

**ΕΜΠΕΙΡΙΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ  
ΘΕΣΗΣ ΣΤΙΣ ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ**

**Κατσάμπαλος, Ε.Ε.\* και Σαββαΐδης, Π.Δ.\*\***

\* Αναπληρωτής Καθηγητής, Τομέας Γεωδαισίας και Τοπογραφίας, Τμήμα Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, ΤΘ ΑΠΘ 469, 540 06 Θεσσαλονίκη

\*\* Επίκουρος Καθηγητής, Εργαστήριο Γεωδαισίας, Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΤΘ ΑΠΘ 465, 540 06 Θεσσαλονίκη

**Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Η**

Παρουσιάζονται δύο εφαρμογές του Παγκόσμιου Συστήματος Εντοπισμού θέσης (GPS) στον Ελληνικό χώρο, με έμφαση στις δυνατότητες προσδιορισμού μικρομετακινήσεων του στερεού φλοιού της γης και κατ' επέκταση την παροχή πληροφορίας γεωμετρικού και δυναμικού περιεχομένου στη γεωδυναμική, στην εφαρμοσμένη γεωφυσική και στη σεισμολογία. Δίνονται λεπτομέρειες για τη μετατροπή των παρατηρήσεων των δεκτών σε ποσότητες συγκρίσιμες με τα κλασικά γεωδαιτικά δεδομένα. Περιγράφονται και αναλύονται οι μετρήσεις με ένα ζεύγος δεκτών Ashtech M-XII στην περιοχή Περιστερίου (Κιλκίς) και με ένα ζεύγος δεκτών Wild System 200 στην κεντρική Θεσσαλία.

**EXPERIENCE FROM GPS APPLICATIONS FOR GEODYNAMICAL STUDIES  
IN GREECE**

**Katsambalos, K.E. and Savvaidis, P.V.**

**A B S T R A C T**

Two applications of the Global Positioning System in Greece are presented. Emphasis is put on its capabilities to fully exploit such precise measurements for the determination of crustal deformations and supplying vital geometric and dynamic information to geodynamics, applied geophysics and seismology. Details on the transformations of GPS results to quantities comparable to existing classical geodetic ones are given. Data collected with a pair of Ashtech M-XII receivers at Peristerion, (Kilkis, Greece) and with a pair of Wild System 200 receivers in central Thessalia are presented and analyzed.

**ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Οι δυνατότητες εφαρμογών του Παγκόσμιου Συστήματος Εντοπισμού θέσης (GPS - Global Positioning System) συνεχίζουν να αναπτύσσονται σε πολλούς επιστημονικούς τομείς. Το GPS αποτελεί

το πλέον ακριβές σύστημα παροχής στοιχείων θέσης, ταχύτητας και χρόνου σε συνεχή λειτουργία, ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών, οπτικής επαφής και χωρίς ουσιαστικούς περιορισμούς για τη θέση του εντοπιζόμενου σημείου. Άρκει η κεραία του δέκτη να παρακολουθεί απρόσκοπτα για κάποιο χρονικό διάστημα (μερικών λεπτών έως μερικών ωρών) διαμορφωμένα σήματα και κώδικες εκπεμπόμενα από κάποιους από τους δορυφόρους του συστήματος, αλλά κατανεμημένους επάνω από τον ορίζοντα του τόπου. Η θεωρητική και λειτουργική τεκμηρίωση του συστήματος έχει αναλυθεί σε πολλά εγχειρίδια (π.χ. Leick, 1990; Παραδείσης, 1992).

Το GPS έχει αποδειχθεί πολύτιμο στην παρακολούθηση των μικρομετακινήσεων τεκτονικών πλακών, στις γεωφυσικές διασκοπήσεις, στην πλοήγηση σε ξηρά, σε θάλασσα και σε αέρα, στη γεωηλεκτρική, μαγνητική και γεωχημική χαρτογράφηση, στην έρευνα για ανεύρεση ορυκτών πόρων, στην παρακολούθηση και χαρτογράφηση περιβαλλοντικών καταστροφών και παραμορφώσεων τεχνικών έργων σε πραγματικό χρόνο, κ.α. Ο εντυπωσιακός περιορισμός του κόστους αγοράς των δεκτών του συστήματος, θα έχει πολύ μεγάλη επίδραση σε όλο το φάσμα της οικονομικής, πολιτικής και κοινωνικής ζωής, πέρα από τις ήδη γνωστές τεχνολογικές επιδράσεις σε πολλούς επιστημονικούς τομείς. Στις εργασίες του διεθνούς συνεδρίου που πραγματοποιήθηκε στα Χανιά (8-10 Ιουνίου 1992, Πρακτικά υπό έκδοση) με θέμα "Global Positioning System in Geosciences", παρουσιάστηκαν πλήθος εισηγήσεων σε όλη την έκταση των εφαρμογών του συστήματος.

Μέσα στους στόχους αυτής της εργασίας είναι και η περιγραφή των απαραίτητων διαδικασιών επεξεργασίας των αποτελεσμάτων που προσφέρει το σύστημα έτσι, ώστε τα αποτελέσματα αυτά να είναι αξιοποιήσιμα και συσχετίσιμα με την κλασική γεωδαιτική και χαρτογραφική υποδομή που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα. Με άλλα λόγια, τόσο οι συντεταγμένες όσο και οι αποστάσεις που προσφέρει το GPS θα πρέπει να υποστούν ορισμένους μετασχηματισμούς και συγκεκριμένες αναγωγές, προκειμένου να συνδυαστούν με υπάρχοντα γεωδαιτικά στοιχεία, πριν από οποιαδήποτε περαιτέρω ανάλυση. Επιπλέον, περιγράφονται τα προκαταρκτικά αποτελέσματα της πρώτης φάσης των μετρήσεων στην κεντρική θεσσαλία με στόχο τη μελλοντική διαχρονική παρακολούθηση τεκτονικών μικρομετακινήσεων στην περιοχή με τη χρήση του συστήματος GPS.

#### ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΙΚΡΩΝ ΒΑΣΕΩΝ GPS - ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΑΝΑΓΩΓΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

Οι παρατηρήσεις με ένα ζεύγος δεκτών Ashtech M-XII που πραγματοποιήθηκαν στις 19-6-1992 στο Περιστέρι (Κιλκίς) είχαν τους εξής στόχους:

1. Τον προσδιορισμό διανυσμάτων μικρού μήκους (100-1000 m) και της σχετικής θέσης των δύο άκρων με έμφαση στην υψομετρική τους διαφορά, μέσω της ψευδο-κινηματικής τεχνικής (pseudo-kinematic mode). Στην περίπτωση αυτή, ο ένας δέκτης λειτουργεί στον σταθμό αναφοράς (reference point) καταγράφοντας συνεχώς παρατηρήσεις, ενώ ο δεύτερος δέκτης επισκέπτεται διαδοχικά τα άλλα σημεία για δυο σειρές παρατηρήσεων των 10-15 λεπτών που απέχουν 1-2 ώρες.

2. Την εφαρμογή της στατικής τεχνικής (static mode), με συνεχείς παρατηρήσεις τουλάχιστον μιας ώρας για κάθε

προσδιοριζόμενο διάνυσμα και τη σύγκριση με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της ψευδο-κινηματικής τεχνικής.

3. Τη σύγκριση των αποτελεσμάτων του GPS με τα επίσημα στοιχεία που παρέχει ο αρμόδιος κρατικός φορέας (π.χ. η Τοπογραφική Υπηρεσία του Υπ. Γεωργίας), λαμβανομένων υπόψη των απαραίτητων γεωδαιτικών μετασχηματισμών και αναγωγών.

4. Τη σύγκριση των μηκών των διανυσμάτων που δίνει το GPS με εκείνα που μετρώνται με ηλεκτρονικά συστήματα μέτρησης αποστάσεων (EDM) μεγάλης ακριβείας, όπως είναι π.χ. το σύστημα υπερύθρων ακτίνων Wild DI2000 (1mm +/- 1ppm). Το σύστημα GPS βεβαίως στην περίπτωση αυτή υπερτερεί, αφού δεν απαιτεί την οπτική επαφή των άκρων του μετρούμενου διανύσματος.

5. Τη σύγκριση των υψομετρικών διαφορών απομεμακρυσμένων (και ενδεχομένως όχι αμοιβαία ορατών) σημείων που προσδιορίζονται από το GPS, με αποτελέσματα κλασικών τοπογραφικών διαδικασιών, όπως είναι, π.χ. η τριγωνομετρική υψομετρία.

6. Τη διερεύνηση των δυνατοτήτων αξιοποίησης ενός συστήματος GPS στην καθημερινή εργασία πεδίου του γεωδαίτη, του γεωεπιστήμονα ή του μηχανικού, με έμφαση στην ελληνική πραγματικότητα με τα πλημμελώς συσχητισμένα συστήματα αναφοράς (geodetic data) και με τα δεκάδες προβολικά συστήματα. Εδώ το κύριο ενδιαφέρον εστιάζεται, όχι μόνο στον ταχύ προσδιορισμό των (γεωγραφικών) συντεταγμένων των θέσεων μέτρησης στοιχείων του βαρυτικού ή του μαγνητικού πεδίου ή των θέσεων της εγκατάστασης πάσης φύσεως γεωφυσικών παρατηρητηρίων (observatories), αλλά και στη δυνατότητα μετασχηματισμού των συντεταγμένων που προσφέρει το GPS από το σύστημα WGS-84 (Kumar 1988; Mertikas and Koutrakis, 1990) σε κάποιο από τα χρησιμοποιούμενα εν Ελλάδα τέσσερα συστήματα:

ED-50 (ελλειψοειδές Hayford),  
παλαιό και νέο Ελληνικό datum (ελλειψοειδές Bessel),  
ΕΓΣΑ-87 ή GGRS-87 (ελλειψοειδές GRS-80).

και σε μια από τις πολλές χαρτογραφικές προβολές:

UTM (6° μοιρών) σε δύο ζώνες (34 και 35),  
Hatt με εκατοντάδες ανεξάρτητα προβολικά συστήματα  
30'x30' και 6'x6',  
TM (3° μοιρών) σε τρεις ζώνες,  
TM (6° μοιρών) σε μία ζώνη.

Ως πεδίο μετρήσεων επελέγη η περιοχή του νέου γεωδαιτικού δικτύου 50 τριγωνομετρικών σημείων (σχήμα 1) που εγκαταστάθηκε πρόσφατα από το ΤΑΤΜ-ΑΠΘ στο Περιστέρι (Κιλκίς), με γνώμονα την ύπαρξη γεωδαιτικών στοιχείων μεγάλης ακριβείας. Το τριγωνομετρικό T1 "Συνοικισμός" χρησιμοποιήθηκε ως σημείο αναφοράς για τις μετρήσεις φάσης στη συχνότητα L1 του GPS στον ψευδο-κινηματικό και στον στατικό προσδιορισμό των άλλων σημείων. Οι παρατηρήσεις στους δορυφόρους (με γωνία αποκοπής, cut-off angle = 10° μοίρες) καταγράφονταν στη μνήμη ανά 5 δευτερόλεπτα. Στον Πίνακα (1) δίνονται:

1. Οι κωδικοί των άκρων των διανυσμάτων.
2. Η χρονική διάρκεια των μετρήσεων στις δύο σειρές παρατηρήσεων (σε λεπτά της ώρας).

3. Η υψομετρική διαφορά από τριγωνομετρική υψομετρία (ακρίβεια  $\pm 5$  cm).

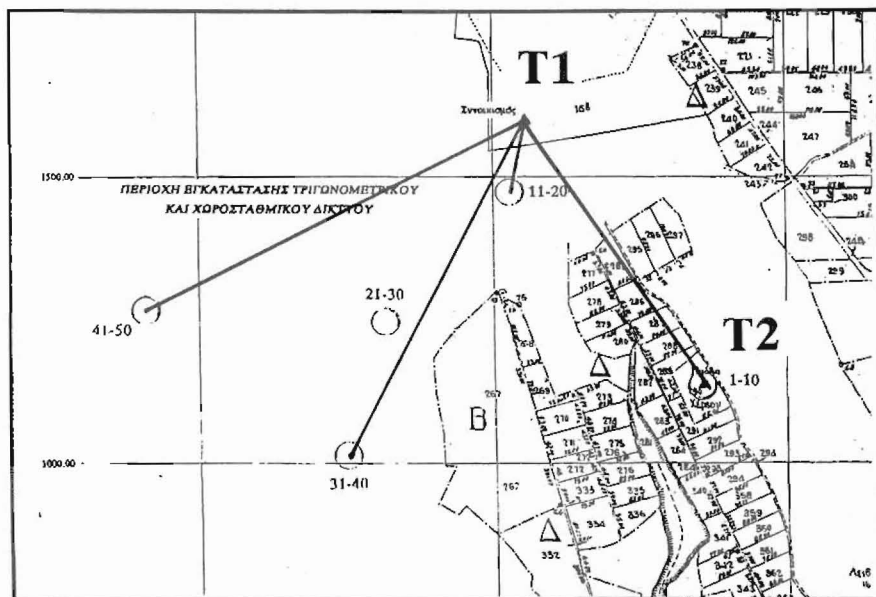
4. Η υψομετρική διαφορά που προκύπτει από το GPS.

5. Η κεκλιμένη απόσταση που μετρήθηκε με EDM Wild DI2000 ακρίβειας 1mm  $\pm 1$ ppm.

Λαμβανομένων υπ' όψη των σφαλμάτων (οπτικής) κέντρωσης οργάνου και ανακλαστήρα, η ολική ακρίβεια όλων των αποστάσεων εκτιμάται περίπου ίση με  $\pm 5$ mm.

6. Η κεκλιμένη απόσταση που μετρήθηκε με το GPS και η ακρίβεια που προκύπτει από την ανάλυση των παρατηρήσεων με το πακέτο επεξεργασίας GPPS της εταιρείας Ashtech.

Από τα αποτελέσματα στον Πίνακα (1) φαίνεται ότι ο προσδιορισμός των υψομετρικών διαφορών από το GPS συμφωνεί εντός μερικών μόλις εκατοστών του μέτρου με τις υψομετρικές διαφορές που προσδιορίζονται με κλασικές τοπογραφικές εργασίες. Ταυτόχρονα, ο προσδιορισμός της απόστασης των σημείων στο χώρο γίνεται με ακρίβεια 1-2 εκατοστών του μέτρου και μάλιστα σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα (15-30 λεπτά παρατηρήσεων), χωρίς την ανάγκη οπτικής επαφής ανάμεσα στα δύο σημεία, ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών και ώρας. Αρκεί μόνον να υπάρχει καλή γεωμετρία των δορυφόρων του συστήματος, κάτι το οποίο ο χρήστης μπορεί να διαπιστώσει και κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.



Σχ.1. Η περιοχή του γεωδαιτικού δικτύου στο Περιστέρι (Κιλκίς)

**Πίνακας 1.** Σύγκριση αποτελεσμάτων από μετρήσεις στο Περιστέρι (Κιλκίς) με Wild-EDM και Ashtech-GPS (ψευδο-κινηματική διαδικασία).

Από/ Πρός	Φάση:		ΔH	ΔH	Μήκος διανύσματος:			
	I	II	EDM	GPS	EDM	GPS		
	minutes		m	m	m	m	m	m
T1 T2	10	8	-18.21	-18.172	552.772	+/-0.005	552.795	+/-0.025
	11	13 10	3.01	3.101	131.147	0.005	131.160	0.024
	13	11 11	3.61	3.694	130.188	0.005	130.199	0.030
	16	14 9	4.04	4.037	129.353	0.005	129.269	0.022*
	20	9 9	3.74	3.828	129.232	0.005	129.238	0.023
	40	29 10	-15.29	-15.234			651.742	0.031#
	41	10 9	-5.75	-5.733	730.340	0.005	730.353	0.022

Παρατηρήσεις: \* : Όχι καλή γεωμετρία δορυφόρων.  
# : Σταθμοί όχι αμοιβαία ορατοί.

**Πίνακας 2.** Σύγκριση αποτελεσμάτων από μετρήσεις στο Περιστέρι (Κιλκίς) με Wild-EDM και Ashtech-GPS Στατική διαδικασία μεταξύ T1 και T2 (60 λεπτά παρατηρήσεις).

Cut-off angle (deg)	Υψομ. διαφορά:		Μήκος Διανύσματος:	
	EDM	GPS	EDM	GPS
	m	m	m	m
10	-18.21	-18.168	552.772 +/-0.005	552.794 +/-0.028
15	-18.21	-18.168	552.772 +/-0 005	552.794 +/-0.028

Τα αποτελέσματα του Πίνακα (2) (μετρήσεις με στατική διαδικασία) ουσιαστικά επιβεβαιώνουν τα αποτελέσματα του Πίνακα (1), δείχνοντας ότι με καλή γεωμετρία δορυφόρων, μισή μόνον ώρα παρατηρήσεων στην ψευδο-κινηματική διαδικασία μπορεί να προσφέρει της ίδιας τάξης ακρίβεια με την στατική διαδικασία. Η επίδραση της γωνίας αποκοπής φαίνεται να είναι αμελητέα, ενώ το μήκος του διανύσματος T1-T2 άλλαξε μόλις 1 mm. Στην προκειμένη περίπτωση, το GPS προσφέρει υψομετρική διαφορά εντός του διαστήματος εμπιστοσύνης (5 cm) της τριγωνομετρικής υψομετρίας ανάμεσα στα σημεία T1 και T2. Η ακρίβεια αυτή στον προσδιορισμό υψομετρικών διαφορών αντιστοιχεί περίπου σε μεταβολή βαρύτητας 10  $\mu\text{gal}$  (κατακόρυφη βαθμίδα 0.308  $\mu\text{gal/m}$ ).

Στον Πίνακα (3) παρουσιάζονται διάφορες ομάδες συντεταγμένων των σημείων T1 και T2 σε ορισμένα από τα συστήματα αναφοράς που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα καθώς και στο σύστημα WGS-84 του GPS.

(I). Στην ομάδα αυτή δίδονται οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των δύο τριγωνομετρικών στο WGS-84, όπως αυτές προκύπτουν από την επεξεργασία των δεδομένων από το πακέτο GPPS της Ashtech. Πρέπει να τονιστεί ότι το σημειούμενο υψόμετρο είναι το γεωμετρικό υψόμετρο επάνω από το χρησιμοποιούμενο ελλειψοειδές αναφοράς (το

GRS- 80 στην προκειμένη περίπτωση, βλ. Moritz, 1984). Η σχέση ανάμεσα στο γεωμετρικό (h) και στο ορθομετρικό υψόμετρο (H) οδηγεί στον ορισμό της αποχής του γεωειδούς (geoid undulation, βλ. Κατσάμπαλος και Τζιαβός, 1991):

$$h = H + N$$

Δεδομένου ότι η αποχή του γεωειδούς στο GRS-80 εκτιμήθηκε από το διάγραμμα του ΟΚΧΕ (1987) ίση με 43.5m στην περιοχή των μετρήσεων, προκύπτει ότι στο τριγωνομετρικό T1 το ορθομετρικό υψόμετρο είναι H1 = 305.0 m περίπου. Η τιμή αυτή διαφέρει κατά 15 m από το υψόμετρο 290.1 m που προκύπτει από τα στοιχεία της αρμόδιας υπηρεσίας (ΤΥΥΓ, H2 = 271.95 m ). Συνεπώς, το απόλυτο υψόμετρο που δίνει το GPS είναι ικανοποιητικό για όσες εφαρμογές απαιτούν ακρίβεια της τάξης 10-20 m, εφόσον διατίθεται τιμή για την αποχή του γεωειδούς.

**Πίνακας 3.** Σύγκριση Συντεταγμένων των T1 και T2 στα Γεωδαιτικά Συστήματα: WGS-84, ΕΓΣΑ-87, Παλαιό Ελληνικό datum.

		T1	T2
(I)		Αποτελέσματα από το GPPS της Ashtech	
WGS-84	φ	40° 51' 54'' .54723	40° 51' 39'' .58308
(GPS)	λ	22° 57' 25'' .64994	22° 57' 38'' .61113
	h	348.5006	330.3328
(II)		Από τις (I) με αλλαγή datum	
ΕΓΣΑ-87	φ	40° 51' 45'' .23456	40° 51' 30'' .27047
	λ	22° 57' 19'' .38595	22° 57' 32'' .34710
	h	304.50	286.34
(III)		Κέντρο Φύλλου: 40° 51' , -0° 45'	
Hatt	X	-947.487	-644.05
	Y	1598.494	1136.83
(IV)		Κέντρο Φύλλου: 40° 45' , -0° 45' (Αλλαγή Φύλλου)	
Hatt	X	-947.487	-644.050
	Y	12702.291	12240.627
(V)		Από τις (IV) μέσω πολυωνυμικού μετασχηματισμού	
ΕΓΣΑ-87	E	411960.823	412258.695
	N	4524017.782	4523552.703
(VI)		Από τις (V) μέσω προβολικών εξισώσεων	
ΕΓΣΑ-87	φ	40° 51' 44'' .9748	40° 51' 30'' .0096
	λ	22° 57' 19'' .2829	22° 57' 32'' .2480

Σημ. Τα φ, λ δίνονται σε μοίρες, πρώτα και δεύτερα λεπτά και τα x, y, E, N, h σε m

(II) Στην ομάδα αυτή δίδονται οι γεωδαιτικές συντεταγμένες των τριγωνομετρικών T1 και T2 στο σύστημα ΕΓΣΑ-87 (ελλειψοειδές GRS-80) που είναι μετατοπισμένο παράλληλα προς το WGS-84 (ομώνυμο ελλειψοειδές), έτσι ώστε να προκύπτουν μικρές αποχές του γεωειδούς σε όλη την Ελλάδα. Η σχέση ανάμεσα στα δύο (παράλληλα) συστήματα δίνεται από τους Mertikas και Koutrakis (1990). Αξίζει και πάλι να σημειωθεί ότι το γεωμετρικό υψόμετρο του T1 είναι τώρα στο ΕΓΣΑ-87 ίσο με 304.5m. Εάν από αυτό αφαιρεθεί η αποχή του γεωειδούς αναφορικά με το ΕΓΣΑ-87 (εκτίμηση από το διάγραμμα του ΟΚΧΕ, 1987,  $N=-0.8m$  περίπου), προκύπτει ως ορθομετρικό υψόμετρο του T1 η τιμή  $H=305.3m$ . Η μικρή ασυμφωνία των ορθομετρικών υψομέτρων του T1 στις ομάδες (I) και (II), δηλαδή

$$305 - 305.3 = -0.3m$$

δείχνει τον βαθμό αξιοπιστίας των λύσεων του γεωειδούς στον Ελληνικό χώρο. Πάντως, θα πρέπει να επισημανθεί ότι παρότι τα δύο ελλειψοειδή αναφοράς (GRS-80 και WGS-84) έχουν την ίδια ισημερινή ακτίνα (a), διαφέρουν ελαφρά σε επιπλάτυση (Moritz, 1984; Kumar, 1988; DMA, 1987):

GRS-80 (ΕΓΣΑ-87)	a = 6378137. m	1/f = 298.257222101
WGS-84	a = 6379137. m	1/f = 298.257223563

μια διαφορά στην οποία δεν δίνεται η πρόποσα σημασία από διάφορους μελετητές.

(III). Δίδονται οι συντεταγμένες των τριγωνομετρικών στην προβολή Hatt σε φύλλο χάρτη 6'x6' στο παλαιό Ελληνικό datum (αναφορικά με το ελλειψοειδές του Bessel). Οι τιμές αυτές χορηγούνται από τις αρμόδιες υπηρεσίες.

(IV) Γίνεται η λεγόμενη "αλλαγή κέντρου φύλλου χάρτη", και δίδονται οι συντεταγμένες των τριγωνομετρικών σε προβολή Hatt, αλλά σε χάρτη 30'x30' (κλίμακα 1:100000). Ο μετασχηματισμός μπορεί να γίνει είτε με συμβατικές διαδικασίες (προβολικές εξισώσεις), ή μέσω πινάκων (Κατσάμπαλος και Φωτίου, 1986).

(V) Οι συντεταγμένες της ομάδας (IV) μετασχηματίζονται στην προβολή TM-6 του ΕΓΣΑ-87, χρησιμοποιώντας έναν πολυωνυμικό μετασχηματισμό που περιγράφεται από τους Βλάχος κ.ά. (1992).

(VI) Τέλος οι συντεταγμένες της ομάδας (V) μετασχηματίζονται σε γεωδαιτικές συντεταγμένες στο ΕΓΣΑ-87, χρησιμοποιώντας τις προβολικές εξισώσεις της TM-6.

Συγκρίνοντας τώρα τις (απόλυτες) γεωδαιτικές συντεταγμένες στο ΕΓΣΑ-87 (ομάδα - II) που προκύπτουν από το GPS, με τις αντίστοιχες τιμές (ομάδα - VI) που προκύπτουν μετά από σειρά μετασχηματισμών από τις "επίσημες" τιμές (ομάδα - III), διαπιστώνουμε μια συμφωνία της τάξης (σε φ και λ) 0.1 - 0.2 arcsec, που αντιστοιχεί σε μήκος περίπου 2.5-5 μέτρων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μεγάλη αυτή ακρίβεια στην περίπτωση απόλυτου εντοπισμού είναι συμπωματική, αφού το GPS παρέχει συντεταγμένες με ακρίβεια 10-20 μέτρων.

Η απόσταση που προκύπτει για τη βάση T1 - T2 από τις κρατικές συντεταγμένες (ομάδες III ή IV στον Πίνακα 3) είναι  $s(\text{Hatt}) = 552.456\text{m}$  και αναφέρεται επάνω στο χαρτογραφικό επίπεδο. Προκειμένου να συγκριθεί αυτή η απόσταση με την μετρημένη  $s(\text{GPS}) = 552.794\text{m}$ , θα πρέπει να γίνουν ορισμένες αναγωγές. Αρχικά η κεκλιμένη στο χώρο  $s(\text{GPS})$  ανάγεται στο οριζόντιο επίπεδο ( $\Delta H = 18.17\text{m}$ ) με την σχέση:

$$s_o = \sqrt{s_{\text{GPS}}^2 - \Delta H^2} = 552.495\text{m}$$

και μετά στη χορδή του ελλειψοειδούς αναφοράς από την προσεγγιστική σχέση:

$$s' = s_o \left(1 - \frac{h_{\text{mean}}}{R}\right) = 552.469\text{m}$$

Ακριβέστερες σχέσεις υπάρχουν στα εγχειρίδια της γεωδαισίας (π.χ. Leick, 1990).

Η διαφορά:

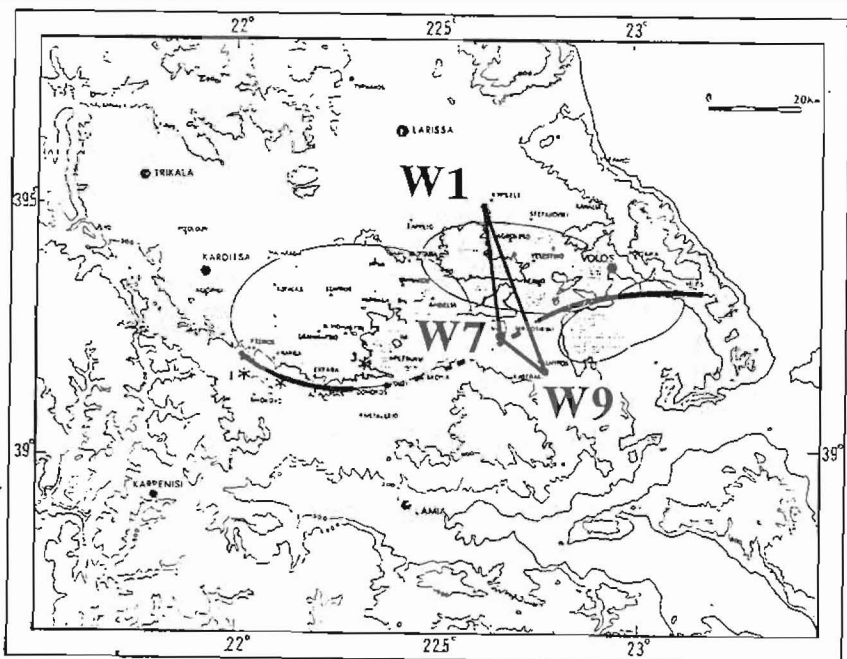
$$s_{(\text{Hatt})} - s' = 13\text{ χιλιοστά του μέτρου !}$$

επιβεβαιώνει το επίπεδο συμφωνίας του GPS με τα επίσημα γεωδαιτικά στοιχεία στη συγκεκριμένη βέβαια περιοχή.

#### ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕΓΑΛΩΝ ΒΑΣΕΩΝ GPS ΓΙΑ ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

Οι παρατηρήσεις με ζεύγος δεκτών Wild GPS System-200, πραγματοποιήθηκαν στις 4-10-1992 ως η πρώτη φάση προσδιορισμού της σχετικής θέσης τριών σημείων (σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις 10-40 km, βλ. Σχήμα (2)) στην κεντρική Θεσσαλία, για τη διαχρονική παρακολούθηση μικρομετακινήσεων εκατέρωθεν του τεκτονικού ρήγματος "Σοφάδες - Βόλος" (Parazachos, et. al. 1992). Δυστυχώς, η έλλειψη των απαραίτητων κονδυλίων δεν επέτρεψε τη μέτρηση ενός ευρύτερου δικτύου 10-20 κορυφών στην κεντρική Θεσσαλία. Τα τρία σημεία W1, W7, W9 επελέγησαν γιατί έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί σε προγενέστερες φάσεις μετρήσεων GPS στα πλαίσια της συνεργασίας του ΕΜΠ με πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα του εξωτερικού (Billiris et. al. 1992; Δ. Παραδείσης, προσωπική επικοινωνία), αλλά δεν έχει ακόμη ολοκληρωθεί η επεξεργασία των δεδομένων.

Ακολουθήθηκε η στατική διαδικασία (static mode) με καταγραφή μετρήσεων φάσης στις συχνότητες L1 + L2 ανά 5 δευτερόλεπτα. Εκτιμήθηκαν από χάρτη 1:50,000 προσεγγιστικές συντεταγμένες (στο ED-50) για το σημείο W7, οι οποίες μετασχηματίστηκαν σε γεωδαιτικές συντεταγμένες στο WGS-84. Με σημείο αναφοράς (reference point) το W7, έγινε ο σχετικός προσδιορισμός των συντεταγμένων των άλλων δύο σημείων W1 και W9 (Πίνακας 4) και των μηκών των διανυσμάτων στον χώρο. Με σημείο αναφοράς το W1, προσδιορίστηκαν και πάλι οι συντεταγμένες του W9, για σύγκριση με αυτές που προέκυψαν από τον προηγούμενο προσδιορισμό.



Σχ.2. Η περιοχή των τριών σημείων ελέγχου στην κεντρική Θεσσαλία (Parazachos et. al. 1992, fig.4)

Αν και η ακρίβεια των μηκών των διανυσμάτων εκτιμάται από το πακέτο επεξεργασίας (SKI) στην τάξη του 1-3 mm (0.1 ppm), η σύγκριση των συντεταγμένων για το σημείο W9 δείχνει μια συνολική (από δύο προσδιορισμούς) αβεβαιότητα της τάξης των 6 cm κατά πλάτος και 1 cm κατά μήκος, που δεν απέχει πολύ από την ονομαστική (5mm +/- 1ppm) ακρίβεια των χρησιμοποιηθέντων δεκτών.

Πίνακας 4. Συντεταγμένες (WGS-84) σημείων στη Θεσσαλία από τον σχετικό εντοπισμό με την στατική διαδικασία. Γωνία αποκοπής δεδομένων 10°.

Σταθμός Αναφοράς	Κινητός Σταθμός	Απόσταση στο χώρο
W7 φ = 39° 15' 36'' .13320 λ = 22° 37' 54'' .86295 h = 299.5549	W1 (παρατηρήσεις 90 λεπτών) φ = 39° 29' 25'' .04311 λ = 22° 37' 09'' .96469 h = 127.8313	25587.2680 +/-0.0012
	W9 (παρατηρήσεις 60 λεπτών) φ = 39° 08' 52'' .87905 λ = 22° 48' 43'' .28219 h = 17.1062	19919.7939 +/-0.0006
W1 φ = 39° 29' 25'' .04311 λ = 22° 37' 09'' .96469 h = 127.8313	W9 (παρατηρήσεις 135 λεπτών) φ = 39° 08' 52'' .87664 λ = 22° 48' 43'' .28247 h = 17.0032	41470.5584 +/-0.0033

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων του GPS (συντεταγμένων ή μηκών) με υπάρχοντα κλασικά γεωδαιτικά δεδομένα, απαιτεί λεπτομερείς μετασχηματισμούς και αναγωγές, που όταν εφαρμοστούν φαίνεται ότι εξασφαλίζουν εξαιρετικά ικανοποιητικές ακρίβειες για πολλές εφαρμογές. Ο προσδιορισμός της υψομετρικής διαφοράς ανάμεσα σε δύο σημεία μπορεί να γίνει με μεγάλη ακρίβεια (μερικά εκατοστά) ακόμη και με παρατηρήσεις σε διάστημα λιγότερο της μισής ώρας με την ψευδο-κινηματική διαδικασία. Ο προσδιορισμός όμως του ορθομετρικού υψομέτρου ενός σημείου απαιτεί λεπτομερή γνώση του γεωειδούς, για το οποίο δεν υπάρχει ακόμη ικανοποιητική ανάλυση σε όλο τον ελληνικό χώρο για εφαρμογές GPS. Συνεπώς, η πλήρης αξιοποίηση της καθαρά γεωμετρικής πληροφορίας που προσφέρει το GPS απαιτεί και τη δυναμική πληροφορία που εμπεριέχεται μόνο μέσα σε ένα λεπτομερές μοντέλο του γεωειδούς.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οι μετρήσεις στη Θεσσαλία πραγματοποιήθηκαν με χρηματοδότηση από το Ερευνητικό Πρόγραμμα "Γεωδυναμικές Μελέτες στην κεντρική Ιταλία και Ελλάδα" (Επ. Ερευνών ΑΠΘ, αρ. προγ. 2733), του οποίου επιστημονικός υπεύθυνος είναι ο καθηγητής του ΑΠΘ Β. Παπαζάχος.

Πολύτιμη ήταν η συμβολή του Dr. Θ. Εγγελη (επίκουρος καθηγητής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας) και του Dr. Δ. Παραδείση (επίκουρος καθηγητής του ΤΑΤΜ/ΕΜΠ) για τις συμβουλές τους σε ανάλογα θέματα.

Το ζεύγος δεκτών Ashtech M-XII και το πακέτο επεξεργασίας GPPS (version 4.2.01) παραχωρήθηκαν από την εταιρεία Γ. Οικονομίδης ΕΠΕ για την εκτέλεση και την επεξεργασία των παρατηρήσεων στο Περιστέρι του Κιλκίς. Ο κ. Αν. Χρίστογλου, ΕΔΤΠ-ΤΑΤΜ/ΑΠΘ, συμμετείχε ανιδιοτελώς στις εργασίες πεδίου.

Το ζεύγος δεκτών Wild GPS / System 200 και το πακέτο επεξεργασίας SKI (version 1.055, Nov. 1992) παραχωρήθηκαν από την εταιρεία Infotop για τη εκτέλεση και την επεξεργασία των παρατηρήσεων στη Θεσσαλία. Ο κ. Μ. Γιαννίου (Διπλ. ΑΤΜ) συμμετείχε ανιδιοτελώς στις εργασίες πεδίου.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Βέης, Γ., Μπιλλήρης, Χ., Παραδείσης, Δ., (1992). Σύγκριση Μεταξύ Μετρήσεων και Αποτελεσμάτων Δορυφορικής Γεωδαισίας (GPS) και Μεθόδων Επίγειας Γεωδαισίας. Τεχνικά Χρονικά (ΤΕΕ), Τόμος 12, Τεύχος 2, σελ. 163-187.
- Βλάχος, Δ. κ.α. (1992). Διερεύνηση Μεθόδων Μηχανοργάνωσης Κτηματολογίου και Ταξινόμησης Συναφών Πληροφοριών Γης στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, Ερευνητικό Πρόγραμμα ΕΕΚ/ΟΚΧΕ, 322 σελίδες.
- Billiris, H., Paradisis, D., Veis, G., (1992). Geosciences in Greece with GPS and other Satellite Methods, paper presented to the International Workshop on GPS in Geosciences, 8-10 June 1990, Chania, Greece. Proceedings in print.
- DMA - Defense Mapping Agency (1987). Report DMA-TR-8350-2-A.
- Κατσάμπαλος, Κ., Τζιαβός, Κ., (1991). Φυσική Γεωδαισία. Εκδόσεις

- Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 422 σελίδες .
- Κατσάμπαλος,Κ., Φωτίου,Α., (1986). Μετασχηματισμοί Συντεταγμένων Μεταξύ των Προβολών Hatt και TM-3°. Έκδοση ΤΕΕ/Τμ.Κ.Μ. και ΣΔΑΤΜΒΕ, 118 σελίδες.
- Kumar, Muneendra, (1988). World Geodetic System 1984: A Modern and Accurate Global Reference Frame. Marine Geodesy, Vol. 12, pp. 117-126.
- Leick, A., (1990). GPS Satellite Surveying. John Wiley & Sons, New York, 352 pages.
- Mertikas,S., Koutrakis,S., (1990). Using GPS for Geodetic Positioning in Urban Greece. GPS World, pp. 44-50.
- Moritz,H., (1984). Geodetic Reference System 1980. Bulletin Geodesique, Vol 58, No. 3, pp. 388-398.
- ΟΚΧΕ - Οργανισμός Κτηματολογίου και Χαρτογραφήσεων Ελλάδας (1987). Το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς, Αθήνα.
- Papazachos,B., Hatzidimitriou,P., Karakaisis,G., Papazachos,C., Tsokas,G., (1992). Rarpture Zones and Active Crustal Deformation in Southern Thessalia, central Greece. University of Thessaloniki, Geophysical Laboratory Publ. No 7.
- Παραβείσης,Δ., (1992). The Global Positioning System. Κέντρο Παρακολούθησης Τεχνητών Δορυφόρων Διονύσου / ΕΜΠ. Έκδοση αρ. 8, 47 σελίδες + σχήματα.