

**ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ
ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (Ο.Α.Σ.Π.)**



ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΟΥ:

**«ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ
ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΔΟΜΩΝ ΣΤΟ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΟ ΤΟΞΟ ΤΟΥ
ΑΙΓΑΙΟΥ»**

ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ:Κ.Θ.ΠΑΠΑΒΑΣΙΛΕΙΟΥ

Επικ.Καθηγητής

Τμήμα Γεωλογίας

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΑΘΗΝΑ 2005

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα έκθεση αποτελεί το τελικό προϊόν του ερευνητικού προγράμματος που ανετέθη από τον ΟΑΣΠ στο Τμήμα Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών. Το ερευνητικό αυτό πρόγραμμα με τίτλο: **"Μελέτη σχέσης μεταξύ σεισμικής δραστηριότητας-υδροθερμικής δράσης (κύρια υποθαλάσσιας), ηφαιστειότητας και τεκτονικών δομών στο ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου"**, υλοποιήθηκε σε συνεργασία των τομέων Οικονομικής Γεωλογίας και Γεωχημείας, Γεωφυσικής και Γεωθερμίας, Εφαρμοσμένης-Τεκτονικής Γεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών σε συνεργασία με τον τομέα Γεωλογίας- Φυσικής Γεωγραφίας του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Στόχος του ερευνητικού αυτού προγράμματος ήταν ο συσχετισμός των αποτελεσμάτων των μεταβολών των σεισμικών μετρήσεων με τα αποτελέσματα των μεταβολών των φυσικοχημικών μετρήσεων των υδροθερμικών νερών-ρευστών, του θαλασσινού νερού, των αερίων των ασιδών κλπ. που υλοποιήθηκαν παράλληλα σε χρονικές περιόδους το 2001 και το 2003, με κοινές μετρήσεις, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις στους μόνιμους σταθμούς παρακολούθησης του Αγ.Νικολάου στην Π.Καμένη και των σταθμών του ΙΜΠΗΣ(Ινστιτούτο Μόνιμης Παρακολούθησης Ηφαιστείου Σαντορίνης) και η εξαγωγή συμπερασμάτων που θα οδηγήσουν στον συσχετισμό της σεισμικής με την ηφαιστειακή δράση και κατά συνέπεια ο εντοπισμός παραμέτρων πρόβλεψης σεισμικής δράσης εξ' αιτίας συνδυασμένης ηφαιστειακής –υδροθερμικής και τεκτονικής δράσης

Στην έκθεση αυτή παρουσιάζονται οι εργασίες, οι μετρήσεις, τα τελικά αποτελέσματα και η τελική σύνθεση των τριών επιμέρους ερευνητικών ομάδων που εργάστηκαν από κοινού για την υλοποίηση του προγράμματος. **Η πρώτη ομάδα μελέτησε τις τεκτονικές-νεοτεκτονικές δομές στη Σαντορίνη** οι οποίες μπορούν σε συνδυασμό με ηφαιστειακά-υδροθερμικά γεγονότα να προκαλέσουν σεισμική δραστηριότητα. **Η**

δεύτερη ομάδα υλοποίησε το τμήμα του προγράμματος που αναφέρεται στην Γεωχημική-Υδροθερμική-Ηφαιστειακή έρευνα.

Στα πλαίσια της έρευνας αυτής έγιναν περιοδικές δειγματοληψίες με στόχο φυσικό-χημικές μετρήσεις στο ηφαιστειακό σύμπλεγμα της Σαντορίνης. Πιο συγκεκριμένα οι περιοχές δειγματοληψίας περιλαμβάνουν τις θερμές πηγές της Παλαιάς και Νέας Καμένης (στις θέσεις Άγιος Νικόλαος και όρμος Αφρόεσσας αντίστοιχα), τις ατμίδες της Νέας Καμένης τη θερμή πηγή της Πλάκας και την εγκαταλελειμμένη πηγή του Χριστού, οι δύο τελευταίες στο δυτικό τμήμα της νήσου Θήρας. Στα πλαίσια υλοποίησης του προγράμματος αυτού υλοποιήθηκε η εγκατάσταση και λειτουργία σταθμού συνεχούς καταγραφής περιβαλλοντικών και γεωχημικών παραμέτρων στον όρμο Αγίου Νικολάου της Π. Καμένης όπου και η ομώνυμη πηγή. Ο σταθμός αυτός ήδη εγκαταστάθηκε και λειτουργεί είναι δε συνδεδεμένος τηλεμετρικά με το ΙΜΠΗΣ, και τα Πανεπιστήμια Αθηνών και Θεσ/νίκης.

Η τρίτη ερευνητική ομάδα από τον Τομέα Γεωφυσικής-Γεωθερμίας του Τμήματος Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών υλοποίησε το σεισμολογικό τμήμα του προγράμματος. Στα πλαίσια της σεισμολογικής έρευνας, εκτός από τη μελέτη βιβλιογραφικών δεδομένων ιστορικής και ενόργανης σεισμικότητας, πραγματοποιήθηκε ανάλυση πρωτογενών στοιχείων μικροσεισμικότητας που συλλέχθηκαν σε δύο φάσεις. Η πρώτη φάση πραγματοποιήθηκε με την εγκατάσταση δικτύου 6 σειсмоγράφων (SANNET-2001) στην ευρύτερη περιοχή από τον Ιούνιο έως τον Νοέμβριο του 2001. Η δεύτερη φάση πραγματοποιήθηκε με την εγκατάσταση δικτύου 5 σειсмоγράφων (SANNET-2003), που εγκαταστάθηκε στη Σαντορίνη από τον Μάρτιο έως και τον Αύγουστο του 2003.

Τα αποτελέσματα της ερευνητικής εργασίας των 3 ομάδων συνετέθησαν με στόχο να διερευνηθεί η πιθανή η σύνδεση της μεταβολής της σεισμικότητας η οποία οφείλεται σε ηφαιστειακή, υδροθερμική δράση σε συνδυασμό με ενεργές νεοτεκτονικές, δομές με μεταβολές βασικών φυσικοχημικών παραμέτρων όπως π.χ. οι μεταβολές της στάθμης της θάλασσας, του δυναμικού οξειδοαναγωγής (Eh), της ροής CO₂ στα υδροθερμικά ρευστά, του pH κ.λπ. **Είναι φανερό ότι η ύπαρξη μιας τέτοιας σύνδεσης, μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό εργαλείο πρόγνωσης σεισμικών φαινομένων που συνδέονται ηφαιστειακή και υδροθερμική δράση.**

Παρουσιάζονται επίσης και σειρά προτάσεων που αφορούν την μελλοντική

παρακολούθηση βασικών παραμέτρων της ηφαιστειακής και υδροθερμικής δραστηριότητας σαν στοιχεία πρόγνωσης σεισμικών φαινομένων(κυρίως ηφαιστειακής προέλευσης) στην ευρύτερη περιοχή της Σαντορίνης,

Οι εργασίες υπαίθρου της πρώτης φάσης έρευνας ξεκίνησαν τον Ιούνιο του 2001 και αφορούσαν εγκατάσταση ψηφιακών σειсмоγράφων, περιοδικές δειγματοληψίες νερών και αερίων από θερμές πηγές και ατσίδες , εγκατάσταση σταθμού συνεχούς καταγραφής γεωχημικών παραμέτρων θερμών νερών, και τέλος αναγνωριστική τεκτονική μελέτη του βορειοανατολικού τμήματος της Σαντορίνης. Οι εργασίες υπαίθρου της δεύτερης φάσης έρευνας πραγματοποιήθηκαν τον Απρίλιο του 2003 και αφορούσαν συνέχεια των εργασιών της πρώτης φάσης.

ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΣΤΟΧΟΥ

Πολύ συχνά, τα υδροθερμικά ρευστά προκαλούν ένα εκτεταμένο σύστημα ρηγμάτων και ρηξιγενών ζωνών σε μεγάλη έκταση εντός του φλοιού, που σαν αποτέλεσμα έχουν την δημιουργία σεισμών. Οι σεισμοί που συνδέονται με την υδροθερμική δραστηριότητα, είναι χαρακτηριστικά μικρού μεγέθους (microearthquakes) και εκδηλώνονται υπό μορφή σμηνοσειράς. Αυτοί οι σεισμοί, μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα σε τοπικό επίπεδο, ιδιαίτερα εάν συνοδεύονται από μια γενικότερη ηφαιστειακή ή υδροθερμική δραστηριότητα. (π.χ. στη Σαντορίνη, Μήλο-, Νίσσυρο- (στο ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου).

Οι Dando και άλλοι (1995)¹, παρατήρησαν ότι σεισμοί με μεγέθη 5.0 και 4.4 στον κόλπο του Παλαιοχωρίου στη Μήλο, Οι σεισμοί αυτοί οδήγησαν στην απελευθέρωση μεγάλων όγκων αερίων, καθώς και σε μια αύξηση κατά 360% στην περιεκτικότητα φωσφορικού άλατος και διαλελυμένου μαγγανίου στην υπερκείμενη υδάτινη στήλη.

Σαν μικροσεισμοί ορίζονται εκείνοι που έχουν ένα μέγεθος λιγότερο από 4,0 (Macdonald & Mudie, 1974)². Η σχέση μεταξύ των γεωθερμικών συστημάτων και

¹ Dando,P.R.,J.AHughes,Y.Leahy,L.J.Taylor, and S.Zivanovic. (1995).Earthquakes increase hydrothermal venting and nutrient inputs into the Aegean. *Continental Shelf Research* v:15,p:655-662

² Macdonald,K.C., and J.D.Mudie.(1974). Microearthquakes on the Galapagos Spreading Centre and the seismicity of fast –spreading ridges. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* v:36, p:245-257.

μικροσεισμών ήταν γνωστή από καιρό (Ward 1972)³. Για το θαλάσσιο περιβάλλον, ο Rona (1978)⁴ πρότεινε ότι η δραστηριότητα σμήνους μικροσεισμών μπορεί να δείξει την παρουσία μεγάλης έντασης υποθαλάσσιων υδροθερμικών συστημάτων μεταφοράς, και ο Macdonald (1983)⁵ ότι θα ήταν χρήσιμο να μελετηθούν τα ασυνήθιστα σεισμικά γεγονότα όπως οι αρμονικές δονήσεις, οι οποίες μπορούν να προκληθούν από τη μαγματική ή/και υδροθερμική δραστηριότητα.

Τα ηφαίστεια προκαλούν επίσης σεισμούς. Οι ηφαίστειο-τεκτονικοί σεισμοί πιστεύεται ότι αντιπροσωπεύουν το εύθραυστο σύστημα ρηγματώσεων ως αποτέλεσμα της παραμόρφωσης που προκαλείται από τις ηφαιστειακές διαδικασίες.(Glasby 1998)⁶.

Συγκεκριμένα, στη Σαντορίνη, αναφέρεται πρόσφατη σεισμική δραστηριότητα (Μάρτιος 1992, Ιούνιος 2003) με μία σειρά σεισμών μεγέθους $M_8=2.4-5.2$, προερχόμενη από τη ΝΑ πλευρά της νήσου, καθώς και στην περιοχή της Παλαιάς και Νέας Καμένης κατά την περίοδο 1975-1976, με σεισμούς μεγέθους $M_3=4.1-4.9$, πιθανότατα εξ' αιτίας εκτεταμένης υποθαλάσσιας υδροθερμικής δραστηριότητας, σε συνδυασμό με υπάρχουσες ενεργές νεοτεκτονικές δομές. Η υδροθερμική δραστηριότητα, κύρια η υποθαλάσσια, συνδέεται με την λειτουργία μεγάλης έκτασης υδροθερμικού συστήματος, το οποίο μέσω της έντονης κυκλοφορίας των υδροθερμικών ρευστών μεταφέρει σημαντικές ποσότητες θερμότητας και οδηγεί όχι μόνο σε μεταλλογένεση αλλά και σε σεισμική δραστηριότητα.

Ειδικότερα στο χώρο της Μεσογείου η βύθιση της ωκεάνιας σύστασης Αφρικανικής πλάκας κάτω από την ηπειρωτικής σύστασης Ευρασιατική, έχουν ως αποτέλεσμα το σχηματισμό ενεργών ηφαιστειακών τόξων στην Τυρρηνία θάλασσα και στο νότιο Αιγαίο και τη μεγάλη σεισμική δραστηριότητα. Το φαινόμενο αυτό πέραν των άλλων οδηγεί σε υψηλή ροή θερμότητας (υψηλή γεωθερμική βαθμίδα) κατά μήκος του ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου και έτσι έχουμε την λειτουργία εντόνων ρευμάτων

³ Ward,P.L.(1972). Microearthquakes:prospecting tool and possible hazard in the development of geothermal resources. *Geothermics* v:1, p:3-12.

⁴ Rona,P.A.(1978). Criteria for recognition of hydrothermal mineral depositsin oceanic crust. *Economic Geology* v:73, p:135-160.

⁵ Macdonald,K.C.(1983). A geophysical comparison between fast and slow spreading centres:constraints on magma chamber formation and hydrothermal activity.In:P.A.Rona,K.Bostrom,L.Laubier,and K.L.Smith(eds), *Hydrothermal processes at seafloor spreading centers*,pp.27-51.New York:Plenum Press.

⁶ Glasby,G.P.(1998).The Relation Between Earthquakes,Faulting,and Submarine Hydrothermal Mineralization. *Marine Georesources and Geotechnology*, v:16, p:145-175.

μεταφοράς θερμότητας μέσω των υδροθερμικών ρευστών. Ενώ, όμως τα ηφαιστειακά συστήματα έχουν ερευνηθεί διεξοδικά, ορισμένες υποθαλάσσιες περιοχές με έντονη υδροθερμική δραστηριότητα άρχισαν να μελετώνται συστηματικά μόνο κατά την τελευταία δεκαετία. Η σχετικά πρόσφατη σεισμική δραστηριότητα της Σαντορίνης (1992-1993), η οποία πιθανά αποτελεί συνδυασμένο αποτέλεσμα έντονης υδροθερμικής δράσης και νεοτεκτονικών δομών, έδειξε την σημαντική έλλειψη μελετών τέτοιων συστημάτων, που είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε έντονα σεισμικά φαινόμενα. **Είναι αναγκαία επομένως και στην περίπτωση αυτή η πρόγνωση. Μια πρόγνωση που στην περίπτωση αυτή συνδέεται με την μελέτη της εξέλιξης της έντονης υδροθερμικής-ηφαιστειακής δραστηριότητας.**

Υπάρχουν σήμερα ισχυρές ενδείξεις ότι, στο ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου, η υδροθερμική δράση (υποθαλάσσια και μη), σε συνδυασμό με την ηφαιστειότητα και τις υπάρχουσες νεοτεκτονικές δομές, οδηγούν σε σεισμική δραστηριότητα η οποία μερικές φορές δεν είναι αμελητέα (σεισμοί 1952, 1975, 1992, 1993). Είναι πιθανόν στην ευρύτερη περιοχή του ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου να λειτουργούν τρία είδη σεισμικών φαινομένων: Τα καθαρά τεκτονικής προέλευσης σεισμικά φαινόμενα, τα ηφαιστειακής προέλευσης που σχετίζονται με της άνοδο του μαγματικού υλικού και τα υδροθερμικής προέλευσης σεισμικά φαινόμενα σε μορφή «σμήνους» που σχετίζονται με τις διαρρήξεις του φλοιού. Παράλληλα, έχει αποδειχθεί, ιδιαίτερα στην νήσο Σαντορίνη, ότι υπάρχει σύνδεση μεταξύ σεισμικών φαινομένων οφειλόμενα στην ηφαιστειακή και την συνεπακόλουθη υδροθερμική δραστηριότητα με αλλαγές στο χημισμό του θαλασσινού νερού εξ αιτίας της απελευθέρωσης μεγάλου όγκου αερίων από τις υποθαλάσσιες διαρρήξεις-διαφυγές των υδροθερμικών ρευστών.

Στην ίδια περιοχή, εξ άλλου, έχουν καταγραφεί από τοπικά ψηφιακά μικροσεισμικά δίκτυα, κατά τη διάρκεια πειραμάτων στις αρχές της δεκαετίας του '90, μικροσεισμοί με μεγέθη $0.5 < M_S < 4.2$. Οι μικροσεισμοί αυτοί εντοπίζονται είτε μέσα στην καλδέρα (και πιθανά συσχετίζονται με υδροθερμική δραστηριότητα), είτε στην περιοχή του Κολούμπου. Οι σεισμογόνες πηγές των μικροσεισμών αυτών είναι χαρακτηριστικές σε περιοχές ηφαιστειακής δραστηριότητας- στο κεντρικό τμήμα της καλδέρας της Σαντορίνης.

Αυτό μπορεί να αποτελεί ένδειξη ότι η σεισμική δραστηριότητα συνδέεται άμεσα με την ηφαιστειακή και υδροθερμική δραστηριότητα στη Σαντορίνη.

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

Τμήμα Γεωλογίας

Τομέας Δυναμικής Τεκτονικής

& Εφαρμοσμένης Γεωλογίας

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ,

ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ & ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ & ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ
ΜΕΤΑΞΥ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ-ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΗΣ
ΔΡΑΣΗΣ (ΚΥΡΙΑ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑΣ),
ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΔΟΜΩΝ
ΣΤΟ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΟ ΤΟΞΟ ΤΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΜΕΡΟΣ 1^ο : ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ



ΤΕΛΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ

Επιστημονικός Υπεύθυνος

Δρ. Κωνσταντίνος Παπαβασιλείου, Επίκουρος Καθηγητής

Επιστημονικοί Συνεργάτες

Dr rer. nat. **Ηλίας Μαριολάκος** Καθηγητής

Δρ. Ιωάννης Φουντούλης Επίκουρος Καθηγητής

Ευάγγελος Σπυρίδωνος Γεωλόγος

Δέσποινα Μίνου, Msc. Γεωλόγος

ΑΘΗΝΑ

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2004

1. Αντικείμενο και σκοπός της έρευνας

Σκοπός του ερευνητικού προγράμματος είναι η διερεύνηση της σχέσης της υποθαλάσσιας υδροθερμικής δραστηριότητας με τη σεισμικότητα σε περιοχές του ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου. Η παρούσα έκθεση αφορά το τμήμα της τεκτονικής και ειδικότερα τις εργασίες στην Σαντορίνη.

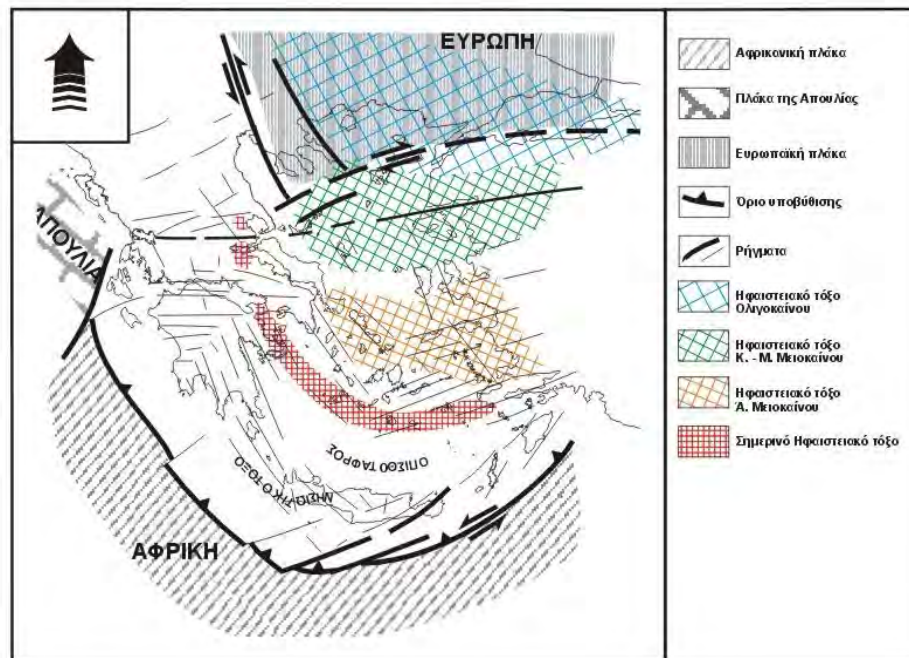
Κύριος στόχος των εργασιών υπαίθρου ήταν η καταγραφή και χαρτογράφηση των κύριων και δευτερεύουσας σημασίας ρηγμάτων και η συσχέτιση τους με την ηφαιστειακή δραστηριότητα του ηφαιστείου κέντρου και την γενικότερη τεκτονική της περιοχής. Η χαρτογράφηση και μελέτη των κύριων ρηγμάτων σε συνδυασμό με τα μικρότερα ρήγματα, θα μπορέσουν να δώσουν μια σαφέστερη εικόνα της τεκτονικής εξέλιξης της Σαντορίνης. Καταγράφοντας τα μικρότερα ρήγματα και χρησιμοποιώντας τους στρωματογραφικούς ορίζοντες στους οποίους παρατηρούνται αυτά, μπορούμε να προσδιορίσουμε την ηλικία και περίοδο δραστηριότητας των ρηγμάτων και να συσχετίσουμε τεκτονική με ηφαιστειακή δραστηριότητα.

2. Μεθοδολογία που εφαρμόστηκε

Τα χαρτογραφημένα ρήγματα τοποθετήθηκαν στον τρισδιάστατο ψηφιακό γεωλογικό χάρτη της Σαντορίνης (Εικ. 21, SPYRIDONOS et al., 1999). Οι ρηξιγενείς επιφάνειες μοντελοποιήθηκαν και συσχετίστηκαν με τα αποτελέσματα των μετρήσεων του μικροσεισμικού δικτύου που λειτουργεί στην περιοχή στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος.

3. Το Ηφαιστειακό κέντρο της Σαντορίνης

Το ηφαιστειακό κέντρο της Σαντορίνης αποτελεί μέρος του Ελληνικού ηφαιστειακού τόξου το οποίο σχηματίστηκε κατά το Πλειόκαινο εξαιτίας της καταβύθισης της Αφρικανικής τεκτονικής πλάκας κάτω από την μικρό-πλάκα του Αιγαίου. Το ηφαιστειακό τόξο αποτελείται εκτός της Σαντορίνης από τα ηφαιστειακά κέντρα των Μεθάνων, Αίγινας, Μήλου και Νισύρου, εκ των οποίων μόνο η Σαντορίνη και η Νίσυρος θεωρούνται ενεργά στις μέρες μας (Εικ. 1).

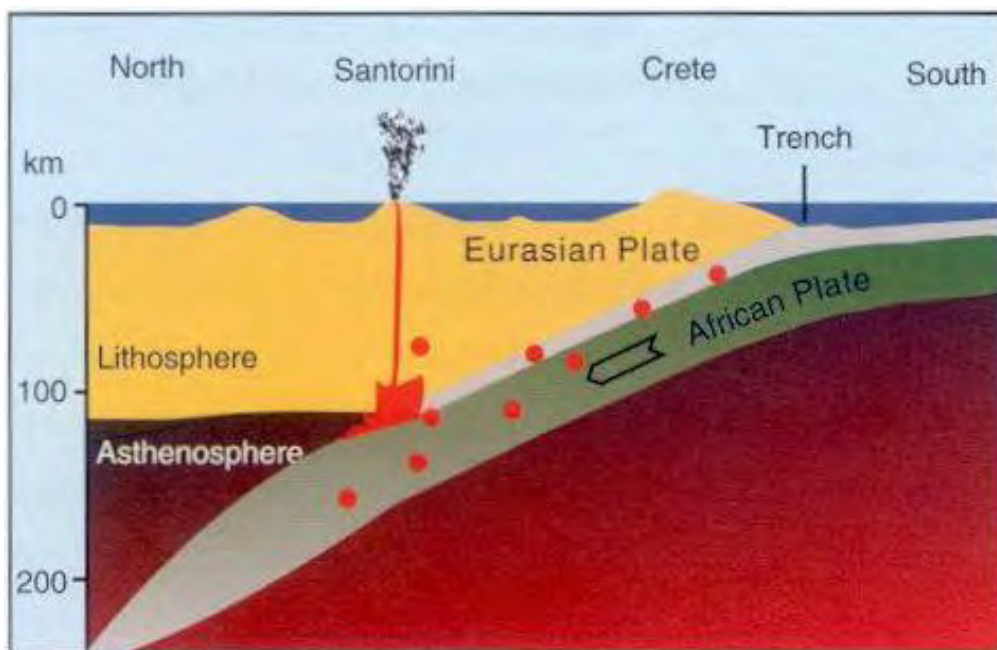


Εικ. 1: Το ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου.

Η περιοχή του Αιγαίου αντιπροσωπεύει μια ηπειρωτική μικρό-πλάκα η οποία αποτελείται από αλπικό υπόβαθρο και συμπεριλαμβάνει τμήματα της κεντρικής Ελλάδας, την Κρήτη, Ρόδο και δυτική Τουρκία (McKenzie 1970). Η ηφαιστειότητα κατά το Τριτογενές είχε επικεντρωθεί στην περιοχή του βορείου Αιγαίου και ήταν το αποτέλεσμα της ηπειρωτικής σύγκρουσης της Αφρικανικής πλάκας με την Ευρωπαϊκή η οποία κατέληξε στην καταβύθιση της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την Ευρωπαϊκή. Αυτή η σύγκρουση είχε ως αποτέλεσμα τον τεμαχισμό της λιθόσφαιρας και την δημιουργία μικρών λιθοσφαιρικών τεκτονικών πλακών μεταξύ των οποίων και της μικρό-πλάκας του Αιγαίου η οποία σταθεροποιήθηκε κατά το

μέσο Μειόκαινο (Dewey et al. 1973). Η έναρξη της καταβύθισης της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την πλάκα του Αιγαίου (Εικ. 2) έχει υπολογιστεί από τους Angelier et al 1982 στα 13 εκατομμύρια χρόνια b.p. ενώ οι Mercier et al 1989, την έχουν χρονολογήσει στα 16 εκατομμύρια χρόνια b.p..

Ο εφελκυσμός στην περιοχή υπολογίζεται ότι ξεκίνησε κατά το άνω Μειόκαινο και είχε κύριες διευθύνσεις ΔΒΔ-ΑΝΑ (άνω Μειόκαινο), ΒΑ-ΝΔ (Πλειόκαινο- κάτω Πλειστόκαινο) ενώ στις μέρες μας παρατηρούνται Β-Ν και ΒΑ-ΝΔ διευθύνσεις (Mercier et al 1989).



Εικ. 2: Σχηματική αναπαράσταση της καταβύθισης της Αφρικανικής πλάκας κάτω από το Αιγαίο (Friedrich 1994).

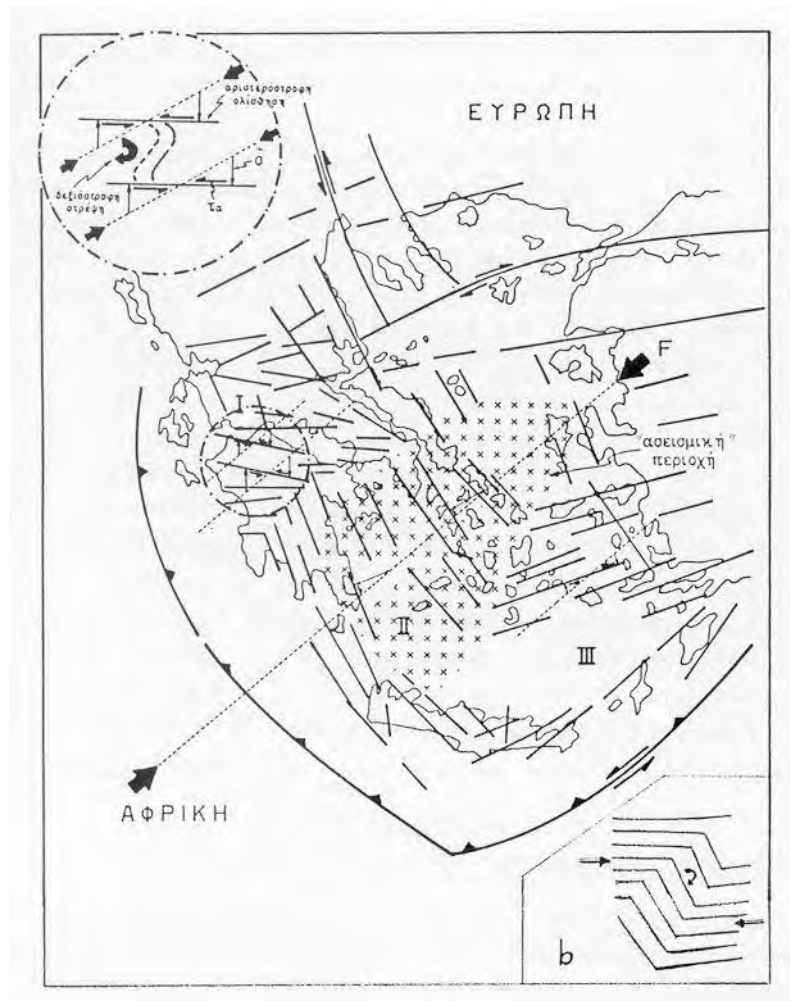
Σύμφωνα με τους Μαριολάκο και Παπανικολάου 1981, ο χώρος του Αιγαίου μπορεί να χωριστεί σε τρεις ζώνες ανάλογα με την επικρατούσα διεύθυνση. Τα τμήματα αυτά είναι (Εικ.3):

1. Το βορειοδυτικό μισό της Πελοποννήσου και της Στερεάς Ελλάδος με διεύθυνση Α-Δ,

2. Το νοτιοανατολικό τμήμα της Πελοποννήσου, το βόρειο δυτικό τμήμα των Κυκλάδων με την νότιο Αττική και Εύβοια και το δυτικό μισό της Κρήτης, με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, και
3. Το ανατολικό τμήμα των Κυκλάδων με την Ικαρία και τη Σάμο, τα Δωδεκάνησα και το ανατολικό μισό της Κρήτης, με διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ.

Επιπλέον, η περιοχή του Αιγαίου μπορεί να διαχωριστεί σε τρεις τομείς με βάση τη βύθιση του άξονα Β και το είδος της κίνησης (κανονικό ή ανάστροφο) (Εικ. 4):

1. Περιοχές όπου επικρατούν ρήγματα με σημαντική οριζόντια ολίσθηση (παρακατακόρυφα, παρακεκλιμένα, πλαγιοανάστροφα και πλαγιοκανονικά με $\sigma_2 > 45^\circ$)
2. Περιοχές όπου επικρατούν ρήγματα ορθοανάστροφα ή πλαγιοανάστροφα με $\sigma_2 < 45^\circ$
3. Σχετικά ασεισμική περιοχή η οποία απαντά ανάμεσα στις δύο περίπου Α-Δ ζώνες με οριζόντια ολίσθηση, όπου επικρατούν ρήγματα ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης, (Μαριολάκος & Παπανικολάου 1987).

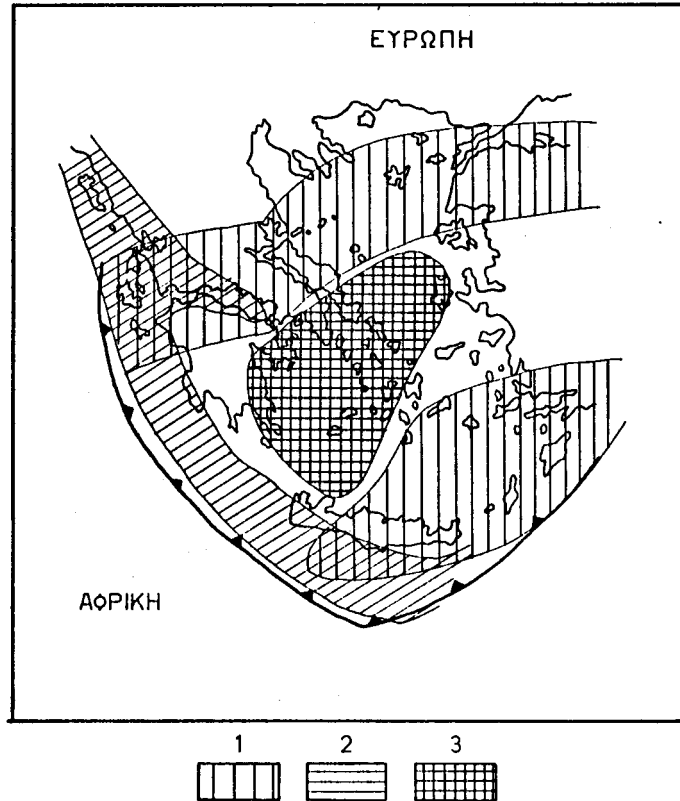


Εικ. 3: Ανάλυση του εντατικού πεδίου στον Ελλαδικό χώρο κατά τους Μαριολάκο & Παπανικολάου (1981).

Οι ΡΑΡΑΖΑΧΟΣ & ΠΑΝΑΓΙΟΤΟΠΟΥΛΟΣ, 1993, συσχέτισαν τα ηφαιστειακά κέντρα στο νότιο Αιγαίο με τα επίκεντρα ισχυρών επιφανειακών σεισμών (βάθους 20 χμ) και ισχυρών σεισμών μέσου βάθους (120 και 160 χμ) και παρατήρησαν ότι μπορούν να ομαδοποιηθούν σε πέντε ομοειδείς ευθύγραμμες δέσμες με ΒΑ διεύθυνση. Αυτές οι δέσμες αντιστοιχούν σε πέντε ρηξιγενείς ζώνες με την παραπάνω διεύθυνση και υποστηρίζονται από τις ανωμαλίες Bouguer στις συγκεκριμένες περιοχές και από την γεωμορφολογία του βυθού ο οποίος παρουσιάζει βυθίσματα (Εικ. 5).

Το ηφαιστειακό κέντρο της Σαντορίνης εμφανίζεται πάνω σε μία από αυτές τις ρηξιγενείς ζώνες και πιο συγκεκριμένα πάνω σε μία ζώνη μήκους 70 χμ. με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ η οποία εκτείνεται από τα βορειοανατολικά της Αμοργού προς τα

νοτιοδυτικά του ηφαιστειακού κέντρου των Χριστιανών (Εικ. 6).



Εικ. 4: Γεωγραφική κατανομή των μηχανισμών γένεσης των σεισμών στο Ελληνικό τόξο.
1) $\sigma_2 > 45^\circ$, 2) $\sigma_2 < 45^\circ$, 3) σεισμική περιοχή. (Μαριολάκος & Παπανικολάου 1987).

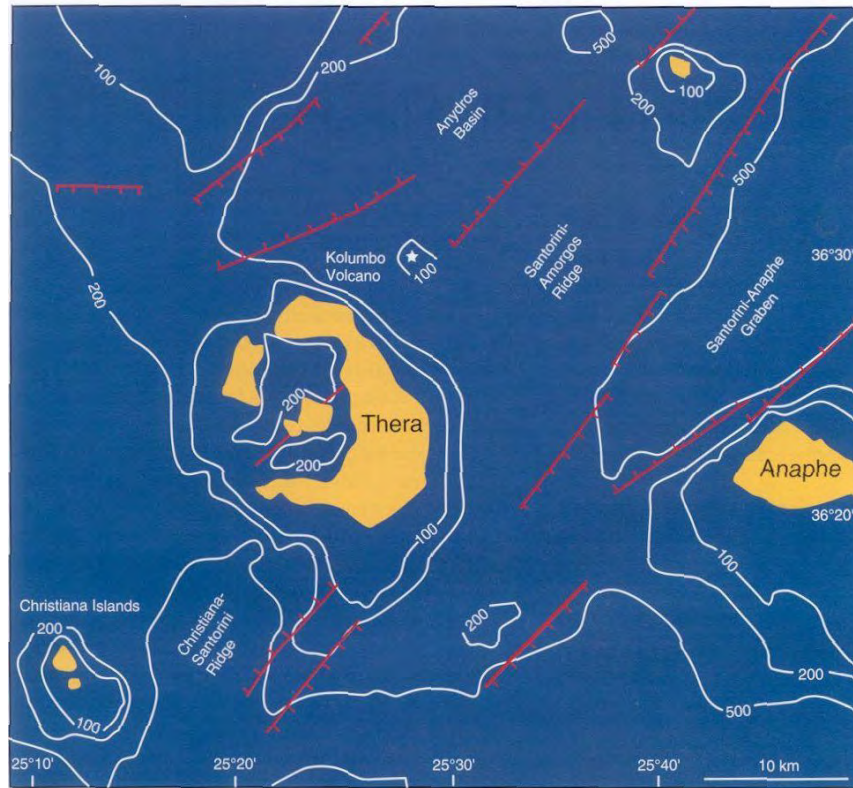
4. Βιβλιογραφική επισκοπική

Το ηφαιστειακό κέντρο της Σαντορίνης αποτελεί το αντικείμενο μελέτης πολλών επιστημόνων. Αναρίθμητες μελέτες έχουν γίνει σχετικά πάνω στα στάδια εξέλιξης της νήσου, στρωματογραφία, χρονολόγηση και στην κατανόηση της Μινωικής έκρηξης το 1760 π.Χ. (Fouque 1879, Reck 1936, Pichler and Kussmaul 1980, Heiken and McCoy 1984, Druitt et al 1989). Επίσης γεωχημικές, γεωθερμικές μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί με σκοπό την χρονολόγηση των λαβών και την κατανόηση της συμπεριφοράς και λειτουργίας του ηφαιστείου (Druitt et al. 1999(eds), Tarney et al. 1998, Papavassiliou et al 1990, Puchlet et al 1990).

Γεωφυσικές μελέτες έχουν γίνει από τους Papazachos & Panagiotopoulos 1993, Pavlakis 1993, Perissoratis 1990, Fytikas et al 1993 παρέχοντας σημαντικές πληροφορίες σχετικά με το ανάγλυφο και τα υποθαλάσσια ηφαιστεια στην περιοχή της Σαντορίνης καθώς και στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου. Τέλος οι Druitt et al 1999 (eds) και Fytikas et al 1990 παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τις γενικές διευθύνσεις ρηγμάτων στο νησί και στην ευρύτερη περιοχή γύρω από τη Σαντορίνη. Πιο συγκεκριμένα, κατά τους Fytikas et al 1990, όλη η ηφαιστειακή δραστηριότητα στους ιστορικούς χρόνους έχει επικεντρωθεί κατά μήκος μιας ζώνης μήκους 4,5 χμ, και πλάτους 600 μέτρων, με διεύθυνση Β 65°Α (Εικ. 7).



Εικ. 5: Συσχετισμός μεταξύ ηφαιστειακών κέντρων και ζώνες ρηγμάτων (PAPAZACHOS & PANAGIOTOPOULOS 1993, τροποποιημένο από Friedrich 1994).



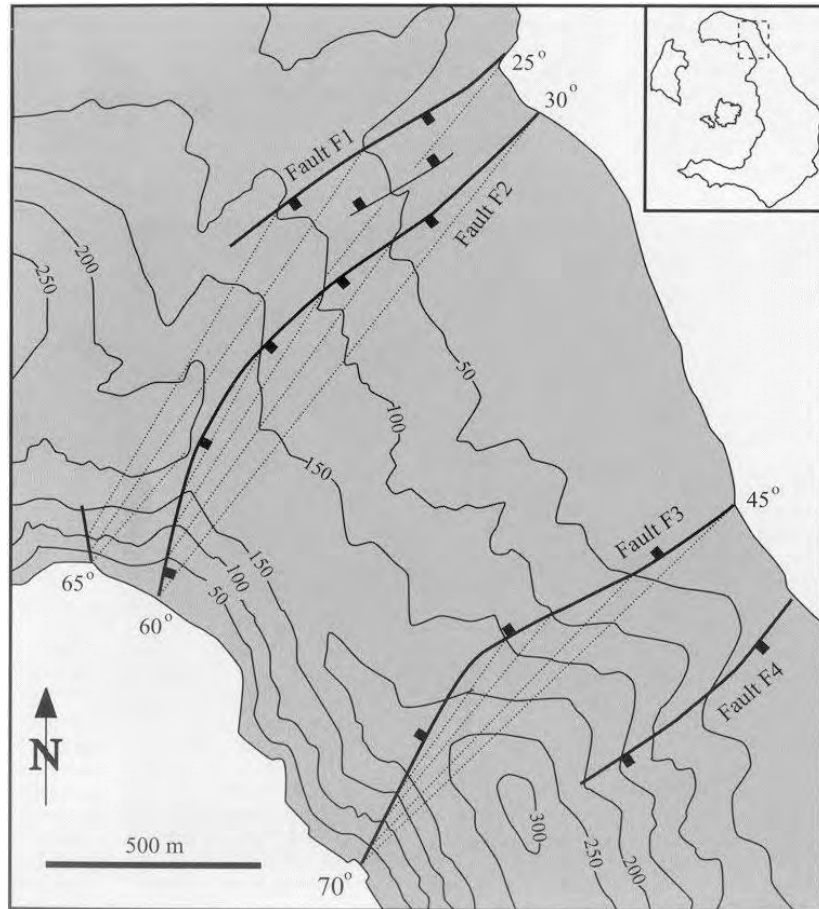
Εικ. 6: Η ρηξιγενής ζώνη σε σχέση με το ηφαιστειακό κέντρο της Σαντορίνης (από PAPAZACHOS & PANAGIOTOPOULOS 1993, τροποποιημένο από Friedrich 1994).



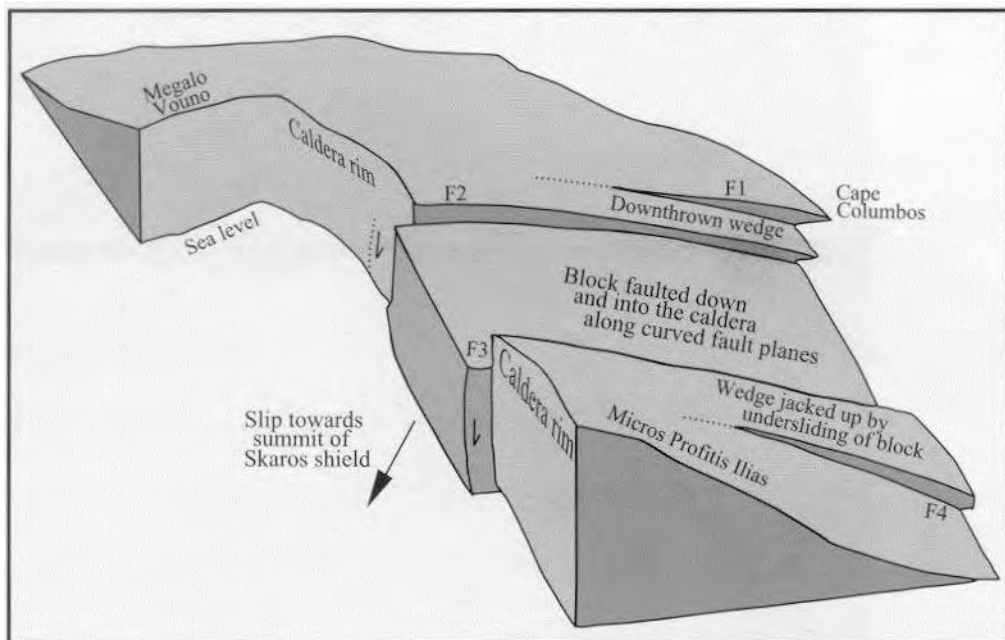
Εικ. 7: Η ζώνη στην οποία παρατηρείται ηφαιστειακή δραστηριότητα κατά τους ιστορικούς χρόνους (από Fytikas et al 1990, τροποποιημένο από Friedrich 1994).

Κατά τους Druitt et al (eds) 1999 αναφέρονται τα ρήγματα στο βορειοανατολικό τμήμα του νησιού τα οποία είναι κανονικά και έχουν διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ (Εικ 8). Τα ρήγματα αυτά σχηματίζουν ένα τεκτονικό βύθισμα και πιθανότατα συνέβαλαν στο σχηματισμό της καλδέρας κατά την Μινωική έκρηξη του 1760 π.Χ. (Εικ. 9).

Ο πρώτος γεωλογικός χάρτης κατασκευάστηκε από τους Pichler et al. 1980, πάνω στον οποίο έχουν βασιστεί οι περισσότερες μελέτες των τελευταίων 20 χρόνων. Το 1999 ο Druitt et al (eds) συμπεριέλαβε ένα καινούργιο γεωλογικό χάρτη δίνοντας λεπτομερείς χρονολογήσεις στις περισσότερες λάβες. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι δεν έχει δημοσιευθεί τεκτονικός ή νεοτεκτονικός χάρτης για το νησί.



Εικ. 8: Τα ρήγματα στο βορειοανατολικό τμήμα της Σαντορίνης (από *Druitt et al (eds) 1999*).



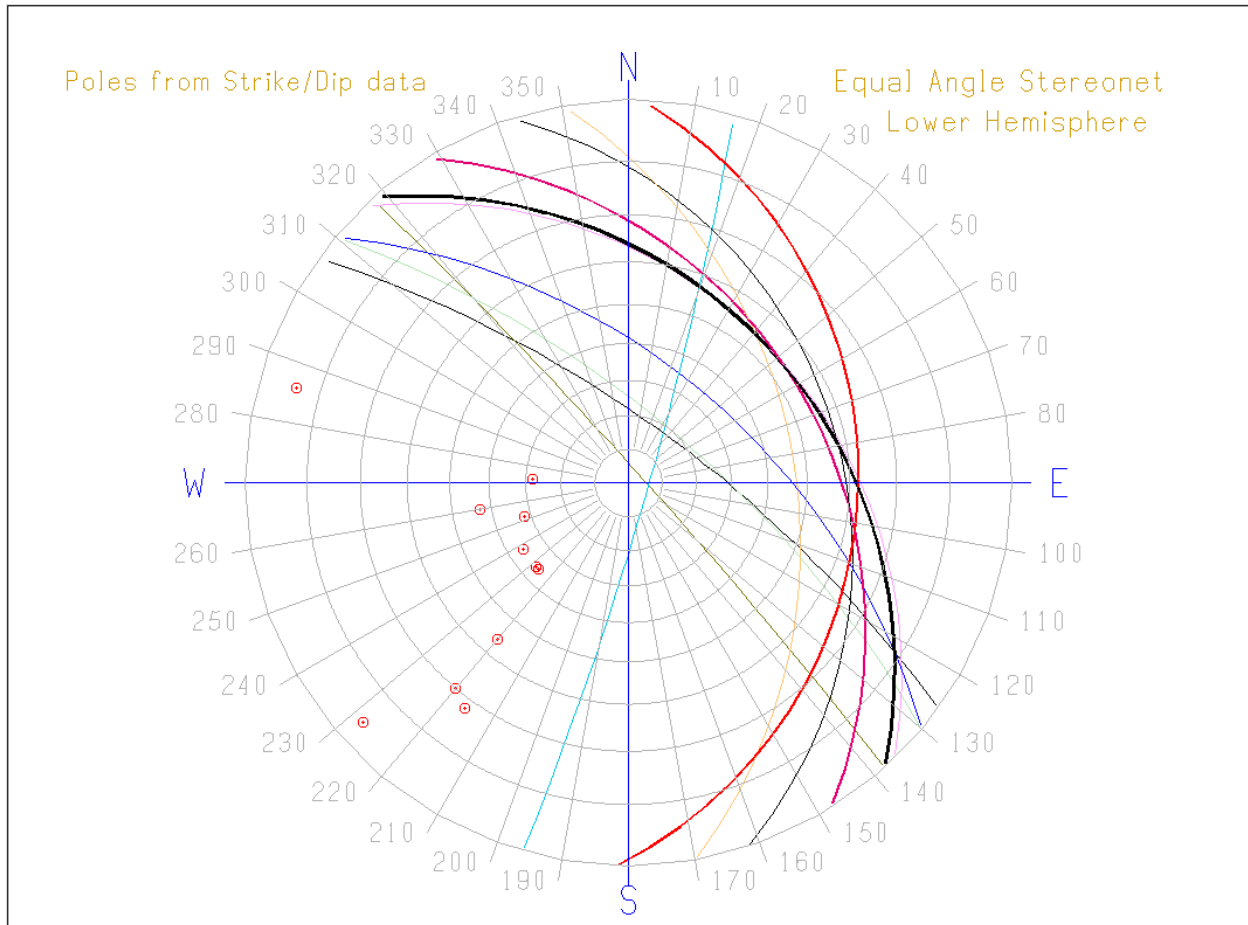
Εικ. 9: Ερμηνεία των τεκτονικών κινήσεων στο βορειοανατολικό τμήμα της Σαντορίνης (από *Druitt et al (eds) 1999*)



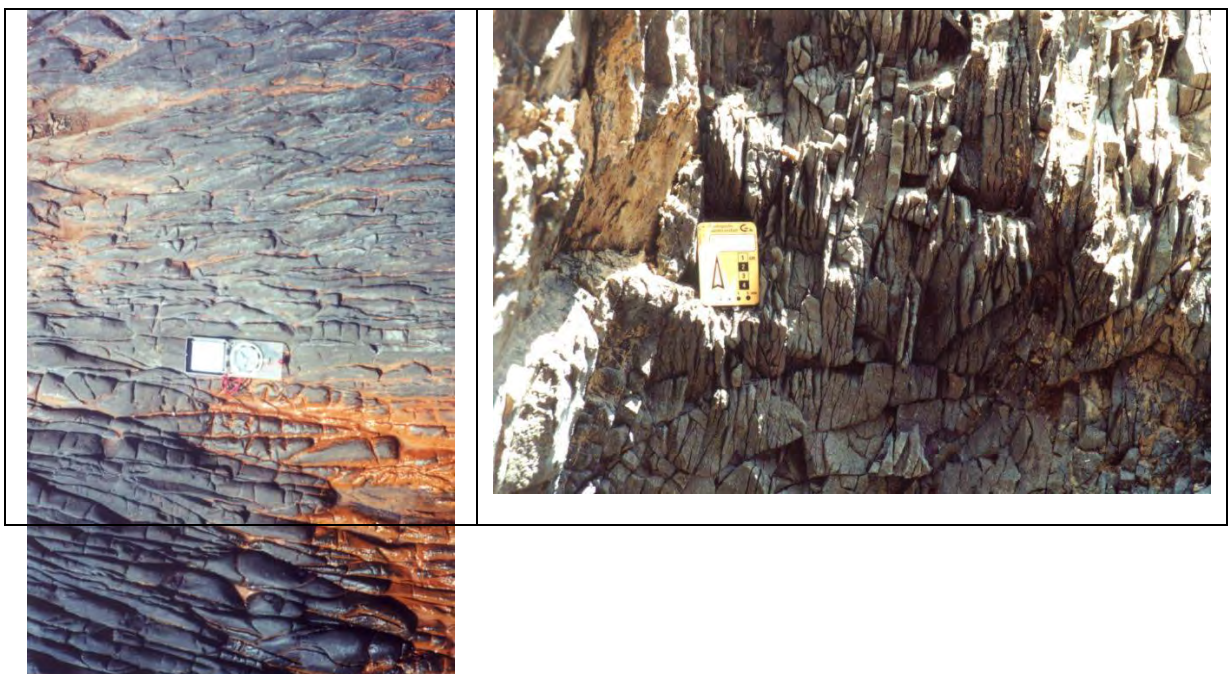
Εικ. 10: Άποψη από ΝΔ προς ΒΑ της περιοχής που αναλύεται στις εικόνες 8 και 9.

5. Μετρήσεις – στοιχεία υπαίθρου

Κατά τη διάρκεια της εργασίας υπαίθρου μετρήθηκαν τα γεωμετρικά στοιχεία (διεύθυνση, κλίση) ρηγμάτων και διακλάσεων σε επιλεγμένα σημεία του νησιού. Συγκεκριμένα έγιναν μετρήσεις σε διακλάσεις στις λάβες της Παλαιάς Καμένης και σε ρήγματα που κόβουν τις στρώσεις των πυροκλαστικών αποθέσεων στα παλιά ορυχεία νότια των Φηρών και στην περιοχή Μέσα Πηγάδια στα νότια παράλια του νησιού. Οι μετρήσεις έγιναν σε ρήγματα στα πυροκλαστικά, επειδή η λεπτομερής στρωματογραφική ανάλυση που έχει γίνει σε αυτά (Druitt et al 1989) επιτρέπει την καλύτερη χρονολόγηση των ρηγμάτων. Με βάση αυτές τις χρονολογήσεις, φαίνεται ότι τα ρήγματα με διεύθυνση ΒΑ – ΝΔ έχουν ηλικία τουλάχιστον 100.000 ετών, ενώ τα ρήγματα με διεύθυνση Β – Ν φαίνεται να είναι σύγχρονα της μινωικής έκρηξης του 1760 π.Χ.



Εικ. 11: Προβολή των μετρήσεων στις διακλάσεις στις λάβες της Παλαιάς Καμένης σε στερεοδιάγραμμα.



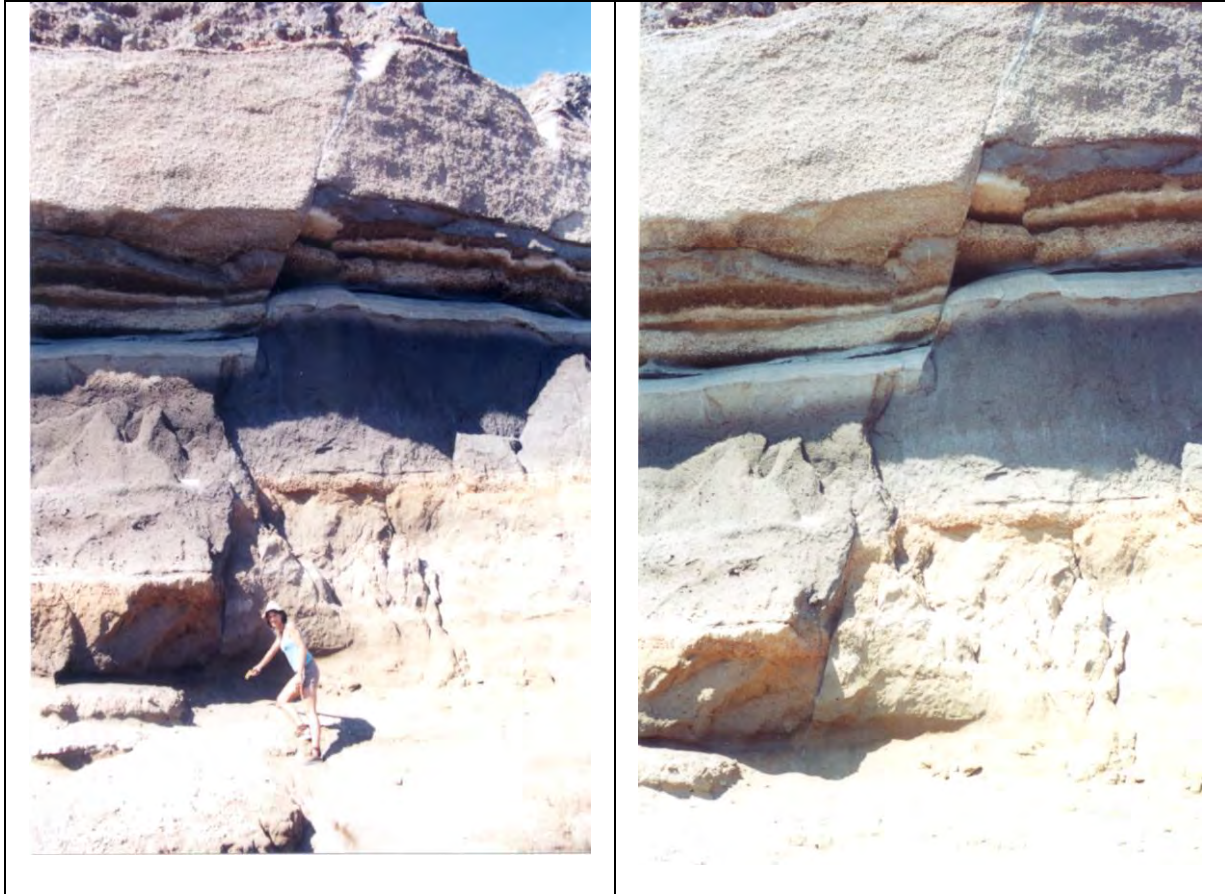
	<p>Εικ. 12 & 13: Διακλάσεις με διεύθυνση ΝΑ – ΒΔ στις λάβες της Παλαιάς Καμένης, στο σημείο των θερμών πηγών. Η πυκνότητα τους είναι περίπου 50/m.</p>
--	--



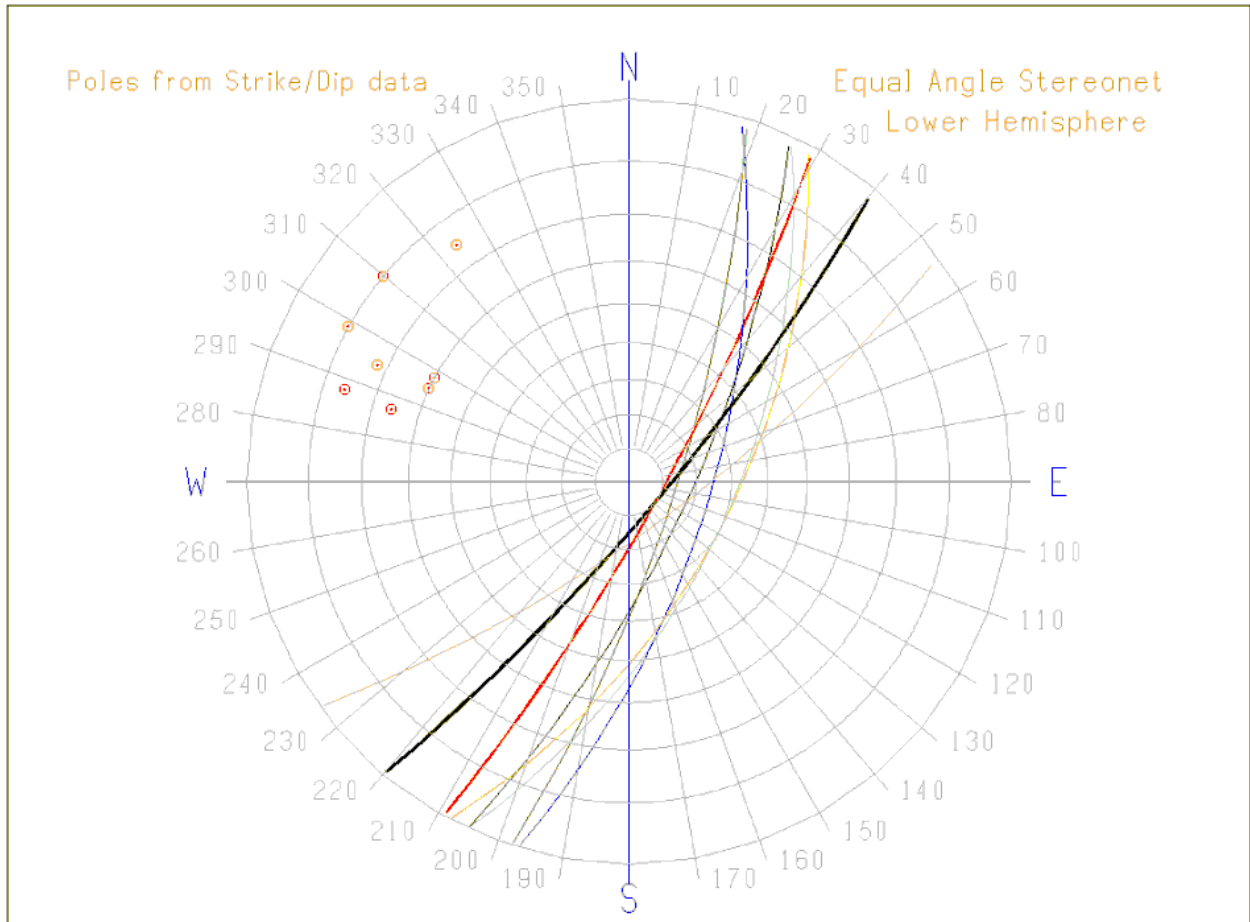
Εικ. 14: Παλιό Ορυχείο, νότια των Φηρών. Κανονικό ρήγμα διεύθυνσης ΒΑ – ΝΔ το οποίο «κόβει» την κατώτερη σειρά κίσηρης (ηλικία σχηματισμού περ. 100.000 χρόνια)



Εικ. 15: Περιοχή Μέσα Πηγιάδια. Κανονικό ρήγμα διεύθυνσης Β – Ν το οποίο «κόβει» την κατώτερη, μέση και άνω σειρά κίσηρης (ηλικία νεότερου σχηματισμού 1.760 π.Χ.)



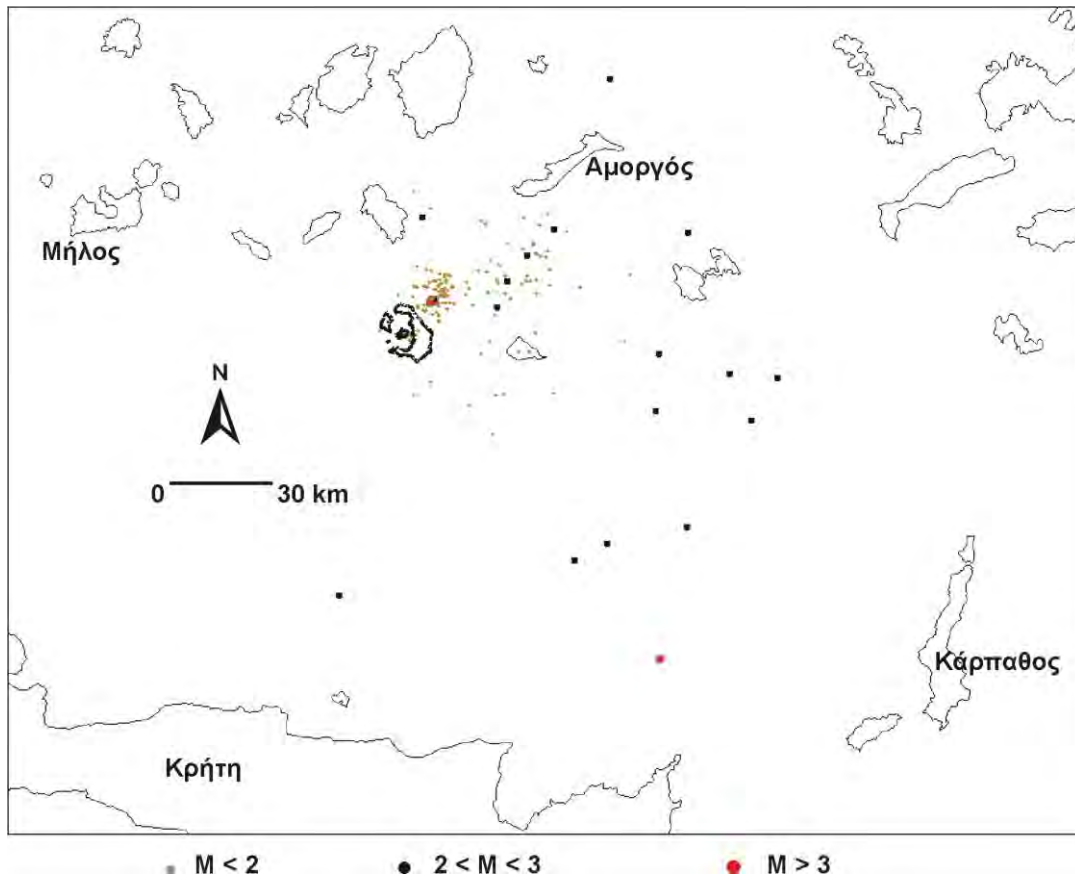
Εικ. 16: Περιοχή Μέσα Πηγάδια. Κανονικό ρήγμα διεύθυνσης Β – Ν το οποίο «κόβει» την κατώτερη, μέση και άνω σειρά κίσηρης (ηλικία νεότερου σχηματισμού 1.760 π.Χ.). Το ρήγμα παρουσιάζει μετατόπιση της τάξης του 1 m.



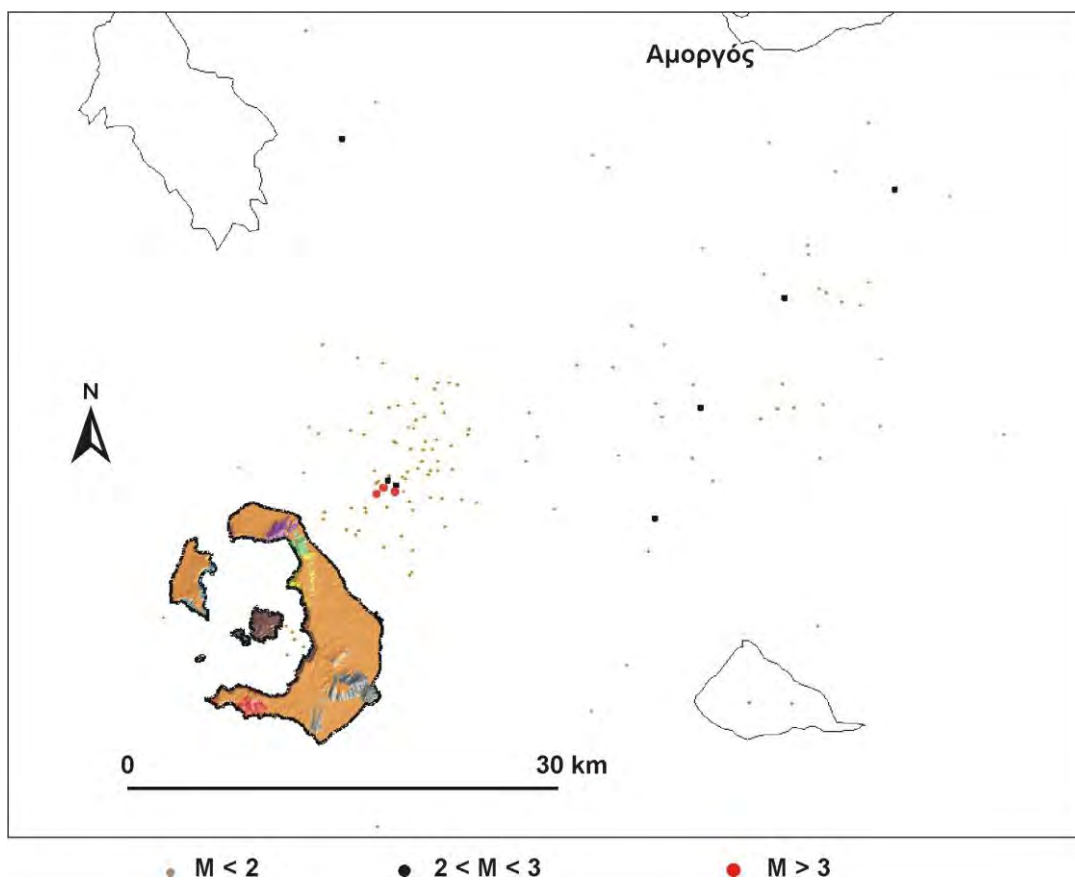
Εικ. 17: Προβολή των μετρήσεων στα ρήγματα στις θέσεις Παλιό Ορυχείο και Μέσα Πηγάδια σε στερεοδιάγραμμα.

6. Μετρήσεις μικροσεισμικού δικτύου

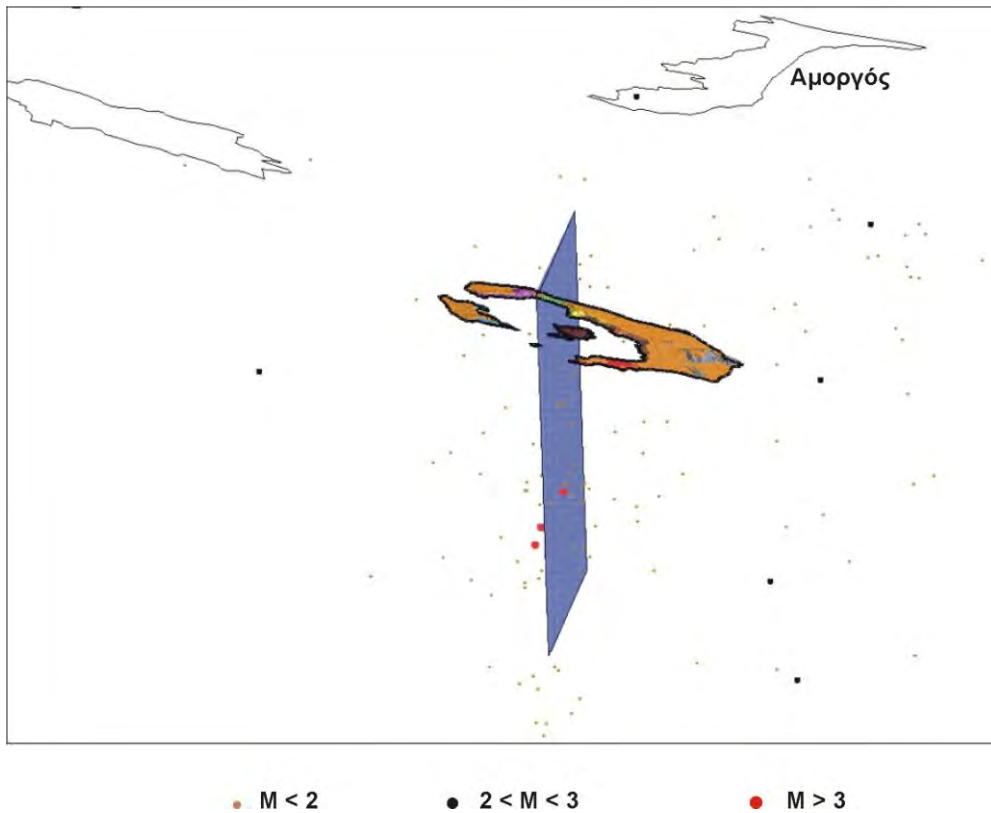
Οι μετρήσεις των ετών 2002 και 2003 του μικροσεισμικού δικτύου μεταφέρθηκαν σε γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών (G.I.S.) και στο σύστημα 3D μοντελοποίησης των τεκτονικών επιφανειών. Στα παρακάτω σχήματα παρατηρείται ότι η μικροσεισμική δραστηριότητα (μεγέθη $M < 3$) αναπτύσσεται κυρίως στην περιοχή ΒΑ της Σαντορίνης, και πάνω στη νοητή γραμμή Καμένης – Κολούμπου. Η γραμμή αυτή συμπίπτει με τη διεύθυνση $B 65^{\circ}A$ που αναφέρουν οι Fytikas et al 1990 για την ηφαιστειακή δραστηριότητα στους ιστορικούς χρόνους (Εικ. 7).



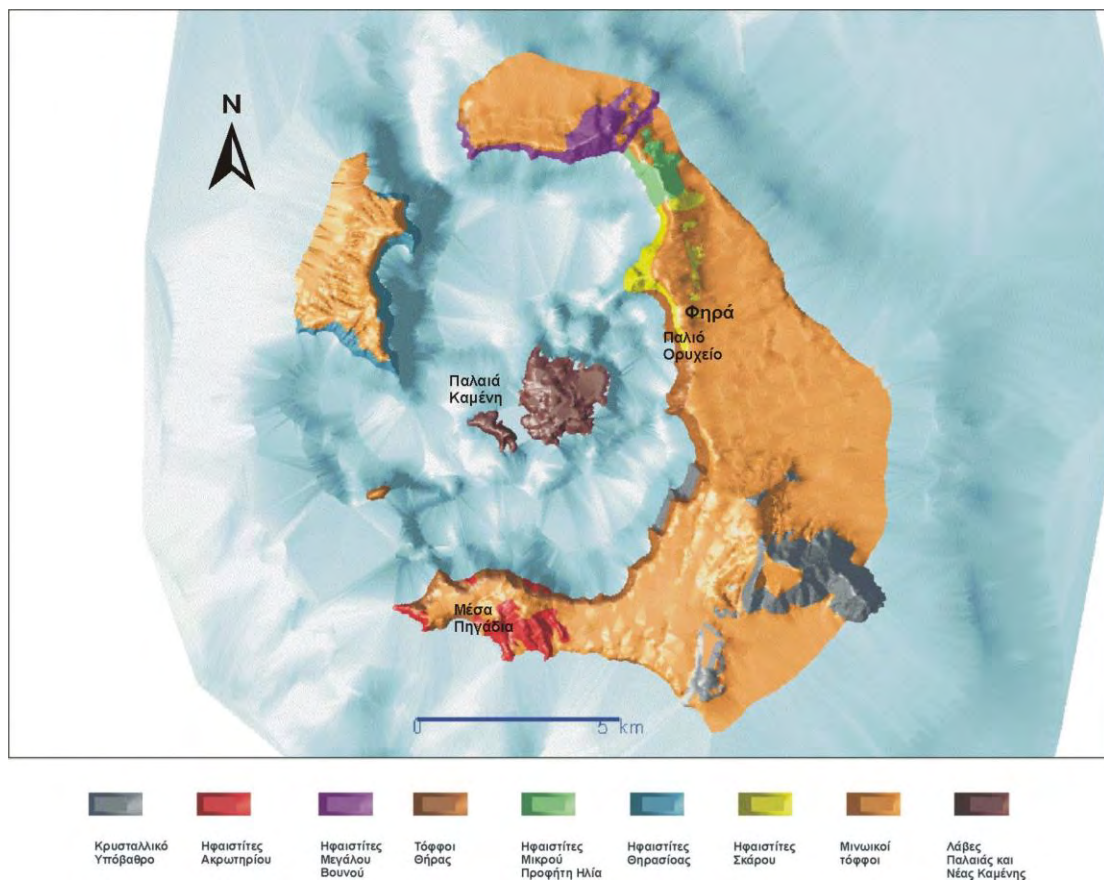
Εικ. 18: Η μικροσεισμική δραστηριότητα στην ευρύτερη περιοχή του κεντρικού Αιγαίου το 2002 - 2003



Εικ. 19: Η μικροσεισμική δραστηριότητα στην περιοχή της Σαντορίνης το 2002 - 2003



Εικ. 20: Τρισδιάστατη άποψη (προς ΒΑ) της χωρικής κατανομής των μικροσεισμικών υποκέντρων στην περιοχή της Σαντορίνης το 2002 – 2003. Η γαλάζια επιφάνεια αντιπροσωπεύει την κύρια ρηξιγενή ζώνη διεύθυνσης $B40^\circ A$ και κλίσης $75^\circ NA$ που περιγράφεται στις εικόνες 8 – 10.



Εικ. 21: Τρισδιάστατος γεωλογικός χάρτης της Σαντορίνης (PICHLER *et al* 1980, απλοποιημένος από SPYRIDONOS *et al.* 1999). Σημειώνονται οι θέσεις μετρήσεων και φωτογραφιών που αναφέρονται στο κείμενο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ANGELIER, J., LYBERIS, N., Le PICHON, X., BARRIER, E. & HUCHON, Ph. (1982). The tectonic development of the Hellenic Arc and the Sea of Crete: a synthesis. *Tectonophysics*, **86**, 159-196.
- DEWEY, J.F., PITMANN, W.C., BRYAN, W.B.F. & BONNIN, J. (1973). Plate tectonics and the evolution of the Alpine system. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **84**, 3137-3180.
- DRUITT T. H. (eds) (1999). Santorini Volcano, *Geological Society Memoir No. 19*, Geological Society of London Publications, London.
- DRUITT, T.H., MELLORS, R.A., PYLE, D.M. & SPARKS, R.S.J. (1989): Explosive volcanism on Santorini, Greece.- *Geol. Mag.*, **126** (2): 95-126, Cambridge.
- FOUQUÉ, F. (1879). Santorin et ses éruptions. 440 p. Paris (Masson).
- FRIEDRICH W. L. (1994). Feuer im Meer: Vulkanismus und die Naturgeschichte der Insel Santorin. 256 p. Heidelberg, Spektrum, Akad. Verl.
- FYTIKAS M., KOLIOS N., & VOUGIOUKALAKIS G., (1990). Post-Minoan Volcanic activity of the Santorini Volcano. Volcanic Hazard and Risk, Forecasting possibilities. In: *Thera and the Aegean world , Proceedings of the Third International Scientific Congress*, vol 3, p. 348-361.
- HEIKEN, G. & McCOY, F. Jr. (1984). Caldera Development During the Minoan Eruption, Thira, Cyclades, Greece. *J. Geophys. Res.*, **89**,(B10), 8441-8462.
- McKENZIE, D.P. (1970). Plate tectonics of the Mediterranean region. *Nature*, vol. **226**, p. 239-243.
- ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ Η., & ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Δ., (1987). Είδος παραμόρφωσης – σεισμικότητας στο Ελληνικό τόξο. *Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.* Vol. XIX, pp. 59-76.

- MARIOLAKOS I., & PAPANIKOLAOU D. (1981). The Neogene basins of the Aegean Arch from the paleogeographic and the geodynamic point of view. *Intern. Symp. Hell. Arc and Trench (HEAT), Athens 1981, Proceedings I*, 383-399.
- MERCIER J.L. (1979). Signification neotectonique de l' Arc Egeen. Une revue des idees. *Rev. Geol. Dyn. Geogr. Phys.* **21**, (1), 5-15.
- PAPAVASSILIOU C., BOSTROM K., PARITSIS S., GALANOPOULOS V., ARVANITIDES N., & KALOGEROPOULOS S. (1990). Drilling of an Ore-forming Shallow Hydrothermal System, Santorini Volcano, Greece. . In: *Thera and the Aegean world , Proceedings of the Third International Scientific Congress*, vol 3, pp. 250-256.
- PAPAZACHOS B. C., & PANAGIOTOPOULOS D. G. (1993). Normal faults associated with volcanic activity and deep rupture zones in the southern Aegean volcanic arc. *Bull. Geol.Soc. Greece*, Vol. XXVIII/3, pp. 243-252, Athens.
- PAVLAKIS P., 1993: The strike slip tectonic regime at southern Aegean sea as implied by combined marine geophysical survey. *Bull. Geol.Soc. Greece*, Vol. XXVIII/3, pp. 253-273, Athens.
- PERISSORATIS, C. (1990). Marine Geological Research on Santorini: Preliminary Results. In: HARDY, D.A., KELLER, J., GALANOPOULOS, V.P., FLEMMING, N.C. & DRUITT, T.H. (eds.): *Thera and Aegean World III*, Vol. 2: Earth Sciences.- 305-311, London (The Thera Foundation).
- PICHLER, H. & KUSSMAUL, S. (1980). Comments on the Geological Map of the Santorini Islands. In: Doumas, C.G. (ed.): *Thera and the Aegean World II*, 413-427. London (The Thera Foundation).
- PICHLER, H., GÜNTHER, D. & KUSSMAUL, S. (1980). ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ 1:50000, ΦΥΛΛΟ ΘΗΡΑ, ΑΘΗΝΑ (ΙΓΜΕ).

PUCHELT, H., HUBBERTEN, H.-W. & STELLRECHT, R. (1990). The Geochemistry of the Radial Dykes of the Santorini Caldera and its Implications. In: HARDY, D.A., KELLER, J., GALANOPOULOS, V.P., FLEMMING, N.C. & DRUITT, T.H. (eds.): Thera and Aegean World III, Vol. 2: Earth Sciences.- 229-236, London (The Thera Foundation).

RECK, H. (ed.) (1936). Santorin – Der Werdegang eines Inselvulkans und sein Ausbruch 1925-1928. 3 vols., Berlin (D. Reimer).

SPYRIDONOS E., DORNSIEPEN U.F., MANUTSOGLU E., PRISSANG R. (1999). Geologische 3D-Modellierung der Vulkaninsel Santorini (Thera), *Mathematische Geologie*, **4**, 81-85, Dresden.

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

Τμήμα Γεωλογίας

Τομέας Οικονομικής Γεωλογίας & Γεωχημείας

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Τμήμα Γεωλογίας

Τομέας Γεωλογίας

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ,

ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ & ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ & ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

ΜΕΡΟΣ 2^ο : ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ-ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Υπεύθυνοι:

Επικ. Καθηγ. Κ. Παπαβασιλείου (Πανεπ.Αθηνών)

Καθηγ. Μ. Φυτίκας (Αριστ. Πανεπ. Θεσσαλονίκης)

Αν. Καθηγ. Θ. Λαόπουλος (Αριστ. Πανεπ. Θεσσαλονίκης)

Λέκτορας Παναγ. Βουδούρης (Πανεπ. Αθηνών)

Δρ. Γ. Βουγιουκαλάκης (ΙΓΜΕ)

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως είναι γνωστό, η γεωχημική και υδροθερμική μελέτη σε ένα ενεργό ηφαιστείο αποτελούν πολύ σημαντικά εργαλεία για τη γνώση κατ' αρχήν του ηφαιστείου και στη συνέχεια για την κατάσταση ηρεμίας ή επαναδραστηριοποίησής του.

Έτσι, στα πλαίσια του παρόντος προγράμματος, δόθηκε ιδιαίτερο βάρος στις γεωχημικές και υδροθερμικές παραμέτρους και καταβλήθηκε ιδιαίτερη προσπάθεια για τη μέτρηση σε συνεχή ή περιοδική βάση διαφόρων χρήσιμων παραμέτρων.

Επειδή στην παρακολούθηση ενός ηφαιστείου χρειάζεται ο σύγχρονος προσδιορισμός διαφόρων φυσικο-χημικών στοιχείων, αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν όλες οι μετρήσεις, είτε αυτές γίνονται σε «ρουτίνα» για τη μέχρι τώρα παρακολούθηση του ηφαιστείου, είτε γίνονται αποκλειστικά από το παρόν πρόγραμμα που χρηματοδοτείται από τον ΟΑΣΠ.

Έτσι, εξασφάλισαμε τη στενή συνεργασία με το ΙΜΠΗΣ που έχει την ευθύνη παρακολούθησης του ηφαιστείου Σαντορίνης, που σημαίνει πρόσβαση σε όλα τα δεδομένα των σταθμών του, αλλά και τη δυνατότητα σχεδιασμού, κατασκευής, εγκατάστασης και λειτουργίας νέων σταθμών και μετρήσεων.

Για τους παραπάνω σκοπούς, συνεργαστήκαμε με πολύ καλό τρόπο με τον Πρόεδρο και το Γραμματέα του ΙΜΠΗΣ Μ. Φυτίκα (Α.Π.Θ.) και Γ. Βουγιουκαλάκη (ΙΓΜΕ), οι οποίοι μετείχαν ενεργά και στο παρόν πρόγραμμα. Ο τεχνικός του ΙΜΠΗΣ στη Σαντορίνη Ι. Κωτιάδης βοήθησε επίσης στην εγκατάσταση και λειτουργία των νέων σταθμών. Ο κυριότερος από αυτούς είναι αυτός που εγκαταστάθηκε στον Όρμο Αγ. Νικολάου Π. Καμμένης, που μετρά διάφορες φυσικο-χημικές παραμέτρους και τις μεταδίδει σε άμεσο και συνεχή τρόπο στο Παρατηρητήριο. Το σταθμό σχεδίασε η ομάδα του Εργαστηρίου του Τμήματος Φυσικής του Α.Π.Θ., που περιέλαβε εκτός από τον Αναπλ. Καθ. Θ. Λαόπουλο και τον Λέκτορα Κ. Κοσματόπουλο και μεταπτυχιακούς σπουδαστές. Ο Μ.Sc. Β. Υφαντής ανέλαβε την επεξεργασία όλων των δεδομένων του συστήματος REMOS στο οποίο περιλήφθηκε και ο σταθμός της Π. Καμμένης.

Οι χημικές αναλύσεις των αερίων και νερών ως και οι μετρήσεις του ραδονίου

έγιναν από συνεργεία του ΙΓΜΕ. Ο Γ. Βουγιουκαλάκης με τον βοηθό του Γ. Καλαοντζή έκανε την κύρια δουλειά υπαίθρου σε συνεργασία με τα μέλη της ερευνητικής ομάδας του Πανεπιστημίου Αθηνών Κ. Παπαβασιλείου και Παν. Βουδούρη. Οι αναλύσεις έγιναν στο χημείο του ΙΓΜΕ.

Η καλή συνεργασία σε όλες τις ειδικές εργασίες, αλλά και στην επεξεργασία και ερμηνεία των αποτελεσμάτων έφεραν ένα πολύ καλό αποτέλεσμα, που συνδυάζεται και με τα αποτελέσματα των άλλων ομάδων του προγράμματος που χρησιμοποίησαν άλλες μεθόδους (σεισμική, τεκτονική, κλπ).

Η ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Οι εργασίες υπαίθρου σε ό,τι αφορά τη- γεωχημική- υδροθερμική έρευνα έγιναν σε δύο φάσεις.

Οι εργασίες της πρώτης φάσης - ξεκίνησαν στις 19/6/2001 και τελείωσαν στις 22 Ιουνίου του 2001. Στη διάρκεια αυτής της φάσης έγινε αναγνώριση θερμών πηγών και ατμίδων, οι οποίες στη συνέχεια μελετήθηκαν μερικές περιοδικά και άλλες σε 24ωρη βάση. Οι εργασίες αυτές συγχρονίστηκαν με τις σεισμικές καταγραφές των φορητών και μονίμων σειсмоγράφων, ώστε να υπάρξει η δυνατότητα σύγκρισης των αποτελεσμάτων μεταξύ των σεισμικών καταγραφών και των φυσικοχημικών αποτελεσμάτων που έδωσαν οι σταθμοί μέτρησης των υδροθερμικών αλλά και άλλων δεδομένων στο ηφαιστειακό σύμπλεγμα της Σαντορίνης(κυρίως στην Παλαιά και Νέα Καμένη). Η περιοδική δειγματοληψία συμπληρώθηκε με δύο ακόμα επισκέψεις στη- Σαντορίνη, σε ό,τι δε αφορά τη- συνεχή παρακολούθηση πηγών και ατμίδων, εγκαταστάθηκαν μερικοί σταθμοί, όπως περιγράφεται παρακάτω.

Αναλυτικότερα, οι περιοχές δειγματοληψίας περιλαμβάνουν τις θερμές πηγές της Παλαιάς και Νέας Καμένης (στις θέσεις Άγιος Νικόλαος και Όρμος Αφρόεσσας αντίστοιχα), τις ασίδες της Νέας Καμένης, τη θερμή πηγή της Πλάκας και την εγκαταλελειμμένη πηγή του Χριστού, οι δύο τελευταίες στο κεντρικό-δυτικό τμήμα της νήσου Θήρας. Οι θέσεις δειγματοληψίας παρατίθενται στο **Σχήμα 1**.

Οι πηγές της Παλαιάς και Νέας Καμένης αναβλύζουν μέσα από τις λάβες Θείας (46-47 χ. Π. Καμένη) και Γεωργίου (1866-1870, Ν. Καμένη), ενώ οι πηγές Πλάκας και Χριστού στην επαφή των ηφαιστειακών σχηματισμών με το μεταμορφωμένο υπόβαθρο.

Δειγματοληψία γίνεται επιπλέον από τις ασίδες της Ν. Καμένης, όπου και υπήρχε ήδη σταθμός συνεχούς καταγραφής του διοξειδίου του άνθρακα, που εγκαταστάθηκε από το Ινστιτούτο Μελέτης και Παρακολούθησης του Ηφαιστείου - Σαντορίνης (ΜΠΕΙΣ) με το οποίο και συνεργασθήκαμε στενά.

Μετά την πρώτη επίσκεψη αποφασίστηκε η κατασκευή και εγκατάσταση σταθμού συνεχούς καταγραφής περιβαλλοντικών και γεωχημικών παραμέτρων στον όρμο Αγίου Νικολάου της Π. Καμένης, όπου και η ομώνυμη θερμή πηγή. Ο σταθμός αυτός - εγκαταστάθηκε στα πλαίσια αυτού του προγράμματος και λειτουργεί είναι δε συνδεδεμένος τηλεμετρικά με το ΜΠΕΙΣ, και τα Πανεπιστήμια Αθηνών και

Θεσσαλονίκης.



Σχήμα 1. Ο μόνιμος σταθμός παρατήρησης στον όρμο Αγ.Νικολάου της Π.Καμένης

Για την πολύ σημαντική αλλά εντελώς «μπαζωμένη» πηγή του Χριστού (**Σχήμα 2**) αποφασίσθηκε να αποκαλυφθεί, ώστε να γίνει δυνατή η περιοδική δειγματοληψία. Αξίζει να σημειωθεί ότι η πηγή (η οποία μέχρι πριν από περίπου 30 χρόνια χρησιμοποιούνταν για ιαματικά λουτρά) ήταν καλυμμένη από αρκετά κυβικά μέτρα ελαφρόπετρας και λάβας που έφερε το κύμα της παρακείμενης θάλασσας.



Σχήμα 2. Η υδροθερμική πηγή του Χριστού

Για να εντοπιστεί η πηγή χρειάστηκε να εργασθεί συνεργείο πολλών ατόμων έκανε πραγματική ανασκαφή για - 3 ημέρες, γεγονός που όπως έδειξαν τα αποτελέσματα των μετρήσεων τα οποία παρουσιάζονται στη συνέχεια, ήταν σημαντικό για την όλη

γεωχημική έρευνα που διεξήχθη στα πλαίσια του προγράμματος.



Σχήμα 3. Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της Σαντορίνης (από *Druitt et.al., 1998*) με τις θέσεις δειματοληψίας θερμών νερών και αερίων (σημειωμένες με μαύρους κύκλους). 1: θερμά νερά Αγίου Νικολάου Παλαιάς Καμένης; 2: θερμά νερά όρμου Αφρόεσσας Νέας Καμένης; 3. ατιμίδες Νέας Καμένης; 4. θερμά νερά Πλάκας; 5. θερμά νερά Χριστού.

Η δεύτερη φάση των εργασιών υπαίθρου πραγματοποιήθηκε μεταξύ 19-22/4/2003 και περιέλαβε δειματοληψίες στην Π.Καμένη (μόνιμος σταθμός Αγ.Νικολάου) στη Ν.Καμένη και στα θερμά νερά της Πλάκας και του Χριστού. Η 1^η και 2^η δειματοληψία έγινε στη Ν. Καμένη στην περιοχή Αφρόεσσα (συντεταγμένες $36^{\circ} . 24' .28'' \text{N}$ και $25^{\circ} .23' .77'' \text{E}$). Η πρώτη αφορούσε τη δειματοληψία αερίων (μετρήθηκαν

θερμοκρασίες μέχρι 94.5°C) ενώ η δεύτερη αφορούσε τη δειγματοληψία ρευστών. Στη συνέχεια, στις 20/4/2003 έγινε συστηματική δειγματοληψία ρευστών-αερίων στο μόνιμο σταθμό του Αγ. Νικολάου της Π. Καμένης (συντεταγμένες $36^{\circ} . 23' .93''\text{N}$ και $25^{\circ} .22' .77''\text{E}$ κατά την 21/4/2003 έγινε δειγματοληψία υδροθερμικών νερών στις περιοχές Πλάκα-Θέρμα (συντεταγμένες $36^{\circ} .22' . 39''\text{N}$ και $025^{\circ} .25' . 21''\text{E}$).

Όλες οι παραπάνω μετρήσεις και στα συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα το 2001 και του 2003 έγιναν παράλληλα με τις σεισμολογικές μετρήσεις από το δίκτυο των σειсмоγράφων που εγκαταστάθηκαν στην ευρύτερη περιοχή της Σαντορίνης (βλέπε επόμενο κεφάλαιο).

Στο **Σχήμα 3** φαίνονται οι θέσεις δειγματοληψίας των 2 φάσεων στην ευρύτερη περιοχή της Σαντορίνης.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Η **συνεχής καταγραφή** του ηφαιστείου της Σαντορίνης γίνεται μέσω των σταθμών που έχουν εγκατασταθεί στην πηγή του Αγίου Νικολάου (Α) και στις ατμίδες της Ν. Καμένης (Β).

A. Ο σταθμός του Αγίου Νικολάου χαρακτηρίζεται από ένα τηλεχειριζόμενο σύστημα περιβαλλοντικών μετρήσεων (REMOS, Remote Environmental Monitoring System) που αποτελείται από δύο μέρη: τον κεντρικό σταθμό βάσης και το σταθμό λήψης των μετρήσεων που είναι εφοδιασμένος με τα κατάλληλα ηλεκτρονικά συστήματα μέτρησης των παρακάτω παραμέτρων:

- 1. Στάθμη νερού**
- 2. Θερμοκρασία του νερού**
- 3. Αγωγιμότητα**
- 4. pH νερού**
- 5. Δυναμικό οξειδοαναγωγής του νερού**

ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΤΗΛΕΜΕΤΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΝΗΣΙΔΑ "ΠΑΛΑΙΑ ΚΑΜΕΝΗ" ΤΗΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ

Η ανάπτυξη και εγκατάσταση του τηλεμετρικού σταθμού μέτρησης των φυσικοχημικών παραμέτρων στην περιοχή "Άγιος Νικόλαος – Ζεστά Νερά" της νησίδας "Παλαιά Καμένη" της Σαντορίνης, που περιγράφεται στην παρούσα έκθεση, πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο συνεργασίας του Τομέα Οικονομικής Γεωλογίας & Γεωχημείας του Τμήματος Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών με το Ινστιτούτο Μελέτης και Παρακολούθησης του Ηφαιστείου της Σαντορίνης (Ι.Μ.Π.Η.Σ.) και - το Εργαστήριο Ηλεκτρονικής του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. **(Σχήμα 4)**. Πρόκειται για ένα πλήρως αυτοματοποιημένο σύστημα ηλεκτρονικών μετρήσεων που ενσωματώθηκε στο δίκτυο των σταθμών μέτρησης ηφαιστειολογικών

παραμέτρων του ΙΜΠΗΣ που λειτουργεί ήδη στην περιοχή της Σαντορίνης. Το δίκτυο αυτό αναπτύχθηκε από την ομάδα του Α.Π.Θ. και αποτελείται από 4 ηλεκτρονικούς σταθμούς μέτρησης που είναι εγκατεστημένοι σε επιλεγμένα σημεία της περιοχής, και ένα σταθμό ελέγχου (λήψης και καταγραφής των μετρήσεων) που βρίσκεται στο ηφαιστειολογικό παρατηρητήριο του ΙΜΠΗΣ στην περιοχή Φηροστεφάνι (Συνεδριακό Κέντρο Π.Μ. Νομικός).

Το νέο σύστημα είναι πλήρως συμβατό με την υπάρχουσα υποδομή του δικτύου του ΙΜΠΗΣ και χρησιμοποιεί όλες τις δυνατότητες που παρέχονται από αυτό (ασύρματη επικοινωνία του σταθμού ελέγχου με τους σταθμούς μετρήσεων, πλήρως αυτοματοποιημένη διαδικασία συνεχούς λειτουργίας, μετρήσεων και καταγραφής, πρόσβαση στα δεδομένα από οποιοδήποτε σημείο μέσω τηλεφωνικής σύνδεσης (modem) και άλλα). Το σημείο μέτρησης βρίσκεται στο εσωτερικό του κολπίσκου της περιοχής "Άγιος Νικόλαος" και σε συγκεκριμένη θέση που επιλέχθηκε από την ομάδα του Πανεπιστημίου Αθηνών. Τα μεγέθη που μετρούνται από τα ηλεκτρονικά όργανα του συστήματος είναι:

1. Αγωγιμότητα
2. pH,
3. Οξειδοαναγωγή - Redox (Eh),
4. Θερμοκρασία νερού.

Το σύστημα αποτελείται από δύο μέρη: 1) τους αισθητήρες και τα ηλεκτρονικά όργανα μέτρησης που εγκαταστάθηκαν ακριβώς στο σημείο μέτρησης, και 2) τα ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου της λειτουργίας των οργάνων μέτρησης, και διασύνδεσης με το τηλεμετρικό δίκτυο του ΙΜΠΗΣ και συγκεκριμένα το σταθμό μετρήσεων "Αγίου Νικολάου". Οι αισθητήρες μέτρησης τοποθετήθηκαν σε βάθος περίπου 80cm, μέσα σε σωλήνα, ενώ στο επάνω μέρος της ειδικής αυτής κατασκευής τοποθετήθηκαν τα ηλεκτρονικά όργανα και τα συστήματα ενσύρματης αναλογικής μετάδοσης των μετρήσεων στο σταθμό "Αγίου Νικολάου" του τηλεμετρικού δικτύου. Η απόσταση μεταξύ του σημείου μέτρησης και του σταθμού του τηλεμετρικού δικτύου είναι περίπου 75 μέτρα, και για το λόγο αυτό προκρίθηκε η λύση της ενσύρματης ζεύξης με ειδικά καλώδια.

Τα όργανα μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν στο σύστημα είναι:

1) για την αγωγιμότητα του νερού χρησιμοποιήθηκε αισθητήρας τύπου HI-7638 της εταιρείας HANNA Instruments (ποτενσιομετρικής μεθόδου – τεσσάρων δακτυλίων)

με εσωτερική μέτρηση-αντιστάθμιση της θερμοκρασίας με αισθητήρα NTC. Το ηλεκτρονικό σύστημα με ειδική αναλογική έξοδο ρεύματος για ενσύρματη μετάδοση της μέτρησης στο σταθμό του τηλεμετρικού δικτύου είναι τύπου HI-8936 της ίδιας εταιρείας.

2) για το pH χρησιμοποιήθηκε αισθητήρας τύπου HI-1210T της εταιρείας HANNA Instruments (διπλής επαφής με ηλεκτρολύτη gel) με εσωτερική μέτρηση-αντιστάθμιση της θερμοκρασίας. Το ηλεκτρονικό σύστημα με ειδική αναλογική έξοδο ρεύματος για ενσύρματη μετάδοση της μέτρησης στο σταθμό του τηλεμετρικού δικτύου είναι τύπου HI-8614 της ίδιας εταιρείας.

3) για την οξειδοαναγωγή (Redox) χρησιμοποιήθηκε αισθητήρας τύπου HI-3210T της εταιρείας HANNA Instruments (διπλής επαφής με ηλεκτρολύτη gel) με εσωτερική μέτρηση-αντιστάθμιση της θερμοκρασίας. Το ηλεκτρονικό σύστημα με ειδική αναλογική έξοδο ρεύματος για την ενσύρματη μετάδοση της μέτρησης στο σταθμό του τηλεμετρικού δικτύου είναι τύπου HI-8615 της ίδιας εταιρείας.

4) για τη θερμοκρασία νερού χρησιμοποιήθηκε αισθητήρας τύπου LM35Z της εταιρείας Motorola (ημιαγωγικού τύπου). Το ηλεκτρονικό κύκλωμα για ενσύρματη μετάδοση της μέτρησης στο σταθμό του τηλεμετρικού δικτύου είναι της ίδιας εταιρείας.

Η ηλεκτρική τροφοδοσία των οργάνων γίνεται με καλώδιο από τον ίδιο σταθμό του τηλεμετρικού δικτύου (ηλιακά στοιχεία – μπαταρίες), ενώ τα κυκλώματα ελέγχου της τροφοδοσίας έχουν τοποθετηθεί στο κιβώτιο του σταθμού. Επίσης στο κιβώτιο του σταθμού έχουν τοποθετηθεί και τα ηλεκτρονικά κυκλώματα ψηφιακής κωδικοποίησης και διασύνδεσης με το μικρο-υπολογιστικό σύστημα του σταθμού του τηλεμετρικού δικτύου. Το μικρο-υπολογιστικό αυτό σύστημα, όπως και το σύστημα ασύρματης επικοινωνίας με το σταθμό ελέγχου του δικτύου, χρησιμοποιείται και για τη λειτουργία του νέου συστήματος μετρήσεων (επιπρόσθετα των λειτουργιών του σταθμού για τις άλλες παραμέτρους – στάθμη νερού, θερμοκρασία, κ.α.). Το ηλεκτρονικό σύστημα μετατροπής του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό και διασύνδεσης με το μικρουπολογιστικό σύστημα του τηλεμετρικού σταθμού βασίζεται στο σύστημα DOP420 και HC05 της Motorola και αναπτύχθηκε στο εργαστήριο Ηλεκτρονικής του Α.Π.Θ. Το ίδιο αφορά και στα κυκλώματα ελέγχου της τροφοδοσίας και λειτουργίας των μετρητικών οργάνων.

Η εγκατάσταση έγινε από το προσωπικό και τους συνεργάτες του Εργαστηρίου Ηλεκτρονικής του Α.Π.Θ. με την υποστήριξη συνεργατών του ΙΜΠΗΣ. Το σύστημα

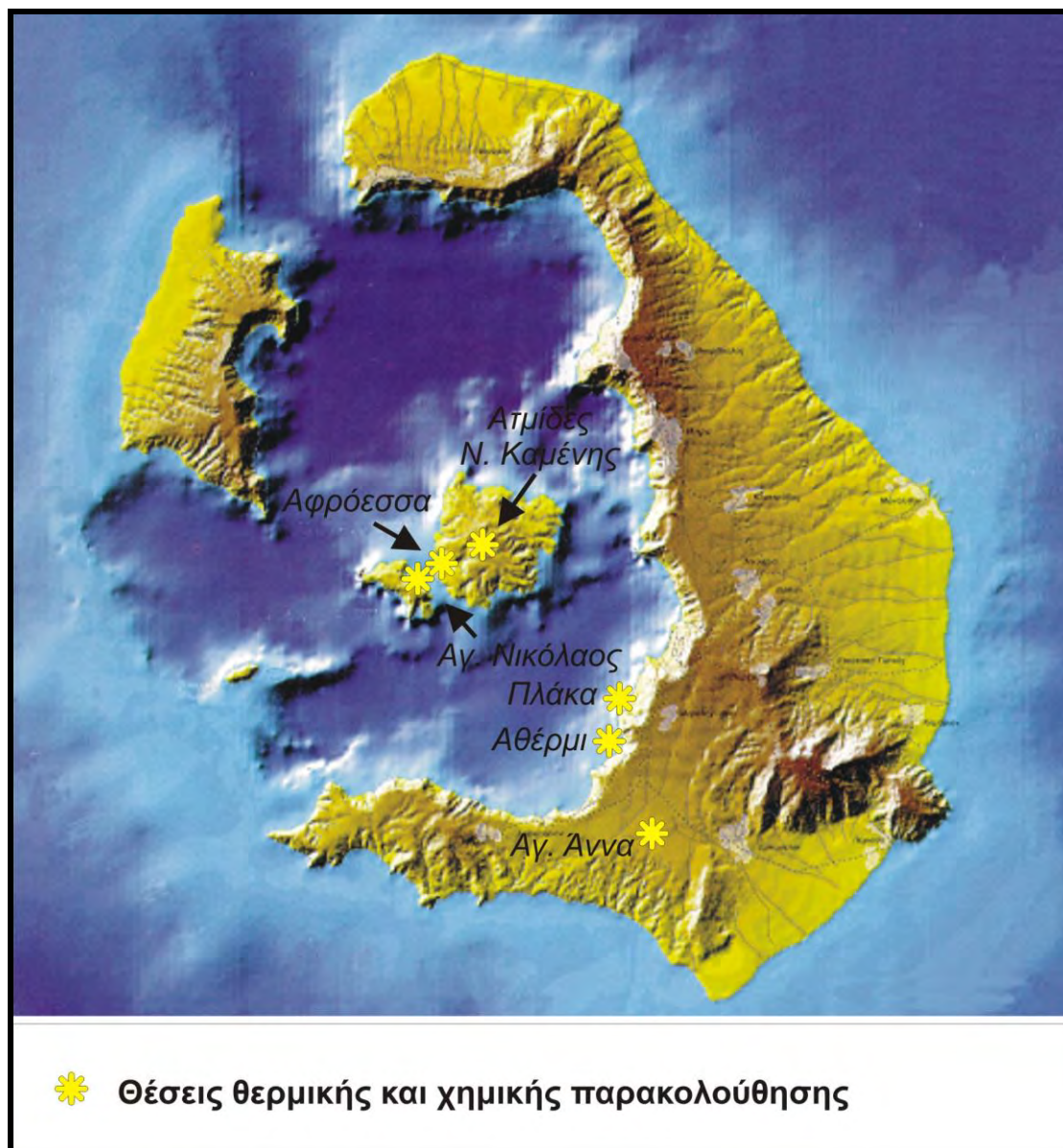
λειτουργεί κανονικά και ήδη έχουν ληφθεί και τα πρώτα δείγματα (χρονοσειρές μετρήσεων). Να σημειωθεί ότι το σύστημα παρακολουθείται ήδη κανονικά από το προσωπικό του Εργαστηρίου Ηλεκτρονικής του ΑΠΘ. Σε περίπτωση οποιουδήποτε προβλήματος κατά τη διάρκεια της πρώτης αυτής πιλοτικής λειτουργίας, θα γίνουν σε συνεργασία με το ΙΜΠΗΣ όλες οι κατάλληλες ενέργειες για την αντιμετώπιση του. Η πρόσβαση στο σύστημα γίνεται μέσω κατάλληλου λογισμικού με modem στο τηλέφωνο του ΙΜΠΗΣ, όπου είναι συνδεδεμένος ο υπολογιστής ελέγχου του τηλεμετρικού δικτύου.



Σχήμα 4. Μετρήσεις των υδροθερμικών ρευστών στον κόλπο Αγ. Νικολάου της Π. Καμένης

Θερμική παρακολούθηση

Η **θερμοκρασία** είναι μία από τις φυσικές παραμέτρους που, σε περίπτωση επανεργοποίησης του ηφαιστείου, αυξάνεται χαρακτηριστικά. Η παρακολούθηση των μεταβολών της θερμοκρασίας αποτελεί ως εκ τούτου βασικό και αναγκαίο συστατικό ενός ολοκληρωμένου δικτύου παρακολούθησης. Στη Σαντορίνη, η θερμική παρακολούθηση επιτυγχάνεται με συνεχή καταγραφή της θερμοκρασίας των ατμίδων της Νέας Καμένης και των θερμών πηγών της Παλαιάς Καμένης (όρμος Αγ. Νικολάου), ενώ περιοδικά (3-4 φορές ανά έτος) καταγράφονται οι θερμοκρασίες των θερμών πηγών της Ν. Καμένης (όρμος Αφρόεσσας) και της Θήρας (Πλάκα-Αθήρμι Χριστού) καθώς και η θερμοκρασία μιας βαθιάς γεώτρησης του ΙΓΜΕ στη νότια Θήρα (Σχήμα 5).



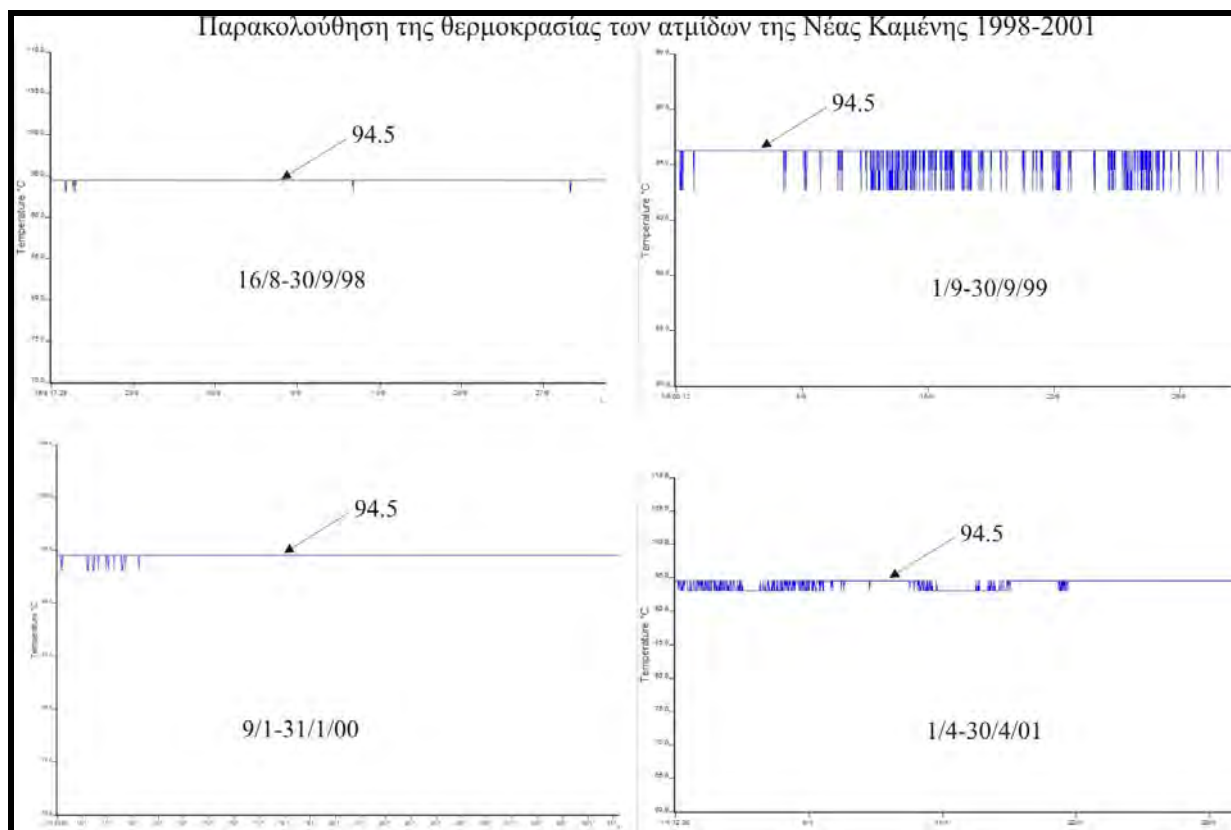
Σχήμα 5

Οι θερμές εκδηλώσεις στη Σαντορίνη εμφανίζονται σε δύο περιοχές: στις νησίδες των Καμένων και στα δυτικά περιθώρια του προηφαιστειακού υποβάθρου, που εμφανίζεται στη νήσο Θήρα. Υπάρχει και μια μικρή υπόθερμη πηγή στη Βλυχάδα (Νότιο άκρο της Θήρας).

Ατμιδική δραστηριότητα εκδηλώνεται μόνο στην κορυφή της Νέας Καμένης. Οι ατμίδες είναι συγκεντρωμένες στην κορυφή και την ανατολική πλευρά του θόλου Γεώργιος (ο οποίος οικοδομήθηκε την περίοδο 1866-1870) και κυρίως στα ανατολικά χείλη δύο υδροθερμικών κρατήρων («δίδυμη εκρηξιγενής χοάνη») που σχηματίστηκαν κατά την περίοδο της ιστορικής ηφαιστειακής δράσης του το 1939-1940.

Τα αέρια των ατμίδων έχουν - θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 60 έως 97 °C, εξαρτώμενες κυρίως από το υψόμετρο: στα υψηλότερα σημεία καταγράφεται η ανώτερη θερμοκρασία. Δεν υπάρχουν απολύτως σταθερά σημεία ή οπές όπου μπορεί να καταγραφεί η μέγιστη θερμοκρασία. Το σύστημα είναι ασταθές και τα αέρια διαφεύγουν μέσω των κατακερματισμένων ηφαιστιτών (κυρίως αυτολατυποποιημένη λάβα). Η μέγιστη καταγραφόμενη θερμοκρασία στις ατμίδες της Νέας Καμένης παρουσιάζει μία συνήθη διακύμανση μεταξύ 94~97 °C.

Στο **Σχήμα 6** προβάλλονται οι καταγραφές του ψηφιακού καταγραφικού που έχει τοποθετηθεί στις ατμίδες της Νέας Καμένης, για περιόδους των ετών 1998-2001. Η θερμοκρασία που καταγράφεται εδώ είναι σταθερά 94,5 °C. Οι διακυμάνσεις (πτώση θερμοκρασίας έως 1,5°C) οφείλονται σε καιρικά φαινόμενα όπως αέρας, βροχή κ.α., καθώς το σύστημα είναι ανοικτό και επηρεάζεται έντονα και άμεσα από αυτά. Η καταγραφόμενη μέγιστη θερμοκρασία δεν αντιστοιχεί στην πραγματική μέγιστη γιατί ο αισθητήρας καταγραφής είναι τοποθετημένος μέσα σε ανοξειδωτο σωλήνα που έχει εισχωρήσει μερικώς στο ηφαιστειακό σχηματισμό και είναι πληρωμένη με ορυκτέλαιο (για την προστασία του συστήματος καταγραφής), με αποτέλεσμα να καταγράφονται θερμοκρασίες χαμηλότερες της πραγματικής κατά 2,5°C.

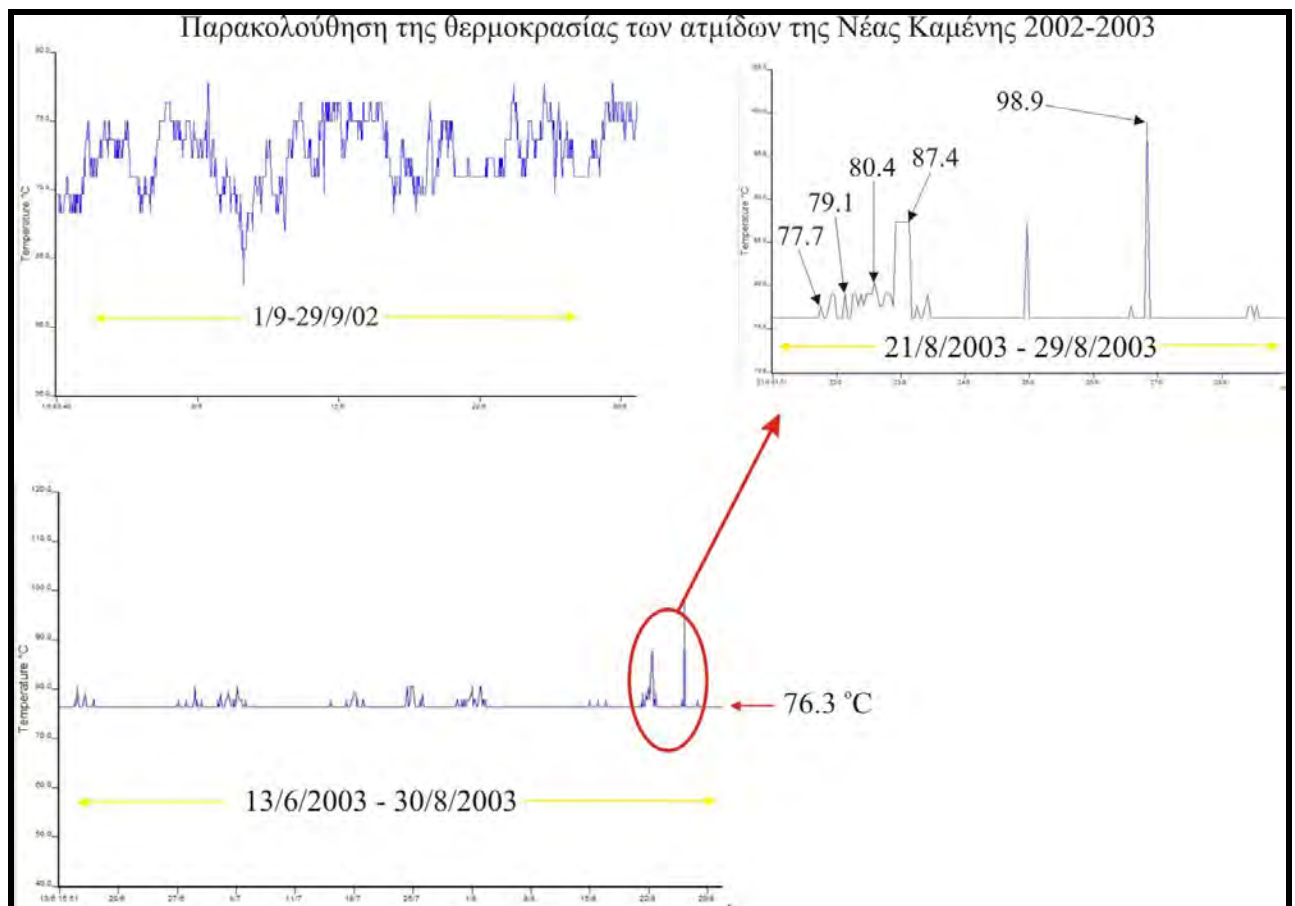


Σχήμα 6

- Από το έτος 2002 παρατηρείται αισθητή μείωση του όγκου των

εξερχόμενων αερίων από τις ατμίδες, με συνέπεια να καταγράφεται δυσκολότερα το μέγιστο των 97 °C. Ως το πιθανότερο αίτιο για αυτή τη συμπεριφορά θεωρείται μία διαδικασία αυτοστεγανοποίησης (self-sealing) των ηφαιιστιτών του χώρου μέσω της εξαλλοίωσής τους από τα θερμά ρευστά, σε μία περίοδο ιδιαίτερα ήρεμη τεκτονικά.

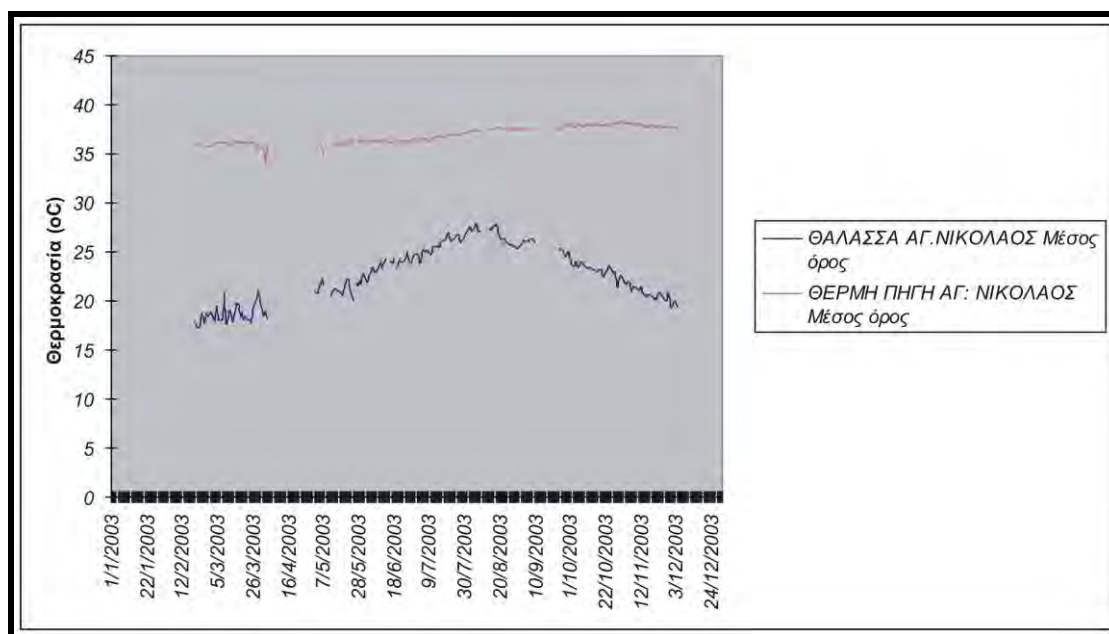
Το Σχήμα 7 καταγράφει αυτήν την κατάσταση. Κατά το 2002 και 2003 η μέση μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας των ατμίδων ήταν 76,3°C, και μόνο σε μικρές χρονικές περιόδους καταγράφονται μέγιστα που αντιστοιχούν - τη μέγιστη θερμοκρασία των ατμίδων (βλέπε μεγεθυμένο τμήμα των καταγραφών του 2003).



Σχήμα 7

Κατά μήκος των ακτών της Παλαιάς και Νέας Καμένης εμφανίζονται πολλές εκροές θερμού νερού. Οι δύο κυριότερες εντοπίζονται κατά μήκος της ενεργής τεκτονικής γραμμής των Καμένων, στον ισθμό μεταξύ Παλαιάς και Νέας Καμένης. Οι μέγιστες θερμοκρασίες που καταγράφονται εδώ είναι 34 °C για τα θερμά ρευστά που εκρέουν στον όρμο της Αφρόεσσας της Νέας Καμένης, και 38 °C για τη θερμή πηγή του όρμου του Αγίου Νικολάου, της Παλαιάς Καμένης. Οι διακυμάνσεις 2~3 °C που καταγράφονται, οφείλονται γενικά στις μεταβαλλόμενες εποχιακά μετεωρολογικές συνθήκες.

Στο **Σχήμα 8** προβάλλονται οι καταγραφές του 2003 για την θερμή πηγή του όρμου του Αγ. Νικολάου της Παλαιάς Καμένης και του θαλάσσιου νερού έξω από τον όρμο. Είναι εμφανές ότι η εποχιακή διακύμανση της θερμοκρασίας του νερού της θάλασσας επηρεάζει, αν και πολύ λιγότερο, την καταγραφή των θερμοκρασιών της θερμής πηγής. Υπάρχουν επίσης απότομες διακυμάνσεις της καταγραφόμενης στη θερμή πηγή θερμοκρασίας, οι οποίες οφείλονται σε περιόδους έντονης θαλασσοταραχής και ανέμων που μεταφέρουν το κρύο θαλασσινό νερό μέσα στον κόλπο. Για το λόγο αυτό, δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν οι καταγραφόμενες μικρές διακυμάνσεις για τους στόχους του προγράμματος.



Σχήμα 8.

Στην Παλαιά Καμένη, δίπλα στον όρμο του Αγίου Νικολάου, υπάρχει μία βαθιά (-220 μ.) ερευνητική γεώτρηση του ΙΓΜΕ, η οποία συναντά τη θερμοκρασία των 29 °C σε βάθος 8~10 μέτρων.

Στο νησί της Θήρας, οι θερμές εκδηλώσεις εντοπίζονται κυρίως στο δυτικό περιθώριο του προηφαιστειακού υποβάθρου. Τρεις κύριες θερμές πηγές υπάρχουν - : της Πλάκας (μέση θερμοκρασία 33,6 °C) και στο Αθέρμι Χριστού (μέση θερμοκρασία 56 °C) στην ακτή των πρανών της καλδέρας, και τέλος, και στη Βλυχάδα (μέση θερμοκρασία 32 °C) στη νοτιότερη ακτή του νησιού.

Μία βαθιά ερευνητική γεώτρηση του ΙΓΜΕ (S₂) που εκτελέστηκε στην περιοχή Αγίας Άννας της νότιας Θήρας, συναντά ένα θερμό υδροφόρο με σταθερή μέγιστη θερμοκρασία 52,2 °C στο βάθος των 365 μέτρων κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.

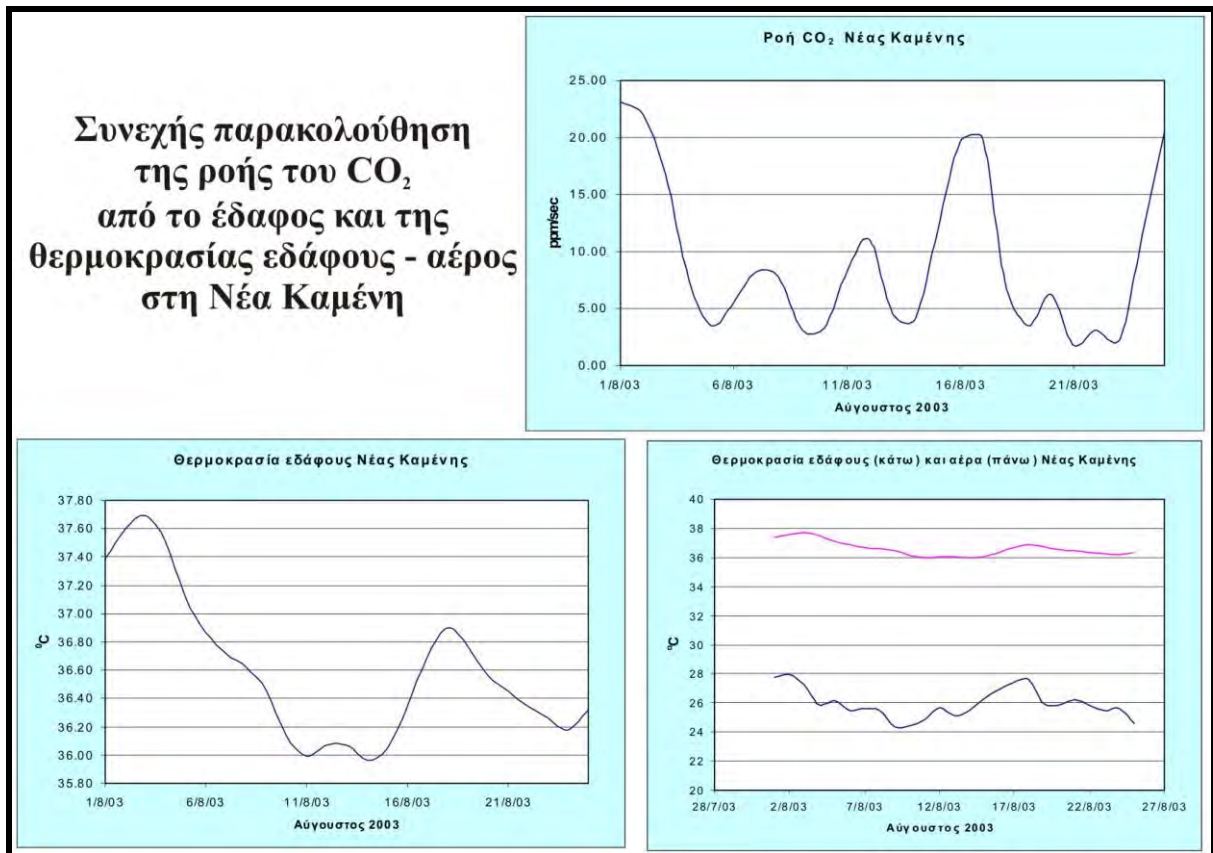
Χημική παρακολούθηση

Σε περίπτωση ενεργοποίησης του ηφαιστείου, η αέρια και υγρή φάση που περιέχεται στο μάγμα φτάνει ταχύτερα από αυτό στην επιφάνεια, μεταβάλλοντας συχνά δραματικά τη **χημική σύσταση των θερμών αερίων (ατμίδων) και πηγών**.

Ένα από τα αέρια που παρουσιάζει σοβαρές ποσοτικές διακυμάνσεις σε τέτοιες περιπτώσεις είναι το **διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)**. Στη Νέα Καμένη, σε μια επιλεγμένη θέση όπου υπάρχει σημαντική φυσική έξοδος αερίων, έχει τοποθετηθεί ειδικός σταθμός, που έχει τη δυνατότητα αυτόματης μέτρησης της φυσικής ροής του CO₂.

Παρακολουθείται επίσης περιοδικά το ποσοστό του Ραδονίου που βρίσκεται στα αέρια των εδαφών σε βάθος 1-2 μ. της Θήρας-Θηρασίας και στα αέρια και θερμά ρευστά της Θήρας και των Καμένων, που είναι ένας καλός δείκτης των ενεργών τεκτονικών διαδικασιών.

Για την ολοκληρωμένη χημική παρακολούθηση του ηφαιστείου, πραγματοποιείται επίσης περιοδική δειγματοληψία και ανάλυση των αερίων των ατμίδων και των θερμών νερών του νησιού (**Σχήμα. 3**).



Σχήμα 9 Παρακολούθηση της ροής CO₂ στη Ν. Καμένη στη διάρκεια του 2003.

1. Συνεχής παρακολούθηση της ροής του CO₂

Ο σταθμός παρακολούθησης της ροής του CO₂ βρίσκεται εγκατεστημένος στην πλέον ενεργή περιοχή της Νέας Καμένης.

Οι μέσες ημερήσιες τιμές της ροής που καταγράφονται από το σταθμό, σ' όλο το διάστημα λειτουργίας του, κυμαίνονται μεταξύ 5 και 50 ppm/sec, ενώ οι μέγιστες καταγεγραμμένες τιμές δεν ξεπερνούν τα 150 ppm/sec. Τα μεγέθη αυτά θεωρούνται αντιπροσωπευτικά της κατάστασης ηρεμίας του ηφαιστείου.

Η μέτρηση της ροής του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) από το έδαφος (ροή εδαφικού CO₂) είναι μία από τις μεθόδους παρακολούθησης των ενεργών ηφαιστειών που χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια.

Τα ενεργά ηφαίστεια εκλύουν διάφορες ποσότητες αερίων με κυρίαρχο το CO₂ στην ατμόσφαιρα, όχι μόνο κατά τη διάρκεια των εκρήξεων, αλλά και κατά τις περιόδους που βρίσκονται σε ηρεμία. Η έκλυση CO₂ λαμβάνει χώρα τόσο από τους ενεργούς κρατήρες, ως θύσανοι αερίων ή ατμίδες (μαζί με ατμό), καθώς και από τις πλαγιές τους και γενικά από τους πρόσφατους ηφαιστειακούς σχηματισμούς, ως διάχυτη διαφυγή αερίων.

Για το λόγο αυτό, η παρακολούθηση των ηφαιστειών με βάση την καταγραφή της ροής - CO₂ μπορεί να πραγματοποιείται σε ασφαλή απόσταση από τους ενεργούς κρατήρες, κάτι ιδιαίτερα σοβαρό για τις περιόδους ηρεμίας αλλά και τις προεκρηκτικές - περιόδους.

Ανάμεσα στις διάφορες μεθόδους μέτρησης της υπεδαφικής ροής του CO₂, εμείς έχουμε επιλέξει τη χρήση της μεθόδου του «θαλάμου συσσώρευσης» ή μέθοδο του «κλειστού θαλάμου». Αυτή θεωρείται η βέλτιστη μέθοδος μέτρησης της ροής εδάφους CO₂ για περιπτώσεις ηφαιστειολογικού ενδιαφέροντος, καθώς δεν απαιτείται η χρήση κανενός συντελεστή διόρθωσης που να εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους.

Το όργανο που έχει εγκατασταθεί στη Σαντορίνη αποτελείται από:

Ένα θάλαμο συσσώρευσης.

Ένα φασματοφωτόμετρο υπέρυθρης ακτινοβολίας Drager Polytron, για τη μέτρηση

της συγκέντρωσης (Conc.CO₂), στο φάσμα των συγκεντρώσεων μεταξύ 0 και 20.000 μmol/mol .

Ένα εξειδικευμένο ψηφιακό καταγραφικό, το σταθμό αερίων εδάφους της WEST Systems.

1. Ο θάλαμος συσσώρευσης

Ο θάλαμος συσσώρευσης παίρνει εντολή για να «κατέβει» και να «εφαρμόσει» πάνω στην επιφάνεια του εδάφους για 3-4 λεπτά κάθε ώρα. Σε αυτό το διάστημα της μιας ώρας, το αέριο εξέρχεται συνεχώς από το θάλαμο. Ο τελευταίος είναι εφοδιασμένος με ένα όργανο μίξης του αέρα, ώστε το μετρούμενο δείγμα να είναι πλήρως αντιπροσωπευτικό. Οι τιμές της ποσότητας CO₂ που μετρώνται μέσα στο θάλαμο συσσώρευσης μεταφέρονται στο ψηφιακό καταγραφικό. Το χείλος του θαλάμου είναι ειδικά σχεδιασμένο ώστε να εφαρμόζει καλά στο έδαφος και έτσι εμποδίζεται η εισαγωγή ατμοσφαιρικού αέρα κατά τη μέτρηση, γεγονός που θα εισήγαγε σοβαρό σφάλμα στη μετρούμενη τιμή, ειδικά κατά τις ημέρες με δυνατό άνεμο. Ο θάλαμος επικοινωνεί με την ατμόσφαιρα μέσω μίας πολύ μικρής οπής που έχει στην οροφή του, η οποία εγγυάται ότι η πίεση στο εσωτερικό του θαλάμου είναι πάντα ίση με την ατμοσφαιρική.

2. Τεχνικά χαρακτηριστικά του ανιχνευτή CO₂

Ο ανιχνευτής είναι ο Drager Polytron IR για CO₂, ο οποίος διαθέτει διπλή δέσμη ακτίνων με αισθητήρα στερεάς φάσης, διόρθωση θερμοκρασίας και δεν έχει κινητά μέρη. Το φάσμα ανίχνευσης είναι από 2000 ppm έως 100%, με δυνατότητα ρύθμισης από το χειριστή. Η ακρίβεια των μετρήσεων είναι 3% της μετρούμενης τιμής.

3. Ο σταθμός αερίων

Πρόκειται για ένα εξειδικευμένο ψηφιακό καταγραφικό, το οποίο μπορεί να συλλέξει έως και 24 αναλογικά σήματα και να ελέγχει τις μετρήσεις ροής CO₂, κατεβάζοντας και ανεβάζοντας το θάλαμο συσσώρευσης κάθε μια ώρα. Ο σταθμός τροφοδοτείται από ένα ηλιακό συλλέκτη και μία μπαταρία ασφαλείας. Τα μέρη του είναι σχεδιασμένα και κατασκευασμένα έτσι ώστε να αντέχουν σε χημικές προσβολές από αέρια του θείου, συνηθισμένα για τα ηφαιστειακά περιβάλλοντα. Τα αποκτηθέντα στοιχεία αποθηκεύονται επί τόπου σε μία πτητική μνήμη στερεάς φάσης και μεταφέρονται στον H/Y του κεντρικού Παρατηρητηρίου με ένα σύστημα ραδιοζεύξης.

Έχει παρατηρηθεί ότι η ροή εδαφικού CO₂ επηρεάζεται άμεσα από τις αλλαγές της ατμοσφαιρικής πίεσης, όπως είναι φυσικό και αναμενόμενο, όταν η μετακίνηση του αερίου γίνεται κυρίως μέσω μεταγωγής. Άλλες ατμοσφαιρικές παράμετροι όπως η βροχή, η θερμοκρασία εδάφους και αέρα, η υγρασία, είναι δυνατόν να επηρεάσουν τις συγκεντρώσεις και ροές των αερίων του εδάφους. Για το λόγο αυτό, παράλληλα με την καταγραφή της ροής του CO₂, και με στόχο την παρακολούθηση της ενεργής κατάστασης του ηφαιστείου, πρέπει να γίνεται και καταγραφή των ατμοσφαιρικών παραμέτρων. Πράγματι, ο σταθμός έχει εξοπλισθεί με αισθητήρες μέτρησης της ατμοσφαιρικής πίεσης και της θερμοκρασίας εδάφους και αέρα.

Η θέση εγκατάστασης του οργάνου στη Νέα Καμένη επιλέχθηκε μετά από πλήθος μετρήσεων της ροής του CO₂ από το έδαφος, σε όλο το νησί, που πραγματοποιήθηκαν με ένα φορητό όργανο μέτρησης που χρησιμοποιεί την ίδια μέθοδο μέτρησης με τον εγκατεστημένο σταθμό αερίων. Η θέση εγκατάστασης του σταθμού επιλέχθηκε τελικά στην κορυφή του θόλου Γεώργιος της Νέας Καμένης, στην περιοχή όπου εμφανίζεται σημαντική διάχυτη ροή CO₂ από το έδαφος.

Ο σταθμός, στη σημερινή τελειοποιημένη του μορφή, λειτουργεί ως εξής:

Κάθε μία ώρα πραγματοποιεί μία μέτρηση της ροής του CO₂, η οποία διαρκεί περίπου 3 λεπτά. Παράλληλα καταγράφει τη συγκέντρωση του CO₂ μέσα στον κλωβό όπου βρίσκεται το όργανο, τη θερμοκρασία αέρα και εδάφους (σε βάθος 50 εκατοστών), την ατμοσφαιρική πίεση και την τάση της μπαταρίας τροφοδοσίας. Τα στοιχεία αυτά αποστέλλονται με αυτόματη ραδιοζεύξη σε Η/Υ στο ηφαιστειολογικό Παρατηρητήριο, όπου καταχωρούνται σε βάση δεδομένων που υπάρχει στο ειδικά σχεδιασμένο για τη διαχείριση του σταθμού λογισμικό. Παράλληλα, η μέτρηση καταγράφεται και στη μνήμη του οργάνου. Η μνήμη μπορεί να αποθηκεύσει έως 126 μετρήσεις (διάστημα 10,5 ημερών) και έτσι εξασφαλίζεται ότι δε θα χαθούν κάποια στοιχεία λόγω προβλημάτων τηλεμετάδοσης ή λειτουργίας των Η/Υ. Όποια μέτρηση μεταδίδεται επιτυχώς στον Η/Υ σβήνεται κατόπιν από τη μνήμη του οργάνου.

Στο παραπάνω **Σχήμα 9**, προβάλλονται τυπικές καταγραφές του οργάνου για την περίοδο του Αυγούστου του 2003. Ο πιθανός συσχετισμός της διακύμανσης της ροής του CO₂ και της θερμοκρασίας με τη σεισμική δράση, που σε ότι αφορά στην κατάσταση του ηφαιστείου θεωρούνται ως μεγέθη κατάστασης ισορροπίας, θα συζητηθούν παρακάτω, στο σχετικό κεφάλαιο.

2. Παρακολούθηση Ραδονίου

Γενικά

Οι διεργασίες απαέρωσης του πλανήτη μας δεν είναι ομοιόμορφες στο χώρο και το χρόνο. Σε μεγάλο βαθμό ελέγχονται και ρυθμίζονται από την κατανομή και την τάση στην οποία υπόκεινται οι πολυάριθμες ρωγμές και ρήγματα του γήινου φλοιού. Ανώμαλα υψηλές συγκεντρώσεις σε εδαφικά αέρια (Rn, He, H₂, CO₂, Hg, CH₄) κατά μήκος ενεργών ρηγμάτων και ηφαιστείων, έχουν καταγραφεί σε πλήθος περιοχών όλου του πλανήτη (King 1994, Baubron et al. 1991, Toutain et al. 1992).

Το ραδόνιο είναι ένα φυσικό ευγενές ραδιενεργό αέριο που παράγεται από την διάσπαση του ουρανίου και θορίου. Τα τρία φυσικά ισότοπα του ραδονίου είναι το ²¹⁹Rn (άκτινον), το ²²⁰Rn (θορόνιο) και το ²²²Rn (ραδόνιο). Το άκτινο έχει πολύ μικρή ημιπερίοδο ζωής (περίπου 3 δευτερόλεπτα) και έτσι δεν έχει κάποια πρακτική αξία. Το θορόνιο έχει ημιπερίοδο ζωής 54,7 δευτερόλεπτα ενώ το ραδόνιο 3,82 μέρες. Η μικρή ημιπερίοδος ζωής του, παράλληλα με το ότι πρόκειται για ευγενές αέριο (δεν συμμετέχει σε χημικές αντιδράσεις, όπως συμβαίνει με τα περισσότερα από τα υπόλοιπα φυσικά αέρια) καθιστά το ραδόνιο ένα από τα πλέον ενδεικτικά αέρια και δείκτη ενεργών διεργασιών, όπως η ύπαρξη ενεργών ρηγμάτων και η ενεργοποίηση των ηφαιστείων. Μοναδικό πρόβλημα – όχι ευκαταφρόνητο – είναι η μεγάλη διαλυτότητά του στο νερό (συντελεστής διαλυτότητας: 0,51 σε 0°C, 0,25 σε 25 °C), από το οποίο όμως απελευθερώνεται πολύ εύκολα, καθώς ο συντελεστής κατανομής αέρα/νερού είναι πολύ μεγάλος.

Το ραδόνιο είναι το περισσότερο μελετημένο αέριο, αποσκοπώντας στην πρόγνωση των σεισμών. Γεννάται στο πέτρωμα και ένα μέρος του δεσμεύεται στην στέρεα μάζα, ενώ το υπόλοιπο μετακινείται στα ρευστά των πόρων του πετρώματος από όπου μπορεί να διαφύγει μέσω των ενδοεπικοινωνούντων πόρων, ρωγμών και υδροφόρων. Οι τεκτονικές τάσεις που επενεργούν στο πέτρωμα μπορούν να δημιουργήσουν ρήξη της στερεάς μάζας και ρωγμές, που κάνουν περισσότερο αποτελεσματική τη διάχυση και διαφυγή του ραδονίου.

Γενικά διακρίνουμε δύο φάσεις εκδήλωσης της αύξησης του ποσοστού του ραδονίου που παρατηρείται κατά τη διάρκεια σεισμικών γεγονότων. Η πρώτη, **πρόδρομη φάση**, εκδηλώνεται αρκετούς μήνες πριν και διαρκεί έως και την έναρξη του σεισμικού γεγονότος. Χαρακτηρίζεται από ανώμαλες τιμές έως και δέκα (10) τάξεις μεγέθους μεγαλύτερες των φυσιολογικών για την περιοχή. Οι ανωμαλίες

συναντώνται τόσο κατά μήκος των ενεργών ρηγμάτων όσο και στο έδαφος και τους υδροφόρους, σε εύρος από την περιοχή του επικέντρου που μπορεί να ξεπερνά τα 100 km σε ακτίνα.

Η δεύτερη φάση χαρακτηρίζεται από την **έκλυση ραδονίου κατά μήκος των ενεργοποιημένων σεισμικών ρηγμάτων**. Το μέγιστο της ανωμαλίας παρουσιάζει μια υστέρηση λίγων ημερών μετά την εκδήλωση του σεισμικού ρήγματος και μπορεί να είναι μετατοπισμένο λίγες δεκάδες μέτρα από την επιφανειακή εκδήλωσή του.

Κατά τη διάρκεια ηφαιστειακής επαναδραστηριοποίησης, αναμένεται μία αύξηση έκκλυσης ραδονίου, τόσο λόγω της θραύσης των πετρωμάτων (σεισμική δράση) όσο και λόγω της αύξησης της ροής του CO₂, ως της κυριότερης αέριας φάσης που μεταφέρει το μάγμα στην επιφάνεια.

Σε ό,τι αφορά τα δύο ισότοπα του ουρανίου, κυρίως χρησιμοποιείται το ραδόνιο (²²²Rn), καθώς η μεγαλύτερη ημιπερίοδος ζωής του, διευκολύνει την καταγραφή του και καθιστά πιο ασφαλή τα αποτελέσματα. Η συμπεριφορά του θορονίου (²²⁰Rn) δεν είναι πολύ καλά μελετημένη, θεωρείται όμως αποτελεσματικότερος "ιχνηλάτης" ενεργών διεργασιών καθώς έχει πολύ μικρότερη ημιπερίοδο ζωής.

Μεθοδολογία μετρήσεων

Οι μετρήσεις ραδονίου, τόσο στο έδαφος όσο και στο νερό, πραγματοποιήθηκαν με δύο όργανα που χρησιμοποιούν διαφορετική μέθοδο υπολογισμού του ραδονίου (Pylon AB-5 με κυψέλες σπινθηρισμού και DurrIDGE RAD-7 με ανιχνευτή πυριτίου στερεάς κατάστασης). Τόσο για τα αέρια εδάφους όσο και για το νερό εφαρμόστηκαν οι μέθοδοι δειγματοληψίας και μέτρησης που χρησιμοποιούνται επί σειρά ετών από την ομάδα εργασίας του ΙΓΜΕ και θεωρούνται οι πλέον αξιόπιστες. (**Σχήματα 10 και 11**).



Σχήμα 10. Η συσκευή μέτρησης ραδονίου

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν αφορούν:

Το ραδόνιο που βρίσκεται διαλελυμένο στο νερό. Για τη μέτρηση αυτή απαιτείται η κυκλοφορία συγκεκριμένου όγκου ατμοσφαιρικού αέρα, σε κλειστό κύκλωμα, σε συγκεκριμένο όγκο δείγματος νερού (350 ml αέρα σε 190 ml νερού για το AB-5 και 750 ml αέρα σε 250 ml νερού για το RAD-7). Στη συνέχεια μετράται η περιεκτικότητα του ραδονίου στον αέρα αυτό και με σχετική αναγωγή υπολογίζεται το περιεχόμενο εν διαλύσει στο νερό ραδόνιο. **(Σχήμα 10).**

Το ραδόνιο που βρίσκεται εγκλωβισμένο στο έδαφος. Για τη μέτρηση αυτή το δείγμα του εδαφικού αερίου λαμβάνεται από την απόληξη ενός ανοξειδωτού σωλήνα εσωτερικής διαμέτρου 1 εκατοστού, ο οποίος βυθίζεται στο έδαφος σε βάθος 0,5-0,6 m ώστε να αποφεύγονται οι ημερήσιες και εποχιακές διακυμάνσεις που παρουσιάζουν οι τιμές του ραδονίου λόγω αλλαγής της ατμοσφαιρικής πίεσης, των ρευμάτων του αέρα κτλ. Στο δείγμα αυτό μετράται μετά από 10 λεπτά η περιεκτικότητά του σε ραδόνιο (4 διαδοχικές μετρήσεις, διάρκειας 5 λεπτών η κάθε μία) και στις δύο συσκευές **(Σχήμα 11).**

Το θορόνιο που βρίσκεται εγκλωβισμένο στο έδαφος. Αυτή η μέτρηση γίνεται στο ίδιο δείγμα αέρα που έχει ληφθεί για τη μέτρηση του ραδονίου, αμέσως μετά τη δειγματοληψία του, με τρεις διαδοχικές μετρήσεις διάρκειας 1 λεπτού έκαστη, χρησιμοποιώντας τη συσκευή Pylon AB-5 (μέθοδος βραχείας αναρρόφησης – sniffing). Το περιεχόμενο του θορονίου δίνεται σε CPM (counts per minute) από τις σχέσεις:

$$\text{CPM } 220\text{Rn} = (C1+C2+C3)-(0,87C3+0,32C2-0,34C1)$$

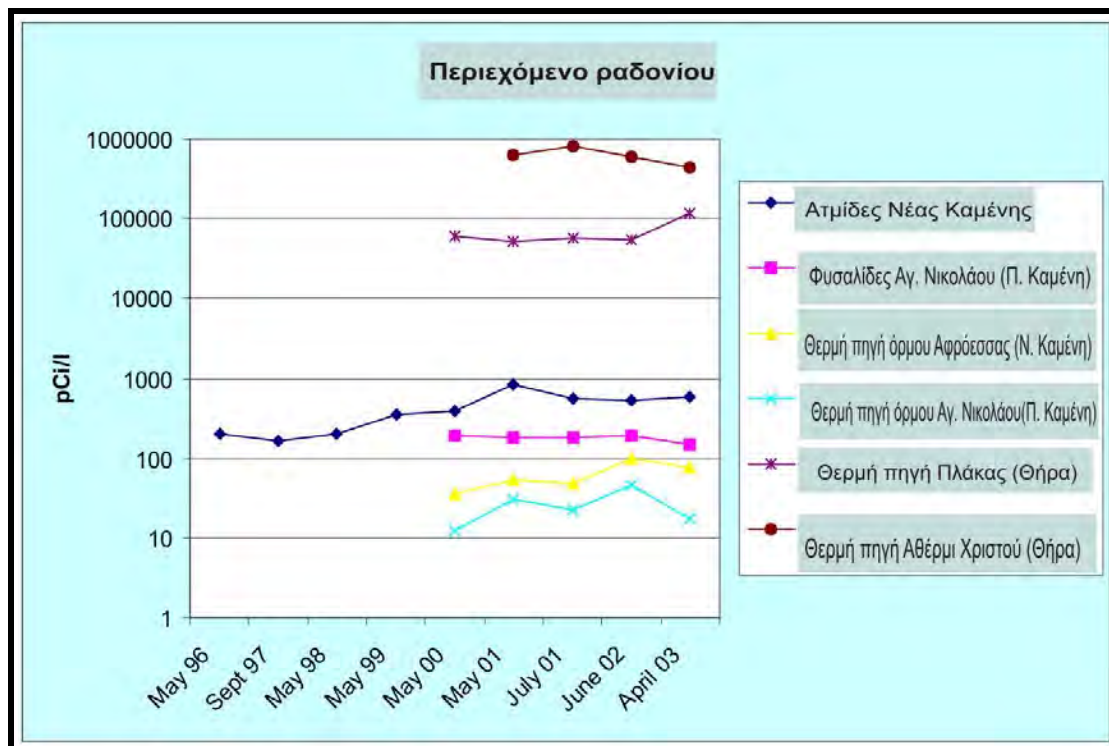
όπου C1, C2 και C3 είναι οι σπινθήρες ανά λεπτό που κατέγραψε το όργανο στο πρώτο, δεύτερο και τρίτο χρονικό διάστημα μέτρησης αντίστοιχα. Κατόπιν μετατρέπεται σε pCi/l με βάση την ευαισθησία του οργάνου και τους σχετικούς τύπους της εταιρίας. Πειραματικά πραγματοποιούνται επίσης μετρήσεις **θορονίου** στα αέρια εδάφους της Σαντορίνης, με ειδική πρότυπη διαδικασία μέτρησης, με τη μέθοδο του θαλάμου συσσώρευσης που σχεδιάστηκε σε συνεργασία με την εταιρία DurrIDGE για το όργανο RAD-7.



Σχήμα 11. Καταμέτρηση περιεκτικότητας ραδονίου (σε pCi/l) από συλλεγμένα δείγματα ατμίδων

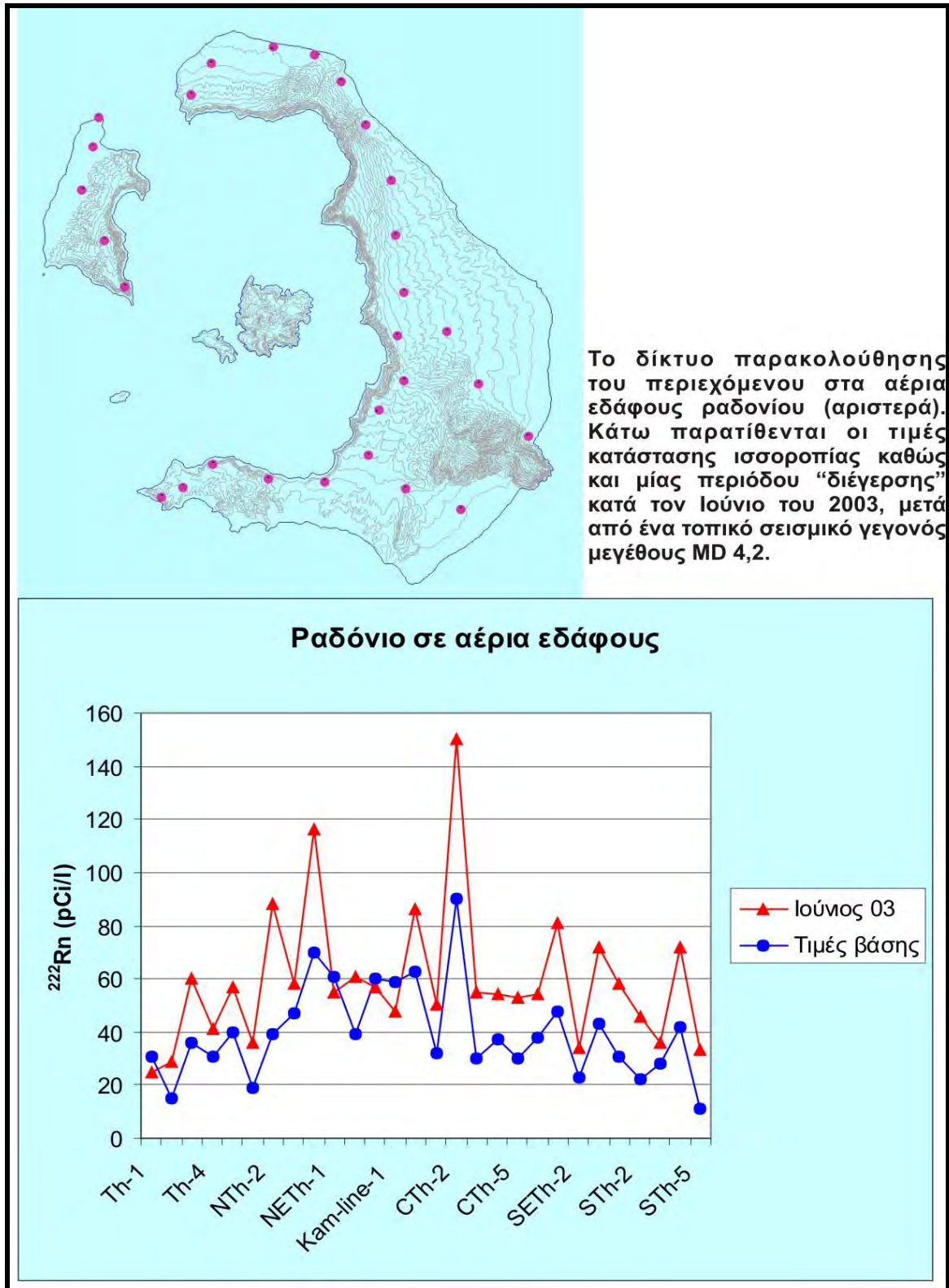
Το περιεχόμενο του ραδονίου στα ρευστά της Σαντορίνης παρουσιάζει διακύμανση σε μακροχρόνια κλίμακα.

Στο **Σχήμα 12** προβάλλονται οι τιμές που έχουν προκύψει από την περιοδική παρακολούθηση του περιεχόμενου ραδονίου στα αέρια και τα θερμά νερά της Σαντορίνης. Όπως φαίνεται και εδώ, υπάρχει μια περιοδική διακύμανση που χαρακτηρίζει την περίοδο ηφαιστειακής ισορροπίας που διανύουμε. Δεν είναι δυνατόν να εκτιμήσουμε τους λόγους αυτής της διακύμανσης, καθώς δεν υπάρχουν στοιχεία συνεχούς καταγραφής.



Σχήμα 12

Σε ό,τι αφορά στο περιεχόμενο στα αέρια εδάφους ραδόνιο, στο **Σχήμα 13** προβάλλονται οι θέσεις του δικτύου περιοδικής δειγματοληψίας στη Σαντορίνη. Στο διάγραμμα που περιέχεται στο ίδιο σχήμα, προβάλλονται τόσο οι «τιμές βάσης» του ραδονίου στα αντίστοιχα σημεία (τιμές που έχουν προκύψει από το μέσο όρο των μετρήσεων των τελευταίων 6 ετών) όσο και οι τιμές που καταγράφηκαν τον Ιούνιο του 2003, όπου οι μετρήσεις έγιναν αμέσως μετά από ένα τοπικό σεισμικό γεγονός μεγέθους 4.2 M_D . Οι τιμές του Ιουνίου του 2003 είναι στην πλειοψηφία των σταθμών υψηλότερες και σε ορισμένες θέσεις η αύξηση φτάνει στη διπλάσιο από την τιμή βάσης. Η αύξηση αυτή θεωρείται ότι συνδέεται με την «ενεργοποίηση» του χώρου από το τοπικό σεισμικό γεγονός.



Σχήμα 13

Παρακολούθηση της σύστασης των θερμών ρευστών

Περιοδική δειγματοληψία (2-3 φορές ανά έτος) και αναλύσεις των κύριων στοιχείων και ορισμένων ιχνοστοιχείων- πραγματοποιούνται στις κυριότερες θερμές πηγές της Σαντορίνης (Γλάκα, Αθήρμι Χριστού, Αφρόεσσα, Άγιος Νικόλαος).

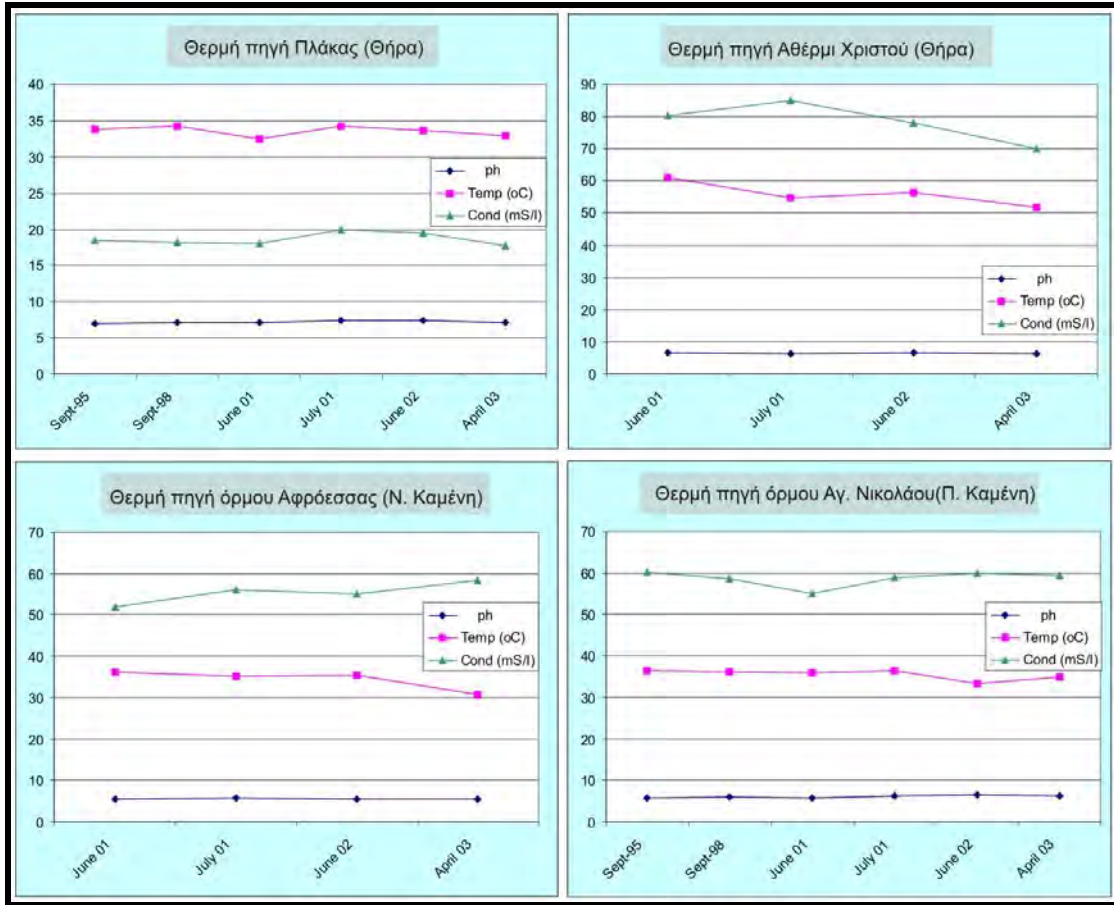
Παίρνοντας υπόψη όλες τις χημικές, υδρολογικές και υδρογεωλογικές παραμέτρους, τα θερμά νερά της Σαντορίνης είναι πιθανό να τροφοδοτούνται από α) θαλασσινό νερό που έχει υποστεί περιορισμένη θέρμανση και αναμιγνύεται με υπόγειο νερό ή β) θερμασμένο υπόγειο νερό που αναμιγνύεται με θαλασσινό νερό ή γ) μίξη θερμού θαλασσινού και υπόγειου νερού. Σε όλες τις περιπτώσεις, τα θερμά νερά συνδέονται με σχετικά αβαθείς υδροφόρους ορίζοντες.

Περιοδική δειγματοληψία (2-3 φορές ανά έτος) και αναλύσεις των κύριων στοιχείων και ορισμένων ιχνοστοιχείων πραγματοποιούνται επίσης στα θερμά αέρια των ατμίδων της Νέας Καμένης και στις φυσαλίδες του όρμου του Αγίου Νικολάου.

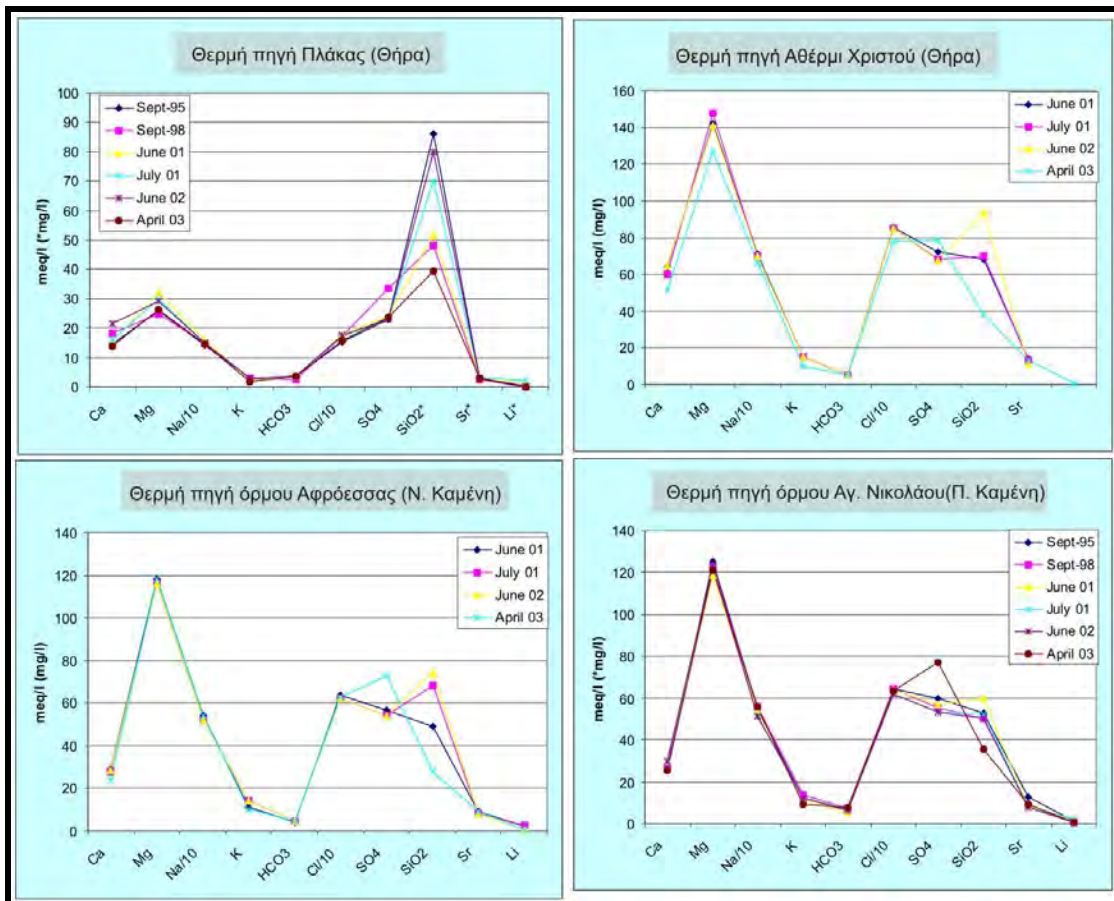
Οι ατμίδες της Νέας Καμένης εκλύουν κυρίως μεγάλο ποσοστό θερμασμένου ατμοσφαιρικού αέρα και CO₂. Ανιχνεύονται επίσης πολύ χαμηλά και έντονα κυμαινόμενα ποσοστά CH₄, H₂, CO, γεγονός που αντικατοπτρίζει διαφορετικά ποσοστά μίξης ατμοσφαιρικού αέρα με μία αέρια φάση πλούσια σε CO₂.

Τα αέρια της Παλαιάς Καμένης συνίστανται ουσιαστικά σε CO₂ (99,9 % κ.ο.), ενώ ανιχνεύονται N₂, O₂ και CH₄, CO σε πολύ χαμηλή περιεκτικότητα (<10 ppm).

Στα **Σχήματα 14 και 15** προβάλλονται οι τιμές των περιοδικών μετρήσεων και αναλύσεων των θερμών νερών- κατά την τελευταία δεκαετία. Καθ' όλη την περίοδο παρακολούθησης, δεν καταγράφηκε οποιαδήποτε σημαντική διακύμανση στη φυσικο-χημική σύστασή τους, που θα μπορούσε να ερμηνευτεί ως διεργασία δραστηριοποίησης τροφοδοσίας από βαθύτερα μαγματικά ρευστά. Μία σχετική απόκλιση από το μέσο όρο στις τιμές των θειικών ιόντων και του διοξειδίου του πυριτίου, κατά τη δειγματοληψία του 2003, αποδίδεται σε εργαστηριακό λάθος, καθώς παρουσιάζεται συστηματικά μόνο σε αυτή την περίοδο σε όλα τα δείγματα. Οι διακυμάνσεις των υπόλοιπων μεγεθών είναι αναμενόμενες στα πλαίσια της διαφορετικής σε κάθε δειγματοληψία μείξης μεταξύ θερμού και θαλασσινού νερού.

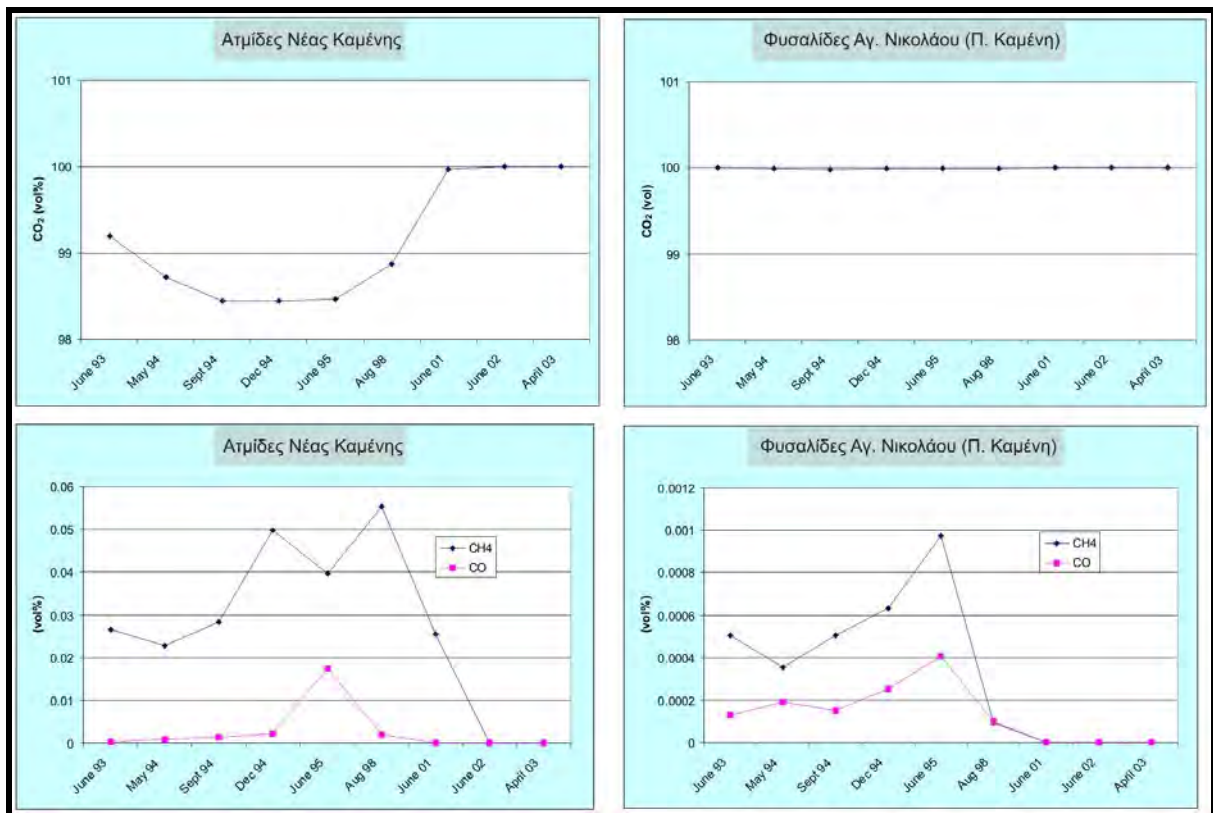


Σχήμα 14



Σχήμα 15

Σε ό,τι αφορά στην παροχή και σύσταση των αερίων, παρατηρήθηκε μία μείωση του όγκου των εκλυόμενων αερίων στις ατμίδες και τις φυσαλίδες της Νέας Καμένης κυρίως. Αυτό αντικατοπτρίζεται και στα διαγράμματα του **Σχήματος 16**, όπου τόσο το μεθάνιο όσο και το μονοξειδίο του άνθρακα δεν είναι δυνατόν πλέον να ανιχνευθούν. Αυτό θα μπορούσε να ερμηνευτεί ως μία διεργασία αυτοστεγανοποίησης του ανώτερου μέρους του κώνου της Καμένης, λόγω της κυκλοφορίας των θερμών ρευστών σε περίοδο σχετικής τεκτονικής ηρεμίας.



Σχήμα 16

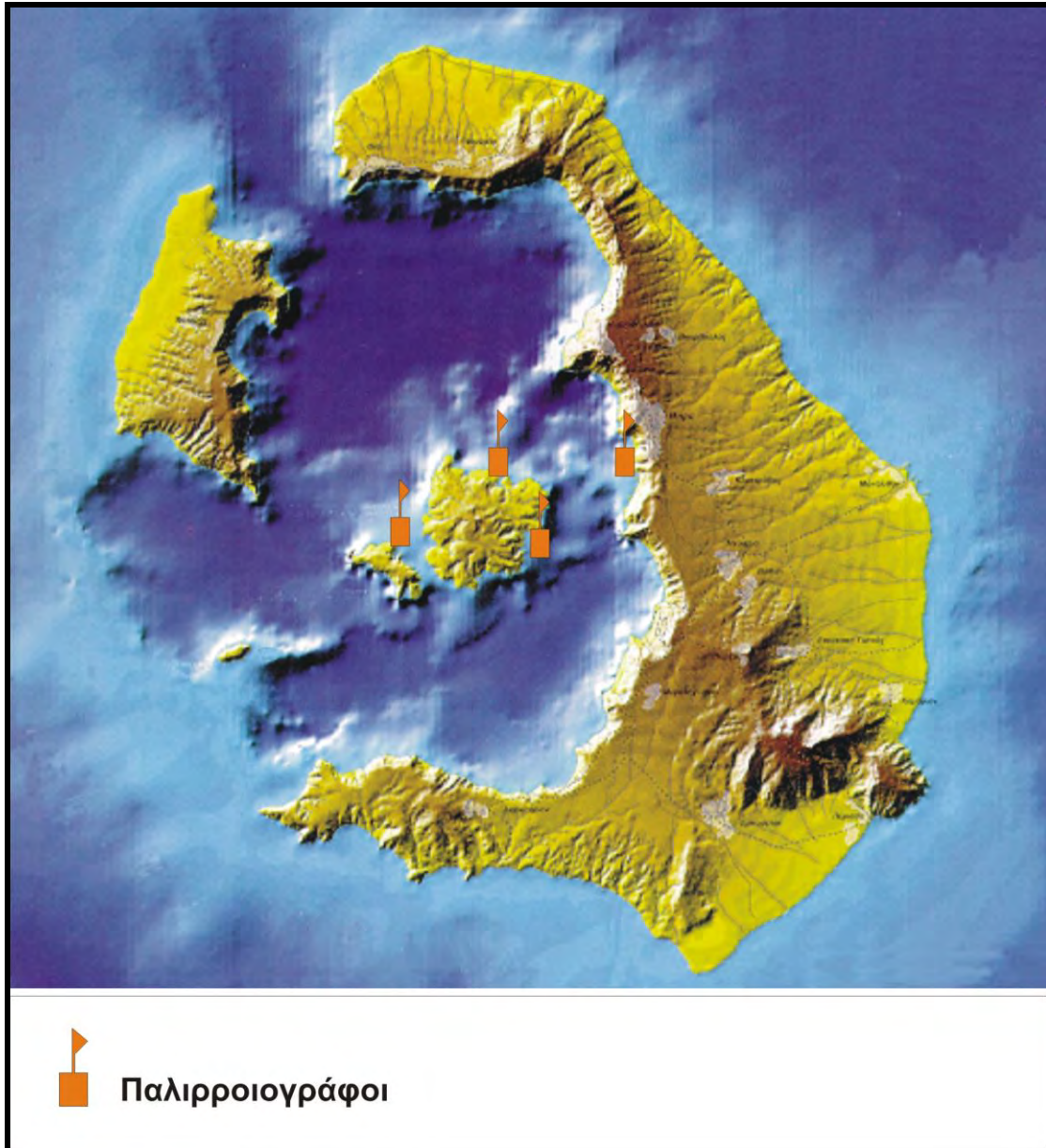
Παρακολούθηση της στάθμης της θάλασσας

(από Κ. Κοσματόπουλο, Θ. Λαόπουλο, Κ. Αλμπανάκη & Β. Υφαντή Α.Π.Θ)

Το μάγμα κατά την άνοδό του προκαλεί κατακόρυφες ή/και οριζόντιες μετατοπίσεις των υπερκείμενων πετρωμάτων και περιοχών. Ένα από τα βασικότερα πρόδρομα φαινόμενα ηφαιστειακής επαναδραστηριοποίησης σε όλες τις ιστορικές εκρήξεις της Σαντορίνης ήταν η βύθιση των ακτών αρκετό χρονικό διάστημα πριν την εκδήλωση της έκρηξης. Για την ανίχνευση τέτοιων κινήσεων έχει εγκατασταθεί ένα δίκτυο από τέσσερις τηλεμετρικούς σταθμούς αυτόματης **μέτρησης και καταγραφής της στάθμης της θάλασσας**, άρα και των κινήσεων των ακτών.

Οι σταθμοί σχεδιάστηκαν, κατασκευάστηκαν και εγκαταστάθηκαν από ερευνητές του Α.Π.Θ. για λογαριασμό του ΙΜΠΗΣ. Ο κεντρικός σταθμός λήψης και αποθήκευσης των σημάτων βρίσκεται στην έδρα του Ηφαιστειολογικού Παρατηρητηρίου, στο Φηροστεφάνι. Τα στοιχεία από τις μετρήσεις επεξεργάζεται και εκτιμά σε καθημερινή βάση ο τοπικός παρατηρητής. Στη συνέχεια λαμβάνονται μέσω modem στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης από την αρμόδια ομάδα επιστημόνων, όπου και γίνεται η τελική επεξεργασία και εκτίμηση.

Το νέο πλήρες δίκτυο παλιρροιογράφων είναι συνεχούς καταγραφής και αποστέλλει τα δεδομένα στο Ηφαιστειολογικό Παρατηρητήριο των Φηρών σε πραγματικό χρόνο. **(Σχήμα 17).**



Σχήμα 17

Το σύστημα περιλαμβάνει 5 σταθμούς τοποθετημένους σε επιλεγμένα σημεία του νησιωτικού συμπλέγματος Σαντορίνης, οι οποίοι καταγράφουν συνεχώς τη στάθμη της θάλασσας και άλλες φυσικές παραμέτρους (θερμοκρασία νερού, αγωγιμότητα), αποστέλλουν τα καταγεγραμμένα μεγέθη με ραδιοζεύξη σε Η/Υ του Παρατηρητηρίου των Φηρών, όπου αποθηκεύονται και γίνονται προσβάσιμα στη συνέχεια (μέσω Διαδικτύου) στην επιστημονική ομάδα παρακολούθησης.

Τα μεγέθη που μετρούνται σήμερα στον κάθε ένα από τους σταθμούς αυτούς είναι: μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης, θερμοκρασία νερού (σε βάθος 0,5 μέτρων), και θερμοκρασία αέρα. Οι δυνατότητες του συστήματος είναι φυσικά πολύ περισσότερες και περιλαμβάνουν τη μέτρηση μέχρι 7 διαφορετικών αναλογικών μεγεθών και 2 ψηφιακών ενδείξεων ανά σταθμό. Στο πλαίσιο του παρόντος έργου συνδέθηκαν στο

υπάρχον δίκτυο και όργανα μέτρησης φυσικοχημικών παραμέτρων. Συγκεκριμένα, στον σταθμό μετρήσεων «Άγιος Νικόλαος-Ζεστά Νερά» της Παλαιάς Καμένης συνδέθηκαν στο τηλεμετρικό δίκτυο και ηλεκτρονικά όργανα μέτρησης αγωγιμότητας (αλατότητας), pH, Redox-Eh και θερμοκρασίας σε άλλη θέση.

Το καινούργιο – αναβαθμισμένο δίκτυο σταθμών παρακολούθησης της ηφαιστειολογικής δραστηριότητας που εγκαταστάθηκε και λειτουργεί στην περιοχή της Σαντορίνης μπορεί να κάνει καταγραφές από απόσταση, χωρίς ανάγκη παροχής ηλεκτρικού ή τηλεφωνικού δικτύου για την τροφοδοσία των σταθμών μετρήσεων και τη μετάδοση των δεδομένων. Στην περίπτωση της Σαντορίνης μπορούν να εγκατασταθούν περιφερειακοί σταθμοί σχεδόν σε όλες τις επιστημονικά ενδιαφέρουσες περιοχές ολόκληρου του συμπλέγματος των νησιών. Αυτό έγινε ήδη στις τέσσερις περιοχές που αναφέρθηκαν, όπου οι σταθμοί λειτουργούν τελείως αυτόνομα.

Πρόκειται για ένα ολοκληρωμένο σύστημα αυτοματοποιημένων μετρήσεων που αποτελείται από δύο μέρη:

Ένα **κεντρικό σταθμό ελέγχου** που αποτελείται από ένα προσωπικό υπολογιστή εφοδιασμένο με τα κατάλληλα κυκλώματα (κάρτες διασύνδεσης), από το ειδικό λογισμικό, και από το κεντρικό σύστημα ασύρματης επικοινωνίας του δικτύου. Ο Σταθμός είναι εγκατεστημένος και λειτουργεί **στο ηφαιστειολογικό παρατηρητήριο του Ι.Μ.Π.Η.Σ.**, που βρίσκεται στο Συνεδριακό Κέντρο Π.Μ. Νομικός, στην περιοχή Φηροστεφάνι Φηρών.

Τέσσερις απομακρυσμένους σταθμούς λήψης μετρήσεων, που αποτελούν τους **περιφερειακούς σταθμούς** του συστήματος. Οι σταθμοί αυτοί είναι εφοδιασμένοι με τα αισθητήρια μέτρησης στάθμης νερού, θερμοκρασίας νερού και θερμοκρασίας αέρα, καθώς και με σύστημα κωδικοποίησης και αποστολής των δεδομένων των μετρήσεων στον κεντρικό σταθμό βάσης μέσω του ασύρματου δικτύου δεδομένων.

Ένα τοπικό μικρο-υπολογιστικό σύστημα ελέγχει συνεχώς όλη τη λειτουργία του περιφερειακού σταθμού και των ηλεκτρονικών μετρητικών οργάνων που είναι συνδεδεμένα σε αυτόν. Οι τέσσερις περιφερειακοί σταθμοί μετρήσεων είναι εγκατεστημένοι και λειτουργούν στις περιοχές «*Ταξιάρχης*» και «*Ερινιά*» της Νέας Καμένης, «*Άγιος Νικόλαος*» της Παλαιάς Καμένης (στη θέση Ζεστά Νερά), και «*Γιαλός*» (λιμάνι Φηρών) της Σαντορίνης.

Η διασύνδεση των παραπάνω γίνεται σε μορφή αστέρα (αμφίδρομη ασύρματη σειριακή επικοινωνία δεδομένων) όπου ο ηλεκτρονικός υπολογιστής του σταθμού

βάσης αποτελεί το κέντρο του συστήματος στο οποίο φθάνουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων των περιφερειακών σταθμών.

Οι περιφερειακοί σταθμοί είναι μονάδες αυτόνομες από άποψη λειτουργίας και επικοινωνίας, και αυτόρχει ενεργειακά: διαθέτουν σύστημα τοπικού μικροϋπολογιστή για τον έλεγχο όλων των λειτουργιών, σύστημα ασύρματης επικοινωνίας δεδομένων για σύνδεση με τον κεντρικό σταθμό βάσης, καθώς και σύστημα ηλιακών στοιχείων - μπαταρίας που εξασφαλίζει την απαιτούμενη ενέργεια για 24ωρη λειτουργία, αλλά και την απρόσκοπτη λήψη των μετρήσεων.

Οι μετρήσεις των παραμέτρων γίνονται κατά δύο ανεξάρτητους τρόπους:

α) Σε συνεχή βάση και σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα (προτείνεται εδώ η λήψη μετρήσεων ανά μία ώρα). Η διαδικασία αυτή προκαθορίζεται και ελέγχεται πλήρως από το ειδικό λογισμικό (software) που συνοδεύει και ενσωματώνεται στο πλήρες σύστημα και

β) Σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή επιθυμεί ο χρήστης και για οποιαδήποτε παράμετρο. Αρκεί γι' αυτό μία απλή σύνδεση μέσω modem με τον κεντρικό σταθμό καταγραφής και καταχώρησης των μετρήσεων. Η δεύτερη αυτή πολύ σημαντική δυνατότητα δίνεται χωρίς να διακόπτεται η συστηματική και προκαθορισμένη ροή των μετρήσεων απ' όλους τους σταθμούς και όλα τα αισθητήρια.

Με τον πρώτο τρόπο εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη, συστηματική και μακροχρόνια λήψη μετρήσεων, που καταχωρούνται σε σκληρό δίσκο και στην συνέχεια αναλύονται επιστημονικά με διάφορα λογισμικά (από τα ευρέως γνωστά πακέτα Excel ή Access, μέχρι ειδικά προγράμματα ανάλυσης δεδομένων) και διαμορφώνονται σε βάσεις δεδομένων ηφαιστειολογικών μετρήσεων, χρήσιμες σε οιοδήποτε θελήσει να μελετήσει μελλοντικά το ηφαιστειο της Σαντορίνης σε βάθος.

Με τον δεύτερο τρόπο δίνεται η δυνατότητα στους εξουσιοδοτημένους χρήστες από οποιαδήποτε να συνδέονται στο σύστημα με απλό τρόπο (μέσω modem) και να ζητούν όποια μέτρηση και από όποιο σταθμό θέλουν σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή *(άμεση μέτρηση σε πραγματικό χρόνο)*.

Οι δυνατότητες του νέου αναβαθμισμένου συστήματος που εγκαταστάθηκε και λειτουργεί είναι συνοπτικά οι εξής: Α) Ο κάθε περιφερειακός σταθμός μετρά συνεχώς τα μεγέθη: 1) Στάθμη νερού, 2) Θερμοκρασία νερού, 3) Θερμοκρασία αέρα. Επιπλέον υπάρχει δυνατότητα μέτρησης και άλλων μεγεθών (μέχρι 4 επιπλέον), ανάλογα με τα επιστημονικά δεδομένα και τα διαθέσιμα όργανα μέτρησης. Στο πλαίσιο του παρόντος έργου συνδέθηκαν στο υπάρχον δίκτυο και όργανα μέτρησης φυσικοχημικών παραμέτρων. Συγκεκριμένα, στο- σταθμό μετρήσεων «Άγιος

Νικόλαος-Ζεστά Νερά» της Παλαιάς Καμένης συνδέθηκαν στο τηλεμετρικό δίκτυο και ηλεκτρονικά όργανα μέτρησης αγωγιμότητας (αλατότητας), pH, Redox-Eh και θερμοκρασίας σε άλλη θέση.

Το σύστημα βασίζεται στη σύγχρονη ψηφιακή τεχνολογία των μικροελεγκτών (Microcontrollers), οι οποίοι αποτελούν ουσιαστικά ένα πλήρες μικροϋπολογιστικό σύστημα, με μεγάλες δυνατότητες επέκτασης και διασύνδεσης, όπως για παράδειγμα παράλληλες θύρες εισόδου/εξόδου, ασύγχρονη σειριακή επικοινωνία για άμεση επικοινωνία με ηλεκτρονικό υπολογιστή, και σύγχρονη σειριακή επικοινωνία για διασύνδεση με περιφερειακές συσκευές όπως π.χ. μετατροπείς αναλογικού σε ψηφιακό. Η μεγαλύτερη ανάπτυξη (επέκταση) του συστήματος είναι δυνατή στο μέλλον χωρίς καμία αλλαγή της δομής, γιατί τα υποσυστήματα του μικροελεγκτή μπορούν εύκολα να τα υποστηρίξουν. Η επέκταση αυτή μπορεί να αφορά τόσο τον αριθμό των περιφερειακών σταθμών (προσθήκη νέων μονάδων μέχρι 14 συνολικά [7+7]) όσο και των μετρούμενων μεγεθών σε κάθε σταθμό (άμεσα υποστηρίζει μέχρι 7 παραμέτρους και δύο ενδείξεις (on-off), αλλά υπάρχει δυνατότητα επέκτασης με σύνδεση και άλλης υπο-μονάδας (module) μέτρησης επιπλέον άλλων 7 παραμέτρων και 2 ενδείξεων).

Το λογισμικό του υπολογιστή του σταθμού ελέγχου του δικτύου έχει αναπτυχθεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές που υπάρχουν διεθνώς για την φιλικότητα των προγραμμάτων με τους χρήστες (user friendly interface programs) έτσι ώστε να μπορεί να το χειριστεί ακόμη και κάποιος που δεν έχει ιδιαίτερες γνώσεις υπολογιστών. Ενσωματώνει την τεχνική του προσανατολισμένου σε αντικείμενα προγραμματισμού (Object Oriented Programming) η οποία γίνεται εμφανής με τη χρήση αναδυόμενων μενού (pop-up menus), διαλογικών παραθύρων (dialog windows) και πλήκτρων εντολών (command buttons). Κατά την εκτέλεση του προγράμματος λαμβάνονται μετρήσεις και καταγράφονται σε ξεχωριστά αρχεία για κάθε μετρούμενη παράμετρο. Η καταγραφή περιλαμβάνει την ημερομηνία, την ώρα και την τιμή της μέτρησης η οποία ελήφθη.

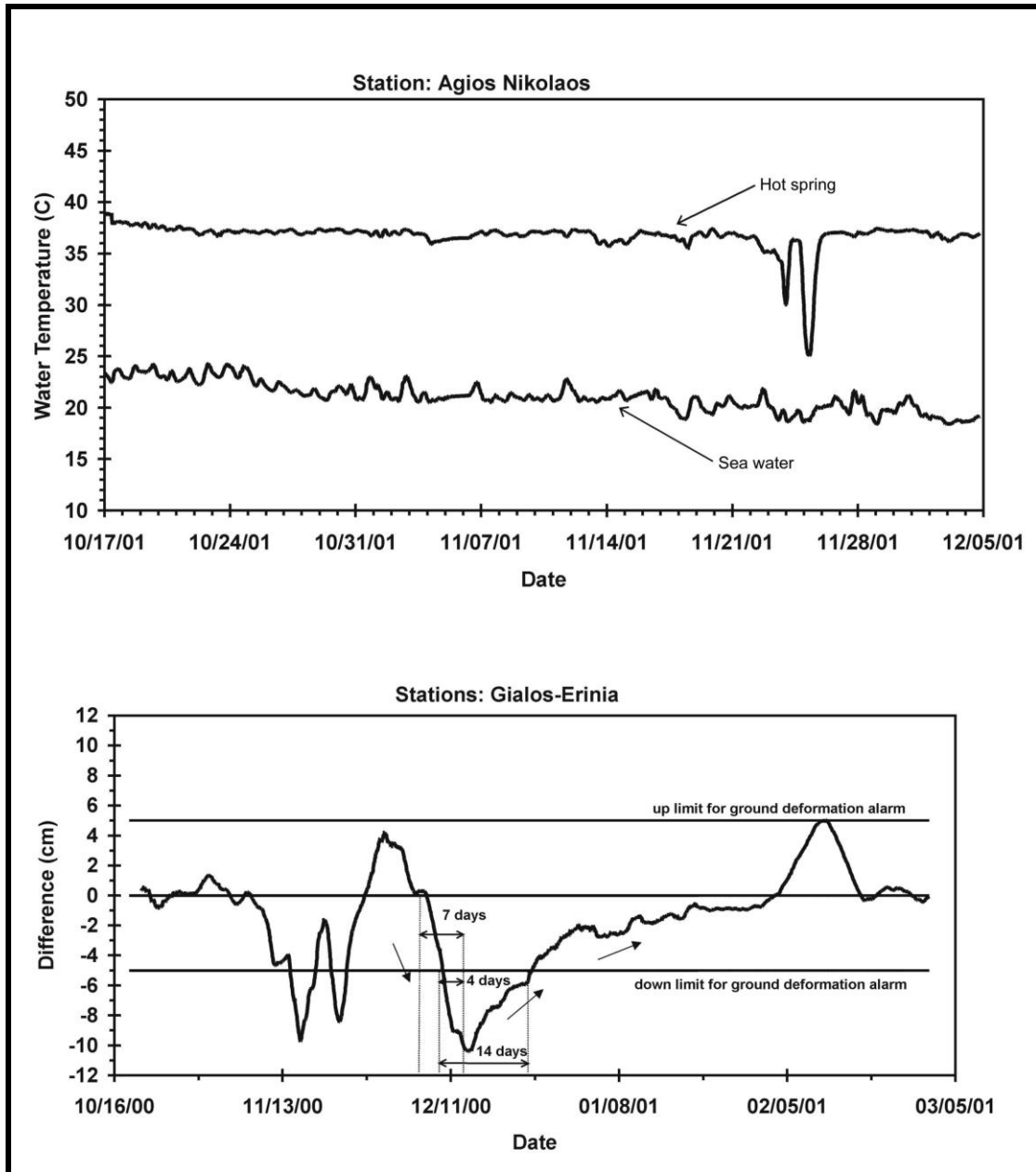
Το λογισμικό διαθέτει ένα πλήθος επιλογών για πλήρη έλεγχο του σταθμού βάσης και των περιφερειακών σταθμών. Ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει τη συχνότητα των μετρήσεων που λαμβάνονται από την τερματική διάταξη. Επίσης μπορεί να επιλέξει ανεξάρτητα τη συχνότητα των μετρήσεων καθενός από τα μεγέθη τα οποία μετρά ο περιφερειακός σταθμός, ενώ υπάρχει και η δυνατότητα άμεσης μέτρησης (Measure Now!) παρακάμπτοντας την προκαθορισμένη συχνότητα μετρήσεων και χωρίς αυτή

να επηρεάζεται.

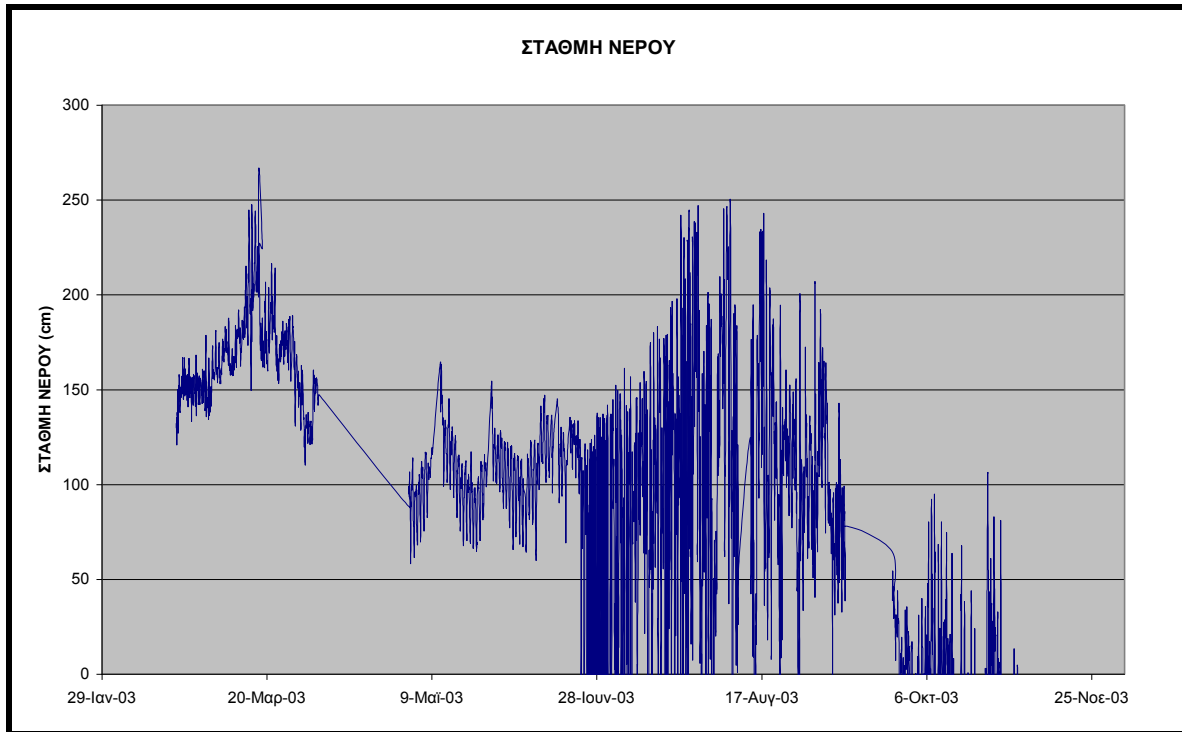
Στο λογισμικό πρόγραμμα υπάρχει η δυνατότητα της προβολής της λίστας των μετρήσεων για κάθε μετρούμενο μέγεθος ξεχωριστά καθώς επίσης και της γραφικής παράστασης των μετρήσεων, καθώς και επιλογή εξαγωγής των αρχείων των μετρήσεων σε μορφή αναγνώσιμη από άλλα γνωστά προγράμματα ανάλυσης και επεξεργασίας δεδομένων.

Τέλος ένα βασικό πλεονέκτημα είναι ο πλήρης τηλεχειρισμός του δικτύου από άλλο απομακρυσμένο υπολογιστή, έτσι ώστε να καθίσταται δυνατός ο χειρισμός του όλου συστήματος και η μεταφορά των αρχείων μετρήσεων μέσω του τηλεφωνικού δικτύου. Έτσι, είναι δυνατόν ο κάθε εξουσιοδοτημένος χρήστης του συστήματος να έχει, από το γραφείο του, άμεση γνώση των μετρήσεων οι οποίες λαμβάνονται σε οποιοδήποτε περιφερειακό σταθμό του δικτύου.

Στο **Σχήμα 18**. φαίνονται μια σειρά μετρήσεων από τους σταθμούς παρακολούθησης κατά το 2001, ενώ **στο Σχήμα 19**. αντίστοιχες μετρήσεις για το 2003.



Σχήμα 18.



Σχήμα 19.

- Τα μέχρι τώρα αποτελέσματα έχουν δώσει διαφορές στη στάθμη της θάλασσας που φτάνουν έως και τα 10 εκατοστά. Βέβαια η παλινδρομική κίνηση των διαφορών δεν εμπνέει ανησυχία ως προς το θέμα της εδαφικής παραμόρφωσης γιατί δεν δείχνει μόνιμη ή μακρού χρόνου διακύμανση και κατά συνέπεια, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αποδίδεται σε άλλες αιτίες και όχι σε ηφαιστειακή δραστηριότητα. Αυτό καταδεικνύει ότι ο παρατηρούμενος ηφαιστειακός χώρος της καλδέρας βρίσκεται σε περίοδο ηρεμίας.

Ως όριο σήμανσης συναγερμού για εδαφική παραμόρφωση τέθηκε η γραμμή ± 5 εκατοστά για τις διαφορές των χρονοσειρών, με την προϋπόθεση ότι δεν θα εκτελεί παλινδρομική κίνηση μικρής περιόδου (κάποιων ημερών) αλλά θα κινείται σταθερά έξω από τα όρια αυτής της γραμμής ή/και με αυξητική τάση.

Μία από τις αιτίες της παλινδρομικής τάσης παραμόρφωσης του χώρου είναι πιθανόν και η συσσώρευση-απελευθέρωση των παραμορφωτικών τάσεων που προκαλεί και τα σεισμικά γεγονότα.

Ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες επίσης, σε ότι αφορά στους στόχους του προγράμματος είναι οι μεταβολές στις άλλες φυσικοχημικές παραμέτρους που καταγράφονται από το σταθμό του Αγίου Νικολάου, σε σχέση με τη σεισμικότητα της περιοχής. Η συζήτηση και ο σχολιασμός γίνεται και για αυτά στο σχετικό κεφάλαιο που ακολουθεί.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Ball T.K., Cameron D.C., Colman T.B., Roberts P.D. (1991) Behaviour of radon in the geological environment: a review. *Quart. J. Engin. Geol.*, **24**, 169-182.

Baubron J.C., Allard P., Sabroux J.C., Tedesco D., Toutain J.P. (1991) Soil gas emanations as precursory indicators of volcanic eruptions. *J. Geol. Soc. Lon.*, 148,571-576.

Druit, T. H., Edwards, L., Lanphere, M., Sparks, R.S.J. and Davis, M. (1998). Volcanic development of Santorini revealed by field, radiometric, chemical, And isotopic studies. In: The European Laboratory Volcanoes. Casale, R., Fytikas, M., Sigvaldason, G. and Vougioukalakis, G., (Eds). Luxemburg, (European Commision).

King C.Y. (1986) Gas geochemistry applied to earthquake prediction: an overview. *J.Geophys. Res.*, **91**, 12269-12281.

King C.Y., Evans W.C., Zhang W (1994) spatial radon variations near active faults in California. *Eos Supl.* 471.

Toutain J.P., Baubron J.C., Le Bronec J., Allard P., Briole P., Marty B., Miele G., Tedesco D., Luongo G. (1992) Continuous monitoring of distal gas emanations at Vulcano, southern Italy. *Bull. Volcanol* **54**, 147-155.

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΜΕ ΤΑ ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΠΡΩΤΟΓΕΝΗ
ΜΕΤΡΗΘΕΝΤΑ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ –ΓΕΩΧΗΜΙΚΑ
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΟΥ 2001 ΚΑΙ ΤΟΥ 2003 ΠΟΥ
ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΣΑΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΜΕΛΕΤΗ**

B.2003

DATE	Log(Mo) per day(Σεισμική Ροπή)	THR01 Συγκέντρωση CO ₂ (ppm) στον Ατμοσφ.Αέρα	THR01 Θερμοκρ. Ατμοσφ.Αέρα °C	THR01 Ροή CO ₂ (ppm/sec) στα υδροθερμ.ρυστά	THR01 Θερμοκρ.Αέρα °C
6/4/03	19,72	467,92	14,05	22,51	23,57
7/4/03	20,05	439,44	15,26	33,21	23,59
8/4/03	19,39	425,34	12,65	17,00	23,95
10/4/03	20,07	482,22	13,37	20,29	23,12
11/4/03	19,41	471,09	15,40	23,09	23,64
14/4/03	19,82	471,79	14,37	5,99	25,26
16/4/03	19,67	448,32	15,24	8,84	25,09
17/4/03	20,34	437,16	12,86	9,22	25,34
10/5/03	18,89	568,04	21,16	19,01	30,07
16/5/03	20,16	631,10	25,18	19,85	32,33
17/5/03	18,96	707,77	23,71	23,13	32,64
18/5/03	19,57	643,86	22,09	19,42	32,98
19/5/03	18,90	514,96	21,09	13,76	32,94
20/5/03	20,92	447,75	20,56	12,04	32,65
23/5/03	19,14	515,45	19,83	28,63	32,66
24/5/03	19,24	657,04	18,57	26,32	30,24
25/5/03	20,14	674,75	20,06	20,23	30,17
26/5/03	19,97	563,80	21,19	19,42	30,10
27/5/03	20,88	572,59	22,06	20,03	30,41
28/5/03	19,93	491,74	21,01	15,60	30,70
31/5/03	19,31	429,31	20,66	0,58	29,76
1/6/03	18,74	432,99	20,59	4,41	29,91
2/6/03	20,18	512,27	21,73	16,96	30,11
5/6/03	19,27	506,08	23,01	14,65	31,80
7/6/03	20,74	488,01	23,08	11,88	32,15
8/6/03	19,48	468,06	23,54	12,76	32,37
9/6/03	19,55	513,31	23,83	12,58	32,65
10/6/03	19,78	462,60	24,09	11,94	32,68
11/6/03	19,79	437,13	22,93	6,76	32,99
13/6/03	19,52	466,56	25,04	8,85	33,15
14/6/03	19,86	533,03	26,29	11,00	33,61
15/6/03	19,70	589,84	26,13	17,22	34,06
17/6/03	21,74	651,79	25,45	17,68	34,93
22/6/03	19,79	460,68	25,17	7,32	34,45
23/6/03	19,83	461,47	24,45	5,43	34,54
24/6/03	22,96	463,77	25,77	8,90	34,60
25/6/03	20,11	535,31	27,65	15,65	34,92
27/6/03	19,48	472,29	27,87	13,62	35,60
12/7/03	20,60	472,37	26,02	7,14	36,63
13/7/03	19,18	451,08	25,09	2,36	36,38
16/7/03	19,70	460,92	26,32	7,99	36,56
21/7/03	19,72	451,56	25,78	5,34	36,60
3/8/03	19,39	515,88	27,29	16,92	37,70
8/8/03	20,20	451,26	25,48	7,81	36,62
14/8/03	19,08	444,65	25,47	4,09	35,96
15/8/03	19,20	474,06	26,32	11,85	36,04
16/8/03	19,54	566,07	26,95	19,64	36,34
19/8/03	19,14	459,60	25,96	3,46	36,76
23/8/03	18,81	447,28	25,45	2,20	36,26
24/8/03	19,26	473,86	25,63	11,36	36,18
25/8/03	18,56	467,87	24,54	20,48	36,32

DATE	ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΡΟΠΗ (LogMo)	ΣΤΑΘΜΗ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ	ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ	pH	ΘΕΡΜΟΚΡ.ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ	ΘΕΡΜΟΚΡ.ΘΕΡΜΟΝ/ΥΠΟΘΕΡΜ. ΡΕΥΣΤΩΝ	ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΤΕΙΛΩΣΗ ΔΕΙΓΜ.ΕΜ
30/3/03	20,597	147,800	5,500	7,286	30,946	35,100	
31/3/03	20,189	129,117	5,503	7,417	20,292	35,600	
1/4/03	20,888	136,075	5,567	7,910	16,535	36,775	
2/4/03	19,510	128,325	5,700	8,288	16,800	35,303	
3/4/03		150,808	5,626	7,313	19,017	34,000	
4/4/03		150,000	5,670	7,442	16,070	35,850	
15/03	19,510	88,500	5,600	4,800	31,400	36,700	
2/6/03	19,302	88,042	5,617	4,642	21,150	35,850	
4/6/03	20,851	86,387	5,592	4,642	30,642	36,050	
5/6/03	20,254	93,733	5,550	4,700	31,575	36,167	
9/6/03	19,035	117,725	6,000	4,926	20,742	36,875	
14/6/03	20,549	120,967	6,024	4,783	31,887	36,200	
16/6/03	20,163	107,408	6,067	4,417	31,042	36,063	494,082
17/6/03	18,960	96,375	6,100	4,400	20,890	35,803	572,188
19/6/03	19,569	99,592	6,090	4,700	30,642	36,983	594,017
19/6/03	18,981	96,145	6,092	4,933	30,617	36,003	888,153
20/6/03	20,021	30,898	6,053	5,192	31,533	36,175	508,517
23/6/03	19,139	93,617	6,117	5,305	30,000	36,090	550,983
24/6/03	19,243	96,683	6,192	5,467	30,598	36,175	490,367
25/6/03	20,139	107,386	6,043	5,771	30,000	36,475	880,014
27/6/03	20,876	127,345	3,009	5,473	21,795	36,073	595,803
30/6/03	19,526	117,642	5,363	5,017	31,608	36,150	500,750
31/6/03	19,307	106,509	6,100	5,811	32,568	36,217	491,025
1/6/03	18,739	99,957	6,042	6,242	20,775	36,190	450,792
2/6/03	20,177	96,417	6,125	6,450	31,767	36,133	538,683
5/6/03	19,272	97,770	6,100	6,240	33,016	36,270	509,660
7/6/03	20,742	102,367	6,025	6,008	32,842	36,258	768,483
8/6/03	19,494	103,325	5,967	6,225	22,930	36,403	496,617
9/6/03	19,554	96,038	6,125	6,117	22,425	36,317	492,025
10/6/03	19,777	113,100	5,417	5,967	34,100	36,958	481,033
11/6/03	19,792	125,792	5,483	5,725	33,333	36,233	484,500
13/6/03	19,625	118,080	5,730	5,910	23,990	36,440	457,210
14/6/03	19,861	117,913	4,425	5,338	24,288	36,213	460,988
15/6/03	19,703	120,700	5,000	5,700	23,000	36,200	442,710
17/6/03	21,729	116,693	4,675	5,450	33,888	36,288	451,500
20/6/03	19,792	116,892	4,467	4,748	34,095	36,242	469,183
23/6/03	19,625	94,525	5,608	4,253	35,988	36,262	467,525
24/6/03	22,969	62,217	5,692	3,610	35,000	36,212	468,408
25/6/03	20,115	-10,500	6,275	3,210	34,475	36,233	469,500
27/6/03	19,480	6,833	6,267	4,528	34,333	36,225	469,525
29/6/03	19,966	-34,475	6,233	4,780	35,017	36,200	466,325
1/7/03	19,084	4,401	6,250	4,963	24,668	36,483	475,425
3/7/03	19,198	52,883	6,133	4,775	34,100	36,295	471,517
4/7/03	18,946	56,660	6,075	4,908	33,742	36,400	479,717
6/7/03	18,901	26,517	6,192	4,842	26,142	36,583	471,483
7/7/03	20,046	77,408	6,150	4,933	34,942	36,483	467,990
12/7/03	20,602	104,575	5,690	3,043	25,552	36,658	469,167
13/7/03	19,183	16,292	6,933	3,275	26,417	36,542	466,100
16/7/03	19,703	106,833	5,833	5,092	26,400	36,792	463,108
21/7/03	19,716	72,660	5,933	4,450	36,998	36,933	462,250
3/8/03	19,391	88,608	5,383	5,983	37,288	37,267	458,075
8/8/03	20,198	96,517	5,125	5,203	36,967	37,325	436,506
14/8/03	19,079	54,800	4,233	6,233	37,417	37,373	496,008
16/8/03	18,981	86,233	6,203	5,983	37,342	37,483	447,787
16/8/03	19,540	171,667	6,083	5,788	37,275	37,575	448,975
19/8/03	19,138	128,417	6,408	5,500	37,308	37,708	430,517
23/8/03	18,812	110,942	6,408	3,980	36,325	37,575	449,300
24/8/03	19,261	125,692	6,325	3,045	36,242	37,642	430,033
25/8/03	18,559	126,842	6,360	5,201	26,892	37,692	433,067
27/8/03	20,663	90,142	6,167	3,800	26,788	37,533	431,742
29/8/03	19,287	30,058	6,175	3,217	36,517	37,542	431,283
30/8/03	19,721	115,687	6,150	3,601	26,492	37,592	430,092

Δ.ΓΕΩΧΗΜΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΚΛΥΟΜΕΝΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

		Vol%																				
Θέση	Date	CO ₂	H ₂	CH ₄	CO	N ₂	O ₂ +Ar	b-norm														
Ατμίδες N. Καμένη	June 93	52	0,41	0,014	0,0002	38	9,8	48,66														
	May 94	47,3	0,6	0,011	0,0005	41,3	10,8	52,88														
	Sept 94	34,3	0,53	0,01	0,0005	52,3	12,8	66,97														
	Dec 94	19,6	0,3	0,01	0,00051	63,5	16,5	81,31														
	June 95	44,5	0,67	0,018	0,008	44,2	11,2	56,59														
	Aug 98	21,3	0,23	0,012	0,0005	61,5	16,7	78,75														
Φυσαλίδες Π. Καμένη	June 01	38,9		0,01		48,2		61,72														
	June 93	98,7	0,00008	0,0005	0,00013	1,3	0,1	1,66														
	May 94	98,6	0,007	0,00035	0,00019	1,45	0,35	1,86														
	Sept 94	98,3	0,022	0,0005	0,00015	1,15	0,22	1,47														
	Dec 94	97	0,007	0,00062	0,00025	2,9	0,25	3,71														
	June 95	97,1	0,006	0,00095	0,0004	2,2	0,56	2,82														
Φυσαλίδες N. Καμένη	Aug 98	90,5	0,007	0,0001	0,0001	8,2	1,7	10,50														
	June 01	97,3				2,5	0,2	3,20														
Ατμ. Αέρας		0,03	0,000003	0,00014	0,0001	78,1	20,95															
Ομαλοποίηση πρὶν με αφαιρέση του ποσοστού μίξης του ατμοσφαιρίου αέρα (απὸ %N ₂)										Μετατροπή σε 100%												
Θέση	Date	CO ₂	H ₂	CH ₄	CO	N ₂	O ₂ +Ar	SUM		Θέση	Date	CO ₂	H ₂	CH ₄	CO	N ₂	O ₂ +Ar					
Ατμίδες N. Καμένη	June 93	101,25	0,80	0,027	0,00029			102,07		Ατμίδες N. Καμένη	June 93	99,19083	0,7822984	0,026583	0,000289							
	May 94	100,35	1,27	0,023	0,00095			101,65			May 94	98,72353	1,2527238	0,022812	0,000934							
	Sept 94	103,77	1,60	0,030	0,00131			105,41			Sept 94	98,44821	1,5220971	0,02845	0,001244							
	Dec 94	104,72	1,60	0,053	0,00229			106,38			Dec 94	98,43954	1,5085928	0,049714	0,002156							
	June 95	102,48	1,54	0,041	0,01830			104,08			June 95	98,45976	1,4829899	0,039666	0,017582							
	Aug 98	100,10	1,08	0,056	0,00198			101,24			Aug 98	98,87396	1,0688276	0,055253	0,001958							
Φυσαλίδες Π. Καμένη	June 01	101,56		0,026				101,59		June 01	99,97451	0	0,02549	0								
	June 93	100,37	0,0001	0,00051	0,00013			100,37		June 93	99,99928	0,000081	0,000504	0,00013								
	May 94	100,46	0,0071	0,00035	0,00019			100,47		May 94	99,99236	0,0070968	0,000352	0,000191								
	Sept 94	99,77	0,0223	0,00051	0,00015			99,79		Sept 94	99,97697	0,0223754	0,000506	0,000151								
	Dec 94	100,74	0,0073	0,00064	0,00026			100,75		Dec 94	99,9919	0,0072159	0,000634	0,000254								
	June 95	99,91	0,0062	0,00097	0,00041			99,92		June 95	99,99244	0,0061787	0,000974	0,000409								
Φυσαλίδες N. Καμένη	Aug 98	101,11	0,0078	0,00010	0,00010			101,12		Aug 98	99,99207	0,0077341	9,43E-05	9,89E-05								
	June 01	100,52						100,52		June 01	100	0	0	0								
July 01	100,11							100,11		July 01	100	0	0	0								

Ε.ΓΕΩΧΗΜΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ

Περ.Δειγμ.	Date	pH	Θερμ.	μS/cm		mg/l													
				Αγωγ.	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ba	Fe	SiO ₂	Sr	Li	Cu	Mn	
Plaka	Sept-95	6,9	33,8	18400	14,5	25,9	141	3	3,48	155	23			86	3	0,24			
	Sept-98	7,1	34,2	18100	18,4	25	150,8	3,1	2,44	170	33,4		120	28	2,7	0,13	92	100	
	June 01	7,1	32,5	18000	15,2	32	159	2,3	3,5	180	24	bdl	bdl	52	3,3	1,6			50
	July 01	7,4	34,3	20000	16	30	150	3	3,5	172	23,3	bdl	bdl	70	3,4	2,15			60
	June 02	7,4	33,7	19500	21,6	29,2	150	3	3,64	176	23	bdl	bdl	80	3	0,18	30	bdl	
April 03	7,1	32,9	17700																
Περ.Δειγμ. Ag. Nikolaos	Sept-95	5,8	36,4	60200	25,6	125,2	550	12	6,68	643	60			53	12,5	1,12			
	Sept-98	6	36,2	58700	27,2	122,7	557	13,8	7,1	643,8	55,5	2,88	181	13	8	0,31	101	341	
	June 01	5,8	35,8	55000	30	118,8	540	11	4,82	638	56,6	bdl	600	60	8,2	2,2			60
	July 01	6,1	36,3	59000	29,6	122,4	515	12	6,6	619	53,2	0,12	400	52	7,8	2			60
	June 02	6,4	33,4	60000	30	122,8	514,8	12,2	6,28	620	53,4	bdl	210	50,3	7,4	0,35	240	50	
April 03	6,1	34,9	59500																
Περ.Δειγμ. Afroessa	June 01	5,5	36,1	52000	28,8	118,4	540	11	4,14	638	56,7	0,15	580	49	9,1	1,85			10
	July 01	5,6	35,1	56000	28	116	520	14	4,5	620	54	0,1	400	68	7,9	2,3			70
	June 02	5,5	35,5	55000	28,2	116,4	520	14	4,36	620	54,1	0,04	660	74,2	8	0,59	510	700	
	April 03	5,4	30,8	58400															
Περ.Δειγμ. Thermia	June 01	6,5	61	80400	64	142	710	15	5,4	855	72	0,22	650	68	14	bdl			140
	July 01	6,4	54,8	85000	60	148	700	15	5,06	850	68	bdl	600	70	13,2	bdl			120
	June 02	6,5	56,4	78000	64,8	141,2	701,6	15	5,04	850	67,5	0,05	340	93,3	11,2	0,68	1160	1100	
	April 03	6,3	51,8	70000															
Seawater	Sept-95	8,2		57400	22,2	125	550	12	2,73	636	63			3	12	0,5			
	June 01	8,3		57200	28	123	550	11,7	2,7	625,7	69	2,44	193	0,7	7,6	0,14	110	195	

**ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ
ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (Ο.Α.Σ.Π.)**

**«ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ
ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΔΟΜΩΝ ΣΤΟ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΟ ΤΟΞΟ ΤΟΥ
ΑΙΓΑΙΟΥ»**



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΘΗΝΩΝ**

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ – ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ

Υπεύθυνος: Κ. Χ. Μακρόπουλος

Καθηγητής Σεισμολογίας

ΜΕΡΟΣ 3^ο :ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΟ ΠΕΔΙΟ ΕΡΕΥΝΑΣ



ΑΘΗΝΑ 2004

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	
2. ΤΟ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΟ ΤΟΞΟ ΤΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	
3. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ.....	
4. ΤΑ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	
5. ΑΡΧΕΙΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	
6. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ.....	
7. ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ..	
8. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ – ΓΕΝΙΚΑ.....	
9. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	
10. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΕΚΛΥΣΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	
11. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	
12. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην έκθεση αυτή γίνεται σύντομη περιγραφή της σεισμολογικής έρευνας που εκπονήθηκε από το Εργαστήριο Σεισμολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών στα πλαίσια του έργου **«Μελέτη της σχέσης μεταξύ σεισμικής δραστηριότητας, ηφαιστειακής δραστηριότητας και τεκτονικών δομών στο ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου»**, το οποίο χρηματοδοτήθηκε από τον ΟΑΣΠ.

Στα πλαίσια της σεισμολογικής έρευνας, εκτός από τη μελέτη βιβλιογραφικών δεδομένων ιστορικής και ενόργανης σεισμικότητας, πραγματοποιήθηκε ανάλυση πρωτογενών στοιχείων μικροσεισμικότητας που συλλέχθηκαν σε δύο φάσεις. Η πρώτη φάση πραγματοποιήθηκε με την εγκατάσταση δικτύου 6 σειсмоγράφων (SANNET-2001) στην ευρύτερη περιοχή από τον Ιούνιο έως τον Νοέμβριο του 2001. Η δεύτερη φάση πραγματοποιήθηκε με την εγκατάσταση δικτύου 5 σειсмоγράφων (SANNET-2003), που εγκαταστάθηκε στη Σαντορίνη από τον Μάρτιο έως και τον Αύγουστο του 2003. Στην έκθεση αυτή αναλύονται συνοπτικά τα αποτελέσματα των παραπάνω προσπαθειών. Για τη σύνταξη της τελικής έκθεσης εργάστηκαν ο κ. Κ. Μακρόπουλος, Καθηγητής Σεισμολογίας και ο Δρ. Σεισμολογίας Ιωάννης Κασσάρας, μέλος Ε.Ε.ΔΙ.Π του Τομέα Γεωφυσικής-Γεωθερμίας. Στις εργασίες υπαίθρου για τη συλλογή δεδομένων συμμετείχαν οι κ.κ. Κ. Μακρόπουλος, Ι. Κασσάρας, Μ. Κοσσίδα, Σ. Λασκαρίδου και Σ. Αγγελής.

Ο Υπεύθυνος

Καθηγ. Κ. Χ. Μακρόπουλος

2. ΤΟ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΟ ΤΟΞΟ ΤΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ

Το Ελληνικό Τόξο είναι ένα από τις πιο σημαντικά τεκτονικά χαρακτηριστικά της περιοχής του νοτίου Αιγαίου. Πρόκειται για ένα τυπικό νησιωτικό τόξο (Parazachos and Comninakis, 1971), το οποίο διαχωρίζει το Αιγαίο πέλαγος από τη θάλασσα της Μεσογείου. Ένα από τα κύρια στοιχεία του τόξου είναι το «εσωτερικό ηφαιστειακό τόξο» που περιλαμβάνει Τεταρτογενή ηφαίστεια.

Το ηφαιστειακό τόξο αποτελείται από ηφαιστειακά νησιά (Αίγινα, Μήλο, Σαντορίνη και Νίσυρο) και περιλαμβάνει τρία Τεταρτογενή ηφαίστεια (Σαντορίνη, Νίσυρο και Μέθανα), καθώς και ατμιδικά πεδία (Σουσάκι, Μήλος, Κως). Κατά μήκος του τόξου υφίσταται ένα λεπτό (πάχους περίπου 20 km) σεισμογενές στρώμα και κάτω από αυτό ένα σεισμικό στρώμα που εκτείνεται μέχρι το βάθος των 120 km. Κάτω από το σεισμικό στρώμα η κατανομή των σεισμικών εστιών ενδιάμεσου βάθους προσδιορίζει την ανώτερη επιφάνεια της ζώνης Benioff σε βάθη μεταξύ 120-180 km (Parazachos and Comninakis, 1969,1971).

Τα ηφαιστειακά κέντρα (ηφαίστεια και ατμιδικά πεδία) και τα επίκεντρα των επιφανειακών σεισμών έχουν ταξινομηθεί σε πέντε σμήνη με γραμμική κατανομή σε διεύθυνση περίπου N60⁰E (Parazachos and Panagiotopoulos, 1993). Η γραμμική αυτή κατανομή των επιφανειακών σεισμών και της ηφαιστειακής δραστηριότητας αποδίδεται σε πέντε κανονικά ρήγματα (Σουσάκι, Μέθανα, Μήλος, Σαντορίνη και Νίσυρος).

Είναι γνωστό ότι η ηφαιστειακή δράση, η σεισμικότητα και η τεκτονική δομή μιας περιοχής συνδέονται άμεσα μεταξύ τους. Όμως, αν και ο συσχετισμός μεταξύ υποθαλάσσιας υδροθερμικής δραστηριότητας και σεισμών έχει επισημανθεί εδώ και είκοσι χρόνια, περιοχές όπου η υδροθερμική δράση είναι έντονη (για παράδειγμα σε ηφαιστειακά τόξα ή σε ενεργές μέσο-ωκεάνιες ράχες), δεν έχουν διερευνηθεί επαρκώς. Υπάρχουν σήμερα ισχυρές ενδείξεις ότι, στο ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου, η υδροθερμική δράση (υποθαλάσσια και μη), σε συνδυασμό με την ηφαιστειότητα και τις υπάρχουσες νεοτεκτονικές δομές, οδηγούν σε σεισμική δραστηριότητα η οποία μερικές φορές δεν είναι αμελητέα (Μακρόπουλος κ.ά 1998, Κουσκουνά κ.ά 1999, Παπανικολάου κ.ά 1993). Είναι πιθανό στην ευρύτερη περιοχή του ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου να λειτουργούν τρία είδη σεισμικών φαινομένων:

1. Τα καθαρά τεκτονικής προέλευσης σεισμικά φαινόμενα.
2. Τα ηφαιστειακής προέλευσης που σχετίζονται με την άνοδο του μαγματικού θαλάμου.
3. Τα υδροθερμικής προέλευσης σεισμικά φαινόμενα.

Η συστηματική μελέτη και παρακολούθηση διεργασιών (γεωχημικών, υδροθερμικών, πρόδρομων σεισμικών και τεκτονικών) που συνδέονται με τις αυξομειώσεις της ηφαιστειακής και ειδικότερα της υδροθερμικής δραστηριότητας σε σημαντικά κέντρα του ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου μπορούν να μας δώσουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τις πιθανότητες ύπαρξης εντόνων σεισμικών συμβάντων στις περιοχές αυτές εξαιτίας της αλληλεπίδρασης ηφαιστειότητας, υδροθερμικής δράσης και νεοτεκτονικών ενεργών δομών.

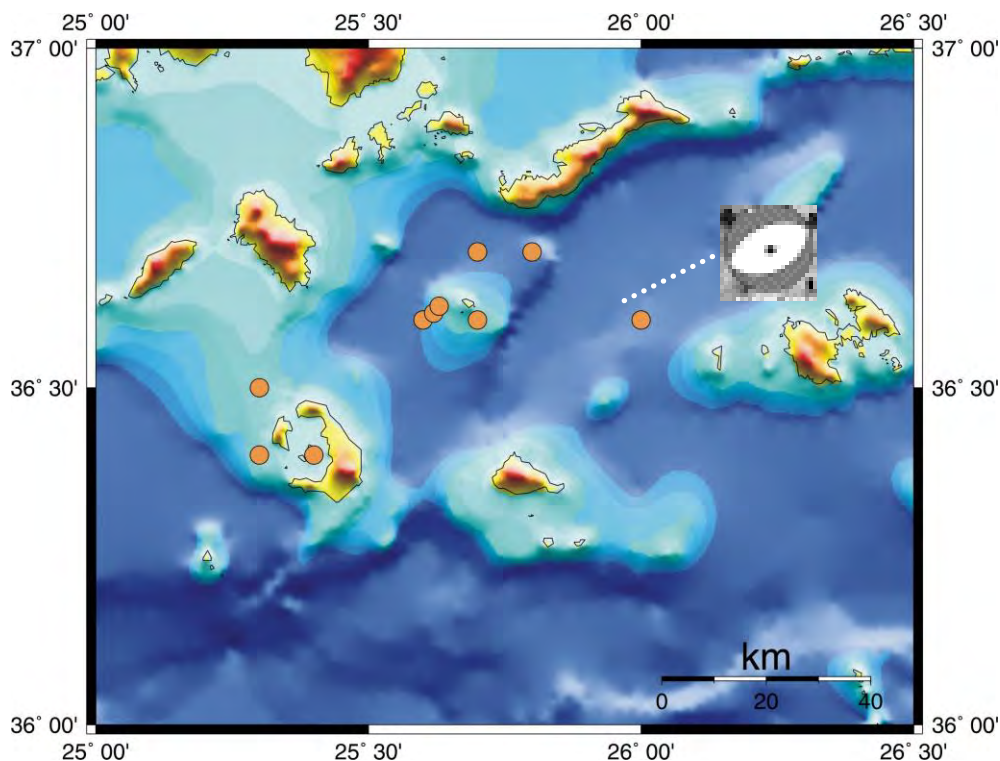
Το πιο ενεργό κέντρο του ηφαιστειακού τόξου, είναι αυτό της Σαντορίνης, το οποίο έχει δραστηριοποιηθεί τουλάχιστον εννέα φορές στα τελευταία 600 χρόνια (1457, 1508, 1573, 1650, 1707, 1866, 1925, 1939 and 1950). Με σκοπό τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ σεισμικής δραστηριότητας και υδροθερμικής δράσης (κύρια υποθαλάσσιας), ηφαιστειότητας και των τεκτονικών δομών, εγκαταστάθηκε τοπικό δίκτυο ψηφιακών σειсмоγράφων ευρέος φάσματος στην περιοχή της Σαντορίνης. Το δίκτυο, που καλύπτει πλήρως την περιοχή ενδιαφέροντος λειτούργησε σε δύο φάσεις για συνολικό χρονικό διάστημα περίπου 10 μηνών, προκειμένου να καταγράψει τη σεισμική δραστηριότητα της περιοχής, καθώς και άλλα είδη σεισμικών σημάτων που θα μπορούσαν άμεσα ή έμμεσα να συνδέονται με τοπικά φαινόμενα μεταβολής των φυσικοχημικών ιδιοτήτων των ηφαιστειακής προέλευσης ρευστών και αερίων.

3. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΣΑΝΤΟΡΙΝΗΣ

Η περιοχή της Σαντορίνης χαρακτηρίζεται από χαμηλή σχετικά σεισμική δραστηριότητα, η οποία αποδίδεται σε σεισμούς επιφανειακούς και ενδιάμεσου βάθους. Για την περίοδο που υπάρχουν στοιχεία ιστορικά ή ενόργανα (600 π.Χ.-2004), αναφέρονται 10 σεισμοί μεγέθους ≥ 6.0 (πίνακας 3.1 και εικόνα 3.1). Οι σεισμοί αυτοί δεν σχετίζονται κατ' ανάγκη με ηφαιστειακή δραστηριότητα και αντίθετα, η καταγεγραμμένη ηφαιστειακή δράση δεν σχετίζεται πάντα με τη γένεση ισχυρών σεισμών. Αναφέρονται όμως στους καταλόγους σεισμικότητας τρεις περιπτώσεις γένεσης ισχυρών σεισμών (46, 1707, 1866) κατά τη διάρκεια ηφαιστειακών εκρήξεων.

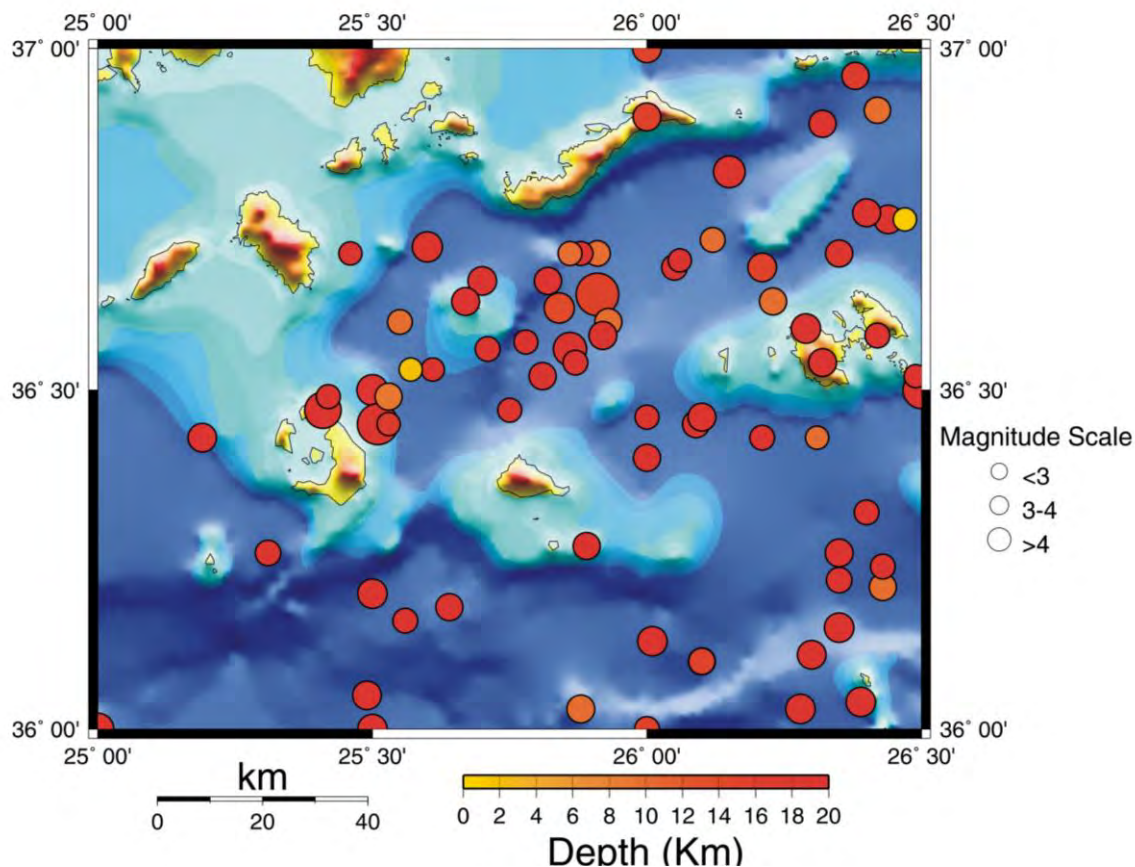
Πίνακας 3.1. Κατάλογος σεισμών της περιοχής $M \geq 6.0$. Με κόκκινο χρώμα συμβολίζονται οι σεισμοί που σχετίζονται με περιόδους εκρηκτικής δράσης του ηφαιστείου.

YEAR	MONTH	DAY	HOUR	MIN	SEC	LAT	LON	DEPTH	MAG
46	0	0	0	0	0	36.6	25.6	33	6.2
1650	9	29	15	0	0	36.6	25.6	33	6.3
1672	0	0	0	0	0	36.6	25.6	33	6.7
1707	5	18	0	0	0	36.4	25.4	33	6.0
1866	1	31	0	0	0	36.4	25.3	33	6.0
1918	7	16	20	3	36	36.7	25.8	150	6.6
1919	10	25	17	10	0	36.5	25.3	0	6.1
1934	11	9	13	40	56	36.7	25.7	150	6.2
1956	7	9	3	11	40	36.6	26.0	0	7.5
1956	7	9	3	24	3	36.6	25.7	0	6.9



Εικόνα 3.1. Κατανομή ισχυρών σεισμών της περιοχής ($M \geq 6.0$) και ο μηχανισμός γένεσης του επιφανειακού σεισμού της Αμοργού του 1956, $M=7.5$ (Shirokova 1972).

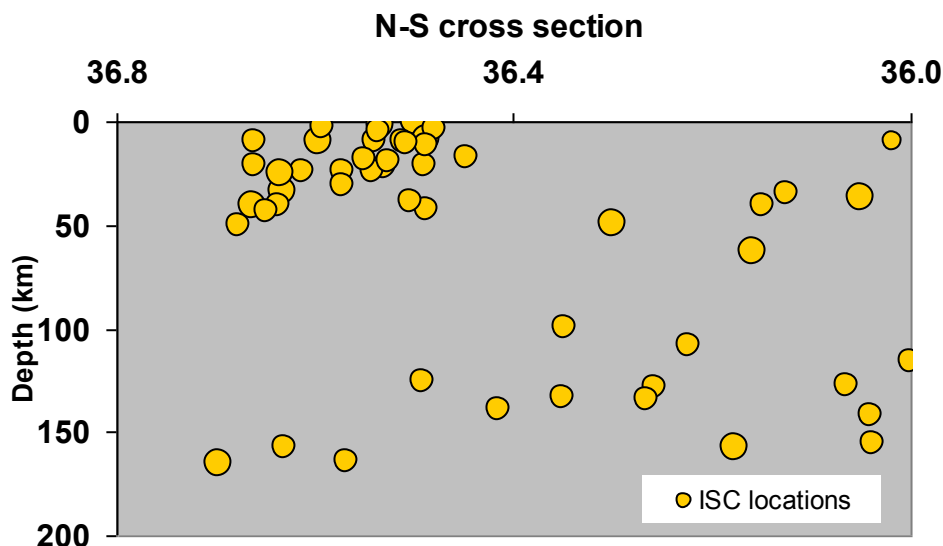
Στον χάρτη της εικόνας 3.2 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή της ενόργανης σεισμικότητας της περιοχής από τους καταλόγους του ISC (1964-2002, $M \geq 4.0$). Παρατηρούμε ότι η κατανομή των επιφανειακών σεισμικών εστιών παρουσιάζεται κατά μήκος διεύθυνσης περίπου $N65^{\circ}E$, σε συμφωνία με τη διεύθυνση του σεισμογόνου ρήγματος που έδωσε τον καταστρεπτικότερο σεισμό στο Αιγαίο το 1956 (σεισμός της Αμοργού, $M=7.5$). Η κατανομή αυτής της τάξης μεγέθους ($M \geq 4.0$) των επιφανειακών εστιών δεν συσχετίζεται με έντονη ηφαιστειακή δράση, αφού αυτή έχει σταματήσει από το 1950 και ενδεχομένως οφείλεται σε τεκτονικά αίτια. Η ταυτόχρονη διερεύνηση της μικροσεισμικής δραστηριότητας με τις φυσικοχημικές παραμέτρους των υδροθερμικών ρευστών που έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια του πειράματος, θα μπορούσε ενδεχομένως να αποδώσει στοιχεία για μια πιθανή σύνδεση των τεκτονικών σεισμών με αντίστοιχες διακυμάνσεις των τιμών των φυσικοχημικών παραμέτρων των υδροθερμικών ρευστών.



Εικόνα 3.2. Κατανομή ενόργανης σεισμικότητας στην περιοχή της Σαντορίνης για την περίοδο 1964-2002 και μεγέθη $M \geq 4.0$ (ISC).

Όσον αφορά στην κατανομή του βάθους των σεισμικών εστιών (εικόνα 3.3), μπορούμε να αναφερθούμε στα εξής:

1. Οι επιφανειακοί σεισμοί κατανέμονται σε βάθος μέχρι περίπου 50 km, δηλαδή κάτω από τη λιθόσφαιρα η οποία έχει προσδιοριστεί μεταξύ 20-25 km στην περιοχή. Όμως λόγω των μεγάλων επικεντρικών αποστάσεων είναι πιθανό οι κατάλογοι του ISC να περιέχουν σφάλμα ως προς τον προσδιορισμό του βάθους, κυρίως των επιφανειακών σεισμών. Η μελέτη της κατανομής των μικροσεισμικών εστιών, αναμένεται να αποδώσει με σχετικά καλή ακρίβεια το βάθος στο οποίο εκτείνεται αυτή η ρηξιγενής ζώνη.
2. Οι σεισμοί ενδιάμεσου βάθους, δείχνουν ότι η ζώνη Benioff στην περιοχή βρίσκεται σε βάθος που κυμαίνεται μεταξύ περίπου 120-180 km (Hatzfeld et al., 1993).



Εικόνα 3.3. Κατανομή βάθους των σεισμικών εστιών στην περιοχή της Σαντορίνης για την περίοδο 1964-2002 και μεγέθη $M \geq 4.0$ (ISC).

4. ΤΑ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

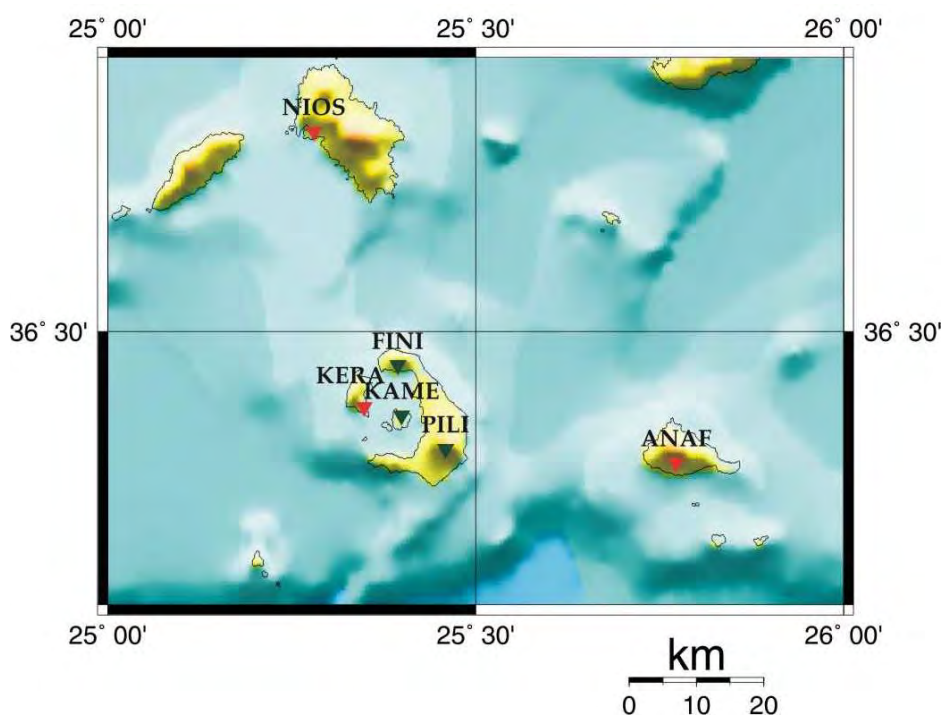
SANNET-2001

Τον Ιούνιο του 2001, εξειδικευμένο κλιμάκιο του Τομέα Γεωφυσικής-Γεωθερμίας, με επικεφαλής τον Καθηγητή Σεισμολογίας κ. Κ. Μακρόπουλο, μετέβη στη Σαντορίνη με σκοπό την εγκατάσταση τοπικού δικτύου σειсмоγράφων. Οι θέσεις εγκατάστασης των σταθμών καθορίστηκαν μετά από συνεργασία των εμπλεκόμενων επιστημονικών φορέων, αφού λήφθηκαν υπόψη γεωλογικά, τεκτονικά, σεισμολογικά και γεωθερμικά στοιχεία. Εγκαταστάθηκαν τρεις σειсмоγράφοι στη Σαντορίνη, στις περιοχές Προφήτης Ηλίας (PILI), Νέα Καμένη (KAME), Φοινικιά (FINI), και ένας στη Νήσο Θηρασία (KERA). Η εκ των προτέρων μελέτη σεισμολογικών στοιχείων της περιοχής, κυρίως μικροσεισμικών δεδομένων (Delibasis et al., 1989; 1993), έδειξε αυξημένη δραστηριότητα στην περιοχή ανατολικά της Σαντορίνης, στο χώρο που εντοπίζεται το υποθαλάσσιο ηφαίστειο του Κολούμπο. Κρίθηκε λοιπόν αναγκαία η διεύρυνση του δικτύου με εγκατάσταση δύο επιπλέον σειсмоγράφων στα νησιά Ίο (NIOS) και Ανάφη (ANAF), προκειμένου να επιτευχθεί επαρκής γεωμετρική κάλυψη της περιοχής (εικόνα 4.1). Τα γεωγραφικά στοιχεία του σεισμολογικού δικτύου (SANNET-2001) παρατίθενται στον πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1. Στοιχεία Δικτύου Σεισμολογικών Σταθμών (SANNET-2001).

Κωδικός σταθμού	Περιγραφή θέσης	φ°	λ°
		ANAF	Ελικοδρόμιο Ανάφης
FINI	Φοινικιά	36.463	25.393
KAME	Νέα Καμένη	36.408	25.399
KERA	Κέρα (Νήσος Θηρασία)	36.417	25.347
NIOS	Νήσος Ίος	36.719	25.280
PILI	Προφήτης Ηλίας	36.370	25.459

Χρησιμοποιήθηκαν ψηφιακοί σειсмоγράφοι τύπου REFTEK-72A τριών συνιστωσών (εικόνα 4.2). Τα σεισμόμετρα ήταν τύπου Guralp CMG40T-1sec και CMG40T-30sec (εικόνα 4.3). Τα πρώτα χρησιμοποιήθηκαν στους σταθμούς KERA, NIOS και ANAF, ενώ τα δεύτερα στους σταθμούς PILI, KAME και FINI. Το εύρος απόκρισης ήταν 1-50 Hz και 30 sec-50 Hz αντίστοιχα.



Εικόνα 4.1. Το σεισμολογικό δίκτυο SANNET-2001 (Ιούνιος-Νοέμβριος 2001).



Εικόνα 4.2. Σεισμόμετρο τύπου Guralp CMG40T, που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα.

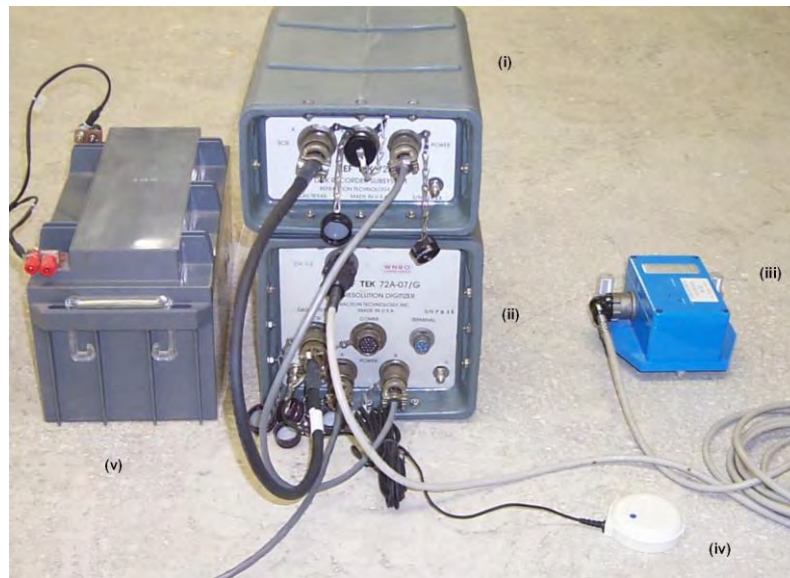
Κάθε φορητός σεισμολογικός σταθμός αποτελείται από:

1. Το σύστημα συλλογής δεδομένων (Data Acquisition System, DAS), που είναι εφοδιασμένο με ψηφιοποιητή 24-bits.
2. Το σύστημα αποθήκευσης των δεδομένων.
3. Έναν δέκτη/ρολόι GPS.
4. Τον αναλογικό αισθητήρα τριών συνιστωσών.
5. Το σύστημα τροφοδοσίας.

SANNET-2003

Στα τέλη Μαρτίου του 2003, εγκαταστάθηκε εκ νέου σεισμολογικό δίκτυο 5 σταθμών, το οποίο παρέμεινε σε λειτουργία μέχρι και τον Αύγουστο (SANNET-2003). Τρεις σταθμοί εγκαταστάθηκαν στη Σαντορίνη (OTER, INPI, OIAX), ένας στη Νέα Καμένη (NKAM) και ένας στη Θηρασία (ELIK). Η γεωγραφική κατανομή των σταθμών δείχνεται στην εικόνα 4.4, ενώ τα γεωγραφικά τους στοιχεία παρατίθενται στον πίνακα 4.2.

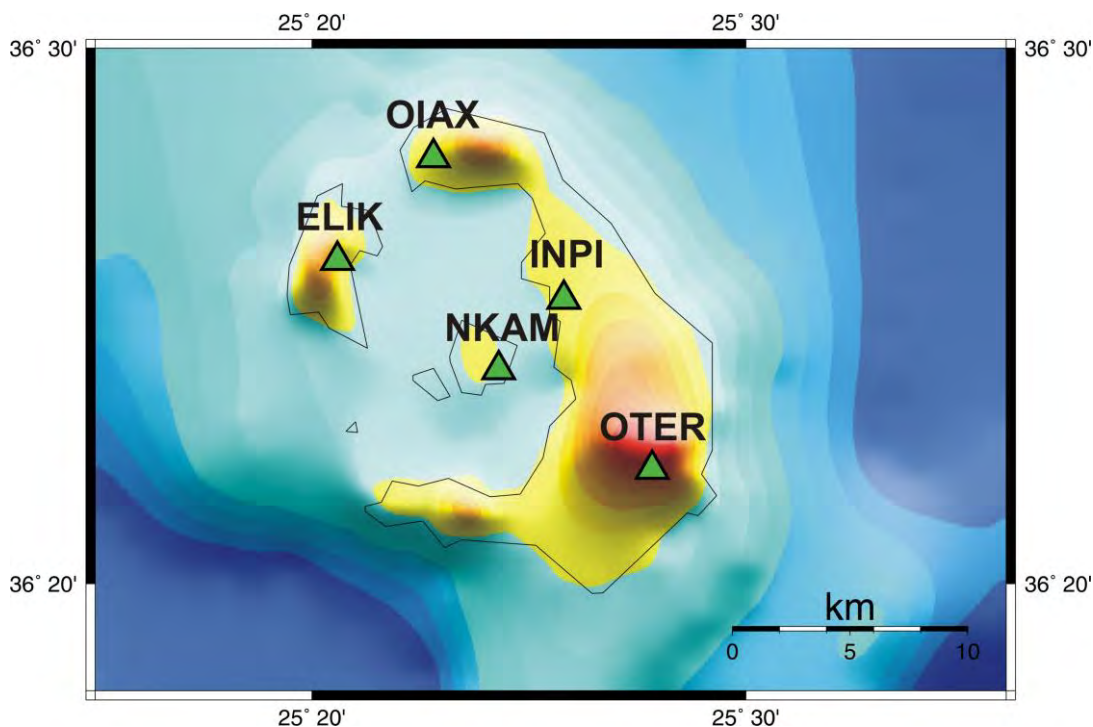
Χρησιμοποιήθηκαν ψηφιακοί σειсмоγράφοι τύπου REFTEK-132A τριών συνιστωσών (εικόνα 4.5). Τα σεισμόμετρα ήταν τύπου Guralp CMG40T-30sec με εύρος απόκρισης 30 sec-50 Hz (εικόνα 4.3).



Εικόνα 4.3. Φορητός σεισμολογικός σταθμός τύπου REFTEK-72A. Περιλαμβάνει (i) μονάδα αποθήκευσης-σκληρός δίσκος, (ii) κεντρική μονάδα επεξεργασίας σήματος, (iii) σεισμόμετρο (τύπου Lennartz 3D-1Hz), (iv) δέκτη χρόνου, και (v) μονάδα τροφοδοσίας.

Πίνακας 4.2. Στοιχεία Δικτύου Σεισμολογικών Σταθμών (SANNET-2003).

Κωδικός σταθμού	Περιγραφή Θέσης	φ°	λ°
		OTER	Προφήτης Ηλίας
NKAM	Νέα Καμένη	36.400	25.405
INPI	Φηροστεφάνι	36.422	25.430
ELIK	Θηρασία	36.434	25.343
OIAX	Οία	36.466	25.380



Εικόνα 4.4. Το σεισμολογικό δίκτυο SANNET-2003 (Μάρτιος-Αύγουστος 2003).



Εικόνα 4.5. Φορητός σεισμολογικός σταθμός τύπου REFTEK-132A.

Οι παράμετροι λειτουργίας καθορίζονται από το χρήστη μέσω φορητού Η/Υ με το πρόγραμμα FCS (Field Setup Controller). Λαμβάνοντας υπόψη τα παρατηρούμενα μικρά σεισμικά μεγέθη επιλέχθηκε ο τύπος της συνεχούς καταγραφής. Ο παράγοντας προενίσχυσης (preamplification gain) καθορίστηκε ίσος με τη μονάδα (1) και ο ρυθμός δειγματοληψίας (sampling rate) ίσος με 200 Hz (δηλαδή 200 sp/sec).

Είναι γνωστό, από τη μελέτη βιβλιογραφικών σεισμολογικών στοιχείων, ότι η περιοχή δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη δραστηριότητα, ενώ τα σεισμικά μεγέθη χαρακτηρίζονται μικρά. Αφετέρου, το προβλεπόμενο χρονικό διάστημα λειτουργίας των δικτύων σειсмоγράφων είναι μικρό. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, κρίθηκε αναγκαία η παράταση της λειτουργίας τους πέρα από το χρονικό διάστημα που ορίστηκε στη σύμβαση. Επιπλέον, παρ' όλη την αυτονομία που παρέχει η μεγάλη χωρητικότητα του αποθηκευτικού συστήματος των σταθμών, κρίθηκε αναγκαία η ανά

δεκαπενθήμερο επίσκεψη για τη συλλογή δεδομένων και τη διασφάλιση της καλής λειτουργίας του δικτύου προκειμένου να αποφευχθεί κατά το δυνατόν η απώλεια στοιχείων, λόγω ενδεχόμενων τεχνικών προβλημάτων.

5. ΑΡΧΕΙΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Το πρώτο στάδιο επεξεργασίας των δεδομένων αφορά στην αποθήκευσή τους από τους σκληρούς δίσκους των REFTEK σε μαγνητοταινίες τύπου DAT. Στη συνέχεια τα ψηφιακά δεδομένα μεταφέρονται από τις μαγνητικές ταινίες στο σκληρό δίσκο ηλεκτρονικού υπολογιστή, όπου αρχειοθετούνται ανά σταθμό και ημέρα εγγραφής με σκοπό να ακολουθήσει η επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων. Η αρχειοθέτηση και ανάλυση των δεδομένων έγινε με βάση τις οδηγίες εργασίας που προβλέπονται από το πιστοποιητικό ISO-9002, το οποίο κατέχει το Εργαστήριο Σεισμολογίας.

Η ανάλυση των σεισμικών σημάτων περιλάμβανε μέτρηση των χρόνων άφιξης των χωρικών κυμάτων σε δεδομένα που παρουσίαζαν καλή σχέση σήματος προς θόρυβο (signal-to-noise ratio). Για κάθε χρόνο άφιξης που μετρήθηκε καθορίστηκε ένας παράγοντας ποιότητας της μέτρησης, κυμαινόμενος από 0 για τις καλύτερες έως 4 για τις χειρότερες. Οι εστιακές παράμετροι των σεισμικών γεγονότων υπολογίστηκαν αρχικά με χρήση του αλγορίθμου HYPO71 (Lee and Lahr 1975).

6. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

Εκτός από την ακρίβεια που απαιτείται στις μετρήσεις των χρόνων άφιξης των σεισμικών κυμάτων, μια βασική παράμετρος που καθορίζει τον ορθό προσδιορισμό των εστιακών παραμέτρων είναι το μοντέλο ταχύτητας που χρησιμοποιείται. Ως αρχικό μοντέλο ταχυτήτων χρησιμοποιήθηκε αυτό των Delibasis et al., 1989; 1993, το οποίο αφορά στην περιοχή μελέτης και υπολογίστηκε από μικροσεισμικά δεδομένα τοπικού δικτύου αναλογικών σειсмоγράφων. Το μοντέλο αυτό, σε συνδυασμό με το πλεονέκτημα της ακρίβειας των χρόνων άφιξης που επέτρεψαν τα ψηφιακά δεδομένα του πειράματος, απέδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα ως προς

την κατανομή των σφαλμάτων των εστιακών παραμέτρων. Βασιζόμενοι στο πλεονέκτημα των ψηφιακού τύπου καταγραφών, προκειμένου να έχουμε ακόμη καλύτερο προσδιορισμό των εστιακών παραμέτρων, προβήκαμε σε τεχνικές καθορισμού ενός νέου μέσου μονοδιάστατου μοντέλου για την περιοχή. Εφαρμόστηκαν δύο τεχνικές στα δεδομένα που καταγράφηκαν από το δίκτυο **SANNET-2001**:

1. Η μέθοδος ελαχιστοποίησης του μέσου τετραγωνικού σφάλματος RMS (Root Mean Square) των υπολοίπων των χρόνων διαδρομής (Crosson 1976). Για την εφαρμογή της μεθόδου, προκειμένου να ελαττωθούν τα συστηματικά και τυχαία σφάλματα στον υπολογισμό του υποκέντρου, έγινε επιλογή δεδομένων με βάση τα παρακάτω κριτήρια:

- Μικρές επικεντρικές αποστάσεις (< 30 km).
- Το RMS της αρχικής λύσης να μην ξεπερνά τα 0.4 sec.
- Το οριζόντιο σφάλμα του υποκέντρου ERH να μην ξεπερνά τα 5 km.
- Το κατακόρυφο σφάλμα υποκέντρου ERZ να μην ξεπερνά τα 5 km.
- Οι διαθέσιμες μετρήσεις χρόνων άφιξης σεισμικών κυμάτων για κάθε σεισμό να είναι περισσότερες από 5.

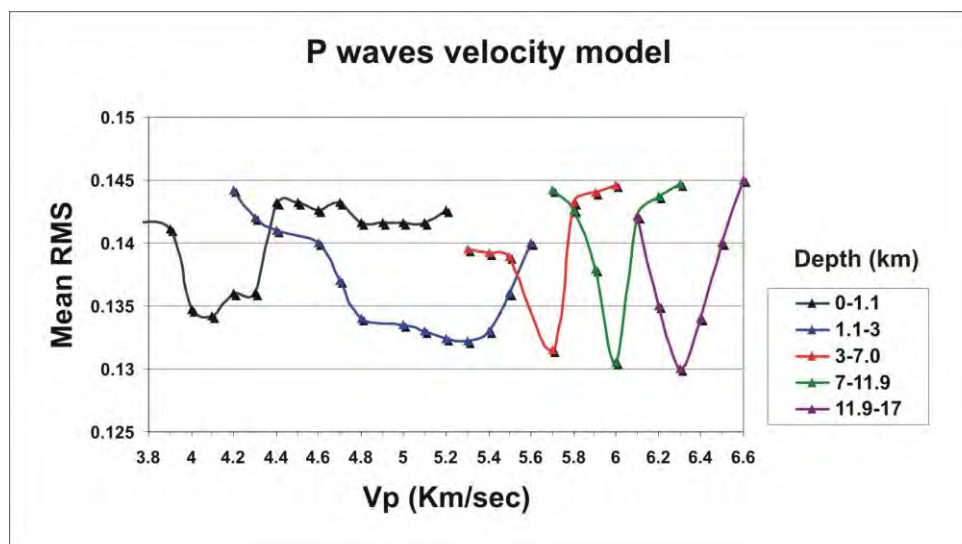
Επιλέχθηκαν συνολικά 23 σεισμοί. Για την εφαρμογή της τεχνικής αυτής εργαστήκαμε ως εξής:

Θεωρώντας τιμή $V_p/V_s=1.79$ (Delibasis et al., 1989;1993), αρχικά ορίστηκε ένα ενιαίο στρώμα μεταξύ της επιφάνειας της γης και της ασυνέχειας Moho (ημιχώρος, half-space). Στον ημιχώρο αυτό μεταβάλλουμε την τιμή της ταχύτητας των επιμήκων κυμάτων V_p και υπολογίζουμε τα αντίστοιχα σφάλματα RMS. Απεικονίζουμε τα ζεύγη τιμών (RMS, V_p) σε γραφική παράσταση και από την καμπύλη υπολογίζουμε την ταχύτητα που αντιστοιχεί στο ελάχιστο RMS. Επιλέγουμε λοιπόν την τιμή $V_p=5.8\text{Km/sec}$.

Θεωρώντας ως ταχύτητα του επιφανειακού στρώματος τη μέση ταχύτητα $V_p=5.8\text{ km/sec}$ και ένα στρώμα μεγαλύτερης ταχύτητας μεταβάλλοντας το πάχος παρατηρείται αύξηση του της μέσης τιμής του μέσου RMS. Έτσι αναζητήθηκε επιφανειακό στρώμα με ταχύτητα μικρότερη από τη μέση τιμή. Μεταβάλλοντας την ταχύτητα και το πάχος του πρώτου στρώματος το μικρότερο RMS παρατηρείται για τιμή της ταχύτητας $V_p= 4.1\text{ km/sec}$ και για πάχος 1.1 km για το επιφανειακό στρώμα.

Κρατώντας αυτές τις τιμές για το πρώτο στρώμα, η παραπάνω διαδικασία ακολουθείται για την εύρεση των παραμέτρων των στρωμάτων του μοντέλου για τις οποίες παρατηρείται ελαχιστοποίηση του μέσου RMS (εικόνα 6.1).

Οι παράμετροι του μέσου μονοδιάστατου μοντέλου ταχυτήτων δίνονται στον πίνακα 6.1. Σημειώνεται ότι με χρήση του νέου μοντέλου, οι λύσεις των υποκεντρικών εντοπισμών παρουσιάστηκαν βελτιωμένες σε σχέση με τις λύσεις με χρήση του αρχικού μοντέλου των Delibasis et al., 1989; 1993.



Εικόνα 6.1. Γραφική παράσταση των ζευγών (RMS, V_p) για τα 5 στρώματα του νέου μονοδιάστατου μοντέλου.

Πίνακας 6.1. Οι παράμετροι του μέσου μονοδιάστατου μοντέλου ταχυτήτων P-MINRMS που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο της ελαχιστοποίησης του μέσου RMS.

P-MINRMS	
V_p (km/sec)	Βάθος (km)
4.1	0.0
5.3	1.1
5.7	3.0
6.0	7.0

6.3	11.9
6.5	17.0
7.0	30.0

2. Η μέθοδος των Kissling et al., 1994; 1995 (VELEST). Για την περαιτέρω βελτίωση τόσο των εστιακών παραμέτρων όσο και του μοντέλου ταχυτήτων που προέκυψε από την πρώτη μέθοδο, εφαρμόσαμε την μέθοδο των Kissling et al., 1994; 1995. Με αυτή τη μέθοδο υπολογίζονται οι εστιακές παράμετροι και ταυτόχρονα, μέσω στοχαστικής αντιστροφής των χρονικών υπολοίπων υπολογίζεται ένα μοντέλο ταχυτήτων. Η διαδικασία αυτή είναι επαναληπτική, δηλαδή για κάθε νέο μοντέλο ταχυτήτων υπολογίζονται οι εστιακές παράμετροι και τα χρονικά υπόλοιπα των χρόνων διαδρομής. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι οι διαφορές μεταξύ των θεωρητικών και πειραματικών χρόνων διαδρομής γίνουν πολύ μικρές, δηλαδή μέχρι το μοντέλο να συγκλίνει προς μια λύση η οποία αποδίδει μικρά χρονικά υπόλοιπα. Η ποσοτική μεταβολή του ανύσματος του μοντέλου σε κάθε επανάληψη ελέγχεται από την παράμετρο απόσβεσης (damping parameter) ή παράμετρο των Lavenberg-Marquardt (Franklin 1970). Ως αρχικό μοντέλο για την επαναληπτική διαδικασία χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο του πίνακα 6.1. Ως πειραματικοί χρόνοι διαδρομής θεωρήθηκαν οι πειραματικοί χρόνοι διαδρομής από την επίλυση των εστιακών παραμέτρων μέσω του HYPO71 για μοντέλο ταχυτήτων το μοντέλο του πίνακα 6.1. Το τελικό μοντέλο που υπολογίστηκε μέσω αυτής της διαδικασίας δίνεται στον πίνακα 6.2.

Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε ξεχωριστά για τα εγκάρσια κύματα. Το αντίστοιχο μοντέλο ταχυτήτων που προέκυψε δίνεται στον πίνακα 6.3. Επιπρόσθετα, τα μοντέλα που προέκυψαν από τις παραπάνω τεχνικές δίνονται σχηματικά στην εικόνα 6.2. Στην εικόνα 6.3 δείχνεται η κατανομή των σφαλμάτων 1:1 με χρήση του τελικού μοντέλου της πρώτης μεθόδου και του τελικού μοντέλου της δεύτερης μεθόδου. Παρατηρούμε βελτίωση σε όλες τις παραμέτρους ελέγχου σφάλματος της υποκεντρικής λύσης με χρήση του μοντέλου που προέκυψε από τη δεύτερη μέθοδο (Kissling et al., 1994; 1995) και το οποίο τελικά χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των εστιακών παραμέτρων των μικροσεισμών του πειράματος.

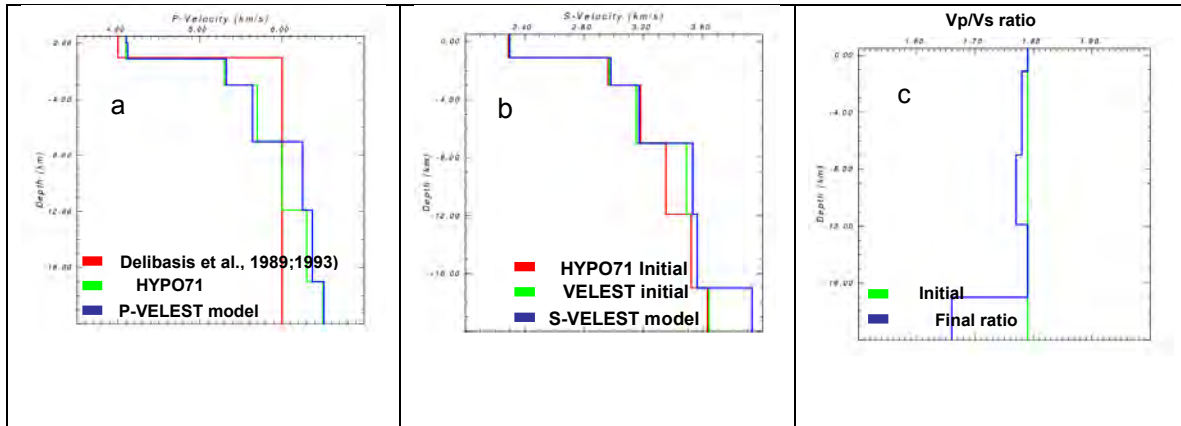
Πίνακας 6.2. Οι παράμετροι του μέσου μονοδιάστατου μοντέλου ταχυτήτων επιμήκων κυμάτων (P-VELEST) που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο Kissling et al., 1994; 1995.

P-VELEST	
Vp (Km/sec)	Βάθος (Km)
4.12	- 0.5
4.12	0.0
5.32	1.1
5.64	3.0
6.25	7.0
6.37	11.9
6.51	17.0
7.01	30.0

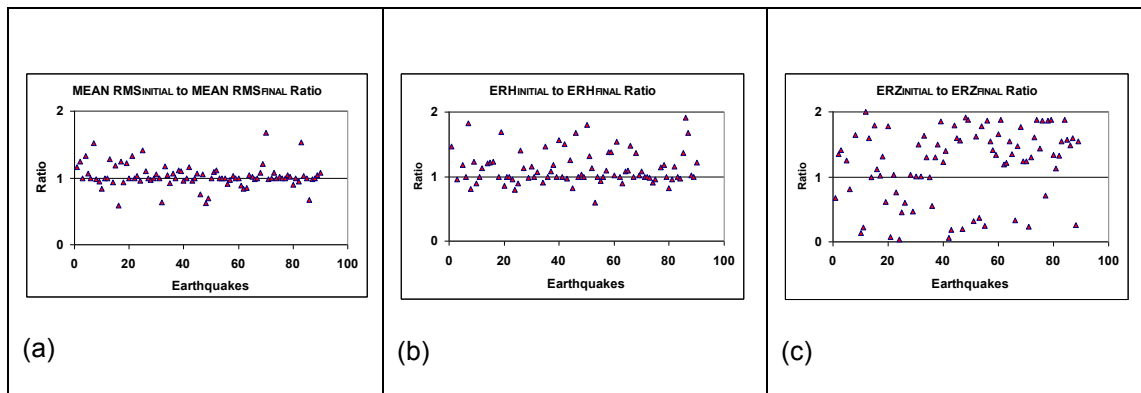
Πίνακας 6.3. Οι παράμετροι του μέσου μονοδιάστατου μοντέλου ταχυτήτων εγκάρσιων κυμάτων που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο Kissling et al., 1994; 1995.

S-VELEST	
Vs (Km/sec)	Βάθος (Km)
2.30	- 0.5
2.30	0.0
2.98	1.1
3.17	3.0
3.53	7.0
3.56	11.9
3.66	17.0
3.93	30.0

--	--	--



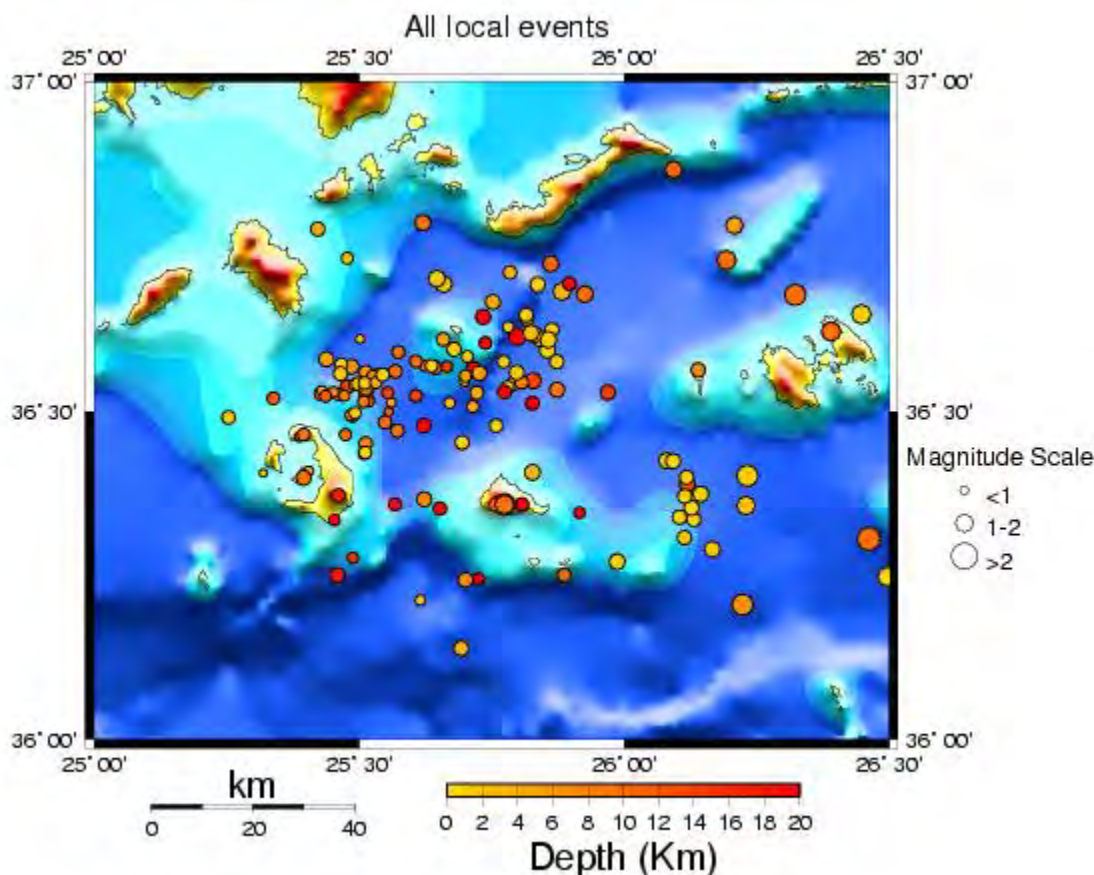
Εικόνα 6.2. (a) Μοντέλα ταχύτητας P κυμάτων που προέκυψαν από τις τεχνικές ελαχιστοποίησης του μέσου RMS και της μεθόδου των Kissling et al., 1994; 1995 (b) Μοντέλο ταχύτητας S κυμάτων που προέκυψε από τη μέθοδο των Kissling et al., 1994; 1995. (c) Ο λόγος V_p/V_s (Final ratio) που υπολογίστηκε.



Εικόνα 6.3. Η αντιστοίχιση 1:1 σφαλμάτων με χρήση των μοντέλων δείχνει βελτιωμένες υποκεντρικές λύσεις με χρήση του μοντέλου P-VELEST για: RMS (a); ERH (b) and ERZ (c).

7. ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Με χρήση της μεθόδου Kissling et al., 1994; 1995 και μοντέλο ταχυτήτων επιμήκων κυμάτων το μοντέλο P-VELEST, υπολογίστηκαν οι εστιακές παράμετροι των γεγονότων που καταγράφηκαν από τα δίκτυα SANNET-2001 και SANNET-2003. Για το 2001 υπολογίστηκαν οι παράμετροι 170 μικροσεισμών με μεγέθη $0.93 \leq M_d \leq 2.93$. Η χωρική τους κατανομή δείχνεται στον χάρτη της εικόνας 7.1.

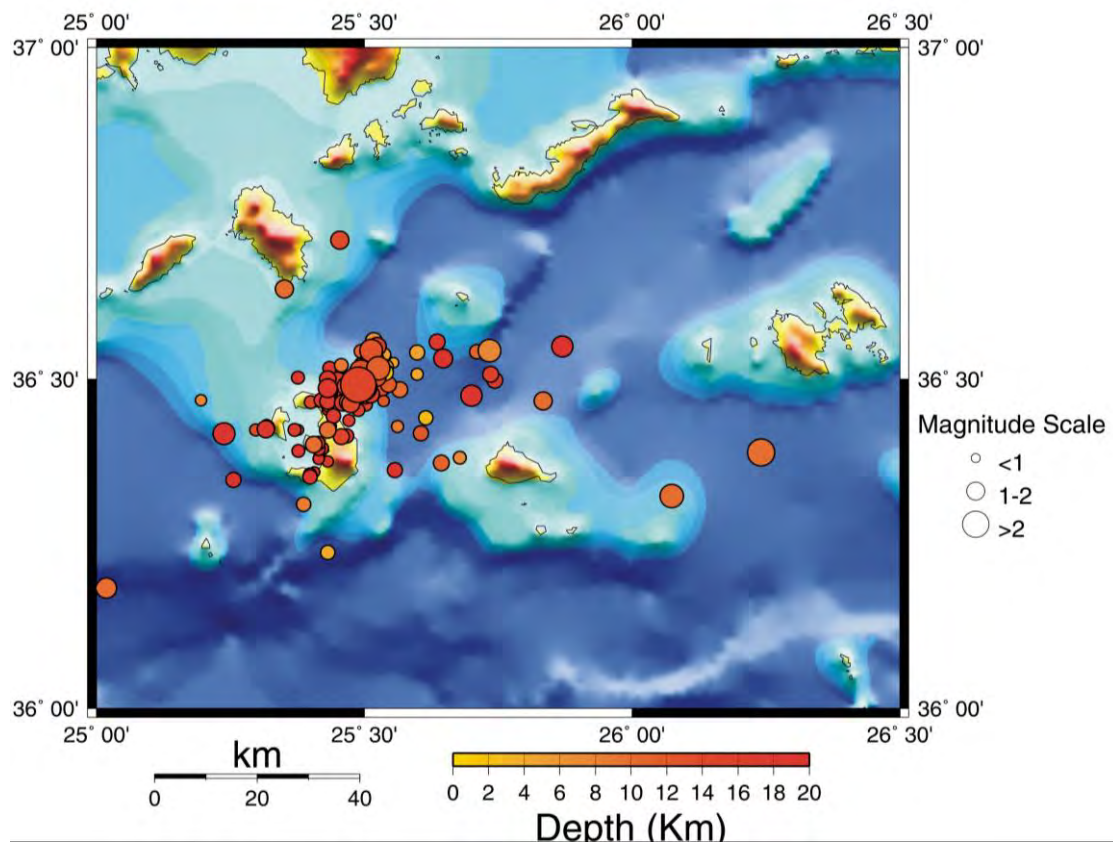


Εικόνα 7.1. Χάρτης χωρικής κατανομής των μικροσεισμικών επικέντρων στην περιοχή της Σαντορίνης για την περίοδο Ιούνιος-Οκτώβριος 2001. Τα χρώματα των συμβόλων είναι αναλογικά του βάθους και η διάμετρος αναλογική του μεγέθους.

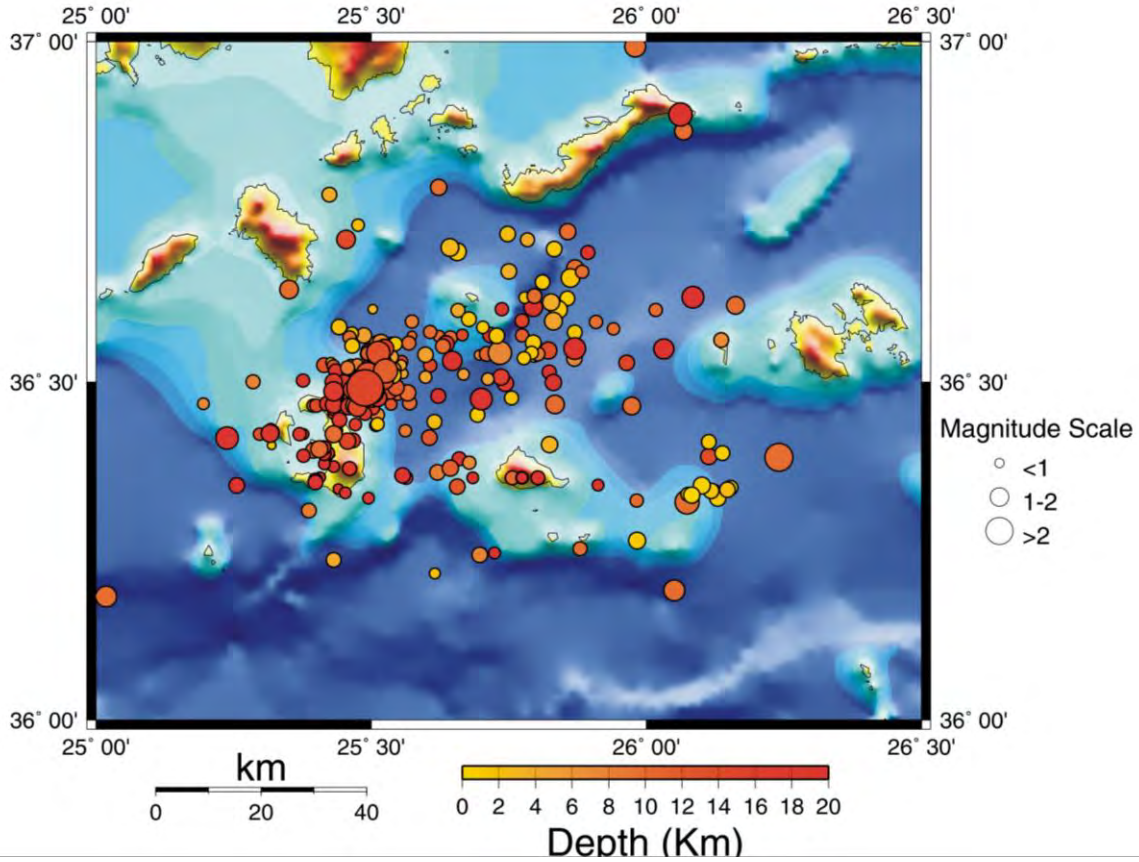
Για την περίοδο Απρίλιος-Αύγουστος 2003 υπολογίστηκαν οι παράμετροι 162 σεισμών με μεγέθη $1.0 \leq M_d \leq 4.0$. Η χωρική τους κατανομή δείχνεται στον χάρτη της εικόνας 7.2. Η σεισμική δραστηριότητα των δύο περιόδων εμφανίζει μια γραμμική κατανομή σε μια διεύθυνση $\approx B60^{\circ}A$, σε συμφωνία με την τεκτονική δομή που έδωσε το σεισμό της Αμοργού του 1956 (εικόνα 7.3).

Στον χάρτη της εικόνας 7.4 δείχνεται η χωρική κατανομή των 135 καλύτερων υποκεντρικών λύσεων ($RMS < 0.25$ sec, $ERH < 5$ km, $ERZ < 5$ km). Η κατανομή σε διεύθυνση αυτή $\approx B60^{\circ}A$ επιβεβαιώνεται και από τον χάρτη της εικόνας 7.4, όπου

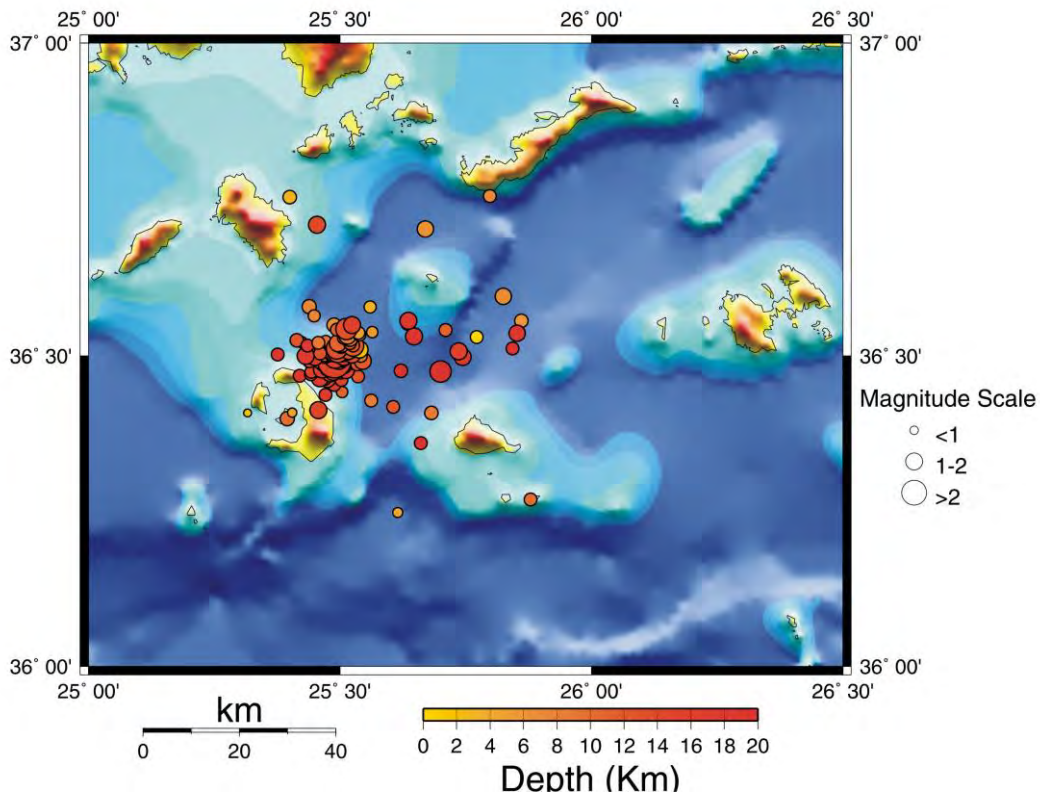
χρησιμοποιούνται οι καλύτερες υποκεντρικές λύσεις. Διαφοροποίηση ανάμεσα στις δύο περιόδους υφίσταται ως προς τη διασπορά των επικέντρων η οποία παρουσιάζεται σαφώς μεγαλύτερη κατά την περίοδο του 2001, ενώ τα σεισμικά μεγέθη εμφανίζονται μικρότερα (εικόνα 7.5). Κατά την περίοδο του 2003 και ιδιαίτερα τον Ιούνιο, παρατηρήθηκε η εκδήλωση σημνοσειράς ΒΑ της Σαντορίνης που κορυφώθηκε με τη γένεση σεισμού $M_d=4.0$.



Εικόνα 7.2. Χάρτης χωρικής κατανομής επικέντρων στην περιοχή της Σαντορίνης για την περίοδο Απρίλιος-Αύγουστος 2003. Τα χρώματα των συμβόλων είναι αναλογικά του βάθους και η διάμετρος αναλογική του μεγέθους.

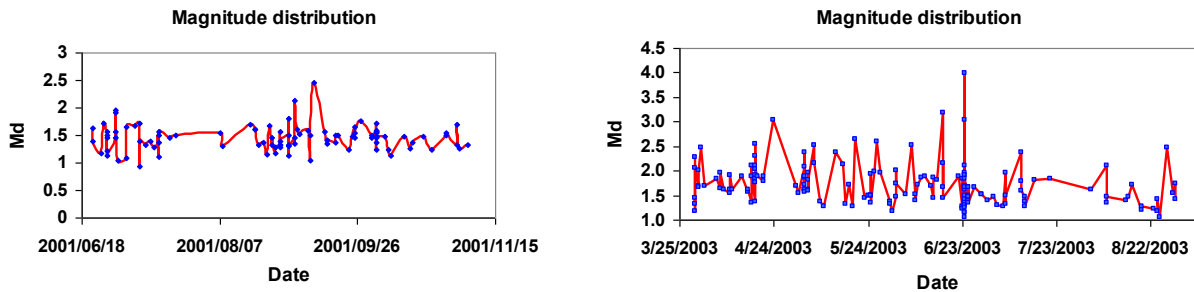


Εικόνα 7.3. Χάρτης χωρικής κατανομής των 332 σεισμών που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος (Ιούνιος-Οκτώβριος 2001 και Απρίλιος-Αύγουστος 2003) στην περιοχή της Σαντορίνης Τα χρώματα των συμβόλων είναι αναλογικά του βάθους και η διάμετρος αναλογική του μεγέθους.

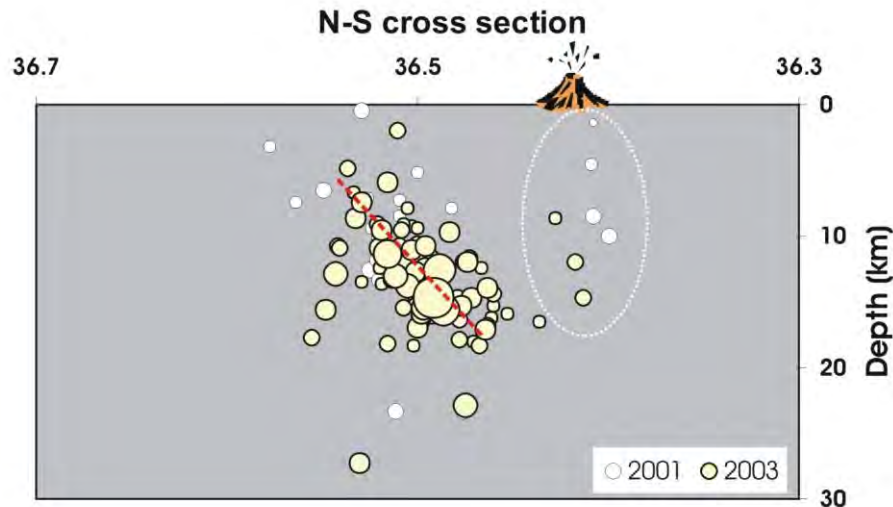


Εικόνα 7.4. Χάρτης χωρικής κατανομής των 135 καλύτερων υποκεντρικών λύσεων ($RMS < 0.25$ sec,

ERH<5 km, ERZ<5 km) στην περιοχή της Σαντορίνης για όλη την περίοδο του πειράματος (Ιούνιος-Οκτώβριος 2001 και Απρίλιος-Αύγουστος 2003). Τα χρώματα των συμβόλων είναι αναλογικά του βάθους και η διάμετρος αναλογική του μεγέθους.



Εικόνα 7.5. Κατανομή σεισμικών μεγεθών (M_d) κατά τις δύο περιόδους. Τα σεισμικά μεγέθη εμφανίζονται σαφώς μεγαλύτερα κατά την 2^η περίοδο, με τη γένεση της σημοσειράς ΒΑ της Σαντορίνης. Η σεισμική ακολουθία χαρακτηρίζεται ως σημοσειρά, αφού κανένας σεισμός δεν διαφέρει από τους άλλους σε μέγεθος >0.5.

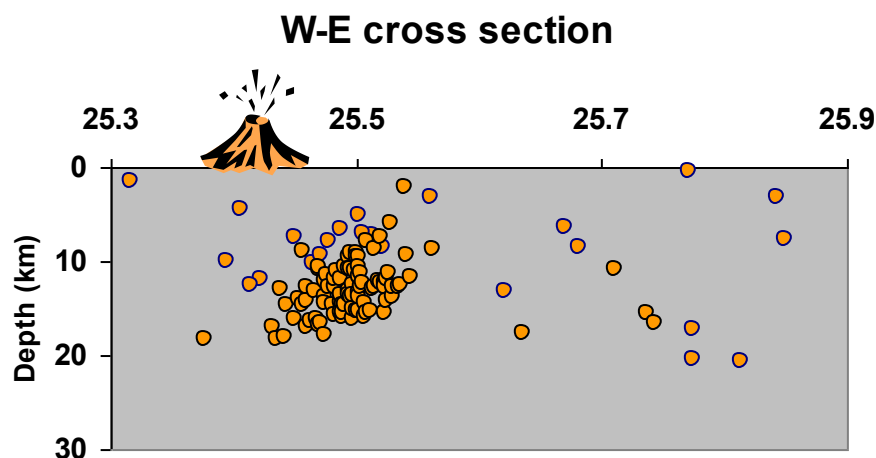


Εικόνα 7.6. Κάθετη τομή σε διεύθυνση Β-Ν. Το σφάλμα των υποκέντρων της τομής είναι και για την οριζόντια και για την κατακόρυφη συνιστώσα μικρότερο των 5 km. Με κόκκινη διακεκομμένη γραμμή συμβολίζεται η ρηξιγενής επιφάνεια διεύθυνσης $\sim B60^\circ A$ και κλίσης $\sim 50^\circ NA$. Με την έλλειψη οριοθετούνται οι σεισμοί οι οποίοι δεν αποδίδονται στην παραπάνω ρηξιγενή επιφάνεια, αλλά σε μια πιθανή μαγματική/υδροθερμική δραστηριότητα.

Όσον αφορά στην κατανομή του βάθους των σεισμικών εστιών, αυτή εμφανίζεται κυρίως μεταξύ 0-25 km, με τις βαθύτερες εστίες να εντοπίζονται ΒΑ της Σαντορίνης στην περιοχή του υποθαλάσσιου ηφαιστείου Κολούμπο και εντός της καλδέρας. Αν θεωρήσουμε τις καλύτερες υποκεντρικές λύσεις (ERX<5 km), η κατανομή εμφανίζεται μεταξύ 0 και 20 km βάθους (εικόνα 7.6). Είμαστε σε θέση από την κάθετη τομή σε διεύθυνση Β-Ν της εικόνας 7.6 να εντοπίσουμε το ενεργό ρήγμα, στο οποίο αποδίδεται η σεισμική δραστηριότητα κατά τη διάρκεια του πειράματος. Το ρήγμα

έχει διεύθυνση $\sim B60^{\circ}A$, όπως φαίνεται από τη γραμμική κατανομή των επικέντρων και κλίση $\sim 50^{\circ}NA$. Όπως φαίνεται στην κάθετη τομή σε διεύθυνση A-Δ, το βάθος των εστιών αυξάνει από ανατολικά προς τα δυτικά στην καλδέρα, όπου και τερματίζεται η σεισμική δραστηριότητα (εικόνα 7.7). Εκτός από τις σεισμικές εστίες που σχετίζονται με το παραπάνω ρηξιγενές επίπεδο, κάποιες εντοπίζονται κάτω από την καλδέρα και ενδεχομένως σχετίζονται με κάποια δραστηριότητα του μάγματος, ενδεχόμενο το οποίο θα εξεταστεί στο πλαίσιο της ταξινόμησης των κυματομορφών. Δυστυχώς, λόγω της γεωμετρίας των δικτύων αλλά και του μικρού μεγέθους των σεισμικών γεγονότων (του 2001), δεν κατέστη δυνατός ο προσδιορισμός μηχανισμών γένεσης. Λαμβάνοντας υπόψη την εμφανιζόμενη γεωμετρία των δομών στην περιοχή και το παρατηρούμενο εφελκυστικό πεδίο τάσεων στο νότιο Αιγαίο, θα μπορούσαμε να αποδώσουμε τη σεισμική παραμόρφωση σε κανονική διάρρηξη.

Το βάθος όπου εντοπίζονται οι εστίες στην περιοχή είναι γενικά μεγαλύτερο από το βάθος των εστιών στον Ελλαδικό χώρο, όπου οι επιφανειακοί σεισμοί συμβαίνουν κυρίως σε βάθη 0-12 km. Λαμβάνοντας υπόψη πρόσφατες μελέτες για τη δομή του Αιγαίου (Karagianni et al., 2002, Kassaras 2002) το πάχος της λιθόσφαιρας στην περιοχή της Σαντορίνης δεν υπερβαίνει τα 22-23 km. Η κατανομή του βάθους των σεισμικών εστιών υποδηλώνει παραμόρφωση ολόκληρης της λιθόσφαιρας. Ο κερματισμός της λιθόσφαιρας αποτελεί πιθανά αποτέλεσμα της ροής υδροθερμικών ρευστών και μάγματος από τον ανώτερο μανδύα. Παρατηρούμε ότι και οι εστίες οι οποίες εντοπίζονται κάτω από την καλδέρα κατανέμονται σε μεγάλο βάθος (έως 15 km). Μικρός αριθμός εστιών εντοπίστηκε σε βάθος μεγαλύτερο των 25 km (μεταξύ 30-40 km). Τα σφάλματα όμως των υποκεντρικών λύσεων δεν τις καθιστά αξιόπιστες για περαιτέρω συζήτηση.



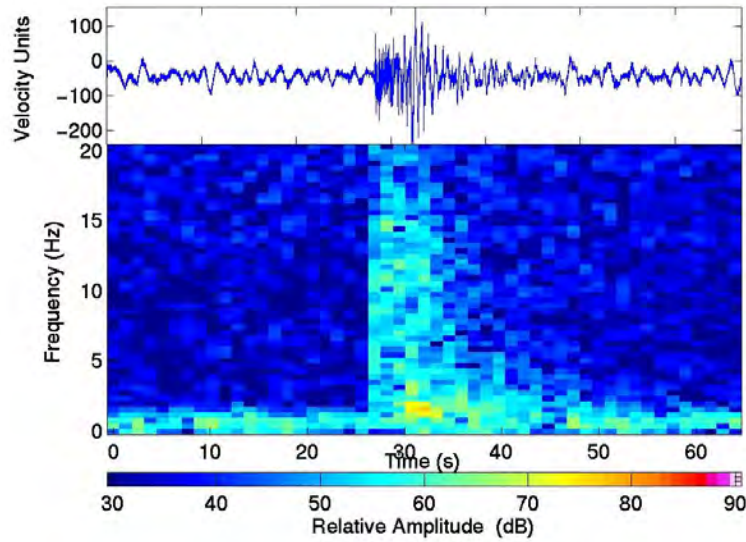
Εικόνα 7.7. Κάθετη τομή σε διεύθυνση Δ-Α. Χρησιμοποιήθηκαν υποκεντρικοί εντοπισμοί με σφάλμα στην οριζόντια και κατακόρυφη συνιστώσα <5 km.

8. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ - ΓΕΝΙΚΑ

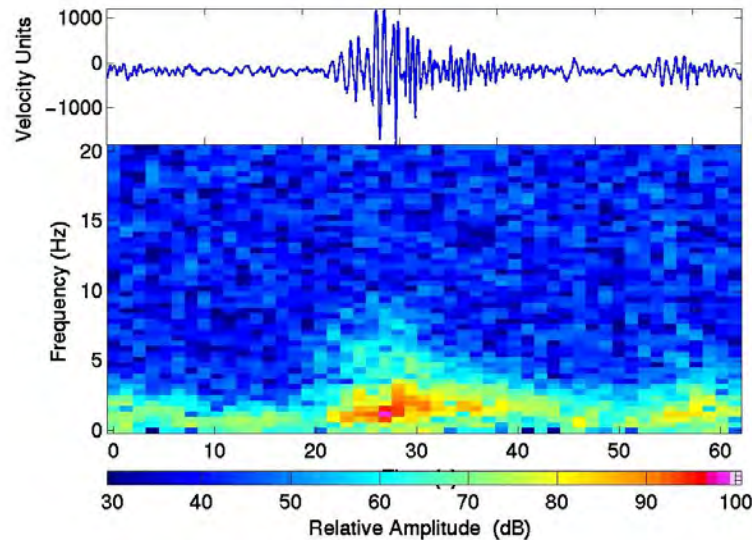
Οι πρώτες παρατηρήσεις ηφαιστειακών σεισμών έδειξαν ότι τα σεισμικά σήματα που δημιουργούνται από ηφαιστειακή δράση είχαν διαφορετικά σχήματα. Η πρώτη και ακόμη πολύ δημοφιλής ταξινόμηση των ηφαιστειακών σεισμών βάσει του σχήματος των κυματομορφών τους έγινε από τον Minakami, 1960;1974, ο οποίος τους χώρισε σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με τη θέση της εστίας τους, τη σχέση τους με ηφαιστειακή έκρηξη, και τη φύση της σεισμικής κίνησης σε:

(1) Ηφαιστειακούς σεισμούς τύπου A (A-type volcanic earthquakes). Αυτοί συμβαίνουν στη βάση ηφαιστείων και κάτω από αυτά σε βάθος περίπου 1-20 km. Το μέγεθός τους συνήθως δεν ξεπερνά το 6.0. Παρουσιάζουν εμφανείς αφίξεις επιμήκων και εγκαρσίων κυμάτων και οι κυρίαρχες συχνότητες κυμαίνονται από 5-15 Hz (εικόνα 8.1). Οι περισσότεροι σεισμοί αυτού του τύπου αποδίδονται σε διάτμηση ή ολίσθηση σε επιφάνειες διάρρηξης και διαφέρουν από τους τεκτονικούς σεισμούς μόνο κατά τον τρόπο έκλυσης της σεισμικής ενέργειας, η οποία σε ηφαιστειακές περιοχές γίνεται υπό τη μορφή σμηνοσειρών.

(2) Ηφαιστειακούς σεισμούς τύπου B (B-type volcanic earthquakes). Αυτοί συμβαίνουν συνήθως εντός του κρατήρα ή γύρω από αυτόν σε μια απόσταση περίπου 1 km. Το βάθος τους είναι μικρότερο εκείνου των σεισμών τύπου A. Εκδηλώνονται, υπό μορφή σμηνοσειράς, σε βάθη που δεν ξεπερνούν τα μερικές εκατοντάδες μέτρα. Κυριαρχούν τα επιφανειακά κύματα ενώ οι αφίξεις των εγκαρσίων κυμάτων δεν είναι σαφείς. Η σεισμική κίνηση αποτελείται κυρίως από δονήσεις με περιόδους που κυμαίνονται μεταξύ 0.2 και 1.0 sec (εικόνα 8.2). Αποδίδονται σε διεργασίες πίεσης ρευστών όπως ο σχηματισμός και το σπάσιμο φυσαλίδων, διάτμηση και μη γραμμικές διεργασίες ροής σε πολύ μικρά βάθη στα οποία επικρατεί μεγάλη ετερογένεια.



Εικόνα 8.1. Παράδειγμα ηφαιστειακού σεισμού τύπου Α. Κυματομορφή (επάνω) και φασματογράφημα (κάτω).

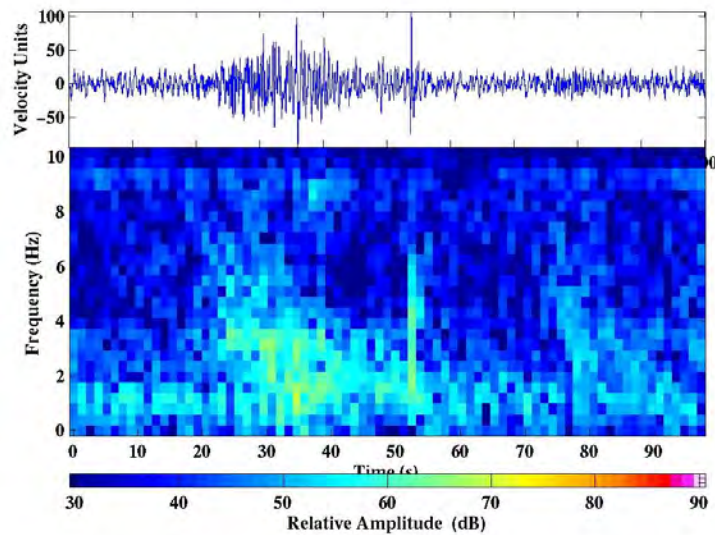


Εικόνα 8.2. Παράδειγμα ηφαιστειακού σεισμού τύπου Β. Κυματομορφή (επάνω) και φασματογράφημα (κάτω).

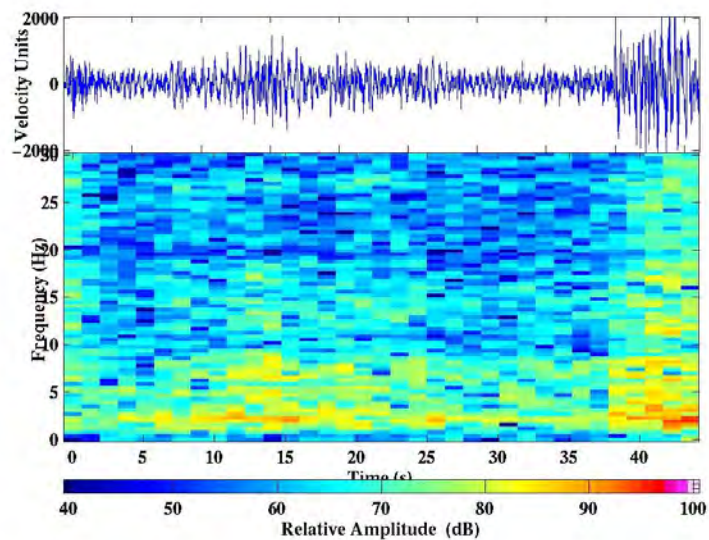
(3) Σεισμούς έκρηξης (Explosion earthquakes). Είναι σεισμοί που συνοδεύουν μεμονωμένες εκρηκτικές δράσεις (εικόνα 8.3). Το μέγεθός τους είναι ανάλογο του μεγέθους της έκρηξης. Η σεισμική κίνηση εμφανίζει μεγαλύτερη περίοδο σε σχέση με τους τύπου Α ηφαιστειακούς και τεκτονικούς σεισμούς. Οι πρώτες αφίξεις των επιμήκων κυμάτων είναι συμπιεστικές προς όλες τις κατευθύνσεις. Εντοπίζονται κάτω από τον πυθμένα του ενεργού κρατήρα.

(4) Ηφαιστειακές δονήσεις (Volcanic tremors). Συμβαίνουν σποραδικά ή συνεχόμενα με μικρές διακοπές μερικών δευτερολέπτων, έτσι ώστε να καταγράφονται σαν μια ενιαία σεισμική κίνηση διάρκειας από μερικά λεπτά μέχρι ημέρες ή και περισσότερο.

Μπορεί να προέρχονται από πολύ ρηχά σημεία μέσα ή κοντά στον κρατήρα, ή ακόμα και από μεγάλο βάθος. Διάφορα σεισμικά κύματα χαρακτηρίζουν τις ηφαιστειακές δονήσεις, συμπεριλαμβανομένων των κυμάτων Rayleigh και Love. Οι κυρίαρχες συχνότητες κυμαίνονται μεταξύ 1-5 Hz, όπως και στους τύπου Β ηφαιστειακούς σεισμούς (εικόνα 8.4).



Εικόνα 8.3. Παράδειγμα σεισμού έκρηξης. Κυματομορφή (επάνω) και φασματογράφημα (κάτω).



Εικόνα 8.4. Παράδειγμα ηφαιστειακής δόνησης. Κυματομορφή (επάνω) και φασματογράφημα (κάτω).

9. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Προσπάθεια έγινε για την ταξινόμηση των κυματομορφών με βάση το σχήμα τους

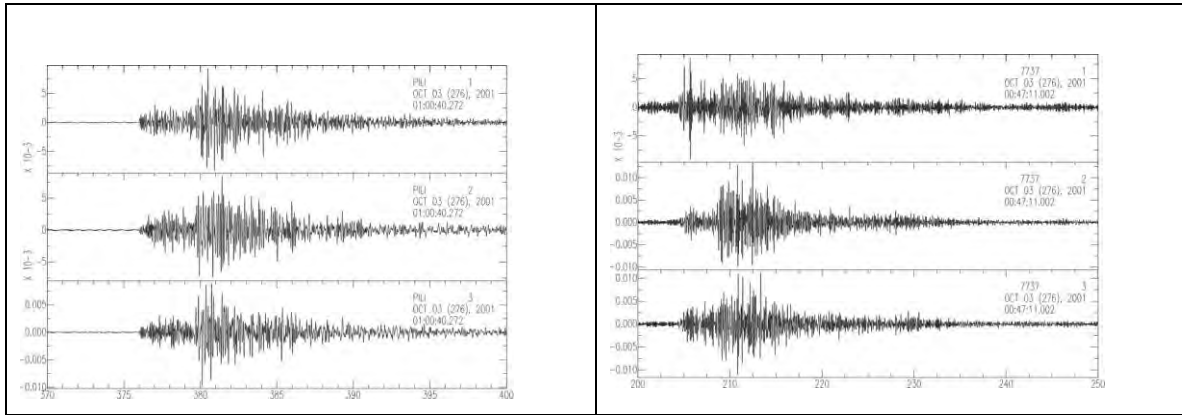
και το φασματικό περιεχόμενο της σεισμικής κίνησης. Είναι πρόδηλη η δυσκολία της ταξινόμησης, λαμβάνοντας υπόψη την πολύπλοκη και σχετικά άγνωστη δομή της περιοχής, η οποία μπορεί να προκαλέσει αλλοιώσεις στα αρχικά χαρακτηριστικά των κυματομορφών. Έτσι, για να αποφύγουμε αυτόν τον παράγοντα, ταξινομούμε τις κυματομορφές χρησιμοποιώντας κριτήρια που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του σχήματος και του φασματικού περιεχομένου των σεισμικών κυματομορφών, και όχι άλλα που σχετίζονται με τους μηχανισμούς γένεσης. Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SAC2000. Για τη φασματική ανάλυση των κυματομορφών ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία.

- Διόρθωση ως προς τη μηδενική γραμμή του σήματος.
- Διόρθωση ως προς την κλίση της μέσης στάθμης του σήματος.
- Εφαρμογή παράθυρου απόληξης (tapering).
- Ζωνοπερατό φίλτράρισμα 0.5-10 Hz.
- Ταχύς μετασχηματισμός Fourier (FFT), υπολογισμός των φασμάτων πλάτους.

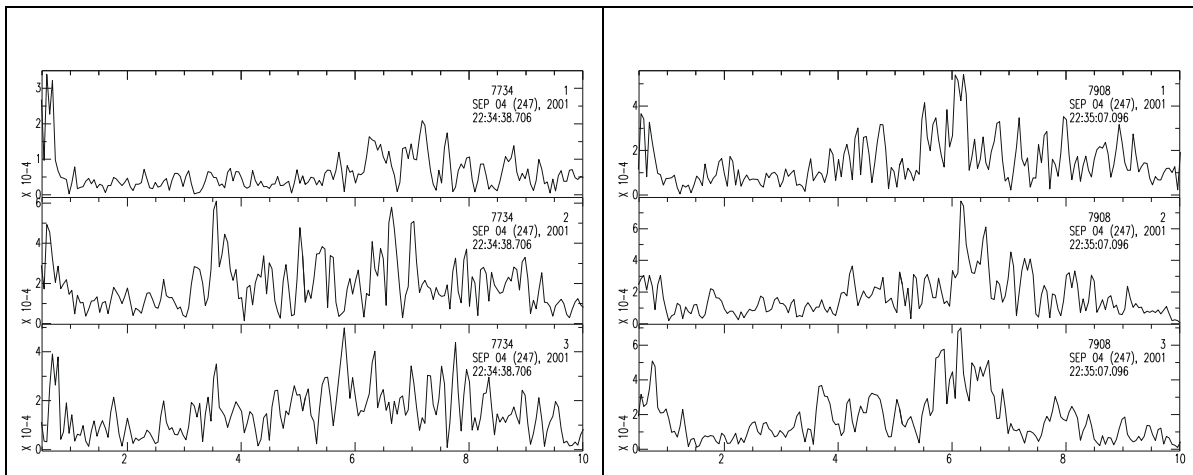
Τα πρώτα αποτελέσματα της συνεχιζόμενης ανάλυσης έδειξαν ότι η πλειονότητα των σεισμών είναι τύπου A, αφού διαθέτουν όλα τα χαρακτηριστικά αυτής της κατηγορίας, δηλαδή:

1. Χωρικά λαμβάνουν χώρα πάνω στη γνωστή ενεργή ρηξιγενή επιφάνεια διεύθυνσης B60^oA.
2. Κατανέμονται σε βάθος περίπου 1-20 km.
3. Παρουσιάζουν εμφανείς αφίξεις επιμήκων και εγκαρσίων κυμάτων.
4. Οι κυρίαρχες συχνότητες είναι μεγαλύτερες των 5 Hz.
5. Τόσο οι αποκλίσεις των πρώτων αφίξεων των επιμήκων κυμάτων όσο και ο λόγος των πλατών εγκαρσίων και επιμήκων κυμάτων διαφέρουν αζιμουθιακά.
6. Η έκλυση της σεισμικής ενέργειας γίνεται υπό τη μορφή σμηνοσειρών, αφού ο μεγαλύτερος σεισμός δεν παρουσιάζει μέγεθος μεγαλύτερο κατά 0.5 από τον αμέσως μικρότερο αυτού.

Στην εικόνα 9.1 δείχνονται ένα παράδειγμα καταγραφών τριών συνιστωσών για σεισμό τύπου A, όπου διακρίνονται καθαρά οι αφίξεις επιμήκων και εγκαρσίων κυμάτων. Στην εικόνα 9.2 δείχνονται τυπικά φάσματα πλάτους ηφαιστειακών σεισμών τύπου A που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος, όπου παρατηρούμε ότι οι κυρίαρχες συχνότητες της σεισμικής κίνησης είναι μεγαλύτερες των 5 Hz.



Εικόνα 9.1. Τυπικό παράδειγμα ηφαιστειακών σεισμών τύπου Α που καταγράφηκαν από το δίκτυο SANNET-2001.



Εικόνα 9.2. Τυπικό παράδειγμα φασμάτων πλάτους ηφαιστειακών σεισμών τύπου Α που καταγράφηκαν από το δίκτυο SANNET-2001.

10. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΕΚΛΥΣΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η κλίμακα μεγέθους που υπολογίστηκε, ήταν αυτή της διάρκειας του σεισμικού σήματος (M_d). Η σχέση που χρησιμοποιήθηκε ήταν (Καβύρης 2003):

$$M_d = -1.1 + 2.35 \log D + 0.0012 \Delta$$

Όπου D η διάρκεια του σεισμικού σήματος σε sec και Δ η επικεντρική απόσταση.

Στόχος του πειράματος ήταν η σύγκριση των μεταβολών των φυσικοχημικών παραμέτρων των υδροθερμικών ρευστών και της σεισμικής ενέργειας. Για να είναι δυνατή η σύγκριση υπολογίστηκαν αντίστοιχα ο ημερήσιος μέσος όρος των τιμών των φυσικοχημικών παραμέτρων και η συνολικά εκλυθείσα σεισμική ενέργεια. Ως μέτρο της εκλυθείσας σεισμικής ενέργειας επιλέχθηκε η σεισμική ροπή (εικόνα 10.1). Αυτό έγινε διότι έχουν πρόσφατα εξαχθεί εμπειρικές σχέσεις που συνδέουν το μέγεθος διάρκειας με τη σεισμική ροπή (Καβύρης 2003). Η σχέση που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του μεγέθους σεισμικής ροπής ήταν:

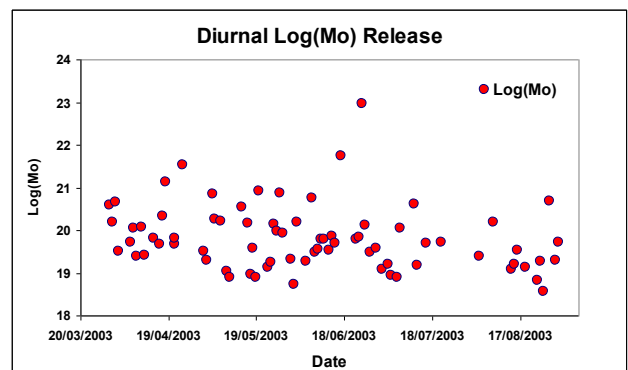
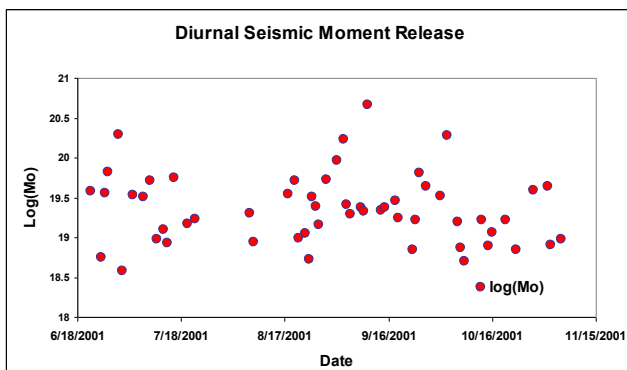
$$M_w = M_d + 0.6 \text{ για } 1.0 \leq M_d \leq 6.0$$

Όπου M_w το μέγεθος σεισμικής ροπής.

Τέλος υπολογίστηκε η σεισμική ροπή M_0 (dyn.cm):

$$M_w = 2/3 \log M_0 - 10.73 \text{ (Hanks και Kanamori 1979)}$$

Για την απευθείας σύγκριση με τις φυσικοχημικές παραμέτρους θεωρήθηκε ο κανονικοποιημένος λογάριθμος της συνολικής ημερήσιας σεισμικής ροπής και σε κάποιες περιπτώσεις η συχνότητα των σεισμικών γεγονότων. Η διαδικασία διερεύνησης πιθανών συσχετίσεων της σεισμικής δραστηριότητας με μεταβολές των φυσικοχημικών παραμέτρων στα υδροθερμικά ρευστά και αέρια περιγράφεται αναλυτικά στο τελευταίο κεφάλαιο της έκθεσης.



Εικόνα 10.1. Ημερήσια κατανομή της σεισμικής ροπής ($\log(M_0)$) για τις δύο περιόδους του πειράματος.

11. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Delibasis, N., Chailas, S., Lagios, E., Drakopoulos, J., (1989) Surveillance of Thera Volcano (Greece): Microseismological Monitoring. 3rd International Congress 'Thera and the Aegean World'. Santorini, 3-8 September 1989, Vol. II, pp. 199-206.
- Delibasis, N., Sachpazi, M., Chailas, S., Karantonis, G., (1993) Microearthquake activity of the Santorini Volcanic island during the period 1985 - 1989. *Ann. Geol. de Pay Hellenique*, Vol 36, pp. 181-207.
- Franklin, J.N., 1970. Well-posed stochastic extension of ill-posed linear problems. *J. Math. Anal. Appl.*, 31 : 682-716.
- Hatzfeld, D., Besnard, M., Makropoulos, K., Voulgaris, N., Kouskouna, V., Hatzidimitriou, P., Panagiotopoulos, D., Karakaisis, G., Deschamps, A. and Lyon-Caen, H. Subcrustal microearthquake seismicity and fault plane solutions beneath the Hellenic arc. *J. Geophys. Res.*, 98, 2861-2870, 1993.
- Karagianni, E.E., Panagiotopoulos, D.G., Panza, G.F., Suhadolc, P., Papazachos, C.B., Papazachos, B.C., Kiratzi, A., Hatzfeld, D., Makropoulos, K., Priestley, K. and Vuan, A., 2002. Rayleigh wave group velocity tomography in the Aegean area. *Tectonophysics*, 358: 187-209.
- Καβύρης, Γ., 2003. Μελέτη ιδιοτήτων σεισμικών πηγών ανατολικού Κορινθιακού Κόλπου, Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Kassaras, I., 2002. Upper mantle structure of the Aegean region derived from the dispersion of seismic surface waves. PhD Thesis, University of Athens, Greece.
- Kissling, E., Ellsworth, W.L., Eberhart-Phillips, D. & Kradofler, D., 1994. Initial reference models in local earthquake tomography, *J. Geoph. Res.*, 99, 19635-19646.
- Kissling, E., Solarino, S. & Cattaneo, M., 1995. Improved seismic velocity reference model from local earthquake data in Northwestern Italy, *Terra Nova*, 7, 528-534.
- Lee, W.H. & Lahr, J.E., 1975. HYPO71 a computer program for determining hypocenter magnitude and first motion pattern of local earthquakes, *Geol. Survey Open-File Report*, USA, 75-311.
- Makropoulos, K., Kouskouna, V., Karnassopoulou, A., Dando, P., and Varnavas, S.P., Seismicity in the Aegean hydrothermal system in relation to biogeochemical parameters, submitted to *Q Physics and Chemistry of the Earth*.
- Minakami, T., 1960. Fundamental research for predicting volcanic eruptions. Part I, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, Tokyo Univ. 38, p.4 497-544.

- Minakami, T., 1974. Seismology of volcanoes in Japan, *Physical Volcanology*, Eds. L. Civetta, P. Gasparini, G. Luongo and A. Rapolla, Elsevier, Amsterdam, p.p. 1-27.
- Panagiotopoulos, D.G., Stavrakakis, G., Makropoulos, K., Papanastasiou, D., Papazachos, C.B., Savvaidis, A. and Karagianni, E., Seismic monitoring at the Santorini volcano. *Proceedings of 2nd Workshop on European Laboratory Volcanoes*. May 2-4 1996, Santorini, Greece, 1996.
- Papanikolaou, D., Lekkas, E., Syskakis, D. and Adamopoulou, e., 1993, Correlation on neotectonic structures with the geodynamic activity in Milos during the earthquakes of March 1992, *bull. Geol. Soc. Greece*, vol. XXVIII/3, 413-428.
- Papazachos, B.C. and P.E. Comninakis, Geophysical and tectonic features of the Aegean arc. *J.Geoph.Res.*, 76, 35, 8517-8533, 1971.
- Papazachos, B.C. and P.E. Comninakis, Geophysical features of the Greek Islands Arc and Eastern Mediterranean Ridge. *Com. Ren. des Seances de la Conference Reunie a Madrid*, 16, 74-75, 1969/70.
- Papazachos, B.C. and Panagiotopoulos, D.G., Normal faults associated with volcanic activity and deep rupture zones in the southern Aegean volcanic arc. *Tectonophysics*, 220, 301-308, 1993.
- Papazachos, C.B. and Nolet, G., P and S deep velocity structure of the Hellenic area based on the robust non-linear inversion of travel times. *J. Geophys. Res.*, 1996.
- Papazachos, C.B., Hatzidimitriou, P.M., Panagiotopoulos, D.G. and Tsokas, G.N., Tomography of the crust and upper mantle in southeast Europe. *J. Geophys. Res.*, 100, B7, 12405-12422, 1995.
- SAC2000, 1995. Regents of the Univ. of California.
- Sachapazi, M., Stavrakakis, G., Lepine, J.C., Papanastasiou, D., Makaris, D., Delibasis, N. and Panagiotopoulos, D.G., Benchmark for seismological monitoring of the volcano of Santorini and design of future efforts. *Proceedings of 2nd Workshop on European Laboratory Volcanoes*. May 2-4 1996, Santorini, Greece, 1996.
- Shirokova, E., 1972. Stress pattern and probable motion in the earthquake foci of the Asia Mediterranean seismic belt. In: *Elastic Strain Field of the Earth and Mechanisms of Earthquake Sources*, (eds. L.M. Balanika et al.), Nauka, Moscow, p. 8.
- Stavrakakis, G., Chouliaras, G. and Sachapazi, M., Seismic activity along the Greek volcanic arc. *Proceedings of 2nd Workshop on European Laboratory Volcanoes*.

May 2-4 1996, Santorini, Greece, 1996.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

1. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΙΣΤΟΡΙΚΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ

YEAR	MONTH	DAY	HOUR	MIN	SEC	LAT	LON	DEPTH	MAG
46	0	0	0	0	0	36.6	25.6	33	6.2
110	0	0	0	0	0	36.0	25.0	33	6.0
913	0	0	0	0	0	36.0	25.0	33	5.3
1430	0	0	0	0	0	36.0	25.0	33	6.0
1629	2	27	0	0	0	36.0	25.0	33	7.0
1650	9	29	15	0	0	36.6	25.6	33	6.3
1672	0	0	0	0	0	36.6	25.6	33	6.7
1707	5	18	0	0	0	36.4	25.4	33	6.0
1846	3	28	15	0	0	36.0	25.0	33	7.7
1862	6	21	4	57	0	36.6	25.0	33	7.0
1866	1	31	0	0	0	36.4	25.3	33	6.0
1887	7	17	7	45	0	36.0	26.0	33	7.5
1916	7	27	3	6	22	36.5	25.7	140	5.3
1903	3	25	22	30	0	36.0	25.0	100	5.5
1919	4	5	4	17	55	37.0	26.0	0	5.2
1911	4	4	15	43	53	36.5	26.5	140	6.5
1919	10	25	17	19	39	36.7	25.6	0	4.9
1919	10	25	17	53	32	36.7	25.6	0	5.6
1919	10	25	18	42	45	36.7	25.6	0	4.9
1919	10	26	6	1	44	36.7	25.6	0	5.0
1919	10	27	11	29	50	36.7	25.6	0	4.9
1920	8	10	21	53	52	36.5	25.7	0	5.0
1916	7	27	3	6	22	36.5	25.5	140	5.4
1921	1	23	9	7	39	36.0	26.0	0	5.3
1922	4	20	10	22	30	36.4	26.2	150	5.2
1929	3	27	7	41	46	36.7	26.5	120	5.9
1929	11	11	7	36	15	36.8	26.5	150	5.2
1918	7	16	20	3	36	36.7	25.8	150	6.6
YEAR	MONTH	DAY	HOUR	MIN	SEC	LAT	LON	DEPTH	MAG
1919	4	5	4	17	55	37.0	26.0	15	5.0
1951	1	13	1	54	48	36.0	26.0	0	4.5
1955	5	31	1	4	18	36.0	26.0	0	4.9
1956	7	8	13	5	22	36.9	26.0	0	4.9
1919	10	25	17	10	0	36.5	25.3	0	6.1
1956	7	9	4	15	11	36.7	25.8	0	4.7
1956	7	9	4	33	27	36.7	26.0	0	5.0
1956	7	9	5	14	10	36.7	25.8	0	4.8
1956	7	9	6	22	46	36.8	25.9	0	5.6
1956	7	9	7	36	27	36.9	26.0	0	5.4
1956	7	9	9	45	10	36.6	25.9	0	4.8
1956	7	9	11	30	48	36.7	26.3	0	4.7
1956	7	9	20	10	28	36.7	26.1	0	4.8

1956	7	9	20	13	53	36.7	26.0	0	5.3
1956	7	9	20	48	6	36.7	25.8	0	4.8
1956	7	9	21	28	41	36.6	26.0	0	5.4
1956	7	10	1	59	41	36.7	26.5	0	5.2
1956	7	10	3	1	25	36.7	26.2	0	5.5
1956	7	12	6	17	48	36.7	25.9	0	4.6
1956	7	22	3	28	58	36.8	26.3	0	5.4
1956	9	6	12	58	43	36.0	25.9	0	5.1
1956	9	16	18	7	37	36.0	26.1	0	5.0
1956	12	2	19	41	13	36.8	25.7	0	5.0
1957	2	9	1	39	33	36.7	26.3	0	5.0
1959	4	30	22	44	36	36.2	26.5	0	4.6
1959	11	15	4	7	47	36.8	26.0	0	4.7
1960	11	3	7	17	50	36.1	26.1	0	4.7
1919	10	26	6	1	44	36.7	25.6	12	5.0
1920	11	15	9	20	43	36.0	25.7	120	6.0
1921	1	23	9	7	39	36.2	25.5	30	5.2
YEAR	MONTH	DAY	HOUR	MIN	SEC	LAT	LON	DEPTH	MAG
1922	4	20	10	22	10	36.0	25.5	150	5.2
1929	11	11	7	35	2.7	36.7	26.2	15	5.0
1932	6	12	23	24	24.3	36.4	25.2	122	5.0
1934	11	9	13	40	56	36.7	25.7	150	6.2
1935	2	25	2	51	31	36.0	25.0	100	7.0
1936	4	28	23	15	29.3	36.2	26.4	115	5.1
1942	5	9	4	37	17.3	36.1	26.3	137	5.0
1956	7	9	3	11	40	36.6	26.0	0	7.5
1956	7	9	3	24	3	36.6	25.7	0	6.9
1956	7	9	6	19	16.9	36.7	25.7	70	5.0
1956	7	9	20	13	58.9	36.6	25.8	14	5.3
1956	7	10	3	1	35.2	36.8	26.2	55	5.5
1957	2	9	1	39	38.3	36.8	26.4	40	5.0
1959	7	12	16	52	31.5	36.0	26.3	80	5.1

2. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΝΟΡΓΑΝΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑΣ

Date	Time	Latitude	Longitude	Depth	Magnitude
18-Jul-1964	03:40:19.40	36.13	26.01	99	5.0
9-Apr-1965	21:08:30.00	36.80	26.50	33	4.7
10-Apr-1965	03:35:09.00	36.20	26.20	33	4.0
18-Aug-1966	22:09:01.20	36.22	26.35	133	4.4
8-Apr-1968	13:00:46.00	36.30	25.70	49	4.8
6-Oct-1968	15:06:43.00	36.96	26.38	17	4.7
11-Oct-1968	03:02:36.00	36.54	25.87	33	4.3
16-Nov-1969	16:39:25.00	36.00	25.50	116	4.0
24-May-1970	11:03:01.00	36.05	25.49	37	4.9
9-Jun-1970	20:43:30.50	36.16	25.56	63	4.6
10-Jun-1970	19:41:20.00	36.15	25.50	41	4.2
13-Sep-1970	17:36:49.00	36.50	25.90	0	4.8
12-Mar-1974	18:21:34.74	36.76	26.40	45	4.8
6-Aug-1977	07:40:53.54	36.61	25.96	24	4.1
28-Nov-1978	18:02:18.66	36.04	26.39	115	5.0
16-Feb-1979	04:28:22.19	36.66	25.82	40	4.5
1-Sep-1979	13:02:15.46	36.43	26.31	10	4.2
2-Nov-1979	02:06:11.90	36.63	25.43	158	4.0
26-Apr-1980	10:53:05.66	36.35	25.92	99	3.3
15-Nov-1980	05:29:08.52	36.60	25.55	10	4.5
7-Nov-1982	17:04:12.40	36.53	25.61	23	4.3
28-Nov-1982	12:12:11.26	36.43	26.21	140	4.5
23-Apr-1983	08:58:39.51	36.24	26.43	136	4.4
23-Oct-1983	03:15:35.41	36.63	25.67	34	4.8
28-Feb-1984	08:48:13.56	36.18	25.64	158	4.7
16-Apr-1984	01:38:41.06	36.53	25.57	2	4.7
23-Sep-1984	14:19:25.21	36.52	26.49	155	4.4
9-Mar-1986	13:13:48.92	36.70	25.88	41	4.3
Date	Time	Latitude	Longitude	Depth	Magnitude
9-May-1986	04:23:24.67	36.22	25.45	109	4.3
8-Aug-1986	03:46:38.45	36.70	25.86	10	4.2
31-Jan-1987	10:40:48.17	36.63	25.81	25	4.6
8-Apr-1987	12:16:42.82	36.35	26.05	133	4.1
16-May-1987	21:39:19.13	36.04	25.76	156	4.1
1-Jun-1987	02:28:30.03	36.70	25.46	166	4.8
24-Aug-1988	12:13:29.13	36.59	26.29	26	5.0
11-Sep-1988	02:18:12.51	36.26	26.35	124	4.6
31-Jan-1989	15:18:10.04	36.57	25.79	24	4.3
22-May-1989	23:13:25.71	36.64	25.84	41	3.8
14-Oct-1989	07:14:41.09	36.70	25.32	169	3.9
22-Dec-1989	00:43:41.78	36.91	26.42	10	4.6
15-Jul-1990	21:50:34.69	36.49	25.53	9	4.7
20-Jan-1991	09:22:24.90	36.32	26.40	144	4.1

21-Jan-1991	02:50:22.47	36.63	26.23	10	4.7
13-Mar-1991	16:31:38.01	36.26	25.31	129	4.3
12-Jan-1992	23:33:13.30	36.54	25.41	24	3.8
7-Apr-1992	01:24:06.36	36.70	26.35	19	4.8
2-Aug-1992	11:34:56.76	36.49	25.42	43	4.3
17-Dec-1992	19:43:04.41	36.12	25.07	35	3.8
14-Mar-1996	06:08:36.23	36.17	25.98	350	3.3
27-May-1996	12:36:01.25	36.57	25.56	31	3.5
27-May-1996	14:25:34.50	36.45	25.53	17	4.2
27-May-1996	14:56:47.44	36.49	25.49	22	4.0
27-May-1996	16:51:53.58	36.53	25.56	19	3.7
30-Jun-1996	20:34:27.29	36.48	25.52	4	3.6
3-Dec-1996	02:25:50.23	36.06	25.19	128	3.7
12-Jan-1997	20:20:57.85	36.50	25.71	38	4.1
18-Jan-1997	13:08:49.07	36.55	25.61	19	3.9
26-Jan-1997	19:01:37.65	36.02	25.73	33	3.1
Date	Time	Latitude	Longitude	Depth	Magnitude
4-Jun-1997	15:04:55.03	36.67	26.40	28	4.1
9-Aug-1997	17:04:01.42	36.66	25.27	22	3.8
8-Dec-1997	09:24:54.23	36.44	26.49	146	3.7
21-Jan-1998	13:58:15.47	36.42	25.93	139	4.0
10-Feb-1998	23:52:32.88	36.87	26.30	10	4.0
10-Mar-1998	04:30:34.07	36.04	26.03	143	4.4
22-Mar-1998	22:22:11.23	36.65	25.83	43	3.6
25-Nov-1998	19:28:53.78	36.64	26.35	9	3.9
18-Mar-1999	23:24:33.01	36.59	25.69	3	3.5
4-May-1999	19:27:42.28	36.51	25.46	10	4.1
12-Jun-1999	17:20:35.19	36.49	25.50	12	4.4
12-Jun-1999	17:50:35.01	36.54	25.32	5	3.5
28-Jun-1999	01:09:18.30	36.49	25.47	125	3.7
3-Jun-2000	13:32:01.39	36.66	25.70	9	4.0
8-Sep-2000	15:01:02.83	36.51	25.47	11	4.4
15-Jan-2001	11:20:47.38	36.27	25.92	134	3.8
17-Jun-2001	07:20:08.29	36.68	25.68	50	3.9
17-Jul-2001	23:27:10.56	36.54	26.45	144	3.6
17-Nov-2001	07:56:11.50	36.57	25.94	164	4.1
6-Mar-2002	16:27:50.24	36.02	26.22	10	3.8
11-Sep-2002	12:10:19.20	36.45	26.12	145	3.7

3. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΕΙΣΜΩΝ ΠΟΥ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΚΑΝ ΚΑΤΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΟΥ 2001

DATE	HOUR	SEC	LAT	LON	DEPTH	Md	GAP	RMS	ERH	ERZ
20010622	817	28.6	36.550	25.499	7.56	1.62	177	0.24	2.6	4.3
20010622	825	27.55	36.543	25.496	3.26	1.39	174	0.2	1.2	5.7
20010624	1559	8.47	37.076	26.093	10	2.6	337	0.3	7	7.9
20010625	221	10.53	36.248	25.615	4.76	1.17	263	0.03	1.5	7.4
20010625	354	2.81	36.244	26.467	10.99	2.64	342	0.85	7.6	9.9
20010626	1707	21.42	36.549	25.488	6.55	1.71	268	0.13	4.1	6.1
20010627	134	59.96	36.548	25.566	4.25	1.56	192	0.23	5.1	70.7
20010627	136	17.2	36.455	25.510	6.54	1.5	150	0.72	8.6	3.2
20010627	500	7.59	36.521	25.526	3.01	1.22	247	0.2	1.7	6
20010627	500	27.13	36.521	25.465	10.11	1.46	258	0.06	0.9	1.4
20010627	1720	57.72	36.409	25.405	4.54	1.12	141	0.06	0.7	0.8
20010628	2024	54.29	37.197	26.560	10	2.88	332	0.78	7.5	33
20010629	1948	59.11	36.666	25.876	10	1.9	279	0.12	2.4	2.1
20010630	17	11.12	36.564	25.449	7.48	1.46	219	0.07	0.1	0.2
20010630	208	16.31	36.703	25.670	6.46	1.92	253	0.31	2	4.2
20010630	543	38.84	36.591	25.656	9.32	1.56	302	0.04		
20010630	1327	57.33	36.694	25.636	7.15	1.96	247	0.37	3.2	7.7
20010701	2109	20.14	36.652	25.425	10.46	1.05	309	0.73		
20010704	116	45	36.465	25.395	13.57	1.08	292	0.04		
20010704	1213	57.26	36.642	25.736	7.12	1.66	297	0.42		
20010707	515	43.43	36.378	25.619	6.34	1.68	305	0.04		
20010709	1320	6.58	36.399	25.395	10	1.71	225	0.48	2.6	0.8
20010709	1606	12.82	36.408	25.316	1.39	0.93	247	0.2	0.8	2.7
20010709	1906	56.23	36.465	25.395	10	1.4	292	0.26		
20010711	1840	47.2	36.442	25.504	10.73	1.32	240	0.31	8	12.9
20010713	2041	14.72	36.526	25.505	7.05	1.4	236	0.09	1.9	7.2
20010714	1319	3.77	36.345	26.229	10	2.4	357	0.04		
20010714	1346	5.86	36.539	25.829	14.68	1.9	308	0.12	8.5	3.9
20010714	1347	7.3	36.482	25.477	7.81	1.29	293	0.03	0.5	0.7
20010716	1035	29	36.504	25.501	3.01	1.38	309	0.06		
20010716	1610	58.06	36.467	25.564	10	1.51	335	0		
20010716	1618	43.1	36.503	25.549	2.75	1.11	316	0.01		

20010716	1649	45.91	36.525	25.414	12.57	1.57	214	0	0.1	0
20010717	2327	13.76	37.253	26.214	10	2.82	344	0.14		
20010720	459	17.9	36.443	25.518	1.79	1.45	147	0.28	8	8.6
20010722	2114	7.59	36.545	25.481	3.84	1.49	229	0.23	11	6.1
20010724	2227	36.23	36.778	26.774	10	2.56	348	0.21	7.6	6
20010731	1927	41.46	36.269	25.879	10	1.51	331	0.24	5	5.2
20010807	704	10.74	36.485	26.669	10	2.93	338	0.68	9.5	5.8
20010807	2105	44.31	36.565	25.520	7.39	1.54	187	0.29	3.2	4.4
20010808	703	55.89	36.491	25.492	6.6	1.3	229	0.05	7.9	10.8
20010812	1648	43.69	36.681	26.341	10	2.37	322	1.56	3.7	5.5
20010812	2037	52.15	36.505	25.804	35.16	2.05	296	0.2	9.2	8.3
20010818	1615	11.13	36.579	25.439	7.54	1.7	172	0.17	2	14
20010820	911	18.9	36.476	25.621	23.26	1.61	228	0.02	0.8	0.6
DATE	HOUR	SEC	LAT	LON	DEPTH	Md	GAP	RMS	ERH	ERZ
20010821	2146	45.88	36.554	25.534	7.53	1.33	187	0.35	3.2	4.5
20010823	658	56.26	36.465	25.500	4.74	1.37	207	0.33		
20010823	2315	6.49	35.755	25.969	14.28	2.23	340	0.45	8.1	2.8
20010824	31	50.65	36.531	25.479	2.6	1.15	320	0.29		
20010825	644	7.57	36.353	25.666	10.35	1.68	339	0.02		
20010826	343	26.07	36.500	25.502	5.08	1.32	162	0.13	1.7	3.1
20010826	2344	47.7	36.578	25.560	3.21	1.45	200	0.46	2.7	7
20010827	12	13.91	36.510	25.522	8.42	1.17	241	0.06	1.2	4.8
20010827	1715	50.03	36.524	25.472	9.32	1.29	163	0.17	1.7	3.6
20010829	630	3.6	36.725	25.459	8.39	1.33	238	0.19	5.8	4.9
20010829	1634	3.64	36.754	25.400	3.08	1.57	252	0.47	8.7	13.6
20010829	1704	35.32	36.286	25.490	15.69	1.29	256	0.17	6.4	9.5
20010829	1753	19.32	36.521	25.499	13.36	1.4	168	0.19	2.2	5.2
20010830	553	14.38	37.435	25.618	6.75	2.41	333	0.37		
20010830	558	12.39	37.404	25.594	7.91	2.28	332	0.32		
20010901	124	4.05	36.360	25.661	35.84	1.51	182	0.22	6.2	2.2
20010901	311	23.68	36.509	25.514	7.26	1.32	241	0.04	0.4	1.7
20010901	1149	34.91	36.372	25.435	19.48	1.14	358	0.05		
20010901	1540	39.27	36.795	25.629	10	1.81	270	0.4		
20010901	1910	16.65	37.714	25.844	18.69	2.3	338	0.58		
20010901	2245	17.68	36.331	25.452	19.84	1.3	322	0.03		

20010903	525	58.86	36.541	25.508	7.05	1.45	177	0.31	1.7	7.9
20010903	926	36.97	35.658	25.168	22.09	2.36	330	0.89	0.8	4.9
20010903	1650	8.88	36.673	25.909	9.78	2.04	284	0.44	2.8	5.7
20010903	2030	20.75	36.542	25.526	7.13	1.34	181	0.37	2.4	5.3
20010903	2207	16.22	36.358	25.774	10	2.12	300	2.7		
20010904	1222	47.56	36.187	26.222	5.1	2.34	343	0.16	7.1	5.1
20010904	2242	45.81	36.538	25.475	5.37	1.61	265	0.05		
20010905	1511	51.37	36.497	25.253	4.43	1.53	239	0.09		
20010907	2319	57.51	36.764	26.228	14.94	1.96	344	0.28		
20010908	236	13.9	36.621	25.692	7.19	1.59	240	0.4	2.2	5.3
20010908	2338	34.7	36.858	26.115	10	1.97	337	0.32	5.8	5.5
20010909	2	26.53	36.582	25.581	10	1.05	285	0.3		
20010909	458	3.58	36.559	25.570	10	1.5	279	0.01		
20010910	1101	20.89	36.358	25.774	10	2.46	300	3.74		
20010913	1542	57.31	36.059	26.513	11.96	2.83	346	0.65	4.3	4.5
20010914	548	1.24	36.559	25.547	8.28	1.56	191	0.26	1.5	16.5
20010914	2257	27.28	36.561	26.725	12.98	2.67	337	0.58	3.5	4.7
20010915	242	7.84	36.538	25.564	5.54	1.34	189	0.24	8	12.1
20010915	305	4.1	36.578	25.577	5.3	1.42	272	0.03		
20010915	2230	25.09	37.068	26.419	0.35	2.51	345	0.36	6.9	1.2
20010916	18	44.09	35.865	26.098	6.11	2.05	342	0.38	4.3	9.9
20010916	112	34.19	36.512	25.843	23.28	1.53	265	0.18	8	8.7
20010916	831	32.87	35.996	26.457	5.95	2.14	348	0.09		
20010917	2129	54	36.556	25.861	5.92	1.64	270	0.16	8	10
20010917	2150	6.86	36.358	25.839	28.88	1.76	350	0.4		
20010918	123	9.73	36.522	25.423	11.81	1.38	219	0.11	8.4	3.7
20010918	2059	51.76	36.527	25.470	9.12	1.49	341	0.12		
20010919	48	17.93	36.358	25.754	10	1.5	184	0.63		
DATE	HOUR	SEC	LAT	LON	DEPTH	Md	GAP	RMS	ERH	ERZ
20010919	2104	22.01	36.214	26.939	10	2.76	357	0.36	5.1	5.5
20010920	1004	14.48	36.720	25.863	10	1.79	281	0.33	6.4	7.6
20010923	408	30.96	36.739	25.843	6.85	1.73	281	0.82	12	8.7
20010923	1116	40.26	36.554	25.608	10	1.23	204	0.04		
20010924	1041	31.05	36.607	25.850	7.73	1.61	270	0.37	17.1	8.8
20010924	1041	58.59	36.551	25.759	13.82	1.48	243	0.34		

20010925	47	45.66	36.250	25.686	5.35	1.65	271	0.19	6	5.4
20010925	1120	19.43	36.544	25.774	14.02	1.46	247	0.11		
20010925	1138	46.82	36.617	25.857	9.79	1.84	272	0.4	5.1	3.7
20010925	1338	32.37	36.595	25.825	6.89	1.94	264	0.51	7.7	14.3
20010925	1350	47.36	36.536	25.852	17.49	1.93	268	0.43	8.2	13.5
20010925	1538	8.67	36.459	25.746	7.28	1.54	268	0.21		
20010926	650	29.48	36.621	25.842	10.05	1.87	270	0.52	4.7	3.8
20010927	352	16.56	36.402	25.798	5.42	1.77	257	0.42	14.1	12.4
20010929	1046	18.09	36.558	26.436	14.85	2.21	350	0.48		
20011001	127	13.51	36.568	25.647	10	1.51	271	0.04		
20011001	505	11.34	36.578	25.612	10	1.45	273	0.01		
20011003	44	40.29	36.530	25.772	0.39	1.56	244	0.54	7.9	8.5
20011003	46	34.44	36.536	25.798	8.42	1.54	289	0.46	4.3	8.7
20011003	50	27.8	36.504	25.757	7.61	1.71	236	0.64	9.1	7.6
20011003	59	13.96	36.358	25.813	20.61	1.5	349	0.32	8.1	8.4
20011003	100	54.9	36.534	25.786	7.06	1.48	249	0.53	3.8	7.8
20011003	106	49.34	36.535	25.782	7.06	1.59	248	0.58	4.3	5.9
20011003	109	44.99	36.532	25.764	4.03	1.47	242	0.46	4.7	15
20011003	320	14.95	36.358	25.774	17.33	1.37	300	0.55	8.3	5.9
20011003	1511	0.05	36.358	25.774	20.51	1.25	300	0.45	2.2	5.9
20011003	1530	38.04	36.173	25.643	18.86	1.69	290	0.37		
20011003	1533	42.69	36.756	25.798	7.07	1.56	278	0.12	4.8	13.9
20011003	2258	38.4	36.551	25.634	6.93	1.46	264	0.16	6.7	13.1
20011004	1843	59.46	36.565	26.508	14.92	2.24	351	0.43		
20011004	2334	13.48	36.524	25.970	14.55	1.69	294	0.43	11.5	23
20011006	1845	57.65	36.607	25.744	19.91	1.47	300	0.01		
20011006	2145	26.08	37.027	25.412	10	2.13	318	1.59		
20011006	2212	17.27	37.001	26.000	10	2.32	337	0		
20011006	2215	50.6	37.045	25.701	5.95	2.16	309	0.78		
20011007	2248	25.87	36.612	25.776	7.09	1.25	296	0.11	3.9	7.3
20011008	1509	12.92	36.290	26.531	5.17	2.17	359	0.88		
20011008	2146	57.09	36.533	25.698	9.04	1.13	279	0.33	8	6.8
20011013	1543	36.74	36.512	25.603	18.37	1.48	190	0.82	9.5	9.7
20011014	442	28.66	36.531	25.867	6.56	1.71	272	0.54	3.5	9.3
20011015	28	7.43	36.568	25.664	13.57	1.26	221	0.19	4.3	6.7

20011015	1229	10.91	36.163	26.805	10	2.58	358	0.8	4.3	9.9
20011016	1431	15.83	36.568	25.704	8.51	1.38	278	0.47	6.4	4.3
20011020	1341	25.94	36.498	25.732	11.37	1.48	287	0.57		
20011021	141	54.59	36.235	26.625	10	2.6	344	0.36	8.3	9.9
20011021	241	27.86	36.527	26.080	8.21	1.63	309	0.39	2.6	3.5
20011021	2203	11.34	36.403	26.108	36.66	2.37	350	0.3	3	0.9
20011022	34	7.13	35.738	25.955	20.27	2.05	340	0.15		
20011023	317	43.68	36.493	25.663	7.04	1.23	259	0.28	6.3	3.9
DATE	HOUR	SEC	LAT	LON	DEPTH	Md	GAP	RMS	ERH	ERZ
20011023	737	36.54	36.358	26.050	11.62	1.75	354	0.76	9.8	17.3
20011028	126	54.37	36.071	25.620	14.6	1.72	309	0.39	8.9	10.7
20011028	301	29.92	36.372	25.461	16.82	1.51	273	0.2		
20011028	303	40.85	36.167	25.684	5.25	1.7	296	0.81	9.4	5.9
20011028	557	2.58	36.553	25.774	18.96	1.55	296	0.49		
20011031	241	19.03	36.332	25.929	26.85	1.28	329	0		
20011031	1336	49.36	36.173	26.156	7.03	1.9	350	2.96		
20011031	1404	51.45	36.445	26.107	2.03	2.07	346	2.82	2.1	8.6
20011101	614	30.85	36.534	25.699	10.23	1.32	292	0.36		
20011101	1955	15.85	36.532	25.722	8.19	1.69	282	0.58	4.3	5.8
20011102	114	24.37	36.507	25.914	42.19	1.47	321	0.02		
20011102	217	13.83	36.271	25.741	25.52	1.27	277	0.26	5.8	6.9
20011102	529	52.8	36.358	25.995	42.76	2.23	354	0.42		
20011102	1114	29.7	36.145	26.507	5.28	2.5	355	1.44	4.3	9.9
20011104	1142	27.24	36.306	26.087	0.5	1.58	359	0.55		
20011104	1150	9.66	36.445	26.073	0.74	1.54	344	1.18		
20011104	1151	11.01	36.394	26.152	7	1.63	352	1.24		
20011104	1207	8.35	36.347	26.070	1.43	1.66	356	0.89		
20011104	1213	49.46	36.228	26.060	6.45	1.75	350	1.3		
20011104	1223	1.99	36.292	26.087	0.68	1.71	357	0.89		
20011104	1401	33.55	36.324	26.097	6.18	1.64	359	1.09		
20011104	1448	27.45	36.242	26.092	6.11	1.61	353	1.03		
20011104	1452	35.49	36.187	26.095	7.12	1.66	348	1.24		
20011104	1603	45.07	36.314	26.095	7.02	1.83	360	1.08		
20011104	1940	1.75	36.355	26.075	0.58	1.81	355	1.02		
20011105	1640	8.97	36.483	25.697	6.14	1.32	262	0.45		

4. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΕΙΣΜΩΝ ΠΟΥ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΚΑΝ ΚΑΤΑ ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΟΥ 2003

DATE	HOUR	SEC	LAT	LON	DEPTH	Md	GAP	RMS	ERH	ERZ
30/03/2003	336	33.22	36.183	25.018	10.0	2.28	347	0.67	5.7	4.2
30/03/2003	1556	31.76	36.517	25.503	11.2	1.16	329	0.04	1.3	1.4
30/03/2003	1556	40.96	36.506	25.509	7.9	1.45	328	0.12	2.4	4.1
30/03/2003	1557	53.25	36.523	25.504	3.4	1.31	330	0.09	2	3.6
30/03/2003	1607	15.35	36.549	25.524	15.6	2.05	329	0.07	1.7	2.1
31/03/2003	232	22.19	36.501	25.470	10.6	1.68	317	0.11	1.7	1.7
31/03/2003	305	31.43	36.500	25.476	11.4	1.65	319	0.1	1.9	1.7
31/03/2003	1148	39.06	36.467	25.834	10.0	2.00	354	0		
01/04/2003	1606	27.98	35.823	25.748	12.9	2.46	358	0.27	15.3	4
02/04/2003	234	24.49	36.347	25.256	22.1	1.68	326	0.08	11.1	9.5
06/04/2003	324	26.73	36.556	25.636	17.7	1.82	344	0.01	0.8	1.2
07/04/2003	357	31.29	36.514	25.502	13.4	1.64	325	0.01	0.4	0.4
07/04/2003	357	53.51	36.465	25.470	10.0	1.96	306	0.14		
08/04/2003	2142	58.05	36.460	25.475	14.4	1.60	307	0.04	1.8	1
10/04/2003	106	37.99	36.516	25.435	18.2	1.55	317	0.07	2.9	2.1
10/04/2003	2105	42.84	36.310	25.387	8.6	1.61	317	0.15	13.5	18.9
10/04/2003	2119	4.11	36.472	25.481	14.8	1.91	312	0.04	1.4	1
11/04/2003	252	47.53	36.488	25.477	12.7	1.61	315	0.05	1.4	1.2
14/04/2003	1836	9.52	36.498	25.507	15.9	1.89	323	0.05	2.5	2
16/04/2003	128	8.82	36.521	25.457	9.0	1.57	320	0.08	3.9	5.4
16/04/2003	2353	18.94	36.476	25.486	9.3	1.60	314	0		
17/04/2003	1216	16.91	36.437	25.471	16.5	1.35	301	0.06	2.7	1.2
17/04/2003	1216	31.02	36.491	25.494	13.7	2.11	319	0.01	0.3	0.3
17/04/2003	1953	1.51	36.474	25.487	12.0	1.89	314	0.01	0.3	0.3
18/04/2003	940	28.35	36.498	25.470	10.8	1.36	316	0.03	1.3	1.5
18/04/2003	1839	32.63	36.512	25.494	13.1	2.53	323	0.01	0.7	0.7
18/04/2003	1855	42.83	36.413	25.457	14.6	1.76	282	0.18	6.4	2.2
18/04/2003	2140	30.49	36.423	25.432	10.0	1.90	256	6.83	8.1	4.6
18/04/2003	2203	31.06	36.496	25.487	14.5	2.09	319	0.01	0.5	0.4
18/04/2003	2204	11.07	36.510	25.539	2.0	1.83	330	0.25	4.6	4.7
18/04/2003	2207	35.53	36.492	25.545	11.6	1.77	330	0.04	2.4	3
18/04/2003	2217	53.66	36.506	25.496	13.8	2.30	322	0.04	1.8	1.8
18/04/2003	2226	22.49	36.463	25.475	13.9	2.03	308	0	0.2	0.1

19/04/2003	727	45.73	36.532	25.515	8.6	1.87	329	0.04	1.3	3.3
21/04/2003	2321	31.92	36.423	25.432	10.0	1.79	300	0.21		
21/04/2003	2322	18.63	36.484	25.494	9.7	1.89	318	0.03	0.8	1
24/04/2003	1018	43.17	36.389	26.241	10.0	3.04	356	0.34	3.4	0.9
01/05/2003	2220	32.92	36.418	25.606	12.0	1.68	333	0.13	5.3	7.1
02/05/2003	1523	52.42	36.542	25.494	10.8	1.54	336	0.06	1.8	2.5
04/05/2003	1702	6.48	36.529	25.519	7.4	2.08	335	0.04	0.8	3.9
04/05/2003	1958	19.44	36.481	25.488	15.6	1.60	304	0.04	1.5	1
04/05/2003	1959	39.19	36.441	25.615	2.4	1.61	354	0.46		
04/05/2003	2003	18.12	36.490	25.459	14.3	1.71	311	0.09	3.9	2.6
04/05/2003	2008	15.96	36.498	25.450	16.1	1.86	311	0.13	6.9	3.3
04/05/2003	2341	5	36.516	25.528	5.9	1.87	323	0.05	1.2	3.8
04/05/2003	2342	41.56	36.497	25.490	15.5	2.38	311	0.03	1	0.8
DATE	HOUR	SEC	LAT	LON	DEPTH	Md	GAP	RMS	ERH	ERZ
04/05/2003	2346	55.99	36.504	25.461	12.8	1.56	310	0.16	6.6	5.4
05/05/2003	24	47.18	36.468	25.420	18.3	1.60	262	0.17	7.4	1.9
05/05/2003	33	1.99	36.504	25.500	11.1	1.95	315	0.06	1.3	1.4
05/05/2003	155	25.25	36.491	25.439	13.0	1.58	299	0.02	1	0.6
05/05/2003	1501	24.23	36.504	25.488	13.6	1.81	313	0.04	1.4	1.2
07/05/2003	1322	16.53	36.543	25.513	12.9	2.52	327	0.04	0.9	1.3
07/05/2003	2106	8.88	36.489	25.467	13.1	2.15	301	0.03	1.2	0.8
09/05/2003	1054	20.07	36.428	25.562	8.7	1.36	333	0.05	2.6	4.1
10/05/2003	1646	14.73	36.467	25.479	10.0	1.26	359	0.06		
14/05/2003	1947	48.32	36.549	25.870	31.1	2.38	347	0.27	10.1	5.2
16/05/2003	238	1.86	36.531	25.647	27.3	2.12	337	0.12	5.1	4.5
17/05/2003	318	28.72	36.503	25.496	9.3	1.31	327	0.04	1.1	1.8
18/05/2003	1744	47.03	36.501	25.500	15.2	1.72	325	0.13	3.1	2.4
19/05/2003	317	44.24	36.513	25.516	11.7	1.27	330	0.2	8.5	10.3
20/05/2003	2126	38.75	36.516	25.526	11.4	2.63	322	0.05	0.8	1.2
23/05/2003	907	0.79	36.508	25.500	9.1	1.43	326	0.12	2	2.7
24/05/2003	942	4.38	36.473	25.502	11.6	1.50	321	0.23	5.2	4.1
25/05/2003	53	22.13	36.537	25.537	4.9	1.50	328	0.15	2.2	9.9
25/05/2003	59	17.79	36.519	25.502	9.5	1.93	321	0.13	1.9	3.1
25/05/2003	108	38.74	36.509	25.501	9.6	1.50	317	0.23	3.2	4.7
25/05/2003	145	13.58	36.503	25.485	11.1	1.48	313	0.13	1.9	2.1

25/05/2003	253	25.97	36.428	25.437	24.2	1.35	308	0.05		
26/05/2003	824	3.7	36.636	25.351	10.0	1.99	358	0.04		
27/05/2003	640	44.35	36.323	26.074	10.0	2.60	354	1.64		
28/05/2003	1107	33.09	36.424	25.316	19.0	1.96	317	0.1		
31/05/2003	2011	47.05	36.493	25.497	16.1	1.36	323	0.08	1.8	1.3
31/05/2003	2038	58.14	36.468	25.195	7.6	1.32	339	0.08		
01/06/2003	939	4.96	36.510	25.502	10.5	1.16	318	0.09	5.3	5.9
02/06/2003	309	23.31	36.381	25.678	7.1	1.46	346	0.68	3.3	9.9
02/06/2003	422	55.48	36.710	25.454	14.0	2.00	356	0.04	2.7	3.7
02/06/2003	1921	20.74	36.373	25.644	11.2	1.73	354	0.08		
05/06/2003	245	59.01	36.522	25.520	2.6	1.52	323	0.13	2.4	3.9
07/06/2003	117	8.47	36.543	25.734	7.6	2.51	344	0.15	2.7	6.3
08/06/2003	538	22.92	36.508	25.530	13.9	1.51	328	0.2	5.8	6.7
08/06/2003	1717	50.71	36.461	25.503	15.3	1.40	317	0.12	2.9	2.2
09/06/2003	1325	48.31	36.518	25.540	5.8	1.71	330	0.17	3.6	11.6
10/06/2003	2242	2.8	36.500	25.432	17.0	1.86	349	0.04	2.4	0.9
11/06/2003	1340	29.39	36.520	25.496	10.9	1.87	326	0.04	1	1.5
13/06/2003	1042	5.16	36.540	25.599	4.9	1.69	345	0.22	9	5.9
14/06/2003	4	29.89	36.529	25.508	13.5	1.45	350	0.12	8.3	5.5
14/06/2003	1233	3.17	36.401	25.406	10.0	1.85	277	1.38		
15/06/2003	110	31.09	36.401	25.406	41.6	1.81	110	0.96	1.9	6
17/06/2003	1627	26.55	36.488	25.497	12.5	3.17	320	0.05	1.1	1.2
17/06/2003	1632	29.22	36.414	25.467	19.5	1.67	333	0.07		
17/06/2003	1637	13.32	36.496	25.491	10.7	2.14	320	0.04	1	1.2
17/06/2003	1658	43.77	36.356	25.399	19.7	1.45	324	0.05		
22/06/2003	1449	34.79	36.496	25.505	12.4	1.87	335	0.05	2.1	2.2
23/06/2003	1657	51.66	36.534	25.539	6.6	1.27	341	0.03	8.8	3.6
23/06/2003	2153	28.37	36.525	25.554	4.4	1.22	341	0.06	2.9	1.1
DATE	HOUR	SEC	LAT	LON	DEPTH	Md	GAP	RMS	ERH	ERZ
23/06/2003	2254	17.6	36.508	25.518	12.2	1.82	337	0.07	3.6	4.2
24/06/2003	210	47.24	36.486	25.534	12.7	1.68	333	0.05	2.6	2.8
24/06/2003	221	48.84	36.502	25.524	12.8	1.95	337	0.08	3.6	4.3
24/06/2003	245	16.16	36.519	25.498	13.7	1.33	338	0.02	0.9	0.9
24/06/2003	255	52.02	36.485	25.525	14.4	1.04	333	0.05	3.8	3.7
24/06/2003	314	1.84	36.502	25.482	12.9	1.36	335	0.02	0.8	0.7

24/06/2003	643	11.44	36.558	25.518	7.0	1.90	343	0.03	2	5.9
24/06/2003	648	49.5	36.491	25.489	14.7	3.99	333	0.06	3	2.3
24/06/2003	823	46.2	36.464	25.460	17.1	1.91	323	0.02	1.1	0.5
24/06/2003	825	51.24	36.507	25.599	4.3	1.37	340	0.21	6.9	5.7
24/06/2003	842	36.7	36.487	25.483	15.6	3.02	332	0.03	1.8	1.2
24/06/2003	908	38.06	36.516	25.526	11.9	1.27	339	0.02	1.1	1.4
24/06/2003	909	24.22	36.385	25.416	22.3	1.14	217	0.04		
24/06/2003	922	39.19	36.379	25.415	21.7	1.30	235	0.01		
24/06/2003	936	4.64	36.375	25.432	21.4	1.25	214	0.06		
24/06/2003	952	39.34	36.352	25.399	22.7	1.67	293	0.06		
24/06/2003	1005	56.46	36.237	25.432	4.0	1.60	341	7.52	7.2	9.9
24/06/2003	1133	42.7	36.474	25.443	14.8	1.43	328	0.07	2.9	1.4
24/06/2003	1206	5.43	36.492	25.498	15.1	2.11	333	0.05	2.4	1.8
24/06/2003	1207	11.84	36.502	25.530	12.8	1.68	337	0.07	3.5	4.2
24/06/2003	1213	27.16	36.359	25.407	19.5	1.14	279	0.01		
24/06/2003	1326	1.91	36.463	25.470	16.8	1.65	323	0.05	2.5	1.2
24/06/2003	1447	56.41	36.479	25.491	14.6	1.41	330	0.04	2	1.5
24/06/2003	1522	39.01	36.503	25.515	12.7	1.49	336	0.05	2.5	3.1
24/06/2003	1951	47.45	36.478	25.464	16.3	1.82	328	0.05	2.4	1.3
25/06/2003	334	3.07	36.391	25.377	19.4	1.39	321	0.01		
25/06/2003	1059	13.44	36.478	25.474	17.8	1.49	329	0.04	2.3	1.3
25/06/2003	1126	44.56	36.498	25.503	13.9	1.65	335	0.05	2.7	2.5
25/06/2003	1145	31.25	36.395	25.421	20.7	1.46	198	0.01		
25/06/2003	1147	33.15	36.394	25.415	20.1	1.46	185	0.01		
25/06/2003	1152	24.62	36.501	25.508	14.5	1.67	336	0.02	1.6	1.4
25/06/2003	2356	53.67	36.461	25.468	16.2	1.35	322	0.04	2.1	1
27/06/2003	851	24.51	36.476	25.475	12.0	1.66	328	0.04	1.5	1.1
29/06/2003	801	35.56	36.488	25.504	12.8	1.51	333	0.01	0.6	0.6
29/06/2003	1035	2.96	36.403	25.414	20.7	1.52	242	0.01		
01/07/2003	307	10.94	36.470	25.442	18.1	1.40	327	0.05	2.7	1.1
03/07/2003	1228	55.25	36.453	25.489	15.9	1.47	317	0.04	3.8	1.6
04/07/2003	249	42.59	36.493	25.483	11.8	1.30	333	0.07	3	2.7
06/07/2003	520	53.15	36.520	25.520	12.4	1.27	339	0.02	1.1	1.6
07/07/2003	1144	34.47	36.477	25.512	15.4	1.96	330	0.04	1.8	1.4
07/07/2003	1153	57.86	36.500	25.524	12.3	1.32	336	0	0.2	0.2

07/07/2003	1658	17.63	36.482	25.509	15.5	1.50	331	0	0.2	0.2
12/07/2003	342	14.92	36.475	25.700	22.8	2.36	345	0.01	1.1	1.2
12/07/2003	343	18.28	36.498	25.744	16.6	1.78	347	0.06	1.8	3.5
12/07/2003	407	46.13	36.541	25.710	10.9	1.59	347	0.12	1.3	4.9
13/07/2003	218	31.54	36.502	25.376	18.3	1.46	344	0.03	3.6	1
13/07/2003	931	9.26	36.500	25.542	9.3	1.36	337	0.08	3	5.8
13/07/2003	1913	12.92	36.467	25.536	12.5	1.26	329	0.08	2.8	2.9
16/07/2003	1456	57.19	36.507	25.736	15.5	1.81	347	0.08	2.6	5.8
DATE	HOUR	SEC	LAT	LON	DEPTH	Md	GAP	RMS	ERH	ERZ
21/07/2003	914	43.36	36.466	25.432	16.6	1.82	344	0.03		
03/08/2003	1157	54.66	36.444	25.442	16.9	1.60	324	0.11		
08/08/2003	2132	20.21	36.486	25.432	16.7	2.09	346	0.03		
08/08/2003	2140	37.54	36.423	25.297	13.1	1.35	339	0.03		
08/08/2003	2235	43.12	36.460	25.432	15.9	1.47	342	0.06		
14/08/2003	2345	8.04	36.465	25.400	13.8	1.39	359	0.02		
15/08/2003	1731	3.93	36.476	25.435	17.4	1.47	344	0		
16/08/2003	17	29.52	36.362	25.557	32.5	1.70	335	0.22		
19/08/2003	912	29.2	36.423	25.377	14.4	1.19	324	0.06		
19/08/2003	2347	9.12	36.453	25.432	18.1	1.26	341	0.04		
23/08/2003	522	54.72	36.470	25.510	10.0	1.21	327	0.05		
24/08/2003	1953	16.77	36.431	25.318	13.6	1.16	338	0.07		
24/08/2003	2317	41.82	36.483	25.432	16.4	1.41	346	0.03		
25/08/2003	539	46.57	36.509	25.488	10.0	1.04	340	0		
27/08/2003	1756	52.24	36.417	25.238	32.9	2.47	344	0.01		
29/08/2003	135	6.37	36.427	25.320	13.4	1.53	337	0.06		
30/08/2003	2311	51.5	36.484	25.566	10.0	1.74	335	0		
30/08/2003	2312	43.88	36.423	25.370	16.6	1.41	326	0.02		

ΜΕΡΟΣ 4^ο :**ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΕΚΥΨΑΝ****ΑΠΟ ΤΙΣ ΚΟΙΝΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ 2001****ΚΑΙ 2003 ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΩΝ****ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ****ΕΞΑΓΩΓΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ****ΠΡΟΤΑΣΕΩΝ**

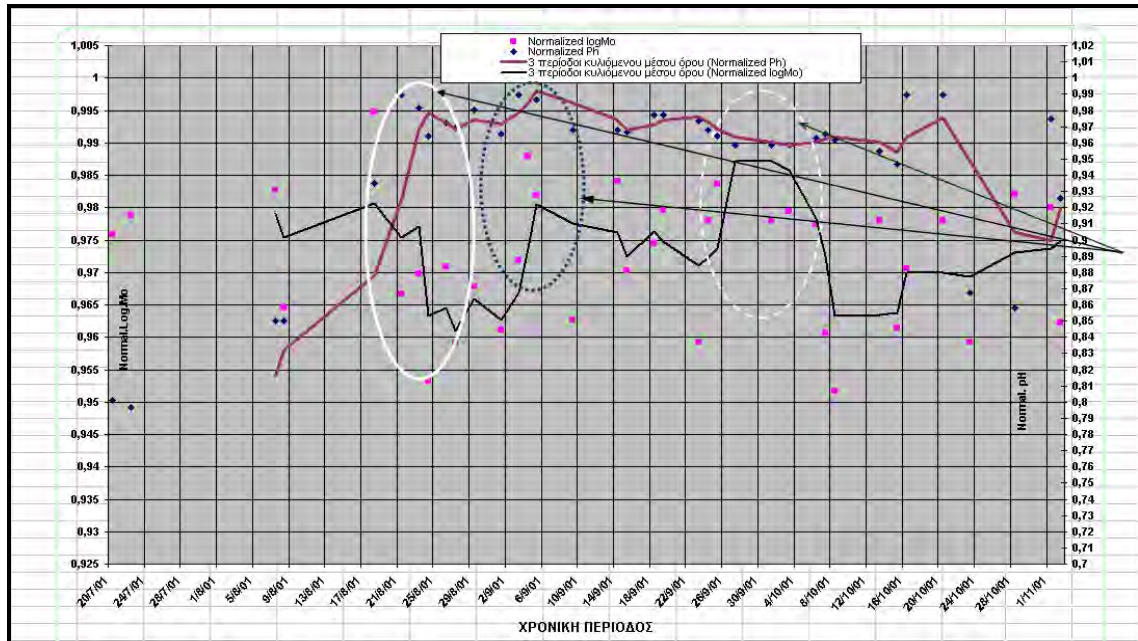
Ο συσχετισμός των αποτελεσμάτων των μεταβολών των σεισμικών μετρήσεων με τα αποτελέσματα των μεταβολών των φυσικοχημικών μετρήσεων των υδροθερμικών -- ρευστών, του θαλασσινού νερού, των αερίων, των ατμίδων κλπ. στις χρονικές περιόδους των κοινών μετρήσεων το 2001 και το 2003, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις στους μόνιμους σταθμούς παρακολούθησης του Αγ.Νικολάου στην Π.Καμένη και των σταθμών του ΙΜΠΗΣ και η εξαγωγή συμπερασμάτων που θα οδηγήσουν στον συσχετισμό της σεισμικής με την ηφαιστειακή δράση και κατά συνέπεια ο εντοπισμός παραμέτρων πρόβλεψης σεισμικής δράσης εξ' αιτίας συνδυασμένης ηφαιστειακής --υδροθερμικής και τεκτονικής δράσης είναι ο βασικός στόχος της μελέτης αυτής. Παρακάτω παραθέτουμε και σχολιάζουμε τις συγκρίσεις και τα προκύπτοντα συμπεράσματα, ενώ γίνεται και μια σειρά προτάσεων βασισμένη στα συμπεράσματα αυτά.

1. ΕΤΟΣ 2001

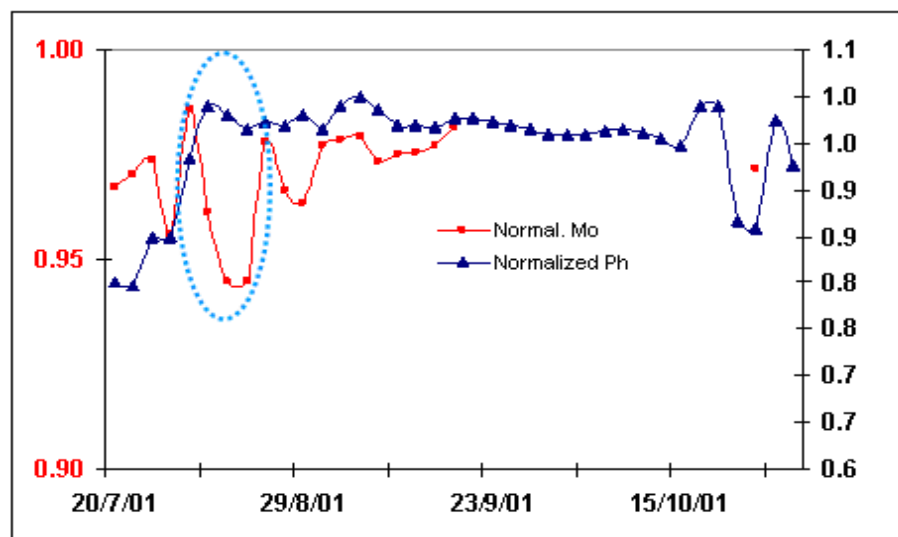
➤ *Σχέση μεταβολών σεισμικής δραστηριότητας και μεταβολών pH*

Φαίνεται ότι υπάρχει κάποιος συσχετισμός μεταξύ των μεταβολών της σεισμικότητας -- και των μεταβολών του pH κατά την περίοδο 20/7-2/11/2001. Συγκεκριμένα, η μείωση της σεισμικότητας -- έπεται ελάχιστα της αύξησης του pH και αντιστρόφως.(Σχ.1α) Η αντίστροφη μεταβολή pH και σεισμικής δραστηριότητας είναι ιδιαίτερα εμφανής όταν μελετάμε την τοπική σεισμική δραστηριότητα της περιοχής(Καλδέρας- Παλαιάς και Νέας Καμένης). (Σχ.1β). Η τάση αυτή, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι από το (Σχ.1γ) (βλέπε παρακάτω) φαίνεται να υπάρχει θετικός συσχετισμός της αύξησης της σεισμικότητας με την

αύξηση ροής CO₂ στα υδροθερμικά ρευστά εξηγεί το- συσχετισμό pH και σεισμικής ροπής, αφού η αυξημένη παρουσία του CO₂ και άλλων μαγματικών αερίων στα ρευστά προκαλεί μείωση του pH.



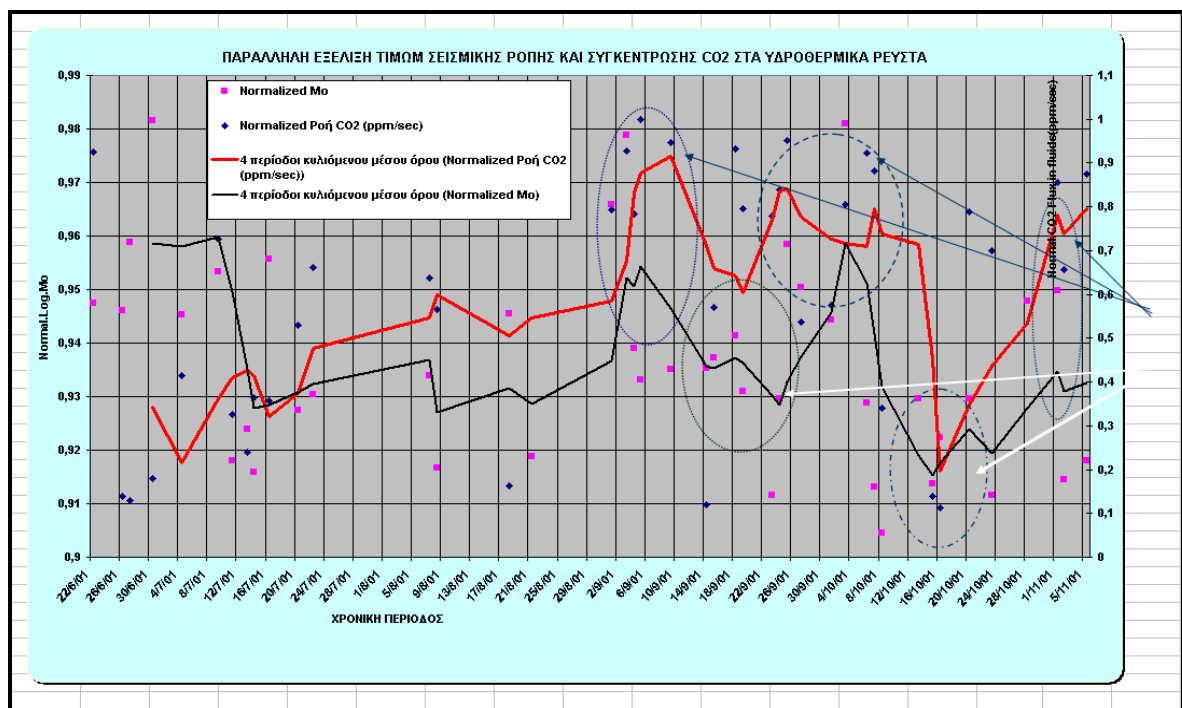
Σχ.1α Σχέση σεισμικής δραστηριότητας και pH μεταξύ 20/7-2/11/2001



Σχ.1β. Σχέση μεταξύ τοπικής σεισμικής δραστηριότητας (25.3°-25.6°, 36.3°-36.65°) και pH. Για την περίοδο που δεν υπάρχει τοπική δραστηριότητα μετά τις 18/9/2001, το pH σταθεροποιείται μέχρι τις 15/10. Η μετέπειτα αυξομείωση του pH δεν μπορεί εύκολα να συσχετισθεί με την δραστηριότητα της 28/10.

- Σχέση μεταβολών σεισμικής δραστηριότητας και μεταβολών ροής CO₂ στο μίγμα θαλασσινού νερού και θερμών υδροθερμικών ρευστών

Υπάρχει συσχετισμός. Ιδιαίτερα κατά την περίοδο αυξημένης σεισμικής δράσης παρατηρείται και αύξηση της ροής του CO₂ στον ενεργό υδροθερμικά χώρο. Ιδιαίτερα έντονο είναι το φαινόμενο κατά την περίοδο 3-5/9/01, 2-3/10/01 και 29/10-2/11/01. Παράλληλα, στην περίοδο μεγάλης ελάττωσης της σεισμικής δραστηριότητας (μείωση σεισμικής ροπής) παρατηρείται και η σημαντικότερη μείωση της ροής CO₂ (περίοδος 14-26/9 και ιδιαίτερα 8-22/10) (Σχ.1γ). Άξιο λόγου είναι και το γεγονός ότι οι μεταβολές της ροής CO₂ προηγούνται ελαφρώς των μεταβολών της σεισμικής δραστηριότητας.



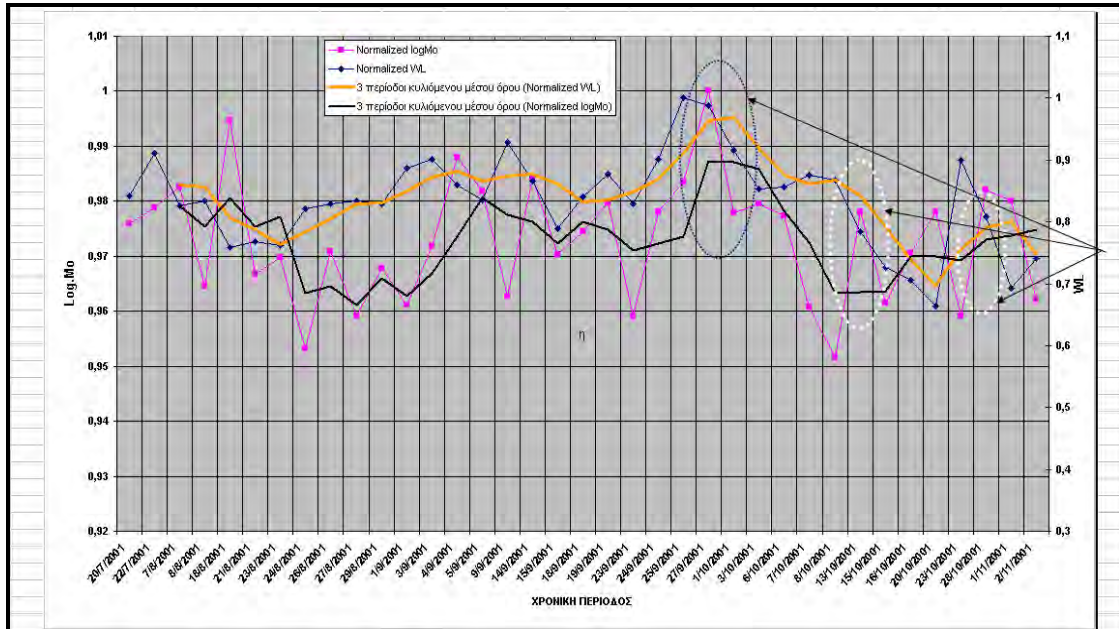
Σχ.1γ. Σχέση σεισμικής δραστηριότητας και ροής CO₂ στο θερμό μίγμα θαλασσινού νερού-υδροθερμικού ρευστού

- Σχέση μεταβολών σεισμικής δραστηριότητας και μεταβολών της στάθμης του θαλασσινού νερού

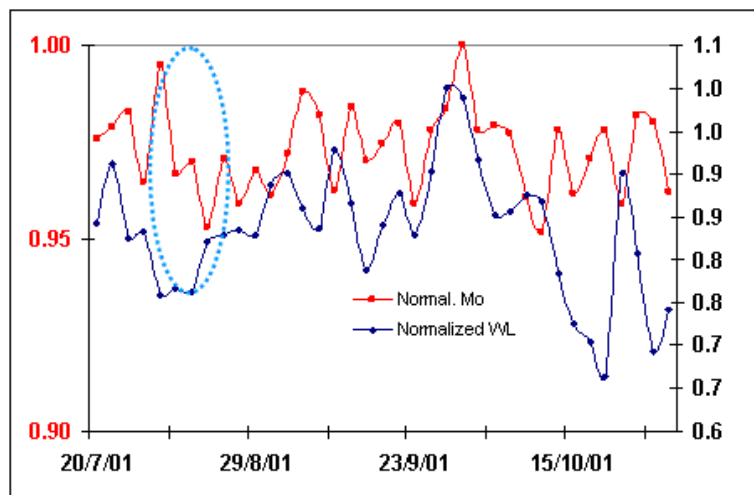
Παρατηρείται θετικός συσχετισμός μεταξύ των μεταβολών της σεισμικής ροπής και των μεταβολών της στάθμης της θάλασσας, ιδιαίτερα κατά την περίοδο εκδήλωσης της σηνοσειράς μικροσεισμών από 25-27/9 και την περίοδο σημαντικής μείωσης της σεισμικής δραστηριότητας μεταξύ 6-15/10, καθώς και την περίοδο 23/10-1/11 οπότε παρατηρείται νέα μικρή αύξηση της σεισμικής δραστηριότητας (Σχ.1δ). Η τάση αυτή είναι ιδιαίτερα εμφανής όταν μελετήσουμε την πολύ τοπική σεισμική δραστηριότητα της περιοχής (Καλδέρα- Παλαιά και Νέα Καμένη) (Σχ.1ε). Πέραν αυτού, οι μεταβολές της στάθμης της θάλασσας υπόκειται και σε μετεωρολογικές-εποχιακές μεταβολές, κάνοντας δύσκολο ένα ακριβέστερο συσχετισμό με τη- σεισμική δραστηριότητα.

Η τάση αυτή είναι ιδιαίτερα εμφανής όταν μελετήσουμε την τοπική σεισμική

δραστηριότητα της περιοχής- (Καλδέρα- Παλαιά και Νέα Καμένη). (Σχ.1ε).



Σχ.1δ. Η σχέση μεταβολών σεισμικής δραστηριότητας(μεταβολές σεισμικής ροπής) και μεταβολών της στάθμης της θάλασσας εμφανίζουν έστω και ασθενή θετικό συσχετισμό.

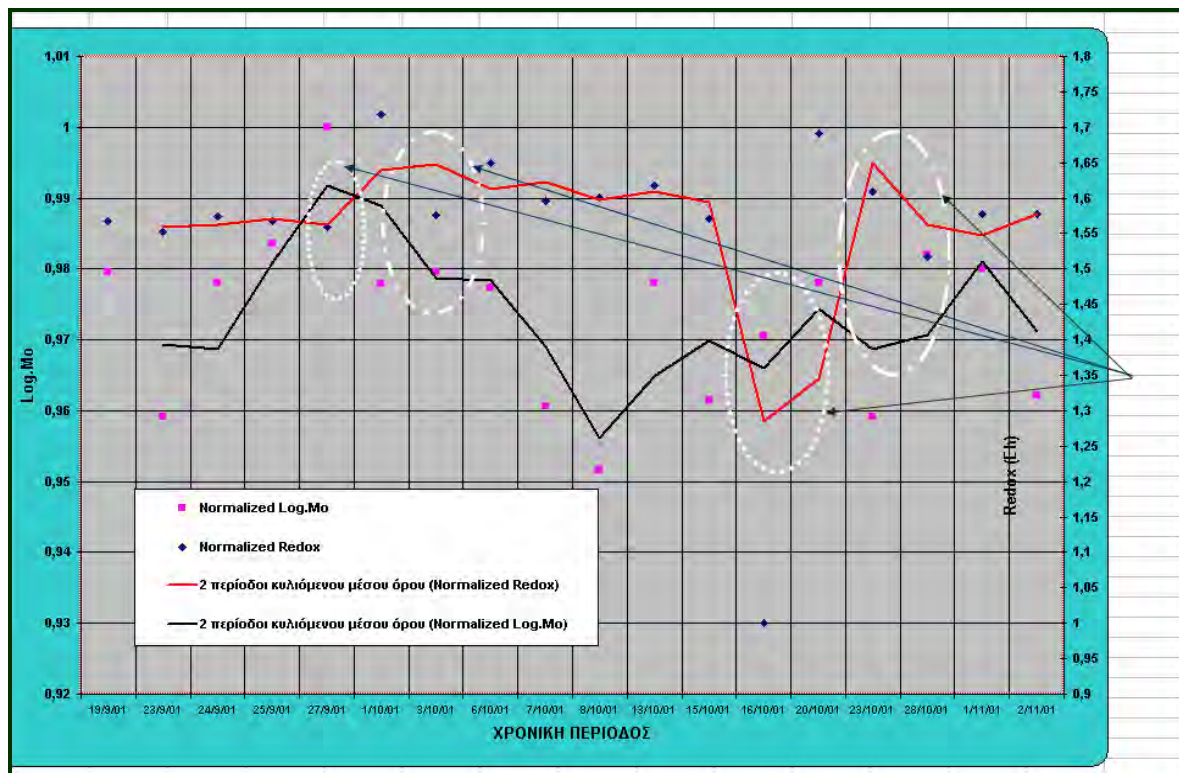


Σχ. 1ε. Η τάση ελάττωσης της στάθμης νερού η οποία φαίνεται ότι ακολουθεί τη σεισμική δραστηριότητα φαίνεται καλύτερα σε τοπικό επίπεδο. Είναι πολύ πιθανό με διόρθωση των τιμών ως προς τις μετεωρολογικές παρεμβολές να φανεί καλύτερα η σχέση.

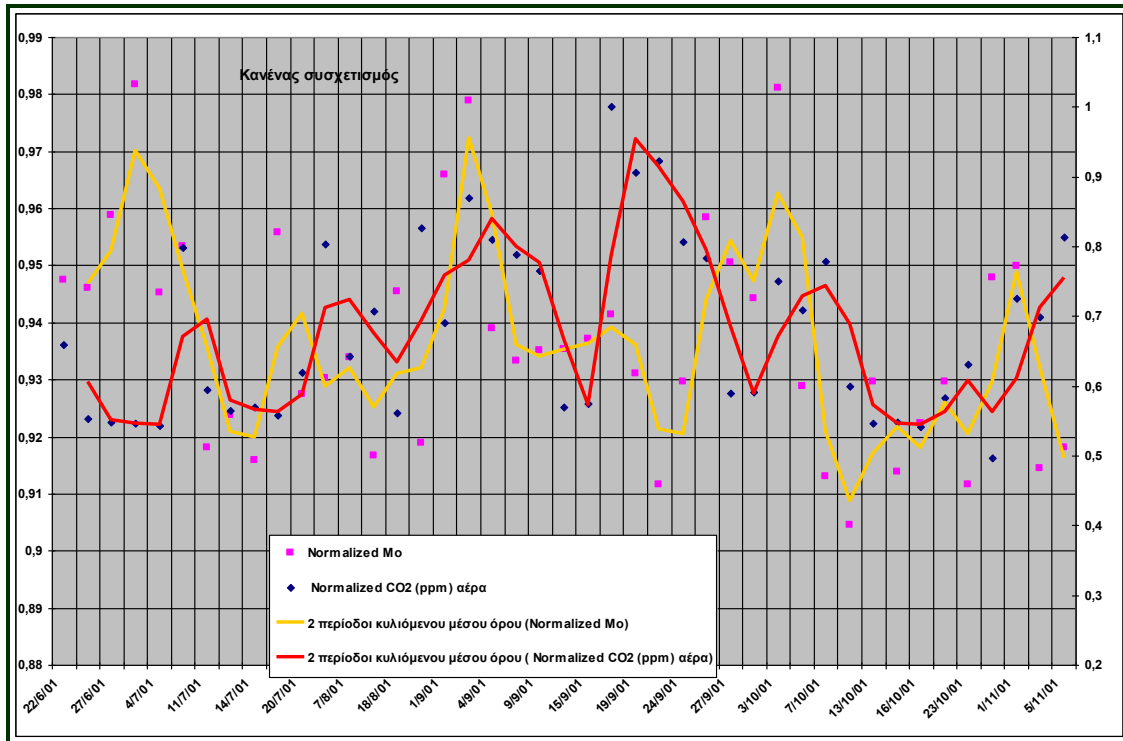
- Σχέση μεταβολών σεισμικής δραστηριότητας και μεταβολών του δυναμικού οξειδοαναγωγής (E_h)

Παρά το γεγονός ότι η χρονική περίοδος μέτρησης του E_h ήταν μικρή λόγω βλάβης του σχετικού αισθητήρα, φαίνεται να υπάρχει σαφής συσχετισμός μεταξύ των μεταβολών της σεισμικής ροπής και των μεταβολών του δυναμικού οξειδοαναγωγής

(Eh) κατά την περίοδο 19/9-2/11/2001. Συγκεκριμένα κατά τις περιόδους αύξησης της σεισμικής δραστηριότητας παρατηρείται μείωση του Eh και αντιστρόφως (Σχ. 1στ.) Η τάση αυτή είναι σε συμφωνία και με την παρόμοια τάση που δείχνει το pH σε σχέση με την σεισμικότητα και την παράλληλη αύξηση της ροής του CO₂ στα θερμά ρευστά με την αύξηση της σεισμικής δραστηριότητας. Η αύξηση της ροής του CO₂ και άλλων αερίων στα υδροθερμικά συστατικά των θερμών νερών δημιουργεί όχι μόνο πιο όξινο περιβάλλον (μείωση του pH) αλλά και αναγωγικές συνθήκες, γεγονός που οδηγεί στη μείωση του δυναμικού οξειδοαναγωγής (Eh). Αντίθετα, δεν έχει παρατηρηθεί κανείς συσχετισμός μεταξύ των μεταβολών της σεισμικής δραστηριότητας και των μεταβολών συγκέντρωσης CO₂ στον ατμοσφαιρικό αέρα (Σχ. 1ζ.).

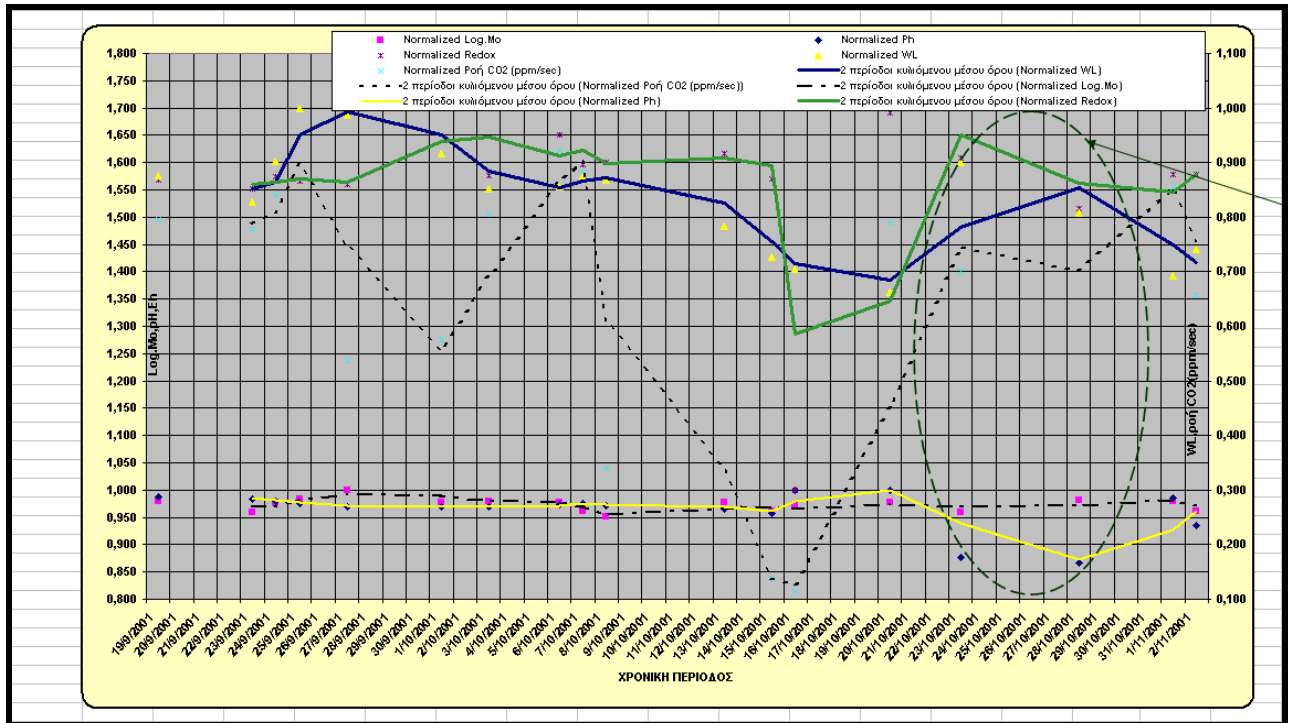


Σχ.1στ. Παράλληλες μεταβολές της σεισμικής δραστηριότητας (σεισμικής ροπής) και του δυναμικού οξειδοαναγωγής(Eh) κατά την διάρκεια της χρονικής περιόδου των κοινών μετρήσεων

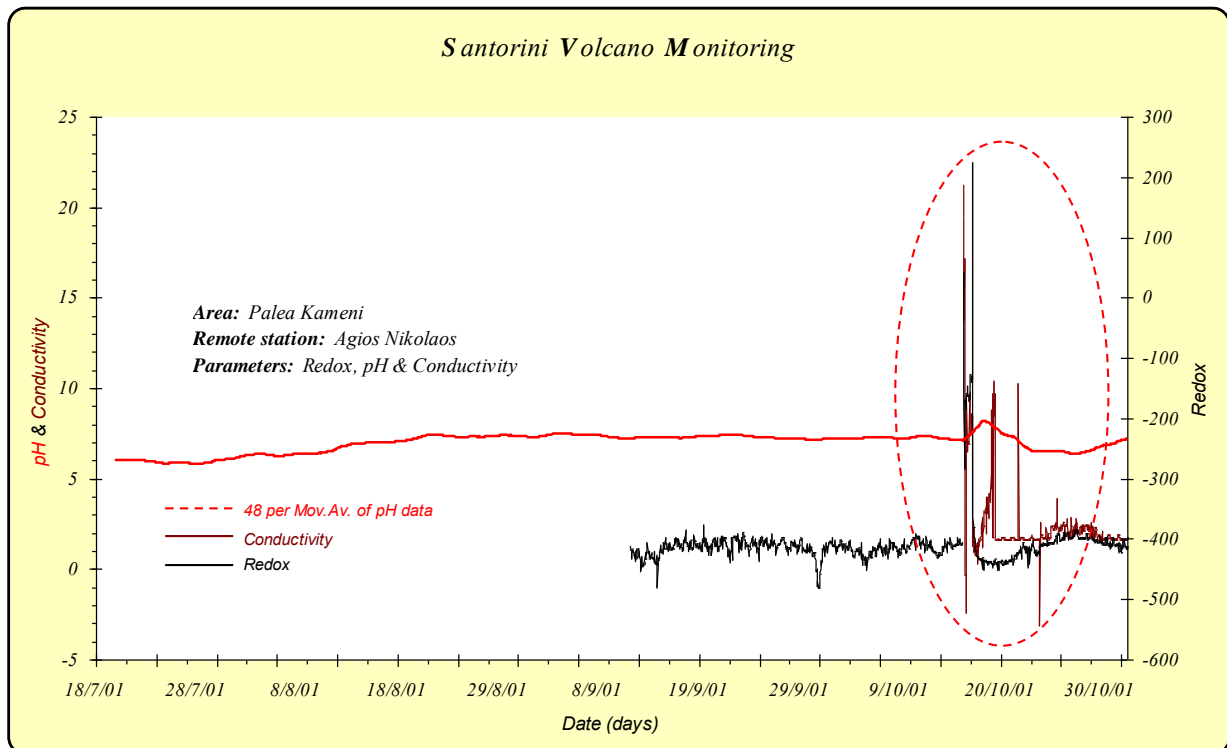


Σχ.1ζ. Μεταβολές σεισμικής δραστηριότητας (σεισμικής ροπής) και συγκέντρωσης CO₂ στον ατμοσφαιρικό αέρα στη χρονική διάρκεια των κοινών μετρήσεων κατά το 2001

Από τα σχήματα φαίνεται ότι κατά το χρονικό διάστημα 20/10-30/10/2001 υπάρχουν σημαντικές μεταβολές στο Eh (μείωση), του pH (μείωση), που συνδυάζεται με σημαντική αύξηση της ροής του CO₂ στα υδροθερμικά ρευστά, και αύξηση της αγωγιμότητας (Σχήματα 1η.και 1θ.). Στην περίοδο αυτή έχουμε και μια μικρή αύξηση της σεισμικότητας δραστηριότητας(Σχήμα 1γ.).



Σχήμα 1^η Απεικόνιση των μεταβολών βασικών φυσικοχημικών δεδομένων και της σεισμικής δραστηριότητας στην διάρκεια των κοινών μετρήσεων στην περίοδο Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου 2001

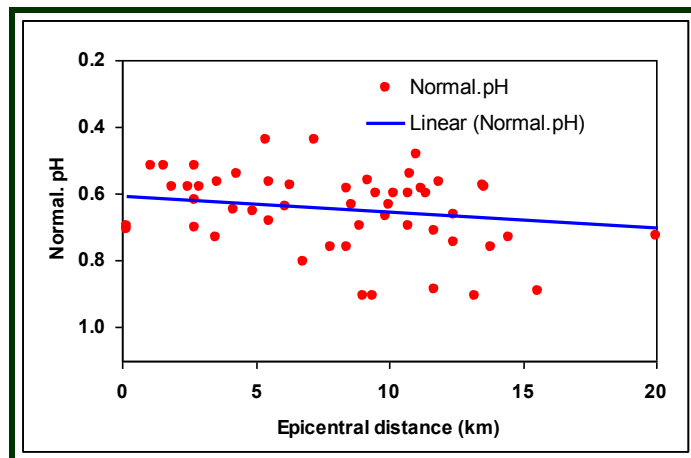


Σχήμα 10. Απεικόνιση των μεταβολών της αγωγιμότητας, pH, και Eh στον σταθμό Αγ. Νικολάου της Π. Καμένης την περίοδο Ιουλίου-Οκτωβρίου του 2001.

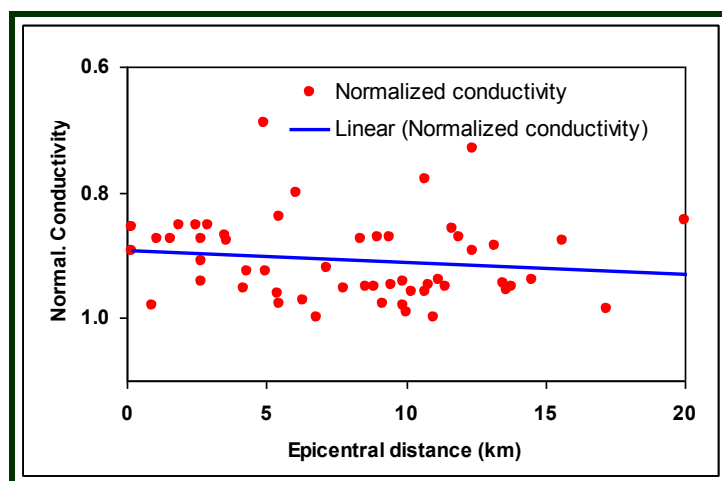
2. ΕΤΟΣ 2003

I. ΓΕΝΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ

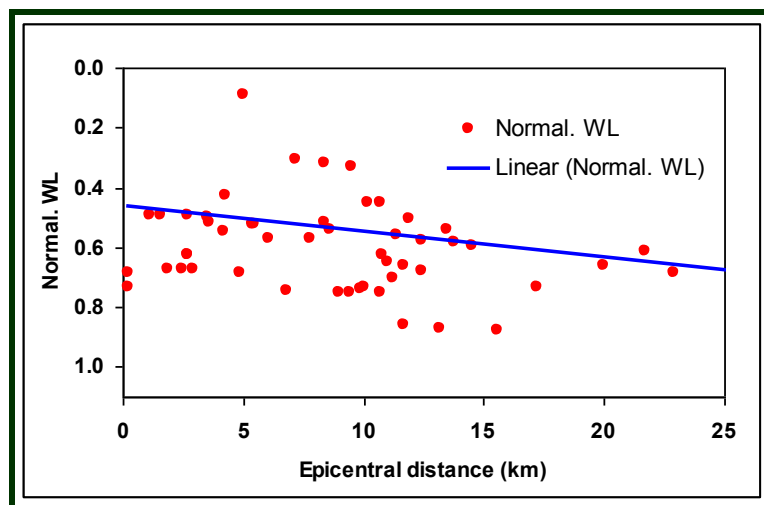
Τα σχήματα Σχ.2.α.α- Σχ.2.α.γ είναι γραφικές παραστάσεις των συναρτήσεων $f(\text{Normalized στάθμη νερού (WL), pH, Αγωγιμότητα (Conductivity)})$ = επικεντρικές αποστάσεις από τον κοντινότερο σειсмоγράφο αντίστοιχα. Και για τις τρεις περιπτώσεις φαίνεται ότι υπάρχει μια γραμμική σχέση με τους σεισμούς και μάλιστα η κατανομή είναι φθίνουσα. Δηλαδή οι τοπικοί σεισμοί φαίνεται να προκαλούν συστηματικά προς τα κάτω μεταβολή των WL, pH, Αγωγιμότητας (Conductivity). Στα παρακάτω σχήματα 2α.α, 2α.β και 2.α.γ φαίνονται οι συσχετισμοί των διαφορετικών παραμέτρων με τη σεισμική δραστηριότητα. Οι καλύτεροι συσχετισμοί προκύπτουν για την περίοδο του Ιουνίου.



Σχ.2.α.α Σχέση αποστάσεων επικέντρων σεισμών με τις μεταβολές του pH. Είναι εμφανής η φθίνουσα γραμμική σχέση



Σχ.2.α.β Σχέση αποστάσεων επικέντρων σεισμών με τις μεταβολές της Αγωγιμότητας (Conductivity). Είναι εμφανής η φθίνουσα γραμμική σχέση

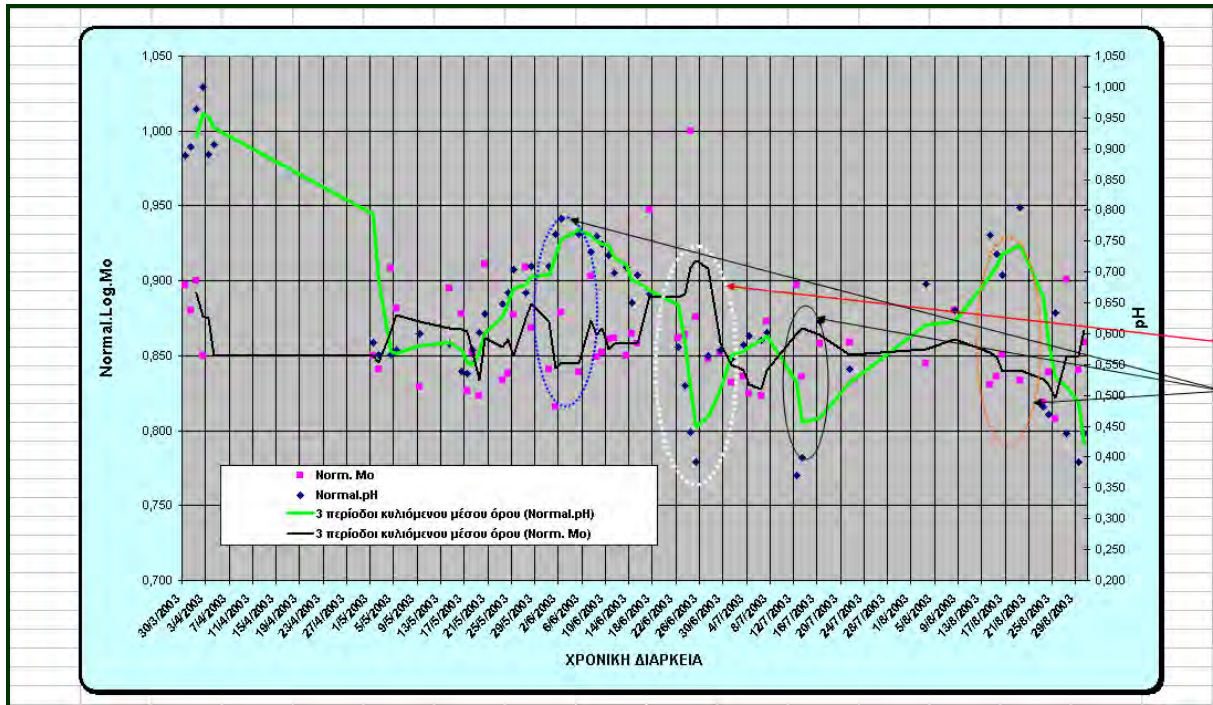


Σχ.2.α.γ Σχέση αποστάσεων επικέντρων σεισμών με τις μεταβολές της στάθμης νερού (W.L).Είναι εμφανής η φθίνουσα γραμμική σχέση

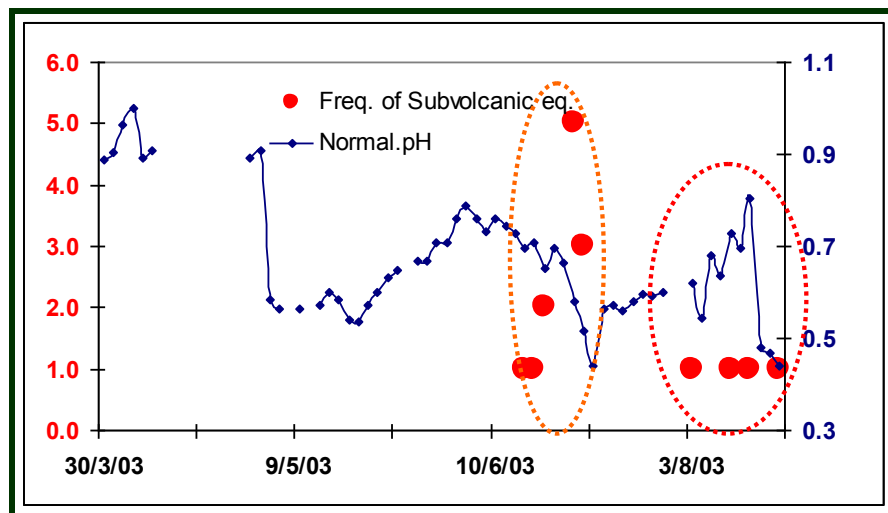
➤ Σχέση μεταβολών σεισμικής δραστηριότητας και μεταβολών pH

Παρατηρείται μείωση του pH πριν και στην διάρκεια της αύξησης της σεισμικής δραστηριότητας ιδιαίτερα κατά την περίοδο 18-30/6/2003 με μέγιστη σεισμική δραστηριότητα την 24η Ιουνίου. Αντίστοιχα, εμφανίζεται μια τάση αύξησης του pH σε περιόδους μείωσης της σεισμικής δραστηριότητας. Αυτό το γεγονός μπορεί να ερμηνευθεί από την πιθανή απελευθέρωση μέσω νέων διαρρήξεων που δημιουργούνται κατά τη σεισμική παραμόρφωση (υδροθερμικής ή τεκτονικής προέλευσης) σημαντικών ποσοτήτων υδροθερμικών ρευστών πλουσίων σε Cl^- και CO_2 , τα οποία κάνουν το περιβάλλον πιο όξινο, γεγονός που οδηγεί στη μείωση του pH (Σχ. 2β.)

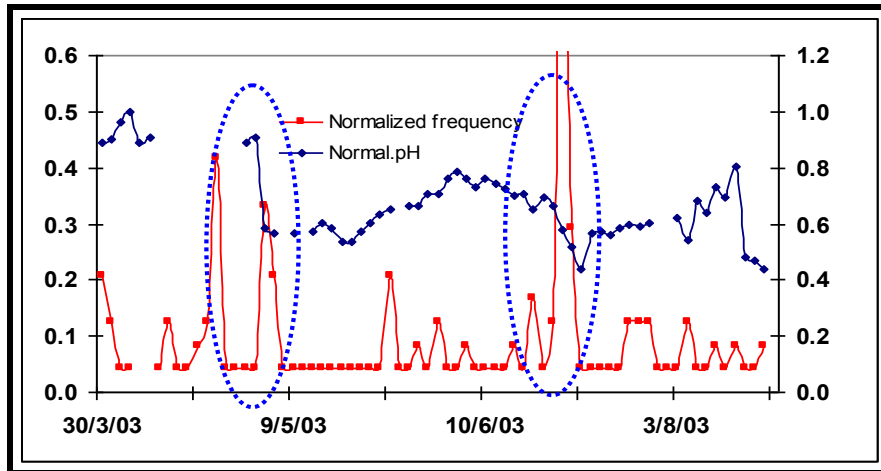
Η τάση αυτή είναι ακόμα πιο εμφανής στην περίπτωση των πολύ κοντινών σεισμών (αυτών που εντοπίζονται στην καλδέρα), όπως φαίνεται στα σχήματα 2.γ και 2.δ. Στο σχήμα 2.γ χαρτογραφείται το πλήθος των πιο κοντινών σεισμών ανά ημέρα σε συνάρτηση με τις μεταβολές του pH. Στο σχήμα 2.δ χαρτογραφείται το κανονικοποιημένο πλήθος των σηνοσεισμών ανά ημέρα σε συνάρτηση με τις κανονικοποιημένες τιμές του pH.



Σχ.2β. Μεταβολή της σεισμικής δραστηριότητας(σεισμικής ροής) σε συνάρτηση με τις μεταβολές του pH. Η τάση αυτή του pH φαίνεται να προηγείται ελαφρώς των μεταβολών της σεισμικής δραστηριότητας.



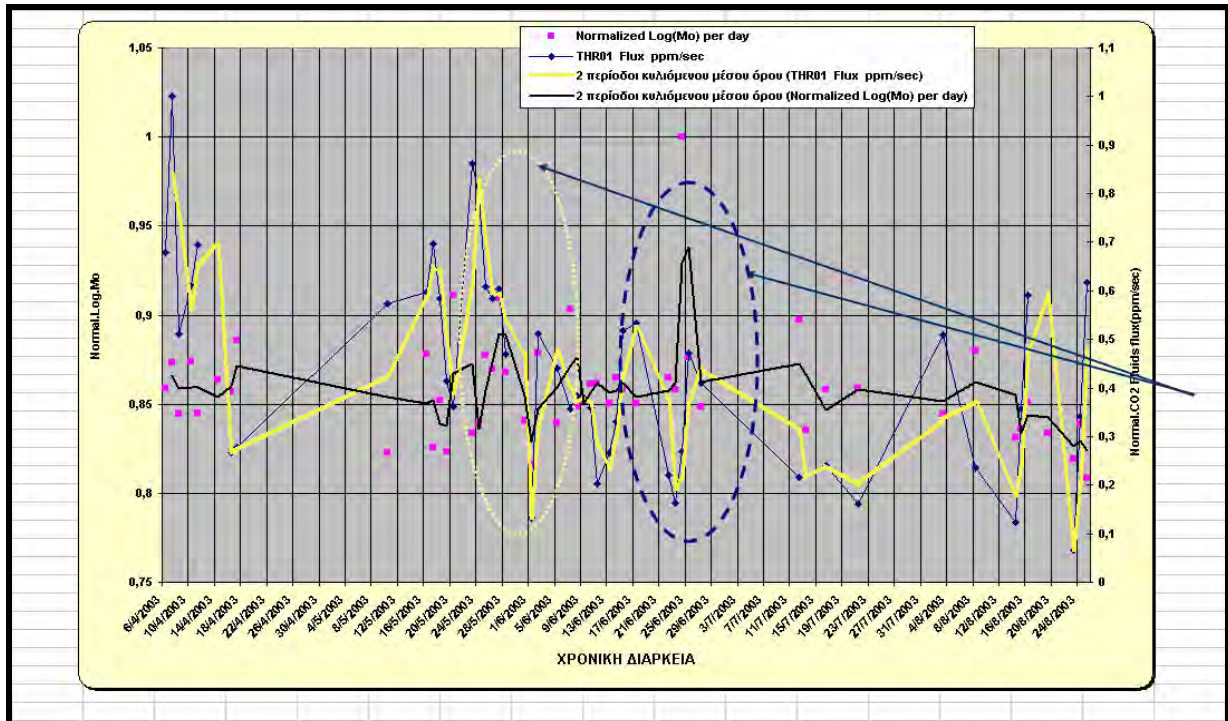
Σχ2.γ. Προβολή των συχνοτήτων των κοντινών σεισμών (εντός της καλδέρας) σε συνάρτηση με τις μεταβολές του pH



Σχ.2.5 Προβολή των "κανονικοποιημένων" συχνοτήτων των σεισμών σε συνάρτηση με τις μεταβολές του pH

- Σχέση μεταβολών σεισμικής δραστηριότητας και μεταβολών ροής CO₂ στο μίγμα θαλασσινού νερού και θερμών υδροθερμικών ρευστών

Η σύγκριση των μεταβολών της ροής του CO₂ στον ενεργό υδροθερμικά χώρο και της σεισμικής ροπής για όλη την περίοδο των μετρήσεων, δείχνει αυξητικές μεταβολές του CO₂ οι οποίες προηγούνται περίπου 5-6 ημέρες της έξαρσης της σεισμικής δραστηριότητας ενώ κατά τη διάρκεια της έξαρσης ελαττώνονται σημαντικά (Σχ.2ε.) Η τάση αυτή πιθανώς συνδέεται με ένα φαινόμενο σημαντικής αύξησης της υδροθερμικής δραστηριότητας (συνοδευμένη από αυξημένη ροή μαγματικών - υδροθερμικών αερίων π.χ CO₂) η οποία στη συνέχεια αποδίδει σμήνη μικροσεισμών, ιδιαίτερα σε ενεργά τεκτονικά περιοχές.

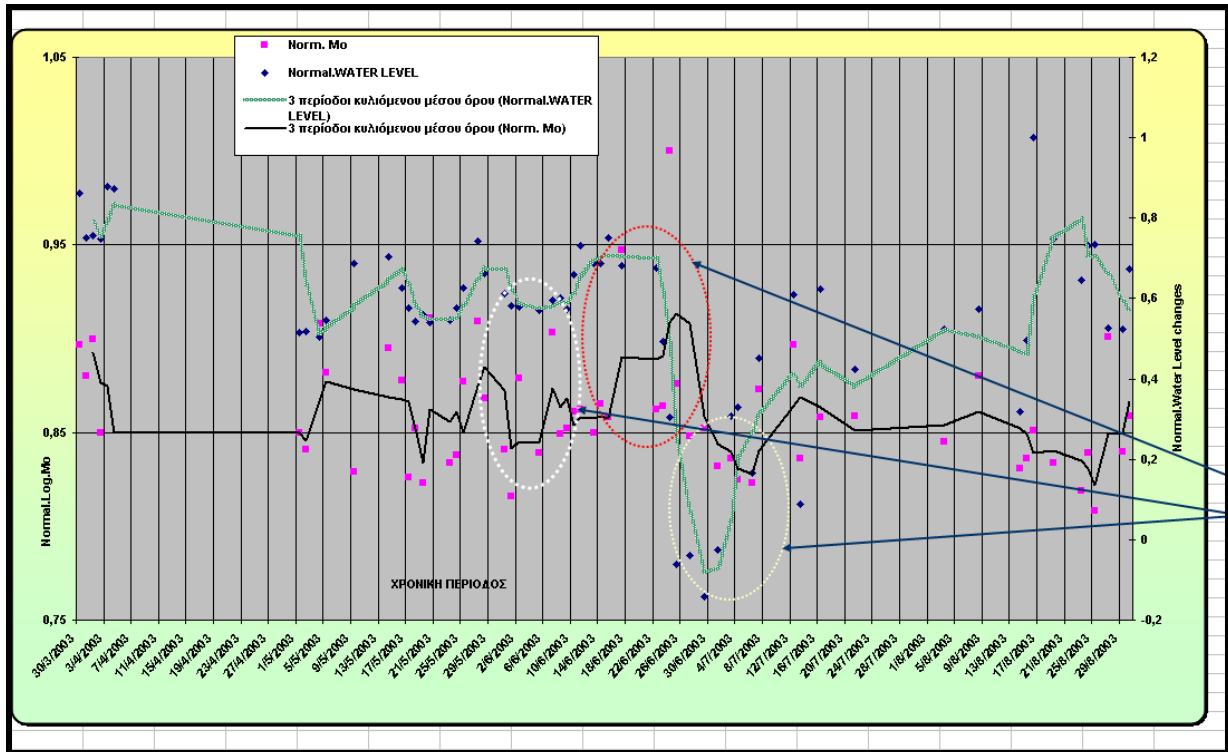


Σχ.2.ε. Μεταβολή της σεισμικής δραστηριότητας σε συνάρτηση με την ροή CO₂ στα υδροθερμικά ρευστά/θαλασσινό νερό. Παρατηρούμαι την χρονική υστέρηση των 2 μεταβολών, της αύξησης του CO₂ προηγούμενου κατά λίγες ημέρες της αύξησης της σεισμικής δραστηριότητας.

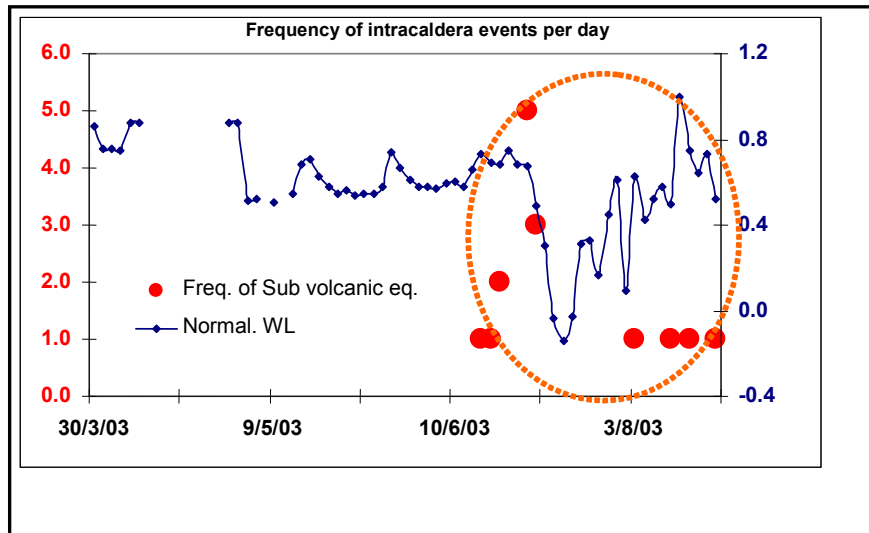
- Σχέση μεταβολών σεισμικής δραστηριότητας και μεταβολών της στάθμης του θαλασσινού νερού

Ο συσχετισμός μεταβολής της στάθμης της θάλασσας και της σεισμικότητας δείχνει ότι παρουσιάζεται αύξηση της στάθμης της θάλασσας λίγο πριν αρχίσει η σεισμική έξαρση και αντίστροφα. Η τάση αυτή είναι ιδιαίτερα εμφανής κατά την περίοδο 16-28/6/2003 όπου έχουμε την εκδήλωση σμηνοσειράς με σεισμό μεγαλύτερου μεγέθους Ms=4.3 αυτόν της 24ης Ιουνίου 2003 (Σχήμα 2.στ.).

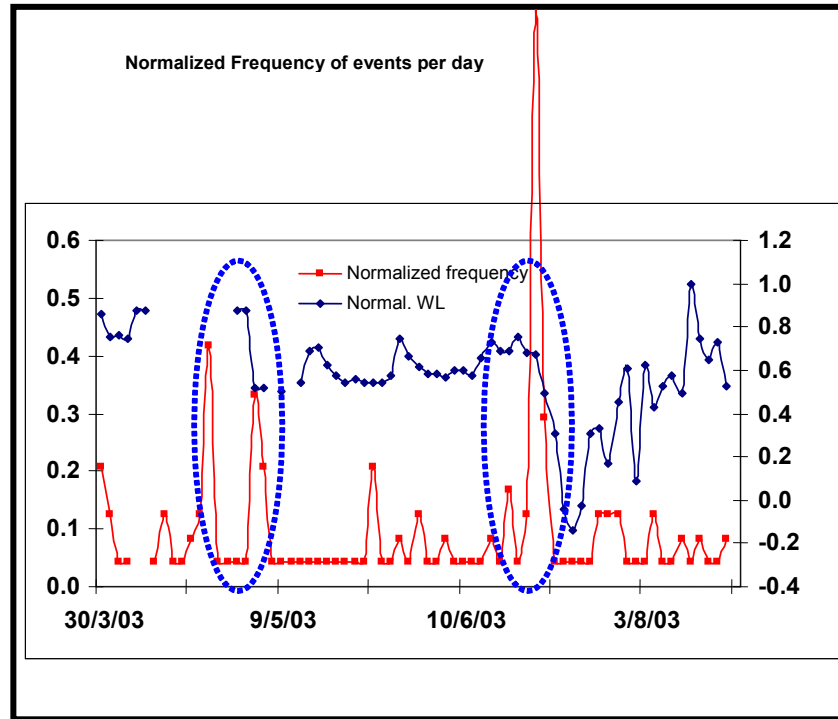
Η τάση αυτή φαίνεται καλύτερα αν λάβουμε υπ' όψη μας τους πολύ κοντινούς σεισμούς- (αυτούς που έγιναν εντός της καλδέρας) (Σχήμα 2.ζ.) καθώς και την "κανονικοποιημένη" συχνότητα της σεισμικής δραστηριότητας σε συνάρτηση με τις μεταβολές της στάθμης της θάλασσας.(Σχήμα 2.η).



Σχήμα 2.στ. Μεταβολές της σεισμικής δραστηριότητας σε συνάρτηση με τις μεταβολές της στάθμης της θάλασσας.



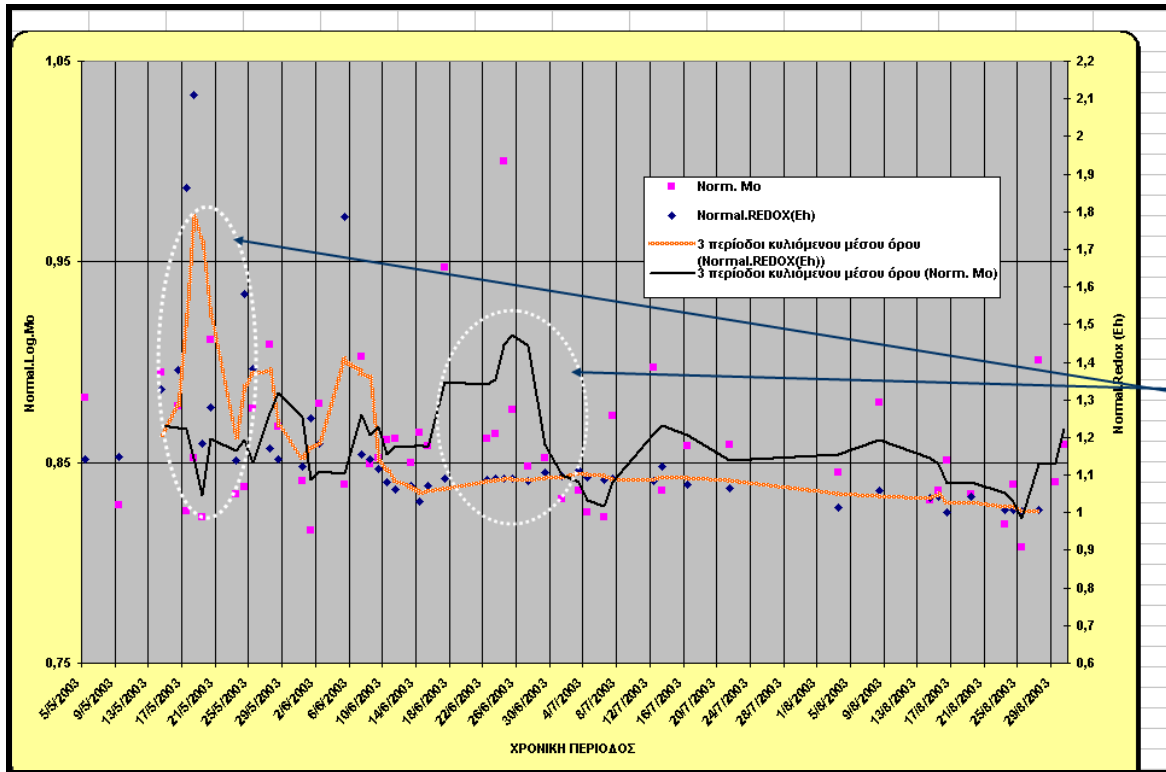
Σχήμα 2.ζ. Μεταβολές των εντός της καλδέρας σεισμικών γεγονότων σε συνάρτηση με τις μεταβολές της στάθμης του θαλασσινού νερού.



Σχήμα 2.η. Μεταβολές της "κανονικοποιημένης" σεισμικής συχνότητας σε συνάρτηση με τις μεταβολές της στάθμης της θάλασσας.

- Σχέση μεταβολών σεισμικής δραστηριότητας και μεταβολών του δυναμικού οξειδοαναγωγής (E_h)

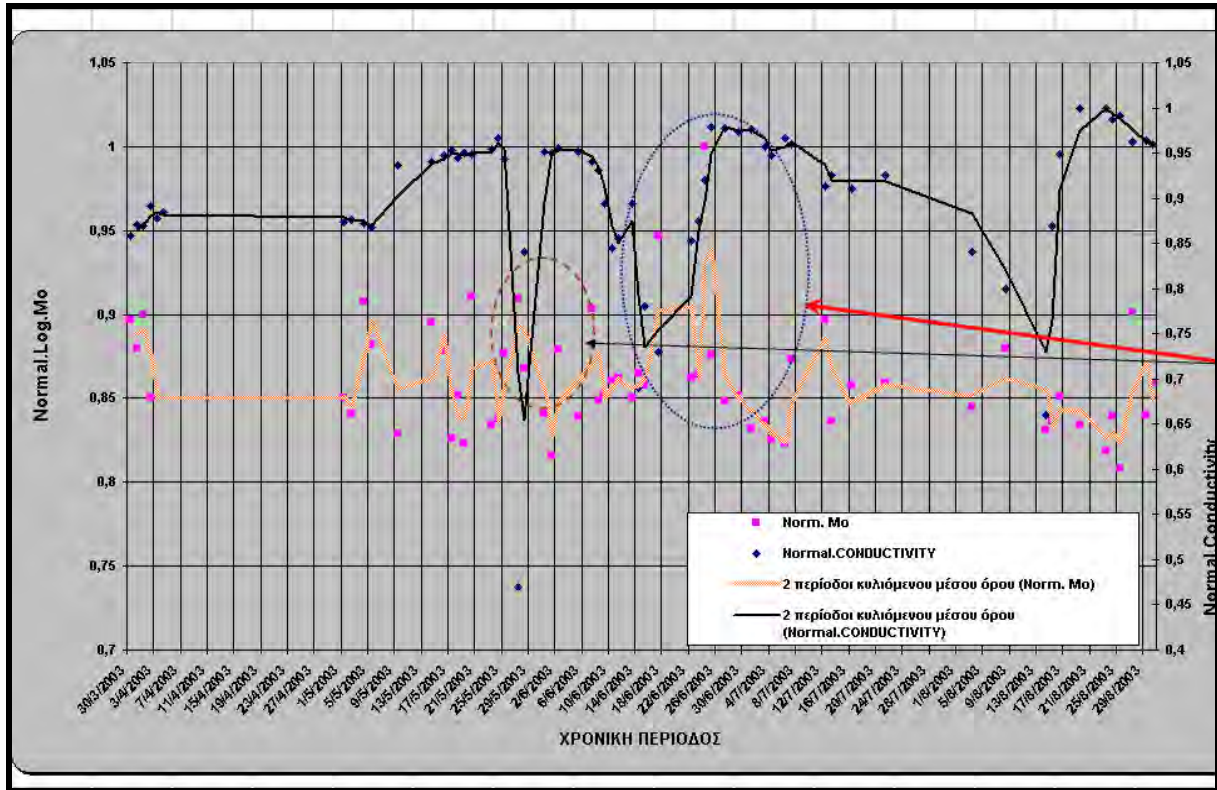
Το δυναμικό οξειδοαναγωγής (E_h) των υδροθερμικών ρευστών/θαλασσινού νερού βαίνει μειούμενο με την αύξηση της σεισμικής ροπής (Log.M_0) (αύξηση σεισμικότητας) και μάλιστα αυτή η μεταβολή του E_h φαίνεται να προηγείται της μεταβολής της σεισμικότητας. Η τάση αυτή είναι αρκετά εμφανής ιδιαίτερα για την περίοδο της εκδήλωσης της χαρακτηριστικής σημοσειράς, η οποία έλαβε χώρα από 17-28/6/2003, οπότε παρατηρούνται και οι μικρότερες τιμές του (E_h). Η αντίθετη τάση φαίνεται να συμβαίνει σε περιόδους μειούμενης σεισμικότητας (αύξηση (E_h)). **Η τάση αυτή πιθανότατα συνδέεται με το γεγονός ότι η αυξημένη σεισμικότητα οδηγεί στην απελευθέρωση μεγαλύτερων ποσοτήτων ιόντων Cl και CO_2 και άλλων αερίων, δημιουργώντας αναγωγικό περιβάλλον, γεγονός που οδηγεί στη- μείωση του (E_h).** (Σχήμα 2.θ).



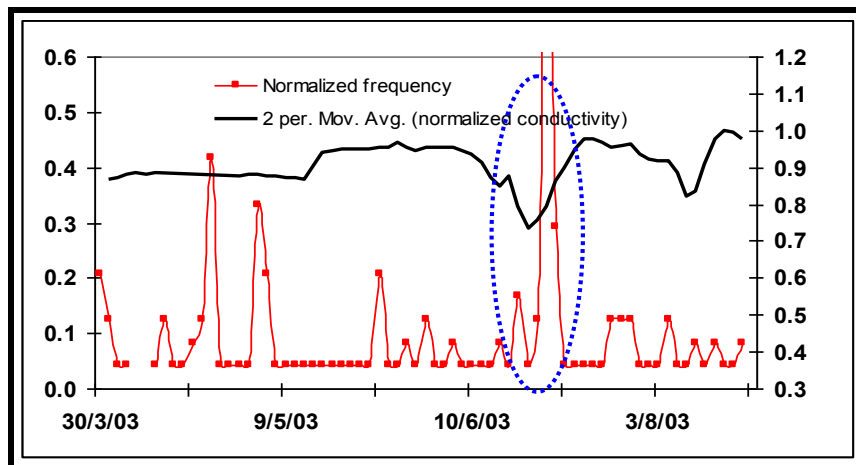
Σχήμα 2.0. Μεταβολές της σεισμικής δραστηριότητας σε συνάρτηση με τις μεταβολές του δυναμικού οξειδοαναγωγής των υδροθερμικών ρευστών/θαλασσινού νερού.

➤ Σχέση μεταβολών σεισμικής δραστηριότητας και μεταβολών της Αγωγιμότητας των ρευστών

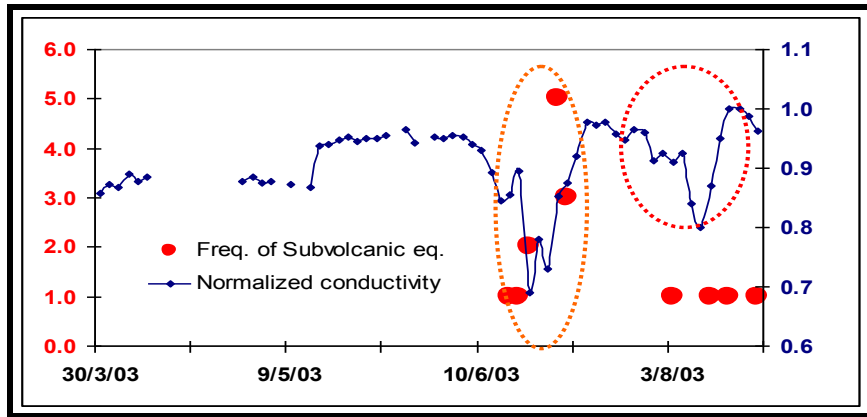
Φαίνεται ότι υπάρχει σύνδεση μεταξύ της αγωγιμότητας και της εκλυόμενης σεισμικής ροπής. Συγκεκριμένα, εμφανίζεται σημαντική μείωση της αγωγιμότητας πριν από τη σεισμική έξαρση ενώ κατά την ανακούφιση των ελαστικών τάσεων (κατά τη διάρκεια δηλαδή εκδήλωσης των σεισμών) παρατηρούμε σταδιακή σημαντική αύξηση της αγωγιμότητας. Η σύνδεση αυτή η τάση είναι εμφανής ιδιαίτερα κατά την περίοδο εκδήλωσης της χαρακτηριστικής σημνοσειράς βορειοανατολικά της καλδέρας, μεταξύ 18 και 26/6/2003 (Σχήμα 2.1). Η σύνδεση αγωγιμότητας/σεισμικής δράσης φαίνεται ακόμα πιο χαρακτηριστικά όταν προβάλουμε τη διακύμανση της αγωγιμότητας σε συνάρτηση με την κανονικοποιημένη ημερήσια συχνότητα σεισμών της ευρύτερης περιοχής της καλδέρας (Σχήμα 2κ.) και με την ημερήσια συχνότητα των πολύ τοπικών σεισμών (εντός της καλδέρας) (Σχήμα 2λ.). Στην περίπτωση της αγωγιμότητας, ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι η ανάστροφη σχέση μεταβολών σεισμικότητας και αγωγιμότητας έχει και στατιστική σημαντικότητα σε επίπεδο $\alpha=0,05$ όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 2.μ**.



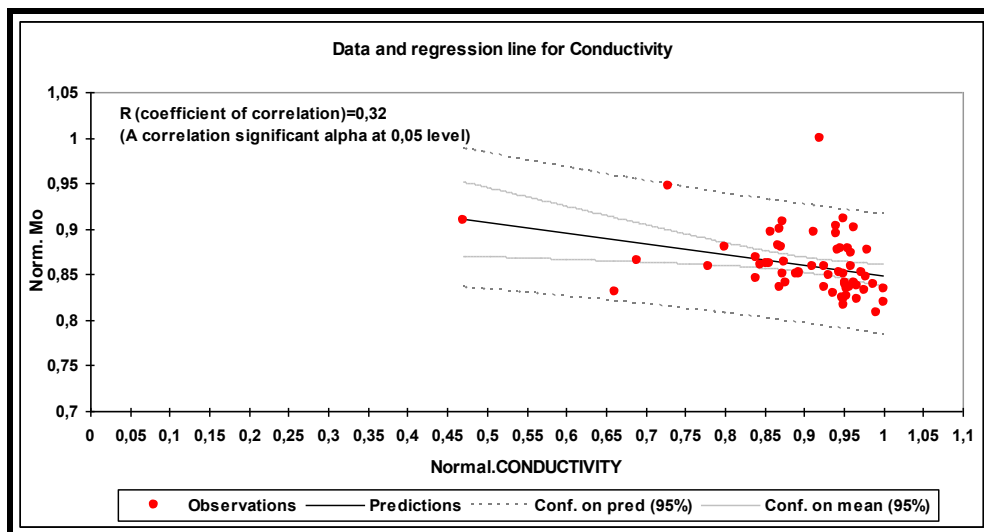
Σχήμα 2.1. Μεταβολές της αγωγιμότητας των υδροθερμικών ρευστών σε συνάρτηση με τις μεταβολές της σεισμικής δραστηριότητας.



Σχήμα 2.κ. Μεταβολές του κανονικοποιημένου ημερήσιου πλήθους σεισμικών γεγονότων σε συνάρτηση με τις μεταβολές της αγωγιμότητας.



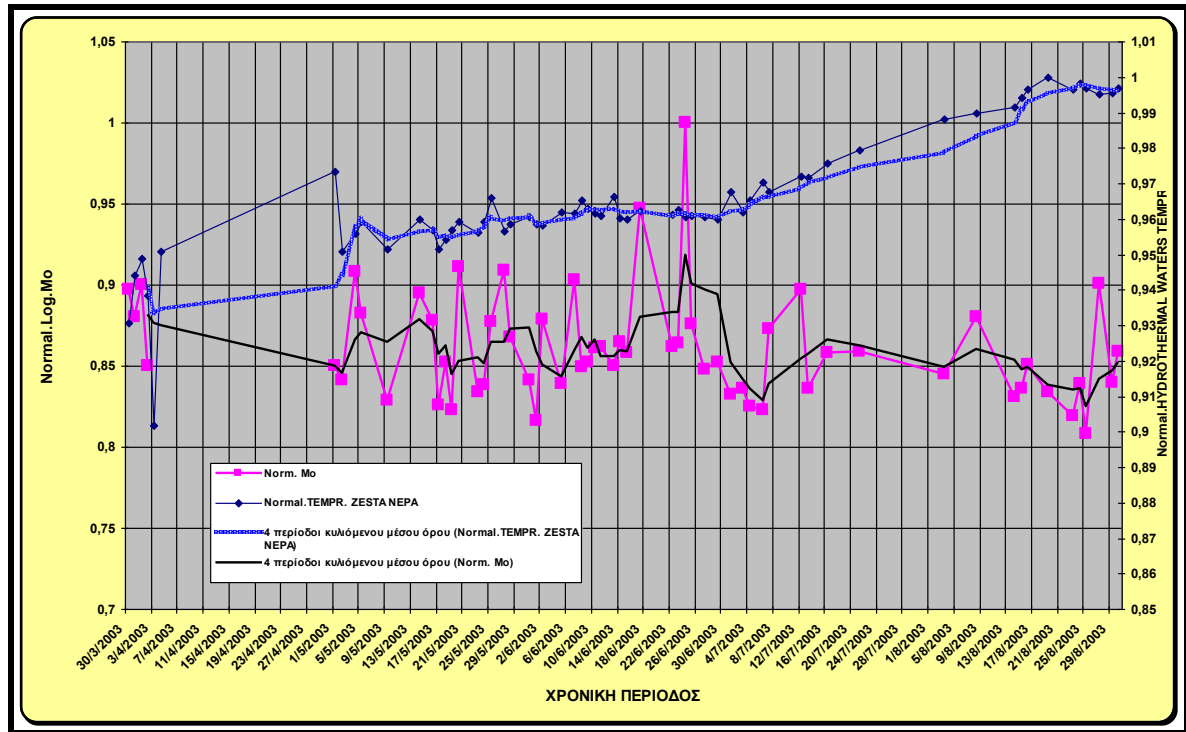
Σχήμα 2.λ. Μεταβολές της αγωγιμότητας σε συνάρτηση με το ημερήσιο πλήθος των σεισμών που εντοπίζονται εντός της καλδέρας.



Σχήμα 2.μ. Στατιστική απεικόνιση της ανάστροφης σχέσης σεισμικής δράσης και αγωγιμότητας των υδροθερμικών ρευστών.

- Σχέση μεταβολών σεισμικής δραστηριότητας και μεταβολών θερμοκρασίας ρευστών και αέρα

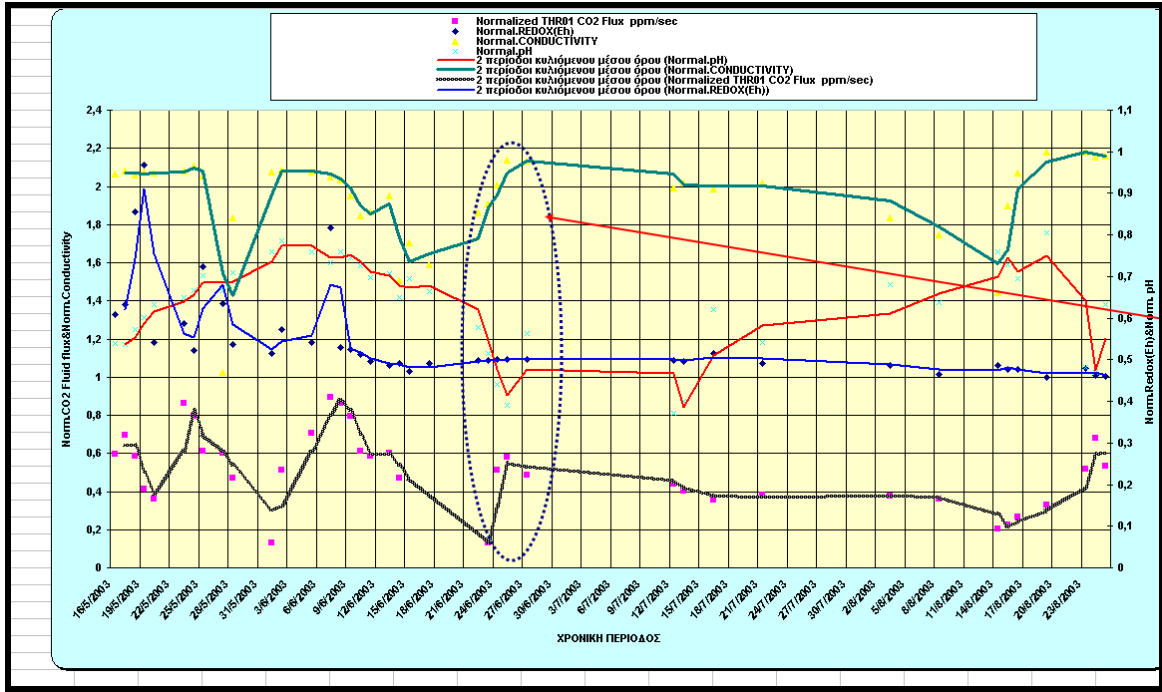
Η εποχιακή αύξηση της θερμοκρασίας επιφανειακών ρευστών και αέρα λόγω του καλοκαιριού δεν επιτρέπει τον συσχετισμό της θερμοκρασίας των ρευστών αυτών με την σεισμικότητα. (Σχήμα 2ν.)



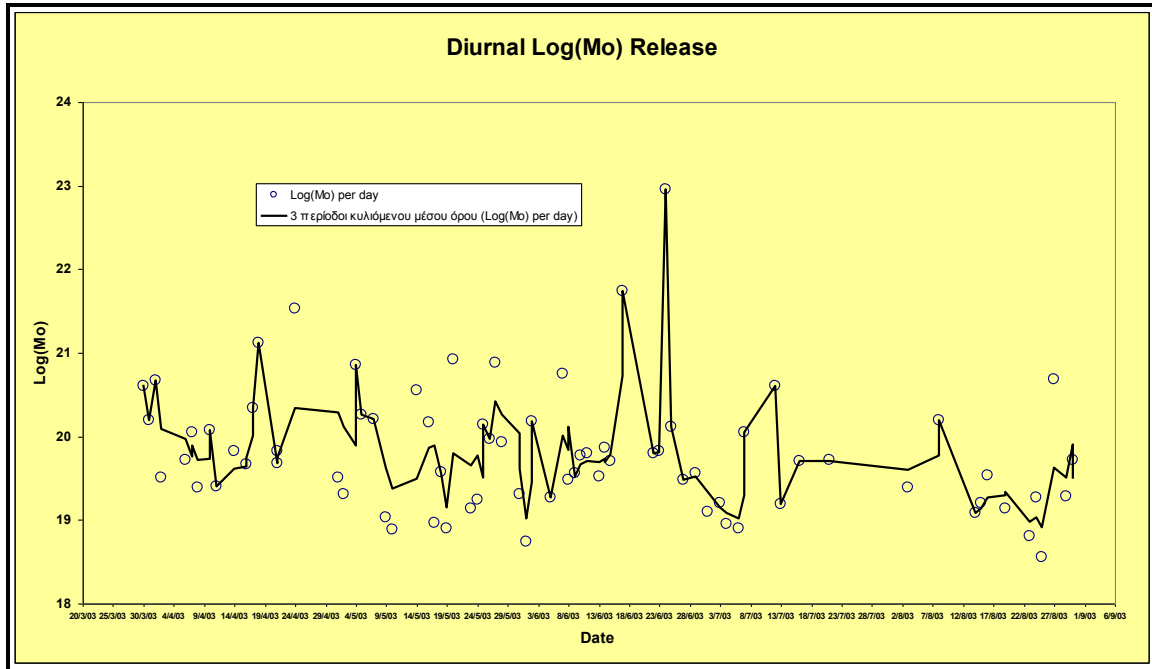
Σχήμα 2.ν. Οι θερμοκρασιακές μεταβολές ρευστών λόγω καλοκαιριού δεν επιτρέπουν τον όποιο συσχετισμό με τη σεισμική δραστηριότητα. Το ίδιο ισχύει και για την θερμοκρασία του αέρα.

Συνδυασμένη σύγκριση των μεταβολών της σεισμικότητας με τις μεταβολές βασικών φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των υδροθερμικών ρευστών/θαλασσινού νερού

Η σύγκριση των μεταβολών των μεγεθών της αγωγιμότητας, του δυναμικού οξειδοαναγωγής (Eh), του pH και της ροής CO₂ στα ζεστά με υδροθερμικά συστατικά νερά δείχνει ότι κατά την περίοδο της σεισμικής έξαρσης μεταξύ 18 και 30/6/2003 παρατηρείται ελάττωση του Eh, του pH, αύξηση της αγωγιμότητας και της ροής CO₂ στα ζεστά με υδροθερμικά συστατικά νερά. (Σχήμα 2.ξ.).



Σχήμα 2.ξ. Συνδυασμένη απεικόνιση μεταβολής βασικών φυσικοχημικών παραμέτρων που μετρήθηκαν στην διάρκεια του 2003 σε συνδυασμό με τις μεταβολές της σεισμικής δραστηριότητας(Σχήμα 2.ο).



Σχήμα 2.ο. Μεταβολές της σεισμικής ροπής (LogMo) στην διάρκεια των κοινών μετρήσεων με τις φυσικοχημικές παραμέτρους εντός του 2003.

ΣΥΝΟΨΗ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η εκδήλωση έντονης ηφαιστειακής δράσης σε μια περιοχή με γνωστή προϊστορία είναι ένα φαινόμενο προβλέψιμο. Είναι προβλέψιμο διότι πριν την εκδήλωση έντονων ηφαιστειακών φαινομένων παρατηρούνται σημαντικά πρόδρομα φαινόμενα όπως σμήνη μικροσεισμών, ασυνήθη αύξηση θερμοκρασίας, αύξηση της απελευθέρωσης αερίων, γεωμορφολογικές και γεωφυσικές μεταβολές (κύρια του βαρυτικού και μαγνητικού πεδίου). Στην περιοχή της Σαντορίνης έχουν διερευνηθεί συστηματικά, μεμονωμένα χαρακτηριστικά του ηφαιστειακού γεωτεκτονικού πεδίου κατά τη διάρκεια πλήθους πειραμάτων, με αποτέλεσμα να έχουμε σήμερα μια επαρκή αντιπροσωπευτική εικόνα. Παρ' όλη όμως τη μέχρι τώρα προσπάθεια, καταδεικνύεται η σημαντική έλλειψη συνδυασμένων μελετών, τέτοιων, που θα μπορούσαν να οδηγήσουν στη διερεύνηση του συσχετισμού και της αλληλεξάρτησης των παραμέτρων του ηφαιστειακού γεωτεκτονικού πεδίου, με απώτερο στόχο την εκπόνηση ενός συστήματος/μοντέλου πρόβλεψης και διαχείρισης. Πρόβλεψης, τόσο της γένεσης και εξέλιξης μιας πιθανά έντονης υδροθερμικής-ηφαιστειακής δραστηριότητας, όσο και του κινδύνου από μια τέτοια δραστηριότητα. Διαχείρισης, με σκοπό την ελάττωση των δυσμενών αποτελεσμάτων από μια τέτοια δραστηριότητα στον άνθρωπο και το περιβάλλον του. Με την παρούσα μελέτη έγινε ένα μικρό, αλλά πρώτο βήμα προς αυτήν την κατεύθυνση. Στόχος μας ήταν να καταγράψουμε για ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα (περίπου 10 μηνών) τοπικούς σεισμούς και κάποια φυσικοχημικά μεγέθη του υδροθερμικού πεδίου και να τα συγκρίνουμε μεταξύ τους.

Οι συγκρίσεις, παρότι έγιναν για δεδομένα που πήραμε σε ένα χρονικό διάστημα μόλις 10 μηνών, απέδωσαν συστηματική ποιοτική συσχέτιση μεταξύ των μελετηθέντων μεγεθών, ιδιαίτερα για την περίοδο του 2003, οπότε είχαμε τοπικά σεισμική έξαρση.

Ένα γενικότερο μοντέλο που ερμηνεύει τις παρατηρήσεις μας θα μπορούσε να είναι το εξής:

Αύξηση υδροθερμικής δραστηριότητας (π.χ. λόγω ανόδου μάγματος) → Αύξηση σμήνους μικροσεισμών → Αύξηση περιεκτικότητας μαγματικών αερίων στα ζεστά νερά ($\text{CO}_2, \text{H}^+, \text{Cl}^-, \text{CH}_4$ κλπ.) → Περιβάλλον όξινο (μείωση pH) και αναγωγικό (μείωση Eh).

Αναλυτικότερα:

Όταν παρατηρείται αύξηση της ροής CO₂ στα υδροθερμικά ρευστά (αποτέλεσμα συνήθως ανόδου του μάγματος) παρατηρείται παράλληλα ελάττωση του pH, ελάττωση του δυναμικού οξειδαναγωγής. Οι τάσεις αυτές είναι φυσιολογικές αφού με την αύξηση της ροής του CO₂ τα θερμικά ρευστά γίνονται πιο όξινα (ελάττωση του pH) και παράλληλα το περιβάλλον γίνεται πιο αναγωγικό (ελάττωση του Eh).

Η συστηματική σύγκριση των κοινών μετρήσεων σεισμολογικών δεδομένων και φυσικοχημικών παραμέτρων που έγιναν στον σταθμό του Αγ. Νικολάου στην Π. Καμένη σε ότι αφορά τις φυσικοχημικές παραμέτρους στην διάρκεια του 2001 και 2003 θεωρούμε ότι απέδωσαν ισχυρές ενδείξεις ότι φυσικοχημικές παράμετροι όπως η ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ, το ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΟΞΕΙΔΟΑΝΑΓΩΓΗΣ (Eh) το Ph, η συγκέντρωση CO₂ στα υδροθερμικά ρευστά, οι μεταβολές στάθμης της θάλασσας, μπορούν να αποτελέσουν δείκτες πρόγνωσης σεισμικών φαινομένων, που σχετίζονται με ηφαιστειακή δράση (άνοδο του μάγματος, αύξηση της υδροθερμικής και δραστηριότητας, και πιθανές ηφαιστειακές εκρήξεις). Παράλληλα οι μετρήσεις ραδονίου ιδιαίτερα την περίοδο της σεισμικής έξαρσης εντός του Ιουνίου του 2003 επιβεβαίωσαν την ισχυρή και ευθέως ανάλογη σχέση μεταξύ του σεισμικού δυναμικού και του εκλυόμενου ραδονίου (Σχήμα 13 Μέρος 2^ο).

Πρόταση: Με (βάση τα παραπάνω είναι φανερό ότι η μελέτη φαινομένων (π.χ. γεωχημικών, υδροθερμικών, πρόδρομων σεισμικών και τεκτονικών), που συνδέονται με τις αυξομειώσεις της ηφαιστειακής και, κυρία, της υδροθερμικής δραστηριότητας σε σημαντικά κέντρα του ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου (Σαντορίνη, Μήλος, Κως, Νίσυρος), μπορούν να μας δώσουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τις πιθανότητες ύπαρξης εντόνων ηφαιστειακών και φυσικά σεισμικών συμβάντων στις περιοχές αυτές εξαιτίας της αλληλοεπίδρασης ηφαιστειότητας, υδροθερμικής δράσης (κύρια υποθαλάσσιας) και νεοτεκτονικών ενεργών δομών.

Η ηφαιστειακή και σεισμική δραστηριότητα στη Σαντορίνη έδειξε την ανάγκη να φύγουμε από το στάδιο της παρατήρησης τέτοιων φαινομένων και να πάμε στο στάδιο της συστηματικής μελέτης και παρακολούθησης με στόχο την πρόγνωση αλλά και διαχείριση φαινομένων έντονης ηφαιστειακής και σεισμικής δραστηριότητας. Με δεδομένο ότι η υδροθερμική δραστηριότητα και κυρίως η υποθαλάσσια έχει ένα έντονο επεισοδιακό χαρακτήρα υπάρχει ανάγκη συστηματικής παρακολούθησης των σημαντικών παραμέτρων που συνδέονται μαζί της και την γειτνιάζουσα υποθαλάσσια περιοχή. Η προϊστορία της περιοχής αλλά και τα αποτελέσματα της πρόσφατης θεομηνίας στη

νοτιοανατολική Ασία, καθιστά την παραπάνω αναγκαιότητα εκ των ουκ άνευ.

Με βάση τις ισχυρές ενδείξεις που απέδωσε η μελέτη μας, προτείνουμε την άμεση πύκνωση του δικτύου σταθμών μέτρησης φυσικοχημικών παραμέτρων συνεχούς καταγραφής, ειδικά σχεδιασμένων με βάση την εμπειρία που αποκτήθηκε από το παρόν πρόγραμμα, παράλληλα με την εγκατάσταση πρόσθετων σειсмоγράφων συμπληρωματικών του υπάρχοντος δικτύου (του ΙΜΠΗΣ και του Α.Π.Θ.). Η υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος θα μας δώσει την δυνατότητα βέλτιστης παρακολούθησης και κυρίως τη δυνατότητα συστηματικότερης και ασφαλέστερης διερεύνησης των δυνατοτήτων πρόγνωσης επερχομένων σεισμικών και άλλων συνοδών γεγονότων που συνδέονται με αύξηση της υδροθερμικής-μαγματικής δραστηριότητας και ηφαιστειακής δράσης στην ευρύτερη περιοχή των νησιωτικού συμπλέγματος της Σαντορίνης.