

## Συνεισφορά και Προοπτική του Μόνιμου Σταθμού GPS AUT1 στο Ευρωπαϊκό Δίκτυο Euref

**A. Φωτίου, X. Πικριδάς**

*Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών,  
Τομέας Γεωδαισίας και Τοπογραφίας, Τ.Θ 432, 54124 Θεσσαλονίκη.*

### Περίληψη

Περιγράφεται η συνεισφορά του μόνιμου σταθμού GPS AUT1 στο ευρωπαϊκό δίκτυο EPN και προτείνονται τρόποι αναβάθμισης και αξιοποίησης των δεδομένων του σταθμού. Αρχικά γίνεται συνοπτική αναφορά στους λόγους ίδρυσης, λειτουργίας και προσφοράς των δικτύων μόνιμων σταθμών και επιπλέον επισημαίνονται τα προϊόντα υψηλής ποιότητας ύστερα από κατάλληλη επεξεργασία των μετρήσεων. Ιδιαίτερα για τον AUT1 δίνονται ορισμένα χαρακτηριστικά διαγράμματα και διατυπώνονται χρήσιμα συμπεράσματα που αφορούν στα κριτήρια ποιότητας και πληρότητας των παρατηρήσεων καθώς και στη διαχρονική μεταβολή της θέσης του.

## The Contribution and Future Development of the Permanent GPS Station AUT1 to the Euref Network

**A. Fotiou, C. Pikridas**

*Aristotle University of Thessaloniki  
School of Rural and Surveying Engineering, Department of Geodesy and Surveying,  
Univ. Box 432, 54124 Thessaloniki, Greece*

### Abstract

The contribution of the permanent GPS station AUT1 to the European EPN network and the future development with respect to its operation and data quality is discussed. First a brief presentation is given about the establishment and the role of permanent stations and in addition high quality GPS products derived by proper processing are emphasized. Specifically for the AUT1 station characteristic data quality scatters and a time series position variation are also presented and evaluated.

## 1. Εισαγωγή

Η εγκατάσταση και η λειτουργία μόνιμων σταθμών καταγραφής παρατηρήσεων και δεδομένων GPS (Global Positioning System) αποτελεί τα τελευταία χρόνια μια συνεχώς εξελισσόμενη και έντονα αυξανόμενη δραστηριότητα σε σχεδόν όλες τις τεχνολογικά προηγμένες χώρες. Τη διαχείριση και διάθεση των δεδομένων και άλλων υψηλής ακρίβειας προϊόντων GPS έχει αναλάβει από το 1994 η Διεθνής Υπηρεσία IGS (International GNSS Service, GNSS: Global Navigation Satellite Systems), (<http://igsb.jpl.nasa.gov>). Τα δεδομένα GNSS, κυρίως από τα συστήματα GPS και GLONASS (GLObal Nav. Sat. System) καταγράφονται από τα διάφορα δίκτυα συνεχούς παρακολούθησης των δορυφόρων των αντίστοιχων συστημάτων (CORS: Continuously Operating Reference Stations).

Το δίκτυο μόνιμων σταθμών στην Ευρώπη ονομάζεται EPN (Euref Permanent Network) (<http://www.epncb.oma.be>), όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1 και το οποίο αποτελείται σήμερα από περισσότερους των 190 μόνιμων σταθμών GPS με τάση συνεχούς αύξησης. Οι μόνιμοι σταθμοί ικανοποιούν τις ισχύουσες ποιοτικά αυστηρές προδιαγραφές, είναι γεωδαιτικοί δέκτες δύο συχνοτήτων με τουλάχιστον δώδεκα κανάλια ταυτόχρονης παρακολούθησης δορυφόρων σε κάθε συχνότητα (L1 και L2) και κεραία τύπου Choke Ring για μεγαλύτερη προστασία από παρεμβολές και κυρίως από πολυανάκλαση του δορυφορικού σήματος. Όσοι από αυτούς τους σταθμούς ανήκουν ταυτόχρονα και στο παγκόσμιο δίκτυο της IGS ακολουθούν επιπλέον ειδικές διατάξεις θεμελίωσης. Τα δεδομένα διατίθενται ελεύθερα μέσω του διαδικτύου σε Rinx format από τα διάφορα κέντρα συλλογής (Data Centers), χρησιμοποιώντας πρωτόκολλο ανώνυμης μεταφοράς αρχείων (FTP).

Η δημιουργία του δικτύου EPN-EUREF έχει ως στόχο τον ορισμό, την υλοποίηση και την διατήρηση του ευρωπαϊκού επίγειου πλαισίου αναφοράς (ETRF: European Terrestrial Reference Frame). Το ETRF, ως ένα γεωδαιτικό υπόβαθρο-datum, είναι κατάλληλο για τις εν γένει γεωδαιτικές ανάγκες της κάθε χώρας και της διεθνούς επιστημονικής κοινότητας. Μέσω του δικτύου EUREF, έχει αναπτυχθεί πληθώρα δραστηριοτήτων που σχετίζονται τόσο με τον ορισμό του συστήματος ETRS (European Terrestrial Reference System) αλλά και με την υλοποίηση του ευρωπαϊκού κατακόρυφου συστήματος αναφοράς (European Vertical Reference System). Επιπλέον, η χρησιμοποίηση δεδομένων από δίκτυα μόνιμων σταθμών συμβάλλει σημαντικά στην ολοκλήρωση πολλών άλλων εφαρμογών όπως είναι οι γεωδυναμικές, τοπογραφικές, υδρογραφικές καθώς και οι μελέτες-εφαρμογές έργων και δικτύων κοινής ωφέλειας και μεγάλων κατασκευών, π.χ. οδοποιίας και υδραυλικών έργων, ενημέρωση χαρτών, εφαρμογές GIS και εντοπισμός προεπιλεγμένων θέσεων. Βασικό εργαλείο για την επίτευξη των παραπάνω στόχων είναι οι συνεχείς καταγραφές μετρήσεων που



Στο δίκτυο EPN-EUREF συμμετέχει από τον Απρίλιο του 2005 ο Τομέας Γεωδαισίας και Τοπογραφίας του Τμήματος Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του ΑΠΘ με το μόνιμο σταθμό AUT1 (Aristotle University of Thessaloniki 1). Ο AUT1 που βρίσκεται σε εγκαταστάσεις του ΑΠΘ στη Θέρμη Θεσσαλονίκης (υπεύθυνοι σταθμού: Χ. Πικριδάς, Α. Φωτίου), αποτελείται από έναν δωδεκακάναλο δέκτη Leica GRX1200 Pro δύο συχνοτήτων και κεραία AT504 DorneMargolin τύπου ChokeRing με σφαιρικό θόλο προστασίας (radome). Ο ρυθμός καταγραφής των δεδομένων είναι 30 second και η γωνία αποκοπής των δορυφορικών σημάτων 5°. Τα δεδομένα στέλνονται τόσο σε αρχεία ώρας (hourly files) όσο και σε αρχεία ημέρας (daily files) στα κέντρα ανάλυσης ASI (Agencia Spaziale Italiana) και OLG (Austrian Academy of Science - Space Research Institute). Η παρακολούθηση του AUT1 γίνεται μέσω του διαδικτύου με χρήση κατάλληλων προγραμμάτων που είναι εγκατεστημένα τόσο στην εσωτερική μνήμη του δέκτη όσο και στον διαδικτυακό εξυπηρετητή που βρίσκεται στο χώρο των υπεύθυνων λειτουργίας του σταθμού.

Παράλληλα με το δίκτυο EPN λειτουργούν σε αρκετές Ευρωπαϊκές χώρες και επιμέρους δίκτυα μόνιμων σταθμών GPS. Τα δίκτυα αυτά αποτελούνται από ένα σύνολο σταθμών καταγραφής και εκπομπής δεδομένων GPS όπου ο χρήστης διαθέτοντας ένα radio modem ή κινητό τηλέφωνο μπορεί να συνδεθεί με το υπολογιστικό κέντρο ελέγχου του δικτύου να υπολογίσει τη θέση του σε πραγματικό χρόνο. Τέτοιου τύπου δίκτυα είναι πχ., το SWIPOS στην Ελβετία, το SWEPOS στη Σουηδία, το SATREF στη Νορβηγία, το SAPOS στη Γερμανία. Η Ελλάδα υλοποιεί το HEPOS (HEllenic POSitioning System), το οποίο αναμένεται να ολοκληρωθεί μέσα στο 2008. Το HEPOS σε πλήρη ανάπτυξη θα αποτελείται από ένα δίκτυο περίπου 100 μόνιμων σταθμών αναφοράς GPS, κατανομημένων σε ολόκληρη τη χώρα και σε αποστάσεις μεταξύ τους της τάξης των 50-70 km. Οι μετρήσεις των σταθμών θα συγκεντρώνονται σε πραγματικό χρόνο σε ένα κέντρο ελέγχου το οποίο θα μπορεί να διαθέτει δεδομένα είτε σε πραγματικό χρόνο είτε εκ των υστέρων σε όσους χρήστες το επιθυμούν.

## 2. Ανάλυση παρατηρήσεων GPS του σταθμού AUT1

Με σκοπό την διάθεση υψηλής ποιότητας προϊόντων σε όλες τις συναφείς ερευνητικές δραστηριότητες που προκύπτουν από την επεξεργασία των μετρήσεων GPS που συλλέγουν οι μόνιμοι σταθμοί του δικτύου EPN, έχουν συγκροτηθεί τα ακόλουθα υπολογιστικά κέντρα (Analysis Centers): ASI-Centro di Geodesia Spaziale στην Ιταλία, BEK-Bayerische Kommission für die Internationale Erdmessung of the Bavaria Academy of Science στην Γερμανία, BKG-Bundesamt für Kartographie und

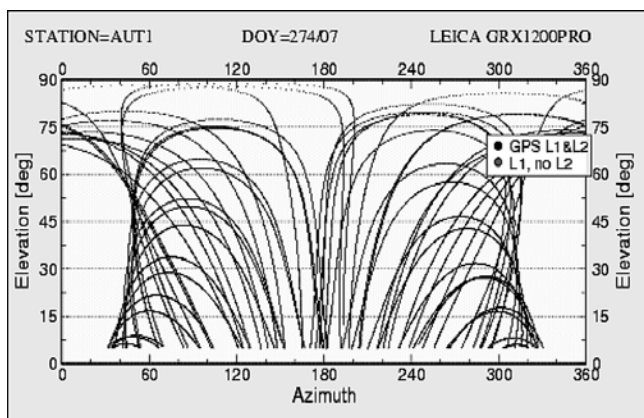
Geodäsie στη Γερμανία, CODE-Centre for Orbit Determination in Europe, Astronomical Institute of the University of Bern στην Ελβετία, DEO-Delft Institute for Earth-Oriented Space Research στην Ολλανδία, GOP-Geodetic Observatory Pecny στην Τσεχία, IGE-Instituto Geográfico Nacional de España στην Ισπανία, IGN-Institut Géographique National στη Γαλλία, LPT-Bundesamt für Landestopographie στην Ελβετία, NKG-Nordic Geodetic Commission, Lantmäteriet and Onsala Space Observatory στην Σουηδία, OLG-Institute for Space Research (ISR/ASS) στην Αυστρία, ROB-Royal Observatory of Belgium στο Βέλγιο, SUT-Slovak University of Technology στην Σλοβακία, UPA-University of Padova στην Ιταλία και WUT-Warsaw University of Technology στην Πολωνία.

Τα παραπάνω κέντρα εξάγουν συνδυασμένες λύσεις (συντεταγμένες και ταχύτητες μετακίνησης) του δικτύου EPN-EUREF ανά εβδομάδα οι οποίες παράγονται μετά από κατάλληλη επεξεργασία και ποιοτικό έλεγχο των δεδομένων που συλλέγονται από τα διάφορα υπό-δίκτυα που παρακολουθεί το κάθε κέντρο ανάλυσης. Οι εβδομαδιαίες λύσεις του δικτύου EUREF δίνονται στο ισχύον πλαίσιο αναφοράς-ITRF (σήμερα στο ITRF2005). Τα βήματα του ποιοτικού ελέγχου που εφαρμόζονται σε κάθε σταθμό παρακολούθησης περιλαμβάνουν τα ακόλουθα βασικά στάδια επεξεργασίας στα πρωτογενή δεδομένα (raw/ginex data):

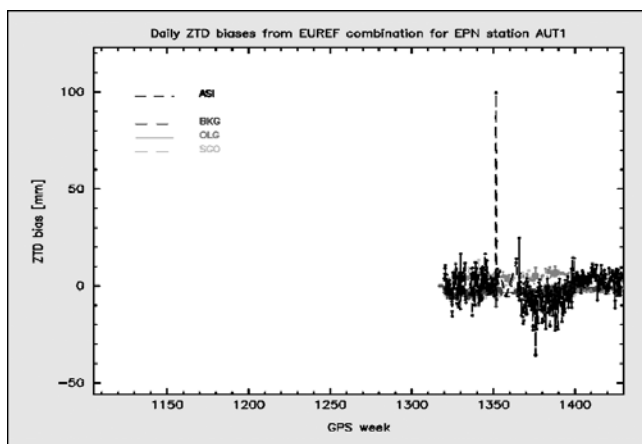
- Έλεγχος αριθμού παρατηρούμενων δορυφόρων.
- Αριθμός καταγραφέντων δεδομένων και υπολογισμός ποσοστού σε σχέση με τις προβλεπόμενες τιμές καταγραφής για την αντίστοιχη γωνία αποκοπής των δορυφορικών σημάτων του σταθμού.
- Υπολογισμός της συνολικής μέσης τιμής πολυανάκλασης αλλά και επιμέρους αντίστοιχες τιμές για τις συχνότητες  $L_1$  και  $L_2$  για κάθε ημέρα λειτουργίας του σταθμού.
- Έλεγχος της ολίσθησης κύκλων (λόγω απώλειας σήματος) και υπολογισμός του ποσοστού σε σχέση με το συνολικό αριθμό των παρατηρήσεων.
- Απεικόνιση της ποιότητας σήματος σε κάθε φέρουσα συχνότητα ( $L_1$  και  $L_2$ ) συναρτήσει του αζιμουθίου και της γωνία ύψους του κάθε δορυφόρου.
- Εκτίμηση της ζενίθιας τροποσφαιρικής υστέρησης.

Όλα τα προαναφερθέντα στάδια επεξεργασίας πραγματοποιούνται σε καθημερινή βάση και προβάλλονται τα αντίστοιχα γραφήματα, που δίνονται από το κεντρικό γραφείο ελέγχου (Central Bureau Station) μέσω του διαδικτύου. Ορισμένα από αυτά τα γραφήματα για τον σταθμό AUT1 παρουσιάζονται στα Σχήματα 2 έως 6.

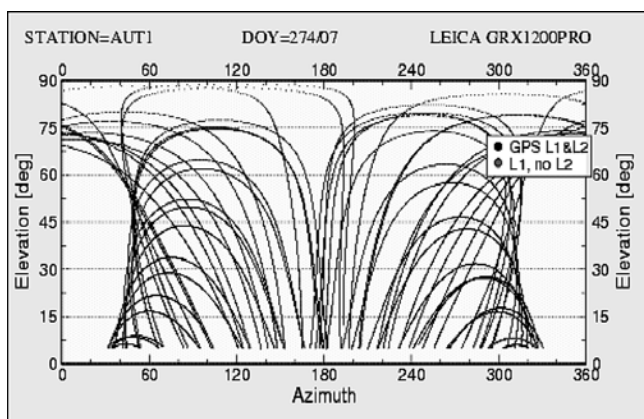
**Σχήμα 2.**  
Διάγραμμα κάλυψης παρατηρήσεων σύμφωνα με τη γωνία ύψους των δορυφόρων συναρτήσει του αζιμουθίου για το σταθμό AUT1 για την 1-10-2007.

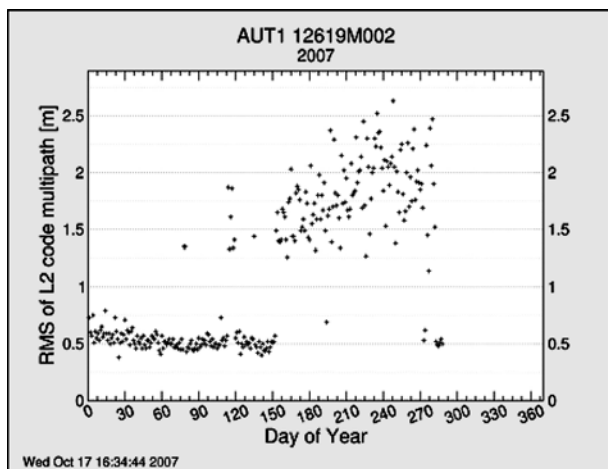


**Σχήμα 3.**  
Εκτίμηση ζενίθιας τροποσφαιρικής υστέρησης από τα αντίστοιχα κέντρα ανάλυσης για το σταθμό AUT1.



**Σχήμα 4.**  
Εκτίμηση τιμών πολυανάκλασης στη συχνότητα L1 για το σταθμό AUT1.





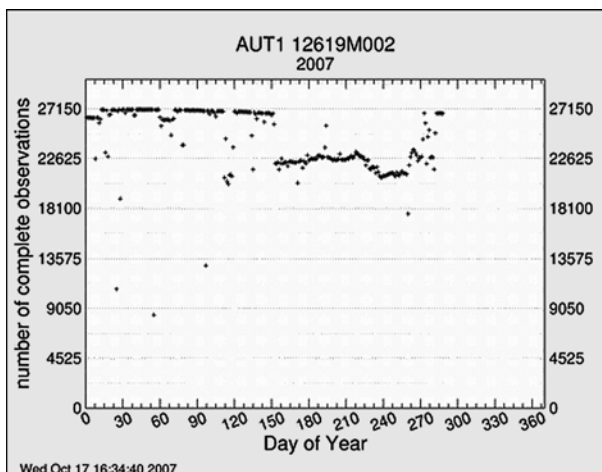
**Σχήμα 5.**

Εκτίμηση τιμών πολυανάκλασης στη συχνότητα στην L<sub>2</sub> για το σταθμό AUT1.

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι κατά καιρούς και σε αρκετούς σταθμούς του δικτύου EPN συμβαίνουν δυσλειτουργίες, κυρίως από έντονα καιρικά φαινόμενα, που επηρεάζουν τη λήψη των δορυφορικών σημάτων από την κεραία, όπως π.χ., κεραυνοί, έντονη χιονόπτωση, παρεμβολές στο σήμα από διάφορες “αυθαίρετες” πηγές και προβλήματα λειτουργίας του λογισμικού του δέκτη (firmware). Τα προβλήματα αυτά έχουν συνήθως ως αποτέλεσμα την μείωση του αριθμού παρατηρήσεων ή και την προσωρινή διακοπή τους. Όπως γίνεται φανερό και από Σχήμα 6, στο δέκτη του AUT1 μειώθηκε για την περίοδο Ιουνίου 2007- Σεπτέμβριος 2007 το σύνολο των καταγραφόντων παρατηρήσεων κατά ένα ποσοστό της τάξης του 15%. Το γεγονός αυτό οφειλόταν σε πηγές παρεμβολών που επηρεάζουν κατά κύριο λόγο την συχνότητα L<sub>2</sub> (απώλεια σήματος) ενώ ταυτόχρονα μειώθηκε και ο λόγος σήματος προς θόρυβο (SNR) στη συχνότητα L<sub>1</sub>, επηρεάζοντας κυρίως τους χαμηλά παρατηρούμενους δορυφόρους. Βρίσκεται ήδη σε εξέλιξη μελέτη για τον εντοπισμό (σε συνεργασία με το Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του ΑΠΘ) της πηγής εκπομπής χρησιμοποιώντας ειδικό εργαστηριακό εξοπλισμό (spectrum analyzer).

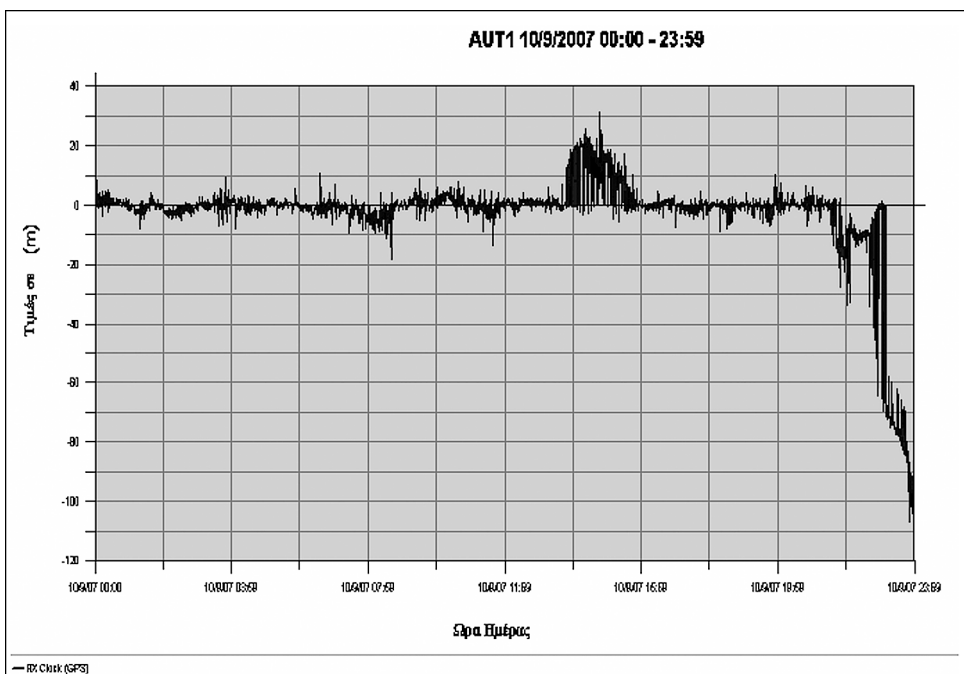
Ένα επιπλέον στάδιο ποιοτικού ελέγχου που προτείνουμε και που μπορεί να εφαρμοστεί με σκοπό την καλύτερη εποπτεία της επίδρασης που έχει το φαινόμενο των παρεμβολών στις μετρήσεις των μόνιμων σταθμών GPS, είναι η εκτίμηση του σφάλματος χρονομέτρου του δέκτη (Receiver Clock Offset). Στα Σχήματα 7 και 8 απεικονίζονται οι αντίστοιχες τιμές που προέκυψαν ύστερα από κατάλληλη επεξεργασία που πραγματοποιήσαμε. Τα Σχήματα 7 και 8 προβάλλουν τις αντίστοιχες εκτιμήσεις για την 10/9/2007, ημέρα με έντονες επιδράσεις παρεμβολών στις συχνότητες L<sub>1</sub> και L<sub>2</sub> και για την 21/10/2007, ημέρα χωρίς προβλήματα. Φαίνονται καθαρά οι

πολύ μικρότερες τιμές των χρονικών μεταθέσεων του χρονομέτρου του δέκτη κατά τη διάρκεια της «ανεπηρέαστης» ημέρας με μέγιστη τιμή 0.000103 msec ή 30.8 m έναντι 0.000383 msec ή 114.7 m της «επηηρεασμένης» ημέρας.



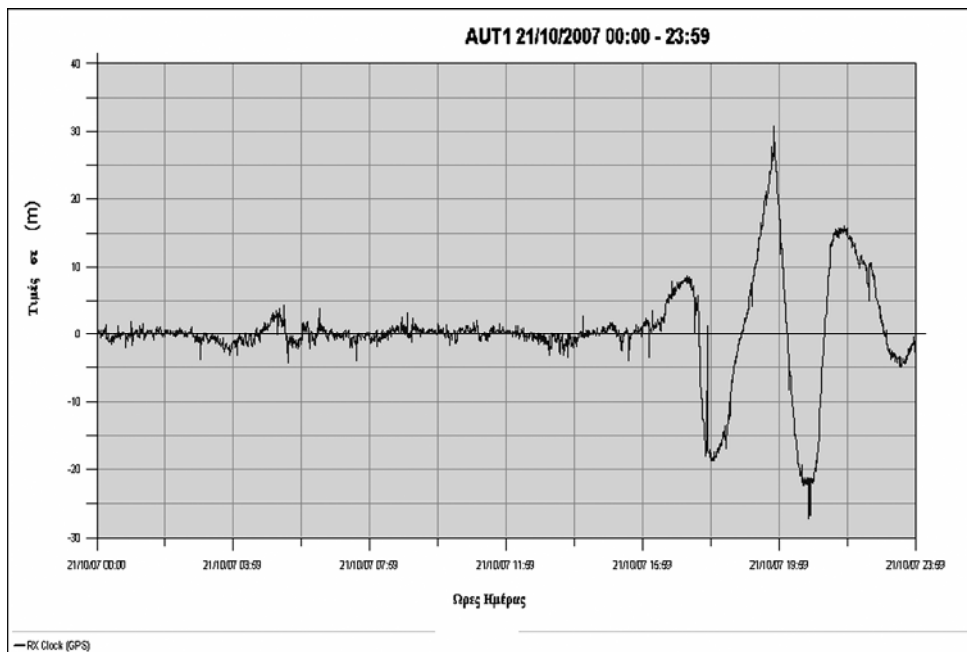
**Σχήμα 6.**

Διάγραμμα αριθμού παρατηρήσεων ανά ημέρα εντός του έτους 2007 στο σταθμό AUT1.



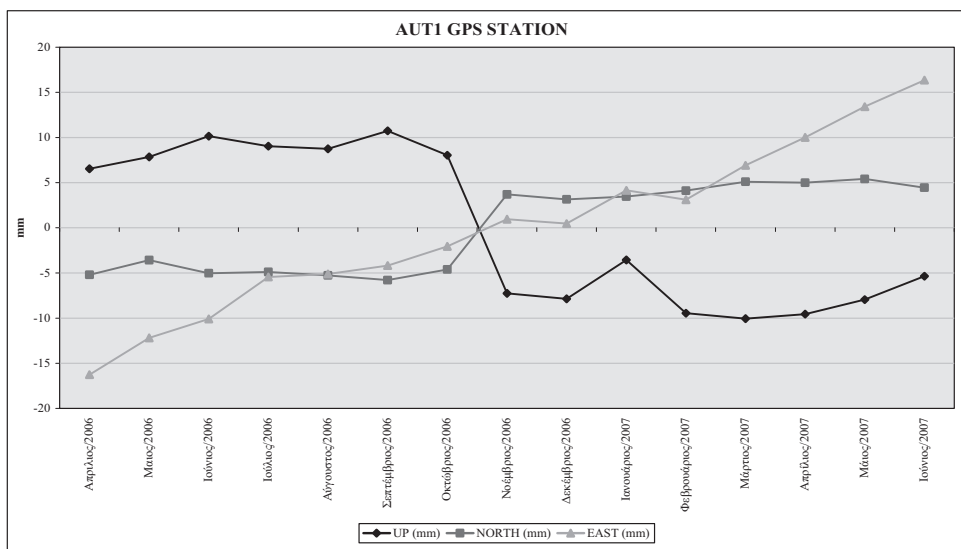
**Σχήμα 7.** Διάγραμμα εκτιμήσεων χρονικών μεταθέσεων του χρονομέτρου στον AUT1 στις 10/9/07





**Σχήμα 8.** Διάγραμμα εκτιμήσεων χρονικών μεταθέσεων του χρονομέτρου στον AUT1 στις 21/10/07

Με σκοπό τόσο την παρακολούθηση της σταθερότητας (site stability) του κάθε μόνιμου σταθμού όσο και την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων, κυρίως για ερευνητικές δραστηριότητες, όπως είναι οι γεωφυσικές και τεκτονικές, το κεντρικό γραφείο εξάγει εβδομαδιαίες λύσεις σχετικά με τη μεταβολή της θέσης των τριών συνιστωσών των καρτεσιανών συντεταγμένων ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) ή γεωδαιτικών ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ), δηλαδή υπολογίζει τις ταχύτητες μετακίνησης. Στο Σχήμα 9 απεικονίζονται οι μηνιαίες διαφορές θέσης από τη μέση τιμή κάθε συνιστώσας που προκύπτει για ένα χρονικό διάστημα δεκαέξι μηνών λειτουργίας του AUT1, εκφρασμένες σε mm έτσι όπως υπολογίστηκαν από κατάλληλη επεξεργασία. Η έντονη μεταβολή που φαίνεται στην κάθετη συνιστώσα μεταξύ Οκτωβρίου και Νοεμβρίου 2006 οφείλεται αποκλειστικά στη μετάβαση από το διεθνές πλαίσιο αναφοράς ITRF05 σε αυτό της IGS με την ονομασία IGS05 και όχι σε πραγματική μετακίνηση.



**Σχήμα 9.** Διάγραμμα μηνιαίων διαφορών θέσης των τριών συνιστωσών από τις μέσες τιμές στον AUT1 για το διάστημα Απρίλιος 2006 - Ιούνιος 2007.

### 3. Συμπεράσματα και προοπτικές

Η εγκατάσταση και λειτουργία μόνιμων σταθμών GPS μεταξύ των οποίων και ο AUT1 αποτελεί μία προηγμένη ερευνητική δραστηριότητα η οποία ολοκληρώνεται ως ένα μεγάλο βαθμό με τη συμμετοχή σε δίκτυα παγκόσμιας κλίμακας.

Η συνεισφορά σε επιστημονικούς οργανισμούς και υπηρεσίες έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη οργάνωση, συλλογή και τρόπο διάθεσης και επεξεργασίας των δεδομένων και των προϊόντων που προκύπτουν, καθώς και την ανταλλαγή τεχνογνωσίας ιδιαίτερα μεταξύ νέων ερευνητών. Η στενή συνεργασία του Ευρωπαϊκού Δικτύου EPN-EUREF με το αντίστοιχο παγκόσμιο δίκτυο της IGS αποτελεί πολύτιμη βοήθεια για την πραγματοποίηση υψηλής ποιότητας αποτελεσμάτων. Ως βήματα αναβάθμισης του AUT1 προτείνονται:

- α) η ταυτόχρονη καταγραφή και μετεωρολογικών δεδομένων και η αξιοποίηση των κατάλληλων ατμοσφαιρικών μοντέλων που έχουν αναπτυχθεί στα οποία η συνεισφορά του AUT1 είχε σημαντικό ρόλο στον έλεγχο της αξιοπιστίας τους.
- β) η συμμετοχή στο Ευρωπαϊκό δίκτυο διάθεσης διαφορικών διορθώσεων μέσω του διαδικτύου (NTRIP-Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) για ακριβή εντοπισμό και ερευνητικούς σκοπούς, όπως π.χ. προσδιορισμός δορυφορικών τροχιών σε πραγματικό χρόνο καθώς και μοντελοποίηση της ιονόσφαιρας.

Η συμπεριφορά σταθερότητας του σταθμού ως προς τη θέση του για το διάστημα των δεκαέξι μηνών που μελετήθηκε εκφράζεται από τις ταχύτητες μετακίνησης κατά της τρεις συνιστώσες: 4.5 mm/έτος κατά N (North), 23.7 mm/έτος κατά E (East) και -1.8 mm/έτος κατά U (UP). Οι τιμές αυτές συγκρινόμενες με τις αντίστοιχες των υπολοίπων σταθμών του δικτύου EUREF βεβαιώνουν την μέχρι στιγμής ‘σταθερή’ πορεία του και κατά συνέπεια, η συμμετοχή του σε ερευνητικές δραστηριότητες με υψηλές απαιτήσεις ακρίβειας στον προσδιορισμό θέσης θεωρείται σημαντική.

## Βιβλιογραφία

1. Chatzinikos, M, Fotiou, A. and Pikridas, C., 2007. *Estimation of site velocities in Greece and surrounding areas using permanent GPS station data*. Paper presented at 1<sup>st</sup> International Workshop on “Advances in understanding crustal deformation in Southern Europe using the Global Positioning System”. 3-5 December, Sofia, Bulgaria.
2. EPN Central Bureau, 2006. *Guidelines for EPN Stations & Operational Centers*. Brussels, pp. 14.
3. Leica, 2006. *GNSSQC UserManual*, version 1.1. Heerbrugg, Switzerland.
4. Takacs, B. and Bruyninx, C., 2001. *Quality Checking the Raw Data of the EUREF Permanent Network*. Presented at the EUREF Symposium, 16-18 May, Dubrovnik, Croatia.
5. Φωτίου, Α. και Πικριδάς, Χ., 2005. *Οι σύγχρονες εξελίξεις στον προσδιορισμό θέσης με τα παγκόσμια δορυφορικά συστήματα πλοήγησης - GNSS*. Πρακτικά συνεδρίου με θέμα “Η εξέλιξη των οργάνων, των μεθόδων και των συστημάτων μετρήσεων των επιστημών της αποτύπωσης στην Ελλάδα”. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ. 513-523.
6. Φωτίου, Α. και Πικριδάς, Χ., 2006. *GPS και Γεωδαιτικές Εφαρμογές*. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ. 320.
7. Φωτίου, Α., 2007. *Γεωμετρική Γεωδαισία και Δίκτυα*. Θεωρία και Πράξη. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ. 467.