

# ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

Συγγρός Ιωάννης \*

Νοταρά 10, 10683 Αθήνα

Τηλ. 210 3838256, Fax 210 3306332, e-mail: [isygg@tee.gr](mailto:isygg@tee.gr)

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία: α) κάνει μία εισαγωγή στα σχετικά με τα Γεωδαιτικά Συστήματα Αναφοράς, β) καταγράφει και περιγράφει τα παλαιότερα Ελληνικά Γ.Σ.Α. και το ισχύον, όπως και τα παγκόσμια Γ.Σ.Α. που έχουν πρακτικό ενδιαφέρον στον Ελληνικό χώρο, γ) καταγράφει τις (κυριότερες) διαδικασίες μετασχηματισμού συντεταγμένων, ασχολείται με την τάξη μεγέθους των αναμενόμενων σφαλμάτων στις νέες συντεταγμένες λόγω του μετασχηματισμού και προτείνει την ενδεικνυόμενη για κάθε περίπτωση διαδικασία μετασχηματισμού και δ) σε εφαρμογή των προηγούμενων γίνεται σύντομη παρουσίαση προγράμματος για χρήση σε Η.Υ., το οποίο εμπεριέχει τα αναγκαία δεδομένα και εφαρμόζει στον Ελληνικό χώρο τις καταλληλότερες από τις μεθόδους μετασχηματισμού συντεταγμένων.

## ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Γεωδαιτικά Συστήματα Αναφοράς, μετασχηματισμοί, Ελλάς, υπόβαθρα, χάρτες

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα σχετικά με το θέμα της εργασίας αυτής αποτελούν τμήμα από το – εν πολλοίς διδασκόμενο – γνωστικό αντικείμενο των Τοπογράφων Μηχανικών για την Ελλάδα. Υποθέτω, ότι αντίστοιχα μαθήματα περιέχουν οι σπουδές, όσων κλάδων σχετίζονται με θέματα Χαρτογραφίας. Όμως, η κοινότητα των παραγωγών και οπωσδήποτε των χρηστών των Γεωγραφικών Συστημάτων Αναφοράς είναι κατά πολύ ευρύτερη. Επειδή πιστεύω, ότι το θέμα μου απασχολεί κυρίως χρήστες των Γ.Σ.Π., χωρίς την προ-παιδεία του Γεωδαίτη, θεώρησα υποχρέωσή μου να περιλάβω – χωρίς να είμαι ειδικός - περιληπτική αναφορά σε όλα τα σχετικά θέματα. Αυτά καταλαμβάνουν περίπου την μισή έκταση της εργασίας (ενότητες 1 & 2). Όποιος πιστεύει, ότι οι αναφορές αυτές δεν τον ενδιαφέρουν, μπορεί να προχωρήσει απευθείας στην ανάγνωση των σχετικών μόνο με τους μετασχηματισμούς και το σχετικό πρόγραμμα (ενότητες 3 & 4).

Είχα την ευκαιρία να διδαχθώ τα σχετικά με το θέμα, την δεκαετία του 1970. Είχα επίσης την ευκαιρία να παρακολουθήσω διαλέξεις σχετικές με τα παλαιότερα Ελληνικά Γ.Σ.Α. την δεκαετία του 1980 (ΜΠΑΛΟΔΗΜΟΥ, 1985) και το ισχύον Ε.Γ.Σ.Α. την δεκαετία του 1990 (ΒΕΗΣ, 1994). Έχουν περάσει – όσο γνωρίζω - σχεδόν δέκα χρόνια χωρίς κάποια δημόσια και περιληπτική αναφορά στο θέμα. Οι ενδιαφερόμενοι - με την εξάπλωση της χρήσης των Γ.Σ.Π. - νομίζω ότι πολλαπλασιάστηκαν. Τέλος, υπάρχουν αρκετά νέα δεδομένα στο πεδίο, όπως είναι η χρήση δορυφορικών δεκτών προσδιορισμού θέσης (GPS-R) και ιδιαίτερα των μικρών ‘μη γεωδαιτικών’, η χρήση των δορυφορικών εικόνων και οι απαιτήσεις για σύνθεση παλαιών και νέων διαγραμμάτων. Με αφορμή τα παραπάνω και επειδή έχω ενδιαφέρον και ασχολία στο θέμα αυτό τα τελευταία χρόνια, πήρα την πρωτοβουλία για την παρούσα.

## 1. Η ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΓΗΣ ΚΑΙ ΤΑ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

### Γεωγραφικά Υπόβαθρα, η αναγκαιότητα των Γ.Σ.Α. και Ορισμός

Σε κάθε εργασία συλλογής, διαχείρισης και παρουσίασης Γεωγραφικών Δεδομένων συμμετέχει το 'υπόβαθρο'. Το υπόβαθρο είναι ο καμβάς, πάνω στον οποίο αναπτύσσεται όλη η πληροφορία. Συχνά επίσης, το υπόβαθρο περιέχει από μόνο του σημαντική πληροφορία, σχετιζόμενη με το θέμα των γεωγραφικών δεδομένων.

Για να είναι δυνατόν να συσχετίζονται οι πληροφορίες μας που αφορούν (και) τόπο και να αξιοποιούνται διαχρονικά - με την ανθρώπινη αντίληψη του χρόνου, δηλαδή για ελάχιστο εν τέλει χρόνο, αν συγκριθεί π.χ. με την ηλικία της Γης - και υπερτοπικά, χρησιμοποιούμε πρότυπα. Τα πρότυπα για την συγκεκριμένη αυτή χρήση τα λέμε 'Γεωδαιτικά Συστήματα Αναφοράς'.

Τι είναι όμως ένα Γ.Σ.Α.; (ΒΕΗΣ, 1987):

*'Ένα Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΓΣΑ) στην κλασσική γεωδαισία:*

- **Ορίζεται** με την επιλογή ενός (γεωδαιτικού) *Datum*, που δίνει αρχικές συντεταγμένες σε ένα σημείο και τις διαστάσεις ενός ελλειψοειδούς αναφοράς. Ο προσανατολισμός επιτυγχάνεται με αστρονομικές μεθόδους.
- **Υλοποιείται** με τις μετρήσεις ενός γεωδαιτικού δικτύου, την συνόρθωσή του και τον υπολογισμό των συντεταγμένων ( $\phi$ ,  $\lambda$ ) των κορυφών του στο νέο *Datum*.
- **Εφαρμόζεται** με την απεικόνιση (ή προβολή) του ελλειψοειδούς σε ένα επίπεδο που δίνει τις επίπεδες συντεταγμένες του δικτύου.
- **Χρησιμοποιείται** με την εξάρτηση (και εντοπισμό) των γεωδαιτικών, τοπογραφικών και χαρτογραφικών εργασιών στο δίκτυο και την χρήση των συντεταγμένων των κορυφών του.'

### Η σύσταση, η κίνηση και το σχήμα της Γης - Γεωειδές

Αφότου οι άνθρωποι κατάλαβαν περίπου τι συμβαίνει με τον κόσμο γύρω τους, προσπάθησαν να μετρήσουν τα μεγέθη εκείνα, που θα επέτρεπαν την μαθηματική έκφραση του σχήματος στην αρχή και των λοιπών αγνώστων μεγεθών στην συνέχεια. Η προσπάθεια αφορούσε - και αφορά ακόμη - τον προσδιορισμό ενός 'βέλτιστου' σχήματος, το οποίο θα προσομοίαζε πιστότερα με την Γήινη 'σφαίρα'. Αιώνες επιστημονικής (και μη) αντιδικίας πέρασαν. Όμως, με τον εμπλουτισμό των συνολικών γνώσεων, τα κάθε φορά αποδεκτά πρότυπα αποδεικνύονταν ανεπαρκή.

Τις τελευταίες δεκαετίες η περίληψη της κατάστασης έχει, περίπου πάλι, ως εξής:

Η Γη έχει σχήμα σφαιροειδές, σύσταση στο εσωτερικό και τμήμα της επιφάνειάς της από ρευστά υλικά και επιπλέον η 'κρούστα' - τα στερεά υλικά της επιφανείας - δεν είναι ομογενής. Η κίνησή της είναι σύνθετη και η μάζα της δέχεται την επίδραση της έλξης όλων των ουρανίων σωμάτων. Η επίδραση αυτή δεν αναφέρεται σε ένα 'ιδεατό σημείο' (το 'κέντρο' της) στο σύμπαν, αλλά σε υλικό που μπορεί να παραμορφώνεται - παράδειγμα οι παλίρροιες. Στα παραπάνω πρέπει να προσθέσουμε την δράση των ηφαιστειών, την κίνηση των ηπείρων, την κίνηση των ωκεανών, την κίνηση των ανέμων, το λιώσιμο των πάγων και άλλα, που βεβαίως θα ξέχασα. Σχετικά με τα παραπάνω θέματα, 'νόστιμα' τα γράφει ανυπόγραφο κείμενο (The story of the seven level headed scientists), που υπάρχει στο διαδίκτυο.

Μια προσέγγιση στο - μη κανονικό σφαιροειδές - σχήμα της Γης ορίζει το 'Γεωειδές'. Ακριβέστερα (SMITH, 1998), το Γεωειδές είναι εκείνη η επιφάνεια, στην οποία το γήινο πεδίο βαρύτητας έχει σταθερή και προκαθορισμένη τιμή (ας πούμε, όση στην 'μέση στάθμη θαλάσσης').

## Σφαιροειδή – Ελλειψοειδή Αναφοράς

Ήδη από τον 19ο αιώνα είχε καθιερωθεί η χρήση σαν επιφάνεια αναφοράς των γεωδαιτικών μετρήσεων σχήματος ελλειψοειδούς εκ περιστροφής. Το σχήμα αυτό μας δίδει ικανοποιητικές προσεγγίσεις της γήινης επιφάνειας, χωρίς οι αναγκαίοι υπολογισμοί να γίνονται απαγορευτικά πολύπλοκοι. Τόσο οι επιστημονικές διαφορές και η καλύτερη τοπική προσαρμογή, όσο και πολιτικοί λόγοι, οδήγησαν στην χρήση διαφορετικών ελλειψοειδών από διαφορετικές χώρες.

Στα ελλειψοειδή ορίζουμε σαν ‘παράλληλους’ την τομή επιπέδων καθέτων στον άξονα συμμετρίας και της επιφάνειας του σφαιροειδούς. Οι ‘παράλληλοι’ είναι κύκλοι. Ο μέγιστος από τους κύκλους αυτούς, με ακτίνα τον μεγάλο από τους ημιάξονες του ελλειψοειδούς λέγεται ‘ισημερινός’. Ορίζουμε σαν ‘μεσημβρινούς’, την τομή των επιπέδων που διέρχονται από τον άξονα συμμετρίας και της επιφάνειας του σφαιροειδούς. Οι ‘μεσημβρινοί’ είναι ελλείψεις. Ένας των μεσημβρινών ορίζεται σαν ‘πρώτος’ μεσημβρινός, ώστε να χρησιμοποιείται σαν αφετηρία μέτρησης των λοιπών.

## Συντεταγμένες

Όποιος χρησιμοποιεί υπόβαθρα (εφόσον αυτά αναφέρονται σε ένα Γ.Σ.Α. ή αλλιώς όπως λέμε έχουν ‘γεωαναφορά’), χρησιμοποιεί και συντεταγμένες. Αυτές προσδιορίζουν μονοσήμαντα την θέση ενός σημείου στο υπόβαθρο. Η παρούσα εργασία δεν θα ασχοληθεί με θέματα σχετικά με τον προσδιορισμό *χωρίων* από ‘συντεταγμένες’ (π.χ. σύστημα MGRS).

Χρησιμοποιούμε δύο ειδών συντεταγμένες – ή συνδυασμό τους - για το προσδιορισμό κάθε σημείου: γραμμικές (απόσταση από κάποια αφετηρία μέτρησης) και γωνιακές (το μέτρο της περιεχόμενης γωνίας μεταξύ κάποιας διεύθυνσης - αφετηρίας μέτρησης του γωνιακού μεγέθους - και της διεύθυνσης προς το σημείο ενδιαφέροντος).

Τις γραμμικές συντεταγμένες σε ορθοκανονικό σύστημα αξόνων τις λέμε συχνά ‘**καρτεσιανές**’. **Γεωδαιτικές συντεταγμένες** λέγονται οι δύο γωνίες, που ορίζουν την θέση ενός σημείου στην επιφάνεια του ελλειψοειδούς αναφοράς. Το γεωδαιτικό πλάτος  $\phi$  είναι η γωνία μεταξύ της καθέτου στην επιφάνεια του ελλειψοειδούς και του επιπέδου του ισημερινού του ελλειψοειδούς. Το γεωδαιτικό πλάτος  $\lambda$  είναι η γωνία μεταξύ του επιπέδου του πρώτου μεσημβρινού και του μεσημβρινού, που διέρχεται από το σημείο ενδιαφέροντος.

Είναι σημαντικό να μη ξεχνάμε ότι, η γνώση συντεταγμένων δεν ορίζει την ‘απόλυτη’ (ότι και αν σημαίνει αυτό) θέση ενός σημείου, αλλά την θέση του σε συσχετισμό με την αφετηρία μετρήσεων, δηλαδή την θέση του σε συγκεκριμένο Γ.Σ.Α. Επομένως, η γνώση και αναφορά της θέσης σημείου σημαίνει: γνώση συντεταγμένων και γνώση Γ.Σ.Α. των συντεταγμένων. Μετά από αυτά είναι πλέον κατανοητό, πως είναι δυνατόν να έχουμε σημεία με ταυτόσημες συντεταγμένες, χωρίς τα σημεία να καταλαμβάνουν την ίδια θέση στον χώρο, όπως και πολλαπλά ζεύγη διαφορετικών κατά την τιμή μεταξύ τους συντεταγμένων, που αναφέρονται στο ίδιο σημείο.

## Προβολές – Ψευδοπροβολές

Έχουμε σαν δεδομένο ότι η επιφάνεια των ελλειψοειδών είναι καμπύλη επιφάνεια, ενώ οι ανάγκες μας απεικόνισης των σημείων αυτής της επιφάνειας γίνεται συνήθως στο επίπεδο. Επομένως, προκύπτει το πρόβλημα του τρόπου μετάβασης από την καμπύλη σε επίπεδη επιφάνεια.

Η απάντηση στο πρόβλημα αυτό δόθηκε καταρχήν με την προβολή – κεντρική ή παράλληλη – της καμπύλης επιφάνειας σε επίπεδη ή αναπτυκτική σε επίπεδη, καμπύλη επιφάνεια (παράπλευρες επιφάνειες κώνων ή κυλίνδρων). Στην συνέχεια και στην προσπάθεια να διατηρηθούν αμετάβλητα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της αρχικής επιφάνειας (εμβαδόν, μήκη, γωνίες, ...) στην απεικόνιση, δημιουργήθηκαν μαθηματικές ‘προβολές’, δηλαδή συναρτήσεις μετασχηματισμού των (γωνιακών) γεωδαιτικών συντεταγμένων, σε συνδυασμό με τα στοιχεία του σφαιροειδούς αναφοράς, σε επίπεδες, ήτοι σε γραμμικά μεγέθη.

Οι προβολές, με την χρήση κλίμακας στην απεικόνιση κάνουν δυνατόν τελικά να απεικονίζονται (προβάλλονται) οι καμπύλες επιφάνειες σε ένα κομμάτι χαρτί. Καταχρηστικά και σε αναλογία με τις προβολές, συγγραφείς ή εφαρμογές αναφέρονται σε απεικονίσεις των αρχικών γεωδαιτικών συντεταγμένων σαν να επρόκειτο για προβολές.

### **Διανομές Φύλλων Χάρτη**

Εφόσον η επιστήμη της Χαρτογραφίας καλείται να απεικονίσει μία μεγάλη επιφάνεια σε φύλλα χάρτη πεπερασμένων και εύχρηστων διαστάσεων, προκύπτουν προβλήματα για τον τρόπο διανομής της μεγάλης επιφάνειας σε επιμέρους τμήματα, όπως και ονοματολογίας αυτών των τμημάτων.

Σε διανομές απεικόνισης σε μικρή κλίμακα, είναι εύκολο να κατανοήσουμε, πως για παράδειγμα το Φ.Χ. ‘Ελλάς’ αναμένεται να απεικονίζει την Ελλάδα, ή το Φ.Χ. ‘Πάτραι’ αναμένεται τουλάχιστον να περιέχει την πόλη αυτή. Συνηθίζεται επίσης να υπάρχουν επικαλύψεις τμημάτων των χαρτών. Όμως, σε απεικονίσεις σε μεσαίες ή μεγάλες κλίμακες επιλέγεται συνήθως, σχεδόν αποκλειστικά δε τις τελευταίες δεκαετίες, η διανομή σε τμήματα σχήματος ορθογωνίου παραλληλογράμμου, επίσης συνήθως χωρίς αλληλοκάλυψη. Η ονοματολογία – κωδικοποίηση αυτών των φύλλων χάρτη δεν είναι πάντα αμέσως κατανοητή, όμως σχετίζεται εμμέσως ή αμέσως με τις συντεταγμένες των άκρων του Φ.Χ. Ο τρόπος διανομής των Φ.Χ. και η ονοματολογία τους περιέχεται πλέον στον ορισμό ενός σύγχρονου Προβολικού Σ.Α.

### **Η υψομετρία**

Η μέτρηση της ‘ τρίτης διάσταση στον χώρο’, όπως οι αισθήσεις μας την αντιλαμβάνονται, γινόταν παραδοσιακά σε συσχετισμό με την μοναδική επιφάνεια αναφοράς, που μπορούσε να έχει ο παλαιός ‘γεωμέτρης’. Αυτή βεβαίως είναι η επιφάνεια της θάλασσας. Με την πρόοδο των γνώσεων, έγινε κατανοητό ότι η επιφάνεια αυτή μεταβάλλεται και αντικαταστάθηκε από την ‘μέση στάθμη θάλασσας’, η οποία προέκυπτε από επαναληπτικές ή συνεχείς μετρήσεις της στάθμης, πολλών ετών, σε σημεία που χρησίμευαν σαν σημεία αναφοράς υψομέτρων.

Το υψόμετρο ενός σημείου, το οποίο μετρήθηκε ή υπολογίστηκε από αυτή την αφετηρία (από την Μ.Σ.Θ.) ή (ισοδυνάμως; όχι πλέον) από το Γεωειδές λέγεται ‘Ορθομετρικό’. Στην πραγματικότητα, όλα τα παλαιά Γ.Σ.Α. ήσαν σύνθετα στον τρόπο υπολογισμού των συντεταγμένων, εφόσον χρησιμοποιούσαν τα σφαιροειδή για τον υπολογισμό της θέσης στο επίπεδο προβολής, αλλά (συνήθως) το υψόμετρο (‘Η’) από την Μ.Σ.Θ. για ύψος, μετρούμενο στην διεύθυνση της κατακορύφου. Ωστόσο, η χρήση ελλειψοειδούς αναφοράς ορίζει ένα άλλο υψόμετρο. Αυτό είναι η απόσταση του σημείου από την επιφάνεια του ελλειψοειδούς και λέγεται ‘γεωμετρικό’ υψόμετρο (‘Ηγ’ ή ‘h’). Η διαφορά αυτών των δύο υψομέτρων δίνει την αποχή του γεωειδούς από

το ελλειψοειδές ('N'). Αν είναι γνωστή ή μπορεί να υπολογιστεί η αποχή, επιτρέπει την μετάβαση από το ένα είδος υψομέτρου στο άλλο.

Είναι εύκολο εδώ να γίνει αντιληπτό, πως ενώ το 'ορθομετρικό' υψόμετρο είναι ανεξάρτητο από το χρησιμοποιούμενο Γ.Σ.Α., το 'γεωμετρικό' εξαρτάται από αυτό. Πάντως, το υψόμετρο που συνήθως βρίσκουμε στους χάρτες είναι αυτό από την Μ.Σ.Θ., με κυριότερη εξαίρεση τους χάρτες που αφορούν βαθυμετρία, όπου τα βαθύμετρα μετρώνται για ευνόητους λόγους από την 'κατωτάτη ρηχία' της θάλασσας στην περιοχή.

## **2. Γ.Σ.Α. ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ ΚΑΙ ΤΟ ΕΓΣΑ.'87**

### **Το Παλαιό Ελληνικό Γ.Σ.Α και η προβολή Hatt**

Η αρχή των χαρτογραφικών επιστημών στην Ελλάδα ξεκινάει στα 1889, με την ίδρυση της Γεωγραφικής Υπηρεσίας του Στρατού. Το τριγωνομετρικό δίκτυο που ιδρύθηκε βασίστηκε στις συντεταγμένες του παλαιού Αστεροσκοπείου Αθηνών, όπου μετρήθηκε το αστρονομικό γεωγραφικό πλάτος και δόθηκε αυθαίρετα η τιμή  $\lambda=0$  στο γεωγραφικό μήκος (τοπικό σύστημα). Ελλειψοειδές αναφοράς επιλέχθηκε αυτό του Bessel του 1841. Σαν προβολή επιλέχθηκε η μεταφορά στο ελλειψοειδές από ένα Χαρτογράφο του Γαλλικού Ναυτικού – τον Hatt - μιας παλαιότερης επίπεδης προβολής της σφαιρικής επιφάνειας (Postel). Αυτή η αρχική επιλογή, σπάνια για επίπεδο εφαρμογής σε ολόκληρη χώρα, μας ακολούθησε μέχρι και τις μέρες μας.

Η προβολή είναι επίπεδη και έχει σημαντικά πλεονεκτήματα για χαρτογραφήσεις περιορισμένων εκτάσεων. Για παράδειγμα, ως ισαπέχουσα, έχει παντού κλίμακα μηκών 1.0. Το μεγάλο μειονέκτημα όμως, είναι ότι εισάγει, αναγκαστικά, μεγάλες παραμορφώσεις σε χαρτογραφήσεις ευρέων εκτάσεων. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται από την Γ.Υ.Σ. σε φύλλα χάρτη διαστάσεων 30'X30', το καθένα από τα οποία αντιστοιχεί στην απεικόνιση περιοχής σε κλίμακα 1:100000 και το καθένα επίσης έχει - όμως - το δικό του αρχικό σημείο ( $X=0$ ,  $Y=0$ ). Αυτό περιπλέκει την προσπάθεια για ενοποίηση περισσότερων Φ.Χ. ή τις αποτυπώσεις στις πολλαπλές συνοριακές τους περιοχές.

Από την Γ.Υ.Σ. στην προβολή Hatt έχουμε μεγάλο μέρος (περιοχές κεντρικής και Βόρειας Ελλάδας) από την Χαρτογραφική εργασία στις κλίμακες 1:50000 και 1:5000. Επίσης, από άλλες υπηρεσίες ή μελετητές έχουμε πλήθος διαγραμμάτων σε μεγάλες κλίμακες. Ιδιαίτερα, τα στοιχεία της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας έχουν περαστεί σε υπόβαθρα της Γ.Υ.Σ., εγκεκριμένα Πολεοδομικά σχέδια και εγκεκριμένες γραμμές Αιγιαλών και Παραλίας δεκαετιών έχουν χαραχθεί σε υπόβαθρα εξαρτημένα από αυτό το Γ.Σ.Α.

Μία άλλη υπηρεσία, η Τοπογραφική Υπηρεσία του Υπουργείου Γεωργίας, χρησιμοποίησε από τις πρώτες δεκαετίες του 20<sup>ου</sup> αιώνα μέχρι την εισαγωγή του ΕΓΣΑ μια παραλλαγή του τρόπου διανομής των Φ.Χ., με χρήση του ίδιου Datum και προβολής. Επειδή έκανε σχέδια αποτυπώσεων, κτηματογραφήσεων και διανομών σε κλίμακες 1:10000 και μεγαλύτερες, απέφυγε, για ευκολία στους υπολογισμούς, τους μεγάλους αριθμούς. Έτσι χρησιμοποίησε Φ.Χ. 6'X6', τα οποία μας δίδουν έως τετραψήφιες συντεταγμένες, αλλά και πολλαπλάσια κέντρα Φ.Χ.

### **Άλλα Ελληνικά Προβολικά Σ.Α.**

Η Γ.Υ.Σ. χρησιμοποίησε κατά καιρούς για την υποστήριξη χαρτογραφικών εργασιών σε μικρές κλίμακες διάφορα άλλα πρότυπα. Αυτά περιλαμβάνουν την χρήση του ίδιου Datum με το προηγούμενο Γ.Σ.Α. (αστεροσκοπείο & Bessel), αλλά σε

συνδυασμό με την κωνική προβολή Lambert, σε τρεις ζώνες με επαφή στους παραλλήλους των 35°, 38°, και 41°.

### **Το Ελληνικό Σύστημα Αναφοράς Υψομέτρων**

Με την ευθύνη πάλι του Στρατού και του Ναυτικού αργότερα, ιδρύθηκαν σημεία σε ελληνικά λιμάνια, όπου μετρήθηκαν οι διακυμάνσεις της θαλάσσιας στάθμης. Το βασικό σημείο βρίσκεται στον Ναύσταθμο του Πειραιά. Από τις μετρήσεις αποδόθηκαν τιμές ‘απολύτων’ υψομέτρων στις αφετηρίες αυτές. Το δίκτυο πυκνώθηκε με την μέτρηση υψομετρικών διαφορών κατά μήκος των κυριοτέρων οδών και την ίδρυση αντίστοιχων υψομετρικών σημείων. Το τριγωνομετρικό δίκτυο της χώρας συνδέθηκε με το υψομετρικό δίκτυο. Τα σημεία των Νήσων συνδέθηκαν με τοπικές αφετηρίες.

### **Το Ευρωπαϊκό Γ.Σ.Α. ED50**

Μέχρι και τον 19<sup>ο</sup> αιώνα, τα συστήματα των περισσότερων ευρωπαϊκών χωρών ήταν, λόγω επιστημονικών αλλά και πολιτικών διαφορών, τοπικά. Η εξέλιξη της επιστήμης, των οργάνων, αλλά και κυρίως οι ανάγκες πριν, κατά και μετά από τους δύο Παγκόσμιους Πολέμους οδήγησαν στην διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα σε προσπάθειες δημιουργίας ενιαίου Ευρωπαϊκού Συστήματος Αναφοράς.

Αμέσως μετά τον 2ο Παγκόσμιο Πόλεμο, η Δυτική Ευρώπη συμφώνησε σε ένα πρότυπο Γ.Σ.Α., το European Datum του 1950 (ED50). Στο ED50 όπως και σε άλλα Γ.Σ.Α., αποφασίστηκε να χρησιμοποιείται σαν Προβολικό Σύστημα το Παγκόσμιο Σύστημα Εγκάρσιας Μερκατορικής Προβολής (UTM), που εξυπηρέτησε τις ανάγκες των Δυτικών από τους νικητές του πολέμου. Η Ελλάδα ακολούθησε και χρησιμοποιεί το ED50 σε κάποιες εφαρμογές έως σήμερα. Δεν ακολούθησε όμως για πρακτικούς λόγους στις ενημερώσεις και βελτιώσεις του συστήματος (ED79 κ.α.) που έγιναν στην συνέχεια. Τα ED50 και UTM χρησιμοποιούν μέχρι το γεωγραφικό πλάτος των 84° βορείως την εγκάρσια μερκατορική προβολή, σε ζώνες πλάτους 6°. Η Ελλάδα περιλαμβάνεται εν μέρει στην ζώνη ‘34 Βόρεια’ με κεντρικό μεσημβρινό  $\lambda=21^\circ$  και κατά το υπόλοιπο στην ζώνη ‘35 Βόρεια’ με κεντρικό μεσημβρινό  $\lambda=27^\circ$ .

Από την Γ.Υ.Σ. στην προβολή UTM του ED50 έχουμε επίσης μεγάλο μέρος από την Χαρτογραφική εργασία (περιοχές κεντρικής και Νότιας Ελλάδας) στις κλίμακες 1:50000 και 1:5000. Την ίδια επιλογή έχει μέχρι σήμερα και η Υδρογραφική Υ.Π.Ν.

### **Το Προβολικό Σ.Α. των τριών ζωνών Ε.Μ.Π. πλάτους 3°**

Από τα μέσα της δεκαετίας του 1970 το ΥΠΕΧΩΔΕ παρουσίασε και χρησιμοποίησε σε Φ/Γ εργασίες μεγάλων κλιμάκων ένα νέο Προβολικό Σύστημα Αναφοράς. Λίγα χρόνια αργότερα, στις αρχές της δεκαετίας του 1980, το ΥΠΕΧΩΔΕ επέβαλε την χρήση του συστήματος αυτού στις εργασίες του προγράμματος της ‘Επιχείρησης Πολεοδομικής Ανασυγκρότησης’ (ΕΠΑ). Το σύστημα χρησιμοποιούσε το ίδιο Datum (αστεροσκοπείο & Bessel) και τριγωνομετρικό δίκτυο με το προηγούμενο Γ.Σ.Α., αλλά σε συνδυασμό με την Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή (όπως το UTM), σε τρεις ζώνες πλάτους 3° η κάθε μία (αντί 6°) και κλίμακα στον κεντρικό μεσημβρινό πλησιέστερη στην μονάδα (0.9999 αντί 0.9996). Το νέο σύστημα αποσκοπούσε στην οργάνωση των χαρτογραφικών δεδομένων σε σύστημα απλούστερο του παλαιού και πλησιέστερο στα διεθνή πρότυπα. Τα μειονεκτήματά του ήταν, πως κληρονομούσε το προβληματικό τριγωνομετρικό δίκτυο (έγινε νέα συνόρθωση περίπου το 1985) και πως, ενώ μείωνε τον αριθμό των ‘αφετηριών’ συντεταγμένων από 137 για

τα Φ.Χ. κλίμακας 1:100000 σε τρεις για τις ζώνες, δεν εξασφάλιζε πανελλαδικά ενιαίο σύστημα.

Στο σύστημα των 3<sup>ο</sup> υπάρχουν αρκετές εργασίες, που έγιναν με φωτογραμμετρικές ή επίγειες μεθόδους και περιέχουν Τοπογραφικά ή Κτηματολογικά στοιχεία σε μεγάλες κυρίως κλίμακες. Ο όγκος των πληροφοριών αυτών αφορά σε περιοχές με οικιστικό ενδιαφέρον, για Α΄ ή Β΄ κατοικία, ή σε περιοχές διαμηκών τεχνικών έργων. Στο ίδιο σύστημα υπάρχει πλήθος εγκεκριμένων Χωροταξικών, Γ.Π.Σ., Πολεοδομικών και Ρυμοτομικών Σχεδίων, που έγιναν την τελευταία εικοσαετία.

### **Δορυφορικά Γ.Σ.Α. και το Παγκόσμιο Γ.Σ.Α. του 1984 (WGS84)**

Το Υπουργείο Άμυνας των Η.Π.Α. σχεδίασε, χρηματοδότησε και συντηρεί το πρόγραμμα εκτόξευσης των δορυφόρων και την λειτουργία των σταθμών εδάφους, για την παρακολούθηση του Παγκόσμιου Συστήματος Προσδιορισμού θέσης μέσω δορυφόρων (GPS). Η μέτρηση των αποστάσεων των σταθμών ελέγχου από τους δορυφόρους επέτρεψε τον υπολογισμό της θέσης των σταθμών αυτών σε ένα παγκόσμιο 'γεωκεντρικό' τρισδιάστατο 'καρτεσιανό' σύστημα. Το χωρικό πλαίσιο αναφοράς, που δημιουργήθηκε με τον τρόπο αυτό, αποτέλεσε ένα από τα στοιχεία για την δημιουργία του πρώτου ενιαίου παγκόσμιου συστήματος, του WGS72.

Η πρώτη ριζική αναθεώρηση του συστήματος αυτού έγινε το 1984. Το νέο σύστημα WGS 84 περιλαμβάνει το αντίστοιχο του παλαιότερου 'αρχικού σημείου', το οποίο είναι πλέον οι γεωκεντρικές συντεταγμένες των σημείων του 'χωρικού πλαισίου αναφοράς', το ελλειψοειδές αναφοράς, αλλά και μία σειρά από μοντέλα, ένα από τα οποία προσδιορίζει την αποχή του γεωειδούς από το ελλειψοειδές.

Το ενδιαφέρον για τον χρήστη Γ.Σ.Π. στην Ελλάδα σχετικά με το WGS84, αφορά στην εγγενή χρήση των τρισδιάστατων γεωκεντρικών συντεταγμένων από τους δέκτες των σημάτων των δορυφόρων του GPS. Στους ελαφρούς και φορητούς από αυτούς τους δέκτες υπάρχει συνήθως η δυνατότητα εξαγωγής της υπολογισθείσας θέσης σημείου. Η μορφή των συντεταγμένων προς εξαγωγή μπορεί να είναι είτε το ζεύγος (φ, λ) και επιλογή μεταξύ γεωμετρικού ή ορθομετρικού υψομέτρου, η αντίστοιχη τριάδα (E, N, H) με χρήση πάλι της UTM στην ζώνη 34 ή 35 βόρεια είτε ή ροή δεδομένων σύμφωνα με το πρότυπο NMEA.

### **Το ισχύον Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ)**

Τον Δεκέμβριο του 1987, μετά από εισήγηση (ΒΕΗΣ, 1986) του καθηγητή Γεωργίου Βέη προς την 'Γεωδαιτική και Γεωφυσική Επιτροπή του Κράτους' (Γ.Γ.Ε.Π.) εγκρίθηκε προς χρήση το ΕΓΣΑ. Το ΕΓΣΑ χρησιμοποιεί σαν ελλειψοειδές αναφοράς το GRS80, εξ ορισμού προσανατολισμένο παράλληλα (ΒΕΗΣ, 1994) με το ITRF89 (International Terrestrial Reference Frame -1989). Γεωκεντρικές συντεταγμένες στο δίκτυο δόθηκαν από την υπολογισμένη στο ITRF89 θέση του κεντρικού βάρθρου του σταθμού του Διονύσου. Ο προσανατολισμός και η κλίμακα δόθηκαν (ΒΕΗΣ, 1987) από δίκτυο 6 σταθμών laser, οι οποίοι συνδέθηκαν με το υπόλοιπο δίκτυο με δορυφορικές μετρήσεις. Η θέση του μετατεθειμένου (ως προς το ITRF89) γεωκεντρου έχει υπολογισθεί ώστε η επιφάνεια του ελλειψοειδούς να είναι η βέλτιστη για την Ελλάδα. Σαν προβολικό σύστημα χρησιμοποιεί την Ε.Μ.Π. σε μία μόνο ζώνη, με κεντρικό μεσημβρινό στις 24<sup>ο</sup> - δηλαδή ακριβώς στην γραμμή διαχωρισμού των ζωνών 34 και 35 του UTM – και λοιπές παραμέτρους όπως το UTM.

Στην πράξη το ΕΓΣΑ χρησιμοποιείται σταδιακά από το 1989. Έχουν συνταχθεί σε αυτό τα υπόβαθρα της πλειονότητας των εργασιών της τελευταίας δωδεκαετίας, όπως

### Γεωδαιτικά και Προβολικά Συστήματα Αναφοράς, με ενδιαφέρον για τον χρήστη Γ.Σ.Π. στον Ελληνικό χώρο

Γ.Σ.Α.	Χρήση από / Προβολή		αφετηρία μέτρησης		Γεωδαιτικό μήκος από Greenwich του Πρώτου ή Κεντρικού Μεσημβρινού	Κλίμακα (k0) στον κεντρικό μεσημβρινό	προσθεταίος σε μέτρα	
			Ανατολικά	Βόρεια			προς Βορρά (false N)	προς Ανατολάς (false E)
ΠΑΛΑΙΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ: Αρχικό σημείο Αστεροσκοπείο Αθηνών (φ0=37°58'20.132", λ0=23°42'58.815"), ελλειψοειδές Bessel 1841	Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού & Γενική Χρήση	- (γεωδαιτικές συν/νες)	0° = Αστεροσκοπείο	0°	23° 42' 58.815"	-	-	-
	Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού & Γενική Χρήση	Ισαπέχουσα αζιμουθιακή - HATT, σε μέτρα	κέντρο Φ.Χ. (30' X 30')			1.00000	0.00	0.00
	Υπουργείο Γεωργίας (προ ΕΓΣΑ)		κέντρο Φ.Χ. (6' X 6')			1.00000	0.00	0.00
	ΥΠΕΧΩΔΕ - Ε.Μ.Π. 3° - ΔΥΤ.ΖΩΝΗ	Εγκάρσια Μερκατορική, σε μέτρα	-3°	34°	20° 42' 58.815"	0.9999	0.00	200000.00
	ΥΠΕΧΩΔΕ - Ε.Μ.Π. 3° - ΚΕΝΤΡ.ΖΩΝΗ		0°		23° 42' 58.815"			
ΥΠΕΧΩΔΕ - Ε.Μ.Π. 3° - ΑΝΑΤ. ΖΩΝΗ	3°		26° 42' 58.815"					
ED50 - εφαρμογή στον Ελληνικό Χώρο: Αρχικό σημείο Potsdam (φ0=52° 22' 51.45", λ0=13°03'58.74"), ελλειψοειδές διεθνές (Hayford)	Γ.Υ.Σ., Υδρογραφική Υπ. Π.Ν., NATO	- (γεωδαιτικές συν/νες)	0° = Greenwich	0°	0°	-	-	-
	ΖΩΝΗ 34 Βόρεια	Εγκάρσια Μερκατορική, σε μέτρα	21°	0°	21°	0.9996	0.00	500000.00
	ΖΩΝΗ 35 Βόρεια		27°		27°	0.9996	0.00	500000.00
ΠΑΓΚΟΣΜΙΟ '84 - WGS84: Αρχικό σημείο Γεώκεντρο, ελλειψοειδές WGS84	Υπ. Άμυνας U.S.A., στρατιωτικοί και μη δορυφορικοί δέκτες παγκοσμίως (GPS)	- (γεωδαιτικές συν/νες)	0° = Greenwich	0°	0°	-	-	-
	ΖΩΝΗ 34 Βόρεια	Εγκάρσια Μερκατορική, σε μέτρα	21°	0°	21°	0.9996	0.00	500000.00
	ΖΩΝΗ 35 Βόρεια		27°		27°	0.9996	0.00	500000.00
ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (ΕΓΣΑ): Αρχικό σημείο με μετάθεση γεωκέντρου του ITRF89, ελλειψοειδές GRS80	Γενική Χρήση	- (γεωδαιτικές συν/νες)	0° = Greenwich	0°	0°	-	-	-
	Μονοζωνικό	Εγκάρσια Μερκατορική, σε μέτρα	24°	0°	24°	0.9996	0.00	500000.00

διαγράμματα Τοπογραφικά και Κτηματολογικά για τα την κατασκευή των μεγάλων και μικρών τεχνικών έργων, το Κτηματολόγιο, Αναδασμούς, Αιγιαλούς κλπ, όπως και οι ορθοφωτοχάρτες του Υπουργείου Γεωργείας, που καλύπτουν το μέγιστο μέρος της Ελλάδας. Επίσης πλήθος σχεδίων για την Χωροταξική και Πολεοδομική οργάνωση της χώρας.

Κλείνοντας αυτή την αναδρομή, πρέπει να αναφερθεί, πως για αιώνες τα ακριβή στοιχεία των Γ.Σ.Α., η γνώση των οποίων θα βοηθούσε τους ανταγωνιστές ή και εχθρούς μιας χώρας στα σχέδιά τους, ήταν κλειδωμένο κρατικό μυστικό (MUGNIER, 2001). Η πατρίδα μας δεν αποτελούσε εξαίρεση. Η απαγόρευση αυτή καταργήθηκε στην πράξη ως άχρηστη, χρόνια μετά την δυνατότητα λήψης δορυφορικών εικόνων.

Στον πίνακα **Γεωδαιτικά και Προβολικά Συστήματα Αναφοράς, με ενδιαφέρον για τον χρήστη Γ.Σ.Π. στον Ελληνικό χώρο** της παρούσας παρουσιάζεται μία σύνοψη των χαρακτηριστικών των Γ.Σ.Α. και των αντίστοιχα χρησιμοποιούμενων προβολών.

### **3. ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

#### **Η αναγκαιότητα του μετασχηματισμού των συντεταγμένων**

Στην παραγωγή Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών μας είναι ανεκτίμητες οι πληροφορίες, που περιέχουν τα παλαιότερα, αναλογικά ή διανυσματικά διαγράμματα, χάρτες, Αεροφωτογραφίες κλπ. Για να γίνει δυνατόν να χρησιμοποιηθούν στο ισχύον πρότυπο (ΕΓΣΑ), όπως έχουν ή μετά από διανυσματοποίηση, είναι αναγκαίο να παρεμβληθεί η διαδικασία του μετασχηματισμού των συντεταγμένων τους. Κάποιες φορές πάλι, ίσως να χρειαστεί η αντίστροφη διαδικασία. Να μετασχηματιστούν δηλαδή σύγχρονα δεδομένα (σε ΕΓΣΑ), ώστε να συσχετίζονται με αυτά κάποιου άλλου Γ.Σ.Α..

Ο ενδιαφερόμενος, πριν μπει στην διαδικασία προμήθειας των πρωτογενών υποβάθρων, θα πρέπει να απαντήσει στο ερώτημα: Μήπως τα δεδομένα υπάρχουν ήδη έτοιμα; Με την ανάπτυξη των εργασιών σε διανυσματικά ή ψηφιοποιημένα υπόβαθρα τα τελευταία χρόνια, υπάρχει η πιθανότητα να υπάρχουν έτοιμα, ψηφιοποιημένα και μετασχηματισμένα τα υπόβαθρα της περιοχής που ενδιαφέρει τον σχεδιαστή του Γ.Σ.Π. Σαν παράδειγμα, πρέπει να υπάρχει στο ΕΓΣΑ το σύνολο των υποβάθρων κλίμακας 1:50000 της Γ.Υ.Σ., πολλά ή και όλα από αυτά της κλίμακας 1:5000 (ψηφιδωτά) κ.α. Η έρευνα μπορεί να γίνει στον Δημόσιο Τομέα (ΓΥΣ, ΥΠΕΧΩΔΕ κλπ) ή τον ιδιωτικό. Περισσότερα για τον Δημόσιο Τομέα υπάρχουν σε κείμενα σχετικά με την ΕΥΓεΠ.

#### **Προβλήματα, που προκύπτουν από την αλλαγή της προβολής**

Ίσως δεν είναι άμεσα ορατά στον χρήστη, αλλά η αλλαγή προβολικού συστήματος περιέχει εγγενή προβλήματα. Περιληπτικά, αυτά σχετίζονται με την πιθανή αλλαγή σχημάτων, μηκών, γωνιών και εμβαδών. Σαν παράδειγμα, παρότι στο αρχικό προβολικό σύστημα τα άκρα ενός ευθυγράμμου τμήματος και το μέσον του βρίσκονται επ' ευθείας, στο τελικό ίσως ορίζουν τόξο. Επίσης, με την αλλαγή κλίμακας, τα αναλυτικώς υπολογιζόμενα μήκη πλευρών και εμβαδά χωρίων θα αλλάξουν τιμές. Οι αλλαγές ίσως δεν φαίνονται ή είναι αριθμητικώς αμελητέες σε μετασχηματισμό μικρών εκτάσεων, αλλά πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, όταν οι εκτάσεις είναι ευρύτερες.

### Μεγέθη εκτίμησης της αβεβαιότητας της θέσης ενός σημείου

Κάθε σύνολο γεωγραφικών δεδομένων θα έπρεπε να συνοδεύεται από μεταδεδομένα, από τα οποία θα είχαμε την πληροφορία για τον χρόνο και τρόπο συλλογής του, όπως και την αβεβαιότητα στην θέση των σημείων.

Ο συνήθης τρόπος είναι να εκφράζεται αυτή η αβεβαιότητα με κάποιους αριθμούς. Ένας αριθμός εκφράζει την ακτίνα κύκλου μέσα στον οποίο αναμένεται να βρίσκεται το σημείο, δύο, τους ημιάξονες της τυπικής έλλειψης σφάλματος κλπ. **Ο χρήστης των δεδομένων θέσης θα πρέπει να γνωρίζει, πως η τυπική έλλειψη σφάλματος (1-σίγμα) αντιστοιχεί στην πιθανότητα 39.4% να βρίσκεται το σημείο μέσα σε αυτή, ή αλλιώς σε πιθανότητα 60.6% να βρίσκεται έξω.** Περισσότερο χρήσιμα λοιπόν είναι τα μεγέθη: σίγμα X 1.18, X 1.414, X 2.00, X 2.45, X 2.818 και σίγμα X 3.00, τα οποία αντιστοιχούν (WORMLEY, 1999) στις πιθανότητες 50% (Circular Error Probable - CEP), 63.2% (Distance RMS - DRMS), 86.5% (έλλειψη 2-σίγμα), 95.0% (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%), **98.2% (2DRMS)** και 98.9% (έλλειψη σφάλματος 3-σίγμα).

Ειδικά για δεδομένα, που συλλέγονται με τους δορυφορικούς δέκτες (GPSR), χωρίς διαφορικές διορθώσεις, το πιθανό σφάλμα είναι 10-15 μέτρα (1-σίγμα), το 95% του χρόνου. Κάποια προγράμματα ή δέκτες μπορούν να σας δώσουν τιμές DOP (Dilution of Position) για συγκεκριμένο τόπο και χρόνο. Οι τιμές αυτές υπολογίζουν την αβεβαιότητα στον υπολογισμό της θέσης σημείου με βάση τον γεωμετρικό σχηματισμό των δορυφόρων που χρησιμοποιήθηκαν στην λύση και του σημείου. Αν έχετε την τιμή HDOP (Horizontal DOP), μπορείτε να έχετε μία **χονδρική εκτίμηση** (EPE: Estimated Position Error) της ακτίνας του κύκλου σφάλματος θέσης ως:  **$EPE(2drms)=HDOP*10$**  (συνήθεις τιμές HDOP > 1.5). Δεν πρέπει να εμπιστεύεστε την EPE που δίνουν διάφοροι μη γεωδαιτικοί δέκτες, διότι δεν έχει προκύψει από τυποποιημένη διαδικασία υπολογισμού. Τέλος, η ποιότητα της μετρούμενης θέσης σημείου μπορεί να βελτιωθεί με χρήση του μέσου όρου πολλών μετρήσεων ή με διαφορική υποβοήθηση ευρείας περιοχής (EGNOS για την Ευρώπη). Τότε, μπορείτε να αναμένετε ότι η ακτίνα του κύκλου σφάλματος θα μειωθεί στο 1/3 (3-5 μέτρα / 1-σίγμα).

### Ο τρισδιάστατος μετασχηματισμός ομοιότητας

Ο μετασχηματισμός ομοιότητας είναι μάλλον η συνηθέστερη επιλογή μετασχηματισμών καρτεσιανών συντεταγμένων. Περιλαμβάνει την αλλαγή αρχής μέτρησης, την στροφή του συστήματος των αξόνων και την ομοιόμορφη αλλαγή κλίμακας. Στην πλήρη μορφή γίνεται σε τρεις διαστάσεις, με στροφές του συστήματος αναφοράς γύρω από κάθε άξονα και τέλος την διόρθωση κλίμακας. Απαιτείται τότε η γνώση **7 παραμέτρων** μετασχηματισμού, τριών για τα γραμμικά μεγέθη, τριών για τις στροφές και μία για την κλίμακα. Στην μορφή αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για να μετασχηματίσει χωρικά δεδομένα που αποκτήθηκαν με μετρήσεις στο GPS, σε τοπικά συστήματα, ή, σαν ενδιάμεσο στάδιο μετασχηματισμού μεταξύ γεωδαιτικών συντεταγμένων δύο Γ.Σ.Α.. Στην βιβλιογραφία αναφέρεται συνήθως σαν μετασχηματισμός **Helmert**. Εφόσον τα δεδομένα, από τα οποία προέκυψαν οι παράμετροι ήταν καλής ποιότητας, δίνει αβεβαιότητα περίπου 1 μέτρο. Προσοχή χρειάζεται στα πρόσημα των τιμών των παραμέτρων των στροφών, τα οποία πρέπει να αντιστοιχούν στις παραδοχές στροφών της εφαρμογής που χρησιμοποιείται.

Απλούστερες μορφές αυτού του μετασχηματισμού προκύπτουν με την απουσία στροφών ή διαφοράς κλίμακας. Απλούστερη και συχνά χρησιμοποιούμενη είναι επίσης η χρήση αυτής της μεθόδου μετασχηματισμού σε δύο διαστάσεις.

## Μετασχηματισμοί μεταξύ συντεταγμένων δύο Γ.Σ.Α.

### Μετασχηματισμός γεωδαιτικών συντεταγμένων μέσω γεώκεντρου – η μέθοδος Bursa-Wolf

Η κανονική διαδικασία μετασχηματισμού μεταξύ γεωδαιτικών συντεταγμένων ( $\varphi, \lambda, h \rightarrow \varphi', \lambda', h'$ ) περιλαμβάνει α) την μετατροπή από γεωδαιτικές συντεταγμένες σε καρτεσιανές τρισδιάστατες ελλειψοκεντρικές ( $\varphi, \lambda, h \rightarrow x, y, z$ ), β) την αλλαγή συστήματος αναφοράς με την χρήση μετασχηματισμού ομοιότητας ( $x, y, z \rightarrow x', y', z'$ ), όπως προαναφέρθηκε και γ) τον υπολογισμό από τις νέες τρισδιάστατες συντεταγμένες των γεωδαιτικών συντεταγμένων στο νέο σύστημα ( $x', y', z' \rightarrow \varphi', \lambda', h'$ ). Σε εφαρμογές, που ζητούν από τον χρήστη την γνώση των διαφορών παραμέτρων μεταξύ αρχικού και τελικού Γ.Σ.Α., η διαδικασία αυτή γίνεται χωρίς να είναι εμφανή τα ενδιάμεσα στάδια. Σχετικά με την αβεβαιότητα του μετασχηματισμού, αυτή είναι όση του μεσαίου σταδίου ( $x, y, z \rightarrow x', y', z'$ ) και όπως ήδη αναφέρθηκε στην τάξη του 1 μέτρου ή μεγαλύτερη. Η εφαρμογή της μεθόδου (BEHΣ, 1994 - χρήση μόνο  $dX, dY, dZ$ ) μεταξύ των Παλαιού Ελληνικού Γ.Σ.Α. και ΕΓΣΑ έχει ακρίβεια στην τάξη των 5-6 μέτρων.

Παράμετροι μετάθεσης γεωκέντρου - 3 παράμετροι				
από Γ.Σ.Α.	σε Γ.Σ.Α.			
WGS84	ΕΓΣΑ	Παλαιό (Bessel)	ED50	ITRF89
dX=	199.72	-456.39	83.8	0.03
dY=	-74.03	-372.62	96.3	0.79
dZ=	-246.02	-496.82	115.7	0.03

### Η μέθοδος Molodensky-Badekas \*\*

Με απλούστευση των υπολογισμών μετασχηματισμού γεωδαιτικών συντεταγμένων από ένα Γ.Σ.Α. σε άλλο, προκύπτει ο μετασχηματισμός Molodensky. Η μέθοδος αυτή απαιτεί την γνώση των τριών παραμέτρων μετατόπισης του κέντρου και την διαφορά των παραμέτρων των ελλειψοειδών που χρησιμοποιούνται. Εφόσον με την εφαρμογή της μεθόδου έχει ήδη γίνει η παραδοχή ότι τα δύο ελλειψοειδή είναι παράλληλα – και ότι τα σημεία βρίσκονται στην επιφάνεια των ελλειψοειδών, αλλά αυτό ελάχιστη επίδραση έχει στις επίπεδες συντεταγμένες – η αβεβαιότητα του μετασχηματισμού μεγαλώνει. Η μέθοδος αυτή και μία παραλλαγή της, η συντομευμένη (abridged) Molodensky χρησιμοποιούνται σήμερα από εφαρμογές με μικρότερες απαιτήσεις ακριβείας, ιδιαίτερα στους μετασχηματισμούς στους δορυφορικούς δέκτες ‘καταναλωτή’. Σαν αβεβαιότητα η βιβλιογραφία αναφέρει 5 μέτρα ή μεγαλύτερη. Η προηγούμενη τιμή δεν αναφέρεται ειδικά σε Ελληνικά Γ.Σ.Α., αλλά γενικότερα.

### Προσεγγιστικές σχέσεις απευθείας μετασχηματισμού γεωδαιτικών συντεταγμένων

Η μαθηματική σχέση, που συνδέει δύο Γ.Σ.Α είναι δυνατόν να προσδιοριστεί με ιδιαίτερα απλό τρόπο, χρησιμοποιώντας προσεγγιστικές σχέσεις. Οι παράμετροι των σχέσεων αυτών απορροφούν όλες τις διαφορές των συστημάτων. Από τα

υπόλοιπα των συντεταγμένων σημείων μετά τον μετασχηματισμό προσδιορίζεται η εκτίμηση της ακρίβειας της σχέσης.

Για τον Ελληνικό χώρο χρησιμοποιούνται (ΒΕΗΣ, 1994) σχέσεις της μορφής

$$\varphi 2'' = \varphi 1'' + \alpha 0'' + \alpha 1'' * (\varphi 1^\circ - 38^\circ) + \alpha 2'' * (\lambda 1^\circ - 24^\circ) \text{ και}$$

$$\lambda 2'' = \lambda 1'' + \beta 0'' + \beta 1'' * (\varphi 1^\circ - 38^\circ) + \beta 2'' * (\lambda 1^\circ - 24^\circ) \text{ με τιμές γωνιών σε}$$

δευτερόλεπτα τόξου. Οι σχέσεις αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε αντίστροφη φορά, με αλλαγή των προσήμων των παραμέτρων, διότι οι διαφορές μεταξύ αρχικών και τελικών γεωδαιτικών συντεταγμένων είναι πολύ μικρές.

Η ακρίβεια που πετυχαίνουν είναι 2-4 μέτρα μεταξύ των Παλαιού Ελληνικού Γ.Σ.Α. και ΕΓΣΑ, 2-3 μέτρα μεταξύ των ED50 και ΕΓΣΑ και 1 μέτρο μεταξύ των WGS84 και ΕΓΣΑ.

Παράμετροι Προσεγγιστικών σχέσεων απευθείας μετασχηματισμού γεωδαιτικών συντεταγμένων							
από Γ.Σ.Α.	σε Γ.Σ.Α.	$\alpha 0$	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\beta 0$	$\beta 1$	$\beta 2$
Παλαιό (Bessel)	ΕΓΣΑ	-5.86"	-0.33"	-0.05"	0.28"	0.09"	-0.45"
ED50	ΕΓΣΑ	-13.17"	0.09"	0.07"	-8.15"	-0.11"	-0.03"
WGS84	ΕΓΣΑ	-9.34"	0.02"	0.05"	-6.10"	-0.08"	-0.11"

### Προβολές: από γεωδαιτικές σε επίπεδες συντεταγμένες και αντιστρόφως - αλλαγή κέντρου

Δεν θα μας απασχολήσει στην εργασία αυτή το τυπολόγιο των προβολών. Το ενδιαφέρον εστιάζεται σε μεθόδους και όχι συναρτήσεις. Ο ενδιαφερόμενος χρήστης των Γ.Σ.Π. μπορεί να ανατρέξει στα σχετικά κείμενα οδηγιών (Σημειώσεις Ανώτερης Γεωδαισίας και Σημειώσεις Χαρτογραφίας) και πηγές που αναφέρονται στο τέλος της παρουσίασης. Διευκρινίζεται, πως το τυπολόγιο της προβολής Hatt ισχύει τόσο για την χρήση της από την Γ.Υ.Σ (Φ.Χ. 30'Χ30'), όσο και από την Τοπογραφική Υπηρεσία του Υπουργείου Γεωργίας. Διευκρινίζεται επίσης, πως το τυπολόγιο της Ε.Μ.Π. ισχύει, ομοίως, σε όλες τις χρήσεις της και ζώνες, με απλή αλλαγή παραμέτρων.

Τα υπολογιστικά μέσα που διαθέτουμε σήμερα, επιτρέπουν τον υπολογισμό των νέων συντεταγμένων με μαθηματική ακρίβεια καλύτερη και του χιλιοστού του μέτρου. Η διαπίστωση αυτή επαληθεύεται, αν κάποιος εφαρμόσει την αντίστροφη διαδικασία. Πρέπει να θυμάται ο χρήστης, πως αυτή η επαναστατική δυνατότητα είναι κατάκτηση των τελευταίων, περίπου είκοσι, χρόνων.

Σε κάθε περίπτωση, που ενδιαφέρει να έχουμε τις επίπεδες συντεταγμένες ενός σημείου με αφετηρία άλλο κέντρο φύλλου χάρτη ή άλλο κεντρικό μεσημβρινό ή ζώνη προβολής, η διαδικασία είναι: α) μετασχηματισμός σε γεωδαιτικές συντεταγμένες και β) υπολογισμός των νέων επιπέδων συντεταγμένων με αφετηρία το νέο κέντρο.

### Πολυωνυμικός μετασχηματισμός

Το τυπολόγιο των περισσοτέρων απεικονίσεων (προβολών) περιλαμβάνει συνήθως την ανάπτυξη σε πολώνυμο των αντιστοίχων σχέσεων. Ανάλογα με την ακρίβεια που επιδιώκουμε στον μετασχηματισμό και εφόσον έχουμε στην διάθεσή μας τις συντεταγμένες συνόλου σημείων, κατάλληλο κατά θέση και αριθμό με τις απαιτήσεις μας, σε δύο συστήματα απεικόνισης, τότε μπορούμε να προσδιορίσουμε (με χρήση μ.ε.τ.) τους συντελεστές καταλλήλων πολωνύμων μετασχηματισμού. Όσο μεγαλώνουν οι απαιτήσεις μας ακριβείας, τόσο θα απαιτείται να μεγαλώσει και ο βαθμός των

πολυωνύμων, που θα απορροφήσουν τις διαφορές Datum, προβολής και τα ενσωματωμένα, μη ανιχνεύσιμα σφάλματα.

Για την μετατροπή από τις συντεταγμένες της προβολής Hatt σε αυτές του ΕΓΣΑ και με την από κοινού προσπάθεια και συνεργασία του Ε.Μ. Πολυτεχνείου, του Ο.Κ.Χ.Ε. και της Γ.Υ.Σ. επιλέχθηκε η χρήση δευτεροβάθμιων πολυωνύμων. Το σύστημα σχεδιάστηκε, ώστε να δίδει ακρίβεια 0.10-0.15 μέτρα (ΒΕΗΣ, 1994). Οι συντελεστές, που υπολογίστηκαν περιέχονται στο *(ΠΙΝΑΚΕΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ μετατροπής συντεταγμένων Ελληνικού χώρου - από το Σύστημα HATT (Παλαιό Datum) στο Σύστημα Ε.Γ.Σ.Α. '87)*, το οποίο κυκλοφόρησε το 1995.

Ο πολυωνυμικός μετασχηματισμός με βαθμό ανώτερο του πρώτου δεν είναι αντιστρέψιμος άμεσα. Βεβαίως, όποιος έχει τα δεδομένα είναι σε θέση να υπολογίσει (νέους) συντελεστές για την αντίστροφη μετατροπή. Υπάρχει όμως και η μεθοδολογία των διαδοχικών αριθμητικών προσεγγίσεων. Στο παράδειγμά μας μπορούμε να μετασχηματίσουμε από (X, Ψ) Hatt σε (E, N) ΕΓΣΑ. Αν θέλουμε την μετάβαση από ΕΓΣΑ σε Hatt, τότε [1] κρατώντας μόνο τους πρωτοβάθμιους όρους του πολυωνύμου και αντιστρέφοντας τις εξισώσεις, κάνουμε τον (1<sup>ο</sup>) μετασχηματισμό (E, N-> X1, Ψ1). [2] Εφαρμόζοντας τις κανονικές εξισώσεις υπολογίζουμε το αντίστοιχο σημείο στο ΕΓΣΑ (X1, Ψ1-> E1, N1). [3] Υπολογίζουμε το 'σφάλμα' ( $\delta E = E - E1$ ,  $\delta N = N - N1$ ) και το προσθέτουμε σαν ( $\delta X = \delta E$ ,  $\delta \Psi = \delta N$ ) στα (X, Ψ) – ασφαλέστερο είναι να προσθέτουμε το ήμισυ-, οπότε προκύπτει το σημείο (X2=X1+ $\delta X$ , Ψ2=Ψ1+ $\delta \Psi$ ). Επαναλαμβάνουμε το [2] με το νέο σημείο και συνεχίζουμε την επανάληψη [2]-[3], μέχρι τα  $\delta X$  και  $\delta \Psi$  να γίνουν μικρότερα από τις απαιτήσεις μας.

### **Διγραμμική παρεμβολή πλέγματος**

Όταν έχουμε υψηλές απαιτήσεις ακριβείας του μετασχηματισμού (π.χ. <0.10 μέτρα) και φαίνεται ίσως ότι η κατανομή 'σφαλμάτων' που προκύπτουν από την χρήση άλλων μεθόδων είναι ανομοιόμορφη, τότε υπάρχει προς χρήση η δοκιμασμένη γραμμική παρεμβολή.

Καταρχάς υιοθετείται κάποια μέθοδος μετασχηματισμού για τις απαιτήσεις των εργασιών με μικρότερη ακρίβεια, π.χ. μετασχηματισμός ομοιότητας. Στην συνέχεια, υπολογίζονται οι αποκλίσεις από την 'ορθή' τελική θέση ομάδας σημείων, τις συντεταγμένες των οποίων γνωρίζουμε και στα δύο συστήματα – π.χ. του τριγωνομετρικού δικτύου. Κατόπιν, υπολογίζονται οι απαιτούμενες διορθώσεις στις κορυφές πλέγματος σημείων, οι οποίες όταν προστίθενται στις υπολογισμένες με τον απλούστερο τρόπο θα μας δίνουν τις 'ορθές' τελικές συντεταγμένες. Η πυκνότητα του πλέγματος δεν είναι σταθερή, αλλά επιλέγεται τοπικά, με κριτήριο το να μη προκύπτουν διαφορές μεγαλύτερες από τις απαιτήσεις μας για ακρίβεια. Τέλος, στην χρήση του συστήματος, για κάθε σημείο α) υπολογίζονται οι συντεταγμένες του με την επιλεγείσα απλή μέθοδο, β) αν θέλουμε την ακριβέστερη θέση και μόνον, υπολογίζεται σε ποιο από τους 'κανάβους' του πλέγματος ανήκει το σημείο και γ) με διγραμμική παρεμβολή υπολογίζονται οι απαιτούμενες διορθώσεις στις συντεταγμένες του, ανάλογες των διορθώσεων που έχουν καταγραφεί για τις πλησιέστερες κορυφές του πλέγματος.

Η μέθοδος χρησιμοποιείται από ετών στις Η.Π.Α., τον Καναδά, την Αυστραλία κλπ. Η ευθύνη για την 'πύκνωση' του πλέγματος και την παρακολούθηση των τιμών στις κορυφές του, είναι δυνατόν να αφεθεί σε μικρότερες διοικητικές περιφέρειες.

## **Μετασχηματισμοί στο επίπεδο με παραμέτρους από τον χρήστη – Προβολικός, Αφινικός, Ομοιότητας, Διγραμμικός σε τρίγωνα**

Εκτός από τους μετασχηματισμούς, τις παραμέτρους των οποίων μας παρέχει κάποιος τρίτος, υπάρχουν περιπτώσεις, όπου ο χρήστης επιλέγει τον καταλληλότερο τρόπο και παραμέτρους. Συνήθως οι περιπτώσεις αυτές αφορούν μικρές σε έκταση περιοχές. Κοινό χαρακτηριστικό, είναι να γνωρίζει ο χρήστης την θέση ενός συνόλου σημείων την οποία επιθυμεί να έχουν μετά τον μετασχηματισμό (τελικές συντεταγμένες). Τα σημεία πρέπει να καλύπτουν το σύνολο της περιοχής. Απαιτείται η θέση γνωστών σημείων στο κέντρο, αλλά και ιδίως στην περιφέρεια.

Ο **προβολικός** μετασχηματισμός είναι ο πλέον σύνθετος από αυτούς που χρησιμοποιούνται. Περιλαμβάνει διορθώσεις με μεταφορά, στροφή, μεταβολή κλίμακας σε κάθε άξονα. Χρησιμοποιείται κυρίως για τον μετασχηματισμό από κεντρική προβολή (φωτογραφίες) σε παράλληλη (χάρτες). Ο ελάχιστος αριθμός γνωστών σημείων που απαιτείται για τον υπολογισμό των παραμέτρων είναι 4.

Ο **αφινικός** είναι απλούστερη περίπτωση και διαφέρει από τον προβολικό, κατά το ότι προϋποθέτει σταθερή κλίμακα σε κάθε άξονα. Γραμμές παράλληλες πριν τον μετασχηματισμό είναι παράλληλες και μετά (ομοπαράλληλος). Η χρήση του είναι συνήθης στην Χαρτογραφία. Μπορεί να διορθώσει μεταβολές κλίμακας μεταξύ των αξόνων, λόγω παραμόρφωσης του υλικού (παλαιοί χάρτες). Ο ελάχιστος αριθμός γνωστών σημείων που απαιτείται για τον υπολογισμό των παραμέτρων είναι 3.

Ο μετασχηματισμός **ομοιότητας** είναι η απλούστερη περίπτωση και διαφέρει από τον αφινικό, κατά το ότι προϋποθέτει την ίδια κλίμακα σε όλη την περιοχή. Περιλαμβάνει την μεταφορά, την στροφή και την διόρθωση κλίμακας των δεδομένων. Ο ελάχιστος αριθμός γνωστών σημείων που απαιτείται για τον υπολογισμό των παραμέτρων είναι 2.

Σε κάθε περίπτωση, εφόσον έχουμε περισσότερα από τα απαιτούμενα ελάχιστα σημεία, οι παράμετροι υπολογίζονται με χρήση μ.ε.τ. Κοινό χαρακτηριστικό των μεθόδων με χρήση μ.ε.τ. είναι η ύπαρξη 'υπολοίπων' μετά την εφαρμογή, τα οποία επιτρέπουν και τον υπολογισμό της αβεβαιότητας στην θέση των σημείων.

Ο **Διγραμμικός** μετασχηματισμός με χρήση τριγώνων μεταφέρει το κάθε σημείο με γνωστή τελική θέση ακριβώς σε αυτή την θέση (κορυφές των τριγώνων) και τα σημεία της περιμέτρου και του εσωτερικού των τριγώνων σε θέση, που υπολογίζεται με διγραμμική παρεμβολή από την νέα θέση των κορυφών του τριγώνου. Η μέθοδος δεν επιτρέπει εκτίμηση των σφαλμάτων.

## **Ταξινόμηση αλγορίθμων μετασχηματισμών**

Οι αλγόριθμοι μετασχηματισμού χωρίζονται σε δύο είδη με κριτήριο την **απαίτηση γνώσης παραμέτρων**. Υπάρχουν α) αυτοί, οι οποίοι απαιτούν την γνώση της αρχικής και τελικής θέσης μιας ομάδας σημείων, χωρίς να απαιτείται η γνώση των αρχικού και τελικού Γ.Σ.Α./Π.Σ.Α. και β) αυτοί, όπου απαιτείται η γνώση της αρχικής μόνο θέσης μιας ομάδας σημείων, αλλά απαιτείται και η γνώση των αρχικού και τελικού Γ.Σ.Α./Π.Σ.Α..

Οι αλγόριθμοι μετασχηματισμού χωρίζονται επίσης σε δύο είδη με κριτήριο την **χρήση δύο ή τριών διαστάσεων**. Αν δεν ενδιαφέρει καθόλου ο μετασχηματισμός των υψομέτρων ή χρησιμοποιούνται μόνο ορθομετρικά υψόμετρα, αρκεί δισδιάστατος μετασχηματισμός. Σε αντίθετη περίπτωση, τρισδιάστατος.

Ένας τελευταίος διαχωρισμός των αλγορίθμων, αφορά στην **γνώση ή μη των αναμενόμενων σφαλμάτων των νέων συντεταγμένων λόγω του μετασχηματισμού**.

Οι παράμετροι του μετασχηματισμού έχουν προκύψει (συνήθως) με ικανοποίηση της συνθήκης μ.ε.τ. (μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων). Αν τις έχουμε λοιπόν από κάποια βιβλιογραφική ή άλλη πηγή, θα πρέπει να αναφέρονται εκεί η έκταση και καταλληλότητα εφαρμογής, όπως και η τάξη μεγέθους των αναμενόμενων σφαλμάτων. Αν προκύπτουν από υπολογισμό κατά την εισαγωγή των αρχικών και τελικών συντεταγμένων υποσυνόλου των σημείων, τότε η εκτίμηση των σφαλμάτων προ της εφαρμογής του μετασχηματισμού στο σύνολο των δεδομένων, θα επιβεβαιώσει ή θα απαγορεύσει την χρήση της μεθόδου.

### **Τάξη μεγέθους των αναμενόμενων σφαλμάτων στις νέες συντεταγμένες μετά τον μετασχηματισμό**

Ο υπολογισμός των παραμέτρων μετασχηματισμού έχει προκύψει (συνήθως) με ικανοποίηση της συνθήκης μ.ε.τ. (μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων). Η μέθοδος επιτρέπει την εκτίμηση των αναμενόμενων σφαλμάτων. Πρέπει να θυμόμαστε, πως η εκτίμηση αυτή δεν περιλαμβάνει την αβεβαιότητα στον υπολογισμό της θέσης των σημείων προ του μετασχηματισμού. Αυτονόητο είναι, πως ο **μετασχηματισμός δεν είναι δυνατόν να μικρύνει την αβεβαιότητα** αυτή, εφόσον 'προστίθεται' σε αυτήν η αβεβαιότητα λόγω του μετασχηματισμού. Πρέπει επίσης να έχουμε υπόψη, πως οι παράμετροι μετασχηματισμού που βρίσκουμε στην βιβλιογραφία υπολογίστηκαν με δεδομένα συγκεκριμένου χώρου και χρόνου. Επομένως, εφαρμόζονται σε συγκεκριμένο χώρο και έχουν περιορισμένη χρονική διάρκεια ισχύος.

Η χρήση μεθόδων, για τις οποίες δεν έχουμε εκτίμηση των σφαλμάτων θα πρέπει να αποφεύγεται.

### **Μεθοδολογία μετασχηματισμού ενός συνόλου δεδομένων - Χρήση των ενσωματωμένων στην εφαρμογή του αλγορίθμων**

Το πρώτο θέμα, που πρέπει να απασχολήσει τον χρήστη, είναι αν θα μετασχηματίσει τα δεδομένα του σαν ένα μόνο σύνολο, ή αν πρέπει να δημιουργήσει μικρότερες περιοχές ενεργειών. Η πρώτη εκδοχή έχει ευκολία, η δεύτερη καλύτερη ακρίβεια. Η απόφαση εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και είναι στην ευχέρεια του χρήστη να ζυγίσει τα δεδομένα του. Σε κάθε περίπτωση, ο απλούστερος τρόπος, ώστε να έχει ο χρήστης ενός προγράμματος χειρισμού δεδομένων του Γ.Σ.Π. τον μετασχηματισμό των δεδομένων, είναι να χρησιμοποιήσει τους ενσωματωμένους στο πρόγραμμα αλγόριθμους.

Το επόμενο ζήτημα, είναι η επιλογή μεθόδου. Αν η περιοχή είναι μικρή, τότε ίσως – και συνήθως – αρκεί η διαδοχή μεταφοράς, στροφής, διόρθωσης κλίμακας (μετασχηματισμός ομοιότητας). Γνωρίζοντας τις αρχικές συντεταγμένες των σημείων, μπορεί να επιλέξει δύο από αυτά (στα άκρα πάντα), να υπολογίσει (με κάποια από τις μεθόδους που περιγράφηκαν) τις τελικές τους θέσεις στο νέο σύστημα και να τα χρησιμοποιήσει για τις 'γεωμετρικές πράξεις', που αναφέρθηκαν.

Το αν το τελικό αποτέλεσμα θα κριθεί ικανοποιητικό εξαρτάται από την επιδιωκόμενη ακρίβεια στην τελική θέση των σημείων. Η τελευταία συσχετίζεται βεβαίως με την ποιότητα-ακρίβεια της πηγής των δεδομένων και την χρήση-κλίμακα εκτύπωσης των τελικών διαγραμμάτων.

#### 4. ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ H.Y. COORD\_GR

Σαν εφαρμογή των θεωρητικών σημείων από τα προηγούμενα, σαν εκπαιδευτικό εργαλείο, αλλά και σαν εργαλείο για παραγωγική διαδικασία μικρού όγκου, διατίθεται δωρεάν πρόγραμμα για H.Y. με λειτουργικό Windows 9x και μετέπειτα. Ο χρόνος ανάπτυξης του προγράμματος υπολογίζω ότι έχει ξεπεράσει τα δύο ανθρωποέτη. Η αιτία της συγγραφής ήταν, πως δεν βρήκα (το 1998) να υπάρχει κάτι παρόμοιο για την Ελλάδα. Όσο γνωρίζω, το πρόγραμμα χρησιμοποιείται τακτικά από μερικές δεκάδες χρήστες και περιστασιακά από εκατοντάδες. Σαν 'παραπροϊόντα' του προγράμματος, έχουν προκύψει κυρίως οι διανομές του παλαιού Ελληνικού Γ.Σ.Α στο ΕΓΣΑ. Επίσης, κατά την διαδικασία των ελέγχων εντοπίστηκαν και λίγα εκτυπωτικά λάθη στο βιβλίο (*ΠΙΝΑΚΕΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ...*) και διορθώθηκαν οι αντίστοιχοι συντελεστές – σχετικά βλέπε στα κείμενα (ΣΥΓΓΡΟΣ, 2002).

##### **Τι κάνει αυτό το πρόγραμμα;**

Εφόσον ο χρήστης γνωρίζει τις συντεταγμένες ενός σημείου στον Ελληνικό χώρο και από ποιο σύστημα αναφοράς προέρχονται, τότε μπορεί να έχει τις συντεταγμένες του σημείου σχεδόν σε κάθε άλλο χρησιμοποιούμενο στον Ελληνικό χώρο σύστημα. Το πρόγραμμα επιτρέπει τον μετασχηματισμό συντεταγμένων μεταξύ των παλαιότερων Ελληνικών προτύπων και του Ε.Γ.Σ.Α. – και αντιστρόφως. Επιπλέον μετασχηματίζει μεταξύ Ε.Γ.Σ.Α. και WGS84, συντεταγμένες που χρησιμοποιούν εγγενώς οι δέκτες δορυφορικών σημάτων – GPS - και το πρότυπο NMEA.

Ο χρήστης έχει να επιλέξει για τα εισαγόμενα δεδομένα: 1<sup>ο</sup> βήμα = Προβολικό σύστημα, μεταξύ Hatt [1α], Ε.Μ.Π. [1β] και Γεωδαιτικών συντεταγμένων [1γ], 2<sup>ο</sup> βήμα = προέλευση των δεδομένων, μεταξύ Φ.Χ. της προβολής Hatt - με την ονομασία του Φ.Χ. κλίμακας 1:50000 της Γ.Υ.Σ. και για αντιστοιχία 1:1 με το βιβλίο (*ΠΙΝΑΚΕΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ...*) – [2α], Ζώνης της Ε.Μ.Π. [2β] και Γ.Σ.Α. για τις γεωδαιτικές [2γ] και 3<sup>ο</sup> βήμα = εισαγωγή των συντεταγμένων. Εφόσον τα δεδομένα είναι αποδεκτά, ο υπολογισμός γίνεται χωρίς άλλες κινήσεις, όσο σύνθετος και αν είναι. Γίνεται υπολογισμός με δύο διαφορετικούς τρόπους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ταυτόχρονα, ώστε να υπάρχει οπτικός έλεγχος για απaráδεκτες διαφορές.

Κατά την ανάπτυξη του προγράμματος έχουν γίνει πολλαπλοί έλεγχοι για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Όταν ο μετασχηματισμός γίνεται μέσα στο ίδιο Datum, με μετάβαση από μία προβολή (ή 'προβολή' για τις γεωδαιτικές συντεταγμένες) σε άλλη, δεν αναμένεται να υπάρξει πρόβλημα. Σε άλλη περίπτωση, το πρόγραμμα χρησιμοποιείται όταν δεν έχουμε πρωτογενείς πληροφορίες για τις συντεταγμένες των σημείων του Γ.Σ.Α. 'προορισμού' και τότε έχει σχεδιαστεί για να δίνει την καλύτερη δυνατή ακρίβεια. Εκτίμηση αυτής της ακρίβειας (κύκλος σφάλματος 3-σίγμα) αναφέρεται δίπλα στα αποτελέσματα του μετασχηματισμού. Ο πίνακας '**Παράδειγμα 'ροής' των μετασχηματισμών**' της παρούσας, απεικονίζει ένα δείγμα των μετασχηματισμών, που γίνονται για κάθε εισαγόμενο σημείο.

Στο πρόγραμμα έχουν ενσωματωθεί αλγόριθμοι για την εύρεση των κωδικών των φύλλων χάρτη τυποποιημένων διανομών, στα οποία ανήκει το εισαγόμενο σημείο ενδιαφέροντος. Καλύπτονται οι περιπτώσεις: κλίμακας 1:50 000 της Γ.Υ.Σ., 1:5 000 της Γ.Υ.Σ., του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. και του Ε.Γ.Σ.Α. και 1:1 000 του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. και του Ε.Γ.Σ.Α. Επιπλέον μπορεί ο χρήστης να πληροφορηθεί την κλίμακα στο σημείο, την σύγκλιση Μεσημβρινού και άλλα. Κατά την λειτουργία του προγράμματος μπορεί ο χρήστης να συμβουλευθεί μικρά βοηθήματα για την κατανόηση του χειρισμού.

### **Τι πρέπει να προσέξετε;**

Οι έλεγχοι έχουν γίνει με επιλογή στις 'Τοπικές ρυθμίσεις' της τελείας '!' σαν διαχωριστικού χαρακτήρα των δεκαδικών ψηφίων. Το πρόγραμμα κάνει έλεγχο και ειδοποιεί σχετικά.

Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται στους μετασχηματισμούς αφορούν είτε σε ολόκληρο τον Ελληνικό χώρο και μόνο, είτε στην έκταση ενός φύλλου χάρτη κλιμακας 1:50000 της προβολής HATT. Το πρόγραμμα δίδει μήνυμα λάθους, όταν οι συντεταγμένες βρίσκονται έξω από ένα νοητό 'παραλληλόγραμμο', που περικλείει τον Ελληνικό χώρο.

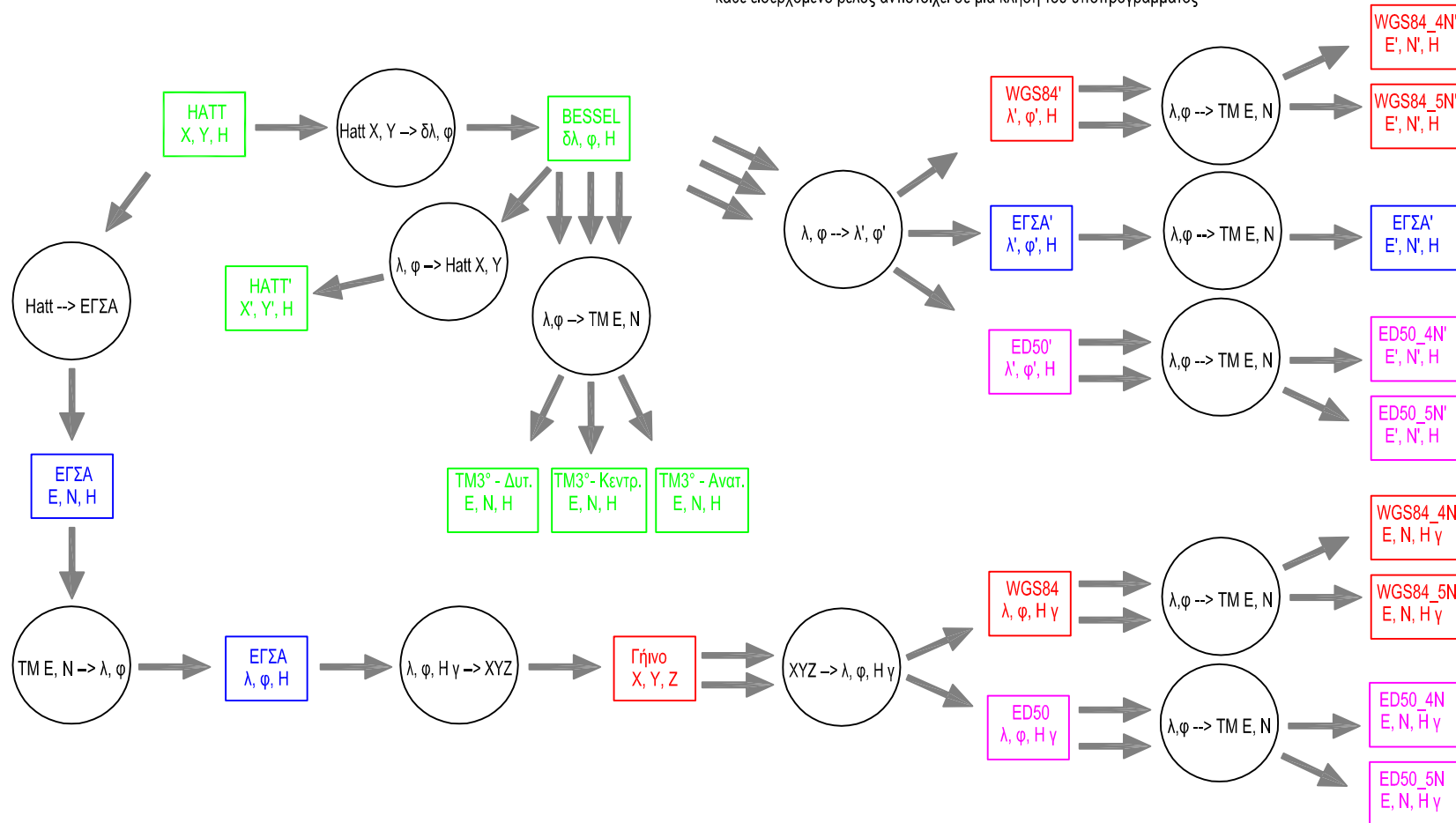
Παρεξηγήσεις είναι δυνατόν να δημιουργηθούν, από την απαιτούμενη μορφή εισαγωγής των γωνιακών μεγεθών. Ο χρήστης πρέπει να ελέγξει για τα εισαγόμενα: α) το Γ.Σ.Α προέλευσης και το είδος 'προβολής', β) τις τιμές των συντεταγμένων και γ) εφόσον πρόκειται για γωνιακά δεδομένα την μορφή των γωνιακών δεδομένων. Είναι δυνατή η ρύθμιση της μορφής εισαγωγής και εξαγωγής των γωνιακών δεδομένων σε  
DDD.dddddddd = Μοίρες - δεκαδικό μέρος τους, DDD.MMSSsss = Μοίρες – Πρώτα - Δεύτερα και δεκαδικό μέρος τους, DDD.MMmmmm = Μοίρες – Πρώτα και δεκαδικό μέρος τους.

Σε κάθε περίπτωση η ευθύνη της χρήσης και των αποτελεσμάτων του προγράμματος ανήκει στον χρήστη.

# Παράδειγμα 'ροής' των μετασχηματισμών

## HATT X, Y

τα παραλληλόγραμμα παριστούν δεδομένα ή αποτελέσματα  
 οι κύκλοι απεικονίζουν το παραμετρικό υποπρόγραμμα μετασχηματισμού  
 κάθε εισερχόμενο βέλος αντιστοιχεί σε μία κλήση του υποπρογράμματος



## ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ

(πρόσβαση στο διαδίκτυο στις 24/2/04)

- ΒΕΗΣ, Γ., 1986, *Το Γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς για το Κτηματολόγιο και την Χαρτογραφία*, Εισηγητική Έκθεση προς τον Ο.Κ.Χ.Ε., Δελτίο ΠΑ.Σ.Δ.Α.Τ.Μ. (Πανελλήνιος Σύλλογος Διπλωματούχων Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών), τεύχος 80 Φεβρ.1988, 40-41
- ΒΕΗΣ, Γ., 1986, *Πρόταση Διαδικασίας για την ίδρυση και καθιέρωση ενός Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς για την Ελλάδα*, Εισηγητική Έκθεση προς Γ.Γ.Ε.Π. (Γεωδαιτική και Γεωφυσική Επιτροπή του Κράτους), Δελτίο ΠΑ.Σ.Δ.Α.Τ.Μ., τεύχος 80 Φεβρ.1988, 42-45
- ΒΕΗΣ, Γ., 1987, *Το χρησιμοποιούμενο πλέον σήμερα Ελληνικό Datum (ΕΓΣΑ87)*, Δελτίο ΠΑ.Σ.Δ.Α.Τ.Μ., τεύχος 80 Φεβρ.1988, 12-39
- ΒΕΗΣ, Γ., 1994, *Τα συστήματα αναφοράς και η εφαρμογή του Ε.Γ.Σ.Α.'87*, σημειώσεις από την διάλεξη στο επιστημονικό διήμερο του Τ.Ε.Ε. "Ψηφιακή Χαρτογραφία, Φωτογραμμετρία, Τηλεπισκόπηση και Τεχνολογίες Αιχμής"
- ΜΠΑΛΟΔΗΜΟΥ, Ε., 1985, *Τα προβολικά συστήματα που χρησιμοποιούνται σήμερα στην Ελλάδα*, σημειώσεις σεμιναρίου "Τάσεις και εξελίξεις στην Επιστήμη του Αγρονόμου - Τοπογράφου Μηχανικού" του ΠΑ.Σ.Δ.Α.Τ.Μ.
- ΜΠΑΛΟΔΗΜΟΥ, Ε., 1997, *Θεωρία σφαλμάτων και μ.ε.τ.*, Τ.Α.Τ.Μ. Ε.Μ.Π.
- ΣΥΓΓΡΟΣ, Ι., 2002, *Coords\_Gr*, έκδοση 1.60, <[http://users.auth.gr/kvek/coords\\_gr.zip](http://users.auth.gr/kvek/coords_gr.zip)>
- CLYNCH, J.R., 2002, *Coordinates*, U.S.A. Naval Postgraduate School
- HOLLOWAY, R., 2003, *Summary of Transformation Methods*, Australian Geocentric Datum
- LEE, L. P., 1994, *The Nomenclature and Classification of Map projections*, Empire Survey Review, No. 51, Vol. VII, January 1944, 190 – 200, <[http://www.ilstu.edu/microcam/map\\_projections/Reference/lee\\_1944.pdf](http://www.ilstu.edu/microcam/map_projections/Reference/lee_1944.pdf)>
- MUGNIER, C., 2001, *THE PUBLIC TRUST OF SURVEYS & MAPS*, PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING & REMOTE SENSING, November 2001, 1229-1230, <<http://www.asprs.org/asprs/resources/grids/11-2001-ptsms.pdf>>
- MUGNIER, C., 2002, *THE HELLENIC REPUBLIC*, PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING & REMOTE SENSING, December 2002, 1237-1238, <<http://www.asprs.org/asprs/resources/grids/12-2002-hellenic.pdf>>
- MUGNIER, C., 2002, *Re: Datum-shift*, <[http://www.remotesensing.org/lists/proj\\_archive/msg00298.html](http://www.remotesensing.org/lists/proj_archive/msg00298.html)>
- SMITH, D.A., 1998, *There is no such thing as "The" EGM96 geoid: Subtle points on the use of a global geopotential model*, *IGeS Bulletin No. 8, International Geoid Service, Milan, Italy, p. 17-28, 1998*, <[http://www.ngs.noaa.gov/PUBS\\_LIB/EGM96\\_GEOID\\_PAPER/egm96\\_geoid\\_paper.html](http://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/EGM96_GEOID_PAPER/egm96_geoid_paper.html)>
- SNAY, R. A., SOLER, T., 2000, *Modern Terrestrial Reference Systems*, PROFESSIONAL SURVEYOR, April 2000, <<http://www.ngs.noaa.gov/CORS/Articles/Reference-Systems-Part-1.pdf>>
- SNYDER, J.P. (ed), and STEWARD, H., 1997, *Bibliography of Map Projections*, U.S. Geological Survey Bulletin 1856, 2nd edition, <[http://www.ilstu.edu/microcam/map\\_projections/Reference/Bull1856.pdf](http://www.ilstu.edu/microcam/map_projections/Reference/Bull1856.pdf)>
- VANICEK, P., 2000, *An Online Tutorial in GEODESY*, University of New Brunswick, CANADA, Academic Press 2000, <<http://einstein.gge.unb.ca/tutorial/tutorial.pdf>>
- WORMLEY, S., 1999, *Re: DGPS Who needs it now that SA is gone?*, <<http://groups.google.com/gr/groups?q=2drms&hl=el&lr=&ie=UTF-8&inlang=el&selm=37ECF9BF.10B3E11D%40cnde.iastate.edu&rnum=3>>

*ΒΙΒΛΙΟ ΔΙΑΙΡΕΣΕΩΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙΜΑΚΑΣ 1:5000*, Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, ΑΘΗΝΑΙ 1990

*ΠΙΝΑΚΕΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ μετατροπής συντεταγμένων Ελληνικού χώρου - από το Σύστημα HATT (Παλαιό Datum) στο Σύστημα Ε.Γ.Σ.Α. '87 (Νέο Datum)*, Έκδοση 1<sup>η</sup> Οκτώβριος 1995, Οργανισμός Κτηματολογίου και Χαρτογραφίσεων Ελλάδας (Ο.Κ.Χ.Ε.) / Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Γ.Υ.Σ.) / Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (Ε.Μ.Π.)

*Σημειώσεις Ανώτερης Γεωδαισίας*, 1974-2000, Εργαστήριο Ανώτερης Γεωδαισίας Ε.Μ.Π.

*Σημειώσεις Χαρτογραφίας*, 1974-2000, Εργαστήριο Χαρτογραφίας Ε.Μ.Π.

*Στοιχεία Παλίνδροιας Ελληνικών Λιμένων*, Δ' έκδοση 1991, Υδρογραφική Υπηρεσία Π.Ν.

*Τελικό κείμενο Έκθεσης*, ΕΥΓεΠ, 2003

*A Brief Examination of Projections and Datums*,

<[http://www.gpswaypoints.co.za/FAQ\\_map\\_datums.htm](http://www.gpswaypoints.co.za/FAQ_map_datums.htm)>

A guide to coord , <[http://www.gps.gov.uk/additionalInfo/images/A\\_guide\\_to\\_coord.pdf](http://www.gps.gov.uk/additionalInfo/images/A_guide_to_coord.pdf)>

*Coordinate Transformations*, National Mapping Geodesy of Australia,

<<http://www.ga.gov.au/nmd/geodesy/datums/calcs.jsp#trans>>

*Earth introduction*, U.K. National Maritime Museum,

<<http://www.nmm.ac.uk/site/request/setTemplate:singlecontent/contentTypeA/conWebDoc/contentId/2835/viewPage/4/navId/005003001005001004>>

*Geographic Coordinate System Transformations*, POSC Specifications Version 2.2, Epicentre Usage Guide, <[http://www.posc.org/Epicentre.2\\_2/DataModel/ExamplesofUsage/eu\\_cs35.html](http://www.posc.org/Epicentre.2_2/DataModel/ExamplesofUsage/eu_cs35.html)>

ITRS2000, <[http://www.iers.org/iers/publications/tn/tn31/tn31\\_270.pdf](http://www.iers.org/iers/publications/tn/tn31/tn31_270.pdf)>

MODERN GEODETIC NETWORK AND DATUM IN EUROPE,

<<http://www.ddl.org/figtree/pub/proceedings/prague-final-papers/Papers-acrobats/simek-kostelecky-fin.pdf>>

The Longitude Problem,

<<http://www.nmm.ac.uk/site/request/setTemplate:singlecontent/contentTypeA/conWebDoc/contentId/355/navId/005001000002>>

*THE SIMILARITY TRANSFORMATION MODEL*,

<[http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps\\_survey/chap11/1114.htm](http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps_survey/chap11/1114.htm)>

*The story of the seven level headed scientists*, <<http://www.gpsu.co.uk/heights.html>>

*Transformation Options*, 2000, Inter-governmental Committee on Surveying and Mapping of Australia (I.C.S.M.), <<http://www.icsm.gov.au/icsm/gda/gdatranfact.pdf>>

Transformations, <<http://www.cadresources.com.au/transfor.htm>>

*World Geodetic System 1984 - Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systems*, TECHNICAL REPORT 8350.2 Third Edition, U.S.A. Department of Defense, N.I.M.A. (NATIONAL IMAGERY AND MAPPING AGENCY),

<<http://www.ga.gov.au/nmd/geodesy/datums/aboutdatums.jsp>>

---

\* Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π. 1976, Μελετητής, Ελεύθερος Επαγγελματίας

\*\* Πράγματι, πρόκειται για τον γνωστό μας καθηγητή του Ε.Μ.Π. και μέλος της HellasGi