

**ΕΘΝΙΚΟΝ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟΝ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΝ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**



ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ - ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

**ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΥ ΝΙΣΥΡΟΥ:
ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ-ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ 1999**

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

**ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΛΑΓΙΟΣ
Καθηγητής**

ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ

Υποβάλλεται στον ΟΑΣΠ

**ΑΘΗΝΑΙ
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 1999**

160/γ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΝΟΨΙΕ	Σελίς
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
ΣΥΝΤΟΜΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	6

Μ Ε Ρ Ο Σ Α

ΔΙΚΤΥΟ GPS	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ - ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	10
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	11
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	12

Μ Ε Ρ Ο Σ Β

ΔΙΚΤΥΟ ΡΑΔΟΝΙΟΥ	15
ΓΕΝΙΚΑ	15
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΚΤΥΟΥ	16
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ RN	17

Μ Ε Ρ Ο Σ Γ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	21
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	23
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	24

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Συνόρθωσις GPS Δικτύου (Ιούνιος 1997)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Συνόρθωσις GPS Δικτύου (Σεπτέμβριος 1999)

ΣΥΝΟΨΙΣ

Προκειμένου να εφαρμοσθούν στοιχειώδεις μέθοδοι παρακολούθησης του ενεργού Ηφαιστείου Νισύρου, εγκατεστάθη το 1997 στην Νίσυρο και την ευρύτερη περιοχή ένα δίκτυο GPS, από τις επαναμετρήσεις του οποίου είναι δυνατόν να παρακολουθείται η παραμόρφωση της περιοχής η οποία προκαλείται από τυχόν άνοδο μάγματος ή/και την εκδήλωση έντονης σεισμικής δραστηριότητας. Η εν λόγω παρατηρηθείσα σεισμικότητα στο παρελθόν (1996/97) έχει τόσο τεκτονική όσο και ηφαιστειακή προέλευση.

Παράλληλα με τις επαναμετρήσεις του GPS δικτύου στην ευρύτερη περιοχή για τον προσδιορισμό των οριζοντίων και κατακορύφων παραμορφώσεων, τις οποίες υφίσταται η περιοχή, μετρείται σε τακτά χρονικά διαστήματα στην Νίσυρο η έκλυση Ραδονίου από ένα δίκτυο μονίμως εγκατεστημένων σταθμών. Κατά τον τρόπον αυτόν παρακολουθούνται τα επίπεδα μεταβολής εκλύσεως Ραδονίου στην περιοχή Νισύρου, στόχος των οποίων είναι η συσχέτιση αυτών με την εκδηλούμενη σεισμική δραστηριότητα στη νήσο και την ευρύτερη περιοχή. Οι ως άνω δραστηριότητες πλαισιώνονται από την πρόσθετη εγκατάσταση ενός μονίμου καταγραφικού σταθμού Ραδονίου στο Μανδράκι Νισύρου, ο οποίος αποστέλλει γεωφυσικά και μετεωρολογικά δεδομένα ταυτόχρονα (real-time) στο Πανεπιστήμιο Αθηνών, τή χρήση και εφαρμογή της πλέον μοντέρνας (state-of-the-art) δορυφορικής τεχνολογίας. Οι εν λόγω τιμές εκλύσεως Ραδονίου και η στενή παρακολούθηση του επιπέδου μεταβολής αυτών αναμένεται να συμβάλει στην διερεύνηση και συσχέτισή τους με την εκδήλωση τυχόν σεισμικότητας στην ευρύτερη περιοχή.

Από την επαναμέτρηση του GPS δικτύου και το 1999, προκύπτει ότι, όπως και το 1998, δεν έχει λάβει χώρα σημαντική οριζόντια παραμόρφωση στην περιοχή. Η παρούσα κατά συνέπεια παραμόρφωση που σήμερα (Δεκ. 1999) παρατηρείται είναι εκείνη η οποία παραμένει στην Νίσυρο από το τέλος 1997, μετά το πέρας της σεισμικής έξαρσης στην Νίσυρο και την ευρύτερη περιοχή, η οποία ελέγχεται από δύο κύριες ρηξιγενείς ζώνες της νήσου. Η προηγούμενη (1997) σημειωθείσα ανύψωση όλων των σταθμών του GPS δικτύου (20-40 mm) φαίνεται ότι υποχωρεί στα προηγούμενα της κρίσης κανονικά επίπεδα. Εξαίρεση ακόμη αποτελούν οι σταθμοί του δικτύου στο βόρειο και δυτικό άκρο της νήσου, οι οποίοι διατηρούν τον ανυψωτικό τους χαρακτήρα (περί τα 20 mm).

Το επίπεδο έκλυσης ραδονίου στην Νίσυρο δεν φαίνεται να έχει αυξηθεί. Αντιθέτως, σταθμοί οι οποίοι συστηματικά παρουσίαζαν μεγάλες (σε τάξη μεγέθους) τιμές έκλυσης ραδονίου, προς το παρόν δείχνουν τιμές στο ήμισυ. Οι παρατηρήσεις αυτές είναι συμβατές με την σεισμικότητα η οποία καταγράφεται στην περιοχή και είναι ομολογουμένως σε χαμηλά επίπεδα.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το Ηφαίστειο Νισύρου, μαζί με αυτό της Σαντορίνης, συνιστούν τα πλέον ενεργά ηφαίστεια για τον Ελληνικό χώρο. Είναι λοιπόν πολύ φυσικό να επικεντρώνεται η επιστημονική έρευνα σε αυτούς τους δύο χώρους, τόσο για την διερεύνηση της δομής των εν λόγω ηφαιστείων, όσο και για την εφαρμογή επιστημονικών μεθόδων παρακολούθησης αυτών, προκειμένου να καταστεί εφικτός ο υπολογισμός τυχόν ηφαιστειακού κινδύνου και άλλων συναφών παραμέτρων.

Οι πλέον πρόσφατες πολυκλαδικές γεωφυσικές έρευνες στην ευρύτερη περιοχή του ΝΑ άκρου του Ελληνικού Ηφαιστειακού Τόξου (Κως, Νίσυρος) έγιναν στα πλαίσια διερεύνησης και εκτίμησης του γεωθερμικού δυναμικού της Κω (Lagios et al. 1994, Lagios et al. 1998), όπως και του προσδιορισμού της γεωτεκτονικής και γεωηλεκτρικής δομής του γεωθερμικού πεδίου υψηλής ενθαλπίας στη Νίσυρο (Λάγιος 1991; Dawes & Lagios 1991; Lagios & Apostolopoulos 1995).

Στα πλαίσια της γεωθερμικής έρευνας, έγιναν οι πρώτες μετρήσεις ραδονίου (Rn) στον κρατήρα "Στέφανος" της Νισύρου

(Κοσμάτος κ.ά. 1992, Liritzis et al. 1995), προκειμένου να εντοπισθούν ρήγματα με ενεργό κυκλοφορία υδροθερμικών ρευστών.

Η έναρξη όμως σεισμικής δραστηριότητας κατά το 1996/97 στην ευρύτερη (θαλάσσια) περιοχή, ως και ενεργοποίηση ενός ρήγματος διερχομένου δια του οικισμού του Μανδρακίου (Νίσυρος), προσήλκυσε το επιστημονικό ενδιαφέρον, αλλά και κατέδειξε την έλλειψη μεθοδολογιών επιστημονικής παρακολούθησης του ενεργού Ηφαιστείου της Νισύρου. Λόγω ακριβώς της ως άνω αιτίας, κατά το 1997 εγκαταστάθηκαν από το Πανεπιστήμιο Αθηνών τα πρώτα δίκτυα παρακολούθησης του Ηφαιστείου Νισύρου. Κατά πρώτον υπήρξε το Δίκτυο GPS για την μελέτη της παραμόρφωσης της ευρύτερης περιοχής (οριζόντια και κατακόρυφη), το οποίο επαναμετράται τουλάχιστον ετησίως. Κατά δεύτερον, συνεστήθη ένα δίκτυο μέτρησης της έκλυσης Ραδονίου στη Νίσυρο, το οποίο σχετίζεται περισσότερο με την έκλυση της σεισμικής ενέργειας στην εν λόγω περιοχή.

Η παρούσα έκθεση αναφέρεται στα δίκτυα παρακολούθησης, τα οποία προσφάτως συνεστήθησαν, προκειμένου να καλύψουν τμήμα της παρακολούθησης του Ηφαιστείου Νισύρου, στα πλαίσια των αρμοδιοτήτων του ΟΑΣΠ και του Ευρωπαϊκού Κέντρου Πρόληψης και Πρόγνωσης των Σεισμών. Συνίστανται, αφ' ενός μεν στις μελέτες τοπικής παραμόρφωσης του φλοιού από πιθανές ανοδικές κινήσεις μάγματος ή/και την εκδήλωση σεισμικής δραστηριότητας, με την εγκατάσταση (1997) και επαναμέτρηση του GPS δικτύου στη Νίσυρο και ευρύτερη περιοχή, αφ' ετέρου δε στην εγκατάσταση και όσο το δυνατόν συχνότερη επαναμέτρηση ενός δικτύου σταθμών μόνιμης εγκατάστασης μετρήσεως έκλυσης Rn.

Ανεξαρτήτως όμως του ως άνω δικτύου Ραδονίου, στο Μανδράκι λειτουργεί από τον Σεπτέμβριο 1998 ένας μόνιμος καταγραφικός σταθμός μέτρησης εκλύσεως Ραδονίου, επί συνεχούς βάσεως, με δειγματοληψία ανά 15 min. Παράλληλα με τις τιμές των μετρήσεων Ραδονίου, ο εν λόγω σταθμός συλλέγει τις αντίστοιχες χρονικές στιγμές και τις τιμές (i) της θερμοκρασίας, (ii) της μεταβολής ατμοσφαιρικής πίεσεως και (iii) του επιπέδου βροχοπτώσεως.

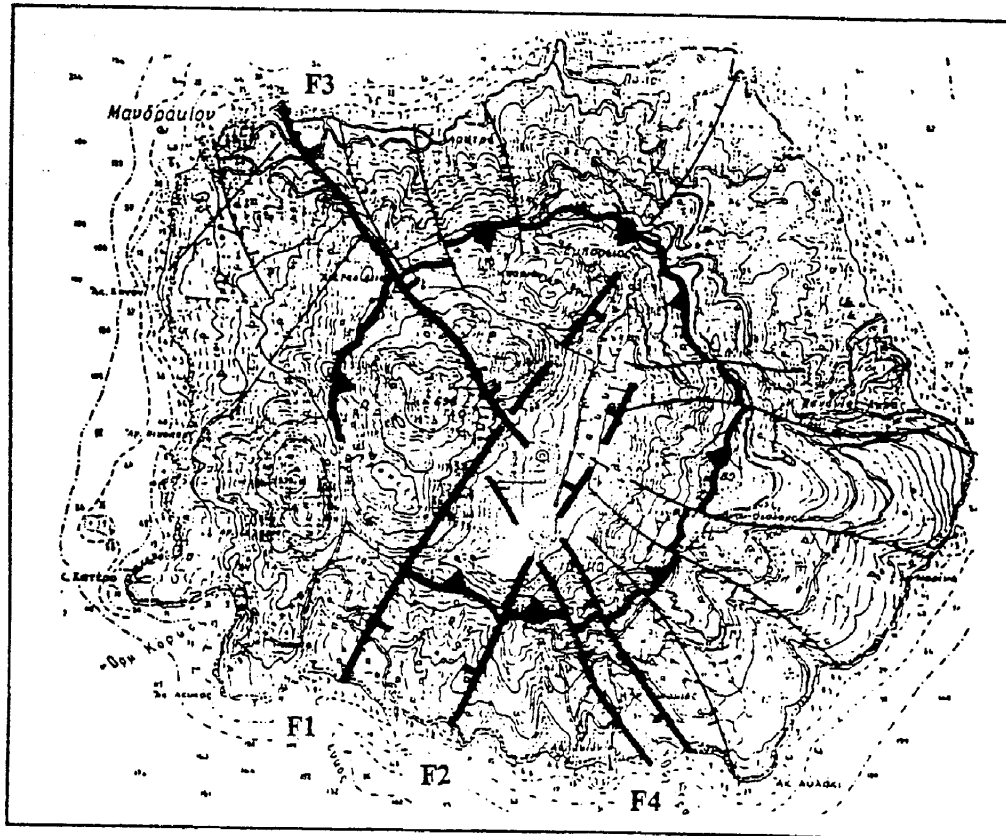
Τα εν λόγω δεδομένα, αφ' ενός μεν αποθηκεύονται σε ηλεκτρονική μνήμη, αφ' ετέρου δε μεταδίδονται στην πόλη των Αθηνών μέσω δορυφορικού συστήματος IMARSAT, το οποίο είναι συνδεδεμένο με τον τεχνητό δορυφόρο IOR (Indian Ocean Region), ο οποίος καλύπτει την Αφρική, Ευρώπη και τμήμα της Ασίας και Αυστραλίας.

Εύνομη Γεωλογική και Τεκτονική Περιγραφή

Κατά την υποβολή της τελικής έκθεσης προόδου του προηγούμενου έτους, αναφερθήκαμε εκτενώς τόσο στην Γεωλογία όσο και την Τεκτονική της ευρύτερης περιοχής. Παρ' όλα αυτά όμως στοιχεία της τεκτονικής και της γεωλογίας της περιοχής αναφέρονται στα παρακάτω, χάριν πληρότητας της εικόνας της παρούσας έκθεσης.

Οι πρώτες συστηματικές γεωλογικές εργασίες που έλαβαν χώρα στη Νίσυρο ήσαν από τους Desio (1931), Γεωργαλά (1958), Davis (1967) και Di Paola (1974), που εδημοσίευσαν τα αρχικά γεωλογικά αποτελέσματα σχετικά με τη δομή, τις περιόδους έκχυσης λάβας και την τεκτονική εξέλιξη του ηφαιστείου. Οι πλέον όμως πρόσφατες είναι αυτές των Παπανικολάου και Λέκκα (1991), Βουγιουκαλάκη (1994) και Hardiman (1996).

Σύμφωνα με την μελέτη των Παπανικολάου & Λέκκα (1991), εντοπίζονται τρεις περίοδοι έντονης τεκτονικής δραστηριότητας:



Σχήμα 1. Τοπογραφικός χάρτης Νισύρου με τις κύριες ρηξιγενείς ζώνες (Παπανικολάου & Λέκκας 1991).

Figure 1. Nissyros topographic map showing the main faulting zones (Papanikolaou & Lekkas 1991).

προ-, συν- και μετα-καλδερικός τεκτονισμός. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω έντονων τεκτονικών διεργασιών, εντοπίζονται οι ακόλουθες ρηξιγενείς ζώνες (Σχ. 1):

- Η ζώνη F1 με μετάπτωση προς τα ΝΑ και διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ.
- Η ζώνη F2, που αρχίζει από το κέντρο της νότιας ακτής του νησιού, με διεύθυνση προς τα ΒΑ και απολήγει στο εσωτερικό της καλδέρας.
- Η ζώνη F3 αρχίζει ανατολικά από το Μανδράκι, εκτείνεται προς τα ΝΑ και διασταυρώνεται με το ρήγμα F1 στο κέντρο περίπου του νησιού.
- Η ζώνη F4, που συνιστά μια στενή τάφρο, αρχίζει από το νότιο άκρο του νησιού και καταλήγει στο νότιο τμήμα της καλδέρας.

Κατά το σύγχρονο στάδιο εξέλιξης της Νισύρου παρατηρούνται μετακινήσεις όλων των παραπάνω ρηξιγενών ζωνών, καθώς και η δημιουργία δευτερευόντων ρηγμάτων με μικρότερα άλματα. Τέλος, κατά μήκος των μεγάλων ρηξιγενών ζωνών στο χώρο της καλδέρας, παρατηρούνται εντονότερες επιφανειακές εξαλλοιώσεις, πολλές ατμίδες και έξοδος θερμών αερίων.

Όπως αποδεικνύει η παρούσα έρευνα, ο ρόλος ορισμένων εκ των κυρίων ρηξιγενών ζωνών είναι καθοριστικός και σημαντικός στην τελική παραμόρφωση, την οποία υφίσταται η περιοχή υπό το καθεστώς αλλαγής των τάσεων στην ευρύτερη περιοχή λόγω πιθανής ανόδου μάγματος ή εκδήλωσης έντονης σεισμικής δραστηριότητας.

Μ Ε Ρ Ο Σ Α

ΔΙΚΤΥΟ GPS

Εισαγωγή

Έχει παρατηρηθεί ότι πριν την εκδήλωση ηφαιστειακών εκρήξεων, λαμβάνει συνήθως χώρα σημαντική παραμόρφωση του φλοιού, με την εκδήλωση έντονων οριζόντιων και κατακόρυφων κινήσεων, που οι τελευταίες είναι δυνατόν να ξεπερνούν και το 1 m (Sigmudsson, 1996). Οι παραμορφώσεις αυτές του γήινου φλοιού είναι δυνατόν σε γενικές γραμμές να οφείλονται :

- (i) Στην διαρκώς αυξανόμενη πίεση εντός μείζονων μαγματικών θαλάμων.
- (ii) (ii) Στα αποτελέσματα μαγματικών διεισοδύσεων σε επιφανειακώτερα στρώματα.
- (iii) (iii) Στην εκδήλωση μεγάλου μεγέθους σεισμών.

Κατά συνέπεια, οι γεωφυσικές και γεωδαιτικές μέθοδοι παρακολούθησης των ηφαιστειών είναι πολύ σημαντικές, σε ότι αφορά την συμβολή τους στην μελέτη και εκτίμηση του ηφαιστειακού κινδύνου, ως μέσο έγκαιρης προειδοποίησης, αλλά και στην ευρύτερη σπουδή της εν γένει δυναμικής των ηφαιστειών. Η αναγνώριση της αναγκαιότητας γεωδαιτικών (EDM, χωροσταθμίσεις ακριβείας, GPS κλπ.) και συναφούς μελέτης γεωφυσικών δικτύων (μικροβαρυτομετρικών), είχε ως αποτέλεσμα την εγκατάσταση ανάλογων δικτύων στην Σαντορίνη (Lagios, 1995; Chailas & Lagios, 1996; Giannopoulos et al., 1996) για την παρακολούθηση του εκεί ηφαιστείου. Στην Νίσυρο έγινε επίσης εφαρμογή του Παγκόσμιου Συστήματος Εντοπισμού (GPS) με την εγκατάσταση και

επαναμέτρηση GPS δικτύου το οποίο ιδρύθηκε στην περιοχή τον Ιούνιο του 1997, μετά την εκδήλωση της τότε σεισμικής δραστηριότητας.

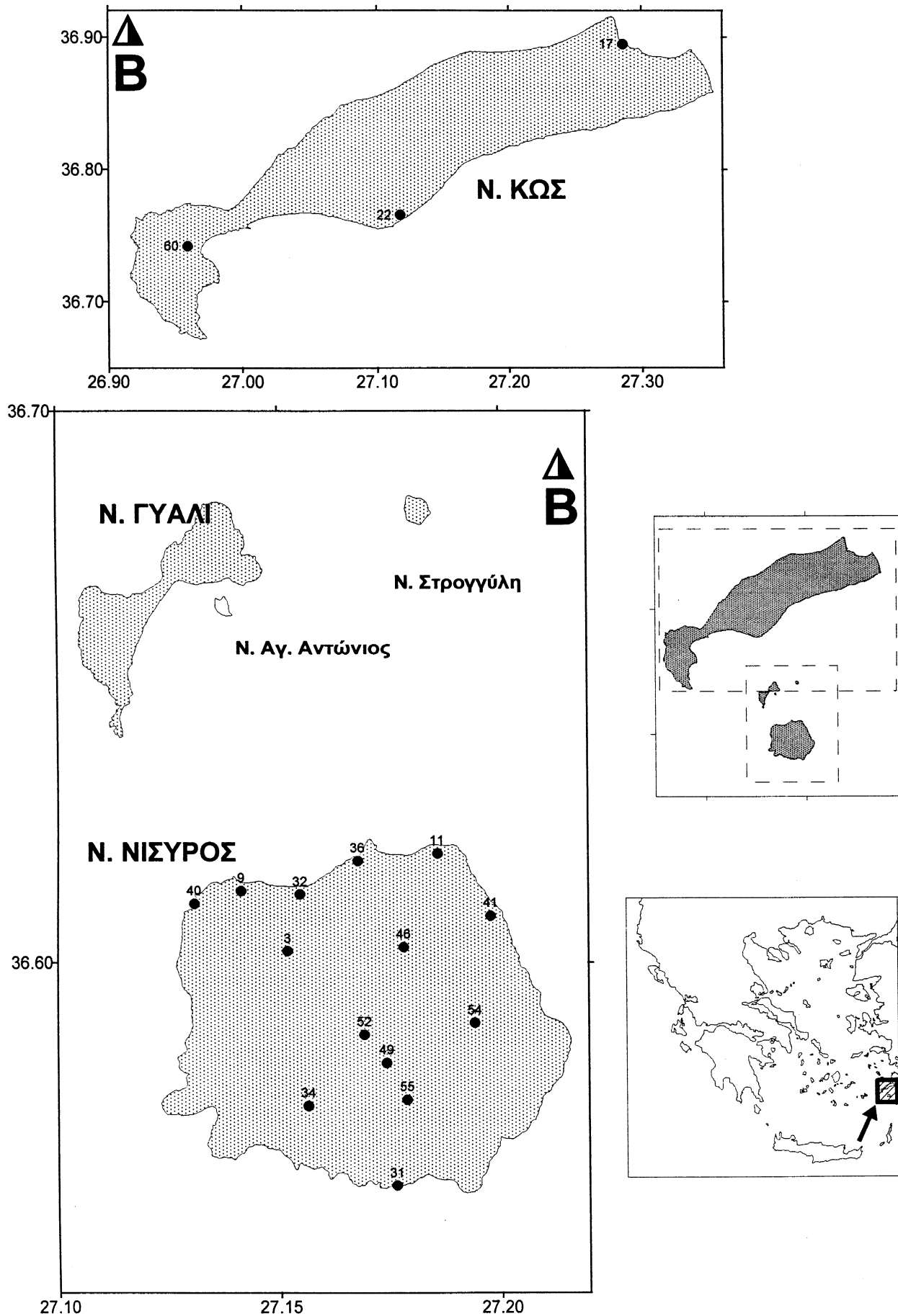
Λεπτομερειακή περιγραφή του GPS εκτίθεται στους Hofmann-Wellenhof et al. (1992). Οι GPS δορυφόροι, οι οποίοι ευρίσκονται σε τροχιά γύρω από την Γη, εκπέμπουν σήματα, στα οποία εμπεριέχεται, μεταξύ των άλλων, τόσο ο χρόνος όσο και η ακριβής θέση της τροχιάς εκάστου δορυφόρου. Η απόσταση μεταξύ εκάστου δορυφόρου υπεράνω του ορίζοντα ($> 15^\circ$) και ενός δέκτη GPS στην επιφάνεια της Γης υπολογίζεται από τον εκτιμηθέντα χρόνο που εκπέμπεται από τους δορυφόρους προς τους δέκτες. Όταν λοιπόν υφίσταται ένα δίκτυο από GPS σταθμούς, οι οποίοι και καταγράφουν ταυτόχρονα τα εκπεμπόμενα σήματα από τους περιπιτάμενους δορυφόρους, τότε πολλά από τα υπεισερχόμενα σφάλματα είναι κοινά και αλληλοαναιρούνται. Έτσι καθίσταται εφικτός ο προσδιορισμός των σχετικών συντεταγμένων των επίγειων σταθμών καταγραφής (GPS) με μεγάλη ακρίβεια, οι δε οριζόντιες αποστάσεις μεταξύ τους (baselines) είναι δυνατόν να υπολογισθούν με ακρίβεια της τάξεως του χιλιοστού (mm). Οι κατακόρυφες όμως συντεταγμένες υπολογίζονται με μικρότερη ακρίβεια, περίπου μία τάξη μεγέθους.

Σε γενικές γραμμές, η μέθοδος αυτή είναι ανεξάρτητη καιρικών συνθηκών και τοπογραφικού αναγλύφου, απαιτείται όμως εξειδικευμένη γνώση σε ότι αφορά την ανάλυση και επεξεργασία των GPS καταγραφών-δεδομένων. Επειδή η Νίσυρος είναι μικρή σε έκταση (διάμετρος $< 7\text{km}$), η ακρίβεια των οριζοντιογραφικών συντεταγμένων αναμένεται θεωρητικώς να είναι $\pm 5\text{mm}$, ενώ για τα υψόμετρα καλύτερη από $\pm 10\text{mm}$.

Περιγραφή GPS Δικτύου - Συλλογή GPS Δεδομένων

Γιά την μελέτη της εδαφικής παραμόρφωσης στην περιοχή της Νισύρου εγκατεστάθη τον Ιούνιο 1997 γεωδαιτικό δίκτυο σταθμών GPS, το οποίο εμφανίζεται στο σχήμα 2. Εξ αυτών, οι περισσότεροι είναι εγκατεστημένοι στην Νίσυρο, ενώ ένας μικρότερος αριθμός έχει εγκατασταθεί στην Κω. Η εγκατάσταση των GPS σταθμών στην Νίσυρο έγινε, κυρίως για λόγους ευκολίας, με βάση την πρόσβαση που προσφέρει το οδικό δίκτυο του νησιού, ως και την αναγκαιότητα ομοιογενούς κάλυψης του. Η μέση απόσταση μεταξύ δύο GPS σταθμών κυμαίνεται περί τα 2 περίπου χιλιόμετρα. Κατ' αυτόν τον τρόπο αναμένεται να μελετηθεί η παραμόρφωση της περιοχής με ικανοποιητική λεπτομέρεια. Οι σταθμοί, οι οποίοι εγκατεστάθησαν στην Κω, εξυπηρετούν δύο στόχους. Κατά πρώτον, συμβάλλουν στην εξέταση της παραμόρφωσης της ευρύτερης περιοχής, κυρίως με την επαναμέτρηση των τριγωνομετρικών της ΓΥΣ, κατά δεύτερον, ο ένας εξ αυτών (No 21 και οι 'εξασφαλίσεις' αυτού) εχρησιμοποιήθη ως βάση αναφοράς για τους υπόλοιπους σταθμούς του δικτύου.

Μετά την εγκατάσταση του GPS δικτύου τον Ιούνιο 1997, και μέχρι το τέλος του ιδίου έτους, επραγματοποιήθησαν δύο (2) επαναμετρήσεις, κατά τον Σεπτέμβριο και Δεκέμβριο. Κατά την πρώτη επαναμέτρηση του δικτύου (Σεπτέμβριος 1997), εγκατεστάθη ένας ακόμα σταθμός (No 60) στην δυτική Κω. Κατά την δεύτερη επαναμέτρηση (Δεκέμβριος 1997) διεπιστώθη η καταστροφή του No 58 σταθμού, ο οποίος αντικατεστάθη από τον No 28 (Σχ. 2). Εγκατεστάθη επίσης ένας ακόμη σταθμός στην δυτική πλευρά της Νισύρου (No 38), προκειμένου να καλυφθεί καλλίτερα η εν λόγω περιοχή.



Σχήμα 2. GPS Δίκτυο Νισύρου

Figure 2. Nissyros GPS Network

Πρόσθετοι σταθμοί στην Κω εγκατεστάθηκαν επίσης τον Οκτώβριο 1998, αφ' ενός μεν για τον τεκτονικό έλεγχο της περιοχής Κω τα τελευταία 20 έτη (αυτός ήταν ο σκοπός της επαναμέτρησης των τριγωνομετρικών στην περιοχή της Κω και Γυαλιού), αφ' ετέρου δε για την αρτιότερη επίλυση των GPS δεδομένων (αποστάσεις μεταξύ μετρούμενων σημείων μικρότερες των 20 km).

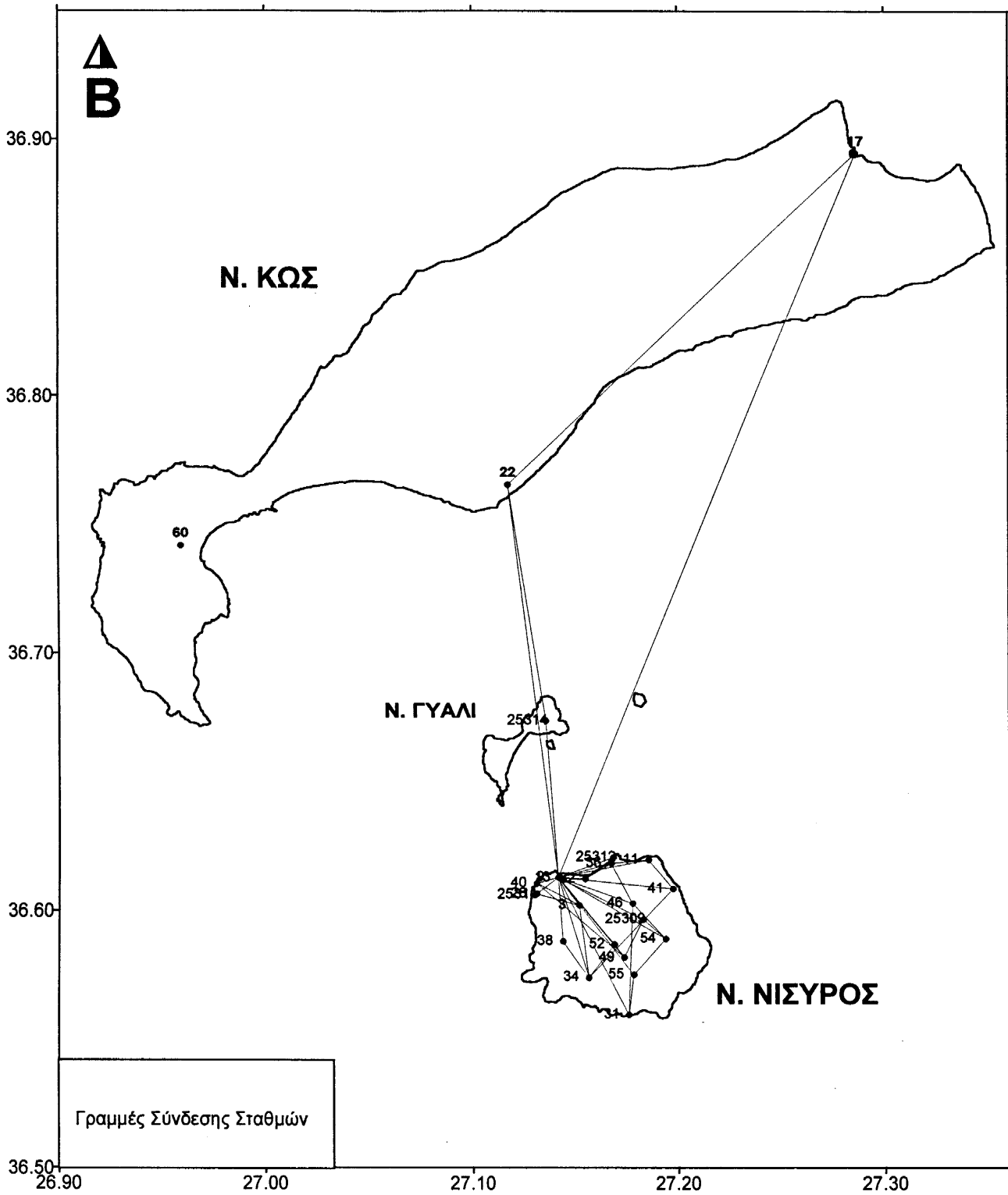
Κατά την επαναμέτρηση του 1999 διεπιστώθη ότι ο σταθμός Νο21 στην ΒΑ πλευρά της Κώ δεν είναι πλέον προσβάσιμος. Για τον λόγο αυτόν, αντι' αυτού, εμετρήθη η 'εξασφάλιση' του Νο 21, ήτοι ο σταθμός Νο 17. Έτσι το GPS δίκτυο στην Νίσυρο επιλύθηκε με βάση την τιμή του Νο 17, μέσω του Νο 22 στην κεντρική και νότια Κώ, και Νο 9 (βλ. τρίγωνο Νο 17, Νο 22, Νο 9) - (Σχ. 3).

Οι GPS μετρήσεις έγιναν με την χρήση γεωδαιτικών δεκτών GPS WILD SR299 και SR399 δύο συχνοτήτων καταγραφής, L1 και L2. Η διάρκεια ταυτόχρονης καταγραφής σε κάθε σταθμό και βάση ήταν τουλάχιστον 3 ώρες, ενώ στους πλέον απόμακρους (πχ. Νο 31), ο χρόνος καταγραφής ήταν διπλάσιος. Το χρονικό αυτό διάστημα καταγραφής κρίνεται ως επαρκές, δεδομένης της μικρής σχετικά έκτασης του GPS δικτύου (διάμετρος Νισύρου <7 km). Για μεγαλύτερες όμως αποστάσεις σταθμών, όπως μεταξύ Νο 9 (Νίσυρος) και Νο 60, Νο 17 (Κώς) (Σχ. 3), η περίοδος καταγραφής ήταν περί τις 24 ώρες.

Επεξεργασία GPS Δεδομένων

Η ανάλυση των GPS δεδομένων έγινε με την χρήση του λογισμικού LEICA Static Kinematic Software (S.KI. Version 2.2) 1997. Η επίλυση των γεωδαιτικών γραμμών έγινε στο ελλειψοειδές World Geodetic System 1984 (WGS'84). Ο σταθμός Νο 17 (ΒΑ Κώς) επελέγη

GPS ΔΙΚΤΥΟ ΝΙΣΥΡΟΥ



Σχήμα 3. Γραμμές Σύνδεσης GPS Δικτύου

Figure 3. Base-lines of GPS Network

ως σταθμός αναφοράς του δικτύου στην Νίσυρο, με προσδιορισμό των συντεταγμένων του Νο 9 σταθμού. Ανεξάρτητος έλεγχος επίσης της εν λόγω λύσεως έγινε και κατά την επίλυση του τριγώνου, το οποίο συνίσταται από τους σταθμούς Νο 17, Νο 22 (Κως) και Νο 9 (Νίσυρος).

Οι συνορθωμένες τιμές της πρώτης περιόδου μετρήσεων, Ιούνιος 1997, δείχνονται στον Πίνακα I. Κατά την επαναμέτρηση του δικτύου τον Σεπτέμβριο 1999, προέκυψαν οι αντίστοιχες τιμές που δείχνονται στον Πίνακα II, παριστάνονται δε γραφικά (οι διάφορες οδεύσεις-συνδέσεις μεταξύ των σταθμών) με τα σφάλματα υπολογισμού των συντεταγμένων υπό μορφή ελλείψεων στο σχήμα 4.

GPS ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα GPS δεδομένα ανελύθησαν και υπέστησαν συνόρθωση. Αντιμετωπίστησαν χωριστά για τις δύο περιόδους, οι οποίες και παρουσιάζονται στην παρούσα έκθεση. Ήτοι, Ιούνιος 1997 (τα εν λόγω δεδομένα παρουσιάζονται καθαρώς για λόγους σύγκρισης, διότι ήδη έχουν παρουσιασθεί στην έκθεση του τρέχοντος ερευνητικού προγράμματος κατά το 1997 (Λάγιος, 1998, Λάγιος κ.ά., 1998)) και Σεπτέμβριος 1999. Αναλυτικά η συνόρθωση του GPS δικτύου με τα αντίστοιχα αποτελέσματα των δύο ως άνω περιόδων (Ιούνιος 1997, Σεπτέμβριος 1999) παρουσιάζεται στα Παραρτήματα I & II.

Οι συντεταγμένες των GPS σταθμών υπελογίσθησαν υπό μορφή γεωγραφικού μήκους (λ), γεωγραφικού πλάτους (φ), και Ελλειπτικών Υψομέτρων (h), με τα αντίστοιχα υπολογισθέντα σφάλματα. Τα εν λόγω αποτελέσματα, όπως προαναφέρθηκε,

ΠΙΝΑΞ / TABLE I

Συνορθωμένες Τιμές Γεωδαιτικών Συντεταγμένων - Ιούνιος 1997
Adjusted Geodetic Coordinates June 1997

Ref	Latitude [Degrees]	Error [m]	Longitude [Degrees]	Error [m]	Height [m]	Error [m]
21	36 53 40.739620 N	fixed	27 17 11.606500 E	fixed	41.0030	fixed
03	36 36 7.448864 N	±0.00341	27 9 6.432320 E	±0.00425	282.1338	±0.00530
09	36 36 46.616807 N	±0.00112	27 8 29.145328 E	±0.00239	35.4015	±0.00202
11	36 37 11.027249 N	±0.00520	27 11 8.205423 E	±0.00598	27.6746	±0.00747
31	36 33 34.225042 N	±0.00397	27 10 33.897807 E	±0.00513	59.0808	±0.00737
32	36 36 44.486938 N	±0.00330	27 9 16.655198 E	±0.00410	27.8727	±0.00488
34	36 34 26.357772 N	±0.00303	27 9 22.679740 E	±0.00406	298.7003	±0.00563
36	36 37 6.287097 N	±0.00477	27 10 3.174360 E	±0.00531	62.4231	±0.00628
40	36 36 38.231505 N	±0.00337	27 7 51.446966 E	±0.00415	64.4271	±0.00474
41	36 36 30.423425 N	±0.00302	27 11 51.687123 E	±0.00399	28.0410	±0.00508
46	36 36 10.067154 N	±0.00671	27 10 40.166757 E	±0.00728	354.7186	±0.00839
49	36 34 54.366222 N	±0.00475	27 10 25.901119 E	±0.00555	136.5334	±0.00694
52	36 35 12.765622 N	±0.00397	27 10 7.877878 E	±0.00454	176.2219	±0.00540
54	36 35 20.493259 N	±0.00564	27 11 38.300735 E	±0.00634	302.6726	±0.00818
55	36 34 30.313693 N	±0.00507	27 10 42.533403 E	±0.00558	431.5422	±0.00649
58	36 36 23.383624 N	±0.00334	27 7 51.778876 E	±0.00404	133.6050	±0.00453

παρουσιάζονται στους Πίνακες I και II, αφορούν δε τις ως άνω δύο περιόδους μετρήσεων. Προκειμένου να καταστεί εφικτή η σύγκριση με τις τιμές του δικτύου κατά το 1998, παρουσιάζονται στον Πίνακα III οι αντίστοιχες συνορθωμένες τιμές.

Οι μετατοπίσεις των GPS σταθμών, σε ότι αφορά τις οριζοντιογραφικές συντεταγμένες, δείχνονται (με τα αντίστοιχα υπολογισθέντα σφάλματα ως κύκλοι) υπό μορφή διανυσμάτων στο σχήμα 5, μαζί με την αναπαράσταση των κυριοτέρων ρηξιγενών ζωνών και του χείλους της μείζονος καλδέρας. Το σχήμα 5 αφορά τις οριζόντιες μετατοπίσεις των σταθμών για την περίοδο Οκτώβριος 1998 - Σεπτέμβριος 1999, ήτοι διάστημα περίπου ενός έτους.

Κατά τον ίδιο τρόπο και για λόγους σύγκρισεως από την πρώτη περίοδο εγκατάστασης του δικτύου, παρουσιάζονται οι ίδιες μεταβολές για την χρονική περίοδο Ιούνιος 1997 - Σεπτέμβριος 1999 στο σχήμα 6.

Όπως προκύπτει από τους Πίνακες I, II & III, καθώς και από το σχήμα 5, διαπιστώνεται ότι, σε ότι αφορά τις διευθύνσεις των οριζοντίων μικρομετατοπίσεων, δεν έχει αλλάξει η εικόνα από αυτήν της τελευταίας επαναμέτρησης του δικτύου κατά τον Οκτώβριο 1998 (Λάγιος, 1998). Όλες οι εν λόγω διευθύνσεις μεταβολών, οι οποίες αναφέρονται στην περίοδο 1998 (Οκτώβριος) - 1999 (Σεπτέμβριος), προκύπτει ότι εμπίπτουν στα όρια του υπολογισθέντος σφάλματος και ως εκ τούτου συνάγεται ότι δεν υπήρξε οριζόντια παραμόρφωση του δικτύου κατά την διάρκεια της ως άνω περιόδου. Η τελική λοιπόν οριζοντιογραφική παραμόρφωση, η οποία παρατηρείται από τον Ιούνιο 1997 (περίοδος εγκατάστασης του δικτύου) μέχρι τον Σεπτέμβριο 1999 (τελευταία περίοδος

ΠΙΝΑΞ / TABLE II

Συνορθωμένες Τιμές Γεωδαιτικών Συντεταγμένων - Σεπτέμβριος 1999
Adjusted Geodetic Coordinates-September 1999

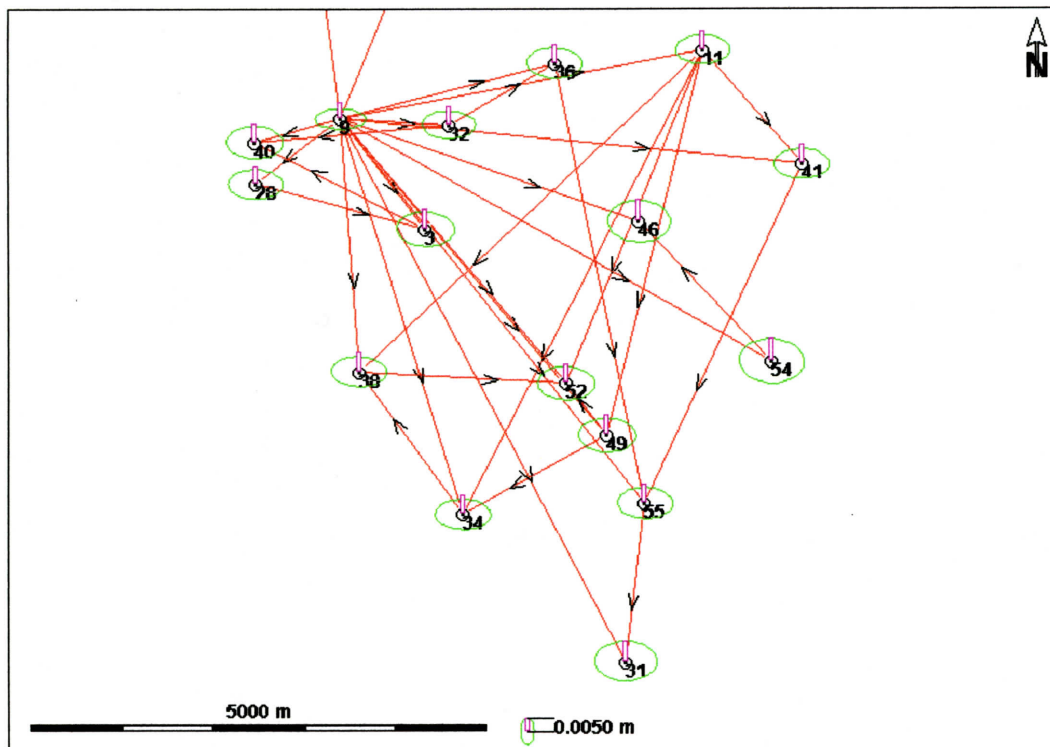
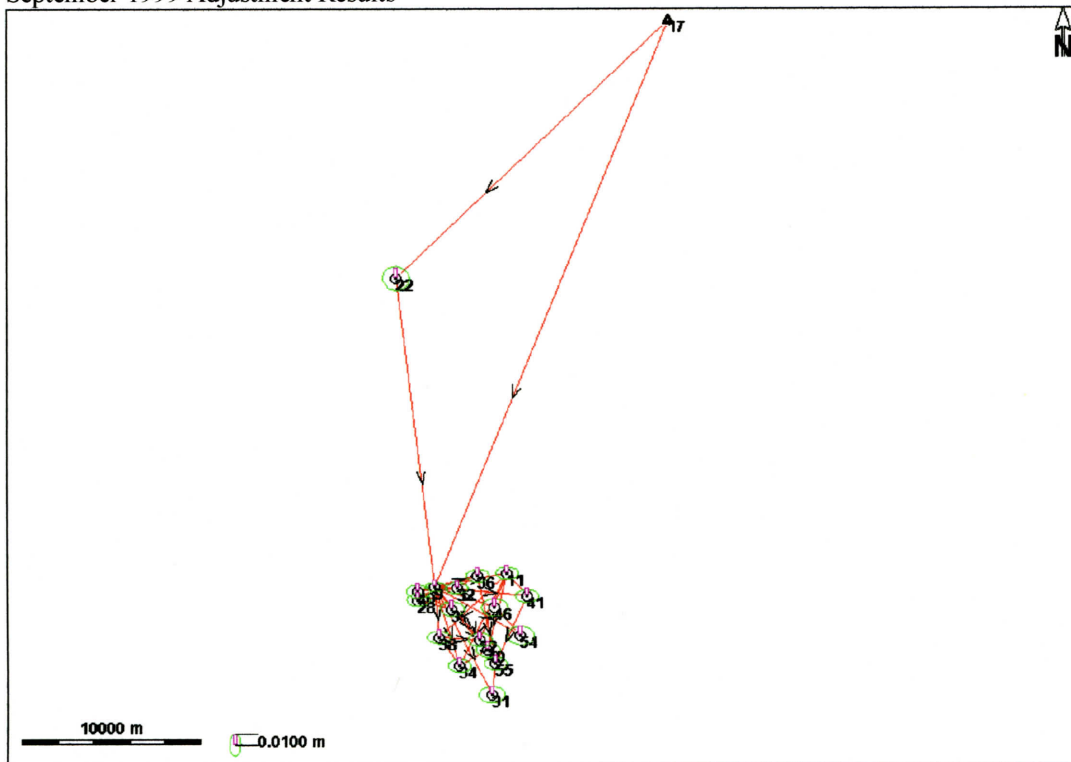
Ref	Latitude [Degrees]	Error [m]	Longitude [Degrees]	Error [m]	Height [m]	Error [m]
21	Destroyed					
60	NOT OCCUPIED					
17	36 53 34.056440 N	fixed	27 17 6.177470 E	fixed	32.5115	fixed
3	36 36 7.449166 N	±0.00425	27 9 6.432843 E	±0.00715	282.1555	±0.00768
9	36 36 46.616672 N	±0.00254	27 8 29.145156 E	±0.00622	35.4083	±0.00602
11	36 37 11.026900 N	±0.00357	27 11 8.207146 E	±0.00675	27.6850	±0.00689
22	36 45 55.617851 N	±0.00707	27 7 3.059930 E	±0.00781	51.0642	±0.00906
28	36 36 23.386661 N	±0.00364	27 7 51.768861 E	±0.00676	133.6026	±0.00687
31	36 33 34.224963 N	±0.00508	27 10 33.898815 E	±0.00770	59.0470	±0.00800
32	36 36 44.486922 N	±0.00336	27 9 16.656350 E	±0.00662	27.8922	±0.00669
34	36 34 26.357534 N	±0.00374	27 9 22.680144 E	±0.00686	298.6875	±0.00708
36	36 37 6.286773 N	±0.00372	27 10 3.175920 E	±0.00682	62.4441	±0.00702
38	36 35 16.949697 N	±0.00368	27 8 37.137504 E	±0.00683	322.1756	±0.00708
40	36 36 38.230295 N	±0.00400	27 7 51.446729 E	±0.00699	64.4702	±0.00713
41	36 36 30.423068 N	±0.00370	27 11 51.688341 E	±0.00683	28.0227	±0.00698
46	36 36 10.067419 N	±0.00513	27 10 40.168371 E	±0.00773	354.7126	±0.00821
49	36 34 54.366236 N	±0.00416	27 10 25.902519 E	±0.00710	136.5394	±0.00746
52	36 35 12.765379 N	±0.00408	27 10 7.879041 E	±0.00703	176.2079	±0.00736
54	36 35 20.493544 N	±0.00551	27 11 38.302435 E	±0.00800	302.6796	±0.00854
55	36 34 30.313490 N	±0.00385	27 10 42.534642 E	±0.00689	431.5122	±0.00700

ΠΙΝΑΞ / TABLE III

Συνορθωμένες Τιμές Γεωδαιτικών Συντεταγμένων - Οκτώβριος 1998
Adjusted Geodetic Coordinates October 1998

Ref	Latitude [Degrees]	Error [m]	Longitude [Degrees]	Error [m]	Height [m]	Error [m]
21	36 53 40.739620 N	fixed	27 17 11.606500 E	fixed	41.0034	fixed
3	36 36 7.449037 N	±0.00332	27 9 6.432637 N	±0.00614	282.1839	±0.00621
9	36 36 46.616617 N	±0.00228	27 8 29.144801 N	±0.00565	35.4433	±0.00522
11	36 37 11.026812 N	±0.00381	27 11 8.207476 N	±0.00648	27.7185	±0.00645
28	36 36 23.386700 N	±0.00309	27 7 51.768293 N	±0.00605	133.6398	±0.00590
31	36 33 34.224529 N	±0.00391	27 10 33.899063 N	±0.00674	59.1076	±0.00711
32	36 36 44.486983 N	±0.00329	27 9 16.656218 N	±0.00614	27.9187	±0.00625
34	36 34 26.356918 N	±0.00329	27 9 22.680217 N	±0.00614	298.7312	±0.00605
36	36 37 6.287085 N	±0.00281	27 10 3.176205 N	±0.00590	62.4696	±0.00566
38	36 35 16.949271 N	±0.00514	27 8 37.137068 N	±0.00753	322.2084	±0.00814
40	36 36 38.230385 N	±0.00354	27 7 51.445932 N	±0.00629	64.4979	±0.00620
41	36 36 30.423058 N	±0.00464	27 11 51.688665 N	±0.00704	28.0743	±0.00723
46	36 36 10.067176 N	±0.00330	27 10 40.168733 N	±0.00623	354.7615	±0.00630
49	36 34 54.365817 N	±0.00347	27 10 25.902807 N	±0.00626	136.5926	±0.00621
52	36 35 12.765116 N	±0.00341	27 10 7.879083 N	±0.00621	176.2551	±0.00609
54	36 35 20.492876 N	±0.00354	27 11 38.302955 N	±0.00629	302.7239	±0.00664
55	36 34 30.313108 N	±0.00455	27 10 42.535113 N	±0.00697	431.5699	±0.00735
60	NOT OCCUPIED					

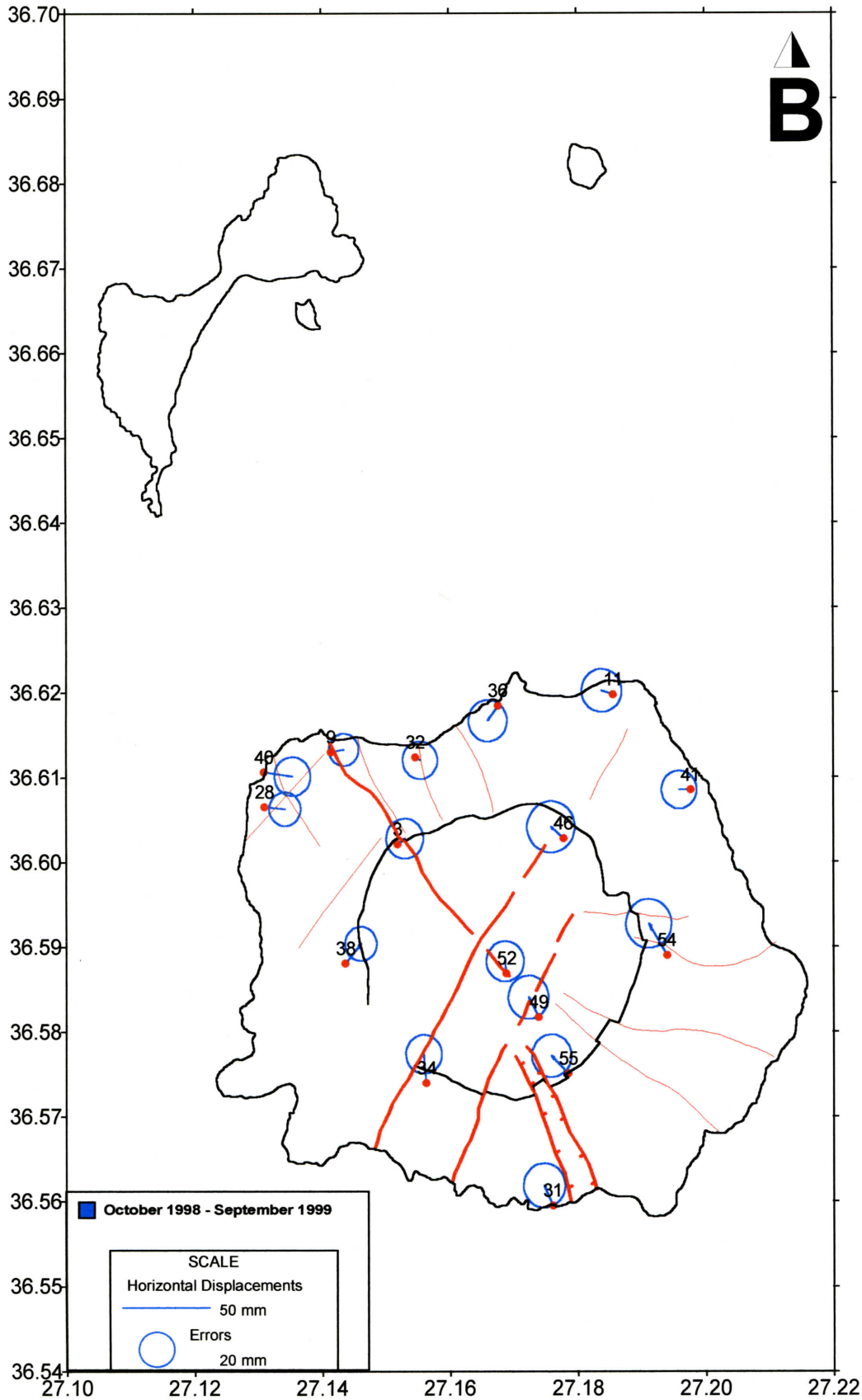
September 1999 Adjustment Results



Σχήμα 4 Αποτελέσματα της Συνορθώσεως

Figure 4 Adjustment Results

GPS ΔΙΚΤΥΟ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΥ ΝΙΣΥΡΟΥ



Σχήμα 5 Οριζόντιες Μετατοπίσεις (Οκτώβριος 1998 - Σεπτ. 1999)

Figure 5 Horizontal Displacements (October 1998 - Sept. 1999)

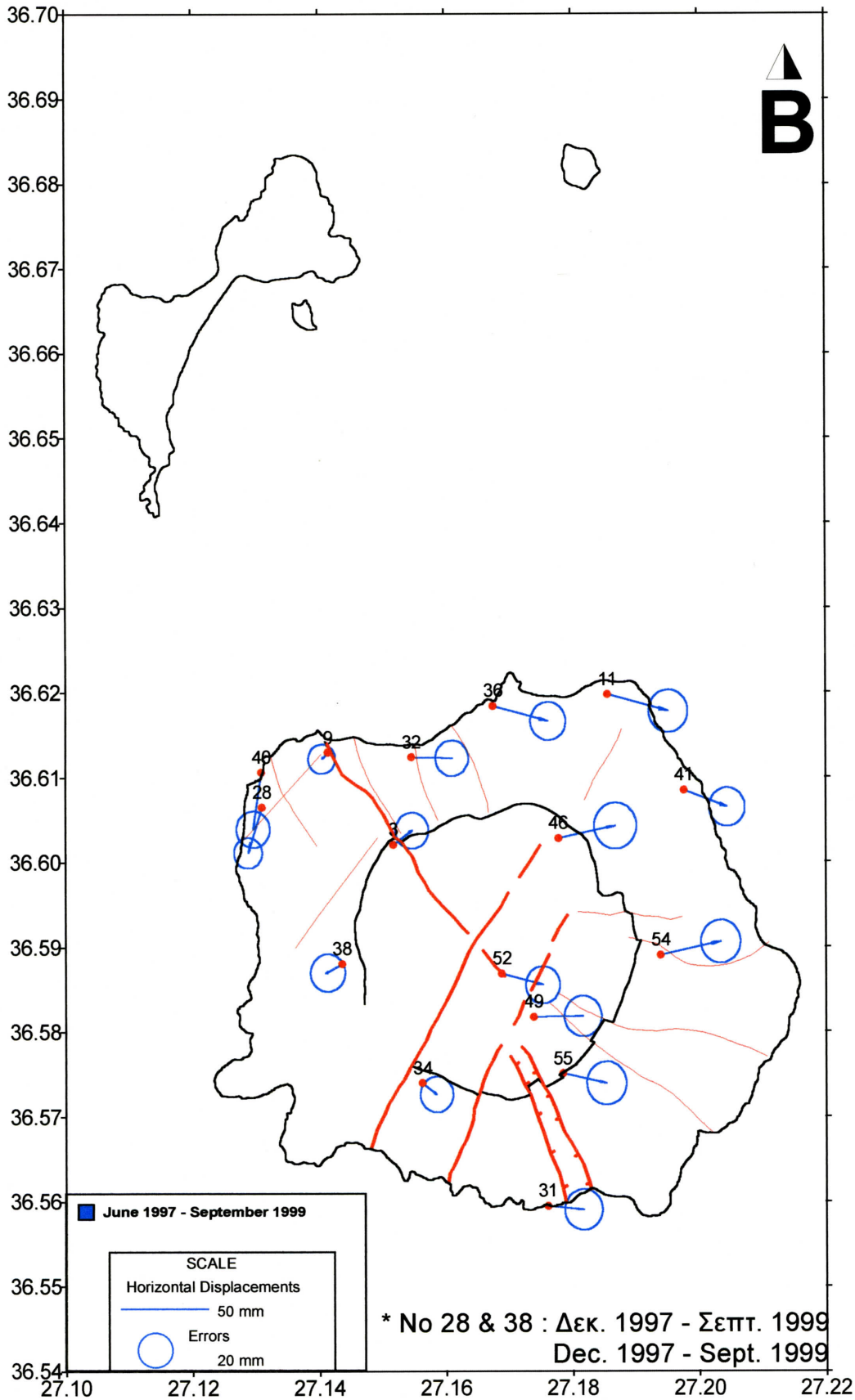
επαναμέτρησης του GPS δικτύου), προκύπτει από το σχήμα 6. Όλες οι ανωτέρω μεταβολές πρέπει να τονισθεί ότι αναφέρονται ως προς τον σταθμό Νο 17 στην ΒΑ Κώ, ο οποίος κρατείται σταθερός.

Όπως διαφαίνεται (Σχ. 6), διατηρούνται οι ίδιες διευθύνσεις μεταβολής των οριζοντιογραφικών συντεταγμένων, οι οποίες είχαν παρατηρηθεί μέχρι το τέλος (Δεκέμβριος) του 1997.

Όπως προκύπτει από τους Πίνακες II & III, παρατηρούνται επίσης και κατακόρυφες μεταβολές στους σταθμούς του δικτύου. Τα σχήματα 7 και 8 δείχνουν τις εν λόγω μεταβολές των ελλειπτικών υψομέτρων από την τελευταία επαναμέτρηση του δικτύου, τον Σεπτέμβριο 1999, και για τις αντίστοιχες προγενέστερες περιόδους, δηλαδή Οκτώβριο 1998 και Ιούνιο 1997.

Σε γενικές γραμμές παρατηρείται γενική καθίζηση σε όλους τους σταθμούς του δικτύου (Σχ. 7) συγκριτικά με την προηγούμενη περίοδο (Οκτώβριος 1998). Ο ανυψωτικός όμως χαρακτήρας της κατακόρυφου συνιστώσας της μετατοπίσεως διατηρείται μόνον στους σταθμούς του δικτύου στο βόρειο ήμισυ και ΒΔ τμήμα της Νισύρου (Σχ. 8), ο οποίος φθάνει περίπου τα 2-3 cm. Διαφαίνεται λοιπόν ότι η ανύψωση που παρατηρήθηκε (3-4 cm) κατά την διάρκεια της σεισμικής κρίσης το 1996/97 (Lagios 1998) σε ολόκληρη την νήσο, αυτή δείχνει να υποχωρεί σταδιακά, ενώ μόνον στο ΒΔ κυρίως τμήμα διατηρείται κάποιο ποσοστό αυτής.

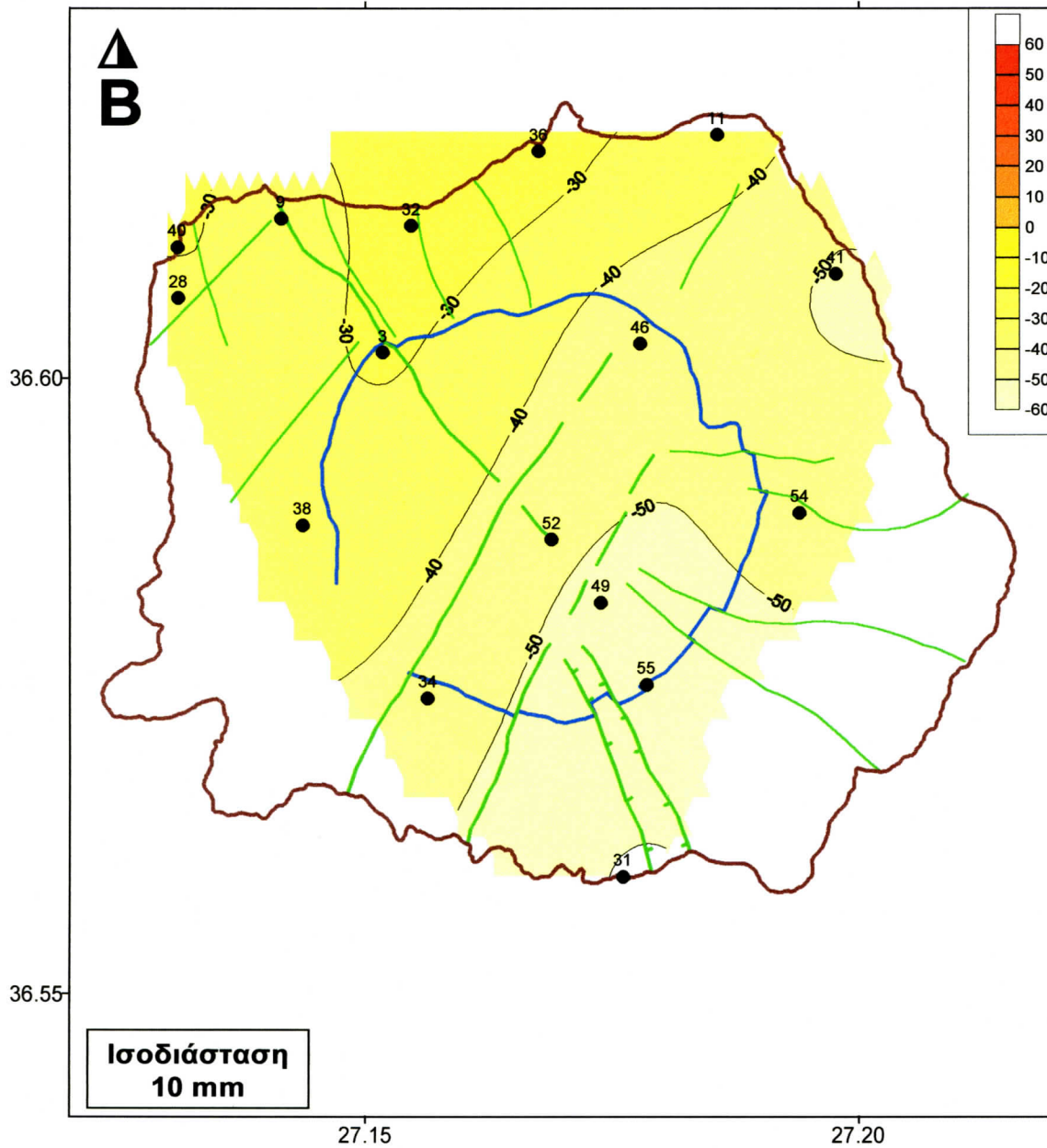
GPS ΔΙΚΤΥΟ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΥ ΝΙΣΥΡΟΥ



Σχήμα 6 Οριζόντιες Μετατοπίσεις (Ιούνιος 1997 - Σεπτ. 1999)

Figure 6 Horizontal Displacements (June 1997 - Sept. 1999)

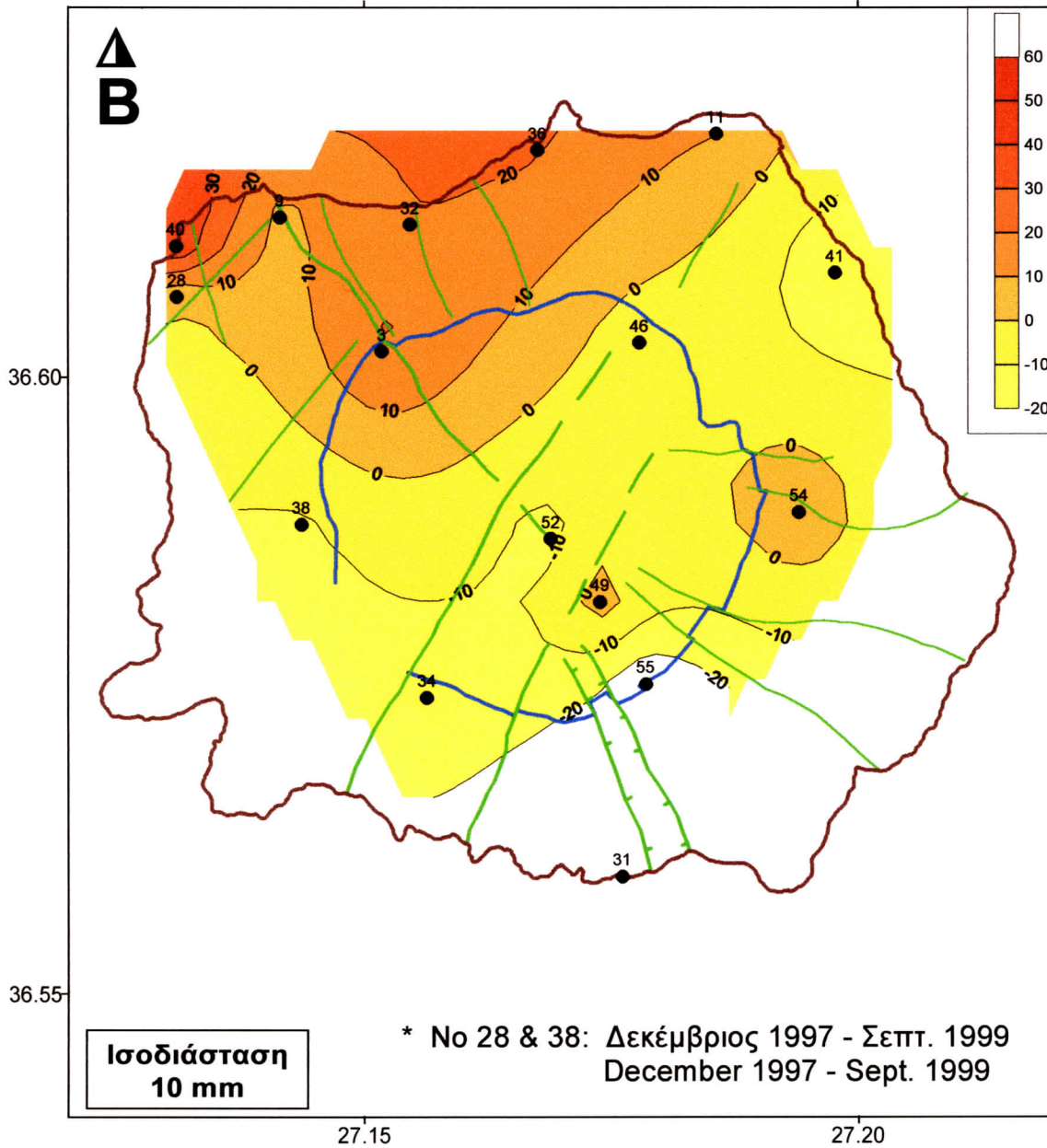
GPS ΔΙΚΤΥΟ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΥ ΝΙΣΥΡΟΥ



Σχήμα 7 Κατακόρυφες Μετατοπίσεις (Οκτ. 1998 - Σεπτ. 1999)

Figure 7 Vertical Displacements (Oct. 1998 - Sept. 1999)

GPS ΔΙΚΤΥΟ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΥ ΝΙΣΥΡΟΥ



Σχήμα 8 Κατακόρυφες Μετατοπίσεις (Ιούνιος 1997 - Σεπτ. 1999)

Figure 8 Vertical Displacements (June 1997 - Sept. 1999)

Μ Ε Ρ Ο Σ Β

ΔΙΚΤΥΟ ΡΑΔΟΝΙΟΥ

Γενικά

Το Ραδόνιο (^{222}Rn) είναι προϊόν της αλυσωτής μετάπτωσης του Ουρανίου (^{238}U), ενώ το Θορόνιο (^{220}Rn) είναι προϊόν αλυσωτής μετάπτωσης του Θορίου (^{232}Th). Οι μετρήσεις των ισοτόπων Ραδονίου, που έλαβαν χώρα στην Νίσυρο, έγιναν με τον RM-1003 ανιχνευτή Ραδονίου, ο οποίος έχει την δυνατότητα αυτόματης λήψης μετρήσεων σε τρία διαδοχικά χρονικά διαστήματα προκαθορισμένης διάρκειας (Pylon, 1982). Τοιουτοτρόπως σε κάθε μετρηθέν δείγμα των τριών αυτών περιόδων (C1, C2, C3), εάν το αέριο δείγμα το οποίο εισέρχεται στο θάλαμο περιέχει Ραδόνιο, οι τρεις διαδοχικές μετρήσεις C1, C2, C3 παρουσιάζουν αυξητική τάση. Εάν όμως το αέριο περιέχει κυρίως Θορόνιο, οι διαδοχικές μετρήσεις θα παρουσιάζουν πτωτική τάση. Η διαφορά αυτή σχετίζεται ευθέως με την διαφορά των χρόνων ημίσεως-ζωής των ισοτόπων (^{222}Rn & ^{220}Rn) και την δράση των θυγατρικών προϊόντων. Στην περίπτωση που υφίσταται μίγμα των δύο ισοτόπων, οι τρεις μετρήσεις επιτρέπουν τον καθορισμό των αντίστοιχων συγκεντρώσεων.

Θεωρούμε C1, C2 και C3 αντίστοιχα την τελική τιμή μετρήσεων για τη προκαθορισμένη χρονική περίοδο. Ως ανηγμένη τιμή ορίζουμε την τιμή μέτρησης, απαλλαγμένη από την τιμή του περιβάλλοντος και ανηγμένη στην μονάδα χρόνου δειγματοληψίας (1 λεπτό). Η τιμή Ραδονίου (R) σύμφωνα με το εγχειρίδιο του οργάνου RM-1003 (Pylon, 1982) υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$R = 0.87 C3 + 0.32 C2 - 0.34 C1$$

Η τιμή Θορονίου (T) προσδιορίζεται από την ολική τιμή C1, C2 και C3 ελαττωμένου κατά την τιμή του Ραδονίου:

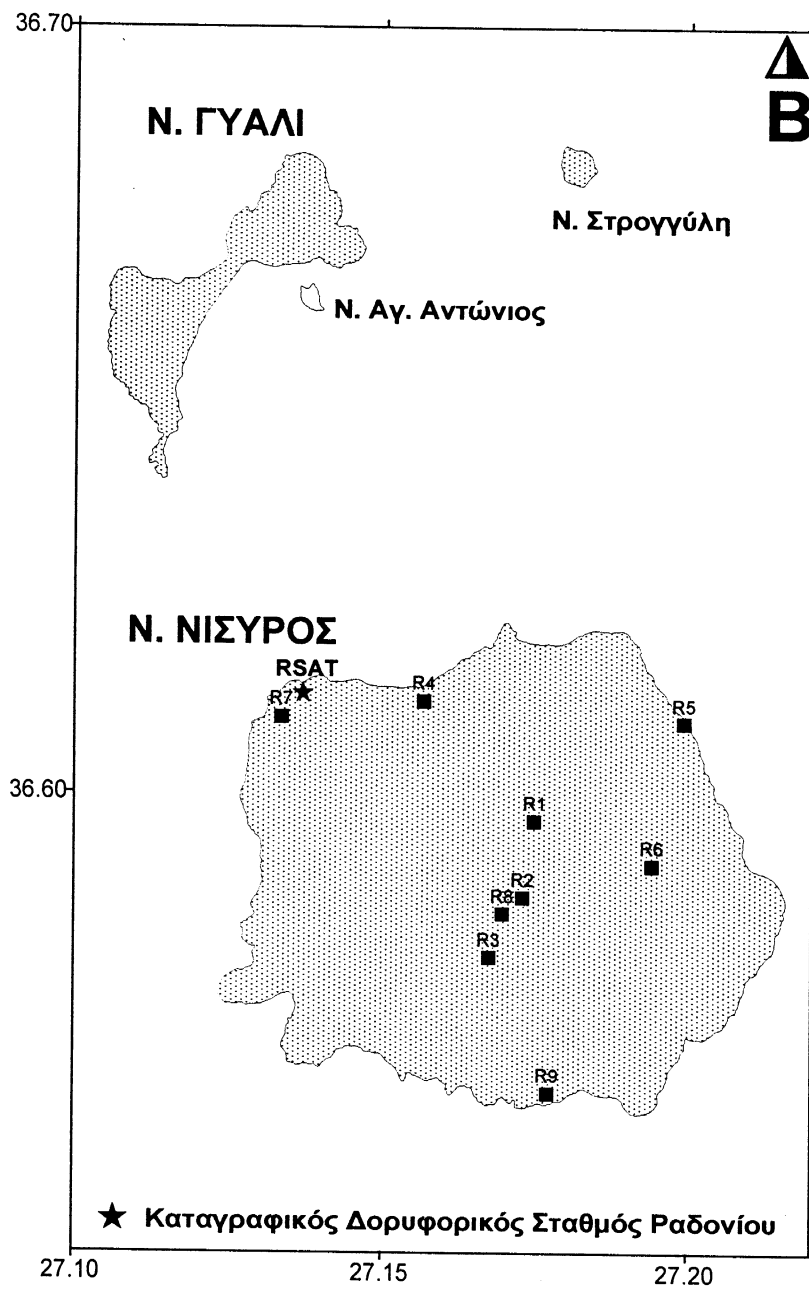
$$T = C1 + C2 + C3 - R,$$

όπου T και R εκφράζουν τις συγκεντρώσεις Θορονίου και Ραδονίου σε c.p.m., και οι αριθμητικοί συντελεστές είναι αποτέλεσμα της ποσοτικής φθίνουσας μετάπτωσης των εμπλεκομένων ισοτόπων Ραδίου.

Περιγραφή Δικτύου

Προκειμένου να μελετηθεί η μεταβολή της εκλύσεως Rn στην περιοχή της Νισύρου, εγκατεστάθη τον Ιούνιο 1997 μόνιμο δίκτυο σταθμών μέτρησης Rn (Σχ. 9). Ο κάθε σταθμός Rn αποτελείται από ειδική εγκατάσταση, που προσαρμόσθηκε κατά μόνιμο τρόπο εντός του εδάφους, προκειμένου να διασφαλίζονται ομοιογενείς συνθήκες στην συσσώρευση των αερίων. Έτσι η εγκατάσταση αυτή συνίσταται σε ένα μεταλλικό σωλήνα μήκους 1 m και διαμέτρου 2.5 ιντσών, ο οποίος είναι πακτωμένος εντός του εδάφους, με προεξέχον τμήμα περίπου 30 cm. Το κάτω άκρο του σωλήνος εντός του εδάφους είναι ανοιχτό, ενώ στο έτερον άκρο έχει προσαρμοσθεί ειδική μεταλλική βαλβίδα.

Κατά τον τρόπον αυτόν το Rn, το οποίο εισέρχεται κατά κατακόρυφο τρόπο και συσσωρεύεται εντός του σωλήνος, μετρείται από τον ανιχνευτή του RM-1003 (Pylon, 1982), ύστερα από ακριβή προσαρμογή των δύο μεταλλικών βαλβίδων, και απαγωγή του αερίου από τον σωλήνα προς τον θάλαμο του οργάνου.



Σχήμα 9. Κατανομή Σταθμών Ραδονίου στη Νίσυρο

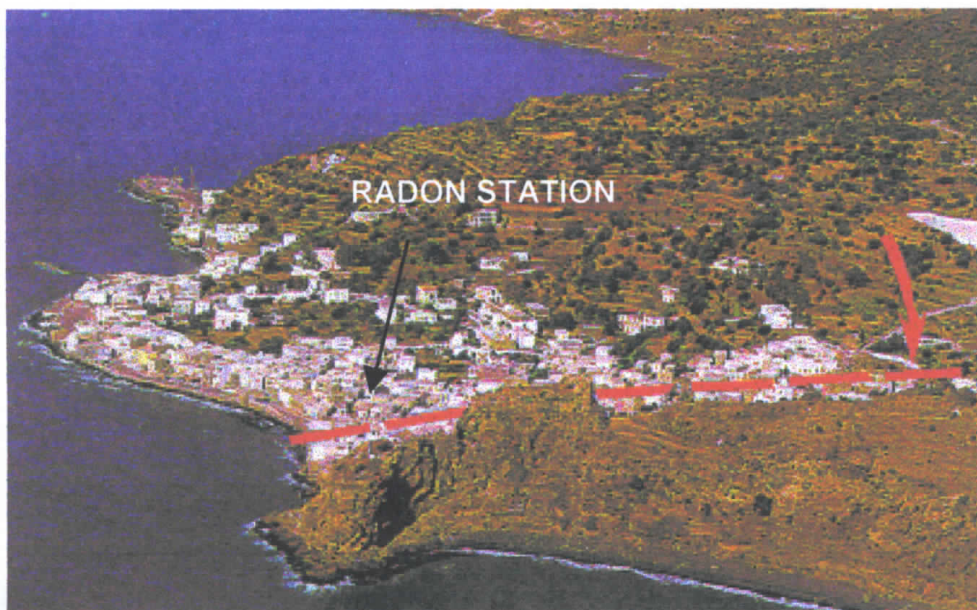
Figure 9. Distribution of Radon Stations in Nissyros

Εκτός όμως από το δίκτυο των ως άνω σταθμών έχει εγκατασταθεί στο Μανδράκι (Σχ. 10) και μόνιμος καταγραφικός σταθμός μέτρησης ραδονίου, τα δεδομένα του οποίου είναι δυνατόν να μεταδίδονται στην πόλη των Αθηνών ταυτόχρονα (real-time) μέσω δορυφόρου. Ο σταθμός αυτός, σχηματικό διάγραμμα και εγκατάσταση του οποίου δείχνεται στα σχήματα 11 και 12, είναι δυνατόν να καταγράφει και άλλες παραμέτρους, όπως ατμοσφαιρική θερμοκρασία, μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης, ως και καταγραφή του ύψους της βροχόπτωσης. Οι ανιχνευτές του εν λόγω σταθμού δείχνονται στο σχήμα 13.

Ο εν λόγω σταθμός, ο οποίος αποτελεί καινοτομία δραστηριότητας για την κατασκευάστρια εταιρεία, ελειτούργησε ομαλά καθ' όλο το 1998 από την εγκατάστασή του μέχρι περίπου το τέλος Απριλίου 1999. Ακολούθως, εστάλη στην κατασκευάστρια εταιρεία (Γαλλία) για ρυθμίσεις, λόγω ορισμένων ανακολουθιών τις οποίες παρουσίαζε στις μετρήσεις, ενώ, μετά την επανεγκατάστασή του στην Νίσυρο τον Οκτώβριο 1999, έκτοτε λειτουργεί κανονικά. Ετσι στην παρούσα μελέτη παρουσιάζονται τα δεδομένα των καταγραφών του ραδονίου από τις αρχές του 1999 (συνέχεια των καταγραφών του 1998), όπως και τα αντίστοιχα δεδομένα για τους μήνες Οκτώβριο και Νοέμβριο 1999.

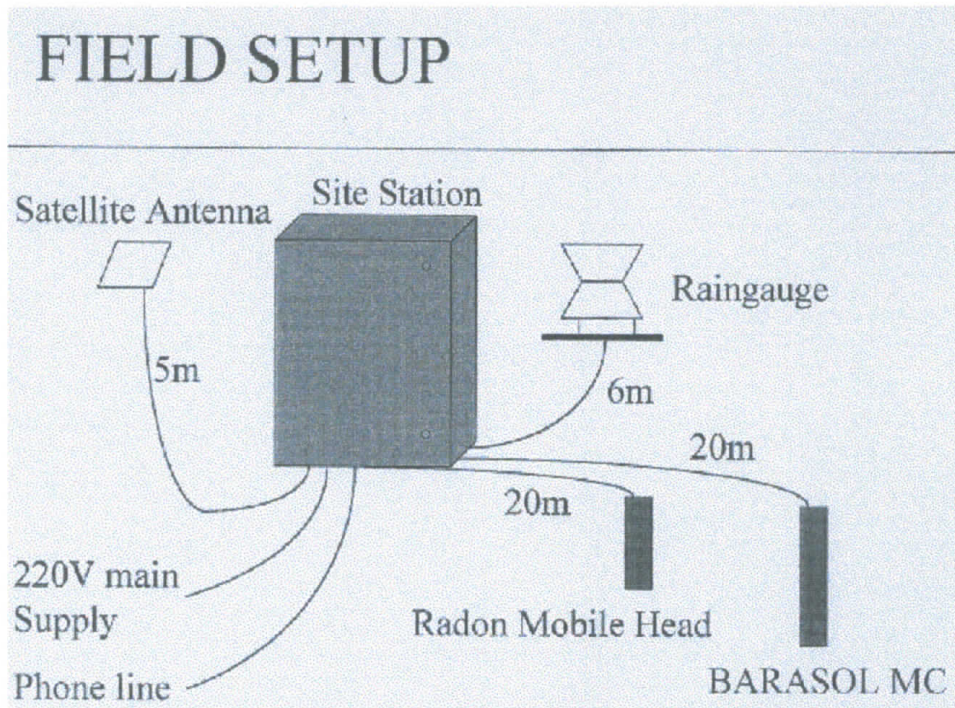
Μετρήσεις Rn

Η σειρά μετρήσεων του δικτύου Ραδονίου διενεργήθη στην Νίσυρο κατά τον Σεπτέμβριο 1999. Στον Πίνακα IV παρουσιάζονται τα αναλυτικά αποτελέσματα της ως άνω περιόδου στους εγκατεστημένους σταθμούς του Δικτύου Ραδονίου στη Νίσυρο (Σχ. 9), όπως και τα αρχικά αντίστοιχα αποτελέσματα της εγκατάστασης



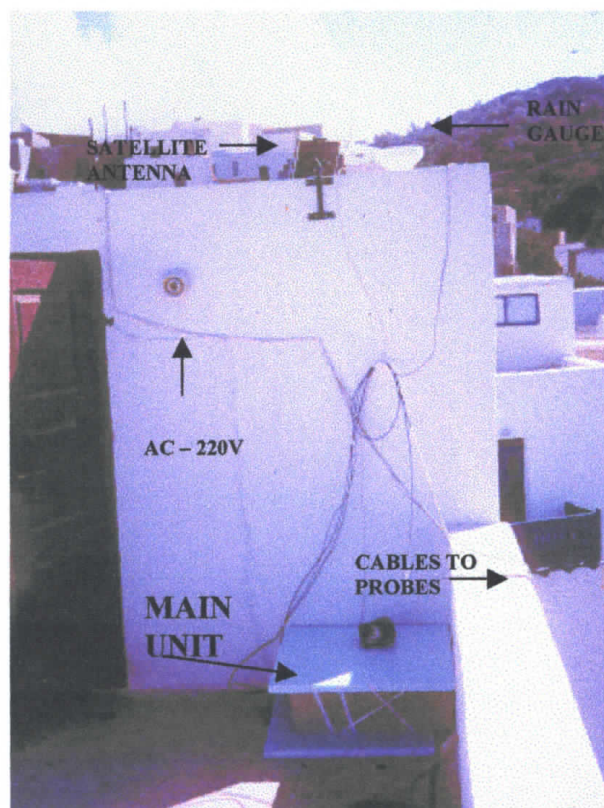
Σχήμα 10. Η περιοχή εγκατάστασης του Σταθμού Ραδονίου στο Μαντράκι Νισύρου, εμφανίσιμα επίσης το ρήγμα που δημιουργήθηκε από τους πρόσφατους σεισμούς (1996/97) – κόκκινη διακεκομμένη γραμμή.

Figure 10. The place where the radon recording station is installed (black arrow), showing also the fault formed during the recent (1996/97) earthquake activity – red broken line.



Σχήμα 11. Σχηματική αναπαράσταση του σταθμού Ραδονίου

Figure 11. A sketch of the set-up of the entire Radon station.

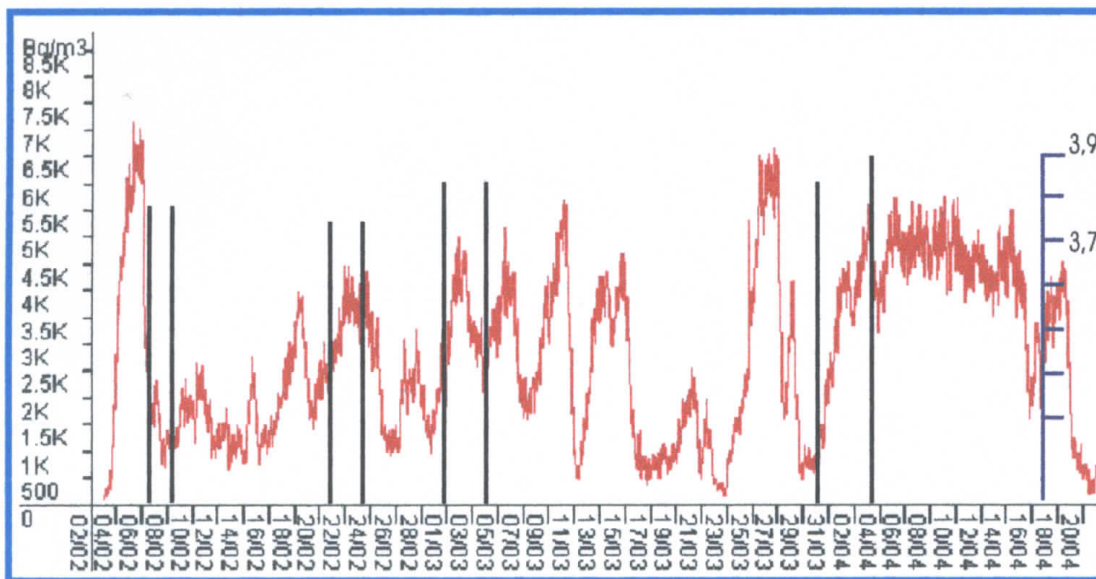


Σχήμα 12. Εγκατάσταση του σταθμού Ραδονίου στην ταράτσα κτιρίου στο Μαντράκι
Figure 12. The radon satellite station installed at the roof of the town hall of Madraki.



Σχήμα 13. Φωτογραφία των ανιχνευτών του πολυ-καταγραφικού σταθμού Ραδονίου

Figure 13. Photograph of the multi-parameter Radon-measuring probes.



Σχήμα 14. Κατανομή συγκεντρώσεων Ραδονίου (02/02-20/04/1999) στην Νίσυρο και συσχέτιση με την σεισμικότητα της ευρύτερης περιοχής.

Figure 14. Radon concentration (02/02-20/04/1999) and related earthquakes from the area of Nissyros.

του Δικτύου Ραδονίου κατά τον Ιούνιο 1997. Παράλληλα με τις μετρηθείσες τιμές του Ραδονίου και Θορονίου αναγράφονται και οι αντίστοιχες τιμές της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και πίεσης (Πίναξ IV).

Στους περισσότερους σταθμούς παρατηρείται γενικώς μία ελαττωμένη έκλυση Ραδονίου σε σχέση με τις τιμές που εμετρήθησαν κατά πρώτον τον Ιούνιο 1997 (Πίναξ IV). Μερικοί σταθμοί διατηρούν τις ίδιες περίπου τιμές Ραδονίου, ενώ μερικοί εμφανίζουν κάποια αύξηση. Γενικά οι σταθμοί εκείνοι που κατά το 1997 εμφάνιζαν την μεγαλύτερη τιμή έκλυσης Ραδονίου (R8, R3), παρουσιάζουν ελαττωμένες τιμές κατά το 1999.

Οι ανωτέρω προσπάθειες μέτρησης των επιπέδων έκλυσης Ραδονίου και Θορονίου στην Νίσυρο, οι οποίες άρχισαν τον Ιούνιο 1997, πρέπει να τονισθεί ότι έχουν ενδεικτικό χαρακτήρα και σκοπό έχουν την καταγραφή και παρακολούθηση της τάξεως μεγέθους της έκλυσης του Ραδονίου στην περιοχή. Τυχόν μεταβολές με σημαντικά επίπεδα αύξησης της έκλυσης Rn θα πρέπει μάλλον να συνδέονται με την εκδήλωση έντονης σεισμικότητας στην περιοχή, αλλά και την πιθανή δραστηριοποίηση του Ηφαιστείου της Νισύρου, διότι πιστεύεται ότι η αλλαγή των τάσεων του τεκτονικού καθεστώτος της ευρύτερης περιοχής πρέπει μάλλον να αποδοθεί στα επακόλουθα τα οποία προκύπτουν και συνεπάγονται από την άνοδο μάγματος.

Όλα τα δεδομένα του καταγραφικού σταθμού αποστέλλονται ταυτοχρόνως (real-time) μέσω του δορυφορικού συστήματος IMARSAT στην βάση, η οποία ευρίσκεται στον Τομέα Γεωφυσικής-Γεωθερμίας του Πανεπιστημίου Αθηνών. Κατά τον τρόπον αυτόν καθίσταται άμεση η παρακολούθηση και η μελέτη της έκλυσης του Ραδονίου στην Νίσυρο. Οι μετρήσεις της πρώτης περιόδου δείχνονται στο

ΠΙΝΑΞ / TABLE IV

Παρατηρηθείσες Τιμές Rn Th
Observed Rn and Th Values

No	ΙΟΥΝΙΟΣ 1997				ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 1999			
	Θερμ. (°C)	Πίεση mBar	Rn cpm	Th cpm	Θερμ. (°C)	Πίεση mBar)	Rn cpm	Th cpm
R1	33	1001	68	139	32	1014	78	163
R2	32	1001	50	87	34	1014	33	60
R3	32	1001	658	1205	31	1014	618	1238
R4	30	1013	24	67	26	1026	31	58
R5	33,7	1013	31	59	26	1029	26	47
R6	31	980	0	0	Destroyed			
R7	32	1011	26	56	24	1026	21	38
R8	32	1003	1773	3350	30	1013	658	1763
R9	30	1009	5	9	26	1025	-5	-8

σχήμα 14. Στο ίδιο διάγραμμα έχουν επίσης σημειωθεί χρονικά και οι σεισμοί (μικρότεροι από μέγεθος $M=3,9$), οι οποίοι έλαβαν χώρα στην Νίσυρο ή στην ευρύτερη περιοχή της Νισύρου. Παρατηρούμε ότι τουλάχιστον σε δύο περιπτώσεις έχουν σημειωθεί τιμές έκλυσης ραδονίου που υπερβαίνουν τα 6500 Bq/m^3 και φθάνουν τα 7000 Bq/m^3 (06/02/1999 και 26-27/03/1999), που μετά παρέλευση 1-2 ημερών, σημειούται σεισμός με μέγεθος $M=3.8$ περίπου. Σημειώνονται και άλλοι σεισμοί στο ενδιαμέσο χρονικό διάστημα, που αντιστοιχούν σε μικρότερες όμως μεταβολές έκλυσης ραδονίου. Στις περιπτώσεις αυτές σημασία έχει η θέση του επικέντρου σε σχέση με την θέση του σταθμού. Εκτός τούτου όμως χρειάζεται μεγάλη και διαρκής χρονοσειρά καταγραφής του ραδονίου, προκειμένου να επιχειρηθεί περαιτέρω διερεύνηση του θέματος συναρτήσει των παράλληλων ατμοσφαιρικών συνθηκών και σεισμολογικών παραμέτρων, με την εφαρμογή σειράς στατιστικών αναλύσεων, βάσει των οποίων οι εξωτερικές συνθήκες (π.χ. ατμοσφαιρική πίεση και θερμοκρασία, βροχόπτωση) θα αφαιρούνται από τα αρχικά δεδομένα του ραδονίου.

Η δεύτερη σειρά μετρήσεων δείχνεται στο σχήμα 15, μαζί με τις μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης και θερμοκρασίας. Παρατηρούμε ότι η μέση τιμή περίπου έκλυσης ραδονίου είναι περί τα 3000 Bq/m^3 μέχρι την 07/11/99, ενώ περί την 09/11/99 η τιμή έκλυσης ραδονίου διπλασιάζεται και υπερβαίνει τα 6500 Bq/m^3 . Στην συνέχεια έχουμε μετάπτωση στην κατά προσέγγιση μέση τιμή των 4000 Bq/m^3 μέχρι τις 23/11/99, ενώ αμέσως μετά παρατηρείται μία απότομη πτώση σε πολύ χαμηλές τιμές (με απότομη σχετικά πτώση της ατμοσφαιρικής πίεσης), που στις επόμενες 10 περίπου ημέρες η τιμή έκλυσης του ραδονίου αρχίζει να αυξάνει σταδιακά.

NISSYROS RADON SATELLITE STATION

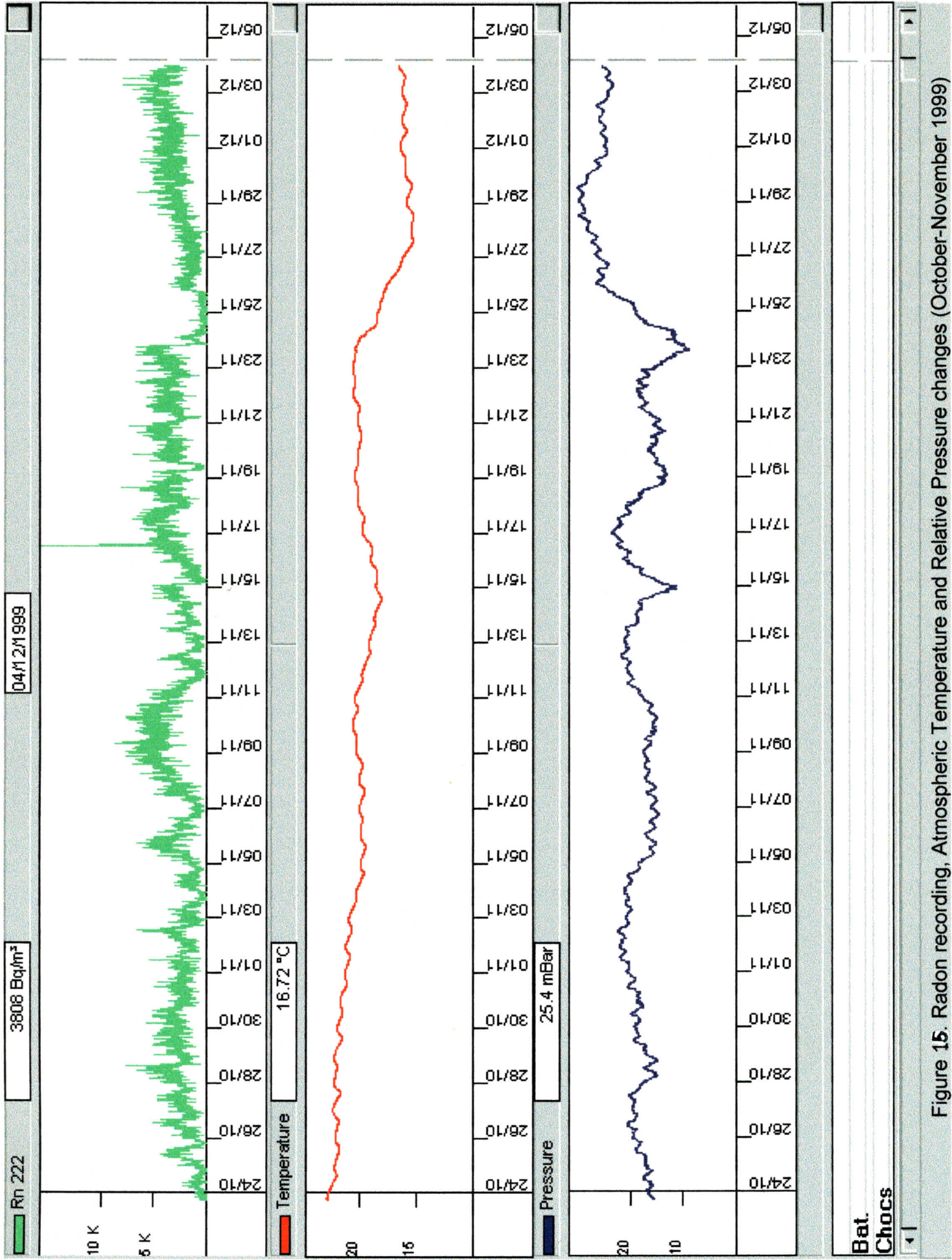


Figure 15. Radon recording, Atmospheric Temperature and Relative Pressure changes (October-November 1999)

Τα εν λόγω δεδομένα πρόκειται να συσχετισθούν με τους τοπικούς σεισμούς, οι οποίοι έχουν καταγραφεί στην περιοχή από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Αστεροσκοπείου Αθηνών, σε μελλοντική κοινή συνεργασία μεταξύ των δύο φορέων (Αστεροσκοπείου & Πανεπιστημίου Αθηνών).

Μ Ε Ρ Ο Σ Γ**ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Κατά την παρακολούθηση του Ηφαιστείου Νισύρου, κατά το 1999, επραγματοποιήθη μία επαναμέτρηση του GPS δικτύου τον Σεπτέμβριο, προκειμένου να ελεγχθεί η τυχόν παραμόρφωση της περιοχής, οριζόντια και κατακόρυφη, η οποία είναι δυνατόν να προξενείται και από πιθανή άνοδο μάγματος.

Η παραμόρφωση η οποία παρατηρήθηκε και είχε το μεγαλύτερο πλάτος, σημειώθηκε κατά τους πρώτους μήνες (Ιούνιο-Σεπτέμβριο) του 1997 (Λάγιος, 1998, Λάγιος κ.ά., 1998), όταν η σεισμικότητα ευρίσκετο σε σημαντική έξαρση κυρίως στο ΒΔ άκρο της νήσου (κατά μήκος ΒΔ-ΝΑ εκτεινομένου ενεργοποιηθέντος ρήγματος, διερχομένου στο ΒΔ άκρο της νήσου δια του οικισμού του Μανδρακίου), αλλά επεκτείνεται και σε ολόκληρη την θαλάσσια περιοχή μεταξύ της Νισύρου και Δυτικής Κώ (Σταυρακάκης, προσωπ. επικοινων.). Οι επόμενες επαναμετρήσεις του GPS δικτύου κατά το 1998 οριστικοποίησαν την εικόνα του τρόπου της παραμόρφωσης της Νισύρου. Όπως δε προέκυψε και κατά το 1999, η εικόνα της οριζόντιας παραμόρφωσης της περιοχής παραμένει εν γένει σταθερή και ουσιαστικά δεν έχει αλλάξει αισθητά σε σχέση με αυτήν του προηγούμενου έτους. Κύριο λόγο στον έλεγχο των διευθύνσεων της μεταβολής των οριζοντιογραφικών συντεταγμένων των σταθμών του δικτύου διαδραματίζουν οι κύριες ρηξιγενείς ζώνες της περιοχής. Οι σημαντικότερες εξ αυτών, οι οποίες ελέγχουν την παραμόρφωση της νήσου, είναι κατά μείζονα λόγο η F1 & F3, ενώ ήσσονα ρόλο διαδραματίζουν η F2 & F4 (βλ. Σχ. 1), όπως προαναφέρθηκε και σε προηγούμενη έκθεση (Λάγιος 1998).

Ετσι, εφ' όσον δεν παρατηρήθηκε καμμία ουσιαστική αλλαγή στην εικόνα παραμόρφωσης του 1998, όπως διαπιστώνεται κατά το 1999 (Σχ. 5), διατηρείται η τελική εικόνα του σχήματος 6 σε σχέση με το τέλος 1997. Οι ως άνω ρηξιγενείς ζώνες F1 και F3 (Σχ. 1) οριοθετούν δύο κυρίως τμήματα της Νισύρου, το δυτικό και το ανατολικό τμήμα. Όπως φαίνεται (Σχ. 6) στο δυτικό τμήμα δεν σημειώνεται αξιοσημείωτη αλλαγή (τα ανύσματα μεταβολών ευρίσκονται εντός των ορίων του σφάλματος). Στο ανατολικό όμως τμήμα διατηρούνται οι μεγάλες παραμορφώσεις που υπερβαίνουν τα 35 mm, με διευθύνσεις από ABA στο βόρειο ήμισυ έως ANA στο νότιο ήμισυ της νήσου.

Η παραπάνω διαπίστωση μή ουσιαστικής (οριζοντιογραφικής) παραμόρφωσης κατά το 1998 και 1999 είναι σε συμφωνία με την εικόνα της σεισμικότητας, η οποία παρουσιάζει σημαντική ύφεση, ιδίως κατά τους τελευταίους 6 μήνες του 1998 μέχρι σήμερα (Δεκ. 1999).

Οι μετρηθείσες κατακόρυφες κινήσεις των σταθμών του δικτύου στη Νίσυρο, κατά το 1999, φαίνεται ότι παρουσιάζουν διαφορετική εικόνα. Σε σχέση με το 1998 παρουσιάζεται μία γενική εικόνα καθίζησης σε όλους τους σταθμούς του δικτύου 30-50 mm (ελλειπτικά υψόμετρα) (Σχ. 7), ενώ η τελική εικόνα κατακόρυφης μεταβολής με αναφορά το 1997 δείχνει ότι η ανυψωτική κίνηση παραμένει στους σταθμούς μόνον του βόρειου και δυτικού τμήματος της νήσου (μέχρι 20 mm (ελλειπτικά υψόμετρα)), ενώ στο υπόλοιπο τμήμα φαίνεται ότι η προτέρα παρατηρηθείσα γενική ανύψωση (Λάγιος 1998) έχει σαφώς υποχωρήσει, τείνοντας ακόμη και σε κίνηση αντίθετης διεύθυνσης (Σχ. 8).

Η γενική εικόνα της εκλύσεως ραδονίου στο δίκτυο της Νισύρου (Πίνακας IV) δεν παρουσιάζει αξιόλογη μεταβολή, ενώ οι τιμές ραδονίου σε σταθμούς που παρουσίαζαν συστηματικά μεγαλύτερες συγκριτικά τιμές σε τάξη μεγέθους, εμφανίζονται ελαττωμένες.

Η μελέτη της χρονοσειράς του καταγραφικού σταθμού του ραδονίου στην Νίσυρο αναμένεται στο μέλλον να είναι συνεχής και άνευ διακοπών, έτσι θα προσφέρεται κατά καλλίτερο τρόπο στην εξαγωγή συμπερασμάτων σε σχέση με την παρατηρούμενη στο μέλλον σεισμικότητα της περιοχής, την παρακολούθηση της οποίας έχει αναλάβει το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Αστεροσκοπείου Αθηνών.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα έρευνα χρηματοδοτήθηκε από τον ΟΑΣΠ και το Ευρωπαϊκό Κέντρο Πρόγνωσης και Πρόληψης Σεισμών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bilham, R. (1991). Earthquakes and sea level: space and terrestrial metrology on a changing planet. *Rev. of Geophysics*, 29, 1-29.
- Βουγιουκαλάκης (1994). Ηφαιστειακή στρωματογραφία και εξέλιξη της νήσου Νισύρου. *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, Τομ. XXVIII/2, 239-258.
- Chailas S. & Lagios E. (1996). Monitoring of the local gravity in Santorini Volcano, 1984-1995. *Proc. 2nd Workshop on European Laboratory Volcanoes, May 2-4, Santorini, Greece. European Commission D.G. SR&D.*, 297-309
- Γεωργαλάς, Γ. (1958). Η νήσος Νίσυρος. "Νισυριακά Χρονικά" 21, 22, 23. Αθήνα.
- Davis, E. (1967). Zur Geologie und Petrologie der Inseln Nisyros und Jali (Dodecanes). *Πρακτικά Ακαδ. Αθηνών* 42, 235-252.
- Dawes, G.J.K. and Lagios, E. (1991). A magnetotelluric survey of the Nissyros Geothermal Field. *Geothermics*, 20, 225-235
- Desio, A. (1931) Le isole Italiane del Egeo. *Meumr. Carta Geol. d' Italia* 24.
- Di Paola, G. M. (1974). Volcanology and Petrology of Nisyros island (Dodecanese, Greece). *Bull. Volcanology* 38, 944-987.
- Hardiman, J. C. (1996). Volcanology and Dating of the caldera phase eruptions of Nisyros volcano, Greece. *Proc. Course: The mitigation of volcanic hazards. European Commission D.G. SR&D.* 519-522.
- Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger, H. and Collins, J. (1992). Global positioning system Theory and Practice. Springer Verlag, Wien, 326.
- Giannopoulos J. , Lagios E. & Sigmundsonn F. (1996). Global Positioning System (GPS) Monitoring on Santorini (Thera) Volcano., *Proc. 2nd Workshop on European Laboratory Volcanoes, May 2-4, Santorini, Greece. European Commission D.G. SR&D.*, 271-279
- Κοσμάτος Δ., Λάγιος Ε., Γιαννόπουλος Γ., Λυριτζής Ι., (1992). Εμφάνιση και συμπεριφορά των ισοτόπων του Ραδονίου σε Ελληνικά Γεωθερμικά πεδία. *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, Τομ. XXVIII/2, 605-622.
- Λάγιος, Ε. (1991). Μαγνητοτελλουρική έρευνα δομής του γεωθερμικού πεδίου Νισύρου. *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, Τομ. XXV/3, 393-407.

- Λάγιος, Ε. (1998). Παρακολούθηση του Ηφαιστείου Νισύρου: Γεωφυσικές - Γεωδαιτικές Μετρήσεις. Τελ. Έκθεση Υποβλ. ΟΑΣΠ (Αθήναι)
- Lagios, E. (1995). Microgravimetric Monitoring of the Santorini Volcano, Greece. *Proc. Intern. Workshop "New Challenges for Geodesy in Volcanoes Monitoring", June 14-16, 1993, Walferdange, Luxemburg, Tire a part des Cahiers du Centre Europeen de Geodynamique et de Seismologie, Vol. 8, 293-305.*
- Lagios E., Tzanis A., Delibasis N., Drakopoulos J. & Dawes G. K. J. (1994). Geothermal Exploration of Kos Island, Greece: Magnetotelluric and Microseismicity studies. *Geothermics, Vol. 23, 267-281.*
- Lagios E. & Apostolopoulos G. (1995). Integrated geophysical study of the geothermal system in the southern part of Nisyros Island, Greece. *Journal of Applied Geophysics, 34, 55-61.*
- Lagios E., Apostolopoulos G. & Papanikolaou D. (1998). Geophysical studies relating to the tectonic structure of Kos Island (Greece)., *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Τομ. XXXII/4, 205-213.*
- Λάγιος, Ε., Χάϊλας, Σ., Γιαννόπουλος, Ι., Σωτηρόπουλος, Π., (1998). Παρακολούθηση του Ηφαιστείου Νισύρου: Εγκατάσταση και επαναμέτρηση Δικτύων GPS & Ραδονίου., *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Τομ. XXXII/4, 215-227.*
- Liritzis, I., Lagios, E., Kosmatos, D. (1995). Detailed radon isotope measurements in Nissyros and Susaki geothermal fields, Greece. *Comptes Rendus de l' Academie des Sciences, t. 321, serie II a, 473-480.*
- Παπανικολάου Δ. και Λέκκας Ε. (1991). Γεωλογική Δομή και Εξέλιξη του Ηφαιστείου της Νισύρου. *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Τομ. XXV/1, 405-419.*
- Pylon Electronic Development Co.(1982) RM-1003 Radon Detector. Instruction manual, Ottawa Canada.
- Sigmudsson, F. (1996). Crustal deformation at volcanoes. *Proc. Course: The mitigation of volcanic hazards. European Commission D.G. SR&D. 237-257.*