

Πρόλογος

Στις εργασίες του Επιστημονικού Διήμερου
HEPOS και σύγχρονα γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς :
Θεωρία και υλοποίηση, προοπτικές και εφαρμογές.

Θεσσαλονίκη, 25-26 Σεπτεμβρίου 2008
Συνδιοργάνωση : ΤΑΤΜ/ΑΠΘ και ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΑΕ

Κ. Κατσάμπαλος
Καθηγητής ΤΑΤΜ-ΑΠΘ

Αντικείμενο του επιστημονικού διήμερου είναι η αναλυτική παρουσίαση (θεωρία και εφαρμογές) του **Ελληνικού Συστήματος Εντοπισμού HEPOS**.

Το HEPOS **αναπτύχθηκε** από την ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΑΕ, η οποία και το λειτουργεί. Το HEPOS τέθηκε σε λειτουργία το Φεβρουάριο του 2008 και σε πρώτη φάση χρησιμοποιείται από τις εταιρείες που εκπονούν έργα του Εθνικού Κτηματολογίου ενταγμένα στο Γ΄ ΚΤΣ. Σύντομα θα διατίθεται σε κάθε ενδιαφερόμενο, ο οποίος θα μπορεί με έναν γεωδαιτικό δέκτη GPS να προσδιορίζει τη θέση του σε όλη την επικράτεια (ηπειρωτική και νησιωτική) με ακρίβεια της τάξης του εκατοστού, ενιαία για όλη τη χώρα, και μάλιστα, με τον κατάλληλο εξοπλισμό, σε πραγματικό χρόνο. Θα παρακολουθήσετε ομιλίες σχετικά με τις τεχνικές που χρησιμοποιεί το HEPOS, τη χρήση και τις εφαρμογές του συστήματος, το μετασχηματισμό των συντεταγμένων στο ισχύον Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς συντεταγμένων (ΕΓΣΑ87), το λογισμικό που αναπτύχθηκε, αλλά και τις προοπτικές και τις δυνατότητες αξιοποίησης του HEPOS σε γεωδυναμικές εφαρμογές. Η γεωδαιτική υποδομή που αναπτύχθηκε από την επιστημονική ομάδα του ΑΠΘ είναι συμβατή με τα νέα Ευρωπαϊκά πρότυπα και ιδιαίτερα με την Οδηγία INSPIRE. Το σύστημα HEPOS χρηματοδοτήθηκε κατά 80% από την Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω του προγράμματος *Κοινωνία της Πληροφορίας*.

Ως άξονες για παρουσίαση, ανάλυση και συζήτηση κατά τη διάρκεια του διήμερου εργασίας, ορίστηκαν, από την Επιστημονική του Επιτροπή, οι ακόλουθοι.

- Υλοποίηση, λειτουργία και εφαρμογές του HEPOS
- Ιστορία, Θεωρία και εφαρμογές των γεωδαιτικών συστημάτων αναφοράς με έμφαση στην Ελληνική πραγματικότητα
- Μετασχηματισμοί συντεταγμένων στα Ελληνικά γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς
- Κατακόρυφα συστήματα αναφοράς στην Ελλάδα και υψομετρικός προσδιορισμός θέσης μέσω μετρήσεων GPS
- Δυναμικά συστήματα αναφοράς και επιπτώσεις λόγω διαφόρων γεωδυναμικών διεργασιών

Αποφασίστηκε να κατατεθούν εισηγήσεις από εκπροσώπους των εμπλεκόμενων Φορέων (Κτηματολόγιο ΑΕ, ΑΠΘ, ΕΜΠ) ή Υπηρεσιών που σχετίζονται άμεσα με τον ορισμό και τη συντήρηση «πλαισίων» αναφοράς (ΓΥΣ, Υδρογραφική Υπηρεσία), δεδομένου ότι, προς το παρόν, δεν υπάρχει εμπειρία και τεχνογνωσία για το HEPOS από την ευρύτερη επιστημονική και επαγγελματική κοινότητα.

Η Κτηματολόγιο ΑΕ προγραμματίζει στα τέλη του 2008 εσωτερικά σεμινάρια εκπαίδευσης των στελεχών της. Εκφράζουμε την ευχή να διοργανωθούν, στο άμεσο μέλλον, ανάλογες εκδηλώσεις παρουσίασης του HEPOS, προκειμένου να δοθεί η δυνατότητα ενημέρωσης του συνόλου των ενδιαφερομένων. Σχετικές πρωτοβουλίες πρέπει να αναληφθούν από τα Επιμελητήρια και τους Συλλόγους.

Για να διευκολυνθεί το ακροατήριο, θα δώσουμε καταρχήν τον γενικό ορισμό ενός συστήματος αναφοράς και ενός πλαισίου αναφοράς και στη συνέχεια θα γίνει μια σύντομη ιστορική αναδρομή του Ελληνικού γεωδαιτικού «γίγνεσθαι» της τελευταίας εικοσαετίας.

Σύστημα και Πλαίσιο Αναφοράς

Υπάρχουν στη Γεωδαισία τρεις όροι, τρεις έννοιες με θεμελιώδη σημασία και βάρος για όλες τις εργασίες που εκτελούνται και αφορούν στον προσδιορισμό συντεταγμένων : Το (γεωδαιτικό) **datum**, (β) το (γεωδαιτικό) **σύστημα αναφοράς** / *reference system* και (γ) το (γεωδαιτικό) **πλαίσιο αναφοράς** / *reference frame*. Στις έννοιες αυτές έχουν αποδοθεί από κορυφαίους επιστήμονες διαφορετικοί ορισμοί και συχνά το περιεχόμενο των ορισμών αυτών είναι επικαλυπτόμενο.

(1). **H. Moritz (1978)** : Ένα γεωδαιτικό datum συνήθως ορίζεται με ΠΕΝΤΕ παραμέτρους $a, f, x_0, y_0, z_0, \dots$

(2). **Γ. Βέης (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, τη συνόρθωσή του και τον υπολογισμό των συντεταγμένων (φ, λ) των κορυφών του στο νέο datum.
- Εφαρμόζεται με την απεικόνιση (ή προβολή) του ελλειψοειδούς σε ένα επίπεδο που δίνει τις επίπεδες συντεταγμένες (X, Y) του δικτύου.
- Χρησιμοποιείται με την εξάρτηση (και εντοπισμό) των γεωδαιτικών, τοπογραφικών και χαρτογραφικών εργασιών στο δίκτυο και τη χρήση των συντεταγμένων των κορυφών του.
- Επομένως, το datum, το δίκτυο και το προβολικό σύστημα αποτελούν μέρη του ΕΓΣ.

(3). **National Geodetic Survey / USA (1986)** : Ορίζει το γεωδαιτικό datum εναλλακτικά ως

1. *"A set of constants specifying the coordinate system used for geodetic control, i.e., for calculating the coordinates of points on the Earth."*
2. *"The datum, as defined in (1), together with the coordinate system and the set of all points and lines whose coordinates, lengths, and directions have been determined by measurement or calculation."*

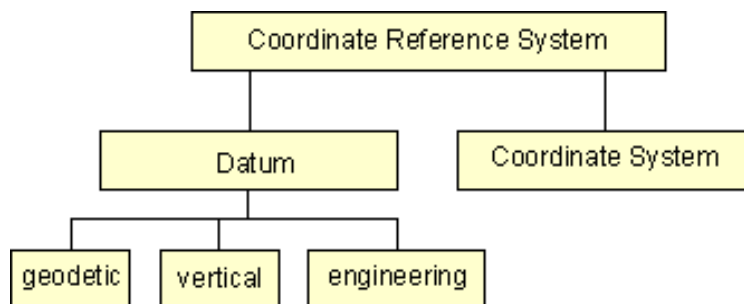
Οι εναλλακτικοί ορισμοί του NGS απαιτούν προσοχή στη χρήση του όρου datum:

Ο πρώτος κάνει τον όρο datum συνώνυμο με το σύστημα αναφοράς συντεταγμένων. Οι συντεταγμένες των σταθμών ελέγχου μπορούν να αλλάξουν, όταν εφαρμόζονται καλύτερες τεχνικές μετρήσεων που επιτρέπουν ακριβέστερους προσδιορισμούς.

Ο δεύτερος ταυτίζει το datum και με το πλαίσιο αναφοράς μέσω του οποίου υλοποιείται το σύστημα αναφοράς. Εδώ όμως πλέον, μια αλλαγή στις συντεταγμένες οδηγεί σε ένα NEO datum.

(4). Information and Service System for European Coordinate Reference Systems - CRS (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie in cooperation with EuroGeographics and EUREF)

Ορισμός ενός Συστήματος Αναφοράς Συντεταγμένων (Coordinate Reference System / CRS) : Ένα CRS περιέχει δύο συνιστώσες - το datum και το σύστημα συντεταγμένων.



Η τρέχουσα διεθνής πρακτική, μετά μάλιστα από την καθοριστική συμβολή των ποικίλων δορυφορικών συστημάτων GNSS στον καθορισμό των συστημάτων αναφοράς, χρησιμοποιεί τους όρους «**σύστημα αναφοράς**» και «**πλαίσιο αναφοράς**» (reference system και reference frame). Ένα σύστημα αναφοράς συνοδεύεται από τον χαρακτηρισμό του έτους εισαγωγής του [π.χ. ITRS2000 ή ITRS00, ETRS89]. Ένα πλαίσιο αναφοράς χαρακτηρίζεται σε συνδυασμό με μια χρονική στιγμή (**εποχή**) στην οποία αναφέρονται οι συντεταγμένες των σημείων [π.χ. ITRF2005 (2000.0), ETRF2005 (2007.5)].

Είναι σαφές ότι η έννοια του datum είναι πλέον «φωλιασμένη» στην έννοια του συστήματος αναφοράς. Πιο αναλυτικά,

Το «**σύστημα αναφοράς**» είναι ένα σύνολο από

- Συμβάσεις (π.χ. ο άξονας περιστροφής της γης),
- Πρότυπα (π.χ. το ελλειψοειδές αναφοράς),
- μοντέλα (π.χ. γεωδυναμικά, παλιρροιακά) και
- σταθερές (π.χ. η ταχύτητα του φωτός),

που όλα μαζί χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της θέσης ενός σημείου στο χώρο.

Προκειμένου, όμως, το σύστημα αναφοράς να είναι προσβάσιμο και χρησιμοποιήσιμο από τους χρήστες, απαιτείται η γνώση των συντεταγμένων

σε ένα σύνολο σημείων. Οι συντεταγμένες αυτές, θα πρέπει να αναφέρονται σε μια χρονική στιγμή (**εποχή**) και παράλληλα να δίνονται και τα στοιχεία της κίνησης (ταχύτητες) του κάθε σημείου, λόγω γεωδυναμικών / τεκτονικών φαινομένων. Η λύση για ένα σύνολο σταθμών σε μια γεωγραφική περιοχή αποτελεί ένα «**πλαίσιο αναφοράς**». Προφανώς, υπάρχουν παγκόσμια, ηπειρωτικά και περιφερειακά/ εθνικά «πλαίσια αναφοράς» τα οποία βελτιώνονται συνεχώς καθώς συλλέγονται νέες παρατηρήσεις.

Όπως θα αναλυθεί σε επόμενη παρουσίαση, η λύση (X,Y,Z) για τους 98 σταθμούς του HEPOS, αποτελεί για την Ελλάδα ένα πλαίσιο αναφοράς, αναφερόμενο στην εποχή 2007.5, χωρίς προσδιορισμένες ταχύτητες, προς το παρόν. Το **σύστημα αναφοράς** είναι το European Terrestrial Reference System του 1989 (ETRS89) και το **πλαίσιο αναφοράς** το ETRF2005 (2007.5). Με απλά λόγια, το σύστημα αναφοράς του HEPOS αποτελεί μια πύκνωση του ETRF2005 στον Ελληνικό χώρο.

Οι συντεταγμένες στα διάφορα «πλαίσια» αναφοράς (συνεπώς και στο HEPOS) συνήθως δίδονται σε καρτεσιανές «γεωκεντρικές» X,Y,Z. Όταν απαιτείται **μετατροπή** σε **καμπυλόγραμμες** συντεταγμένες φ,λ,η χρησιμοποιείται το ελλειψοειδές του GRS80. Όταν, τέλος, απαιτούνται **προβολικές** συντεταγμένες (E,N), συνιστάται η χρήση της Εγκάρσιας Μερκατορικής Προβολής.

Η πορεία προς το HEPOS

Μέχρι το 1987, τα εν χρήση γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς στην Ελλάδα ήταν κυρίως τρία :

- το ED50 (ΓΥΣ) με προβολή την UTM (ζώνες 34 & 35) στο διεθνές ελλειψοειδές του Hayford, για στρατιωτικές εφαρμογές. Βασικός σταθμός το Potsdam. Κάλυψη όλης της Ελλάδας με 387 φύλλα κλίμακας 1:50,000.

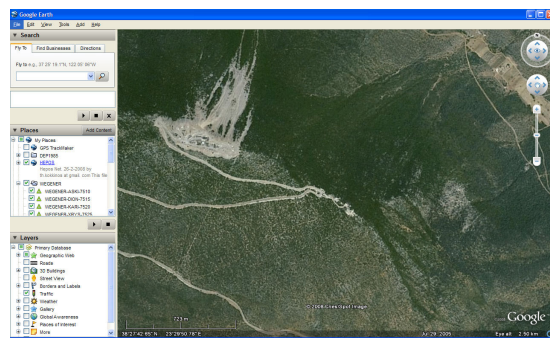


Helmert Tower

- το (παλαιό) ελληνικό datum με προβολές την Hatt (φύλλα 30'x30' και 6'x6') και την TM-3 (τρεις ζώνες), στο ελλειψοειδές του Bessel. Βασικός σταθμός το τριγωνομετρικό *Κτυπός*, με περισσότερα από 20,000 σημεία τεσσάρων «τάξεων» ακρίβειας σε όλη την χώρα.



23° 42' 58".815



«Κτυπός»

- Το WGS84 για όσους κάνουν χρήση δεκτών GPS. Οι εισαγωγείς - αντιπρόσωποι δεκτών GPS συνήθως καταχωρούν στο λογισμικό τρεις μόνον μεταθέσεις (ακρίβειας περίπου 1 μέτρου) για τον προσεγγιστικό μετασχηματισμό στο «ελληνικό datum» ΕΓΣΑ87.

Το 1987, με την επιστημονική ευθύνη του καθηγητή Γ. Βέη, συντάχθηκε το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς του 1987 (ΕΓΣΑ87) προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες σύνταξης του Εθνικού Κτηματολογίου. Πρόκειται για

ένα ΣΑ μιας ζώνης, χρησιμοποιώντας την Εγκάρσια Μερκατορική προβολή, βασίστηκε εν μέρει σε τεχνικές δορυφορικής γεωδαισίας, εισήγαγε τη χρήση του ελλειψοειδούς αναφοράς GRS80 (σχεδόν ταυτόσημου με το χρησιμοποιούμενο από το WGS84 για τις ανάγκες του GPS) και ήταν πρακτικά παράλληλο με το WGS84, αλλά μη-γεωκεντρικό. Βασικός σταθμός το κεντρικό βάθρο του Διονύσου.

Παράλληλα, υπολογίστηκαν τοπικά πολυώνυμα 2^{ου} βαθμού για τον μετασχηματισμό συντεταγμένων από την HaTT στο ΕΓΣΑ87, προκειμένου να αξιοποιηθούν από το *Κτηματολόγιο* όλα τα παλαιότερα διαγράμματα.



Βάθρο Διονύσου

Την περίοδο **1995-1997** υπεβλήθησαν στον ΟΚΧΕ μεμονωμένες εισηγήσεις, προκειμένου να αναληφθούν πρωτοβουλίες εγκατάστασης μόνιμων σταθμών GPS σε διάφορες θέσεις στην Ελλάδα (**CORS**), προκειμένου να αντιμετωπιστούν επιστημονικές και επαγγελματικές ανάγκες, όπως σε αρκετές χώρες, διεθνώς (Μερτίκας 31/1/95, Κατσάμπαλος 20/2/97). Αν και οι προτάσεις αυτές δεν προχώρησαν, στις **24/2/1997** ανακοινώθηκε από τον καθ. Γ. Βέη ότι λειτουργεί στον σταθμό του Διονύσου δέκτης GPS, τα δεδομένα του οποίου μπορούν να διατεθούν off-line.

Σε μια σειρά από συσκέψεις που πραγματοποιήθηκαν τη διετία **2004-2005** με πρωτοβουλία της Κτηματολόγιο ΑΕ και συμμετέχοντες εκπροσώπους

Φορέων και ΑΕΙ, εξετάστηκε η αναγκαιότητα της ίδρυσης ενός νέου συστήματος αναφοράς το οποίο να καλύπτει τις ανάγκες (και ταυτόχρονα να αποτελεί το γεωδαιτικό υπόβαθρο) του HEPOS (Hellenic Positioning System). Μέσω του HEPOS η Ελλάδα θα γινόταν μέλος μιας δεκάδας χωρών που χρησιμοποιούν προηγμένη δορυφορική τεχνολογία για να καλύψουν αυξημένες ανάγκες τριδιάστατης χωρικής καταγραφής και πλοήγησης. Όπως προκύπτει από τα **Πρακτικά** των συσκέψεων,

... θα πρέπει να εξασφαλιστεί ότι ο μετασχηματισμός από το νέο δορυφορικό σύστημα στο ΕΓΣΑ87 (και αντίστροφα) θα πρέπει να γίνεται με μια αβεβαιότητα καλύτερη από 15cm. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι «η εσωτερική ακρίβεια των τριγωνομετρικών σημείων (του ίδιου φύλλου χάρτη) στην πλειοψηφία τους είναι 5-7cm, ενώ για σημεία που ανήκουν σε διαφορετικά φύλλα χάρτη, αυτή η ακρίβεια περιορίζεται σε 40cm» ...

Το **2004** η ΓΥΣ ανακοίνωσε τη μέτρηση και τον υπολογισμό ενός δικτύου περίπου 200 σημείων σε όλη την Ελλάδα (**HEGNET**), χρησιμοποιώντας αποκλειστικά τεχνικές **GPS**.

Κατά την τελευταία πενταετία, με πρωτοβουλία αρχικά δύο Πολυτεχνικών Σχολών της χώρας, εγκαταστάθηκαν και λειτουργούν μόνιμοι σταθμοί συλλογής και διάθεσης δεδομένων **GPS** στα πλαίσια της ευρωπαϊκής δράσης **EUREF**. Οι σταθμοί αυτοί : **TUC2** (Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Ορυκτών Πόρων), **AUT1** (ΑΠΘ, Τομέας Γεωδαισίας και Τοπογραφίας) και **NOA1** (Εθνικό Αστεροσκοπείο), λειτουργούν σε 24ωρη βάση, ενώ τα δεδομένα τους διατίθενται δωρεάν σε κάθε ενδιαφερόμενο με διαδικασίες ftp από τους σταθμούς επεξεργασίας, μέσω του διαδικτύου.



Τον Δεκέμβριο **2006**, με τη διαδικασία για την εγκατάσταση του HEPOS σε εξέλιξη, ανετέθη (μετά από αξιολόγηση) από την Κτηματολόγιο ΑΕ στο ΑΠΘ (Κατσάμπαλος, Κωτσάκης) το έργο της Τεχνικής Βοήθειας (**ΤΕ.ΒΟ. ΑΠΘ**) για

- την τμηματική επεξεργασία των παρατηρήσεων **GPS** στους ιδρυόμενους σταθμούς του συστήματος,

- τον ορισμό του νέου συστήματος αναφοράς για τις ανάγκες του HEPOS,
- τον καθορισμό των παραμέτρων του αμφίδρομου μετασχηματισμού μεταξύ του ΣΑ του HEPOS και του ΕΓΣΑ87 και
- τη σύνταξη του λογισμικού για την υλοποίηση αυτού του μετασχηματισμού.

Το έργο αυτό εκτελείται μέσω της Επιτροπής Ερευνών του ΑΠΘ (1/1/2007 έως 30/11/2008).

Ένα παράλληλο έργο Τεχνικής Βοήθειας ανετέθη στο ΕΜΠ (ΤΕ.ΒΟ.ΕΜΠ) προκειμένου να υποστηριχθεί η δράση γεωαναφοράς (στο ETRS89) των ορθοφωτοχαρτών (LSO/VLSO) για τις κτηματογραφήσεις της νέας περιόδου.

Σε **ημερίδα για το HEPOS (ΕΜΠ, 6/12/2007)** το ΑΠΘ δημοσιοποίησε το σύστημα αναφοράς που επελέγη για το HEPOS, και περιέγραψε την εισαγωγή στη θεωρία επάνω στην οποία βασίζεται ο αμφίδρομος μετασχηματισμός από/προς το ΕΓΣΑ87, την οποία, σε τελική μορφή, παρουσιάζουμε στο παρόν διήμερο εργασίας.

Την **25/2/2008** ξεκίνησε η επίσημη λειτουργία του HEPOS ως ένα σύστημα 98 μόνιμων σταθμών GPS, με τις θέσεις τους συνορθωμένες στο σύστημα αναφοράς ETRF2005 στην εποχή 2007.5 (ακρίβεια καλύτερη από 1 εκατοστό).

Είναι μοναδική ευκαιρία που σήμερα παρίστανται επισήμως και με εισηγήσεις τους η Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού και η Υδρογραφική Υπηρεσία του Πολεμικού Ναυτικού, προκειμένου να μας ενημερώσουν για τις δικές τους εργασίες και εμπειρίες σε ανάλογα θέματα.