

Το ΕΓΣΑ87 και η υλοποίησή του μέσω του Ελληνικού Συστήματος Εντοπισμού HEPOS

Μιχάλης ΓΙΑΝΝΙΟΥ¹, Ιφιγένεια ΣΤΑΥΡΟΠΟΥΛΟΥ², Δημήτρης ΜΑΣΤΟΡΗΣ³

(1) Τεχνικός Σύμβουλος ΕΚΧΑ Α.Ε.

Μεσογείων 288, 155 62 Χολαργός, 210-6505832, mgianniu@ktimatologio.gr

(2) Στέλεχος Τμήματος Γεωδαιτικών Δεδομένων

ΕΚΧΑ Α.Ε.

Μεσογείων 288, 155 62 Χολαργός, 210-6505677, istavrop@ktimatologio.gr

(3) Προϊστάμενος Τμήματος Γεωδαιτικών Δεδομένων

ΕΚΧΑ Α.Ε.

Μεσογείων 288, 155 62 Χολαργός, 210-6505828, dmastori@ktimatologio.gr

Λέξεις κλειδιά: ΕΓΣΑ87, HTRS07, HEPOS, Καστελλόριζο

Περίληψη

Το ΕΓΣΑ87 είναι ένα συμβατικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς· ιδρύθηκε με κλασσικές γεωδαιτικές μεθόδους και υλοποιείται μέσω των σημείων του Κρατικού Τριγωνομετρικού Δικτύου. Για τις ανάγκες σύνταξης και λειτουργίας του Εθνικού Κτηματολογίου το ΕΓΣΑ87 υλοποιείται πλέον μέσω του Ελληνικού Συστήματος Εντοπισμού HEPOS (Hellenic Positioning System). Το HEPOS παρέχει υπηρεσίες ακριβούς προσδιορισμού θέσης μέσω δορυφορικών τεχνικών GPS. Ο προσδιορισμός συντεταγμένων ΕΓΣΑ87 μέσω του HEPOS γίνεται μέσω του Επίσημου Μοντέλου Μετασχηματισμού, το οποίο επιτρέπει τον αμφίδρομο μετασχηματισμό μεταξύ του Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς του HEPOS (HTRS07: Hellenic Terrestrial Reference System 2007) και του ΕΓΣΑ87.

Για τον υπολογισμό του μοντέλου υλοποιήθηκε το 2007 το έργο των μετρήσεων του HEPOS, μέσω του οποίου προσδιορίστηκαν οι συντεταγμένες HTRS07 2500 περίπου σημείων που ανήκουν στο Κρατικό Τριγωνομετρικό Δίκτυο (τριγωνομετρικά ΓΥΣ). Η επεξεργασία αυτών των μετρήσεων προσέφερε πολύτιμες πληροφορίες για την αξιολόγηση της εσωτερικής ακρίβειας του ΕΓΣΑ87. Επίσης επέτρεψε τον προσδιορισμό των παραμέτρων διασύνδεσης του ΕΓΣΑ87 με το Ευρωπαϊκό Σύστημα ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) τόσο για την κυρίως χώρα όσο και για την περιοχή του Καστελλόριζου, η οποία όχι μόνο απεικονίζεται σε διαφορετική ζώνη προβολής, αλλά αναφέρεται και σε διαφορετικό γεωδαιτικό datum σε σχέση με την υπόλοιπη χώρα.

Το Επίσημο Μοντέλο Μετασχηματισμού μεταξύ HTRS07 και ΕΓΣΑ87 δημοσιεύτηκε το 2009 και χρησιμοποιείται εντατικά για τα έργα του Εθνικού Κτηματολογίου καθώς και για πλήθος άλλων τοπογραφικών εργασιών. Η ΕΚΧΑ Α.Ε. ως διαχειριστής του HEPOS έχει ξεκινήσει ένα πρόγραμμα για την αξιολόγηση του μοντέλου μετασχηματισμού. Μέχρι

στιγμής έχουν αξιοποιηθεί περισσότερα από 700 τριγωνομετρικά σημεία σε διάφορες περιοχές της χώρας.

Η παρούσα εργασία περιγράφει συνοπτικά το Επίσημο Μοντέλο Μετασχηματισμού και παρουσιάζει λεπτομερώς την υλοποίηση του ΕΓΣΑ87 στην περιοχή του Καστελλόριζου από γεωδαιτικής και χαρτογραφικής πλευράς. Επίσης παραθέτει τα έως τώρα αποτελέσματα από το πρόγραμμα αξιολόγησης του μοντέλου μετασχηματισμού. Τέλος παρουσιάζονται αποτελέσματα ανάλυσης της εσωτερικής ακρίβειας του ΕΓΣΑ87.

Abstract

GGRS87, the Greek Geodetic Reference System 1987, is a conventional geodetic reference system, i.e. it has been established by means of conventional geodetic methods. Like every conventional system GGRS87 is being realized by the points of the national trigonometric network. Since the last years a new realization of GGRS87 is being used in the Hellenic Cadastre based on the national RTK-network HEPOS (Hellenic POSitioning System). For the computation of GGRS87 coordinates by means of HEPOS a transformation model has been developed, which allows the transformation between the reference system of HEPOS (HTRS07: Hellenic Terrestrial Reference System 2007) and GGRS87.

In order to compute the above mentioned coordinate transformation model a national GPS campaign was carried out in 2007. In the framework of this campaign HTRS07 coordinates have been estimated for ca. 2500 points of the national trigonometric network by means of GPS measurements connected to HEPOS. These measurements yielded valuable information for the assessment of the internal accuracy of GGRS87. They also allowed the computation of a bidirectional transformation between GGRS87 and ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) for both the mainland and the region of Kastellorizo, which not only belongs in a different TM zone, but also is referred to a different geodetic datum than the rest of the country.

The Official Transformation Model between HTRS07 and GGRS87 was published in 2009 and is widely used for the National Cadastre projects as well as for many other surveying works. The National Cadastre and Mapping Agency S.A. (NCMA S.A.), being the administrator of HEPOS, has launched an internal project for the evaluation of the transformation model. So far more than 700 points of the national trigonometric network in various regions of the country have been utilized.

This paper outlines the Official Transformation Model and describes the realization of GGRS87 in the area of Kastellorizo both in geodetic and cartographic terms. It also lists the results achieved so far by the evaluation program of the transformation model. In addition, some results of internal accuracy analysis of GGRS87 are presented.

1. Το ΕΓΣΑ87

Ο ορισμός του ΕΓΣΑ87 τεκμηριώνεται λεπτομερώς στη βιβλιογραφία (ΟΚΧΕ 1987, Βέης 1995). Στην παρούσα ενότητα δίνονται, για λόγους πληρότητας, τα βασικά στοιχεία που σχετίζονται με το γεωδαιτικό datum του ΕΓΣΑ87 και τη χαρτογραφική του προβολή.

Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται σε θέματα που έχουν πρακτική σημασία, όπως ο μετασχηματισμός μεταξύ WGS84 και ΕΓΣΑ87 και η υλοποίηση του ΕΓΣΑ87 στην περιοχή του Καστελλόριζου.

1.1. Το Datum του ΕΓΣΑ87

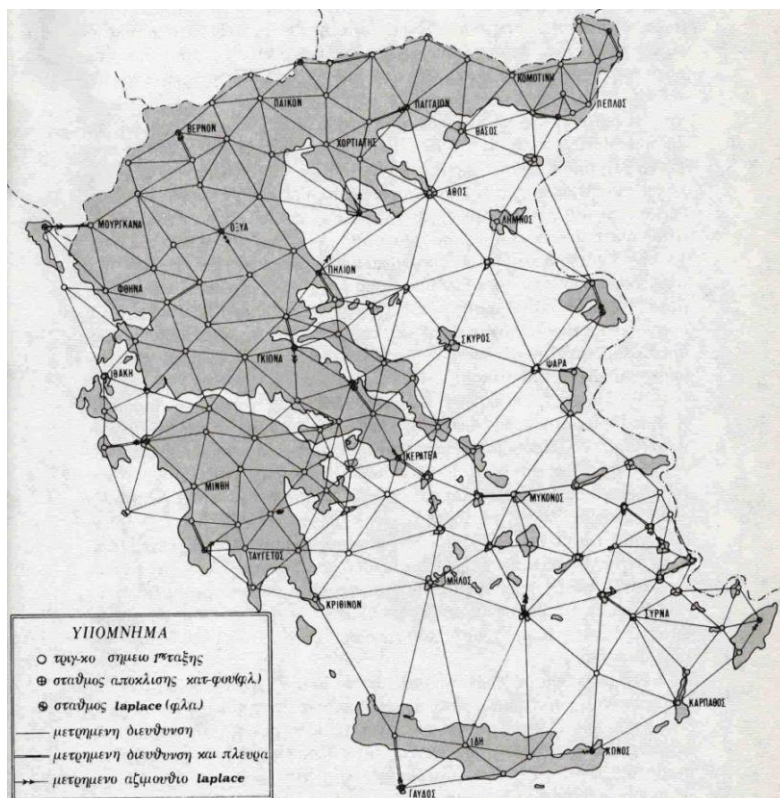
Το ΕΓΣΑ87 χρησιμοποιεί ως ελλειψοειδές εκ περιστροφής (ΕΕΠ) αυτό του GRS80 ($a = 6378137\text{m}$, $1/f = 298.25722101$). Η αρχή των αξόνων του 3Δ καρτεσιανού συστήματος του ΕΓΣΑ87 είναι μετατοπισμένη ως προς το γεώκεντρο, ενώ οι άξονές του είναι πρακτικά παράλληλοι με τους άξονες του Παγκόσμιου (γεωκεντρικού) συστήματος αναφοράς. Για το Παγκόσμιο σύστημα αναφοράς έχουν υπάρξει διάφορες υλοποιήσεις με τη σημερινή να είναι το ITRS (International Terrestrial Reference System). Πριν το ITRS είχαν γίνει και άλλες υλοποιήσεις όπως το WGS84 (World Geodetic System 1984) και το BTS (*BIH (Bureau International de l'Heure) Terrestrial System*) το οποίο λήφθηκε υπόψη για τον ορισμό του ΕΓΣΑ87. Για αναλυτικά στοιχεία σχετικά με τον ορισμό του datum του ΕΓΣΑ87 ο αναγνώστης παραπέμπεται στη σχετική βιβλιογραφία που δόθηκε στη ενότητα 1.

Λόγω της παραλληλίας των αξόνων του ΕΓΣΑ87 με αυτούς του WGS84, ο μετασχηματισμός μεταξύ ΕΓΣΑ87 και WGS84 γίνεται κατά κανόνα με χρήση τριών παραμέτρων ΔX , ΔY και ΔZ , οι οποίες δίνουν τη μετάθεση της αρχής των αξόνων του ΕΓΣΑ87 ως προς το WGS84. Οι παράμετροι αυτές έχουν τιμές της τάξης των $\Delta X = -200\text{ m}$, $\Delta Y = 74\text{ m}$ και $\Delta Z = 246\text{ m}$, οι οποίες προστιθέμενες στις 3Δ καρτεσιανές συντεταγμένες του ΕΓΣΑ87 δίνουν τις συντεταγμένες στο WGS84. Τονίζεται στο σημείο αυτό ότι ο εν λόγω 3-παραμετρικός μετασχηματισμός δεν είναι δυνατόν να εξασφαλίσει ικανοποιητική ακρίβεια σε όλη την έκταση της χώρας. Όπως θα φανεί από την ανάλυση της ενότητας 3.2, η περιορισμένη αυτή ακρίβεια οφείλεται κατά κύριο λόγο σε θέματα εσωτερικής συνοχής του κρατικού τριγωνομετρικού δικτύου που υλοποιεί το ΕΓΣΑ87.

Τέλος σημειώνεται ότι με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία φαίνεται ότι δεν έχει γίνει διασύνδεση του Καστελλόριζου με την υπόλοιπη χώρα μέσω του τριγωνομετρικού δικτύου (Εικόνα 1). Όπως θα αναλυθεί στην ενότητα 6 για την περιοχή του Καστελλόριζου χρησιμοποιείται διαφορετικό datum και διαφορετική ζώνη προβολής.

1.2. Η προβολή TM87 του ΕΓΣΑ87

Η χαρτογραφική προβολή που χρησιμοποιείται στο ΕΓΣΑ87 είναι η TM87. Πρόκειται για μία εγκάρσια Μερκατορική (TM: Transverse Mercator) προβολή. Η χώρα απεικονίζεται σε μία ζώνη με κεντρικό μεσημβρινό, αυτόν των 24 μοιρών. Εξάιρεση αποτελεί η περιοχή του Καστελλόριζου λόγω της μεγάλης απόστασης από τον κεντρικό μεσημβρινό. Το θέμα του ορισμού του ΕΓΣΑ87 στο Καστελλόριζο καλύπτεται στην ενότητα 6. Οι παράμετροι της προβολής TM87 (εκτός περιοχής Καστελλόριζου) δίνονται στον Πίνακα 1.



Εικόνα 1. Το Τριγωνομετρικό δίκτυο Α΄ τάξης (πηγή Βλάχος, 1987).

Παράμετρος προβολής	Τιμή
Κεντρικός μεσημβρινός	$\lambda_0 = 24^\circ$
Μέτρο γραμμικής παραμόρφωσης (συντελεστής κλίμακας) στον κεντρικό μεσημβρινό	$m_0 = 0.9996$
Γεωγραφικό πλάτος αναφοράς	$\varphi_0 = 0^\circ$
Προσθετική σταθερά στις τετμημένες	$E_0 = 500000 \text{ m}$
Προσθετική σταθερά στις τεταγμένες	$N_0 = 0 \text{ m}$

Πίνακας 1. Παράμετροι ορισμού της προβολής TM87 (εκτός περιοχής Καστελλόριζου).

1.2.1. Ο συντελεστής κλίμακας στην TM87

Όπως είναι γνωστό η αλλοίωση των μηκών (μεγέθυνση ή σμίκρυνση) λόγω της χαρτογραφικής προβολής περιγράφεται από το μέτρο γραμμικής παραμόρφωσης m . Έτσι το μέτρο γραμμικής παραμόρφωσης μίας προβολής για μία γεωδαισιακή γραμμή (ΓΓ) με αζιμούθιο a ορίζεται ως (Φωτίου και Λιβιεράτος, 2000):

$$m_a = \frac{dS}{dS} \quad (1)$$

όπου \bar{S} η εικόνα της ΓΤ μήκους S . Από την εξίσωση (1) προκύπτει άμεσα ότι:

$$d\bar{S} = m_a dS \quad (2)$$

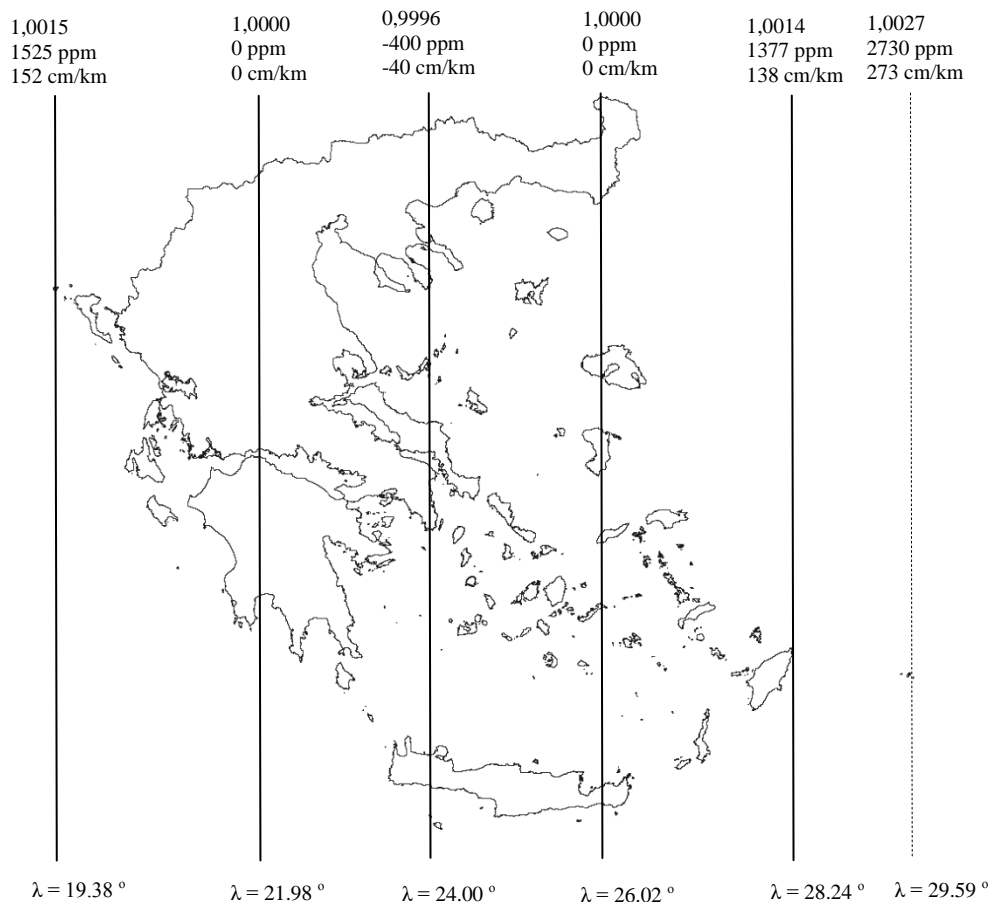
Αν λάβουμε υπόψη και την κλίμακα του χάρτη K , τότε για το υπό κλίμακα απεικονιζόμενο μήκος στο χάρτη ds' ισχύει η σχέση:

$$ds' = K m_a dS \quad (3)$$

από την οποία γίνεται εύκολα κατανοητό γιατί το μέτρο γραμμικής παραμόρφωσης καλείται και συντελεστής κλίμακας (ΣΚ) (Λιβιεράτος, 1988). Ο τύπος που δίνει την τιμή του ΣΚ της εγκάρσιας Μερκατορικής προβολής συναρτήσει των προβολικών συντεταγμένων E, N περιλαμβάνει πολλούς όρους και για το λόγο αυτό στην πράξη χρησιμοποιείται συνήθως ο απλούστερος προσεγγιστικός τύπος:

$$\Sigma K = 0,012311(X - 0,5)^2 + 0,9666 \quad (4)$$

όπου X η τετμημένη (Easting) σε εκατομμύρια m (Mm). Στην Εικόνα 2 δίνονται οι



Εικόνα 2. Παραμόρφωση μηκών (ΣΚ, ΣΚ(ppm)), παραμόρφωση ανά km) στην TM87 για χαρακτηριστικούς μεσημβρινούς (και για το Καστελλόριζο σε περίπτωση που το απεικονίσουμε στη ζώνη που χρησιμοποιείται για την υπόλοιπη χώρα).

παραμορφώσεις των μηκών σε χαρακτηριστικούς μεσημβρινούς της χώρας (κεντρικό μεσημβρινό, μεσημβρινούς μηδενικής παραμόρφωσης και μεσημβρινούς Οθωνών, Ρόδου και Καστελλόριζου). Για κάθε μεσημβρινό δίνονται ο Συντελεστής Κλίμακας (αριθμητική τιμή και σε ppm) και η μεταβολή (σμίκρυνση ή μεγέθυνση) ενός μήκους 1 km.

2. Το HTRS07

Το HTRS07 (Hellenic Terrestrial Reference System 2007) είναι το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς του HEPOS. Λεπτομερέστερη περιγραφή του HTRS07 υπάρχει σε σχετικές δημοσιεύσεις (Γιαννίου, 2010). Αναλυτικά στοιχεία σχετικά με τον ορισμό του HTRS07 ο αναγνώστης μπορεί να βρει στους *Katsampalos et al.* (2009). Το HTRS07 αποτελεί υλοποίηση του Ευρωπαϊκού συστήματος ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) στον Ελλαδικό χώρο εγκεκριμένη από τη EUREF, την αρμόδια Ευρωπαϊκή επιτροπή για τον ορισμό και τη διαχείριση του ETRS89 (EUREF, 2010).

3. Επίσημο μοντέλο μετασχηματισμού HTRS07-ΕΓΣΑ87

Με δεδομένο ότι οι συντεταγμένες των σταθμών αναφοράς του HEPOS αναφέρονται στο HTRS07 γίνεται προφανές ότι η επίλυση των βάσεων που μετρούνται μέσω του HEPOS - είτε με στατικό εντοπισμό, είτε με RTK - θα δώσει για τα υπό προσδιορισμό σημεία συντεταγμένες που πρωτογενώς θα αναφέρονται στο HTRS07. Προκειμένου να είναι εφικτός ο προσδιορισμός συντεταγμένων ΕΓΣΑ87 μέσω του HEPOS η ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. (πλέον ΕΧΚΑ Α.Ε.) ανέπτυξε σε συνεργασία με το ΤΑΤΜ/ΑΠΘ ένα επίσημο μοντέλο για τον αμφίδρομο μετασχηματισμό μεταξύ HTRS07 και ΕΓΣΑ87. Το μοντέλο αυτό πρέπει να χρησιμοποιείται κατά την παραγωγή συντεταγμένων ΕΓΣΑ87 μέσω του HEPOS.

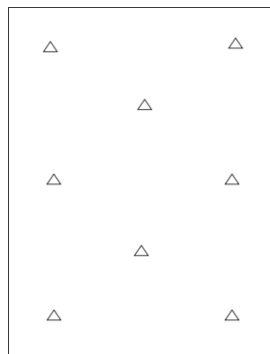
3.1. Το έργο των μετρήσεων του HEPOS

Για τον υπολογισμό του μοντέλου μετασχηματισμού ήταν απαραίτητο να υπάρχουν σημεία με γνωστές συντεταγμένες στα δύο συστήματα αναφοράς: HTRS07 και ΕΓΣΑ87. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε το 2007 ένα έργο μέσω του οποίου προσδιορίστηκαν οι συντεταγμένες HTRS07 2470 σημείων του Κρατικού τριγωνομετρικού δικτύου (δίκτυο ΓΥΣ). Το πλήθος τους αντιστοιχεί περίπου στο 10% του συνόλου των τριγωνομετρικών σημείων του Κρατικού δικτύου, τα οποία είναι περίπου 25000. Για να εξασφαλιστεί ομοιόμορφη κατανομή των σημείων, ορίστηκε η μέτρηση 8 τριγωνομετρικών ανά Φ.Χ. 1:50.000, επιδιώκοντας η κατανομή τους να προσεγγίζει στο μέτρο του δυνατού αυτή της Εικόνας 3. Προφανώς η αναλογία αυτή αφορά σε «πλήρη» Φ.Χ., αυτά δηλ. που δεν περιλαμβάνουν υδάτινες επιφάνειες ή χερσαία τμήματα γειτονικών κρατών. Οι θέσεις των 2470 σημείων που μετρήθηκαν δίνονται στην Εικόνα 4. Οι μετρήσεις ανατέθηκαν μέσω διαγωνισμού στην Κ/Ξ Geotech-Topomet και πραγματοποιήθηκαν σε διάστημα μικρότερο των 6 μηνών, χρησιμοποιώντας 12 δέκτες δύο συχνοτήτων 5700 και 5800 της Trimble.

Σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές του έργου οι βασικές παράμετροι των μετρήσεων ήταν:

- Χρήση δεκτών δύο συχνοτήτων, πρόσφατης κατασκευής ώστε να εξασφαλίζεται η βέλτιστη ποιότητα μετρήσεων
- Διάστημα καταγραφής 15 sec
- Γωνία αποκοπής 15°
- Ελάχιστη διάρκεια μέτρησης 60 min. Η διάρκεια αυτή αυξανόταν σε δύσκολες περιπτώσεις μέτρησης (εμπόδια στη λήψη, αυξημένο DOP κ.α.), ώστε να εξασφαλίζεται πάντα:
 - 90% του χρόνου μέτρησης κάθε σημείου με τουλάχιστον 6 δορυφόρους
 - 75% του χρόνου μέτρησης κάθε σημείου με PDOP μικρότερο του 4.

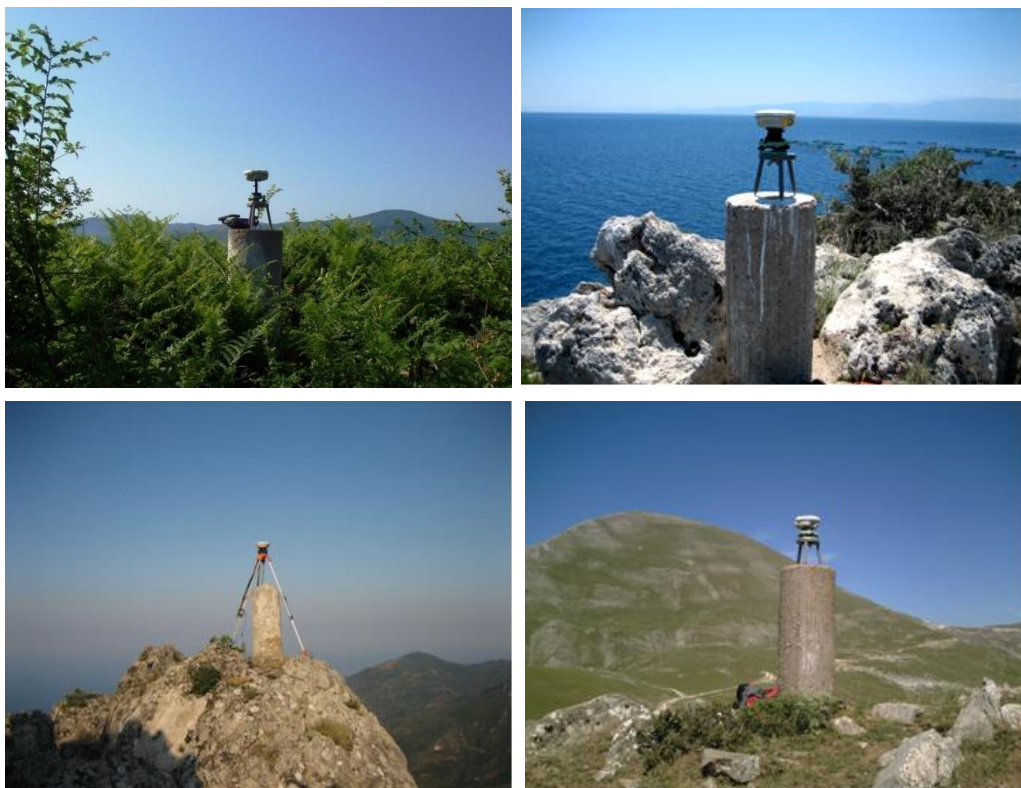
Οι παραπάνω προδιαγραφές θεωρείται ότι, υπό συνήθεις συνθήκες παρατήρησης, εξασφαλίζουν ακρίβεια στο επίπεδο των 1-2 cm οριζοντιογραφικά και 2-3 cm υψομετρικά. Λαμβάνοντας υπόψη το επίπεδο εσωτερικής οριζοντιογραφικής ακρίβειας των Κρατικών τριγωνομετρικών σημείων και το γεγονός ότι τα υψόμετρά τους έχουν κατά κανόνα προσδιοριστεί με τριγωνομετρική υψομετρία, οι παραπάνω ακρίβειες κρίνονται απόλυτα ικανοποιητικές για τις ανάγκες του έργου. Για κάθε τριγωνομετρικό σημείο μετρήθηκαν δύο βάσεις, έτσι ώστε να σχηματίζεται ένα τρίγωνο, μέσω του οποίου μπορούσε να ελέγχεται το σφάλμα κλεισίματος βρόχου (loop closure). Λόγω του ότι οι μετρήσεις έγιναν πριν να εγκατασταθεί το δίκτυο του HEPOS, ως σταθμοί αναφοράς χρησιμοποιήθηκαν σημεία τα οποία προσδιορίστηκαν στο σύστημα του HEPOS (ETRF2000/2007.5) μέσω εικοσιτετράωρων μετρήσεων και εξάρτησης από το δίκτυο EPN της EUREF. Ο υπολογισμός των συντεταγμένων των σταθμών αναφοράς έγινε από το TATM/ΑΠΘ μέσω της σύμβασης τεχνικής βοήθειας (TEBO/ΑΠΘ) για το έργο του HEPOS. Οι επιλύσεις των βάσεων από τους σταθμούς αναφοράς προς τα τριγωνομετρικά σημεία έγιναν από τον ανάδοχο του έργου. Για την επεξεργασία όλων των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν αποκλειστικά τροχιές ακριβείας της IGS. Παραδείγματα σημείων που μετρήθηκαν δίνονται στην Εικόνα 5.



Εικόνα 3. Επιδιωκόμενη κατανομή των τριγωνομετρικών σημείων προς μέτρηση εντός ενός πλήρους Φ.Χ. 1:50.000.



Εικόνα 4. Τα 2470 τριγωνομετρικά σημεία που μετρήθηκαν με GPS στο πλαίσιο του Έργου των μετρήσεων του HEPOS.



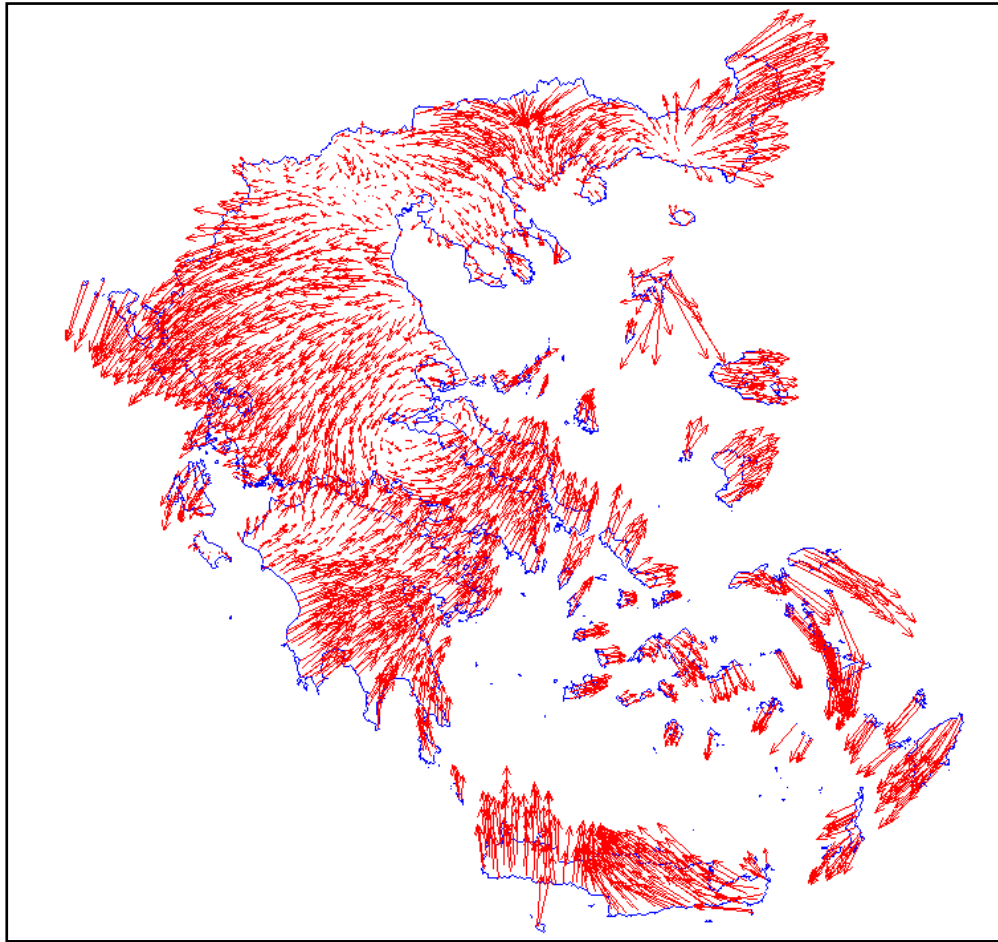
Εικόνες 5α- 5δ. Παραδείγματα τριγωνομετρικών σημείων που μετρήθηκαν στο πλαίσιο του Έργου των μετρήσεων του HEPOS.



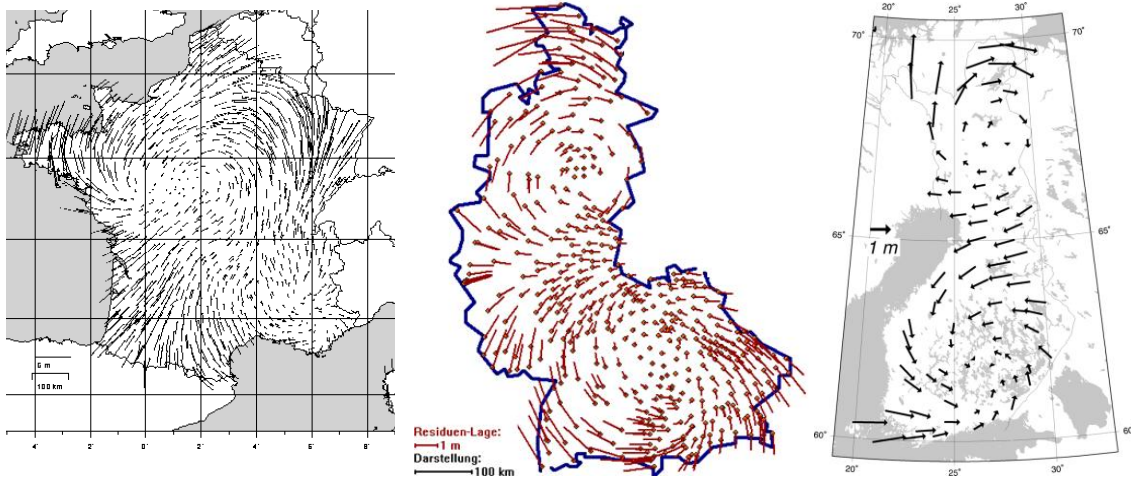
Εικόνα 5ε-5στ. Παραδείγματα τριγωνομετρικών σημείων που μετρήθηκαν στο πλαίσιο του Έργου των μετρήσεων του HEPOS.

3.2. Ενιαίος 7-παραμετρικός μετασχηματισμός HTRS07-ΕΓΣΑ87 για όλη τη χώρα

Το πρώτο βήμα μετά τον υπολογισμό των συντεταγμένων HTRS07 των 2470 σημείων ήταν ο υπολογισμός ενός ενιαίου 7-παραμετρικού μετασχηματισμού ομοιότητας μεταξύ HTRS07 και ΕΓΣΑ87. Τα τριγωνομετρικά σημεία του Κρατικού δικτύου έχουν μετρηθεί με την τεχνική των τριγωνισμών χρησιμοποιώντας κατά κύριο λόγο γωνιομετρήσεις και επιλύοντας διαδοχικά τα δίκτυα I έως IV τάξης. Κατά συνέπεια οι συντεταγμένες ΕΓΣΑ87 των τριγωνομετρικών είναι επηρεασμένες από τον τρόπο μετάδοσης των σφαλμάτων στους τριγωνισμούς. Επιπλέον τα έντονα γεωδυναμικά φαινόμενα του Ελλαδικού χώρου προκαλούν στο δίκτυο επιπρόσθετες συνεχείς παραμορφώσεις σωρευτικού χαρακτήρα. Αντίθετα οι συντεταγμένες HTRS07 που υπολογίστηκαν με σύγχρονες δορυφορικές τεχνικές είναι απαλλαγμένες από προβλήματα συνοχής. Η ακρίβεια των οριζόντιων HTRS07 συντεταγμένων είναι στο επίπεδο των 1-2 cm και μάλιστα η ακρίβεια αυτή είναι ομοιογενής σε όλη τη χώρα. Κατά συνέπεια τα υπόλοιπα (residuals) ενός μετασχηματισμού ομοιότητας μεταξύ των δύο συστημάτων αναφοράς, αντανακλούν ουσιαστικά τις ανομοιογένειες του ΕΓΣΑ87. Στην Εικόνα 6 δίνονται τα υπόλοιπα (οριζοντιογραφικά) ενός ενιαίου 7-παραμετρικού μετασχηματισμού Helmert που υπολογίστηκε μεταξύ ΕΓΣΑ87 και HTRS07 χρησιμοποιώντας τα προαναφερθέντα 2470 σημεία. Η γραφική αναπαράσταση των υπολοίπων αναδεικνύει μία συμπεριφορά που θεωρείται τυπική για συμβατικά ΓΣΑ. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν προκύψει και σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες, όπως Γερμανία (Cai, 2000), Γαλλία (Kasser and Breton, 2003) και Αγγλία (Greaves and Cruddace, 2001). Λαμβάνοντας υπόψη και τις ιδιαιτερότητες του Ελλαδικού χώρου (ανάγλυφο, νησιωτικές περιοχές, γεωδυναμικά και γεωλογικά φαινόμενα) η σημερινή συνοχή του δικτύου της ΓΥΣ υποδηλώνει ένα πολύ καλά ιδρυμένο τριγωνομετρικό δίκτυο.



Εικόνα 5. Υπόλοιπα ενός ενιαίου για όλη τη χώρα μετασχηματισμού ομοιότητας μεταξύ HTRS07 και ΕΓΣΑ87 (οι μέγιστες τιμές οριζοντιογραφικά είναι της τάξης των 2.5m).



Εικόνα 6. Παραδείγματα εσωτερικής συνοχής τριγωνομετρικών δικτύων άλλων χωρών: Γαλλία (δεξιά), Γερμανία (κέντρο) και Φινλανδία (αριστερά) (πηγές: *Kasser and Breton. 2003, Jäger et al. 2006, Ruotsalainen. 2013*).

3.3. Περιγραφή του επίσημου μοντέλου μετασχηματισμού HTRS07-ΕΓΣΑ87

Στη συνέχεια παρατίθεται μια συνοπτική περιγραφή του επίσημου μοντέλου μετασχηματισμού μεταξύ HTRS07 και ΕΓΣΑ87. Μία πλήρης τεκμηρίωση του μοντέλου δίνεται από τους *Κωτσάκης et al., 2008*.

Από την ανάλυση της ενότητας 3.2 γίνεται ξεκάθαρο ότι λόγω της περιορισμένης ομοιογένειας του ΕΓΣΑ87 δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί γεωδαιτική ακρίβεια στο μετασχηματισμό HTRS07-ΕΓΣΑ87 εάν χρησιμοποιηθεί αποκλειστικά ένας ενιαίος μετασχηματισμός ομοιότητας για όλη τη χώρα. Για την επιλογή του κατάλληλου μοντέλου μετασχηματισμού αξιοποιήθηκε η εμπειρία από αντίστοιχες Ευρωπαϊκές χώρες και εξετάστηκαν όλες οι δυνατές επιλογές (*Gianniou et al., 2009*). Η λύση που τελικά επιλέχθηκε ήταν η συνδυασμένη χρήση:

- ενός 7-παραμετρικού μετασχηματισμού και
- καννάβων διορθώσεων των προβολικών συντεταγμένων (correction/shift grids).

Συνοπτικά η διαδικασία για τον ευθύ μετασχηματισμό (από HTRS07 σε ΕΓΣΑ87) έχει ως εξής:

Αρχικά οι 3Δ γεωκεντρικές καρτεσιανές συντεταγμένες μετασχηματίζονται από HTRS07 σε ΕΓΣΑ87 με χρήση του ακόλουθου 7-παραμετρικού μετασχηματισμού

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix}_{\text{ΕΓΣΑ87}} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{HTRS07}} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta s & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & \delta s & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & \delta s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{HTRS07}} \quad (5)$$

όπου:

$$\begin{aligned} t_x &= 203.437 \text{ m} & \varepsilon_x &= -0.170 \text{ arcsec} & \delta s &= -0.294 \text{ ppm} \\ t_y &= -73.461 \text{ m} & \varepsilon_y &= -0.060 \text{ arcsec} \\ t_z &= -243.594 \text{ m} & \varepsilon_z &= -0.151 \text{ arcsec} \end{aligned}$$

Στη συνέχεια οι παραπάνω συντεταγμένες μετατρέπονται σε προβολικές συντεταγμένες $E' N'$ με χρήση της προβολής TM87. Με βάση την ανάλυση της ενότητας 3.1, ο παραπάνω μετασχηματισμός οδηγεί στο ΕΓΣΑ87 με μία προσέγγιση της τάξης των 2.5 m σε πανελλαδική κλίμακα. Για να επιτευχθεί μετασχηματισμός με ακρίβεια της τάξης των λίγων cm, οι παραπάνω συντεταγμένες διορθώνονται με χρήση των δύο καννάβων διορθώσεων. Από τους δύο αυτούς καννάβους υπολογίζονται με διγραμμική παρεμβολή οι αντίστοιχες διορθώσεις δE και δN . Οι τελικές συντεταγμένες προκύπτουν από τις σχέσεις:

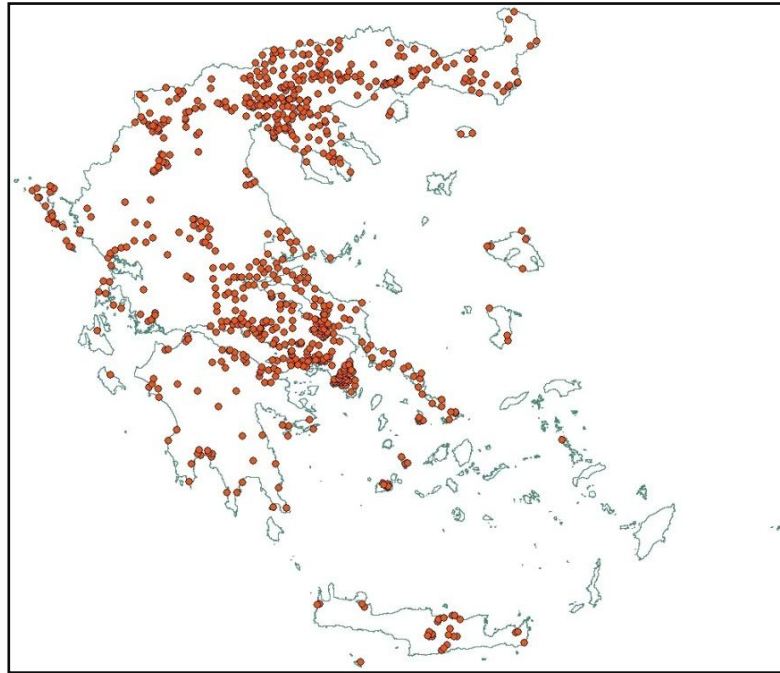
$$E'_{\text{τελικό}} = E' + \delta E \quad (6)$$

$$N'_{\text{τελικό}} = N' + \delta N \quad (7)$$

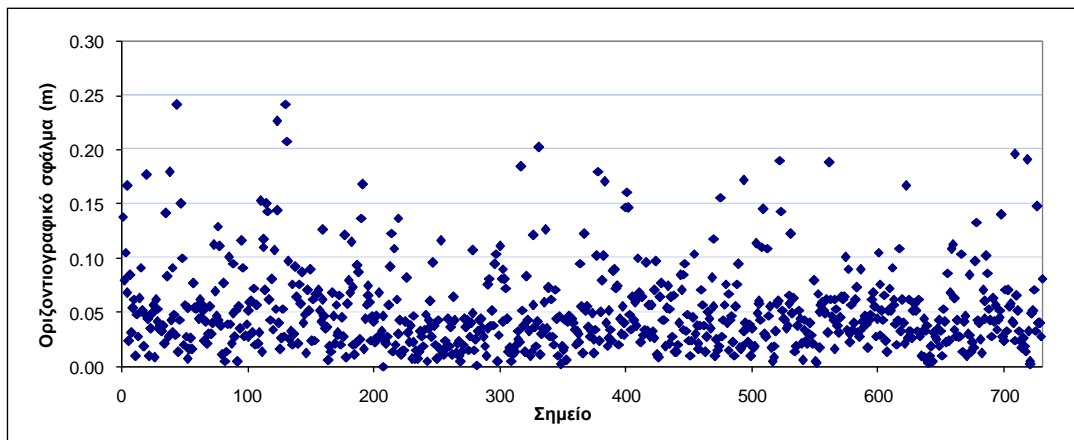
Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθείται και για τον αντίστροφο μετασχηματισμό (από ΕΓΣΑ87 σε HTRS07). Ειδικότερα για την περιοχή του Καστελλόριζου, λόγω της μικρής έκτασης δεν ήταν σκόπιμο να χρησιμοποιηθεί 7-παραμετρικός μετασχηματισμός και κάρναβος διορθώσεων. Εκεί ο μετασχηματισμός γίνεται με χρήση 3-παραμετρικού μετασχηματισμού. Για αναλυτικά στοιχεία ο αναγνώστης παραπέμπεται στους *Κωτσάκης et al.* (2008).

4. Αξιολόγηση του επίσημου μοντέλου μετασχηματισμού HTRS07-ΕΓΣΑ87

Κατά τη διαδικασία υπολογισμού του επίσημου μοντέλου μετασχηματισμού έγινε και εκτίμηση της ακρίβειάς του με χρήση 231 σημείων με ομοιόμορφη κατανομή σε όλη τη χώρα (Katsampalos et al., 2009). Στη συνέχεια και στο πλαίσιο της λειτουργίας και διαχείρισης του HEPOS διαπιστώθηκε ότι υπήρχε η δυνατότητα επέκτασης αυτής της αξιολόγησης με χρήση περισσότερων σημείων σε διάφορες περιοχές της χώρας. Έτσι από το 2009 η ΕΚΧΑ Α.Ε. έχει ξεκινήσει ένα εσωτερικό έργο για την αξιολόγηση ακρίβειας του επίσημου μοντέλου μετασχηματισμού. Στο πλαίσιο του έργου αυτού αξιοποιούνται μετρήσεις που έγιναν με το HEPOS σε σημεία του Κρατικού τριγωνομετρικού δικτύου. Μέχρι σήμερα έχουν χρησιμοποιηθεί συνολικά 743 σημεία. Από αυτά, 452 προέρχονται από έργα της ΕΚΧΑ Α.Ε. και 291 από συνεργαζόμενα ΑΕΙ (ΑΠΘ, ΕΜΠ, Πολυτεχνείο Κρήτης, ΤΕΙ Αθηνών) καθώς και από χρήστες του HEPOS. Οι θέσεις των σημείων φαίνονται στην Εικόνα 7. Η διάρκεια μέτρησης σε κάθε σημείο ήταν μία ή περισσότερες ώρες. Σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν και μετρήσεις μικρότερης διάρκειας (κατ' ελάχιστον 20 min), εφόσον από την αξιολόγηση της επίλυσης εξασφαλίστηκε ότι πληρούνται οι απαιτήσεις ακρίβειας. Για τις επίλυσεις χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από πραγματικούς σταθμούς του HEPOS με διάστημα καταγραφής 15 sec καθώς και τροχιές ακριβείας της IGS. Για τον καλύτερο έλεγχο της ακρίβειας τα σημεία, όπου αυτό ήταν εφικτό, επιλύθηκαν από τους δύο πλησιέστερους σταθμούς του HEPOS. Κατά την ανάλυση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα της μικρότερης σε μήκος βάσης ή της επίλυσης με τα καλύτερα στατιστικά στοιχεία όπως RMS και a-posteriori μεταβλητότητα αναφοράς. Οι επίλυσεις των βάσεων έγιναν με τη χρήση των λογισμικών γραφείου Trimble Geomatics Office ver. 1.62 και Trimble Business Center ver. 1.12. Οι συντεταγμένες που προέκυψαν από την επίλυση συγκρίθηκαν με τις επίσημες τιμές των τριγωνομετρικών και υπολογίστηκε το οριζοντιογραφικό σφάλμα σε κάθε σημείο. Στην Εικόνα 8 δίνεται γραφικά οι τιμές των σφαλμάτων για το σύνολο των σημείων. Στον Πίνακα 2 δίνονται τα βασικά στατιστικά στοιχεία των τιμών του οριζοντιογραφικού σφάλματος. Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι οι μεγαλύτερες τιμές σφαλμάτων (15-24 cm) αφορούν κατά κύριο λόγο σημεία τα οποία μπορούν να χαρακτηριστούν ως προβληματικά καθώς παρουσιάζουν αρκετά διαφορετική συμπεριφορά σε σχέση με τα γειτονικά τους. Ενδεικτικά αναφέρονται τα σημεία 107035 (Γιαννίου, 2010) και 085029 (Ζιώγας, 2013). Κατά κανόνα λοιπόν αυτές οι αυξημένες τιμές οριζοντιογραφικού σφάλματος δεν οφείλονται σε αδυναμίες του επίσημου μοντέλου μετασχηματισμού αλλά σε μεμονωμένα προβληματικά σημεία.



Εικόνα 7. Οι θέσεις των 743 σημείων που έχουν χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση του επίσημου μοντέλου μετασχηματισμού.



Εικόνα 8. Οριζοντιογραφικό σφάλμα για καθένα από τα 743 σημεία που έχουν χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση του επίσημου μοντέλου μετασχηματισμού.

Min (m)	Max (m)	Εκατοστημόριο (percentiles) (m)			
		50°	90°	95°	99°
0,000	0,242	0,041	0,097	0,126	0,188

Πίνακας 2. Στατιστικά στοιχεία των τιμών του οριζοντιογραφικού σφάλματος των 743 σημείων.

5. Εσωτερική συνοχή του ΕΓΣΑ87

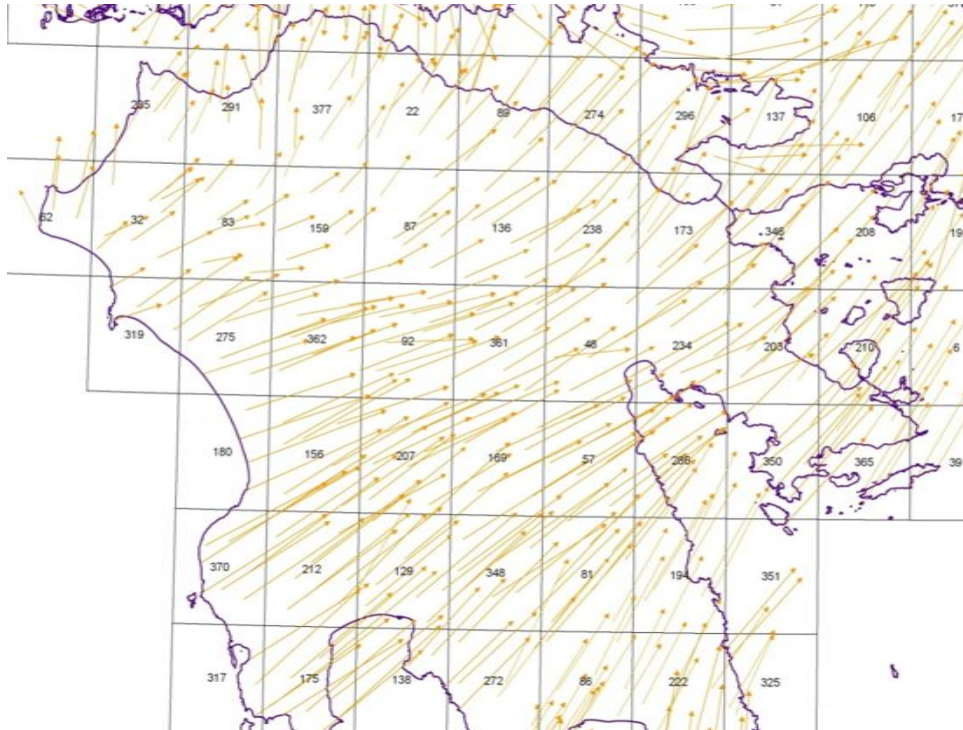
Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το έργο των μετρήσεων του HEPOS, μπορεί να εξαχθεί σημαντική πληροφορία σχετικά με την εσωτερική συνοχή του ΕΓΣΑ87, όπως αυτό υλοποιείται μέσω των συντεταγμένων των τριγωνομετρικών σημείων. Ασφαλώς το θέμα αυτό είναι ιδιαίτερα εκτενές και σύνθετο και δεν θα μπορούσε να εξαντληθεί σε ένα άρθρο. Στη συνέχεια γίνεται μία πρώτη προσέγγιση του θέματος.

5.1. Ανάλυση με βάση τα Φ.Χ. 1:50.000

Σε δημοσίευση της ΓΥΣ για τον τρόπο συνόρθωσης των τριγωνομετρικών δικτύων της χώρας (Τάκος, 1989) αναφέρεται ότι «Το 1988 άρχισε ο υπολογισμός των δικτύων ΙΙης τάξης κατά μεγάλα πολύγωνα ... Παράλληλα με την επίλυση των δικτύων ΙΙης τάξης, γινόταν και η επίλυση των δικτύων ΙVης τάξης. Εδώ η επίλυση έγινε κατά ένα ή περισσότερα Φ.Χ. 1:50.000. Δηλαδή, σε κάθε επίλυση είχαμε 100-150 νέα σημεία ΙVης τάξης και 30-40 γνωστά σημεία ανώτερης τάξης και γειτονικά υπολογισμένα ΙVης τάξης». Πέραν της παραπάνω δημοσίευσης έχουν ακουστεί κατά καιρούς απόψεις επαγγελματιών Μηχανικών ότι παρατηρούνται ασυμβατότητες μεταξύ τριγωνομετρικών σημείων που ανήκουν σε διαφορετικά Φ.Χ. Προκειμένου να διερευνηθεί το θέμα αυτό εξετάστηκαν τα οριζοντιογραφικά υπόλοιπα του 7-παραμετρικού μετασχηματισμού (Εικόνα 5) σε συνάρτηση με τη διανομή των Φ.Χ. 50.0000. Στην Εικόνα 9 βλέπουμε για παράδειγμα τα οριζοντιογραφικά υπόλοιπα του 7-παραμετρικού μετασχηματισμού και τη διανομή των Φ.Χ. 50.0000 στην περιοχή της Πελοποννήσου. Όπως εύκολα διακρίνεται για το κεντρικό και νότιο τμήμα της Πελοποννήσου τα τριγωνομετρικά χαρακτηρίζονται από μία ενιαία συμπεριφορά. Διαφορετική συμπεριφορά παρουσιάζουν τα σημεία στη ΒΔ Πελοπόννησο και στη βόρεια περιοχή του Κορινθιακού κόλπου. Αυτή η διαφοροποίηση θα μπορούσε να αποδοθεί α) στο γεγονός ότι το ΒΔ τμήμα της Πελοποννήσου παρουσιάζει διαφορετικές τεκτονικές ταχύτητες, όπως προκύπτει από πεδία ταχυτήτων που έχουν υπολογιστεί πρόσφατα από μόνιμους σταθμούς GNSS (π.χ. Γιαννίου 2010, Χατζηνίκος 2013) και β) στην έντονη σεισμική δράση του Κορινθιακού κόλπου. Κατά τη μετάβαση λοιπόν από την κεντρική Πελοπόννησο προς το Β και ΒΔ της τμήμα είναι αναμενόμενο τα σημεία γειτονικών Φ.Χ. να έχουν άλλη συμπεριφορά. Η διαφοροποίηση αυτή είναι όμως βαθμιαία· δεν παρατηρείται απότομα κατά τη μετάβαση από ένα Φ.Χ. στο γειτονικό του. Αυτό φαίνεται χαρακτηριστικά στα Φ.Χ. με κωδικούς 32, 83, 159, όπου διαπιστώνονται έντονες διαφοροποιήσεις και εντός του κάθε φύλλου. Αντίστοιχα συμπεράσματα προκύπτουν και για άλλες περιοχές, όπως π.χ. τη ΒΔ Ελλάδα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 10.

Συμπερασματικά μπορούμε να πούμε ότι στις περισσότερες περιοχές της χώρας δεν προκύπτει καμία σαφής συσχέτιση μεταξύ ομοιογένειας τριγωνομετρικών σημείων και της διανομής των Φ.Χ. Σε ελάχιστες περιπτώσεις παρατηρείται κάποια συσχέτιση, όμως δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να αποδοθεί με βεβαιότητα σε «συνόρθωση ανά Φ.Χ.». Κάτι τέτοιο θα απαιτούσε και τη γνώση των ομάδων των Φ.Χ. που επιλύθηκαν από κοινού. Η παρατηρούμενη ανομοιογενής συμπεριφορά εκτιμάται ότι δεν οφείλεται σε τεχνική συνόρθωση ανά Φ.Χ. αλλά α) στην επίδραση των δικτύων ανώτερης τάξης και β) στην επίδραση των σεισμοτεκτονικών και γεωλογικών φαινομένων που έχουν δράσει σωρευτικά

κατά τη διάρκεια των 40 περίπου ετών που έχουν παρέλθει από τις μετρήσεις τριγωνισμού μέχρι το 2007 που πραγματοποιήθηκε το έργο των μετρήσεων του HEPOS.



Εικόνα 9. Οριζοντιογραφικά υπόλοιπα του 7-παραμετρικού μετασχηματισμού και διανομή των Φ.Χ. 50.0000 στην περιοχή της Πελοποννήσου.



Εικόνα 10. Οριζοντιογραφικά υπόλοιπα του 7-παραμετρικού μετασχηματισμού και διανομή των Φ.Χ. 50.0000 στην περιοχή της ΒΔ Ελλάδας.

5.2. Ανάλυση με βάση τους καννάβους διορθώσεων

Όπως αναλύθηκε στις παραγράφους 3.2 και 3.3 ο ρόλος των καννάβων διορθώσεων του επίσημου μοντέλου μετασχηματισμού HTRS07-ΕΓΣΑ87 είναι να αντισταθμίζουν τις τοπικές ανομοιογένειες του ΕΓΣΑ87 τις οποίες δεν μπορεί να καλύψει ο ενιαίος 7-παραμετρικός μετασχηματισμός. Κατά αντιστοιχία, το πόσο ομαλά μεταβάλλονται οι τιμές γειτονικών κόμβων του καννάβου διορθώσεων, αποτελεί ένδειξη του βαθμού ομοιογένειας του ΕΓΣΑ87 σε τοπικό επίπεδο (σημειώνεται ότι το βήμα των καννάβων διορθώσεων είναι 2 km). Προκειμένου να γίνει μία ανάλυση σε πανελλαδικό επίπεδο, υπολογίστηκαν οι διαφορές των τιμών των γειτονικών κόμβων των καννάβων διορθώσεων για δE και δN ως εξής:

$$d\delta E_{i,j+1} = \delta E_{i,j+1} - \delta E_{i,j} \quad (8)$$

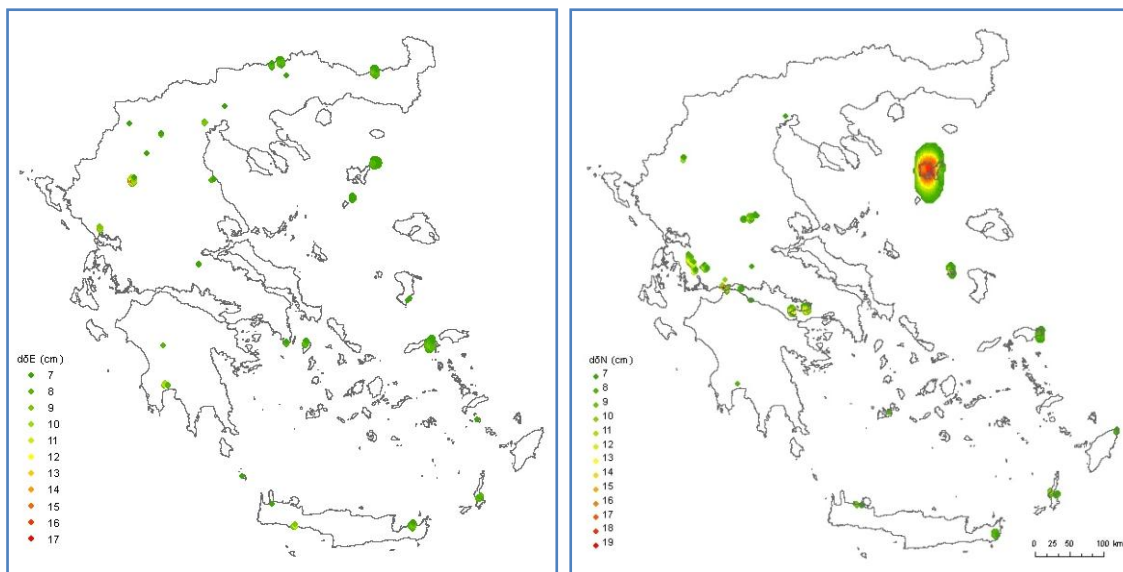
$$d\delta N_{i,j+1} = \delta N_{i,j+1} - \delta N_{i,j} \quad (9)$$

σημειώνοντας ότι η τιμή αυτή αντιστοιχεί στη μέση της απόστασης των κόμβων i, j και $i, j+1$.

Υπολογίζοντας για όλους τους κόμβους των καννάβων διορθώσεων τις παραπάνω ποσότητες προέκυψαν 171.768 τιμές για το $d\delta E$ και ισάριθμες τιμές για το $d\delta N$. Στον Πίνακα 3 δίνονται οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές που προέκυψαν για τις ποσότητες $d\delta E$ και $d\delta N$. Προκειμένου να εντοπιστούν οι θέσεις των σημείων με τις μεγαλύτερες τιμές, σχεδιάστηκαν σε χάρτες τα σημεία με τιμές μεγαλύτερες από 7 cm (κατά απόλυτη τιμή). Για τα $d\delta E$ εντοπίστηκαν 233 τέτοιες τιμές, που αντιστοιχούν σε ποσοστό 1,4% και για τα $d\delta N$ 938 τιμές που αντιστοιχούν σε ποσοστό 5,5%. Στην Εικόνα 11 δίνονται οι θέσεις αυτών των σημείων με χρωματική διαβάθμιση ανά 1 cm για τα $d\delta E$ και $d\delta N$ αντίστοιχα. Όπως φαίνεται εύκολα η συντριπτική πλειοψηφία των τιμών $d\delta E$ διατηρείται κάτω από τα 10cm. Μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι τιμές των ποσοτήτων $d\delta N$, όπου οι περιοχές με τιμές μεγαλύτερες από 10 cm είναι πολλές και διάσπαρτες. Η πλέον έντονη ανομοιογένεια παρατηρείται στη Λήμνο, τόσο σε μέγεθος όσο και σε έκταση που καταλαμβάνει. Το αποτέλεσμα αυτό ήταν αναμενόμενο δεδομένης της μορφής των διανυσμάτων των υπολοίπων του 7-παραμετρικού μετασχηματισμού (Εικόνα 5). Οι αιτίες αυτής της μεγάλης ανομοιογένειας του δικτύου στη Λήμνο πιθανόν να σχετίζονται με γνωστά γεωδυναμικά και γεωλογικά φαινόμενα στην περιοχή. Αντίστοιχη συσχέτιση υπάρχει πιθανότατα και στην περιοχή του Κορινθιακού κόλπου που παρατηρούνται αυξημένες παραμορφώσεις. Μάλιστα αυτό τεκμηριώνεται περαιτέρω και από το γεγονός ότι οι παραμορφώσεις είναι κυρίως κατά τη διεύθυνση Βορράς-Νότος, κάτι που συμφωνεί με την υπάρχουσα γνώση για τα τεκτονικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Βέβαια μια αναλυτική διερεύνηση αυτών των θεμάτων ξεφεύγει από τους σκοπούς της παρούσας εργασίας. Άλλες περιπτώσεις ανομοιογένειες παρουσιάζονται σε συγκεκριμένα κοντινά νησιά όταν η συμπεριφορά των τριγωνομετρικών διαφοροποιείται δραστικά μεταξύ των δύο νησιών, όπως συμβαίνει για παράδειγμα στην περίπτωση Ικαρίας-Φούρνων.

Μέγεθος	Min (cm)	Max (cm)
$d\delta E$	-11,30	16,96
$d\delta N$	-19,31	18,53

Πίνακας 3. Στατιστικά στοιχεία των παραμέτρων $d\delta E$ και $d\delta N$ για όλη την έκταση της χώρας.



Εικόνα 11. Περιοχές όπου οι ποσότητες $d\delta E$ (αριστερά) και $d\delta N$ (δεξιά) υπερβαίνουν (κατά απόλυτη τιμή) τα 7 cm.

6. Υλοποίηση του ΕΓΣΑ87 στην περιοχή του Καστελλόριζου

6.1. Ζώνη προβολής για την περιοχή του Καστελλόριζου

Για πρακτικούς λόγους το Καστελλόριζο (Νήσος Μεγίστη) και τα υπόλοιπα νησιά του εν λόγω νησιωτικού συμπλέγματος (Ρω, Στρογγύλη κ.λ.π.) απεικονίζονται συχνά στη ζώνη προβολής της TM87 που χρησιμοποιείται για την υπόλοιπη χώρα. Αυτό μπορεί να εξυπηρετεί εποπτικούς σκοπούς, όμως από χαρτογραφικής πλευράς παρουσιάζονται προβλήματα. Όσο απομακρυνόμαστε από τον κεντρικό μεσημβρινό μίας ζώνης εγκάρσιας Μερκατορικής προβολής η παραμόρφωση των μηκών αυξάνει εκθετικά. Όπως αναλύθηκε στην ενότητα 1.2.1 απεικονίζοντας την περιοχή του Καστελλόριζου στην ίδια ζώνη με την υπόλοιπη χώρα οδηγούμαστε σε παραμορφώσεις μηκών της τάξης των 2730 ppm, δηλ. 2,73 m/km. Για το λόγο αυτό στο ΕΓΣΑ87 προβλέπεται για την περιοχή του Καστελλόριζου η χρήση άλλης ζώνης προβολής με κεντρικό μεσημβρινό αυτόν των 27° ($\lambda_0 = 27^\circ$). Προφανώς

οι τιμές των υπολοίπων παραμέτρων της προβολής, όπως δίνονται στον Πίνακα 1, ισχύουν και για τη ζώνη προβολής του Καστελλόριζου.

Η χρήση της μη προβλεπόμενης ζώνης προβολής οδηγεί προφανώς σε συντεταγμένες που διαφέρουν δραματικά από τις συντεταγμένες που είχαν δοθεί στην περιοχή του Καστελλόριζου κατά τη διαδικασία υλοποίησης του ΕΓΣΑ87. Για παράδειγμα η τετμημένη (ακέραιο μέρος) του τριγωνομετρικού ΒΙΓΛΑ με κωδικό 387005, το οποίο βρίσκεται στη Νήσο Μεγίστη είναι 732.315 m. Αν όμως χρησιμοποιηθεί η ζώνη προβολής της υπόλοιπης χώρας τότε η τετμημένη που θα προκύψει για το σημείο θα είναι μεγαλύτερη από 1.000.000 m.

6.2. Το Datum του ΕΓΣΑ87 για το Καστελλόριζο

Από τα παραπάνω έγινε προφανές ότι η χρήση άλλης ζώνης οδηγεί σε μία διαφορά τετμημένων της τάξης των 300.000, η οποία γίνεται άμεσα αντιληπτή. Πέραν όμως της διαφορετικής ζώνης προβολής, το Καστελλόριζο διαφοροποιείται από την υπόλοιπη χώρα και σε ότι αφορά το datum. Μάλιστα αυτή η διαφοροποίηση είναι πιο κρίσιμη καθώς προκαλεί διαφορές συντεταγμένων που δεν γίνονται άμεσα αντιληπτές.

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 1.1, με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία φαίνεται ότι δεν έχει γίνει διασύνδεση του Καστελλόριζου με την υπόλοιπη χώρα σε επίπεδο τριγωνομετρικού δικτύου. Σε αυτό συνηγορεί και η μορφή του τριγωνομετρικού δικτύου 1^{ης} τάξης (Εικόνα 1). Κατά συνέπεια είναι αναμενόμενο το datum στο Καστελλόριζο να διαφοροποιείται από το datum του ΕΓΣΑ87 για την υπόλοιπη χώρα. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώθηκε και από το Έργο των μετρήσεων του HEPOS, όταν το 2007 μετρήθηκαν με GPS τέσσερα τριγωνομετρικά σημεία πάνω στη Νήσο Μεγίστη. Ενώ το datum του ΕΓΣΑ87 που χρησιμοποιείται για όλη τη χώρα είναι μετατοπισμένο σε σχέση με το γεώκεντρο κατά ΔX, ΔY, ΔZ της τάξης των 200m, -70m και -240m αντίστοιχα (βλ. και σχέσεις (5)), οι αντίστοιχες συνιστώσες μετάθεσης για το datum στο οποίο αναφέρεται το Καστελλόριζο βρέθηκε ότι είναι κατά μία έως δύο τάξεις μεγέθους μικρότερες. Στην περιοχή του Καστελλόριζου ο επίσημος μετασχηματισμός μεταξύ HTRS07 και ΕΓΣΑ87 υλοποιείται μέσω ενός 3-παραμετρικού μετασχηματισμού ως εξής (Κωτσάκης et al., 2009):

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix}_{\text{ΕΓΣΑ87}} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{HTRS07}} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} \quad (10)$$

όπου οι τρεις παράμετροι μετάθεσης έχουν τις εξής επίσημες τιμές:

$$\begin{aligned} t_x &= -5.020 \text{ m} \\ t_y &= -19.885 \text{ m} \\ t_z &= -12.244 \text{ m} \end{aligned} \quad (11)$$

Η ύπαρξη διαφορετικού datum περιπλέκει ακόμα περισσότερο το θέμα χρήσης διαφορετικής ζώνης προβολής. Ειδικά όταν γίνεται χρήση της ζώνης προβολής με $\lambda_0 = 24^\circ$ απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή γιατί έχει διαπιστωθεί η ύπαρξη διαφορετικών συντεταγμένων ασύμβατων μεταξύ τους, με τους γνωστούς κινδύνους που αυτό συνεπάγεται. Αντίθετα η χρήση της προβλεπόμενης ζώνης προβολής με $\lambda_0 = 27^\circ$ και η παραγωγή συντεταγμένων με εξάρτηση από τα τριγωνομετρικά της ΓΥΣ (τετμημένες της τάξης των 700.000) ή μέσω του HEPOS εγγυώνται μονοσήμαντα ορισμένα αποτελέσματα. Επειδή ο προαναφερθείς 3-παραμετρικός μετασχηματισμός δεν είναι κατά κανόνα υλοποιημένος στα λογισμικά γραφείου/πεδίου θα πρέπει οι χρήστες του HEPOS να τον υλοποιήσουν. Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιείται το λογισμικό HEPOS Transformation Tool που διατίθεται ελεύθερα στον ιστοχώρο του HEPOS.

Ευχαριστίες

Το HEPOS υλοποιήθηκε μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος του Γ' Κοινοτικού Πλαισίου Στήριξης (Κ.Π.Σ.) "Κοινωνία της Πληροφορίας - ΚτΠ" και χρηματοδοτήθηκε σε ποσοστό 50% από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ) και 50% από Εθνικούς πόρους. Ο υπολογισμός του μοντέλου μετασχηματισμού HTRS07-ΕΓΣΑ87 έγινε από το ΤΑΤΜ/ΑΠΘ (Καθηγητές Κ. Κατσάμπαλος και Χ. Κωτσάκης) στο πλαίσιο Έργου Τεχνικής Βοήθειας (ΤΕ-ΒΟ ΑΠΘ) που χρηματοδοτήθηκε σε ποσοστό 80% από το ΕΤΠΑ και 20% από Εθνικούς πόρους.

Βιβλιογραφία

Βέης Γ., 1995. *Τα συστήματα αναφοράς και η εφαρμογή του ΕΓΣΑ '87*. Τεχνικά Χρονικά, 2η έκτακτη έκδοση 1995, 16-24.

Βλάχος Δ., *ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑ Τόμος Α' Όργανα με Μέθοδοι Μετρήσεων*, 1987, Αθήνα: Εκδοτικός Οίκος Μέλισσα.

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

Ζιώγας Γ., 2013. *Διεξαγωγή και επεξεργασία μετρήσεων GPS σε τριγωνομετρικά σημεία στο Νομό Γρεβενών με χρήση μόνιμων σταθμών αναφοράς*. Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Τοπογραφίας ΤΕΙ Αθήνας.

Cai J., 2000. *The systematic analysis of the transformation between the German geodetic reference system (DHDN, DHHN) and the ETRF system (DREF91)*, Earth, Planets, Space, Vol 52 2000, pp. 947–952.

Gianniou M., 2010. *Tectonic deformations in Greece and the operation of HEPOS network*, EUREF 2010 Symposium, June 2-4 2010, Gävle, Sweden.

Gianniou M., Katsampalos K., Kotsakis C., 2009. *Real-time Positioning in ETRS89 using the Hellenic Positioning System*, EUREF 2009 Symposium, May 27-30 2009, Florence Italy.

Greaves M., P. Cruddace (2001): "The OS's new Coordinate Transformation for Great Britain – GPS to OSGB36 National Grid Transformation", *Geomatics World*, November / December 2001, pp. 34-36.

EUREF, 2010. *Resolutions of the EUREF Symposium in Gävle*, June 2-6, 2010.

Jäger R., Schneid S., Kälber, S., Seiler S., 2006. *Precise Transformation of Classical Networks to ITRF by CoPaG and Precise Vertical Reference Surface Representation by DFHRS-General Concepts and Realisation of Databases for GIS, GNSS and Navigation Applications*. 1st International Fair of Geodesy, Cartography, Navigation and Geoinformatics. Prague, Czech Republic. 16.03. 2006-18.03. 2006. Milan Tallich (Eds.): Conference Proceedings. ISBN 80-85881-25-X.

Kasser M., Breton J., 2003. *Necessity to work in a Reference Frame in France*, FIG Working Week, April 13-17 2003, Paris.

Katsampalos K., Kotsakis C., Gianniou M., 2009. *Hellenic Terrestrial Reference System 2007 (HTRS07): a regional densification of ETRS89 over Greece in support of HEPOS*, EUREF 2009 Symposium, May 27-30 2009, Florence Italy.

Κωτσάκης Χ., Κατσάμπαλος Κ., Γιαννίου Μ., 2008. *Μοντέλο Μετασχηματισμού Συντεταγμένων μεταξύ του Συστήματος Αναφοράς του HEPOS (HTRS07) και του Ελληνικού Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς (ΕΓΣΑ87) - Βασική μεθοδολογία και αριθμητικά παραδείγματα*, ΤΑΤΜ/ΑΠΘ – ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε.

Λιβιεράτος Ε., 1988. *Γενική Χαρτογραφία*, Θεσσαλονίκη. Εκδόσεις Ζήτη.

ΟΚΧΕ, 1987. *Το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς*, Αθήνα 1987.

Ruotsalainen R., 2003. *The change of National Datum in Finland*, www.samenland.nl/pdf/the_change_of_coordinate_system_in_finland.pdf

Τάκος Ι., 1989. *Νέα συνόρθωση των τριγωνομετρικών δικτύων της Ελλάδος*. Δελτίο Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού, Τόμος 136, 19-93.

Φωτίου Α. και Λιβιεράτος Ε., 2000. *Γεωμετρική Γεωδαισία και Δίκτυα*, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.

Χατζηνίκος Μ., 2013. *Μελέτη των μετακινήσεων του γήινου φλοιού στον Ελλαδικό χώρο με ανάλυση δορυφορικών δεδομένων GNSS*, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών ΑΠΘ.