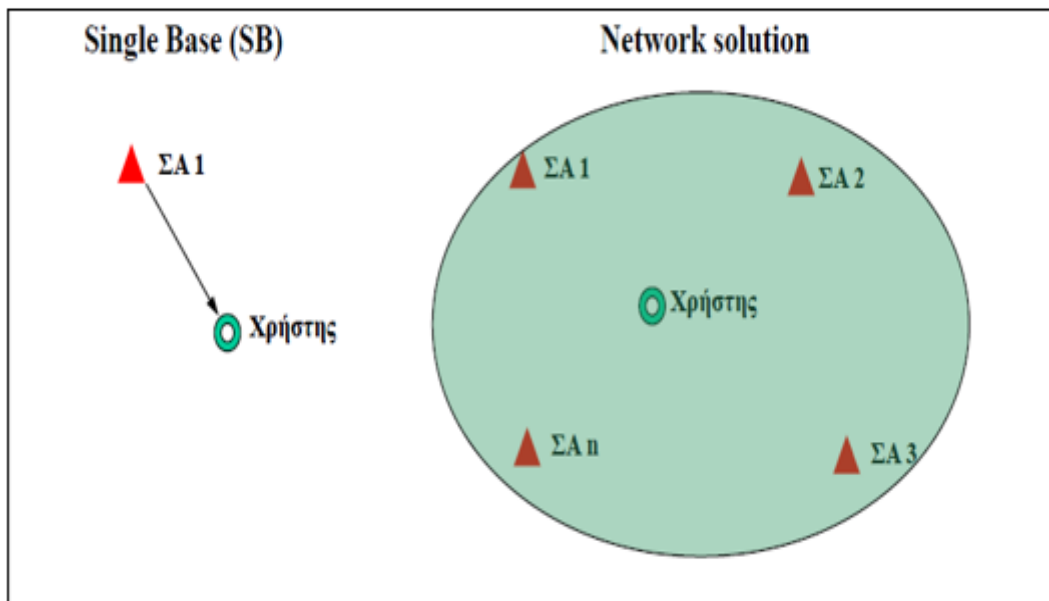
- α. Η συγκέντρωση των δεδομένων από τους σταθμούς αναφοράς και η προώθησή τους στο λογισμικό δικτύωσης.
- β. Η λειτουργία του λογισμικού δικτύωσης.
- γ. Η εξυπηρέτηση των χρηστών.
- δ. Η παρακολούθηση ορθής λειτουργίας του συστήματος και της ανοιχτής γραμμής επικοινωνίας με τους χρήστες.
- ε. Η αρχειοθέτηση δεδομένων.

Οι υπηρεσίες που παρέχονται προς τους χρήστες διακρίνονται σε υπηρεσίες πραγματικού χρόνου και υπηρεσίες επεξεργασίας εκ των υστέρων. Στις υπηρεσίες πραγματικού χρόνου περιλαμβάνονται τόσο τεχνικές DGPS (Differential GPS) με ακρίβεια της τάξης του 0.5 m, όσο και εφαρμογές κινηματικού εντοπισμού RTK (Real Time Kinematic) με ακρίβεια της τάξης των λίγων εκατοστών. Επιπλέον, το HEPOS υποστηρίζει τις δικτυακές τεχνικές VRS,

FKP και MAC με κύριο πλεονέκτημα προς τον χρήστη τη σταθερή ακρίβεια και αξιοπιστία στον προσδιορισμό θέσης, ανεξάρτητα της απόστασής του από τους σταθμούς αναφοράς (Μάστορης & Μητροπούλου, 2010). Στις υπηρεσίες επεξεργασίας εκ των υστέρων ο χρήστης ύστερα από επικοινωνία με το κέντρο ελέγχου λαμβάνει αρχεία σε μορφότυπο RINEX.

### 4.3 Δικτυακές τεχνικές GNSS

Οι δικτυακές τεχνικές GNSS εμφανίστηκαν για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1990. Βρίσκουν εφαρμογή στη μέθοδο του σχετικού εντοπισμού θέσης, αξιοποιώντας δεδομένα από πολλούς σταθμούς αναφοράς ενός δικτύου και όχι μόνο από έναν.



Εικόνα 4.3: Διαφορά μεταξύ δικτυακών τεχνικών GNSS και χρήσης ενός μόνο σταθμού.

Πηγή: (Γιαννίου, 2022).

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα των δικτυακών τεχνικών είναι:

- α. Η κάλυψη μια περιοχής με λιγότερους σταθμούς αναφοράς.
- β. Η ελάττωση των δεσμεύσεων που προκύπτουν καθώς αυξάνει το μήκος της βάσης όπως π.χ. η ανάγκη αύξησης του χρόνου μέτρησης.
- γ. Η αύξηση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας του RTK.

Το σύστημα HEPOS υποστηρίζει τις δικτυακές τεχνικές VRS, FKP και MAC.

#### 4.3.1 Τεχνική VRS

Με την τεχνική του εικονικού σταθμού αναφοράς VRS (Virtual Reference Station) τα δεδομένα των σταθμών αναφοράς και τα υπολογισμένα μοντέλα των σφαλμάτων χρησιμοποιούνται για να δημιουργηθούν εξ υπολογισμού παρατηρήσεις, σε οποιοδήποτε σημείο εντός της περιοχής του δικτύου. Σύμφωνα με τη θεωρία του VRS, οι παρατηρήσεις αυτές είναι ακριβώς ίδιες με αυτές που θα κατέγραφε ο δέκτης εάν βρισκόταν στο σημείο αυτό για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (Γιαννίου, 2008).

Η τεχνική VRS χρησιμοποιείται τόσο για εφαρμογές μετεπεξεργασίας δεδομένων με τη μορφή αρχείων RINEX, όσο και σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου με τη μορφή διορθώσεων RTCM. Στις εφαρμογές μετεπεξεργασίας δεδομένων, ο χρήστης ζητά από το κέντρο ελέγχου του HEPOS τη δημιουργία αρχείων που περιέχουν παρατηρήσεις VRS, για ένα συγκεκριμένο

κριμένο σημείο. Στις εφαρμογές πραγματικού χρόνου, το σημείο για παρατηρήσεις VRS καθορίζεται αυτόματα από το δίκτυο, σε κοντινή απόσταση από τον χρήστη.

#### 4.3.2 Τεχνική FKP

Με την τεχνική FKP (Flächen Korrekturparameter) το δίκτυο αποστέλλει στον χρήστη παραμέτρους μαθηματικών επιφανειών, οι οποίοι περιγράφουν τα εκάστοτε σφάλματα που εισέρχονται στις μετρήσεις. Λαμβάνοντας ο χρήστης τις επιφάνειες, υπολογίζει τα σφάλματα στο σημείο που βρίσκεται και κάνει τις ανάλογες διορθώσεις. Οι επιφάνειες περιγραφής των σφαλμάτων που στέλνει το δίκτυο είναι κοινές για όλους χρήστες που βρίσκονται σε μια ευρύτερη περιοχή και ο κάθε χρήστης υπολογίζει τις διορθώσεις για τη θέση του. Η τεχνική FKP χρησιμοποιείται μόνο για εφαρμογές πραγματικού χρόνου.

#### 4.3.3 Τεχνική MAC

Με την τεχνική MAC (Master-Auxiliary Concept) το δίκτυο αποστέλλει στον χρήστη διορθώσεις μόνο ενός κύριου σταθμού καθώς και τις διαφορές διορθώσεων γειτονικών βοηθητικών σταθμών αναφοράς (Γιαννίου, 2008). Με αυτόν τον τρόπο ο χρήστης λαμβάνει όλη την πρωτογενή πληροφορία που αφορά τα σφάλματα, χωρίς την παρέμβαση κάποιας μοντελοποίησης από το δίκτυο. Έχοντας την πρωτογενή πληροφορία, ο χρήστης μπορεί να εφαρμόσει αλγόριθμους ελαχιστοποίησης των σφαλμάτων, ώστε να επιφέρει καλύτερη ακρίβεια προσδιορισμού θέσης. Η τεχνική MAC χρησιμοποιείται μόνο για εφαρμογές πραγματικού χρόνου.

### 4.4 Γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς HTRS07

Το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς του HEPOS είναι το HTRS07 (Hellenic Terrestrial Reference System 2007) και αποτελεί υλοποίηση του ευρωπαϊκού συστήματος αναφοράς ETRS89 στον ελληνικό χώρο. Συγκεκριμένα το HTRS07 αποτελεί μια πύκνωση του ευρωπαϊκού πλαισίου αναφοράς ETRF2005 (Χατζηνίκος, 2013). Το HTRS07 είναι ένα τρισδιάστατο στατικό σύστημα αναφοράς, το οποίο αναφέρεται σε μια συγκεκριμένη εποχή (2007.5).

Η χαρτογραφική προβολή που χρησιμοποιείται είναι η εγκάρσια μερκατορική TM07, η οποία είναι σύμμορφη προβολή (διατηρεί ίδιες τις γωνίες) με τα παρακάτω στοιχεία:

- α. Κεντρικός μεσημβρινός  $\lambda_0=24^\circ$  ανατολικά του αστεροσκοπείου του Greenwich.
- β. Συντελεστής παραμόρφωσης στον κεντρικό μεσημβρινό  $K_0=0.9996$ .
- γ. Πλάτος αναφοράς  $\varphi_0=00^\circ 00' 00'' .00$ .
- δ. Προσθετική σταθερά στις τετμημένες  $E_0 = 500000$  m.
- ε. Προσθετική σταθερά στις τεταγμένες  $N_0 = -2000000$  m.

Ειδικότερα για τη ν. Μεγίστη, χρησιμοποιείται η εγκάρσια μερκατορική προβολή TM07 με τα παρακάτω στοιχεία:

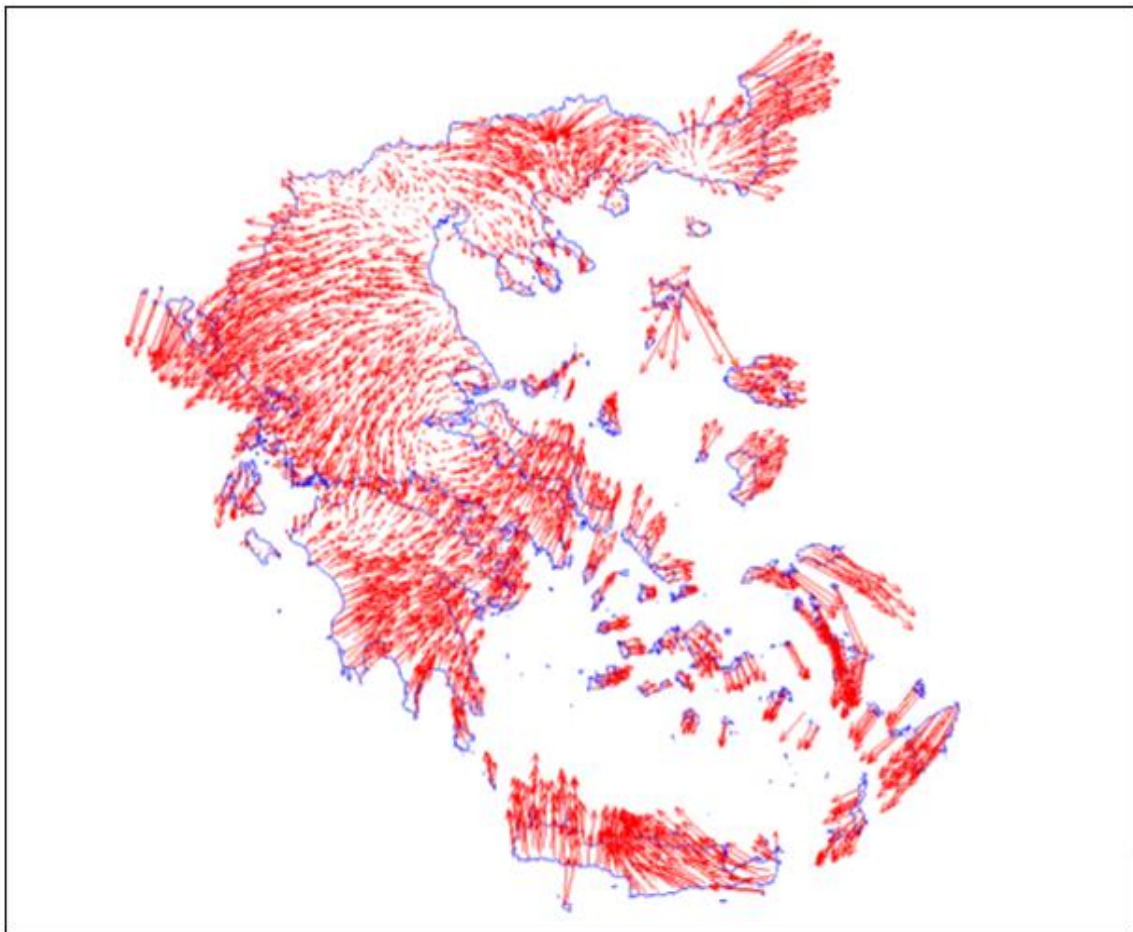
- α. Κεντρικός μεσημβρινός  $\lambda_0=30^\circ$  ανατολικά του αστεροσκοπείου του Greenwich.
- β. Συντελεστής παραμόρφωσης στον κεντρικό μεσημβρινό  $K_0=1.000$ .
- γ. Πλάτος αναφοράς  $\varphi_0 = 00^\circ 00' 00'' .00$ .
- δ. Προσθετική σταθερά στις τετμημένες  $E_0 = 500000$  m.
- ε. Προσθετική σταθερά στις τεταγμένες  $N_0 = -2000000$  m.

Το ελλειψοειδές αναφοράς του HTRS07 είναι το GRS80, όπως ακριβώς και στο ΕΓΣΑ87. Η θέση κέντρου του ελλειψοειδούς είναι πρακτικά στο γεώκεντρο και ταυτίζεται με το κέντρο του ETRS89 (Κατσάμπαλος, 2009).

#### 4.5 Σύνδεση του HTRS07 με το ΕΓΣΑ87

Το ΕΓΣΑ87 αποτελεί το επίσημο γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς της Ελλάδας. Υλοποιείται μέσω των τριγωνομετρικών σημείων της ΓΥΣ (Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού), τα οποία συγκροτούν το κρατικό τριγωνομετρικό δίκτυο. Καθώς το δίκτυο έχει υλοποιηθεί τις προηγούμενες δεκαετίες με επίγειες μετρήσεις (κυρίως με την τεχνική των τριγωνισμών), η εσωτερική συνοχή του είναι υποδιαίστερη αυτής του δικτύου HEPOS που υλοποιήθηκε με δορυφορικές μετρήσεις. Πρακτικά, στην εποχή αναφοράς του το HEPOS καθίσταται ως ένα δίκτυο χωρίς παραμορφώσεις.

Στο πλαίσιο του έργου των μετρήσεων του HEPOS μετρήθηκαν 2470 τριγωνομετρικά σημεία του κρατικού δικτύου με μετρήσεις GPS ακριβείας και υπολογίσθηκαν οι συντεταγμένες τους στο HTRS07 (Γιαννίου, 2010). Επομένως, σε αυτά τα σημεία υπάρχουν οι συντεταγμένες τους και στα δυο συστήματα αναφοράς (ΕΓΣΑ87 και HTRS07). Χρησιμοποιώντας αυτές τις συντεταγμένες το μαθηματικό μοντέλο που επιλέχθηκε για την εκτίμηση των παραμέτρων μετασχηματισμού από το ένα σύστημα αναφοράς στο άλλο, ήταν ο 7-παραμετρικός μετασχηματισμός ομοιότητας (3 μεταθέσεις, 3 στροφές και 1 συντελεστής κλίμακας). Οι μέγιστες τιμές των υπολοίπων (residuals) αυτού του ενιαίου για όλη τη χώρα μετασχηματισμού ήταν της τάξης των 2.5 m (Γιαννίου, 2010).



**Εικόνα 4.4:** Υπόλοιπα (residuals) 7-παραμετρικού μετασχηματισμού HTRS07-ΕΓΣΑ87.

Πηγή: (Γιαννίου, 2010).

Καθώς ο παραπάνω μετασχηματισμός δεν επέφερε την αναμενόμενη γεωδαιτική ακρίβεια λόγω της περιορισμένης ομοιογένειας του ΕΓΣΑ87, δημιουργήθηκε επίσης ένα ζεύγος

καννάβων οριζοντιογραφικών διορθώσεων ( $\delta E$ ,  $\delta N$ ), όπου περιόρισε τα σφάλματα στα μερικά εκατοστά. Συγκεκριμένα, η μέση αβεβαιότητα του πλήρους μετασχηματισμού σε πανελλαδικό επίπεδο είναι της τάξης των  $\pm 8$  cm, ενώ σε ορισμένα σημεία φτάνει τα  $\pm 2.5$  cm (Λάμπρου & Πανταζής, 2010).

Συνοπτικά, η διαδικασία μετασχηματισμού των συντεταγμένων από το HTRS07 στο ΕΓΣΑ87 είναι η εξής:

α. Μετασχηματισμός των καρτεσιανών συντεταγμένων από το HTRS07 στο ΕΓΣΑ87, με χρήση του 7-παραμετρικού μετασχηματισμού ομοιότητας.

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

$t_x = 203.437$  m,  $t_y = -73.461$  m,  $t_z = -243.594$  m,  $\varepsilon_x = -0.170$  arcsec,  $\varepsilon_y = -0.060$  arcsec,  $\varepsilon_z = -0.151$  arcsec,  $\delta s = -0.294$  ppm.

β. Μετατροπή των καρτεσιανών συντεταγμένων  $X_{\text{ΕΓΣΑ87}}$ ,  $Y_{\text{ΕΓΣΑ87}}$ ,  $Z_{\text{ΕΓΣΑ87}}$  σε προβολικές  $E'_{\text{ΕΓΣΑ87}}$  και  $N'_{\text{ΕΓΣΑ87}}$ , κάνοντας χρήση της χαρτογραφικής προβολής TM87.

γ. Υπολογισμός των διορθώσεων ( $\delta E$ ,  $\delta N$ ) κάνοντας παρεμβολή στους καννάβους διορθώσεων.

δ. Υπολογισμός των τελικών συντεταγμένων  $E_{\text{ΕΓΣΑ87}}$  και  $N_{\text{ΕΓΣΑ87}}$ , μέσω των σχέσεων  $E_{\text{ΕΓΣΑ87}} = E'_{\text{ΕΓΣΑ87}} + \delta E$  και  $N_{\text{ΕΓΣΑ87}} = N'_{\text{ΕΓΣΑ87}} + \delta N$ .



## 5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> : Συλλογή δορυφορικών δεδομένων

Στο πλαίσιο υλοποίησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, έγιναν δορυφορικές μετρήσεις σε 15 τριγωνομετρικά σημεία στην περιοχή της Αιτωλοακαρνανίας. Τα συγκεκριμένα σημεία ανήκουν στην ομάδα των 2470 τριγωνομετρικών σημείων που είχαν πραγματοποιηθεί δορυφορικές μετρήσεις κατά το έτος 2007. Σκοπός των νέων μετρήσεων είναι να προσδιοριστούν ξανά οι συντεταγμένες των σημείων στο σύστημα HTRS07 και να ελεγχθούν κατά πόσο έχουν διαφοροποιηθεί από τις αντίστοιχες συντεταγμένες που προέκυψαν το έτος 2007. Η υλοποίηση των νέων μετρήσεων έγινε με χρήση του συστήματος HEPOS.

### 5.1 Δορυφορικός δέκτης συλλογής δεδομένων

Οι δορυφορικές μετρήσεις των 15 τριγωνομετρικών σημείων πραγματοποιήθηκαν με τον GNSS δέκτη iRTK5 της εταιρείας Hi-Target. Ο συγκεκριμένος δέκτης είναι τελευταία τεχνολογίας, με δυνατότητα λήψης δορυφορικών δεδομένων από όλα τα συστήματα GNSS (GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU). Ο δέκτης αποκτήθηκε πρόσφατα από το εργαστήριο Γεωδαισίας - Τοπογραφίας του ΠΑΔΑ και συνοδεύεται από χειριστήριο (μοντέλο iHand30) της ίδιας εταιρείας με τον δέκτη. Η επικοινωνία μεταξύ χειριστηρίου και δέκτη γίνεται μέσω σύνδεσης Bluetooth, ενώ το λογισμικό που χρησιμοποιείται στο χειριστήριο για τον έλεγχο του δέκτη είναι το Hi-Survey Road.



Εικόνα 5.1: GNSS δέκτης Hi-Target iRTK5.

Πηγή: (<https://en.hi-target.com.cn/irtk5-gnss-rtk-system>).

Τα κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά του δέκτη, σύμφωνα με την κατασκευάστρια εταιρεία, φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.

|  |   |   |                                     |
|--|---|---|-------------------------------------|
| <b>Satellite Signals Tracked Simultaneously</b>        |   | <b>Code Differential GNSS Positioning</b>                       |                                     |
| Channels.....  | 336   | Horizontal.....   | 25 cm RMS                           |
| GPS.....   | L1C/A, L2E, L2C, L5                           | Vertical.....   | 50 cm RMS                           |
| BeiDou.....  | B1, B2, B3 <sup>1</sup>                       | SBAS.....   | 0.5 m(H), 0.85 m(V)                 |
| GLONASS.....   | L1C/A, L1P, L2C/A, L3 CDMA <sup>1</sup>       | <b>Real Time Kinematic (RTK)</b>                                |                                     |
| Galileo <sup>2</sup> .....                             | E1, ESA, E5B, E5AltBOC, E6 <sup>2</sup>       | <b>Single Baseline</b>  |                                     |
| IRNSS.....   | L5  | Horizontal.....   | 8mm+1ppm RMS                        |
| SBAS.....  | L1C/A, L5(QZSS, WAAS, MSAS, GAGAN)            | Vertical.....   | 15mm+1ppm RMS                       |
| Global correction service.....                         | Hi-RTP/RTX (optional)                         | <b>Network RTK(VRS, FKP, MAC)</b>                               |                                     |
| <b>POSITIONING PERFORMANCE</b>                         |   | Horizontal.....   | 8mm+0.5ppm RMS                      |
| <b>High-Precision Static</b>                           |   | Vertical.....   | 15mm+0.5ppm RMS                     |
| Horizontal.....  | 2.5 mm + 0.1 ppm RMS                          | Initialization time.....  | Typically 2-10s                     |
| Vertical.....  | 3.5 mm + 0.4 ppm RMS                          | Initialization reliability.....                                 | Typically > 99.99%                  |
| <b>Static and Fast Static</b>                          |   | <b>Hi-Fix<sup>3</sup></b>                                       |                                     |
| Horizontal.....  | 2.5 mm + 0.5 ppm RMS                          | Horizontal.....   | RTK <sup>4</sup> + 10 mm/minute RMS |
| Vertical.....  | 5 mm + 0.5 ppm RMS                            | Vertical.....   | RTK <sup>4</sup> + 20 mm/minute RMS |
| <b>Post Processing Kinematic (PPK / Stop &amp; Go)</b> |   | <b>Tilt Survey Performance</b>                                  |                                     |
| Horizontal.....  | 8mm+1ppm RMS                                  | Additional horizontal pole-tilt uncertainty typically less than |                                     |
| Vertical.....  | 15mm+1ppm RMS                                 | 10 mm + 0.7 mm / °tilt (2cm accuracy in the inclination of 30°  |                                     |
| Initialization time.....                               | Typically 10 min for base and 5 min for rover | under good condition)   |                                     |
| Initialization reliability.....                        | Typically > 99.9%                             |   |                                     |

Εικόνα 5.2: Κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά δέκτη Hi-Target iRTK5.

Πηγή: (<https://pdf.directindustry.com/pdf/novatest/irtk5-gnss-rtk-system/192190-1007241.html>).

## 5.2 Μετρήσεις πεδίου

Κατά τη περίοδο από 18 έως 21 Μαΐου 2023, στην περιοχή της Αιτωλοακαρνανίας, έγιναν δορυφορικές μετρήσεις σε 15 προκαθορισμένα τριγωνομετρικά σημεία του κρατικού δικτύου. Ο αρχικός σχεδιασμός προέβλεπε δορυφορικές μετρήσεις 18 τριγωνομετρικών σημείων, όμως έπειτα από επιτόπιο έλεγχο διαπιστώθηκε ότι ένα σημείο δεν υφίσταται πλέον, ενώ σε άλλα δύο ήταν αδύνατη η πρόσβαση. Για την υλοποίηση των μετρήσεων και συγκεκριμένα για τη δημιουργία των απαιτούμενων διανυσμάτων βάσης, έγινε χρήση του συστήματος HEPOS.

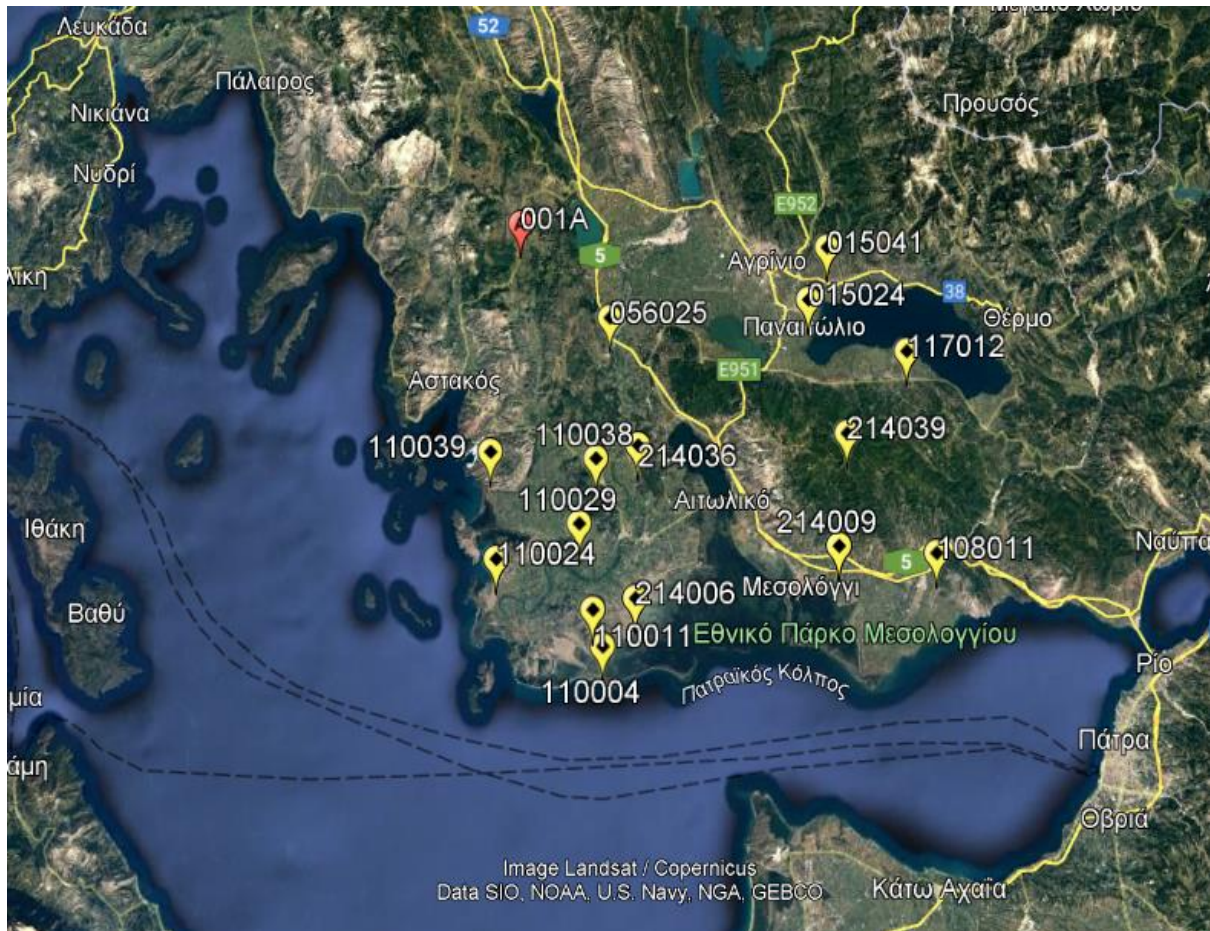
Στο πλαίσιο μιας ενιαίας διαδικασίας κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, τέθηκαν οι παρακάτω προδιαγραφές:

- α. Ο προσδιορισμός θέσης των σημείων να γίνει με τη μέθοδο του σχετικού στατικού εντοπισμού και της μετέπειτα επεξεργασίας των δορυφορικών δεδομένων (post-processing).
- β. Ο δέκτης να προσαρμοστεί σε τρικόχλιο, ώστε να επιτευχθεί ακριβής κέντρωση και οριζόντιωση αυτού.
- γ. Ο ρυθμός συλλογής δορυφορικών δεδομένων από τον δέκτη να είναι κάθε 15 δευτερόλεπτα.
- δ. Η διάρκεια συλλογής δορυφορικών δεδομένων για σημεία με ανοιχτό ορίζοντα να είναι τουλάχιστον 1 ώρα (και γωνία αποκοπής δεδομένων 10 μοίρες), ενώ για σημεία με περιορισμένο ορίζοντα να είναι τουλάχιστον 1.5 ώρα (και γωνία αποκοπής δεδομένων 5 μοίρες).
- ε. Για ύψος κεραίας δέκτη να λαμβάνεται η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της στέψης του βάρους και της χαρακτηριστικής σήμανσης του δέκτη (Antenna Reference Point - ARP).

Επιπλέον των στατικών μετρήσεων, στα σημεία όπου υπήρχε κάλυψη σήματος κινητής τηλεφωνίας, έγιναν και μετρήσεις προσδιορισμού θέσης σε πραγματικό χρόνο (RTK). Σκοπός των RTK μετρήσεων είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων τους με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της μεθόδου του σχετικού στατικού εντοπισμού (post-processing). Η υλοποίηση των RTK μετρήσεων έγινε με χρήση του συστήματος HEPOS. Η τεχνική (mount point) που επιλέχθηκε ήταν η Single Base RTK, η οποία αφορά την επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων από τα συστήματα GPS και GLONASS.

Για το σύνολο των στατικών μετρήσεων (post-processing) χρησιμοποιήθηκε ο σταθμός αναφοράς του HEPOS με κωδικό 001A και ονομασία «Μαχαιρά». Ο συγκεκριμένος σταθμός βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα της περιοχής σε υψόμετρο περίπου 120 m. Οι καρτεσιανές συντεταγμένες του σταθμού αναφοράς στο σύστημα HTRS07 είναι  $X = 4652928.9965$  m,  $Y = 1800365.8827$  m και  $Z = 3960522.9665$  m. Η επιλογή χρησιμοποίησης του ίδιου σταθμού αναφοράς για όλες τις μετρήσεις ήταν συνειδητή, ώστε τα εξαγόμενα διανύσματα βάσης να έχουν κοινό σημείο έναρξης. Οι αποστάσεις μεταξύ σταθμού αναφοράς και τριγωνομετρικών σημείων κυμαίνονται περίπου από 10 έως 47 km.

Στην Εικόνα 5.3 παρουσιάζονται οι θέσεις των 15 τριγωνομετρικών σημείων της ΓΥΣ στα οποία υλοποιήθηκαν οι μετρήσεις, καθώς και η θέση που βρίσκεται ο σταθμός αναφοράς του HEPOS.

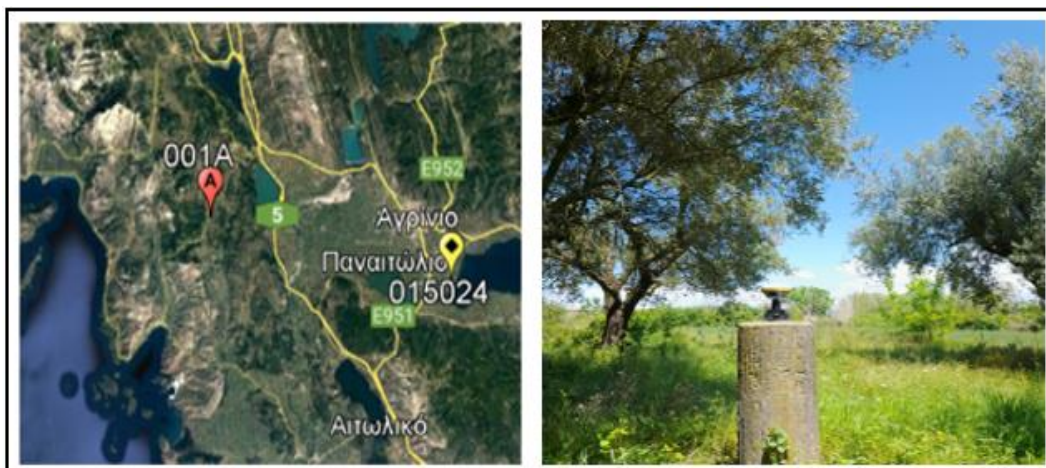


Εικόνα 5.3: Θέσεις σταθμού αναφοράς HEPOS και τριγωνομετρικών σημείων.

Το σημείο με κόκκινο χρώμα υποδεικνύει τη θέση που βρίσκεται ο σταθμός αναφοράς του HEPOS, ενώ τα σημεία με κίτρινο χρώμα υποδεικνύουν τις θέσεις των 15 τριγωνομετρικών σημείων της ΓΥΣ που έγιναν οι μετρήσεις. Ο εξαψήφιος αριθμός δίπλα από κάθε τριγωνομετρικό σημείο είναι ο κωδικός του, όπως αυτός έχει αποδοθεί από τη ΓΥΣ.

### 5.2.1 Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «ΑΜΜΟΣ» (015024)

Οι μετρήσεις στο τριγωνομετρικό σημείο «ΑΜΜΟΣ» (015024) έγιναν τη 19/5/2023. Το σημείο έχει περιορισμένο ορίζοντα, καθώς βρίσκεται εντός ελαιώνα. Η απόστασή του από τον σταθμό αναφοράς (001A) είναι περίπου 27 km.



Εικόνα 5.4: Τριγωνομετρικό σημείο «ΑΜΜΟΣ» (015024).

Τα στοιχεία των μετρήσεων για το συγκεκριμένο σημείο φαίνονται παρακάτω.

**Πίνακας 5.1:** Στοιχεία μετρήσεων σημείου «ΑΜΜΟΣ» (015024).

| Κωδικός | Ημερομ. μέτρησης | Χρόνος έναρξης (hh:mm:ss) | Χρόνος πέρατος (hh:mm:ss) | Διάρκεια μέτρησης (hh:mm:ss) | Ύψος κεραίας (ARP) (m) | Ρυθμός καταγρ. (sec) | Γωνία αποκοπής (deg) | RTK μέτρηση |
|---------|------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 015024  | 19/5/2023        | 12:02:15                  | 13:33:15                  | 01:31:00                     | 0.144                  | 15                   | 5                    | Ναι         |

### 5.2.2 Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «ΠΕΙΝΑ» (015041)

Οι μετρήσεις στο τριγωνομετρικό σημείο «ΠΕΙΝΑ» (015041) έγιναν τη 19/5/2023. Το σημείο έχει περιορισμένο ορίζοντα, καθώς βρίσκεται εντός πυκνής βλάστησης. Η απόστασή του από τον σταθμό αναφοράς (001Α) είναι περίπου 28 km.



**Εικόνα 5.5:** Τριγωνομετρικό σημείο «ΠΕΙΝΑ» (015041).

Τα στοιχεία των μετρήσεων για το συγκεκριμένο σημείο φαίνονται παρακάτω.

**Πίνακας 5.2:** Στοιχεία μετρήσεων σημείου «ΠΕΙΝΑ» (015041).

| Κωδικός | Ημερομ. μέτρησης | Χρόνος έναρξης (hh:mm:ss) | Χρόνος πέρατος (hh:mm:ss) | Διάρκεια μέτρησης (hh:mm:ss) | Ύψος κεραίας (ARP) (m) | Ρυθμός καταγρ. (sec) | Γωνία αποκοπής (deg) | RTK μέτρηση |
|---------|------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 015041  | 19/5/2023        | 14:22:15                  | 15:53:15                  | 01:31:00                     | 0.142                  | 15                   | 5                    | Ναι         |

### 5.2.3 Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «ΚΑΣΤΡΟΝ» (056025)

Οι μετρήσεις στο τριγωνομετρικό σημείο «ΚΑΣΤΡΟΝ» (056025) έγιναν την 20/5/2023. Το σημείο έχει ανοιχτό ορίζοντα και απέχει από τον σταθμό αναφοράς (001Α) περίπου 12 km.



**Εικόνα 5.6:** Τριγωνομετρικό σημείο «ΚΑΣΤΡΟΝ» (056025).

Τα στοιχεία των μετρήσεων για το συγκεκριμένο σημείο φαίνονται παρακάτω.

**Πίνακας 5.3:** Στοιχεία μετρήσεων σημείου «ΚΑΣΤΡΟΝ» (056025).

| Κωδικός | Ημερομ. μέτρησης | Χρόνος έναρξης (hh:mm:ss) | Χρόνος πέρατος (hh:mm:ss) | Διάρκεια μέτρησης (hh:mm:ss) | Ύψος κεραίας (ARP) (m) | Ρυθμός καταγρ. (sec) | Γωνία αποκοπής (deg) | RTK μέτρηση |
|---------|------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 056025  | 20/5/2023        | 16:07:30                  | 17:10:45                  | 01:03:15                     | 0.146                  | 15                   | 10                   | Ναι         |

#### 5.2.4 Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «ΠΑΛΙΟΣΤΑΝΗ» (108011)

Οι μετρήσεις στο τριγωνομετρικό σημείο «ΠΑΛΙΟΣΤΑΝΗ» (108011) έγιναν τη 19/5/2023. Το σημείο έχει ανοιχτό ορίζοντα και απέχει από τον σταθμό αναφοράς (001Α) περίπου 47 km.



**Εικόνα 5.7:** Τριγωνομετρικό σημείο «ΠΑΛΙΟΣΤΑΝΗ» (108011).

Τα στοιχεία των μετρήσεων για το συγκεκριμένο σημείο φαίνονται παρακάτω.

**Πίνακας 5.4:** Στοιχεία μετρήσεων σημείου «ΠΑΛΙΟΣΤΑΝΗ» (108011).

| Κωδικός | Ημερομ. μέτρησης | Χρόνος έναρξης (hh:mm:ss) | Χρόνος πέρατος (hh:mm:ss) | Διάρκεια μέτρησης (hh:mm:ss) | Ύψος κεραίας (ARP) (m) | Ρυθμός καταγρ. (sec) | Γωνία αποκοπής (deg) | RTK μέτρηση |
|---------|------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 108011  | 19/5/2023        | 17:23:00                  | 18:24:45                  | 01:01:45                     | 0.144                  | 15                   | 10                   | Ναι         |

#### 5.2.5 Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «ΤΑΞΙΑΡΧΗΣ» (110011)

Οι μετρήσεις στο τριγωνομετρικό σημείο «ΤΑΞΙΑΡΧΗΣ» (110011) έγιναν τη 18/5/2023. Το σημείο έχει ανοιχτό ορίζοντα και απέχει από τον σταθμό αναφοράς (001Α) περίπου 34 km.



**Εικόνα 5.8:** Τριγωνομετρικό σημείο «ΤΑΞΙΑΡΧΗΣ» (110011).

Τα στοιχεία των μετρήσεων για το συγκεκριμένο σημείο φαίνονται παρακάτω.

**Πίνακας 5.5:** Στοιχεία μετρήσεων σημείου «ΤΑΞΙΑΡΧΗΣ» (110011).

| Κωδικός | Ημερομ. μέτρησης | Χρόνος έναρξης (hh:mm:ss) | Χρόνος πέρατος (hh:mm:ss) | Διάρκεια μέτρησης (hh:mm:ss) | Ύψος κεραίας (ARP) (m) | Ρυθμός καταγρ. (sec) | Γωνία αποκοπής (deg) | RTK μέτρηση |
|---------|------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 110011  | 18/5/2023        | 11:02:00                  | 12:05:30                  | 01:03:30                     | 0.144                  | 15                   | 10                   | Ναι         |

### 5.2.6 Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «ΠΑΛΙΟΓΑΛΑΡΑ» (110024)

Οι μετρήσεις στο τριγωνομετρικό σημείο «ΠΑΛΙΟΓΑΛΑΡΑ» (110024) έγιναν τη 18/5/2023. Το σημείο έχει ανοιχτό ορίζοντα και απέχει από τον σταθμό αναφοράς (001A) περίπου 30 km.



**Εικόνα 5.9:** Τριγωνομετρικό σημείο «ΠΑΛΙΟΓΑΛΑΡΑ» (110024).

Τα στοιχεία των μετρήσεων για το συγκεκριμένο σημείο φαίνονται παρακάτω.

**Πίνακας 5.6:** Στοιχεία μετρήσεων σημείου «ΠΑΛΙΟΓΑΛΑΡΑ» (110024).

| Κωδικός | Ημερομ. μέτρησης | Χρόνος έναρξης (hh:mm:ss) | Χρόνος πέρατος (hh:mm:ss) | Διάρκεια μέτρησης (hh:mm:ss) | Ύψος κεραίας (ARP) (m) | Ρυθμός καταγρ. (sec) | Γωνία αποκοπής (deg) | RTK μέτρηση |
|---------|------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 110024  | 18/5/2023        | 17:26:45                  | 18:27:45                  | 01:01:00                     | 0.144                  | 15                   | 10                   | Ναι         |

### 5.2.7 Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «ΠΕΤΡΑΛΩΝΑ» (110029)

Οι μετρήσεις στο τριγωνομετρικό σημείο «ΠΕΤΡΑΛΩΝΑ» (110029) έγιναν τη 18/5/2023. Το σημείο έχει ανοιχτό ορίζοντα και απέχει από τον σταθμό αναφοράς (001A) περίπου 27 km.



**Εικόνα 5.10:** Τριγωνομετρικό σημείο «ΠΕΤΡΑΛΩΝΑ» (110029).

Τα στοιχεία των μετρήσεων για το συγκεκριμένο σημείο φαίνονται παρακάτω.

**Πίνακας 5.7:** Στοιχεία μετρήσεων σημείου «ΠΕΤΡΑΛΩΝΑ» (110029).

| Κωδικός | Ημερομ. μέτρησης | Χρόνος έναρξης (hh:mm:ss) | Χρόνος πέρατος (hh:mm:ss) | Διάρκεια μέτρησης (hh:mm:ss) | Ύψος κεραίας (ARP) (m) | Ρυθμός καταγρ. (sec) | Γωνία αποκοπής (deg) | RTK μέτρηση |
|---------|------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 110029  | 18/5/2023        | 15:35:30                  | 16:36:45                  | 01:01:15                     | 0.143                  | 15                   | 10                   | Ναι         |

### 5.2.8 Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «ΠΑΝΑΓΙΑ» (110038)

Οι μετρήσεις στο τριγωνομετρικό σημείο «ΠΑΝΑΓΙΑ» (110038) έγιναν την 21/5/2023. Το σημείο έχει ανοιχτό ορίζοντα και απέχει από τον σταθμό αναφοράς (001Α) περίπου 22 km.



**Εικόνα 5.11:** Τριγωνομετρικό σημείο «ΠΑΝΑΓΙΑ» (110038).

Τα στοιχεία των μετρήσεων για το συγκεκριμένο σημείο φαίνονται παρακάτω.

**Πίνακας 5.8:** Στοιχεία μετρήσεων σημείου «ΠΑΝΑΓΙΑ» (110038).

| Κωδικός | Ημερομ. μέτρησης | Χρόνος έναρξης (hh:mm:ss) | Χρόνος πέρατος (hh:mm:ss) | Διάρκεια μέτρησης (hh:mm:ss) | Ύψος κεραίας (ARP) (m) | Ρυθμός καταγρ. (sec) | Γωνία αποκοπής (deg) | RTK μέτρηση |
|---------|------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 110038  | 21/5/2023        | 11:25:45                  | 12:26:46                  | 01:01:01                     | 0.144                  | 15                   | 10                   | Ναι         |

### 5.2.9 Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «ΒΑΛΤΙΟΝ» (110039)

Οι μετρήσεις στο τριγωνομετρικό σημείο «ΒΑΛΤΙΟΝ» (110039) έγιναν την 21/5/2023. Το σημείο δεν έχει πλήρως ανοιχτό ορίζοντα, καθώς παραπλεύρως αυτού υπάρχει μεγάλο δέντρο. Η απόστασή του από τον σταθμό αναφοράς (001Α) είναι περίπου 20 km.



**Εικόνα 5.12:** Τριγωνομετρικό σημείο «ΒΑΛΤΙΟΝ» (110039).

Τα στοιχεία των μετρήσεων για το συγκεκριμένο σημείο φαίνονται παρακάτω.

**Πίνακας 5.9:** Στοιχεία μετρήσεων σημείου «ΒΑΛΤΙΟΝ» (110039).

| Κωδικός | Ημερομ. μέτρησης | Χρόνος έναρξης (hh:mm:ss) | Χρόνος πέρατος (hh:mm:ss) | Διάρκεια μέτρησης (hh:mm:ss) | Ύψος κεραίας (ARP) (m) | Ρυθμός καταγρ. (sec) | Γωνία αποκοπής (deg) | RTK μέτρηση |
|---------|------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 110039  | 21/5/2023        | 07:48:00                  | 09:18:45                  | 01:30:45                     | 0.143                  | 15                   | 5                    | Ναι         |

### 5.2.10 Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «ΔΡΥΜΟΥΛΙΑ» (117012)

Οι μετρήσεις στο τριγωνομετρικό σημείο «ΔΡΥΜΟΥΛΙΑ» (117012) έγιναν τη 19/5/2023. Το σημείο έχει περιορισμένο ορίζοντα, καθώς βρίσκεται εντός πυκνής βλάστησης. Η απόστασή του από τον σταθμό αναφοράς (001Α) είναι περίπου 36 km.



**Εικόνα 5.13:** Τριγωνομετρικό σημείο «ΔΡΥΜΟΥΛΙΑ» (117012).

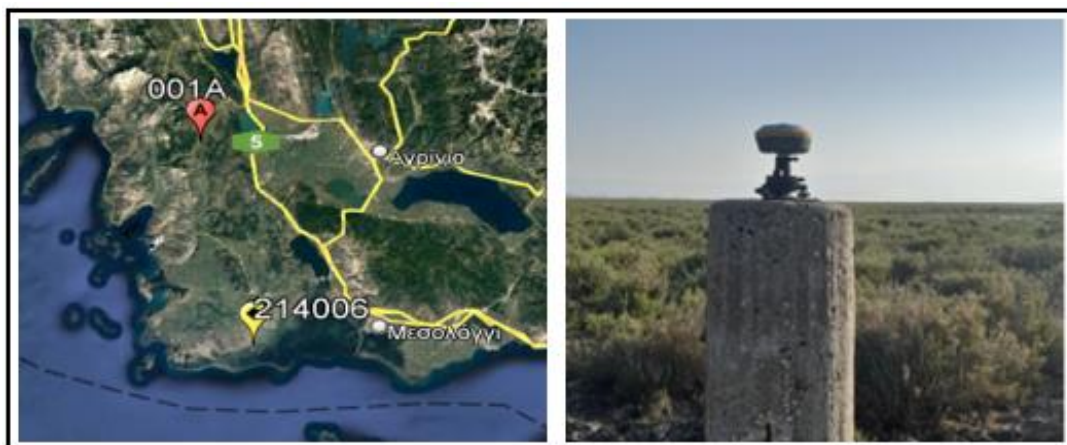
Τα στοιχεία των μετρήσεων για το συγκεκριμένο σημείο φαίνονται παρακάτω.

**Πίνακας 5.10:** Στοιχεία μετρήσεων σημείου «ΔΡΥΜΟΥΛΙΑ» (117012).

| Κωδικός | Ημερομ. μέτρησης | Χρόνος έναρξης (hh:mm:ss) | Χρόνος πέρατος (hh:mm:ss) | Διάρκεια μέτρησης (hh:mm:ss) | Ύψος κεραίας (ARP) (m) | Ρυθμός καταγρ. (sec) | Γωνία αποκοπής (deg) | RTK μέτρηση |
|---------|------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 117012  | 19/5/2023        | 08:56:15                  | 10:27:15                  | 01:31:00                     | 0.144                  | 15                   | 5                    | Ναι         |

### 5.2.11 Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «Ν.ΠΛΑΤΕΙΑ» (214006)

Οι μετρήσεις στο τριγωνομετρικό σημείο «Ν.ΠΛΑΤΕΙΑ» (214006) έγιναν τη 18/5/2023. Το σημείο έχει ανοιχτό ορίζοντα και απέχει από τον σταθμό αναφοράς (001Α) περίπου 34 km.



**Εικόνα 5.14:** Τριγωνομετρικό σημείο «Ν.ΠΛΑΤΕΙΑ» (214006).



Τα στοιχεία των μετρήσεων για το συγκεκριμένο σημείο φαίνονται παρακάτω.

**Πίνακας 5.11:** Στοιχεία μετρήσεων σημείου «Ν.ΠΛΑΤΕΙΑ» (214006).

| Κωδικός | Ημερομ. μέτρησης | Χρόνος έναρξης (hh:mm:ss) | Χρόνος πέρατος (hh:mm:ss) | Διάρκεια μέτρησης (hh:mm:ss) | Ύψος κεραίας (ARP) (m) | Ρυθμός καταγρ. (sec) | Γωνία αποκοπής (deg) | RTK μέτρηση |
|---------|------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 214006  | 18/5/2023        | 07:54:30                  | 08:57:15                  | 01:02:45                     | 0.144                  | 15                   | 10                   | Ναι         |

### 5.2.12 Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «ΠΑΛΗΟΓΙΑΝΝΗΣ» (214009)

Οι μετρήσεις στο τριγωνομετρικό σημείο «ΠΑΛΗΟΓΙΑΝΝΗΣ» (214009) έγιναν τη 19/5/2023. Το σημείο έχει ανοιχτό ορίζοντα και απέχει από τον σταθμό αναφοράς (001Α) περίπου 40 km.



**Εικόνα 5.15:** Τριγωνομετρικό σημείο «ΠΑΛΗΟΓΙΑΝΝΗΣ» (214009).

Τα στοιχεία των μετρήσεων για το συγκεκριμένο σημείο φαίνονται παρακάτω.

**Πίνακας 5.12:** Στοιχεία μετρήσεων σημείου «ΠΑΛΗΟΓΙΑΝΝΗΣ» (214009).

| Κωδικός | Ημερομ. μέτρησης | Χρόνος έναρξης (hh:mm:ss) | Χρόνος πέρατος (hh:mm:ss) | Διάρκεια μέτρησης (hh:mm:ss) | Ύψος κεραίας (ARP) (m) | Ρυθμός καταγρ. (sec) | Γωνία αποκοπής (deg) | RTK μέτρηση |
|---------|------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 214009  | 19/5/2023        | 19:07:45                  | 20:08:30                  | 01:00:45                     | 0.144                  | 15                   | 10                   | Ναι         |

### 5.2.13 Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «ΑΓ.ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ» (214036)

Οι μετρήσεις στο τριγωνομετρικό σημείο «ΑΓ.ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ» (214036) έγιναν την 20/5/2023. Το σημείο δεν έχει πλήρως ανοιχτό ορίζοντα, καθώς περιτριγυρίζεται από χαμηλά δέντρα. Η απόστασή του από τον σταθμό αναφοράς (001Α) είναι περίπου 22 km.



**Εικόνα 5.16:** Τριγωνομετρικό σημείο «ΑΓ.ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ» (214036).

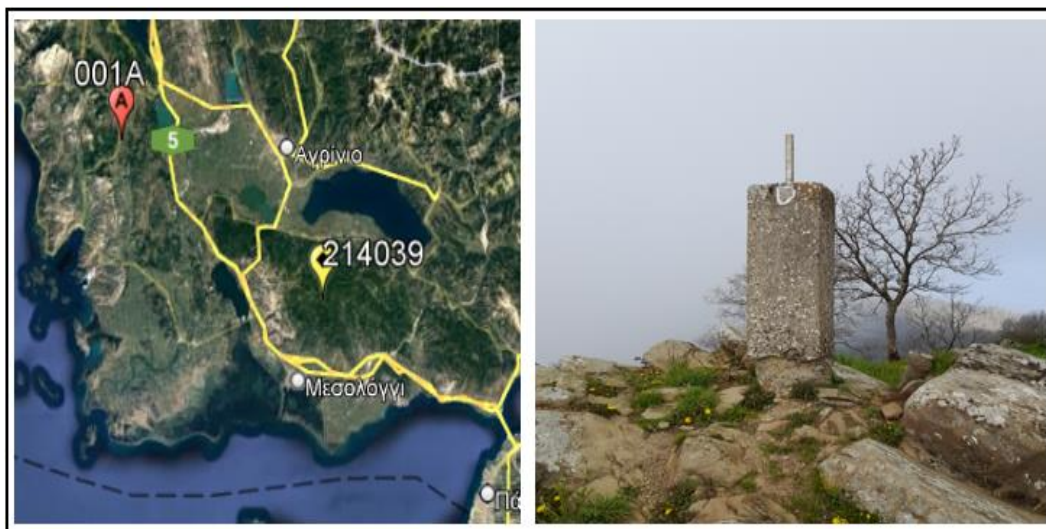
Τα στοιχεία των μετρήσεων για το συγκεκριμένο σημείο φαίνονται παρακάτω.

**Πίνακας 5.13:** Στοιχεία μετρήσεων σημείου «ΑΓ.ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ» (214036).

| Κωδικός | Ημερομ. μέτρησης | Χρόνος έναρξης (hh:mm:ss) | Χρόνος πέρατος (hh:mm:ss) | Διάρκεια μέτρησης (hh:mm:ss) | Ύψος κεραίας (ARP) (m) | Ρυθμός καταγρ. (sec) | Γωνία αποκοπής (deg) | RTK μέτρηση |
|---------|------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 214036  | 20/5/2023        | 07:26:30                  | 08:57:30                  | 01:31:00                     | 0.147                  | 15                   | 5                    | Ναι         |

#### 5.2.14 Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «ΖΥΓΟΣ» (214039)

Οι μετρήσεις στο τριγωνομετρικό σημείο «ΖΥΓΟΣ» (214039) έγιναν την 20/5/2023. Το σημείο έχει ανοιχτό ορίζοντα και απέχει από τον σταθμό αναφοράς (001A) περίπου 34 km. Λόγω αδυναμίας λήψης σήματος κινητής τηλεφωνίας δεν υλοποιήθηκαν RTK μετρήσεις.



**Εικόνα 5.17:** Τριγωνομετρικό σημείο «ΖΥΓΟΣ» (214039).

Τα στοιχεία των μετρήσεων για το συγκεκριμένο σημείο φαίνονται παρακάτω.

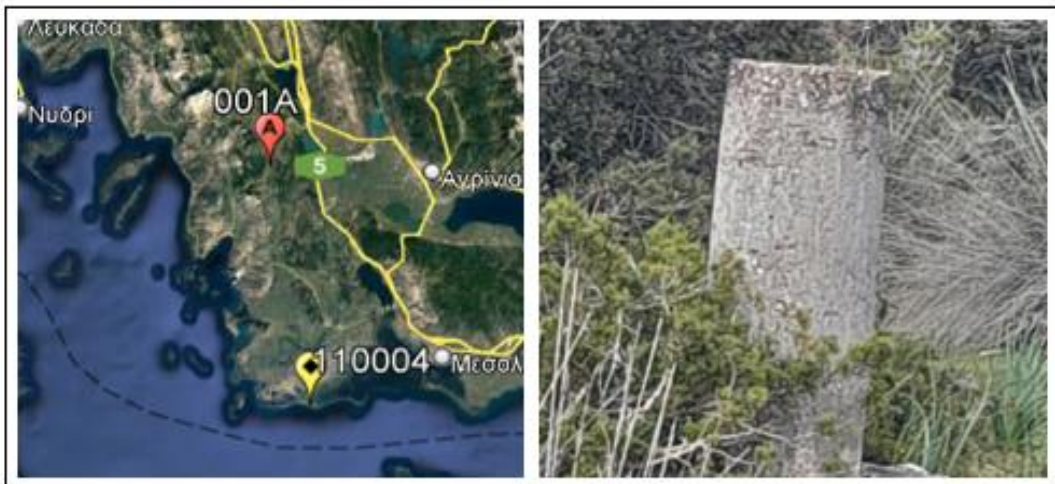
**Πίνακας 5.14:** Στοιχεία μετρήσεων σημείου «ΖΥΓΟΣ» (214039).

| Κωδικός | Ημερομ. μέτρησης | Χρόνος έναρξης (hh:mm:ss) | Χρόνος πέρατος (hh:mm:ss) | Διάρκεια μέτρησης (hh:mm:ss) | Ύψος κεραίας (ARP) (m) | Ρυθμός καταγρ. (sec) | Γωνία αποκοπής (deg) | RTK μέτρηση |
|---------|------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 214039  | 20/5/2023        | 11:46:15                  | 12:45:45                  | 00:59:30                     | 0.390                  | 15                   | 10                   | Όχι         |

#### 5.2.15 Μετρήσεις τριγωνομετρικού σημείου «ΑΝΩΝΥΜΟΝ» (110004)

Το συγκεκριμένο σημείο βρίσκεται σε κακή κατάσταση, καθώς το βάθρο του έχει λάβει μια αισθητή κλίση από την κατακόρυφο. Το ύψος του βάρου είναι 1.10 m, ενώ η κλίση του από την κατακόρυφο μετρήθηκε  $4^{\circ}.47$  με οριζόντια γωνία διεύθυνσης  $071^{\circ}$ . Παρά την κακή κατάσταση του βάρου, αποφασίστηκε να γίνει εκμετάλλευση του σημείου και ελήφθησαν δορυφορικές μετρήσεις. Βέβαια, στα εξαγόμενα αποτελέσματα θα γίνουν όλες οι απαραίτητες διορθώσεις λόγω αυτής της κλίσης. Τα διορθωμένα αποτελέσματα που θα προκύψουν, καθώς είναι προσεγγιστικά, θα συνδράμουν επικουρικά στις επικείμενες συγκρίσεις.

Οι μετρήσεις στο τριγωνομετρικό σημείο έγιναν τη 18/5/2023. Το σημείο έχει ανοιχτό ορίζοντα και απέχει από τον σταθμό αναφοράς (001A) περίπου 38 km.



**Εικόνα 5.18:** Τριγωνομετρικό σημείο «ΑΝΩΝΥΜΟΝ» (110004).

Τα στοιχεία των μετρήσεων για το συγκεκριμένο σημείο φαίνονται παρακάτω.

**Πίνακας 5.15:** Στοιχεία μετρήσεων σημείου «ΑΝΩΝΥΜΟΝ» (110004).

| Κωδικός | Ημερομ. μέτρησης | Χρόνος έναρξης (hh:mm:ss) | Χρόνος πέρατος (hh:mm:ss) | Διάρκεια μέτρησης (hh:mm:ss) | Ύψος κεραίας (ARP) (m) | Ρυθμός καταγρ. (sec) | Γωνία αποκοπής (deg) | RTK μέτρηση |
|---------|------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| 110004  | 18/5/2023        | 13:06:45                  | 14:07:45                  | 1:01:00                      | 0.150                  | 15                   | 10                   | Ναι         |

## 6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> : Επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων

Τα δορυφορικά δεδομένα που συλλέχθηκαν από 18 έως 21 Μαΐου 2023 επιλέχθηκε να επεξεργαστούν από δύο διαφορετικά λογισμικά, ώστε να υπάρχει σύγκριση των εξαγόμενων αποτελεσμάτων τους. Το πρώτο λογισμικό επεξεργασίας που χρησιμοποιήθηκε ήταν η βασική έκδοση του HGO (Hi-Target Geomatics Office) (Ver. 2.0.4) που αποτελεί το επίσημο λογισμικό επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων της εταιρείας Hi-Target. Το δεύτερο λογισμικό ήταν το TBC (Trimble Business Center) (Ver. 5.20) της εταιρείας Trimble, ένα εμπορικό και αξιόπιστο λογισμικό επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων.

Τα δορυφορικά δεδομένα που καταγράφει ο δέκτης iRTK5 κατά τη διάρκεια των στατικών μετρήσεων, αποθηκεύονται σε μορφή αρχείου RINEX 3.02. Η συγκεκριμένη μορφή υποστηρίζει δορυφορικά δεδομένα όλων των συστημάτων GNSS (GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU). Σχετικά με το σύστημα HEPOS, αυτό μπορεί να αποστείλει δορυφορικά δεδομένα σε μορφή αρχείων RINEX version 2 (2.10 και 2.11) και version 3 (3.02, 3.03 και 3.04). Τα αρχεία RINEX version 3, όπως ειπώθηκε παραπάνω, υποστηρίζουν δορυφορικά δεδομένα που προέρχονται από όλα τα συστήματα GNSS. Σε αντίθεση, τα αρχεία RINEX version 2 υποστηρίζουν δορυφορικά δεδομένα από τα συστήματα GPS και GLONASS.

Το λογισμικό HGO, ενώ αναγνωρίζει τα δορυφορικά δεδομένα του δέκτη σε μορφή αρχείου RINEX 3.02, αδυνατεί να αναγνωρίσει τα δεδομένα του HEPOS σε μορφή αρχείου RINEX version 3. Έτσι, αποφασίστηκε η επεξεργασία με το συγκεκριμένο λογισμικό να γίνει χρησιμοποιώντας αρχεία RINEX 3.02 για τα δεδομένα του δέκτη και RINEX 2.11 για τα δεδομένα του σταθμού αναφοράς. Η συγκεκριμένη επιλογή εξάγει αποτελέσματα που προέρχονται από την επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων των συστημάτων GPS και GLONASS. Όμως διαπιστώθηκε ότι η βασική έκδοση του λογισμικού HGO, η οποία διατίθεται μαζί με τους δέκτες χωρίς επιπρόσθετο κόστος, αδυνατεί να επεξεργαστεί δεδομένα του συστήματος GLONASS. Επομένως, τα τελικά αποτελέσματα από το συγκεκριμένο λογισμικό θα προέρχονται μόνο από δεδομένα του συστήματος GPS.

Το λογισμικό TBC δύναται να επεξεργαστεί δεδομένα από αρχεία RINEX versions 2 και 3. Έτσι, αποφασίστηκε η επεξεργασία των δεδομένων με το συγκεκριμένο λογισμικό να γίνει δύο φορές. Την πρώτη φορά κάνοντας χρήση αρχείων RINEX 3.02 για δεδομένα από τον δέκτη και RINEX 2.11 για δεδομένα από τον σταθμό αναφοράς. Με αυτή την επιλογή τα τελικά αποτελέσματα θα προέρχονται από δορυφορικά δεδομένα των συστημάτων GPS και GLONASS. Τη δεύτερη φορά η επεξεργασία θα γίνει χρησιμοποιώντας αποκλειστικά αρχεία RINEX 3.02 τόσο για δεδομένα από τον δέκτη, όσο και για τον σταθμό αναφοράς. Τα αρχεία RINEX 3.02 από το σταθμό αναφοράς του HEPOS, ενώ θα έπρεπε να περιέχουν δορυφορικά δεδομένα όλων των συστημάτων GNSS, απουσίαζαν από αυτά τα δεδομένα του συστήματος BEIDOU. Έτσι, τα τελικά αποτελέσματα που θα προκύψουν από το λογισμικό TBC με χρήση αρχείων RINEX 3.02 (για δέκτη και σταθμό αναφοράς), θα προέρχονται από δορυφορικά δεδομένα των συστημάτων GPS, GLONASS και GALILEO.

Στο πλαίσιο μιας ενιαίας διαδικασίας κατά την επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων από τα λογισμικά, τέθηκε η τήρηση των παρακάτω προδιαγραφών:

α. Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας να είναι καρτεσιανές συντεταγμένες (X, Y, Z) στο σύστημα αναφοράς HTRS07.

β. Όλα τα εξαγόμενα ορθομετρικά υψόμετρα των τριγωνομετρικών σημείων να αναφέρονται στη στέψη του βάθρου τους.

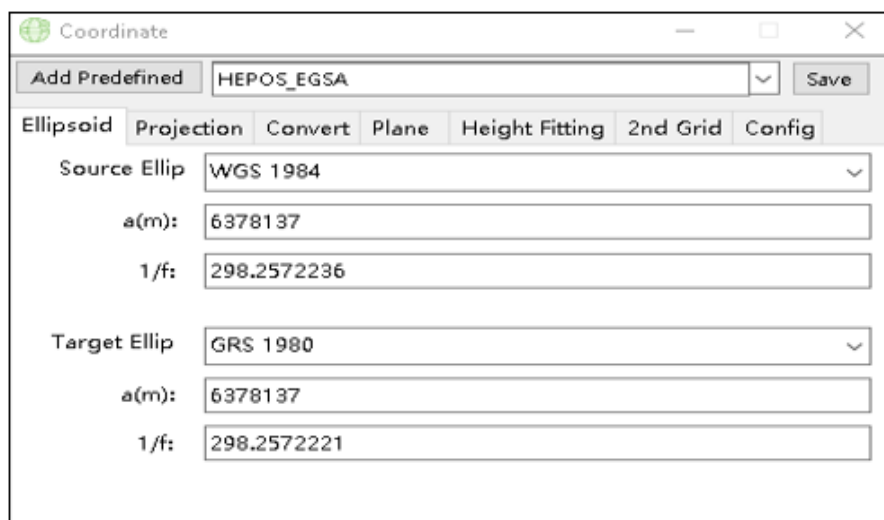
γ. Οι καρτεσιανές συντεταγμένες (X, Y, Z) των σημείων στο σύστημα HTRS07 να μετατραπούν σε χαρτογραφικές συντεταγμένες (E, N) και H στο ίδιο σύστημα αναφοράς. Η μετατροπή των συντεταγμένων να γίνει μέσω της επίσημης εφαρμογής μετασχηματισμού του HEPOS (Hepos Transformation Tool-HeposTT).

δ. Οι καρτεσιανές συντεταγμένες (X, Y, Z) των σημείων στο σύστημα HTRS07 να μετασχηματιστούν σε χαρτογραφικές συντεταγμένες (E, N) και H στο σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ 87. Ο μετασχηματισμός αυτός να γίνει δύο φορές, αρχικά μέσω της επίσημης εφαρμογής μετασχηματισμού του HEPOS (HeposTT) και δευτερευόντως μέσω του εκάστοτε λογισμικού επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων.

Ο μετασχηματισμός των συντεταγμένων από το σύστημα HTRS07 στο ΕΓΣΑ87 επιλέχθηκε να γίνει με δύο τρόπους, ώστε να διαπιστωθεί κατά πόσο συμπίπτουν τα τελικά αποτελέσματα των μετασχηματισμών.

## 6.1 Επεξεργασία δεδομένων με λογισμικό HGO

Τα αρχεία που εισήχθησαν στο λογισμικό HGO ήταν της μορφής RINEX 3.02 για τα δεδομένα του δέκτη και RINEX 2.11 για τα δεδομένα του σταθμού αναφοράς (001A). Η επιλογή που έγινε στο λογισμικό, σε σχέση με το σύστημα αναφοράς, ήταν η HEPOS\_EGSA. Με την συγκεκριμένη επιλογή η θέση του σημείου ελέγχου (control point) ορίζεται σε μορφή καρτεσιανών συντεταγμένων στο σύστημα HTRS07. Στην περίπτωση μας σημείο ελέγχου τέθηκε ο σταθμός αναφοράς του HEPOS. Επίσης, η επιλογή HEPOS\_EGSA αποδίδει τις υπολογιζόμενες θέσεις των σημείων σε καρτεσιανές συντεταγμένες στο σύστημα HTRS07, καθώς και σε χαρτογραφικές στο σύστημα ΕΓΣΑ87. Η απόδοση των χαρτογραφικών συντεταγμένων στο ΕΓΣΑ87 γίνεται μέσω μετασχηματισμού (HTRS07-ΕΓΣΑ87) που διαθέτει το ίδιο το λογισμικό. Ο συγκεκριμένος μετασχηματισμός πρέπει κανονικά να ταυτίζεται με αυτόν που χρησιμοποιεί η επίσημη εφαρμογή του HEPOS (7-παραμετρικός μετασχηματισμός ομοιότητας με χρήση ζεύγους καννάβων οριζοντιογραφικών διορθώσεων).



Εικόνα 6.1: Επιλογή συστήματος αναφοράς στο λογισμικό HGO.

Αφού καθορίστηκε το σύστημα αναφοράς, έγινε η κατάλληλη παραμετροποίηση των δεδομένων όπως ο καθορισμός μοντέλου δεκτών, τα ύψη κεραιών, ο τρόπος μέτρησης ύψους

κεραίας, η γωνία αποκοπής δεδομένων κ.α. Ειδικά για τον τρόπο μέτρησης του ύψους κεραίας δέκτη, τέθηκε η επιλογή Antenna\_Bottom (κατακόρυφη απόσταση).

| Point | Time Span(Min) | Epoch | Interval(s) | Lat               | Lon              | Antenna           | Receiver | Measure to     | Antenna Height(m) |
|-------|----------------|-------|-------------|-------------------|------------------|-------------------|----------|----------------|-------------------|
| 4036  | 01:31:00       | 365   | 15          | 038:27:13.9771... | 021:16:07.33591E | HITRTKS NONE      | IRTKS    | Antenna Bottom | 0.1467            |
| 4009  | 01:00:45       | 244   | 15          | 038:22:19.0854... | 021:28:07.17352E | HITRTKS NONE      | IRTKS    | Antenna Bottom | 0.144             |
| 4006  | 01:02:45       | 252   | 15          | 038:20:13.8921... | 021:15:41.63130E | HITRTKS NONE      | IRTKS    | Antenna Bottom | 0.144             |
| 0039  | 01:30:45       | 364   | 15          | 038:27:08.0366... | 021:07:05.05827E | HITRTKS NONE      | IRTKS    | Antenna Bottom | 0.1426            |
| 0038  | 01:01:00       | 245   | 15          | 038:26:41.3097... | 021:13:31.47396E | HITRTKS NONE      | IRTKS    | Antenna Bottom | 0.144             |
| 0029  | 01:01:15       | 246   | 15          | 038:23:42.5926... | 021:12:24.72983E | HITRTKS NONE      | IRTKS    | Antenna Bottom | 0.1426            |
| 0024  | 01:01:00       | 245   | 15          | 038:22:12.3018... | 021:07:20.20394E | HITRTKS NONE      | IRTKS    | Antenna Bottom | 0.144             |
| 001A  | 01:04:45       | 260   | 15          | 038:37:52.8829... | 021:09:10.92787E | TRM115000.00 TZGD | TRIMB... | Antenna Bottom | 0                 |
| 001A  | 01:09:45       | 280   | 15          | 038:37:52.8829... | 021:09:10.92787E | TRM115000.00 TZGD | TRIMB... | Antenna Bottom | 0                 |
| 001A  | 01:04:45       | 260   | 15          | 038:37:52.8829... | 021:09:10.92787E | TRM115000.00 TZGD | TRIMB... | Antenna Bottom | 0                 |
| 001A  | 01:09:45       | 280   | 15          | 038:37:52.8829... | 021:09:10.92787E | TRM115000.00 TZGD | TRIMB... | Antenna Bottom | 0                 |
| 001A  | 01:09:45       | 280   | 15          | 038:37:52.8829... | 021:09:10.92787E | TRM115000.00 TZGD | TRIMB... | Antenna Bottom | 0                 |
| 001A  | 01:34:45       | 380   | 15          | 038:37:52.8829... | 021:09:10.92787E | TRM115000.00 TZGD | TRIMB... | Antenna Bottom | 0                 |
| 001A  | 01:39:45       | 400   | 15          | 038:37:52.8829... | 021:09:10.92787E | TRM115000.00 TZGD | TRIMB... | Antenna Bottom | 0                 |
| 001A  | 01:34:45       | 380   | 15          | 038:37:52.8829... | 021:09:10.92787E | TRM115000.00 TZGD | TRIMB... | Antenna Bottom | 0                 |

Εικόνα 6.2: Παραμετροποίηση κεραίων στο λογισμικό HGO.

Μετά την κατάλληλη παραμετροποίηση, έγινε επίλυση των διανυσμάτων βάσης μεταξύ του σταθμού αναφοράς και των 15 τριγωνομετρικών σημείων. Η επίλυση όλων των διανυσμάτων ήταν επιτυχής (fixed) με τους δείκτες Ratio, RMS (μέσω τετραγωνικό σφάλμα) και Std (τυπική απόκλιση) να βρίσκονται εντός των προβλεπόμενων ορίων.

| Type   | Start | End  | Time | Result | Frequency | Ratio | RMS(m) | DX(m)      | DY(m)      | DZ(m)       | Std(m) | Length(m)  |
|--------|-------|------|------|--------|-----------|-------|--------|------------|------------|-------------|--------|------------|
| Static | 001A  | 0004 | 61   | Passed | LcFixed   | 4.2   | 0.0154 | 18774.2689 | 14248.9644 | -28710.7532 | 0.0024 | 37145.8411 |
| Static | 001A  | 0011 | 64   | Passed | LcFixed   | 5.5   | 0.0176 | 17326.6117 | 12844.2053 | -26258.396  | 0.0014 | 33980.7069 |
| Static | 001A  | 0024 | 61   | Passed | LcFixed   | 2.9   | 0.01   | 17721.1645 | 3973.4328  | -22775.5939 | 0.0018 | 29129.9763 |
| Static | 001A  | 0029 | 61   | Passed | LcFixed   | 6     | 0.0118 | 13456.3701 | 10247.8571 | -20579.0503 | 0.0013 | 26638.1265 |
| Static | 001A  | 0038 | 61   | Passed | LcFixed   | 4.5   | 0.0158 | 9811.7435  | 10571.4779 | -16145.7808 | 0.0013 | 21649.7735 |
| Static | 001A  | 0039 | 91   | Passed | LcFixed   | 2.9   | 0.0211 | 12625.3226 | 1611.8299  | -15579.2103 | 0.0033 | 20117.3696 |
| Static | 001A  | 4006 | 63   | Passed | LcFixed   | 2.8   | 0.0136 | 15430.3787 | 16144.3538 | -25637.1189 | 0.0012 | 33999.9796 |
| Static | 001A  | 4009 | 61   | Passed | LcFixed   | 7.6   | 0.0133 | 6608.1166  | 32131.5192 | -22609.6253 | 0.0022 | 39840.8946 |
| Static | 001A  | 4036 | 91   | Passed | LcFixed   | 6.4   | 0.0185 | 7737.6546  | 13819.1634 | -15459.6883 | 0.0023 | 22132.3866 |
| Static | 001A  | 4039 | 60   | Passed | LcFixed   | 2.4   | 0.0142 | 1443.2084  | 31298.1718 | -14584.9174 | 0.0017 | 34559.7775 |
| Static | 001A  | 5024 | 91   | Passed | LcFixed   | 2.7   | 0.0335 | -5129.9886 | 25733.0122 | -5886.0218  | 0.0034 | 26891.4476 |
| Static | 001A  | 5041 | 91   | Passed | LcFixed   | 3.3   | 0.0196 | -8456.6709 | 26480.7766 | -2263.7607  | 0.0038 | 27890.3464 |
| Static | 001A  | 6025 | 63   | Passed | LcFixed   | 3.7   | 0.0127 | 2117.816   | 9268.8203  | -6650.1802  | 0.001  | 11602.6321 |
| Static | 001A  | 7012 | 91   | Passed | LcFixed   | 2.1   | 0.0279 | -5303.4847 | 34876.1635 | -9552.6884  | 0.0041 | 36547.6071 |
| Static | 001A  | 8011 | 62   | Passed | LcFixed   | 2.2   | 0.0157 | 4021.636   | 40318.3869 | -23262.4813 | 0.0016 | 46721.3967 |

Εικόνα 6.3: Επίλυση διανυσμάτων βάσης στο λογισμικό HGO.

Οι καρτεσιανές συντεταγμένες των σημείων στο σύστημα HTRS07, όπως αυτές προέκυψαν από το λογισμικό HGO, φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 6.1:** Καρτεσιανές συντεταγμένες σημείων στο σύστημα HTRS07.

| Σημείο | X (m)       | Y (m)       | Z (m)       | Ratio | RMS (m) | Std (m) | Μήκος βάσης (m) |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------|---------|---------|-----------------|
| 015024 | 4647799.008 | 1826098.895 | 3954636.945 | 2.7   | 0.034   | 0.003   | 26891.448       |
| 015041 | 4644472.326 | 1826846.659 | 3958259.206 | 3.3   | 0.020   | 0.004   | 27890.346       |
| 056025 | 4655046.813 | 1809634.703 | 3953872.786 | 3.7   | 0.013   | 0.001   | 11602.632       |
| 108011 | 4656950.633 | 1840684.270 | 3937260.485 | 2.2   | 0.016   | 0.002   | 46721.397       |
| 110004 | 4671703.265 | 1814614.847 | 3931812.213 | 4.2   | 0.015   | 0.002   | 37145.841       |
| 110011 | 4670255.608 | 1813210.088 | 3934264.571 | 5.5   | 0.018   | 0.001   | 33980.707       |
| 110024 | 4670650.161 | 1804339.316 | 3937747.373 | 2.9   | 0.010   | 0.002   | 29129.976       |
| 110029 | 4666385.367 | 1810613.740 | 3939943.916 | 6     | 0.012   | 0.001   | 26638.127       |
| 110038 | 4662740.740 | 1810937.361 | 3944377.186 | 4.5   | 0.016   | 0.001   | 21649.774       |
| 110039 | 4665554.319 | 1801977.713 | 3944943.756 | 2.9   | 0.021   | 0.003   | 20117.370       |
| 117012 | 4647625.512 | 1835242.046 | 3950970.278 | 2.1   | 0.028   | 0.004   | 36547.607       |
| 214006 | 4668359.375 | 1816510.237 | 3934885.848 | 2.8   | 0.014   | 0.001   | 33999.980       |
| 214009 | 4659537.113 | 1832497.402 | 3937913.341 | 7.6   | 0.013   | 0.002   | 39840.895       |
| 214036 | 4660666.651 | 1814185.046 | 3945063.278 | 6.4   | 0.019   | 0.002   | 22132.387       |
| 214039 | 4654372.205 | 1831664.055 | 3945938.049 | 2.4   | 0.014   | 0.002   | 34559.778       |

Οι παραπάνω καρτεσιανές συντεταγμένες, μέσω της εφαρμογής του HEPOS (Hepos TT), μετατράπηκαν σε χαρτογραφικές συντεταγμένες στο ίδιο σύστημα αναφοράς (HTRS07). Κατά τη διαδικασία μετατροπής/μετασχηματισμού των καρτεσιανών/γεωδαιτικών συντεταγμένων σε χαρτογραφικές και ορθομετρικά υψόμετρα πρέπει απαραίτητως να γίνει χρήση ενός μοντέλου γεωειδούς, ώστε από τα γεωμετρικά υψόμετρα  $h$  των σημείων να προσδιοριστούν τα ορθομετρικά υψόμετρα  $H$ . Το μοντέλο γεωειδούς που χρησιμοποιεί η εφαρμογή του HEPOS είναι αμιγώς γεωμετρικό, καθώς έχει υπολογιστεί από μετρήσεις GPS σε επιλεγμένα τριγωνομετρικά σημεία του κρατικού δικτύου και ορισμένες χωροσταθμικές αφετηρίες (Ελληνικό Κτηματολόγιο, 2023). Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι χαρτογραφικές συντεταγμένες των σημείων στο σύστημα HTRS07, όπως αυτές προέκυψαν μέσω της εφαρμογής του HEPOS.

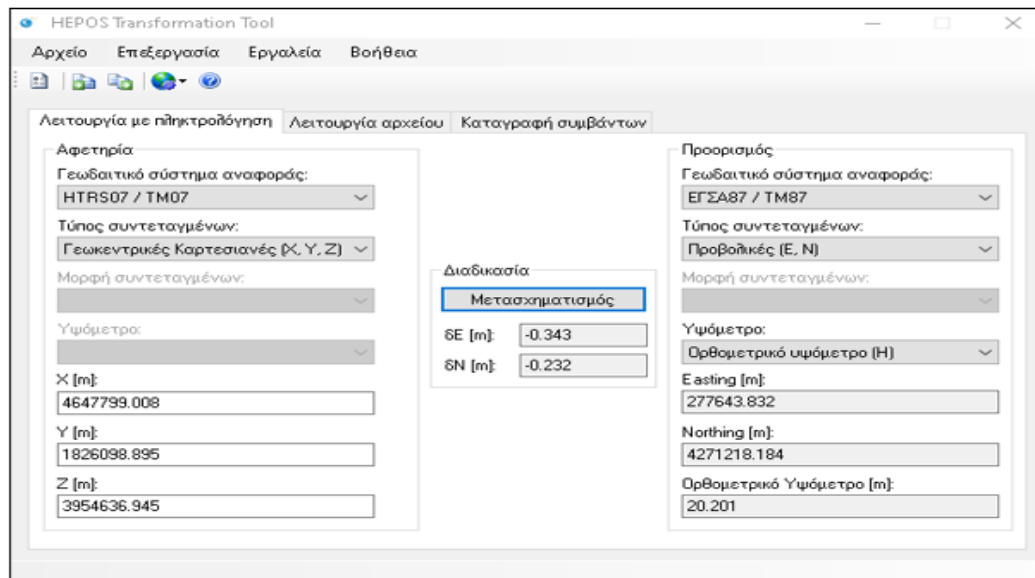
**Πίνακας 6.2:** Χαρτογραφικές συντεταγμένες σημείων στο σύστημα HTRS07.

| Σημείο | Όνομα        | E (m)      | N (m)       | H (m)   |
|--------|--------------|------------|-------------|---------|
| 015024 | ΑΜΜΟΣ        | 277794.808 | 2271505.963 | 20.201  |
| 015041 | ΠΕΙΝΑ        | 279834.452 | 2276043.943 | 72.503  |
| 056025 | ΚΑΣΤΡΟΝ      | 259794.109 | 2270955.562 | 136.589 |
| 108011 | ΠΑΛΙΟΣΤΑΝΗ   | 287405.663 | 2249005.697 | 65.709  |
| 110004 | ΑΝΩΝΥΜΟΝ     | 257561.501 | 2242948.714 | 2.286   |
| 110011 | ΤΑΞΙΑΡΧΗΣ    | 256868.667 | 2246047.999 | 64.591  |
| 110024 | ΠΑΛΙΟΓΑΛΑΡΑ  | 248592.851 | 2250796.231 | 1.592   |
| 110029 | ΠΕΤΡΑΛΩΝΑ    | 256068.560 | 2253353.299 | 23.511  |
| 110038 | ΠΑΝΑΓΙΑ      | 257855.476 | 2258815.431 | 207.861 |
| 110039 | ΒΑΛΤΙΟΝ      | 248511.127 | 2259927.556 | 80.908  |
| 117012 | ΔΡΥΜΟΥΛΙΑ    | 286231.502 | 2266418.598 | 229.637 |
| 214006 | Ν.ΠΛΑΤΕΙΑ    | 260656.249 | 2246777.411 | 1.215   |
| 214009 | ΠΑΛΗΟΓΙΑΝΝΗΣ | 278866.072 | 2250118.160 | 3.586   |

|        |              |            |             |         |
|--------|--------------|------------|-------------|---------|
| 214036 | ΑΓ.ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ | 261663.551 | 2259709.834 | 42.113  |
| 214039 | ΖΥΓΟΣ        | 280240.377 | 2259548.778 | 983.969 |

### 6.1.1 Μετασχηματισμός συντεταγμένων HTRS07-ΕΓΣΑ87 (εφαρμογή HEPOS)

Οι καρτεσιανές συντεταγμένες των σημείων στο σύστημα HTRS07, μέσω της εφαρμογής του HEPOS (HeposTT), μετασχηματίστηκαν σε χαρτογραφικές στο σύστημα ΕΓΣΑ87.



Εικόνα 6.4: Μετασχηματισμός συντεταγμένων μέσω της εφαρμογής του HEPOS (HeposTT).

Οι χαρτογραφικές συντεταγμένες των σημείων στο σύστημα ΕΓΣΑ87, έτσι όπως αυτές προέκυψαν από την εφαρμογή του HEPOS, φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.3: Χαρτογραφικές συντεταγμένες σημείων στο σύστημα ΕΓΣΑ87 (εφαρμογή HEPOS).

| Σημείο | Όνομα        | E (m)      | N (m)       | H (m)   |
|--------|--------------|------------|-------------|---------|
| 015024 | ΑΜΜΟΣ        | 277643.832 | 4271218.184 | 20.201  |
| 015041 | ΠΕΙΝΑ        | 279683.443 | 4275755.986 | 72.503  |
| 056025 | ΚΑΣΤΡΟΝ      | 259643.029 | 4270667.986 | 136.589 |
| 108011 | ΠΑΛΙΟΣΤΑΝΗ   | 287254.816 | 4248717.847 | 65.709  |
| 110004 | ΑΝΩΝΥΜΟΝ     | 257410.419 | 4242661.157 | 2.286   |
| 110011 | ΤΑΞΙΑΡΧΗΣ    | 256717.622 | 4245760.481 | 64.591  |
| 110024 | ΠΑΛΙΟΓΑΛΛΑΡΑ | 248441.823 | 4250508.664 | 1.592   |
| 110029 | ΠΕΤΡΑΛΩΝΑ    | 255917.494 | 4253065.748 | 23.511  |
| 110038 | ΠΑΝΑΓΙΑ      | 257704.415 | 4258527.927 | 207.861 |
| 110039 | ΒΑΛΤΙΟΝ      | 248360.049 | 4259639.962 | 80.908  |
| 117012 | ΔΡΥΜΟΥΛΙΑ    | 286080.642 | 4266130.770 | 229.636 |
| 214006 | Ν.ΠΛΑΤΕΙΑ    | 260505.239 | 4246489.897 | 1.215   |
| 214009 | ΠΑΛΗΟΓΙΑΝΝΗΣ | 278715.140 | 4249830.314 | 3.586   |
| 214036 | ΑΓ.ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ | 261512.493 | 4259422.308 | 42.113  |
| 214039 | ΖΥΓΟΣ        | 280089.478 | 4259261.074 | 983.969 |

### 6.1.2 Μετασχηματισμός συντεταγμένων HTRS07-ΕΓΣΑ87 (λογισμικό HGO)

Αυτή τη φορά, μέσω του λογισμικού HGO, οι καρτεσιανές συντεταγμένες των σημείων στο σύστημα HTRS07 μετασχηματίστηκαν σε χαρτογραφικές στο σύστημα ΕΓΣΑ87. Για τον προσδιορισμό των ορθομετρικών υψόμετρων το λογισμικό HGO χρησιμοποιεί το δικό του μοντέλο γεωειδούς. Οι χαρτογραφικές συντεταγμένες των σημείων στο σύστημα ΕΓΣΑ87, έτσι όπως αυτές προέκυψαν από το λογισμικό HGO, φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.



**Πίνακας 6.4:** Χαρτογραφικές συντεταγμένες σημείων στο σύστημα ΕΓΣΑ87 (λογισμικό HGO).

| Σημείο | Όνομα        | E (m)      | N (m)       | H (m)   |
|--------|--------------|------------|-------------|---------|
| 015024 | ΑΜΜΟΣ        | 277643.834 | 4271218.195 | 20.187  |
| 015041 | ΠΕΙΝΑ        | 279683.445 | 4275755.996 | 72.505  |
| 056025 | ΚΑΣΤΡΟΝ      | 259643.029 | 4270667.991 | 136.588 |
| 108011 | ΠΑΛΙΟΣΤΑΝΗ   | 287254.817 | 4248717.845 | 65.707  |
| 110004 | ΑΝΩΝΥΜΟΝ     | 257410.414 | 4242661.155 | 2.283   |
| 110011 | ΤΑΞΙΑΡΧΗΣ    | 256717.619 | 4245760.481 | 64.593  |
| 110024 | ΠΑΛΙΟΓΑΛΑΡΑ  | 248441.824 | 4250508.667 | 1.592   |
| 110029 | ΠΕΤΡΑΛΩΝΑ    | 255917.494 | 4253065.750 | 23.504  |
| 110038 | ΠΑΝΑΓΙΑ      | 257704.414 | 4258527.930 | 207.861 |
| 110039 | ΒΑΛΤΙΟΝ      | 248360.051 | 4259639.962 | 80.908  |
| 117012 | ΔΡΥΜΟΥΛΙΑ    | 286080.647 | 4266130.783 | 229.639 |
| 214006 | Ν.ΠΛΑΤΕΙΑ    | 260505.236 | 4246489.903 | 1.215   |
| 214009 | ΠΑΛΗΟΓΙΑΝΝΗΣ | 278715.142 | 4249830.313 | 3.586   |
| 214036 | ΑΓ.ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ | 261512.492 | 4259422.315 | 42.115  |
| 214039 | ΖΥΓΟΣ        | 280089.473 | 4259261.074 | 983.977 |

### 6.1.3 Σύγκριση μετασχηματισμένων χαρτογραφικών συντεταγμένων (ΕΓΣΑ87)

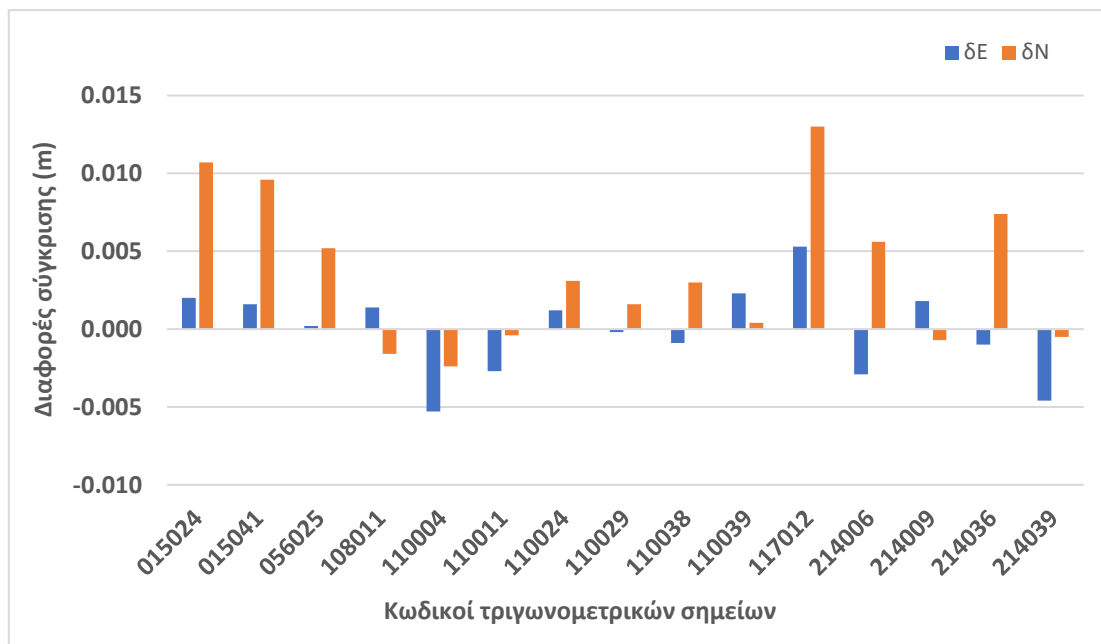
Για τη σύγκριση των χαρτογραφικών συντεταγμένων των σημείων στο σύστημα ΕΓΣΑ87, σαν συντεταγμένες αναφοράς ορίστηκαν αυτές που προέκυψαν από την εφαρμογή μετασχηματισμού του HEPOS. Έχοντας αυτές σαν συντεταγμένες αναφοράς υπολογίσθηκαν οι διαφορές  $\delta E$ ,  $\delta N$  και  $\delta H$  των χαρτογραφικών συντεταγμένων που προήλθαν από τον μετασχηματισμό του λογισμικού HGO. Επίσης, μέσω της σχέσης  $\delta S = \sqrt{\delta E^2 + \delta N^2}$ , υπολογίστηκε και το οριζοντιογραφικό σφάλμα  $\delta S$  κάθε σημείου. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης των μετασχηματισμένων χαρτογραφικών συντεταγμένων.

**Πίνακας 6.5:** Σύγκριση μετασχηματισμένων χαρτογραφικών συντεταγμένων στο σύστημα ΕΓΣΑ87.

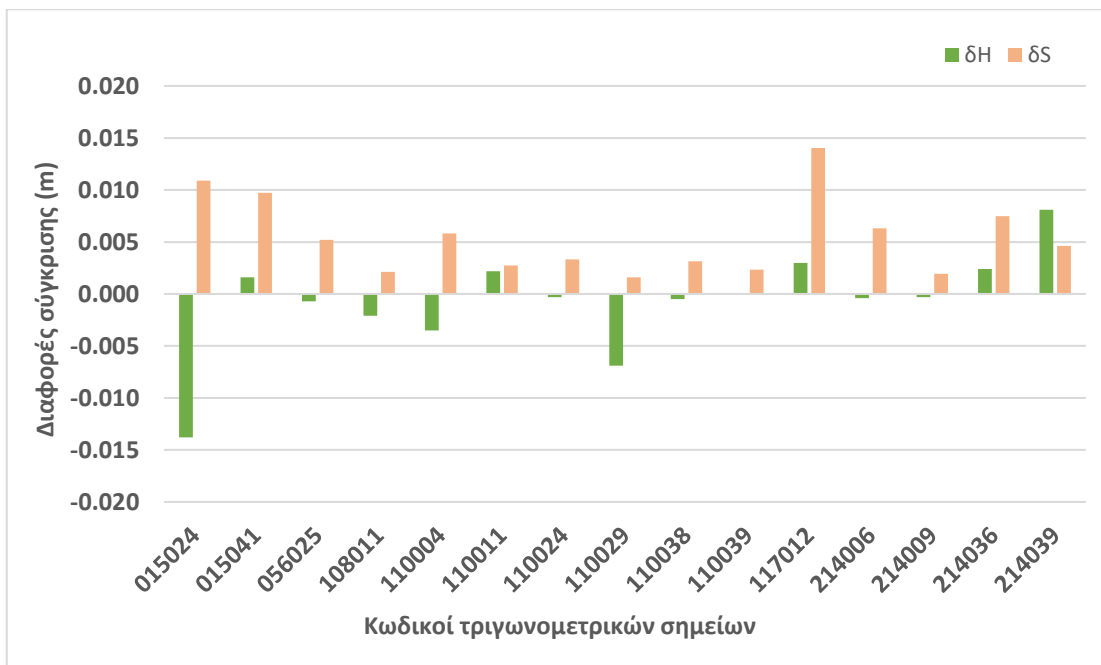
| Σημείο | Συντεταγμένες ΕΓΣΑ87<br>(εφαρμογή HEPOS) |             |          | Συντεταγμένες ΕΓΣΑ87<br>(HGO) |             |          | Αποτελέσματα σύγκρισης |                   |                   |                   |
|--------|--|-------------|----------|-------------------------------|-------------|----------|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|        | E<br>(m)                                 | N<br>(m)    | H<br>(m) | E<br>(m)                      | N<br>(m)    | H<br>(m) | $\delta E$<br>(m)      | $\delta N$<br>(m) | $\delta S$<br>(m) | $\delta H$<br>(m) |
| 015024 | 277643.832                               | 4271218.184 | 20.201   | 277643.834                    | 4271218.195 | 20.187   | 0.002                  | 0.011             | 0.011             | -0.014            |
| 015041 | 279683.443                               | 4275755.986 | 72.503   | 279683.445                    | 4275755.996 | 72.505   | 0.002                  | 0.010             | 0.010             | 0.002             |
| 056025 | 259643.029                               | 4270667.986 | 136.589  | 259643.029                    | 4270667.991 | 136.588  | 0.000                  | 0.005             | 0.005             | -0.001            |
| 108011 | 287254.816                               | 4248717.847 | 65.709   | 287254.817                    | 4248717.845 | 65.707   | 0.001                  | -0.002            | 0.002             | -0.002            |
| 110004 | 257410.419                               | 4242661.157 | 2.286    | 257410.414                    | 4242661.155 | 2.283    | -0.005                 | -0.002            | 0.006             | -0.003            |
| 110011 | 256717.622                               | 4245760.481 | 64.591   | 256717.619                    | 4245760.481 | 64.593   | -0.003                 | 0.000             | 0.003             | 0.002             |
| 110024 | 248441.823                               | 4250508.664 | 1.592    | 248441.824                    | 4250508.667 | 1.592    | 0.001                  | 0.003             | 0.003             | 0.000             |
| 110029 | 255917.494                               | 4253065.748 | 23.511   | 255917.494                    | 4253065.750 | 23.504   | 0.000                  | 0.002             | 0.002             | -0.007            |
| 110038 | 257704.415                               | 4258527.927 | 207.861  | 257704.414                    | 4258527.930 | 207.861  | -0.001                 | 0.003             | 0.003             | 0.000             |
| 110039 | 248360.049                               | 4259639.962 | 80.908   | 248360.051                    | 4259639.962 | 80.908   | 0.002                  | 0.000             | 0.002             | 0.000             |
| 117012 | 286080.642                               | 4266130.770 | 229.636  | 286080.647                    | 4266130.783 | 229.639  | 0.005                  | 0.013             | 0.014             | 0.003             |
| 214006 | 260505.239                               | 4246489.897 | 1.215    | 260505.236                    | 4246489.903 | 1.215    | -0.003                 | 0.006             | 0.006             | 0.000             |
| 214009 | 278715.140                               | 4249830.314 | 3.586    | 278715.142                    | 4249830.313 | 3.586    | 0.002                  | -0.001            | 0.002             | 0.000             |
| 214036 | 261512.493                               | 4259422.308 | 42.113   | 261512.492                    | 4259422.315 | 42.115   | -0.001                 | 0.007             | 0.007             | 0.002             |
| 214039 | 280089.478                               | 4259261.074 | 983.969  | 280089.473                    | 4259261.074 | 983.977  | -0.005                 | -0.001            | 0.005             | 0.008             |

Παρατηρείται ότι μεταξύ των δύο μετασχηματισμών υπάρχουν διαφορές, οι οποίες βέβαια είναι μικρές. Συγκεκριμένα είναι της τάξης των μερικών mm, πλην ελαχίστων περιπτώσεων που ξεπέρασαν κατά λίγο το 1 cm σε απόλυτη τιμή.

Οι διαφορές που προέκυψαν από την ανωτέρω σύγκριση των μετασχηματισμένων χαρτογραφικών συντεταγμένων και ορθομετρικών υψομέτρων (εφαρμογή HEPOS - λογισμικό HGO), παρουσιάζονται και στα διαγράμματα των παρακάτω εικόνων.



Εικόνα 6.5: Διάγραμμα διαφορών δE και δN (εφαρμογή HEPOS-λογισμικό HGO).

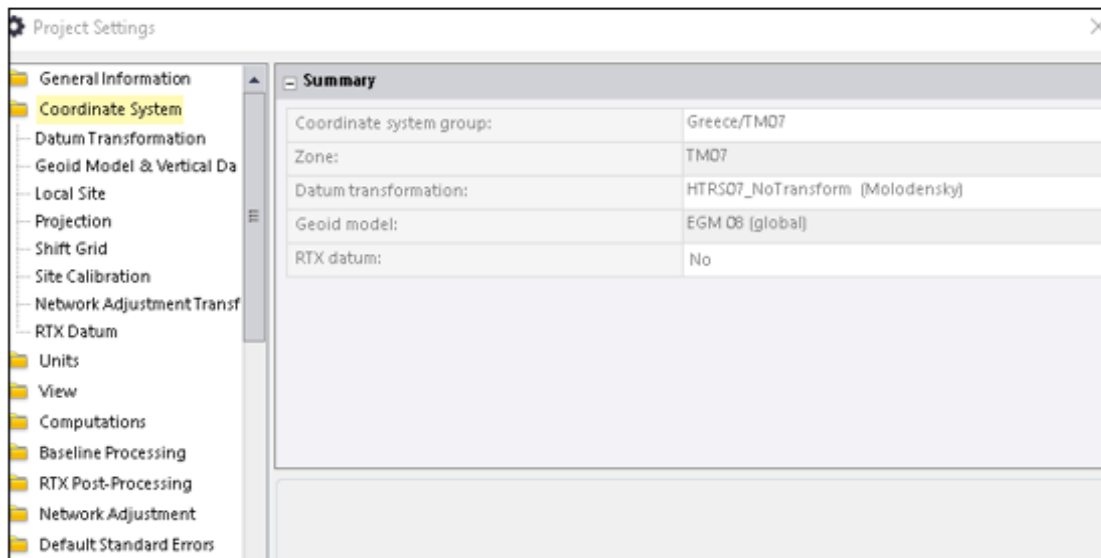


Εικόνα 6.6: Διάγραμμα διαφορών δH και δS (εφαρμογή HEPOS-λογισμικό HGO).

## 6.2 Επεξεργασία δεδομένων με λογισμικό TBC (GPS-GLONASS)

Τα αρχεία που εισήχθησαν στο λογισμικό TBC ήταν της μορφής RINEX 3.02 για τα δεδομένα του δέκτη και RINEX 2.11 για τα δεδομένα του σταθμού αναφοράς (001A). Η επι-

λογή που έγινε στο λογισμικό, σε σχέση με το σύστημα αναφοράς, ήταν Greece/TM07 με μοντέλο γεωειδούς το EGM08 (Global). Με αυτή την επιλογή η θέση του σημείου ελέγχου (control point) μπορεί να οριστεί σε μορφή καρτεσιανών συντεταγμένων στο σύστημα HTRS 07. Στην περίπτωση μας σαν σημείο ελέγχου τέθηκε ο σταθμός αναφοράς του HEPOS. Επίσης, η επιλογή Greece/TM07 αποδίδει τις υπολογιζόμενες θέσεις των σημείων σε καρτεσιανές, γεωδαιτικές και χαρτογραφικές συντεταγμένες στο ίδιο σύστημα αναφοράς (HTRS07).



Εικόνα 6.7: Επιλογή συστήματος αναφοράς στο λογισμικό TBC (GPS-GLO).

Αφού καθορίστηκε το σύστημα αναφοράς, έγινε η κατάλληλη παραμετροποίηση των δεδομένων (π.χ. τύπος κεραίας, ύψη κεραίων κ.α.). Καθώς το μοντέλο του δέκτη μετρήσεων iRTK5 είναι σχετικά πρόσφατο, δεν υπάρχει στο λογισμικό TBC σαν επιλογή ο προβλεπόμενος τύπος κεραίας του. Έτσι επιλέχθηκε σαν τύπος κεραίας ο V90 Plus, ο οποίος ανήκει στη ίδια κατασκευάστρια εταιρεία με τον δέκτη μετρήσεων και έχει παραπλήσια τεχνικά χαρακτηριστικά. Σχετικά με τον τρόπο μέτρησης του ύψους κεραίας, η επιλογή που τέθηκε ήταν Bottom of antenna mount (κατακόρυφη απόσταση).

| Point ID | Ant. Height | Ant. Method             | Ant. Manufact | Ant. Type                |
|----------|-------------|-------------------------|---------------|--------------------------|
| 001A     | 0.0000      | Bottom of antenna mount | Trimble       | Zephyr 3 Geodetic w/TZGD |
| 001A     | 0.0000      | Bottom of antenna mount | Trimble       | Zephyr 3 Geodetic w/TZGD |
| 0004     | 0.1493      | Bottom of antenna mount | Hi-Target     | V90 Plus                 |
| 0011     | 0.1440      | Bottom of antenna mount | Hi-Target     | V90 Plus                 |
| 0024     | 0.1440      | Bottom of antenna mount | Hi-Target     | V90 Plus                 |
| 0029     | 0.1426      | Bottom of antenna mount | Hi-Target     | V90 Plus                 |
| 0038     | 0.1440      | Bottom of antenna mount | Hi-Target     | V90 Plus                 |
| 0039     | 0.1426      | Bottom of antenna mount | Hi-Target     | V90 Plus                 |
| 4006     | 0.1440      | Bottom of antenna mount | Hi-Target     | V90 Plus                 |
| 4009     | 0.1440      | Bottom of antenna mount | Hi-Target     | V90 Plus                 |
| 4036     | 0.1467      | Bottom of antenna mount | Hi-Target     | V90 Plus                 |
| 4039     | 0.3899      | Bottom of antenna mount | Hi-Target     | V90 Plus                 |
| 5024     | 0.1440      | Bottom of antenna mount | Hi-Target     | V90 Plus                 |
| 5041     | 0.1413      | Bottom of antenna mount | Hi-Target     | V90 Plus                 |
| 6025     | 0.1453      | Bottom of antenna mount | Hi-Target     | V90 Plus                 |
| 7012     | 0.1440      | Bottom of antenna mount | Hi-Target     | V90 Plus                 |
| 8011     | 0.1440      | Bottom of antenna mount | Hi-Target     | V90 Plus                 |

Εικόνα 6.8: Παραμετροποίηση κεραίων στο λογισμικό TBC (GPS-GLO).

Μετά την κατάλληλη παραμετροποίηση, έγινε επίλυση των διανυσμάτων βάσης μεταξύ του σταθμού αναφοράς και των 15 τριγωνομετρικών σημείων. Η επίλυση όλων των διανυσμάτων ήταν επιτυχής (fixed), όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.

| Processing Results                  |               |             |                        |                       |        |            |
|-------------------------------------|---------------|-------------|------------------------|-----------------------|--------|------------|
| Save                                | Observation   | Solution Ty | Horiz. Precision (95%) | Vert. Precision (95%) | RMS    | Length     |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 4006 | Fixed       | 0.0114                 | 0.0425                | 0.0157 | 33999.9757 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 0011 | Fixed       | 0.0159                 | 0.0796                | 0.0171 | 33980.7082 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 0004 | Fixed       | 0.0147                 | 0.0498                | 0.0205 | 37145.8490 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 0024 | Fixed       | 0.0150                 | 0.0676                | 0.0214 | 29129.9781 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 0029 | Fixed       | 0.0104                 | 0.0428                | 0.0175 | 26638.1230 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 7012 | Fixed       | 0.0159                 | 0.0971                | 0.0329 | 36547.5923 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 8011 | Fixed       | 0.0126                 | 0.0635                | 0.0168 | 46721.3949 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 5041 | Fixed       | 0.0155                 | 0.0818                | 0.0299 | 27890.3404 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 5024 | Fixed       | 0.0245                 | 0.0952                | 0.0369 | 26891.4692 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 4009 | Fixed       | 0.0099                 | 0.0375                | 0.0131 | 39840.8896 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 4039 | Fixed       | 0.0158                 | 0.0767                | 0.0211 | 34559.7815 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 4036 | Fixed       | 0.0167                 | 0.0660                | 0.0289 | 22132.3927 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 0038 | Fixed       | 0.0114                 | 0.0615                | 0.0157 | 21649.7751 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 6025 | Fixed       | 0.0059                 | 0.0233                | 0.0172 | 11602.6335 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 0039 | Fixed       | 0.0237                 | 0.0957                | 0.0357 | 20117.3636 |

Εικόνα 6.9: Επίλυση διανυσμάτων βάσης στο λογισμικό TBC (GPS-GLO).

Οι καρτεσιανές συντεταγμένες των σημείων στο σύστημα HTRS07, όπως αυτές προέκυψαν από το λογισμικό TBC (GPS-GLO), φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.6: Καρτεσιανές συντεταγμένες σημείων στο σύστημα HTRS07.

| Σημείο | X (m)       | Y (m)       | Z (m)       | Hor. Prec. (95%) (m) | Ver. Prec. (95%) (m) | RMS (m) | Μήκος βάσης (m) |
|--------|-------------|-------------|-------------|----------------------|----------------------|---------|-----------------|
| 015024 | 4647799.034 | 1826098.925 | 3954636.957 | 0.025                | 0.095                | 0.037   | 26891.469       |
| 015041 | 4644472.328 | 1826846.654 | 3958259.212 | 0.016                | 0.082                | 0.030   | 27890.340       |
| 056025 | 4655046.810 | 1809634.700 | 3953872.780 | 0.006                | 0.023                | 0.017   | 11602.634       |
| 108011 | 4656950.663 | 1840684.282 | 3937260.518 | 0.013                | 0.064                | 0.017   | 46721.395       |
| 110004 | 4671703.320 | 1814614.850 | 3931812.240 | 0.015                | 0.050                | 0.021   | 37145.849       |
| 110011 | 4670255.619 | 1813210.093 | 3934264.579 | 0.016                | 0.080                | 0.017   | 33980.708       |
| 110024 | 4670650.151 | 1804339.308 | 3937747.361 | 0.015                | 0.068                | 0.021   | 29129.978       |
| 110029 | 4666385.392 | 1810613.743 | 3939943.939 | 0.010                | 0.043                | 0.018   | 26638.123       |
| 110038 | 4662740.739 | 1810937.361 | 3944377.185 | 0.011                | 0.062                | 0.016   | 21649.775       |
| 110039 | 4665554.355 | 1801977.718 | 3944943.794 | 0.024                | 0.096                | 0.036   | 20117.364       |
| 117012 | 4647625.659 | 1835242.080 | 3950970.381 | 0.016                | 0.097                | 0.033   | 36547.592       |
| 214006 | 4668359.405 | 1816510.242 | 3934885.875 | 0.011                | 0.043                | 0.016   | 33999.976       |
| 214009 | 4659537.132 | 1832497.405 | 3937913.360 | 0.010                | 0.038                | 0.013   | 39840.890       |
| 214036 | 4660666.687 | 1814185.052 | 3945063.293 | 0.017                | 0.066                | 0.029   | 22132.393       |
| 214039 | 4654372.191 | 1831664.042 | 3945938.041 | 0.016                | 0.077                | 0.021   | 34559.782       |

Οι παραπάνω καρτεσιανές συντεταγμένες, μέσω της εφαρμογής του HEPOS (Hepos TT), μετατράπηκαν σε χαρτογραφικές συντεταγμένες στο ίδιο σύστημα αναφοράς (HTRS07). Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι χαρτογραφικές συντεταγμένες των σημείων.

Πίνακας 6.7: Χαρτογραφικές συντεταγμένες σημείων στο σύστημα HTRS07.

| Σημείο | Όνομα | E (m)      | N (m)       | H (m)  |
|--------|-------|------------|-------------|--------|
| 015024 | ΑΜΜΟΣ | 277794.826 | 2271505.950 | 20.236 |
| 015041 | ΠΕΙΝΑ | 279834.446 | 2276043.948 | 72.507 |

|        |              |            |             |         |
|--------|--------------|------------|-------------|---------|
| 056025 | ΚΑΣΤΡΟΝ      | 259794.108 | 2270955.560 | 136.582 |
| 108011 | ΠΑΛΙΟΣΤΑΝΗ   | 287405.663 | 2249005.703 | 65.755  |
| 110004 | ΑΝΩΝΥΜΟΝ     | 257561.484 | 2242948.704 | 2.344   |
| 110011 | ΤΑΞΙΑΡΧΗΣ    | 256868.668 | 2246047.997 | 64.606  |
| 110024 | ΠΑΛΙΟΓΑΛΑΡΑ  | 248592.847 | 2250796.229 | 1.575   |
| 110029 | ΠΕΤΡΑΛΩΝΑ    | 256068.554 | 2253353.302 | 23.544  |
| 110038 | ΠΑΝΑΓΙΑ      | 257855.476 | 2258815.431 | 207.859 |
| 110039 | ΒΑΛΤΙΟΝ      | 248511.119 | 2259927.564 | 80.959  |
| 117012 | ΔΡΥΜΟΥΛΙΑ    | 286231.479 | 2266418.587 | 229.817 |
| 214006 | Ν.ΠΛΑΤΕΙΑ    | 260656.243 | 2246777.414 | 1.255   |
| 214009 | ΠΑΛΗΟΓΙΑΝΝΗΣ | 278866.068 | 2250118.164 | 3.613   |
| 214036 | ΑΓ.ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ | 261663.544 | 2259709.824 | 42.150  |
| 214039 | ΖΥΓΟΣ        | 280240.371 | 2259548.783 | 983.950 |

### 6.2.1 Μετασχηματισμός συντεταγμένων HTRS07-ΕΓΣΑ87 (εφαρμογή HEPOS)

Οι καρτεσιανές συντεταγμένες των σημείων στο σύστημα HTRS07, μέσω της εφαρμογής του HEPOS (HeposTT), μετασχηματίστηκαν σε χαρτογραφικές στο σύστημα ΕΓΣΑ87. Οι μετασχηματισμένες χαρτογραφικές συντεταγμένες των σημείων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.8: Χαρτογραφικές συντεταγμένες σημείων στο σύστημα ΕΓΣΑ87 (εφαρμογή HEPOS).

| Σημείο | Όνομα        | E (m)      | N (m)       | H (m)   |
|--------|--------------|------------|-------------|---------|
| 015024 | ΑΜΜΟΣ        | 277643.850 | 4271218.171 | 20.236  |
| 015041 | ΠΕΙΝΑ        | 279683.437 | 4275755.991 | 72.507  |
| 056025 | ΚΑΣΤΡΟΝ      | 259643.027 | 4270667.984 | 136.582 |
| 108011 | ΠΑΛΙΟΣΤΑΝΗ   | 287254.816 | 4248717.853 | 65.755  |
| 110004 | ΑΝΩΝΥΜΟΝ     | 257410.402 | 4242661.146 | 2.344   |
| 110011 | ΤΑΞΙΑΡΧΗΣ    | 256717.623 | 4245760.479 | 64.606  |
| 110024 | ΠΑΛΙΟΓΑΛΑΡΑ  | 248441.819 | 4250508.662 | 1.575   |
| 110029 | ΠΕΤΡΑΛΩΝΑ    | 255917.487 | 4253065.751 | 23.544  |
| 110038 | ΠΑΝΑΓΙΑ      | 257704.415 | 4258527.926 | 207.859 |
| 110039 | ΒΑΛΤΙΟΝ      | 248360.041 | 4259639.970 | 80.959  |
| 117012 | ΔΡΥΜΟΥΛΙΑ    | 286080.620 | 4266130.758 | 229.817 |
| 214006 | Ν.ΠΛΑΤΕΙΑ    | 260505.233 | 4246489.900 | 1.255   |
| 214009 | ΠΑΛΗΟΓΙΑΝΝΗΣ | 278715.136 | 4249830.318 | 3.613   |
| 214036 | ΑΓ.ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ | 261512.486 | 4259422.298 | 42.150  |
| 214039 | ΖΥΓΟΣ        | 280089.471 | 4259261.079 | 983.950 |

### 6.2.2 Μετασχηματισμός συντεταγμένων HTRS07-ΕΓΣΑ87 (λογισμικό TBC)

Οι καρτεσιανές συντεταγμένες των σημείων στο σύστημα HTRS07, με χρήση του λογισμικού TBC, μετασχηματίστηκαν σε χαρτογραφικές στο σύστημα ΕΓΣΑ87. Το μοντέλο γεωειδούς που επιλέχθηκε για τον προσδιορισμό των ορθομετρικών υψομέτρων ήταν το EGM08 (Global). Οι χαρτογραφικές συντεταγμένες των σημείων στο σύστημα ΕΓΣΑ87, όπως αυτές προέκυψαν από το λογισμικό TBC, φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6.9: Χαρτογραφικές συντεταγμένες σημείων στο σύστημα ΕΓΣΑ87 (λογισμικό TBC).

| Σημείο | Όνομα      | E (m)      | N (m)       | H (m)   |
|--------|------------|------------|-------------|---------|
| 015024 | ΑΜΜΟΣ      | 277643.850 | 4271218.171 | 19.755  |
| 015041 | ΠΕΙΝΑ      | 279683.437 | 4275755.990 | 72.228  |
| 056025 | ΚΑΣΤΡΟΝ    | 259643.028 | 4270667.984 | 136.322 |
| 108011 | ΠΑΛΙΟΣΤΑΝΗ | 287254.816 | 4248717.852 | 65.453  |
| 110004 | ΑΝΩΝΥΜΟΝ   | 257410.401 | 4242661.147 | 1.607   |

|        |              |            |             |         |
|--------|--------------|------------|-------------|---------|
| 110011 | ΤΑΞΙΑΡΧΗΣ    | 256717.622 | 4245760.479 | 64.130  |
| 110024 | ΠΑΛΙΟΓΑΛΑΡΑ  | 248441.819 | 4250508.662 | 1.167   |
| 110029 | ΠΕΤΡΑΛΩΝΑ    | 255917.487 | 4253065.751 | 23.049  |
| 110038 | ΠΑΝΑΓΙΑ      | 257704.415 | 4258527.926 | 207.501 |
| 110039 | ΒΑΛΤΙΟΝ      | 248360.041 | 4259639.970 | 80.511  |
| 117012 | ΔΡΥΜΟΥΔΙΑ    | 286080.619 | 4266130.758 | 229.491 |
| 214006 | Ν.ΠΛΑΤΕΙΑ    | 260505.233 | 4246489.899 | 0.832   |
| 214009 | ΠΑΛΗΟΓΙΑΝΝΗΣ | 278715.136 | 4249830.318 | 3.256   |
| 214036 | ΑΓ.ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ | 261512.486 | 4259422.298 | 41.824  |
| 214039 | ΖΥΓΟΣ        | 280089.471 | 4259261.078 | 983.616 |

### 6.2.3 Σύγκριση μετασχηματισμένων χαρτογραφικών συντεταγμένων (ΕΓΣΑ87)

Για τη σύγκριση των χαρτογραφικών συντεταγμένων των σημείων στο σύστημα ΕΓΣΑ87, σαν συντεταγμένες αναφοράς ορίστηκαν αυτές που προέκυψαν από την εφαρμογή μετασχηματισμού του HEPOS . Έχοντας αυτές σαν συντεταγμένες αναφοράς υπολογίσθηκαν τα  $\delta E$ ,  $\delta N$ ,  $\delta H$  και  $\delta S$  ( $\delta S = \sqrt{\delta E^2 + \delta N^2}$ ) των χαρτογραφικών συντεταγμένων που προήλθαν από το μετασχηματισμό του λογισμικού TBC. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης των μετασχηματισμένων χαρτογραφικών συντεταγμένων.

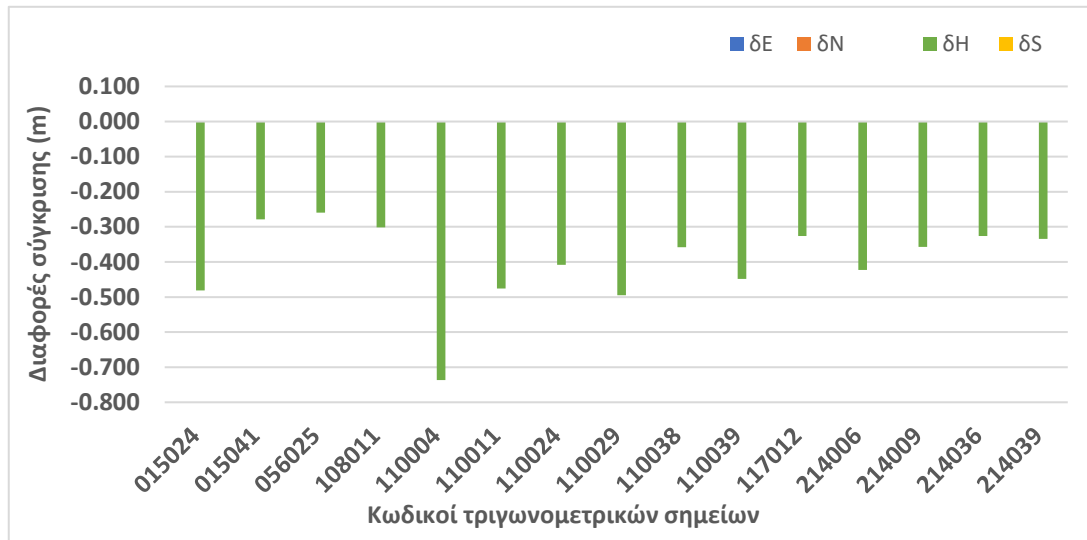
Πίνακας 6.10: Σύγκριση μετασχηματισμένων χαρτογραφικών συντεταγμένων στο σύστημα ΕΓΣΑ87.

| Σημείο | Συντεταγμένες ΕΓΣΑ87<br>(εφαρμογή HEPOS) |             |          | Συντεταγμένες ΕΓΣΑ87<br>(TBC (GPS-GLO)) |             |          | Αποτελέσματα σύγκρισης |                   |                   |                   |
|--------|--|-------------|----------|---|-------------|----------|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|        | E<br>(m)                                 | N<br>(m)    | H<br>(m) | E<br>(m)                                | N<br>(m)    | H<br>(m) | $\delta E$<br>(m)      | $\delta N$<br>(m) | $\delta S$<br>(m) | $\delta H$<br>(m) |
| 015024 | 277643.850                               | 4271218.171 | 20.236   | 277643.850                              | 4271218.171 | 19.755   | 0.000                  | 0.000             | 0.000             | -0.481            |
| 015041 | 279683.437                               | 4275755.991 | 72.507   | 279683.437                              | 4275755.990 | 72.228   | 0.000                  | -0.001            | 0.001             | -0.279            |
| 056025 | 259643.027                               | 4270667.984 | 136.582  | 259643.028                              | 4270667.984 | 136.322  | 0.001                  | 0.000             | 0.001             | -0.260            |
| 108011 | 287254.816                               | 4248717.853 | 65.755   | 287254.816                              | 4248717.852 | 65.453   | 0.000                  | -0.001            | 0.001             | -0.302            |
| 110004 | 257410.402                               | 4242661.146 | 2.344    | 257410.401                              | 4242661.147 | 1.607    | -0.001                 | 0.001             | 0.001             | -0.737            |
| 110011 | 256717.623                               | 4245760.479 | 64.606   | 256717.622                              | 4245760.479 | 64.130   | -0.001                 | 0.000             | 0.001             | -0.476            |
| 110024 | 248441.819                               | 4250508.662 | 1.575    | 248441.819                              | 4250508.662 | 1.167    | 0.000                  | 0.000             | 0.000             | -0.408            |
| 110029 | 255917.487                               | 4253065.751 | 23.544   | 255917.487                              | 4253065.751 | 23.049   | 0.000                  | 0.000             | 0.000             | -0.495            |
| 110038 | 257704.415                               | 4258527.926 | 207.859  | 257704.415                              | 4258527.926 | 207.501  | 0.000                  | 0.000             | 0.000             | -0.358            |
| 110039 | 248360.041                               | 4259639.970 | 80.959   | 248360.041                              | 4259639.970 | 80.511   | 0.000                  | 0.000             | 0.000             | -0.448            |
| 117012 | 286080.620                               | 4266130.758 | 229.817  | 286080.619                              | 4266130.758 | 229.491  | -0.001                 | 0.000             | 0.001             | -0.326            |
| 214006 | 260505.233                               | 4246489.900 | 1.255    | 260505.233                              | 4246489.899 | 0.832    | 0.000                  | -0.001            | 0.001             | -0.423            |
| 214009 | 278715.136                               | 4249830.318 | 3.613    | 278715.136                              | 4249830.318 | 3.256    | 0.000                  | 0.000             | 0.000             | -0.357            |
| 214036 | 261512.486                               | 4259422.298 | 42.150   | 261512.486                              | 4259422.298 | 41.824   | 0.000                  | 0.000             | 0.000             | -0.326            |
| 214039 | 280089.471                               | 4259261.079 | 983.950  | 280089.471                              | 4259261.078 | 983.616  | 0.000                  | -0.001            | 0.001             | -0.334            |

Παρατηρείται ότι οι οριζοντιογραφικές διαφορές που προέκυψαν είναι ουσιαστικά μηδενικές, άρα τα αποτελέσματα των δύο μετασχηματισμών ταυτίζονται οριζοντιογραφικά. Εκεί που υπάρχει μεγάλη διαφορά, της τάξης των 30 έως 50 cm σε απόλυτη τιμή, είναι στις υψομετρικές διαφορές  $\delta H$ . Η υψομετρική διαφορά στο σημείο 110004 ( $\delta H = -0.737$  m) είναι επισφαλής και δεν θα ληφθεί υπόψη, καθώς το βάθος του συγκεκριμένου σημείου αποκλίνει από την κατακόρυφο. Αυτή η διαφορά των 30 έως 50 cm εκτιμάται ότι προκύπτει από τα διαφορετικά μοντέλα γεωειδούς που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των δύο μετασχηματισμών. Συγκεκριμένα, με την εφαρμογή του HEPOS χρησιμοποιήθηκε το δικό της μοντέ-

λο γεωειδούς, ενώ με το λογισμικό TBC χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο γεωειδούς EGM08 (Global).

Οι διαφορές που προέκυψαν από την ανωτέρω σύγκριση των μετασχηματισμένων χαρτογραφικών συντεταγμένων και ορθομετρικών υψομέτρων (εφαρμογή HEPOS - λογισμικό TBC), παρουσιάζονται και στο διάγραμμα της παρακάτω εικόνας.



Εικόνα 6.10: Διάγραμμα διαφορών δE, δN, δH και δS (εφαρμογή HEPOS-λογισμικό TBC).

### 6.3 Επεξεργασία δεδομένων με λογισμικό TBC (GPS-GLONASS-GALILEO)

Αυτή τη φορά τα αρχεία που εισήχθησαν στο λογισμικό TBC ήταν της μορφής RINEX 3.02 τόσο για τον δέκτη, όσο και για τον σταθμό αναφοράς (001A). Η επιλογή που έγινε στο λογισμικό, σε σχέση με το σύστημα αναφοράς, ήταν Greece/TM07 με μοντέλο γεωειδούς το EGM08 (Global). Επίσης, παρέμεινε η ίδια παραμετροποίηση με αυτή της επεξεργασίας δεδομένων μέσω του λογισμικού TBC (GPS-GLO). Μετά την εισαγωγή των κατάλληλων παραμέτρων έγινε η επίλυση όλων των διανυσμάτων βάσης μεταξύ του σταθμού αναφοράς και των 15 τριγωνομετρικών σημείων, η οποία ήταν επιτυχής (fixed).

| Processing Results                  |               |            |                       |                       |        |            |
|-------------------------------------|---------------|------------|-----------------------|-----------------------|--------|------------|
| Save                                | Observation   | Solution T | Horiz. Precision (95) | Vert. Precision (95%) | RMS    | Length     |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 0011 | Fixed      | 0.0109                | 0.0568                | 0.0167 | 33980.7125 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 0024 | Fixed      | 0.0125                | 0.0549                | 0.0235 | 29129.9753 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 0004 | Fixed      | 0.0107                | 0.0413                | 0.0197 | 37145.8479 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 0038 | Fixed      | 0.0087                | 0.0472                | 0.0149 | 21649.7763 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 0029 | Fixed      | 0.0097                | 0.0384                | 0.0182 | 26638.1225 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 0039 | Fixed      | 0.0179                | 0.0744                | 0.0323 | 20117.3625 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 4009 | Fixed      | 0.0083                | 0.0356                | 0.0135 | 39840.8875 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 4006 | Fixed      | 0.0085                | 0.0292                | 0.0142 | 33999.9749 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 4036 | Fixed      | 0.0144                | 0.0511                | 0.0283 | 22132.3977 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 4039 | Fixed      | 0.0120                | 0.0534                | 0.0197 | 34559.7820 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 5024 | Fixed      | 0.0220                | 0.0931                | 0.0360 | 26891.3971 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 5041 | Fixed      | 0.0146                | 0.0692                | 0.0306 | 27890.3377 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 6025 | Fixed      | 0.0051                | 0.0214                | 0.0177 | 11602.6354 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 7012 | Fixed      | 0.0174                | 0.0969                | 0.0343 | 36547.5918 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 001A --- 8011 | Fixed      | 0.0109                | 0.0518                | 0.0183 | 46721.3953 |

Εικόνα 6.11: Επίλυση διανυσμάτων βάσης στο λογισμικό TBC (GPS-GLO-GAL).

Οι καρτεσιανές συντεταγμένες των σημείων στο σύστημα HTRS07, όπως αυτές προέκυψαν από το λογισμικό TBC (GPS-GLO-GAL), φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 6.11:** Καρτεσιανές συντεταγμένες σημείων στο σύστημα HTRS07.

| Σημείο | X (m)       | Y (m)       | Z (m)       | Hor. Prec. (95%) (m) | Ver. Prec. (95%) (m) | RMS (m) | Μήκος βάσης (m) |
|--------|-------------|-------------|-------------|----------------------|----------------------|---------|-----------------|
| 015024 | 4647798.919 | 1826098.806 | 3954636.863 | 0.022                | 0.093                | 0.036   | 26891.397       |
| 015041 | 4644472.306 | 1826846.642 | 3958259.190 | 0.015                | 0.069                | 0.031   | 27890.338       |
| 056025 | 4655046.803 | 1809634.699 | 3953872.773 | 0.005                | 0.021                | 0.018   | 11602.635       |
| 108011 | 4656950.656 | 1840684.278 | 3937260.509 | 0.011                | 0.052                | 0.018   | 46721.395       |
| 110004 | 4671703.314 | 1814614.847 | 3931812.237 | 0.011                | 0.041                | 0.020   | 37145.848       |
| 110011 | 4670255.616 | 1813210.092 | 3934264.571 | 0.011                | 0.057                | 0.017   | 33980.713       |
| 110024 | 4670650.157 | 1804339.315 | 3937747.371 | 0.013                | 0.055                | 0.024   | 29129.975       |
| 110029 | 4666385.392 | 1810613.745 | 3939943.941 | 0.010                | 0.038                | 0.018   | 26638.123       |
| 110038 | 4662740.748 | 1810937.365 | 3944377.192 | 0.009                | 0.047                | 0.015   | 21649.776       |
| 110039 | 4665554.315 | 1801977.706 | 3944943.762 | 0.018                | 0.074                | 0.032   | 20117.363       |
| 117012 | 4647625.614 | 1835242.059 | 3950970.333 | 0.017                | 0.097                | 0.034   | 36547.592       |
| 214006 | 4668359.397 | 1816510.241 | 3934885.870 | 0.009                | 0.029                | 0.014   | 33999.975       |
| 214009 | 4659537.136 | 1832497.403 | 3937913.363 | 0.008                | 0.036                | 0.014   | 39840.888       |
| 214036 | 4660666.683 | 1814185.050 | 3945063.282 | 0.014                | 0.051                | 0.028   | 22132.398       |
| 214039 | 4654372.185 | 1831664.041 | 3945938.035 | 0.012                | 0.053                | 0.020   | 34559.782       |

Οι παραπάνω καρτεσιανές συντεταγμένες, μέσω της εφαρμογής του HEPOS (Hepos TT), μετατράπηκαν σε χαρτογραφικές συντεταγμένες στο ίδιο σύστημα αναφοράς (HTRS07). Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι χαρτογραφικές συντεταγμένες των σημείων.

**Πίνακας 6.12:** Χαρτογραφικές συντεταγμένες σημείων στο σύστημα HTRS07.

| Σημείο | Όνομα        | E (m)      | N (m)       | H (m)   |
|--------|--------------|------------|-------------|---------|
| 015024 | ΑΜΜΟΣ        | 277794.758 | 2271505.972 | 20.060  |
| 015041 | ΠΕΙΝΑ        | 279834.443 | 2276043.946 | 72.474  |
| 056025 | ΚΑΣΤΡΟΝ      | 259794.109 | 2270955.559 | 136.572 |
| 108011 | ΠΑΛΙΟΣΤΑΝΗ   | 287405.662 | 2249005.701 | 65.743  |
| 110004 | ΑΝΩΝΥΜΟΝ     | 257561.483 | 2242948.705 | 2.337   |
| 110011 | ΤΑΞΙΑΡΧΗΣ    | 256868.668 | 2246047.993 | 64.598  |
| 110024 | ΠΑΛΙΟΓΑΛΛΑΡΑ | 248592.851 | 2250796.232 | 1.588   |
| 110029 | ΠΕΤΡΑΛΩΝΑ    | 256068.555 | 2253353.303 | 23.546  |
| 110038 | ΠΑΝΑΓΙΑ      | 257855.477 | 2258815.430 | 207.871 |
| 110039 | ΒΑΛΤΙΟΝ      | 248511.122 | 2259927.564 | 80.907  |
| 117012 | ΔΡΥΜΟΥΛΙΑ    | 286231.476 | 2266418.580 | 229.749 |
| 214006 | Ν.ΠΛΑΤΕΙΑ    | 260656.245 | 2246777.414 | 1.246   |
| 214009 | ΠΑΛΗΟΓΙΑΝΝΗΣ | 278866.065 | 2250118.164 | 3.617   |
| 214036 | ΑΓ.ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ | 261663.543 | 2259709.818 | 42.140  |
| 214039 | ΖΥΓΟΣ        | 280240.372 | 2259548.782 | 983.942 |

### 6.3.1 Μετασχηματισμός συντεταγμένων HTRS07-ΕΓΣΑ87 (εφαρμογή HEPOS)

Οι καρτεσιανές συντεταγμένες των σημείων στο σύστημα HTRS07, μέσω της εφαρμογής του HEPOS (HeposTT), μετασχηματίστηκαν σε χαρτογραφικές στο σύστημα ΕΓΣΑ87. Οι μετασχηματισμένες χαρτογραφικές συντεταγμένες των σημείων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.



**Πίνακας 6.13:** Χαρτογραφικές συντεταγμένες σημείων στο σύστημα ΕΓΣΑ87 (εφαρμογή HEPOS).

| Σημείο | Όνομα        | E (m)      | N (m)       | H (m)   |
|--------|--------------|------------|-------------|---------|
| 015024 | ΑΜΜΟΣ        | 277643.782 | 4271218.193 | 20.060  |
| 015041 | ΠΕΙΝΑ        | 279683.434 | 4275755.989 | 72.473  |
| 056025 | ΚΑΣΤΡΟΝ      | 259643.029 | 4270667.983 | 136.572 |
| 108011 | ΠΑΛΙΟΣΤΑΝΗ   | 287254.815 | 4248717.851 | 65.743  |
| 110004 | ΑΝΩΝΥΜΟΝ     | 257410.401 | 4242661.148 | 2.337   |
| 110011 | ΤΑΞΙΑΡΧΗΣ    | 256717.623 | 4245760.475 | 64.598  |
| 110024 | ΠΑΛΙΟΓΑΛΛΑΡΑ | 248441.824 | 4250508.665 | 1.588   |
| 110029 | ΠΕΤΡΑΛΩΝΑ    | 255917.489 | 4253065.752 | 23.546  |
| 110038 | ΠΑΝΑΓΙΑ      | 257704.415 | 4258527.926 | 207.871 |
| 110039 | ΒΑΛΤΙΟΝ      | 248360.045 | 4259639.971 | 80.906  |
| 117012 | ΔΡΥΜΟΥΛΙΑ    | 286080.617 | 4266130.751 | 229.749 |
| 214006 | Ν.ΠΛΑΤΕΙΑ    | 260505.235 | 4246489.900 | 1.246   |
| 214009 | ΠΑΛΗΟΓΙΑΝΝΗΣ | 278715.133 | 4249830.318 | 3.617   |
| 214036 | ΑΓ.ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ | 261512.485 | 4259422.292 | 42.140  |
| 214039 | ΖΥΓΟΣ        | 280089.472 | 4259261.078 | 983.941 |

Οι παραπάνω χαρτογραφικές συντεταγμένες δεν απαιτείται να συγκριθούν με τις αντίστοιχες συντεταγμένες που θα προέκυπταν από το μετασχηματισμό μέσω του λογισμικού TBC. Μια παρόμοια σύγκριση έχει ήδη γίνει μία φορά στην ανωτέρω παράγραφο 6.2.3 και έχουν εξαχθεί τα ανάλογα συμπεράσματα που αφορούν τις δύο εφαρμογές μετασχηματισμού συντεταγμένων (HEPOS και TBC).

## 7 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup> : Σύγκριση αποτελεσμάτων λογισμικών

Στο πλαίσιο αξιολόγησης των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τα λογισμικά επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων, έγινε σύγκριση αυτών για να διαπιστωθεί κατά πόσο διαφέρουν. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων έγινε επί των χαρτογραφικών συντεταγμένων (E, N) και H των σημείων στο σύστημα HTRS07, όπως αυτές προέκυψαν από το προηγούμενο κεφάλαιο προκειμένου να μην επηρεαστεί η σύγκριση από τις διαφορές στον τρόπο υλοποίησης του μετασχηματισμού HTRS07 - ΕΓΣΑ87, που περιεγράφηκαν στο κεφάλαιο 6. Τα αποτελέσματα που συγκρίθηκαν αφορούν τις εξής περιπτώσεις:

- α. HGO (GPS) και TBC (GPS-GLO).
- β. HGO (GPS) και TBC (GPS-GLO-GAL).
- γ. TBC (GPS-GLO) και TBC (GPS-GLO-GAL).

### 7.1 Σύγκριση αποτελεσμάτων HGO (GPS) και TBC (GPS-GLO)

Η σύγκριση αυτή αφορά χαρτογραφικές συντεταγμένες των σημείων στο σύστημα HTRS07, όπως προέκυψαν από τα λογισμικά HGO (GPS) και TBC (GPS-GLO). Σαν συντεταγμένες αναφοράς ορίστηκαν αυτές που προέκυψαν από το λογισμικό HGO. Έτσι υπολογίστηκαν τα  $\delta E$ ,  $\delta N$ ,  $\delta H$  και  $\delta S$  ( $\delta S = \sqrt{\delta E^2 + \delta N^2}$ ) των χαρτογραφικών συντεταγμένων που προήλθαν από το λογισμικό TBC (GPS-GLO). Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης των χαρτογραφικών συντεταγμένων.

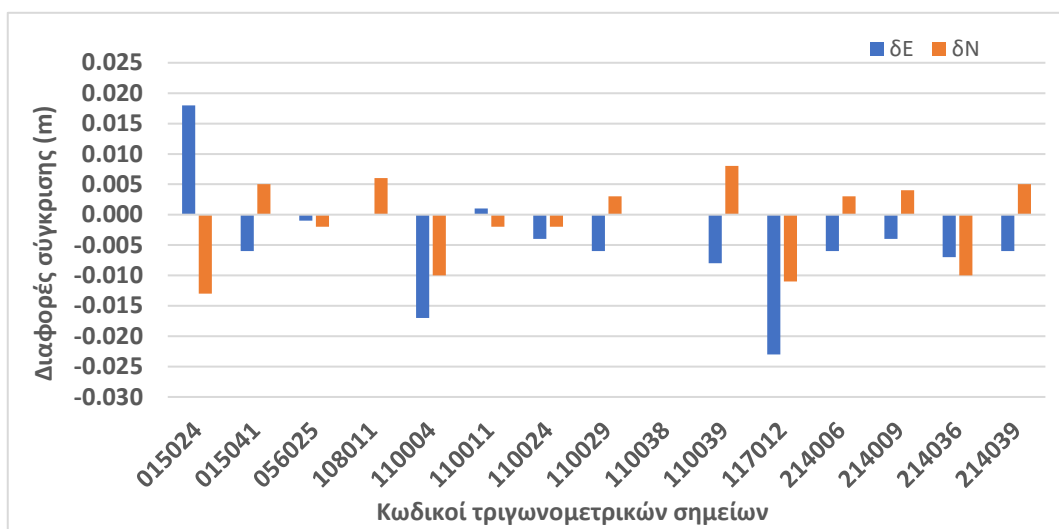
Πίνακας 7.1: Σύγκριση χαρτογραφικών συντεταγμένων στο σύστημα HTRS07.

| Σημείο | Συντεταγμένες HTRS07 (HGO (GPS)) |             |         | Συντεταγμένες HTRS07 (TBC (GPS-GLO)) |             |         | Αποτελέσματα σύγκρισης |                |                |                |
|--------|----------------------------------|-------------|---------|--------------------------------------|-------------|---------|------------------------|----------------|----------------|----------------|
|        | E (m)                            | N (m)       | H (m)   | E (m)                                | N (m)       | H (m)   | $\delta E$ (m)         | $\delta N$ (m) | $\delta S$ (m) | $\delta H$ (m) |
| 015024 | 277794.808                       | 2271505.963 | 20.201  | 277794.826                           | 2271505.950 | 20.236  | 0.018                  | -0.013         | 0.022          | 0.035          |
| 015041 | 279834.452                       | 2276043.943 | 72.503  | 279834.446                           | 2276043.948 | 72.507  | -0.006                 | 0.005          | 0.008          | 0.004          |
| 056025 | 259794.109                       | 2270955.562 | 136.589 | 259794.108                           | 2270955.560 | 136.582 | -0.001                 | -0.002         | 0.002          | -0.007         |
| 108011 | 287405.663                       | 2249005.697 | 65.709  | 287405.663                           | 2249005.703 | 65.755  | 0.000                  | 0.006          | 0.006          | 0.046          |
| 110004 | 257561.501                       | 2242948.714 | 2.286   | 257561.484                           | 2242948.704 | 2.344   | -0.017                 | -0.010         | 0.020          | 0.058          |
| 110011 | 256868.667                       | 2246047.999 | 64.591  | 256868.668                           | 2246047.997 | 64.606  | 0.001                  | -0.002         | 0.002          | 0.015          |
| 110024 | 248592.851                       | 2250796.231 | 1.592   | 248592.847                           | 2250796.229 | 1.575   | -0.004                 | -0.002         | 0.004          | -0.017         |
| 110029 | 256068.560                       | 2253353.299 | 23.511  | 256068.554                           | 2253353.302 | 23.544  | -0.006                 | 0.003          | 0.007          | 0.033          |
| 110038 | 257855.476                       | 2258815.431 | 207.861 | 257855.476                           | 2258815.431 | 207.859 | 0.000                  | 0.000          | 0.000          | -0.002         |
| 110039 | 248511.127                       | 2259927.556 | 80.908  | 248511.119                           | 2259927.564 | 80.959  | -0.008                 | 0.008          | 0.011          | 0.051          |
| 117012 | 286231.502                       | 2266418.598 | 229.637 | 286231.479                           | 2266418.587 | 229.817 | -0.023                 | -0.011         | 0.025          | 0.180          |
| 214006 | 260656.249                       | 2246777.411 | 1.215   | 260656.243                           | 2246777.414 | 1.255   | -0.006                 | 0.003          | 0.007          | 0.040          |
| 214009 | 278866.072                       | 2250118.160 | 3.586   | 278866.068                           | 2250118.164 | 3.613   | -0.004                 | 0.004          | 0.006          | 0.027          |
| 214036 | 261663.551                       | 2259709.834 | 42.113  | 261663.544                           | 2259709.824 | 42.150  | -0.007                 | -0.010         | 0.012          | 0.037          |
| 214039 | 280240.377                       | 2259548.778 | 983.969 | 280240.371                           | 2259548.783 | 983.950 | -0.006                 | 0.005          | 0.008          | -0.019         |

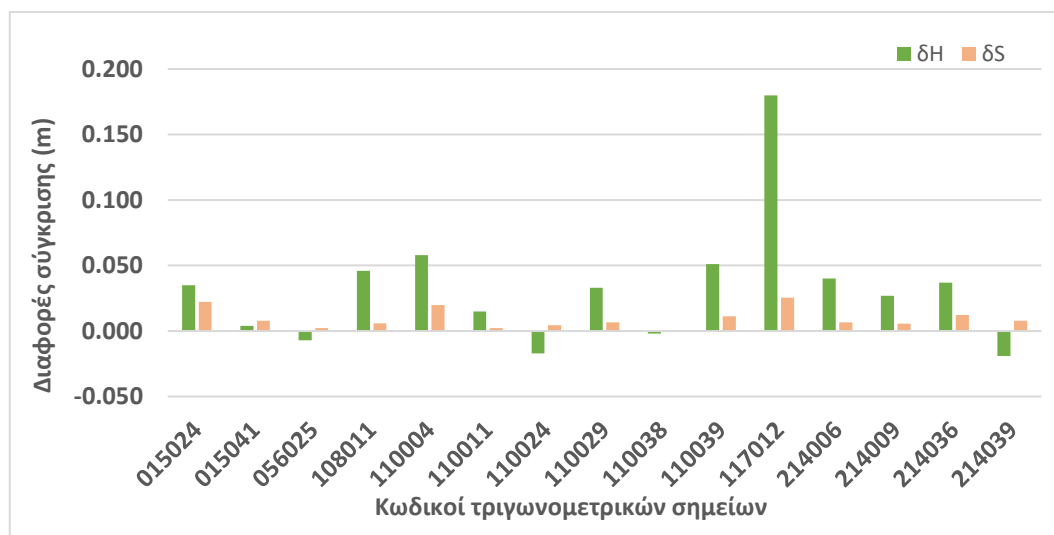
Παρατηρείται ότι οι διαφορές που προέκυψαν από τη σύγκριση είναι σχετικά μικρές, καθώς κυμαίνονται από μερικά mm έως λίγα cm. Εξαιρέση αποτελεί το σημείο 117012, όπου η υψομετρική διαφορά  $\delta H$  είναι 18 cm. Το συγκεκριμένο σημείο κατά τη διάρκεια των μετρήσεων είχε περιορισμένο ορίζοντα, καθώς ήταν εντός πυκνής βλάστησης (βλ. Εικόνα 5.13).

Σημεία με ανοιχτό ορίζοντα (π.χ. σημείο 056025) παρουσιάζουν οριζοντιογραφικές διαφορές αρκετά μικρές, της τάξης των μερικών mm. Επίσης, παρατηρείται, ότι οι απόλυτες τιμές των υψομετρικών διαφορών  $\delta H$ , στις περισσότερες των περιπτώσεων, είναι λίγο μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες οριζοντιογραφικές διαφορές. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η οριζοντιογραφική ακρίβεια των επιλύσεων, κατά κανόνα, είναι καλύτερη της κατακόρυφης.

Οι διαφορές που προέκυψαν από την ανωτέρω σύγκριση των χαρτογραφικών συντεταγμένων και ορθομετρικών υψομέτρων (λογισμικά HGO (GPS) και TBC (GPS-GLO)), παρουσιάζονται και στα διαγράμματα των παρακάτω εικόνων.



Εικόνα 7.1: Διάγραμμα διαφορών δE και δN (HGO (GPS)-TBC (GPS-GLO)).



Εικόνα 7.2: Διάγραμμα διαφορών δH και δS (HGO (GPS)-TBC (GPS-GLO)).

## 7.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων HGO (GPS) και TBC (GPS-GLO-GAL)

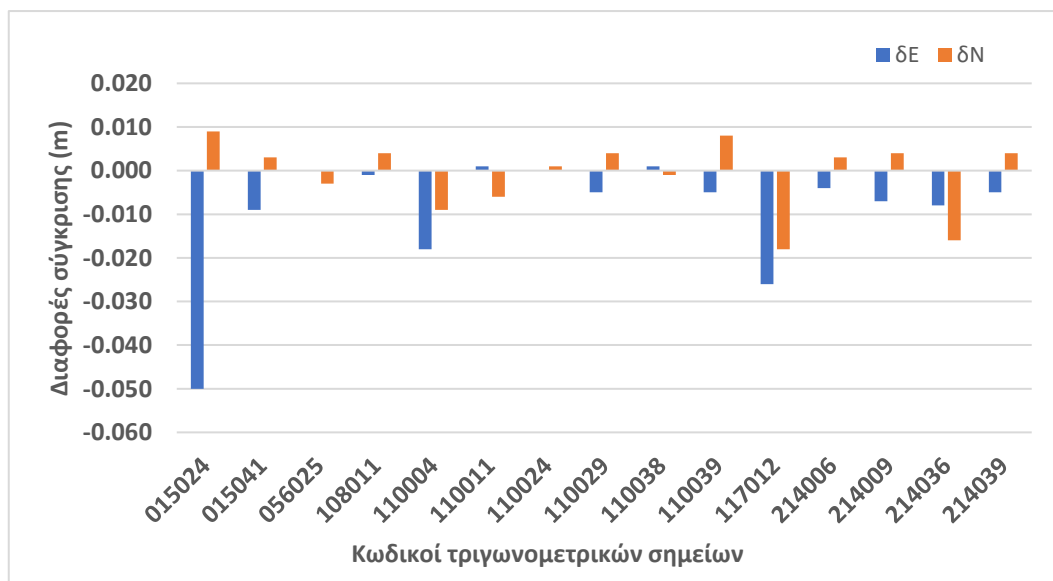
Αυτή η σύγκριση αφορά χαρτογραφικές συντεταγμένες των σημείων στο σύστημα HTRS07, όπως προέκυψαν από τα λογισμικά HGO (GPS) και TBC (GPS-GLO-GAL). Σαν συντεταγμένες αναφοράς ορίστηκαν αυτές που προέκυψαν από το λογισμικό HGO. Έτσι υπολογίστηκαν τα  $\delta E$ ,  $\delta N$ ,  $\delta H$  και  $\delta S$  ( $\delta S = \sqrt{\delta E^2 + \delta N^2}$ ) των χαρτογραφικών συντεταγμένων που προήλθαν από το λογισμικό TBC (GPS-GLO-GAL). Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης των χαρτογραφικών συντεταγμένων.

**Πίνακας 7.2:** Σύγκριση χαρτογραφικών συντεταγμένων στο σύστημα HTRS07.

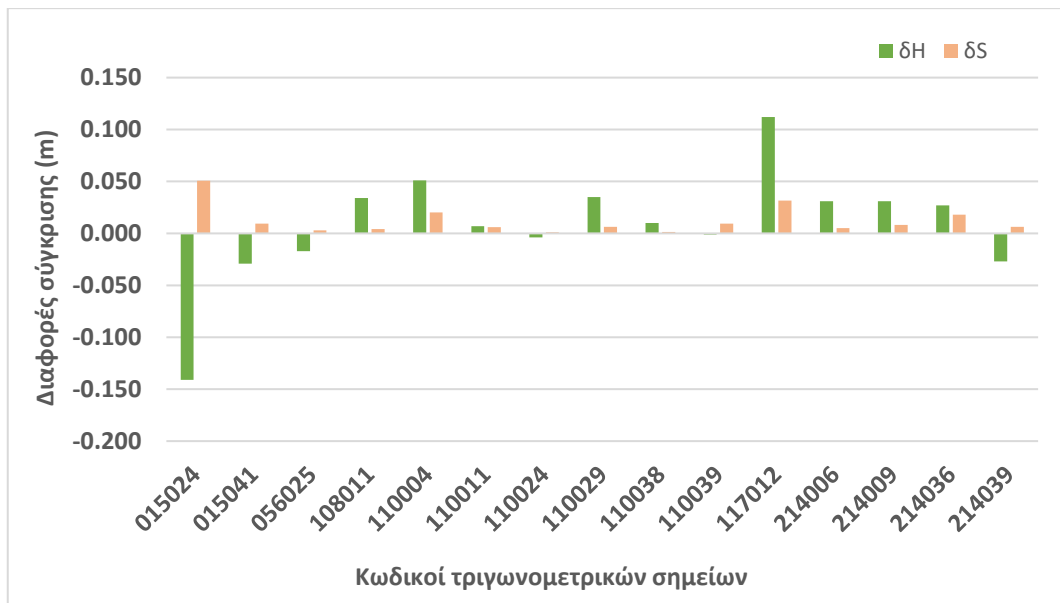
| Σημείο | Συντεταγμένες HTRS07 (HGO (GPS)) |             |         | Συντεταγμένες HTRS07 (TBC (GPS-GLO-GAL)) |             |         | Αποτελέσματα σύγκρισης |        |        |        |
|--------|----------------------------------|-------------|---------|--|-------------|---------|------------------------|--------|--------|--------|
|        | E (m)                            | N (m)       | H (m)   | E (m)                                    | N (m)       | H (m)   | δE (m)                 | δN (m) | δS (m) | δH (m) |
| 015024 | 277794.808                       | 2271505.963 | 20.201  | 277794.758                               | 2271505.972 | 20.060  | -0.050                 | 0.009  | 0.051  | -0.141 |
| 015041 | 279834.452                       | 2276043.943 | 72.503  | 279834.443                               | 2276043.946 | 72.474  | -0.009                 | 0.003  | 0.009  | -0.029 |
| 056025 | 259794.109                       | 2270955.562 | 136.589 | 259794.109                               | 2270955.559 | 136.572 | 0.000                  | -0.003 | 0.003  | -0.017 |
| 108011 | 287405.663                       | 2249005.697 | 65.709  | 287405.662                               | 2249005.701 | 65.743  | -0.001                 | 0.004  | 0.004  | 0.034  |
| 110004 | 257561.501                       | 2242948.714 | 2.286   | 257561.483                               | 2242948.705 | 2.337   | -0.018                 | -0.009 | 0.020  | 0.051  |
| 110011 | 256868.667                       | 2246047.999 | 64.591  | 256868.668                               | 2246047.993 | 64.598  | 0.001                  | -0.006 | 0.006  | 0.007  |
| 110024 | 248592.851                       | 2250796.231 | 1.592   | 248592.851                               | 2250796.232 | 1.588   | 0.000                  | 0.001  | 0.001  | -0.004 |
| 110029 | 256068.560                       | 2253353.299 | 23.511  | 256068.555                               | 2253353.303 | 23.546  | -0.005                 | 0.004  | 0.006  | 0.035  |
| 110038 | 257855.476                       | 2258815.431 | 207.861 | 257855.477                               | 2258815.430 | 207.871 | 0.001                  | -0.001 | 0.001  | 0.010  |
| 110039 | 248511.127                       | 2259927.556 | 80.908  | 248511.122                               | 2259927.564 | 80.907  | -0.005                 | 0.008  | 0.009  | -0.001 |
| 117012 | 286231.502                       | 2266418.598 | 229.637 | 286231.476                               | 2266418.580 | 229.749 | -0.026                 | -0.018 | 0.032  | 0.112  |
| 214006 | 260656.249                       | 2246777.411 | 1.215   | 260656.245                               | 2246777.414 | 1.246   | -0.004                 | 0.003  | 0.005  | 0.031  |
| 214009 | 278866.072                       | 2250118.160 | 3.586   | 278866.065                               | 2250118.164 | 3.617   | -0.007                 | 0.004  | 0.008  | 0.031  |
| 214036 | 261663.551                       | 2259709.834 | 42.113  | 261663.543                               | 2259709.818 | 42.140  | -0.008                 | -0.016 | 0.018  | 0.027  |
| 214039 | 280240.377                       | 2259548.778 | 983.969 | 280240.372                               | 2259548.782 | 983.942 | -0.005                 | 0.004  | 0.006  | -0.027 |

Παρατηρείται ότι οι διαφορές που προέκυψαν από τη σύγκριση είναι σχετικά μικρές, καθώς κυμαίνονται από μερικά mm έως λίγα cm. Εξάιρεση αποτελούν οι υψομετρικές διαφορές δH των σημείων 015024 και 117012 που σε απόλυτες τιμές είναι 14.1 και 11.2 cm, αντίστοιχα. Τα συγκεκριμένα σημεία γενικά παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες διαφορές, καθώς κατά τη διάρκεια των μετρήσεων βρίσκονταν εντός πυκνής βλάστησης και είχαν περιορισμένο ορίζοντα. Σε γενικές γραμμές τα αποτελέσματα αυτής της σύγκρισης προσεγγίζουν αρκετά αυτά της σύγκρισης HGO (GPS)-TBC (GPS-GLO).

Οι διαφορές που προέκυψαν από την ανωτέρω σύγκριση των χαρτογραφικών συντεταγμένων και ορθομετρικών υψομέτρων (λογισμικά HGO (GPS) και TBC (GPS-GLO-GAL)), παρουσιάζονται και στα διαγράμματα των παρακάτω εικόνων.



**Εικόνα 7.3:** Διάγραμμα διαφορών δE και δN (HGO (GPS)-TBC (GPS-GLO-GAL)).



Εικόνα 7.4: Διάγραμμα διαφορών δH και δS (HGO (GPS)-TBC (GPS-GLO-GAL)).

### 7.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων TBC (GPS-GLO) και TBC (GPS-GLO-GAL)

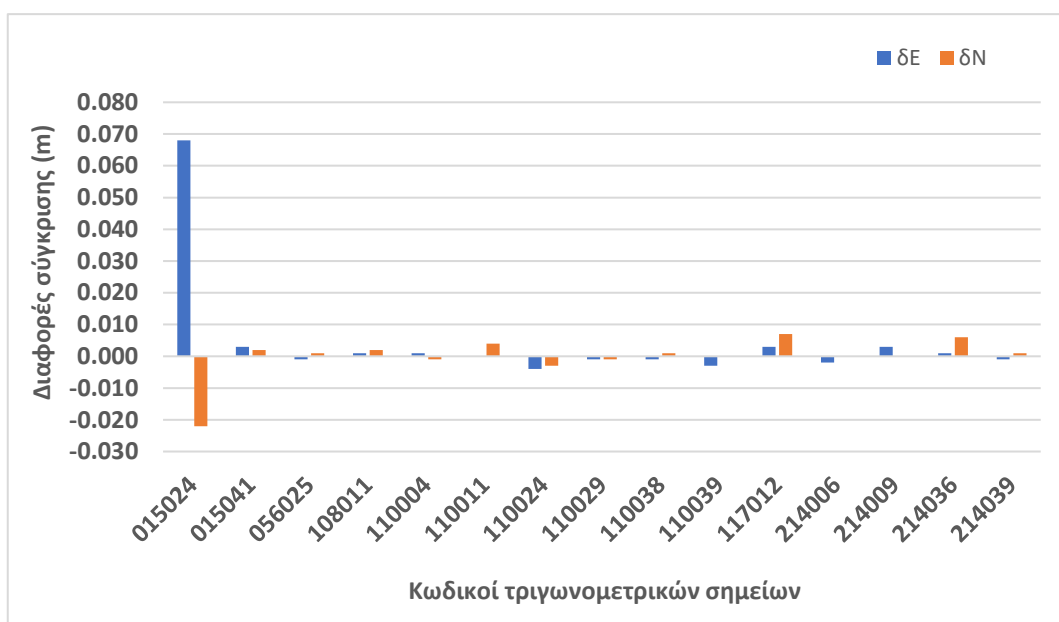
Αυτή η σύγκριση αφορά χαρτογραφικές συντεταγμένες των σημείων στο σύστημα HTRS07, όπως προέκυψαν από το λογισμικό TBC (GPS-GLO) και TBC (GPS-GLO-GAL). Σαν συντεταγμένες αναφοράς ορίστηκαν αυτές που προέκυψαν από το λογισμικό TBC (GPS-GLO-GAL). Έτσι υπολογίσθηκαν τα δE, δN, δH και δS ( $\delta S = \sqrt{\delta E^2 + \delta N^2}$ ) των χαρτογραφικών συντεταγμένων που προήλθαν από το λογισμικό TBC (GPS-GLO). Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης των χαρτογραφικών συντεταγμένων.

Πίνακας 7.3: Σύγκριση χαρτογραφικών συντεταγμένων στο σύστημα HTRS07.

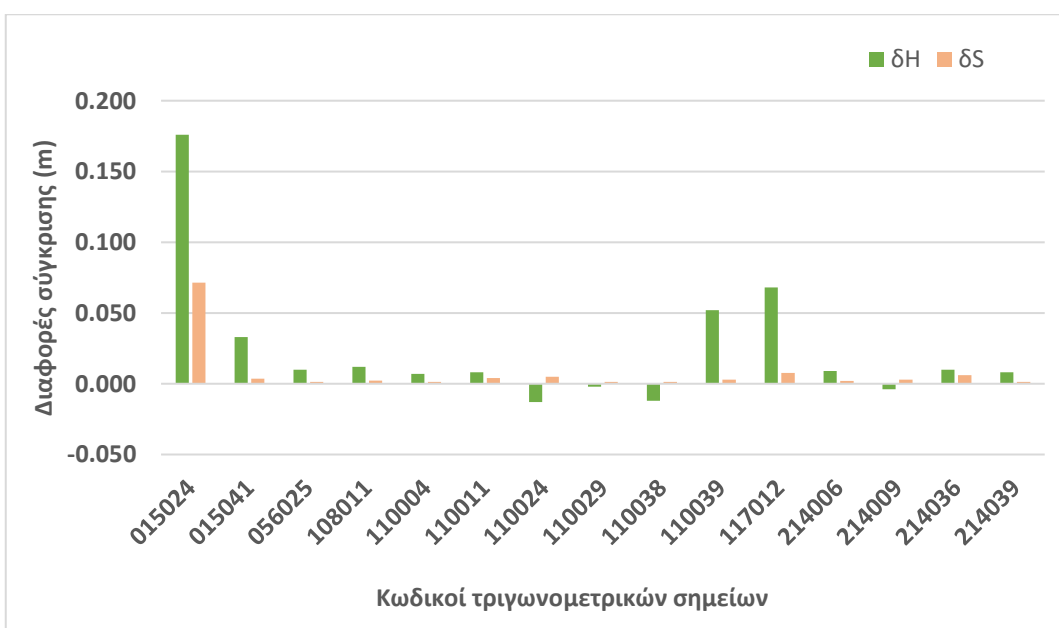
| Σημείο | Συντεταγμένες HTRS07<br>(TBC (GPS-GLO-GAL)) |             |          | Συντεταγμένες HTRS07<br>(TBC (GPS-GLO)) |             |          | Διαφορές  |           |           |           |
|--------|---|-------------|----------|---|-------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|        | E<br>(m)                                    | N<br>(m)    | H<br>(m) | E<br>(m)                                | N<br>(m)    | H<br>(m) | δE<br>(m) | δN<br>(m) | δS<br>(m) | δH<br>(m) |
| 015024 | 277794.758                                  | 2271505.972 | 20.060   | 277794.826                              | 2271505.950 | 20.236   | 0.068     | -0.022    | 0.071     | 0.176     |
| 015041 | 279834.443                                  | 2276043.946 | 72.474   | 279834.446                              | 2276043.948 | 72.507   | 0.003     | 0.002     | 0.004     | 0.033     |
| 056025 | 259794.109                                  | 2270955.559 | 136.572  | 259794.108                              | 2270955.560 | 136.582  | -0.001    | 0.001     | 0.001     | 0.010     |
| 108011 | 287405.662                                  | 2249005.701 | 65.743   | 287405.663                              | 2249005.703 | 65.755   | 0.001     | 0.002     | 0.002     | 0.012     |
| 110004 | 257561.483                                  | 2242948.705 | 2.337    | 257561.484                              | 2242948.704 | 2.344    | 0.001     | -0.001    | 0.001     | 0.007     |
| 110011 | 256868.668                                  | 2246047.993 | 64.598   | 256868.668                              | 2246047.997 | 64.606   | 0.000     | 0.004     | 0.004     | 0.008     |
| 110024 | 248592.851                                  | 2250796.232 | 1.588    | 248592.847                              | 2250796.229 | 1.575    | -0.004    | -0.003    | 0.005     | -0.013    |
| 110029 | 256068.555                                  | 2253353.303 | 23.546   | 256068.554                              | 2253353.302 | 23.544   | -0.001    | -0.001    | 0.001     | -0.002    |
| 110038 | 257855.477                                  | 2258815.430 | 207.871  | 257855.476                              | 2258815.431 | 207.859  | -0.001    | 0.001     | 0.001     | -0.012    |
| 110039 | 248511.122                                  | 2259927.564 | 80.907   | 248511.119                              | 2259927.564 | 80.959   | -0.003    | 0.000     | 0.003     | 0.052     |
| 117012 | 286231.476                                  | 2266418.580 | 229.749  | 286231.479                              | 2266418.587 | 229.817  | 0.003     | 0.007     | 0.008     | 0.068     |
| 214006 | 260656.245                                  | 2246777.414 | 1.246    | 260656.243                              | 2246777.414 | 1.255    | -0.002    | 0.000     | 0.002     | 0.009     |
| 214009 | 278866.065                                  | 2250118.164 | 3.617    | 278866.068                              | 2250118.164 | 3.613    | 0.003     | 0.000     | 0.003     | -0.004    |
| 214036 | 261663.543                                  | 2259709.818 | 42.140   | 261663.544                              | 2259709.824 | 42.150   | 0.001     | 0.006     | 0.006     | 0.010     |
| 214039 | 280240.372                                  | 2259548.782 | 983.942  | 280240.371                              | 2259548.783 | 983.950  | -0.001    | 0.001     | 0.001     | 0.008     |

Παρατηρείται ότι οι διαφορές των οριζοντιογραφικών συντεταγμένων που προέκυψαν από αυτή τη σύγκριση, με εξαίρεση το σημείο 015024, κυμαίνονται στα λίγα mm. Στο σημείο 015024 οι οριζοντιογραφικές διαφορές κυμαίνονται στα λίγα cm, με το οριζοντιογραφικό σφάλμα δS να φτάνει στα 7.1 cm. Το συγκεκριμένο σημείο, όπως έχει ήδη ειπωθεί, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων βρισκόταν εντός πυκνής βλάστησης και είχε περιορισμένο ορίζοντα. Σχετικά με τις υψομετρικές διαφορές των σημείων, παρατηρείται ότι αυτές κυμαίνονται από μερικά mm έως λίγα cm. Εξαίρεση αποτελεί η υψομετρική διαφορά δH του σημείου 015024 που είναι 17.6 cm, για τον λόγο που αναφέρθηκε πιο πάνω (περιορισμένος ορίζοντας λόγω πυκνής βλάστησης).

Οι διαφορές που προέκυψαν από την ανωτέρω σύγκριση των χαρτογραφικών συντεταγμένων και ορθομετρικών υψομέτρων (λογισμικά TBC (GPS-GLO-GAL) και TBC (GPS-GLO)), παρουσιάζονται και στα διαγράμματα των παρακάτω εικόνων.



Εικόνα 7.5: Διάγραμμα διαφορών δE και δN (TBC (GPS-GLO)-TBC (GPS-GLO-GAL)).



Εικόνα 7.6: Διάγραμμα διαφορών δH και δS (TBC (GPS-GLO)-TBC (GPS-GLO-GAL)).

## 8 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup> : Σύγκριση RTK και στατικών μετρήσεων

Κατά τη χρονική περίοδο από 18 έως 21 Μαΐου 2023, εκτός των στατικών μετρήσεων, στα σημεία που υπήρχε η δυνατότητα λήψης σήματος κινητής τηλεφωνίας, έγιναν και μετρήσεις προσδιορισμού θέσης σε πραγματικό χρόνο (RTK). Η υλοποίηση των RTK μετρήσεων έγινε με χρήση του συστήματος HEPOS. Η τεχνική που επιλέχθηκε ήταν η Single Base RTK, σύμφωνα με την οποία το σύστημα HEPOS αποστέλλει στον δέκτη δορυφορικά δεδομένα από τα συστήματα GPS και GLONASS. Τα δεδομένα αυτά προέρχονται από τον σταθμό αναφοράς που είναι πλησιέστερος στον δέκτη.

| Πλήρης κατάλογος των Mountpoints του HEPOS<br>(συνδέσεις με το HEPOS μέσω GPRS (mobile internet)). |                             |                               |          |                             |
|--|-----------------------------|-------------------------------|----------|-----------------------------|
| A/A  | Mountpoint                  | Τεχνική                       | Format   | Συστήματα GNSS <sup>1</sup> |
| 1  | 019A                        | Single-Base DGPS <sup>2</sup> | RTCM 2.3 | GPS-GLN                     |
| 2  | 030A                        | >>                            | >>       | GPS-GLN                     |
| 3  | 038A                        | >>                            | >>       | GPS-GLN                     |
| 4  | 076A                        | >>                            | >>       | GPS-GLN                     |
| 5  | 079A                        | >>                            | >>       | GPS-GLN                     |
| 6  | 095A                        | >>                            | >>       | GPS-GLN                     |
| 7  | 098A                        | >>                            | >>       | GPS-GLN                     |
| 8  | DGPS                        | Network DGPS                  | >>       | GPS-GLN                     |
| 9  | Single Base RTK GPSonly     | Single-Base RTK <sup>3</sup>  | >>       | GPS                         |
| 10   | Single Base RTK             | >>                            | >>       | GPS-GLN                     |
| 11   | Single Base RTK CMRp        | >>                            | CMR+     | GPS-GLN                     |
| 12   | RTK Single Base RTCM32 GGGB | >>                            | RTCM 3.2 | GPS-GLN-GAL-BDS             |
| 13   | RTK Single Base CMRx GGGB   | >>                            | CMRx     | GPS-GLN-GAL-BDS             |

Εικόνα 8.1: Επιλεγθείσα τεχνική για τις RTK μετρήσεις.

Πηγή: (Ελληνικό Κτηματολόγιο, 2023).

Η επιλογή που έγινε στο χειριστήριο του δέκτη, σε σχέση με το σύστημα αναφοράς, ήταν η HEPOS\_EGSA. Με αυτή την επιλογή οι θέσεις των μετρούμενων σημείων αποδίδονται σε χαρτογραφικές συντεταγμένες (E, N) και H στο σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ87. Οι RTK μετρήσεις σε κάθε σημείο έγιναν μετά το πέρας των αντίστοιχων στατικών μετρήσεων. Ορισμένα σημεία βρίσκονταν εντός πυκνής βλάστησης, γεγονός που δυσκόλευε τον δέκτη να υπολογίσει την ασάφεια φάσης. Επίσης, στο τριγωνομετρικό σημείο με κωδικό 214039 δεν πραγματοποιήθηκαν RTK μετρήσεις, λόγω αδυναμίας λήψης σήματος κινητής τηλεφωνίας.

Οι χαρτογραφικές συντεταγμένες που προέκυψαν από τις RTK μετρήσεις, στο πλαίσιο αξιολόγησής τους, συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες συντεταγμένες που προήλθαν από τα λογισμικά επεξεργασίας των στατικών μετρήσεων. Σαν συντεταγμένες από τα λογισμικά επεξεργασίας των στατικών μετρήσεων, χρησιμοποιήθηκαν αυτές που προήλθαν από τον μετασχηματισμό HTRS07-ΕΓΣΑ87, μέσω της εφαρμογής του HEPOS (HeposTT).

### 8.1 Αποτελέσματα RTK μετρήσεων

Καθώς οι RTK μετρήσεις έγιναν με την τεχνική Single Base RTK, το σύστημα HEPOS παρείχε στον δέκτη δορυφορικά δεδομένα των συστημάτων GPS και GLONASS. Επομένως, οι χαρτογραφικές συντεταγμένες των σημείων στο σύστημα ΕΓΣΑ87 προέκυψαν από δεδομένα αυτών των δύο δορυφορικών συστημάτων. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι συντεταγμένες των σημείων, όπως αυτές προέκυψαν από τις RTK μετρήσεις.

Πίνακας 8.1: Χαρτογραφικές συντεταγμένες σημείων στο σύστημα ΕΓΣΑ87 (RTK μετρήσεις).

| Κωδικός | Όνομα | E (m)      | N (m)       | H (m)  |
|---------|-------|------------|-------------|--------|
| 015024  | ΑΜΜΟΣ | 277643.736 | 4271218.149 | 20.098 |
| 015041  | ΠΕΙΝΑ | 279683.435 | 4275756.040 | 72.453 |

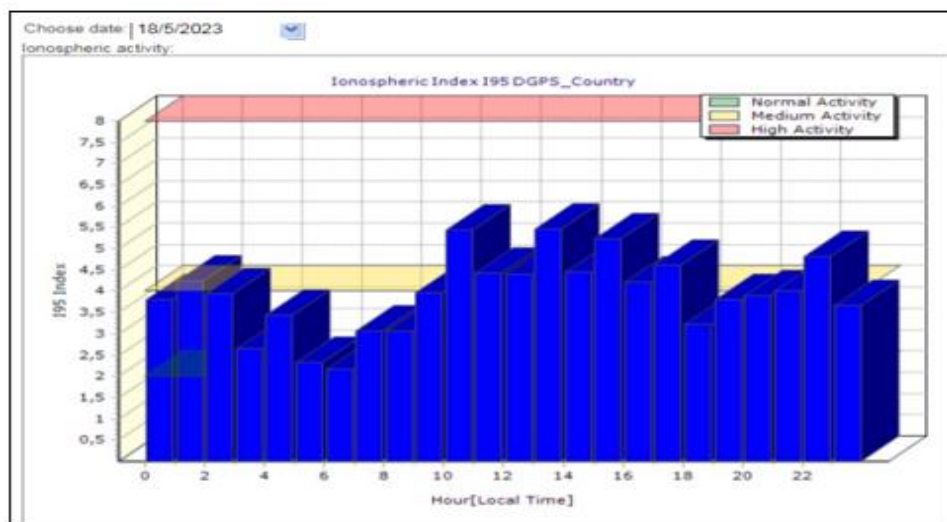
|        |              |            |             |         |
|--------|--------------|------------|-------------|---------|
| 056025 | ΚΑΣΤΡΟΝ      | 259643.024 | 4270668.009 | 136.535 |
| 108011 | ΠΑΛΙΟΣΤΑΝΗ   | 287254.942 | 4248717.877 | 65.778  |
| 110004 | ΑΝΩΝΥΜΟΝ     | 257410.408 | 4242661.129 | 2.299   |
| 110011 | ΤΑΞΙΑΡΧΗΣ    | 256717.647 | 4245760.484 | 64.621  |
| 110024 | ΠΑΛΙΟΓΑΛΛΑΡΑ | 248441.828 | 4250508.674 | 1.599   |
| 110029 | ΠΕΤΡΑΛΩΝΑ    | 255917.511 | 4253065.755 | 23.518  |
| 110038 | ΠΑΝΑΓΙΑ      | 257704.416 | 4258527.938 | 207.854 |
| 110039 | ΒΑΛΤΙΟΝ      | 248360.040 | 4259639.950 | 80.891  |
| 117012 | ΔΡΥΜΟΥΛΙΑ    | 286080.711 | 4266130.817 | 229.789 |
| 214006 | Ν.ΠΛΑΤΕΙΑ    | 260505.246 | 4246489.912 | 1.247   |
| 214009 | ΠΑΛΗΟΓΙΑΝΝΗΣ | 278715.259 | 4249830.330 | 3.686   |
| 214036 | ΑΓ.ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ | 261512.481 | 4259422.311 | 42.086  |

## 8.2 Δείκτης διακύμανσης ιονόσφαιρας I95

Κατά τη διάρκεια των δορυφορικών μετρήσεων αυτό που έχει ιδιαίτερη σημασία δεν είναι τόσο ο βαθμός φόρτισης της ιονόσφαιρας, όσο κυρίως η χωρική μεταβολή του βαθμού φόρτισης (Γιαννίου & Μάστορης, 2017). Στα δίκτυα των σταθμών αναφοράς ο ποσοτικός προσδιορισμός αυτής της χωρικής μεταβολής του βαθμού φόρτισης της ιονόσφαιρας, γίνεται μέσω του δείκτη I95. Έντονες χωρικές μεταβολές του βαθμού φόρτισης αντιστοιχούν σε μεγάλες υποβαθμίσεις της ακρίβειας των RTK μετρήσεων. Ο υπολογισμός του δείκτη I95 βασίζεται στη σχέση  $\Delta I = \sqrt{\Delta I_{LAT}^2 + \Delta I_{LON}^2}$ , όπου τα  $\Delta I_{LAT}$  και  $\Delta I_{LON}$  εκφράζουν το πόσο μεταβάλλεται το ιονοσφαιρικό σφάλμα κατά τις διευθύνσεις βοράς-νότος και ανατολή-δύση, αντίστοιχα. Αφού υπολογιστεί το  $\Delta I$ , ο δείκτης I95 αντιστοιχεί στο 95% όλων των τιμών  $\Delta I$  εντός ενός προκαθορισμένου χρονικού διαστήματος (Wanninger, 2004). Ανάλογα με τις τιμές του δείκτη I95 η ιονοσφαιρική δραστηριότητα διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες (Gianniou & Mitropoulou, 2012):

- α. Χαμηλή δραστηριότητα: Όταν ο δείκτης I95 παίρνει τιμές έως και το 2.
- β. Μέτρια δραστηριότητα: Όταν ο δείκτης I95 παίρνει τιμές από 2 έως και 5.
- γ. Υψηλή δραστηριότητα: Όταν ο δείκτης I95 παίρνει τιμές από 8 και άνω.

Το σύστημα HEPOS, μέσω της επίσημης ιστοσελίδας του, παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού και καταγραφής του δείκτη I95 για το δίκτυό του σε ωριαία βάση.



**Εικόνα 8.2:** Ιονοσφαιρικός δείκτης I95 συστήματος HEPOS σε ωριαία βάση.

Πηγή: (Ελληνικό Κτηματολόγιο, 2023).



Οι τιμές του δείκτη I95 που κατέγραψε το σύστημα HEPOS κατά τη διάρκεια των RTK μετρήσεων, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 8.2:** Τιμές δείκτη I95 κατά τη διάρκεια των RTK μετρήσεων.

| Κωδικός | Όνομα        | Δείκτης I95 |
|---------|--------------|-------------|
| 015024  | ΑΜΜΟΣ        | 6.4         |
| 015041  | ΠΕΙΝΑ        | 7.0         |
| 056025  | ΚΑΣΤΡΟΝ      | 4.8         |
| 108011  | ΠΑΛΙΟΣΤΑΝΗ   | 5.4         |
| 110004  | ΑΝΩΝΥΜΟΝ     | 5.0         |
| 110011  | ΤΑΞΙΑΡΧΗΣ    | 5.3         |
| 110024  | ΠΑΛΙΟΓΑΛΛΑΡΑ | 4.0         |
| 110029  | ΠΕΤΡΑΛΩΝΑ    | 5.0         |
| 110038  | ΠΑΝΑΓΙΑ      | 3.0         |
| 110039  | ΒΑΛΤΙΟΝ      | 2.2         |
| 117012  | ΔΡΥΜΟΥΛΙΑ    | 4.8         |
| 214006  | Ν.ΠΛΑΤΕΙΑ    | 3.0         |
| 214009  | ΠΑΛΗΟΓΙΑΝΝΗΣ | 4.3         |
| 214036  | ΑΓ.ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ | 4.3         |

Παρατηρείται ότι όλες οι τιμές του δείκτη I95 είναι μικρότερες του ορίου της υψηλής ιονοσφαιρικής δραστηριότητας (τιμή  $I95 \geq 8$  για υψηλή ιονοσφαιρική δραστηριότητα).

### 8.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων HGO και RTK

Αυτή η σύγκριση αφορά χαρτογραφικές συντεταγμένες των σημείων στο σύστημα ΕΓΣΑ87, όπως προέκυψαν από το λογισμικό HGO και τις RTK μετρήσεις. Σαν συντεταγμένες αναφοράς ορίστηκαν αυτές που προέκυψαν από το λογισμικό HGO. Έτσι υπολογίστηκαν τα  $\delta E$ ,  $\delta N$ ,  $\delta H$  και  $\delta S$  ( $\delta S = \sqrt{\delta E^2 + \delta N^2}$ ) των χαρτογραφικών συντεταγμένων που προήλθαν από τις RTK μετρήσεις. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης.

**Πίνακας 8.3:** Σύγκριση χαρτογραφικών συντεταγμένων στο ΕΓΣΑ87 (HGO-RTK).

| Σημείο | Συντεταγμένες ΕΓΣΑ87 (HGO) |             |         | Συντεταγμένες ΕΓΣΑ87 (RTK) |             |         | Αποτελέσματα σύγκρισης |                |                |                |
|--------|----------------------------|-------------|---------|----------------------------|-------------|---------|------------------------|----------------|----------------|----------------|
|        | E (m)                      | N (m)       | H (m)   | E (m)                      | N (m)       | H (m)   | $\delta E$ (m)         | $\delta N$ (m) | $\delta S$ (m) | $\delta H$ (m) |
| 015024 | 277643.832                 | 4271218.184 | 20.201  | 277643.736                 | 4271218.149 | 20.098  | -0.096                 | -0.035         | 0.102          | -0.103         |
| 015041 | 279683.443                 | 4275755.986 | 72.503  | 279683.435                 | 4275756.040 | 72.453  | -0.008                 | 0.054          | 0.054          | -0.050         |
| 056025 | 259643.029                 | 4270667.986 | 136.589 | 259643.024                 | 4270668.009 | 136.535 | -0.005                 | 0.023          | 0.023          | -0.054         |
| 108011 | 287254.816                 | 4248717.847 | 65.709  | 287254.942                 | 4248717.877 | 65.778  | 0.126                  | 0.030          | 0.129          | 0.069          |
| 110004 | 257410.419                 | 4242661.157 | 2.286   | 257410.408                 | 4242661.129 | 2.299   | -0.011                 | -0.028         | 0.030          | 0.013          |
| 110011 | 256717.622                 | 4245760.481 | 64.591  | 256717.647                 | 4245760.484 | 64.621  | 0.025                  | 0.003          | 0.026          | 0.030          |
| 110024 | 248441.823                 | 4250508.664 | 1.592   | 248441.828                 | 4250508.674 | 1.599   | 0.005                  | 0.010          | 0.011          | 0.007          |
| 110029 | 255917.494                 | 4253065.748 | 23.511  | 255917.511                 | 4253065.755 | 23.518  | 0.017                  | 0.007          | 0.018          | 0.007          |
| 110038 | 257704.415                 | 4258527.927 | 207.861 | 257704.416                 | 4258527.938 | 207.854 | 0.001                  | 0.011          | 0.011          | -0.007         |
| 110039 | 248360.049                 | 4259639.962 | 80.908  | 248360.040                 | 4259639.950 | 80.891  | -0.009                 | -0.012         | 0.015          | -0.017         |
| 117012 | 286080.642                 | 4266130.770 | 229.636 | 286080.711                 | 4266130.817 | 229.789 | 0.069                  | 0.047          | 0.083          | 0.153          |
| 214006 | 260505.239                 | 4246489.897 | 1.215   | 260505.246                 | 4246489.912 | 1.247   | 0.007                  | 0.015          | 0.016          | 0.032          |
| 214009 | 278715.140                 | 4249830.314 | 3.586   | 278715.259                 | 4249830.330 | 3.686   | 0.119                  | 0.016          | 0.120          | 0.100          |
| 214036 | 261512.493                 | 4259422.308 | 42.113  | 261512.481                 | 4259422.311 | 42.086  | -0.012                 | 0.003          | 0.012          | -0.027         |

Παρατηρείται ότι οι διαφορές των οριζοντιογραφικών συντεταγμένων κυμαίνονται από λίγα mm έως αρκετά cm (το μέγιστο οριζοντιογραφικό σφάλμα είναι  $\delta S=12.9$  cm στο σημείο 108011, το οποίο όμως κρίνεται μη αναμενόμενο λόγω του ανοιχτού ορίζοντα στο σημείο και μίας τιμής του I95 συγκρίσιμης με των άλλων σημείων, εξηγείται όμως με βάση την ανάλυση της παραγράφου 8.6). Επίσης, και οι υψομετρικές διαφορές  $\delta H$  κυμαίνονται από λίγα mm έως αρκετά cm, με τη μέγιστη τιμή να φτάνει τα 15.3 cm στο σημείο 117012.

#### 8.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων TBC (GPS-GLO) και RTK

Αυτή η σύγκριση αφορά χαρτογραφικές συντεταγμένες των σημείων στο σύστημα ΕΓΣΑ87, όπως προέκυψαν από το λογισμικό TBC (GPS-GLO) και τις RTK μετρήσεις. Σαν συντεταγμένες αναφοράς ορίστηκαν αυτές που προέκυψαν από το λογισμικό TBC (GPS-GLO). Έτσι υπολογίσθηκαν τα  $\delta E$ ,  $\delta N$ ,  $\delta H$  και  $\delta S$  ( $\delta S = \sqrt{\delta E^2 + \delta N^2}$ ) των χαρτογραφικών συντεταγμένων που προήλθαν από τις RTK μετρήσεις. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης.

**Πίνακας 8.4:** Σύγκριση χαρτογραφικών συντεταγμένων στο ΕΓΣΑ87 (TBC(GPS-GLO)-RTK).

| Σημείο | Συντεταγμένες ΕΓΣΑ87<br>(TBC (GPS-GLO)) |             |          | Συντεταγμένες ΕΓΣΑ87<br>(RTK) |             |          | Αποτελέσματα σύγκρισης |                   |                   |                   |
|--------|---|-------------|----------|-------------------------------|-------------|----------|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|        | E<br>(m)                                | N<br>(m)    | H<br>(m) | E<br>(m)                      | N<br>(m)    | H<br>(m) | $\delta E$<br>(m)      | $\delta N$<br>(m) | $\delta S$<br>(m) | $\delta H$<br>(m) |
| 015024 | 277643.850                              | 4271218.171 | 20.236   | 277643.736                    | 4271218.149 | 20.098   | -0.114                 | -0.022            | 0.116             | -0.138            |
| 015041 | 279683.437                              | 4275755.991 | 72.507   | 279683.435                    | 4275756.040 | 72.453   | -0.002                 | 0.049             | 0.049             | -0.055            |
| 056025 | 259643.027                              | 4270667.984 | 136.582  | 259643.024                    | 4270668.009 | 136.535  | -0.003                 | 0.025             | 0.025             | -0.047            |
| 108011 | 287254.816                              | 4248717.853 | 65.755   | 287254.942                    | 4248717.877 | 65.778   | 0.126                  | 0.024             | 0.128             | 0.023             |
| 110004 | 257410.402                              | 4242661.146 | 2.344    | 257410.408                    | 4242661.129 | 2.299    | 0.006                  | -0.017            | 0.018             | -0.045            |
| 110011 | 256717.623                              | 4245760.479 | 64.606   | 256717.647                    | 4245760.484 | 64.621   | 0.024                  | 0.005             | 0.025             | 0.015             |
| 110024 | 248441.819                              | 4250508.662 | 1.575    | 248441.828                    | 4250508.674 | 1.599    | 0.009                  | 0.012             | 0.015             | 0.024             |
| 110029 | 255917.487                              | 4253065.751 | 23.544   | 255917.511                    | 4253065.755 | 23.518   | 0.024                  | 0.004             | 0.024             | -0.026            |
| 110038 | 257704.415                              | 4258527.926 | 207.859  | 257704.416                    | 4258527.938 | 207.854  | 0.001                  | 0.012             | 0.012             | -0.005            |
| 110039 | 248360.041                              | 4259639.970 | 80.959   | 248360.040                    | 4259639.950 | 80.891   | -0.001                 | -0.020            | 0.020             | -0.068            |
| 117012 | 286080.620                              | 4266130.758 | 229.817  | 286080.711                    | 4266130.817 | 229.789  | 0.091                  | 0.059             | 0.108             | -0.028            |
| 214006 | 260505.233                              | 4246489.900 | 1.255    | 260505.246                    | 4246489.912 | 1.247    | 0.013                  | 0.012             | 0.017             | -0.008            |
| 214009 | 278715.136                              | 4249830.318 | 3.613    | 278715.259                    | 4249830.330 | 3.686    | 0.123                  | 0.012             | 0.123             | 0.073             |
| 214036 | 261512.486                              | 4259422.298 | 42.150   | 261512.481                    | 4259422.311 | 42.086   | -0.005                 | 0.013             | 0.014             | -0.064            |

Παρατηρείται ότι οι διαφορές των οριζοντιογραφικών συντεταγμένων κυμαίνονται από λίγα mm έως αρκετά cm (μέγιστο οριζοντιογραφικό σφάλμα  $\delta S=12.8$  cm στο σημείο 108011). Επίσης, και οι υψομετρικές διαφορές  $\delta H$  κυμαίνονται από λίγα mm έως αρκετά cm, με τη μεγαλύτερη τιμή να φτάνει τα 13.8 cm (σε απόλυτη τιμή) στο σημείο 015024.

#### 8.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων TBC (GPS-GLO-GAL) και RTK

Αυτή η σύγκριση αφορά χαρτογραφικές συντεταγμένες των σημείων στο σύστημα ΕΓΣΑ87, όπως προέκυψαν από το λογισμικό TBC (GPS-GLO-GAL) και τις RTK μετρήσεις. Σαν συντεταγμένες αναφοράς ορίστηκαν αυτές που προέκυψαν από το λογισμικό TBC (GPS-GLO-GAL). Έτσι υπολογίσθηκαν τα  $\delta E$ ,  $\delta N$ ,  $\delta H$  και  $\delta S$  ( $\delta S = \sqrt{\delta E^2 + \delta N^2}$ ) των χαρτογρα-

φικών συντεταγμένων που προήλθαν από τις RTK μετρήσεις. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης.

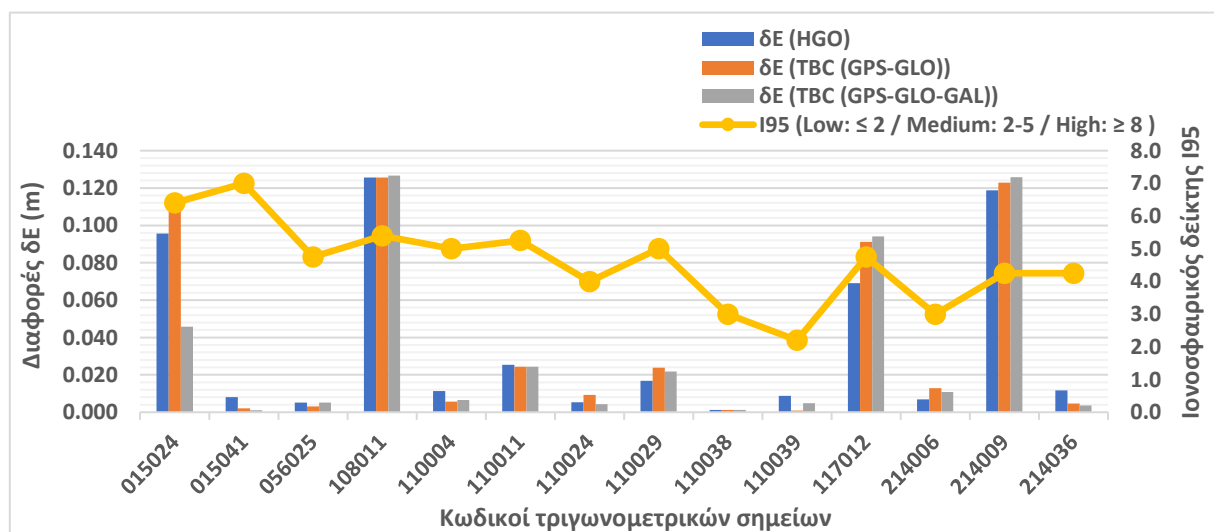
**Πίνακας 8.5:** Σύγκριση χαρτογραφικών συντεταγμένων στο ΕΓΣΑ87 (TBC(GPS-GLO-GAL)-RTK).

| Σημείο | Συντεταγμένες ΕΓΣΑ87 (TBC (GPS-GLO-GAL)) |             |         | Συντεταγμένες ΕΓΣΑ87 (RTK) |             |         | Αποτελέσματα σύγκρισης |        |        |        |
|--------|--|-------------|---------|----------------------------|-------------|---------|------------------------|--------|--------|--------|
|        | E (m)                                    | N (m)       | H (m)   | E (m)                      | N (m)       | H (m)   | δE (m)                 | δN (m) | δS (m) | δH (m) |
| 015024 | 277643.782                               | 4271218.193 | 20.060  | 277643.736                 | 4271218.149 | 20.098  | -0.046                 | -0.044 | 0.063  | 0.038  |
| 015041 | 279683.434                               | 4275755.989 | 72.473  | 279683.435                 | 4275756.040 | 72.453  | 0.001                  | 0.051  | 0.051  | -0.020 |
| 056025 | 259643.029                               | 4270667.983 | 136.572 | 259643.024                 | 4270668.009 | 136.535 | -0.005                 | 0.026  | 0.026  | -0.037 |
| 108011 | 287254.815                               | 4248717.851 | 65.743  | 287254.942                 | 4248717.877 | 65.778  | 0.127                  | 0.026  | 0.129  | 0.035  |
| 110004 | 257410.401                               | 4242661.148 | 2.337   | 257410.408                 | 4242661.129 | 2.299   | 0.007                  | -0.019 | 0.020  | -0.038 |
| 110011 | 256717.623                               | 4245760.475 | 64.598  | 256717.647                 | 4245760.484 | 64.621  | 0.024                  | 0.009  | 0.026  | 0.023  |
| 110024 | 248441.824                               | 4250508.665 | 1.588   | 248441.828                 | 4250508.674 | 1.599   | 0.004                  | 0.009  | 0.010  | 0.011  |
| 110029 | 255917.489                               | 4253065.752 | 23.546  | 255917.511                 | 4253065.755 | 23.518  | 0.022                  | 0.003  | 0.022  | -0.028 |
| 110038 | 257704.415                               | 4258527.926 | 207.871 | 257704.416                 | 4258527.938 | 207.854 | 0.001                  | 0.012  | 0.012  | -0.017 |
| 110039 | 248360.045                               | 4259639.971 | 80.906  | 248360.040                 | 4259639.950 | 80.891  | -0.005                 | -0.021 | 0.022  | -0.015 |
| 117012 | 286080.617                               | 4266130.751 | 229.749 | 286080.711                 | 4266130.817 | 229.789 | 0.094                  | 0.066  | 0.115  | 0.040  |
| 214006 | 260505.235                               | 4246489.900 | 1.246   | 260505.246                 | 4246489.912 | 1.247   | 0.011                  | 0.012  | 0.016  | 0.001  |
| 214009 | 278715.133                               | 4249830.318 | 3.617   | 278715.259                 | 4249830.330 | 3.686   | 0.126                  | 0.012  | 0.126  | 0.069  |
| 214036 | 261512.485                               | 4259422.292 | 42.140  | 261512.481                 | 4259422.311 | 42.086  | -0.004                 | 0.019  | 0.019  | -0.054 |

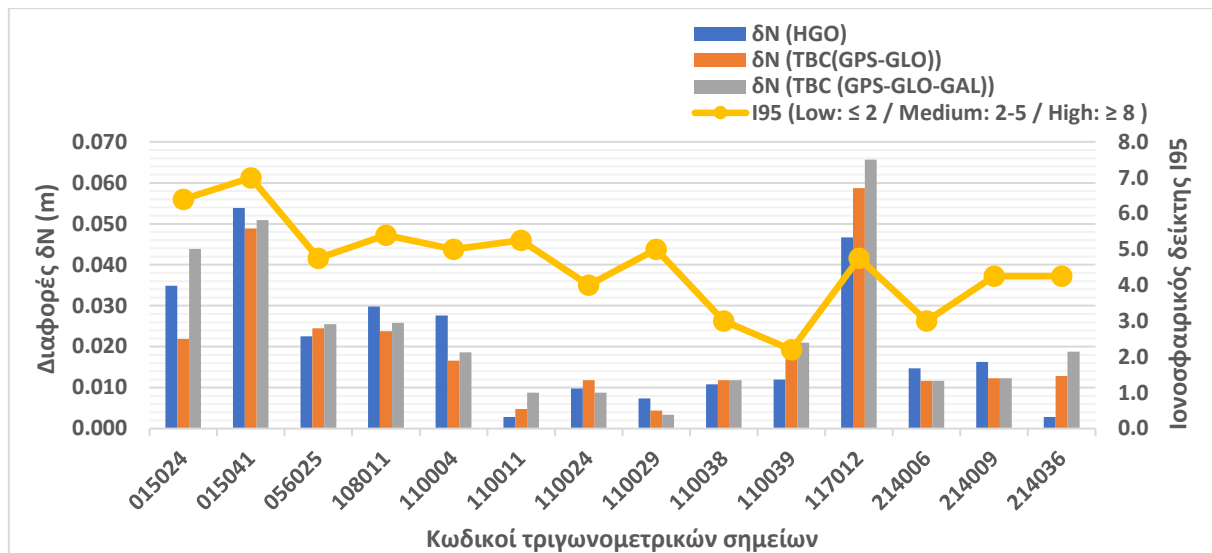
Παρατηρείται ότι οι διαφορές των οριζοντιογραφικών συντεταγμένων κυμαίνονται από λίγα mm έως αρκετά cm (μέγιστο οριζοντιογραφικό σφάλμα δS=12.9 cm στο σημείο 108011). Επίσης, και οι υψομετρικές διαφορές δH κυμαίνονται από λίγα mm έως αρκετά cm, με τη μεγαλύτερη τιμή να είναι στα 6.9 cm στο σημείο 214009.

### 8.6 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα συγκρίσεων

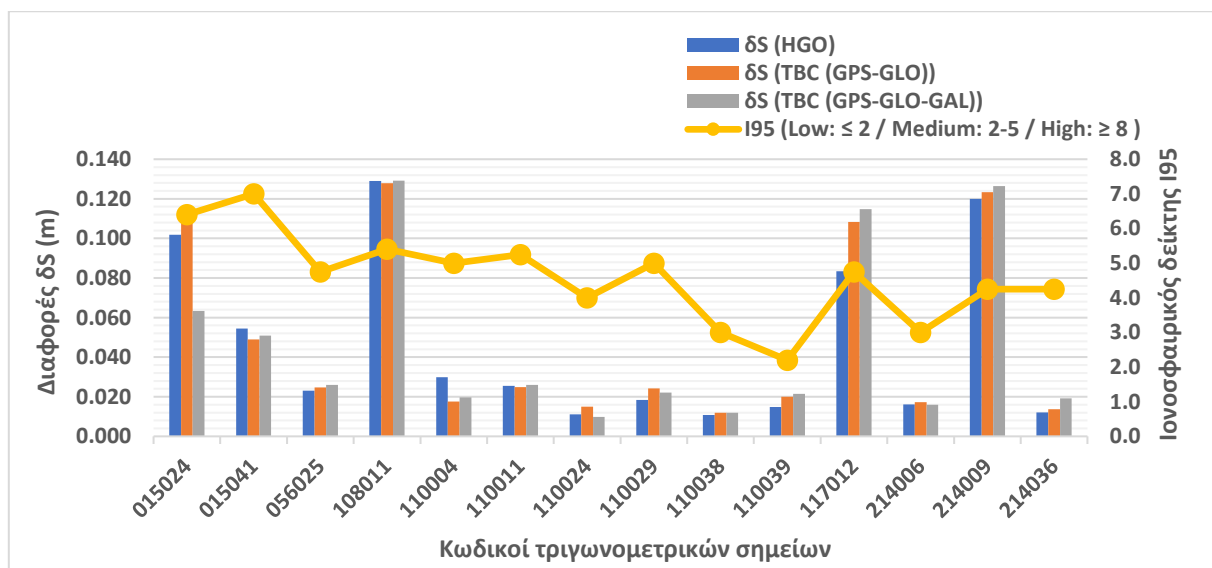
Οι διαφορές των συντεταγμένων (σε απόλυτες τιμές) ανά κατηγορία (δE, δN, δS και δH), όπως αυτές προέκυψαν από τις ανωτέρω συγκρίσεις, παρουσιάζονται στα διαγράμματα των παρακάτω εικόνων. Επίσης, στα διαγράμματα καταγράφεται και η τιμή του δείκτη ιονοσφαιρικής διακύμανσης I95 κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.



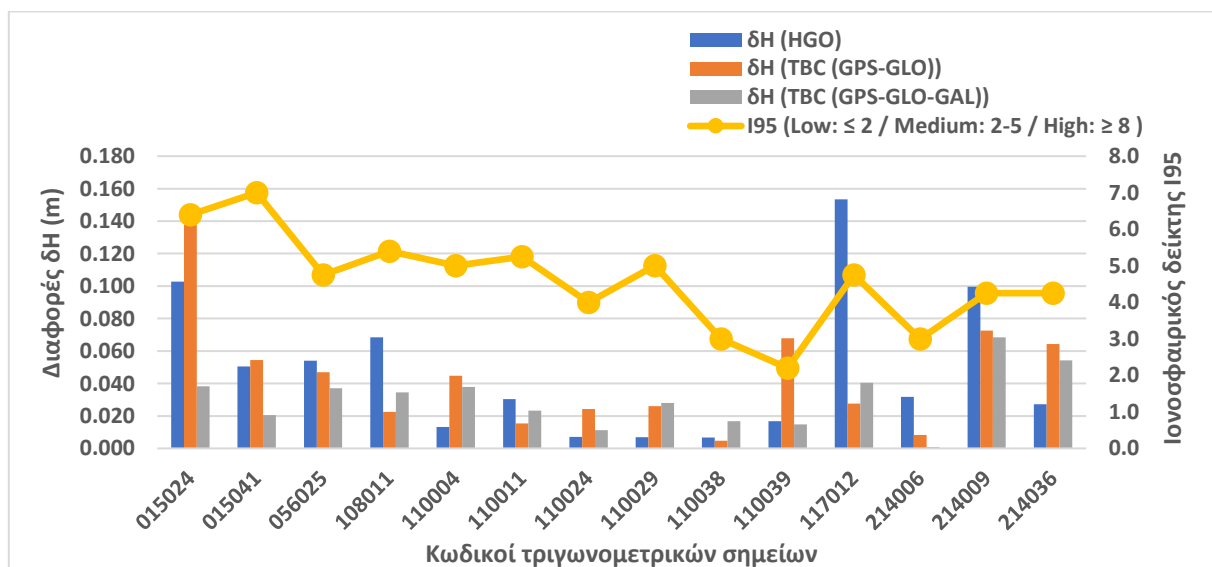
**Εικόνα 8.3:** Διάγραμμα διαφορών δE με ταυτόχρονη ένδειξη ιονοσφαιρικού δείκτη I95.



Εικόνα 8.4: Διάγραμμα διαφορών δN με ταυτόχρονη ένδειξη ιονοσφαιρικού δείκτη I95.



Εικόνα 8.5: Διάγραμμα διαφορών δS με ταυτόχρονη ένδειξη ιονοσφαιρικού δείκτη I95.



Εικόνα 8.6: Διάγραμμα διαφορών δH με ταυτόχρονη ένδειξη ιονοσφαιρικού δείκτη I95.



Κατά τη διάρκεια των RTK μετρήσεων σε αυτά τα δύο σημεία, σύμφωνα με την τεχνική Single Base RTK, το σύστημα HEPOS απέστειλε δορυφορικά δεδομένα στον δέκτη που προ-έρχονταν από τον πλησιέστερο σταθμό αναφοράς, δηλαδή τον σταθμό 012Α. Έτσι, για τις στατικές μετρήσεις τα διανύσματα βάσης είχαν σημείο έναρξης τον σταθμό αναφοράς 001Α, ενώ για τις RTK μετρήσεις τα διανύσματα βάσης είχαν σημείο έναρξης τον σταθμό αναφοράς 012Α.

Το επόμενο στάδιο ήταν να γίνει εκ νέου, σε αυτά τα δύο σημεία, επεξεργασία των στατικών μετρήσεων με το λογισμικό TBC (GPS-GLO-GAL), έχοντας αυτή τη φορά ως σταθμό αναφοράς τον 012Α. Οι νέες συντεταγμένες που προέκυψαν συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες συντεταγμένες από τις RTK μετρήσεις. Τα αποτελέσματα αυτής της σύγκρισης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 8.6:** Σύγκριση συντεταγμένων σημείων 108011 και 214009 (σταθμός αναφοράς 012Α).

| Σημείο | Συντεταγμένες ΕΓΣΑ87<br>(TBC (GPS-GLO-GAL)) |             |          | Συντεταγμένες ΕΓΣΑ87<br>(RTK) |             |          | Αποτελέσματα σύγκρισης |           |           |           |
|--------|---|-------------|----------|-------------------------------|-------------|----------|------------------------|-----------|-----------|-----------|
|        | E<br>(m)                                    | N<br>(m)    | H<br>(m) | E<br>(m)                      | N<br>(m)    | H<br>(m) | δE<br>(m)              | δN<br>(m) | δS<br>(m) | δH<br>(m) |
| 108011 | 287254.931                                  | 4248717.882 | 65.761   | 287254.942                    | 4248717.877 | 65.778   | 0.011                  | -0.005    | 0.012     | 0.017     |
| 214009 | 278715.257                                  | 4249830.337 | 3.668    | 278715.259                    | 4249830.330 | 3.686    | 0.002                  | -0.007    | 0.007     | 0.018     |

Παρατηρείται ότι οι διαφορές αυτή τη φορά είναι αρκετά μικρές, αφού το οριζοντιογραφικό σφάλμα δS δεν ξεπέρασε τα 1.2 cm και η υψομετρική διαφορά δH τα 1.8 cm. Κανονικά θα έπρεπε τα αποτελέσματα της σύγκρισης για αυτά τα δύο σημεία να κυμαίνονται σε τέτοιες αποκλίσεις, ανεξαρτήτως του σταθμού αναφοράς που χρησιμοποιήθηκε (001Α ή 012Α). Όμως κάτι τέτοιο δεν συνέβη, καθώς ανάλογα με τους σταθμούς αναφοράς που χρησιμοποιήθηκαν είχαμε και διαφορετικά αποτελέσματα συγκρίσεων. Οι διαφορές αυτές αιτιολογούνται από μετατοπίσεις που έχουν υποστεί οι σταθμοί αναφοράς του HEPOS στο πέρασμα του χρόνου, λόγω της έντονης τεκτονικής δραστηριότητας που παρουσιάζει η ευρύτερη περιοχή των μετρήσεων (Αιτωλοακαρνανία, Πατραϊκός κόλπος, Κορινθιακός κόλπος, Αχαΐα).

## 9 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup> : Υπολογισμός μετατοπίσεων

Στο πλαίσιο σύνδεσης του συστήματος HTRS07 με το σύστημα ΕΓΣΑ87, κατά το έτος 2007, πραγματοποιήθηκαν στατικές δορυφορικές μετρήσεις σε 2470 τριγωνομετρικά σημεία του κρατικού δικτύου. Ως σταθμοί αναφοράς σε αυτές τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν συγκεκριμένα σημεία, των οποίων οι συντεταγμένες είχαν προσδιοριστεί στο σύστημα αναφοράς του HEPOS (HTRS07). Αποτέλεσμα των παραπάνω μετρήσεων ήταν να προσδιοριστούν οι καρτεσιανές συντεταγμένες (X, Y, Z) των σημείων στο σύστημα HTRS07. Στο πλαίσιο υλοποίησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, κατά το χρονικό διάστημα από 18 έως 21 Μαΐου 2023, στην περιοχή της Αιτωλοακαρνανίας έγιναν στατικές δορυφορικές μετρήσεις σε 15 τριγωνομετρικά σημεία. Αυτά τα 15 σημεία αποτελούν τμήμα των 2470 σημείων που είχαν διεξαχθεί δορυφορικές μετρήσεις το έτος 2007. Οι νέες στατικές μετρήσεις έγιναν με χρήση του συστήματος HEPOS, όπου σαν σταθμός αναφοράς επιλέχθηκε ο 001Α με την ονομασία «Μαχαιρά».

Βασικός σκοπός των νέων μετρήσεων είναι ο έλεγχος τυχόν διαφοροποίησης των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν, σε σχέση με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις του έτους 2007. Αυτός ο έλεγχος γίνεται καθώς η γεωγραφική θέση της Αιτωλοακαρνανίας παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στη μελέτη των παραμορφώσεων του γήινου φλοιού της. Το ενδιαφέρον αυτό πηγάζει από τη γειτνίαση της περιοχής με τα εκτιμώμενα βόρεια όρια της πλάκας του Αιγαίου και την εγγύτητά της σε δυο από τις πιο σεισμογενείς περιοχές της χώρας, αυτή των ν. Κεφαλλονιάς-Λευκάδας-Ζακύνθου και του Κορινθιακού κόλπου.

### 9.1 Τριγωνομετρικά σημεία κρατικού δικτύου

Το κρατικό τριγωνομετρικό δίκτυο της Ελλάδας υλοποιεί το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ87. Αποτελείται από 137 σημεία 1ης τάξης, 475 σημεία 2ης τάξης, 3903 σημεία 3ης τάξης και 21187 σημεία 4ης τάξης, με μέση πυκνότητα 1 σημείο ανά 5 τετραγωνικά χιλιόμετρα (Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, 2008). Υπεύθυνη υπηρεσία για τον έλεγχο και τη συντήρηση του δικτύου είναι η Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (ΓΥΣ).

Το ορθομετρικά υψόμετρα των τριγωνομετρικών σημείων, όπως αυτά διανέμονται από τη ΓΥΣ, αναφέρονται στη βάση του βάθρου τους. Στις δορυφορικές μετρήσεις που έγιναν τα ορθομετρικά υψόμετρα των σημείων αναφέρονται στη στέψη του βάθρου τους. Επομένως, είναι απαραίτητη η γνώση των υψών που έχουν τα βάθρα, ώστε να γίνουν οι κατάλληλες αναγωγές. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι απαραίτητες πληροφορίες των τριγωνομετρικών σημείων, σύμφωνα με τη ΓΥΣ. Οι χαρτογραφικές συντεταγμένες των σημείων είναι στο σύστημα ΕΓΣΑ 87.

**Πίνακας 9.1:** Πληροφορίες τριγωνομετρικών σημείων σύμφωνα με τη ΓΥΣ.

| Σημείο | Όνομα      | Τάξη | Ύψος βάθρου (m) | E (m)      | N (m)       | H (m)   |
|--------|------------|------|-----------------|------------|-------------|---------|
| 015024 | ΑΜΜΟΣ      | IV   | 1.08            | 277643.828 | 4271217.990 | 19.097  |
| 015041 | ΠΕΙΝΑ      | IV   | 1.10            | 279683.503 | 4275755.824 | 71.335  |
| 056025 | ΚΑΣΤΡΟΝ    | IV   | 1.09            | 259643.024 | 4270667.998 | 135.490 |
| 108011 | ΠΑΛΙΟΣΤΑΝΗ | IV   | 1.10            | 287254.876 | 4248717.756 | 64.652  |
| 110004 | ΑΝΩΝΥΜΟΝ   | IV   | 1.10            | 257410.413 | 4242661.203 | 1.367   |
| 110011 | ΤΑΞΙΑΡΧΗΣ  | IV   | 1.07            | 256717.681 | 4245760.491 | 63.505  |

|        |              |    |      |            |             |         |
|--------|--------------|----|------|------------|-------------|---------|
| 110024 | ΠΑΛΙΟΓΑΛΛΑΡΑ | IV | 1.10 | 248441.862 | 4250508.659 | 0.821   |
| 110029 | ΠΕΤΡΑΛΩΝΑ    | IV | 1.10 | 255917.521 | 4253065.746 | 22.390  |
| 110038 | ΠΑΝΑΓΙΑ      | IV | 1.12 | 257704.449 | 4258527.915 | 206.751 |
| 110039 | ΒΑΛΤΙΟΝ      | IV | 1.11 | 248360.116 | 4259639.923 | 79.790  |
| 117012 | ΔΡΥΜΟΥΛΙΑ    | IV | 1.09 | 286080.707 | 4266130.683 | 228.525 |
| 214006 | Ν.ΠΛΑΤΕΙΑ    | IV | 1.11 | 260505.293 | 4246489.897 | 0.088   |
| 214009 | ΠΑΛΗΟΓΙΑΝΝΗΣ | IV | 1.10 | 278715.198 | 4249830.229 | 2.578   |
| 214036 | ΑΓ.ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ | IV | 1.12 | 261512.499 | 4259422.287 | 40.985  |
| 214039 | ΖΥΓΟΣ        | II | 1.20 | 280089.578 | 4259261.021 | 982.736 |

## 9.2 Αποτελέσματα δορυφορικών μετρήσεων έτους 2007

Τα τελικά αποτελέσματα από τις δορυφορικές μετρήσεις του έτους 2007 προέκυψαν σε μορφή καρτεσιανών συντεταγμένων στο σύστημα HTRS07. Οι τιμές των συντεταγμένων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 9.2:** Καρτεσιανές συντεταγμένες σημείων στο σύστημα HTRS07 (έτος 2007).

| Σημείο | Όνομα        | X (m)       | Y (m)       | Z (m)       |
|--------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| 015024 | ΑΜΜΟΣ        | 4647799.045 | 1826098.933 | 3954636.837 |
| 015041 | ΠΕΙΝΑ        | 4644472.340 | 1826846.735 | 3958259.049 |
| 056025 | ΚΑΣΤΡΟΝ      | 4655046.801 | 1809634.696 | 3953872.790 |
| 108011 | ΠΑΛΙΟΣΤΑΝΗ   | 4656950.681 | 1840684.358 | 3937260.447 |
| 110004 | ΑΝΩΝΥΜΟΝ     | 4671703.350 | 1814614.880 | 3931812.356 |
| 110011 | ΤΑΞΙΑΡΧΗΣ    | 4670255.581 | 1813210.137 | 3934264.586 |
| 110024 | ΠΑΛΙΟΓΑΛΛΑΡΑ | 4670650.139 | 1804339.351 | 3937747.369 |
| 110029 | ΠΕΤΡΑΛΩΝΑ    | 4666385.327 | 1810613.757 | 3939943.903 |
| 110038 | ΠΑΝΑΓΙΑ      | 4662740.743 | 1810937.399 | 3944377.191 |
| 110039 | ΒΑΛΤΙΟΝ      | 4665554.305 | 1801977.783 | 3944943.727 |
| 117012 | ΔΡΥΜΟΥΛΙΑ    | 4647625.517 | 1835242.116 | 3950970.198 |
| 214006 | Ν.ΠΛΑΤΕΙΑ    | 4668359.356 | 1816510.288 | 3934885.850 |
| 214009 | ΠΑΛΗΟΓΙΑΝΝΗΣ | 4659537.202 | 1832497.510 | 3937913.341 |
| 214036 | ΑΓ.ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ | 4660666.652 | 1814185.055 | 3945063.262 |
| 214039 | ΖΥΓΟΣ        | 4654372.201 | 1831664.144 | 3945937.970 |

Αυτές οι συντεταγμένες, μέσω της επίσημης εφαρμογής μετασχηματισμού του HEPOS (HerosTT), μετατράπηκαν σε χαρτογραφικές στο ίδιο σύστημα αναφοράς καθώς επίσης και μετασχηματίστηκαν σε χαρτογραφικές στο σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ87.

**Πίνακας 9.3:** Χαρτογραφικές συντεταγμένες σημείων σε HTRS07 και ΕΓΣΑ87 (έτος 2007).

| Σημείο | Όνομα      | HTRS07     |             |         | ΕΓΣΑ87     |             |         |
|--------|------------|------------|-------------|---------|------------|-------------|---------|
|        |            | E (m)      | N (m)       | H (m)   | E (m)      | N (m)       | H (m)   |
| 015024 | ΑΜΜΟΣ      | 277794.827 | 2271505.848 | 20.172  | 277643.851 | 4271218.069 | 20.172  |
| 015041 | ΠΕΙΝΑ      | 279834.513 | 2276043.793 | 72.437  | 279683.504 | 4275755.836 | 72.437  |
| 056025 | ΚΑΣΤΡΟΝ    | 259794.107 | 2270955.574 | 136.580 | 259643.027 | 4270667.998 | 136.580 |
| 108011 | ΠΑΛΙΟΣΤΑΝΗ | 287405.725 | 2249005.618 | 65.746  | 287254.878 | 4248717.768 | 65.746  |
| 110004 | ΑΝΩΝΥΜΟΝ   | 257561.503 | 2242948.770 | 2.447   | 257410.421 | 4242661.213 | 2.447   |
| 110011 | ΤΑΞΙΑΡΧΗΣ  | 256868.723 | 2246048.013 | 64.595  | 256717.678 | 4245760.495 | 64.595  |



|        |              |            |             |         |            |             |         |
|--------|--------------|------------|-------------|---------|------------|-------------|---------|
| 110024 | ΠΑΛΙΟΓΑΛΛΑΡΑ | 248592.891 | 2250796.231 | 1.583   | 248441.864 | 4250508.664 | 1.583   |
| 110029 | ΠΕΤΡΑΛΩΝΑ    | 256068.590 | 2253353.308 | 23.479  | 255917.524 | 4253065.757 | 23.479  |
| 110038 | ΠΑΝΑΓΙΑ      | 257855.510 | 2258815.424 | 207.877 | 257704.449 | 4258527.919 | 207.877 |
| 110039 | ΒΑΛΤΙΟΝ      | 248511.196 | 2259927.523 | 80.899  | 248360.119 | 4259639.929 | 80.899  |
| 117012 | ΔΡΥΜΟΥΛΙΑ    | 286231.563 | 2266418.515 | 229.610 | 286080.703 | 4266130.687 | 229.610 |
| 214006 | Ν.ΠΛΑΤΕΙΑ    | 260656.304 | 2246777.410 | 1.217   | 260505.294 | 4246489.896 | 1.217   |
| 214009 | ΠΑΛΗΟΓΙΑΝΝΗΣ | 278866.138 | 2250118.082 | 3.682   | 278715.206 | 4249830.236 | 3.682   |
| 214036 | ΑΓ.ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ | 261663.559 | 2259709.819 | 42.106  | 261512.501 | 4259422.293 | 42.106  |
| 214039 | ΖΥΓΟΣ        | 280240.459 | 2259548.696 | 983.943 | 280089.560 | 4259260.991 | 983.942 |

### 9.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων έτους 2007 με αποτελέσματα έτους 2023

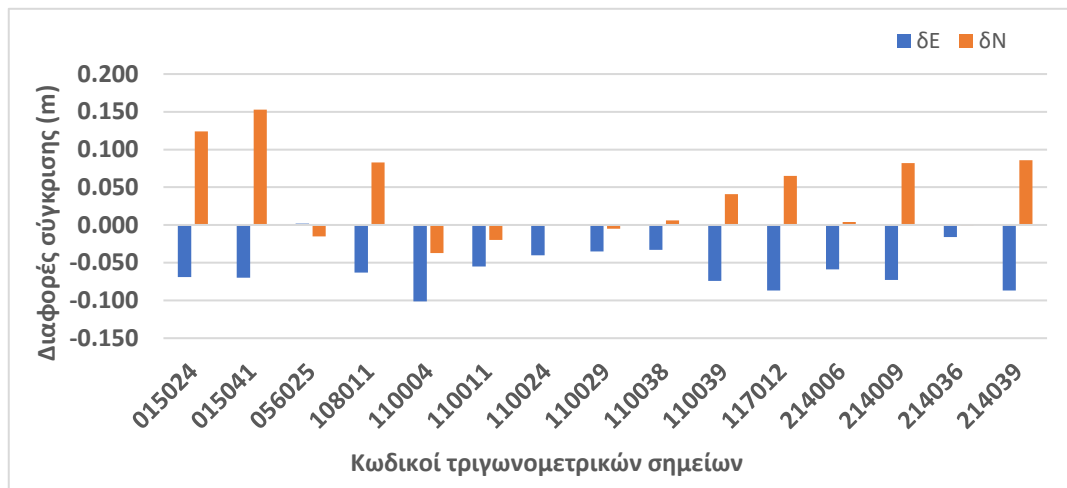
Σχετικά με τα αποτελέσματα του έτους 2023 χρησιμοποιήθηκαν οι συντεταγμένες των σημείων που προέκυψαν από την επίλυση των στατικών μετρήσεων, μέσω του λογισμικού TBC (GPS-GLO-GAL). Η συγκεκριμένη επίλυση θεωρείται η πληρέστερη και πιο ακριβής, καθώς τα αποτελέσματα προήλθαν από δορυφορικά δεδομένα των συστημάτων GPS, GLONASS και GALILEO. Σε σχέση με το σημείο 110004, η κλίση του βάρθρου του από την κατακόρυφο στις τρέχουσες μετρήσεις (έτος 2023) ήταν 4°.47 με οριζόντια γωνία διεύθυνσης 071°. Έχοντας γνωστό το ύψος του βάρθρου από τη ΓΥΣ, υπολογίστηκε η θέση του σημείου απουσία της κλίσης. Οι συντεταγμένες που προέκυψαν καθώς είναι προσεγγιστικές θα συμβάλουν επικουρικά στις επικείμενες συγκρίσεις.

Αρχικά, η σύγκριση των αποτελεσμάτων έγινε επί των χαρτογραφικών συντεταγμένων στο σύστημα αναφοράς HTRS07. Σαν συντεταγμένες αναφοράς χρησιμοποιήθηκαν οι συντεταγμένες που προέκυψαν από τις μετρήσεις του έτους 2007. Τα αποτελέσματα αυτής της σύγκρισης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

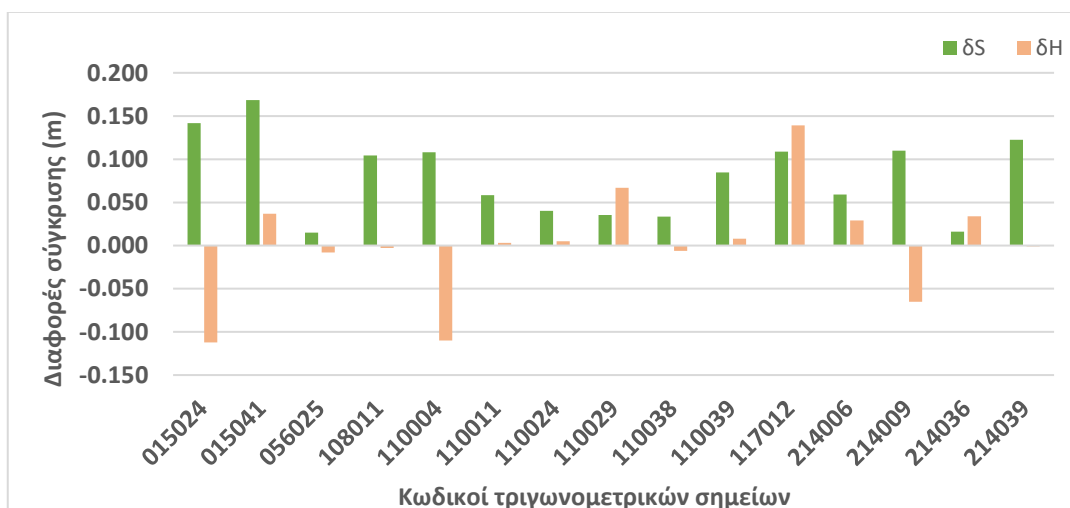
**Πίνακας 9.4:** Σύγκριση χαρτογραφικών συντεταγμένων στο HTRS07 (2007-2023).

| Σημείο | Συντεταγμένες HTRS07<br>(Έτος 2007) |             |          | Συντεταγμένες HTRS07<br>(Έτος 2023) |             |          | Αποτελέσματα σύγκρισης |           |           |           |
|--------|-------------------------------------|-------------|----------|-------------------------------------|-------------|----------|------------------------|-----------|-----------|-----------|
|        | E<br>(m)                            | N<br>(m)    | H<br>(m) | E<br>(m)                            | N<br>(m)    | H<br>(m) | δE<br>(m)              | δN<br>(m) | δS<br>(m) | δH<br>(m) |
| 015024 | 277794.827                          | 2271505.848 | 20.172   | 277794.758                          | 2271505.972 | 20.060   | -0.069                 | 0.124     | 0.142     | -0.112    |
| 015041 | 279834.513                          | 2276043.793 | 72.437   | 279834.443                          | 2276043.946 | 72.474   | -0.070                 | 0.153     | 0.168     | 0.037     |
| 056025 | 259794.107                          | 2270955.574 | 136.580  | 259794.109                          | 2270955.559 | 136.572  | 0.002                  | -0.015    | 0.015     | -0.008    |
| 108011 | 287405.725                          | 2249005.618 | 65.746   | 287405.662                          | 2249005.701 | 65.743   | -0.063                 | 0.083     | 0.104     | -0.003    |
| 110004 | 257561.503                          | 2242948.770 | 2.447    | 257561.402                          | 2242948.733 | 2.337    | -0.101                 | -0.037    | 0.108     | -0.110    |
| 110011 | 256868.723                          | 2246048.013 | 64.595   | 256868.668                          | 2246047.993 | 64.598   | -0.055                 | -0.020    | 0.059     | 0.003     |
| 110024 | 248592.891                          | 2250796.231 | 1.583    | 248592.851                          | 2250796.232 | 1.588    | -0.040                 | 0.001     | 0.040     | 0.005     |
| 110029 | 256068.590                          | 2253353.308 | 23.479   | 256068.555                          | 2253353.303 | 23.546   | -0.035                 | -0.005    | 0.035     | 0.067     |
| 110038 | 257855.510                          | 2258815.424 | 207.877  | 257855.477                          | 2258815.430 | 207.871  | -0.033                 | 0.006     | 0.034     | -0.006    |
| 110039 | 248511.196                          | 2259927.523 | 80.899   | 248511.122                          | 2259927.564 | 80.907   | -0.074                 | 0.041     | 0.085     | 0.008     |
| 117012 | 286231.563                          | 2266418.515 | 229.610  | 286231.476                          | 2266418.580 | 229.749  | -0.087                 | 0.065     | 0.109     | 0.139     |
| 214006 | 260656.304                          | 2246777.410 | 1.217    | 260656.245                          | 2246777.414 | 1.246    | -0.059                 | 0.004     | 0.059     | 0.029     |
| 214009 | 278866.138                          | 2250118.082 | 3.682    | 278866.065                          | 2250118.164 | 3.617    | -0.073                 | 0.082     | 0.110     | -0.065    |
| 214036 | 261663.559                          | 2259709.819 | 42.106   | 261663.543                          | 2259709.818 | 42.140   | -0.016                 | -0.001    | 0.016     | 0.034     |
| 214039 | 280240.459                          | 2259548.696 | 983.943  | 280240.372                          | 2259548.782 | 983.942  | -0.087                 | 0.086     | 0.122     | -0.001    |

Παρατηρείται ότι το οριζοντιογραφικό σφάλμα  $\delta S$  σε αρκετά σημεία ξεπερνά τα 10 cm, με τη μέγιστη τιμή του να είναι 16.8 cm στο σημείο 015041. Οι υψομετρικές διαφορές  $\delta H$  κυμαίνονται από λίγα mm έως μερικά cm (με μέγιστη διαφορά 13.9 cm στο σημείο 117012, που μπορεί να εξηγηθεί λόγω της έντονη βλάστησης). Οι διαφορές που προέκυψαν από αυτή τη σύγκριση παρουσιάζονται και στα διαγράμματα των παρακάτω εικόνων.



Εικόνα 9.1: Διάγραμμα διαφορών δE και δN (2007-2023).



Εικόνα 9.2: Διάγραμμα διαφορών δH και δS (2007-2023).

Η σύγκριση των χαρτογραφικών συντεταγμένων (έτους 2007 - έτους 2023) έγινε εκ νέου, αυτή τη φορά στο σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ87. Σαν συντεταγμένες αναφοράς χρησιμοποιήθηκαν ξανά οι χαρτογραφικές συντεταγμένες που προέκυψαν από τις μετρήσεις του έτους 2007. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 9.5: Σύγκριση χαρτογραφικών συντεταγμένων στο ΕΓΣΑ87 (2007-2023).

| Σημείο | Συντεταγμένες ΕΓΣΑ87 (Έτος 2007) |             |         | Συντεταγμένες ΕΓΣΑ87 (Έτος 2023) |             |         | Αποτελέσματα σύγκρισης |        |        |        |
|--------|----------------------------------|-------------|---------|----------------------------------|-------------|---------|------------------------|--------|--------|--------|
|        | E (m)                            | N (m)       | H (m)   | E (m)                            | N (m)       | H (m)   | δE (m)                 | δN (m) | δS (m) | δH (m) |
| 015024 | 277643.851                       | 4271218.069 | 20.172  | 277643.782                       | 4271218.193 | 20.060  | -0.069                 | 0.124  | 0.142  | -0.112 |
| 015041 | 279683.504                       | 4275755.836 | 72.437  | 279683.434                       | 4275755.989 | 72.473  | -0.070                 | 0.153  | 0.168  | 0.036  |
| 056025 | 259643.027                       | 4270667.998 | 136.580 | 259643.029                       | 4270667.983 | 136.572 | 0.002                  | -0.015 | 0.015  | -0.008 |
| 108011 | 287254.878                       | 4248717.768 | 65.746  | 287254.815                       | 4248717.851 | 65.743  | -0.063                 | 0.083  | 0.104  | -0.003 |

|        |            |             |         |            |             |         |        |        |       |        |
|--------|------------|-------------|---------|------------|-------------|---------|--------|--------|-------|--------|
| 110004 | 257410.421 | 4242661.213 | 2.447   | 257410.320 | 4242661.176 | 2.337   | -0.101 | -0.037 | 0.108 | -0.110 |
| 110011 | 256717.678 | 4245760.495 | 64.595  | 256717.623 | 4245760.475 | 64.598  | -0.055 | -0.020 | 0.059 | 0.003  |
| 110024 | 248441.864 | 4250508.664 | 1.583   | 248441.824 | 4250508.665 | 1.588   | -0.040 | 0.001  | 0.040 | 0.005  |
| 110029 | 255917.524 | 4253065.757 | 23.479  | 255917.489 | 4253065.752 | 23.546  | -0.035 | -0.005 | 0.035 | 0.067  |
| 110038 | 257704.449 | 4258527.919 | 207.877 | 257704.415 | 4258527.926 | 207.871 | -0.034 | 0.007  | 0.035 | -0.006 |
| 110039 | 248360.119 | 4259639.929 | 80.899  | 248360.045 | 4259639.971 | 80.906  | -0.074 | 0.042  | 0.085 | 0.007  |
| 117012 | 286080.703 | 4266130.687 | 229.610 | 286080.617 | 4266130.751 | 229.749 | -0.086 | 0.064  | 0.107 | 0.139  |
| 214006 | 260505.294 | 4246489.896 | 1.217   | 260505.235 | 4246489.900 | 1.246   | -0.059 | 0.004  | 0.059 | 0.029  |
| 214009 | 278715.206 | 4249830.236 | 3.682   | 278715.133 | 4249830.318 | 3.617   | -0.073 | 0.082  | 0.110 | -0.065 |
| 214036 | 261512.501 | 4259422.293 | 42.106  | 261512.485 | 4259422.292 | 42.140  | -0.016 | -0.001 | 0.016 | 0.034  |
| 214039 | 280089.560 | 4259260.991 | 983.942 | 280089.472 | 4259261.078 | 983.941 | -0.088 | 0.087  | 0.124 | -0.001 |

Παρατηρείται ότι στα περισσότερα σημεία οι διαφορές είναι ακριβώς ίδιες με τις αντίστοιχες που προέκυψαν από τη σύγκριση των συντεταγμένων στο σύστημα HTRS07. Εκεί που υπάρχει απόκλιση, αυτή είναι πολύ μικρή και προέκυψε λόγω της στρογγυλοποίησης των συντεταγμένων στο τρίτο δεκαδικό ψηφίο κατά τη διαδικασία μετατροπής/μετασχηματισμού αυτών.

Λαμβάνοντας υπόψη τις οριζοντιογραφικές διαφορές ( $\delta E$ ,  $\delta N$ ) που προέκυψαν από τις συγκρίσεις των χαρτογραφικών συντεταγμένων (έτους 2007-έτους 2023) στα συστήματα αναφοράς HTRS07 και ΕΓΣΑ87, υπολογίστηκαν οι γωνίες διεύθυνσεως των οριζοντιογραφικών σφαλμάτων  $\delta S$  κάθε σημείου. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα  $\delta E$ ,  $\delta N$ ,  $\delta S$  καθώς και οι γωνίες διεύθυνσεως των οριζοντιογραφικών σφαλμάτων στα δύο συστήματα αναφοράς.

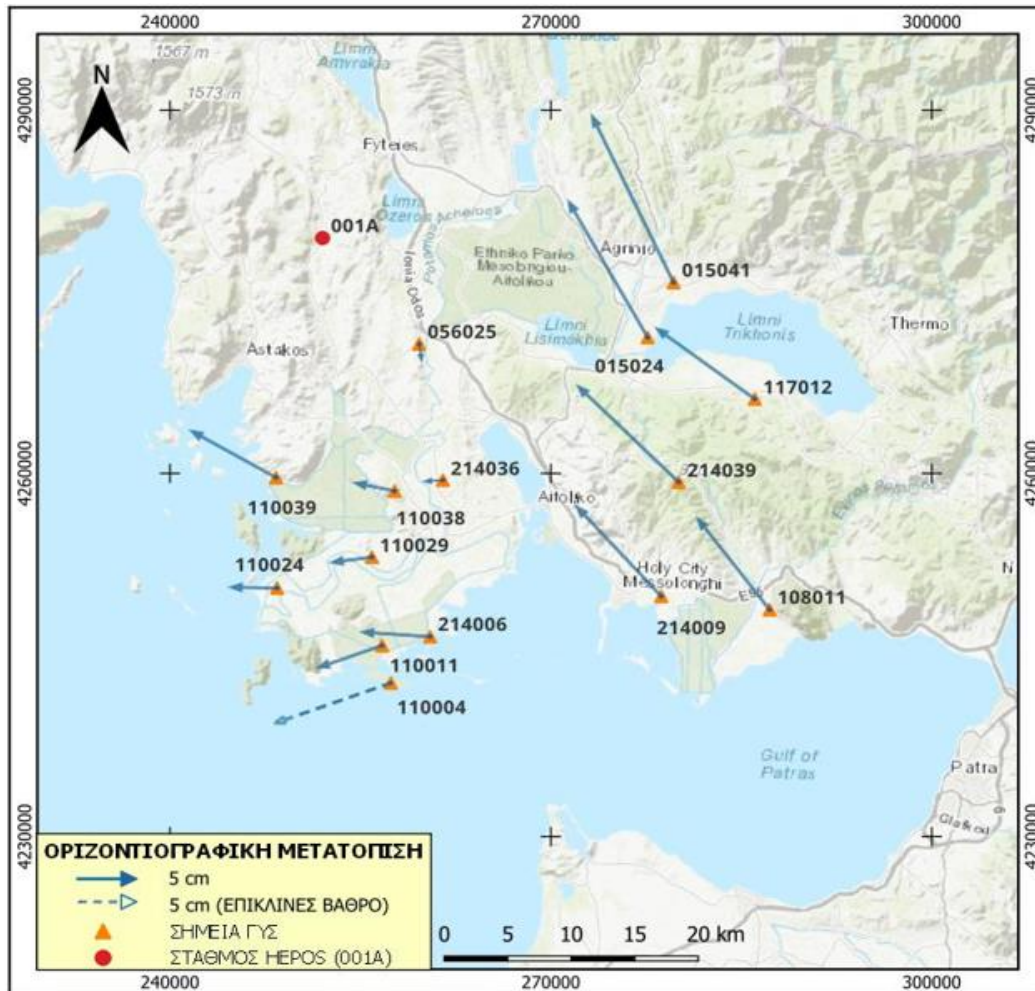
**Πίνακας 9.6:** Οριζοντιογραφικές διαφορές και γωνίες διεύθυνσεως (HTRS07-ΕΓΣΑ87).

| Σημείο | Σύστημα HTRS07<br>Σύγκριση συντεταγμένων (2007-2023) |                   |                   |  | Σύστημα ΕΓΣΑ87<br>Σύγκριση συντεταγμένων (2007-2023) |                   |                   |  |
|--------|--|-------------------|-------------------|--|--|-------------------|-------------------|--|
|        | $\delta E$<br>(m)                                    | $\delta N$<br>(m) | $\delta S$<br>(m) | Γωνία<br>διεύθυνσεως<br>οριζ. σφάλματος<br>(deg) | $\delta E$<br>(m)                                    | $\delta N$<br>(m) | $\delta S$<br>(m) | Γωνία<br>διεύθυνσεως<br>οριζ. σφάλματος<br>(deg) |
| 015024 | -0.069   | 0.124             | 0.142             | 331  | -0.069   | 0.124             | 0.142             | 331  |
| 015041 | -0.070   | 0.153             | 0.168             | 335  | -0.070   | 0.153             | 0.168             | 335  |
| 056025 | 0.002  | -0.015            | 0.015             | 172  | 0.002  | -0.015            | 0.015             | 172  |
| 108011 | -0.063   | 0.083             | 0.104             | 323  | -0.063   | 0.083             | 0.104             | 323  |
| 110004 | -0.101   | -0.037            | 0.108             | 250  | -0.101   | -0.037            | 0.108             | 250  |
| 110011 | -0.055   | -0.020            | 0.059             | 250  | -0.055   | -0.020            | 0.059             | 250  |
| 110024 | -0.040   | 0.001             | 0.040             | 271  | -0.040   | 0.001             | 0.040             | 271  |
| 110029 | -0.035   | -0.005            | 0.035             | 262  | -0.035   | -0.005            | 0.035             | 262  |
| 110038 | -0.033   | 0.006             | 0.034             | 280  | -0.034   | 0.007             | 0.035             | 282  |
| 110039 | -0.074   | 0.041             | 0.085             | 299  | -0.074   | 0.042             | 0.085             | 300  |
| 117012 | -0.087   | 0.065             | 0.109             | 307  | -0.086   | 0.064             | 0.107             | 307  |
| 214006 | -0.059   | 0.004             | 0.059             | 274  | -0.059   | 0.004             | 0.059             | 274  |
| 214009 | -0.073   | 0.082             | 0.110             | 318  | -0.073   | 0.082             | 0.110             | 318  |
| 214036 | -0.016   | -0.001            | 0.016             | 266  | -0.016   | -0.001            | 0.016             | 266  |
| 214039 | -0.087   | 0.086             | 0.122             | 315  | -0.088   | 0.087             | 0.124             | 315  |

Παρατηρείται ότι στις περισσότερες περιπτώσεις οι τιμές που προέκυψαν στα δύο συστήματα αναφοράς ταυτίζονται μεταξύ τους, ενώ όπου υπάρχει απόκλιση αυτή είναι πάρα πολύ

μικρή και οφείλεται, όπως ειπώθηκε παραπάνω, στη στρογγυλοποίηση των συντεταγμένων στο τρίτο δεκαδικό ψηφίο κατά τη διαδικασία μετατροπής/μετασχηματισμού αυτών.

Παρακάτω απεικονίζονται οι οριζοντιογραφικές θέσεις (E, N) των σημείων στο σύστημα ΕΓΣΑ87 κατά το έτος 2007, καθώς και οι οριζοντιογραφικές μετατοπίσεις τους ως προς τον σταθμό 001Α, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των μετρήσεων του έτους 2023.



Εικόνα 9.3: Οριζοντιογραφικές μετατοπίσεις σημείων ως προς τον σταθμό αναφοράς 001Α (2007-2023).

Τα πορτοκαλί τρίγωνα της εικόνας αναπαριστούν τις οριζοντιογραφικές θέσεις των τριγωνομετρικών σημείων, στο σύστημα ΕΓΣΑ87. Τα συνεχόμενα μπλε βέλη απεικονίζουν την κατεύθυνση και το μέγεθος της οριζοντιογραφικής μετατόπισης των σημείων, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του έτους 2023. Το διακεκομμένο μπλε βέλος απεικονίζει την κατεύθυνση και το μέγεθος της οριζοντιογραφικής μετατόπισης του σημείου 110004, του οποίου το βάθρο βρίσκεται υπό κλίση και η παρούσα θέση του υπολογίστηκε προσεγγιστικά. Παρατηρείται ότι στο ανατολικό τμήμα της περιοχής συμβαίνουν οι μεγαλύτερες μετατοπίσεις με κατευθύνσεις βορειοδυτικές. Στο δυτικό τμήμα της περιοχής οι μετατοπίσεις είναι μικρότερες με κατευθύνσεις δυτικές. Εξάιρεση αποτελεί το σημείο 056025, του οποίου η κατεύθυνση μετατόπισης είναι νότια. Βέβαια, η οριζοντιογραφική μετατόπιση αυτού του σημείου είναι αρκετά μικρή και συγκεκριμένα 1.5 cm.

Αν ο γήινος φλοιός της περιοχής μετακινούνταν ενιαία, δίχως τοπικές παραμορφώσεις, τότε οι οριζοντιογραφικές διαφορές ( $\delta E$  και  $\delta N$ ) της σύγκρισης θα έπρεπε να ήταν μηδενικές. Στην περίπτωσή μας, όμως, έχοντας σταθερή τη θέση του σταθμού αναφοράς, παρατηρείται

μια οριζοντιογραφική μετατόπιση των σημείων προς τα δυτικά - βορειοδυτικά. Αυτή η μετατόπιση, αναλόγως της θέσης του σημείου, κυμαίνεται από 1.5 έως 16.8 cm. Επομένως, σε σχέση με τα αποτελέσματα του έτους 2007, προκύπτει μια αλλαγή στις θέσεις των σημείων, η οποία αναδεικνύει τις παραμορφώσεις του φλοιού που συμβαίνουν στην περιοχή.

#### 9.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων έτους 2007 με συντεταγμένες ΓΥΣ

Οι χαρτογραφικές συντεταγμένες των σημείων στο σύστημα ΕΓΣΑ87, όπως αυτές προέκυψαν από τις μετρήσεις του έτους 2007, συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες χαρτογραφικές συντεταγμένες που διανέμονται από τη ΓΥΣ. Σε αυτή τη σύγκριση σαν συντεταγμένες αναφοράς ορίστηκαν αυτές της ΓΥΣ. Τα ορθομετρικά υψόμετρα του έτους 2007 αναφέρονται στη στέψη του βάθρου. Σε αντίθεση, τα ορθομετρικά υψόμετρα των σημείων σύμφωνα με τη ΓΥΣ αναφέρονται στη βάση του βάθρου. Έτσι, για να υπάρχει κοινό σημείο αναφοράς, σε κάθε ορθομετρικό υψόμετρο των συντεταγμένων του έτους 2007 έγινε αφαίρεση του αντίστοιχου ύψους βάθρου. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης.

Πίνακας 9.7: Σύγκριση χαρτογραφικών συντεταγμένων στο ΕΓΣΑ87 (ΓΥΣ-2007).

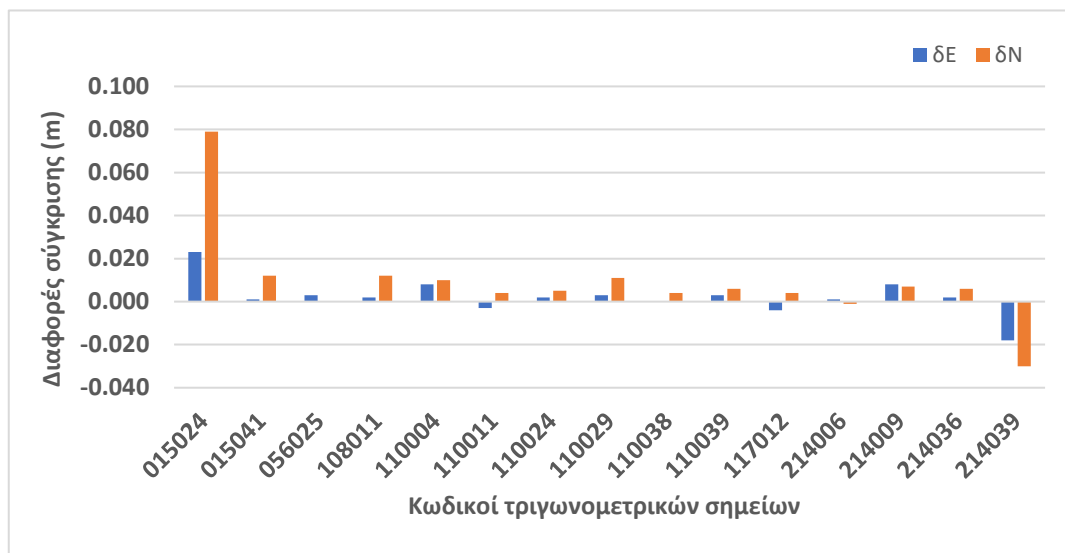
| Σημείο | Συντεταγμένες ΕΓΣΑ87 (ΓΥΣ) |             |         | Συντεταγμένες ΕΓΣΑ87 (Έτος 2007) |             |              | Αποτελέσματα σύγκρισης |        |        |        |
|--------|----------------------------|-------------|---------|----------------------------------|-------------|--------------|------------------------|--------|--------|--------|
|        | E (m)                      | N (m)       | H (m)   | E (m)                            | N (m)       | H τελικό (m) | δE (m)                 | δN (m) | δS (m) | δH (m) |
| 015024 | 277643.828                 | 4271217.990 | 19.097  | 277643.851                       | 4271218.069 | 19.092       | 0.023                  | 0.079  | 0.082  | -0.005 |
| 015041 | 279683.503                 | 4275755.824 | 71.335  | 279683.504                       | 4275755.836 | 71.337       | 0.001                  | 0.012  | 0.012  | 0.002  |
| 056025 | 259643.024                 | 4270667.998 | 135.490 | 259643.027                       | 4270667.998 | 135.490      | 0.003                  | 0.000  | 0.003  | 0.000  |
| 108011 | 287254.876                 | 4248717.756 | 64.652  | 287254.878                       | 4248717.768 | 64.646       | 0.002                  | 0.012  | 0.012  | -0.006 |
| 110004 | 257410.413                 | 4242661.203 | 1.367   | 257410.421                       | 4242661.213 | 1.347        | 0.008                  | 0.010  | 0.013  | -0.020 |
| 110011 | 256717.681                 | 4245760.491 | 63.505  | 256717.678                       | 4245760.495 | 63.525       | -0.003                 | 0.004  | 0.005  | 0.020  |
| 110024 | 248441.862                 | 4250508.659 | 0.821   | 248441.864                       | 4250508.664 | 0.483        | 0.002                  | 0.005  | 0.005  | -0.338 |
| 110029 | 255917.521                 | 4253065.746 | 22.390  | 255917.524                       | 4253065.757 | 22.379       | 0.003                  | 0.011  | 0.011  | -0.011 |
| 110038 | 257704.449                 | 4258527.915 | 206.751 | 257704.449                       | 4258527.919 | 206.757      | 0.000                  | 0.004  | 0.004  | 0.006  |
| 110039 | 248360.116                 | 4259639.923 | 79.790  | 248360.119                       | 4259639.929 | 79.789       | 0.003                  | 0.006  | 0.007  | -0.001 |
| 117012 | 286080.707                 | 4266130.683 | 228.525 | 286080.703                       | 4266130.687 | 228.520      | -0.004                 | 0.004  | 0.006  | -0.005 |
| 214006 | 260505.293                 | 4246489.897 | 0.088   | 260505.294                       | 4246489.896 | 0.107        | 0.001                  | -0.001 | 0.001  | 0.019  |
| 214009 | 278715.198                 | 4249830.229 | 2.578   | 278715.206                       | 4249830.236 | 2.582        | 0.008                  | 0.007  | 0.011  | 0.004  |
| 214036 | 261512.499                 | 4259422.287 | 40.985  | 261512.501                       | 4259422.293 | 40.986       | 0.002                  | 0.006  | 0.006  | 0.001  |
| 214039 | 280089.578                 | 4259261.021 | 982.736 | 280089.560                       | 4259260.991 | 982.742      | -0.018                 | -0.030 | 0.035  | 0.006  |

Σχετικά με τις διαφορές δE παρατηρείται ότι κυμαίνονται κάτω του 1 cm, πλην των σημείων 015024 και 214039 που είναι 2.3 και 1.8 cm (σε απόλυτες τιμές), αντίστοιχα. Οι διαφορές δN είναι και αυτές μικρές καθώς κυμαίνονται κάτω του 1.2 cm, πλην των σημείων 015024 και 214039 που είναι 7.9 και 3 cm (σε απόλυτες τιμές), αντίστοιχα. Επίσης, και τα οριζοντιογραφικά σφάλματα δS είναι αρκετά μικρά καθώς δεν ξεπερνούν τα 3.5 cm, πλην του σημείου 015024 που είναι 8.2 cm. Τέλος, οι υψομετρικές διαφορές δH κυμαίνονται από λίγα mm έως λίγα cm, πλην του σημείου 110024 που είναι 33.8 cm σε απόλυτη τιμή.

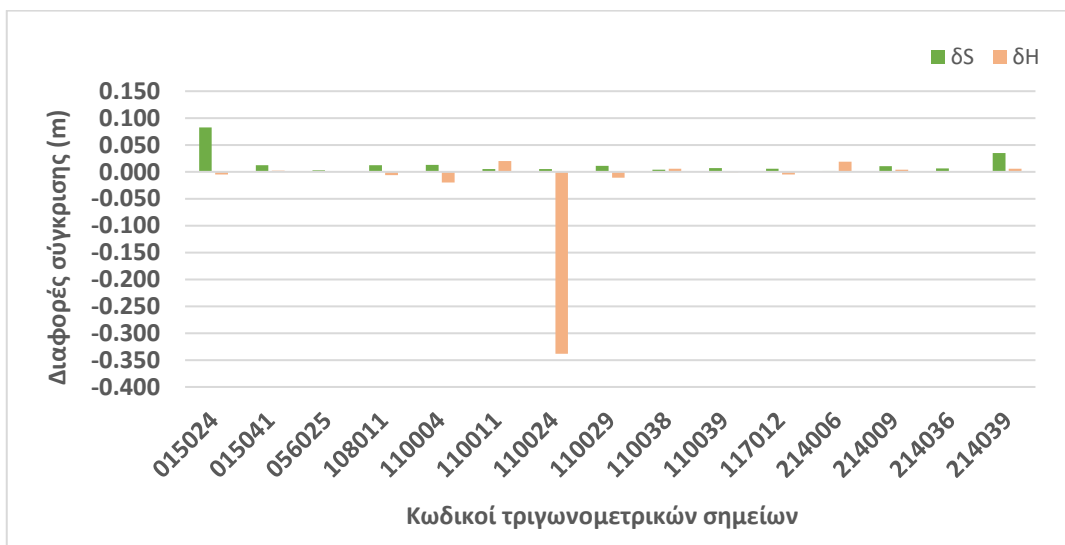
Από τα παραπάνω προκύπτει ότι ο μετασχηματισμός HTRS07-ΕΓΣΑ87 που χρησιμοποιεί το σύστημα HEPOS (HeposTT), ο οποίος βασίστηκε στα αποτελέσματα των μετρήσεων του έτους 2007, απέδωσε ικανοποιητικά. Τα οριζοντιογραφικά σφάλματα που προέκυψαν εί-

να μικρότερα των 3.5 cm, ενώ οι υψομετρικές διαφορές δεν ξεπέρασαν τα 2 cm. Εξαιρέση αποτελούν τα σημεία 015024 και 110024, όπου για το σημείο 015024 το οριζοντιογραφικό σφάλμα είναι 8.2 cm και για το σημείο 110024 η υψομετρική διαφορά είναι -33.8 cm. Βέβαια, και οι δύο αυτές τιμές είναι εντός των ορίων αβεβαιότητας που παρέχει ο επίσημος μετασχηματισμός του HEPOS.

Οι διαφορές που προέκυψαν από την ανωτέρω σύγκριση, παρουσιάζονται και στα διαγράμματα των εικόνων που ακολουθούν.



Εικόνα 9.4: Διάγραμμα διαφορών δE και δN (ΓΥΣ-2007).



Εικόνα 9.5: Διάγραμμα διαφορών δH και δS (ΓΥΣ-2007).

## 9.5 Σύγκριση αποτελεσμάτων έτους 2023 με συντεταγμένες ΓΥΣ

Αυτή τη φορά οι χαρτογραφικές συντεταγμένες των σημείων στο σύστημα ΕΓΣΑ87, όπως αυτές προέκυψαν από τις τρέχουσες μετρήσεις, συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες χαρτογραφικές συντεταγμένες που διανέμονται από τη ΓΥΣ. Σαν συντεταγμένες αναφοράς και σε αυτή τη σύγκριση ορίστηκαν αυτές της ΓΥΣ. Επίσης, σε κάθε ορθομετρικό υψόμετρο των τρεχουσών συντεταγμένων έγινε αφαίρεση του ύψους βάθρου, ώστε να υπάρχει κοινό σημείο ανα-

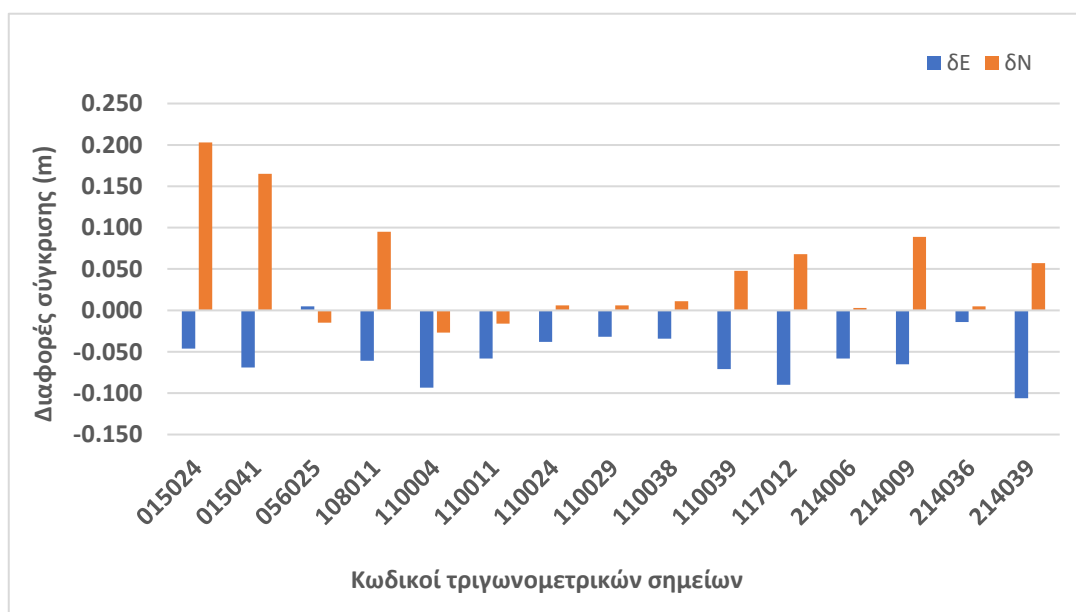
φοράς με τα ορθομετρικά υψόμετρα της ΓΥΣ. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της σύγκρισης.

**Πίνακας 9.8:** Σύγκριση χαρτογραφικών συντεταγμένων στο ΕΓΣΑ87 (ΓΥΣ-2023).

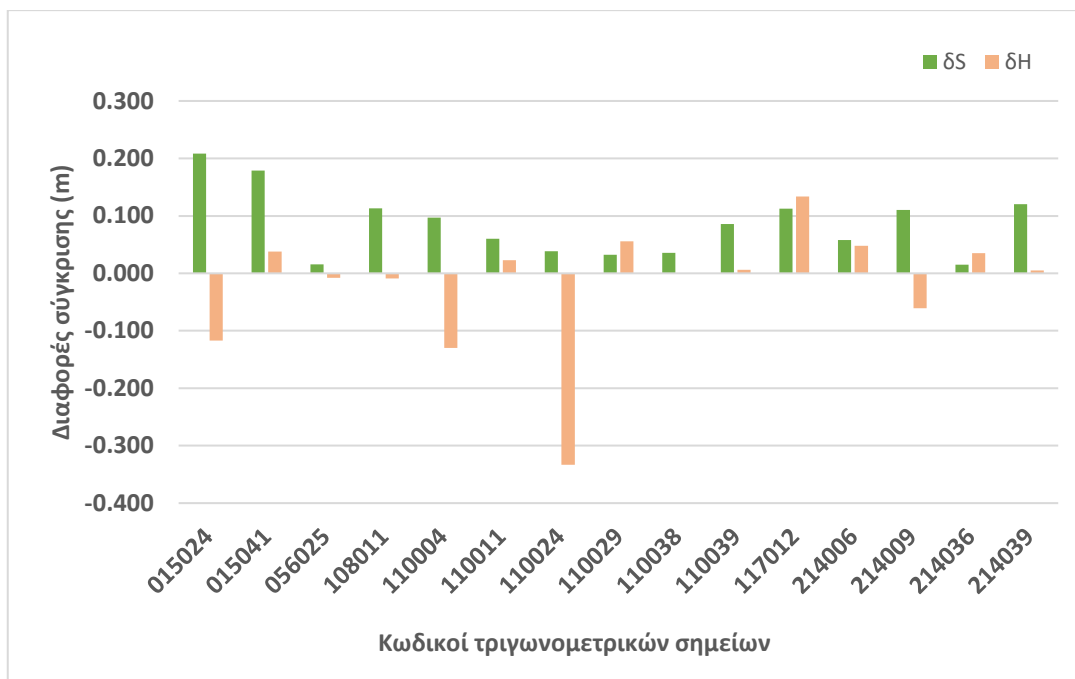
| Σημείο | Συντεταγμένες ΕΓΣΑ87 (ΓΥΣ) |             |         | Συντεταγμένες ΕΓΣΑ87 (Έτος 2023) |             |              | Αποτελέσματα σύγκρισης |        |        |        |
|--------|----------------------------|-------------|---------|----------------------------------|-------------|--------------|------------------------|--------|--------|--------|
|        | E (m)                      | N (m)       | H (m)   | E (m)                            | N (m)       | H τελικό (m) | δE (m)                 | δN (m) | δS (m) | δH (m) |
| 015024 | 277643.828                 | 4271217.990 | 19.097  | 277643.782                       | 4271218.193 | 18.980       | -0.046                 | 0.203  | 0.208  | -0.117 |
| 015041 | 279683.503                 | 4275755.824 | 71.335  | 279683.434                       | 4275755.989 | 71.373       | -0.069                 | 0.165  | 0.179  | 0.038  |
| 056025 | 259643.024                 | 4270667.998 | 135.490 | 259643.029                       | 4270667.983 | 135.482      | 0.005                  | -0.015 | 0.016  | -0.008 |
| 108011 | 287254.876                 | 4248717.756 | 64.652  | 287254.815                       | 4248717.851 | 64.643       | -0.061                 | 0.095  | 0.113  | -0.009 |
| 110004 | 257410.413                 | 4242661.203 | 1.367   | 257410.320                       | 4242661.176 | 1.237        | -0.093                 | -0.027 | 0.097  | -0.130 |
| 110011 | 256717.681                 | 4245760.491 | 63.505  | 256717.623                       | 4245760.475 | 63.528       | -0.058                 | -0.016 | 0.060  | 0.023  |
| 110024 | 248441.862                 | 4250508.659 | 0.821   | 248441.824                       | 4250508.665 | 0.488        | -0.038                 | 0.006  | 0.038  | -0.333 |
| 110029 | 255917.521                 | 4253065.746 | 22.390  | 255917.489                       | 4253065.752 | 22.446       | -0.032                 | 0.006  | 0.033  | 0.056  |
| 110038 | 257704.449                 | 4258527.915 | 206.751 | 257704.415                       | 4258527.926 | 206.751      | -0.034                 | 0.011  | 0.036  | 0.000  |
| 110039 | 248360.116                 | 4259639.923 | 79.790  | 248360.045                       | 4259639.971 | 79.796       | -0.071                 | 0.048  | 0.086  | 0.006  |
| 117012 | 286080.707                 | 4266130.683 | 228.525 | 286080.617                       | 4266130.751 | 228.659      | -0.090                 | 0.068  | 0.113  | 0.134  |
| 214006 | 260505.293                 | 4246489.897 | 0.088   | 260505.235                       | 4246489.900 | 0.136        | -0.058                 | 0.003  | 0.058  | 0.048  |
| 214009 | 278715.198                 | 4249830.229 | 2.578   | 278715.133                       | 4249830.318 | 2.517        | -0.065                 | 0.089  | 0.110  | -0.061 |
| 214036 | 261512.499                 | 4259422.287 | 40.985  | 261512.485                       | 4259422.292 | 41.020       | -0.014                 | 0.005  | 0.015  | 0.035  |
| 214039 | 280089.578                 | 4259261.021 | 982.736 | 280089.472                       | 4259261.078 | 982.741      | -0.106                 | 0.057  | 0.120  | 0.005  |

Παρατηρείται ότι οι διαφορές που προέκυψαν προσομοιάζουν αρκετά αυτές της σύγκρισης συντεταγμένων έτους 2007-έτους 2023, στο σύστημα ΕΓΣΑ87. Πολλά οριζοντιογραφικά σφάλματα δS ξεπερνούν τα 10 cm, με τη μέγιστη τιμή τους να φτάνει τα 20.8 cm. Οι διαφορές των ορθομετρικών υψομέτρων δH κυμαίνονται στα λίγα cm, με εξαίρεση το σημείο 110024 που φτάνει τα 33.3 cm σε απόλυτη τιμή.

Οι διαφορές που προέκυψαν από την ανωτέρω σύγκριση παρουσιάζονται και στα διαγράμματα των παρακάτω εικόνων.



**Εικόνα 9.6:** Διάγραμμα διαφορών δE και δN (ΓΥΣ-2023).



Εικόνα 9.7: Διάγραμμα διαφορών δH και δS (ΓΥΣ-2023).

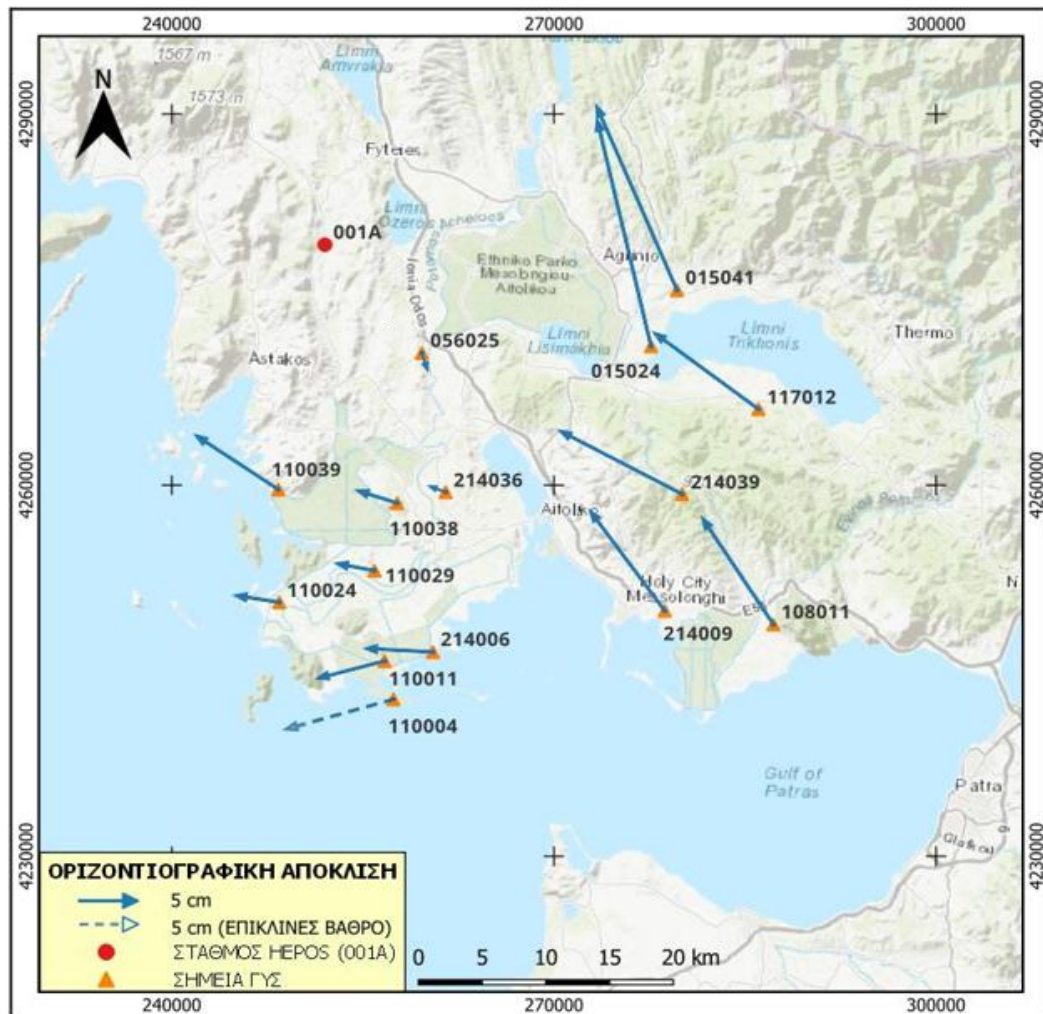
Λαμβάνοντας υπόψη τις ανωτέρω οριζοντιογραφικές διαφορές δE και δN, υπολογίστηκαν οι γωνίες διεύθυνσεως των οριζοντιογραφικών σφαλμάτων δS κάθε σημείου. Στον κατωτέρω πίνακα παρουσιάζονται τα δE, δN, δS καθώς και οι γωνίες διεύθυνσεως των οριζοντιογραφικών σφαλμάτων.

Πίνακας 9.9: Οριζοντιογραφικές διαφορές και γωνίες διεύθυνσεως (ΕΓΣΑ87).

| Σημείο | δE (m) | δN (m) | δS (m) | Γωνία διεύθυνσεως οριζ. σφάλματος (deg) |
|--------|--------|--------|--------|---|
| 015024 | -0.046 | 0.203  | 0.208  | 347                                     |
| 015041 | -0.069 | 0.165  | 0.179  | 337                                     |
| 056025 | 0.005  | -0.015 | 0.016  | 162                                     |
| 108011 | -0.061 | 0.095  | 0.113  | 327                                     |
| 110004 | -0.093 | -0.027 | 0.097  | 254                                     |
| 110011 | -0.058 | -0.016 | 0.060  | 255                                     |
| 110024 | -0.038 | 0.006  | 0.038  | 279                                     |
| 110029 | -0.032 | 0.006  | 0.033  | 281                                     |
| 110038 | -0.034 | 0.011  | 0.036  | 288                                     |
| 110039 | -0.071 | 0.048  | 0.086  | 304                                     |
| 117012 | -0.090 | 0.068  | 0.113  | 307                                     |
| 214006 | -0.058 | 0.003  | 0.058  | 273                                     |
| 214009 | -0.065 | 0.089  | 0.110  | 324                                     |
| 214036 | -0.014 | 0.005  | 0.015  | 290                                     |
| 214039 | -0.106 | 0.057  | 0.120  | 298                                     |

Παρακάτω απεικονίζονται οι αποκλίσεις των οριζοντιογραφικών θέσεων (E, N) που προέκυψαν από τα αποτελέσματα των μετρήσεων έτους 2023 σε σχέση με τις συντεταγμένες της ΓΥΣ.





Εικόνα 9.8: Οριζοντιογραφικές αποκλίσεις αποτελεσμάτων (ΓΥΣ-2023).

Τα πορτοκαλί τρίγωνα της εικόνας αναπαριστούν τις οριζοντιογραφικές θέσεις των τριγωνομετρικών σημείων στο σύστημα ΕΓΣΑ87, σύμφωνα με τη ΓΥΣ. Τα συνεχόμενα μπλε βέλη απεικονίζουν την κατεύθυνση και το μέγεθος της οριζοντιογραφικής απόκλισης των σημείων, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του έτους 2023. Το διακεκομμένο μπλε βέλος απεικονίζει την κατεύθυνση και το μέγεθος της οριζοντιογραφικής απόκλισης του σημείου 110004, του οποίου το βάθος βρίσκεται υπό κλίση και η παρούσα θέση του υπολογίστηκε προσεγγιστικά. Παρατηρείται ότι οι οριζοντιογραφικές αποκλίσεις των σημείων προσομοιάζουν αρκετά αυτές που προέκυψαν από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων του έτους 2007 με το έτος 2023.

## 10 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στο πλαίσιο υλοποίησης της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις GNSS σε 15 τριγωνομετρικά σημεία στην περιοχή της Αιτωλοακαρνανίας. Σε αρκετές περιπτώσεις υπήρχε δυσκολία στη πρόσβαση αυτών, λόγω της μη συντήρησης των διόδων προσέγγισης. Επίσης, σε κάποια βάρη των σημείων απουσίαζε η ορειχάλκινη πλακέτα τους, ενώ ορισμένα περιβάλλονταν από πυκνή βλάστηση. Αποτέλεσμα όλων των παραπάνω ήταν να δυσχεραίνεται το έργο των μετρήσεων.

Κατά τη σύγκριση των μετασχηματισμών συντεταγμένων από το σύστημα HTRS07 στο ΕΓΣΑ87, διαπιστώθηκαν αποκλίσεις μεταξύ της εφαρμογής μετασχηματισμού του HEPOS και του μετασχηματισμού που χρησιμοποιεί το εκάστοτε λογισμικό επεξεργασίας. Συγκεκριμένα, στη σύγκριση μεταξύ της εφαρμογής του HEPOS και του λογισμικού HGO, παρουσιάστηκαν αποκλίσεις μερικών mm. Αντιθέτως, στη σύγκριση μεταξύ της εφαρμογής του HEPOS και του λογισμικού TBC, οι οριζοντιογραφικές συντεταγμένες ήταν σε απόλυτη ταύτιση. Για την αποφυγή τέτοιων προβλημάτων, όταν παρουσιάζονται σε κάποια λογισμικά, προτείνεται η επίλυση να γίνεται στο σύστημα HTRS07 και μετά μέσω της εφαρμογής μετασχηματισμού του HEPOS να μετασχηματίζονται στο σύστημα ΕΓΣΑ87.

Σχετικά με τις συγκρίσεις των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τα λογισμικά επεξεργασίας των στατικών μετρήσεων, διαπιστώθηκε ότι οι οριζοντιογραφικές διαφορές κυμάνθηκαν από μερικά mm έως 3.2 cm. Εξάιρεση αποτέλεσε το σημείο 015024 που σε δυο περιπτώσεις εμφάνισε αυξημένη οριζοντιογραφική απόκλιση (μέγιστη τιμή 7.1 cm). Το συγκεκριμένο σημείο κατά τη διάρκεια των μετρήσεων είχε περιορισμένο ορίζοντα, καθώς βρισκόταν εντός πυκνής βλάστησης. Ως προς τις υψομετρικές διαφορές, αυτές κυμάνθηκαν από λίγα mm έως μερικά cm (μέγιστη διαφορά 17.6 cm στο σημείο 015024). Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι οι αποκλίσεις στα αποτελέσματα των λογισμικών, ειδικά σε σημεία με ανοιχτό ορίζοντα, είναι εντός των προβλεπόμενων ορίων για συνήθεις τοπογραφικές εργασίες. Αντίθετα, σε σημεία με περιορισμένη ορατότητα δορυφόρων τα αποτελέσματα πρέπει να χρησιμοποιούνται με προσοχή, ειδικά όταν υπάρχουν αυξημένες απαιτήσεις ακριβείας.

Στη σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις RTK μετρήσεις με τα αντίστοιχα αποτελέσματα των στατικών μετρήσεων, η πλειοψηφία των οριζοντιογραφικών αποκλίσεων σε σημεία με ανοιχτό ορίζοντα δεν ξεπέρασε τα 2.5 με 3 cm. Σε περιπτώσεις που τα σημεία βρίσκονταν εντός βλάστησης, το οριζοντιογραφικό σφάλμα κυμάνθηκε περίπου από 5 έως 12 cm. Ενδιαφέρον προκάλεσαν οι περιπτώσεις των σημείων 214009 και 108011, όπου ενώ είχαν ανοιχτό ορίζοντα τα οριζοντιογραφικά τους σφάλματα κυμάνθηκαν περίπου στα 12 με 13 cm. Αυτά τα σφάλματα προέκυψαν επειδή τα διανύσματα βάσης των δύο σημείων για τις στατικές μετρήσεις είχαν σημείο έναρξης τον σταθμό αναφοράς 001A (Μαχαιρά), ενώ για τις RTK μετρήσεις είχαν σημείο έναρξης τον σταθμό αναφοράς 012A (Ρίο). Κάνοντας εκ νέου επίλυση των δεδομένων για αυτά τα δύο σημεία, έχοντας τον ίδιο σταθμό αναφοράς (012A) για τις στατικές και RTK μετρήσεις, τα οριζοντιογραφικά σφάλματα που προέκυψαν δεν ξεπέρασαν τα 1.2 cm. Η μεγάλη απόκλιση στα αποτελέσματα, όταν χρησιμοποιήθηκαν για τα ίδια σημεία διανύσματα βάσης από διαφορετικούς σταθμούς αναφοράς (001A και 012A), οφείλεται σε μικρές μετατοπίσεις που έχουν υποστεί οι σταθμοί, λόγω της έντονης τεκτονικής δραστηριότητας που παρουσιάζει η περιοχή μελέτης.

Από τη σύγκριση των χαρτογραφικών συντεταγμένων της ΓΥΣ με τις αντίστοιχες συντεταγμένες που προέκυψαν το έτος 2007, τα οριζοντιογραφικά σφάλματα κυμάνθηκαν σε χαμηλές τιμές (13 από τα σημεία είχαν σφάλμα έως 1.3 cm, ένα σημείο 3.5 cm και ένα σημείο 8.2 cm). Σχετικά με τις υψομετρικές διαφορές αυτές διατηρήθηκαν στα 2 cm με εξαίρεση ένα σημείο που ανήλθε σε 33.8 cm (απόλυτες τιμές). Τα παραπάνω αποτελέσματα βρίσκονται εντός των ορίων αβεβαιότητας που παρέχει ο επίσημος μετασχηματισμός HTRS07-ΕΓΣΑ87 του HEPOS. Επισημαίνεται ότι τα αποτελέσματα των μετρήσεων του έτους 2007 χρησιμοποιήθηκαν για να υλοποιηθεί ο επίσημος μετασχηματισμός που χρησιμοποιεί το σύστημα HEPOS. Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι ο συγκεκριμένος μετασχηματισμός, σε δεδομένα που αφορούν το έτος 2007, απέδωσε σύμφωνα με τις προδιαγραφές που δημιουργήθηκε.

Σχετικά με τη σύγκριση των χαρτογραφικών συντεταγμένων που προέκυψαν το έτος 2007 με τις αντίστοιχες συντεταγμένες από τις μετρήσεις του έτους 2023, παρουσιάστηκαν οριζοντιογραφικές αποκλίσεις που σε αρκετά σημεία ξεπέρασαν τα 10 cm (μέγιστο οριζοντιογραφικό σφάλμα 16.8 cm). Μεγαλύτερες αποκλίσεις παρουσιάστηκαν στο ανατολικό τμήμα της περιοχής, οι οποίες είχαν βορειοδυτική κατεύθυνση. Στο δυτικό τμήμα της περιοχής οι αποκλίσεις ήταν μικρότερες και είχαν κατεύθυνση δυτική. Αυτές οι αποκλίσεις εκτιμάται ότι τα επόμενα χρόνια θα δημιουργήσουν σημαντικά προβλήματα στις τοπογραφικές/γεωδαιτικές εργασίες, τα οποία και θα πρέπει να επιλυθούν. Σχετικά με τις υψομετρικές διαφορές, αυτές κυμάνθηκαν στο επίπεδο των λίγων cm σε απόλυτες τιμές (σε σημεία με πυκνή βλάστηση έφτασαν έως 13.9 cm).

Σχετικά με τη σύγκριση των χαρτογραφικών συντεταγμένων που προέκυψαν από τις μετρήσεις του έτους 2023 με τις αντίστοιχες συντεταγμένες της ΓΥΣ, παρουσιάστηκαν οριζοντιογραφικές αποκλίσεις οι οποίες έφτασαν έως 20.8 cm. Μεγαλύτερες αποκλίσεις παρουσιάστηκαν στο ανατολικό τμήμα της περιοχής οι οποίες είχαν βορειοδυτική κατεύθυνση, ενώ στο δυτικό τμήμα της περιοχής οι αποκλίσεις ήταν μικρότερες με κατεύθυνση δυτική. Οι κατευθύνσεις και τα μεγέθη των οριζοντιογραφικών αποκλίσεων προσομοιάζουν σε μεγάλο βαθμό αυτά της σύγκρισης των αποτελεσμάτων του έτους 2007 με τα αποτελέσματα του έτους 2023. Βάσει των ανωτέρω, εκτιμάται ότι θα πρέπει να επαναεξεταστεί η απόδοση της επίσημης εφαρμογής μετασχηματισμού HTRS07-ΕΓΣΑ87 του συστήματος HEPOS, ειδικά σε περιοχές με έντονες τεκτονικές παραμορφώσεις, χρησιμοποιώντας δεδομένα προερχόμενα από τρέχουσες μετρήσεις. Σχετικά με τις υψομετρικές διαφορές, αυτές κυμάνθηκαν από λίγα mm σε απόλυτες τιμές έως 33.3 cm σε σημεία με πυκνή βλάστηση.

Συμπερασματικά, η παρούσα εργασία επέτρεψε τον προσδιορισμό των διαφορικών κινήσεων του γήινου φλοιού στην περιοχή της Αιτωλοακαρνανίας, την ανάδειξη των επιτελούμενων παραμορφώσεων και τον αντίκτυπό τους στις τοπογραφικές μετρήσεις μέσω δικτύων σταθμών αναφοράς.

## Βιβλιογραφία - Αναφορές - Διαδικτυακές πηγές

Altamini, Z., 2021. *The International Terrestrial Reference Frame (A new release: ITRF2020)*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://www.unoosa.org/documents/pdf/icg/2022/ICG16/16.pdf>  
[Πρόσβαση 31 Ιούλιος 2023].

Blanco Delgado, N., 2011. *Signal processing techniques in modern multi-constellation GNSS receivers*. PhD Thesis, Universidade tecnica de Lisboa.

Briole, P. και συν., 2000. Active deformation of the Corinth rift, Greece: Results from repeated Global Positioning System surveys between 1990 and 1995. *Journal of Geophysics Research: Solid Earth*, 105(B11), pp. 25605-25625.

China Satellite Navigation Office, 2018. *BeiDou navigation satellite system open service performance standard (Version 2.0)*. China, CSNO.

China Satellite Navigation Office, 2021. *BeiDou navigation satellite system open service performance standard (Version 3.0)*. China, CSNO.

European Space Agency, 2023. *Navipedia*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php?title=Main\\_Page](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php?title=Main_Page)  
[Πρόσβαση 5 Αύγουστος 2023].

Floyd, M. A. και συν., 2010. A new velocity field for Greece: Implications for the kinematics. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 116(B10).

Gianniou, M., 2008. HEPOS: Designing and Implementing an RTK-Network. *Geoinformatics Magazine for Surveying, Mapping & GYS Professionals*, Jan/Feb 2008, Vol II, pp. 10-13.

Gianniou, M. & Mitropoulou, E., 2012. *Impact of high ionospheric activity on GPS surveying: Experiences from the Hellenic RTK-network during 2011-12*. EUREF 2012 Symposium, Saint Mande, France.

Gianniou, M. & Stavropoulou, I., 2016. *Estimation of tectonic velocities using GPS Precise Point Positioning: The case of Hellenic RTK network HEPOS*. EUREF 2016 Symposium, San Sebastian, Spain.

Gps.gov, 2023. *Official U.S. government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://www.gps.gov/>  
[Πρόσβαση 5 Αύγουστος 2023].

Heidbach, O. και συν., 2016. *WSM Technical Report 16-01*. GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, Germany.

Hollenstein, C., Müller, M. D., Geiger, A. & Kahle, H. -G., 2008. Crustal motion and deformation in Greece from a decade of GPS measurements, 1993–2003. *Tectonophysics*, 449(1-4), pp. 17-40.

Howe, T. M. & Bird, P., 2010. Exploratory models of long-term crustal flow and resulting seismicity across the Alpine-Aegean orogen. *Tectonics*, 29(4).

Jamieson, M. & Gillins, D. T., 2018. Comparative analysis of online static GNSS postprocessing services. *Journal of Surveying Engineering*, 144(4), 05018002.

Katsampalos, K., Kotsakis, C. & Gianniou, M., 2010. Hellenic terrestrial reference system 2007 (HTRS07): a regional realization of ETRS89 over Greece in support of HEPOS. *Bulletin of Geodesy and Geomatics*, May/Dec 2010, LXIX(2-3), pp. 330-347.

Langley, R., 2017. Innovation: GLONASS-past,present and future. *GPS World*, 1 November.

Moretti, I., Sakellariou, D., Lykousis, V. & Micarelli, L., 2003. The Gulf of Corinth: an active half graben?. *Journal of Geodynamics*, 36(1-2), pp. 323-340.

Papazachos, B. C. & Comninakis, P. E., 1971. Geophysical and tectonic features of the Aegean arc. *Journal of Geophysical Research*, 76(35), pp. 8517-8533.

Papazachos, B. C., Kiratzi, A. A., Hatzidimitriou, P. M. & Rocca, A. C., 1984. Seismic faults in the Aegean area. *Tectonophysics*, 106(1-2), pp. 71-85.

Papazachos, B., Kiratzi, A. & Papadimitriou, E., 1991. Regional focal mechanisms for earthquakes in the Aegean area. *Source Mechanism and Seismotectonics*, pp. 405-420.

Papazachos, C. B. & Kiratzi, A. A., 1996. A detailed study of the active crustal deformation in the Aegean and surrounding area. *Tectonophysics*, 253(1-2), pp. 129-153.

Wanninger, L., 2004. Ionospheric disturbance indices for RTK and network RTK positioning. *Proceedings of the 17th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2004)* , pp. 2849-2854.

Αναστασίου, Δ., 2009. *Μελέτη των τεκτονικών μετατοπίσεων στο Ιόνιο με ανάλυση χρονοσειρών GPS*. Διπλωματική εργασία, ΣΑΤΜ-ΕΜΠ.

Αναστασίου, Δ., Παπανικολάου, Ξ., Μαρίνου, Α. & Παραδείσης, Δ., 2014. *Εισαγωγικές σημειώσεις στο Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Global Positioning System (GPS)*. Επιμορφωτικό σεμινάριο "Εισαγωγή στη γεωπληροφορική", Αθήνα.

Βέης, Γ., 1987. *Το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς*. Αθήνα: ΟΚΧΕ.

Βέης, Γ., Μπιλλήρης, Χ. & Παπαζήση, Κ., 2011. *Κεφάλαια ανώτερης γεωδαισίας*. Αθήνα: ΣΑΤΜ-ΕΜΠ.

Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, 2008. *Τριγωνομετρικό δίκτυο Ελλάδας*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://www.gys.gr/index.html>  
[Πρόσβαση 13 Σεπτέμβριος 2023].

Γιαννίου, Μ., 2008. *HEPOS και σύγχρονες δικτυακές τεχνικές GPS*. Επιστημονικό διήμερο εργασίας «HEPOS και σύγχρονα γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς - Θεωρία και υλοποίηση, προοπτικές και εφαρμογές», 25-26 Σεπ., ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.

Γιαννίου, Μ., 2010. *Προσδιορισμός συντεταγμένων στο ΕΓΣΑ87 μέσω του Herpos*. 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο ΑΤΜ, 17-18 Δεκ., Αθήνα.

Γιαννίου, Μ., 2019. *Τεχνικές και συστήματα πλοήγησης*. Αθήνα: ΠΑΔΑ.

Γιαννίου, Μ., 2022. *Σημειώσεις μαθήματος "Δορυφορικός εντοπισμός" (τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής ΠΑΔΑ)*. Αθήνα: ΠΑΔΑ.

Γιαννίου, Μ., 2023. *Σημειώσεις μαθήματος "Εφαρμογές δορυφορικού εντοπισμού" (τμήμα Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής ΠΑΔΑ)*. Αθήνα: ΠΑΔΑ.

Γιαννίου, Μ. & Μάστορης, Δ., 2006. *Ανάπτυξη του Ελληνικού συστήματος εντοπισμού HEPOS*. Δ' Πανελλήνιο Συνέδριο HellasGI, 4-5 Μαΐ., Αθήνα.

Γιαννίου, Μ. & Μάστορης, Δ., 2007. *Περιγραφή του HEPOS και των υπηρεσιών που παρέχει*. Ημερίδα «HEPOS - Ένα ενιαίο σύστημα εντοπισμού για την Ελλάδα - Υλοποίηση, Επιπτώσεις, Προοπτικές», 6 Δεκ., ΕΜΠ, Αθήνα.

Γιαννίου, Μ. & Μάστορης, Δ., 2017. *Σωστές πρακτικές στη χρήση του GPS και του HEPOS: Εμπειρίες από τα 10 χρόνια λειτουργίας του συστήματος*. 5ο Πανελλήνιο Συνέδριο ATM, 14-15 Οκτ., Αθήνα.

Γιαννίου, Μ., Σταυροπούλου, Ι. & Μάστορης, Δ., 2014. *Το ΕΓΣΑ87 και η υλοποίησή του μέσω του ελληνικού συστήματος εντοπισμού HEPOS*. 13ο Εθνικό Συνέδριο Χαρτογραφίας, 22-24 Οκτ., Πάτρα.

Γρηγορακάκης, Π., 2019. *Έλεγχος προσδιορισμού θέσης με μετρήσεις GNSS και χρήση ταχυτήτων*. Μεταπτυχιακή εργασία, ΤΑΤΜ-ΑΠΘ.

Δερμάνης, Α., 1999. *Διαστημική γεωδαισία και γεωδυναμική*. 1η έκδοση επιμ. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.

Ελληνικό Κτηματολόγιο, 2023. *Σταθμοί αναφοράς HEPOS*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <https://www.ktimatologio.gr/el>  
[Πρόσβαση 12 Αύγουστος 2023].

Κατσάμπαλος, Κ., 2009. *HTRS07:Το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς για το HEPOS*. Ημερίδα ΠΣΔΑΤΜ & ΚΤ/ΑΕ, 24 Φεβ., Αθήνα.

Κυρατζή, Α., 2020. *Σημειώσεις μαθήματος "Φυσική της λιθόσφαιρας" (τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ)*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <http://www.geo.auth.gr/courses/ggp/ggp536y/pdf/class%206.pdf>  
[Πρόσβαση 24 Ιούλιος 2023].

Λάμπρου, Ε. & Πανταζής, Γ., 2010. *Εφαρμοσμένη γεωδαισία*. 2η έκδοση επιμ. Αθήνα: Εκδόσεις Ζήτη.

Λυμπέρης, Ε., Παπαθανασίου, Γ., Χασιώτης, Θ. & Φερεντίνος, Γ., 1998. Υποθαλάσσια ρήγματα στην ενεργή τεκτονική τάφρο του Κορινθιακού κόλπου. Τέσσερα τυπικά παραδείγματα σύγχρονου τεκτονικού ελέγχου της μορφολογίας και των διεργασιών ιζηματογένεσης κάτω από τη στάθμη τη θάλασσας. *Δελτίον της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, 32(2), pp. 223-234.

Μάστορης, Δ. & Μητροπούλου, Ε., 2010. *Το Ελληνικό σύστημα εντοπισμού HEPOS - Ορίζοντες και δυνατότητες χρήσης του για εφαρμογές GIS*. 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο GI, 2-3 Δεκ., Αθήνα.

Μερτίκας, Σ., 2016. *Εισαγωγή στη γεωδαισία, τον δορυφορικό εντοπισμό και την αλτιμετρία*. 1η έκδοση επιμ. Αθήνα: Εκδόσεις Κλειδάριθμος.

Μουντράκης, Δ. Μ., 2005. *Συνοπτική γεωτεκτονική εξέλιξη του ευρύτερου ελληνικού χώρου (e-book τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ)*. [Ηλεκτρονικό]  
Available at: <http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg871y/>  
[Πρόσβαση 2023 8 20].

Μπιθάρης, Σ., 2015. *Επεξεργασία δεδομένων μόνιμων σταθμών GPS και προσδιορισμό του πεδίου ταχυτήτων στον Ελλαδικό χώρο*. Διπλωματική διατριβή, ΤΑΤΜ-ΑΠΘ.

Μπιλλήρης, Χ., 2008. *Εισαγωγή στη Γεωδαισία*. Αθήνα: ΣΑΤΜ-ΕΜΠ.

Παλληκάρης, Α., Κατσούλης, Γ. & Δαλακλής, Δ., 2016. Κεφάλαιο 9ο: Γενικές αρχές λειτουργίας των συστημάτων δορυφορικής ναυτιλίας GNSS. Στο: *Ναυτικά Ηλεκτρονικά Όργανα και Συστήματα Ηλεκτρονικού Χάρτη ECDIS*. Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου, pp. 159-178.

Παπαζάχος, Β. Κ., 2002. Ενεργός τεκτονική του Αιγαίου και των γύρω περιοχών. *Δελτίον της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, 34(6), pp. 2237-2253.

Παπαζάχος, Β. & Παπαζάχου, Κ., 2003. *Οι σεισμοί της Ελλάδας*. 3η έκδοση επιμ. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.

Σωτηρίου, Π., 2017. *Πειραματική αξιολόγηση δεκτών GNSS χαμηλού κόστους σε εφαρμογές ευφυών συστημάτων μεταφορών*. Διπλωματική εργασία, ΣΑΤΜ-ΕΜΠ.

Τσιώκος, Λ., 2003. *Μελέτη ενεργών ρηγματών της Ν.Λέσβου και περιβαλλοντικές επιπτώσεις*. Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Περιβάλλοντος-Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.

Φωτίου, Α., 2007. *Γεωμετρική Γεωδαισία*. 1η έκδοση επιμ. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.

Φωτίου, Α. & Πικριδάς, Χ., 2012. *GPS και γεωδαιτικές εφαρμογές*. 2η έκδοση επιμ. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.

Φωτίου, Α., Πικριδάς, Χ., Ρωσσικόπουλος, Δ. & Μπιθάρης, Σ., 2016. *Προσδιορισμός βελτιωμένου πεδίου ταχυτήτων με χρήση επτά ετών δεδομένων από μόνιμους σταθμούς GNSS του Ελλαδικού χώρου*.

[Ηλεκτρονικό]

Available at: [https://www.topo.auth.gr/wp-content/uploads/sites/111/2021/12/19\\_Fotiou.pdf](https://www.topo.auth.gr/wp-content/uploads/sites/111/2021/12/19_Fotiou.pdf)

[Πρόσβαση 23 Ιούλιος 2023].

Χατζηνίκος, Μ., 2013. *Μελέτη των μετακινήσεων του γήινου φλοιού στον ελλαδικό χώρο με ανάλυση δορυφορικών δεδομένων GNSS*. Διδακτορική διατριβή, ΤΑΤΜ-ΑΠΘ.

Χατζηνίκος, Μ. & Κωτσάκης, Χ., 2014. *Αξιολόγηση του ΕΓΣΑ87 μέσω ενός σύγχρονου γεωδαιτικού μοντέλου ταχυτήτων για τον Ελλαδικό χώρο*. 4ο Πανελλήνιο Συνέδριο ΑΤΜ, 26-28 Σεπ., Θεσσαλονίκη.