



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ
ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ
ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΣΕΡΡΩΝ

ΤΜΗΜΑ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
& ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ



ΔΙ-ΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΠΡΟΛΗΨΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Ροΐδης Βίκτωρ-Δώριαν
Πτυχιούχος Μηχανικός Γεωπληροφορικής & Τοπογραφίας Τ.Ε.

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Κυριακόπουλος Κωνσταντίνος
Παπαδόπουλος Ταξιάρχης
Δρ. Παπαθεοδώρου Κωνσταντίνος

Καθηγητής (Επιβλέπων)
Καθηγητής
Επίκουρος καθηγητής

ΑΘΗΝΑ
Ιούνιος 2011

“Η έρευνα συμβάλλει στην γνώση”

Περιεχόμενα

Πρόλογος	3
Εισαγωγή	5
Κεφάλαιο 1. Γενικά στοιχεία της Νισύρου.....	8
1.1 Μυθολογικά-ιστορικά στοιχεία	8
1.2 Μορφολογία.....	10
1.3 Πληθυσμιακά στοιχεία.....	13
1.4 Κλιματολογικά στοιχεία	14
Κεφάλαιο 2. Γεωλογία.....	16
2.1 Ορογένεση και ηφαιστειότητα στον ελλαδικό χώρο	16
2.2 Ηφαιστειακά κέντρα Κω-Νισύρου-Τήλου, νησίδες Κω-Νισύρου	20
2.3 Γεωλογικοί σχηματισμοί της Νισύρου και η δομή τους.....	27
2.4 Τεκτονική.....	33
2.4.1 Σύστημα ρηγμάτων ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης	35
2.4.2 Σύστημα ρηγμάτων ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης	37
2.4.3 Σύστημα ρηγμάτων Α-Δ διεύθυνσης.....	41
2.4.4 Διάρρηξη στην περιοχή Λακκί	41
2.4.5 Παρατηρήσεις στην τεκτονική της Νισύρου	43
2.5 Γεωλογική εξέλιξη της Νισύρου.....	45
2.6 Εξέλιξη της ηφαιστειακής δραστηριότητας στην Νίσυρο	49
2.7 Μετα-ηφαιστειακά φαινόμενα στη Νίσυρο	51
2.7.1 Ατμιδικά φαινόμενα της Νισύρου	51
2.7.2 Φουμαρολική δραστηριότητα	52
2.8 Σύσταση και θειογενετική δράση των ατμίδων	53
2.9 Τα θειοχώματα της Νισύρου.....	55
2.10 Ορυκτολογική μελέτη του κρατήρα “Στέφανου”	57
2.11 Σύγχρονη παραμόρφωση	58
2.12 Γεωθερμικές γεωτρήσεις Ν1 και Ν2 στη Νίσυρο (1982-1983).....	63
2.13 Δομή γεωθερμικού πεδίου της Νισύρου.....	64
2.14 Το Υδροθερμικό σύστημα	65
2.15 Μαγματικοί θάλαμοι στη Νίσυρο.....	67
2.16 Σεισμικότητα.....	70
2.16.1 Ιστορική σεισμικότητα της Νισύρου	70
2.16.2 Σεισμική δραστηριότητα.....	71
2.16.3 Παρατηρήσεις στην πρόσφατη σεισμικότητα της Νισύρου	80
2.16.4 Συμπεράσματα για την σεισμικότητα της Νισύρου.....	81
Κεφάλαιο 3. Ηφαιστειακή επικινδυνότητα της Νισύρου.....	83
3.1 Γενικά.....	83
3.2 Συχνότητα και ένταση ηφαιστειακών εκρήξεων	84
3.3 Ηφαιστειακή και σεισμική επικινδυνότητα στον ελλαδικό χώρο	86
3.4 Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στην Νίσυρο	88
3.5 Ηφαιστειακά αέρια και οι επιπτώσεις τους.....	91
3.5.1 Υδρόθειο (H ₂ S).....	95
3.5.2 Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	96
3.5.3 Διοξείδιο του θείου (SO ₂)	97
3.5.4 Υδροχλώριο (HCl).....	98
3.5.5 Υδροφθόριο (HF).....	98
3.6 Κατολισθήσεις	98
3.7 Κίνδυνος θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας Tsunami	105
Κεφάλαιο 4. Παρακολούθηση των ηφαιστειακών αερίων.....	109

4.1 Γενικά.....	109
4.2 Το ενδιαφέρον που παρουσιάζουν τα ηφαιστειακά αέρια.....	110
4.3 Καταγραφή του ρυθμού των εκπομπών των αερίων σε ηφαιστειακά νέφη.	111
4.4 Απευθείας δειγματοληψία αερίων και ανάλυση στο εργαστήριο.....	112
4.5 Συνεχής in situ παρακολούθηση των αερίων.....	113
4.6 Μετρήσεις διαφυγής αερίων από το έδαφος.....	116
Κεφάλαιο 5. Λήψη δειγμάτων αερίων και νερού από το ηφαίστειο της Νισύρου....	119
5.1 Γενικά.....	119
5.2 Μετρήσεις διασποράς του υδρόθειου (H ₂ S) με την χρήση παθητικών φίλτρων (Radiello)	120
5.3 Μετρήσεις του ποσοστού του διοξειδίου του άνθρακα (CO ₂) στο έδαφος ...	124
5.4 Λήψη δειγμάτων αερίων από το έδαφος.....	129
5.5 Λήψη δειγμάτων νερού από τις θερμές πηγές της Νισύρου	130
Κεφάλαιο 6. Αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών – Προληπτικά μέτρα.....	132
6.1 Ηφαιστειακός κίνδυνος.....	132
6.2 Σεισμικός κίνδυνος	135
6.3 Κίνδυνος κατολισθήσεων	136
6.4 Κίνδυνος Tsunami	137
Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα	132
Βιβλιογραφία	141
Παράρτημα	145

Πρόλογος

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή εκπονήθηκε στα πλαίσια του διδρυματικού μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών στην “Πρόληψη και διαχείριση φυσικών καταστροφών” και αποτελεί μια προσπάθεια εκτίμησης της ηφαιστειακής επικινδυνότητας στο ηφαίστειο της Νισύρου, καθώς επίσης και προτάσεων που αφορούν στα προληπτικά μέτρα και στους τρόπους διαχείρισης μιας δυνητικής, αυξημένης ηφαιστειακής δραστηριότητας, στο νησί του νοτιοανατολικού Αιγαίου.

Συγκεκριμένα μελετήθηκε η γεωλογία του νησιού και της ευρύτερης περιοχής και η ηφαιστειακή επικινδυνότητα που μπορεί να επηρεάσει τους κατοίκους αλλά και τους χιλιάδες τουρίστες που επισκέπτονται το νησί. Επίσης, στο πλαίσιο της διατριβής αυτής, ελήφθησαν μετρήσεις από διάφορα σημεία, που από ηφαιστειολογικής πλευράς παρουσιάζουν ενδιαφέρον. Οι μετρήσεις αυτές σχετίζονται με διαφυγή αερίων από φουμαρόλες και ατμίδες μέσα στους κρατήρες καθώς και από επιλεγμένες θέσεις του εδάφους, σε όλη την έκταση της καλδέρας του ηφαιστείου. Τέλος επισημαίνεται η ανάγκη παρακολούθησης των αερίων που εκπέμπονται από το ηφαίστειο όπως και διαφόρων άλλων προληπτικών μέτρων και μεθόδων (μετρήσεις μικρομετακινήσεων με GPS κ.α.), που μπορούν να συμβάλλουν σε μια πιο ολοκληρωμένη διαχείριση των φυσικών καταστροφών που ενδεχομένως να προκύψουν μελλοντικά.

Φθάνοντας στο τέλος της εκπόνησης της πτυχιακής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωσή της. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της τριμελούς επιτροπής, για την ανάθεση της πτυχιακής αυτής: τον αναπληρωτή καθηγητή Κωνσταντίνο Κυριακόπουλο, τον καθηγητή Ταξιάρχη Παπαδόπουλο και τον επίκουρο καθηγητή Δρ. Παπαθεοδώρου Κωνσταντίνο. Δεν μπορώ παρά να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Κυριακόπουλο Κωνσταντίνο για την αμέριστη βοήθεια και καθοδήγηση του σε θέματα ηφαιστειολογίας, στα οποία εισήλθα μέσω του μεταπτυχιακού. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον ερευνητή D'Alessandro Walter, του εθνικού ινστιτούτου γεωφυσικής και ηφαιστειολογίας στο Παλέρμο της Ιταλίας, για την βοήθεια που μου παρείχε τόσο στην ανάλυση των δειγμάτων αερίων, νερού αλλά και των παθητικών φίλτρων τύπου radiello, όσο και στις παρατηρήσεις και προτάσεις που συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της πτυχιακής. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

οικογένεια μου, για την ηθική και οικονομική στήριξη που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια της φοιτητικής μου διαδρομής, και συγκεκριμένα τον πατέρα μου, που με βοήθησε καθ' όλη την διάρκεια και ειδικά στα τελικά στάδια της εργασίας μου, όσο εγώ υπηρετούσα την θητεία μου στον ελληνικό στρατό, για τον χρόνο και την αφοσίωση που έδειξε στο να ολοκληρωθεί η πτυχιακή αυτή.

Εισαγωγή

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, έχει ως στόχο να αναδείξει την υφιστάμενη κατάσταση της ηφαιστειακής επικινδυνότητας στο ηφαίστειο της Νισύρου. Σκοπός της εργασίας, είναι να γίνει κατανοητή η αναγκαιότητα λήψης μέτρων και εφαρμογής μεθόδων παρακολούθησης του ηφαιστείου, καθώς και δράσεων που θα οδηγήσουν στην αποτροπή προβλημάτων που μπορούν να παρουσιαστούν από αυξημένη δραστηριότητα του ηφαιστείου.

Στα πρώτα στάδια της εργασίας, πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική έρευνα που αφορούσε στην γεωλογία της Νισύρου καθώς και στην δυναμική και εξέλιξη ηφαιστειακών κέντρων στον ελλαδικό χώρο. Στην συνέχεια, η έρευνα επικεντρώθηκε σε διάφορες μορφές ηφαιστειακών κινδύνων και πως αυτοί διαμορφώνονται στα διάφορα στάδια εξέλιξης του ηφαιστείου. Στο παραπάνω πλαίσιο αναλύθηκαν τα ηφαιστειακά αέρια και οι επιπτώσεις τους. Έπειτα, εφαρμόστηκαν διάφορες μέθοδοι παρακολούθησης ηφαιστειακών αερίων που έχουν στόχο να βελτιώσουν την αντίληψη των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε ηφαιστειακά συστήματα.

Τον Ιούλιο του 2008, πραγματοποιήθηκαν στην Νίσυρο μετρήσεις των αερίων που εκλύονται στην πεδιάδα Λακκί και συγκεκριμένα περιμετρικά του κρατήρα “Στέφανος”. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν με: i) τοποθέτηση παθητικών φίλτρων (Radiello) για την μέτρηση της διασποράς του υδροθείου (H_2S) στην ατμόσφαιρα, ii) επιτόπου μετρήσεις του ποσοστού του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) που περιέχεται στο έδαφος, iii) λήψη δειγμάτων αερίων από το έδαφος και iv) λήψη δειγμάτων νερού από τις θερμές πηγές της Νισύρου. Για τον προσδιορισμό της θέσης των σημείων δειγματοληψίας χρησιμοποιήθηκε συσκευή χειρός G.P.S..

Στη συνέχεια, ενσωματώθηκαν τα αποτελέσματα των αναλύσεων σε βάσεις δεδομένων και αυτές με την σειρά τους στο Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους της περιοχής. Το Ψ.Μ.Ε. δημιουργήθηκε από την ψηφιοποίηση ισοϋψών καμπυλών από γεωαναφερμένο χάρτη της Νισύρου, κλίμακας 1:50.000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού. Προκειμένου να απεικονισθούν τα αποτελέσματα των αναλύσεων δημιουργήθηκε μια επιφάνεια ψηφιδωτής (raster) μορφής από τα σημειακά shapefiles με την χρήση μεθόδου παρεμβολής πλησιέστερης γειτνίασης (natural neighbor). Έτσι δημιουργήθηκαν δύο χάρτες με την διασπορά του υδροθείου και του διοξειδίου του άνθρακα, στην περιοχή μελέτης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

συγκεντρώσεις H_2S και CO_2 , δεν κυμαίνονται σε θανάσιμα για τον άνθρωπο επίπεδα. Παρόλα αυτά όμως η παρακολούθηση των ηφαιστειών και συγκεκριμένα των αερίων που αυτά εκλύουν, μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο στην ελαχιστοποίηση των κινδύνων που ενδεχομένως να εμφανιστούν κατά την διάρκεια αυξημένης ηφαιστειακής δραστηριότητας.

Πιο αναλυτικά:

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα γενικά περιγραφικά στοιχεία της Νισύρου που αφορούν την μυθολογία, ιστορικά στοιχεία, μορφολογία του νησιού και κλιματολογικά στοιχεία.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται η γεωλογία του νησιού. Γίνονται αναφορές στην ορογένεση και στην ηφαιστειότητα του ελλαδικού χώρου και στα ηφαιστειακά κέντρα Κω-Νισύρου-Τήλου. Στην συνέχεια παρουσιάζονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί της Νισύρου, καθώς επίσης και η τεκτονική ανάλυση που περιλαμβάνει τα κύρια και δευτερεύοντα συστήματα ρηγμάτων αλλά και το σεισμικό ρήγμα που εντοπίστηκε κοντά στο Μανδράκι και ενεργοποιήθηκε τον Ιούλιο του 1996. Ακολουθεί η ανάλυση της γεωλογικής εξέλιξης της Νισύρου, με τα τέσσερα διαδοχικά στάδια εξέλιξης του ηφαιστείου. Έπειτα, αναλύεται η εξέλιξη της ηφαιστειακής δραστηριότητας στη Νίσυρο, όπου γίνεται αναφορά στις πιο γνωστές εκρήξεις που έχουν παρατηρηθεί. Επίσης, αναλύονται τα μετα-ηφαιστειακά φαινόμενα της Νισύρου, η σύσταση και θειογενετική δράση των ατιμίδων, τα θειοχώματα της Νισύρου και αναφέρεται η ορυκτολογική μελέτη του κρατήρα Στέφανου. Στην συνέχεια γίνεται αναφορά στην σύγχρονη παραμόρφωση που υφίσταται το νησί, η οποία γίνεται αντιληπτή από οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις που παρατηρήθηκαν στις συντεταγμένες 18 γεωδαιτικών σταθμών του δικτύου GPS. Ακολουθεί αναφορά στο υδροθερμικό σύστημα και τους μαγματικούς θαλάμους του νησιού. Στην συνέχεια παρουσιάζεται η σεισμική δραστηριότητα του νησιού και συγκεκριμένα η σεισμική έξαρση που παρατηρήθηκε την περίοδο 1995-1997.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η ηφαιστειακή επικινδυνότητα. Αφού πραγματοποιηθεί η αναφορά σε παγκόσμιο επίπεδο, η ανάλυση επικεντρώνεται στον ελλαδικό χώρο με έμφαση στην περίπτωση της Νισύρου. Στην συνέχεια ακολουθεί η αναφορά στα ηφαιστειακά αέρια (υδρόθειο, διοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, υδροχλώριο και υδροφθόριο) και στις επιπτώσεις που έχουν στο περιβάλλον και στον άνθρωπο. Στο τέλος του κεφαλαίου αυτού, αναλύονται και άλλα φαινόμενα

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

που εκδηλώνονται έπειτα από περιόδους αυξημένης ηφαιστειακής δραστηριότητας, όπως οι κατολισθήσεις και η εμφάνιση θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται το ενδιαφέρον που παρουσιάζουν τα ηφαιστειακά αέρια και η ανάγκη παρακολούθησης αυτών, έτσι ώστε να μπορέσει να βελτιωθεί η αντίληψη των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στα ηφαιστειακά συστήματα.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν τον Ιούλιο του 2008, οι οποίες περιλάμβαναν τοποθέτηση φίλτρων, την μέτρηση του ποσοστού του διοξειδίου του άνθρακα από τις εκροές του εδάφους, την λήψη δειγμάτων αερίων και νερού και ανάλυσή τους στο εργαστήριο. Συγκεκριμένα, τοποθετήθηκαν 14 παθητικά φίλτρα (Radiello) τα οποία μέτρησαν την διασπορά του υδρόθειου στην περιοχή των υδροθερμικών κρατήρων, στην πεδιάδα Ραμμός. Για τις μετρήσεις του ποσοστού διοξειδίου του άνθρακα, χρησιμοποιήθηκε η συσκευή LFG 20 PLUS η οποία ήταν συνδεδεμένη με σωλήνα που βρισκόταν σε βάθος 40 cm περίπου. Συνολικά μετρήθηκαν 64 σημεία ενδιαφέροντος γύρω από τους υδροθερμικούς κρατήρες. Επίσης πραγματοποιήθηκε λήψη δειγμάτων αερίων τα οποία διοχετεύτηκαν σε γυάλινα φιαλίδια και στάλθηκαν στα εργαστήρια του Εθνικού Ινστιτούτου Γεωφυσικής και Ηφαιστειολογίας, στο Παλέρμο της Ιταλίας για ανάλυση. Τέλος, αναλύθηκε δείγμα νερού από 5 παράκτιες θερμές πηγές του νησιού.

Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφονται οι τρόποι αντιμετώπισης φυσικών καταστροφών και τα προληπτικά μέτρα που προτείνεται να εφαρμοστούν. Τα μέτρα αυτά αφορούν στις καταστροφές που μπορούν να προκληθούν από ηφαιστειακή και σεισμική δράση, από κατολισθήσεις και από θαλάσσια κύματα βαρύτητας (tsunami).

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την πτυχιακή αυτή. Αναγνωρίζεται η σημασία χρησιμοποίησης μεθόδων παρακολούθησης του ηφαιστείου έτσι ώστε να βελτιωθεί η αντίληψη των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε ηφαιστειακά συστήματα.

Τέλος, στο παράρτημα παρουσιάζονται οι εννιά χάρτες που δημιουργήθηκαν και συγκεκριμένα: το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, ο γεωλογικός χάρτης και μια απλοποιημένη μορφή του, χάρτης με κύρια συστήματα ρηγμάτων, χάρτης μορφολογικών κλίσεων, χάρτης με μορφολογικές κλίσεις >50 και κύρια συστήματα ρηγμάτων, χάρτης που απεικονίζει τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν και δύο χάρτες χωρικής κατανομής του υδρόθειου και του διοξειδίου του άνθρακα, στην πεδιάδα Ραμμός.

Κεφάλαιο 1. Γενικά στοιχεία της Νισύρου

1.1 Μυθολογικά - ιστορικά στοιχεία

Από την Ελληνική μυθολογία του Richeripin (1953) μαθαίνουμε ότι σύμφωνα με τη θεογονία του Ησίοδου, η Νίσυρος δημιουργήθηκε κατά την διάρκεια της μάχης των θεών εναντίον των γιγάντων. Ο Ποσειδώνας κατεδίωκε τον Πολυβώτη ο οποίος προσπάθησε να διαφύγει από τον Όλυμπο κλέβοντας την φωτιά. Μη μπορώντας να φτάσει τον γίγαντα Πολυβώτη, απέσπασε με την τριαινά του ένα κομμάτι από την νήσο Κω, το επονομαζόμενο Νίσυρος, το οποίο και εκσφενδόνισε εναντίον του. Ο γίγαντας δεν αντέχει το βάρος και στην προσπάθειά του να απαλλαγεί από αυτό, προκαλεί τις δονήσεις στο ηφαιστειακό νησί. Ο μύθος αυτός εμβάλλει τη σκέψη ότι κάποια δράση του ηφαιστείου στους προϊστορικούς χρόνους ίσως, καταγράφηκε με τη μορφή των γεγονότων γύρω από το πρόσωπο του Πολυβώτη. Έτσι ο Πολυβώτης συμβολίζει την ηφαιστειακή δράση τουλάχιστον στη Νίσυρο.



Εικόνα 1 Ο Ποσειδώνας νικά τον γίγαντα Πολυβώτη. Κύλικας του 5^{ου} π.Χ. αιώνα.

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

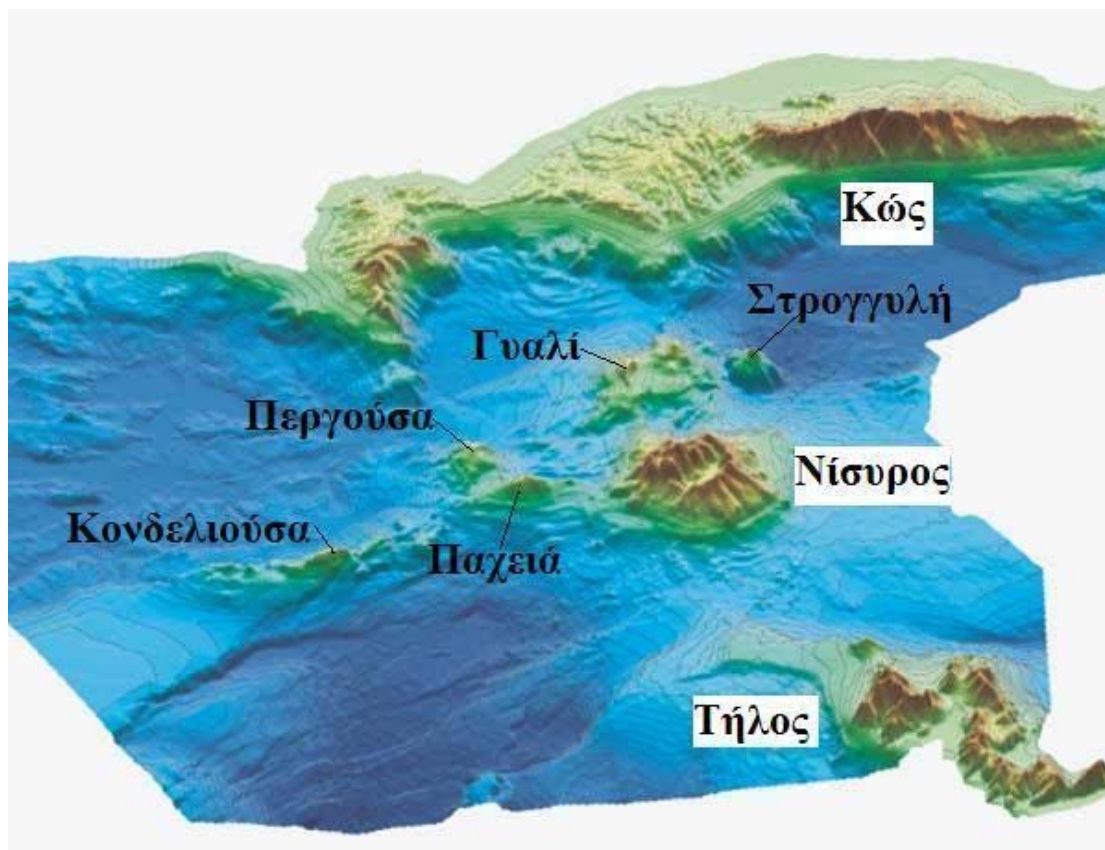
Η ονομασία του νησιού είναι αρχαιότατη. Αναφέρεται ήδη από τον Όμηρο στον κατάλογο των πλοίων που έλαβαν μέρος στον Τρωικό πόλεμο. Κατά τον Πλίνιο η προηγούμενη ονομασία της ήταν “Πορφυρίς” από τους Πορφυρείς (Φοίνικες) που κατοικούσαν εκεί ή από την ύπαρξη στη νήσο πορφύρας η οποία χρησίμευε για την παραγωγή του ερυθρού χρώματος. Αναφέρεται επίσης και με το όνομα “Κισσηρίς” από τα πετρώματα κισσήρεως που αφθονούν σε αυτήν. Η ονομασία Νίσυρος προέρχεται, σύμφωνα με μία εκδοχή, από τα ρήματα νέω (κολυμπώ) και σύρω (κινούμαι συρόμενος), διότι όταν ο Ποσειδώνας την απέκοψε από την νήσο Κώ και την έριξε στον γίγαντα Πολυβώτη, αυτή απομακρύνθηκε κινούμενη από τον γίγαντα που κολυμπούσε.

Το νησί κατοικείται από την νεολιθική τουλάχιστον περίοδο και ανιχνεύονται ίχνη Μινωικής και Μυκηναϊκής παρουσίας. Στους ιστορικούς χρόνους αποικίστηκε πιθανότατα από Δωριείς και αργότερα υπήρξε, για ένα διάστημα, μέλος της Αθηναϊκής Δηλιακής συμμαχίας. Το 200 π.Χ. ενσωματώθηκε στην επικράτεια των Ροδίων. Στους μεταγενέστερους χρόνους η πορεία και η τύχη της Νισύρου είναι σχεδόν ίδια με τα υπόλοιπα Δωδεκάνησα. Από τους διάφορους κατακτητές, ιδιαίτερα οι Σταυροφόροι (Ιππότες του Αγ. Ιωάννη) και οι Τούρκοι άφησαν τη σφραγίδα τους στο νησί. Το 1912 κατέλαβαν τη Νίσυρο οι Ιταλοί. Η ενσωμάτωση στην Ελλάδα έγινε το 1948.

Το μεγαλειώδες έργο στην προκλασική περίοδο (10^{ος} και 4^{ος} π.Χ. αι.) είναι το “Παλαιόκαστρο”. Η ελληνιστική περίοδος χαρακτηρίζεται από πλήθος φρυκτωριών (πύργοι-φυλάκια) και οι βυζαντινοί χρόνοι αφήνουν πολλές εκκλησίες. Οι Λατίνοι (11^{ος} έως 15^{ος} αι.) οικοδομούν το κάστρο των Ιωαννιτών Ιπποτών στο Μανδράκι και άλλα κάστρα στον Εμπορειό, τα Παρλέτια και το Σταυρό.

1.2 Μορφολογία

Η νήσος Νίσυρος είναι νησί του Αιγαίου, υπάγεται στο νομό Δωδεκανήσου και έχει συντεταγμένες $36^{\circ} 35' \text{ B}$ και $27^{\circ} 10' \text{ A}$. Βρίσκεται σε απόσταση 11 περίπου ναυτικών μιλίων νότια της Κω, 8 μίλια βορειοδυτικά της Τήλου και 10 ναυτικά μίλια δυτικά των τούρκικων ακτών. Απέχει 58 μίλια (107 km) από την Ρόδο και 240 μίλια (444 km) από τον Πειραιά.



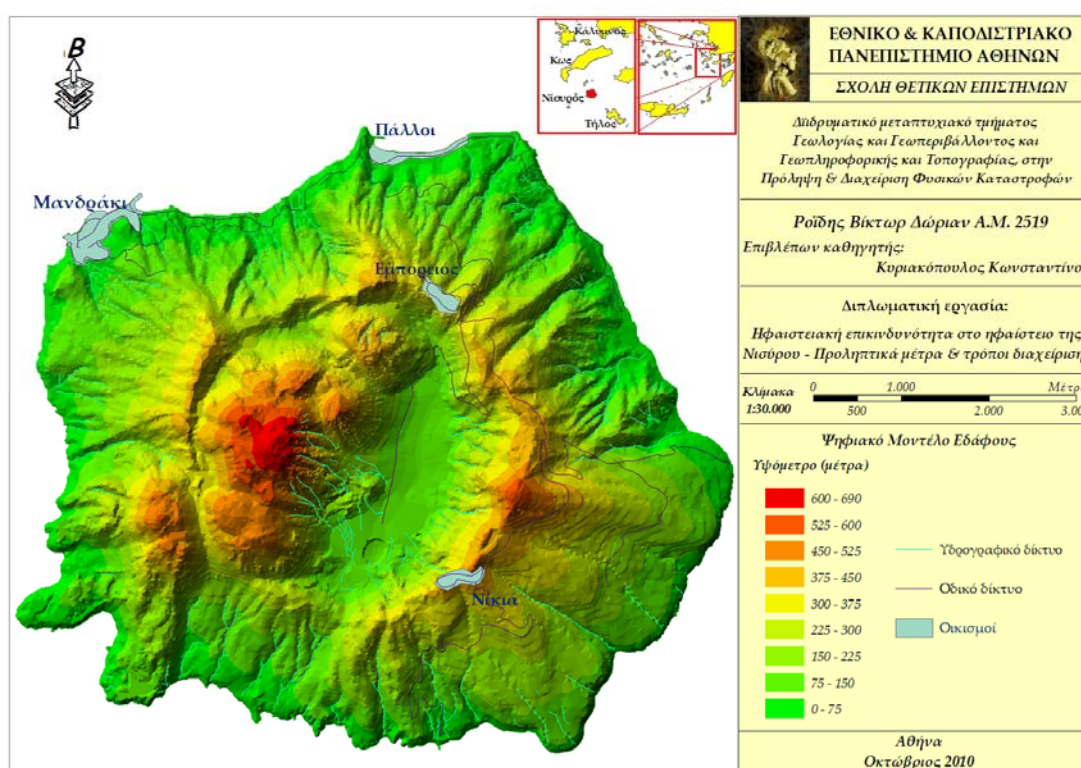
Εικόνα 2 Ψηφιακό και βαθυμετρικό μοντέλο εδάφους της Νισύρου και των γειτονικών νησιών (Geowarn 2003 με τροποποίηση)

Η επιφάνεια του νησιού είναι $41,4 \text{ χλμ}^2$ και έχει ένα ιδιαίτερα χαρακτηριστικό σχήμα μορφής κόλουρου κώνου. Όλο το νησί είναι μια μεγάλη τυπική καлдέρα με περιφέρεια 25 χλμ.. Το υψηλότερο τοπογραφικό σημείο είναι η κορυφή του “Προφήτη Ηλία” με 698 μ. ύψος που βρίσκεται στο κέντρο περίπου του νησιού. Άλλες υψηλές κορυφές είναι ο “Άγιος Ιωάννης” με 589 μ. ύψος που βρίσκεται βορειοανατολικά των Νικειών, και ο “Καραβιώτης” με 539 μ. νοτιοανατολικά του Προφήτη Ηλία. Οι κορυφές αυτές μεταξύ τους σχηματίζουν την χαρακτηριστική καлдέρα. Είναι ένας τυπικός κρατήρας εκ κατακρημνίσεως ελαφρώς πεπλατυσμένος κατά την οποία το μήκος του είναι περίπου 3 χλμ., ενώ το πλάτος του είναι λίγο

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

μεγαλύτερο από 1 χλμ κατά την βορειοδυτική-νοτιοανατολική διεύθυνση. Η καλδέρα χωρίζεται στο βορειοανατολικό τμήμα (Λακκί) που παρουσιάζει σχετική βλάστηση και το νοτιοδυτικό τμήμα (Ραμμός) που χαρακτηρίζεται από έντονη αμιδική δράση, η οποία επικεντρώνεται σε 5 διαφορετικού μεγέθους φρεατοειδείς κρατήρες. Χαρακτηριστικότεροι και θεαματικότεροι από τους κρατήρες αυτούς είναι ο “Στέφανος” και ο “Αλέξανδρος” ενώ οι υπόλοιποι είναι ο “Λογοθέτης” ο “Αχιλλέας” και ο “Πολυβώτης”.

Οι ακτές προς την θάλασσα είναι στην πλειοψηφία τους απότομες και δύσβατες. Εξαίρεση αποτελούν δύο μεγάλες και ομαλές παραλίες, μία στους Πάλλους, στις βόρειες ακτές του νησιού, και μία στις Λειές, στις ανατολικές ακτές.



Εικόνα 3 Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της Νισύρου (βλέπε παράρτημα).

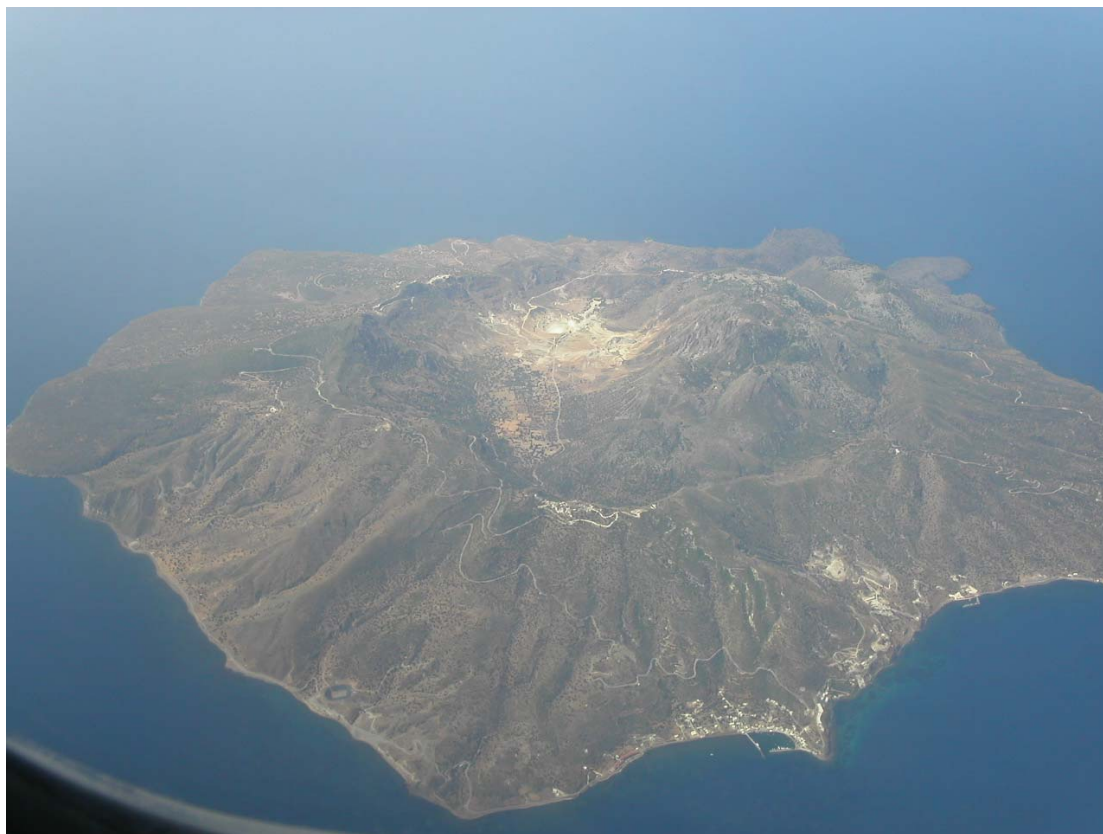
Δεν υπάρχουν ποτάμια συνεχούς - επιφανειακής ροής, παρά μόνο μερικοί απότομοι χείμαρροι. Υπάρχει μόνο μία πηγή γλυκού νερού στο ανατολικό τμήμα της νήσου, κοντά στο μοναστήρι “Παναγιά Κυρά” σε υψόμετρο 190 μ. Η ύδρευση των κατοίκων γίνεται από δεξαμενές (στέρνες) συγκέντρωσης βρόχινου νερού, από την μονάδα αφαλάτωσης δίπλα στο Μανδράκι, και με μεταφορά νερού από γειτονικά νησιά, κυρίως τους θερινούς μήνες. Αντίθετα με την ανυπαρξία γλυκού νερού η Νίσυρος διαθέτει πλούτο ονομαστών ιαματικών θερμών πηγών, οι πιο γνωστές από

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

τις οποίες είναι στις ΒΑ ακτές του Μανδρακίου, τα “Λουτρά”, και στους Πάλλους, οι οποίες χρησιμοποιούνται για θεραπευτικούς σκοπούς.

Ειδικότερα για την μορφολογία του νησιού, μπορούμε να πούμε πως παρουσιάζει ένα έντονο ανάγλυφο, που οφείλεται εκτός της τεκτονικής, στο διαφορετικό βαθμό αποσάθρωσης και διάβρωσης κάθε τύπου πετρώματος, ο οποίος δίνει και μια διαφορετική μορφή αναγλύφου. Για παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε πως τα δακτυκικά πετρώματα που προέρχονται από την τελευταία έκχυση του ηφαιστείου, καταλαμβάνουν το κεντρικό και νοτιοδυτικό τμήμα του νησιού και σχηματίζουν δόμους με οξύληκτες κορυφές και οδοντώσεις που αποτελούν και τα μεγαλύτερα υψόμετρα της περιοχής.

Έξι μικρά νησιά βρίσκονται γύρω από την Νίσυρο. Πρόκειται για το Γυαλί, την Κονδελιούσα, την Πυργούσα, την Παχειά, την Στρογγύλη και τον Άγιο Αντώνιο. Το Γυαλί που είναι και το μεγαλύτερο (5 km² περίπου) αποτελεί κέντρο εντονότατης λατομικής εξόρυξης και εκμετάλλευσης της άφθονης ελαφρόπετρας και αποτελεί ένα από βασικά έσοδα για την οικονομία της Νισύρου. Οι υπόλοιπες νησίδες είναι ακατοίκητες και χρησιμοποιούνται κυρίως ως βοσκότοποι.



Εικόνα 4 Αεροφωτογραφία της Νισύρου
(<http://static.panoramio.com/photos/original/1568768.jpg>)

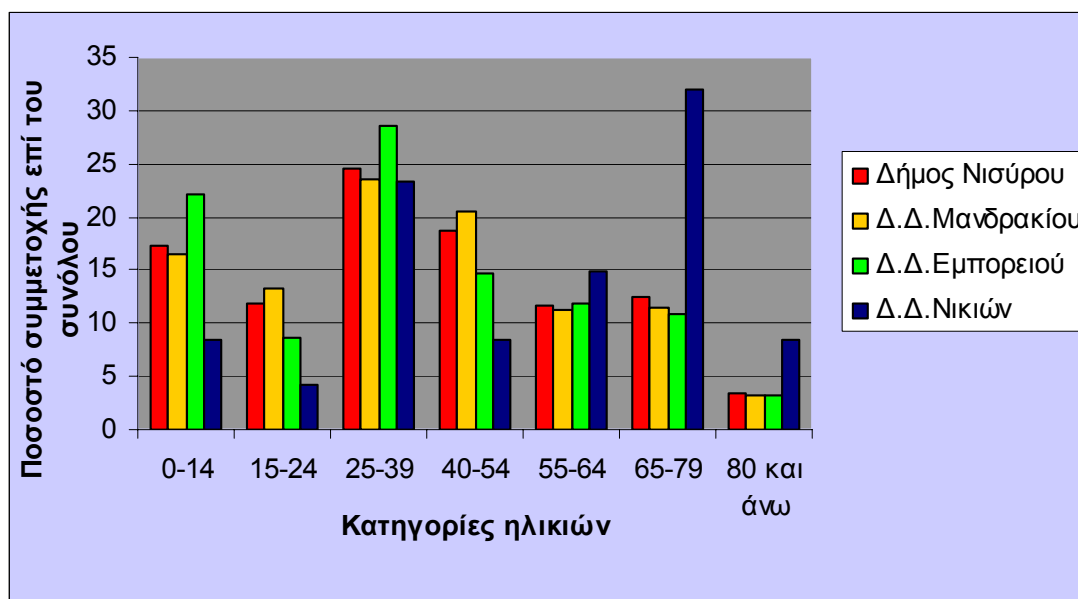
1.3 Πληθυσμιακά στοιχεία.

Σύμφωνα με την απογραφή του 2001 ο πληθυσμός του Δήμου της Νισύρου καταμετρήθηκε σε 928 άτομα. Το Μανδράκι συγκεντρώνει το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού με 667 κατοίκους. Ακολουθούν οι Πάλιοι, τα Νικιά, ο Εμπορειός και τα Λουτρά. (πηγή: <http://www.statistics.gr>)

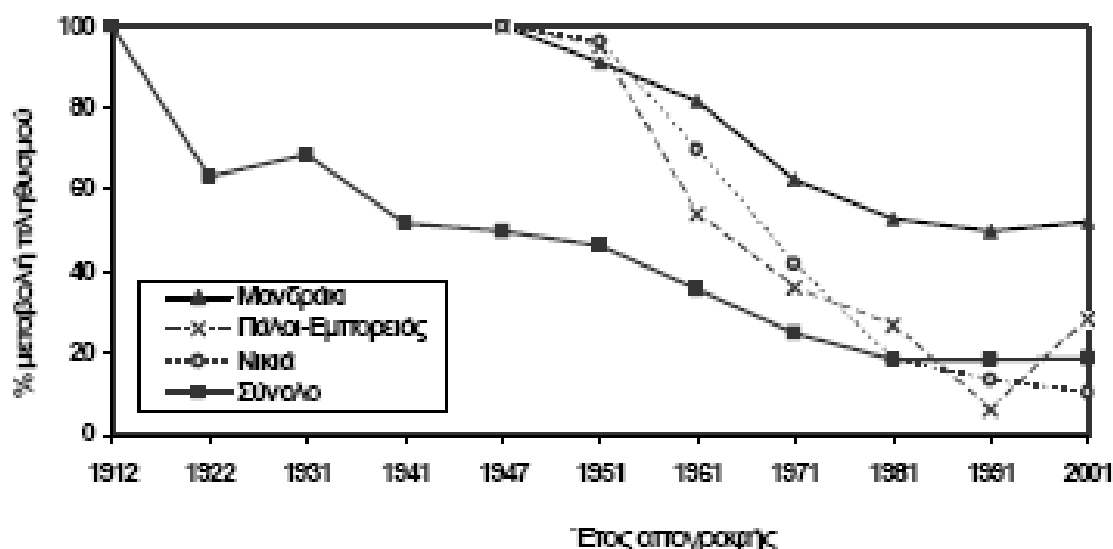
Πίνακας 1 Ο πληθυσμός της Νισύρου

Δήμος Νισύρου	928
Δ.Δ.Μανδρακίου	696
Μανδράκι	667
Λουτρά	16
Γυαλί (νήσος)	13
Δ.Δ.Εμπορειού	185
Εμπορειός	25
Πάλιοι	160
Δ.Δ.Νικιών	47
Νικιά	47

Από τον παρακάτω πίνακα, όπου παρουσιάζονται τα ποσοστά συμμετοχής των 7 κατηγοριών ηλικιών, γίνεται αντιληπτό ότι περίπου 66% του πληθυσμού είναι από 15 έως 64 χρονών. Συγκεκριμένα η κατηγορία 0-14 συγκεντρώνει το 17% του πληθυσμού, ενώ στις κατηγορίες άνω των 65 συγκεντρώνεται το 16%.



Διάγραμμα 1 Τα ποσοστά συμμετοχής των 7 κατηγοριών



Διάγραμμα 2 Μεταπολεμική εξέλιξη του πληθυσμού της Νισύρου ανά κοινότητα. Δίνεται η % μεταβολή του πληθυσμού με βάση εκείνον του 1947, που αποτελεί τον παλαιότερο και μεγαλύτερο πληθυσμό του νησιού για τον οποίο υπάρχουν στοιχεία ανά κοινότητα. Για το σύνολο της νήσου η % μεταβολή δίνεται σε σχέση με τη μέγιστη μετά το 1821 (5.000 κάτοικοι), που παρατηρήθηκε την περίοδο 1910-12. Τα στοιχεία ελήφθησαν από ΑΤΕ (Νισυριακά Χρονικά 1956), Λογοθέτη (1963), Αγαπητίδη (1969,1972), Γεροζήση (1998) και ΕΣΥΕ (1991, 2001). Πηγή: Πετανίδου & συνεργ. (2004).

1.4 Κλιματολογικά στοιχεία

Η Νίσυρος γεωγραφικά εντοπίζεται στα Δωδεκάνησα και άρα από κλιματικής άποψης, στη χερσαία μεσογειακή κλιματική ενότητα της Ελλάδας. Αυτή περιλαμβάνει την νότια Ελλάδα, μέρος της Θεσσαλίας, ορισμένα τμήματα της Στερεάς και της Πελοποννήσου, τα νησιά του Αιγαίου και την Κρήτη. Οι περιοχές αυτές παρουσιάζουν μεγαλύτερη ξηρασία κατά το θέρος και χαμηλότερες θερμοκρασίες κατά το χειμώνα σε σύγκριση με τις δυτικές περιοχές του ίδιου γεωγραφικού πλάτους (Ζαμπάκας 1984).

Το κλίμα της είναι εύκρατο και πλησιάζει το θαλάσσιο. Η θάλασσα έχει πολύ ευνοϊκή επίδραση στ κλίμα, κάνοντάς το ηπιότερο από το κλίμα της νότιας Ελλάδας. Η μέση ετήσια θερμοκρασία φτάνει τους 20°. Όσον αφορά τις εποχές τον έτους, ο χειμώνας στη Νίσυρο είναι ήπιος και το καλοκαίρι δροσερό εξαιτίας της επίδρασης των ετήσιων ανέμων και της θαλάσσιας αύρας. Η άνοιξη είναι ζεστή και με μεγαλύτερη διάρκεια απ' ότι στην κυρίως Ελλάδα, λόγω της ανυπαρξίας ψηλών βουνών και κατά συνέπεια ανοιξιάτικων χιονιών. Τέλος το φθινόπωρο είναι

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νίσυρου.

ηλιόλουστο χωρίς ισχυρούς ανέμους. Ο ψυχρότερος μήνας του έτους είναι ο Ιανουάριος και με μικρή θερμοκρασιακή διαφορά ο Φεβρουάριος. Οι θερμότεροι μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος, ενώ ο Σεπτέμβριος ελάχιστα διαφέρει θερμοκρασιακά από τον Ιούνιο, γεγονός το οποίο αποδεικνύει ότι οι καλοκαιρινές συνθήκες παρατείνονται και μετά τον Αύγουστο.

Μακροχρόνια μετεωρολογικά στοιχεία δεν υπάρχουν για τη Νίσυρο. Ο πιο κοντινός μετεωρολογικός σταθμός είναι στο αεροδρόμιο της Κω. Για το λόγο αυτό και για την καλύτερη παρακολούθηση των τοπικών μετεωρολογικών φαινομένων, η ΔΕΜΕ/ΔΕΗ έχει εγκαταστήσει στη Νίσυρο δύο μετεωρολογικούς σταθμούς ένα μέσα στην καλδέρα του ηφαιστείου και ένα νότιο-ανατολικότερα, προς την μεριά του Άργους (Αυχένας).

Εξετάζοντας τα μετεωρολογικά στοιχεία των σταθμών αυτών μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

Κυριαρχούν οι Βόρειοι-Βορειοανατολικοί (NNE) άνεμοι που εμφανίζουν και τη μεγαλύτερη μέση ταχύτητα με 8.2 m/s. Ακολουθούν οι Βόρειοι (N) και οι Νότιο-Νοτιοανατολικοί (SSE) άνεμοι με μέση ταχύτητα 7 και 5.4 m/s αντίστοιχα. Σπανίζουν άνεμοι που να πνέουν παράλληλα προς τον άξονα Ανατολή- Δύση (W-E) που έχουν και τις μικρότερες ταχύτητες.

Οι μέγιστες μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας αέρα παρατηρούνται κατά το τρίμηνο Ιούλιος-Σεπτέμβριος με έξαρση τον Αύγουστο, και οι μικρότερες τον Φεβρουάριο.

Όσον αφορά τις βροχοπτώσεις, η Νίσυρος χαρακτηρίζεται από μία ξηρή περίοδο κατά το διάστημα Ιούνιο-Σεπτέμβριο και μία υγρή από τον Οκτώβριο μέχρι τον Μάιο. Το μέγιστο ύψος βροχής παρατηρείται τον Δεκέμβριο με 150 mm.

Οι μεγαλύτερες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας παρατηρούνται κατά το διάστημα Μάιος-Αύγουστος και οι μικρότερες τον Δεκέμβριο.

Από τα παραπάνω κλιματολογικά στοιχεία ιδιαίτερη σημασία έχουν τόσο η διεύθυνση όσο και η ένταση των επικρατούντων ανέμων, η σαφής κατανόηση των οποίων αποτελεί σημαντικό στοιχείο για την ερμηνεία των μηχανισμών απόθεσης των πυροκλαστικών σχηματισμών του παρελθόντος και κυρίως για την μελλοντική πρόβλεψη της πορείας των πυροκλαστικών αερίων ή σωματιδίων έτσι ώστε να μελετηθεί καλύτερα ο βαθμός της ηφαιστειακής επικινδυνότητας στην ευρύτερη περιοχή.

Κεφάλαιο 2. Γεωλογία

2.1 Ορογένεση και ηφαιστειότητα στον ελλαδικό χώρο

Η περιοχή του Αιγαίου είναι τυπική περίπτωση όπου οι λιθοσφαιρικές πλάκες συγκλίνουν. Οι πλάκες αυτές είναι η Ευρασιατική και η Αφρικανική. Η ζώνη επαφής των δύο πλακών είναι η Ελληνική τάφρος, που αναπτύσσεται παράλληλα σε μήκος 1500 km, δυτικά και νότια του Ελληνικού ιζηματογενούς τόξου, που έχει τη μορφή μεγάλου ημικυκλίου και περιλαμβάνει τα νησιά του Ιονίου, την Πελοπόννησο, την Κρήτη, τη Ρόδο και φτάνει μέχρι την Μικρά Ασία.

Η τεκτονική συμπεριφορά στο εξωτερικό τμήμα του τόξου του Αιγαίου διαφέρει από εκείνη του εσωτερικού τμήματος. Το εξωτερικό τμήμα χαρακτηρίζεται από τάσεις συμπίεσης, που οδηγούν στην δημιουργία ανάστροφων διαρρήξεων, μεγάλο πάχος λιθόσφαιρας, την έλλειψη σεισμικής δράσης ενδιάμεσου βάθους, την απουσία μαγματικής δράσης και τις χαμηλές τιμές της ροής θερμότητας (περίπου $0,7 \mu\text{cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$).

Η υποβύθιση της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική γίνεται από το κυρτό προς το κοίλο μέρος του τόξου, με μέση γωνία περίπου (15° - 35°). Η σεισμική ζώνη Benioff έχει αμφιθεατρικό σχήμα, η οποία λόγω των συχνών και μεγάλων σεισμών είναι ανιχνεύσιμη έως βάθος 200 και πάνω km και ο λόγος της ύπαρξης των σεισμών αυτών μεγάλου βάθους θεωρείται ότι είναι η ταχεία εισχώρηση κρύας συμπαγούς λιθόσφαιρας, η οποία εξακολουθεί να παραμορφώνεται ελαστικά όπως σε μικρότερα βάθη.

Από την τριβή της λιθόσφαιρας που καταδύεται, με το υλικό της ασθενόσφαιρας, παράγονται μεγάλα ποσά θερμότητας, τα οποία δημιουργούν ρεύματα που μεταφέρουν αυτό το υλικό στην κάτω επιφάνεια της λιθόσφαιρας του νοτίου Αιγαίου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη διαστολή της, που σε συνδυασμό με τους οριζόντιους κλάδους των ρευμάτων μεταφοράς, δημιουργούν οριζόντιες δυνάμεις εφελκυσμού στη λιθόσφαιρα του νοτίου Αιγαίου (λιθοσφαιρικό μοντέλο του Αιγιακού χώρου κατά Παπαζάχο Β., Παπαδόπουλο Γ., 1977).



Εικόνα 5 Τα ηφαιστειακά κέντρα στην περιοχή του Αιγαίου, με την ελληνική τάφρο, το νησιωτικό και ηφαιστειακό τόξο.

Έτσι προκαλούνται κανονικές διαρρήξεις, επιφανειακοί σεισμοί και διείδυση του θερμού μάγματος στο φλοιό. Στο μάγμα αυτό οφείλεται η έντονη ασβεσταλκαλική ηφαιστειακή δράση, οι υψηλές τιμές της ροής θερμότητας και οι επιφανειακές γεωθερμικές εκδηλώσεις στο νότιο Αιγαίο.

Τα φαινόμενα της ηφαιστειότητας εντοπίζονται στον χώρο του ηφαιστειακού τόξου και άλλοτε έχουμε χερσαία και άλλοτε υποθαλάσσια εκδήλωση των ηφαιστειών. Τα ηφαιστειακά πετρώματα, όπως και τα αντίστοιχα πλουτώνια σε βάθος, χαρακτηρίζονται από χημισμό-σύσταση ασβεσταλκαλικού τύπου (calc-alkaline) ιδιαίτερα όταν η υποβυθιζόμενη πλάκα είναι ωκεάνια.

Η απόσταση του ηφαιστειακού τόξου από την τάφρο εξαρτάται από την γωνία μέγιστης κλίσης της τεκτονικής επαφής των δύο πλακών και από την ταχύτητα της κίνησης. Η χρονολόγηση της ορογενετικού τύπου ασβεσταλκαλικής ηφαιστειότητας

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

είναι συνήθως ευχερής τόσο με κλασσικές γεωλογικές μεθόδους με βάση την ηλικία των σχηματισμών που διαπερνώνται και των συμπλεκόμενων ή επικλυσιγενών με τις λάβες των ιζημάτων όσο και με ραδιοχρονολογήσεις (π.χ Fytikas et al, 1984).

Το ηφαιστειακό μέτωπο που σχηματίζεται από την γεωδυναμική κατάσταση του Αιγαίου εμφανίζεται κατά μήκος μιας καμπύλης γραμμής που απέχει κατά μέσο όρο, 220km περίπου από την Ελληνική τάφρο, έχει μήκος 500km και πλάτος 20-40km, αρχίζει από τον Σαρωνικό κόλπο διέρχεται από το νότιο Αιγαίο και φθάνει στις δυτικές ακτές της Μικράς Ασίας.



Εικόνα 6 . Σχηματική απεικόνιση του γεωδυναμικού καθεστώτος του νοτίου Αιγαίου

Στον Ελλαδικό χώρο βρίσκεται διασπαρμένος ένας σημαντικός αριθμός ηφαιστειών Τριτογενούς και Τεταρτογενούς ηλικίας, το μεγαλύτερο μέρος των οποίων εντοπίζεται στο κεντρικό και νότιο τμήμα του (Fytikas et al, 1984).

Τα κυριότερα ηφαιστειακά κέντρα που ανήκουν στο τόξο του νοτίου Αιγαίου είναι : Σουσακι, Αίγινα, Μέθανα, Πόρος, Μήλος-Αντίμηλος, Κίμωλος, Αντίπαρος, Σαντορίνη, Νίσυρος και Κως.

Με βάση τα δεδομένα γεωχρονολογήσεων αποδεικνύεται ότι πιθανότατα η ηφαιστειότητα του νοτίου Αιγαίου άρχισε πριν 3 εκατομμύρια χρόνια, στο Τεταρτογενές (Fytikas et al., 1976).

Ας σημειωθεί ότι οι παροξυσμικές φάσεις της ηφαιστειότητας όπως προσδιορίστηκαν με γεωχρονολογήσεις και ισοτοπικές μετρήσεις στις περιοχές Μακεδονίας – Θράκης ανάγονται στην περίοδο Ηωκαίνου-Ολιγοκαίνου, ενώ στην

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νίσυρου.

περιοχή του νοτίου Αιγαίου, οι μετά τις τελευταίες αλπικές ορογενετικές πτυχώσεις ηφαιστειακές εκρήξεις, χρονολογούνται από το Μειόκαινο μέχρι σήμερα (Sideris K., 1975). Έτσι είχαμε ηφαίστεια στην Πάτμο πριν 8-12 εκατ. χρόνια, στην Λέσβο πριν 16-20 εκατ. χρόνια, στην Λήμνο πριν 25-35 εκατ. χρόνια και στην Αλεξανδρούπολη πριν 35-50 εκατ. χρόνια.

Αυτό μας δείχνει την διαδικασία της μετανάστευσης του ηφαιστειακού τόξου από τον βορρά προς τον νότο κατά την εξέλιξη της ορογένεσης (ακολουθώντας τη γενικότερη μετανάστευση του ορογενετικού τόξου).

Το ελληνικό ηφαιστειακό τόξο βρίσκεται ακόμα υπό εξέλιξη, ως τμήμα του ορογενετικού τόξου, που έχει όλα τα γεωδυναμικά χαρακτηριστικά ενός υπό εξέλιξη τυπικού ορογενετικού τόξου. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ηφαιστειότητα είχαμε στον χώρο του Αιγαίου στο γεωλογικό παρελθόν πολύ εντονότερη από αυτή που παρατηρούμε στη σημερινή εποχή.

Όλα τα παραπάνω ηφαίστεια έχουν καταστεί ανενεργά εδώ και εκατομμύρια χρόνια, παρά το ότι σε πολλά από αυτά παρατηρούνται συνοδά φαινόμενα ηφαιστειότητας, όπως θερμομεταλλικές πηγές (π.χ. Πολύχνιτος, Ικαρία). Επίσης σε ορισμένες περιοχές του σημερινού ηφαιστειακού τόξου που θεωρούνται ανενεργές (επειδή δεν έχουν καταγραφεί εκρήξεις σε ιστορικούς χρόνους) παρατηρούνται ατμίδες και θερμές πηγές (π.χ. Μήλος, Σουσακί). Πρακτικά ο ηφαιστειακός κίνδυνος περιορίζεται στην Σαντορίνη και τη Νίσυρο, όπου είχαμε δραστηριότητα τις τελευταίες χιλιάδες χρόνια και σε ιστορικούς χρόνους. Ο κίνδυνος εν τούτοις είναι περιορισμένος, διότι δεν απειλούνται άμεσα οικισμοί, δεδομένου ότι ο χώρος της πιθανής έκρηξης βρίσκεται μέσα στις καλδέρες των δύο νησιών, κυρίως υποθαλάσσια στην Σαντορίνη (Κολούμπο) και χερσαία στην Νίσυρο.

Στην νήσο Νίσυρο η τελευταία ηφαιστειακή δραστηριότητα χρονολογείται πριν από 10.000 χρόνια, όπου σχηματίστηκαν οι μετακαλδερικοί δόμοι Προφήτη Ηλία, ενώ η μετέπειτα γεωδυναμική δράση του ηφαιστείου κατά τους ιστορικούς χρόνους εκφράζεται από σεισμικές δονήσεις, ατμιδική δραστηριότητα και υδροθερμικές εκρήξεις (1422, 1830, 1871-1873, 1888) από τους υδροθερμικούς κρατήρες που είναι ανεπτυγμένοι μέσα στο καλδερικό βύθισμα, στην επίπεδη περιοχή Λακκί.

2.2 Ηφαιστειακά κέντρα Κω-Νισύρου-Τήλου, νησίδες Κω-Νισύρου

Στον θαλάσσιο χώρο ανάμεσα στην Νίσυρο και στο δυτικό τμήμα της Κω, κυριαρχούν πέντε μικρότερες νησίδες οι οποίες παρουσιάζουν διαφορετική γεωλογική δομή και παλαιογεωγραφική εξέλιξη.

Το δυτικότερο νησάκι, 20km ΝΔ της Νισύρου, ονομάζεται Κονδελιούσα και είναι το μόνο το οποίο εμφανίζεται το αλπικό υπόβαθρο αφού δομείται αποκλειστικά από Μεσοζωικούς ανθρακικούς ασβεστόλιθους. Έχει επίμηκες σχήμα με υψόμετρο που δεν ξεπερνά τα 100 μέτρα και απότομες πλαγιές με μεγάλες μορφολογικές κλίσεις κυρίως στο ανατολικό τμήμα του. Τα υπόλοιπα νησάκια από τα δυτικά προς τα ανατολικά είναι: η Παχεία, η Περγούσα, το Γυαλί και ο Άγιος Αντώνιος και η Στρογγύλη, τα οποία αποτελούνται αποκλειστικά από ηφαιστειακούς σχηματισμούς και παρουσιάζουν ξεχωριστή μορφολογία και ηλικία σχηματισμού (Νομικού 2004).

Οι ηλικίες των ηφαιστειακών σχηματισμών της περιοχής Κω-Νισύρου, είναι σποραδικές και συχνά αντιφατικές με μεγάλα περιθώρια σφάλματος ως προς την ακρίβεια. Ταυτόχρονα, η ηφαιστειότητα σε κάθε ξεχωριστό κέντρο μπορεί να περιλαμβάνει μεγάλα ασυνεχή χρονικά διαστήματα που να είναι εν μέρει σύγχρονα με δράση άλλων ηφαιστειακών κέντρων.

Έχοντας υπόψη τις αβεβαιότητες ως προς την χρονική διάρκεια και διαδοχή των επιμέρους ηφαιστειακών κέντρων, διακρίθηκαν 10 ηφαιστειακά κέντρα και η πιθανή εξάπλωση τους τόσο στον χερσαίο όσο και στον υποθαλάσσιο χώρο (Νομικού 2004).

Η αρίθμηση και η περιγραφή τους στη συνέχεια γίνονται από το αρχαιότερο προς το νεότερο.

1. Καλδέρα και Πυροκλαστικά Κέφαλου- Υποθαλάσσια πυροκλαστικά δυτικής Κω.

Στην Δυτική Κω πριν από 0,55 Ma (Pasteels et al., 1986; Boven et al., 1987), πραγματοποιείται μαγματική έκρηξη με απόθεση πυροκλαστικών υλικών από το ηφαιστειακό κέντρο στον κόλπο του Κέφαλου. Στη συνέχεια δημιουργείται ο ρυολιθικός δόμος Ζίνι που σχετίζεται με ρήγματα ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης τα οποία

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

καταστρέφουν το μεγαλύτερο τμήμα του κώνου των ηφαιστειακών τόφφων του Κέφαλου προς τα ανατολικά και έτσι σήμερα διατηρείται η μισή καλδέρα του ηφαιστείου του Κέφαλου. Το ηφαιστειακό υλικό αποτέθηκε και στο βόρειο τμήμα της υποθαλάσσιας λεκάνης της Δυτικής Κω. Η ηφαιστειακή αυτή δράση αποτελεί την αρχαιότερη μορφή που μπορεί να εντοπιστεί τόσο στο χερσαίο όσο και στον υποθαλάσσιο χώρο κατά το Πλειστόκαινο.

2. *Πυρομβρίτης της Κω- Υποθαλάσσια Πυροκλαστικά Ανατολικής Κω.*

Πριν από $161,3 \pm 1,1$ Ka (Smith et al, 1996) πραγματοποιήθηκε μια τεράστια ηφαιστειακή έκρηξη από ένα υποθαλάσσιο ηφαιστειακό κέντρο η οποία δημιούργησε τον μέσου πάχους 20μ πυρομβρίτη της Κω. Αποθέσεις πυρομβρίτη και κίσηρης, αυτής της έκρηξης παρατηρούνται και στην Τήλο, την μικρασιατική ακτή, την Κνίδα κ.α. Σύμφωνα με την ανάλυση της διασποράς της ηφαιστειακής τέφρας, η οποία επεκτάθηκε σε μια περιοχή >8000 km² (Allen & Cas, 2001) ως θέση της έκρηξης προτάθηκε ο χώρος γύρω από το Γυαλί.

Σύμφωνα με την Νομικού (2004), κατά την ερμηνεία των λιθοσεισμικών τομών στον υποθαλάσσιο χώρο, το κέντρο της τεράστιας έκρηξης ταυτίζεται περίπου με την θέση του μεταγενέστερου ηφαιστειακού κρατήρα της Αβύσσου, ΒΑ της Στρογγύλης. Μετά τη φρεατοπλίνια έκρηξη του πυρομβρίτη, στην ευρύτερη περιοχή Κω- Νισύρου- Τήλου, πραγματοποιούνται αλληπάλληλες εκρήξεις από διάφορα ηφαιστειακά κέντρα, τα οποία συνυπάρχουν είτε δρουν μεμονωμένα σε διαφορετικές χρονικές περιόδους.

3. *Στρωματο-ηφαίστειο Νισύρου.*

Στο κεντρικό τμήμα της τεκτονικής τάφρου Κω-Τήλου πάνω σε υποθαλάσσιες ανδεσιτικές λάβες (Λάβες Α Νισύρου-pillow lavas) δημιουργείται το σύνθετο ηφαιστειακό συγκρότημα της Νισύρου από εναλλαγές ασβεστο-αλκαλικών λαβών και πυροκλαστικών ιζημάτων που σχηματίζουν ένα ηφαιστειακό κώνο ύψους περίπου 700μ. Στη συνέχεια στα νοτιοανατολικά πρηνή του μία άλλη ηφαιστειακή έκρηξη αποθέτει τους ρυόλιθους των Νικιών ενώ ισχυρές πλίνιες εκρήξεις εναποθέτουν στρώματα κίσηρης και ακολουθεί εγκατακρήμιση του ηφαιστειακού κώνου και δημιουργία του καλδερικού βυθίσματος. Το στρωματοηφαίστειο της Νισύρου παρατηρείται από βάθος περίπου 600μ μέχρι περίπου 450μ υψόμετρο, όπου σήμερα παρατηρείται το χείλος της καλδέρας, πάνω από την στάθμη της θάλασσας.

4. *Στρωματο-ηφαίστειο Περγούσας.*

Το ηφαιστειακό οικοδόμημα της Περγούσας αρχίζει από βάθος περίπου 400μ και φθάνει μέχρι 100μ υψόμετρο πάνω από την στάθμη της θάλασσας. Δομείται από δακτιλικές λάβες που καλύπτονται από πυροκλαστικές αποθέσεις. Τα πρηνή του το μεγαλύτερο ποσοστό των οποίων αναπτύσσονται στον υποθαλάσσιο χώρο, παρουσιάζουν απότομες μορφολογικές κλίσεις στο βόρειο τμήμα του ενώ δυτικότερα το ανάγλυφο τους είναι πιο ομαλό. Πάνω από το νησί παρατηρείται μία πρόσφατη τεκτονική τάφρος οριοθετημένη από ρήγματα περίπου ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνσης, που δημιουργούν μία σχετικά επίπεδη επιφάνεια.

5. *Ηφαιστειακός δόμος Παχειάς.*

Ο ηφαιστειακός δόμος της Παχειάς αποτελείται από ανδευτικές λάβες που καλύπτονται από τόφρους και άλλα πυροκλαστικά. Παρουσιάζει απότομα πρηνή από βάθος 300μ μέχρι υψόμετρο 100μ πάνω από την στάθμη της θάλασσας. Η ανάπτυξη των δόμων σε διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ χαρακτηρίζει την Παχειά όπως και τις ανάλογες μορφές δόμων της ανατολικής Κονδελιούσας και του Προφήτη Ηλία, με έντονες μορφολογικές κλίσεις τόσο στο χερσαίο όσο και ιδιαίτερα στο υποθαλάσσιο τμήμα τους.

6. *Υποθαλάσσιος ηφαιστειακός δόμος Ανατολικής Κονδελιούσας.*

Στον υποθαλάσσιο χώρο ανατολικά της Κονδελιούσας ανακαλύφθηκε ένα άγνωστο έως σήμερα ηφαιστειακό πεδίο, το οποίο αποτελείται από ηφαιστειακούς δόμους με κατακόρυφα πρηνή κάτω από τον τεκτονικό έλεγχο ρηγμάτων διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ.

Οι υποθαλάσσιοι ηφαιστειακοί δόμοι εντοπίζονται από βάθος 450μ μέχρι 100μ κάτω από την στάθμη της θάλασσας. Ο ηφαιστειακός τους κρατήρας έχει επιβεβαιωθεί από την κατάδυση που έγινε με το βαθυσκάφος «ΘΕΤΙΣ» με παρατήρηση πολλών ηφαιστειακών κρατήρων.

7. *Ηφαίστειο Γυαλιού.*

Από κάποιες ηφαιστειακές εκρήξεις στον υποθαλάσσιο χώρο της περιοχής του Γυαλιού εκτινάχθηκε ρυολιθική κίσηση μαζί με απροσδιόριστο ποσό αποθέσεων ηφαιστειακού υλικού δημιουργώντας την ομώνυμη νησίδα σχηματίζοντας μια ημικαλδέρα της οποίας διατηρείται το δυτικό ημικόκλιο. Στη συνέχεια γύρω στα 24ka (Wagner et. al., 1976) εκτινάσσεται ρυολιθική λάβα που είναι νεότερη της κίσησης και καλύπτει το ΒΑ τμήμα του Γυαλιού με χαρακτηριστικές εμφανίσεις ηφαιστειακής υέλου, γνωστής σαν οψιδιανός. Το υπόλειμμα της τωρινής ηφαιστειακής καλδέρας του Γυαλιού αναπτύσσεται από βάθος περίπου 350 μ. μέχρι 100 μ. υψόμετρο πάνω από τη στάθμη της θάλασσας και διακόπτεται από τη ρυολιθική λάβα προς τα ανατολικά από μία ρηξιγενή ζώνη διεύθυνσης B-N, η οποία δείχνει και μία αριστερόστροφη οριζόντια ολίσθηση περίπου 1 χλμ.

8. *Ηφαιστειακοί δόμοι Προφήτη Ηλία.*

Στη Νίσυρο μετά την δημιουργία της καλδέρας, αρχίζει νέος κύκλος ηφαιστειακής δραστηριότητας με την έκχυση των ρυολιθικών-δακτικικών δόμων που δομούν το υψηλότερο βουνό του Προφήτη Ηλία και καταστρέφουν μεγάλο μέρος από το δυτικό τμήμα της καλδέρας.

Μετά τον σχηματισμό των μετακαλδερικών δόμων του Προφήτη Ηλία, η γεωδυναμική δράση του ηφαιστείου συνεχίζεται με φρεατικές εκρήξεις από τους κρατήρες που είναι ανεπτυγμένοι μέσα στο υπόλειμμα του καλδερικού βυθίσματος, στην επίπεδη περιοχή Λακκί.

9. *Υποθαλάσσια καλδέρα Άβυσσος.*

Κατά την ερμηνεία των λιθοσεισμικών τομών και του ψηφιακού βαθυμετρικού χάρτη (Νομικού 2004) ανακαλύφθηκε ένα, άγνωστο μέχρι σήμερα υποθαλάσσιο Ολοκαινικό ενεργό ηφαίστειο με μορφή καλδέρας σε βάθος 670μ στο ΝΔ επίπεδο τμήμα της λεκάνης της Ανατολικής Κω. Το υποθαλάσσιο αυτό καλδερικό βύθισμα που ονομάστηκε «Άβυσσος» λόγω του μεγάλου του βάθους, εμφανίζει μικρότερους ηφαιστειακούς δόμους στο εσωτερικό του με υψομετρική διαφορά από τον οριζόντιο πυθμένα της καλδέρας περίπου 50-70 μ.

Η πολύ πρόσφατη ηλικία του φαίνεται από την έλλειψη ιζηματογενών αποθέσεων πάνω στους ηφαιστειακούς σχηματισμούς παρά το ότι πρόκειται για το επίπεδο οριζόντιο νοτιοδυτικό τμήμα της Λεκάνης της Ανατολικής Κω.

10. Ηφαιστειακός κώνος Στρογγύλης.

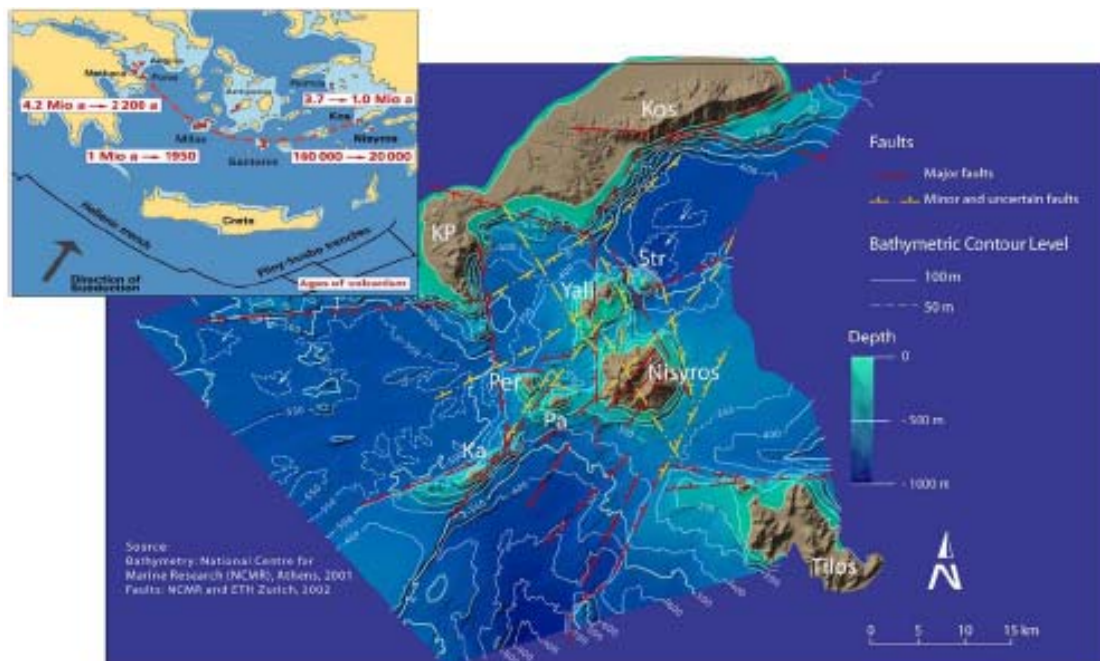
Τέλος ο ηφαιστειακός κώνος της Στρογγύλης αποτελεί μάλλον το πιο πρόσφατο Ολοκαινικό ηφαιστειακό κέντρο, που ξεκινά από βάθος 600 μ. μέχρι 120 μ. υψόμετρο πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.

Εμφανίζει γεωμετρικό σχήμα, με απότομα πρανή το μεγαλύτερο μέρος των οποίων αναπτύσσεται υποθαλάσσια. Στην κορυφή του υπάρχει κρατήρας διαμέτρου 300 μ. με βάθος περίπου 40 μ. από το χείλος του ηφαιστειακού κώνου που φθάνει τα 125 μ. Μέσα στον κρατήρα της Στρογγύλης παρατηρούνται παλιές τεχνητές αναβαθμίδες και ίχνη καλλιέργειας . Δεν παρατηρούνται σημεία εξόδου αερίων ή θειάφι κλπ. Κατά την κατάδυση με το βαθυσκάφος «ΘΕΤΙΣ» ανακαλύφθηκαν νέοι υποθαλάσσιοι ενεργοί ηφαιστειακοί κρατήρες αναπτυγμένοι στα πρανή του ηφαιστείου της Στρογγύλης.

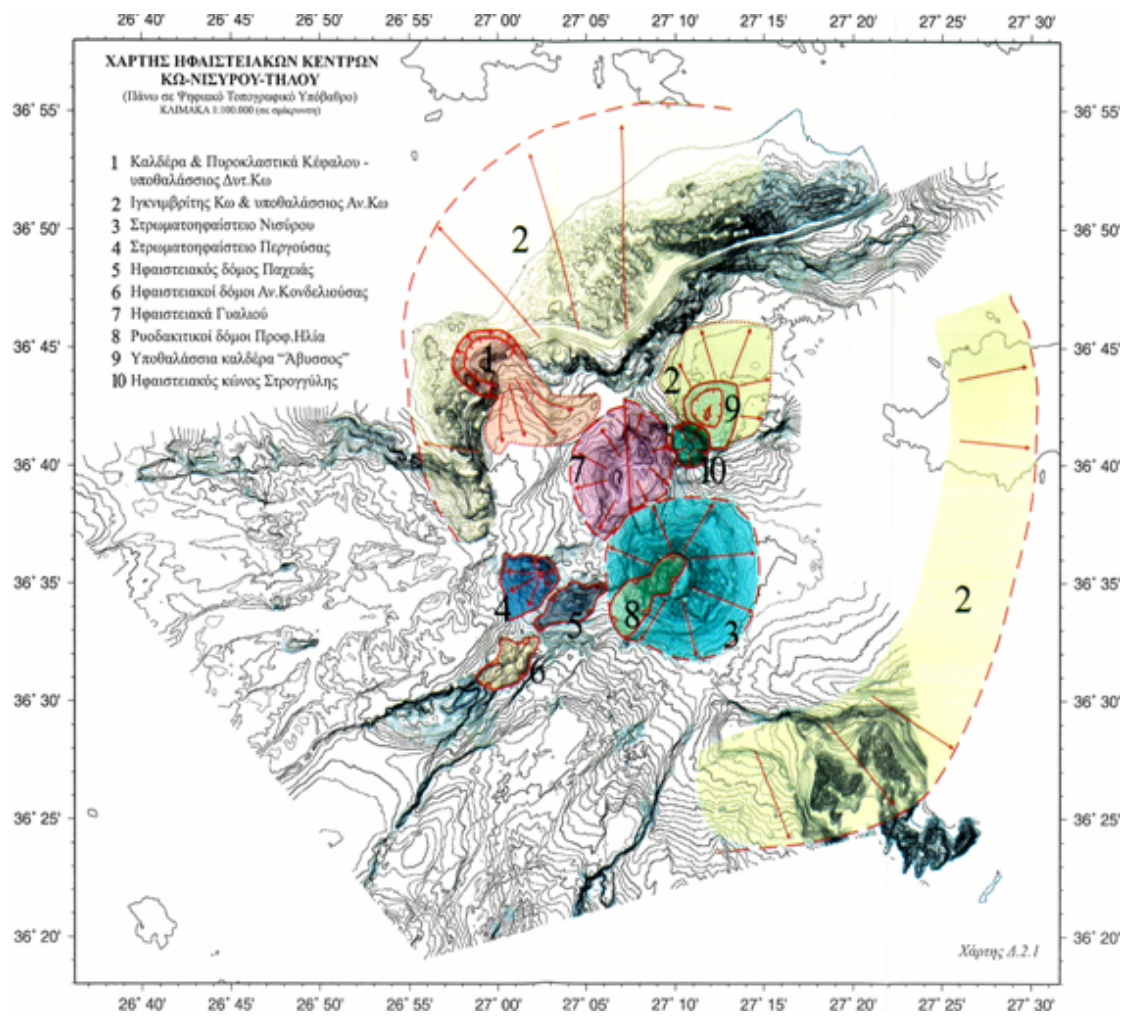
Η γεωδυναμική δραστηριότητα της περιοχής Κω-Νισύρου-Τήλου που περιλαμβάνει σεισμούς, ηφαίστεια, ανυψώσεις, βυθίσεις, διαβρώσεις -κατολισθήσεις, αποθέσεις ιζημάτων, τόσο στον χερσαίο όσο και στον υποθαλάσσιο χώρο, άρχισε πριν 3-4 εκατομμύρια χρόνια και κορυφώθηκε τα τελευταία 500.000 χρόνια με 10 ηφαιστειακά κέντρα και συνεχίζεται έως σήμερα.

Γίνεται αντιληπτό, πως ο ευρύτερος χώρος Κω-Νισύρου-Τήλου είναι ένας χώρος που η επιστημονική έρευνα και η κρατική μέριμνα πρέπει να συμβάλλουν για την ασφάλεια και την προστασία των κατοίκων και των αγαθών τους.

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.



Εικόνα 7. Το ελληνικό ηφαιστειακό τόξο και τα κύρια ηφαιστειακά κέντρα. Βαθυμετρία και τοπογραφία της περιοχής Κω-Γυαλί-Νίσυρος (Lagios, 2005). Συντομεύσεις: *KP*: Χερσόνησος Κέφαλου, *Str*: Στρογγυλή, *Per*: Περγούσα, *Pa*: Παχιά, *Ka*: Κανδελούσα (Lagios et al, 2005).



Εικόνα 8 Ηφαιστειακά κέντρα Κω-Νισύρου-Τήλου. 1-Καλδέρα & πυροκλαστικά Κέφαλου, 2-Ιγκνιμβρίτης Κω, 3-Στρωματοηφαίστειο Νισύρου, 4-Στρωματοηφαίστειο Περγούσας, 5-Ηφαιστειακός δόμος Παχειάς, 6-Ηφαιστειακοί δόμοι Κονδελιούσας, 7-Ηφαιστειακά Γουλιού, 8-Ρυοδακτιτικοί δόμοι Προφ. Ηλία, 9-Υποθαλάσσια καλδέρα Άβυσσος, 10-ηφαιστειακός κώνος Στρογγυλής, (από Νομικού 2004).

2.3 Γεωλογικοί σχηματισμοί της Νισύρου και η δομή τους

Η περιγραφή των ηφαιστειακών σχηματισμών του νέου γεωλογικού χάρτη γίνεται σύμφωνα με τα διαφορετικά στάδια εξέλιξης του ηφαιστείου, από τους αρχαιότερους προς τους νεότερους σχηματισμούς :

1. **Αλλούβια, Παράκτιες Αποθέσεις.** Έχουν περιορισμένη ανάπτυξη και πάχος και εμφανίζονται κυρίως κατά μήκος των βόρειων ακτών της Νισύρου.
2. **Πλευρικά Κορήματα-Κώνοι Κορημάτων.** Παρουσιάζουν σημαντική ανάπτυξη τόσο στα εσωτερικά πρηνή της καλδέρας όσο και στα εξωτερικά. Αποτελούνται κυρίως από γωνιώδη τεμάχια ηφαιστειακών πετρωμάτων και από λεπτομερέστερα υλικά. Οι κυριότερες εμφανίσεις απαντούν στο ΒΑ εσωτερικό πρηνές της καλδέρας. Στα πρηνή της καλδέρας αλλά και κατά μήκος των κύριων τεκτονικών γραμμών παρατηρούνται τεκτονικά λατυποπαγή. Οι παράκτιες αποθέσεις (κροκάλες, άμμος και ιλύς) έχουν περιορισμένη ανάπτυξη. Εμφανίζονται κυρίως στη βόρεια (Πάλιοι) και στην ανατολική (Λυές) ακτή.
3. **Αποθέσεις Καλδέρας.** Πρόκειται για λεπτομερή κυρίως υλικά τα οποία εμφανίζονται στο κεντρικό επίπεδο τμήμα της καλδέρας. Έχουν προέλθει κυρίως από την αποσάθρωση των ηφαιστειακών σχηματισμών και το πάχος τους δεν υπερβαίνει τα 20 μέτρα.
4. **Ρυοδακίτες Προφήτη Ηλία.** Έχουν εκχυθεί μετά τον σχηματισμό της καλδέρας και καλύπτουν το δυτικό μισό της και όλο σχεδόν το ΝΔ τέταρτο του νησιού. Σχηματίζουν δόμους, λαιμούς και ρεύματα και αποτελούν τα προϊόντα της νεότερης ηφαιστειακής δράσης στη Νίσυρο. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από την θέση τους πάνω στην Ανώτερη Κίσσηρη, την Τεφρή Κίσσηρη με τα θραύσματα των ηφαιστειακών πετρωμάτων, τις λάβες D, C, και B και τα Πυροκλαστικά D και C.

5. **Ανώτερη Κίσσηρη.** Πρόκειται για αδρομερή κίσσηρη με χαρακτηριστικό λευκό χρώμα. Το πάχος της φθάνει σε ορισμένες θέσεις τα 30 μέτρα. Υπόκειται των Αλλουβίων-Παράκτιων αποθέσεων, Πλευρικών Κορημάτων-Κώνων Κορημάτων και των Ρυοδακτιών του Προφήτη Ηλία. Αντίθετα υπέρκειται των Ρυόλιθων των Νικιών (περιοχή Αγίου Ιωάννου Νικιών), της Κατώτερης Κίσσηρης (περιοχή όρμου Λευκού), της τεφρής Κίσσηρης, των Λαβών C και B και των Πυροκλαστικών C και B στο βόρειο τμήμα του νησιού. Οι πιο μεγάλες εμφανίσεις απαντούν εξωτερικά της καλδέρας στο βόρειο τμήμα το νησιού ενώ μικρότερες εμφανίσεις απαντούν στην περιοχή των Νικιών. Επίσης μία μικρή εμφάνιση απαντά στο βόρειο εσωτερικό πρηνές της καλδέρας.

6. **Ρυόλιθοι Νικιών.** Αποτελούν ένα τεράστιο ρεύμα που έχει αναπτυχθεί σε όλο σχεδόν το ΝΑ άκρο της νήσου. Εμφανίζονται στα ΝΑ πρηνή της καλδέρας ως χαρακτηριστικοί λαιμοί λάβας, στα ΝΑ χείλη της καλδέρας και αποτελούν όλο το ΝΑ πρηνές του ηφαιστείου. Πρόκειται για μια εκχυτική δραστηριότητα που τροφοδοτήθηκε από ρυολιθικό μάγμα ίδιας σύστασης με αυτό της Κατώτερης Κίσσηρης. Παρατηρούνται μικροί θόλοι στα χείλη της καλδέρας και μεγάλου πάχους και μήκους ρεύματα περλιτικής λάβας που φτάνουν ως την ακτή, παρουσιάζοντας θεαματικές δομές ροής (πτυχές, ελασματοειδή διαχωρισμό). Χαρακτηριστική είναι η κατά τόπους παρουσία εγκλεισμάτων ανδεσιτικού μάγματος διαμέτρου ως και 1,5 m. Στη βάση των λαβών, στην περιοχή Αυλακίου, παρατηρείται ένας οριζοντας πτώσης λιθαριών και τεμαχών λίγο φυσαλιδοποιημένου (ves-iculated) οψιανού περλίτη, πάχους 1 m, που αντιπροσωπεύει μια αρχική εκρηκτική δραστηριότητα η οποία τροφοδοτείται από τα πλουσιότερα σε αέρια ανώτερα στρώματα του ίδιου ρυολιθικού μάγματος (Γιανοπούλου και Πρίνου 2006). Καλύπτει, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στην περιοχή της Μονής Παναγιάς Κυράς και στο Αυλάκι, την Κατώτερη Κίσσηρη, τις Λάβες B, C και τα Πυροκλαστικά B, C.

7. **Κατώτερη Κίσσηρη.** Εμφανίζεται στο νότιο τμήμα του νησιού στην περιοχή της Αγίας Ειρήνης και στο Αυλάκι. Πρόκειται για υπόλευκη-κιτρινωπή κίσσηρη η οποία περιέχει πολλά ποικιλόχρωμα θραύσματα ηφαιστειακών πετρωμάτων μεγέθους συνήθως 10-20 εκατοστών. Το πάχος της κατά θέσεις φθάνει τα 15-20 μέτρα. Χαρακτηριστική είναι η παρουσία λιθαριών και τεμαχών (διαμέτρου ως και 3 m.) ξενόλιθων που στην μεγάλη τους πλειοψηφία είναι σκαρν και υδροθερμικά

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

εξαλλοιωμένες λάβες. Τα χαρακτηριστικά των δομών εναπόθεσης συνηγορούν για μια φρεατοπλινιακή έκρηξη που αποθέτει την κίσηρη με μηχανισμούς πτώσης και ροής. Ο πόρος εξόδου θα πρέπει να βρίσκονταν κοντά στο σημερινό καλδερικό τείχος της νότιας πλευράς του ηφαιστείου όπου παρατηρείται απόθεση τεμαχών κίσηρης πτώσης και λιθικών μεγαλύτερης διαμέτρου από ότι στον υπόλοιπο σχηματισμό. Επιπλέον, δεν παρατηρούνται δομές στρώσης, ταξινόμηση ή διαβάθμιση των θραυσμάτων ενώ παρατηρείται το υψηλότερο ποσοστό λιθικών. Τα στοιχεία αυτά είναι χαρακτηριστικά γοργής απόθεσης κοντά στον πόρο εξόδου. Υπόκειται των ρυοδακτιών του Προφήτη Ηλία και των Ρυολίθων των Νικιών ενώ υπέρκειται των Πυροκλαστικών D και C και των λαβών D,C και B (Γιανοπούλου και Πρίνου 2006).

8. **Πυροκλαστικά D.** Αποτελούνται από λεπτομερές ψαμμιτικό υλικό και από μαύρο κισσηρούχο υλικό με θραύσματα ηφαιστειακών πετρωμάτων. Έχουν περιορισμένο πάχος που δεν υπερβαίνει τα 10 μέτρα και εμφανίζονται στο νότιο χείλος της καλδέρας στην τοποθεσία Σταυρός. Υπόκειται της Κατώτερης Κίσηρης και υπέρκειται των λαβών D.

9. **Λάβες D.** Πρόκειται για ανδεσιτικές λάβες, οι οποίες εμφανίζονται στο νότιο χείλος της καλδέρας καθώς επίσης και στον όρμο Λευκό. Το πάχος τους φθάνει τα 10 περίπου μέτρα στο χείλος της καλδέρας ενώ στον όρμο λευκό δεν υπερβαίνει το 1 μέτρο. Υπόκειται της Κίσηρης με τα θραύσματα των ηφαιστειακών και των Πυροκλαστικών D ενώ υπέρκειται των πυροκλαστικών C και των λαβών C.

10. **Τεφρή Κίσηρη με αποστρογγυλωμένα ηφαιστειακά.** Πρόκειται για κίσηρη τεφρή και κατά θέσεις υποκίτρινου χρώματος η οποία περιέχει κατά θέσεις αποστρογγυλωμένα ηφαιστειακά τεμάχια διαμέτρου ως 30 εκατοστά. Εμφανίζεται κυρίως στο βόρειο τμήμα του νησιού με πλέον χαρακτηριστική εμφάνιση στο ακρωτήριο Κατσούνι και το πάχος της φθάνει τα 10 μέτρα. Στις πιο πολλές θέσεις υπόκειται της Ανώτερης Κίσηρης ενώ υπέρκειται των τεφρών πυροκλαστικών C και των λαβών C.

11. **Τεφρά Πυροκλαστικά C.** Πρόκειται για ένα χαρακτηριστικό πυροκλαστικό σχηματισμό ο οποίος αποτελείται από ψαμμιτικό-αργιλικό σκουρόχρωμο υλικό καθώς επίσης και από μαύρο κισσηρούχο υλικό μέσα στα οποία παρατηρούνται

τεφρά ηφαιστειακά πετρώματα ακανόνιστου σχήματος και μεγέθους ως 30 εκατοστά. Χαρακτηριστικές εμφανίσεις των τεφρών Πυροκλαστικών C απαντούν στο Αυλάκι στην περιοχή του Σταυρού στο νότιο χείλος της καλδέρας, ενώ οι πλέον μεγάλες σε έκταση στο ΒΑ τμήμα του νησιού όπου παρατηρούνται και τα μεγαλύτερα πάχη που φθάνουν τα 50-60 μέτρα. Υπόκεινται των λαβών D και των πυροκλαστικών D στις περιοχές Σταυρού και Αυλάκι καθώς επίσης και της Κατώτερης Κίσηρης, και της Ανώτερης Κίσηρης στο Ακρωτήριο Κατσούνι. Αντίθετα υπέρκεινται των Λαβών Β και C στις περιοχές Σταυρού και Αυλάκι καθώς επίσης και των λαβών C και των πυροκλαστικών Β στο ΒΑ τμήμα του νησιού.

12. **Λάβες C.** Πρόκειται για ανδεσιτικές ως επί το πλείστον λάβες οι οποίες εμφανίζονται στο ανώτερο τμήμα του χείλους της καλδέρας και στη συνέχεια καλύπτουν ένα μεγάλο τμήμα των εξωτερικών της πρανών στο βόρειο, ΒΑ, νότιο και ΒΔ τμήμα του νησιού. Συγκροτούν χαρακτηριστικούς δόμους στο χείλος της καλδέρας και στη συνέχεια εντυπωσιακά ρεύματα τα οποία ακολουθούν και καλύπτουν το υφιστάμενο παλαιοανάγλυφο. Το πάχος τους κοντά στο χείλος της καλδέρας είναι σημαντικό και κατά θέσεις φθάνει τα 40-60 μέτρα ενώ στη συνέχεια προς τα εξωτερικά πρανή της καλδέρας σταδιακά μειώνεται για να αποσφηνωθεί τις περισσότερες φορές πριν φθάσει στο επίπεδο της θάλασσας. Στην ανώτερη και στην κατώτερη επιφάνειά τους συνοδεύονται από σκωρίες ερυθρού ή σκούρου χρώματος οι οποίες στην περιοχή Σταυρός και Αυλάκι καθώς επίσης και στο βόρειο χείλος της καλδέρας αποκτούν σημαντικό πάχος που φθάνει τα 10 περίπου μέτρα.

13. **Πυροκλαστικά Β.** Αποτελούνται από λεπτομερή γεώδη υλικά μέσα στα οποία υπάρχουν γωνιώδη τεμάχια ηφαιστειακών πετρωμάτων μεγέθους ως 30 εκατοστά. Κατά θέσεις, παρατηρούνται παρεμβολές μαύρης κίσηρης ενώ σε άλλες, στρώματα από ανοιχτόχρωμους τόφφους-τοφφίτες και ψαμμίτες που εναλλάσσονται, πάχους ως και 8 μετρά. Εμφανίζονται στο ΒΔ τμήμα της Νισύρου, όπου σε ορισμένες μόνο θέσεις παρατηρούνται παρεμβολές μαύρης κίσηρης. Στο ΒΑ τμήμα όπου υπάρχουν χαρακτηριστικοί λευκοί ορίζοντες τόφφων-τοφφιτών καθώς επίσης και στο εσωτερικό της καλδέρας, σε μερικά σημεία της οποίας εμφανίζονται μόνο ποικιλόχρωμοι τόφφοι-τοφφίτες οι οποίοι έχουν μάλιστα κλίση προς τα βόρεια.

14. **Λάβες Β.** Πρόκειται για ρυοδακτιλικές, ανδεστικές και δακτιλικές λάβες οι οποίες απαντούν με τη μορφή ρευμάτων και δόμων. Εμφανίζονται στην περιοχή Αυλάκι, όπου έχουν το μέγιστο πάχος τους, στα εσωτερικά πρηνή της καλδέρας και στην περιοχή Μανδράκι.

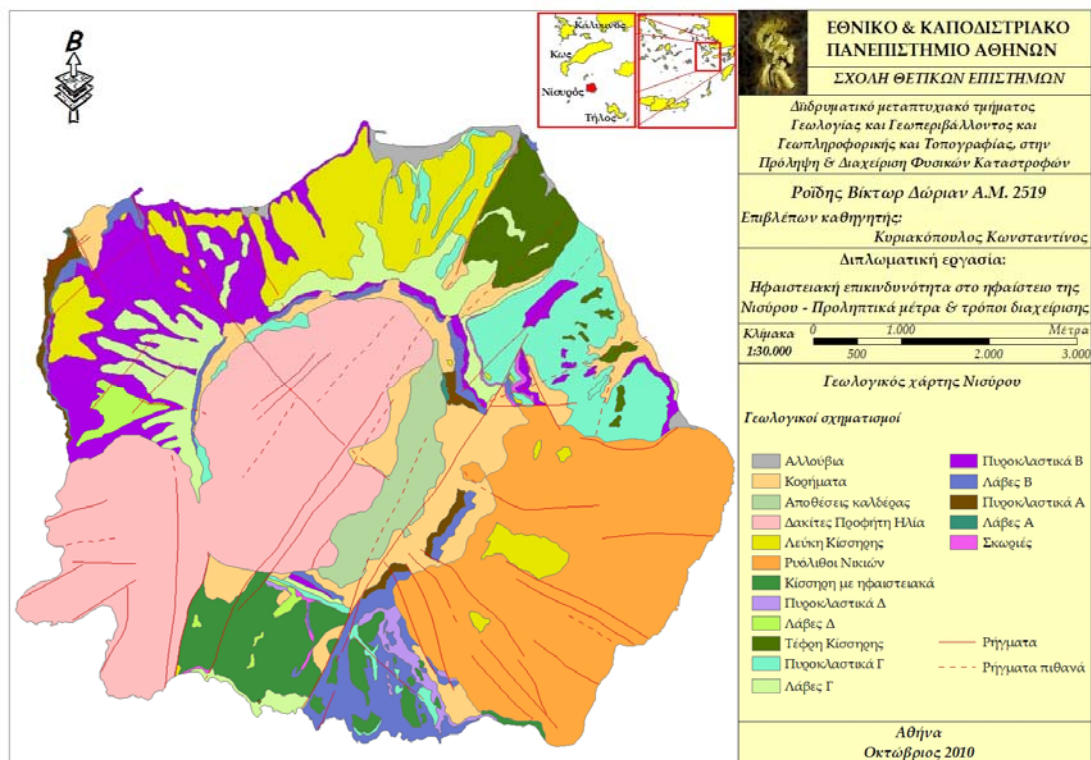
15. **Πυροκλαστικά Α.** Πρόκειται για χαρακτηριστικό πυροκλαστικό σχηματισμό ο οποίος καλύπτει τις λάβες Α και της παλαιότερης ηφαιστειότητας και καλύπτεται από τις λάβες Β. Εμφανίζεται κατά μήκος των ΒΔ ακτών της Νισύρου, νότια από το Μανδράκι καθώς επίσης και στο εσωτερικό ανατολικό πρηνές της καλδέρας. Κατά μήκος των ΒΔ ακτών αποτελείται από λεπτομερή και κατά θέσεις αδρομερή ηφαιστειακής προελεύσεως κιτρινωπά υλικά μέσα στα οποία παρατηρούνται όγκοι τεφρών ηφαιστειακών πετρωμάτων της τάξεως του 0,5 ως 5 κυβικών μέτρων. Από την ακανόνιστη γωνιώδη μορφή των ηφαιστειακών όγκων συμπεραίνεται ότι η ψύξη-στερεοποίησή τους θα πρέπει να έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια και λίγο μετά την εκτίναξη και απόθεσή τους σε ρηχό θαλάσσιο περιβάλλον. Πρόσθετα στην ίδια περιοχή εμφανίζονται τέσσερα στρώματα ανδεσιτικών σκωριών πάχους ως και 5 μέτρα η κάθε μία. Αντίθετα, στα ΒΑ και Α πρηνή της καλδέρας εμφανίζονται μόνο λεπτομερή αργιλικά υλικά, γεώδους χρώματος, χωρίς σαφώς εκπεφρασμένη στρώση και ασβεστολιθικούς ξενόλιθους αλλά πιο πλούσιοι σε τεμάχια ανδεσιτικής λάβας μαύρου-καφέ χρώματος. Το μέγιστο πάχος των πυροκλαστικών φθάνει τα 50 μέτρα περίπου και κατά μήκος του κεντρικού δρόμου προς το ηφαίστειο το πάχος τους δεν ξεπερνά τα 10 μέτρα. Ο σχηματισμός αυτός διαπερνάται από σχεδόν κατακόρυφες φλέβες πάχους 0,5 έως 2 μέτρων που τροφοδοτούν τις υπερκείμενες λάβες Β. Μια χαρακτηριστική φλέβα διαπερνά τα Πυροκλαστικά Α τροφοδοτώντας τη Λάβα Β στην περιοχή των ανατολικών πρηνών της καλδέρας κοντά στον δρόμο προς την πεδιάδα Λακκί και τους κρατήρες.

16. **Λάβες Α.** Πρόκειται κυρίως για ανδεσιτικές –βασαλτικές λάβες οι οποίες στην νότια πλευρά του χωριού Μανδράκι εμφανίζονται με μορφές οι οποίες μπορούν να χαρακτηριστούν pillow. Επίσης εμφανίσεις Λαβών Α απαντούν στη δυτική ακτή και στο βόρειο κατώτερο άκρο στο εσωτερικό της καλδέρας ενώ υποθαλάσσιοι τόφφοι και τοφφίτες εμφανίζονται κύρια στο Ακρωτήριο Κανόνι έντονα εξαλλοιωμένοι. Αποτελούν τα προϊόντα της παλαιότερης γνωστής ηφαιστειακής δράσης, η οποία είναι πιθανό να έλαβε χώρα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Καλύπτονται από τον χαρακτηριστικό Πυροκλαστικό σχηματισμό Α.

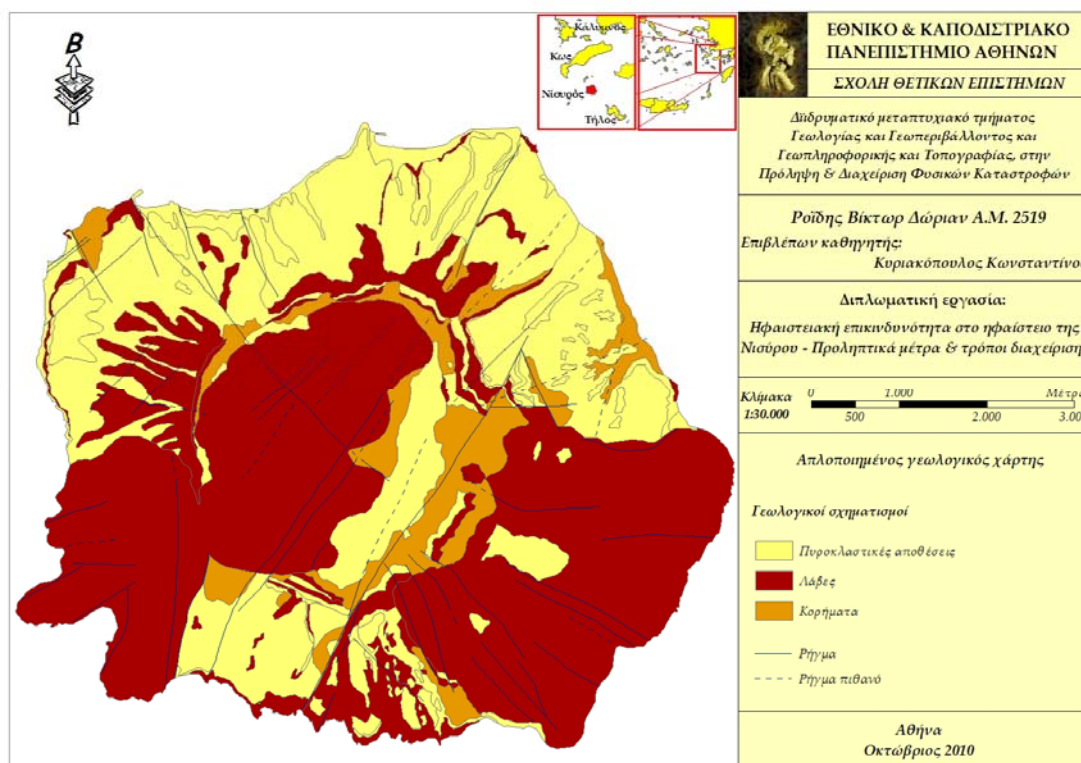
Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

17. **Υδροθερμικές εξαλλοιώσεις.** Οι υδροθερμικές εξαλλοιώσεις παρατηρούνται σε ένα μεγάλο τμήμα στο εσωτερικό της καλδέρας και κυρίως κατά μήκος των μεγάλων ρηξιγενών ζωνών F1, F2, F3 και F4 καθώς επίσης και γύρω από τους κρατήρες. Η υδροθερμική εξαλλοίωση έχει προσβάλει όχι μόνο τους ηφαιστειακούς σχηματισμούς, αλλά ακόμη και τους πιο πρόσφατους, όπως τις αποθέσεις της καλδέρας και τα πλευρικά κορήματα.

18. **Σκωρίες.** Οι σκωρίες αποτελούν συνήθη σχηματισμό στη Νίσυρο που συχνά συνοδεύουν τις εκχύσεις των λαβών, οι οποίες άλλοτε υπέρκεινται και άλλοτε υπόκεινται. Το χρώμα των σκωριών είναι κόκκινο, βαθύ κόκκινο, βυσσινί ή και μαύρο, και το πάχος τους φθάνει κατά θέσεις τα 4-5 μέτρα. Το πλέον χαρακτηριστικό ρεύμα σκωρίας απαντά κατά μήκος της ακτής στον όρμο της Αγίας Ειρήνης στη νοτιοδυτική Νίσυρο.



Εικόνα 9 Γεωλογικός χάρτης Νισύρου (βλέπε παράρτημα).



Εικόνα 10 Απλοποιημένος χάρτης Νισύρου (βλέπε παράρτημα).

2.4 Τεκτονική

Σύμφωνα με τα γεωφυσικά- γεωδυναμικά μοντέλα που αφορούν την ανατολική Μεσόγειο (Mc Kenzie, 1972), (J.L. Mercier, 1976), τη σχέση τους με την ανοδική πορεία των μαγμάτων και τη δημιουργία ηφαιστειακών νησιωτικών τόξων, η Νίσυρος βρίσκεται στην ανατολική άκρη του γνωστού ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου. Είναι επίσης γνωστή η στενή σχέση μεταξύ ασβεσταλκαλικής ηφαιστειότητας, νησιωτικού τόξου και τεκτονικής. Ως εκ τούτου η Νίσυρος αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα τεκτονικο-μαγματικής-ηφαιστειακής σχέσης με έντονη παρουσία ρηγμάτων και διαρρήξεων. Τα στοιχεία που ακολουθούν προέκυψαν από την μελέτη της γεωλογικής δομής της Νισύρου από τους Δ.Ι. Παπανικολάου και Ε.Α. Λέκκα κατά το 1989 στα πλαίσια της διερεύνησης του γεωθερμικού πεδίου του νησιού από την ΔΕΜΕ/ΔΕΗ. Έτσι από την μελέτη αεροφωτογραφιών και κυρίως από την μελέτη των ρηγμάτων στην ύπαιθρο και την συνεκτίμηση των δεδομένων της γεωλογικής χαρτογράφησης, διακρίθηκαν δύο

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

βασικές ζώνες ρηγμάτων: i) τα κύρια ρήγματα τα οποία συγκροτούν μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες και ii) τα δευτερεύοντα ρήγματα (Παπανικολάου κ.α., 1990).

Πιο συγκεκριμένα τα κύρια ρήγματα- μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες :

- i) έχουν μεγάλα και συχνά αρχίζουν από το εσωτερικό της καλδέρας και φθάνουν ως την ακτογραμμή
- ii) έχουν μεγάλα άλματα της τάξεως των 50 μέτρων και άνω προκαλώντας ταυτόχρονα χαρακτηριστικές μορφολογικές ασυνέχειες κατά μήκος τους ή έντονες μορφολογικές αλλαγές εκατέρωθέν τους και
- iii) οριοθετούν εμφανίσεις ηφαιστειακών σχηματισμών σε ένα μεγάλο τμήμα του νησιού ή ακόμα μεταθέτουν σημαντικά τα όρια των σχηματισμών που τέμνουν.

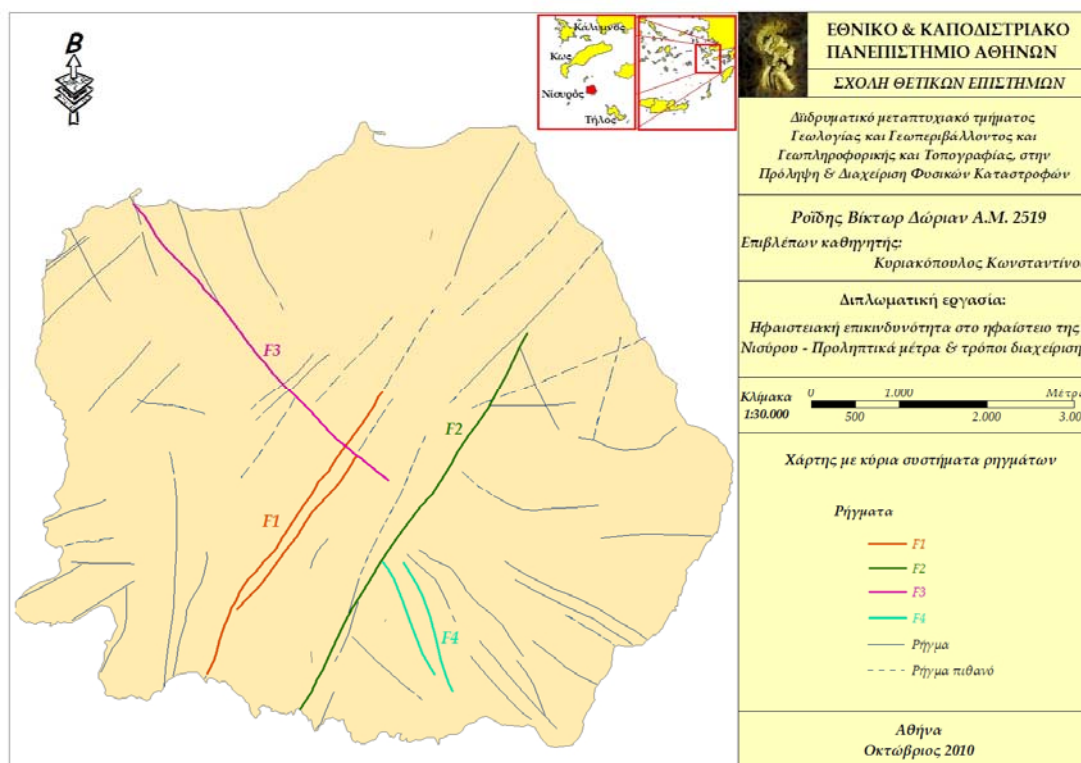
Αντίθετα τα δευτερεύοντα ρήγματα:

- i) έχουν συνήθως μικρά μήκη και μερικές φορές φθάνουν από το ίχνος της καλδέρας ως την ακτογραμμή
- ii) έχουν μικρά άλματα που δεν υπερβαίνουν τα 20-30 μέτρα ενώ στις πιο πολλές περιπτώσεις τα άλματα είναι της τάξης των 5-15 μέτρων ενώ ορισμένα μπορούν να χαρακτηριστούν απλά σαν διαρρήξεις διότι η μετακίνηση των εκατέρωθεν τεμαχών είναι ασήμαντη
- iii) δεν οριοθετούν εμφανίσεις σχηματισμών σε ένα μεγάλο τμήμα του νησιού και ακόμα δεν μεταθέτουν αισθητά τα όρια των σχηματισμών που τέμνουν και
- iv) δεν προκαλούν ιδιαίτερες μορφολογικές ανωμαλίες στην επιφάνεια του εδάφους.

Συμπερασματικά τα κύρια ρήγματα-ρηξιγενείς ζώνες παίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στη γεωλογική δομή και εξέλιξη της Νισύρου σε αντίθεση με τα δευτερεύοντα ρήγματα.

Κύρια συστήματα ρηγμάτων

Τέσσερα συστήματα διευθύνσεων ρηγμάτων είναι δυνατόν να διακριθούν στη Νίσυρο τα οποία περιλαμβάνουν τις κύριες ρηξιγενείς ζώνες (Παπανικολάου κ.α., 1990) και τα δευτερεύοντα ρήγματα που δομούν τον ρηξιγενή ιστό της Νισύρου.



Εικόνα 11 Χάρτης των κύριων συστημάτων ρηγμάτων της Νισύρου (βλέπε παράρτημα).

2.4.1 Σύστημα ρηγμάτων ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης

Τα ρήγματα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης περιλαμβάνουν τις δύο κύριες ρηξιγενείς ζώνες F1 και F2 οι οποίες επηρεάζουν τόσο τη διαμόρφωση της τεκτονικής δομής και εξέλιξης του ηφαιστείου όσο και την κυκλοφορία των γεωθερμικών ρευστών. Τα ρήγματα αυτά διασχίζουν όλο το νησί, οριοθετούν την περιοχή Λακκί και προκαλούν βύθιση του δυτικού τμήματος του τεμάχους της Αγίας Ειρήνης στο νότιο-δυτικό τμήμα του νησιού. Επίσης έπαιξαν σημαντικό ρόλο κατά τη διάρκεια τοποθέτησης των μετα-καλδερικών δακιδών-ρυσσιδών του Προφήτη Ηλία, των οποίων τα κέντρα έκρηξης τους στοιχίζονται κατά μήκος ενός επιπέδου διεύθυνσης $B30^{\circ}-40^{\circ}A$ ίδια με αυτή των ρηγμάτων. Κατά την διάρκεια των φρεατικών εκρήξεων, η διαφυγή αερίων και υδροθερμικών ρευστών έγινε κατά μήκος αυτής της διεύθυνσης και η σημερινή διάταξη των φουμαρόλων υποδεικνύει μία ζώνη αδυναμίας, η οποία φθάνει στα βαθύτερα τμήματα του φλοιού και φέρνει στην επιφάνεια μάγμα από βαθύτερους θαλάμους. Όλοι οι υδροθερμικοί εκρηκτικοί κρατήρες είναι εντοπισμένοι μέσα στο Λακκί, στη διασταύρωση μεταξύ των ρηγμάτων ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης. Στις

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

βόρειες προεκτάσεις των ρηγμάτων κοντά στο επίπεδο της θάλασσας υπάρχουν θερμές πηγές, στο Ακρωτήριο Κατσούνι και στα Θερμιανά καθώς και στις νότιες προεκτάσεις των στην περιοχή του όρμου Λευκός.

Η Ρηξιγενής Ζώνη F1: Η ρηξιγενής ζώνη F1 είναι μία από τις σημαντικότερες ρηξιγενείς ζώνες που παρατηρούνται στη Νίσυρο από άποψη διαμόρφωσης της τεκτονικής δομής και εξέλιξης όσο και άποψη κυκλοφορίας γεωθερμικών ρευστών και εν γένει γεωθερμικού ενδιαφέροντος. Έχει διεύθυνση B50A, κλίση 70°-80° προς ΝΑ και το άλμα της φθάνει κατά θέσεις τα 100 μέτρα περίπου. Αναλυτικότερα, η ρηξιγενής ζώνη F1 είναι σαφής μέσα στην καλδέρα την οποία διαχωρίζει σε δύο τμήματα ίσα, με διαφορετική μορφολογική εικόνα. Στο πρώτο τμήμα προς τα ΒΔ εμφανίζονται οι ρυοδακίτες του Προφήτη Ηλία που δημιουργούν ένα εντονότατο ανάγλυφο με τους αλλεπάλληλους δόμους, λαιμούς και θόλους ενώ στο τμήμα προς τα ΝΑ κυριαρχούν οι αποθέσεις του επίπεδου τμήματος της καλδέρας. Η ρηξιγενής ζώνη μέσα στη καλδέρα περιλαμβάνει 2-3 μεγάλα παράλληλα ρήγματα τα οποία έχουν χαρακτηριστικές κατοπτρικές επιφάνειες που δημιουργούν και μορφολογικές ασυνέχειες. Στις κατοπτρικές αυτές επιφάνειες δεν εντοπίστηκαν γραμμές ή ίχνη γραμμών τεκτονικής ολίσθησης πιθανότατα εξ αιτίας της εύκολης αποσάθρωσης των ρυοδακτιτών αφενός και αφετέρου των υδροθερμικών εξαλλοιώσεων οι οποίες είναι εντονότατες κατά μήκος της ζώνης. Όπως συμπεραίνεται από την εκτίμηση σύνθετων μορφοτεκτονικών στοιχείων στην περιοχή της καλδέρας το συνολικό άλμα της ρηξιγενούς ζώνης φθάνει τα 100 περίπου μέτρα με παράλληλη ταπείνωση των ΝΑ ρηξιτεμαχών σε σχέση με τα ΒΔ. Αντίθετα στη Ν.ΝΔ προέκταση της έξω από την καλδέρα η ρηξιγενής ζώνη δεν είναι τόσο σαφής εξαιτίας της απουσίας κάποιας μορφολογικής ασυνέχειας αλλά είναι βέβαιη εξαιτίας της απότομης διακοπής ορισμένων από τους σχηματισμούς που εμφανίζονται εκατέρωθεν αυτής, τους οποίους και οριοθετεί. Συγκεκριμένα : i) στο χείλος της καλδέρας παρατηρείται απότομη διακοπή των Πυροκλαστικών C και D και των λαβών D προς τα ΒΔ καθώς επίσης και της Κίσηρης με τα αποστρογγυλωμένα εδάφη προς τα ΝΑ και ii) κατά μήκος της ακτής του όρμου Λευκού απότομη διακοπή των σκωριών και λαβών D προς τα ΝΑ και των λαβών C προς τα ΒΔ. Με βάση τους σχηματισμούς που τέμνει ή οριοθετεί η ρηξιγενής ζώνη F1 τόσο μέσα όσο και έξω από αυτή γίνεται αντιληπτό ότι έχει δράσει περισσότερες από μία φορές τόσο : i) κατά τις περιόδους των εκχύσεων των λαβών C και D και των συνοδών σχηματισμών

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

δηλαδή πριν τη δημιουργία της καλδέρας όσο και ii) μετά την έκχυση των Ρυοδακτιών του Προφήτη Ηλία μετά τη δημιουργία της.

Η Ρηξιγενής Ζώνη F2: Η ρηξιγενής ζώνη F2 βρίσκεται στο νότιο τμήμα της Νισύρου έχει διεύθυνση B30A, κλίση 70°-80° προς Δ.ΒΔ και αναγνωρίζεται εύκολα εξαιτίας της μορφολογικής ασυνέχειας που παρατηρείται κατά μήκος της. Αναλυτικότερα η ρηξιγενής ζώνη F2 οριοθετεί προς τα Α.ΝΑ τις κύριες εμφανίσεις των λαβών C, των τεφρών Πυροκλαστικών C και της Κατώτερης Κίσηρης ενώ προς τα Δ.ΒΔ οριοθετεί τις εμφανίσεις των λαβών B. Περιλαμβάνει 2-3 παράλληλα ρήγματα τα οποία έχουν σε ορισμένες θέσεις σαφείς κατοπτρικές επιφάνειες χωρίς όμως ίχνη γραμμών τεκτονικής ολίσθησης. Το συνολικό άλμα της μετακίνησης των εκατέρωθεν τεμαχίων είναι της τάξης των 120 περίπου μέτρων, στοιχείο που προκύπτει από την υψομετρική διαφορά της κατώτερης επιφάνειας της Κίσηρης εκατέρωθεν της ρηξιγενούς ζώνης. Το βόρειο τμήμα της ρηξιγενούς ζώνης F2 μέσα στην καλδέρα καλύπτεται αρχικά από πλευρικά κορήματα και στην συνέχεια από τις αποθέσεις της Καλδέρας. Η παρουσία της μέσα στην καλδέρα είναι βεβαιωμένη και από τα στοιχεία των δύο γεωτρήσεων που έχουν γίνει για την διερεύνηση του γεωθερμικού πεδίου.

2.4.2 Σύστημα ρηγμάτων ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης

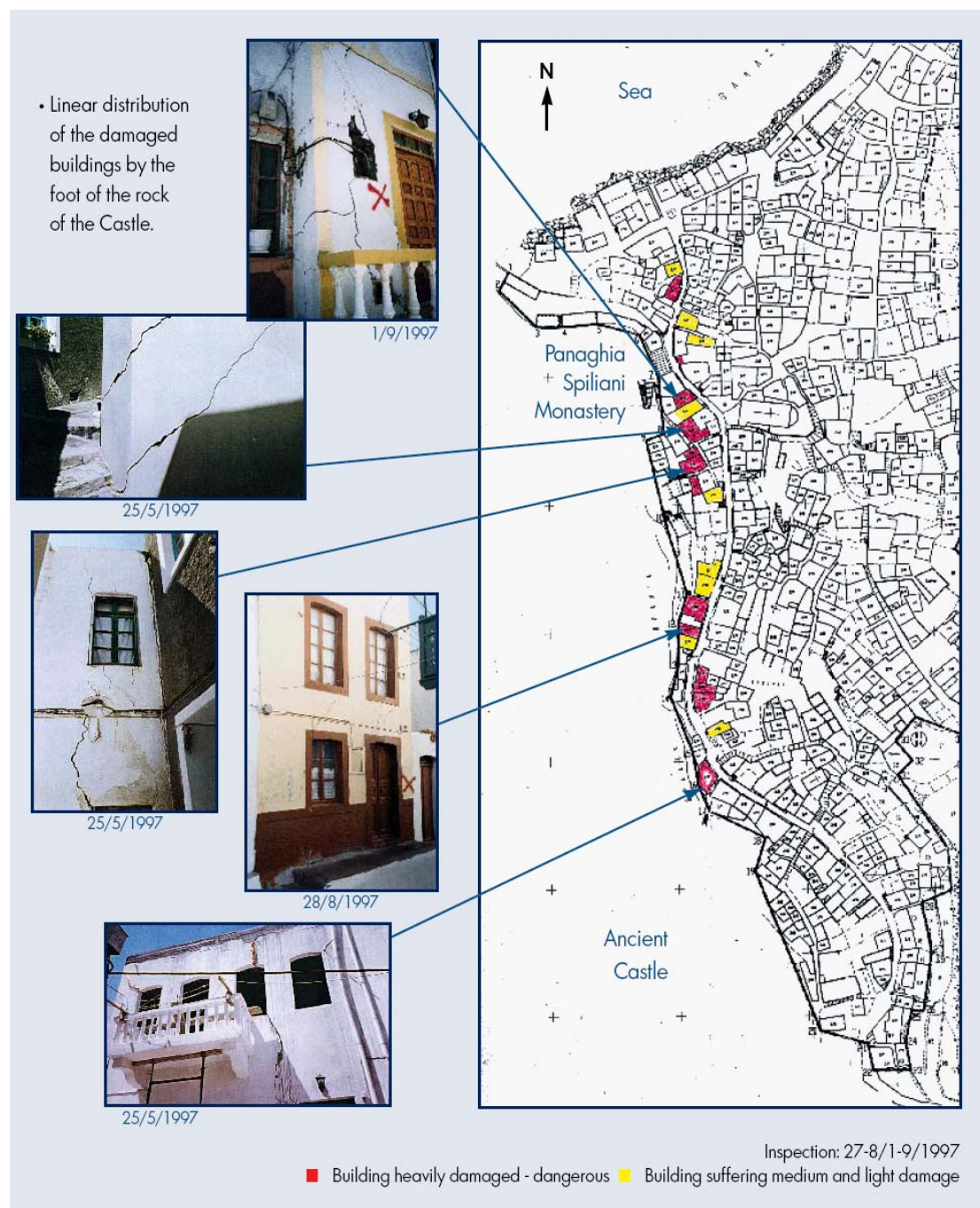
Τα ρήγματα αυτά αναπτύσσονται σχεδόν κάθετα με τα ρήγματα διεύθυνσης ΒΑ-ΝΑ με κλίση 70°-80° άλλοτε προς τα ΒΑ και άλλοτε προς τα ΒΔ. Χαρακτηριστικά αυτού του συστήματος ρηγμάτων είναι οι προεκτάσεις τους και οι καθοδικές κινήσεις των σχηματισμών που τέμνουν, φτάνοντας μέχρι και τα 70 μέτρα.

Ρηξιγενής ζώνη F3: Η ρηξιγενής ζώνη F3 απαντά στο ΒΔ τμήμα της Νισύρου, έχει διεύθυνση B40°Δ κλίση 70°-80° προς ΒΑ και τέμνει σχηματισμούς τόσο έξω από την καλδέρα όσο και στο εσωτερικό της. Συγκεκριμένα η ρηξιγενής ζώνη F3 στην περιοχή ανατολικά από το Μανδράκι- δηλαδή στο βορειοδυτικό τμήμα της- εντοπίζεται όχι τόσο άμεσα από την παρουσία χαρακτηριστικών κατοπτρικών επιφανειών, όσο έμμεσα, από την ύπαρξη μιας μεγάλης μορφολογικής ασυνέχειας που υπάρχει κατά μήκος της και η οποία δημιουργεί εκατέρωθεν δύο διαφορετικές μορφολογικές εικόνες. Η παρουσία της ρηξιγενούς ζώνης F3 επιβεβαιώνεται και από

την απότομη διακοπή των εμφανίσεων ορισμένων σχηματισμών κατά μήκος της και ειδικότερα των λαβών Β και C καθώς επίσης και της Ανώτερης Κίσσηρης.

Το άλμα της ρηξιγενούς ζώνης στο ΒΔ τμήμα είναι της τάξεως των 50-70 μέτρων, στοιχείο που προκύπτει από συνεκτίμηση μορφοδυναμικών δεδομένων. Στο ΝΑ τμήμα της στο εσωτερικό της καλδέρας η ρηξιγενής ζώνη τέμνει μόνο τους ρυοδακίτες του Προφήτη Ηλία, δημιουργώντας παράλληλα μορφολογικές ασυνέχειες ενώ στη συνέχεια προς τα ΝΑ καλύπτεται από τα πλευρικά κορήματα και τις αποθέσεις της καλδέρας. Η ρηξιγενής ζώνη F3 φαίνεται ότι έχει δράσει και πριν τη δημιουργία της καλδέρας, επειδή οριοθετεί προκαλδερικούς σχηματισμούς και μετά την δημιουργία της, επειδή τέμνει τους ρυοδακίτες του Προφήτη Ηλία.

Σεισμικό ρήγμα: Ένα άλλο ρήγμα Β.ΒΔ-Ν.ΝΑ διεύθυνσης εντοπίζεται ανατολικά από το μοναστήρι της Παναγιάς της Σπηλιανής, στην περιοχή Λαγκάδι στο Μανδράκι. Το ρήγμα είναι ενεργό από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα και η κατακόρυφη μετακίνηση κατά μήκος αυτής της ζώνης, που μπορεί να επεκτείνεται βαθειά στο φλοιό, είναι η μεγαλύτερη στην Νίσυρο. Ενεργοποιήθηκε τον Ιούλιο του 1996 και κατά μήκος της διεύθυνσής του μέσα σε ένα στενό δρομάκι στο Μανδράκι, δεκάδες σπίτια έπαθαν ζημιές (Ioannidis, 1998). Παρατηρήθηκαν διαρρήξεις στα σκαλιά μικρών δρόμων, μεταξύ των σπιτιών οι οποίες συνέχιζαν έως την ακτογραμμή. Επίσης, παρατηρήθηκαν μεταβολές στη θερμοκρασία των υδροθερμικών ρευστών και της έντασης των αερίων από τις οπές του ηφαιστείου.

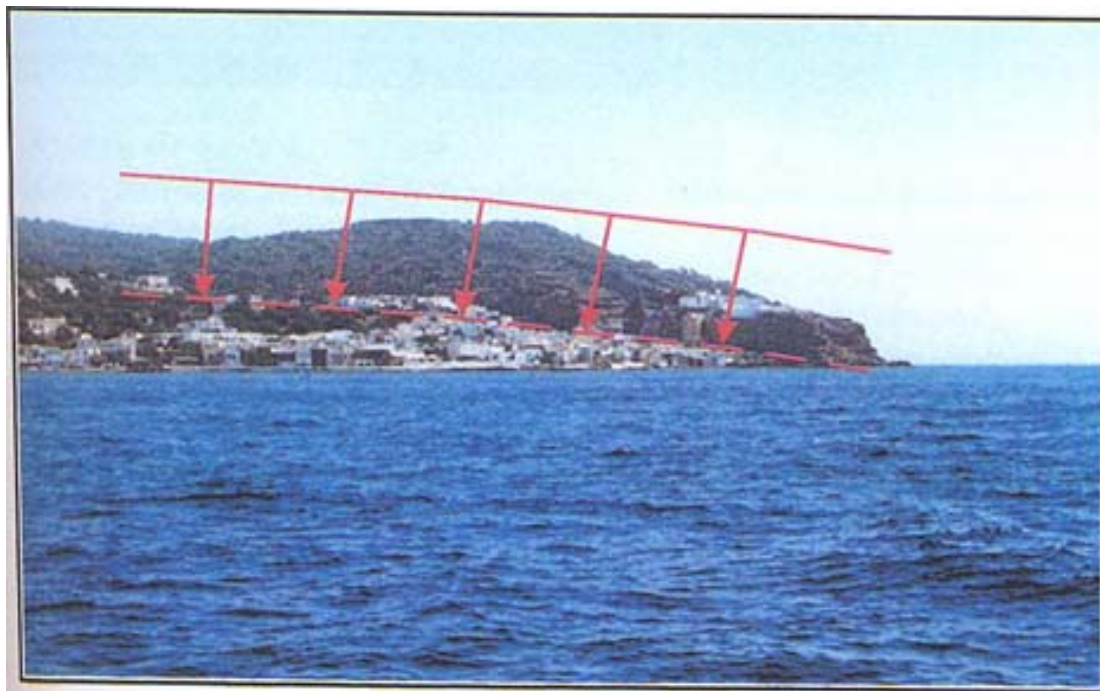


Εικόνα 12 Οι ζημιές στο Μανδράκι με την γραμμική κατανομή των κτηρίων που υπέστησαν ζημιές, παράλληλα στο ενεργό ρήγμα. (Ioannidis, 1998).

Εκατοντάδες σεισμικές δονήσεις μεγέθους μέχρι 5,2 R καταγράφηκαν από το 1995 έως τις αρχές του 1998 με επίκεντρο οι περισσότερες από αυτές τη ρηξιγενή ζώνη σε μικρό βάθος μέχρι 15km οι οποίες προκάλεσαν κατολισθήσεις στα ασθενή πρανή τόσο της καλδέρας όσο και των κρατήρων. Η προέκταση της ρηξιγενούς ζώνης εντοπίστηκε στον υποθαλάσσιο χώρο του διαύλου Γυαλιού-Νισύρου (Nomikou & Paranikolaou, 1999, 2000, 2001) ύστερα από ανάλυση των λιθοσεισμικών τομών που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή. Αυτό το ρήγμα είναι ενεργό από τον 19^ο αιώνα

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

και η κατακόρυφη μετακίνηση σε αυτή τη ζώνη είναι η μεγαλύτερη στη Νίσυρο. Δεν θα ήταν έκπληξη αν μελλοντική τεκτονική, μαγματική και υδροθερμική δραστηριότητα ξεκινήσει κατά μήκος αυτής της αδύναμης ζώνης (Lagios E., 2005).



Εικόνα 13 Το σεισμικό ρήγμα με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, το οποίο ενεργοποιήθηκε κατά τον σεισμό του Ιουλίου 1996 και προκάλεσε ζημιές στο Μανδράκι. Η συνέχεια του έχει εντοπιστεί στον υποθαλάσσιο χώρο Νισύρου-Γυαλιού (Papanikolaou & Nomikou, 2001).

Η Ρηξιγενής ζώνη F4: Η ρηξιγενής ζώνη F4 περιλαμβάνει δύο ρήγματα με διεύθυνση Β20°Δ και τιμή κλίσης 70°-80° αλλά με αντίθετη φορά κλίσης, δηλαδή προς τα Δ.ΝΔ και Α.ΒΑ αντίστοιχα που σχηματίζουν μια μορφή τεκτονικής τάφρου. Οι βόρειες προεκτάσεις των δύο ρηγμάτων διέρχονται μέσα από τον κρατήρα Στέφανο και προεκτείνονται μέσα στους υδροθερμικούς κρατήρες Μικρό και Μεγάλο Πολυβώτη, ενώ προς τα Ν.ΝΑ τέμνουν το χείλος της καλδέρας ΝΔ των Νικιών και στη συνέχεια καταλήγουν στον οικισμό Αυλάκι. Η παρουσία των δύο ρηγμάτων και της τεκτονικής τάφρου γίνεται αντιληπτή όχι τόσο από τις κατοπτρικές επιφάνειες των ρηγμάτων όσο και από την χαρακτηριστική μορφολογική ταπείνωση που υφίσταται κατά μήκος της τάφρου, την χαρακτηριστική μετατόπιση του χείλους της καλδέρας και την μετατόπιση των επαφών των σχηματισμών. Όπως συμπεραίνεται από την συνεκτίμηση τεκτονικών και μορφολογικών δεδομένων τα δύο ρήγματα προκαλούν μια ταπείνωση του ενδιάμεσου τεμάχους της τάξεως των 40-50 μέτρων, ενώ η δημιουργία τους θα πρέπει να έλαβε χώρα μετά την έκχυση των ρυόλιθων των Νικιών.

2.4.3 Σύστημα ρηγμάτων Α-Δ διεύθυνσης

Τα ρήγματα Α-Δ εμφανίζονται μόνο σε τοπική κλίμακα και δεν αποτελούν κύριες ρηξιγενείς ζώνες αλλά μπορεί να είναι αποτέλεσμα της διασταύρωσης σε βαθύτερα στρώματα, των προηγούμενων συστημάτων ρηγμάτων. Εμφανίσεις στην επιφάνεια είναι ορατές κατά μήκος της βόρειας ακτής στο Μανδράκι, μεταξύ των λιμανιών, Μανδράκι και Λουτρά καθώς και στους Παλούς, στο ακρωτήρι Κατσούνι. Εμφανίζονται επίσης στις δυτικές πλαγιές του Μοναστηρίου της Παναγίας Κυράς ενώ οι θερμές πηγές στον Αφίωνα στο επίπεδο της θάλασσας είναι αποτέλεσμα της δράσης ρήγματος αυτής της διεύθυνσης.

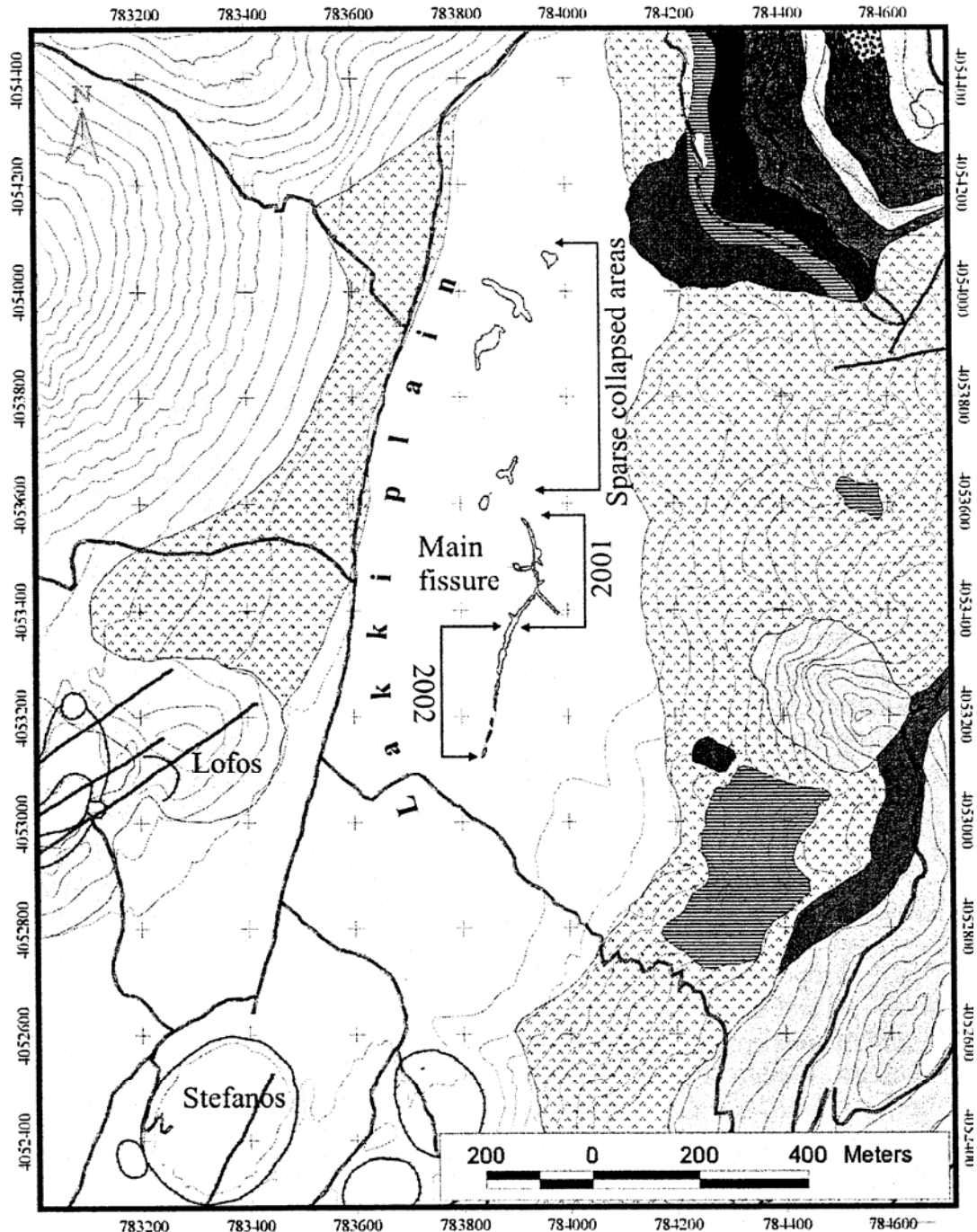
2.4.4 Διάρρηξη στην περιοχή Λακκί

Το διάστημα μεταξύ τον Νοέμβριο του 2001 και τον Δεκέμβριο του 2002, εκδηλώθηκε στην επίπεδη έκταση στο Λακκί μια μεγάλη διάρρηξη (εικόνα 14) με συνολικό μήκος 600 μ. και διεύθυνση Β-Ν. Η διάρρηξη αυτή άνοιξε κατά 350 μ. χωρίς πρόδρομα φαινόμενα στις 20 Νοεμβρίου 2001 και ένα χρόνο αργότερα (στις 18 Δεκεμβρίου 2002) άνοιξε άλλα 250 μ. νότια (εικόνα 15). Στην διάρρηξη δεν παρατηρούνται κατακόρυφες ή παράλληλες (lateral) κινήσεις και διαφυγές αερίων ή υδροθερμικών ρευστών. Η διάρρηξη αυτή δημιουργήθηκε από την κατάρρευση του μαλακού ιζηματογενούς καλύμματος στον πυθμένα της καλδέρας, με μέγιστο ορατό βάθος 15-20 μ.. Δεν παρατηρήθηκαν αλλαγές στην κατάσταση του ηφαιστείου πριν, κατά την διάρκεια και μετά την περίοδο αυτή. Η διάρρηξη αυτή φαίνεται να μην συνδέεται με μια επαναδραστηριοποίηση του ηφαιστείου.



Εικόνα 14 Η διάρρηξη μήκους 600 μ. στην πεδιάδα στο Λακκί, στο εσωτερικό της καλδέρας.

Το πιο πιθανό σενάριο για την δημιουργία της διάρρηξης αυτής είναι η κατάρρευση του ανώτερου στρώματος ιζημάτων (χαμηλού ρυθμού εναπόθεσης ιζημάτων, με πάχος <math>< 50\mu.</math>) στο ασυνεχές κατώτερο σχηματισμό υψηλής διαπερατότητας (υψηλού ρυθμού εναπόθεσης ιζημάτων με βάθος 50-100 μ. (Vougioukalakis & Fytikas, 2005). Η διάνοιξη της μπορεί να εξηγηθεί επίσης, λόγω διάβρωσης από το νερό της βροχής και της αποστράγγισής του σε μεγαλύτερες ποσότητες κάτω από την πεδιάδα προκαλώντας μια δομή που τώρα εμφανίζεται στην επιφάνεια. Επίσης μπορεί να θεωρηθεί ως μια εκτόνωση τάσεων του εδάφους, χωρίς να παράγεται καμία σεισμική δόνηση, λόγω της γενικότερης διάνοιξης του νησιού σε διεύθυνση Α-Δ (Lagios et al, 2003).



Εικόνα 15 Χάρτης της κύριας διάρρηξης στην πεδιάδα Λακί, που δημιουργήθηκε την περίοδο 2001-2002 , στον πυθμένα της καλδέρας της Νισύρου. Πηγή Vougioukalakis & Fytikas, 2005

2.4.5 Παρατηρήσεις στην τεκτονική της Νισύρου

Με βάση τα στοιχεία των φωτοτεκτονικών χαρτών και τις τεκτονικές μετρήσεις και παρατηρήσεις στο ύπαιθρο μπορούν να αναφερθούν το ακόλουθα (Παπανικολάου κ.α, 1990):

α) Υφίστανται τέσσερα συστήματα διευθύνσεων ρηγμάτων. Το πρωτεύον σύστημα έχει διεύθυνση $B50^{\circ}A$ και περιλαμβάνει τα ρήγματα της ρηξιγενούς ζώνης F1 καθώς επίσης και ορισμένα μικρότερα ρήγματα νότια από το Μανδράκι. Το δευτερεύον σύστημα ρηγμάτων έχει διεύθυνση $B30^{\circ}\Delta$ και περιλαμβάνει τα ρήγματα των ρηξιγενών ζωνών F3 Και F4 καθώς επίσης και ορισμένα ρήγματα της περιοχής των Νικιών. Το τριτεύον σύστημα έχει διεύθυνση $B30^{\circ}A$ και περιλαμβάνει τα ρήγματα της ρηξιγενούς ζώνης F2 καθώς επίσης και αρκετά δευτερεύοντα ενώ τέλος το υπολειπόμενο σύστημα έχει διεύθυνση $A-\Delta$ και περιλαμβάνει μόνο δευτερεύοντα ρήγματα.

β) Τα περισσότερα από τα ρήγματα είναι κανονικά -χωρίς όμως να μπορεί να γίνει κατάταξή τους λόγω της μη διατήρησης των γραμμών τεκτονικής ολίσθησης πάνω τις επιφάνειές τους- με άλματα τις τάξης των λίγων μέτρων ως λίγων δεκάδων μέτρων. Πολλά από τα ρήγματα χαρακτηρίζονται σαν διαρρήξεις διότι η μετακίνηση των εκατέρωθεν τεμάχων είναι ασήμαντη.

γ) Ορισμένα ρήγματα με οριζόντια συνιστώσα μετακίνησης παρατηρούνται προς την ΒΔ πλευρά της Νισύρου, περιοχή στην οποία εμφανίζονται και οι αρχαιότερες λάβες της υποθαλάσσιας ηφαιστειότητας. Παράλληλα τα ρήγματα αυτά τέμνουν εκτός από τους αρχαιότερους σχηματισμούς και πολύ νεότερους όπως είναι η λευκή κίσηρης

δ) Στις περιοχές Αυλάκι (N.NA Νίσυρος) και Λουτρά (βόρεια Νίσυρος) παρατηρήθηκαν πολλά μικρά ρήγματα με διεύθυνση B-N περίπου και με άλμα που δεν ξεπερνούσε τις μερικές δεκάδες εκατοστά το κάθε ένα. Τα ρήγματα αυτά διέκοπταν την συνέχεια των στρωμάτων του Πυροκλαστικού σχηματισμού B, ενώ δεν προεκτείνονται ούτε στους υποκείμενους σχηματισμούς ούτε στους υπερκείμενους. Πρόκειται δηλαδή για μια φάση χαλαρού ρηματογόνου συνηφαιστειογενούς τεκτονισμού εφελκυστικού χαρακτήρα που έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια απόθεσης του συγκεκριμένου σχηματισμού, γεγονός που επιβεβαιώνεται από το ότι σε όλη την Νίσυρο δεν απαντούν ίδιας διεύθυνσης ρήγματα που να τέμνουν άλλους σχηματισμούς.

2.5 Γεωλογική εξέλιξη της Νισύρου

Όπως διαπιστώνεται στη γεωλογική δομή της Νισύρου εκτός από της περιορισμένης σημασίας εμφανίσεις των Αλλουβίων, Πλευρικών Κορημάτων και Αποθέσεων της καλδέρας, λαμβάνουν μέρος αποκλειστικά ηφαιστειακής προέλευσης σχηματισμοί οι οποίοι προήλθαν από τη δράση του ηφαιστείου κατά το Πλειστόκαινο-Ολόκαινο (Fytikas et al.1976, 1984, Wagner et.al 1976). Οι εν λόγω σχηματισμοί κάλυψαν το Αλπικό υπόβαθρο (Μεσοζωϊκοί ασβατόλιθοι) το οποίο σύμφωνα με τα δεδομένα των γεωτρήσεων (Geothermica Italiana, 1983&1984) σε σημαντικό βάθος (περίπου -500 μέτρα).

Με βάση τη στρωματογραφική ανάλυση και σύνθεση, την τεκτονική ανάλυση και γενικότερα τα δεδομένα της γεωλογικής –τεκτονικής χαρτογράφησης μπορούν να διακριθούν τα τέσσερα ακόλουθα στάδια εξέλιξης του ηφαιστείου της Νισύρου. Κυρίαρχο χαρακτηριστικό αποτελεί η διαπίστωση ότι τα κύρια ρήγματα οριοθετούν ρηξιτεμάχη με ιδιαίτερη στρωματογραφική ηφαιστειοϊζηματογενή διάρθρωση (Παπανικολάου κ.α, 1989).

Προ-καλδερικό στάδιο. Αρχικά στον υποθαλάσσιο χώρο της Νισύρου υπήρξε υποθαλάσσια ηφαιστειακή δραστηριότητα η οποία έδωσε ανδεσιτικές λάβες με μορφή pillow (Λάβες Α). Τμήμα των λαβών αυτών εμφανίζεται σήμερα στην ακτή νότια από το Μανδράκι. Στη συνέχεια και μετά από συνεχείς εξόδους ηφαιστειακών υλικών ο ηφαιστειακός κώνος αναπτύχθηκε πάνω από το επίπεδο της θάλασσας και, όπως συμπεραίνεται από την υφιστάμενη σήμερα γεωμετρία των πλευρών του κώνου, το ύψος του έφθανε τουλάχιστο τα 700-800 μέτρα ενώ το βάθος του στον υποθαλάσσιο πυθμένα από όπου άρχισε να δημιουργείται είναι περίπου στα -600 μέτρα (Νομικού, 2004).

Κατά την περίοδο αυτή και μετά από αλληπάλληλες ηφαιστειακές εκρήξεις αποτέθηκαν κατά σειρά οι λάβες Α,Β,С και D διακοπτόμενες από τους πυροκλαστικούς σχηματισμούς Α,Β,С και D και τις κίσηρες τους. Οι λάβες σχηματίζουν συχνά εντυπωσιακά ρεύματα τα οποία αναπτύχθηκαν πάνω στις επικλινείς πλευρές του ηφαιστειακού κώνου ενώ οι δόμοι στην περιοχή του Εμπορειού φανερώνουν ότι υπήρξε έξοδος ηφαιστειακών υλικών όχι μόνο από το κορυφαίο του κώνου αλλά και από τις πλευρές του.

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

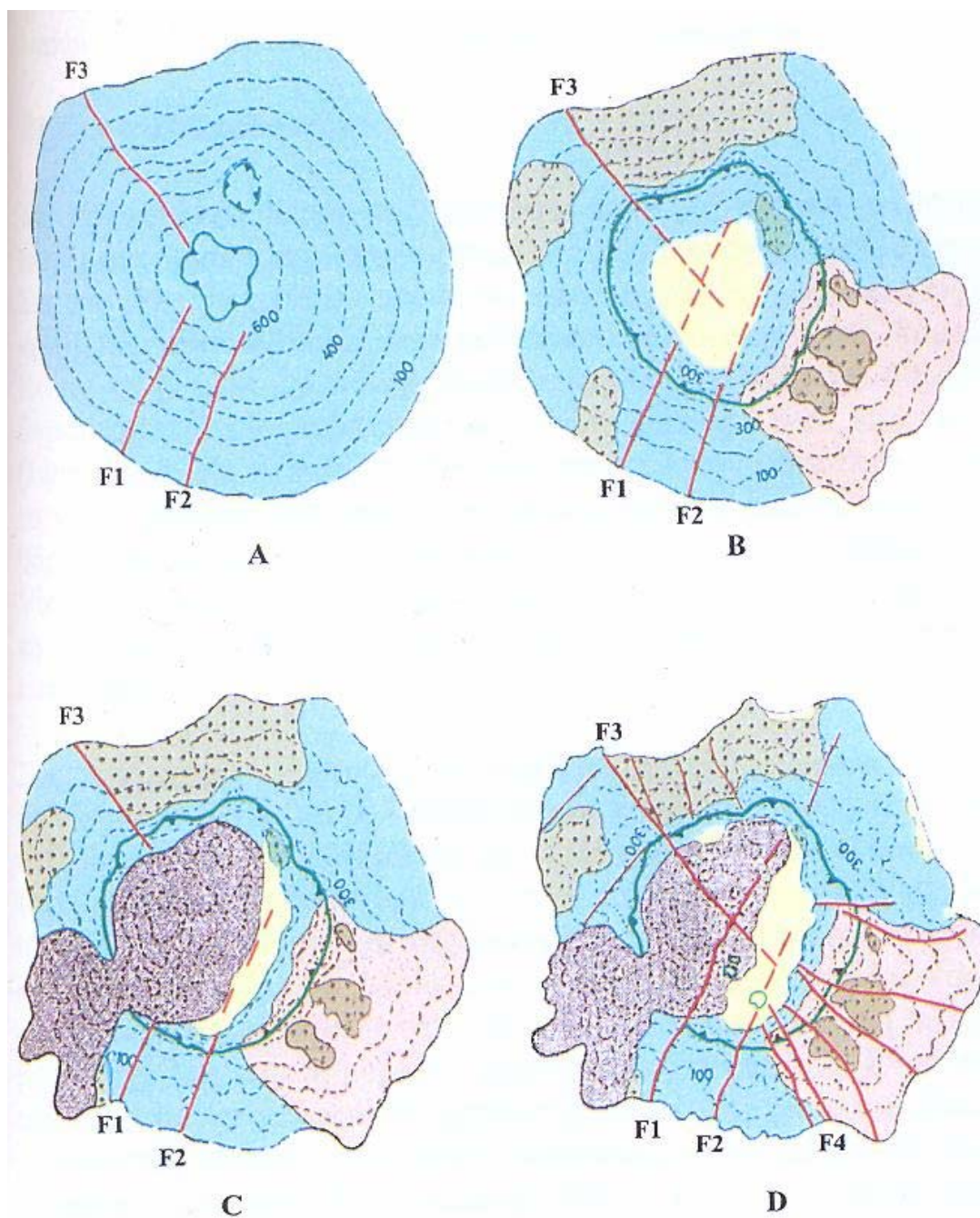
Η ανάπτυξη τόσο των λαβών όσο και των συνόδων σχηματισμών εκτός από τις παρατηρούμενες συχνές αποσφηνώσεις οριοθετήθηκε σε πολλές θέσεις από ενεργά ρήγματα που ήταν υπεύθυνα για την δημιουργία μορφολογικών εμποδίων-αναβαθμών που δεν ήταν δυνατόν να υπερπηδηθούν από ρεύματα λάβας. Τα ρήγματα αυτά ήταν κυρίως ορισμένα ρήγματα των ρηξιγενών ζωνών F1, F2 και F3 κατά μήκος των οποίων οριοθετείται η επιφανειακή εξάπλωση ορισμένων λαβών, πυροκλαστικών σχηματισμών και κίσσηρης.

Συν-καλδερικό στάδιο. Κατά το στάδιο αυτό κυρίαρχο γεγονός ήταν η καταστροφή-εγκατακρήμνιση του ηφαιστειακού κώνου και η δημιουργία της καλδέρας. Η περίοδος αυτή άρχισε με έκχυση σημαντικών ποσοτήτων των Ρυόλιθων των Νικιών που ακολουθήθηκαν από την τεράστια έκρηξη και στη συνέχεια την απόθεση της Ανώτερης Κίσσηρης, με αποτέλεσμα να καλυφθούν μεγάλα τμήματα της Νισύρου από τους σχηματισμούς αυτούς. Κατά το στάδιο αυτό έδρασαν πάλι οι ρηξιγενείς ζώνες F1, F2 και F3.

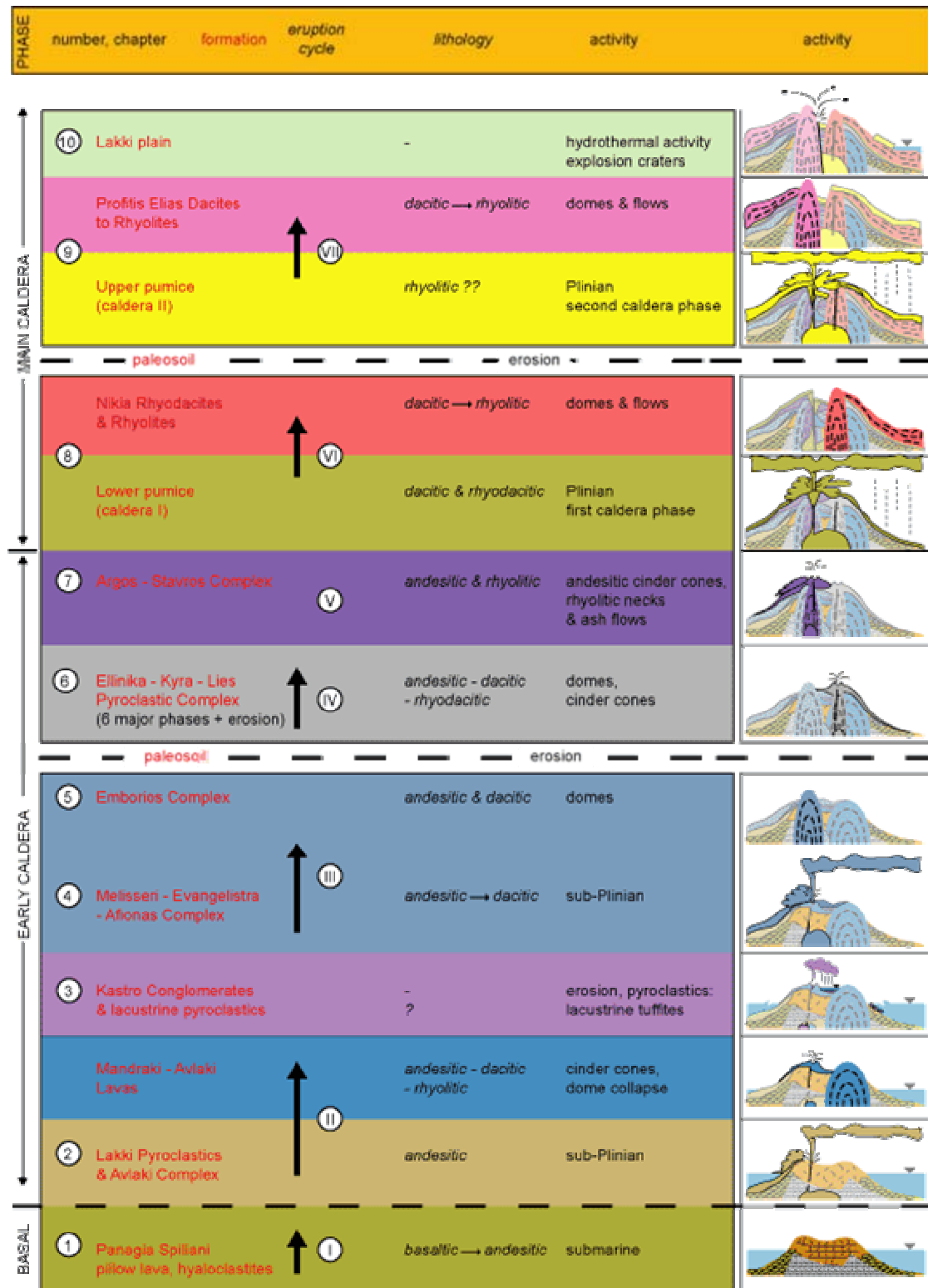
Μετα-καλδερικό στάδιο. Μετά την δημιουργία της καλδέρας ένα μεγάλο τμήμα της καλύφθηκε από τους Ρυοδακίτες του Προφήτη Ηλία που έφθασαν σε υψόμετρο άνω των 700 μέτρων με συνέχεια στο ΝΔ τμήμα της Νισύρου έξω από την καλδέρα ως την ακτή καταστρέφοντας ένα τμήμα της καλδέρας.

Σύγχρονο στάδιο. Μετά την έξοδο των Ρυοδακίτων του Προφήτη Ηλία παρατηρούνται μετακινήσεις κατά μήκος των μεγάλων ρηξιγενών ζωνών και συγκεκριμένα των F1 και F2 οι οποίες τέμνουν τους Ρυοδακίτες και δημιουργούν μεγάλες μορφολογικές ανωμαλίες καθώς επίσης και των F3 και F4 οι οποίες τέμνουν την λευκή Κίσσηρη και τους Ρυόλιθους των Νικιών αντίστοιχα. Εκτός από την ενεργοποίηση των μεγάλων ρηξιγενών ζωνών δημιουργούνται και αρκετά δευτερεύοντα ρήγματα με μικρότερα άλματα, τα οποία όμως οριοθετούν σε μικρότερο βαθμό εμφανίσεις ορισμένων σχηματισμών ή ακόμα μεταθέτουν το ίχνος του χείλους της καλδέρας.

Κατά μήκος των μεγάλων ρηξιγενών ζωνών στο χώρο της καλδέρας παρατηρούνται εντονότερες εξαλλοιώσεις και έξοδος θερμών αερίων ενώ στην τομή των δύο ρηξιγενών ζωνών F2,F4 βρίσκεται ο μεγαλύτερος από τους σύγχρονους φρεατικούς κρατήρες, ο κρατήρας Στέφανος.



Εικόνα 16 Τα τέσσερα διαδοχικά στάδια εξέλιξης του ηφαιστείου της Νισύρου (κατά Παπανικολάου κ.α. 1991).



Εικόνα 17 Εξέλιξη της ηφαιστειακής δραστηριότητας στη Νίσυρο (Geowarn).

2.6 Εξέλιξη της ηφαιστειακής δραστηριότητας στην Νίσυρο

Οι πιο γνωστές από τις εκρήξεις του ηφαιστείου της Νισύρου είναι αυτές των ετών 1422, 1830, 1871, 1873. 1888. Ορισμένες απ' αυτές ήταν τόσο έντονες ώστε η ηφαιστειακή σποδός που εκτινάχτηκε, να εντοπίζεται σήμερα σε περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου, πολύ μακριά της Νισύρου, όπως έδειξαν τα αποτελέσματα των υποθαλάσσιων γεωτρήσεων του προγράμματος D.S.D.P. (πρόγραμμα γεωτρήσεων βαθιών θαλασσών). Οι πιο πρόσφατες υδροθερμικές εκρήξεις στα 1873 και 1888 συνοδεύτηκαν από σεισμούς, εκτινάξεις αερίων και φωτιά (Lacroix, 1853; Gorceix, 1873 a-d, 1874a-c; Georgalas, 1962; Principe 1989). Οι τελευταίες επιπτώσεις οφείλονται στις υψηλές αέριες εκροές H₂S, CO₂, H₂ και CH₄ από τις τεκτονικές ζώνες που τέμνουν την καλδέρα. Μετά τις εκρήξεις, οι κρατήρες γέμιζαν με ζεστό νερό πλούσιο σε αλάτι, με αποθέσεις θείου και κορήματα. Μετά την εξάτμιση του νερού, ο επίπεδος πυθμένας των κρατήρων καλύπτονταν από λάσπη. Κατά τον H. Gorceix (1873) καμιά έκρηξη συνοδευόμενη και από έκχυση λάβας δεν έχει συμβεί στο ηφαίστειο της Νισύρου από τους ιστορικούς χρόνους μέχρι σήμερα. Αντίθετα, ο A. Desio (1910) αναφέρει ότι η ηφαιστειακή ενέργεια, από την εποχή του Ιπποκράτη, εκδηλώνεται μόνο με ατμιακή δράση (Κυριακόπουλος 2003). Αναλυτικότερα έχουμε:

1414-20: Στο έργο του “*Librum insularum Archipelagi*” ο μοναχός Christoforo Bondelmonti (1824, από Γεωργαλάς 1962), ο οποίος επισκέφθηκε το νησί μεταξύ 1414-1420 συνέκρινε την ηφαιστειακή δράση της Νισύρου με αυτήν του Στρόμπολι. Περιγράφει πιθανές εκτινάξεις ατμών, θερμού νερού και εκλύσεις θειούχων αερίων. Δεν είναι όμως βέβαιο αν η φράση του, “*sulfureous ignis die ac nocte eructat in altum*” σημαίνει ότι έλαβαν χώρα μαγματικές εκρήξεις στη Νίσυρο.

1830: Στην εργασία του ο Ross (1840 από Γεωργαλάς 1962), αναφέρει έντονη εκτίναξη ατμού και θερμού νερού, που συνοδεύονταν από κρότους και εκπυρσοκροτήσεις. Προφανώς δεν επρόκειτο για κανονική έκρηξη με έξοδο μάγματος ή εκτίναξη άλλων “φρέσκων” υλικών, αλλά για τοπικές εκρήξεις θειούχων ατμίδων γνωστών στην ηφαιστειολογία με το όνομα “σολφατάρες” (θειωνιές).

1871: (Gorceix, 1873a-d): Από το 1871 είχε παρατηρηθεί μια αύξηση των ατμών από τις φουμαρόλες στο Μεγάλο Πολυβώτη. Τον Οκτώβριο ή στο τέλος Νοεμβρίου ένας μεγάλος σεισμός συνόδευσε την υδροθερμική δραστηριότητα από τους κρατήρες του Μεγάλου Πολυβώτη και του Φλέγεθρον. Παρατηρήθηκαν κίτρινες φλόγες, εκλύσεις

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

αερίων και νέφους που κάλυψε το νησί και εκτινάχθηκε ηφαιστειακή σποδός και λάσπη καταστρέφοντας τα οποροφόρα δένδρα στην πεδιάδα Ράμμος.

1873: (Gorceix, 1873a-d): Στις 3 ή 8 Ιουνίου το νησί σείεται από σεισμικές δονήσεις. Ο κρατήρας του Φλέγετον άνοιξε περισσότερο και από σχισμές μέσα στον κρατήρα του Πολυβώτη εκτινάχθηκε ηφαιστειακό υλικό, αλμυρό νερό και τέφρα. Ποτάμια από ζεστή λάσπη προερχόμενα από το Φλέγετον κάλυψαν την περιοχή νότια από τους κρατήρες σε απόσταση μέχρι και 500 μέτρα. Τα κλαδιά των δένδρων εμποτίστηκαν από τους ατμούς και το ζεστό νερό όπου μόλις εξατμίστηκαν, άφησαν σταλαγμίτες από αλάτι. Οι φρεατικές εκρήξεις συνεχίστηκαν από τον Ιούνιο μέχρι το Σεπτέμβριο συνοδευμένες από μικρές σεισμικές δονήσεις και εκτινάξεις αερίων πλούσιων σε θείο από τους κρατήρες. Στις 11 Σεπτεμβρίου 1873 σημειώθηκε ένας μεγάλος σεισμός προκαλώντας ζημιές και στα τείχη του μοναστηριού της Παναγιάς της Σπηλιανής. Δεν καταγράφηκαν θάνατοι αλλά υπήρξαν ελαφρά τραυματισμένοι κάτοικοι. Στην ακτή κοντά στο Μανδράκι άνοιξε μια μεγάλη ρωγμή η οποία προεκτεινόταν προς τα βόρεια ενώ δημιουργήθηκε και μια μεγάλη αντίστοιχη ρωγμή στο Γυαλί. Οι ηφαιστειακές εκρήξεις συνεχίστηκαν μέσα στους κρατήρες του Πολυβώτη και του Φλέγετον ενώ οι σεισμικές δονήσεις είχαν διάρκεια μέχρι το Δεκέμβριο.

1888: (Martelli 1917). Η πιο πρόσφατη έκρηξη που πραγματοποιήθηκε στο τέλος Σεπτεμβρίου, όταν δημιουργήθηκε ο Μικρός Πολυβώτης. Εκτινάχθηκε ηφαιστειακό υλικό σε σχήμα κυλίνδρου, διαμέτρου τουλάχιστον 25 μέτρων καθώς και λάσπη με ηφαιστειακά λιθάρια που συνοδεύονταν από στήλη ατμού.

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό ότι στο έργο του “Σεισμική Γεωγραφία της Ελλάδος” ο καθηγητής Γαλανόπουλος (1955) αναφέρει ότι στις 2 Ιουνίου 1871 “Μέγας εκρηξιγενής σεισμός επί της Νισύρου επέφερε σημαντικής βλάβας εις το Μανδράκι, πρωτεύουσα της νήσου”.

1956, 16 Ιουλίου: ο Γεωργαλάς (1962) αναφέρει ότι κατά την παραπάνω ημερομηνία, παρατηρήθηκε μόνο δραστηριότητα σολφατάρων σε ορισμένες θέσεις της πεδιάδας Ράμμος. Τα θειούχα αέρια και το διοξείδιο τον άνθρακα (CO₂), που ανέβλυζαν από διάφορες οπές του εδάφους, είχαν θερμοκρασία που έφτανε τους 98°-99° C ενώ η χαμηλότερη θερμοκρασία που αναφέρεται ήταν 46° C. Ο A. Desio(1910) αναφέρει ότι η ηφαιστειακή ενέργεια από την εποχή του Ιπποκράτη, εκδηλώνεται μόνο με ατμιδική δράση.

2.7 Μετα-ηφαιστειακά φαινόμενα στη Νίσυρο

2.7.1 Ατμιδικά φαινόμενα της Νισύρου

Η ατμιδική ενέργεια στη Νίσυρο εκδηλώνεται στους φρεατοειδείς κρατήρες (κέντρα ατμιδικής δράσης), στον πυθμένα της καλδέρας και συγκεκριμένα στο νοτιοδυτικό τμήμα της, στο Ραμμό (Κυριακόπουλος, 1992).

Ειδικότερα στον κρατήρα “Στέφανο” η ατμιδική ενέργεια εκδηλώνεται από ρωγμές του προσχωσιγενούς εδάφους, σχεδόν σε όλη την επιφάνεια του πυθμένα του. Έντονότερη ανέξοδος ατμίδων παρατηρείται στο ανατολικό τμήμα του πυθμένα του “Στεφάνου”, αποτέλεσμα της οποίας είναι η συγκέντρωση θερμών νερών, των οποίων η στάθμη αυξομειώνεται αισθητά ανάλογα με την εποχή. Τα νερά αυτά είναι, κατά πάσα πιθανότητα, μίγμα θαλασσινού και βρόχινου νερού, τα οποία θερμαίνονται λόγω της δράσης των ατμίδων. Ακόμα εκδήλωση ατμίδων έχουμε και στην ανατολική όχθη του “Στεφάνου”, στις προσχώσεις που καλύπτουν, με μικρό πάχος, τον δακίτη, όψης πορφυτικού περλίτη, της Νικιάς.

Στον “Πολυβώτη” η ατμιδική ενέργεια εντοπίζεται κύρια στις δύο απότομες πλευρές του, δηλαδή στη βορειοδυτική η οποία αποτελεί τα νοτιοανατολικά κράσπεδα του Διαβάτη και στη νοτιοανατολική όπου παρατηρείται έντονη ανέξοδος ατμίδων από επτά διαφορετικά σημεία. Στον πυθμένα του “Πολυβώτη” δεν παρατηρούνται ατμίδες.

Αντίθετα έντονη εκδήλωση ατμίδων έχουμε στον πυθμένα του κρατήρα “Αλέξανδρου” όπως έντονη είναι κατ. η εκδήλωση της ατμιδικής ενέργειας νοτιοδυτικά του “Αλέξανδρου”, σε απόσταση περίπου 250 μέτρων από αυτόν, δια μέσου των ρωγμών του κατακερματισμένου ηφαιστειακού βράχου. Παράλληλα έντονη ανέξοδος ατμίδων έχουμε και στην ανατολική κλιτύ του υψώματος του Αγίου Γεωργίου (519 μέτρα). Η εκδήλωση των ατμίδων εδώ φαίνεται να είναι πρόσφατη γιατί δεν παρουσιάζονται ακόμα τα φαινόμενα της αποσύνθεσης και της καολινιτίωσης, τα οποία συνήθως προκαλεί η δράση των ατμίδων.

Τέλος εκδήλωση ατμίδων έχουμε στις θέσεις Καμινάκια και Καιλιά (βρίσκονται στα κράσπεδα των κλιτύων της Νικιάς) καθώς και στο “Λόφο 211” (λόφος, στα κράσπεδα του Διαβάτη, χωρίς όνομα και με υψόμετρο 211 μέτρα), όπου η ανέξοδος των ατμίδων γίνεται σε όλη του, την επιφάνεια.

2.7.2 Φουμαρολική δραστηριότητα

Δύο τύποι φουμαρολικής δραστηριότητας εμφανίζονται στην νήσο Νίσυρο:

A) Λίμνες λάσπης (mud volcanoes) και ατμοί από αέρια, βρίσκονται στα κεντρικά τμήματα των κρατήρων Στέφανος και Μεγάλος Πολυβώτης. Η διάμετρος τους ποικίλει από λίγα εκατοστά μέχρι ένα μέτρο και είναι αποτέλεσμα βρασμού και ατμού από το ανώτερο πεδίο των άνω υδροθερμικών θαλάμων. Η δραστηριότητά τους εξαρτάται από την εποχιακή βροχή και την υγρασία. Τα αέρια που διαφεύγουν με θερμοκρασίες κοντά στους 100° C είναι πλούσια σε H₂O (94%), H₂S (<0,5%), CO₂ (5%), H₂ και CH₄ (<0,5%). Τα λασπώδη νερά περιέχουν περισσότερα θειικά οξέα και έχουν pH 1,5 μέχρι 3.



Εικόνα 34 Λίμνες λάσπης (Mud volcanoes) στην επιφάνεια του κρατήρα Στέφανος.

B.) Ο δεύτερος τύπος φουμαρόλων αναπτύσσεται σε διεσπαρμένα κανάλια και ρωγμές εντός του τείχους των κρατήρων καθώς και κατά μήκος των κύριων τεκτονικών ζωνών. Τα αέρια με θερμοκρασίες περίπου στους 100°C είναι επίσης πλούσια σε H₂O, CO₂, H₂ και CH₄ και προέρχονται από τα βαθύτερα τμήματα του υδροθερμικού συστήματος.

Εκτός από τις φουμαρόλες που εντοπίζονται μέσα στους φρεατικούς κρατήρες, διαφυγή θερμών αερίων εντοπίζεται και κατά μήκος των ενεργών

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

τεκτονικών ζωνών που τέμνουν το νησί. Χαρακτηριστικές εμφανίσεις υπάρχουν στη νότια πλευρά της καλδέρας και στην περιοχή Πυριά. Στη βόρεια πλευρά εντοπίζονται στη βάση των γκρεμών της καλδέρας, στην κορυφή του δόμου του Νίφιου και στην είσοδο του χωριού Εμπορείου, με θερμοκρασίες μεταξύ 36 και 40°C.



Εικόνα 35 Η είσοδος στην φυσική σάουνα του Εμπορείου (φωτογραφία από το μουσείο στην Νικιά)



Εικόνα 36 Η φυσική σάουνα στα Πυριά (φωτογραφία από το μουσείο στην Νικιά)

2.8 Σύσταση και θειογενετική δράση των ατμίδων

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

Η σύσταση των ατμίδων που αναπτύσσονται σε διάφορες ηφαιστειογενείς περιοχές εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία που έχουν κατά την έξοδό τους από τους αγωγούς εκδήλωσης της ατμιδικής δραστηριότητας. Συγκεκριμένα οι ατμίδες με θερμοκρασία κάτω από 95-100° C δεν φέρουν αέρια ενώσεων του θείου και γι' αυτό δεν χαρακτηρίζονται ως θειωνιές.

Ενδεικτικά είναι τα αποτελέσματα των παρακάτω χημικών αναλύσεων για διαφορετικές θερμοκρασίες των ατμίδων της Νισύρου. Επί πλέον γιο σύγκριση παραθέτουμε και τη σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα, με το ποσοστό των αντίστοιχων αερίων φάσεων.

Από τις αναλύσεις αυτές φαίνεται ότι η περιεκτικότητα των ατμίδων της Νισύρου σε H₂S μειώνεται σημαντικά μόλις η θερμοκρασία τους κατέλθει έστω και λίγους βαθμούς κάτω των 100° C. Στη θερμοκρασία των 96° C οι ατμίδες έχουν ήδη εμπλουτισθεί σε συστατικά του ατμοσφαιρικού αέρα, ενώ στη θερμοκρασία των 70° C ελάχιστα διαφέρουν από αυτόν.

Πίνακας 2 Αναλογίες μερικών αερίων φάσεων από τις ατμίδες της Νισύρου

Θερμοκρασία	100° C	96° C	94° C	70° C	Ατμοσφ. Αέρας
H ₂ O	48,8	4,6	1,5	0	0
CO ₂	40,9	17,8	14,7	7	0,04
O	7,1	13,8	15,6	18,1	22,69
N	3,2	63,7	67,7	74,8	75,77
	100	99,9	99,5	99,9	98,5

Με την παραπάνω περιεκτικότητα σε υδρόθειο είναι έντονη η θειογενετική δράση των ατμίδων της Νισύρου, η οποία ασκείται πριν η θερμοκρασία μειωθεί κάτω από τους 95 – 100° C.

Σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 100° C (μεταξύ 100—200° C) τις οποίες έχουν οι ατμίδες στις περιοχές των ηφαιστειών των οποίων σταμάτησε η ηφαιστειακή δράση (όπως συμβαίνει και στη Νίσυρο), μεταξύ των συστατικών των ατμίδων περιλαμβάνονται, το υδρόθειο, το διοξείδιο του θείου, και το θειικό οξύ.

Η θειογενετική δράση των ατμίδων ενεργεί πριν φτάσουν στο στόμιο της εξόδου προς την επιφάνεια, όπου και μειώνεται βαθμιαία η θερμοκρασία τους. Έτσι στα θειούχα αποθέματα, τα οποία δεν είναι εμφανίσεις απόλυτα επιφανειακές, παρατηρείται θειικό οξύ, το οποίο είτε ως ελεύθερο είτε υπό μορφή θειικών αλάτων,

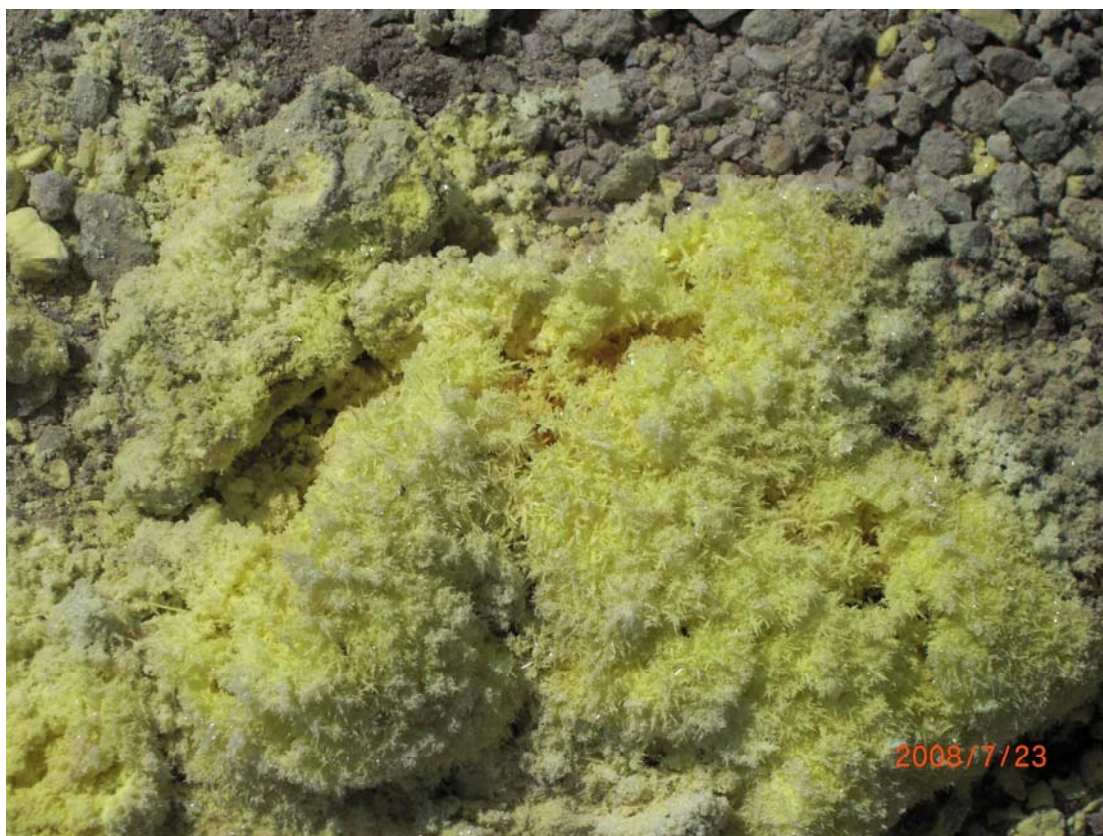
Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

αποτελεί το μειονέκτημα της απευθείας (χωρίς την εξουδετέρωση αυτού) χρησιμοποίησης των θειοχωμάτων αυτών σε διάφορες καλλιέργειες.

2.9 Τα θειοχώματα της Νισύρου

Τα θειούχα κοιτάσματα της Νισύρου εμφανίζονται στην περιοχή του Ραμμού όπου και σήμερα, όπως αναφέραμε και προηγουμένως, υπάρχουν πολλές εστίες ατμιδικής δράσης στις οποίες οφείλουν την γένεσή τους (Κυριακόπουλος, 1992).

Ειδικότερα στον κρατήρα “Στέφανο” τα θειούχα κοιτάσματα αναπτύσσονται εντός του λεβητοειδούς βυθίσματος, καθώς και στα εσωτερικά τοιχώματα του πυθμένα. Οι πλουσιότερες εμφανίσεις θείου στον “Στέφανο” συγκεντρώνονται στην ανατολική του πλευρά , όπου και η ατμιδική ενέργεια είναι εντονότερη. Η πλευρά αυτή αποτέλεσε κατά τη διάρκεια του τελευταίου Παγκοσμίου πολέμου σημαντικό πεδίο εξόρυξης θειοχωματος.



Εικόνα 37 Τα θειοχώματα της Νισύρου

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

Επανθήματα θείου, ή εμποτίσματα σε θείο του προσχωσιγενούς εδάφους του “Στέφανου” ανεξάρτητα περιεκτικότητας, παρατηρούνται σε όλες τις πλευρές αυτού, αποτέλεσμα της εκδήλωσης ατμιδικής ενέργειας.

Οι αποθέσεις του θείου στον “Πολυβώτη“ παρατηρούνται κατά μήκος των δύο εκατέρωθεν πλευρών του ομώνυμου λεβητοειδούς βυθίσματος, όπου και εκδηλώνεται η ατμιδική ενέργεια. Στη νοτιοανατολική πλευρά αυτού η απόθεση του θείου γίνεται στην επιφάνεια του πετρώματος επί του οποίου οι ατμίδες, που ενεργούν σε επτά διαφορετικά σημεία, ασκούν την αποσυνθετική και θειογενετική τους ενέργεια. Στη βορειοδυτική πλευρά όμως οι θειούχες αποθέσεις περιορίζονται μόνο στο έδαφος των καταρρεύσεων το οποίο παρεμβάλλεται από το επίπεδο του προσχωσιγενούς πυθμένα του “Πολυβώτη“ μέχρι την καμπύλη της επιφανειακής του επαφής με το πέτρωμα. Από τον “Πολυβώτη“ δεν έγινε εξόρυξη θειοχώματος γιατί αφενός μεν η βορειοδυτική πλευρά του είναι φτωχή σε θείο, αφετέρου δε η νοτιοανατολική πλευρά του είναι απρόσιτη λόγω της μεγάλης κλίσης, που επικρατεί, καθώς και της μεγάλης θερμοκρασίας που χαρακτηρίζει την περιοχή.

Στον “Αλέξανδρο“ οι εμφανίσεις θείου παρατηρούνται στον πυθμένα της χοανοειδούς κοιλότητας, την οποία σχηματίζει αυτός, καθώς και στα τοιχώματα του πυθμένα αυτής. Ακόμα εμφανίσεις θείου παρατηρούνται στον “Λόφο 211“ σε όλη του την επιφάνεια, στις θέσεις τις οποίες διασχίζουν ρωγμές εκδήλωσης ατμιδικής ενέργειας. Ο “Λόφος 211” καθώς και ο “Αλέξανδρος” αποτέλεσαν πεδία εξόρυξης θειοχώματος.

Τέλος στη θέση Καμινάκια τα αποθέματα θείου εμφανίζονται έξω από το προσχωσιγενές επίπεδο του Ραμμού, στο σημείο που αρχίζει το δακτυλικό πέτρωμα και σχηματίζει την ορεινή ράχη της Νικιάς.

Στα παραπάνω κέντρα ατμιδικής ενέργειας της Νισύρου τα θειούχα κοιτάσματα του νησιού εμφανίζονται ως εμποτίσματα θείου εντός των πετρωμάτων της περιοχής του Ραμμού, καθώς και εντός του προσχωματικού εδάφους του πυθμένα αυτού.

Στο σχηματισμό των κοιτασμάτων αυτών συντέλεσε τόσο η αποσύνθεση όσο και η αποσάθρωση, που προκλήθηκαν από τη θειογενετική δράση της ατμιδικής ενέργειας επί των πετρωμάτων τα οποία βρέθηκαν κάτω από την άμεση επίδρασή της. Είναι βέβαια προφανές ότι τα εμποτίσματα αυτά περιορίζονται στις θέσεις που έδρασε η ατμιδική ενέργεια.

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

Παράλληλα προς τα εμποτίσματα αυτά παρατηρούνται, στην περιοχή του Ραμμού, αποθέσεις θείου σε βελονοειδή επανθήματα. Αυτά εμφανίζονται κυρίως στις εξωτερικές πλευρές των ρωγμών από τις οποίες εξέρχονται οι ατμίδες, καθώς και σε μέρη όπου αυτές έχουν ασκήσει την αποσυνθετική τους ενέργεια.

Τέλος πρέπει να σημειώσουμε ότι στην περιοχή του Ραμμού παρατηρούνται και αυτοτελή κοιτάσματα θείου υπό μορφή φλεβών στα πετρώματα του “Πολυβώτη“, του “Αλέξανδρου” και του “Λόφου 211“. Τα κοιτάσματα αυτά πάντως, είναι σπανιότερα.

2.10 Ορυκτολογική μελέτη του κρατήρα “Στέφανου”

Τα περισσότερα από τα ορυκτά, όπως αλουνίτης, γύψος, θείο, καολινίτης κ.α.) που έχουν προσδιορισθεί στον κρατήρα “Στέφανο“ είναι δευτερογενή και προέρχονται από τους εξαλλοιωμένους ηφαιστίτες. Τα αέρια των ατμίδων H_2S , CO_2 και SO_2 κατά την έξοδό τους από ορισμένες θέσεις του κρατήρα, μαζί με υδρατμούς, δημιουργούν όξινα διαλύματα, κυρίως θεικού οξέος. Τα τελευταία αποτελούν τους κύριους παράγοντες μετατροπής των αρχικών υλικών σε δευτερογενή αυθιγενή ορυκτά.

Έτσι τα διαλύματα του θεικού οξέος επιδρούν κατά κύριο λόγο στους αστρίους και την ύελο των ηφαιστειακών πετρωμάτων με αποτέλεσμα την κινητοποίηση ιόντων όπως (K, Na, Ca, Al, Fe) και την δημιουργία θεικών και πυριτικών ορυκτών.

Το διοξείδιο του πυριτίου που ελευθερώνεται κατά την αντίδραση κρυσταλλώνεται ως χριστοβαλίτης ή τριδυμίτης ή χαλαζίας. Γενικά ο αλουνίτης σχηματίζεται σε συνθήκες υψηλής συγκέντρωσης H ενώ αντίθετα σε χαμηλές συγκεντρώσεις των ιόντων αυτών σχηματίζεται καολινίτης. Άλλο θεικό ορυκτό που έχει προσδιορισθεί είναι ο αλουνογενής, ο οποίος είναι αποτέλεσμα της ισχυρής τάσης των ιόντων του αργιλίου να σχηματίζουν, σε υδάτινα διαλύματα, σύμπλοκα ιόντα αργιλίου τα οποία ενώνονται με θεικές ρίζες.

2.11 Σύγχρονη παραμόρφωση

Από την μελέτη των μετρήσεων του διαφορικού γεωδαιτικού δικτύου (DGPS) καθίσταται φανερό ότι η Νίσυρος υφίσταται τεκτονική διεργασία με έντονους ρυθμούς παραμόρφωσης.

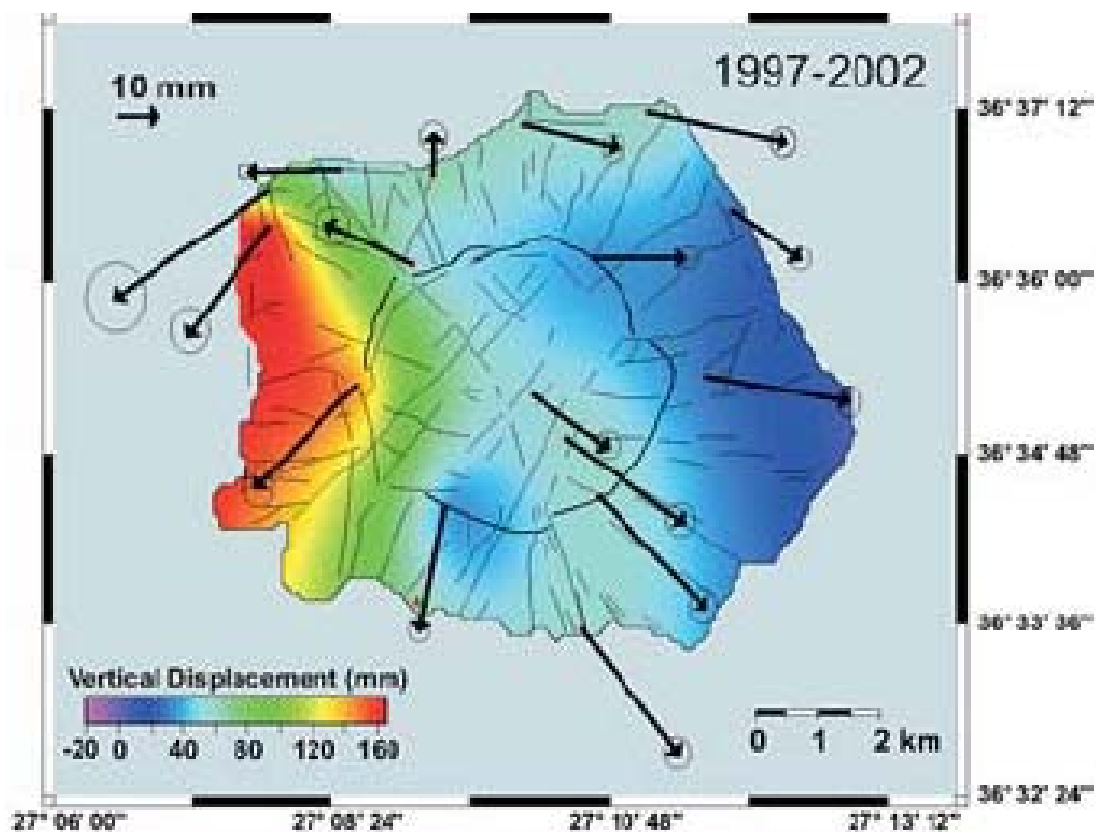
Σημαντικές οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις παρατηρήθηκαν στις συντεταγμένες των 18 γεωδαιτικών σταθμών του δικτύου GPS, οι οποίοι είχαν εγκατασταθεί μόνιμα στη Νίσυρο με σημείο αναφοράς ένα σταθμό στη ΒΑ Κω, μετά τη σεισμική δραστηριότητα του 1995-96 (Lagios 2000, Lagios et al.2003).

Οι κατακόρυφες μετακινήσεις των σταθμών GPS με τιμές από 14 mm μέχρι 140 mm έδειξαν μια γενική ανύψωση του μεγαλύτερου τμήματος της Νισύρου. Εκτός από τους τρεις σταθμούς που βρίσκονταν στο ανερχόμενο τέμαχος του επανεργοποιημένου ρήγματος στο Μανδράκι, όπου η κατακόρυφη παραμόρφωση έφτασε τις τιμές των 60 έως 140 mm, η πλειοψηφία των σταθμών κατέγραψε μετακινήσεις εύρους 40-60 mm κατά την περίοδο 1997 και 1998. Παρόλο που παρέμεινε ο ανοδικός χαρακτήρας της παραμόρφωσης, μετά το 1998 παρουσιάστηκε μείωση της κατακόρυφης συνιστώσας.

Το εύρος της οριζόντιας παραμόρφωσης, κυμαίνεται από 20-60 mm, αποκτώντας τις μέγιστες τιμές κατά την περίοδο 1997-1998, κατά την περίοδο όπου είχαμε την μεγαλύτερη έξαρση της σεισμικής δραστηριότητας (Sachpazi et al.2002).

Για ολόκληρη την περίοδο παρακολούθησης (1997-2002), οι ολικές μετακινήσεις κυμάνθηκαν μεταξύ 10-60 mm για τις οριζόντιες και 30-150 mm για τις κατακόρυφες μετακινήσεις (εικόνα 18).

Οι οριζόντιες μετακινήσεις υποδεικνύουν ότι η Νίσυρος επεκτείνεται κατά μήκος των δύο κυριότερων συστημάτων ρηγμάτων ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης, προς τα δυτικά, νότια και ανατολικά. Σε γενικές γραμμές η μετακίνηση στο μισό βορειοανατολικό τμήμα του νησιού είναι προς τα ΑΒΑ και στο άλλο μισό δυτικό μέρος είναι με ευκρίνεια προς τα ΝΔ.



Εικόνα 18 Οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις από γεωδαιτικές μετρήσεις DGPS για την περίοδο 1997-2001 με σταθερό σημείο την Κω. Η οριζόντια μετακίνηση παρουσιάζεται με βέλη ενώ η κατακόρυφη με χρωματικές εναλλαγές (Lagios et al, 2003).

Με βάση την ανάλυση των κύριων ρηξιγενών ζωνών, των μορφοτεκτονικών παρατηρήσεων και των αποτελεσμάτων της παραμόρφωσης από τις μετρήσεις των γεωδαιτικών στοιχείων, η Νίσυρος χωρίστηκε σε πέντε επιμέρους νεοτεκτονικά ενεργά ρηξιτεμάχια (Nomikou et al, 1999, Νομικού 2004).

- **Ρηξιτέμαχος Προφήτη Ηλία.** Το ρηξιτέμαχος αυτό καταλαμβάνει όλο το δυτικό τμήμα της Νισύρου και οριοθετείται από τις ρηξιγενείς ζώνες F1 και F3. Δομείται κυρίως από τους Ρυοδακίτες του Προφήτη Ηλία ενώ στο βόρειο τμήμα του, κοντά στο Μανδράκι, κυριαρχούν εναλλαγές Πυροκλαστικών σχηματισμών και Λαβών. Χαρακτηρίζεται από λίγες οριζόντιες καταστροφικές επιφάνειες επιπέδωσης, λόγω του απότομου αναγλύφου που διαμορφώνουν οι Ρυοδακίτες του Προφήτη Ηλία και μόνο στο βορειοδυτικό τμήμα του υπάρχουν κεκλιμένες επιφάνειες ισοπέδωσης, αναπτυγμένες πάνω στην Ανώτερη Κίσσηρη ή σε πυροκλαστικά με γενική κλίση προς τα ΒΔ

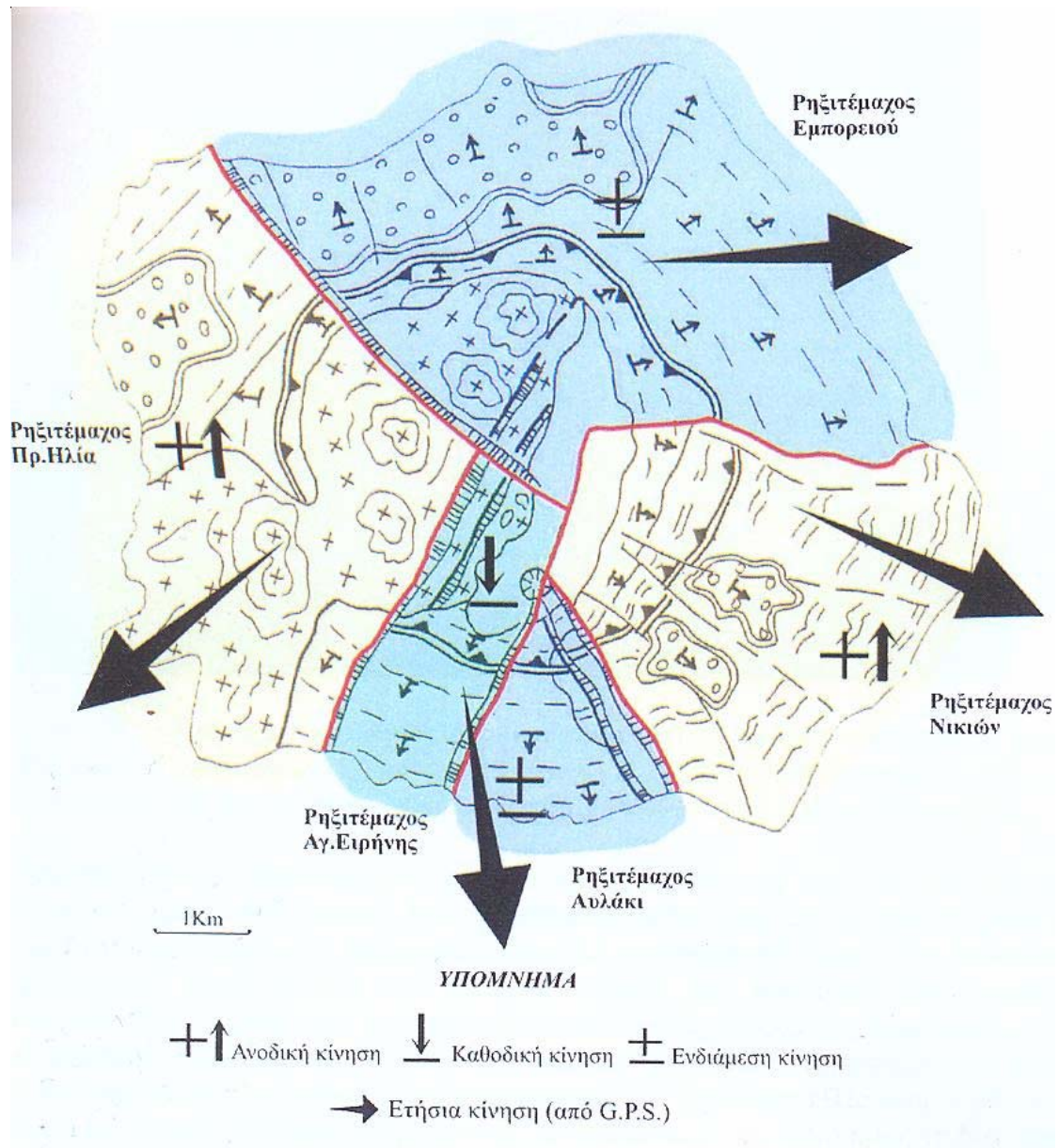
ακολουθώντας την κλίση των στρωμάτων. Η παρουσία ηφαιστειακών δόμων και μεγάλων μορφολογικών ασυνεχειών, υποδεικνύουν μια έντονη ανοδική κίνηση του ρηξιτεμάχους όπου σύμφωνα και με τις κατακόρυφες μετακινήσεις των γεωδαιτικών στοιχείων DGPS, η μεγαλύτερη τιμή που παρατηρήθηκε στο νησί ήταν 40-60mm το 1998. Επίσης σύμφωνα με την ανάλυση των οριζόντιων μετατοπίσεων των στοιχείων των DGPS, στο ρηξιτέμαχος παρατηρείται μια οριζόντια συνιστώσα η οποία έχει διεύθυνση προς τα ΝΔ με μεγαλύτερη τιμή 20-40mm κατά το 1997-1998.

- **Ρηξιτέμαχος Αγίας Ειρήνης.** Το ρηξιτέμαχος αυτό οριοθετείται από δύο μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες F1 και F2 και καταλαμβάνει την περιοχή από την Αγία Ειρήνη μέχρι και τους ηφαιστειακούς δόμους στην περιοχή Λακκί. Εμφανίζονται κεκλιμένες επιφάνειες ισοπέδωσης με κλίση προς τα ΝΔ αναπτυγμένες κυρίως σε πυροκλαστικούς σχηματισμούς ή και σε κίσηρες ενώ στην περιοχή Λακκί επικρατεί η οριζόντια επιφάνεια απόθεσης μεταξύ των κρατήρων. Το ρηξιτέμαχος αυτό παρουσιάζει το μικρότερο υψόμετρο περιμετρικά της καλδέρας και αποτελεί μια τεκτονική τάφρο με καθοδική κίνηση σε σχέση με το ρηξιτέμαχος του Προφήτη Ηλία. Η κατακόρυφη συνιστώσα των DGPS δείχνει τιμές 0-20mm έως και αρνητικές τιμές βύθισης (-10mm). Η οριζόντια συνιστώσα αυτού του ρηξιτεμάχους, σύμφωνα με τις μετρήσεις των DGPS, υποδεικνύει μια κίνηση προς τα ΝΝΑ με μέγιστη τιμή 20mm. Στο ρηξιτέμαχος της Αγίας Ειρήνης ευρίσκεται και το σύνολο σχεδόν των κρατήρων.
- **Ρηξιτέμαχος Αυλάκι.** Το ρηξιτέμαχος αυτό οριοθετείται από τις ρηξιγενείς ζώνες F2 και F4 στο νότιο τμήμα της Νισύρου στην περιοχή Αυλάκι με κεκλιμένες επιφάνειες ανεπτυγμένες κυρίως πάνω στις Λάβες Β, οι οποίες κλίνουν προς τα ΝΝΑ. Σύμφωνα με τις γεωδαιτικές μετρήσεις, χαρακτηρίζεται από μια ενδιάμεση κατακόρυφη κίνηση ενώ η οριζόντια συνιστώσα του υποδεικνύει μια κίνηση του τεμάχους προς τα ΝΝΑ.
- **Ρηξιτέμαχος Νικιών.** Καταλαμβάνει κυρίως την εμφάνιση των Ρυολίθων των Νικιών στο νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού και οριοθετείται νότια από την ρηξιγενή ζώνη F4 και δυτικά από την προέκταση της ρηξιγενούς ζώνης F2 στην περιοχή Λακκί, ενώ βόρεια το όριο του ρηξιτεμάχους ταυτίζεται με την τεκτονική επαφή των Ρυολίθων των Νικιών με τους Πυροκλαστικούς

σχηματισμούς. Στο ρηξιτέμαχος παρατηρούνται κεκλιμένες επιφάνειες ισοπέδωσης με κλίση προς τα νοτιοανατολικά ακολουθώντας την κλίση των ρυολίθων. Χαρακτηρίζεται από μικρή σχετικά ανοδική κίνηση σε σχέση με το ρηξιτέμαχος του Προφήτη Ηλία ενώ διακόπτεται και από αρκετά μικρότερα δευτερογενή ρήγματα. Το ρηξιτέμαχος κινείται προς τα ΝΑ, σύμφωνα με την οριζόντια συνιστώσα των γεωδαιτικών μετρήσεων από τα DGPS.

- **Ρηξιτέμαχος Εμπορειού.** Καταλαμβάνει όλο το βόρειο τμήμα του νησιού από την ρηξιγενή ζώνη F3 μέχρι τους Ρυόλιθους των Νικιών. Δομείται κυρίως από πυροκλαστικά, λάβες και κίσηρη ενώ απουσιάζουν σχεδόν οι κεκλιμένες επιφάνειες επιπέδωσης και υπάρχουν μόνο οι οριζόντιες επιφάνειες απόθεσης κατά μήκος των βόρειων και δυτικών ακτών. Χαρακτηρίζεται από μια ενδιάμεση ανοδική ή καθοδική κίνηση ενώ η οριζόντια συνιστώσα των GPS μαρτυρά μια κίνηση του ρηξιτεμάχους προς τα ΝΑ, περίπου ίδια με την οριζόντια κίνηση του ρηξιτεμάχους των Νικιών.

Σύμφωνα λοιπόν με τις γεωδαιτικές μετρήσεις της περιόδου 1997-2001, διαπιστώνεται ότι υπάρχει μια γενική ανύψωση της Νισύρου με μέγιστο 40-60 mm/έτος και ότι τα επιμέρους ρηξιτεμάχη κινούνται με ταχύτητα περίπου 20-40 mm/έτος, προς τρεις διαφορετικές διευθύνσεις, ανοίγοντας το νησί.

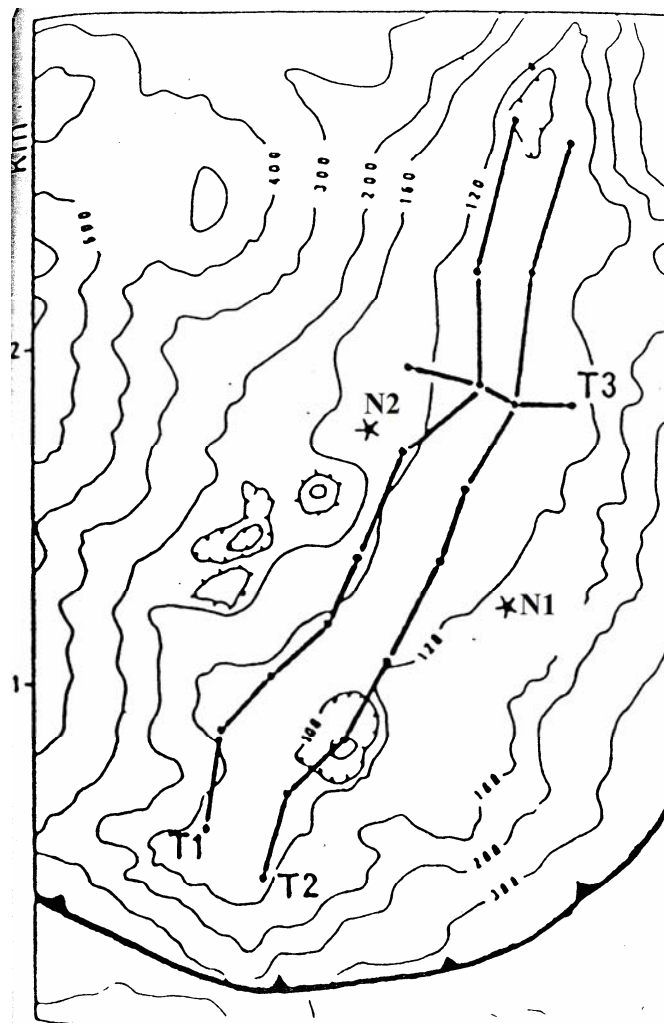


Εικόνα 19 Οι κατακόρυφες και οριζόντιες κινήσεις στα ρηξιτεμάχη της Νισύρου (Nomikou et al, 1999, τροποποιημένο).

2.12 Γεωθερμικές γεωτρήσεις N1 και N2 στη Νίσυρο (1982-1983)

Την περίοδο 1982-1983 εκτελέστηκαν δύο (2) γεωτρήσεις, έρευνας παραγωγής από τη Δ.Ε.Η. στην περιοχή του Ραμμίου. Η πρώτη συνάντησε θερμοκρασίες 400° C σε βάθος 1800 μ., ενώ η δεύτερη 350° C σε βάθος 1500 μ.

Η γεώτρηση N1 απέδειξε την ύπαρξη γεωθερμικού πεδίου στο νησί. Η δεύτερη γεώτρηση έγινε σε υψόμετρο 170 μ. και απόσταση 700 μ. ΒΔ της N1. Συναντήθηκαν και εδώ υψηλές θερμοκρασίες της τάξεως των 350° C σε βάθος 1500 μ. Η N2 γεώτρηση απέδειξε ζώνες απωλειών, οι οποίες οφείλονται σε μεγάλα ρήγματα που συναντήθηκαν ολικές απώλειες και άλλες στην περατότητα των σχηματισμών, μικρορηγμάτων και ρηγματώσεων αυτών. Τα πετρώματα που αποτελούν τον ταμιευτήρα της γεώτρησης παρουσιάζονται υδροθερμικώς εξαλλοιωμένα και θερμομεταμορφωμένα, γεγονός που δηλώνει υψηλές θερμοκρασίες και λάβες υψηλής υδροθερμικής εξαλλοίωσης.

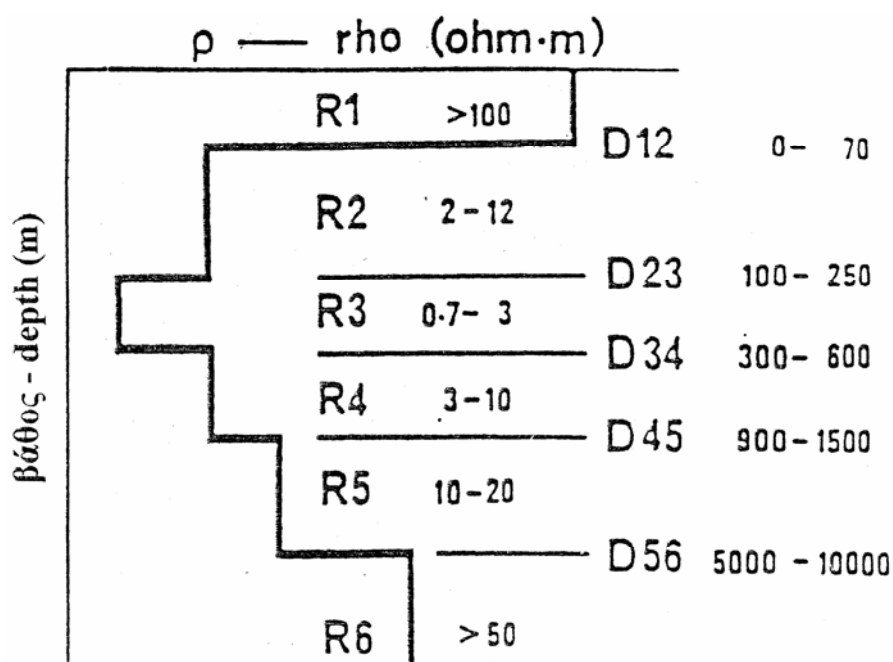


Εικόνα 20 Οι 20 AMT τομές στην καλδέρα της Νισύρου. Με αστέρι οι δύο γεωθερμικές γεωτρήσεις (Λάγιος, 1990).

2.13 Δομή γεωθερμικού πεδίου της Νισύρου.

Προκειμένου να προσδιοριστεί η βαθύτερη δομή αγωγιμότητας των στρωμάτων σχετικά με το γεωθερμικό πεδίο της περιοχής έχουν εκτελεστεί 20 ακουστο—μαγνητοτελλουρικές μετρήσεις στην επίπεδη περιοχή της καλδέρας της Νισύρου, στην περιοχή συχνοτήτων 128 Hz — 0,016 Hz από την ΔΕΜΕ/ΔΕΗ (εικόνα 21). Η θέση των μετρήσεων αυτών φαίνονται (εικόνα 20) μαζί με τις θέσεις των δύο γεωτρήσεων N1 και N2. Έτσι έχουμε:

1. Ένα λεπτό επιφανειακό στρώμα με μεγάλες σχετικά τιμές ειδικών αντιστάσεων (>1000 Ohm.m).
2. Ένα υποκείμενο στρώμα χαμηλότερης ειδικής αντίστασης (3-12 Ohm.m) πάχους 100-200 μ.
3. Ένα στρώμα με την μεγαλύτερη αγωγιμότητα (0.6-2.8 Ohm.m) και πάχος που μεταβάλλεται από 150-400 μ.
4. Ένα λιγότερο αγώγιμο από το προηγούμενο στρώμα με πάχος μεγαλύτερο από 500 μέτρα και στα ίδια επίπεδα διακύμανσης της ειδικής αντίστασης, όπως το στρώμα (2).
5. Ένα ακόμη λιγότερο αγώγιμο στρώμα (12-15 Ohm.m) που αρχίζει σε βάθος 1000-1100 μέτρα. Αυτή η ασυνέχεια διαπιστώνεται ότι συμπίπτει σε βάθος με την επάνω επιφάνεια του βαθύτερου γεωθερμικού ταμιευτήρα (Ungemach 1982). Σε μεγαλύτερα βάθη συναντάται ένα στρώμα με μεγαλύτερες ειδικές αντιστάσεις (>50 Ohm.m).



Εικόνα 21 Συμβολισμός AMT μοντέλου με τις ειδικές τιμές αντίστασης των στρωμάτων (R) και τις ασυνέχειες στα διάφορα βάθη (Λάγιος, 1990).

2.14 Το Υδροθερμικό σύστημα

Η ύπαρξη ενός μεγάλου υδροθερμικού συστήματος με τις θερμοκρασίες άλμης πάνω από 500° C σε βάθος 1.700 μέτρων, τεκμηριώνεται από το σχηματισμό πέντε μεγαλύτερων υδροθερμικών κρατήρων μέσα στην κεντρική καλδέρα και από την εμφάνιση αρκετών θερμών πηγών σε όλο το νησί, με θερμοκρασίες μεταξύ 30°-60° C. Τα ύδατα ενός τέτοιου συστήματος είναι μαγματικής, μετεωρικής και θαλάσσιας προέλευσης (www.geowarn.ethz.ch). Το «γεωχημικό πρότυπο» της Νισύρου βασίζεται στη χημική και την ισοτοπική σύνθεση των υδροθερμικών ρευστών (ατμίδες και θερμές πηγές) και τα στοιχεία μετρήσεων Nis1 και Nis2 από τα γεωθερμικά φρεάτια. (Εικόνα 22). Από τα στοιχεία αυτά προκύπτει ότι το υδροθερμικό ηφαιστειακό σύστημα της Νισύρου αποτελείται από τέσσερις κύριες ζώνες:

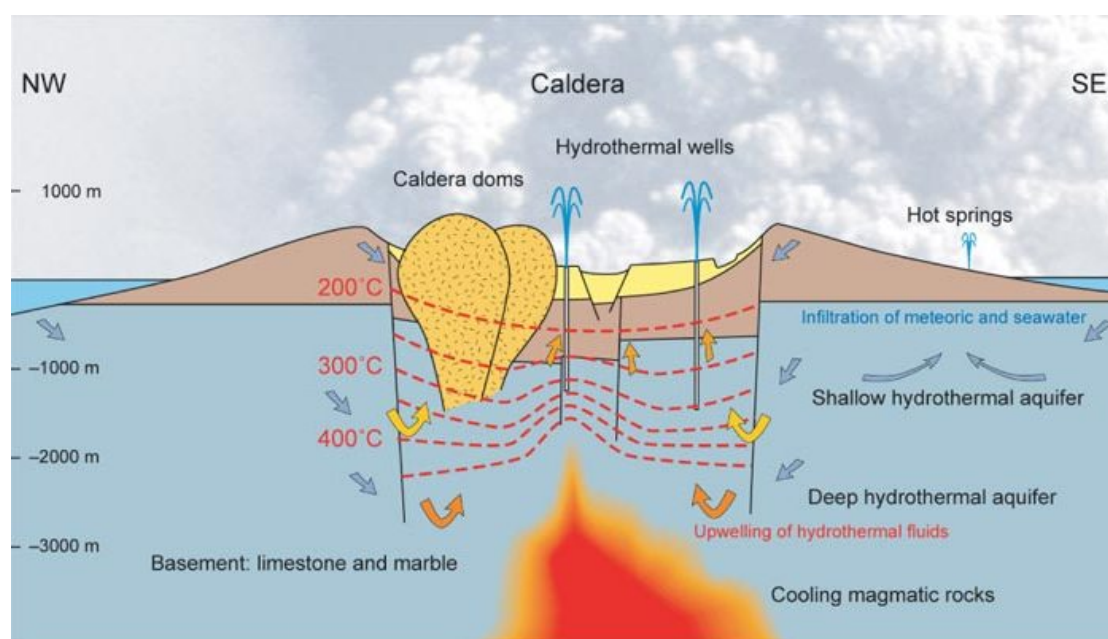
A) Ένα μαγματικό σώμα που παρέχει τη θερμότητα και τα ρευστά στο υδροθερμικό σύστημα. Η παρουσία ενός τέτοιου σώματος υποστηρίζεται από τις ισοτοπικές συνθέσεις.

B) Ένα βαθύ, υδροφόρο στρώμα σε θερμοκρασίες 300°-350° C. Τα στοιχεία των γεωθερμικών φρεατίων δείχνουν την παρουσία αλατούχων αλμών NaCl. Το υδροφόρο στρώμα τροφοδοτείται από ένα μίγμα ηφαιστειακών και θαλάσσιων πηγών.

Γ) Ενδιάμεσες δεξαμενές σε μεταβλητές θερμοκρασίες οι οποίες τροφοδοτούνται από τον ατμό που παράγεται από το υδροφόρο στρώμα που βρίσκεται σε κατάσταση βρασμού. Η περιεκτικότητα σε διοξείδιο του άνθρακα του ατμού ελέγχεται από τις χαμηλότερες θερμοκρασίες αυτών των ενδιάμεσων δεξαμενών που περιγράφουμε εδώ. Απόδειξη για την ύπαρξή τους αποτελεί η βαθιά γεώτρηση που έδειξε ότι τα διαπερατά επίπεδα βρίσκονται σε βάθη από 200 ως 600 μέτρα.

Δ) Μια περιοχή απαλλαγής όπου είναι παρόντα διαφορετικά είδη εκδηλώσεων, δηλαδή δομές και εδαφολογικές ατμίδες εξαέρωσης διάχυτες καθώς και θερμές πηγές. Ένα ρηχό, καυτό υδροφόρο στρώμα είναι παρόν στην περιοχή και τροφοδοτείται από μεγάλες ποσότητες συμπυκνωμάτων. Η περιοχή απαλλαγής απελευθερώνει 68 τ. ανά ημέρα, του υδροθερμικά παραγόμενου διοξειδίου του άνθρακα και 58 MW θερμικής ενέργειας, μέσω της διάχυτης εδαφολογικής εξαέρωσης.

Η επανεργοποίηση της μαγματικής και ηφαιστειακής δραστηριότητας στις ήρεμες ηφαιστειακές περιοχές επισημαίνεται από μια αύξηση στη γεωδυναμική δραστηριότητα. Αυτό εκφράζεται ως δραστηριότητα σεισμού που ακολουθείται από αλλαγή στη χημική και ισοτοπική σύνθεση, στις αυξανόμενες θερμοκρασίες των αερίων και των υδάτων των φουμαρολικών τομέων. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι μεγάλοι τεκτονικοί σεισμοί είναι πιθανοί πρόδρομοι ηφαιστειακής έκρηξης και προηγούνται χρονικά της αρχής των ηφαιστειακής δραστηριότητας σε διάστημα εβδομάδων ή και μηνών.



Εικόνα 22 Απλοποιημένη τομή της καλδέρας της Νισύρου και του υποκείμενου υδροθερμικού συστήματος. Το μοντέλο αυτό απεικονίζει την δομή του φλοιού και της λιθόσφαιρας στην Νίσυρο. Το μέγιστο υψόμετρο του ηφαιστείου βρίσκεται στα 698 μ. (Προφήτης Ηλίας). Η βάση του ηφαιστείου βρίσκεται στα 300 μ. βάθος, πάνω από μεσοζωικούς ασβεστόλιθους οι οποίοι λήφθηκαν ως δείγματα κατά την διάρκεια των γεωτρήσεων στην πεδιάδα Λακκί το 1983 και το 1984. Swiss Federal Institute of Technology (ETHZ).

2.15 Μαγματικοί θάλαμοι στη Νίσυρο

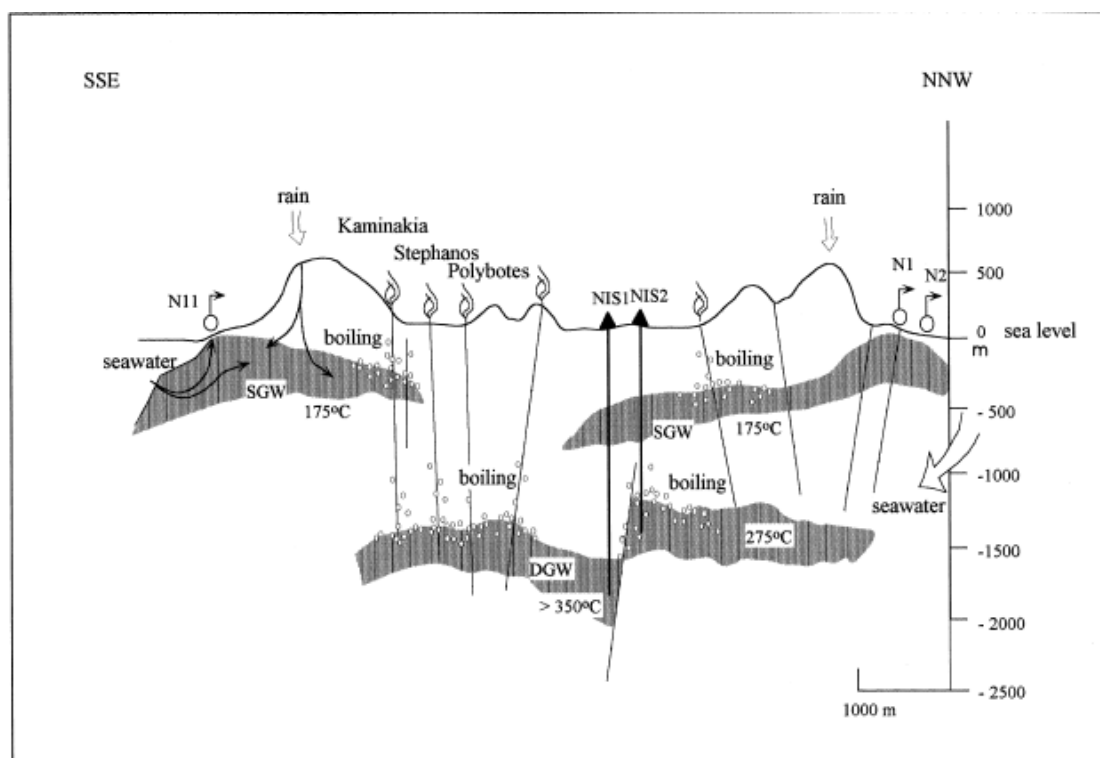
Υπάρχουν δύο πιθανές ερμηνείες για να εξηγηθεί η παραμόρφωση που παρατηρήθηκε από τις μετρήσεις GPS. Το πρώτο σενάριο υποστηρίζει κινήσεις των κύριων ρηγμάτων F1 και F3. Το δεύτερο σενάριο υποστηρίζει την παρουσία μαγματικών θαλάμων στην περιοχή.

Υπάρχουν αρκετές ενδείξεις που στηρίζουν την ύπαρξη δύο μαγματικών θαλάμων στην περιοχή. Σύμφωνα με τα γεωχημικά στοιχεία, η αύξηση του λόγου H_2S/CO_2 και η μείωση του λόγου CH_4/CO_2 εξηγούνται ως μία αύξηση της συνεισφοράς του μάγματος στην επαναδραστηριοποίηση του τοπικού υδροθερμικού συστήματος (Brombach et al.2001). Επιπλέον, η μεγαλύτερη μαγματική συνεισφορά φαίνεται ότι λαμβάνει χώρα κάτω από τους κύριους υδροθερμικούς κρατήρες στο Λακκί (Chiodini et al. 2002; Bromach et al. 2003).

Γεωφυσικές ενδείξεις βασισμένες σε Μαγνητοτελλουρικές (AMT) μετρήσεις στο υψηλής ενθαλπίας γεωθερμικό πεδίο της Νισύρου (Lagios 1991; Dawes and Lagios 1991), δείχνουν δύο αγώγιμα σώματα κάτω περίπου από το κέντρο της Νισύρου. Αυτά τα δύο σώματα ενώνονται σε ένα μεγαλύτερο σε μεγαλύτερα βάθη. Αυτό το βαθύ σώμα ερμηνεύεται ως μαγματικός θάλαμος, και βρίσκεται στην συμβολή των ρηγμάτων F1 και F3 περίπου στο κέντρο του νησιού σε ένα βάθος περίπου 6-9 km.

Γεωφυσικές ενδείξεις επίσης δείχνουν την ύπαρξη ενός δεύτερου μαγματικού θαλάμου που βρίσκεται στον θαλάσσιο χώρο νότια από το Γυαλί.

Λεπτομερής σεισμική ανάλυση από ένα τοπικό σεισμολογικό δίκτυο (Sachpazi et al.2002) προτείνει την παρουσία μίας σεισμικής περιοχής νότια από το Γυαλί (περίπου 5 km βόρεια της Νισύρου), που ερμηνεύεται ως ένας μαγματικός θάλαμος όπως θα δούμε και παρακάτω. Η ύπαρξη μίας ηφαιστειακής διείδυσης στην ίδια περιοχή που ίσως προέρχεται από έναν μεγαλύτερο μαγματικό θάλαμο που βρίσκεται νότια, υποστηρίζεται επίσης από σεισμικές έρευνες στην περιοχή (Makris & Chonia 1999). Ο μαγματικός θάλαμος νότια από το Γυαλί συμπίπτει με ένα σημείο όπου έχουμε την διασταύρωση κύριων υποθαλάσσιων ρηγμάτων.



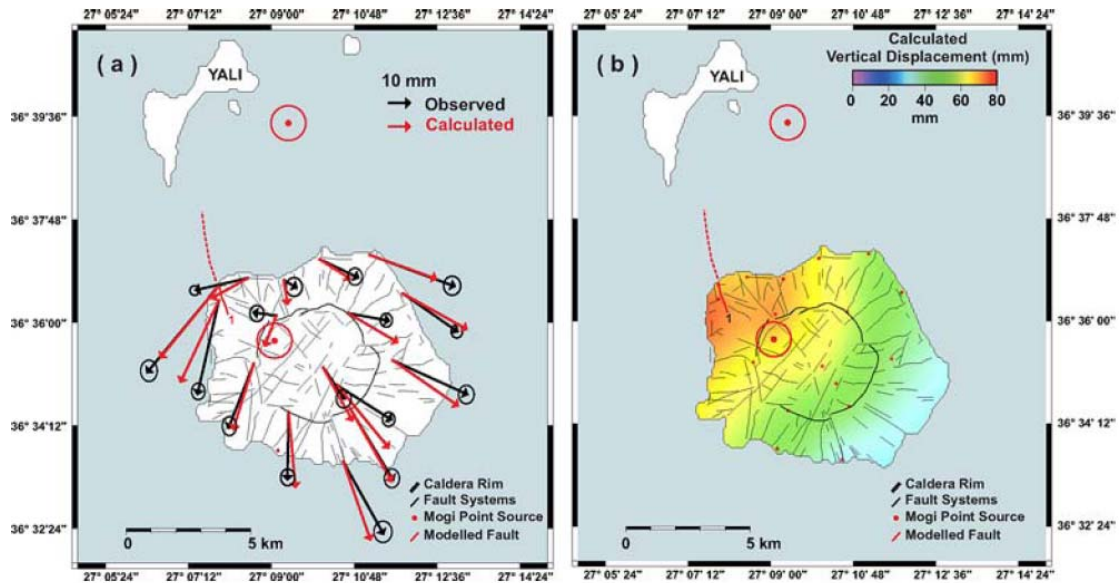
Εικόνα 23 Σχηματικό υδρολογικό μοντέλο της κίνησης των υδροθερμικών υγρών στη Νίσυρο (Kavouridis et al, 1997).

Χρησιμοποιώντας το μοντέλο και τις εξισώσεις του Mogi (Mogi model 1958) έγινε μία προσπάθεια να υπολογιστούν οι σχετικές μετατοπίσεις για δύο υποθετικές πηγές ενός κυμαινόμενου βάθους και τοποθεσίας, μία κοντά στο κέντρο της Νισύρου και η άλλη στο θαλάσσιο χώρο A-NA από το Γυαλί. Οι τοποθεσίες αυτές εντοπίστηκαν αρχικά από την παρατηρούμενη παραμόρφωση, όπως και από γεωφυσικές και γεωλογικές παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Μία διαδικασία για να καθοριστεί η καλύτερη τοποθεσία και το βάθος των πηγών αυτών ξεκίνησε και βρέθηκε πως η πρώτη πηγή στη Νίσυρο βρίσκεται σε συντεταγμένες ($36^{\circ} 35' 40.99210''\text{N}$, $27^{\circ} 09' 04.10122''\text{E}$) στο σύστημα WGS' 84 datum, σε ένα βάθος $5500 \pm 500\text{m}$ και με $\Delta V = (7.0 \pm 1.3) * 10^6 \text{m}^3$.

Οι συντεταγμένες της πηγής στον υποθαλάσσιο χώρο καθορίστηκαν ως ($36^{\circ} 39' 48.67397''\text{N}$, $27^{\circ} 09' 22.25204''\text{E}$) σε WGS' 84 datum, σε ένα βάθος $6500 \pm 500\text{m}$, και $\Delta V = (11.5 \pm 1.7) * 10^6 \text{m}^3$.

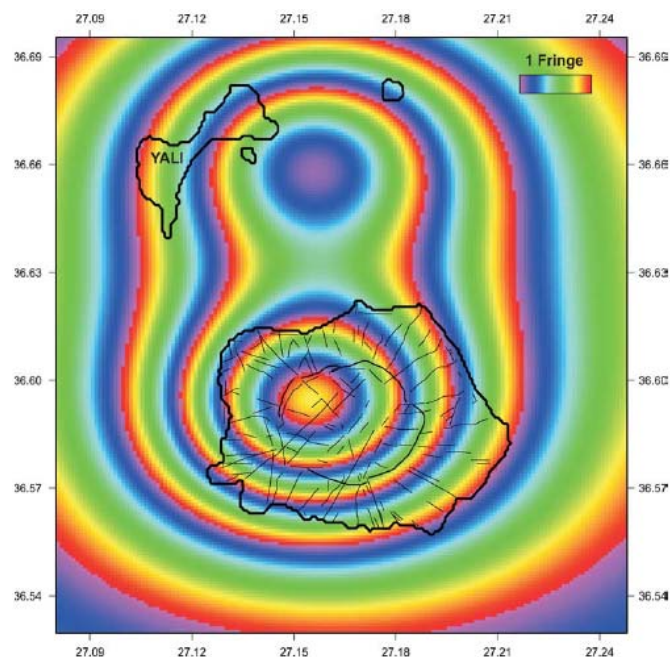
Η συνδυασμένη παραμετροποίηση που περιέχει τις δύο πηγές Mogi και την μετατόπιση κατά μήκος του ρήγματος στο Μανδράκι παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα (Lagios 2005).

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.



Εικόνα 24 (α) Παρατηρούμενες (μαύρα βέλη) και υπολογισμένες (κόκκινα βέλη) οριζόντιες μετατοπίσεις, που προέκυψαν από μετρήσεις διαφορικού GPS για την περίοδο 1997-2001. Τα υπολογισμένα (κόκκινα) βέλη προέκυψαν από τον συνδυασμό δύο μαγματικών πηγών Mogi (ένα στην ξηρά και ένα θαλάσσιο) και του μοντελοποιημένου ρήγματος (κόκκινη γραμμή). (β) Ίδιος με (α) αλλά απεικονίζει με χρωματική εναλλαγή την κατακόρυφη μετατόπιση (Lagios et al, 2005)

Τα πιο παλιά ηφαιστειακά πετρώματα βρίσκονται στο άνω τμήμα του ρήγματος στο Μανδράκι, το οποίο έχει μία υποθαλάσσια προέκταση έως το Γυαλί (Nomikou and Papanikolaou ,2000). Αυτή η ζώνη μικρής αντίστασης είχε επαναδραστηριοποιηθεί στο τέλος του 1800 (1873 Gorceix) και το ανερχόμενο τμήμα του κινείται γρηγορότερα από το υπόλοιπο νησί (Stiros 2000).



Εικόνα 25 Συνθετική συμβολομετρική εικόνα της περιοχής Νίσυρος-Γυαλί όπως προέκυψε από τις δύο μαγματικές πηγές. Μία τοποθετημένη κάτω από την Νίσυρο και μία στον θαλάσσιο χώρο βόρεια της Νισύρου (Lagios et al, 2005).

2.16 Σεισμικότητα

2.16.1 Ιστορική σεισμικότητα της Νισύρου

Σεισμική δραστηριότητα επιφανείας και ενδιάμεσου βάθους λαμβάνει χώρα στο ανατολικό τμήμα του ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου. Σύμφωνα με τον Papadopoulos (1984), δύο διακριτές περιοχές με διαφορετικά χαρακτηριστικά σεισμικότητας επιφανείας καθορίστηκαν. Η εσωτερική περιοχή που περιέχει τη Νίσυρο και την γύρω από αυτή περιοχή ($36,4^{\circ}$ - $36,6^{\circ}$ N, $27,0^{\circ}$ - $27,3^{\circ}$ E), βρέθηκε να χαρακτηρίζεται από επιφανειακό, λεπτό σεισμογόνο στρώμα ($h=20\pm 14$ km), υψηλή τιμή του $b=1,65$ της σχέσης μεγέθους συχνότητας ή αλλιώς της σχέσης Gutenberg-Richter και χαμηλή σεισμικότητα.

Σε αντίθεση, η εξωτερική περιοχή που περιβάλλει την εσωτερική, περιλαμβάνοντας και το μη-ενεργό ηφαίστειο της Κω, έχει ένα πιο παχύ σεισμογόνο στρώμα ($h=28\pm 19$ km), και μία κανονική για τεκτονικούς σεισμούς τιμή $b=1,03$ και υψηλή σεισμικότητα.

Οι μεγαλύτεροι επιφανειακοί σεισμοί που καταγράφηκαν στην εσωτερική και εξωτερική περιοχή όπως ορίστηκε προηγουμένως, συνέβησαν στις 31 Οκτωβρίου 1968 και στις 23 Απριλίου 1933 με $M_s=5,7$ και $M_s=6,6$ αντίστοιχα.

Άλλο ένα γεγονός μεγέθους $M_s=6,0$ έλαβε χώρα στην εξωτερική περιοχή, κοντά στην εσωτερική, τον Δεκέμβριο του 1968.

Επίσης τον περασμένο αιώνα οι εκρήξεις της Νισύρου του 1871 και 1873 συνοδεύτηκαν από σεισμούς, με πιο σημαντικό αυτόν της 2 Ιουνίου 1873 που προκάλεσε ζημιές στο Μανδράκι, το κύριο χωριό της Νισύρου. Επίσης τοπικοί σμηνοσεισμοί έγιναν αισθητοί στην Νίσυρο από καιρό σε καιρό όπως αυτοί του Απριλίου του 1887, Σεπτεμβρίου 1888 και Απριλίου 1891.

23 Απριλίου 1933:

Ο σεισμός έγινε στις 05:57:37 με επίκεντρο ($36,80^{\circ}$, $27,30^{\circ}$). Το μέγεθος του ήταν $M=6,6$ και η περιοχή που έγινε πιο αισθητός ήταν η Κως. Ο σεισμός αυτός χτύπησε την Κω και την Νίσυρο. Η πόλη της Κω καταστράφηκε εντελώς. Η Αντιμάχεια, τα Καρδάμαινα καταστράφηκαν σχεδόν ολοκληρωτικά. 200 άτομα σκοτώθηκαν και 600 τραυματίστηκαν. Ο μεγάλος αριθμός των νεκρών οφείλεται κυρίως στην συγκέντρωση πολλών πανικοβλημένων από το σοκ κατοίκων στα στενά σοκάκια του νησιού. Σε πολλά μέρη το έδαφος βυθίστηκε ένα μέτρο. Μετά τον

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

σεισμό ο Ιταλός Πρόξενος αποφάσισε να κτιστούν αντισεισμικά κτίρια και όχι κτίρια από ξύλο.

Ο σεισμός αυτός στη Νίσυρο προκάλεσε ζημιές στο χωριό Εμπορείο, που το μισό μέρος εγκαταλείφθηκε.

Η ζημιά επεκτάθηκε έως την Αλικαρνασσό και τα γύρω χωριά. Οι πηγές του νησιού ξεράθηκαν πριν από το σεισμό (Moutikes, 1934; Ambraseys, 1988). Ο μεγαλύτερος μετασεισμός έγινε την ίδια μέρα με τον κύριο σεισμό (06:07, M=4,7).

5 Δεκεμβρίου 1968:

Ο σεισμός έλαβε χώρα στις 07:52:11. Το επίκεντρο ήταν (36,6°,26,9°). Είχε μέγεθος M=6,0. Έγινε πιο αισθητός στο Μανδράκι. Ο σεισμός έγινε αισθητός στην Νίσυρο, την Κω και τη Νάξο. Προηγήθηκε ένα μεγάλος αριθμός προ-σεισμών με τον μεγαλύτερο να λαμβάνει χώρα στις 31 Οκτωβρίου (3:22 , M=5,7), ενώ ο μεγαλύτερος μετασεισμός στις 21 Δεκεμβρίου (03:04, M=4.8),.

Συμπερασματικά μπορεί να διαπιστωθεί πως οι σεισμοί του 1933 και του 1968 είναι σεισμοί τεκτονικοί που βρίσκονται στην εξωτερική περιοχή γύρω από την Νίσυρο (περιοχή υψηλής σεισμικότητας), σε αντίθεση με τους σμηνοσεισμούς του 1996 που βρίσκονταν στην εσωτερική περιοχή (περιοχή χαμηλής σεισμικότητας) και είχαν ηφαιστειακή-τεκτονική προέλευση.

2.16.2 Σεισμική δραστηριότητα

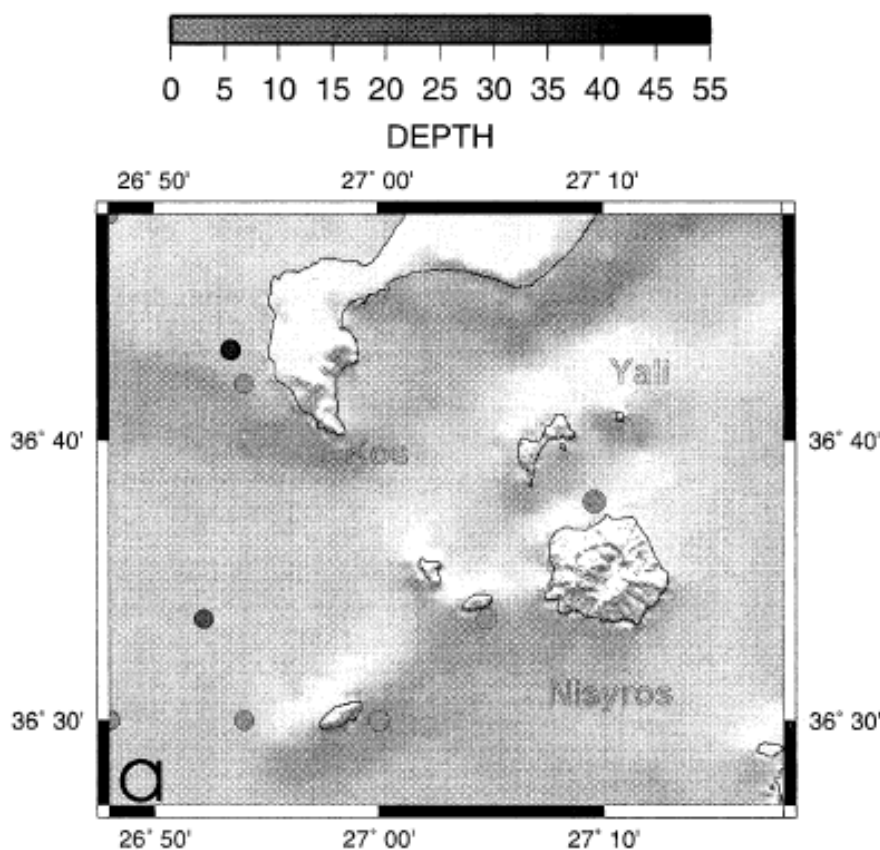
Η σεισμική δραστηριότητα στο νοτιο-ανατολική απόληξη του ηφαιστειακού τόξου του Αιγαίου είναι ιδιαίτερα υψηλή, τόσο σε ρηχά όσο και σε ενδιάμεσα εστιακά βάθη, εξαιτίας της έντονης νεοτεκτονικής καταπόνησης που υφίσταται η περιοχή. Η σεισμικότητα στον χώρο των Δωδεκανήσων είναι από τις υψηλότερες στην Ελλάδα, ενώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι στον ίδιο χώρο έχει καταγραφεί, στις 26 Ιουνίου του 1926, μεγαλύτερη σε μέγεθος (M=8 R) σεισμική δόνηση στα Βαλκάνια.

Ο σεισμικός κίνδυνος είναι απόλυτα συναφής με την τεκτονική εξέλιξη της περιοχής, τα κύρια ρήγματα που ελέγχουν την δυναμική της Νισύρου και που αλληλεπιδρούν με το υδροθερμικό σύστημα και την ηφαιστειότητα της περιοχής. Ύστερα από μία περίοδο ηρεμίας πολλών χρόνων, επιφανειακή σεισμική

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

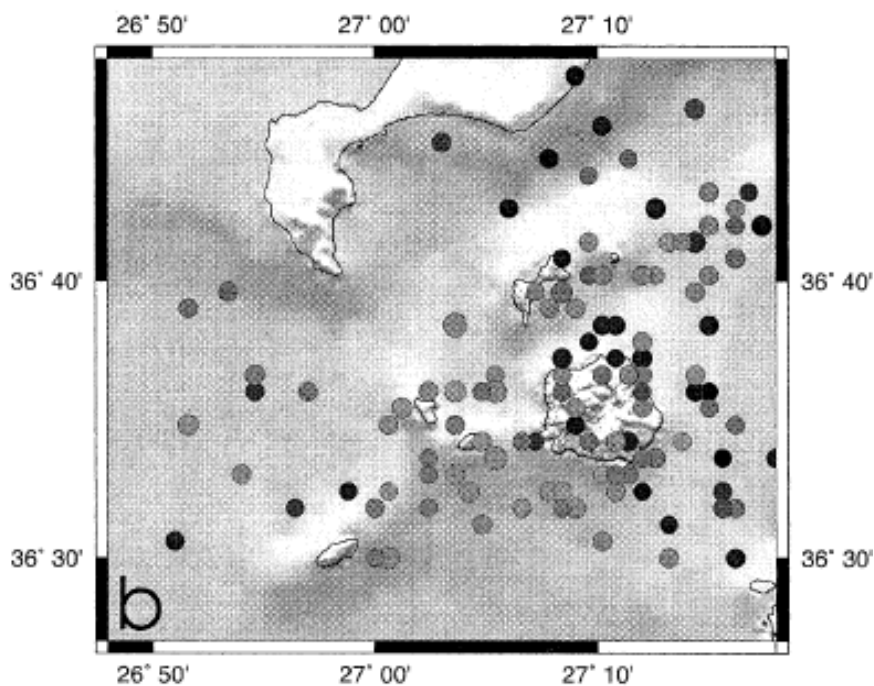
δραστηριότητα ξεκίνησε στο τέλος του 1995 στην περιοχή της Νισύρου. Στα επόμενα δύο χρόνια καταγράφηκαν εκατοντάδες σεισμικές δονήσεις με επίκεντρο την ρηξιγενή ζώνη ανατολικά από το μοναστήρι της Παναγίας της Σπηλιανής, στην περιοχή Λαγκάδι στο Μανδράκι. Η προέκταση της ρηξιγενούς ζώνης εντοπίστηκε στον υποθαλάσσιο χώρο του διαύλου Γυαλού-Νισύρου, ενώ κατά μήκος της δεκάδες σπίτια έπαθαν ζημιές. Το μεγαλύτερο σεισμικό γεγονός καταγράφηκε στις 27 Αυγούστου 1997 με $M=5,3$ R, ενώ η σεισμική αυτή έξαρση ξεκίνησε τον Αύγουστο 1995 και ολοκληρώθηκε τον Οκτώβριο του 1997.

Σύμφωνα με την καταγεγραμμένη σεισμικότητα της περιόδου 1980-1994 (εικόνα 26) από μόνιμο δίκτυο (Sachpazi et al, 2004), δεν φαίνεται να κάτι ιδιαίτερο σε αυτό το κομμάτι του τόξου αναλύοντας την κατανομή των επικέντρων.



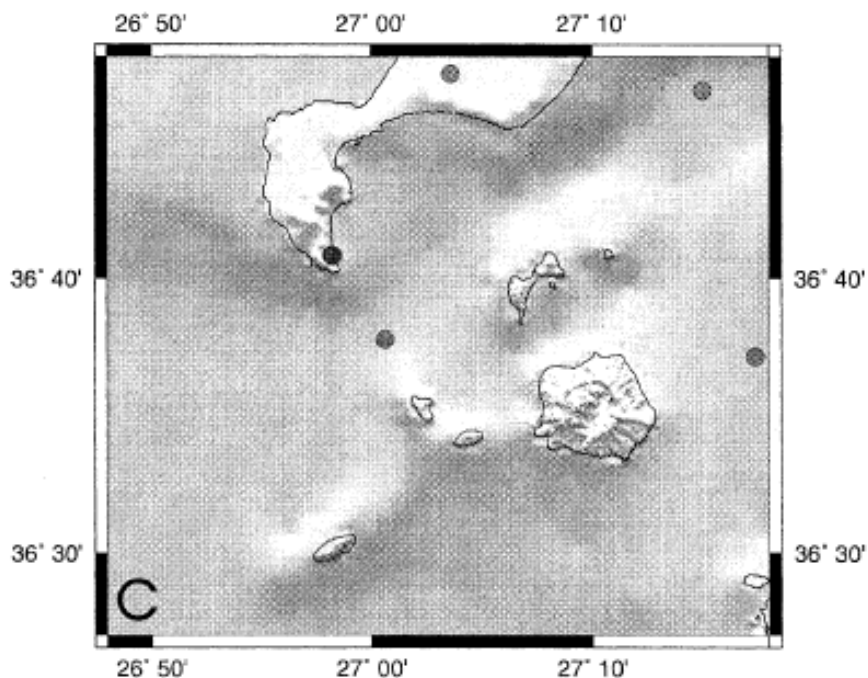
Εικόνα 26 Σεισμικότητα της περιόδου 1980-1994 (Sachpazi et al, 2004)

Όμως για τα επόμενα τέσσερα χρόνια (εικόνα 27), ο αριθμός των τοπικών σεισμών αυξήθηκε αισθητά.



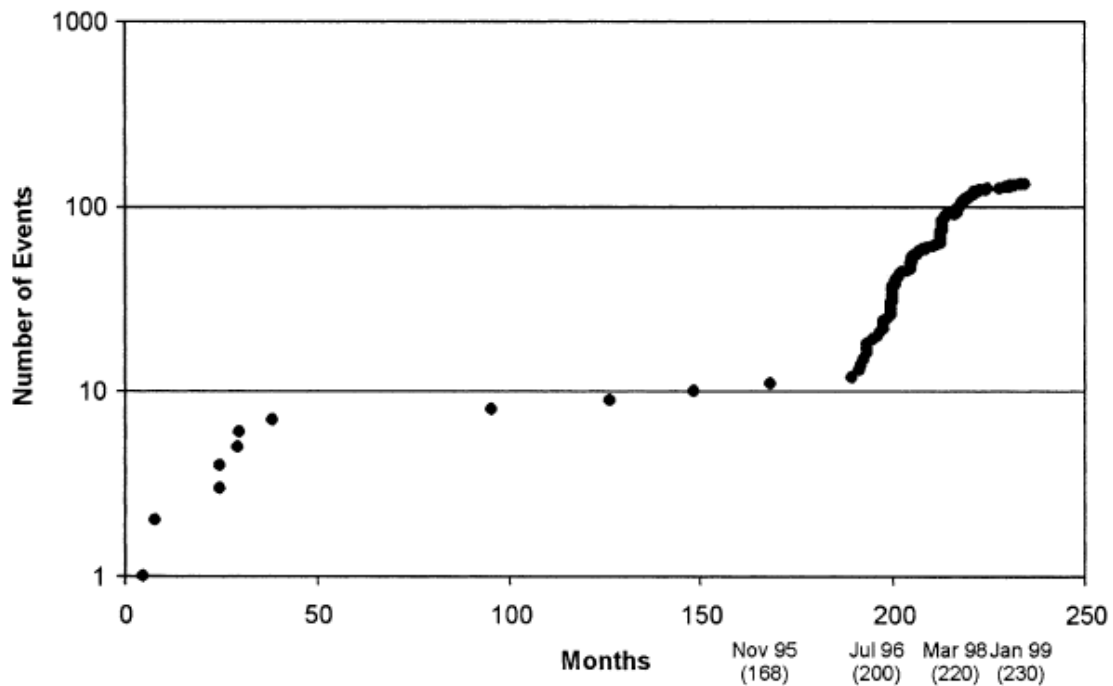
Εικόνα 27 Σεισμικότητα της περιόδου 1994-1998 (Sachpazi et al, 2004)

Η σεισμική δραστηριότητα αυξήθηκε κατά την διάρκεια του 1996, έφτασε στο μέγιστο τον Αύγουστο του 1997 και συνέχισε ως το τέλος του 1998. Η σεισμική δραστηριότητα επανήρθε στο κανονικό επίπεδο στις αρχές του 1999 (εικόνα 28).



Εικόνα 28 Σεισμικότητα της περιόδου 1998-1999 (Sachpazi et al, 2004)

Αυτή η κατάσταση μπορεί εύκολα να διακριθεί από το επόμενο διάγραμμα που δείχνει τη συσσώρευση του αριθμού των σεισμών με τον χρόνο.



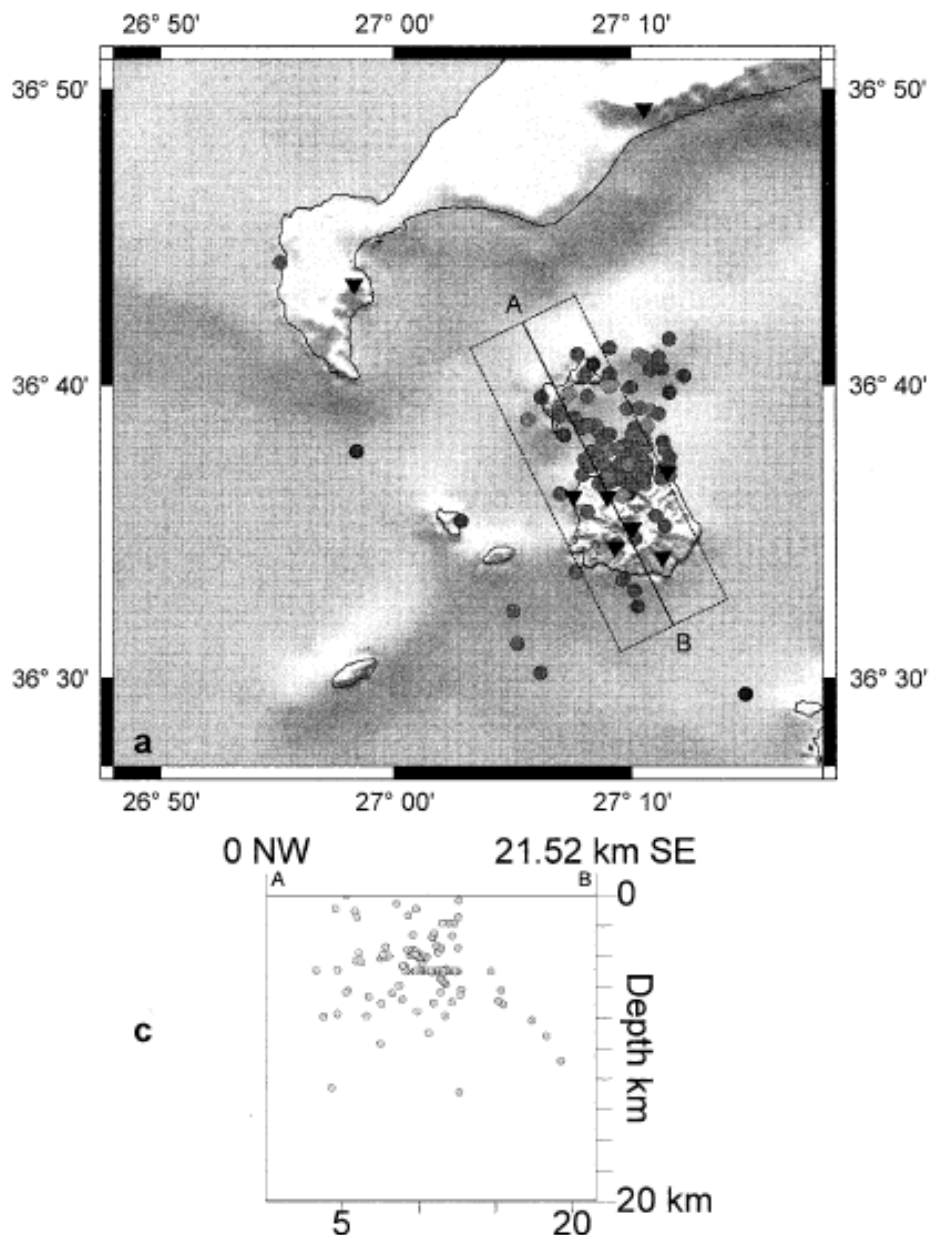
Εικόνα 29 Η χρονική κατανομή των σεισμικών γεγονότων για την περίοδο 1980-2000 (Sachpazi et al, 2004).

Η χωρική κατανομή των σεισμικών γεγονότων που καταγράφηκαν την περίοδο (25/3-3/4/97) δίνεται στην εικόνα 30. Η κατανομή των epicenters δείχνει πως οι περισσότεροι σεισμοί της σεισμικής κρίσης βρίσκονται στην περιοχή μεταξύ των βόρειων ακτών της Νισύρου και της νήσου Γυαλί.

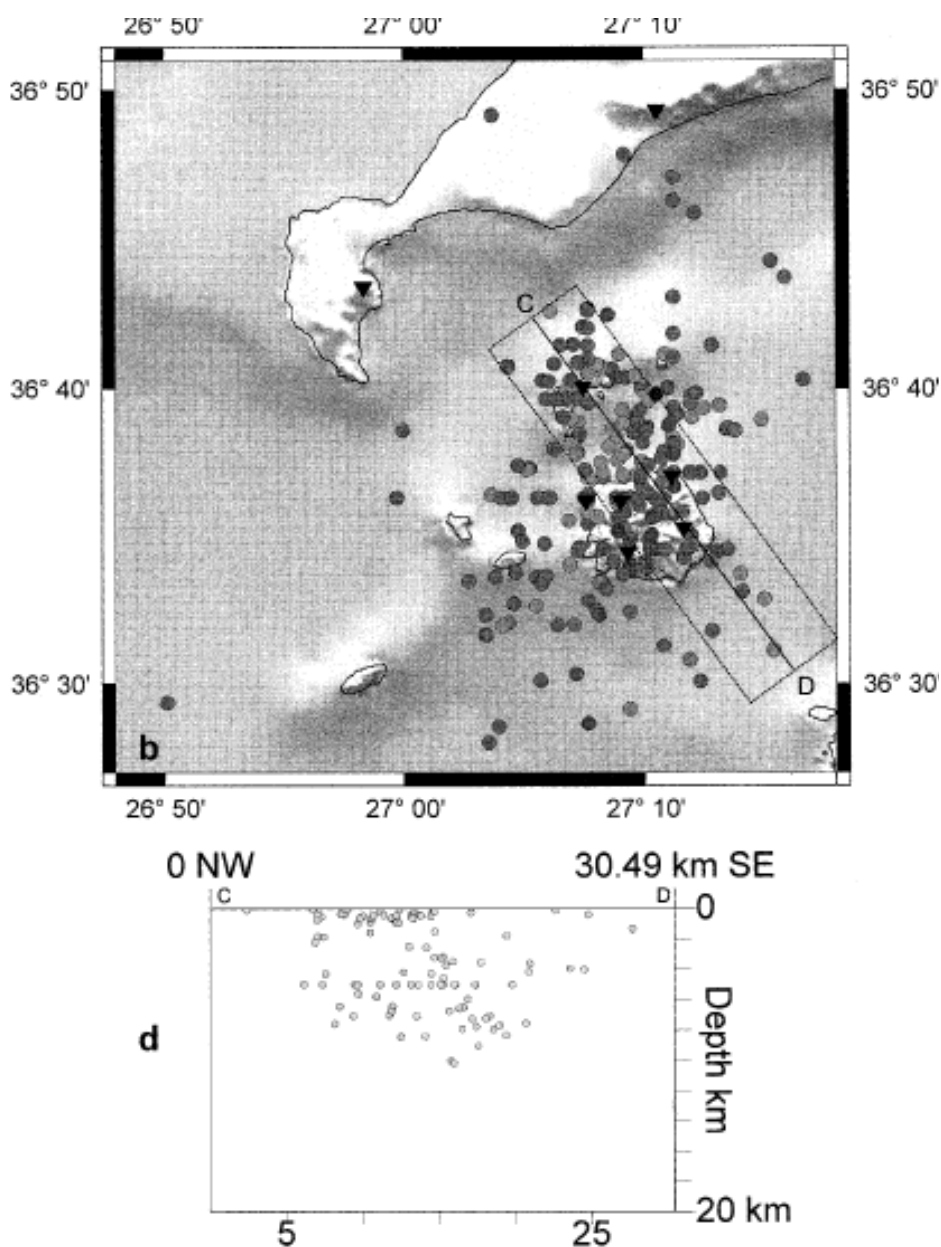
Η χωρική κατανομή της σεισμικότητας αλλάζει για την υπόλοιπη περίοδο των καταγραφών (6/7-13/7/1997) εικόνα 31. Σε αντίθεση με την χωρική κατανομή του Μαρτίου που βρισκόταν βόρεια της Νισύρου, το κεντρικό και νότιο μέρος του νησιού είναι ενεργά τον Ιούλιο του 1997 δείχνοντας μια πιο διασκορπισμένη σεισμική κατανομή.

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

Όσον αφορά το βάθος των σεισμικών γεγονότων, η κύρια παρατήρηση είναι ο επιφανειακός τους χαρακτήρας ενός μεγάλου αριθμού σεισμών και από τις δύο περιόδους με τα βαθύτερα γεγονότα να φτάνουν σε βάθη λιγότερο των 10 km (Sachpazi et.al, 2004).



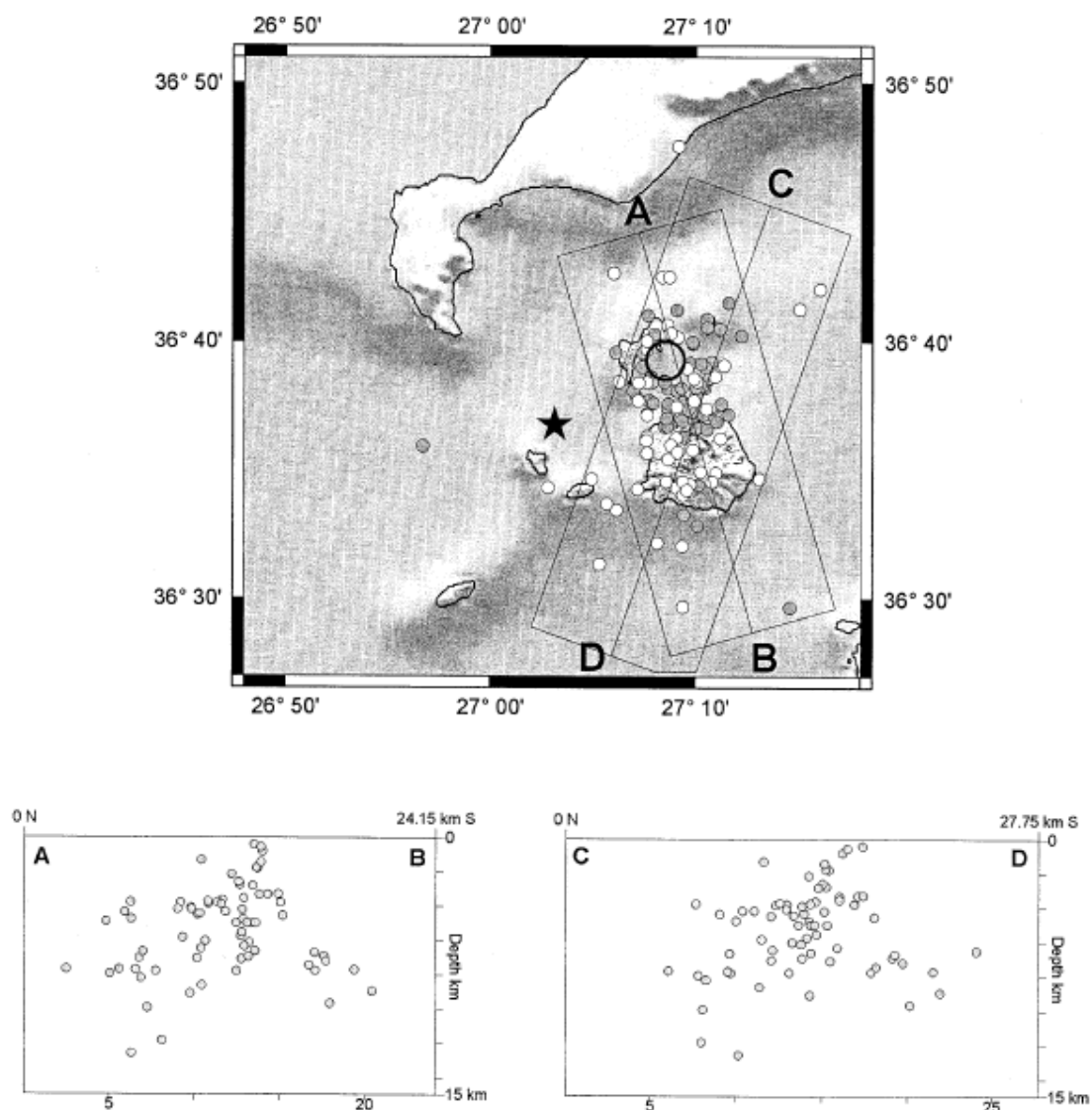
Εικόνα 30 Η χωρική κατανομή των σεισμικών γεγονότων που καταγράφηκαν την περίοδο 25/3/1997 - 3/4/97 (Sachpazi et al, 2004).



Εικόνα 31 Η χωρική κατανομή των σεισμικών γεγονότων που καταγράφηκαν την περίοδο 6/7/1997 - 13/7/1997 (Sachpazi et al, 2004).

Παρακάτω παρατίθενται τα καλύτερα προσδιορισμένα γεγονότα με αποκλίσεις $\pm 1,5\text{km}$ και για τις δύο περιόδους καταγραφών.

Η κατανομή των σεισμών για την πρώτη περίοδο των καταγραφών (Μάρτιος 1997) δείχνει ότι τα επίκεντρα διανέμονται (μαύρες κουκίδες) μεταξύ της βόρειας ακτής της Νισύρου και το Γυαλί. Μία ασεισμική περιοχή νότιο-ανατολικά από το Γυαλί είναι προφανής.



Εικόνα 32 Οι χωρικές κατανομές των σεισμικών γεγονότων που καταγράφηκαν για τις δύο περιόδους (Sachrazi et al, 2004).

Από την άλλη πλευρά, λίγοι σεισμοί παρατηρούνται στο κεντρικό τμήμα της Νισύρου όπου βρίσκεται και η καλδέρα. Η σεισμικότητα άλλαξε τους επόμενους 4 μήνες και απεικονίζεται με τις άσπρες κουκίδες. Τα δεδομένα έδειξαν πως νέες ενεργές ζώνες εμφανίστηκαν κατά μήκος του κεντρικού και νότιου τμήματος της Νισύρου και επίσης στον θαλάσσιο χώρο δυτικά. Όμως η έλλειψη επικέντρων συνεχίστηκε στον θαλάσσιο χώρο νότια από το Γυαλί παρόλο το γεγονός πως η σεισμικότητα επεκτάθηκε πολύ. Σε αντίθεση με τη σεισμικότητα του Μαρτίου κάποιοι από τους μικρό-σεισμούς φαίνονται συγκεντρωμένοι μέσα στην καλδέρα της Νισύρου.

Επίσης η χωρική κατανομή των σεισμών μπορεί να θεωρηθεί ως συνάρτηση της ύπαρξης ενός μαγματικού θαλάμου.

Οι δύο περίοδοι σεισμικών καταγραφών προτείνουν την παρουσία μιας ασεισμικής περιοχής νότια από το Γυαλί. Αυτό ίσως ερμηνεύεται ως κάποιο υλικό με μικρή συνοχή που συμπίπτει με την ύπαρξη ενός μαγματικού θαλάμου.

Η παρουσία μίας ηφαιστειακής διείδυσης στην ίδια περιοχή υποστηρίζεται από τα μοντέλα ταχυτήτων των σεισμικών μελετών που έλαβαν χώρα στην περιοχή (Makris and Chionia, 1999).

Αυτή η μαγματική διείδυση μπορεί να έχει προκύψει από έναν άλλο μεγαλύτερο μαγματικό θάλαμο. Εάν η ασεισμική περιοχή νότια από το Γυαλί αντιπροσωπεύει μια μαγματική συσσώρευση, η διείδυσή του θα έλαβε χώρα πριν την πρώτη περίοδο των σεισμικών καταγραφών (Μάρτιος 1997).

Ο Vougioukalakis et al.(1998) αναφέρουν ένα άνοιγμα 2-3 cm, τον Απρίλιο του 1996, μίας σχεδόν B-N διάρρηξης στο Μανδράκι ως την πηγή των καταστροφικών συνεπειών των σεισμών που παρατηρήθηκαν στα κτίρια και επίσης μία διάρρηξη διεύθυνσης N 140-155 στο Γυαλί, η οποία άνοιξε 3 μήνες αργότερα (Ιούλιος 1996). Τα δύο αυτά ρήγματα έχουν ενεργοποιηθεί στο παρελθόν ξανά (1873) σε μία παρόμοια κρίση (Vougioukalakis et.al, 1998).

Πολλοί ερευνητές προτείνουν ότι αυτοί οι σεισμοί προκλήθηκαν από την επιπλέον μαγματική πίεση στο ήδη υπάρχον πεδίο τάσεων.

Αυτό αναμένεται κυρίως ακριβώς πάνω από τον μαγματικό θάλαμο, δίπλα στο Μανδράκι και σύμφωνα με το τοπικό πεδίο τάσεων (Jackson et al., 1982) ο μέγιστος άξονας συμπίεσης θα είναι κατακόρυφος και θα έχουμε κανονικές διαρρήξεις.

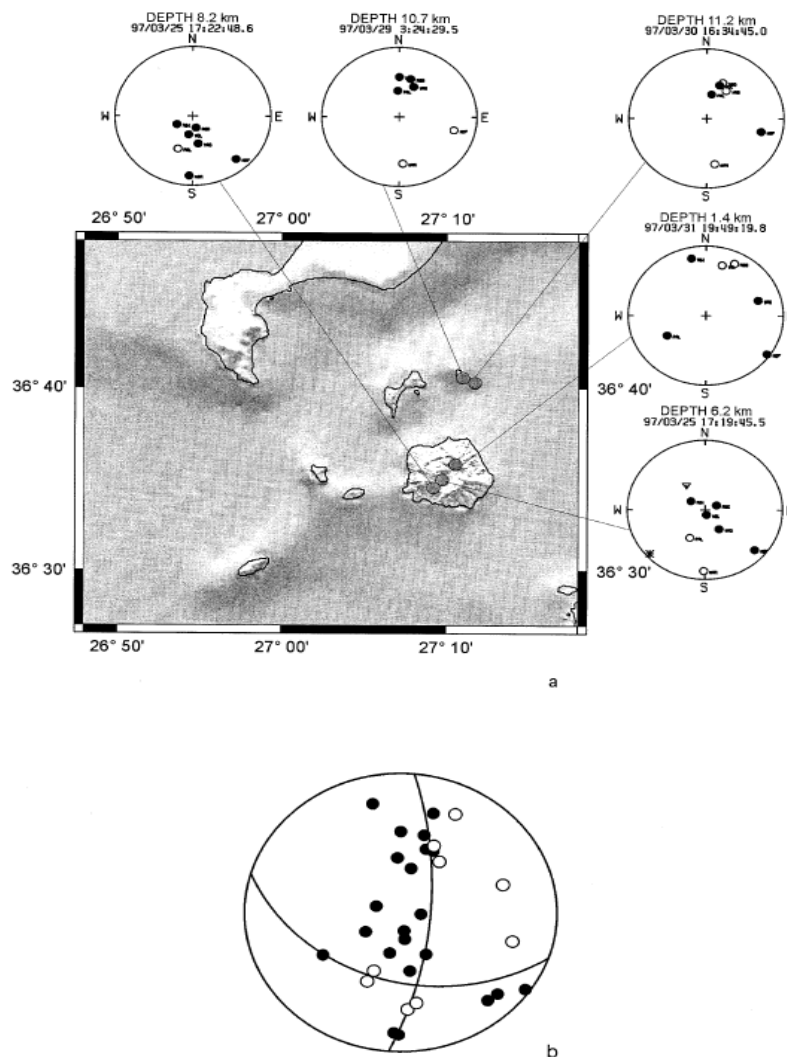
Δεν υπάρχουν όμως αξιόπιστοι μηχανισμοί γένεσης για τα γεγονότα που συνέβησαν στην περιοχή της μέγιστης κατακόρυφης μετακίνησης. Οι καλύτεροι τοπικοί μηχανισμοί γένεσης δείχνουν μηχανισμό γένεσης που δεν είναι συμβατός με κανονική διάρρηξη.

Η θέση των πέντε γεγονότων, μακριά από τον μαγματικό θάλαμο, προτείνει μία πιο λοξή διεύθυνση του μέγιστου άξονα συμπίεσης και μπορεί να εξηγήσει τον μηχανισμό οριζόντιας ολίσθησης που ελέγχει το γεγονός.

Η κατανομή των σεισμών της δεύτερης περιόδου καταγραφών τον Ιούλιο του 1997 δείχνει μία ενεργοποίηση νέων ζωνών προς τον νότο με τους περισσότερους μικρό-σεισμούς να βρίσκονται στην καлдέρα της Νισύρου. Επίσης αυξανόμενη δραστηριότητα στις φουμαρόλες παρατηρήθηκε από τον Ιούνιο έως τον Σεπτέμβριο του 1997. Έντονη δραστηριότητα στις φουμαρόλες παρατηρήθηκε

κυρίως στα νότια τοιχώματα του υδροθερμικού κρατήρα του Μεγάλου Πολυβότη, μία ημέρα μετά τους δύο ισχυρούς σεισμούς (MI 5,3 και 5,2) στις 28 Αυγούστου, 1997 .

Ορισμένοι ερευνητές προτείνουν την ενεργοποίηση των ρηγμάτων που ελέγχουν την κυκλοφορία των υδροθερμικών ρευστών από τα σεισμικά γεγονότα, με αποτέλεσμα την άνοδο ατμών από τους υδροθερμικούς ταμιευτήρες στην επιφάνεια, δημιουργώντας την έντονη δράση στις φουμαρόλες. Οι κύριοι σεισμοί θα μπορούσαν να προσδιοριστούν μόνο με μακρινούς σταθμούς του δικτύου του NOAA. Τα υπολογισμένα επίκεντρα τοποθετούνται στον θαλάσσιο χώρο 5-8km δυτικά της καλδέρας. Υπάρχει μία αβεβαιότητα στις συντεταγμένες των επικέντρων γιατί η περιοχή βρίσκεται στο άκρο του Εθνικού δικτύου και έτσι η δυνατότητα για καλή απόδοση των συντεταγμένων των επικέντρων είναι μικρή.



Εικόνα 33 (a) Η κατανομή των πρώτων αποκλίσεων για πέντε σεισμούς. Οι ανοιχτοί κύκλοι δηλώνουν αραιώσεις και οι κλειστοί συμπίεσεις . Τα γεγονότα βρίσκονται

μακριά από την περιοχή με την μέγιστη ανύψωση όπου κάποιος θα περίμενε ένα κατακόρυφο μέγιστο άξονα συμπίεσης σύμφωνα και με το τοπικό πεδίο τάσεων, και δείχνουν ένα μηχανισμό με ένα πιο λοξό μέγιστο άξονα συμπίεσης. (b) σύνθετος μηχανισμός (M.Sachpazi et.al, 2004).

2.16.3 Παρατηρήσεις στην πρόσφατη σεισμικότητα της Νισύρου

Κατά την περίοδο 1984-1989, στην περιοχή της Νισύρου δεν συνέβησαν τόσο δυνατοί σεισμοί ώστε να ερμηνευθούν. Η δραστηριότητα ξεκίνησε ξανά τον Ιούνιο του 1990. Έως το τέλος του Οκτωβρίου του 1997 προσδιορίστηκε ένας αριθμός 134 σεισμών μεγέθους $M \geq 3,8$ R. Το μεγαλύτερο ποσοστό των σεισμών είχε εστιακό βάθος ίσο ή μικρότερο των 10 km.

Οι παράμετροι a_k και b της σχέσης G-R (Gutenberg and Richter, 1944), $\log N_k = a_k - bM_s$, υπολογίστηκαν $a_k = 8,95$ και $b = 1,67$. Η παράμετρος a_k εξαρτάται από το επίπεδο σεισμικότητας ενώ η b , η οποία εκφράζει τον αριθμό των σεισμών με μικρό μέγεθος σε σχέση με αυτούς με μεγαλύτερα μεγέθη, είναι μία ένδειξη του δυναμικού των τάσεων και ένας βαθμός ετερογένειας του υλικού.

Η υπολογισμένη τιμή b είναι ταυτόσημη με αυτή ($b = 1,65$) που είχε καθορίσει ο Papadopoulos (1984) για το διάστημα 1911-1980.

Μία ίδια υψηλή τιμή του b έχει επίσης καθοριστεί από δεδομένα επιφανειακών μικροσεισμών που καταγράφηκαν από δίκτυο επτά ψηφιακών φορητών σειсмоγράφων στην Νίσυρο και Κω από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο την άνοιξη του 1997 (Stavrakakis et al., 1997).

Η μεγάλη τιμή της παραμέτρου b δεν αντιστοιχεί ούτε σε τυπικούς τεκτονικούς σεισμούς ($b = 0,6-1,0$) ούτε σε τυπικούς ηφαιστειακούς σεισμούς ($b = 1,8-2,6$) στην κατάταξη του Minakami (1960) και Minakami et al (1969).

Η ασυνήθιστη δομή του φλοιού της Νισύρου μπορεί να εξηγηθεί από μία μίξη των τάσεων τεκτονικής και ηφαιστειακής προέλευσης, το οποίο μπορεί να μειώσει το δυναμικό για την γένεση μεγάλων σεισμών και να ενισχύσει τις ακολουθίες σηνοσεισμών (swarm seismicity). Μία έντονη συγκέντρωση των επικέντρων παρατηρείται στην Νίσυρο σε σχέση με την γύρω περιοχή. Ακόμη, η σεισμική δραστηριότητα που καταγράφηκε την περίοδο 1990-97 είναι ομαδοποιημένη στον χρόνο (Papadopoulos et al., 1998) και αυτό το διαπιστώνουμε από τον επόμενο πίνακα.

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

Μόνο έξι από τα 113 γεγονότα συνέβησαν μεταξύ Ιουνίου 1990 και Οκτωβρίου 1995, ενώ τα υπολειπόμενα 107 γεγονότα συνέβησαν μεταξύ Νοεμβρίου 1995 και Σεπτεμβρίου 1997 με τις πιο υψηλές τιμές τους κατά την διάρκεια του Ιουλίου 1996 και του Αυγούστου 1997.

2.16.4 Συμπεράσματα για την σεισμικότητα της Νισύρου

Η σεισμικότητα της Νισύρου, περιλαμβάνοντας και τη σεισμική κρίση του Νοεμβρίου 1995- Οκτωβρίου 1997, παρουσιάζει τις βασικές ιδιότητες ενεργών ηφαιστειακών περιοχών σε περιόδους χωρίς ηφαιστειακή δραστηριότητα, που είναι η ομαδοποίηση στον χώρο και τον χρόνο σεισμών με υψηλές τις τιμές b (Papadopoulos, 1998).

Αυτές οι ιδιότητες βρίσκουν παραδείγματα στο υποθαλάσσιο ηφαίστειο Teahita, στην Γαλλική Πολυνησία, και στο Somma-Vesuvius, στην Ιταλία, όπου οι τιμές b ηφαιστειακών-σεισμικών γεγονότων είναι περίπου 1,5-1,7 και γύρω στο 1,78 (Talandier, 1989; Vilardo et al., 1998). Κατά την περίοδο της ηφαιστειακής-σεισμικής κρίσης του 1982-84 στα Fhlegraeen Fields, στην Ιταλία, η τιμή b ξεπέρασε το 1,1 (Barberi et al., 1984).

Στην Ελλάδα, μία τιμή $b=1,22$ καθορίστηκε για μικρό-σεισμική σημνοσειρά που καταγράφηκε στο ηφαιστειακό νησί της Μήλου τον Αύγουστο του 1971 (Drakopoulos and Delibasis, 1973) ενώ η μικροσεισμικότητα που καταγράφηκε στην Θήρα χαρακτηρίζεται από μία τιμή b ίση με 1,34 (Delibasis et al., 1990).

Ένα τυπικό υπόδειγμα μεγάλων καλδέρων, όπως τα Fhlegraeen Fields, Rabaul (New Guinea), Yellowstone (Wyoming) και Long Valley (California), φαίνεται να είναι ένα επεισόδιο «αφύπνισης» που χαρακτηρίζεται από μήνες έως χρόνια επαναλαμβανόμενων σημνοσεισμών και γρήγορης διόγκωσης που ακολουθείται από χρόνια έως δεκαετίες σχετικής «ησυχίας» με σταδιακή ανύψωση ή μερική ταπείνωση της περιοχής (Hill, 1990).

Η ανάλυση της σεισμικότητας της Νισύρου έδειξε ότι η «αφύπνιση» της περιοχής με τοπικούς σημνοσεισμούς που χωρίζονται από μήνες έως χρόνια είναι ένα χαρακτηριστικό που συναντάται και σε άλλες καλδέρες.

Υπάρχουν αρκετές επιστημονικές απόψεις όσον αφορά την τελευταία σεισμική έξαρση της Νισύρου και τη σχέση της με κάποια επερχόμενη ηφαιστειακή έκρηξη.

Παρόλα αυτά όμως, οι μακράς περιόδου σμηνοσειρές σεισμών που εκδηλώθηκαν στην περίοδο γεωδυναμικής «αφύπνησης», φαίνεται να είναι χαρακτηριστικό της περιοχής παρά κάποιος δείκτης μιας επερχόμενης ηφαιστειακής έκρηξης (Papadopoulos et al., 1998).

Επιπλέον, το δυναμικό για την γένεση ενός μεγάλου ($M > 6.0$) είναι χαμηλή διότι:

- Η ιστορική σεισμικότητα ποτέ δεν πέρασε το $M_s=5,7$ στην περιοχή της Νισύρου και $M_s=6,0$ στις κοντινές περιοχές. Οι σεισμοί στην Νίσυρο και στις κοντινές περιοχές είναι σμηνοσειρές σεισμών χαρακτηριστικές σε πολλές καλδέρες του κόσμου.
- Όμως, το σεισμικό δυναμικό φαίνεται να είναι υψηλό στην ευρύτερη περιοχή γύρω από την Νίσυρο, όπου μεγάλοι σεισμοί έχουν λάβει χώρα στο παρελθόν όπως το καταστροφικό γεγονός του 1933 ($M_s=6.6$). Αυτοί οι σεισμοί είναι τεκτονικοί σεισμοί και διαχωρίζονται από τις ακολουθίες των σμηνοσεισμών που λαμβάνουν χώρα στην Νίσυρο και στις κοντινές περιοχές.

Καμία υδροθερμική έκρηξη δεν συνόδευσε την τελευταία περίοδο της γεωδυναμικής «αφύπνισης» της Νισύρου σε αντίθεση με την περίπτωση των γεγονότων της περιόδου 1871-1873.

Όμως το παράδειγμα της καλδέρας Rabaul στην Papua της Νέας Γουινέας, όπου μία έκρηξη έλαβε χώρα 10 χρόνια μετά την τελευταία περίοδο γεωδυναμικής «αφύπνισης» (Gudmundsson et al., 1999), επιβεβαιώνει την πολυπλοκότητα μίας ηφαιστειακής λειτουργίας και διαρκώς τονίζει ότι η γεωφυσική παρακολούθηση σε αυτό το τμήμα του Ελληνικού Ηφαιστειακού τόξου είναι απαραίτητη όχι μόνο κατά την περίοδο γεωδυναμικής δραστηριότητας των ηφαιστειακών συστημάτων αλλά και στα ενδιάμεσα διαστήματα των ήσυχων περιόδων. Χωρίς παρατηρήσεις και παρακολούθηση της γεωδυναμικής δραστηριότητας της περιοχής σε ήσυχες περιόδους, η αρχή μίας νέας γεωδυναμικής δραστηριότητας μπορεί να περάσει απαρατήρητη.

Κεφάλαιο 3. Ηφαιστειακή επικινδυνότητα της Νισύρου.

3.1 Γενικά

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα είναι μια από τις κυριότερες φυσικές καταστροφές που επηρέασαν τη ζωή του ανθρώπου και διαμόρφωσαν το περιβάλλον του. Τυφώνες, πλημμύρες, σεισμοί, ηφαιστειακές εκρήξεις και κατολισθήσεις ήταν οι σημαντικότερες αιτίες για εκατομμύρια νεκρούς και τα αποτελέσματά τους δημιούργησαν σοβαρούς κινδύνους για την επιβίωση ολόκληρων πολιτισμών. Μερικές φορές οι πληθυσμοί κατοίκησαν περιοχές με ιδιαίτερα μεγάλο βαθμό επικινδυνότητας, όσον αφορά τις φυσικές καταστροφές, επηρεασμένοι από παράγοντες όπως η γονιμότητα των εδαφών, η στρατηγική θέση της περιοχής, ή από άλλους παράγοντες πολιτισμικού χαρακτήρα.

Ο μεγάλος αριθμός των ανθρώπινων απωλειών ως επακόλουθο των φυσικών καταστροφών φανερώνει την σοβαρότητα που παρουσιάζουν τα διάφορα φυσικά φαινόμενα. Από το 1600 μ.Χ. μέχρι σήμερα υπολογίζεται ότι οι ηφαιστειακές εκρήξεις έχουν προκαλέσει περίπου 260.000 θύματα, εκ των οποίων το 80% σε έξι μόνο συμβάντα. Επίσης αναφέρεται ότι κατά την ίδια χρονική περίοδο τουλάχιστον 5.000.000 άνθρωποι έχασαν την ζωή τους από σεισμούς. Η χειρότερη καταστροφή προκλήθηκε από την βίαιη έκρηξη του ηφαιστίου Tambora της Ινδονησίας το 1815 με 92.000 θύματα, ενώ η μεγαλύτερη καταστροφή που προκάλεσε ένας τυφώνας ήταν 500.000 νεκροί. Από τον καταστροφικό σεισμό στην Περιοχή Tang Shan της Κίνας το 1976 σκοτώθηκαν 830.000 άνθρωποι. Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής από το 1963 μέχρι το 1983 τα θύματα από πλημμύρες ήταν περίπου 200 τον χρόνο, από κατολισθήσεις 25, από σεισμούς 12, από παλιρροϊκά κύματα (tsunami) 6, ενώ μόνο 3 το χρόνο από ηφαιστειακές εκρήξεις (Costa, 1988).

Μολονότι οι ηφαιστειακές εκρήξεις προκαλούν μεγαλύτερο ενδιαφέρον σε σχέση με άλλα φυσικά φαινόμενα, από τους παραπάνω αριθμούς φαίνεται ότι στην πραγματικότητα προξενούν λιγότερα προβλήματα από άλλες καταστροφές πιο συχνές, και στις περισσότερες των περιπτώσεων, πιο προβλέψιμες. Αυτό δεν μειώνει καθόλου την πιθανότητα καταστροφής μιας περιοχής από μια ηφαιστειακή έκρηξη, όπως ακριβώς στην περίπτωση των πυρκαγιών κοντά στα ηφαιστειακά κέντρα. Όμως

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

οι συνέπειες είναι πολύ περιορισμένες εάν συγκριθούν με τις αντίστοιχες περιοχές που οφείλονται σε άλλες φυσικές καταστροφές όπως πλημμύρες, κατολισθήσεις και σεισμούς.

Ο κίνδυνος από μία ηφαιστειακή έκρηξη εξαρτάται από τον τύπο του ηφαιστείου, το χρόνο της τελευταίας ηφαιστειακής έκρηξης, τη γεωγραφική τοποθεσία, το τοπικό κλίμα και την εποχή του χρόνου. Όσο μεγαλύτερο είναι το χρονικό διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών εκρήξεων ενός ηφαιστείου, τόσο πιο έντονη τείνει να είναι η έκρηξη. Έτσι, ενώ τα ηφαίστεια Kilauea (Χαβάη) και Αίτνα (Σικελία) είναι ενεργά ηφαίστεια που εκρήγνυνται σχεδόν συνέχεια, ο άμεσος κίνδυνος για τους ανθρώπους εξαιτίας των εκρήξεων είναι σχεδόν αμελητέος.

Η απελευθέρωση αερίων στην ατμόσφαιρα είναι ένας από τους κινδύνους που σχετίζονται με τις ηφαιστειακές εκρήξεις. Μερικά εκατομμύρια τόνοι αερίου που απελευθερώνονται κατά την διάρκεια βίαιων ηφαιστειακών εκρήξεων μπορούν να επιφέρουν σημαντικές μεταβολές κυρίως στο κλίμα μιας περιοχής. Το ηφαίστειο της Αίτνας στη Σικελία απελευθερώνει περίπου 13 εκατομμύρια τόνους CO₂ κάθε χρόνο. Ως ανάλογο του φαινομένου του θερμοκηπίου, αυτό ισοδυναμεί με ένα σταθμό Παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας 1000 MW που χρησιμοποιεί άνθρακα. Η Αίτνα επίσης παράγει 1,4 Mt SO₂ κάθε χρόνο. Το 1991 η έκρηξη του ηφαιστείου Pinatubo (Φιλιππίνες) απελευθέρωσε 15 εκατομμύρια τόνους SO₂ προκαλώντας έτσι πτώση της παγκόσμιας επιφανειακής θερμοκρασίας κατά 0,1°C περίπου, λόγω απορρόφησης της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας. Στα χαμηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας το ίδιο αέριο σε μεγάλες ποσότητες μπορεί να επιφέρει όξινη βροχή και να προκαλέσει στους ανθρώπους δερματικές παθήσεις.

3.2 Συχνότητα και ένταση ηφαιστειακών εκρήξεων

Κάθε χρόνο περίπου 60 ηφαίστεια εκρήγνυνται, αλλά στην πλειονότητά τους η δραστηριότητα είναι σχεδόν ασθενής. Είναι δυνατόν να υπολογίσουμε το μέγεθος “bigness” των ηφαιστειακών εκρήξεων με τον προσδιορισμό της παρακάτω κλίμακας που ονομάζεται Δείκτης Ηφαιστειακής Εκρηκτικότητας - ΔΗΕ (Volcanic Explosivity index - VEI). Η κλίμακα αυτή βασίζεται στο σύνολο των παραμέτρων που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια των ηφαιστειακών εκρήξεων. Σύμφωνα με αυτή την κλίμακα εκρήξεις μεγάλου μεγέθους, ευτυχώς, δεν συμβαίνουν τακτικά (από Newhall και Self 1982 με τροποποίηση).

Υπάρχουν περίπου 500 ενεργά ηφαίστεια αυτή τη στιγμή στον κόσμο. Σ' έναν χρόνο μέσης δραστηριότητας, περίπου 50 ηφαίστεια εκρήγνυνται. Απ' τη στιγμή που μόλις το 5% των εκρήξεων οδηγούν σε ανθρώπινες απώλειες, η σχετική έλλειψη συχνότητας τέτοιων καταστροφικών ηφαιστειακών γεγονότων είναι ένα από τα πιο επικίνδυνα χαρακτηριστικά τους. Τα ηφαίστεια χαρακτηρίζονται ως ενεργά, ανενεργά ή σβησμένα αλλά υπήρξαν και περιπτώσεις όπως το 1951 στο όρος Lamington στην Παρוא της Νέας Γουινέας πραγματοποιήθηκε έκρηξη ενός ηφαιστείου που μέχρι τότε θεωρείτο σβησμένο και οδήγησε στο θάνατο 5.000 ανθρώπους (Chester 1993). Έτσι μια προσεκτική εκτίμηση επιτάσσει πως όλα τα ηφαίστεια τα οποία έχουν δράσει τα τελευταία 25.000 χρόνια, πρέπει να θεωρούνται τουλάχιστον ως πιθανά ενεργά.

Στη νότιο Ιταλία βρίσκονται συγκεντρωμένα αρκετά ενεργά ηφαίστεια των οποίων η επίδραση, κατά το παρελθόν, στο περιβάλλον υπήρξε ιδιαίτερα σημαντική. Κατά τους ιστορικούς χρόνους μόνο ο Βεζούβιος, Campi Flegrei, Ischia, και Αίτνα δραστηριοποιήθηκαν σε τέτοιο βαθμό ώστε αναφέρονται σε χρονογραφήματα και περιγραφές. Τα άλλα ενεργά ηφαίστεια του Ιταλικού τόξου (Στρόμπολι, Vulcano, Lipari και τα ηφαίστεια του στενού της Σικελίας) έχουν δραστηριοποιηθεί κατά καιρούς βίαια, αλλά περιορίστηκαν σε μη κατοικημένες περιοχές. Ακριβώς για τους λόγους αυτούς, είναι σημαντικό να μελετούνται λεπτομερειακά όλες οι ηφαιστειογενείς περιοχές για να μπορούμε να υποθέσουμε την πιθανή εξέλιξη της ηφαιστειακής δραστηριότητας σε κάθε ηφαιστειακό κέντρο ώστε να προτείνουμε προληπτικά μέτρα για περιορισμένες καταστροφές.

Σε μια σχετικά μεγάλη έκρηξη, η ολική θερμική ενέργεια που απελευθερώνεται είναι στο όριο των 10^{15} - 10^{18} joules, το οποίο μπορεί να συγκριθεί με τα $4 * 10^{12}$ joules που εκλύονται από μία ατομική βόμβα 1000 τόνων. Δεν υπάρχει καμία συμφωνημένη διεθνής κλίμακα μέτρησης των ηφαιστειακών εκρήξεων αλλά οι Newhall και Self (1982) επινόησαν έναν ημιποσοτικό δείκτη ηφαιστειακής εκρηκτικότητας (Volcanic Explosivity index ή πιο σύντομα ΔΗΕ). Ο τρόπος αυτός συνδυάζει τον ολικό όγκο των εκλυόμενων προϊόντων, το ύψος του εκρηκτικού νέφους, την διάρκεια της κυρίως εκρηκτικής φάσης και κάποιες άλλες παραμέτρους για τη δημιουργία μιας κλίμακας αυξανόμενου κινδύνου από 0 ως 8 (Πίνακας 3). Κατά μέσο όρο μια έκρηξη με ΔΗΕ = 5 συμβαίνει κάθε 10 χρόνια ενώ με ΔΗΕ = 7 κάθε 100 χρόνια.

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

Πίνακας 3 Επιλεγμένα κριτήρια για τον δείκτη ηφαιστειακής εκρηκτικότητας, ΔΗΕ (Volcanic Explosivity index, VEI). Ύψος αναβλημάτων: για ΔΗΕ 0-2, ύψος σε km πάνω από τον κρατήρα. Για ΔΗΕ 3-8, ύψος σε km πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας (Κυριακόπουλος, 2003)

ΔΗΕ	Περιγραφή έκρηξης	Μέγιστο Ύψος στήλης	Όγκος υλικών	Είδος έκρηξης	Συχνότητα εκρήξεων	Παράδειγμα Ηφαιστείου	Διείσδυση στην τροπόσφαιρα	Διείσδυση στην στρατόσφαιρα	Ηφαιστειακές δράσεις
0	Μη εκρηκτική	< 100 m	1000 m ³	Χαβασ	Ημερήσια	Κίλαουα	Αβέβαιη	Καμία	443
1	Μικρή	100 - 1000 m	10.000 m ³	Χαβασ / Στρόμπολι	Ημερήσια	Στρόμπολι	Μικρή	Καμία	361
2	Μέτρια	1 - 5 Km	1.000.000 m ³	Στρόμπολι / Βουλκάνια	Εβδομαδιαία	Γκαλέρας, 1992	Μέτρια	Καμία	3108
3	Μέτρια - μεγάλη	3 - 15 Km	10.000.000 m ³	Βουλκάνια	Ετήσια	Ριζ, 1985	Ουσιαστική	Πιθανή	720
4	Μεγάλη	10 - 25 Km	100.000.000 m ³	Βουλκάνια / Πλινιακή	Κάθε 10 χρόνια	Γαϊνγγουνγκ, 1982	Ουσιαστική	Σίγουρη	131
5	Πολύ μεγάλη	> 25 Km	1 Km ³	Πλινιακή	Κάθε 100 χρόνια	Αγ. Ελένης, 1981	Ουσιαστική	Σημαντική	35
6	Πολύ μεγάλη	> 25 Km	10 Km ³	Πλινιακή / Υπερ-Πλινιακή	Κάθε 100 χρόνια	Κρακατόα, 1883	Ουσιαστική	Σημαντική	16
7	Πολύ μεγάλη	> 25 Km	100 Km ³	Υπερ-Πλινιακή	Κάθε 1.000 χρόνια	Ταμπόρα, 1815	Ουσιαστική	Σημαντική	1
8	Πολύ μεγάλη	> 25 Km	1.000 Km ³	Υπερ-Πλινιακή	Κάθε 10.000 χρόνια	Yellowstone, 2 Ma	Ουσιαστική	Σημαντική	0

Η βιαιότητα της έκρηξης καθορίζεται από το μέγεθος και την ένταση του γεγονότος, το οποίο με τη σειρά του εξαρτάται κατά πολύ από την πτητικότητα των αερίων και το ιξώδες του μάγματος. Υψηλή πτητικότητα και χαμηλό ιξώδες οδηγεί στις πιο εκρηκτικές εκδηλώσεις. Έτσι ηφαιστεια σε ζώνες υποβύθισης τροφοδοτούνται από μάγματα που είναι μίγμα υλικού ανωμανδυακής προέλευσης και λιωμένου ηπειρωτικού φλοιού πλούσιου σε αστρίους και χαλαζία που παράγουν παχύρρευστη λάβα.

3.3 Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στον ελλαδικό χώρο

Οι ηφαιστειακοί κίνδυνοι στην Ελλάδα είναι γενικά πολύ μικροί, εκτός από τις περιοχές που βρίσκονται κατά μήκος του ηφαιστειακού τόξου και κυρίως στις περιοχές των ενεργών ηφαιστειακών κέντρων, όπως στα Μέθανα, στη Μήλο, στη Νίσυρο και στη Σαντορίνη. Οι αναμενόμενοι κίνδυνοι των περιοχών αυτών, μπορούν να χαρακτηριστούν πολύ ασθενείς σε σχέση με άλλες ηφαιστειακές ζώνες του πλανήτη, παρόλα αυτά όμως υπάρχουν, που σημαίνει ότι πρέπει να ληφθούν κάποια μέτρα για να μειωθούν οι κίνδυνοι αυτοί στο ελάχιστο. Παρά το γεγονός ότι η ηφαιστειακή δραστηριότητα κατά μήκος του ηφαιστειακού τόξου είναι περιορισμένη, αυξημένος είναι ο κίνδυνος για σεισμική-ηφαιστειακή δραστηριότητα, που εντάσσεται στην “ηφαιστειακή δραστηριότητα”, χωρίς να συνοδεύεται απαραίτητα

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

από εμφανείς ενδείξεις στην επιφάνεια, αλλά να παρουσιάζεται με συνεχιζόμενη σεισμική δραστηριότητα λόγω της υπάρχουσας δράσης στο εσωτερικό του ηφαιστειακού κέντρου.

Η εμφάνιση της σεισμικής αυτής δραστηριότητας αν και δεν περιλαμβάνει μεγάλου μεγέθους σεισμούς (συνήθως όχι πάνω από 5,5 Ρίχτερ) παρόλα αυτά, λόγω του πιθανού μικρού εστιακού βάθους (από 1 έως 5 χιλιόμετρα), μπορεί να αποδειχτεί πολύ καταστροφική για τις γειτονικές κατοικημένες περιοχές, που θεωρούνται υψηλού βαθμού σεισμικής τρωτότητας. Η σεισμική-ηφαιστειακή δραστηριότητα ελέγχεται από δύο κύριους παράγοντες, τις μεγάλες ζώνες ρηγμάτωσης και κάποιους γεωλογικούς σχηματισμούς που παρουσιάζουν προβληματική σεισμική συμπεριφορά. Ειδικά στον ελλαδικό χώρο, κατά μήκος του ηφαιστειακού τόξου, η ηφαιστειακή δραστηριότητα ελεγχόταν και συνοδεύονταν, σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις, από μεγάλα συστήματα ρηγμάτων, που ήταν προηγουμένως κατά τη διάρκεια ή μετέπειτα, ενεργά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι ηφαιστειακές περιοχές της Μήλου και της Νισύρου. Οι μεγάλες αυτές ρηγματογόνες ζώνες μετατρέπουν τις περιοχές αυτές, σε περιοχές υψηλού κινδύνου. Παρόμοια περίπτωση είναι και οι σεισμοί κατά τη διάρκεια του 1992 στο νησί της Μήλου, που προκάλεσαν επαναδραστηριοποίηση μεγάλων ρηγμάτων της περιοχής, με επιφανειακές εμφανίσεις. Τέτοια φαινόμενα παρατηρήθηκαν επίσης και στο νησί της Νισύρου κατά τη περίοδο 1996-1997.

Άλλος επίσης σημαντικός παράγοντας που αυξάνει την ηφαιστειακή επικινδυνότητα μιας περιοχής, είναι και η παρουσία των ηφαιστειακών προϊόντων που παρουσιάζουν προβληματική συμπεριφορά. Ειδικότερα η παρουσία ηφαιστειακών σχηματισμών όπως τόφφοι, τέφρα και άλλα πυροκλαστικά υλικά που αποτελούνται από μη συμπαγείς κόκκους πετρωμάτων, καθώς και λεπτών ασύνδετων στρωμάτων που επικάθονται πάνω από συμπαγή λάβα, αντιπροσωπεύουν ένα αρνητικό εδαφο-δυναμικό πλαίσιο ακατάλληλο για θεμελιώσεις κατασκευών. Επίσης, μορφολογικές ταπεινώσεις, δημιουργούν τις κατάλληλες προϋποθέσεις για φαινόμενα κατολισθήσεων, κατά τη διάρκεια σεισμών. Τα ιστορικά δεδομένα που αναφέρονται σε εμφανίσεις σεισμών κατά τις περιόδους ηφαιστειακής δράσης ή στο μεσοδιάστημα, πρόσφατα παραδείγματα καταστροφικών σεισμών σε ηφαιστειακά κέντρα, όπως αυτοί στη Μήλο το 1992 και στη Νίσυρο το 1996, υποδεικνύουν την ανάγκη για καταγραφή και αξιολόγηση των δεδομένων που αναφέρονται στη σεισμική-ηφαιστειακή επικινδυνότητα, και μαζί με τις υπόλοιπες πληροφορίες θα βοηθήσουν για μιας μακράς περιόδου οργάνωση των ηφαιστειακών περιοχών.

3.4 Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στην Νίσυρο

Στην Νίσυρο διακρίνονται δύο κύριες εκρηκτικές περιόδους στο εξελικτικό μοντέλο της ηφαιστειακής της δραστηριότητας. Η πρώτη περίοδος περιλαμβάνει την δραστηριότητα που οδήγησε στη δημιουργία των κώνων, και η δεύτερη την δραστηριότητα που οδήγησε στην διαμόρφωση της καλδέρας. Η δεύτερη περίοδος χωρίζεται σε δύο διαφορετικές φάσεις. Κάθε φάση ξεκίνησε με χαμηλής έντασης και μεγέθους, φρεατομαγματικές εκρήξεις, οι οποίες τροφοδοτούνταν από ρυολιθικό μάγμα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την κατάρρευση της κεντρικής καλδέρας την οποία ακολούθησε σχηματισμός ρυολιθικών δακτυλικών δόμων και ροή λάβας (Vougioukalakis & Fytikas, 2005).

Οι υπάρχουσες ραδιοχρονολογήσεις (K-Ar και ^{14}C) μπορεί να διαφέρουν αλλά δείχνουν ότι το κύριο τμήμα της Νίσυρου δημιουργήθηκε στην διάρκεια των τελευταίων 160.000 χρόνων, και τα δύο καταστροφικά εκρηκτικά γεγονότα είναι ηλικίας μικρότερης των 40.000 χρόνων με ένα αξιοσημείωτο χρονικό κενό ανάμεσά τους. Αυτό δείχνει ότι η ηφαιστειακή επικινδυνότητα είναι σχετική στη Νίσυρο και οδηγεί στο να θεωρείται η Νίσυρος ως ένα πιθανό ενεργό ηφαίστειο (Vougioukalakis & Fytikas, 2005). Η μεγάλη και ρηχή σεισμική δραστηριότητα, σε συνδυασμό με την υψηλή γεωθερμική ανωμαλία, συμφωνούν με την παραπάνω εκτίμηση (Sachpazi et al, 2002).

Στην Νίσυρο, ένας από τους σημαντικότερους ηφαιστειακούς κινδύνους που μπορεί να απειλήσει το νησί, είναι οι υδροθερμικές εκρήξεις. Τον 19^ο αιώνα, καταγράφηκαν δύο περίοδοι επαναδραστηριοποίησης των υδροθερμικών εκρήξεων που πραγματοποιήθηκαν στην καλδέρα του ηφαιστείου. Από τις υδροθερμικές εκρήξεις έχουν δημιουργηθεί πάνω από 20 κρατήρες στον πυθμένα της καλδέρας, με τους 10 από αυτούς να έχουν διατηρηθεί σε καλή κατάσταση με μέγιστη διάμετρο 300 μ., κάτι που συνηγορεί ότι τέτοιου είδους δραστηριότητα ήταν συχνή στους ιστορικούς και προϊστορικούς χρόνους (Marini et al, 1993; Vougioukalakis, 1998). Αυτή η καταγεγραμμένη δραστηριότητα καθώς και η παρουσία ενός γεωθερμικού πεδίου υψηλής ενθαλπίας (με θερμοκρασίες άλμης >450 °C σε βάθος 1800 μ.) (Geotechnica Italiana, 1983), καθιστά δυνατή την εκδήλωση υδροθερμικών εκρήξεων στο κοντινό μέλλον.

Το ηφαίστειο της Νίσυρου είναι η περιοχή όπου έχουν λάβει χώρα πολλές υδροθερμικές εκρήξεις στην πρόσφατη περίοδο. Αυτό αποδεικνύεται από την

παρουσία κρατήρων και πυροκλαστικών αποθέσεων. Οι υδροθερμικοί κρατήρες έχουν δημιουργηθεί κυρίως από διαφυγές ατμών και αερίων ενός υδροθερμικού συστήματος κοντά στην επιφάνεια της καλδέρας, κυρίως λόγω της υπερπίεσης του ατμού και όχι λόγω κάποιας μαγματικής έκρηξης. Τέτοιες υδροθερμικές εκρήξεις συμβαίνουν όταν νέο μάγμα διεισδύσει από τους βαθύτερους μαγματικούς θαλάμους στους ρηχότερους. Εκεί το μάγμα απελευθερώνει αέρια λόγω χαμηλότερης λιθοστατικής πίεσης και μεταφέρει θερμότητα στα περιβάλλοντα υδροθερμικά συστήματα. Έτσι, γίνεται κατανοητό ότι, οι υδροθερμικές εκρήξεις είναι αποτέλεσμα ταχύτερης εξάτμισης του νερού, που δεν έχει ενδομαγματική προέλευση, αλλά προέρχεται από υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες, από την θάλασσα κλπ. Συγκεκριμένα μια έκρηξη χαρακτηρίζεται ως υδροθερμική όταν οφείλεται αποκλειστικά σε υπερθέρμανση μεγάλων ποσοτήτων υπόγειων νερών.

Στην αξιολόγηση του κινδύνου που σχετίζεται με την εκδήλωση φρεατο-μαγματικών εκρήξεων, δεν είναι δυνατή η εκτίμηση του ηφαιστειακού κινδύνου, διότι τα δεδομένα που υπάρχουν δεν επαρκούν, και έτσι δεν μπορεί να εκτιμηθεί η πιθανότητα εμφάνισης μιας τέτοιας έκρηξης. Στην περίπτωση εκδήλωσης μιας φρεατο-μαγματικής έκρηξης δεν θα επηρεαστούν μόνο οι κάτοικοι της Νισύρου αλλά και η περιοχή της Κω καθώς και τα παράλια της γειτονικής Τουρκίας (Vougioukalakis & Fytikas, 2005).

Η επικινδυνότητα στην διάρκεια μιας υδροθερμικής έκρηξης είναι σχετικά υψηλή. Η καλδέρα της Νισύρου είναι τόπος έλξης για χιλιάδες τουρίστες κατά την διάρκεια του καλοκαιριού (περίπου 60.000 άνθρωποι ανά περίοδο). Στην περίπτωση εκδήλωσης μιας έκρηξης την περίοδο αυτή, οι ανθρώπινες απώλειες θα μπορούσαν να είναι ιδιαίτερα σοβαρές (Vougioukalakis & Fytikas, 2005).

Είναι πολύ πιθανό, τα σεισμικά γεγονότα, κυρίως στην διάρκεια του 19^{ου} αιώνα, να έπαιξαν κυρίαρχο ρόλο στην ενεργοποίηση των τελευταίων υδροθερμικών εκρήξεων. Την περίοδο 1995-1997, παρατηρήθηκε στην Νίσυρο μια αυξημένη σεισμικότητα, με συνολικά 107 σεισμικά γεγονότα μεγέθους $M_s \geq 3,8$ R, με την πλειοψηφία των σεισμών αυτών να μην ξεπερνούν τα 10 χιλιόμετρα εστιακού βάθους. Η μεγαλύτερη σεισμική δόνηση $M_s=5,3$ R, παρατηρήθηκε στις 27 Αυγούστου 1997. Ευτυχώς κατά την διάρκεια αυτής της σεισμικής διέγερσης δεν παρατηρήθηκαν υδροθερμικές εκρήξεις. Σύμφωνα με τον Chioldini (Chioldini et al, 2002), παρατηρήθηκε αύξηση στον λόγο H_2S/CO_2 και μείωση στον λόγο CH_4/CO_2 σε αρκετές από τις ενεργές φουμαρόλες και ερμήνευσε τις χημικές αυτές αλλαγές, στην

αύξηση της συνεισφοράς του πλούσιου σε θείο οξειδωτικού μαγματικού ρευστού, στο υδροθερμικό σύστημα κάτω από το νησί της Νισύρου. Η αύξηση αυτή μπορεί να οφείλεται στην δημιουργία διαρρήξεων σε βάθος, που προκλήθηκαν από τους σεισμούς της περιόδου 1996-1997. Αυξήσεις του υδρογόνου και του μονοξειδίου του άνθρακα, υποδηλώνουν αυξήσεις της θερμοκρασίας και της πίεσης στα ανώτερα τμήματα του υδροθερμικού συστήματος. Ο υδροθερμικός κίνδυνος είναι μεγαλύτερος την παρούσα περίοδο από ότι στην δεκαετία του 90. Οι χημικές αλλαγές στην σύσταση των αερίων συνοδεύτηκε από μικρο-σεισμική δραστηριότητα και από παραμορφώσεις του εδάφους (Lagios et al., 2001).

Λαμβάνοντας υπόψη τις ιστορικές πληροφορίες για τις υδροθερμικές εκρήξεις, οι πρόσφατες αλλαγές στην σύσταση των αερίων στις φουμαρόλες καθώς και τα φυσικά φαινόμενα που επηρεάζουν την Νίσυρο, μπορούν να ερμηνευτούν ως μακροπρόθεσμα πρόδρομα φαινόμενα μιας νέας περιόδου ηφαιστειακής δραστηριότητας, που μπορεί πιθανόν να αποκορυφωθεί με μια φρεατο-μαγματική εκρηκτική φάση (Vougioukalakis & Fytikas, 2005).

Αν το ρηχό υδροθερμικό σύστημα μπορεί να διοχετεύει, μέσω βρασμού, την θερμότητα που εισέρχεται μέσα σε αυτό χωρίς να προκαλείται αύξηση της πίεσης, ο κίνδυνος μίας υδροθερμικής έκρηξης παραμένει χαμηλός. Παρόλα αυτά αν κάποιες διαδικασίες εμποδίσουν την μεταφορά της θερμότητας προς την επιφάνεια, η πίεση στο ρηχό υδροθερμικό σύστημα μπορεί να φτάσει στο κατώφλι μιας επικείμενης υδροθερμικής έκρηξης.

Επιπλέον, μια ξαφνική άνοδος από θερμό νερό βαθιάς προέλευσης μπορεί να συμβεί κατά μήκος των διαρρήξεων ΒΑ διεύθυνσης εξαιτίας ενός σεισμικού γεγονότος, και έτσι να έχουμε μια γρήγορη εξέλιξη του συστήματος προς μια υδροθερμική έκρηξη. Για αυτούς τους λόγους δύο είδη μηχανισμών γένεσης υδροθερμικών εκρήξεων αναμένονται μελλοντικά.

1. Μεγάλη αύξηση της πίεσης στο ρηχό υδροθερμικό σύστημα που οφείλεται στην αύξηση της θερμότητας και στην μεταφορά της από το πιο βαθύ σύστημα προς το ρηχότερο.

2. Μια ξαφνική άνοδος από βαθύ ζεστό νερό από το βαθύτερο υδροθερμικό ταμιευτήρα στο πιο ρηχό κατά μήκος ρηγμάτων που δραστηριοποιήθηκαν ως αποτέλεσμα σεισμικών γεγονότων.

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

Σήμερα, η ολική πίεση στα τμήματα του ρηχού ταμιευτήρα που τροφοδοτεί απευθείας τις φουμαρόλες κυμαίνεται στα 25-45 bar, όπως υπολογίστηκε μέσω γεωβαρομετρικών τεχνικών με την χρήση αερίων φάσεων (gas-geobarometry) (Chiodini et al., 1993).

Φαινόμενα αυξανόμενης πίεσης στον ρηχό ταμιευτήρα, που οφείλονται σε μια σταδιακή αύξηση της θερμοότητας από το βαθύτερο σύστημα, μπορεί να ανιχνευθεί μέσω περιοδικής δειγματοληψίας από τις φουμαρόλες και την εφαρμογή τεχνικών γεωβαρομετρίας. Η εξέλιξη του ρηχού συστήματος, προς τις συνθήκες που οδηγούν σε μια υδροθερμική έκρηξη, μπορεί να εκτιμηθεί επαρκώς αρκετό καιρό πριν.

Μια υδροθερμική έκρηξη που ελέγχεται τεκτονικά μπορεί να είναι λιγότερο προβλέψιμη, με βάση μόνο τα γεωχημικά στοιχεία, όμως και σε αυτήν την περίπτωση έχουμε αξιοσημείωτες αλλαγές στη σύσταση των αερίων από τις φουμαρόλες.

Για να είναι αποτελεσματική η παρακολούθηση τέτοιων φαινομένων, πρέπει να υπάρχει παρακολούθηση της τοπικής σεισμικότητας όπως και διεξαγωγή συνεχών γεωχημικών μετρήσεων (Chiodini et al., 1991).

3.5 Ηφαιστειακά αέρια και οι επιπτώσεις τους

Στο μάγμα περιέχονται διαλυμένα αέρια τα οποία απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα κατά την διάρκεια των εκρήξεων. Αέρια απελευθερώνονται επίσης και από μάγμα το οποίο είτε παραμένει σε κάποιο βάθος κάτω από το έδαφος (για παράδειγμα σαν μια διείδυση), ή κινείται ανοδικά προς την επιφάνεια. Σε αυτές τις περιπτώσεις, τα αέρια μπορούν να απελευθερωθούν προς την ατμόσφαιρα από το έδαφος, τους ηφαιστειακούς αγωγούς, τις φουμαρόλες και τα υδροθερμικά συστήματα.

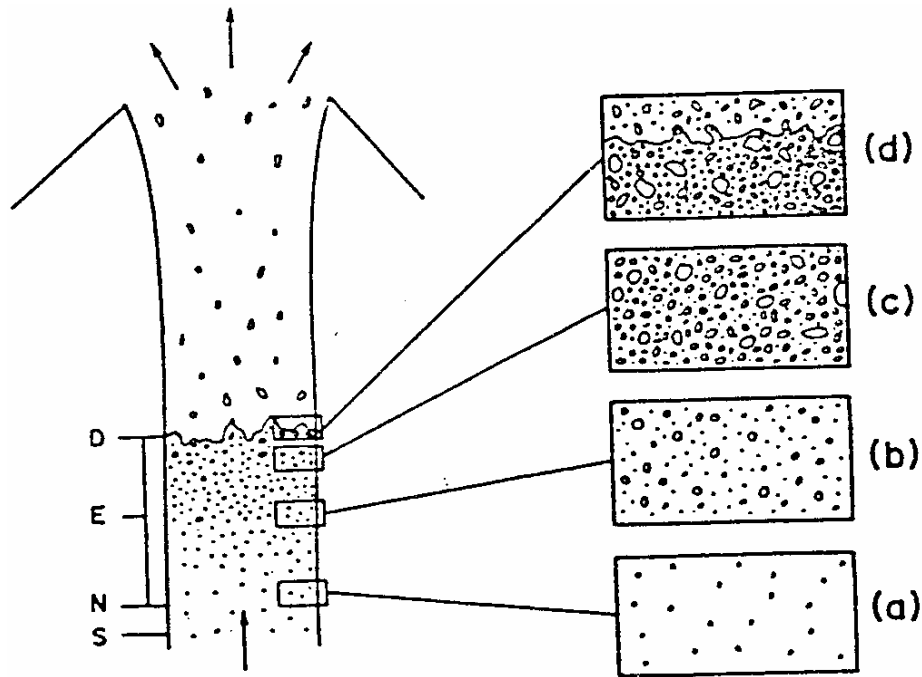
Σε υψηλή πίεση τα ηφαιστειακά αέρια βρίσκονται σε μεγάλη περιεκτικότητα διαλυμένα στο μαγματικό τήγμα. Καθώς το μάγμα ανέρχεται προς την επιφάνεια, όπου η υδροστατική πίεση μικραίνει ενώ η τάση των πτητικών συστατικών παραμένει ίδια, γίνεται υπέρκορο σε αέρια και επομένως αρχίζουν να απελευθερώνονται φυσαλίδες με συνέπεια να αυξάνεται ο συνολικός όγκος του μάγματος. Η αυξανόμενη απελευθέρωση των φυσαλίδων καθιστά το μάγμα λιγότερο πυκνό σε

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

σχέση με τα περιβάλλοντα πετρώματα, το οποίο επιτρέπει στο μάγμα να συνεχίσει την ανοδική του πορεία. Η απελευθέρωση των αερίων στην επιφάνεια έχει ως αποτέλεσμα να μετατρέπεται το αφρώδες πυρομάγμα σε επιμάγμα (χωρίς αέρια), με συνέπεια όταν ψύχεται να γίνεται βαρύτερο και να κατέρχεται σε χαμηλότερα τμήματα του ηφαιστειακού αγωγού όπου εμπλουτίζεται ξανά σε αέριες φάσεις, διατηρώντας έτσι την κίνηση συγκλινόντων ρευμάτων στο εσωτερικό του ηφαιστειακού αγωγού (Κυριακόπουλος, 1992).



Εικόνα 38. Έκλυση αερίων από τις ατμίδες του κρατήρα Στέφανου στη Νίσυρο.



Εικόνα 39 Λεπτομερής σχηματική παρουσίαση της πομφολυγώδους ανάπτυξης ενός μαγματικού υλικού μέσα σε κυλινδρικό αγωγό. Επίσης φαίνεται η βαθμιαία εξέλιξη των αερίων φάσεων με τη μορφή φυσαλίδων οι οποίες μεταναστεύουν στα ανώτερα τμήματα του ηφαιστειακού αγωγού, συμπαρασύροντας έτσι και τμήματα της ήδη σχηματισμένης ηφαιστειακής λάβας. Η περιγραφή των διαφόρων τμημάτων του ηφαιστειακού αγωγού γίνεται παρακάτω (Κυριακόπουλος, 1992).

(S) Επίπεδο κορεσμού των διαλυμένων στο μάγμα αερίων φάσεων, που βρίσκεται στο χαμηλότερο δυνατό σημείο της μαγματικής κολώνας.

(N): Αντιπροσωπεύει το επίπεδο στο οποίο αρχίζουν να διαμορφώνονται και να εμφανίζονται οι πρώτες φυσαλίδες.

(E): Αυτό το τμήμα αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα κατά το οποίο παρατηρείται ανάπτυξη και διόγκωση των φυσαλίδων με τις διάφορες αέριες φάσεις.

(D): Είναι η περιοχή στο ανώτερο τμήμα της μαγματικής στήλης όπου συμπαρασύρονται και εκτινάσσονται μικρά σωματίδια ηφαιστειακού υλικού βοηθούμενα από τη βίαιη διαφυγή των αερίων.

Στα τέσσερα μεγεθυσμένα πλαίσια (a), (b), (c) και (d) του ίδιου σχήματος παρουσιάζεται η προοδευτική δημιουργία και ανάπτυξη των φυσαλίδων.

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

(a): Αρχικό στάδιο δημιουργίας των αερίων.

(b): Συνεχής ανάπτυξη και διόγκωση των ήδη υπαρχόντων φυσαλίδων.

(c): Το αφρώδες μαγματικό υλικό είναι κορεσμένο σε αέριες φάσεις.

(d): Απελευθέρωση και διασπορά των αερίων προς όλες τις διευθύνσεις παρασύροντας και τεμάχια λάβας.

Τα αέρια ελευθερώνονται από το μαγματικό υλικό γιατί στο εσωτερικό της στήλης του μάγματος παρατηρείται συνεχής μεταφορά προς τα πάνω των φυσαλίδων. Οι τελευταίες γίνονται όλο και πιο μεγάλες προς τα ανώτερα. τμήματα, λόγω της ελάττωσης της εξωτερικής πίεσης, με αποτέλεσμα σε κάποια στιγμή οι φυσαλίδες να σπάζουν και να απελευθερώνεται το αέριο που περιλαμβάνουν. Η ενεργοποίηση του συστήματος των αερίων διατηρείται επί μακρό χρόνο επειδή οι φυσαλίδες δεν σπάζουν όλες ταυτόχρονα αλλά σε διαδοχικά στάδια.

Ανεξάρτητα εάν η σύσταση του μαγματικού υλικού είναι βασική ή όξινη, το μεγαλύτερο μέρος του όγκου των περιεχομένων αερίων αποτελείται από H₂O (με τη μορφή υδρατμών). Πρόσφατες μετρήσεις απέδειξαν ότι το ποσοστό του νερού μπορεί να καλύπτει το 75 % περίπου του συνόλου των πτητικών συστατικών.

Άλλες μορφές αερίων φάσεων που βρίσκονται διαλυμένες σε υψηλό ποσοστό σε ένα μαγματικό τήγμα είναι CO₂, CO, διάφορες θεικές ρίζες, όπως S²⁻, SO₂, SO₃, αυτοφυές θείο (S), H₂O (με τη μορφή ατμών), καθώς και CH₄, CL, HCL, H, Ar, N, He, κ.λ.π..

Εάν λάβουμε υπόψη την ποσότητα των αερίων φάσεων που περιλαμβάνονται σε ένα μαγματικό τήγμα, σε σχέση μόνο με την αναλογία του οξυγόνου (O₂) τότε μπορούμε να αναφέρουμε ότι με την αύξηση του περιεχομένου του O₂, παρατηρείται παράλληλη αύξηση του SO₂ και SO₃, ενώ το ποσοστό του CH₄ μειώνεται σημαντικά (Κυριακόπουλος 1992).

3.5.1 Υδρόθειο (H₂S)

Το υδρόθειο (H₂S) είναι ένα τοξικό αέριο, το οποίο βρίσκεται διαλυμένο μέσα στα γεωθερμικά ρευστά. Το H₂S, όπως και το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), είναι βαρύτερο από τον ατμοσφαιρικό αέρα και μπορεί να συγκεντρωθεί σε τοπογραφικές ταπεινώσεις, με αποτέλεσμα υψηλές συγκεντρώσεις (*700 ppm, Beauchamp et al. 1984) να αποτελούν θανάσιμο κίνδυνο για τους ανθρώπους και τα ζώα. Το H₂S είναι ένα άχρωμο, εύφλεκτο αέριο με χαρακτηριστική οσμή, κλούβιου αυγού, στην οποία η ανθρώπινη όσφρηση είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη (άτομα με ευαίσθητη όσφρηση μπορούν να το αντιληφθούν από συγκεντρώσεις 10 ppb και πάνω, παγκόσμια οργάνωση υγείας WHO 2003). Σε χαμηλές συγκεντρώσεις μπορεί να ερεθίσει τα μάτια και δρα σαν καταπραΰντικό. Σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να προκαλέσει ερεθισμούς στο αναπνευστικό σύστημα, και σε μεγάλη έκθεση μπορεί να δημιουργήσει πνευμονικό οίδημα. Μια 30λεπτη έκθεση σε 500 ppm μπορεί να προκαλέσει πονοκέφαλο, ζαλάδα, υπερένταση και διάρροια που ορισμένες φορές μπορούν να συνοδευτούν από βρογχίτιδα ή βρογχοπνευμονία. Η παραγωγή γεωθερμικής ενέργειας αυξάνει τα ποσοστά H₂S που εκλύονται στην ατμόσφαιρα (Kristmannsdottir et al. 2000). Στο παραπάνω επιχείρημα στηρίζονται οι κάτοικοι που εναντιώνονται στην παραγωγή γεωθερμικής ενέργειας, όπως για παράδειγμα στο Puna στην Χαβάη (Anderson 1991). Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένης της έκλυσης H₂S, είναι μια από τις αιτίες που ο πληθυσμός της Μήλου απαίτησε τον τερματισμό της παραγωγή γεωθερμικής ενέργειας στο νησί (Marouli and Kaldellis 2001).

Παρόλα αυτά, οι συγκεντρώσεις H₂S σε ηφαιστειακές/γεωθερμικές περιοχές, πέρα της αποκρουστικής οσμής, είναι γενικά κάτω από τα τοξικά επίπεδα. Αν και ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας (WHO) δηλώνει πως τα δεδομένα δεν επαρκούν στο να αποκλειστούν οι όποιες αρνητικές επιπτώσεις, πολλές μελέτες στην Rotorua της Νέας Ζηλανδίας, όπου μεγάλος πληθυσμός εκτίθεται σε χαμηλού επιπέδου (10-500 ppb) συγκεντρώσεις H₂S, αποκάλυψαν ότι η μακροπρόθεσμη έκθεση σε υπό-τοξικές συγκεντρώσεις, έχουν μονάχα περιορισμένες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (Bates et al. 1997, 1998). Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με τις φυσιολογικές επιπτώσεις στον άνθρωπο, που προκαλούνται από έκθεση στο H₂S, κατά Beauchamp et al. 1984 και WHO 2003.

Πίνακας 4 Φυσιολογικές επιπτώσεις στον άνθρωπο, που προκαλούνται από έκθεση στο H₂S, (Beauchamp et al. 1984 και W.H.O. 2003).

έκθεση ppm	Επιπτώσεις/Παρατηρήσεις	Effect/observation
0,01	Κατώφλι όσφρησης	Odor threshold
0,3	Ευδιάκριτη όσφρηση	Distinct odor
2	Βρογχικό σφίξιμο σε άτομα με άσθμα	Bronchial constriction in asthmatic individuals
3,5	Αυξημένες ενοχλήσεις στα μάτια	Increased eye complaints
5 έως 10	Αυξημένες συγκεντρώσεις γαλακτικού οξέος στο αίμα, μειωμένες δράσεις παραγωγής σκελετικών μυών, μειωμένη λήψη οξυγόνου	Increased blood lactate concentration, decreased skeletal muscle citrate synthase activity, decreased oxygen uptake
3,5 έως 20	Ερεθισμός στα μάτια	Eye irritation
20	Κούραση, μειωμένη όρεξη, πονοκέφαλος, ερεθιστικότητα, μειωμένη μνήμη	Fatigue, loss of appetite, headache, irritability, poor memory
50	Εκδήλωση ερεθιστικών διεργασιών στα μάτια και στο αναπνευστικό	Marked irritant action on conjunctiva and respiratory tract
100 έως 200	Οσφρητική παράλυση	Olfactory paralysis
250	Εκτεταμένη έκθεση προκαλεί πνευμονικό οίδημα	Prolonged exposure causes pulmonary edema
500 έως 1000	Ακαριαίος θάνατος	Immediate death

3.5.2 Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Από τα ηφαίστεια απελευθερώνονται, σε παγκόσμια κλίμακα, περισσότεροι από 130 χιλιάδες τόνοι (CO₂) στην ατμόσφαιρα κάθε χρόνο. Πρόκειται για ένα άχρωμο και άοσμο αέριο το οποίο συνήθως δεν αποτελεί άμεσο κίνδυνο για τους ζωντανούς οργανισμούς, γιατί διαλύεται γρήγορα σε μικρές συγκεντρώσεις, είτε απελευθερώνεται συνέχεια από το έδαφος, είτε διαφεύγει κατά τη διάρκεια των εκρήξεων. Σε ορισμένες συνθήκες, το CO₂ μπορεί να συγκεντρωθεί σε επίπεδα που είναι θανάσιμα για τους ανθρώπους και τα ζώα. Συγκεκριμένα το CO₂ είναι βαρύτερο από τον αέρα, με πυκνότητα 1,5 φορές μεγαλύτερη και έτσι συσσωρεύεται σε χώρους με το μικρότερο υψόμετρο, όπως τοπογραφικές ταπεινώσεις και υπόγεια σπιτιών, χωρίς να ανιχνεύεται. Αναπνέοντας αέρα με ποσοστά συγκεντρώσεων CO₂ μεγαλύτερα από 30%, μπορεί να προκληθεί απώλεια αισθήσεων, ασφυξία και θάνατος. Σε ηφαίστεια όπου υπάρχουν εκπομπές CO₂, παρατηρείται αυξημένος κίνδυνος σε περιοχές, πάνω και κάτω από το έδαφος, που δεν αερίζονται επαρκώς, σε χαμηλά κοιλάματα και γενικά σε σημεία που μπορεί να παγιδευτεί το αέριο αυτό. Το εθνικό ινστιτούτο ασφάλειας και υγείας των Η.Π.Α. (National Institute for

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

Occupational Safety and Health), συνιστά χρόνο παραμονής 10 λεπτών σε περιοχές με ποσοστά συγκέντρωσης CO₂ μέχρι 3%.



Εικόνα 40 CO₂ παγιδευμένο σε λάκκο μπορεί να είναι θανατηφόρο για τον άνθρωπο και τα ζώα (πηγή USGS).

Όταν τοποθετηθεί ένα φλεγόμενο κομμάτι από ρούχο σε ένα λάκκο, στον οποίο παρατηρούνται μεγάλες συγκεντρώσεις CO₂, τότε λόγω της έλλειψης οξυγόνου η φωτιά σβήνει. Τέτοιες καταστάσεις είναι εξαιρετικά επικίνδυνες για τον άνθρωπο και τα ζώα.

Ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις CO₂ σε ποσοστό 5%, προκαλούν αισθητά αυξημένους ρυθμούς αναπνοής, 6-10% προκαλούν δυσκολίες αναπνοής, πονοκέφαλο, ζαλάδα, ιδρώτα και νευρική κατάσταση, 10-15% προκαλούν απώλεια προσανατολισμού και απότομες συσπάσεις των μυών, 20-30% προκαλούν απώλεια αισθήσεων και σπασμούς και πάνω από 30% προκαλούν θάνατο (Hathaway et. al., 1991).

3.5.3 Διοξείδιο του θείου (SO₂)

Οι επιπτώσεις του διοξειδίου του θείου (SO₂) στον άνθρωπο και στο περιβάλλον διαφέρουν πολύ ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες: 1) την ποσότητα των αερίων που εκλύονται από το ηφαίστειο στην ατμόσφαιρα, 2) την πιθανότητα έκλυσης αερίων στην τροπόσφαιρα ή στην στρατόσφαιρα και 3) το τοπικό και παγκόσμιο κλιματολογικό μοντέλο αέρα και καιρού, το οποίο καθορίζει που θα διασκορπιστούν τα αέρια. Το διοξείδιο του θείου (SO₂) είναι ένα άχρωμο αέριο με οξεία οσμή το οποίο ερεθίζει το δέρμα και τους ιστούς καθώς και την βλεννώδη μεμβράνη των ματιών, την μύτη και τον λάρυγγα. Το διοξείδιο του θείου επηρεάζει κυρίως το αναπνευστικό σύστημα. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (World Health

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

Organization) προτείνει οι συγκεντρώσεις να μην ξεπερνούν τα 0,5 ppm για 24 ώρες έκθεσης στο αέριο αυτό. Συγκεντρώσεις από 6 έως 12 ppm μπορούν να προκαλέσουν άμεσο ερεθισμό της μύτης και του λάρυγγα. Συγκεντρώσεις στα 20 ppm προκαλούν ερεθισμό στα μάτια, ενώ σε συγκεντρώσεις στα 10.000 ppm μπορούν να προκαλέσουν, σε λίγα λεπτά, ερεθισμούς στο δέρμα (πηγή: USGS).

3.5.4 Υδροχλώριο (HCl)

Τα χλωριούχα αέρια εκλύονται από τα ηφαίστεια με την μορφή υδροχλωρικού οξέος (HCl). Η έκθεση σε αυτό το αέριο προκαλεί ερεθισμούς στην βλεννώδη μεμβράνη των ματιών και στο αναπνευστικό σύστημα. Συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 35 ppm προκαλούν ερεθισμό του λάρυγγα μετά από σύντομη έκθεση. Συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 100 ppm μπορούν να προκαλέσουν πνευμονικό οίδημα και συχνά λαρυγγικούς σπασμούς. Επίσης μπορούν να προκαλέσουν όξινη βροχή προς τον πνέοντα άνεμο, διότι το HCl είναι ιδιαίτερα διαλυτό στις σταγόνες της βροχής και είναι πολύ “ισχυρό οξύ”.

3.5.5 Υδροφθόριο (HF)

Το φθόριο είναι ένα ωχρό κίτρινο αέριο το οποίο επικάθεται σε μικρά σωματίδια στάχτης, βοσκότοπους και μολύνει τα ποτάμια και τις λίμνες. Η έκθεση σε αυτό το ισχυρά καυστικό και ερεθιστικό αέριο μπορεί να προκαλέσει επιπεφυκίτιδα, ερεθισμούς στο δέρμα, και να δημιουργήσει προβλήματα στα οστά και στα δόντια. Όπως και το υδροχλώριο μπορεί να προκαλέσει το φαινόμενο της όξινης βροχής.

3.6 Κατολισθήσεις

Η Νίσυρος είναι ένα ενεργό στρωματοηφαίστειο στην νοτιο-ανατολική απόληξη του ηφαιστειακού τόξου που αποτελείται αποκλειστικά από τεταρτογενείς ηφαιστειακούς σχηματισμούς. Το γεωδυναμικό καθεστώς της περιοχής είναι ιδιαίτερα έντονο και κατά συνέπεια επηρεάζει τα ηφαιστειολογικά χαρακτηριστικά του ηφαιστείου. Τα πετρώματα που περιβάλλουν τους υδροθερμικούς κρατήρες στην καλδέρα του ηφαιστείου, έχουν υποστεί έντονες υδροθερμικές εξαλλοιώσεις εξαιτίας

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

του οξειδωτικού περιβάλλοντος που επικρατεί. Ένα μεγάλο μέρος των γεωλογικών σχηματισμών της Νισύρου, αποτελείται από πυροκλαστικούς σχηματισμούς και κώνους κορημάτων που αποτελούν ζώνες μειωμένης συνοχής των πετρολογικών σχηματισμών.

Η σεισμική δραστηριότητα, που ανά περιόδους επαναδραστηριοποιείται (1995-1998), αποτελεί αιτία έναρξης κατολισθήσεων. Χαρακτηριστικές είναι οι περιπτώσεις των εκατοντάδων σεισμικών δονήσεων μεγέθους 5,2 R. που καταγράφηκαν την περίοδο 1995-1998 με επίκεντρα στην ρηξιγενή ζώνη στο Μανδράκι και με εστιακό βάθος έως 15 χλμ., οι οποίες προκάλεσαν κατολισθήσεις τόσο στα ασθενή πρηνή της καλδέρας όσο και στους υδροθερμικούς κρατήρες και συγκεκριμένα στον κρατήρα του Μεγάλου Πολυβώτη στις 7 Αυγούστου 1997 (Νομικού 2004).

Τέλος, το έντονο ανάγλυφο με μεγάλες κλίσεις συντελεί στο να δημιουργηθούν οι κατάλληλες συνθήκες που θα οδηγήσουν σε κατολισθήσεις. Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό, πως η πιθανότητα εκδήλωσης κατολισθήσεων στην Νίσυρο είναι αυξημένη.

Στην συνέχεια, με την βοήθεια των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ), γίνεται προσπάθεια εντοπισμού των ευαίσθητων περιοχών, λαμβάνοντας υπόψη την μορφολογία, τους γεωλογικούς σχηματισμούς και την τεκτονική κατάσταση που επικρατεί στην Νίσυρο. Θα πραγματοποιηθεί μια πρώτη γενική εκτίμηση της επικινδυνότητας των κατολισθήσεων, ενώ για να ληφθούν πιο ασφαλή συμπεράσματα σε σχέση με τις περιοχές που μπορούν να κινδυνεύσουν δυνητικά, θα πρέπει να εκπονηθούν ειδικές μελέτες που να σχετίζονται άμεσα με τον κίνδυνο αυτό.

Έτσι, με την βοήθεια του λογισμικού ArcMap της ESRI, είναι δυνατόν να απεικονιστούν οι διάφοροι παράμετροι που επηρεάζουν την εκδήλωση κατολισθήσεων. Αρχικά δημιουργήθηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (Ψ.Μ.Ε.) που προέκυψε από την ψηφιοποίηση των ισοϋψών καμπύλων του τοπογραφικού χάρτη, κλίμακας 1:50.000, της Γ.Υ.Σ. Το Ψ.Μ.Ε ήταν αρχικά με την μορφή ακανόνιστου δικτύου τριγώνων (Triangulated Irregular Network – TIN) και στην συνέχεια μετατράπηκε σε ψηφιδωτή (raster) μορφή, με μέγεθος εικονοστοιχείου (pixel) 12,5 μ. Έπειτα, από την ψηφιδωτή μορφή του μοντέλου εδάφους, δημιουργήθηκε ο χάρτης κλίσεων. Οι τάξεις που κατηγοριοποιήθηκαν οι τιμές των κλίσεων, ήταν τέσσερις και συγκεκριμένα 0-15%, 15-30%, 30-50% και >50%.

Από τον χάρτη που προέκυψε γίνεται κατανοητό, πως οι κλίσεις της μορφολογίας στην Νίσυρο είναι κυρίως μεγάλες >30% λόγω του απότομου αναγλύφου που δημιουργούν οι διαδοχικές εκχύσεις λάβας και πυροκλαστικών (Νομικού 2004). Οι μεγαλύτερες τιμές των κλίσεων παρατηρούνται σε περιοχές με έντονη διάβρωση και έντονες ανυψώσεις, ενώ αντίθετα οι μικρότερες τιμές παρατηρούνται σε περιοχές όπου η διάβρωση και οι ανυψώσεις ή οι τεκτονικές διεργασίες δεν είναι τόσο έντονες. Επίσης, από τον χάρτη αυτό διακρίνονται οι μεγάλες κλίσεις στα πρηνή της καλδέρας των ρυοδακτιτικών δόμων του Προφήτη Ηλία, στο κεντρικό τμήμα του νησιού. Πιο αναλυτικά σύμφωνα με την Νομικού 2004, έχουμε:

1. Μέση μορφολογική κλίση 0-15 %.

Οι περιοχές με μικρή μορφολογική κλίση αναπτύσσονται στα χαμηλότερα τμήματα των εξωτερικών πρηνών του ηφαιστείου και ακολουθούν την γεωμετρία της κλίσης των ηφαιστειακών στρωμάτων. Σε μια τέτοια περιοχή μικρής κλίσης έχει αναπτυχθεί και ο οικισμός στο Μανδράκι με φορά κλίσης προς τα Β-ΒΔ. Στο βορειοδυτικό πρηνές του ηφαιστείου επικρατεί μία επιφάνεια, μεγάλης έκτασης με κλίση προς τα ΒΒΔ πάνω στον σχηματισμό της Ανώτερης Κίσσηρης. Επίσης περιοχές με κλίση <15% αναπτύσσονται στο νότιο πρηνές του ηφαιστείου στην περιοχή του όρμου Λευκού πάνω στην Κατώτερη Κίσσηρη ενώ καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο τμήμα των ρυολίθων των Νικιών. Μια ακόμη περιοχή με μικρή σχετικά μορφολογική κλίση αναπτύσσεται και στο ΒΑ τμήμα του εσωτερικού της καλδέρας, στην περιοχή του Αγ. Βασιλείου, ανάμεσα στο ρείθρο της καλδέρας και των ρυοδακτιτών του Προφήτη Ηλία.

2. Μέση μορφολογική κλίση 15-30 %.

Οι περιοχές με μορφολογική κλίση 15-30% εμφανίζονται στο ΒΑ πρηνές της Νισύρου πάνω στα πυροκλαστικά Β και στο νότιο πρηνές του ηφαιστείου πάνω στην Κατώτερη Κίσσηρη ή τις λάβες Β. Μεγαλύτερη έκταση καταλαμβάνουν στο ΝΑ τμήμα του νησιού, μεταξύ των ακρωτηρίων Αυλάκι και Σκαφιδωτή κλίνοντας προς τα ΝΑ, με μέσο υψόμετρο από 100 μέχρι 400μ., πάνω στους ρυολίθους των Νικιών. Μικρότερες εμφανίσεις των περιοχών αυτών εντοπίζονται στο Ακρωτήρι Κατσούνι, στο ΒΑ τμήμα και σποραδικά ανάμεσα στο Μανδράκι και τους Πάλλους. Επιπλέον

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

περιοχές με κλίσεις 15-30% εμφανίζονται στο κατώτερο μέρος των ρυοδακτιών στο ανατολικό τμήμα των εσωτερικών τους πρανών.

3. Μέση μορφολογική κλίση 30-50 %

Οι περιοχές με κλίση 30-50% εμφανίζονται σχεδόν σε όλα τα εξωτερικά πρανή του ηφαιστείου και στα εσωτερικά τοιχώματα της καλδέρας, αποτελώντας μία από τις κύριες τιμές κλίσεων που χαρακτηρίζουν το ηφαίστειο της Νισύρου. Εμφανίζονται κυρίως σε όλο το βόρειο πρανές του ηφαιστείου και αναπτύσσονται είτε πάνω στις λάβες C και D με κλίση προς τα ΒΔ είτε πάνω στην Ανώτερη Κίσσηρη με κλίση προς τα βόρεια. Επίσης, περιοχές με κλίση 30-50% επικρατούν πάνω στα πυροκλαστικά C, στην περιοχή του Μοναστηριού της Παναγιάς Κυράς με γενική κλίση προς τα ΒΑ και γενικότερα κάτω από το χείλος της καλδέρας στα εξωτερικά πρανή, σε μεγάλα υψόμετρα, ακολουθώντας ακτινωτά την κλίση των σχηματισμών που αναπτύσσονται.

4. Μέση μορφολογική κλίση > 50 %

Οι περιοχές με μεγάλες μορφολογικές κλίσεις επικρατούν πάνω στους ρυοδακίτες του Προφήτη Ηλία με διαφορετική φορά κλίσης, μαρτυρώντας το ανώμαλο ανάγλυφο των μετακαλδερικών δόμων. Το απότομο ανάγλυφο των τοιχωμάτων της καλδέρας χαρακτηρίζεται από κλίσεις > 50%, παρουσία πολλών πλευρικών κορημάτων κυρίως στο δυτικό και βόρειο τμήμα τους μαρτυρώντας την ύπαρξη των μεγάλων ρηξιγενών ζωνών F1 και F2. Επιπλέον περιοχές με μεγάλες μορφολογικές κλίσεις εντοπίζονται μεμονωμένα είτε στο βόρειο πρανές του ηφαιστείου εκατέρωθεν των κύριων κλάδων των ποταμών πάνω στην Ανώτερη Κίσσηρη, είτε στο δυτικό πρανές, πάνω στα Πυροκλαστικά της Κυράς, σε ακτινωτή διάταξη με το υδρογραφικό δίκτυο, στην περιοχή Λιές. Μεγάλες μορφολογικές κλίσεις παρατηρούνται σποραδικά σε όλο το μήκος της νότιας ακτής από το ακρωτήριο Λευκός μέχρι το Ακρωτήριο Αυλάκι αλλά και στην περιοχή δυτικά από την Παναγιά Σπηλιανή.

Στην συνέχεια, δημιουργήθηκε χάρτης στον οποίο απεικονίζονται οι περιοχές με μεγάλη μορφολογική κλίση (> 50 %) σε συνδυασμό με τα ενεργά ρήγματα του νησιού, έτσι ώστε να είναι δυνατή η εκτίμηση των περιοχών που αναμένονται να εκδηλωθούν κατολισθήσεις. Από τον χάρτη αυτό, φαίνεται πως επιδρούν τα ενεργά ρήγματα στην διαμόρφωση του αναγλύφου. Τα ρήγματα F1 και F2 οριοθετούν την επίπεδη επιφάνεια στην πεδιάδα Λακκί και δημιουργούν μεγάλες μορφολογικές κλίσεις στα πρανή της καλδέρας. Μεγάλες μορφολογικές κλίσεις παρατηρούνται και

στα τοιχώματα των υδροθερμικών κρατήρων. Στον παρακάτω χάρτη φαίνονται χαρακτηριστικά οι πολύ μεγάλες μορφολογικές κλίσεις που εμφανίζονται γύρω από τον κρατήρα Στέφανο. Επίσης, είναι χαρακτηριστική η παρουσία κορημάτων τόσο στο εσωτερικό της καλδέρας και κυρίως στα ανατολικά εσωτερικά πρηνή, όσο και στα εξωτερικά πρηνή της καλδέρας.

Ένα μεγάλο μέρος της καλδέρας αποτελείται από πυροκλαστικούς σχηματισμούς και κώνους κορημάτων που αποτελούν ζώνες αδυναμίας όσον αφορά φαινόμενα αστάθειας των πρηνών σε συνδυασμό με την μορφολογία, την τεκτονική και τις έντονες σεισμικές εξάρσεις που επηρεάζουν κατά διαστήματα το νησί. Τα πετρώματα στις περιοχές αυτές υπόκεινται σε σημαντικές υδροθερμικές εξαλλοιώσεις εξαιτίας του οξειδωτικού περιβάλλοντος που επικρατεί, από την παρουσία των φουμαρόλων, και έτσι αυξάνεται η πιθανότητα εκδήλωσης κατολισθήσεων. Έτσι λοιπόν, γίνεται κατανοητό πως ο χώρος στο επίπεδο τμήμα της καλδέρας στην πεδιάδα Ραμμός και κυρίως οι περιοχές των υδροθερμικών κρατήρων, αποτελούν σημεία που ενδέχεται να εκδηλωθούν κατολισθήσεις.

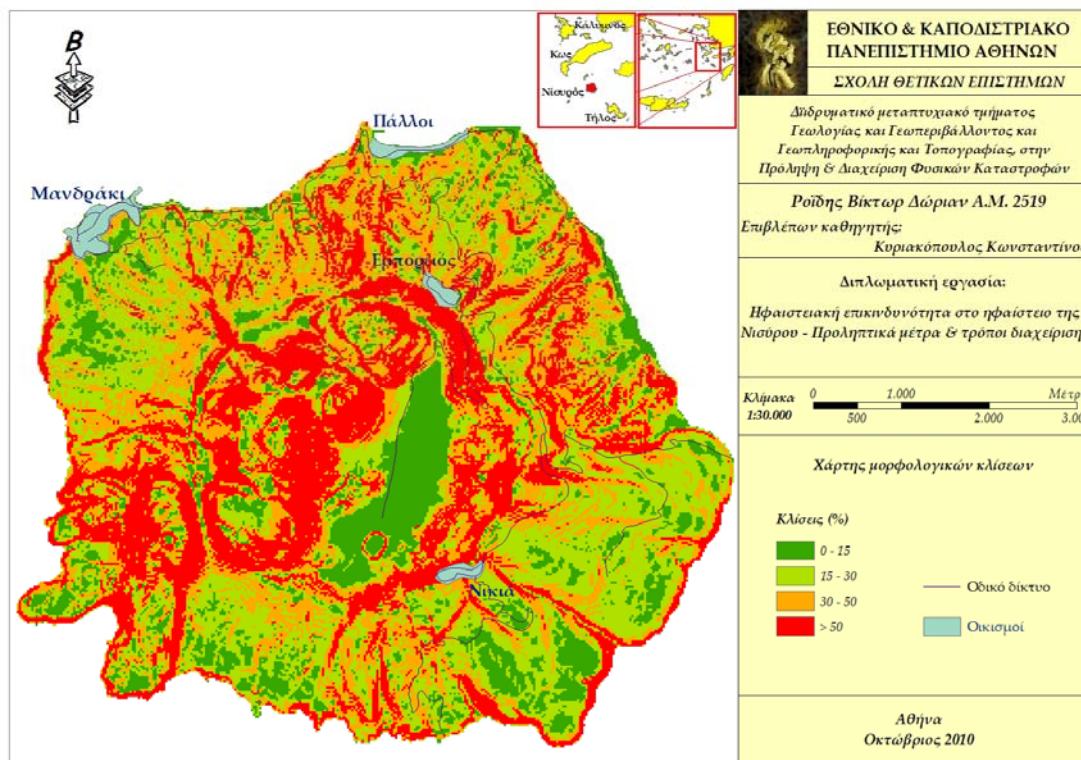
Κατά την διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου, η Νίσυρος και ειδικότερα οι υδροθερμικοί κρατήρες, αποτελούν τόπο έλξης για χιλιάδες τουρίστες, αυξάνοντας έτσι την επικινδυνότητα που σχετίζεται με τις κατολισθήσεις. Το μονοπάτι που οδηγεί στον κρατήρα Στέφανο, διέρχεται παράλληλα από τα τοιχώματα του κρατήρα και δεν υπάρχει κατάλληλη σήμανση και οριοθέτηση του, με αποτέλεσμα να είναι επικίνδυνο στην εμφάνιση κατολισθήσεων, και μπορεί να προκαλέσει τραυματισμούς στους διερχόμενους επισκέπτες ή ακόμα και αποκοπή τους μέσα στον κρατήρα Στέφανο, σε ένα περιβάλλον που δεν ενδείκνυται για πολύωρη παραμονή. Παρόμοιος κίνδυνος εμφανίζεται και στο μονοπάτι που οδηγεί στους κρατήρες Μεγάλος και Μικρός Πολυβώτης. Έτσι, σε περιόδους γεωδυναμικής δραστηριότητας, ο χώρος μέσα στην καλδέρα, στην πεδιάδα Ραμμός, θα πρέπει να παραμείνει κλειστός για τους κατοίκους και τους επισκέπτες της Νισύρου. Επίσης στις περιόδους αυτές, θα πρέπει να δοθεί προσοχή στα εξωτερικά πρηνή της καλδέρας, κυρίως στα βορειο-ανατολικά και βορειο-δυτικά, όπου συνδυάζονται οι μεγάλες μορφολογικές κλίσεις με την παρουσία κορημάτων, αν και στις περιοχές αυτές η ανθρώπινη δραστηριότητα είναι περιορισμένη.

Επίσης, ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στους οικισμούς Εμπορείο και Νικιά. Ο οικισμός Εμπορείο, βρίσκεται στο εξωτερικό χείλος της καλδέρας και έχει κτιστεί πάνω σε ηφαιστειακό δόμο με κλίση 30-50% πάνω στις λάβες C. Ο σεισμός

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

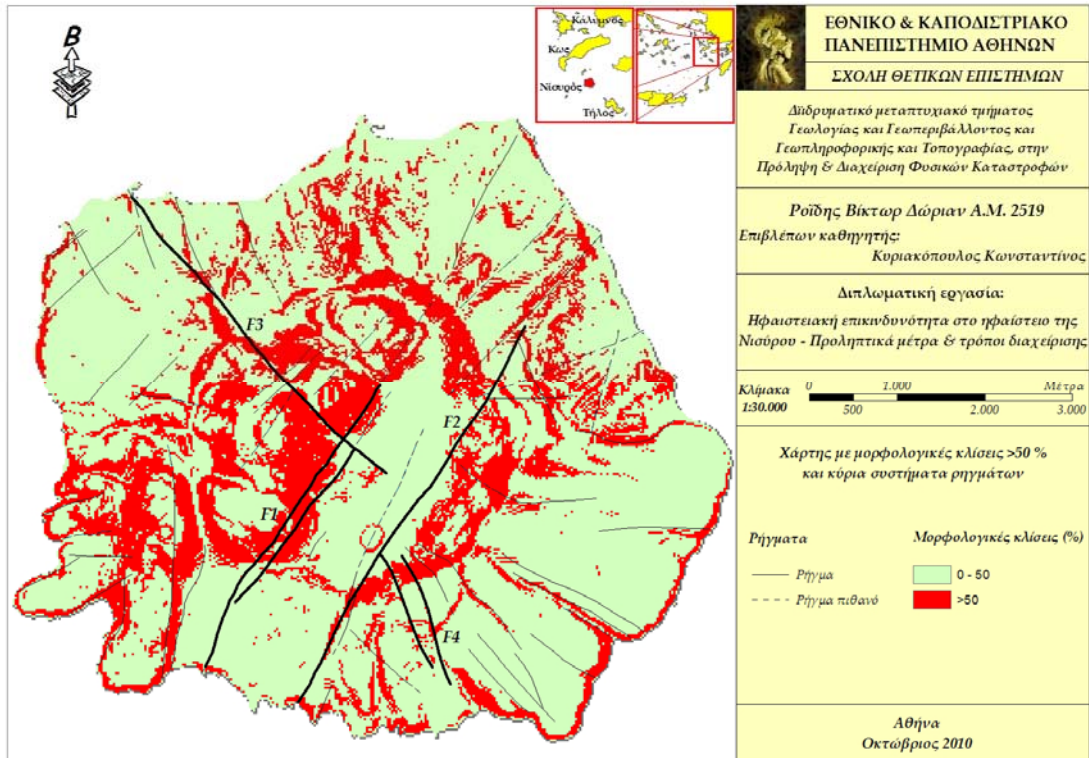
στις 23 Απριλίου του 1933 προκάλεσε σοβαρές ζημιές στο Εμπορείο, με αποτέλεσμα ο μισός οικισμός να εγκαταλειφθεί. Τα Νικιά βρίσκονται και αυτά στο εξωτερικό χείλος της καλδέρας πάνω στους ρυόλιθους με μορφολογική κλίση 30-50% και οροθετούνται από την ρηξιγενή ζώνη F4. Το γεγονός πως η Νίσυρος βρίσκεται σε ένα χώρο υψηλής γεωδυναμικής δραστηριότητας καθιστά επιτακτική την ανάγκη για διεξαγωγή ειδικών μελετών ευστάθειας πρανών σε ευαίσθητες περιοχές, που μπορούν να διαταράξουν την λειτουργικότητα και τους ρυθμούς ανάπτυξης και ζωής της Νισύρου.

Τέλος, ένα σημείο που ενδέχεται να εμφανίσει κατολισθήσεις είναι στο μονοπάτι που οδηγεί στην παραλία παχιά άμμος. Δεκάδες τουρίστες, στην πλειοψηφία τους νέοι, επισκέπτονται και κατασκηνώνουν στην παραλία αυτή. Από την ξηρά υπάρχει μόνο ένα στενό μονοπάτι που οδηγεί στην παραλία και αυτό διέρχεται μέσα από μεγάλες μορφολογικές κλίσεις ($> 50\%$). Αν και το μονοπάτι περνάει πάνω από τις λάβες C, οι υπερκείμενες πυροκλαστικές αποθέσεις μπορεί να εκδηλώσουν κατολισθήσεις. Ο κίνδυνος τραυματισμού σε μια τέτοια περίπτωση είναι μεγάλος. Επίσης μπορεί να αποκόψει τους επισκέπτες στην παραλία και ο μόνος τρόπος διαφυγής είναι από την θάλασσα.



Εικόνα 49 Χάρτης μορφολογικών κλίσεων της Νισύρου (βλέπε παράρτημα).

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.



Εικόνα 50 Χάρτης μορφολογικών κλίσεων και ρηξιγενών ζωνών της Νισύρου (βλέπε παράρτημα).



Εικόνα 51 Ασύνδετοι ηφαιστειακοί σχηματισμοί της περιοχής παναγιάς Κυράς στο βόρειο ανατολικό τμήμα της νήσου. Τα πετρώματα αποτελούνται από εναλλαγές λάβας και τόφφων. Σε μερικά στρώματα παρατηρούνται και λιθάρια συσσωμάτωσης (accretional lapilli) τα οποία δημιουργούνται κατά την κύρια εκρηκτική φάση του ηφαιστείου. Το μονοπάτι οδηγεί στην παραλία Παχιά Άμμος.

3.7 Κίνδυνος θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας Tsunami

Τα θαλάσσια κύματα βαρύτητας, που παράγονται σε ζώνες σεισμικής διάρρηξης, γνωστά επίσης και ως tsunamis (από την αντίστοιχη Ιαπωνική λέξη), είναι μακράς περιόδου ελαστικά κύματα (15-30 min) τα οποία ταξιδεύουν μέσα στο ρηχό θαλάσσιο στρώμα με ταχύτητα που εξαρτάται από το βάθος του θαλασσίου στρώματος και είναι κινούνται με ταχύτητα 200m/sec. Αυτά τα κύματα δημιουργούνται κυρίως στην εστία ρηχών και ισχυρών υποθαλάσσιων σεισμών και παράγονται από την κατακόρυφη συνιστώσα της μετατόπισης του θαλάσσιου πυθμένα κατά την διάρκεια της σεισμικής δόνησης.

Η συνηθέστερη αιτία γένεσης θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας, είναι οι σεισμοί που συνοδεύουν την ενεργοποίηση υποθαλάσσιων ρηγμάτων, τα οποία μετατοπίζουν την επιφάνεια του πυθμένα κατά μερικά μέτρα και προκαλούν αιφνίδια μετατόπιση τεραστίων ποσοτήτων νερού, το οποίο μετακινείται προς εξισορρόπηση της νέας γεωμετρίας που προέκυψε από την παραμόρφωση του σεισμογόνου ρήγματος.

Το αίτιο επομένως είναι στον πυθμένα της θάλασσας στο όριο μεταξύ λιθόσφαιρας και υδρόσφαιρας, σε αντίθεση με τα συνήθη κύματα της επιφάνειας της θάλασσας, τα οποία οφείλονται στην αλληλεπίδραση υδρόσφαιρας και ατμόσφαιρας.

Η διαφορετική αυτή προέλευση δημιουργεί και διαφορετικά χαρακτηριστικά, όπως η μεγάλη αύξηση του μεγέθους των κυμάτων βαρύτητας στην παράκτια αβαθή ζώνη ενώ στο εσωτερικό του ωκεανού το μέγεθος των κυμάτων είναι μικρό. Η σχέση των κυμάτων βαρύτητας με τους σεισμούς είναι ανάλογη της σεισμικής ολίσθησης που γίνεται κατά μήκος του ρήγματος. Δεδομένου ότι θα πρέπει να υπάρξει σημαντική μετατόπιση του πυθμένα κατά πολλές δεκάδες εκατοστών του μέτρου έως μερικά μέτρα, το μέγεθος του υποθαλάσσιου σεισμού πρέπει να είναι άνω του 6,5-7 R.

Επίσης, τα tsunami μπορούν να δημιουργηθούν σε υποθαλάσσιους ηφαιστειακούς χώρους όπως είναι η Νίσυρος και ο χώρος γύρω από το νησί. Άλλη μία αιτία γένεσης κυμάτων βαρύτητας είναι η υποθαλάσσια κατολίσθηση μεγάλων μαζών σε ασταθή υποθαλάσσια πρηνή μεγάλης μορφολογικής κλίσης με έντονη τεκτονική δραστηριότητα, η οποία μπορεί να προκαλέσει ενεργοποίηση της κατολίσθησης. Τα υποθαλάσσια αυτά πρηνή μπορούν να παρατηρηθούν είτε κατά

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

μήκος μεγάλων ρηγμάτων που οριοθετούν την υφαλοκρηπίδα είτε στην περιφέρεια ηφαιστειακών δόμων. Το μέγεθος των κυμάτων είναι ανάλογο με τη μάζα της κατολίσθησης και το μέγεθος της μετατόπισης πάνω στον πυθμένα. Επίσης, κύματα βαρύτητας μπορούν να δημιουργηθούν από ηφαιστειακή έκρηξη στον υποθαλάσσιο χώρο.

Η μελέτη των Tsunami είναι μεγάλου ενδιαφέροντος γιατί τέτοια θαλάσσια κύματα δημιουργούν μεγάλες καταστροφές σε παράκτιες περιοχές.

Η Νίσυρος και ο ευρύτερος χώρος γύρω από αυτή (Κω-Νίσυρος-Τήλος), είναι ένας χώρος όπου μπορεί να έχουμε εκδήλωση θαλάσσιων κυμάτων βαρύτητας και που μπορεί να απειλήσουν τις ακτές της Νισύρου και κυρίως τον κύριο οικισμό του νησιού που είναι και το λιμάνι, το Μανδράκι.

Τα tsunamis δεν είναι επικίνδυνα στην ανοιχτή θάλασσα, αλλά όταν φτάνουν παραθαλάσσιες περιοχές προκαλούν μεγάλες ζημιές (στα πλοία, στα λιμάνια, ανθρώπινες απώλειες), κυρίως όταν ταξιδεύουν σε στενούς κόλπους. Η ενέργεια ενός tsunami είναι συνήθως ίση με το 1/ 10 της σεισμικής ενέργειας του σεισμού που παρήγαγε το tsunami. Διάφορες κλίμακες έχουν προταθεί για την μέτρηση του μεγέθους του tsunami. Ο καθορισμός αυτών των μεγεθών είναι κυρίως βασισμένος στο ύψος των θαλάσσιων κυμάτων. Πολλές κλίμακες της έντασης ενός tsunami, K , βασισμένες στις μακροσεισμικές επιδράσεις αυτών των κυμάτων, έχουν επίσης προταθεί. Μία τέτοια κλίμακα έξι βαθμών (I,II,III,IV,V,VI), έχει προταθεί από τον Sieberg και τροποποιήθηκε από τον Ambraseys (1962).

Υπάρχει μόνο ένα καταγεγραμμένο γεγονός tsunami στον ευρύτερο χώρο Κω-Νισύρου-Τήλου (B.Papazachos, The earthquakes of Greece, 1997), το οποίο συνέβη τον Αύγουστο του 556 μ.Χ.

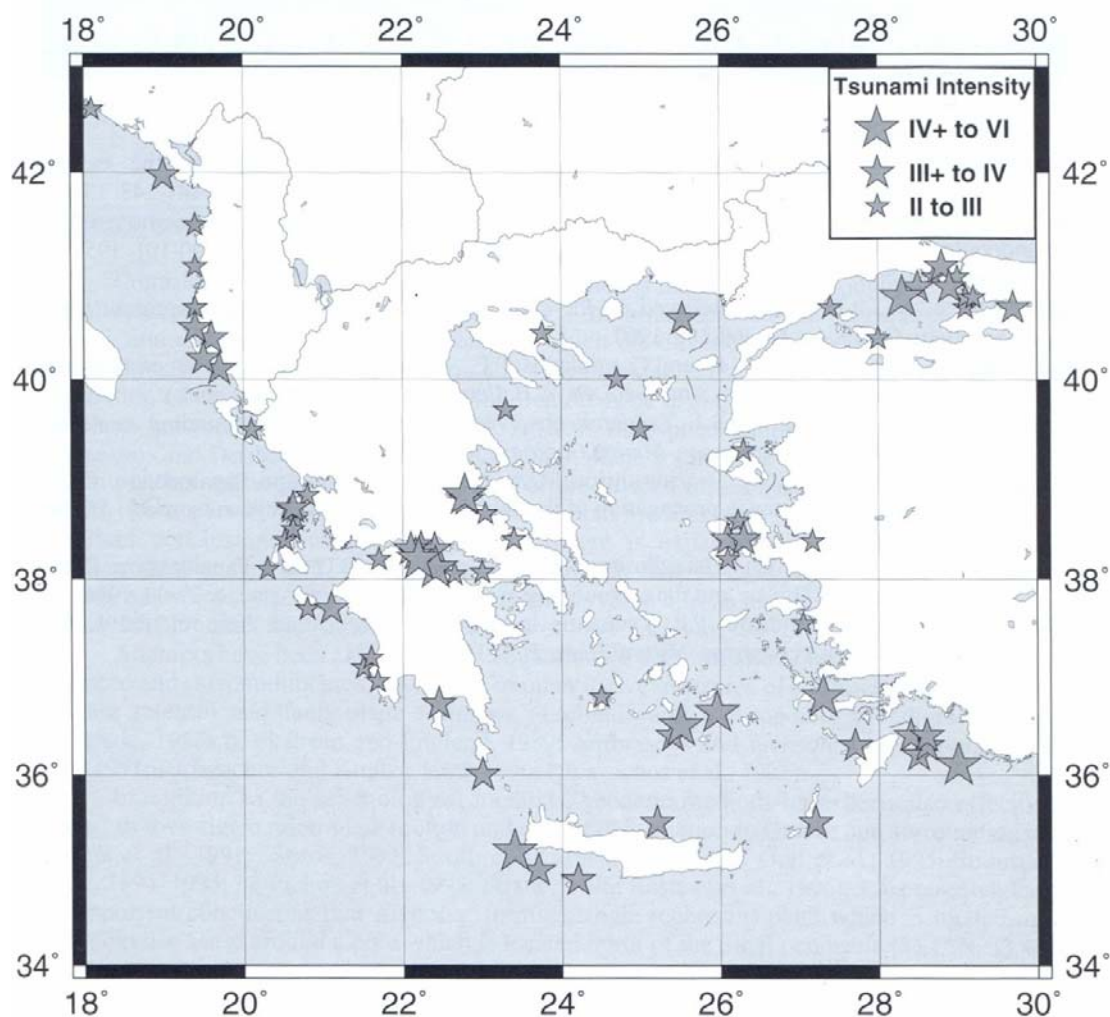
Το μέγεθος του σεισμού που προκάλεσε το tsunami ήταν $M=7,0$ και οι συντεταγμένες του επικέντρου ($\varphi=36,8^\circ$, $\lambda=27,3^\circ$). Η περιοχή που είχαμε την γέννηση του tsunami ήταν ο θαλάσσιος χώρος γύρω από την Κω και η περιοχή με την μεγαλύτερη παρατηρούμενη ένταση του ήταν οι ακτές της νήσου Κω. Το tsunami είχε ένταση $K_0=IV$.

Ο Αγαθίας, που αποβιβάστηκε στην Κω όταν γυρνούσε με πλοίο από την Αλεξάνδρεια προς την Κωνσταντινούπολη, σημειώνει ότι εκτός από ένα πολύ μικρό σημείο του νησιού, πρακτικά τίποτα δεν έμεινε όρθιο και πως η καταστροφή ήταν τεράστια.

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

Η θάλασσα σηκώθηκε σε ένα φανταστικό ύψος και καταπόντισε όλα τα κτίρια κοντά στην ακτή, καταστρέφοντας τα μαζί με ότι αυτά περιείχαν και μαζί και τους κατοίκους τους.

Σχεδόν όλοι οι κάτοικοι πέθαναν ακαριαία (Georgiades, 1904; Antoniadis, 1907; Guidoboni et al., 1994). Ο Sieberg (1932a,b) αναφέρει ότι αυτός ο σεισμός κατάστρεψε το Σχολείο της Ιατρικής (Ιερό του Ασκληπιού) το οποίο ανεγέρθηκε το 400 π.Χ και βρισκόταν 3,5km δυτικά της πόλης.



Εικόνα 52. Πηγές θαλασσίων κυμάτων βαρύτητας από ισχυρούς σεισμούς στην Ελλάδα. Το μέγεθος των αστεριών αντιστοιχεί στην μέγιστη παρατηρούμενη ένταση.

Φυσικά δεν γνωρίζουμε το κατά πόσο επηρέασε την νήσο Νίσυρο το tsunami του 556 μ.Χ αλλά προφανώς καταλαβαίνουμε πως έχουμε έναν φυσικό κίνδυνο που απειλεί τον ευρύτερο χώρο Κω-Νισύρου-Τήλου και που κατάστρεψε την πόλη της Κω στο παρελθόν.

Αυτό που μας ενδιαφέρει στην παρούσα φάση είναι η προστασία του λιμανιού της Νισύρου από ένα επικείμενο tsunami γιατί το Μανδράκι, είναι ο

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

μεγαλύτερος οικισμός της Νισύρου με σχεδόν όλο τον πληθυσμό του νησιού συγκεντρωμένο εκεί.

Επίσης αναγκαία είναι η εξειδικευμένη επιστημονική γνώση σε θέματα θαλασσίων κυμάτων βαρύτητας και η εκτίμηση μίας μελλοντικής απειλής από tsunami στη νήσο Νίσυρο.

Μετά από μία εμπειριστατωμένη επιστημονική άποψη για την πιθανότητα και την δυναμική ενός θαλάσσιου κύματος βαρύτητας στη Νίσυρο θα μπορούν να εκπονηθούν έργα και μέτρα πρόληψης για το Μανδράκι.

Κεφάλαιο 4. Παρακολούθηση των ηφαιστειακών αερίων.

4.1 Γενικά

Στους επιστήμονες ήταν ήδη γνωστή η συνεισφορά των αερίων φάσεων, που προέρχονται από το μάγμα, και τον ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο που διαδραματίζουν σε όλες γενικά τις εξελικτικές φάσεις ενός ηφαιστείου, μα μόλις πρόσφατα χρησιμοποιήθηκαν νέες τεχνικές που επιτρέπουν μετρήσεις “ρουτίνας” των διάφορων τύπων αερίων που εκλύονται στην ατμόσφαιρα (USGS). Οι γεωφυσικές μέθοδοι είναι ευρέως διαδεδομένες στην παρακολούθηση των ηφαιστειών, σε σχέση με την γεωχημική παρακολούθηση, η οποία δεν χρησιμοποιείται συχνά και στερείται γενικής αποδοχής στην κοινωνία των ηφαιστειολόγων. Στο παρελθόν, η δειγματοληψία και ανάλυση των ηφαιστειακών αερίων από τις φουμαρόλες, δεν γίνονταν συνεχόμενα, με χρονικά διαστήματα ανάμεσα από τις μετρήσεις της τάξης των βδομάδων ή ακόμα και μηνών. Οποιοσδήποτε βραχυπρόθεσμες μεταβολές στις γεωχημικές παραμέτρους δεν γίνονται αντιληπτές. Χωρίς αμφιβολία, αυτές οι χαμηλές συχνότητες δειγματοληψίας, δεν επιτρέπουν την επαρκή σύγκριση των δεδομένων των αερίων με άλλες πληροφορίες (π.χ. από σεισμικά δεδομένα). Έτσι συστήματα συνεχόμενης παρακολούθησης, τα οποία είναι επιτυχώς αναπτυγμένα και ορθά εφαρμοσμένα στο πεδίο, μπορούν να βελτιώσουν την αντίληψη των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε ηφαιστειακά συστήματα (Teschner et al, 2005).

Συνήθως το πρώτο πράγμα που παρατηρεί κανείς όταν επισκεφτεί κάποιο ηφαίστειο είναι τα θειικά-θειώδη ηφαιστειακά αέρια και ο ορατός ατμός. Επίσης, στην ατμόσφαιρα εκλύονται και άλλα αέρια, τα οποία δεν είναι ορατά, μέσα από θερμές ατμίδες, ενεργούς αγωγούς και από πορώδη εδάφη. Τα αέρια εκλύονται κατά την διάρκεια της ανόδου του μάγματος και κατά την έκρηξη αλλά και όταν αυτό ψύχεται και κρυσταλλώνεται κάτω από το έδαφος.

Ο πρωταρχικός στόχος στην παρακολούθηση των αερίων είναι να καθοριστούν οι αλλαγές στην έκλυση συγκεκριμένων αερίων από το ηφαίστειο, κυρίως διοξείδιο του άνθρακα και διοξείδιο του θείου. Ενδεχόμενες αλλαγές μπορούν να συγκριθούν και με άλλες μεθόδους παρακολούθησης, ώστε να κατανοηθούν

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

καλύτερα οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα σε ένα ηφαίστειο και να γίνει μια έγκαιρη προειδοποίηση για μια επερχόμενη έκρηξη. Τα τελευταία χρόνια οι επιστήμονες επικεντρώνονται στην μελέτη των ηφαιστειακών αερίων εξαιτίας των κινδύνων που εγκυμονούν καθώς και των επιπτώσεών τους στην γήινη ατμόσφαιρα και στο κλίμα.

4.2 Το ενδιαφέρον που παρουσιάζουν τα ηφαιστειακά αέρια.

Η δειγματοληψία και οι μετρήσεις των αερίων που εκλύονται από τα ηφαίστεια είναι ιδιαίτερα δύσκολη ειδικά τις περιόδους αφύπνισής τους. Η απευθείας δειγματοληψία αερίων απαιτεί την επίσκεψη επιστημόνων στις φουμαρόλες ή κάποιον ενεργό αγωγό, που βρίσκεται συνήθως στις πλαγιές του ηφαιστείου ή στο πυθμένα του κρατήρα. Η απομακρυσμένη τοποθεσία των περιοχών δειγματοληψίας, έντονα και συχνά επικίνδυνα ατμιδικά φαινόμενα, δυσμενείς καιρικές συνθήκες αλλά και η πιθανότητα μιας ξαφνικής έκρηξης καθιστούν ορισμένες φορές την τακτική λήψη δειγμάτων αδύνατη και ενίοτε επικίνδυνη.

Η μέτρηση των αερίων εξ αποστάσεως είναι δυνατή αλλά απαιτεί ιδανικές καιρικές συνθήκες και την διαθεσιμότητα ενός κατάλληλου αεροσκάφους ή ενός οδικού δικτύου γύρω από το ηφαίστειο. Απαιτούνται επίσης ιδανικές διευθύνσεις ανέμων που να μεταφέρουν τα αέρια από τους αγωγούς που εκλύονται, σε μέρη που μπορούν τα μετρηθούν. Σε μερικές περιπτώσεις είναι δυνατή η επί τόπου αυτοματοποιημένη παρακολούθηση αερίων. Ωστόσο, σε διαβρωτικά περιβάλλοντα, μόνο λίγοι αισθητήρες παραμένουν διαθέσιμοι για την συνεχόμενη καταγραφή των συγκεντρώσεων συγκεκριμένων αερίων.

Οι επιστήμονες έχουν να αντιμετωπίσουν άλλη μία πρόκληση που αφορά στην διαλυτότητα των όξινων αερίων όπως για παράδειγμα, του διοξειδίου του θείου (SO_2) στο νερό. Έτσι, ηφαίστεια που βρίσκονται μέσα στο νερό ή ηφαίστεια που έχουν συγκεντρωμένες μεγάλες ποσότητες κάτω από την επιφάνεια τους, μπορούν να αποτρέψουν τους επιστήμονες να καταγράψουν την εκπομπή των όξινων αερίων καθώς το μάγμα ανέρχεται στην επιφάνεια ακόμα και μετά από μια έκρηξη. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) δεν επηρεάζεται από την παρουσία νερού και έτσι είναι αναγκαία η μέτρηση των εκπομπών του όταν ένα ηφαίστειο αρχίζει να “αφυπνίζεται”

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

ή κατά την διάρκεια των εκρήξεων, για να προσδιοριστεί αν λαμβάνει χώρα σημαντική απαέρωση του μάγματος.

4.3 Καταγραφή του ρυθμού των εκπομπών των αερίων σε ηφαιστειακά νέφη.

Ο ρυθμός με τον οποίο απελευθερώνονται τα αέρια από το ηφαίστειο στην ατμόσφαιρα (που συνήθως εκφράζεται σε τόνους ανά ημέρα metric tonnes per day) συσχετίζεται με την ποσότητα μάγματος που υπάρχει στον μαγματικό θάλαμο τροφοδοσίας και στο υδροθερμικό του σύστημα. Μετρώντας τις αλλαγές στον ρυθμό εκπομπής ορισμένων αερίων, κυρίως SO₂ και CO₂, οι επιστήμονες μπορούν να κατανοήσουν τις αλλαγές που πραγματοποιούνται στον μαγματικό θάλαμο και στο υδροθερμικό σύστημα. Οι ρυθμοί εκπομπής του διοξειδίου του θείου και του διοξειδίου του άνθρακα μπορούν να καταγραφούν με επίγεια μέσα ή με την προσαρμογή των αισθητήρων σε κατάλληλα αεροπλάνα. Στην διάρκεια μεγάλων εκρήξεων, το διοξείδιο του θείου διοχετεύεται ψηλά στην ατμόσφαιρα και μπορεί να καταγραφεί από ευαίσθητους αισθητήρες που βρίσκονται σε ορισμένους δορυφόρους. Οι επιστήμονες μπορούν να υπολογίσουν τον ρυθμό εκπομπής ή την απελευθέρωση αερίων, μετρώντας την ποσότητα των αερίων που συγκεντρώνονται μέσα σε ένα ηφαιστειακό νέφος, καθώς και την ταχύτητα του ανέμου. Προκειμένου να μετρηθεί η ποσότητα κάποιου αερίου σε ένα ηφαιστειακό νέφος, εφαρμόζονται αρκετές μέθοδοι. Η μία αφορά στην μέτρηση της ποσότητας του διοξειδίου του θείου (SO₂) σε ένα νέφος με ένα οπτικό φασματογράφο (optical correlation spectrometer COSPEC), ο οποίος καταγράφει τις μετρήσεις μετακινώντας το όργανο κάτω από το ηφαιστειακό νέφος. Το όργανο αυτό μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα αεροπλάνο ή και σε αυτοκίνητο, εάν υπάρχει κατάλληλο οδικό δίκτυο γύρω από το ηφαίστειο. Η ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) σε ένα ηφαιστειακό νέφος, μπορεί να μετρηθεί με έναν μικρό υπέρυθρο αναλυτή (infrared analyzer [LI-COR]), ο οποίος τοποθετείται σε αεροπλάνο. Το όργανο πετάει μέσα από το νέφος αρκετές φορές έτσι ώστε να λαμβάνονται συνεχόμενα τα δείγματα από ολόκληρη τη διατομή του νέφους. Μια τρίτη μέθοδος που χρησιμοποιείται για την μέτρηση αερίων σε ηφαιστειακά νέφη, περιλαμβάνει έναν υπέρυθρο φασματογράφο (Fourier Transform infrared spectrometer system [FTIR]), το οποίο και αυτό λαμβάνει συνεχόμενα τα δείγματα των αερίων σε ηφαιστειακά νέφη.

Πίνακας 6 Οι φασματογραφικές μέθοδοι για καταγραφή των ηφαιστειακών αερίων. Πηγή: Clive Oppenheimer & McGonigle, 2004.

Table I. Overview of spectroscopic methods for ground-based optical sensing of volcanic gases.

Instrument	Transport methods	Volcanic gas species detectable	Flux measurements (Yes/No)
COSPEC	car, aircraft, boat	SO ₂	Yes
UV grating spectrometers (e.g., Ocean Optics USB 2000)	on foot, car, aircraft, boat	SO ₂ , H ₂ S, BrO	Yes
FTIR (e.g., Brucker OPAG 22, MIDAC AM series)	car	CO ₂ , CO, OCS, CH ₄ , SO ₂ , H ₂ O, HCl, HF, SiF ₄	Yes (with sun-tracker)
Other NDIR (e.g., LI-COR CO ₂ analysers)	on foot, aircraft	CO ₂ , H ₂ O	Yes (by plume profiling or ground flux surveys)
DIAL (i.e., using atmospheric backscatter to return signal)	truck, ship	SO ₂ , other species feasible	Yes
Laser spectroscopy (short path, extractive)	car	as FTIR plus isotopes	No

4.4 Απευθείας δειγματοληψία αερίων και ανάλυση στο εργαστήριο.

Η απευθείας δειγματοληψία των αερίων που εκλύονται από φουμαρόλες είναι, προς το παρόν, ο μοναδικός τρόπος για να χαρακτηριστεί πλήρως η σύνθεση των αερίων, που εκλύονται από ένα ηφαίστειο και για να πραγματοποιηθεί η συλλογή δεδομένων που είναι αναγκαία για τον καθορισμό της προέλευσης συγκεκριμένων αερίων. Δυστυχώς, η απευθείας δειγματοληψία αερίων δεν παρέχει πληροφορίες σχετικά με τους ρυθμούς εκπομπής διαφορετικών αερίων. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος για την δειγματοληψία ηφαιστειακών αερίων είναι η απευθείας συλλογή τους από τις φουμαρόλες-ατμίδες σε φιαλίδια που περιέχουν ειδικό διάλυμα και έπειτα η ανάλυση του δείγματος στο εργαστήριο.



Εικόνα 53 Δειγματοληψία αερίων στο ηφαίστειο Mageik στην Αλάσκα. Το αέριο μεταφέρεται μέσα από μεταλλικό σωλήνα που έχει τοποθετηθεί μέσα σε μια φουμαρόλη και στην συνέχεια αναλύεται στο εργαστήριο (USGS).

4.5 Συνεχής *in situ* παρακολούθηση των αερίων.

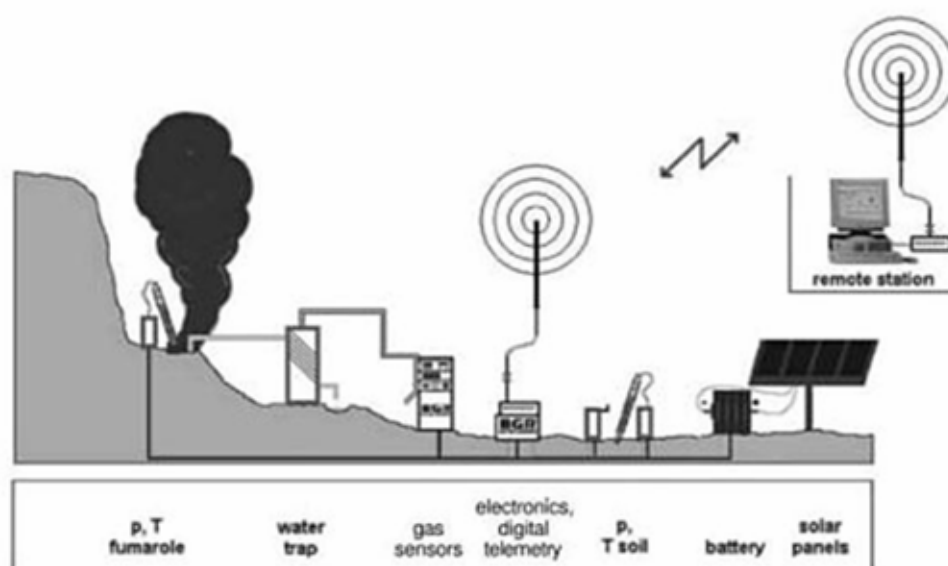
Με την συνεχή παρακολούθηση των αερίων ενός ηφαιστείου είναι δυνατό να εντοπιστούν τόσο μικρής διάρκειας γεγονότα απελευθέρωσης αερίων, που μπορούν να διαρκέσουν από λεπτά έως ώρες, όσο και μακροπρόθεσμες αλλαγές οι οποίες λαμβάνουν χώρα μερικές μέρες έως χρόνια. Η συνεχόμενες και αυτοματοποιημένες μετρήσεις αερίων σε ένα ηφαίστειο μπορούν να πραγματοποιηθούν απευθείας στις φουμαρόλες, στον αέρα γύρω από τις ενεργές φουμαρόλες και στο έδαφος. Σε κάθε πεδίο μέτρησης αερίων, ένας ή περισσότεροι αισθητήρες μετρούν τις συγκεντρώσεις συγκεκριμένων ηφαιστειακών αερίων, όπως το διοξείδιο του θείου και το διοξείδιο του άνθρακα, σε διαστήματα κάποιων λεπτών και στην συνέχεια μεταδίδουν τα δεδομένα μέσω ασυρμάτου, δορυφόρου ή τηλεφωνικής γραμμής σε κάποιο ηφαιστειακό παρατηρητήριο κοντά στην περιοχή. Οι αισθητήρες αυτοί, μπορούν να καταγράφουν σε αληθινό χρόνο τις όποιες αλλαγές, που μπορούν να παρατηρηθούν, στις συγκεντρώσεις των αερίων.

Στην Νίσυρο, το πρώτο σύστημα παρακολούθησης, το οποίο καταγράφει σε αληθινό χρόνο ηφαιστειολογικές παραμέτρους, εγκαταστάθηκε στα πλαίσια ενός ερευνητικού προγράμματος από το I.G.M.E. σε συνεργασία με το ομοσπονδιακό ινστιτούτο γεωεπιστήμης και φυσικών πόρων Γερμανίας BGR (Bundesanstalt für

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

Geowissenschaften und Rohstoffe) (Teschner et al, 2005). Το σύστημα αυτό τοποθετήθηκε σε μία από τις ενεργές φουμαρόλες του κρατήρα Μικρός Πολυβώτης. Η εγκατάσταση των μηχανημάτων ξεκίνησε τον Απρίλιο και ολοκληρώθηκε τον Νοέμβριο του 2003. Ο πολύ-παραμετρικός σταθμός παρακολούθησης είναι εξοπλισμένος με τα παρακάτω εξαρτήματα:

- Αισθητήρες που μετρούν την θερμοκρασία των αερίων στις φουμαρόλες και στα περιβάλλοντα εδάφη.
- Αισθητήρες που μετρούν την φουμαρολική και ατμοσφαιρική πίεση.
- Ένα σύστημα που αφαιρεί τους υδρατμούς.
- Γεωχημικούς αισθητήρες αερίων που καταγράφουν το διοξείδιο του άνθρακα, το υδρόθειο και το ραδόνιο.
- Ένα σύστημα ηλεκτροδότησης που περιλαμβάνει ηλιακές και εφεδρικές μπαταρίες.
- Ψηφιακή τηλεμετρία προς έναν απομακρυσμένο σταθμό που είναι εγκατεστημένος στο χωριό Εμπορειό. Από εκεί η σύνδεση με τα γραφεία της B.G.R. και του I.G.M.E. γίνεται μέσω τηλεφωνικής γραμμής.
- Λογισμικό της B.G.R., που ελέγχει όλα τα εξαρτήματα του συστήματος παρακολούθησης και αποθηκεύει τα μετρούμενα δεδομένα.



Εικόνα 54 Σχεδιάγραμμα της διάταξης των οργάνων του συστήματος παρακολούθησης των αερίων στην Νίσυρο.

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

Ένα τέτοιο πεδίο μετρήσεων που λειτουργεί υπό το USGS (United States Geological Survey) είναι εγκατεστημένο στα όρια του κρατήρα Halemaumau στην καλδέρα του ηφαιστείου Kilauea στην Χαβάη.

Το USGS διεξάγει την συνεχόμενη παρακολούθηση αερίων, στο ηφαιστειακό παρατηρητήριο στη Χαβάη (Hawaiian Volcano Observatory, HVO), προκειμένου να αποτιμήσει την παρούσα εκρηκτική δραστηριότητα και τους κινδύνους που υφίστανται στα ηφαίστεια Kilauea και Mauna Loa, αλλά και να βοηθήσει στο να κατανοηθεί ο τρόπος που αυτά αλλά και άλλα ηφαίστεια λειτουργούν. Τα ηφαίστεια της Χαβάης, εξαιτίας της εκρηκτικής τους φύσης και της εύκολης πρόσβασης, αποτελούν ένα ιδανικό πεδίο μετρήσεων που μπορούν να αναπτυχθούν καινούργιες τεχνικές παρακολούθησης αερίων. Μια από τις τεχνικές αυτές είναι και η συνεχόμενη παρακολούθηση των ηφαιστειών.



Εικόνα 55 Αριστερά: Μια από τις μεθόδους παρακολούθησης που εφαρμόζονται στο ηφαίστειο Kilauea. Δεξιά: Ο περιβαλλοντικός σταθμός παρακολούθησης που είναι εγκατεστημένος στο ηφαίστειο Kilauea και λειτουργεί υπό τις υπηρεσίες εθνικών πάρκων (National Park Service) και από το USGS. Πηγή: USGS)

Στην παραπάνω εικόνα απεικονίζεται μια από τις μεθόδους παρακολούθησης κοντά στον ηφαιστειακό αγωγό Pu'u 'Ō'o (ο κώνος στο φόντο) που βρίσκεται στην ανατολική ζώνη διάρρηξης στο ηφαίστειο Kīlauea. Ένας μικρός υπολογιστής ελέγχει τα όργανα τα οποία λαμβάνουν περιοδικά δείγματα του αέρα με ειδικούς αισθητήρες, που μετρούν τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου και του διοξειδίου του άνθρακα, και με αισθητήρες ανέμου μετρούν την ταχύτητα και διεύθυνση του αέρα. Τα δεδομένα του σταθμού αυτού, που λειτουργεί με ηλιακή ενέργεια, μεταδίδονται στο ηφαιστειακό παρατηρητήριο της Χαβάης κάθε 10 λεπτά, παρέχοντας έτσι δεδομένα σε σχεδόν αληθινό χρόνο. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ένας περιβαλλοντικός σταθμός παρακολούθησης που είναι εγκατεστημένος στο ηφαίστειο Kīlauea. Ο σταθμός αυτός λειτουργεί υπό τις υπηρεσίες εθνικών πάρκων (National Park Service) και από το U.S.G.S.. Ο σταθμός έχει την δυνατότητα καταγραφής των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του θείου σε κομμάτια ανά εκατομμύριο (parts per billion) και παρέχει πληροφορίες για τις επιπτώσεις των ηφαιστειακών εκπομπών στην ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα. Δεδομένα από τον σταθμό αυτό επιβεβαιώνουν την σημασία της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου, στην γεωγραφική κατανομή και συγκέντρωση της ηφαιστειακής μόλυνσης στην ατμόσφαιρα. Όταν η διεύθυνση του ανέμου είναι τέτοια, οι εκπομπές του ηφαιστείου επιδρούν στις γειτονικές κατοικημένες περιοχές. Το USGS καταδεικνύει ότι, τα τελευταία 13 χρόνια, πάνω από 80 φορές τα δεδομένα από την περιοχή αυτή έχουν δείξει υπέρβαση του ορίου υγείας για το SO₂, που ορίζεται στα 145 ppb. Ένα σύστημα προειδοποίησης που χρησιμοποιεί τα δεδομένα του σταθμού αυτού και πληροφορεί το προσωπικό του Εθνικού Πάρκου της Χαβάης, για την παρουσία πιθανών ανθυγιεινών συγκεντρώσεων κατά την διάρκεια επεισοδίων με πολύ φτωχή ποιότητα αέρα.

4.6 Μετρήσεις διαφυγής αερίων από το έδαφος

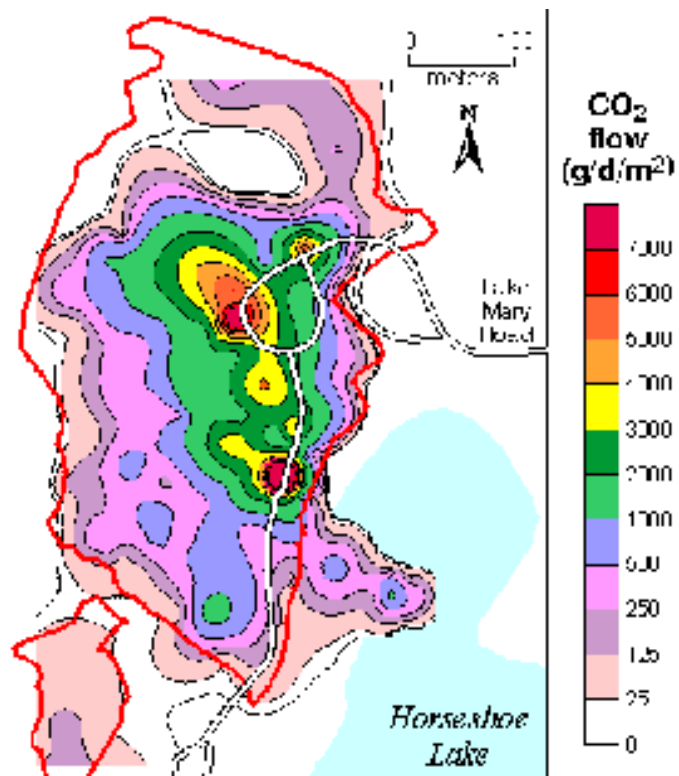
Οι μετρήσεις των εκροών του εδάφους μπορούν να πραγματοποιηθούν σε περιοχές όπου τα ηφαιστειακά αέρια, συνήθως το διοξείδιο του άνθρακα, ανέρχονται από τα βάθη και εκλύονται στα ανώτερα στρώματα του εδάφους κοντά στην επιφάνεια. Προκειμένου να χαρτογραφηθούν περιοχές με αυξημένες συγκεντρώσεις αερίων θα χρειαστούν κάποιες δεκάδες μετρήσεις οι οποίες κατανέμονται γύρω από

την περιοχή. Μια τέτοια περιοχή βρίσκεται στην λίμνη Horseshoe στην βάση του ηφαιστείου Mammoth Mountain στην Καλιφόρνια των Η.Π.Α. Εκεί μετά από τους μικρούς σεισμούς που καταγράφηκαν την περίοδο από τον Μάιο ως το Νοέμβριο του 1989, παρατηρήθηκε ανύψωση ορισμένου μαγματικού υλικού. Μετά από ένα χρόνο παρατήρησαν σε μια περιοχή πολλά δένδρα να είναι νεκρά ή έτοιμα να πεθάνουν. Στις μετρήσεις που πραγματοποίησαν οι επιστήμονες του USGS, ανακάλυψαν ότι, οι εξαιρετικά υψηλές συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα στο έδαφος προκαλεί τον θάνατο στις ρίζες των δένδρων. Οι περιοχές που εντοπίζονται τα νεκρά δένδρα είναι συνολικά 69 εκτάρια. Οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα που υπάρχουν στις περιοχές αυτές κυμαίνονται από 20 μέχρι 90% όταν η συνηθισμένη περιεκτικότητα στο έδαφος δεν ξεπερνάει το 1%.



Εικόνα 56 Περιοχή με τα νεκρά δένδρα δίπλα στην λίμνη *Horseshoe* νοτιοανατολικά του ηφαιστείου *Mammoth Mountain* στην Καλιφόρνια. (Πηγή: John D. Rogie)

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.



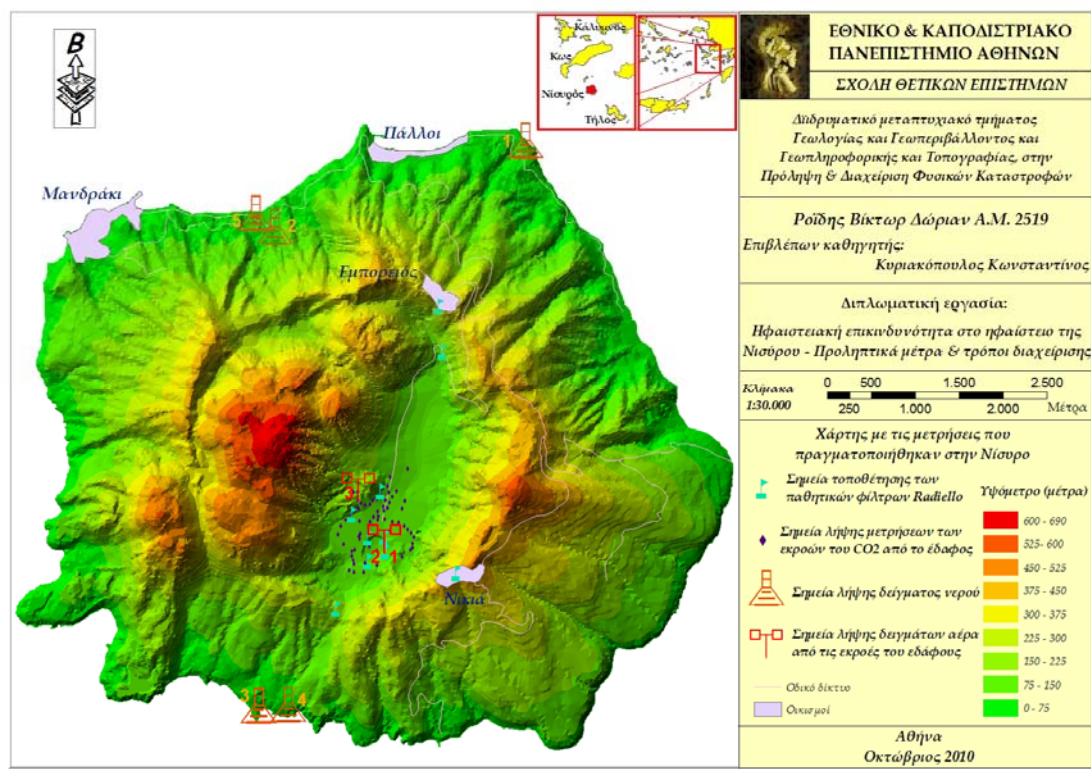
Εικόνα 57 Ρυθμοί εκροής διοξειδίου του άνθρακα στην λίμνη Horseshoe. (Πηγή: Sorey et al. 1999)

Κεφάλαιο 5. Λήψη δειγμάτων αερίων και νερού από το ηφαίστειο της Νισύρου.

5.1 Γενικά

Το καλοκαίρι του 2008, πραγματοποιήθηκαν στην Νίσυρο μετρήσεις που αφορούσαν την σύσταση των αερίων και ορισμένες δειγματοληψίες νερού από τις θερμές πηγές. Πιο συγκεκριμένα, τοποθετήθηκαν ειδικά φίλτρα (radiello), τα οποία μετρούσαν την διασπορά του υδρόθειου (H_2S) στην ατμόσφαιρα, γύρω από τους κρατήρες, λήφθηκαν δείγματα αερίου σε φιαλίδια από το έδαφος στους κρατήρες Στέφανο και Πολυβώτη, έγιναν μετρήσεις του ποσοστού του διοξειδίου του άνθρακα, από το έδαφος, σε 64 σημεία περιμετρικά των κρατήρων και λήφθηκαν πέντε δείγματα νερού, προερχόμενο από τις θερμές πηγές που υπάρχουν στο νησί. Τα φίλτρα και τα φιαλίδια με τα δείγματα αερίων και νερού στάλθηκαν στο εργαστήριο του Εθνικού Ινστιτούτου Γεωφυσικής και Ηφαιστειολογίας (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), στο Παλέρμο της Ιταλίας, και αναλύθηκαν για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης στο χώρο του ηφαιστείου.

Οι συντεταγμένες των σημείων υπολογίστηκαν με την βοήθεια ενός GPS χειρός της Garmin. Η ακρίβεια των +/- 10 μέτρων που παρείχε η συσκευή, κρίθηκε ικανοποιητική για τον προσδιορισμό της θέσης των σημείων δειγματοληψίας.



Εικόνα 41 Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην Νίσυρο τον Ιούλιο του 2008 (βλέπε παράρτημα).

5.2 Μετρήσεις διασποράς του υδρόθειου (H₂S) με την χρήση παθητικών φίλτρων (Radiello)

Η διασπορά του H₂S στην ατμόσφαιρα μελετήθηκε στην Νίσυρο με ένα δίκτυο παθητικών φίλτρων που τοποθετήθηκαν στην περιοχή των υδροθερμικών κρατήρων, στην πεδιάδα Ραμμός. Οι συσκευές αυτές, οι οποίες αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο στην σύγχρονη ατμοσφαιρική χημική έρευνα, κάνουν χρήση της μοριακής διάχυσης έτσι ώστε να συλλέξουν αέρια από την περιοχή στην οποία βρίσκονται εκτεθειμένα (Ferm and Rodhe 1997; Ayers et al.1998). Δεν χρειάζονται ηλεκτροδότηση, μπορούν να παραμείνουν εκτεθειμένες για μεγάλες περιόδους (ώρες μέχρι εβδομάδες) και παρέχουν το μέσο όρο συγκεντρώσεων που βρίσκονται διάχυτες στην ατμόσφαιρα για την περίοδο έκθεσής τους. Τέτοιου είδους μεθοδολογία έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς προσφάτως στην μελέτη της διασποράς ηφαιστειακών/γεωθερμικών αερίων και σε πολλές άλλες ηφαιστειογενείς περιοχές (Delmelle et al. 2002; Aiuppa et al. 2004; 2007 και W. D' Alessandro 2008).

Στην εργασία αυτή επιλέχθηκαν τα κυλινδρικού τύπου παθητικά φίλτρα δειγματοληψίας (Radiello) εξαιτίας της υψηλής ποσότητας που λαμβάνουν με αποτέλεσμα χαμηλότερα όρια ανίχνευσης του αερίου. Οι συσκευές αυτές

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

αποτελούνται από ένα μπλε πορώδες κάλυμμα με μικρούς πόρους, το οποίο προσαρμόζεται σε μια τριγωνική πολυανθρακική βάση, και περιέχει ένα πορώδες πολυαιθυνελικό κυλινδρικό φίλτρο που εμποτισμένο με ψευδαργυρικό οξύ. Το H_2S απορροφάται από το ψευδαργυρικό οξύ και μετασχηματίζεται σε σουλφιδικό οξύ. Το σουλφίδιο επανακτάται με διάλυση στο νερό. Το κατώτερο όριο ανιχνευσιμότητας είναι 30 ppb για έκθεση μίας ώρας ή 1 ppb για εικοσιτετράωρη έκθεση, με το ποσοστό αβεβαιότητας είναι 8,7 % για όλο το επιθυμητό διάστημα έκθεσης (1 ώρα έως 30 μέρες) (Maugeri 2007)

Για τον βαθμό διάχυσης των αερίων γύρω από το χώρο του ηφαιστείου και σύμφωνα με τις προγραμματισμένες ερευνητικές εργασίες υπαίθρου, τοποθετήθηκαν συνολικά 14 φίλτρα συλλογής αερίων. Στην περίμετρο του κρατήρα τοποθετήθηκαν διαγωνίως σε τέσσερα διαφορετικά σημεία 8 φίλτρα δειγματοληψίας (Radiello). Τα πρώτα 4 (NSR-1 έως NSR-4) παρέμειναν στο πεδίο μία μέρα ενώ τα υπόλοιπα 4 (NSR-4 έως NSR-8) για 5 μέρες. Το NSR-9, τοποθετήθηκε νότια του κρατήρα Στέφανου. Τα NSR-10 και NSR-11, τοποθετήθηκαν κοντά στον κρατήρα Πολυβώτη. Το NSR-12 τοποθετήθηκε στο βόρειο άκρο της πεδιάδας Λακκί, το NSR-13 στο Εμπορείο και το NSR-14 στην Νικιά. Όλα τα παραπάνω φίλτρα (NSR-9 έως NSR-14) παρέμειναν στο πεδίο για περίπου 5 μέρες (115 ώρες).



Εικόνα 42 Τα παθητικά φίλτρα Radiello, τοποθετημένα γύρω από τον κρατήρα Στέφανο.

Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας με τα αποτελέσματα των αναλύσεων που έγιναν και τις συγκεντρώσεις του H₂S που προσροφήθηκαν από τα παθητικά φίλτρα. Τα όρια των συγκεντρώσεων κυμαίνονται από 1,55 (φίλτρο στον Εμπορειό) έως 1.237,0 ppb (φίλτρο στα νότια του κρατήρα Στέφανος). Σε γενικές γραμμές, οι συγκεντρωμένες στα φίλτρα ποσότητες, είναι χαμηλές. Αυτό οφείλεται κυρίως στον χρόνο έκθεσης των συγκεκριμένων φίλτρων στο χώρο εκπομπής των αερίων. Τα πρώτα 8 φίλτρα (NSR-1 έως NSR-8) τοποθετήθηκαν σε 4 σημεία, δηλαδή το NSR-1 τοποθετήθηκε στο ίδιο σημείο με το NSR-5, το NSR-2 με το NSR-6, το NSR-3 με το NSR-7 και το NSR-4 με το NSR-8. Τα φίλτρα NSR-5 έως NSR-8, παρέμειναν στο πεδίο περίπου 115 ώρες, ενώ τα αντίστοιχα πρώτα τέσσερα φίλτρα, παρέμειναν στο πεδίο περίπου 28 ώρες. Τα αποτελέσματα όμως δείχνουν, ότι η ποσότητα που προσροφήθηκε από τα φίλτρα που παρέμειναν για πέντε περίπου μέρες, ήταν μικρότερη από την ποσότητα που προσροφήθηκε σε μία μέρα (περίπου κατά 70 % μειωμένη). Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός, ότι από την υψηλή διασπορά του H₂S στην ατμόσφαιρα, και κατά συνέπεια και στα φίλτρα, υπήρξε κορεσμός στους πόρους του φίλτρου με αποτέλεσμα να “κορεσθούν” τα φίλτρα και τα αποτελέσματα να μην αντιπροσωπεύουν την πραγματική συγκέντρωση των αερίων.

Πίνακας 3 Στον πίνακα αυτό καταγράφονται οι συγκεντρώσεις H₂S που εντοπίστηκαν στα παθητικά φίλτρα σε ppb και ppm.

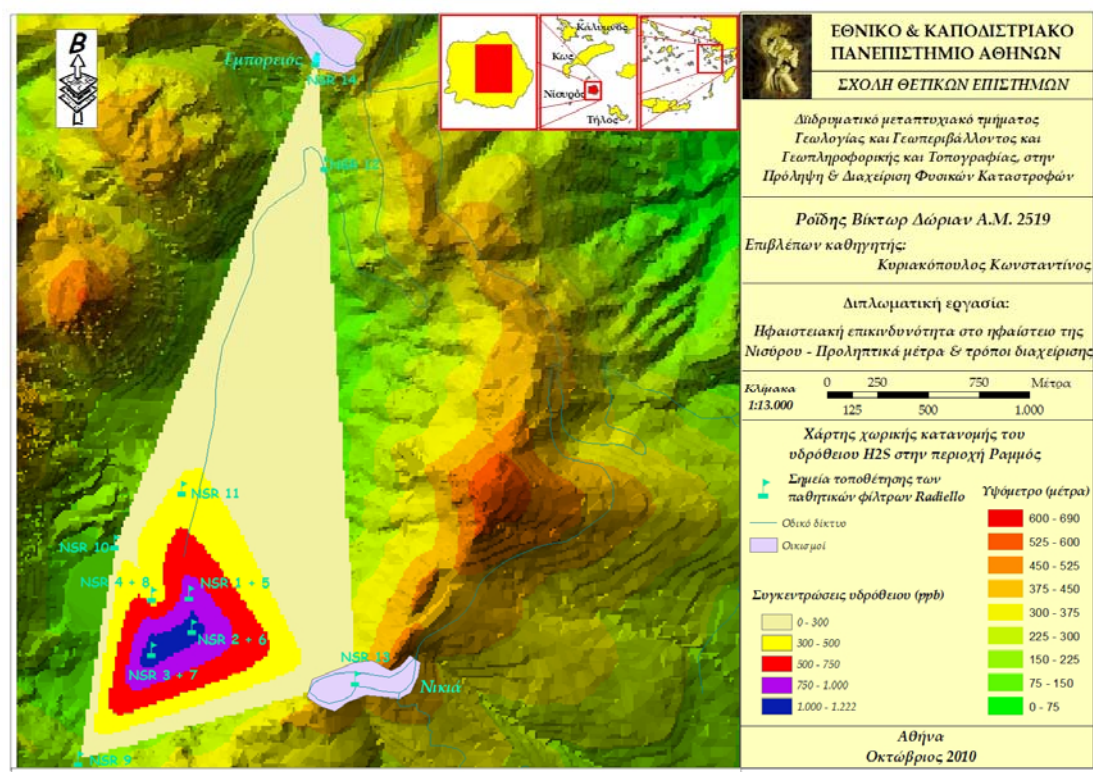
Σημεία	Ημ/νία τοποθέτησης	Ημ/νία αφαίρεσης	Χρόνος παραμονής (λεπτά)	Ποσότητα H ₂ S ppb	Ποσότητα H ₂ S ppm
NSR-1	23/7/2008	24/7/2008	1680	897,41	0,90
NSR-2	23/7/2008	24/7/2008	1740	1107,70	1,11
NSR-3	23/7/2008	24/7/2008	1620	1237,37	1,24
NSR-4	23/7/2008	24/7/2008	1680	681,33	0,68
NSR-5	23/7/2008	28/7/2008	6900	258,29	0,26
NSR-6	23/7/2008	28/7/2008	6900	323,72	0,32
NSR-7	23/7/2008	28/7/2008	6840	236,34	0,24
NSR-8	23/7/2008	28/7/2008	6840	283,77	0,28
NSR-9	23/7/2008	28/7/2008	6840	95,37	0,10
NSR-10	23/7/2008	28/7/2008	6840	237,00	0,24
NSR-11	23/7/2008	28/7/2008	6840	338,50	0,34
NSR-12	23/7/2008	28/7/2008	6960	3,46	0,00
NSR-13	23/7/2008	28/7/2008	6960	14,03	0,01
NSR-14	23/7/2008	28/7/2008	6900	1,55	0,00

Παγκοσμίως, έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες σε γεωθερμικές περιοχές, που αφορούσαν στην διασπορά του H₂S στην ατμόσφαιρα. Παρόμοιες τιμές (0,1 έως 3.840 ppb) παρατηρήθηκαν στο Σουσαάκι (Kyriakopoulos et al, 2008), αλλά

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

και στην Rotorua της Νέας Ζηλανδίας (5 έως 3.900 ppb) (Siegel et al. 1986). Στις περιπτώσεις αυτές, όπως και στη Νίσυρο, η διασπορά του H₂S ακολουθούσε το ίδιο μοντέλο, με τις υψηλές τιμές να καταγράφονται κοντά στις κύριες εξόδους διαφυγής των αερίων και όσο απομακρύνονται από αυτές η μείωση του H₂S να είναι ιδιαίτερα σημαντική.

Η εκμετάλλευση των γεωθερμικών πεδίων για την παραγωγή ενέργειας μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερες τιμές (έως 7.500 ppb), αλλά ακολουθούν το ίδιο μοντέλο διασποράς (Kristmannsdottir et al. 2000; Marani et al. 2000). Αυτό, οφείλεται στο γεγονός, ότι η παραγωγή γεωθερμικής ενέργειας επιτείνει την εκπομπή του H₂S και συνεπώς επιδρά στο τοπικό περιβάλλον. Αυτό, ενισχύει την ανάγκη εκπόνησης εργασιών μελέτης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων γύρω από γεωθερμικά πεδία πριν την ανάπτυξη μονάδων παραγωγής γεωθερμικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, μπορούν να εφαρμοστούν διάφορα μοντέλα ατμοσφαιρικής διασποράς τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά, στην πρόγνωση των επιπέδων έκθεσης, τόσο των εργατών που δουλεύουν μέσα στο εργοστάσιο, όσο και του πληθυσμού που κατοικεί κοντά στην περιοχή (Ermak et al. 1980; Gallegos-Ortega et al. 2000). Η Δ.Ε.Η., μετά την κατασκευή των δύο γεωτρήσεων την περίοδο 1981-82, προχώρησε στην εκπόνηση, από εξειδικευμένη Ευρωπαϊκή Κοινοπραξία" (MERZ- DAL), τεχνικοοικονομικής μελέτης η οποία απέδειξε ότι το πεδίο προσφέρεται οικονομικά για αξιοποίηση και πρότεινε την δημιουργία μιας υδροθερμικής ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας 10 MW στο νότιο τμήμα του νησιού. Η αντίδραση των κατοίκων της Νισύρου ήταν άμεση και το Συμβούλιο Περιοχής του νησιού αποφασίζει στις 12/03/96 και μετά από έντονες αντιπαραθέσεις, τη διενέργεια δημοψηφίσματος το οποίο αποφασίζεται να γίνει στις 11/05/97. Συνολικά 302 άτομα (επί συνόλου 512 εγγεγραμμένων- μόνιμων κατοίκων του νησιού) προσήλθαν στις κάλπες με 270 (89%) να ψηφίζουν κατά και 32 (11%) υπέρ της κατασκευής μιας υδροθερμικής ηλεκτροπαραγωγικής μονάδας (Ελευθεροτυπία, 31/5/1997).



Εικόνα 43 Χάρτης με τα σημεία τοποθέτησης των παθητικών φίλτρων Radiello και την διασπορά του H₂S στην περιοχή της κοιλάδας Λακκί (βλέπε παράρτημα).

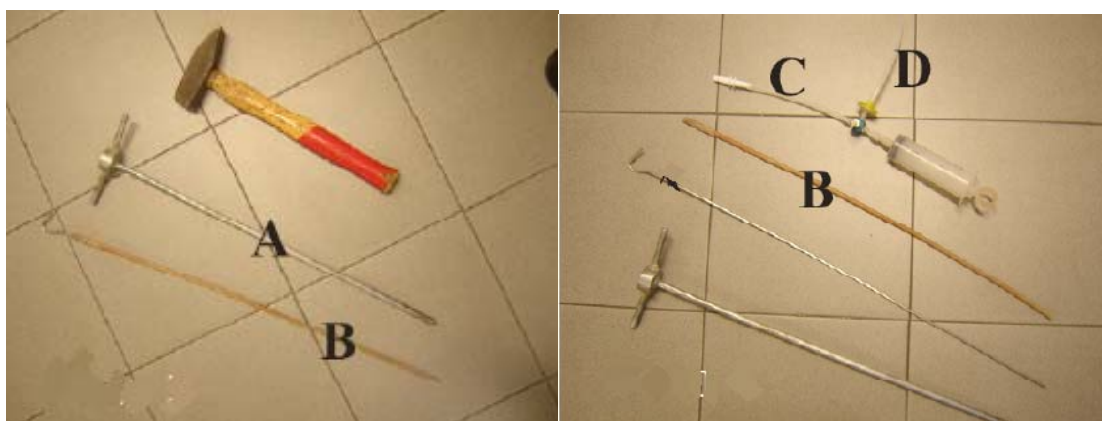
5.3 Μετρήσεις του ποσοστού του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στο έδαφος

Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις του ποσοστού του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που περιέχονταν στο έδαφος, ήταν η LFG 20 PLUS της εταιρίας CEA Instruments, Inc. (εικόνα 45). Η συσκευή αυτή επιτρέπει απλές και ακριβείς μετρήσεις διοξειδίου του άνθρακα CO₂, του μεθανίου CH₄, και του οξυγόνου O₂, σε ένα δείγμα μέσω μιας εσωτερικής αντλίας στα 200 mL ανά λεπτό. Το πεδίο μετρήσεων της ποσότητας του διοξειδίου του άνθρακα που μπορεί να υπολογίσει, κυμαίνεται από 0-100 % (στην συσκευή που χρησιμοποιήθηκε δεν ήταν δυνατές οι μετρήσεις για CH₄, διότι ο μετρητής του CH₄, ήταν εκτός λειτουργίας εξαιτίας τεχνικού προβλήματος).

Στις μετρήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκε μια σιδερένια βέργα, μήκους 50 cm (εικόνα 44 A), η οποία με την βοήθεια ενός σφυριού (εικόνα 44) καρφώνονταν στο

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

έδαφος. Στην τρύπα που δημιουργείτε μπαίνει ένας ελαστικός σωλήνας (εικόνα 44 B), ο οποίος συνδέεται με μια μεγάλη σύριγγα (εικόνα 44 C) η οποία τραβάει το αέριο και κατόπιν, αλλάζοντας τον διακλαδωτή (εικόνα 44 D), το οδηγεί στην συσκευή LFG 20, η οποία μετράει το ποσοστό του CO₂ που βρίσκεται στα 40 εκ. περίπου κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.



Εικόνα 44 Διάταξη των οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν στην μέτρηση του ποσοστού CO₂



Εικόνα 45 Η συσκευή LFG 20 PLUS της εταιρίας CEA Instruments, Inc.

Συνολικά μετρήθηκε το ποσοστό του CO₂ σε 64 σημεία, τα οποία ήταν κατανομημένα γύρω από τον κρατήρα Στέφανο. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις παρατηρήθηκαν, όπως ήταν αναμενόμενο, κοντά στις φουμαρόλες που βρίσκονται στον κρατήρα Στέφανο (75,5%), ενώ αυξημένα ποσοστά εντοπίστηκαν τόσο στον κρατήρα Καμινάκια (19,3%) όσο και στον Πολυβώτη (18,1%). Στον κρατήρα Στέφανο οδηγείται το σύνολο των τουριστών που επισκέπτονται το νησί, οι οποίοι συμμετέχουν στις ημερήσιες εκδρομές που οργανώνονται από την Κω. Ο κρατήρας Πολυβώτης, καθώς και οι γύρω από αυτόν κρατήρες (Φλέγεθρον, Αχιλλέας,

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

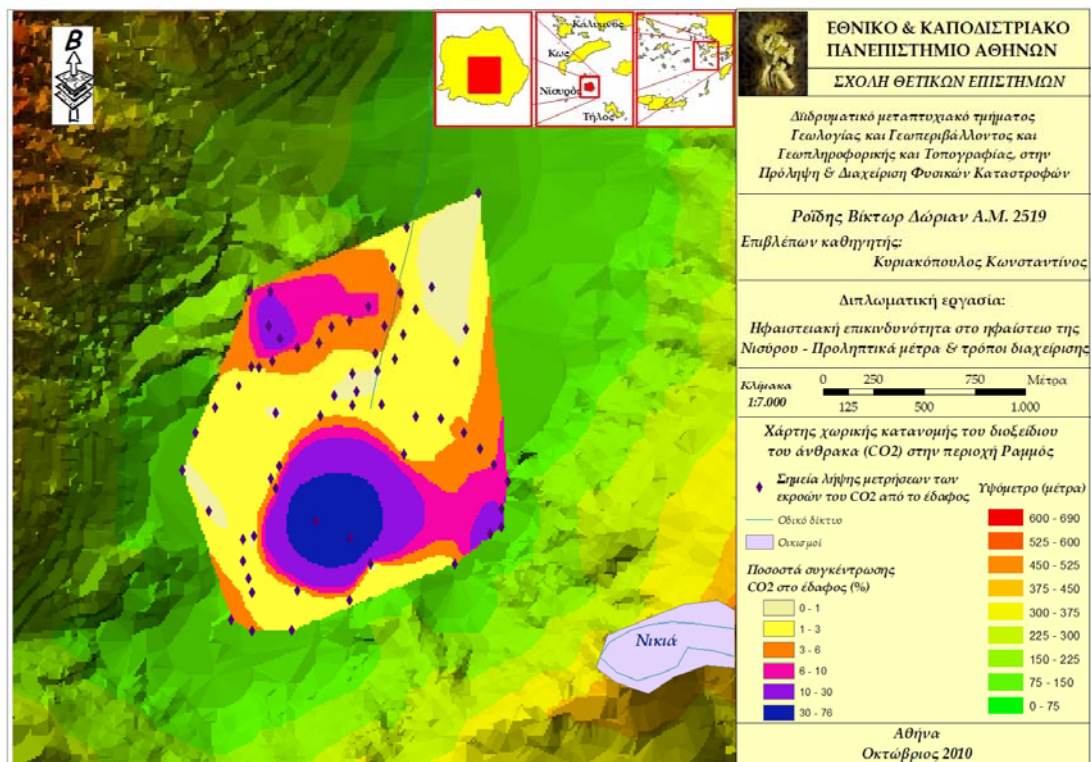
Λογοθέτης), έλκουν μικρότερο ποσοστό τουριστών, ενώ τον κρατήρα Καμινάκια τον επισκέπτονται ελάχιστοι.

Πίνακας 4 Τα 64 σημεία μέτρησης του ποσοστού CO₂

Σημείο	x	y	CO₂ %	Σημείο	x	y	CO₂ %
1	783157	4053032	9,6	33	783547	4052691	2,2
2	783419	4052991	7,8	34	783456	4052723	1,5
3	783370	4052954	5,9	35	783376	4052721	1,5
4	783321	4052936	3,8	36	783290	4052694	2,6
5	783287	4052894	4,2	37	783328	4052747	0,5
6	783230	4052881	5,2	38	783376	4052811	0,6
7	783162	4052845	3,8	39	783438	4052866	3,2
8	783127	4052828	2,9	40	783462	4052939	3,9
9	783072	4052776	2,1	41	783505	4053027	3,5
10	783008	4052716	1,5	42	783485	4053096	2,6
11	782957	4052649	1,6	43	783523	4053203	1,2
12	782920	4052547	0,8	44	783388	4052759	0,6
13	782991	4052440	0,6	45	783444	4052819	0,5
14	783372	4052367	75,5	46	783491	4052850	2,5
15	783280	4052412	72,9	47	783514	4052915	1,4
16	783084	4052362	1,6	48	783546	4052983	1,2
17	783051	4052147	5,0	49	783589	4053043	0,1
18	783107	4052118	3,4	50	783682	4052931	0,8
19	783214	4052119	2,1	51	783655	4052845	1,1
20	783230	4052227	1,5	52	783084	4052305	1,3
21	783369	4052199	1,3	53	783098	4052258	1,6
22	783425	4052297	0,8	54	783108	4052220	1,8
23	783516	4052591	1,2	55	783113	4052372	0,6
24	783652	4052298	2,0	56	783171	4052499	4,1
25	783746	4052377	19,3	57	783159	4052525	2,5
26	783777	4052397	16,2	58	783181	4052558	2,9
27	783777	4052444	9,0	59	783716	4053295	0,7
28	783793	4052518	7,7	60	783172	4052701	0,7
29	783756	4052563	6,3	61	783183	4052904	16,5
30	783719	4052606	3,2	62	783153	4052939	18,1
31	783676	4052649	3,8	63	783101	4053034	5,6
32	783615	4052686	2,5	64	783105	4052830	3,3



Εικόνα 46 Διάταξη των οργάνων στο πεδίο



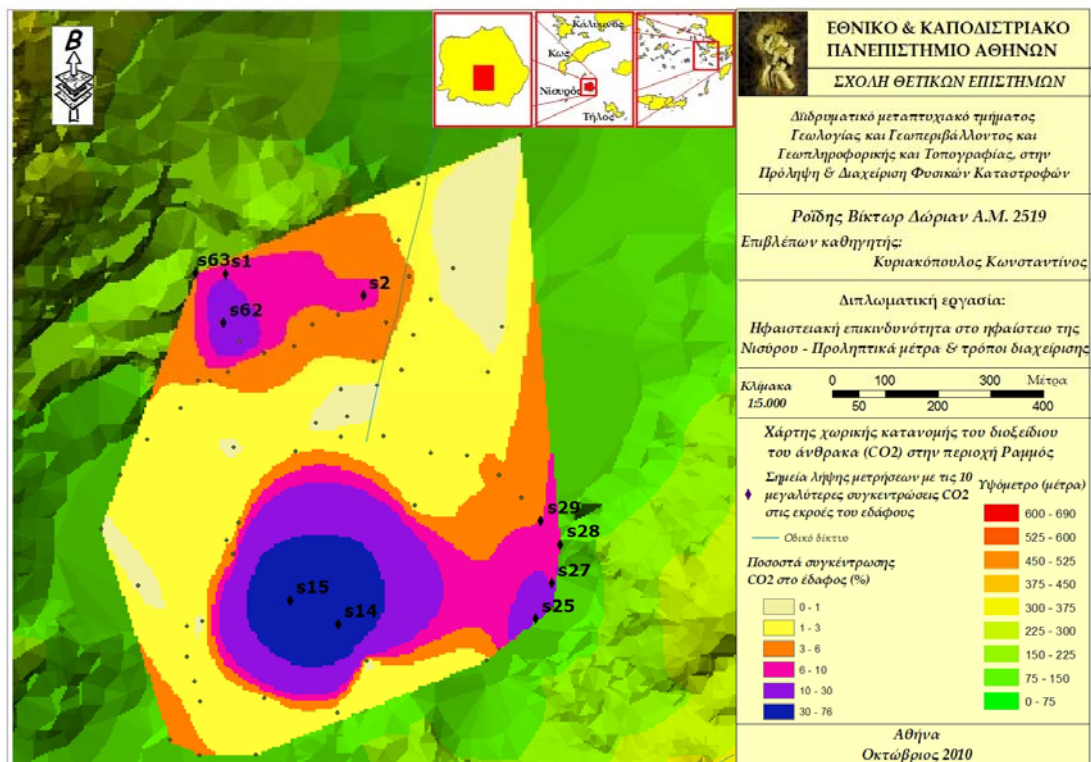
Εικόνα 47 Ψηφιακό μοντέλο εδάφους και απεικόνιση των ποσοστών συμμετοχής του CO₂ στις εκροές του εδάφους (βλέπε παράρτημα).

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με τα δέκα σημεία στα οποία παρατηρήθηκε μεγαλύτερη συγκέντρωση CO₂, καθώς και χάρτης στον οποίο αποτυπώνονται τα σημεία αυτά.

Πίνακας 5 Τα δέκα σημεία με την μεγαλύτερη συγκέντρωση CO₂

Σημείο	x	y	co2 %
14	783372	4052367	75,5
15	783280	4052412	72,9
25	783746	4052377	19,3
62	783153	4052939	18,1
61	783183	4052904	16,5
29	783777	4052397	16,2
1	783157	4053032	9,6
27	783777	4052444	9,0
2	783419	4052991	7,8
28	783793	4052518	7,7



Εικόνα 48. Τα δέκα σημεία με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις CO₂ στην περιοχή μελέτης (βλέπε παράρτημα).

5.4 Λήψη δειγμάτων αερίων από το έδαφος

Για τις μετρήσεις των αερίων λήφθηκαν δείγματα σε φιαλίδια. Η διαδικασία για την λήψη δειγμάτων αέρα από το έδαφος σε γυάλινα φιαλίδια ήταν ίδια με την μέτρηση του CO₂ όπου μια σιδερένια βέργα καρφώνονταν στο έδαφος και τα αέρια οδηγούνταν στην συσκευή με την χρήση του διακλαδωτή και της σύριγγας. Η διαδικασία απορρόφησης των αερίων, από την σύριγγα, και η μετέπειτα διοχέτευσή τους στα γυάλινα φιαλίδια, επαναλήφθηκε τρεις με πέντε φορές, έτσι ώστε να διασφαλιστεί ότι στο φιαλίδιο θα υπάρχει μόνο αέριο προερχόμενο από το έδαφος Έτσι λήφθηκαν τρία φιαλίδια με αέριο, δύο από τον κρατήρα Στέφανο και ένα από τον κρατήρα Πολυβώτη (εικόνα 41).

Πίνακας 5 Τα αποτελέσματα των αναλύσεων των δειγμάτων των αερίων που λήφθηκαν

Δείγμα	He ppm	H ₂ ppm	O ₂ %	N ₂ %	CO ppm	CH ₄ ppm	CO ₂ %
NSR-1	245		19,97	80,17	0,80	16	0,05
NSR-2	15	484	13,01	66,20	13	737	18,5
NSR-3	5	301	16,25	74,09	16	148	9,1



Εικόνα 49 Διάταξη οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν για την λήψη δείγματος αέρα.

5.5 Λήψη δειγμάτων νερού από τις θερμές πηγές της Νισύρου

Τέλος λήφθηκε δείγμα νερού από 5 σημεία στην Νίσυρο. Τα δείγματα πάρθηκαν από σημεία που υπάρχουν θερμές πηγές (εικόνα 41). Ενδεικτικά, παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα οι αναλύσεις των δειγμάτων από τα εργαστήρια του εθνικού ινστιτούτου γεωφυσικής και ηφαιστειολογίας, στο Παλέρμο της Ιταλίας.

Δείγμα	Τοποθεσία
NSR 1	Φάρος
NSR2	Παναγία Θερμινή
NSR3	Αγία Ειρήνη1
NSR4	Αγία Ειρήνη2
NSR5	Λουτρά

Πίνακας 6 Σύσταση των δειγμάτων νερού που λήφθηκαν από τις θερμές πηγές της Νισύρου

Δείγμα	NSR 1	NSR2	NSR3	NSR4	NSR5	
T °C	32	20	32	35	39	
pH	6,56	7,83	6,7	7	7,26	
cond	56700	41500	51200	44000	50100	
Na	541,69	359,24	490,69	397,96	452,08	meq/l
K	14,92	12,33	12,06	11,26	19,07	meq/l
Mg	104,85	60,1	99,98	66,99	57,46	meq/l
Ca	63,75	67,98	36,73	45,3	82,5	meq/l
F	0,17	0	0,16	0	0	meq/l
Cl	691,6	491,1	608,6	505,9	606,3	meq/l
Br	0,98	0,78	0,81	0,71	0,78	meq/l
NO₃	0,3	0,93	0	0,21	0,17	meq/l
SO₄	48,61	27,71	50,95	36,23	29,73	meq/l
Alk	7,45	3,35	1,7	5,1	4,1	meq/l
SiO₂	149,08	126,85	22,49	125,31	181,55	mg/l
TDS	43064,24	29962	37853,04	31433,48	36852,9	mg/l
δ¹⁸O	1,88	1,42	2,67	0,7	1,03	‰
δD	5,19	6,69	4,79	2,47	1,52	‰
d	-9,86	-4,63	-16,55	-3,13	-6,73	‰
Li	1038	1175	596,6	1071	2198	mg/l
B	10090	9542	7577	6489	11320	mg/l
Al	6,34	13,59	230,3	26,13	6,26	mg/l
Mn	4756	14,95	258,9	1178	5193	mg/l
Co	18,67	3,932	4,649	4,59	8,522	mg/l
Ni	33,31	12,13	11,37	9,37	17,71	mg/l
Cu	7,46	4,86	10,57	2,53	-0,69	mg/l
Rb	645,4	922	420,7	621,4	1944	mg/l
Sr	15840	13530	9835	11090	19240	mg/l
Ag	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	mg/l

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

Δείγμα	NSR 1	NSR2	NSR3	NSR4	NSR5	
Cd	0,88	0,95	0,36	0,58	0,55	mg/l
Sb	0,5	0,44	0,22	0,19	0,03	mg/l
Ba	102,9	63,73	14,87	95,1	116	mg/l
Hg	0,344	0,05	0	0	0	mg/l
Pb	0,31	0	0,48	2,32	0,09	mg/l
U	0,31	0,5	2,17	0,38	0,22	mg/l
V	8,2	89,25	7,24	115,2	40,07	mg/l
Cr	2,83	9,18	2,261	2,39	5,66	mg/l
As	91,4	64,19	2,041	15,39	390,9	mg/l
Fe	6400	83,1	35,46	50,07	63,41	mg/l
Se	1,1	0,89	0,27	0,54	0,39	mg/l
Mo	17,85	11,88	11,62	27,54	35,3	mg/l
Cs	43,28	53,72	24,12	53,61	197,7	mg/l

Θα ήταν χρήσιμο να γίνονται οι ίδιες μετρήσεις στα σημεία αυτά κατά τακτά διαστήματα, ώστε αν υπάρχει κάποια αυξημένη ένδειξη ή εάν υπάρχει μεταβολή σε σχέση με προηγούμενες μετρήσεις να υποδεικνύεται τυχόν μεταβολή των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στο υπέδαφος.

Κεφάλαιο 6. Προληπτικά μέτρα για την αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών στην Νίσυρο

Από την μελέτη της γεωδυναμικής συμπεριφοράς της Νισύρου διαπιστώνεται πως η Νίσυρος βρίσκεται σε ένα ιδιαίτερο κομμάτι του Ελλαδικού χώρου, στο σύστημα Κω-Νισύρου-Τήλου και αντιπροσωπεύει ένα ενεργό στρωματοηφαίστειο με έντονη γεωθερμική δραστηριότητα. Επίσης, προκύπτει ότι όλα τα γεωδυναμικά φαινόμενα στη Νίσυρο εμφανίζονται σχεδόν όλα μαζί σε περιόδους που η περιοχή βρίσκεται σε έξαρση.

6.1 Ηφαιστειακός κίνδυνος

Όσον αφορά τον ηφαιστειακό κίνδυνο αναφέραμε ότι πιθανόν στην Νίσυρο μελλοντικά να έχουμε ηφαιστειακή δραστηριότητα με την μορφή υδροθερμικών εκρήξεων και έκλυσης μεγάλης ποσότητας ηφαιστειακών αερίων. Τα παρακάτω μέτρα προτείνονται:

- Εγκατάσταση και λειτουργία δικτύων παρακολούθησης του ηφαιστείου από ειδικούς επιστήμονες ερευνητικών εργαστηρίων (ηφαιστειολόγοι, γεωχημικοί ηφαιστειακών αερίων, σεισμολόγοι, γεωφυσικοί, γεωλόγοι κ.τ.λ).
- Δημιουργία σχεδίου έκτακτης ανάγκης.
- Ενημέρωση των κατοίκων για τους κινδύνους που μπορούν να εμφανιστούν και οδηγίες που θα πρέπει να ακολουθήσουν σε περιπτώσεις έξαρσης της ηφαιστειακής δραστηριότητας.
- Απαγόρευση της εισόδου σε κατοίκους και τουρίστες στην επίπεδη περιοχή της καλδέρας σε περιόδους γεωδυναμικής “αφύπνισης” της περιοχής. Η περιοχή αυτή έχει οριστεί ως η ζώνη υψηλού κινδύνου.
- Άμεσος στόχος είναι η συγκέντρωση όλου του πληθυσμού στο Μανδράκι και συγκεκριμένα στο λιμάνι όπου υπάρχει ανοιχτός χώρος και είναι εύκολη η μεταφορά των κατοίκων σε πλοία προκειμένου να εγκαταλείψουν το νησί.
- Δημιουργία σταθμού συγκέντρωσης των κατοίκων στον οικισμό Μανδράκι σε περίπτωση ειδοποίησης τους λόγω ηφαιστειακής έξαρσης. Εκεί θα αποφασίζονται τα έκτακτα μέτρα καθώς και το σενάριο της εγκατάλειψης της Νισύρου αν κριθεί σκόπιμο για την ασφάλεια των πολιτών. Το Μανδράκι είναι το κύριο λιμάνι της

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

Νισύρου με τον περισσότερο πληθυσμό του νησιού συγκεντρωμένο εκεί. Στους Πάλλους υπάρχει επίσης ένα λιμάνι στο οποίο μπορούν να πλεύσουν μεσαίου μεγέθους πλοία. Ο τελευταίος τρόπος διαφυγής από το νησί μέσω θαλάσσης μπορεί να πραγματοποιηθεί από το Αυλάκι, στα νότια του νησιού, όπου μπορούν να πλεύσουν μικρότερα καράβια και ταχύπλοα.

- Δημιουργία εναλλακτικών σταθμών συγκέντρωσης και συντήρηση των εναλλακτικών λιμανιών στους Πάλλους ή στα Λουτρά, σε περίπτωση που η πρόσβαση στο Μανδράκι είναι αδύνατη. Το Μανδράκι είναι πολύ πιθανό μελλοντικά να αποτελέσει εστία σεισμικών και ηφαιστειακών εξάρσεων (Lagios, 2005).
- Δημιουργία ελικοδρομίου στην περιοχή, για αερομεταφορά περιπτώσεων που χρίζουν άμεσης επέμβασης.
- Εγκατάσταση συστήματος σειρήνων σε κάθε οικισμό του νησιού.
- Παρόμοιοι σταθμοί συγκέντρωσης έχουν δημιουργηθεί και σε άλλα ενεργά ηφαίστεια στον κόσμο όπως και στο πιο ενεργό ηφαίστειο της Ευρώπης, στο Stromboli της Ιταλίας. Οι κάτοικοι εκεί ενημερώνονται και καθοδηγούνται από ειδικούς επιστήμονες και προσωπικό της πολιτικής προστασίας σε συνεργασία με τις τοπικές αρχές.
- Εγκατάσταση πινακίδων με χάρτες περιοχών ασφάλειας και συγκέντρωσης των κατοίκων (εικόνα 58,59).



Εικόνα 58. Πινακίδα με χάρτη επικίνδυνων-ασφαλών ζωνών και περιοχών συγκέντρωσης των κατοίκων σε περίπτωση συναγερμού στο Stromboli (Νησιά Αιόλου).



Εικόνα 59 Πινακίδα προειδοποίησης του κινδύνου επίσκεψης του ηφαιστίου χωρίς τη συνοδεία οδηγού.

- Τακτικές συνεδρίες των τοπικών αρχών, της πολιτικής προστασίας και ειδικών επιστημόνων για την γεωδυναμική κατάσταση του νησιού και για ανανέωση του σχεδίου δράσης σε περίοδο έκτακτης ανάγκης.
- Τακτικές ημερίδες από ειδικούς επιστήμονες που θα ενημερώνουν και θα ενημερώνονται από τους κατοίκους για το ηφαιστειακό δυναμικό της Νισύρου.
- Συγκρότηση εθελοντικής ομάδας από ντόπιους κατοίκους για την επίβλεψη και εφαρμογή του σχεδίου έκτακτης ανάγκης σε συνεργασία με την πολιτική προστασία, ειδικά επιστημονικά εργαστήρια και τις τοπικές αρχές. Γνωρίζουμε πως το 23% του πληθυσμού της Νισύρου είναι κάτω των 20 ετών και το 15% πάνω από 65 ετών. Έτσι έχουμε ένα μεγάλο δυναμικό κατοίκων μεταξύ 20-50 ετών που πάνω τους θα στηριχτεί ο εθελοντισμός. Στόχος είναι η συγκέντρωση και εκπαίδευση νεαρών ατόμων που θα αποτελέσουν μία αποτελεσματική εθελοντική μονάδα.
- Επίσης η είσοδος επισκεπτών στους υδροθερμικούς κρατήρες πρέπει να γίνεται με εκπαιδευμένους ξεναγούς, καθώς τα αέρια από τις φουμαρόλες έχουν θερμοκρασίες γύρω στους 100° C και οι λίμνες λάσπης περιέχουν περισσότερο θειικά οξέα και έχουν pH 1.5 έως 3. Επειδή ο κίνδυνος εγκαυμάτων των επισκεπτών είναι μεγάλος, θα πρέπει να ενημερώνονται για τις συνθήκες που επικρατούν στον κρατήρα και να εισέρχονται με κλειστά παπούτσια.

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

- Αναγκαία είναι επίσης η περιφράξη των φουμαρόλων και των θερμών-όξινων σημείων του εδάφους , με προειδοποιητικά σήματα για τις θερμοκρασίες και τους κινδύνους τους.
- Παροχή χειρουργικών μασκών, για αποφυγή έκθεσης των επισκεπτών σε επιβλαβή αέρια.

6.2 Σεισμικός κίνδυνος

Ο σεισμικός κίνδυνος είναι συνήθως ο προάγγελος μίας ευρύτερης γεωδυναμικής «αφύπνισης» της Νισύρου που πολλές φορές κορυφώνεται με υδροθερμική ηφαιστειακή δραστηριότητα, είτε με κατολισθήσεις στα εσωτερικά πρηνή της καλδέρας ή στα εξωτερικά πρηνή του ηφαιστειακού οικοδομήματος. Τα παρακάτω μέτρα προτείνονται για την πρόληψη επικείμενων σεισμικών και φαινόμενων κατολίσθησης

- Εγκατάσταση και λειτουργία δικτύου παρακολούθησης της σεισμικότητας της Νισύρου από σεισμολόγους. Σημαντικό είναι να μπορέσουμε να προσδιορίσουμε πότε ακριβώς ξεκινά μία περίοδος σεισμικής έξαρσης και να καταγράψουμε το φαινόμενο από την αρχή.
- Η περιοχή της επίπεδης επιφάνειας της καλδέρας στο Λακκί να παραμένει κλειστή στους κατοίκους και τους επισκέπτες του νησιού σε περιόδους σεισμικής έξαρσης της περιοχής που έχει συνήθως την μορφή σμηνοσεισμών. Η περιοχή στο Λακκί είναι μία περιοχή όπου κατολισθήσεις και υδροθερμικές εκρήξεις έχουν λάβει χώρα στο παρελθόν.
- Εκπόνηση νεοτεκτονικών χαρτών. Όλα τα ρήγματα της περιοχής θα είναι σημειωμένα και ταξινομημένα σε ενεργά, πιθανά ενεργά και ανενεργά, με πλήθος άλλων για το μέγεθος του σεισμού, το είδος της κίνησης και την ιστορία τους (Παπανικολάου, 2001).
- Εκπόνηση χαρτών μικροζωνικών μελετών, κυρίως για το Μανδράκι που φιλοξενεί τον περισσότερο πληθυσμό του νησιού, με ανάλυση των εδαφών από άποψη σεισμικής απόκρισης καθώς και χάρτες σεισμικού κινδύνου με πρόβλεψη της κατανομής των αναμενόμενων σεισμικών εντάσεων για κάθε περίπτωση ενεργοποίησης συγκεκριμένου ρήγματος που απειλεί την περιοχή.

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

- Δημιουργία σχεδίου έκτακτης ανάγκης με βάση την υφιστάμενη χωροταξική-πολεοδομική οργάνωση της περιοχής για εφαρμογή από τις υπηρεσίες της πολιτικής προστασίας, τις τοπικές αρχές και τις εθελοντικές ομάδες.
- Εύρεση κατάλληλου χώρου για την δημιουργία καταυλισμού των κατοίκων ύστερα από μία ισχυρή δόνηση που πιθανόν να προκαλέσει σημαντικές ζημιές σε σπίτια, κτίρια και δημόσιες υπηρεσίες.

6.3 Κίνδυνος κατολισθήσεων

Οι κατολισθήσεις στην Νίσυρο αναμένονται κατά την διάρκεια ηφαιστειακών και σεισμικών εξάρσεων. Ο χώρος της καλδέρας στον Ραμμό είναι ευαίσθητος σε κατολισθήσεις. Επίσης ειδικές μελέτες πρέπει να εκπονηθούν για τον κίνδυνο κατολισθήσεων σε όλους τους οικισμούς της Νισύρου και σε περιοχές που έχουν εκδηλωθεί κατολισθήσεις στο παρελθόν. Τα μέτρα που προτείνονται για την πρόληψη και προστασία από κατολισθήσεις είναι τα ακόλουθα:

- Μελέτη της γεωλογικής δομής και της εξέλιξης της ευρύτερης περιοχής στην οποία θα εκδηλωθεί το φαινόμενο. Ειδικότερα απαιτείται πλήρης γνώση της λιθοστρωματογραφικής διάρθρωσης, δηλαδή της λιθολογίας, της αλληλουχίας των κατακόρυφων και πλευρικών μεταβάσεων, του πάχους και άλλων στοιχείων των γεωλογικών σχηματισμών.
- Γνώση των υδρολογικών συνθηκών και συγκεκριμένα της υδρολιθολογίας και της διακίνησης του υπόγειου νερού.
- Ακριβής γνώση των γεωτεχνικών συνθηκών και των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών των ηφαιστειακών πετρωμάτων, έτσι όπως προκύπτουν από μακροσκοπικές παρατηρήσεις, από in situ δοκιμές και από εργαστηριακά δεδομένα.
- Καθορισμός των επιφανειών ολίσθησης από ειδικούς επιστήμονες και γεωμετρικός καθορισμός στον χώρο, των χαρακτηριστικών περιοχών και τμημάτων της κατολισθαίνουσας μάζας. Η εικόνα πρέπει να είναι όσο το δυνατό πληρέστερη και καθορίζεται με λεπτομερή γεωλογική χαρτογράφηση σε κλίμακες 1:1.000, 1:5.000, 1:10.000 όλων των στοιχείων της κατολίσθησης (κεφαλή, πόδας, εφελκυστικές ρωγμές, πλευρές, διακλάσεις, ρήγματα) καθώς επίσης με εκτέλεση ερευνητικών γεωτρήσεων και με εκτέλεση γεωφυσικών διασκοπίσεων.

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

- Ειδικές μελέτες κατολισθητικού κινδύνου για κάθε οικισμό της Νισύρου.
- Ειδικές μελέτες με πρόταση έργων πρόληψης (αποστραγγίσεις, δενδροφυτεύσεις, τοιχία αντιστήριξης κλπ) στις περιοχές αυξημένου κινδύνου, με ιεράρχηση των περιπτώσεων ανάλογα με την σημασία τους στην περιοχή.
- Ο χώρος της καλδέρας πρέπει να παραμένει κλειστός σε περίοδο σεισμικής ή ηφαιστειακής έξαρσης.

6.4 Κίνδυνος Tsunami

Στον Ελλαδικό χώρο ο κίνδυνος εκδήλωσης tsunami είναι γενικά μικρός. Στο παρελθόν και με βάση ιστορικά κείμενα έχει εκδηλωθεί ένας αριθμός tsunami σε αντίστοιχους σεισμούς.

Η πλέον χαρακτηριστική περίπτωση εκδήλωσης tsunami αποτελεί ο σεισμός του 373π.Χ στην αρχαία Ελίκη στο Αίγιο κατά τον οποίο κύμα tsunami κατάστρεψε την πόλη, παράλληλα με την εκδήλωση και άλλων γεωδυναμικών φαινομένων. Όσον αφορά την ευρύτερη περιοχή της Νισύρου γνωρίζουμε για το tsunami του 556μ.Χ που κατάστρεψε ολοκληρωτικά την πόλη της Κω. Τα μέτρα πρόληψης που προτείνονται για έναν επικείμενο κίνδυνο από tsunami στο Μανδράκι ή στους Πάλλους-Λουτρά αρχικά είναι:

- Μελέτη του δυναμικού ενός επικείμενου tsunami στην νήσο Νίσυρο από ειδικούς επιστήμονες. Στον Ελλαδικό χώρο ο κίνδυνος εκδήλωσης tsunami είναι γενικά μικρός. Για αυτό το λόγο πρέπει να έχουμε μία πλήρη εικόνα από ειδικούς επιστήμονες το κατά πόσο μπορεί αυτός ο κίνδυνος να απειλήσει τη Νίσυρο. Έπειτα μπορούμε να πάρουμε αποφάσεις για το είδος των μέτρων που θα προστατεύσουν το λιμάνι του νησιού.
- Ένα πολύ απλό μέτρο που πρέπει να εκτελείται πάντοτε είναι η μεταφορά του πληθυσμού σε υψηλά σημεία στο Μανδράκι και στους Πάλλους-Λουτρά ύστερα από ένα μεγάλο σεισμό.

Μία σειρά περαιτέρω μέτρων για την προστασία της Νισύρου από tsunami αν αυτό κριθεί αναγκαίο είναι τα ακόλουθα:

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

- Δημιουργία έγκαιρου συστήματος προειδοποίησης για tsunami στον ευρύτερο χώρο των Δωδεκανήσων ή στον ευρύτερο χώρο του Αιγαίου. Αν μετά από ένα σεισμό ή οποιαδήποτε άλλη διαταραχή, προκληθούν παλιρροιακά κύματα βαρύτητας, ο χρόνος άφιξης των κυμάτων μπορεί να προβλεφθεί με σφάλμα $\pm 1,5$ λεπτό για κάθε ώρα διαδρομής.
- Κατασκευή χάρτη προειδοποίησης για τα παλιρροιακά κύματα βαρύτητας. Οι χάρτες αυτοί δείχνουν τους σταθμούς αναφοράς και τους χρόνους που απαιτούνται για να φθάσουν τα παλιρροιακά κύματα βαρύτητας στο σημείο που μας ενδιαφέρει από διάφορες θέσεις.
- Έργα και κατασκευές για την προστασία του λιμανιού και του οικισμού στο Μανδράκι και συντήρηση ενός δευτέρου λιμανιού στους Πάλλους ή στα Λουτρά.

Οι κατασκευές αυτές μπορεί να είναι:

- Προστατευτικά τείχη και αναχώματα, τα οποία κατασκευάζονται απαραίτητα παράλληλα προς την ακτή.
- Βραχίονες και κυματοθραύστες. Οι απομακρυσμένοι κυματοθραύστες είναι «απομακρυσμένοι» με την έννοια ότι δεν συνδέονται με την ακτή, αλλά είναι ευθυγραμμισμένοι περίπου παράλληλα με αυτή. Όταν χρησιμοποιούνται σαν κατασκευές προστασίας της ακτής, οι απομακρυσμένοι κυματοθραύστες έχουν μήκος 25-100 μέτρα και τοποθετούνται λίγο έξω από τη ζώνη κυματαγωγής.

Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα

Η ηφαιστειακή επικινδυνότητα στον Ελληνικό χώρο εντοπίζεται κατά μήκος του ηφαιστειακού τόξου και συγκεκριμένα στα ηφαιστειακά κέντρα Μεθάνων, Μήλου, Σαντορίνης και Νισύρου. Ωστόσο, συγκριτικά με άλλα ηφαιστειακά κέντρα στον πλανήτη, η ηφαιστειακή επικινδυνότητα στην Ελλάδα είναι σχετικά μικρή. Παρόλα αυτά όμως ο κίνδυνος μιας σεισμο-ηφαιστειακής δραστηριότητας, η οποία περιλαμβάνει σεισμούς με μεγέθη μέχρι 5,5 R, μπορεί να διαταράξει τις ισορροπίες στους μαγματικούς θαλάμους και να οδηγήσει σε υδροθερμικές εκρήξεις (όπως και στις πρόσφατες εκρήξεις στα τέλη του 19^{ου} αιώνα).

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην Νίσυρο έδειξαν ότι οι μέγιστες τιμές διασποράς του υδρόθειου στην ατμόσφαιρα, φθάνουν μέχρι τα 1,24 ppm. Οι τιμές αυτές είναι σχετικά χαμηλές (βλέπε πίνακας 4 Κεφ. 3.5.1) και δείχνουν ότι η εκδήλωση επικίνδυνων επιπτώσεων μπορεί να επηρεάσει μονάχα ευπαθείς ομάδες του πληθυσμού.

Αντιθέτως, οι μετρήσεις που αφορούσαν το ποσοστό του διοξειδίου του άνθρακα που βρίσκεται στο έδαφος, αποκαλύπτουν υψηλά ποσοστά (75,5% στον κρατήρα Στέφανο, 19,3% στα Καμινάκια και 18,1% στον κρατήρα Πολυβώτη). Το άοσμο αυτό αέριο σε μικρές συγκεντρώσεις διαλύεται γρήγορα όταν απελευθερώνεται από το έδαφος. Μπορεί όμως σε συγκεκριμένες συνθήκες να συσσωρευτεί σε θανάσιμα επίπεδα (>30%) για τους ανθρώπους και τα ζώα, όπως για παράδειγμα σε χώρους με το μικρότερο υψόμετρο και χαμηλά κοιλώματα.

Ο κρατήρας “Στέφανος” ευνοεί την συγκέντρωση αερίων διότι πρόκειται για μια ελλειψοειδή λεκάνη (260x190μ.), κατά 20 περίπου μέτρα χαμηλότερη από την πεδιάδα που περιβάλλεται. Σε περιόδους “αφύπνισης” του ηφαιστείου μπορεί να προκληθούν υδροθερμικές εκρήξεις, έκλυσης μεγάλων ποσοτήτων αερίων και σεισμικά γεγονότα τα οποία με την σειρά τους να προκαλέσουν κατολισθήσεις κ.α. Το μοναδικό μονοπάτι που οδηγεί στον πυθμένα του κρατήρα, μπορεί να αποκοπεί σε μια ενδεχόμενη αυξημένη ηφαιστειακή δραστηριότητα. Εάν ένα τέτοιο γεγονός συμβεί κατά την θερινή περίοδο, όπου δεκάδες τουρίστες επισκέπτονται καθημερινά το νησί και τους κρατήρες, θα έχει ως αποτέλεσμα να εγκλωβιστούν σε μια περιοχή με ακατάλληλες συνθήκες.

Επομένως, γίνεται αντιληπτό, ότι είναι αναγκαία η παρακολούθηση του ηφαιστείου και ο έλεγχος των πρόδρομων φαινομένων, τα οποία σηματοδοτούν την έναρξη των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στα ηφαιστειακά κέντρα. Θα πρέπει να εγκατασταθούν συστήματα συνεχούς παρακολούθησης, τα οποία θα είναι επαρκώς αναπτυγμένα και ορθά τοποθετημένα στο πεδίο, ώστε να βελτιώσουν την εικόνα των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε περιοχές με ηφαιστειακή δραστηριότητα. Τα συστήματα παρακολούθησης που θα εγκατασταθούν θα πρέπει να είναι αυτοματοποιημένα και τα δεδομένα να μεταδίδονται σε κεντρικό σταθμό και να είναι προσιτά στους αρμόδιους επιστήμονες που θα παρακολουθούν το ηφαίστειο. Οι έρευνες αυτές θα περιλαμβάνουν παρακολούθηση της σεισμικής δραστηριότητας, της θερμοκρασίας των θερμών πηγών, των μεταβολών του εδάφους και της έκλυσης των αερίων. Η πολιτεία θα πρέπει να επενδύσει παραπάνω στις έρευνες αυτές, και τα συστήματα παρακολούθησης που θα εγκατασταθούν να παρέχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, έτσι ώστε να εντοπίζονται οι όποιες αλλαγές που σηματοδοτούν την αφύπνιση του ηφαιστείου. Υπάρχουν πολλές σύγχρονες μέθοδοι παρακολούθησης, που εφαρμόζονται παγκοσμίως σε άλλα ηφαιστειακά κέντρα, οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν και στην Νίσυρο (βλέπε κεφ. 4). Επίσης, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί η ενημέρωση των κατοίκων του νησιού για την υφιστάμενη κατάσταση, τους κινδύνους που ελλοχεύουν καθώς και τους τρόπους αντιμετώπισης μιας δυνητικής καταστροφής.

Βιβλιογραφία

Anderson I (1991) Blowout blights future of Hawaii's geothermal power. *New Sci* 1778:17

Beauchamp RO Jr, Bus JS, Popp JA, Boreiko CJ, Andjelkovich DA (1984) A critical review of the literature on hydrogen sulphide toxicity. *Crit Rev Toxicol* 13:25–97

Brombach T, Cardellini C, Chiodini G, Hunziker JC, Marini L (2001) Soil degassing and thermal energy fluxes from the southern Lakki Plain, Nisyros (Greece). *Geophys Res Lett* 28:69–72

Brombach T, Caliro S, Chiodini G, Fiebig J, Hunziker JC and Raco B (2003) Geochemical evidence for mixing of magmatic fluids with seawater, Nisyros hydrothermal system, Greece. *Bull Volcanol* 65:505–516

Chiodini G, Cioni R, Leonis C, Marini L, Raco B (1993) Fluid geochemistry of Nisyros Island, Dodekanese, Greece, *J. Volcanol Geotherm Res* 56:95–112

Chiodini G, Brombach T, Caliro S, Cardellini C, Marini L, Dietrich V (2002) Geochemical indicators of possible ongoing volcanic unrest at Nisyros Island (Greece). *Geophys Res Lett* 29(16) 10.1029/2001gl014355

Delmelle P, Stix J, Baxter PJ, Garcia-Alvarez J, Barquero J (2002) Atmospheric dispersion, environmental effects and potential health hazard associated with the low-altitude gas plume of Masaya volcano, Nicaragua. *Bull Volcanol* 64:423–434

Desio, A., *Le isole italiane dell' Egeo*. Mem. Descr. Cart. Geol. Ital., XXIV, 24, 534p, 1931.

Ermak DL, Nyholm RA, Gudilsen PH (1980) Potential air quality impacts of large-scale geothermal energy development in the Imperial Valley, California, USA. *Atmos Environ* 14:1321–1330

Ferm M, Rodhe H (1997) Measurements of air concentrations of SO₂, NO₂ and NH₃ at rural and remote sites in Asia. *J Atmos Chem* 27:17–29

Fytikas, M., Guiliani, O., Innocenti, F., Marinelli, G., Mazzuoli, R., 1976. Geochronological data on recent magmatism of the Aegean Sea. *Tectonophysics*.

Fytikas, M., Innocenti, F., Manetti, P., Mazuoli, R., Peccerilo A., Villari, L., 1984. Tertiary to Quaternary evolution of the volcanism in the Aegean Region', In Dixon J.E. and Robertson, A.H.F. (eds.): *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*. Geol. Soc. London, Spec. Pub. 17, 687-699.

Fytikas M., Vougioukalakis G., (2005), *The South Aegean Active Volcanic Arc, Present knowledge and future perspective*.

Geothermica Italiana.(1983) Nisyros 1 geothermal well. PPC-EEC report:1–106

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

Geotermica Italiana. (1984) Nisyros 2 geothermal well. PPC-EEC report, 1–44

Geowarn Swiss Federal Institute of Technology (ETHZ)

Gorceix MH (1873a) Sur d'état du volcan de Nisyros au mois de mars 1873. CR Acad Sci (Paris) 77:597–601

Gorceix MH (1873b) Sur la récente éruption de Nisyros. CR Acad Sci Paris 77:1039

Gorceix MH (1873c) Sur l'éruption boueuse de Nisyros. CR Acad Sci Paris 77:1474–1477

Gallegos-Ortega R, Quintero-Nunez M, Garcia-Cueto OR (2000) H₂S dispersion model at Cerro Prieto geothermoelectric power plant. Proc world geotherm congr 2000, Kyushu-Tohoku, Japan, 28 May–10 June 2000, 579–584

Hathaway, G.L., Proctor, N.H., Hughes, J.P., and Fischman, M.L., 1991, Proctor and Hughes' chemical hazards of the workplace: Van Nostrand Reinhold, New York, 3rd ed.

Ioannidis K (1998), Nisyros Island: Observed damages to buildings in Mandraki. Newslett, Eur Center Prevent Forecastf Earthquak 2 33-35.

Jackson J (1994) Active tectonics of the Aegean region. Ann Rev Earth Planet Sci 22: 239–271

Κυριακόπουλος Κ. (2003). Ηφαιστειολογία. Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας

Kavouridis T, Kuris D, Leonis C, Liberopoulou V, Leontiadis J, Panichi C, La Ruffa G, Caprai A (1999) Isotope and chemical studies for a geothermal assessment of the island of Nisyros (Greece). Geothermics 28:219–239

Kristmannsdottir H, Sigurgeirsson M, Armannsson H, Hjartarson H, Olafsson M (2000) Sulphur gas emission from geothermal power plants in Iceland. Geotherm 29:525–538

Lagios E (1991) Magnetotelluric study of the structure of the Nisyros Geothermal Field. Bull Geol Soc Greece 25(3):393–407

Lagios E. (2000) Intense crustal deformation rates on Nisyros Island (Greece), deduced from GPS studies, may foreshadow a forthcoming volcanic event. In: S Balassanian et al (ed) Proc. 2nd Intern. Conf. On Earthquake Hazard and Seismic Risk Reduction, Kluwer Academic Publishers, pp 249–259

Lagios E., Sakkas V., Parcharidis Is., Dietrich V. Ground deformation of Nisyros Volcano (Greece) for the period 1995–2002: Results from DInSAR and DGPS observations, Athens 2005

Makris J, Chonia T, 1999, Active and Passive Seismic Studies of Nisyros Volcano, East Aegean Sea. Proc.1999 CCSS Workshop held in Dublin, Ireland."Active and Passive Seismic Techniques Reviewed", In: AW Brian, Jacob Chr Bean, Stephen, TF Jacob (eds).pp9-12.

Marani M, Tole M, Ogalo L (2000) Concentrations of H₂S in air around the Olkaria geothermal field, Kenya. Proc world geotherm Congr 2000, Kyushu-Tohoku, Japan, 28 May–10 June 2000: 649–661

Marini L, Principe C, Chiodini G, Cioni R, Fytikas M, Marinelli G (1993) Hydrothermal eruptions of Nisyros (Dodecanese, Greece). Past events and present hazard. J Volcanol Geotherm Res 56:71–95

Marouli Chr., Kaldellis J.K., 2001, "Risk in the Greek Electricity Production Sector", 7th International Conference on Environmental Science and Technology, University of Aegean, Global-NEST, Syros, Greece.

Νομικού Π., Συμβολή Στη Γεωδυναμική Των Δωδεκανήσων: Ο Υποθαλάσσιος Χώρος Των Νήσων Κω-Νισύρου, Διδακτορική Διατριβή.

Nomikou P., Papanikolaou D., (2000), Submarine survey of the volcanic centers around Nisyros island using multi beam system and the submersible Thetis. International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region, Izmir, Turkey, Abstracts pp.198.

Papadopoulos A. G., Sachpazi M., Panopoulou G., Stavrakakis G., The volcanoseismic crisis of 1996-97 in Nisyros, SE Aegean Sea, Greece, Terra Nova, 10, 151-154, 1998.

Παπανικολάου Δ. Λέκκας Ε. Σακελλαρίου Δ (1990), Γεωλογική δομή και εξέλιξη του ηφαιστείου της Νισύρου, Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομος XXV/1, 1991.

Παπανικολάου Δ., Λέκκας, Ε. Νομικού Π., Σακελλαρίου Δ. (2005). – Γεωλογική δομή και εξέλιξη του ηφαιστείου της Νισύρου και σύγχρονη νεοτεκτονική παραμόρφωση. Νισυριακά, Αθήνα.

Πετανίδου Θ., Σπάστρα Π., Καρυστινάκης Κ., Κίζος Θ. (2004). Η εγκατάλειψη του αναβαθμιδωμένου τοπίου της Νισύρου: κοινωνικοοικονομικές διαστάσεις. Πρακτικά του 7^{ου} Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, Ελληνική Γεωγραφική Εταιρεία, Μυτιλήνη, σελ. 466–477.

Sachpazi M., Kontoes Ch., Voulgaris N., Laigle M., Vougioukalakis G., Sikioti O., Stavrakakis G., Baskoutas J., Kalogeras J., Lepine J. Cl., Seismological and SAR signature of unrest at Nisyros caldera, Greece, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 116 (2002), 19-33.

Sachpazi M., Kontoes Ch., Voulgaris N., Laigle M., Vougioukalakis G., Sikioti O., Stavrakakis G., Baskoutas J., Kalogeras J., Lepine J. Cl., Seismological and SAR

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

signature of unrest at Nisyros caldera, Greece, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 116 (2002), 19-33.

Siegel SM, Penny P, Siegel BZ, Penny D (1986) Atmospheric hydrogen sulfide levels at the Sulfur Bay Wildlife area, Lake Rotorua, New Zealand. *Water Air Soil Pollut* 28:385–391

Sorey M. (1999) Invisible CO₂ Gas Killing Trees at Mammoth Mountain, California U.S. Geological Survey Fact Sheet 172-96

G. Stavrakakis (1997) Back arcs basins and P-wave crustal velocity in the ionian and Aegean regions. *Geophys. Res. Lett.* 24,

Stiros SC (2000) Fault pattern of Nisyros Island Volcano (Aegean Sea, Greece): Structural, coastal and archaeological evidence. In: McGuire WJ, Griffiths DR, Hancock PL, Stewart IS (eds) *The archaeology of Geological Catastrophes*. Geological Society, London, Spec. Public.7: 385–397

Teschner M., Vougioukalakis G, Faber E., Poggenburg J. Hatziyannis G.,(2005) Real time monitoring of gas-geochemical parameters in Nisyros Fumaroles, The South Aegean active volcanic arc. 247-254

United States Geological Survey

Vougioukalakis G (1993) Volcanic Stratigraphy and Evolution of Nisyros Island. *Bull Geol Soc Greece* 28 2:239–258.

WHO (2003) Hydrogen sulphide: human health aspects. *Concise International Chemical Assessment Document 53*, World Health Organization, Geneva, pp 26

Ηφαιστειακή επικινδυνότητα στο ηφαίστειο της Νισύρου.

Παράρτημα