

ΕΘΝΙΚΟ & ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ  
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



NATIONAL & KAPODISTRIAN UNIVERSITY OF ATHENS  
SCHOOL OF SCIENCES  
DEPARTMENT OF GEOLOGY & GEOENVIRONMENT



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ & ΚΡΙΣΕΩΝ



POST GRADUATE PROGRAM  
ENVIRONMENTAL, DISASTER & CRISES MANAGEMENT STRATEGIES

**Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης**

Master Thesis

## **Η Σεισμο-Ηφαιστειακή Κρίση της Σαντορίνης 2011-2012. Ο ρόλος της Ειδικής Επιστημονικής Επιτροπής Παρακολούθησης Ηφαιστείου Σαντορίνης**

The seismo-volcanic unrest of Santorini 2011-2012. The role of the Special Scientific Committee for Monitoring Santorini Volcano

**MARIA ΜΑΝΟΥΣΑΚΗ / MARIA ΜΑΝΟΥΣΑΚΙ**

A.M. / R.N. : 14045

Ειδικές Εκδόσεις / Special Publications:

**No. 2017009**

**Αθήνα, Μάρτιος 2017**

Athens, March 2017



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ & ΚΡΙΣΕΩΝ

POST GRADUATE PROGRAM  
ENVIRONMENTAL, DISASTER & CRISES MANAGEMENT STRATEGIES

## Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης

Master Thesis

# Η Σεισμο-Ηφαιστειακή Κρίση της Σαντορίνης 2011-2012. Ο ρόλος της Ειδικής Επιστημονικής Επιτροπής Παρακολούθησης Ηφαιστείου Σαντορίνης

The seismo-volcanic unrest of Santorini 2011-2012. The role of the Special Scientific Committee for Monitoring Santorini Volcano

ΜΑΡΙΑ ΜΑΝΟΥΣΑΚΗ / MARIA MANOUSAKI

A.M. / R.N. : 14045

### Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

**Δρ. Ε. Λέκκας,**  
Καθηγ. ΕΚΠΑ

**Δρ. Κ. Κυριακόπουλος,**  
Καθηγ. ΕΚΠΑ

**Δρ. Ν. Βούλαρης,**  
Καθηγ. ΕΚΠΑ

ΑΦΙΕΡΩΝΕΤΑΙ

Στη μνήμη του πατέρα μου

Στις κόρες μου, Βασιλική και Αγγελική

Στην αδερφή μου και στη μητέρα μου

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	iii
Abstract .....	v
Ευχαριστίες .....	viii
Κατάλογος Πινάκων.....	x
Κατάλογος εικόνων.....	xi
Συντομογραφίες .....	xvi
<b>Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....</b>	<b>1</b>
1.1. Το ηφαιστειακό κέντρο της Σαντορίνης .....	3
1.1.1. Γεωδυναμική θέση.....	3
1.2. Χαρακτηριστικά του ηφαιστείου .....	10
1.3. Ιστορικό Ηφαιστειότητας.....	12
1.3.1. Χαρακτηριστικά υπο-πλίνιας έκρηξης .....	21
1.3.2. Χαρακτηριστικά έκρηξης Βουλκάνιου τύπου .....	22
1.4. Ιστορικό σεισμικότητας .....	22
<b>Κεφάλαιο 2. Η σειсмо-ηφαιστειακή κρίση του 2011 - 2012.....</b>	<b>25</b>
2.1. Δημοσιεύματα.....	25
2.2. Σεισμική Δραστηριότητα .....	26
2.2.1. Σεισμική ανισοτροπία .....	39
2.2.2. Φασματομετρία.....	41
2.2.3. Σεισμικές Τομογραφίες .....	42
2.3. Εδαφικές Παραμορφώσεις.....	42
2.3.1. Συμβολομετρία και δορυφορικές παρατηρήσεις.....	49
2.4. Γεωχημικά- Υδροθερμικά φαινόμενα.....	53
2.4.1. Χημική παρακολούθηση .....	53
2.4.2. Θερμικές Μεταβολές.....	57
2.4.3. Μεταβολές στάθμης θάλασσας.....	59
<b>Κεφάλαιο 3. Ο ρόλος της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. ....</b>	<b>61</b>
3.1. Συγκρότηση επιτροπής.....	61
3.1.1. Υποεπιτροπές .....	64
3.2. Συνεδριάσεις - Αποφάσεις .....	66
3.3. Οικονομικοτεχνικά στοιχεία.....	79
3.3.1. Προϋπολογισμός .....	79
3.3.2. Εξοπλισμός .....	82
3.4. Συνέδρια.....	89
3.4.1. MeMoVolc 2012.....	89



3.4.2.	International Forum on Satellite Earth Observation for Geo-Hazard Risk Management .....	93
3.4.3.	Volsam 2012 .....	93
3.4.4.	Voland 2014 .....	93
3.4.5.	NEMO International Conference 150 Years of Studying the Santorini Volcanoes (1866 - 2016).....	94
3.5.	Ξένοι Επιστήμονες.....	94
<b>Κεφάλαιο 4. Σχεδιασμός – Μέτρα πρόληψης .....</b>		<b>99</b>
4.1.	Ακραίο σενάριο.....	100
4.2.	Πιθανότερο σενάριο.....	100
<b>Κεφάλαιο 5. Ο ηφαιστειακός κίνδυνος στην Ελλάδα.....</b>		<b>105</b>
5.1.	Ηφαιστειακός κίνδυνος .....	105
5.1.1.	Μέθοδοι παρακολούθησης ηφαιστειών.....	107
5.1.2.	Πρόβλεψη ηφαιστειακής δραστηριότητας .....	108
5.1.3.	Ετοιμότητα.....	109
5.1.4.	Σχέδιο άμεσης απόκρισης .....	111
5.2.	Ηφαιστειακός κίνδυνος στο ελληνικό ηφαιστειακό τόξο .....	112
5.3.	Μέτρα προστασίας .....	115
5.4.	Πιθανότητα γένεσης ισχυρής έκρηξης στη Σαντορίνη .....	118
5.5.	Δυναμικότητα της καλδέρας της Σαντορίνης σήμερα .....	119
<b>Κεφάλαιο 6. Παγκόσμιες ηφαιστειακές κρίσεις .....</b>		<b>120</b>
6.1.	Ηφαιστειακή κρίση στο ηφαίστειο Campi Flegrei στη Νάπολη της Ιταλίας.....	120
6.2.	Ηφαιστειακή κρίση στο ηφαίστειο Ubinas στο Περού (2006-2007).....	121
6.3.	Ηφαιστειακή κρίση στο El Hierro 2011-2014 (Κανάρια νησιά, Ισπανία).....	121
<b>Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα - Προτάσεις.....</b>		<b>124</b>
<b>Κεφάλαιο 8. Βιβλιογραφία .....</b>		<b>129</b>

## Περίληψη

Τον Ιανουάριο του 2011, άρχισε να παρατηρείται ασυνήθιστη αύξηση στη σεισμική δραστηριότητα του ηφαιστείου της Σαντορίνης. Συγκεκριμένα κατεγράφησαν σημαντικές μεταβολές στην παραμόρφωση του αναγλύφου, στη θερμοκρασία και στο χημισμό των θερμών ρευστών και των εδαφικών αερίων ενώ πλήθος σεισμών μικρού μεγέθους αναστάτωναν την τοπική κοινωνία.

Τον Ιανουάριο του 2012, πραγματοποιήθηκε σύσκεψη στον Ο.Α.Σ.Π. (Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας) στην οποία παρουσιάστηκαν τα μέχρι τότε αποτελέσματα. Πολλά ήταν τα επιστημονικά θέματα που έπρεπε να ληφθούν υπόψη σχετικά με την παρακολούθηση του ηφαιστείου. Επιτακτική όμως ήταν και η ανάγκη για το συντονισμό των δράσεων για την παρακολούθηση και τη σύσταση ανάλογης Επιτροπής.

Για το λόγο αυτό, το Φεβρουάριο του 2012, με απόφαση του τότε Υφυπουργού Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων κ. Ι. Μαγκριώτη, συγκροτήθηκε η 18μελής Ειδική Επιστημονική Επιτροπή Παρακολούθησης Ηφαιστείου Σαντορίνης (Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ.) με διετή θητεία. Τα μέλη της ήταν καταξιωμένοι επιστήμονες γεωλόγοι, ηφαιστειολόγοι, σεισμολόγοι, μηχανικοί από φορείς όπως το Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, τον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, το Ινστιτούτο Γεωλογικών Μεταλλευτικών Ερευνών, το Ελληνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών, την Πολιτική Προστασία καθώς και από τον Πανεπιστημιακό χώρο (Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πανεπιστήμιο Πατρών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο).

Ο ρόλος της επιτροπής ήταν η διαρκής παρακολούθηση και αξιολόγηση των επιστημονικών δεδομένων του ηφαιστείου, η γνωμοδότηση και η εισήγηση προς τον Ο.Α.Σ.Π. μέτρων προστασίας κατά περίπτωση. Επίσης η λήψη μέτρων και απαιτούμενων ενεργειών που σχετίζονται με την εξασφάλιση της επάρκειας και της συνεχούς και απρόσκοπτης λειτουργίας του επιστημονικού εξοπλισμού και των οργάνων παρακολούθησης. Με αυτόν τον τρόπο θα διασφαλιζονταν η συλλογή των καταγραφών και στοιχείων που κρίνονταν απαραίτητα για την παρακολούθηση της δραστηριότητας του ηφαιστείου.

Για την καλύτερη λειτουργία της, συστάθηκαν τέσσερις Υποεπιτροπές με τους αντίστοιχους συντονιστές τους: α) Η Υποεπιτροπή Σεισμολογίας, β) Παρακολούθησης Παραμορφώσεων, γ) Παρακολούθησης των Φυσικοχημικών μεταβολών και δ) της Πολιτικής Προστασίας.

Κατατέθηκε αίτημα χρηματοδότησης προς το Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων για την υποστήριξη του έργου της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ., η οποία

χρηματοδοτήθηκε με το ποσό των 156.000 Ευρώ. Αυτά κατανεμήθηκαν για την περιορισμένη προμήθεια και εγκατάσταση νέου εξοπλισμού, επισκευές και συντηρήσεις υπάρχοντος εξοπλισμού και πραγματοποίηση μετρήσεων πεδίου.

Τους πρώτους κιάλας μήνες, έγινε πρόσκληση σε 30 καταξιωμένους ξένους επιστήμονες για συνεργασία όσον αφορά στη συλλογή στοιχείων μετρήσεων, εξειδικευμένου εξοπλισμού, παροχή τεχνογνωσίας και συμβουλευτικές οδηγίες για τη διαχείριση του ηφαιστειακού κινδύνου. Οι περισσότεροι από αυτούς, αποδέχτηκαν την πρόσκληση με μεγάλη προθυμία χωρίς χρηματοδότηση. Στο πλαίσιο αυτό, η τρίτη σύσκεψη της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. πραγματοποιήθηκε στη Σαντορίνη, όπου τα μέλη της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. συναντήθηκαν με τους ξένους επιστήμονες και αντάλλαξαν απόψεις, κατά τη διάρκεια του workshop MeMoVolc.

Στο διάστημα της θητείας της Επιτροπής, πραγματοποιήθηκαν δέκα συνεδριάσεις, στις οποίες συζητήθηκαν οι επιστημονικές εξελίξεις και λήφθηκαν σοβαρές αποφάσεις για τις περαιτέρω ενέργειες τόσο της Επιτροπής όσο και της Πολιτείας. Η Επιτροπή ενημέρωνε με εμπιστευτικά μηνύματα το Γενικό Γραμματέα Πολιτικής Προστασίας.

Τον Ιούνιο του 2013, συντάχθηκε από τα μέλη της Υποεπιτροπής Πολιτικής Προστασίας, η τελική Έκθεση με αντικείμενο τη διαχείριση του ηφαιστειακού κινδύνου με τίτλο: «Σενάρια επαναδραστηριοποίησης και εκτίμηση ηφαιστειακού κινδύνου του ηφαιστειακού συμπλέγματος Σαντορίνης» η οποία υποβλήθηκε στη Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας. Σύμφωνα με αυτήν, δύο ήταν τα σενάρια επαναδραστηριοποίησης. Το ακραίο σενάριο με μία υπο-πλινιακού τύπου έκρηξη και το πιθανότερο με μία ενδοκαλδερική επαναδραστηριοποίηση των ηφαιστειακών κέντρων των Καμένων. Αναλύθηκαν όλοι οι κίνδυνοι, τα πρόδρομα φαινόμενα, οι επηρεαζόμενες περιοχές, οι πιθανές επιπτώσεις στον πληθυσμό, τις υποδομές καθώς και τα προτεινόμενα μέτρα μετριασμού των επιπτώσεων.

**Λέξεις - Κλειδιά:** Ηφαίστειο Σαντορίνης, Ηφαιστειακή κρίση 2011-2012, Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ.

## Abstract

Since 1950, The Santorini volcano was in a state of rest. In January 2011 and for the first half of the 2012, the scientists, according to the permanent installed monitoring networks and a big number of campaign measurements, observed an increase of the volcanic activity. Significant changes in the deformation of the texture, temperature and chemistry of the hot fluid and soil gases were recorded while numerous small earthquakes upset the local community.

Volcanotectonic earthquakes of small magnitude ( $M=3.6$ ) were often along the Kameni line, of 6 km length, in a depth of 1-6 km for 15 months. The GPS networks as well as the radar interferometry, revealed a 10 cm uplift of the Kameni islands. The source of the inflation (Mogi source) was found beneath the northern caldera basin, in the depth of 3-6 km and the increase of the volume was estimated of about 10-20 million  $m^3$ . During the unrest, there were small increases in the fluxes of  $H_2$  and  $CO_2$  derived from the mantle. According to the International Alert-Notification System for Volcanic Activity, the alert for Santorini volcano was the initial stage of the advisory phase, in the yellow color. The spring of 2012, the monitoring networks have indicated that the volcano had returned to the previous state of activity.

In January 2012, a meeting was held in the Earthquake Planning and Protection Organization (E.P.P.O.) which featured the hitherto results. Many were the scientific issues that had to be taken into account on the monitoring of the volcano, but the need for coordination of actions to monitor and provide appropriate measures was urgent. So, in February 2012, by decision of the Minister of Infrastructures, Transport and Networks, a National Scientific Committee for Monitoring Santorini Volcano (N.S.C.M.S.V.) was established, with 18 members for two years term. The members were distinguished scientists, geologists, engineers, seismologists, volcanologists, all from Scientific Organizations, Ministries, Universities and Civil Protection.

The role of the Committee was the continuous monitoring and evaluation of scientific volcanic data, the opinion and recommendation to the E.P.P.O. of appropriate protective measures, any other measures required and operations related to ensuring the adequacy and continuous operation of scientific equipment and monitoring instruments, so as to ensure the collection of records and information that are necessary to monitor the volcano's activity.

For the best operation, 4 subcommittees were set up with their coordinators concerning the Seismology, the Deformation Monitoring, the Physicochemical changes and the Civil Protection. Each of them, took a budget and presented an

output at the end. During the mandate of the Commission, ten meetings took place, in the offices of the Earthquake Planning and Protection Organization, with full written records, in which scientific developments were discussed and important decisions were taken for further actions of both the Commission and the State. Some of the decisions that were taken was the collaboration with other Institutions and scientists, Greek or Foreigner (e.g. Georgia Tech, N.E.R.C.), in terms of data, the development of a GIS programme with seismic and geodetic data in the web site of the Earthquake Planning and Protection Organization, funding of the actions, frequent updates to the General Secretariat of Civil Protection and the Minister of Infrastructures with confidential reports, composition of volcanic hazard maps and a final report including the hazard risks and the scenarios of reactivation.

Funding request to the Ministry of Infrastructure, Transport and Networks was made to support the plans of the N.S.C.M.S.V., which was finally funded with the amount of 156,000 Euros. This amount was allocated to the limited supply and installation of new equipment, repairs and maintenance of existing equipment and making field measurements.

The Universities of Athens, Thessaloniki, Patra, the Geodynamic Institute, the National Technical School of Athens, the Earthquake Planning and Protection Organization, the Institute of the Study and Monitoring of the Santorini Volcano, the Institute of Geological and Mineral Exploration, had offered their equipment for the monitoring of the activity. A network of 21 seismological stations, 12 GPS stations, tide gauge and other geochemical instruments, were in the disposal of the Committee.

In the first months, 30 renowned foreign scientists from Italy, France, England, Iceland, and United States of America were invited for cooperation on available data measurements, specialized equipment, providing expertise and advice for the management of volcanic risk. Most of them accepted the invitation with alacrity inexpensively. They were already in collaboration with the Greek scientists and had installed their own equipment. In this context, the third meeting of N.S.C.M.S.V. took place in Santorini, on March 27, 2012, where the N.S.C.M.S.V. members met some of the foreign scientists and exchanged views, during the MeMoVolc workshop.

In June 2013, the members of the Subcommittee for Civil Protection, had fulfilled the final report about the volcanic risk management and entitled "Scenarios reactivation and volcanic hazard assessment of the Sanorini Volcanic Complex" which was submitted to the General Secretariat for Civil Protection. According to that, there are two scenarios of reactivation, based on the past behavior of the volcano and available research results. The extreme scenario with a sub-plinian type of explosion and most likely an inter-caldera reactivation of volcanic centers of Kameni islands. They analyzed all the risks, the precursor phenomena, the affected areas, the potential impacts on people, infrastructures and the recommended mitigation measures. In addition, two volcanic hazard maps of Santorini was given to the Civil Protection for each of these scenarios, given into account the volcanic, seismic and the geotechnical hazards of Santorini Volcanic Complex. Therefore, the Civil

Protection would make all the plans, take all the measures and the actions for the safety of the inhabitants, the tourists and the infrastructures and to preserve the balance in the social and economical life in the region. On this basis, the Greek Civil Protection is about to establish an Emergency Plan for volcanic risk with the code name “Xenokratris-Volcanoes, Santorini” in the near future.

The Greek Scientific Community is now more experienced in volcanic risk management. Despite the fact that the financial support was never not enough, all the members of the Committee had worked hard, with seriousness, professionalism, unity even when scientific different aspects were present. The Committee had successfully fulfilled its purpose for the benefit of the State and set the basis for an effective volcanic management in the future.

**Key words:** Santorini Volcano, Volcanic unrest 2011-2012, N.S.C.M.S.V.

## Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους εκείνους που με βοήθησαν στην ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου διατριβής είτε με στήριξαν ηθικά και ψυχολογικά κατά την διάρκεια της εκπόνησής της.

Πρωταρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διατριβής, καθηγητή Τεκτονικής του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Ε.Κ.Π.Α. κ. Ευθύμιο Λέκκα για τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε στην εκπόνησή της καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές του.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τα δύο ακόμα μέλη της επιτροπής κ. Κων/νο Κυριακόπουλο και Νικόλαο Βούλγαρη και από το Ε.Κ.Π.Α. που δέχτηκαν να συμμετάσχουν στην τριμελή επιτροπή και για τις όποιες υποδείξεις τους.

Ευχαριστώ από βάθος καρδιάς το Διοικητικό Συμβούλιο του Ο.Α.Σ.Π. και το Γενικό Διευθυντή του Ο.Α.Σ.Π. κ. Νικήτα Παπαδόπουλο για όλο το πολύτιμο αρχειακό υλικό που μου διέθεσε, χωρίς το οποίο δεν θα μπορούσε να υλοποιηθεί η παρούσα εργασία καθώς και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν.

Ένα πολύ μεγάλο και ουσιαστικό ευχαριστώ στον κ. Αθανάσιο Γκανά από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο για την καθοδήγηση, τις πολύτιμες συμβουλές του και το όραμα που μου ενέπνευσε.

Στην συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Πρόεδρο της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ και τότε Πρόεδρο του Ο.Α.Σ.Π. καθηγητή του Α.Π.Θ. κ. Κοσμά Στυλιανίδη καθώς και τον ομότιμο καθηγητή Γεωλογίας του Α.Π.Θ. κ. Μιχαήλ Φυτίκα για το ειλικρινές τους ενδιαφέρον και τις σημαντικές πληροφορίες που μου παρείχαν.

Ξεχωριστές ευχαριστίες στους καθηγητές κ.κ. Κων/νο Μακρόπουλο από το ΓΕ.ΙΝ., Ευάγγελο Λάγιο, Παναγιώτη Παπαδημητρίου, Γεώργιο Καβύρη από το Ε.Κ.Π.Α., τους καθηγητές κ. Ευστάθιο Στείρο από το Πανεπιστήμιο Πατρών, και Κωνσταντίνο Παπαζάχο από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Αντωνάκο Ανδρέα από τη Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας, Λεκίδη Βασίλειο από τη Μονάδα Έρευνας του Ο.Α.Σ.Π., Λαλεχό Σπυρίδωνα και Παπαδόπουλο Γεώργιο από τον Ο.Α.Σ.Π. και Ισαάκ Παρχαρίδη από το Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, για την ένθερμη και ειλικρινή βοήθειά τους στην παραχώρηση στοιχείων και συμβουλών.

Ένα θερμό και ειλικρινές ευχαριστώ στον αγαπητό μας Εμμανουήλ Ανδρεαδάκη από το Ε.Κ.Π.Α., για τις ουσιαστικές υποδείξεις και τη βοήθεια υποστήριξης που μου προσέφερε.

Θα ήταν παράλειψη να μην ευχαριστήσω τις αγαπημένες μου συναδέλφους από τον Ο.Α.Σ.Π. κ.κ. Αβραμέα Βασιλική για την πολύτιμη βοήθεια και συνεργασία μαζί της, και Γκουντρομίχου Χρύσα, Ιωακειμίδου Νατάσα, Ζάγορα Γαβριέλα, Πανουτσοπούλου Μαρία που με βοήθησαν σημαντικά η καθεμία με τον τρόπο της.

Ένα πολύ ιδιαίτερο ευχαριστώ θα ήθελα να εκφράσω στην πολυαγαπημένη μου αδερφή Ζωή και στη μητέρα μου που είχαν τη δική τους ιδιαίτερη και πολύτιμη συνεισφορά σε αυτήν μου την προσπάθεια.

Δεν μπορώ να παραλείψω τους συμφοιτητές μου Έρη Γαλαζούδη για τις συμβουλές της, καθώς και τους: Χριστίνα, Δημήτρη, Γεωργία, Τζένη, Γιάννη και φίλους μου Σωτήρη και Φοίβη, που μου στάθηκαν συναισθηματικά όλο αυτό το διάστημα.

Τέλος, ευχαριστώ πολύ το Γεωλόγο - Γεωπεριβαλλοντολόγο Κρασάκη Παύλο/ Ειδικό Γ.Π.Σ., για τη βοήθειά του σχετικά με την επιμέλεια και τη σύνταξη του γεωλογικού χάρτη της Σαντορίνης.



## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1	Στάδια εξέλιξης της Σαντορίνης από το Τριαδικό έως σήμερα (συμπόσιο γεωτουριστικά, γεωπολιτιστικά μονοπάτια και γεωμυθότοποι, Αθήνα, 2000) .....	14
Πίνακας 1.2.	Δείκτης Ηφαιστειακής Εκρηκτικότητας και ταξινόμηση των εκρήξεων (Ο.Α.Σ.Π., 2013).....	21
Πίνακας 2.1.	Μηνιαία σεισμικότητα $M_L \geq 1.0$ και μετακινήσεις σε πέντε περιόδους (Parksetal., 2015).....	46
Πίνακας 3.1.	Ιεράρχηση συνεδριάσεων κατά ημερομηνία και τόπο διεξαγωγής.....	79
Πίνακας 5.1	Δείκτης Ηφαιστειακής Εκρηκτικότητας (Βουγιουκαλάκης....).....	106

## Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1.1.	Σχηματική απεικόνιση του ελληνικού ορογενετικού τόξου (Παπανικολάου Δ., 1998).....	4
Εικόνα 1.2	Σχηματική απεικόνιση του ελληνικού τόξου (Παπανικολάου Δ., 1998).....	5
Εικόνα 1.3	Χάρτης της Ανατολικής Μεσογείου που δείχνει την ενεργό γεωδυναμική κατάσταση, τις κινήσεις των μικρο-πλακών στην περιοχή και τη διαμόρφωση του Ελληνικού-Αιγαιακού τόξου και του Κυπριακού τόξου (Παπαζάχος, 2001).....	5
Εικόνα 1.4	Το Ηφαιστειακό Τόξο του Νοτίου Αιγαίου και η γεωτεκτονική θέση της Σαντορίνης ( <a href="http://www.geo.auth.gr">www.geo.auth.gr</a> ).....	6
Εικόνα 1.5	Σχηματικός τεκτονικός χάρτης στην ευρύτερη περιοχή του ηφαιστείου της Σαντορίνης με τα επιμέρους ηφαιστειακά κέντρα (Heiken & McCoy, 1984).....	7
Εικόνα 1.6	Ενεργά ρήγματα γύρω από το ηφαιστειακό συγκρότημα της Σαντορίνης (Nomikou et al., 2012). ....	8
Εικόνα 1.7	Γεωλογικός χάρτης Σαντορίνης, τροποποίηση από φύλλο ΘΗΡΑ, κλίμακας 1:50000 Ι.Γ.Μ.Ε) (Κρασάκης, 2017).....	9
Εικόνα 1.8	Σχηματική γεωλογική τομή του ηφαιστειακού συγκροτήματος της Σαντορίνης ( <a href="http://www.geo.auth.gr">www.geo.auth.gr</a> ) .....	11
Εικόνα 1.9	Τομή στην περιοχή της Σαντορίνης με τους μαγματικούς θαλάμους της Σαντορίνης και του Columbo (Kilias et al., 2013).....	12
Εικόνα 1.10	Η Σαντορίνη πριν τη Μινωική έκρηξη. ( <a href="http://www.geo.auth.gr/765/6_santorini/images/63/63_minoan.gif">http://www.geo.auth.gr/765/6_santorini/images/63/63_minoan.gif</a> ) .....	13
Εικόνα 1.11	Ο μηχανισμός της Μινωικής έκρηξης από Pichler και Friedrich (1978) (Συμπόσιο γεωτουριστικά, γεωπολιτιστικά μονοπάτια και γεωμυθότοποι, 2000).....	14
Εικόνα 1.12	Η έκρηξη του 1928 ( <a href="http://www.zougla.gr/greece/article/fovi-gia-afipnisi-tou-ifestiou-tis-8iras">http://www.zougla.gr/greece/article/fovi-gia-afipnisi-tou-ifestiou-tis-8iras</a> ).....	17
Εικόνα 1.13	Βουλκάνια έκρηξη στον κρατήρα της Δάφνης ,1925 (Βουγιουκαλάκης, 2011).....	18
Εικόνα 1.14	Έκρηξη το 1939 ( <a href="http://www.zougla.gr/greece/article/sto-mikroskopio-to-ifestio-tis-santorinis">http://www.zougla.gr/greece/article/sto-mikroskopio-to-ifestio-tis-santorinis</a> ) .....	18
Εικόνα 1.15	Ο σχηματισμός επιμέρους λαβών κατά τις εκρήξεις του 1939-1941 ( <a href="http://www.geo.auth.gr/765/6_santorini/64_kameni.htm">http://www.geo.auth.gr/765/6_santorini/64_kameni.htm</a> ) .....	19
Εικόνα 1.16	Άποψη της καλδέρας κατά την τελευταία δραστηριότητα το 1950 ( <a href="http://www.geo.auth.gr/765/6_santorini/64_kameni.htm">http://www.geo.auth.gr/765/6_santorini/64_kameni.htm</a> ) .....	19

Εικόνα 1.17	Ηφαιστειολογικός χάρτης των νησιών Παλαιάς και Νέας Καμένης ( <a href="http://www.geo.auth.gr">www.geo.auth.gr</a> ) .....	20
Εικόνα 1.18	Δημιουργία Παλαιάς και Νέας Καμένης ( <a href="http://www.santorini.net/ismosav/">http://www.santorini.net/ismosav/</a> ).....	20
Εικόνα 1.19	Χάρτης εντάσεων για το σεισμό του 1956. ( <a href="http://atlantea.news/wp-content/uploads/2016/07/santorini_small2-1024x845.jpg">http://atlantea.news/wp-content/uploads/2016/07/santorini_small2-1024x845.jpg</a> ) .....	23
Εικόνα 1.20	Ο φονικός σεισμός του 1956 σε πρωτοσέλιδο της εποχής ( <a href="http://santo-rinios.blogspot.gr/2012/07/1956.html">http://santo-rinios.blogspot.gr/2012/07/1956.html</a> ).....	24
Εικόνα 2.1	Δημοσιεύματα στον ημερήσιο τύπο σχετικά με τη σεισμοηφαιστειακή κρίση του 2011-2012. (Προσωπικό αρχείο) .....	26
Εικόνα 2.2	Σεισμοτεκτονικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του ηφαιστειακού συγκροτήματος της Σαντορίνης και ενεργά ρήγματα (Papadimitriou et al., 2014) .....	27
Εικόνα 2.3	Η σεισμική δραστηριότητα στο ηφαιστειακό κέντρο της Σαντορίνης κατά το διάστημα Ιανουαρίου 2006-Οκτωβρίου (αριστερά) και Οκτωβρίου 2008-Μαΐου 2010 (Παπαζάχος κ.α., 2011).....	28
Εικόνα 2.4	Ιστόγραμμα μηνιαίας σεισμικότητας από το Μάρτιο του 2000 ως τον Αύγουστο 2011 (Papadimitriou et al., 2014) .....	29
Εικόνα 2.5	Σεισμικότητα στην ευρύτερη περιοχή της Σαντορίνης το διάστημα Σεπτέμβριος 2011-Μάρτιος 201 (Papadimitriou et al., 2014).....	31
Εικόνα 2.6	Σεισμικότητα στην καλδέρα της Σαντορίνης τη διάρκεια Σεπτέμβριος 2011-Μάρτιος 2013 (Papadimitriou et al., 2014).....	31
Εικόνα 2.7	Σεισμικότητα ανά ημέρα, 1/10/2011-1/4/2012 (Vallianatos et al., 2013).....	33
Εικόνα 2.8	Πλήθος σεισμών ανά μήνα από την Νέα Καμένη με μέγεθος $M > 0.5$ για το χρονικό διάστημα 1/1/2012-19/9/2013 (Μακρόπουλος, 2013).....	33
Εικόνα 2.9	(α) Πλήθος σεισμών ανά μήνα και αθροιστικά από τον Ιανουάριο 2011 έως Σεπτέμβριο 2012 $M_L \geq 1.0$ . (β) Μηνιαίες μέσες κατακόρυφες μετακινήσεις του σταθμού ΝΟΜΙ (Στείρος, 2015).....	34
Εικόνα 2.10	Εικοσιτετράωρη καταγραφή του σταθμού SNT2. Ε.Κ.Π.Α., (Λάγιος, 2012).....	35
Εικόνα 2.11	Περιοχή με κέντρο τη Νέα Καμένη και ακτίνα 20 km: (α) Χάρτης Σεισμικότητας. (β) Αριθμός Σεισμών ανά μήνα (Λάγιος, 2012).....	36
Εικόνα 2.12	Χωρική κατανομή σεισμών με $M \geq 1,1$ μέσα στην καλδέρα από την αρχή της ηφαιστειακής κρίσης Ιανουάριος 2011-Σεπτέμβριος 2012 (Tassi et al., 2013).....	37
Εικόνα 2.13	Σεισμοί κάτω από τα νησιά των Καμένων σε επίπεδο NE-SW μήκους 6 km, βάθους 5 km και κλίσης $80^\circ$ προς βορρά (Parazachos et al., 2012). .....	37

Εικόνα 2.14	Αθροιστικός αριθμός σεισμών με $M_L \geq 1,1$ μέσα στην καλδέρα από τον Ιανουάριο 2011 μέχρι το 2013 (Parazachos et al., 2013).....	38
Εικόνα 2.15	Σεισμικότητα στην καλδέρα κατά τη διάρκεια Ιανουάριος 2011-Απρίλιος 2012, χωρισμένη σε υποπεριόδους (Paradimitriou et al., 2014).....	38
Εικόνα 2.16	Χάρτης του Ηφαιστειακού Συγκροτήματος της Σαντορίνης αποτελούμενου από τη Σαντορίνη, Θηρασία και Απρονήσι με τα μικρότερα νησιά Παλαιά και Νέα Καμένη στο κέντρο (Paradimitriou et al., 2014). ....	40
Εικόνα 2.17	Πιθανή διαμόρφωση του ηφαιστειακού συστήματος κάτω από την καλδέρα. (Konstantinou et al., 2013).....	41
Εικόνα 2.18	Κατακόρυφη εδαφική παραμόρφωση για τις περιόδους 1992-2000 και 2003-2010. Σημείο αναφοράς είναι το μικρό μαύρο τετράγωνο. (Parageorgiou et al., 2012) .....	43
Εικόνα 2.19	α)οριζόντιες β)κατακόρυφες μετακινήσεις σε συνδυασμό με τη σεισμικότητα το 2011, $M_L \leq 3.2$ , 19 μη μόνιμους σταθμούς και 3 σταθμούς αναφοράς GPS δείχνουν ακτινωτή μετατόπιση από το 2010 έως τον Αύγουστο του 2011 γ) χρονική εξέλιξη της σεισμικότητας με $M_L \geq 1.0$ και GPS όπως καταγράφηκαν στο σταθμό NOMI (μετακινήσεις στην οριζόντια συνιστώσα A-Δ) (Newman et al., 2012). ....	44
Εικόνα 2.20	α)Οριζόντιοβ)κατακόρυφο μοντέλο πρόβλεψης και λύση για σφαιρική πηγή η οποία περιγράφει το πεδίο παραμορφώσεων γ)βάθος πηγής (περίπου 4 km) συναρτήσει του όγκου (Newman et al., 2012). ....	45
Εικόνα 2.21	α) πλήθος σεισμών ανά μήνα και αθροιστικά από τον Ιανουάριο 2011 έως το Σεπτέμβριο 2012 $M_L \geq 1.0$ . β) Μηνιαίες μέσες κατακόρυφες μετακινήσεις του σταθμού NOMI (Saltogianni et al., 2014) .....	45
Εικόνα 2.22	Γράφημα της χρονοσειράς του σταθμού THIR (Γκανάς, 2014 ) .....	47
Εικόνα 2.23	Μετατοπίσεις GPS από 22 σημεία από το 2010 και μέχρι τέλη Αυγούστου 2011 και οι αντίστοιχοι σεισμοί ( $M_L > 1.0$ ) κατά μήκος της γραμμής Καμένης στην πρώτη φάση της αφύπνισης 2011-2012 (δεδομένα από Newman et al., 2012, Parazachos et al., 2012) (Vougioukalakis et al., 2016).....	48
Εικόνα 2.24	α) Τιμές παραμόρφωσης PSILOS από δεδομένα ENVISATASAR, Μάρτιος 2011- Μάρτιος 2012, όπου φαίνεται η ακτινωτή παραμόρφωση που προκλήθηκε κατά την ηφαιστειακή αφύπνιση β)3-D απεικόνιση κατά μήκος των ακτογραμμών (Foumelis et al., 2013).....	51
Εικόνα 2.25	Τιμές κάθετης εδαφικής παραμόρφωσης για την περίοδο 1992-2010 (18 έτη), όπως υπολογίστηκαν με βάση ERS-ENVISATδεδομένα κατά την ανοδική και την καθοδική τροχιά (Foumelis et al., 2013).....	51
Εικόνα 2.26	Χωροχρονική εξέλιξη της εδαφικής μετατόπισης κατά τη φάση αφύπνισης με βάση PSI χρονοσειρών (Foumelis et al., 2013) .....	52

Εικόνα 2.27	Χημικές και ισοτοπικές αναλύσεις στα υγρά που απελευθερώθηκαν από τις φουμαρόλες και αέρια (Tassi et al., 2013).....	53
Εικόνα 2.28	Εκπομπές CO <sub>2</sub> στο σταθμό της Καμένης για το διάστημα Ιανουάριος-Μάρτιος 2011 (Παπαζάχος, 2011) .....	54
Εικόνα 2.29	Εκπομπές CO <sub>2</sub> στο σταθμό της Καμένης για το διάστημα Απρίλιος-Μάιος 2011 (Παπαζάχος, 2011) .....	54
Εικόνα 2.30	Χρονική εξέλιξη στις συγκεντρώσεις του α)CH <sub>4</sub> b)CO <sub>2</sub> c) N <sub>2</sub> /AR στις ατμίδες 3 σταθμών στη Νέα Καμένη (Tassi et al., 2013).....	55
Εικόνα 2.31	α)Χάρτης της δραστηριότητας του <sup>222</sup> Rn πάνω από το κέντρο της Νέας Καμένης το Σεπτέμβριο του 2011 b) δραστηριότητα <sup>222</sup> Rn σε σχέση με τη ροή του CO <sub>2</sub> (Parks et al., 2013) .....	56
Εικόνα 2.32	Οι αλλαγές στη σύσταση μπορούν να ερμηνευτούν ως «θερμικοί παλμοί» που σχετίζονται με τη μεταφορά μάγματος σε πιο ρηχά βάθη. Δεν έχει ανιχνευτεί παραγωγή SO <sub>2</sub> από τη Νέα Καμένη (Tassi et al., 2013).....	57
Εικόνα 2.33	Χρονικές μεταβολές στη μεταβολή της θερμοκρασίας νερού στο σταθμό του Αγίου Νικολάου (Parazachos et al., 2012).....	58
Εικόνα 2.34	Χρονική μεταβολή στη θερμοκρασία νερού στους 4 σταθμούς του ΙΜΠΗΣ με έντονη μεταβολή στον Άγιο Νικόλαο μετά τις 1/2/2011 (Παπαζάχος, 2011).....	58
Εικόνα 2.35	Χρονική μεταβολή στη θερμοκρασία νερού στους 3 σταθμούς του Ι.Μ.Π.Η.Σ. από το 2009 έως το 2012 (Parazachos et al., 2012).....	59
Εικόνα 2.36	Διαφορές στάθμης της θάλασσας ανάμεσα στις θέσεις Ερινιά (Νέα Καμένη) και Γιαλός (επίγειο Φηρών), από το Μάιο του 2009 έως το Μάρτιο του 2011, με μεταβολή μετά τις 20/2/2011 (Παπαζάχος, 2011) .....	60
Εικόνα 2.37	Χρονικές μεταβολές στη στάθμη της θάλασσας στους 4 σταθμούς (Parazachos et al., 2012) .....	60
Εικόνα 3.1	11 από τα 18 μέλη της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. μαζί με τον κ. Παπαδημητρίου από το Ε.Κ.Π.Α.. (Προσωπικό αρχείο) .....	69
Εικόνα 3.2	3 <sup>η</sup> συνεδρίαση της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. στη Σαντορίνη. (Φωτογραφικό αρχείο Ε. Λέκκα) .....	70
Εικόνα 3.3	Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών με τους εγκατεστημένους σεισμολογικούς σταθμούς στο νησί και άλλα θεματικά πεδία, όπως έχει διαμορφωθεί στην ιστοσελίδα του Ο.Α.Σ.Π.. ( <a href="http://www.idcom.gr/ss/map.htm">http://www.idcom.gr/ss/map.htm</a> , <a href="http://www.oasp.gr">www.oasp.gr</a> ) .....	84
Εικόνα 3.4	Σεισμολογικός σταθμός SNT5 στη Νέα Καμένη, Πανεπιστήμιο Αθηνών ( <a href="http://www.geophysics.geol.uoa.gr/stations/gmaps3/sohpage.php?net=HA&amp;station=SNT5&amp;lang=el">http://www.geophysics.geol.uoa.gr/stations/gmaps3/sohpage.php?net=HA&amp;station=SNT5&amp;lang=el</a> ) .....	84
Εικόνα 3.5	Ίδρυση γεωδαιτικού σταθμού Πύργου Καλίστης από το ΓΕ.ΙΝ. (Γκανάς, 2014) .....	86
Εικόνα 3.6	Εγκατάσταση αέριου χρωματογράφου στη Νέα Καμένη (Βουγιουκαλάκης, 2013).....	89

Εικόνα 3.7	Πρόσκληση για το workshop του MemoVolc στη Σαντορίνη (Βουγιουκαλάκης, 2013).....	90
Εικόνα 3.8	Μ.Φυτίκας από το Ι.Μ.Π.Η.Σ. και .Κ.Μακρόπουλος από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο. (Προσωπικό αρχείο) .....	90
Εικόνα 3.9	Κ. Παπαζάχος από το Α.Π.Θ. και L. Francallazzi από το Πανεπιστήμιο Φλωρεντίας (Προσωπικό αρχείο).....	91
Εικόνα 3.10	F. Barberi από το Πανεπιστήμιο της Ρώμης και ο κ. M. Ripere από το Πανεπιστήμιο της Φλωρεντίας (Προσωπικό αρχείο).....	92
Εικόνα 3.11	Η επιστημονική ομάδα του M.Ripere από το Πανεπιστήμιο της Φλωρεντίας. (Βουγιουκαλάκης, 2013) .....	96
Εικόνα 3.12	Η επιστημονική ομάδα του A. Newman από το Georgia Tech, USA με τους στενούς τους συνεργάτες Στείρο κ.α. από το Πανεπιστήμιο Πατρών (Βουγιουκαλάκης, 2013).....	97
Εικόνα 3.13	Η επιστημονική ομάδα του O.Vaseli από το Πανεπιστήμιο της Φλωρεντίας στη Σαντορίνη (Βουγιουκαλάκης, 2013).....	97
Εικόνα 3.14	Η νέα διάταξη της ιστοσελίδας προβολής των χρονοσειρών των μόνιμων σταθμών (Στείρος, 2015).....	98
Εικόνα 5.1	Προσδιορισμός ηφαιστειακού κινδύνου (Κυριακόπουλος, 2015) <b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί</b>	
Εικόνα 5.2	Μέθοδοι παρακολούθησης ηφαιστειών (Γεωδυναμικές Καταστροφές, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Στρατηγικές Διαχείρισης Περιβάλλοντος, Καταστροφών και Κρίσεων, 2015) .....	107
Εικόνα 5.3	«Δέντρο φαινομένων» με τις πιθανότητες εμφάνισής τους ανάλογα με την εξέλιξη της ηφαιστειακής δραστηριότητας (Handbook for Volcanic Risk Management, Prevention, Risk Management, Resilience, 2012).....	109
Εικόνα 5.4	Διάγραμμα ετοιμότητας για την αντιμετώπιση ηφαιστειακού κινδύνου(Λέκκας, 2000). .....	111
Εικόνα 5.5	Χρονική εξέλιξη της ηφαιστειότητας στην Ελλάδα ( <a href="http://racce.nhmc.uoc.gr/files/items/8/899/poster20_greekreduced.pdf?rnd=1355135904">http://racce.nhmc.uoc.gr/files/items/8/899/poster20_greekreduced.pdf?rnd=1355135904</a> .....	112
Εικόνα 6.1	Επικοινωνία στο P.E.VOL.CA. Η επιστημονική πληροφορία δημοσιοποιούνταν από το γραφείο τύπου του P.E.VOL.CA. (Marrero et al., 2015) .....	123

## Συντομογραφίες

ΑΝ.ΑΝ.Υ.ΜΕ.Δ.Ι.: Υπουργείο Ανάπτυξης, Ανταγωνιστικότητας, Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων  
Α.Π.Θ.: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ.: Ειδική Επιστημονική Επιτροπή Παρακολούθησης Ηφαιστείου Σαντορίνης  
Γ.Γ.Δ.Ε.: Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων  
Γ.Γ.Π.Π.: Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας  
Γ.Ε.Α.: Γενικό Επιτελείο Αεροπορίας  
Γ.Ε.ΕΘ.Α.: Γενικό Επιτελείο Εθνικής Άμυνας  
ΓΕ.ΙΝ./Ε.Α.Α.: Γεωδυναμικό Ινστιτούτο Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών  
Γ.Υ.Σ.: Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού  
Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε.: Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικού Ρεύματος  
ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.: Ελληνικό Κέντρο Θαλασσιών Ερευνών  
Ε.Κ.Π.Α.: Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών  
Ε.Μ.Π.: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
Ε.Π.ΑΝΤ.Υ.Κ.: Εθνικό Πρόγραμμα Αντισεισμικής Ενίσχυσης Υφιστάμενων Κατασκευών  
Ι.Γ.Μ.Ε.: Ινστιτούτο Γεωλογικών Μεταλλευτικών Ερευνών  
Ι.Μ.Π.Η.Σ.: Ινστιτούτο Μελέτης Παρακολούθησης Ηφαιστείου Σαντορίνης  
Ι.Τ.Σ.Α.Κ.: Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας και Αντισεισμικών Κατασκευών  
Κ.Σ.Ο.Π.Π.: Κεντρικό Συμβούλιο Πολιτικής Προστασίας  
Ο.Α.Σ.Π.: Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας  
Π.Π.: Πανεπιστήμιο Πατρών  
ΥΠΟ.ΜΕ.ΔΙ.: Υπουργείο Μεταφορών και Δικτύων  
Ε.Σ.Α.: European Space Agency  
Ι.Ν.Γ.Υ.: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia  
Ι.Γ.Ν.: Instituto Geografico Nacional  
Ν.Σ.Κ.Μ.Σ.Υ.: National Scientific Committee for the Monitoring of Santorini Volcano  
Ν.Ε.Ρ.Κ.: Natural Environment Research Council  
Ο.Β.Σ.: Ocean Bottom Seismometers  
ΡΕΥΟΛΚΑ: Plan de Emergencia por Riesgo Volcánico en Canarias  
Ρ.Κ.Κ.Δ.Μ.: Regional Consultative Committee on Disaster Management  
Υ.ΝΑΥ.ΚΟ.: University NAVSTAR Consortium  
Υ.Ν.Δ.Ρ.Ο.: United Nations Disaster Relief Organization  
Υ.Σ.Γ.Σ.: United States Geological Survey

## Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Ο παγκόσμιος χάρτης ίσως να ήταν διαφορετικός σήμερα αν το ηφαίστειο της Σαντορίνης δεν είχε εκραγεί πριν από 3.500 χρόνια, προκαλώντας μία έκρηξη που οι γεωλόγοι θεωρούν ως την ισχυρότερη που συνέβη ποτέ στα χρονικά στο χώρο της Ανατολικής Μεσογείου.

Το ηφαίστειο της Θήρας δε δημιούργησε μόνο μία τεράστια καλδέρα, αλλά άλλαξε ριζικά το ρου της ιστορίας της Μεσογείου κατά τους αρχαίους χρόνους. Ο μινωικός πολιτισμός, ο κυρίαρχος πολιτισμός της Μεσογείου κατά τη Μινωική έκρηξη, καταστράφηκε ως αποτέλεσμα της έκρηξης αυτής σύμφωνα με τους ιστορικούς και άλλαξε ριζικά το πολιτικό τοπίο του αρχαίου κόσμου. Μέχρι σήμερα, η κατάρρευση της καλδέρας την ύστερη Εποχή του χαλκού θεωρείτο ως το κύριο αίτιο για το τσουνάμι που προκλήθηκε. Σύμφωνα με τελευταίες μελέτες από την κ. Νομικού και την ερευνητική της ομάδα, ηφαιστειακά, σεισμικά και βαθυμετρικά δεδομένα αποδεικνύουν πως το τσουνάμι προκλήθηκε από πυροκλαστικές ροές στη θάλασσα σε συνδυασμό με τη βύθιση υποθαλάσσιων πυροκλαστικών συσσωρεύσεων. Σύμφωνα με την ίδια έρευνα, μέχρι τότε η καλδέρα δεν επικοινωνούσε με τη θάλασσα κατά τη διάρκεια της κύριας φάσης της έκρηξης αλλά πλημμύρισε με το τέλος της έκρηξης. Λόγω εισροής νερού και κατολισθήσεων δημιουργήθηκε ένα βαθύ υποθαλάσσιο κανάλι στα βόρεια του νησιού και έτσι πλημμύρισε η καλδέρα σε λιγότερο από δύο μέρες. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα κύματα τουλάχιστον 9 μέτρων καταστρέψουν παραθαλάσσιες πόλεις, λιμάνια και στόλους στην Βόρεια Κρήτη όπου σήμανε την αρχή του τέλους για το Μινωικό πολιτισμό 200 χρόνια αργότερα (Νομικού et al., 2016). Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την έκρηξη έγιναν αισθητές σε όλον τον κόσμο, από την Κίνα έως τη Βόρεια Αμερική και την Ανταρκτική. Ακόμα και ο θρύλος της Ατλαντίδας αλλά και των Βιβλικών Πληγών, συνδέθηκαν με αυτήν την καταστροφή. Πιθανόν να είναι πολύ μεγαλύτερη η έκρηξη αυτή και πιο καταστροφική από την έκρηξη του Κρακατόα το 1883.

Στο κέντρο της καλδέρας της Σαντορίνης βρίσκεται το ενεργό ηφαιστειακό οικοδόμημα των Καμένων. Εκεί ακριβώς όπου έχουν εκδηλωθεί όλες οι γνωστές χερσαίες και υποθαλάσσιες ιστορικές ενδοκαλδερικές εκρήξεις στη Σαντορίνη, το 197 π.Χ., το 46-47 μ.Χ., το 1570-1573, το 1707-1711, το 1866-1870, το 1925-1928, το 1939-1941 και τελευταία το 1950, εκρήξεις κατά τη διάρκεια των οποίων σχηματίστηκαν οι νησίδες Παλαιά και Νέα Καμένη αλλά και κάποιοι υποθαλάσσιοι ύφαλοι.

Τον Ιανουάριο του 2011, καταγράφονταν στη Σαντορίνη σημαντικές μεταβολές στη σεισμικότητα, στις παραμορφώσεις του τοπογραφικού αναγλύφου, στη θερμική κατάσταση και στο χημισμό των θερμών ρευστών και εδαφικών αερίων φάσεων. Όλες οι μέχρι τότε παρατηρήσεις και καταγραφές συνέτειναν στο γεγονός



ότι τα όρια από τη «φυσιολογική κατάσταση» του ηφαιστειακού κέντρου των Καμένων είχαν ήδη διαταραχθεί.

Για το λόγο αυτό, η Ελληνική Πολιτεία, μέσω του Υφυπουργού Μεταφορών και Δικτύων, συγκρότησε στον Ο.Α.Σ.Π., την 18μελή Ειδική Επιστημονική Επιτροπή Παρακολούθησης Ηφαιστείου Σαντορίνης (Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ.) για τη διαχείριση του φαινομένου και την αξιολόγηση των πιθανών επιπτώσεών του. Σχεδιάστηκαν ενέργειες που βασίστηκαν στην συνεχή και εντατική ενόργανη παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο (real time) και τη διαχείριση του ηφαιστειακού κινδύνου, την εκτίμηση της επικινδυνότητας των αναμενόμενων ηφαιστειακών δράσεων και τη σύνταξη σεναρίων επαναδραστηριοποίησης. Η Επιτροπή χρηματοδοτήθηκε για την κάλυψη περιορισμένης προμήθειας και εγκατάστασης νέου εξοπλισμού, επισκευών και συντηρήσεις υπάρχοντος εξοπλισμού καθώς και πραγματοποίηση μετρήσεων πεδίου.

Η διέγερση του ηφαιστείου αποδείχτηκε ότι οφειλόταν σε μία πηγή τύπου Mogi, όπου υπήρξε διείσδυση μάγματος περίπου  $14 \cdot 10^6 \text{m}^3$  στη βόρεια λεκάνη του βυθίσματος της καλδέρας, σε βάθος 4 km κάτω από τη στάθμη της θάλασσας (Newman et al., 2012). Ο όγκος αυτός αναλογεί στο 10-15% του αναμενόμενου όγκου που θα μπορούσε να τροφοδοτήσει μία νέα ηφαιστειακή δραστηριότητα (ενδεικτική εκτίμηση αναμενόμενου μάγματος είναι τα  $100 \cdot 10^6 \text{m}^3$ ).

Με βάση το είδος και την ένταση των μεταβολών που κατέγραφαν τα εγκατεστημένα δίκτυα, εκτιμήθηκε ότι η κατάσταση στο ηφαιστειακό κέντρο των Καμένων σύμφωνα με τα διεθνή συστήματα επικινδυνότητας και συναγερμού των ηφαιστείων, ήταν στο αρχικό στάδιο της φάσης «προειδοποίησης» (κίτρινο). Πολύ πιθανόν το ηφαίστειο να επέστρεφε στη φυσιολογική του κατάσταση, μετά από χρονικό διάστημα που δεν ήταν δυνατόν να προσδιοριστεί επακριβώς. Υπήρχε όμως και η μικρή πιθανότητα της μη αναστρέψιμης πορείας όπου δηλαδή μπορούσε τελικά να εκδηλωθεί κάποια μικρή ή μεγαλύτερη επαναδραστηριοποίηση του ηφαιστειακού κέντρου των Καμένων.

Ως εκ τούτου, η Επιτροπή εισηγήθηκε στη Γ.Γ.Π.Π. δύο σενάρια επαναδραστηριοποίησης του ηφαιστείου της Σαντορίνης, όπου περιγράφηκαν αναλυτικά όλοι οι κίνδυνοι, οι επιπτώσεις τους και προτάθηκαν μέτρα μετριασμού και αποκατάστασης και για τα δύο σενάρια.

Αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι η σύντομη καταγραφή του συμβάντος της κρίσης του ηφαιστείου κατά την περίοδο 2011-2012 που οδήγησε στη σύσταση της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. και κυρίως οι ενέργειες και ο ρόλος της Επιτροπής. Σκοπός της είναι η ανάδειξη του σπουδαιότατου ρόλου της καθώς ήταν η πρώτη φορά που η χώρα μας βίωσε μία τέτοιου είδους ηφαιστειακή δραστηριότητα κατά τα τελευταία χρόνια, με ενόργανες παρατηρήσεις και η οποία είχε παγκόσμιο επιστημονικό ενδιαφέρον. Ήταν επίσης η πρώτη φορά όπου η Ελλάδα διαχειρίστηκε μία τέτοιου είδους κρίση και για το λόγο αυτό συστάθηκε η Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ., η οποία εν τέλει παρείχε συμβουλευτικό χαρακτήρα στα μέτρα πρόληψης και μετριασμού που θα λάμβανε η Πολιτική Προστασία.

Στο Κεφάλαιο 1, περιγράφεται το ηφαιστειακό κέντρο της Σαντορίνης, το γεωτεκτονικό καθεστώς, η γεωλογία του νησιού, δίνεται το ιστορικό σεισμικότητας και ηφαιστειότητας μέχρι και την κρίση του 2011-2012 και μια μικρή περιγραφή δύο τύπων εκρήξεων που είναι χαρακτηριστικές για τη Σαντορίνη.

Στο Κεφάλαιο 2, περιγράφεται η σειсмо-ηφαιστειακή κρίση του 2011-2012, με στοιχεία από τη σεισμικότητα, τη γεωδαισία, τους γεωχημικούς δείκτες και άλλα πρόδρομα φαινόμενα που αφορούν στη στάθμη της θάλασσας, στη θερμοκρασία των ατμίδων και των υδάτων.

Στο Κεφάλαιο 3, αναλύεται η Ειδική Επιστημονική Επιτροπή Παρακολούθησης Ηφαιστείου Σαντορίνης, η σύνθεση, η λειτουργία της, οι συνεδριάσεις και οι αποφάσεις που ελήφθησαν, η υλικοτεχνική δομή της καθώς και ο ρόλος των ξένων επιστημόνων, τα συνέδρια τα οποία είχαν σχέση με την κρίση του 2011-2012 και την Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ.

Στο Κεφάλαιο 4, γίνεται αναφορά στο σχεδιασμό και τα μέτρα πρόληψης που προτάθηκαν από την Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. προς τη Γ.Γ.Π.Π. ενώ στο Κεφάλαιο 5 περιγράφεται ο ηφαιστειακός κίνδυνος στην Ελλάδα, οι τρόποι παρακολούθησης ηφαιστειών, τα συστήματα προειδοποίησης και το σημερινό δυναμικό της καλδέρας.

Στο Κεφάλαιο 6 δίνονται μερικά παραδείγματα ηφαιστειών παγκοσμίως τα οποία είτε είχαν παρόμοια δράση με αυτή της Σαντορίνης του 2011-2012 είτε η διαχείρισή τους έγινε από παρόμοιες επιστημονικές επιτροπές.

Τέλος στο Κεφάλαιο 7, δίνονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν μετά την ολοκλήρωση της εργασίας και οι προτάσεις που θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψη.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε αρχειακό υλικό από τον Ο.Α.Σ.Π., επιστημονικές δημοσιεύσεις για τη σειсмо-ηφαιστειακή κρίση του 2011-2012 καθώς και προσωπικές μαρτυρίες και επεξηγήσεις από μέλη της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ..

## **1.1. Το ηφαιστειακό κέντρο της Σαντορίνης**

### **1.1.1. Γεωδυναμική θέση**

Η σημερινή δομή του Ελληνικού χώρου χαρακτηρίζεται από τη σύγκλιση των λιθοσφαιρικών πλακών και πιο συγκεκριμένα από τη βύθιση της Αφρικανικής πλάκας που υποβυθίζεται κάτω από την Ευρασιατική πλάκα. Το όριο σύγκλισης των πλακών βρίσκεται στο Ιόνιο, δυτικά των Ιονίων Νήσων, νότια της Κρήτης και συνεχίζει ΝΑ της Ρόδου. Στη γεωμετρία του Αιγαίου χώρου διακρίνουμε:

- Την Τάφρο. Είναι η βαθιά λεκάνη στο Ιόνιο, βάθους 4.500-5.000 m, γνωστό ως Φρέαρ των Οινουσσών και νότια της Κρήτης στις τάφρους Πλίνιου και Στράβωνα. Εκεί οριοθετείται το μέτωπο της κίνησης των πλακών, της υποβυθιζόμενης ωκεάνιας πλάκας με την προελαύνουσα ηπειρωτική

- Το νησιωτικό τόξο. Είναι η ορεινή αλυσίδα, παράλληλη στην τάφρο που περιλαμβάνει την Πελοπόννησο, την Κρήτη και τα Δωδεκάνησα. Δημιουργείται από την παραμόρφωση των πετρωμάτων της επωθούμενης πλάκας καθώς και φαινόμενα μεταμόρφωσης, σε μεγαλύτερο βάθος
- Την Οπισθοτάφρο. Είναι ο χώρος της Κρητικής λεκάνης, που αναπτύσσεται σε μικρότερο βάθος από αυτό της τάφρου. Πίσω από το νησιωτικό τόξο επικρατεί αποσυμπίεση των πετρωμάτων με δημιουργία εφελκυστικών τάσεων
- Το Ενεργό Ηφαιστειακό τόξο, που ξεκινά από το Σαρωνικό κόλπο, διαπερνά το νότιο Αιγαίο και φτάνει στις δυτικές ακτές της Μικράς Ασίας. Έχει πάντοτε σημαντική απόσταση από την τάφρο, μερικών εκατοντάδων χιλιομέτρων και άλλοτε συμπίπτει με το χώρο της οπισθοτάφρου ενώ συνήθως βρίσκεται πιο μπροστά



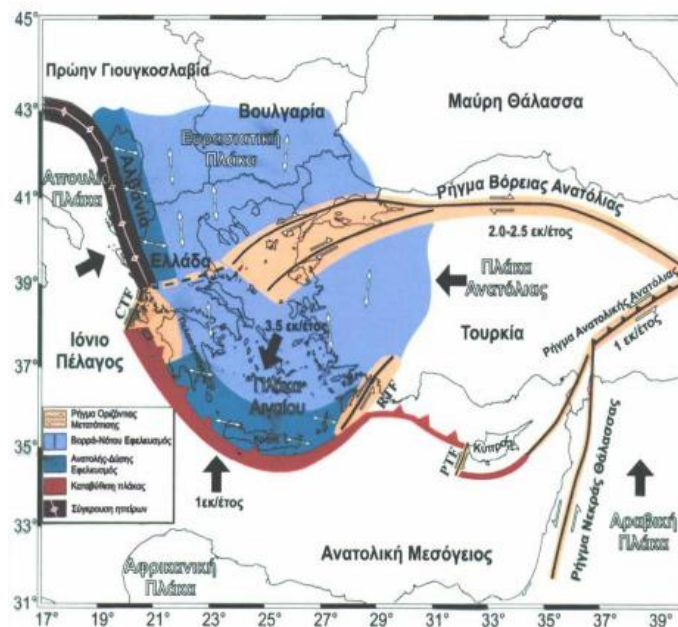
Εικόνα 1.1. Σχηματική απεικόνιση του ελληνικού ορογενετικού τόξου (Παπανικολάου Δ., 1998)

Η Αφρικανική λιθσφαιρική πλάκα υποβυθίζεται κάτω από την Ευρασιατική και κατεισδύει σε χώρους υψηλών θερμοκρασιών με αποτέλεσμα να τήκεται. Το μαγματικό τήγμα αυτό έχει μικρότερη πυκνότητα και ανέρχεται στην επιφάνεια διαπερνώντας την Ευρασιατική πλάκα που υπέρκειται. Μαγματικό υλικό που δεν είχε το χρόνο να στερεοποιηθεί δημιούργησε τα ηφαιστειακά κέντρα του Σουσακίου, του Πόρου, των Μεθάνων, της Μήλου-Αντιμήλου, της Κιμώλου, της Θήρας, της Αντιπάρου, των Χριστιανών, της Κω και της Νισύρου για τα οποία έχει πιστοποιηθεί δραστηριότητα κατά τα τελευταία 3 εκατομμύρια χρόνια.



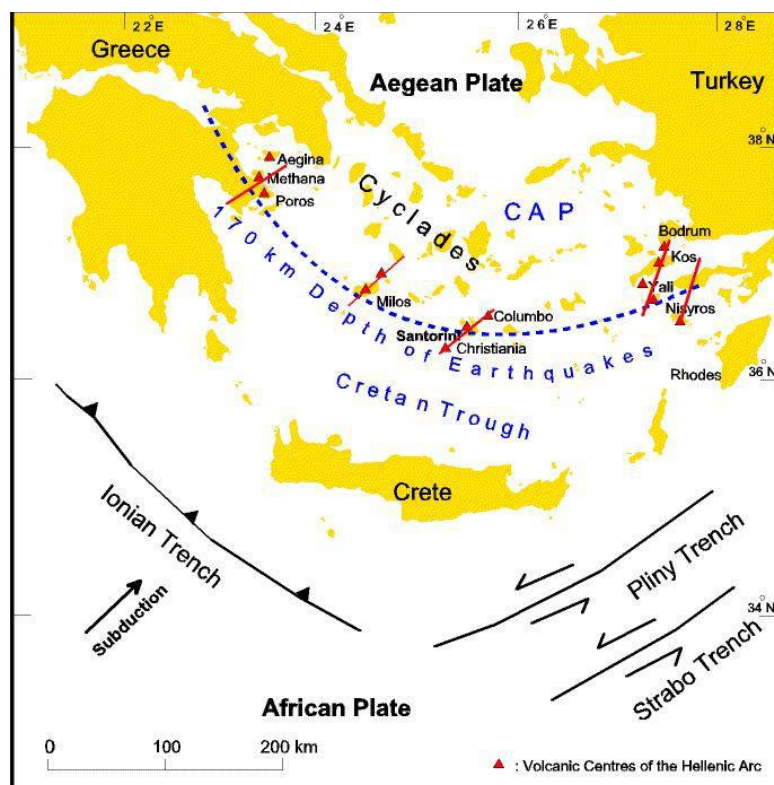
Εικόνα 1.2 Σχηματική απεικόνιση του Ενεργού Ηφαιστειακού Τόξου του Νοτίου Αιγαίου (Παπανικολάου Δ., 1998)

Το ηφαιστειακό συγκρότημα της Σαντορίνης βρίσκεται σε μία από τις πιο ενεργές περιοχές του Ελληνικού Ηφαιστειακού τόξου, συγκεκριμένα στη μέση αυτού, το οποίο εκτείνεται από τα Μέθανα στα ΒΔ μέχρι τη Νίσυρο στα ΝΑ, με μια σειρά ηφαιστειακών νησιών συμπεριλαμβανομένου της Σερίφου και της Μήλου.



Εικόνα 1.3 Χάρτης της Ανατολικής Μεσογείου που δείχνει την ενεργό γεωδυναμική κατάσταση, τις κινήσεις των μικρο-πλακών στην περιοχή και τη διαμόρφωση του Ελληνικού-Αιγαίου τόξου και του Κυπριακού τόξου (Παπαζάχος, 2001)

Η υποβύθιση αυτή έχει μια γενική ΒΒΑ διεύθυνση, γωνία βύθισης περίπου 30°, σχετικό ρυθμό σύγκλισης 3,5 cm ανά έτος και θεωρείται ότι ξεκίνησε πριν από 13 εκατομμύρια χρόνια.



Εικόνα 1.4 Το Ηφαιστειακό Τόξο του Νοτίου Αιγαίου και η γεωτεκτονική θέση της Σαντορίνης ([www.geo.auth.gr](http://www.geo.auth.gr))

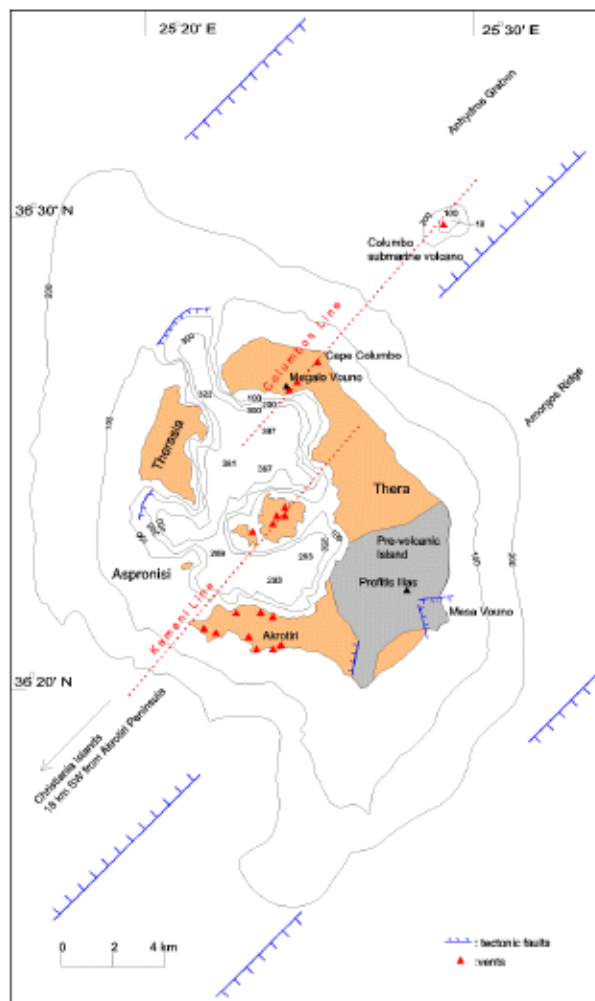
Το ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου, έχει μήκος 500 km και πλάτος περίπου 20-40 km. και απέχει περίπου 250 χιλιόμετρα από το σημερινό όριο των δύο λιθοσφαιρικών πλακών. Ο Ελλαδικός χώρος έχει και άλλα ηφαίστεια τα οποία έδρασαν και σε παλαιότερες γεωλογικές περιόδους αλλά θεωρούνται πλέον ανενεργά χωρίς πιθανότητα ενεργοποίησης καθώς δεν έχουν δράσει τα τελευταία 5 εκατομμύρια χρόνια.

Το ηφαίστειο της Σαντορίνης ανήκει σε ένα μεγάλο ηφαιστειακό συγκρότημα που αποτελείται από αρκετούς ηφαιστειακούς τροφοδοσίας μάγματος όπως τα Χριστιανά, Σαντορίνη-Καμένη, Columbo, κατά μήκος διεύθυνσης B40°A (Βουγιουκαλάκης και Φυτίκας, 2005) παράλληλα σε ΒΑ-ΝΔ οριζόντια ρήγματα (Feuillet, 2013).

Η Σαντορίνη βρίσκεται σε μια περιοχή με πολύπλοκη τεκτονική δομή που σχετίζεται με υποβύθιση και εφελκυσμό. Το γεωδυναμικό καθεστώς του συγκροτήματος ελέγχεται από δύο μεγάλα ηφαίστεια, της Νέας Καμένης στο κέντρο της καλδέρας και του υποθαλάσσιου Columbo, 7 km ΒΑ του ακρωτηρίου Columbo. Η

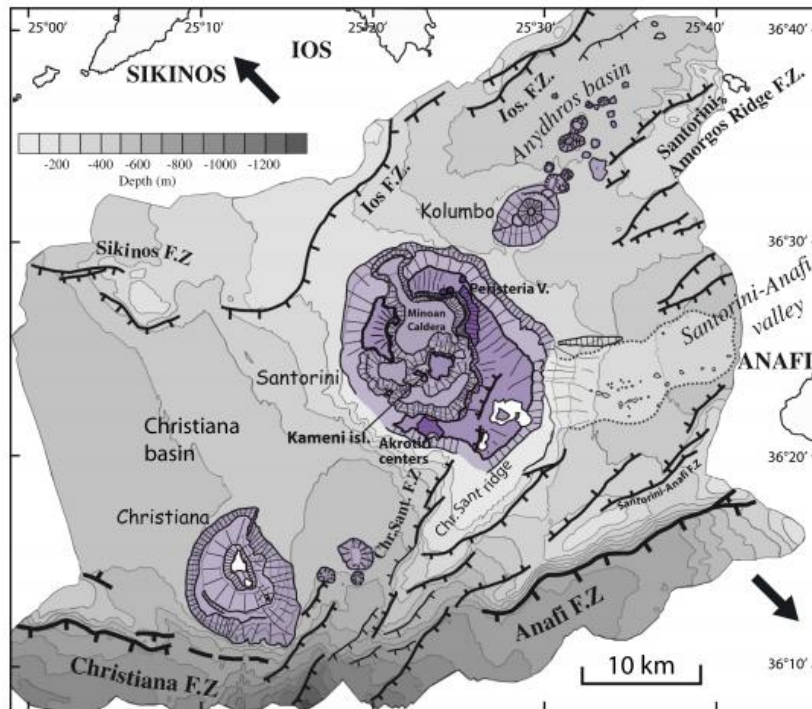
προέλευση του μάγματος στη Σαντορίνη προέρχεται από μαγματικούς θαλάμους του ενδιάμεσου φλοιού ενώ του Columbo προέρχεται πιθανώς κατευθείαν από τον κατώτερο φλοιό -ανώτερο μανδύα.

Η γραμμή της Καμένης που βρίσκεται μέσα στην καλδέρα, είναι μία ηφαιστειο-τεκτονική ζώνη διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ πλάτους 500 m., χαμηλής σεισμικής ταχύτητας. Μία άλλη ζώνη, σχεδόν παράλληλη σε αυτή της Καμένης είναι η γραμμή Columbo.



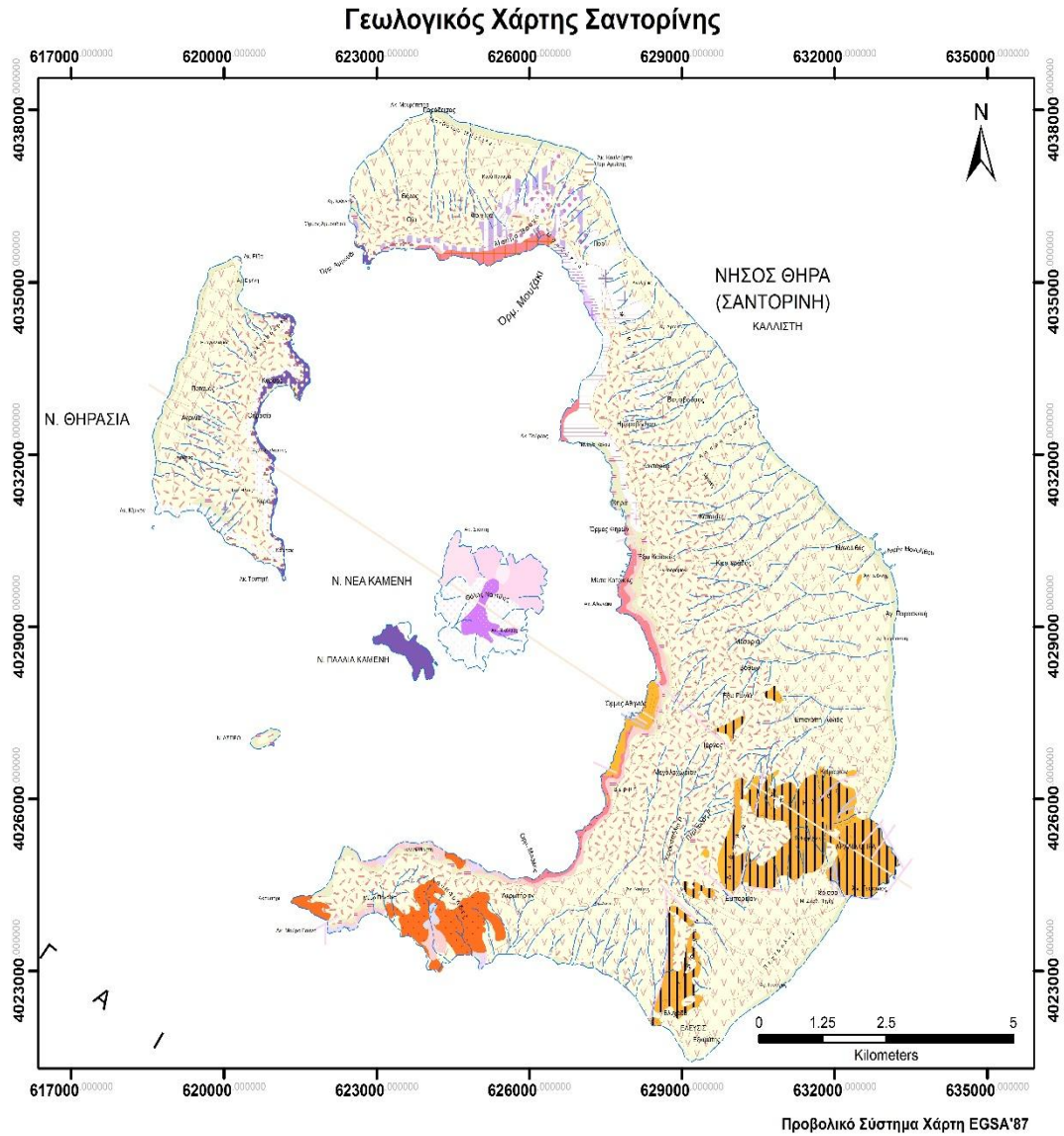
Εικόνα 1.5 Σχηματικός τεκτονικός χάρτης στην ευρύτερη περιοχή του ηφαιστείου της Σαντορίνης με τα επιμέρους ηφαιστειακά κέντρα (Heiken & McCoy, 1984)





Εικόνα 1.6 Ενεργά ρήγματα γύρω από το ηφαιστειακό συγκρότημα της Σαντορίνης (Nomikou et al., 2012).

Σημείωση. Βαθυμετρικά στοιχεία με ισοβαθείς των 100 m. Ρήγματα με μαύρη γραμμή, τα βέλη δείχνουν τη διεύθυνση εφελκυσμού. Με μωβ χρώμα το συγκρότημα της Σαντορίνης, με άσπρο χρώμα το προ-ηφαιστειακό υπόβαθρο. F. Z.: ζώνη ρήγματος)



Εικόνα 1.7 Γεωλογικός χάρτης Σαντορίνης, τροποποίηση από φύλλο ΘΗΡΑ, κλίμακας 1:50000 Ι.Γ.Μ.Ε) (Κρασάκης, 2017).



Αρχικά, υπήρχε ένα μικρό προηφαιστειακό νησί στο σημερινό ΝΑ τμήμα της Θήρας (Πύργος-Προφήτης Ηλίας). Κατά το πλειοτεταρτογενές, μετά από διαδοχικές υποθαλάσσιες εκχύσεις λάβας, σχηματίστηκε ένα μεγαλύτερο νησί, το οποίο περιλάμβανε το ηφαιστειακό τμήμα της Θήρας, της Θηρασιάς, του Ασπρονησίου και ολόκληρο το κεντρικό τμήμα της Σαντορίνης, στο σημερινό τμήμα της καλδέρας. Το νησί ονομαζόταν Στρογγύλη, λόγω του σχήματός του και ο κρατήρας βρισκόταν στο κεντρικό μέρος. Κατοικήθηκε από πρωτόγονους ανθρώπους και ανθρώπους της εποχής του ορείχαλκου. Περίπου το 1500 π.Χ. πραγματοποιήθηκε τρομερή ηφαιστειακή έκρηξη με αποτέλεσμα την ανατίναξη ολόκληρου του κεντρικού μέρους της Στρογγύλης, οπότε και σχηματίστηκε η μεγαλύτερη και πιο εντυπωσιακή καλδέρα του κόσμου. Οι επόμενες, μικρότερες εκρήξεις που έγιναν κατά τους ιστορικούς χρόνους, σχημάτισαν την Παλαιά Καμένη (196 π.Χ.-1508 μ.Χ.), τη Μικρή Καμένη (1573μ.Χ.), τον ύφαλο Columbo (1650 μ.Χ.) και τη Νέα Καμένη (1707 μ.Χ.).

Το αλπικό υπόβαθρο που βρίσκεται μόνο στην περιοχή του Προφήτη Ηλία, αποτελείται από ΗΡ/ΛΤ φάσεις μεταμόρφωσης (π.χ. μπλε σχίστες) και χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης ανθρακικών, δολομιτών και φλύσχη. Η ενότητα Προφήτη Ηλία, έχει χαρακτηριστικά της Ενότητας Τρίπολης, όπου οι Παπασταματίου (1958) και Τάταρης (1965) προσδιόρισαν το Ανώτερο Τριαδικό και Ηώκαινο αντίστοιχα (Παπανικολάου, 2015) με παλαιά μη ηφαιστειακά πετρώματα (ημικρυσταλλοσχιστώδη, φυλλίτες, μάρμαρα). Το υπόλοιπο μέρος της Θήρας καθώς και η Θηρασία και το Ασπρονήσι, αποτελούνται από ηφαιστειακά πετρώματα πλειοτεταρτογενούς ηλικίας, ενώ τα νησιά μέσα στην Καλδέρα (Παλαιά, Νέα Καμένη κλπ.) και ο ύφαλος Columbo στα βορειοανατολικά είναι επίσης ηφαιστειογενούς προέλευσης πιο πρόσφατης ηλικίας. Οι τεταρτογενείς αποθέσεις περιορίζονται σε παράκτια ιζήματα και κόνους κορημάτων που σχηματίστηκαν από την κατάρρευση μη σταθερών τμημάτων του ηφαιστείου χωρίς απαραίτητα να έχει προηγηθεί έκρηξη.

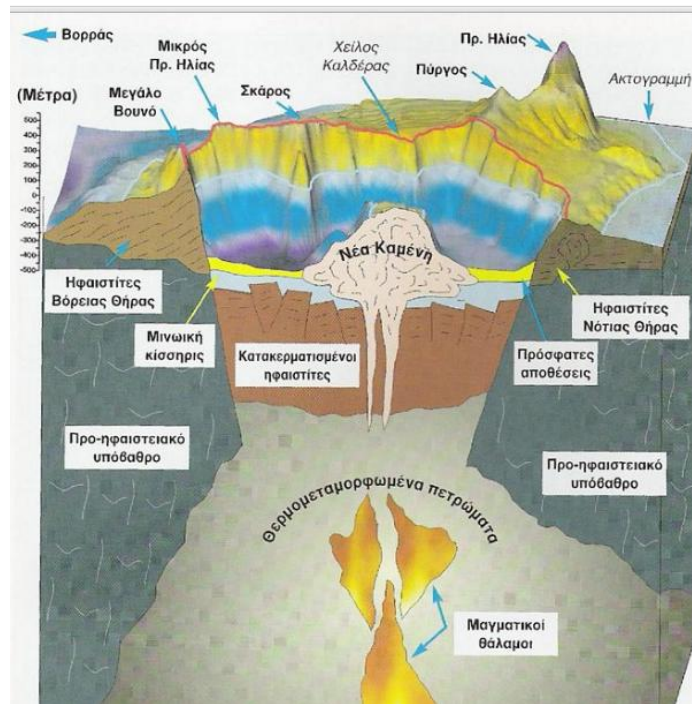
## **1.2. Χαρακτηριστικά του ηφαιστείου**

Το ηφαιστειακό συγκρότημα της Σαντορίνης αποτελείται από πέντε νησιά: τη Θήρα, Θηρασία, Παλαιά Καμένη, Νέα Καμένη και Ασπρονήσι και σχηματίζει καλδέρα 83 km<sup>2</sup> και βάθους 390 m. Τα μεγαλύτερα νησιά της Θήρας και Θηρασιάς σχηματίζουν μία κυκλική δομή γύρω από την καλδέρα και τα μικρότερα βρίσκονται μέσα σε αυτήν.

Η μορφολογία του συγκροτήματος χαρακτηρίζεται από απότομες κλιτύες στο εσωτερικό της καλδέρας σε ύψος 300 m από την επιφάνεια της θάλασσας. Το ψηλότερο σημείο είναι ο Προφήτης Ηλίας (564 m) στα ΝΑ της πρωτεύουσας. Το εξωτερικό τμήμα του συγκροτήματος αποτελείται από ήπιες κλιτύες. Η μορφολογία της Παλαιάς και Νέας Καμένης είναι το αποτέλεσμα συσσώρευσης διαδοχικών λαβών κατά τη διάρκεια της παροξυσμικής φάσης στη Μινωική Εποχή (μέσα του 11<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ.).

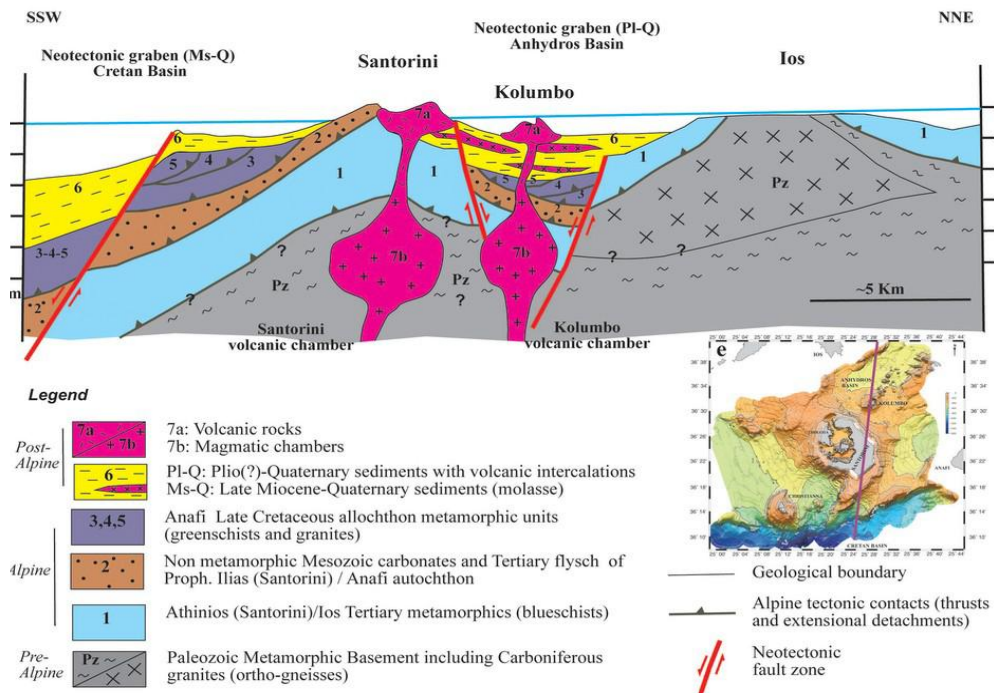
Έτσι λοιπόν, τα πολυάριθμα εκρηκτικά γεγονότα δημιούργησαν το μεγαλύτερο τμήμα του συγκροτήματος το οποίο αποτελείται από ηφαιστειακά

προϊόντα και ειδικότερα βασάλτες έως ρυόλιθους τα οποία ανήκουν στην ασβεσταλκαλική σειρά. Το ηφαίστειο κυριαρχείται από ανδεσιτική και βασαλτική λάβα, πυροκλαστικές αποθέσεις και ηφαιστειακή τέφρα. Στις κλιτύες της καλδέρας φαίνονται οι αποθέσεις λάβας και πυροκλαστικών υλικών από δώδεκα μεγάλες εκρήξεις στη διάρκεια 360.000 ετών καθώς και υπολείμματα από δόμους λάβας.



Εικόνα 1.8 Σχηματική γεωλογική τομή του ηφαιστειακού συγκροτήματος της Σαντορίνης (www.geo.auth.gr)

Η Σαντορίνη αποτελεί ένα ενεργό στρατο-ηφαίστειο, που χαρακτηρίζεται από ένα πολυκεντρικό ηφαιστειακό πεδίο που τέμνεται από μια πλημμυρισμένη καλδέρα, τη μεγαλύτερη του κόσμου. Είναι ένα από τα πιο βίαια ηφαίστεια αυτής της κατηγορίας.



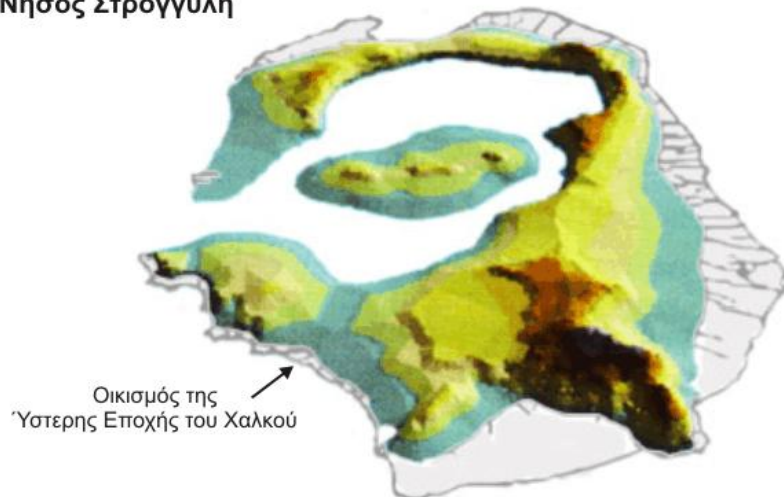
Εικόνα 1.9 Τομή στην περιοχή της Σαντορίνης με τους μαγματικούς θαλάμους της Σαντορίνης και του Columbo (Kiliass et al., 2013).

### 1.3. Ιστορικό Ηφαιστειότητας

Κατά τη διάρκεια του Πλειστοκαίνου, πάνω από 100 εκρήξεις εκδηλώθηκαν, 12 από τις οποίες απελευθέρωσαν όγκους μάγματος, προκαλώντας τουλάχιστον 4 καταρρεύσεις της καλδέρας. Η θέση των διεξόδων κατά τη διάρκεια των τελευταίων 600.000 ετών κυρίως ελεγχόταν από τις 2 ΒΑ-ΝΔ ηφαιστειοτεκτονικές γραμμές της Καμένης και του Columbo, οι οποίες λειτουργούσαν ως δίοδοι για το μάγμα. Τουλάχιστον 5 σημαντικές εκρήξεις έγιναν στη γραμμή της Καμένης όπως επίσης και στο δαχτυλίδι της ηφαιστειακής τέφρας του Ασπρονησίου. Οι πρώτες εκρήξεις έγιναν στη χερσόνησο του Ακρωτηρίου στο Μέσο Πλειστόκαινο. Πριν 360.000 χρόνια υπήρχαν 2 κύριοι κύκλοι, που ο καθένας τους κατέληγε σε εκρήξεις σχηματισμού καλδέρας. Υπάρχουν και υπο-κύκλοι στο ιστορικό ηφαιστειότητας. Ροές λάβας και βίαιες εκρήξεις σχημάτισαν κώνους οι οποίοι έγιναν περισσότερο γνωστοί κατά την εποχή του Χαλκού (περίπου 1630 π.Χ.), γνωστή και ως Μινωική έκρηξη. Η μετα-Μινωική δραστηριότητα επικεντρώνεται στα νησιά των Καμένων, στο κέντρο της καλδέρας, με τη δημιουργία του πρώτου νησιού κατά το 197 π.Χ. Εννέα υπο-αέριες εκρήξεις καταγράφηκαν στους ιστορικούς χρόνους, με πιο πρόσφατη αυτή του 1950.

Ήδη από την αρχαιότητα έως σήμερα, η δράση του ηφαιστείου έχει απασχολήσει πλήθος ιστορικών και επιστημόνων. Παρακάτω παρουσιάζεται η δραστηριότητά του σύμφωνα με δεδομένα και μαρτυρίες.

## Νήσος Στρογγύλη

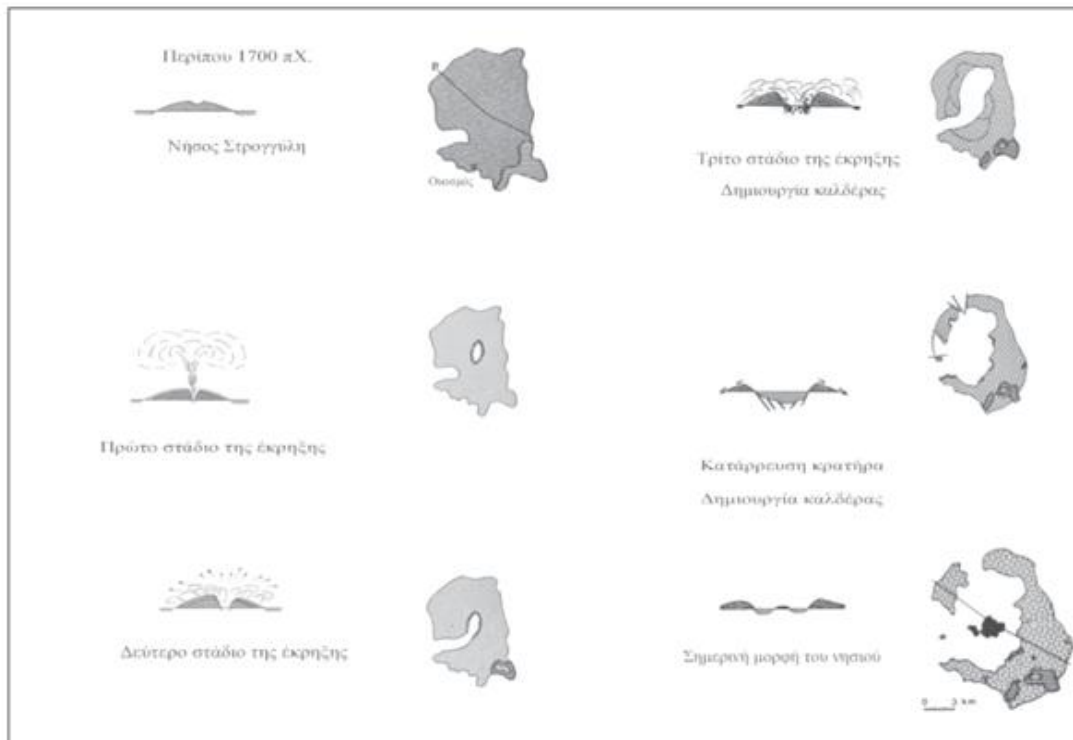


## Η Σαντορίνη πριν 3700 χρόνια

Εικόνα 1.10 Η Σαντορίνη πριν τη Μινωική έκρηξη. ([http://www.geo.auth.gr/765/6\\_santorini/images/63/63\\_minoan.gif](http://www.geo.auth.gr/765/6_santorini/images/63/63_minoan.gif))

**1614 π.Χ.** (1450 π.Χ. Παπαζάχος). Είναι η πρώτη γνωστή έκρηξη από το κέντρο της νήσου Στρογγύλης στους ιστορικούς χρόνους. Εκχύθηκαν μεγάλες ποσότητες λάβας και εκτινάχθηκαν τεράστιες ποσότητες ατμών, αερίων, στερεών αναβλημάτων, με αποτέλεσμα να κατακρημνισθεί ο τεράστιος ηφαιστειακός θόλος. Έτσι, από τη νήσο Στρογγύλη, μόνο τα εξωτερικά της τμήματα απέμειναν με τα νησιά Θήρα, Θηρασία και Ασπρονήσι.

Η έκρηξη αυτή δημιούργησε εκρηκτική στήλη ύψους 7-10 km., διήρκεσε 30-40 λεπτά και απέθεσε συνολικά πάνω από  $30 \cdot 10^6 \text{m}^3$  τέφρα.  $60 \text{ km}^3$  μάγματος εκτινάχθηκαν στον αέρα με τη μορφή ελαφρόπετρας και στάχτης, σε ύψος 36 km πάνω από το νησί. Παχύ στρώμα τέφρας κάλυψε το νησί ενώ η ηφαιστειακή στάχτη πάχους πάνω από 25 cm. σκέπασε την ανατολική Μεσόγειο, την Κω, τη Ρόδο και τη δυτική Τουρκία. Το τσουνάμι που προκλήθηκε κατέστρεψε τις περισσότερες ομαλές παράκτιες περιοχές των νησιών του Αιγαίου και της Ανατολικής Μεσογείου. Είναι η γνωστή Μινωική έκρηξη η οποία θεωρείται ως η μεγαλύτερη έκρηξη στην ανθρωπότητα τα τελευταία 10.000 χρόνια και υπεύθυνη για την καταστροφή του Μινωικού πολιτισμού.



Εικόνα 1.11 Ο μηχανισμός της Μινωικής έκρηξης από Pichler και Friedrich (1978) (Συμπόσιο γεωτουριστικά, γεωπολιτιστικά μονοπάτια και γεωμυθότοποι, 2000)

Πίνακας 1.1 Στάδια εξέλιξης της Σαντορίνης από το Τριαδικό έως σήμερα (Συμπόσιο γεωτουριστικά, γεωπολιτιστικά μονοπάτια και γεωμυθότοποι, 2000)

Χρονολογία	Κέντρα	Προϊόντα	Στάδια
Παρόν	Σημερινή μορφή του νησιού	XI, XII	
1760 BC-3600 BP	3 <sup>η</sup> δημιουργία καλδέρας Άνω σειρά κίσηρης (Bo)		X
21-3.6 k.a.	Μικρά ηφαιστειακά κέντρα μεταξύ Φηρών και Θηρασίας	Ιγνημβρότες	IX
21 k.a.	Ηφαίστειο Σκάρου	Ανδεσίτες	VIII
100 k.a.	2 <sup>η</sup> δημιουργία καλδέρας Μέση σειρά κίσηρης (Bm)		VII
180 k.a.- 100 k.a.	Μεγάλο Βουνό Ηφαίστεια Θηρασίας	Πυροκλαστικά Ανδεσίτες	V, VI
180 k.a.	1 <sup>η</sup> δημιουργία καλδέρας Κατώτερη σειρά κίσηρης (Bu)		V
0.45-0.34 m.a.	Ηφαίστεια Ακρωτηρίου	Ροές λάβας και κίσηρη	IV
0.53-0.43 m.a.	Ηφαίστεια Θήρας, Μεγάλου Βουνού	Κυρίως Πυροκλαστικά	III
0.64-0.55 m.a.	Ηφαίστεια Ακρωτηρίου	Δακίτες, Ανδεσίτες, Σκώριες	II
225-190 m.a.	Ανθρακικά Προφήτη Ηλία	Κρυσταλλικοί Ασβεστόλιθοι Φυλλίτες	I

**197 π.Χ.** Σύμφωνα με μαρτυρίες του Στράβωνα, στο μέσον μεταξύ Θήρας και Θηρασίας, εξέρχονταν φλόγες από το πέλαγος για 4 μέρες και από την ανύψωση του υπεδάφους σχηματίστηκε νησί περιμέτρου 2 km. που ονομάστηκε Ιερά. Σύμφωνα πάλι με τον Ιουστίνο, αναφέρεται ότι ο σεισμός προκάλεσε καταστροφές στη Ρόδο και στη Μικρά Ασία με αποτέλεσμα να αναδυθεί ένα νησί από τη θάλασσα που έβραζε. Υποστηρίζεται ότι από αυτή την έκρηξη σχηματίστηκε και η Παλαιά Καμένη (Rech 1926) αλλά οι Fouque (1879) και Washington (1926) πιστεύουν ότι αυτό το νησί σχηματίστηκε κατά την έκρηξη του 46 μ.Χ.

**19 μ.Χ.** Ο Πλίνιος αναφέρει ότι σε αυτήν την έκρηξη σχηματίστηκε σε απόσταση 2 σταδίων από την Ιερά, ένα μεγάλο νησί η Θεία, μέρος του οποίου προσκολλήθηκε στην Ιερά.

**46 μ.Χ.** Δημιουργήθηκε το νησί Θεία μεταξύ Θήρας και Θηρασίας, διαστάσεων 5,4 km. Η έκρηξη συνοδεύτηκε από καταστροφικούς σεισμούς οι οποίοι έγιναν αισθητοί και στην Κρήτη ενώ τσουνάμι χτύπησε τις βόρειες ακτές της.

**726 μ.Χ.** Αναφέρεται από τον Θεοφάνη ότι ανάμεσα στη Θήρα και στη Θηρασία, έγινε έκρηξη στη θάλασσα κατά τους χρόνους του Θεομάχου Λέοντα που κράτησε μέρες. Μαζί με τον καπνό, έβγαινε και πυρακτωμένη κίσηρη, τμήματα της οποίας είχαν το μέγεθος μεγάλων λίθων τα οποία μεταφέρθηκαν με τα κύματα μέχρι τη Μικρά Ασία, τη Λέσβο και το Βόρειο Αιγαίο. Ως αποτέλεσμα, σχηματίστηκε νησί από τη λάβα το οποίο ενώθηκε με το νησί Ιερά. Αποτέθηκαν στρώματα κίσηρης, σκωριώδης λάβα και υπήρξε διασπορά λεπτής ηφαιστειακής στάχτης στο Ανατολικό Αιγαίο.

**1457.** Οι ισχυροί σεισμοί και οι υποχθόνιοι κρότοι που συνόδευσαν την έκρηξη, αύξησαν και πάλι σημαντικά το μέγεθος της Παλαιάς Καμένης στα ανατολικά της.

**1508.** Νέα έκρηξη προς το μέρος της Παλαιάς Καμένης.

**1573.** Η έκρηξη σχημάτισε τη Μικρή Καμένη ΒΑ της Παλαιάς Καμένης. Η έκχυση της λάβας διήρκεσε για πολύ καιρό και συνοδεύτηκε από εκρηκτικά φαινόμενα. Πιθανόν οι εκρήξεις να άρχισαν από το 1570.

**1650.** Σε απόσταση 7 km ΒΑ του ακρωτηρίου Columbo έγινε μεγάλη έκρηξη. Οι δονήσεις, εντάσεως VII-VIII, άρχισαν το 1649, χαρακτηρίζονταν από πρωτοφανή αύξηση της θερμοκρασίας και κορυφώθηκαν στα τέλη Σεπτεμβρίου, όπου έγινε υπόγεια ηφαιστειακή έκρηξη με μεγάλη ποσότητα σποδού στην επιφάνεια του νερού. Έως τις 25 Σεπτεμβρίου οικοδομήθηκε ένας υποθαλάσσιος κώνος κίσηρης ύψους περίπου 300 m. Στις 26 Σεπτεμβρίου η κορυφή του υποθαλάσσιου κώνου κίσηρης, χέρσευσε και άρχισε η έντονη υδροθερμική εκρηκτική δράση με εκρήξεις τέφρας και έκλυση H<sub>2</sub>S με σοβαρά αναπνευστικά και οφθαλμολογικά προβλήματα στους κατοίκους του νησιού. Στις 29 με 30 Σεπτεμβρίου εκδηλώθηκε υπο-πλινιακή έκρηξη. Αποθέσεις κίσηρης εμφανίζονται στις Κυκλάδες και στην Κρήτη, ενώ σποδός έφτασε μέχρι τη Μικρά Ασία. Το κεντρικό τμήμα του ηφαιστείου κατακρημνίστηκε και εμφάνισε καλδέρα βάθους 500 m. και διαμέτρου 2 km. Το τσουνάμι που δημιουργήθηκε έφτασε σε ύψος 30 m. στη δυτική ακτή της Πάτμου και 27 m. στην

ανατολική ακτή. Στη Σίκινο η θάλασσα προχώρησε 180 m. στην ξηρά. Στην Κέα και στην Κρήτη, πολλά πλοία παρασύρθηκαν στην ξηρά ή αποκόπηκαν από τα αγκυροβόλια. Στη Σαντορίνη, καταστράφηκαν πολλά σπίτια και κατέρρευσαν 200 θολωτές στέγες. Η δόνηση έγινε αισθητή μέχρι την Κωνσταντινούπολη. Στις 6 Οκτωβρίου η έκρηξη άρχισε να ελαττώνεται οπότε αποκαταστάθηκε η ησυχία και η ηφαιστειογενής νησίδα διαβρώθηκε από τα κύματα. Το ψηλότερο σημείο του ηφαιστείου βρίσκεται σήμερα στα 18 m. βάθος και ονομάζεται πλέον ύφαλος Columbo. Από τα δηλητηριώδη αέρια (H<sub>2</sub>S) σκοτώθηκαν 40 κάτοικοι και 1000 ζώα. Η έκρηξη του 1650 φαίνεται να είναι τουλάχιστον η δεύτερη που εκδηλώνεται στο υποθαλάσσιο ηφαιστειο του Columbo μετά τη Μινωική έκρηξη. Αυτό διαπιστώνεται από την παρουσία οριζόντων τόφφων στα κατώτερα τμήματα των πρηνών της καλδέρας του Columbo που υπόκεινται των αποθέσεων των εκρήξεων του 1650 και την απουσία εμφανίσεων αποθέσεων της Μινωικής έκρηξης. Η ηφαιστειακή δράση στον υποθαλάσσιο χώρο μεταξύ Θήρας-Αμοργού, κατά μήκος του ρήγματος Αμοργού-Χριστιανών που έδωσε το σεισμό του 1956, αποδεικνύεται από την ύπαρξη 20 μικρών ηφαιστειακών θόλων λάβας ή κόνων τόφφων κατά μήκος της τεκτονικής γραμμής ΒΑ του υποθαλάσσιου ηφαιστείου του Columbo (Nomikou et al., 2012). Προηγήθηκε ένας χρόνος με ισχυρές σεισμικές δονήσεις οι οποίες έγιναν πιο έντονες 2 εβδομάδες πριν την έκρηξη και κορυφώθηκαν τη μέρα της έκρηξης .

**1707-1711.** Κατά την έκρηξη αυτή σχηματίστηκε το πρώτο τμήμα της Νέας Καμένης η οποία ενώθηκε με τη Μικρή Καμένη. Οι σεισμοί, ως πρόδρομα φαινόμενα, έγιναν αισθητοί στις 18 Μαρτίου 1707 και επανελήφθησαν στις 21 Μαρτίου. Η πρώτη εμφάνιση λάβας πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας έγινε στις 23 Μαρτίου. Η έκχυση της λάβας που ακολούθησε χωρίς σεισμούς, σχημάτισε το νησί Ασπρονήσι. Η αύξηση της θάλασσας κατέστρεψε τη θαλάσσια πανίδα, ενώ ένα νέο νησί εμφανίστηκε, το Μαυρονήσι. Η έκχυση της λάβας συνεχίστηκε μέχρι το 1712 ώσπου τα δύο αυτά νησιά ενώθηκαν για να σχηματίσουν τη Νέα Καμένη. Οι εκρήξεις είχαν αργή εξέλιξη: Το παχύρρευστο μάγμα που βρισκόταν σε βάθος μερικών δεκάδων μέτρων ήταν φτωχό σε αέρια τα οποία διέφυγαν με ήπια διάχυση χωρίς εκρηκτικά φαινόμενα. Διείσδυσαν κάτω από τα πετρώματα και προκάλεσαν αργή αναθόλωση και ως εκ τούτου ανάδυση της περιοχής (Ασπρονήσι).

**1866-1870.** Κατά τη διάρκεια αυτών των ετών, τριπλασιάστηκε η έκταση της Νέας Καμένης. Μικρές σεισμικές δονήσεις, αύξηση της θερμοκρασίας του νερού στον κόλπο Βουλκάνο, έκλυση αερίων ήταν μερικά από τα χαρακτηριστικά αυτής της περιόδου. Ο σκουρόχρωμος βράχος σ' αυτόν τον κόλπο, την 1<sup>η</sup> Φεβρουαρίου, μεγάλωνε συνεχώς και έτσι σχηματίστηκε η νησίδα Γεώργιος. Στο ΝΔ άκρο της Νέας Καμένης, σχηματίστηκε η νησίδα Αφροέσσα καθώς και άλλα ηφαιστειακά νησιά, τα οποία τελικά ενώθηκαν με τη Νέα Καμένη για να τριπλασιάσουν εκ νέου την έκτασή της. Το ηφαιστειο του Γεωργίου, έδωσε βίαιες εκρήξεις αυτό το διάστημα, ενώ ο κώνος του που βρίσκεται σχεδόν στο μέσο της Νέας Καμένης, είναι ο ψηλότερος και ο πιο εντυπωσιακός από όλα τα νησιά των Καμένων. Και εδώ οι εκρήξεις είχαν ιδιαίτερα αργή εξέλιξη. Καταγράφηκαν 2 νεκροί και 4 τραυματίες από θραύσματα λάβας. Τα θύματα ήταν σε απόσταση λίγων εκατοντάδων μέτρων από τον πόρο της έκρηξης.

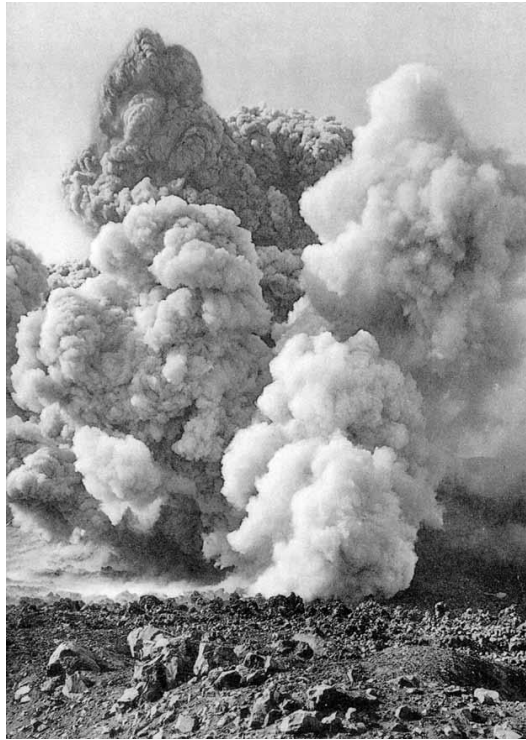


**1925-1928.** Από τις 11 Αυγούστου 1925 έως τον Ιανουάριο του 1926 είχαμε την κύρια φάση αυτής της ηφαιστειακής δράσης που είχε ως αποτέλεσμα την ένωση της Μικρής με τη Νέα Καμένη. Η δεύτερη φάση έλαβε χώρα μεταξύ 23 Ιανουαρίου και 17 Μαρτίου 1928. Αύξηση της θερμοκρασίας του νερού παρατηρήθηκε στην περιοχή Κόκκινα Νερά, μεταξύ της Νέας και της Μικρής Καμένης. Στις 11 Αυγούστου, πραγματοποιήθηκε έξοδος καπνού ενώ μετά από 4 περίπου ώρες η ηφαιστειακή δράση έγινε βίαιη και άρχισε ο σχηματισμός μιας μικρής νησίδας μεταξύ της Νέας και της Μικρής Καμένης, η οποία ονομάστηκε Δάφνη. Η Δάφνη διευρύνθηκε και ενώθηκε με τη Νέα και τη Μικρή Καμένη και σήμερα όλα αυτά μαζί αποτελούν το νησί της Νέας Καμένης. Στις 19 Αυγούστου, το ύψος της ηφαιστειακής στήλης ήταν 3200 m., το μεγαλύτερο που έχει καταγραφεί στις ιστορικές εκρήξεις. Οι εκρήξεις είχαν γρήγορη εξέλιξη και έτσι λίγες ώρες μετά τις πρώτες υδροθερμικές εκτονώσεις και εκρήξεις διάνοιξης πόρων εμφανίστηκε στην επιφάνεια το ρευστό μάγμα. Η κυβέρνηση έστειλε στο νησί ομάδα γεωλόγων για να μελετήσει το φαινόμενο, ενώ κατέφθασε και ομάδα Γερμανών και Ολλανδών γεωλόγων.



Εικόνα 1.12 Η έκρηξη του 1928 (<http://www.zougla.gr/greece/article/fovi-gia-afipnisi-tou-ifestiou-tis-8iras>)



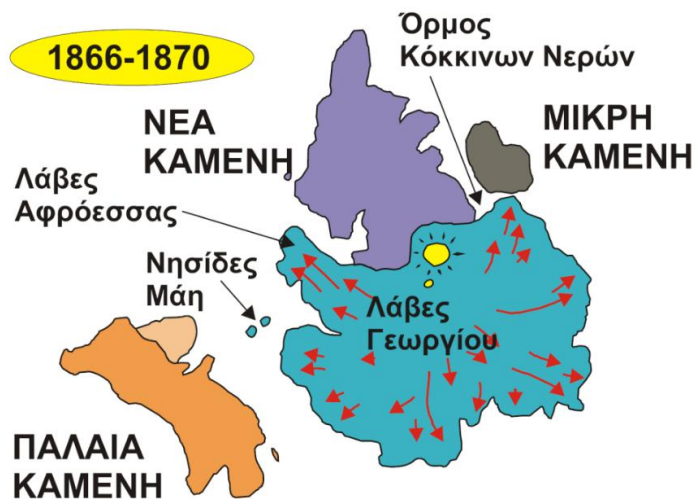


Εικόνα 1.13 Βουλκάνια έκρηξη στον κρατήρα της Δάφνης ,1925 (Βουγιουκαλάκης, 2011)

**1939-1941.** Στο διάστημα από 20 Αυγούστου 1939 και Ιούλιο 1941 έγιναν 5 εκρήξεις στη Νέα Καμένη που δημιούργησαν τους δόμους Τρίτωνα, Κτενά και Φουκέ και τις ροές λάβας Σμιθ, Ρεκ και Νίκης. Ομοίως και εδώ η εξέλιξη ήταν γρήγορη.



Εικόνα 1.14 Έκρηξη το 1939 (<http://www.zougla.gr/greece/article/sto-mikroskopio-to-ifestio-tis-santorinis>)



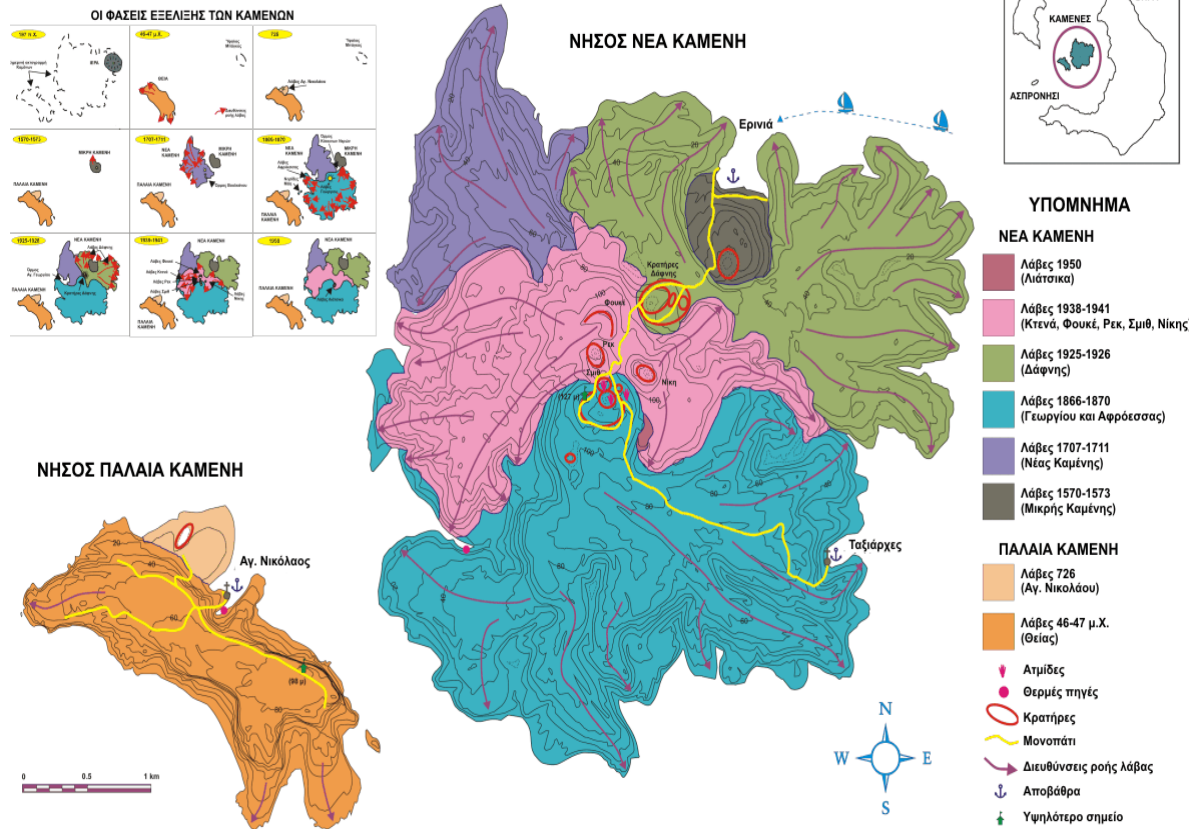
Εικόνα 1.15 Ο σχηματισμός επιμέρους λαβών κατά τις εκρήξεις του 1939-1941 ([http://www.geo.auth.gr/765/6\\_santorini/64\\_kameni.htm](http://www.geo.auth.gr/765/6_santorini/64_kameni.htm))

**1950.** Από τις 10 Ιανουαρίου έως τις 2 Φεβρουαρίου 1950 υπήρξε ηφαιστειακή δράση που σχημάτισε τον ηφαιστειακό δόμο 220 m. ανατολικά του κρατήρα Γεωργίου. Επειδή ήταν πολύ μικρή θεωρείται ως υπολειμματική εκδήλωση της δράσης του 1939-1941.

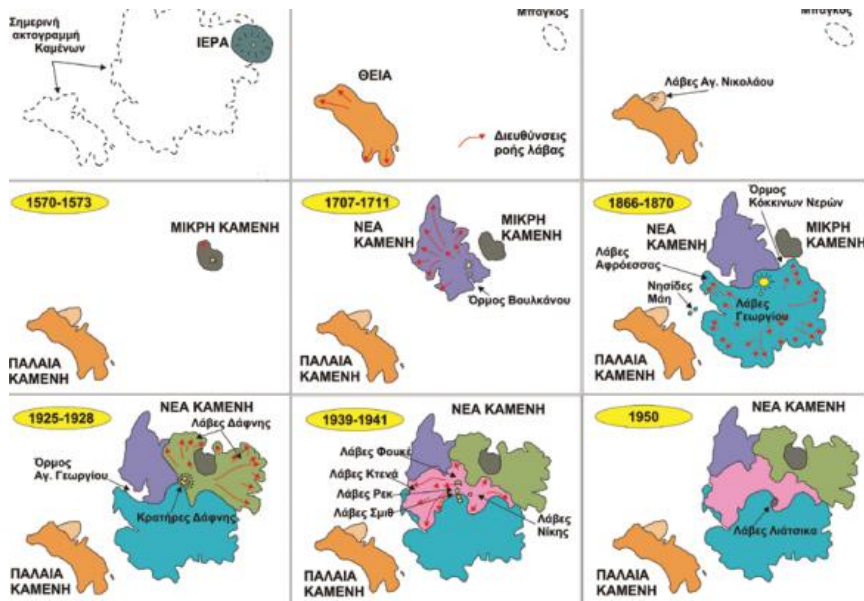


Εικόνα 1.16 Άποψη της καλδέρας κατά την τελευταία δραστηριότητα το 1950 ([http://www.geo.auth.gr/765/6\\_santorini/64\\_kameni.htm](http://www.geo.auth.gr/765/6_santorini/64_kameni.htm))

## ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΠΑΛΙΑΣ ΚΑΙ ΝΕΑΣ ΚΑΜΕΝΗΣ



Εικόνα 1.17 Ηφαιστειολογικός χάρτης των νησιών Παλαιάς και Νέας Καμένης ([www.geo.auth.gr](http://www.geo.auth.gr))



Εικόνα 1.18 Δημιουργία Παλαιάς και Νέας Καμένης (<http://www.santorini.net/ismosav/>).

### 1.3.1. Χαρακτηριστικά υπο-πλίνιας έκρηξης

Οι εκρήξεις υπο-πλινιακού τύπου, είναι εκρήξεις με Δείκτη Ηφαιστειακής Εκρηκτικότητας 3. Στη μεσαίου μεγέθους υπο-πλινιακή έκρηξη παρουσιάζεται ηφαιστειακή στήλη με ύψος 8-12 km και διάρκεια 30-60 λεπτά. Τα πυροκλαστικά ρεύματα πυκνότητας είναι πολύ επικίνδυνα για τις περιοχές γύρω από τον πόρο. Κινδυνεύουν και περιοχές πολύ μακρύτερα και χαμηλότερες τοπογραφικά, καθώς οι ροές κινούνται οριζόντια και κατά μήκος των πεδινών περιοχών. Από το ηφαιστειακό νέφος καταπίπτει τέφρα με σημαντικό πάχος σε απόσταση μέχρι 10 km στον άξονα κατεύθυνσης της φοράς του ανέμου κατά το χρόνο της έκρηξης. Αυτές οι εκρήξεις είναι συχνές στα ενεργά ηφαίστεια και εκδηλώνονται αρκετά συχνά. Η έκρηξη στο Columbo ήταν αυτού του μεγέθους ενώ η Μινωική ήταν ΔΗΕ:7 δηλαδή υπέρ-πλινίου τύπου όπως και η έκρηξη στο Tambora το 1815.

Πίνακας 1.2. Δείκτης Ηφαιστειακής Εκρηκτικότητας και ταξινόμηση των εκρήξεων (Ο.Α.Σ.Π., 2013)

ΔΗΕ	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Περιγραφή	Μη εκρηκτική	Μικρή	Μέτρια	Μέτρια-Μεγάλη	Μεγάλη	Πολύ μεγάλη			
Όγκος αναβλημάτων (m <sup>3</sup> )	<10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup> -10 <sup>6</sup>	10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>8</sup>	10 <sup>8</sup> -10 <sup>9</sup>	10 <sup>9</sup> -10 <sup>10</sup>	10 <sup>10</sup> -10 <sup>11</sup>	10 <sup>11</sup> -10 <sup>12</sup>	>10 <sup>12</sup>
Ύψος στήλης (km)	<0,1	0,1-1	1-5	3-15	10-25	>25			
Ταξινόμηση	Στρομπόλια			Πλινιακή					
	Χαβάης		Βουλκάνια		Υπερπλινιακή				
Διάρκεια (συνεχής έκρηξη)	<1 ώρες			1-6 ώρες		>12 ώρες			
				6-12 ώρες					
Διείσδυση στην τροπόσφαιρα	Αβέβαιη	Μικρή	Μέτρια	Ουσιαστική					
Διείσδυση στη στρατόσφαιρα	Καμία			Πιθανή	Σίγουρη	Σημαντική			
Ηφαιστειακές δράσεις	443	361	3108	720	131	35	16	1	

Στους πρόσφατους ιστορικούς χρόνους, δεν έχουν εκδηλωθεί τέτοιες εκρήξεις στο ηφαιστειακό κέντρο της γραμμής της Καμένης. Μεγάλο ενδοκαλδερικό, πιθανόν υπο-πλινιακό γεγονός, να ήταν η έκρηξη του 726 μ.Χ. Μετά τη Μινωική έκρηξη, δεν υπάρχει καμία ισχυρή ένδειξη ότι παρόμοια έκρηξη εκδηλώθηκε κάπου αλλού ενδοκαλδερικά. Στην αρχική φάση της Μινωικής έκρηξης καταγράφεται μία τέτοιου μεγέθους και έντασης ηφαιστειακή δραστηριότητα. Οι μεγάλες εκρήξεις του συγκεκριμένου ηφαιστείου έχουν μία περιοδικότητα της τάξης των 10.000 με 30.000 χρόνων.

### 1.3.2. Χαρακτηριστικά έκρηξης Βουλκάνιου τύπου

Οι εκρήξεις αυτές ανήκουν στην κατηγορία ΔΗΕ:2. Ο ηφαιστειακός αγωγός, κατά διαστήματα, φράσσεται από ένα συμπαγές πώμα στερεοποιημένου μάγματος που οφείλεται κυρίως στις μεταβολές στους ρυθμούς τροφοδοσίας. Η αέρια φάση του υποκείμενου μάγματος συσσωρεύεται σταδιακά κάτω από το πώμα και όταν η πίεσή του υπερβεί το όριο της λιθοστατικής πίεσης και τις δυνάμεις συνοχής του πώματος, τότε το πώμα εκτινάσσεται προκαλώντας τη βουλκάνια έκρηξη. Οι εκρήξεις τότε ακούγονται σαν κανονιές και εκτινάσσονται ογκόλιθοι, τεμάχια και λιθάρια λάβας σε απόσταση έως και 100 m. από τον πόρο και τέφρα μεγέθους κόκκων <2 mm. Το ηφαιστειακό νέφος φτάνει σε ύψος 800-1200 m. στις κανονικές εκρήξεις αλλά έως και 2500-3000 m. στις ισχυρές. Τα αναβλήματα μπορούν να φτάσουν σε απόσταση έως και 2 km από τον πόρο.

### 1.4. Ιστορικό σεισμικότητας

**46 π.Χ.** (36.4 N, 25.4 E, M=6.0, VII). Οι σεισμοί προηγήθηκαν της ηφαιστειακής έκρηξης. Ένα θαλάσσιο κύμα έφτασε στην Κρήτη, του οποίου η υποχώρηση πρέπει να έφτασε τα 100 m. (Sieberg 1932).

**1650.** 7 Οκτωβρίου (36.5 N, 25.4 E, M=6.8, VIII). Οι δονήσεις άρχισαν το 1649 και χαρακτηρίζονταν από πρωτοφανή αύξηση της θερμοκρασίας. Από τη λάβα σχηματίστηκε νησίδα που καταστράφηκε από τη δράση των κυμάτων αλλά στη θέση της άφησε τον ύφαλο με το όνομα Columbo. Οι εκρήξεις ξεκίνησαν από το 1649 προκαλώντας πολλές καταστροφές, κράτησαν 3 μήνες και συνοδεύτηκαν από τσουνάμι, ισχυρούς σεισμούς και θύματα.

**1707.** 18 Μαΐου 21:34,(36.4 N, 25.4. E, M=6.0, VI.). Μετά από δύο σεισμικές δονήσεις, άρχισε η ανύψωση των βράχων μέσα στη θάλασσα και η εμφάνιση της λάβας. Τον Ιούλιο αναδύθηκαν τα νησιά Ασπρονήσι και Μαυρονήσι τα οποία όμως, στις 9 Σεπτεμβρίου ενώθηκαν για να σχηματίσουν τη Νέα Καμένη.

**1866.** 31 Ιανουαρίου, (36.4 N, 25.4 E, M=6.2, VIII). Δυνατός σεισμός προκάλεσε ζημιές σε 50 σπίτια και 2 εκκλησίες. Μετά την κύρια δόνηση, εμφανίστηκαν βυθίσματα του εδάφους. Στις 20 Φεβρουαρίου έγινε σεισμός αισθητός ως τη Χίο. Η σεισμική ακολουθία κράτησε έως το Νοέμβριο με αισθητές τις δονήσεις ως την Κρήτη.

**1911.** 4 Απριλίου, 15:43, (36.5 N, 25.5 E, h=140 km., M=7.1, IV). Ο σεισμός έγινε ελαφρά αισθητός στη Μεσσηνία και στη Νάξο.

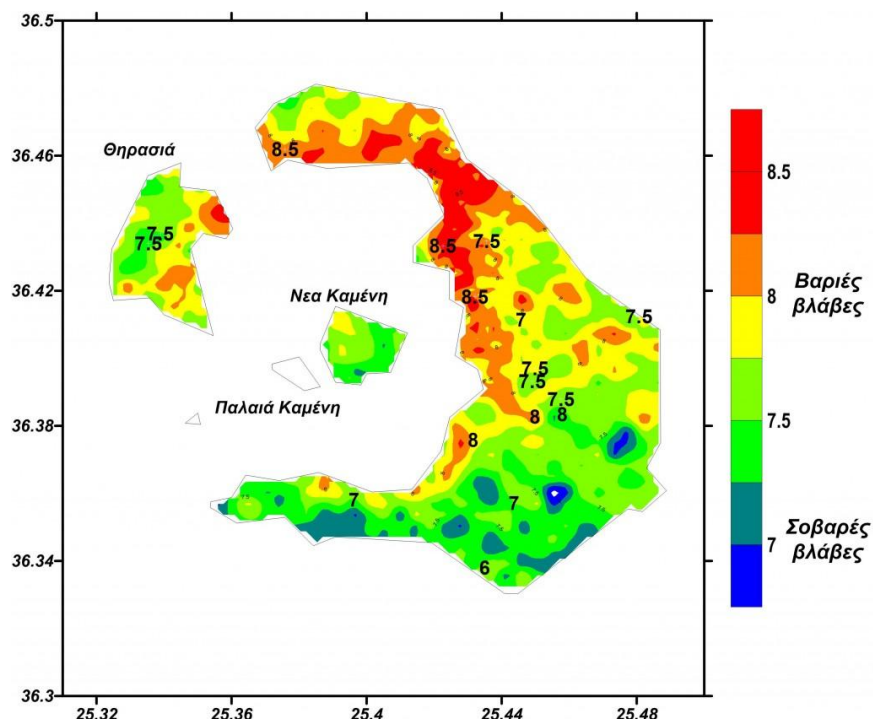
**1919.** 25 Οκτωβρίου, 17:10, (36.5 N, 25.3 E, M=6.1, VII). Ζημιές στα Φηρά, Καρτεράδο, Οία. Έγινε αισθητός στις Κυκλάδες και στη βόρεια Κρήτη. Στη σεισμική ακολουθία υπήρξαν προσεισμοί και μετασεισμοί για 2 μήνες.



**1920.** 15 Νοεμβρίου, 09:20, (36.0 N, 25.7 E, h=120 km, M=6.0, VI). Σεισμός αισθητός στη Σαντορίνη, Νάξο και στη Β. Κρήτη.

**1935.** 18 Μαρτίου, 08:40, (35.3 N, 26.8 E, h=70 km, M=6.4, V). Σεισμός αισθητός στη Σαντορίνη, Σητεία και Χανιά.

**1956.** 9 Ιουλίου, 03:11, (36.7 N, 25.8 E, M=7.5 IX). Σεισμός στην Αμοργό, συνοδευόμενος από τσουνάμι, με σοβαρότατες βλάβες στα νησιά των Κυκλάδων και του Ανατολικού Αιγαίου. Πρόκειται για τον μεγαλύτερο σεισμό στην Ευρώπη τον 20<sup>ο</sup> αιώνα. Ο σεισμός έπληξε κατά βάση τη Σαντορίνη, όπου καταμετρήθηκαν 53 νεκροί και 100 τραυματίες και καταγράφηκαν οι σοβαρότερες ζημιές. Το 35% των σπιτιών κατέρρευσε και το 45% παρουσίασε μεγάλες ή μικρές ζημιές. Καταστράφηκαν ολοσχερώς σχεδόν όλα τα δημόσια κτίρια. Στη Σαντορίνη οι εντάσεις έφτασαν το VIII με σημαντικές βλάβες στην Οία, Φηρά, Ημεροβίγλι. Το νησί επισκέφτηκε ο τότε πρωθυπουργός Κων/νος Καραμανλής. Το ρήγμα ΒΑ-ΝΔ που ενεργοποιήθηκε προκάλεσε τσουνάμι με ύψη 30m. και 20 m. στην Αμοργό και στην Αστυπάλαια όπως έχει αναφερθεί από το Γαλανόπουλο (1957), Ambraseys (1960), και Παπαδόπουλος και Παυλίδης (1992). 13 λεπτά αργότερα, ισχυρός σεισμός μεγέθους  $M_w=6,9$  σημειώθηκε στη ΝΔ άκρη της ζώνης του ρήγματος σε βάθος 95 km (Parazachos and Parazachou, 2003; Makropoulos et al., 2012). Κανένα από αυτά τα γεγονότα δε συνδέονταν με την ηφαιστειακή δραστηριότητα .



Εικόνα 1.19 Χάρτης εντάσεων για το σεισμό του 1956. ([http://atlantea.news/wp-content/uploads/2016/07/santorini\\_small2-1024x845.jpg](http://atlantea.news/wp-content/uploads/2016/07/santorini_small2-1024x845.jpg))



Εικόνα 1.20 Ο φονικός σεισμός του 1956 σε πρωτοσέλιδο της εποχής (<http://santorinos.blogspot.gr/2012/07/1956.html>)

## Κεφάλαιο 2. Η σεισμο-ηφαιστειακή κρίση του 2011 - 2012

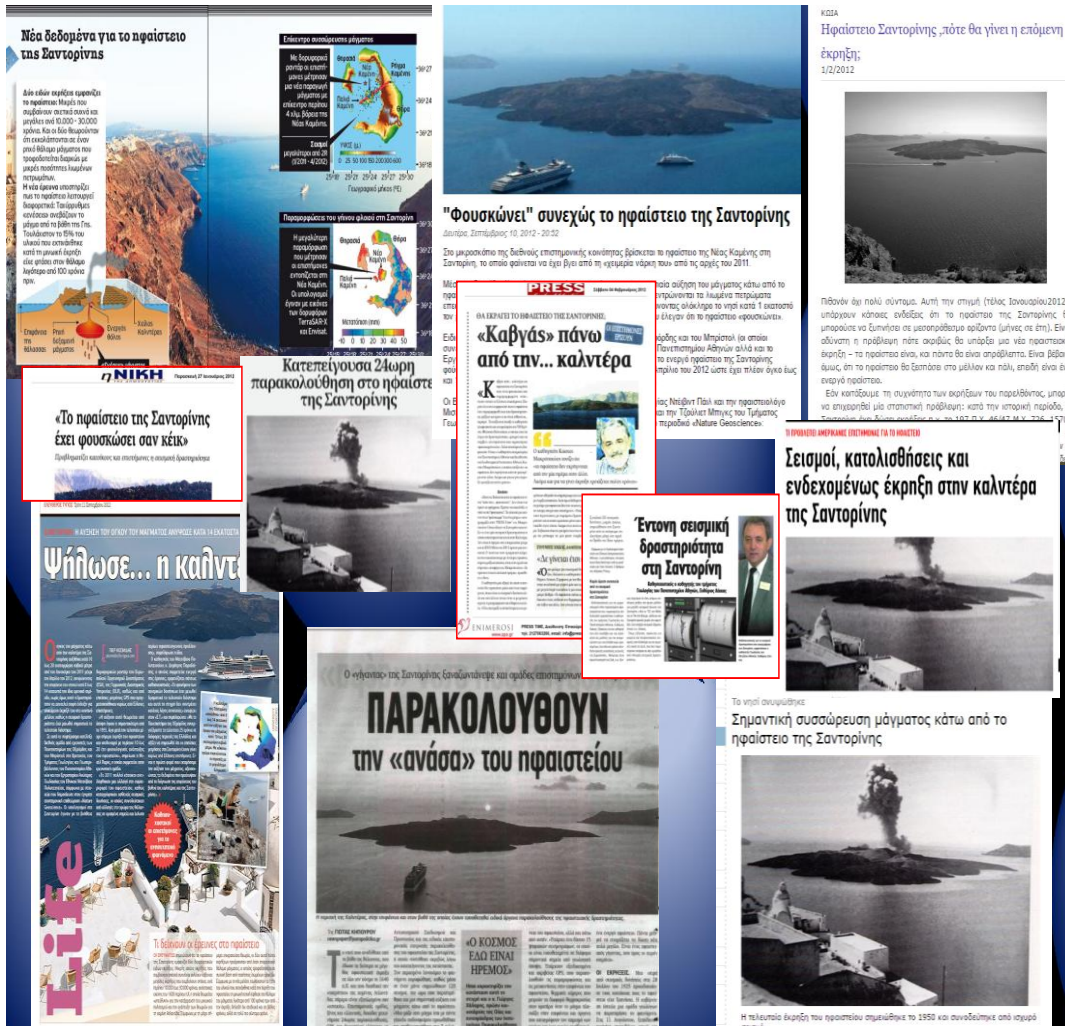
### 2.1. Δημοσιεύματα

Οι εικόνες με τη μαγευτική θέα και τα ηλιοβασίλεματα της Σαντορίνης, συνοδευόμενα με γλαφυρά άρθρα, έδωσαν τη θέση τους σε σχεδιαγράμματα, δορυφορικές εικόνες αποτύπωσης ανάγλυφου, δηλώσεις Ελλήνων και ξένων επιστημόνων, μελλοντικά σενάρια και κυρίως βαρύγδουπους τίτλους στον ημερήσιο τύπο. Τίτλοι όπως «φουσκώνει το κέικ της Σαντορίνης», «φόβοι για αφύπνιση του ηφαιστείου της Θήρας», «το ηφαίστειο ανύψωσε τη Σαντορίνη», ήταν συχνοί κατά τη διάρκεια της κρίσης δημιουργώντας ανησυχία και φόβο στους αναγνωστικό κοινό. Αρκετές φορές μέλη της επιτροπής έδωσαν συνεντεύξεις στον ημερήσιο τύπο δίνοντας ξεκάθαρες απαντήσεις χωρίς υπεκφυγές. Ο πρόεδρος της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. αναφερόταν πάντοτε στη συγκρότηση της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. γνωστοποιώντας το έργο της, το ρόλο της και τη σπουδαιότητά της.

Ο Andrew Newman από το Georgia Institute της Ατλάντα, γεωφυσικός και στενός συνεργάτης των Ελλήνων επιστημόνων, μιλώντας στον ξένο τύπο, αναφέρει ότι από τον Ιανουάριο του 2011 τα εγκατεστημένα όργανα του Ινστιτούτου έχουν μετακινηθεί πλαγίως κατά 5 με 9 cm στο βόρειο τμήμα του νησιού. Επισημαίνει ότι μια έκρηξη μικρής κλίμακας θεωρείται πιθανή και προσθέτει ότι το φαινόμενο του ηφαιστείου που «φουσκώνει» μπορεί να διαρκέσει ακόμη και δεκαετίες.

Η Alexandra Witze, δημοσιογράφος στο αμερικάνικο επιστημονικό περιοδικό Science News, στο άρθρο της με τίτλο «Greek volcano reawakens. Potential eruption wouldn't be anything like Santorini's storied Bronze Age blowout» έγραψε σχετικά για την εργασία του κ. Newman με τίτλο «Recent geodetic unrest at Santorini caldera». Εκεί, κατόπιν σχετικής αλληλογραφίας της με τον πρόεδρο της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ., αναφέρει εν συντομία την ύπαρξη της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ., την πρόθεση της επιτροπής να συνεχίσει την παρακολούθηση της αφύπνισης καθώς και τη συνάντηση των επιστημόνων που θα γινόταν στη Σαντορίνη, στις 27 Μαρτίου, κατά τη διάρκεια του workshop MemoVolc 2012.





Εικόνα 2.1 Δημοσιεύματα στον ημερήσιο τύπο σχετικά με τη σεισμο-ηφαιστειακή κρίση του 2011-2012. (Προσωπικό αρχείο)

## 2.2. Σεισμική Δραστηριότητα

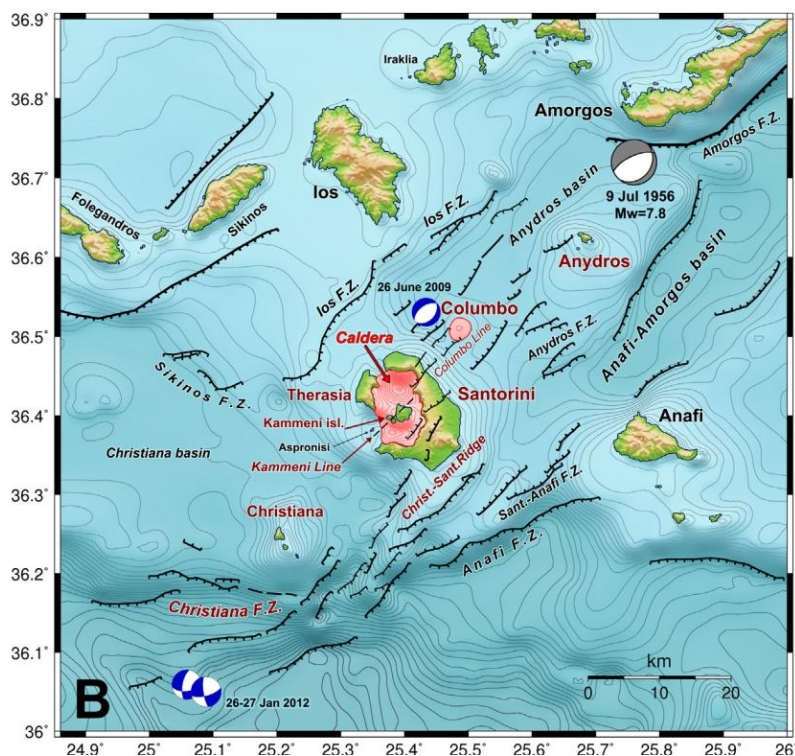
### Περίοδος 1950-2010

Η περιοχή των Κυκλάδων έχει χαρακτηριστεί από χαμηλή σεισμική δραστηριότητα μέχρι το 2000, η οποία επικεντρώνεται στη περιοχή μεταξύ Σαντορίνης και Αμοργού στη λεκάνη Άνυδρου. Σύμφωνα με το Νέο Χάρτη Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας, οι Κυκλάδες ανήκουν στη ζώνη Ι, με εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού 0,16. Εξαιρέση αποτελεί η Σαντορίνη, η Αμοργός και η Ανάφη, νησιά τα οποία ανήκουν στη ζώνη ΙΙ με εδαφική επιτάχυνση 0,24 (Ο.Α.Σ.Π., 2003).

Το μεγαλύτερο γεγονός που έχει συμβεί σ αυτήν τη ζώνη, και ένα από τα μεγαλύτερα γεγονότα στην Ελλάδα τον 20<sup>ο</sup> αιώνα, ήταν και ο σεισμός της Αμοργού, ο

οποίος αναλύθηκε στο «Ιστορικό σεισμικότητας». Μέχρι το 1990, υπήρχε έλλειψη τοπικού σεισμολογικού δικτύου. Κατόπιν όμως, αρκετοί προσωρινοί σταθμοί εγκαταστάθηκαν στη Σαντορίνη και στα γύρω νησιά από φορείς όπως το Ε.Κ.Π.Α., το Α.Π.Θ. και το Γ.Ε.ΙΝ. καταγράφοντας τη μικροσεισμικότητα. Η ανάλυση των δεδομένων έδειξε μέτρια σεισμική δραστηριότητα στο φλοιό, κατά μήκος της ζώνης του ρήγματος Σαντορίνης-Αμοργού με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ. Επιπροσθέτως, αρκετοί σημαντικοί σεισμοί συνέβησαν στην περιοχή ΒΑ της Σαντορίνης, στο Columbo ενώ στην καλδέρα η σεισμικότητα ήταν πολύ χαμηλή.

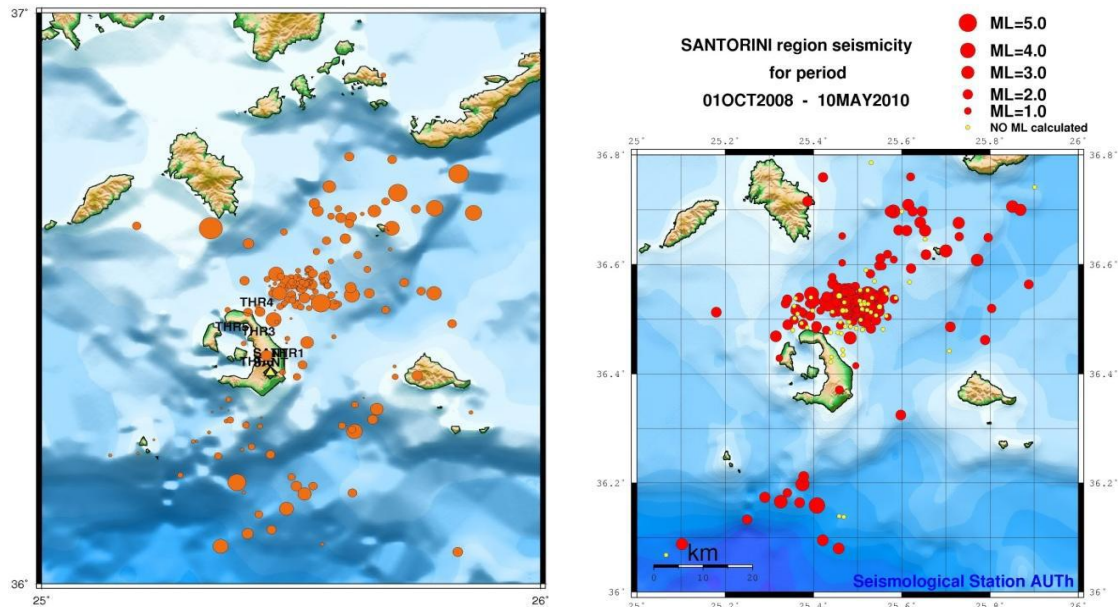
Η ευρύτερη περιοχή του ηφαιστειακού συγκροτήματος της Σαντορίνης περιλαμβάνει την Ανάφη-Αμοργό, και τις λεκάνες Άνυδρος και Χριστιανά και παρουσιάζεται στην ακόλουθη εικόνα. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από πολύπλοκο δίκτυο ρηγμάτων. Ο καταστρεπτικός σεισμός του 1956 έλαβε χώρα κατά μήκος του ρήγματος της Αμοργού. Από τότε η σεισμικότητα ήταν μέτρια, εστιασμένη στην Ανάφη-Αμοργό και στη λεκάνη Άνυδρου.



Εικόνα 2.2 Σεισμοτεκτονικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του ηφαιστειακού συγκροτήματος της Σαντορίνης και ενεργά ρήγματα (Paradimitriou et al., 2014)

Σημείωση. Αποτυπώνονται οι μηχανισμοί γένεσης των σεισμών της Αμοργού Mw=7.8 9/7/1956, του Columbo 26/6/2009 και Χριστιανών 26-27/1/2012 με Mw=5.1 και 5.2. Γραμμές ρηγμάτων είναι κατά Armijo et al., (1992), Nomikou et al., (2010), Sakellariou et al., (2010), Feuillet (2013). Σεισμικότητα και μηχανισμοί από το Σεισμολογικό Εργαστήριο του Ε.Κ.Π.Α.

Τη δεκαετία του 1990, αύξηση της σεισμικής δραστηριότητας παρατηρήθηκε το 1995 και αυτή παρουσίασε ένα μέγιστο στις 27 Μαΐου 1996 με μία σημνοσειρά μεγεθών  $M=3,8-4,2$  (Chouliaras et al., 2012).



Εικόνα 2.3 Η σεισμική δραστηριότητα στο ηφαιστειακό κέντρο της Σαντορίνης κατά το διάστημα Ιανουαρίου 2006-Οκτωβρίου (αριστερά) και Οκτωβρίου 2008-Μαΐου 2010 (Παπαζάχος κ.α., 2011)

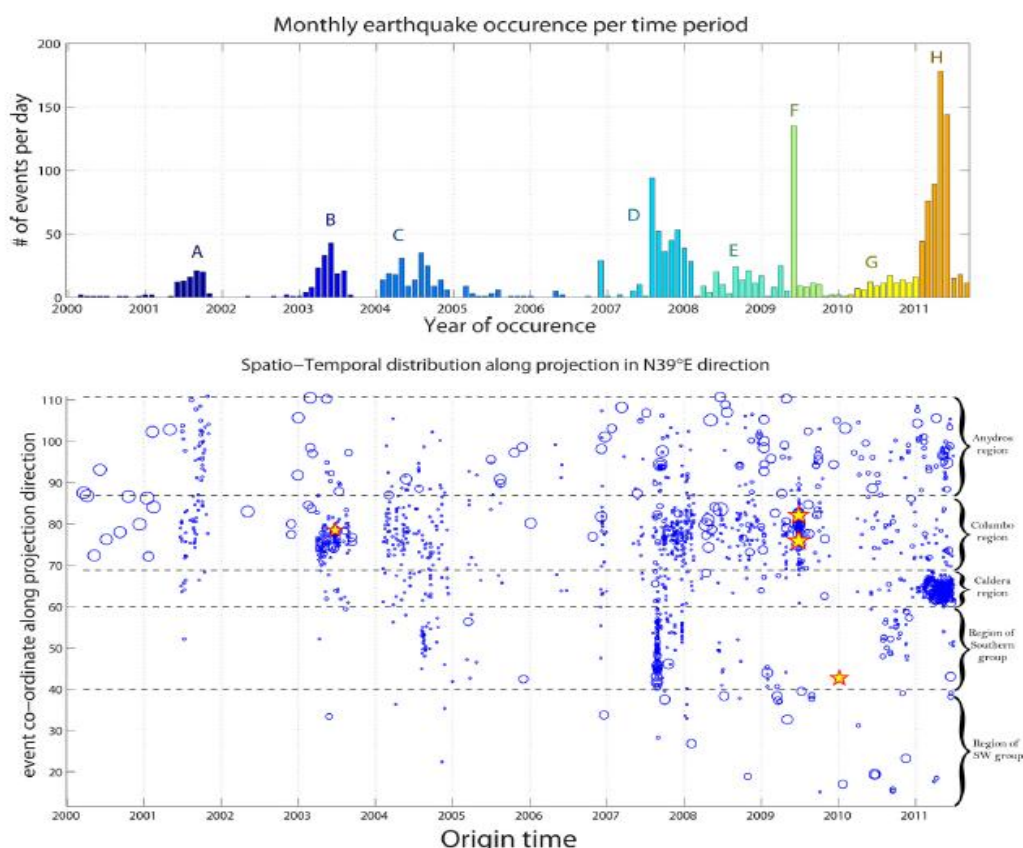
Τα παραπάνω δεδομένα όπως αυτά καταγράφηκαν από το Α.Π.Θ., δείχνουν μία συνεχή σεισμική δραστηριότητα κυρίως στην περιοχή του υποθαλάσσιου ηφαιστείου του Columbo και σε τεκτονικά ρήγματα βόρεια της Σαντορίνης αλλά και κατά μήκος της ενεργού τεκτονικής γραμμής Columpro-Άνυδρος-Αμοργός.

Από το 2003, τρία μέτριας έντασης γεγονότα συνέβησαν στην περιοχή, κοντά στο Columbo. Στις 26 Ιουνίου 2003 με  $M_w=4,1$  και μετασεισμική ακολουθία, καταγεγραμμένη από τοπικό προσωρινό σεισμολογικό δίκτυο, εστιακό βάθος μεταξύ 5 km και 16 km σε σχεδόν κάθετη κατανομή. Στις 26 Ιουνίου 2009, δύο μέτρια ρηχοί σεισμοί  $M_w=4,9$  και  $M_w=4,7$  έγιναν στην ίδια περιοχή, με υπόκεντρα σε στενή ζώνη περίπου 5 Km κάτω από το Columbo και κανονικά ρήγματα. Το ίδιο διάστημα καμία δραστηριότητα δε υπήρξε στην καλδέρα. Τα επίκεντρα των σεισμών μέχρι το 2010 κατανέμονται κυρίως κατά μήκος του Ελληνικού τόξου και χαρακτηρίζονται κυρίως από ανάστροφα ρήγματα.

Η σεισμικότητα της ευρύτερης περιοχής του ηφαιστειακού συγκροτήματος της Σαντορίνης συνδέεται στενά με το τεκτονικό καθεστώς και με τις ηφαιστειακές



διαδικασίες. Ο μεγαλύτερος ρυθμός σεισμικής δραστηριότητας στην περιοχή παρατηρήθηκε κατά μήκος της κατά ΒΑ-ΝΔ Σαντορίνη-Columbo ηφαιστειο-τεκτονικής γραμμής, με χαρακτηριστικά οριζόντιας ολίσθησης. Σε αυτήν τη ζώνη, το υποθαλάσσιο ηφαίστειο του Columbo παρουσιάζει υδροθερμική δραστηριότητα που μπορεί να συνδεθεί με δεξαμενή μάγματος, η οποία συνοδεύεται από μετανάστευση μάγματος υγρών προς την επιφάνεια.



Εικόνα 2.4 Ιστόγραμμα μηνιαίας σεισμικότητας από το Μάρτιο του 2000 ως τον Αύγουστο 2011 (Papadimitriou et al., 2014)

Σημείωση. Τα χρώματα και τα γράμματα αντιπροσωπεύουν 8 χρονικές υποπεριόδους στην οποία χωρίστηκε αυτή η περίοδος (επάνω εικόνα). Χωροχρονικό διάγραμμα για τις υποπεριόδους A-H, το ίδιο χρονικό διάστημα. Το μέγεθος των κύκλων φανερώνει το μέγεθος των σεισμών ενώ τα αστέρια έχουν μέγεθος  $M_w \geq 4$ . Ο κάθετος άξονας χωρίστηκε σε 5 περιοχές (στα δεξιά του διαγράμματος), που ανταποκρίνονται στις 5 ομάδες σεισμών για την περίοδο Σεπτεμβρίου 2011-Μαρτίου 2013

Η περιοχή Άνυδρου και Columbo είχαν μέτρια σεισμικότητα με μερικά ξεσπάσματα τα προηγούμενα χρόνια. Η ομάδα E (Νότια της Σαντορίνης) είχε μία κορύφωση σεισμικότητας το 2007. Όσον αφορά την καλδέρα, δεν υπήρξε σεισμικότητα κατά τη δεκαετία 2000-2010, μόνο λίγα σποραδικά γεγονότα.

## Περίοδος 2011-2012

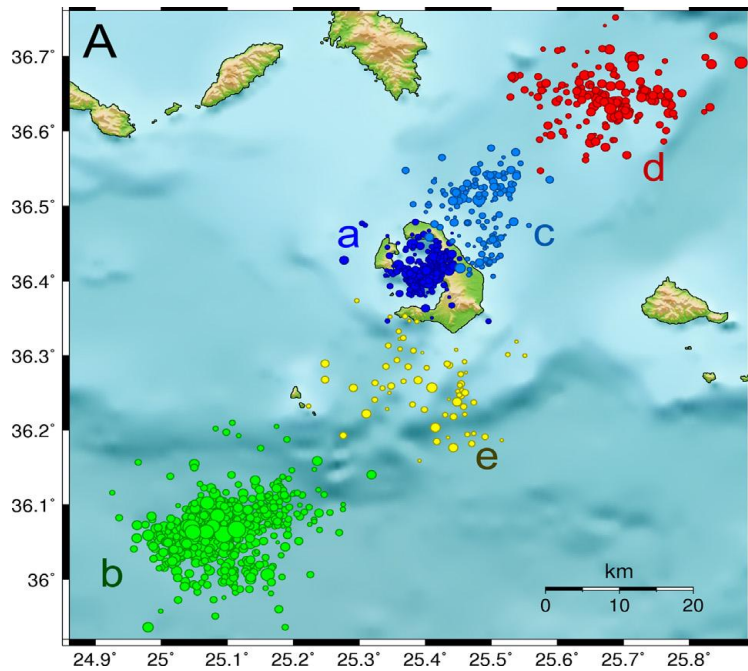
Το όλο σκηνικό άλλαξε το 2011 και 2012 με την ενεργοποίηση της καλδέρας (Chouliaras et al., 2012, Vallianatos et al., 2013) και την περιοχή νοτίως των Χριστιανών (Kiratzi, 2013).

Η σεισμική δραστηριότητα στο ηφαιστειακό συγκρότημα αυξήθηκε από τις αρχές του 2011 έως το Μάρτιο του 2012 και πολλοί ερευνητές θεώρησαν το γεγονός αυτό να σχετίζεται με μία πιθανή επαναδραστηριοποίηση του ηφαιστείου. Η δραστηριότητα αυτή, σχετιζόμενη με το δεξιόστροφο ρήγμα, εστιάστηκε κυρίως στην περιοχή της καλδέρας όπου συνοδεύτηκε από εδαφικές παραμορφώσεις (Chouliaras et al., 2012, Papadimitriou et al., 2012, Konstantinou et al., 2013, Vallianatos et al., 2013, Lagios et al., 2013).

Τα βάθη των υποκέντρων είναι ρηχά, μέχρι τα 10 km, συνήθως μεταξύ 4-8 km, με μεγέθη μικρά, το πιο ισχυρό ήταν  $M_L=3,5$ . (Papadimitriou et al., 2014). Η χωρική διασπορά τους ήταν μεταξύ Παλαιάς και Νέας Καμένης και γειτνίαζαν στην κεντροδυτική απότομη πλευρά της Σαντορίνης (Papadimitriou et al., 2014).

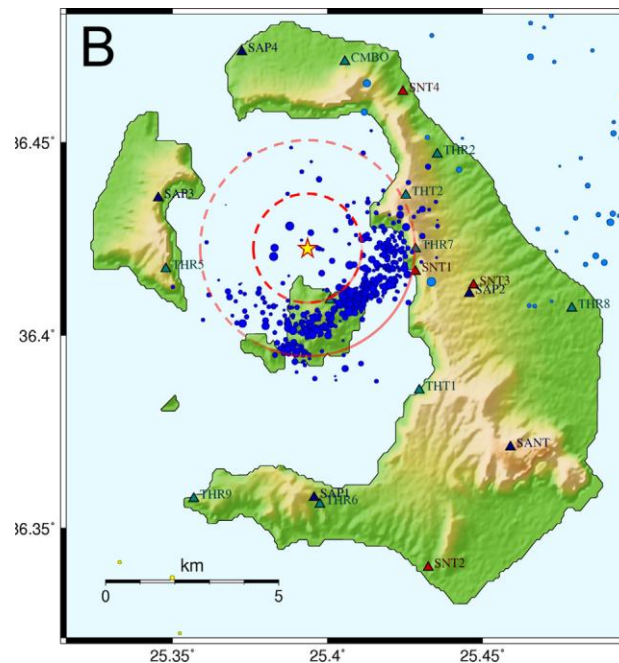
Στις 9 Ιανουαρίου 2011, ξεκίνησε μία ανώμαλη ακολουθία των σεισμών μέσα στην καλδέρα, η πρώτη ουσιαστική δραστηριότητα που παρατηρήθηκε με σύγχρονα σειсмоγραφικά δίκτυα και είναι η πρώτη έντονη καταγεγραμμένη σεισμικότητα από την τελευταία ενεργοποίηση του ηφαιστείου το 1950. Η σεισμικότητα καταγραφόταν μέχρι τις αρχές του 2012 από τοπικό δίκτυο 10 σειсмоγράφων του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου και του Ι.Μ.Π.Η.Σ.. Από 9 Ιανουαρίου 2011 και 21 Ιανουαρίου 2012 οι σεισμοί είχαν μέγεθος  $M_L \leq 3,2$ , περιγράφοντας ένα σχεδόν κάθετο ρήγμα κάτω από τα νησιά των Καμένων και εκτείνονταν πλευρικά προς το χωριό Θήρας. Αυτό το ρήγμα δημιουργήθηκε κατά τη Μινωική έκρηξη και είναι η περιοχή όπου έχουν συμβεί οι ενδοκαλδερικές εκρήξεις την τελευταία χιλιετία οι οποίες δημιούργησαν τα νησιά των Καμένων. Μέχρι τον Ιανουάριο του 2012 η σεισμικότητα ενδοκαλδερικά ήταν πάνω από 10 γεγονότα τη μέρα με μέγεθος  $M_L \geq 1,0$  (Newman et al., 2012). Την ίδια περίοδο η λεκάνη Άνυδρου ήταν μέτρια, ενώ από τον Απρίλιο του 2012, η σεισμικότητα σε όλη την περιοχή ήταν χαμηλή.

Η σεισμικότητα από το Σεπτέμβριο του 2011 ως το Μάρτιο του 2013 έχει χωρικά διασπαστεί σε 5 περιοχές. Αυτές οι 5 περιοχές είναι: α) η περιοχή της καλδέρας β) η περιοχή 40 Km ΝΔ της Σαντορίνης γ) σεισμικότητα γύρω από το υποθαλάσσιο ηφαίστειο Columbo μαζί με μια μικρή συστάδα Ν και Α του νησιού δ) σεισμικότητα γύρω από το νησί Άνυδρος ε) σποραδική σεισμικότητα Ν της Σαντορίνης. Επίσης, γεγονότα μεγάλου βάθους καταγράφηκαν σχεδόν αποκλειστικά το 2012, με εξαίρεση τις 24 Δεκεμβρίου 2011. Συνέβησαν Ν της Σαντορίνης σε εστιακά βάθη 80-100 km, που φανερώνει τεκτονική προέλευση και ανήκουν στη ζώνη Wadati-Benioff. Οι μεγαλύτερες ομάδες είναι η α και β και περιλαμβάνουν πάνω από 500 γεγονότα η κάθε μία, η ομάδα γ και δ περιλαμβάνουν περίπου 150 και η ομάδα ε με μόνο 67 γεγονότα (Papadimitriou et al., 2014).



Εικόνα 2.5 Σεισμικότητα στην ευρύτερη περιοχή της Σαντορίνης το διάστημα Σεπτέμβριος 2011-Μάρτιος 2013 (Paradimitriou et al., 2014)

Σημείωση. Λύσεις, όπως προέκυψαν από μοντέλα της ευρύτερης περιοχής Τα χρώματα και τα γράμματα αντιστοιχούν σε α)ομάδα καλδέρας β)ΝΔ ομάδα γ)ομάδα Columbo δ)ομάδα Άνυδρου ε)Νότια ομάδα



Εικόνα 2.6 Σεισμικότητα στην καλδέρα της Σαντορίνης τη διάρκεια Σεπτέμβριος 2011-Μάρτιος 2013 (Paradimitriou et al., 2014)

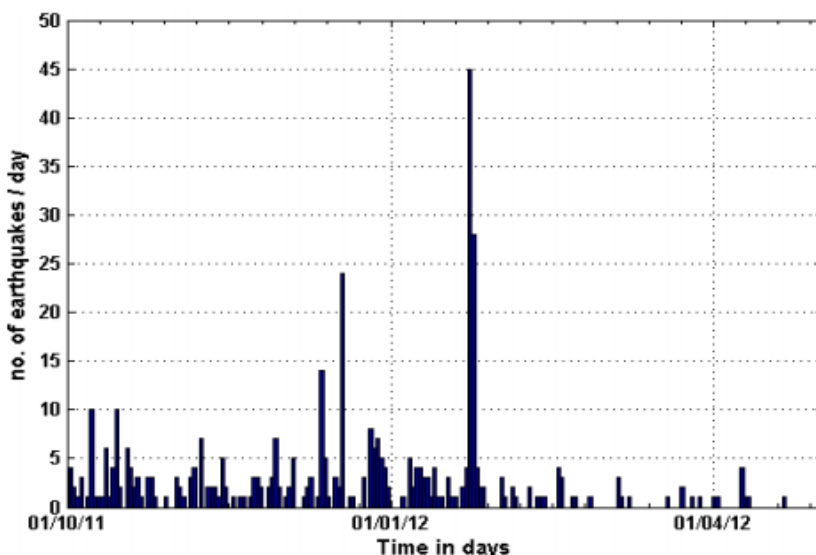
Σημείωση. Το κόκκινο αστέρι στο Β είναι το κέντρο των κύκλων όπου σημειώθηκε το μεγαλύτερο τμήμα της σεισμικότητας της ομάδας σεισμών της καλδέρας.

Η δραστηριότητα συνεχίστηκε κατά τη διάρκεια του Νοεμβρίου 2011 μαζί με άλλες ανωμαλίες σε άλλα γεωφυσικά δεδομένα (Newman et al., 2012, Lagios et al., 2013) και συμβολομετρία (Papageorgiou et al., 2012, Parks et al., 2012, Foulmelis et al., 2013) υποδεικνύοντας ότι η σεισμικότητα προκλήθηκε από εισχώρηση μαγματικών υγρών. Περισσότερα από 1000 γεγονότα ανιχνεύτηκαν μέσα στην Καλδέρα από την αρχή του 2011. Η χωρική κατανομή της σεισμικότητας της Νέας Καμένης είναι κατά μήκος της διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ. Επίσης μπορεί να απεικονιστεί με ένα κυκλικό δαχτυλίδι με το κέντρο του βόρεια της Νέας Καμένης, και με το νότιο κομμάτι του δαχτυλιδιού με υψηλή σεισμικότητα ενώ το βόρειο κομμάτι με χαμηλή. Ο τύπος ρηγματώσης στην καλδέρα είναι σημαντικός μιας και σχετίζεται με την εισχώρηση του μάγματος. Ο μηχανισμός έδειξε οριζόντιας ολίσθησης ρήγματα.

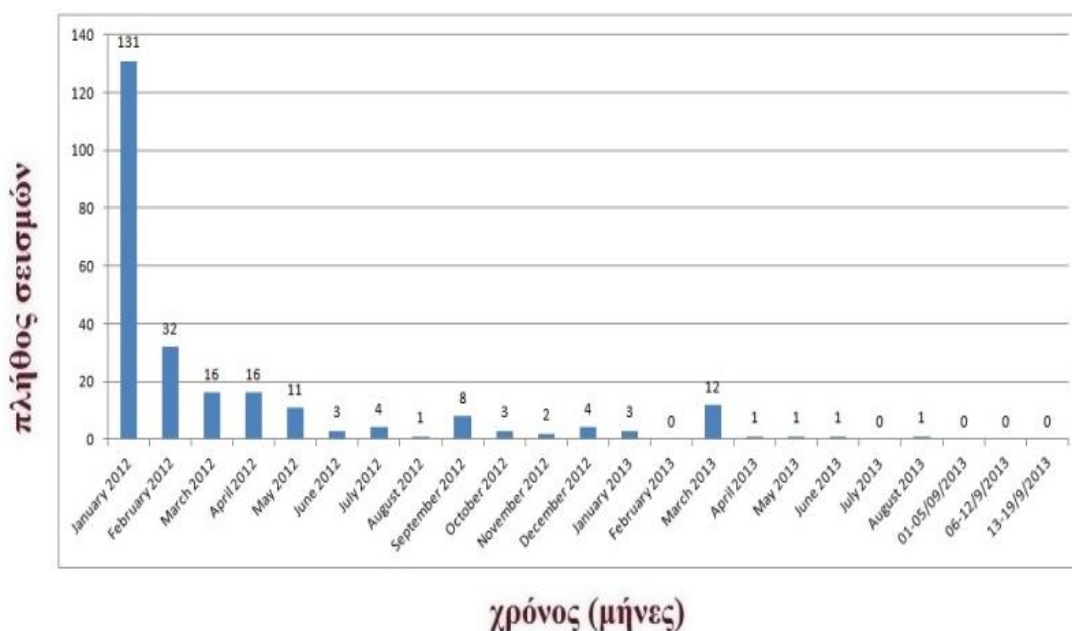
Η ανάλυση των δεδομένων από το Ε.Κ.Π.Α., έδειξε ότι η πλειοψηφία των γεγονότων εστιάστηκαν στην καλδέρα και είναι χαρακτηριστικά παραδείγματα από υψηλής συχνότητας ηφαιστειο-τεκτονικού τύπου. Αυτό μπορεί να υποστηριχτεί από το γεγονός ότι η φάση της έντονης σεισμικής δραστηριότητας, η οποία κράτησε περίπου ένα χρόνο, δεν ακολουθήθηκε από κάποιο ηφαιστειακό επεισόδιο στη Σαντορίνη. Δεν παρουσιάστηκαν επίμονες ηφαιστειακές δονήσεις. Παρ' όλα αυτά, μερικές σποραδικές περιπτώσεις σπασμωδικών ξεσπασμάτων και χαμηλής συχνότητας γεγονότα αναγνωρίστηκαν τα οποία μπορούν να σχετιστούν με τη δραστηριοποίηση του μαγματικού θαλάμου όπως επίσης και στις αλλαγές στις ιδιότητες του μάγματος και στις διαφοροποιήσεις της πίεσης του αγωγού.

Τον Ιανουάριο του 2012, ενεργοποιήθηκε η περιοχή των Χριστιανών, 45 km ΝΔ της Σαντορίνης με σεισμούς μεγέθους 5,1 στις 26 Ιανουαρίου και 5,2 στις 27 Ιανουαρίου που ακολουθήθηκαν από μεγάλο αριθμό μετασεισμών (Papadimitriou et al., 2012). Μετά την ενεργοποίηση των Χριστιανών, η σεισμικότητα στην καλδέρα, ελαττώθηκε γρήγορα. Καθορίστηκαν μηχανισμοί οι οποίοι έδειξαν δεξιόστροφο μηχανισμό μέσα στην καλδέρα (Papadimitriou et al., 2014). Η ομάδα Β (40 km ΝΔ της Σαντορίνης, στα Χριστιανά) υπήρξε σεισμικά ήσυχη κατά το 2010-2011. Η πιο ενεργή περίοδος στην ευρύτερη περιοχή, για την περίοδο 2000-2013, ήταν από 23-28 Ιανουαρίου 2012, όπου σημειώθηκαν οι μεγαλύτεροι σεισμοί στην ευρύτερη περιοχή από το 1956. Οι μηχανισμοί τους χαρακτηρίστηκαν από οριζόντιας ολίσθησης ρήγματα όπου ένα από τα επίπεδα ρήγματος είναι προς τα ΒΒΑ-ΝΝΔ. Αυτό θεωρήθηκε ως επίπεδο ρήγματος που βασίστηκε στις παρατηρήσεις της κατευθυντικότητας (Kiritzi, 2013). Η μετασεισμική ακολουθία είχε 17 γεγονότα με  $M_w \geq 3,7$  μέχρι τις 15 Φεβρουαρίου 2012. Άλλα μικρά γεγονότα στην ομάδα Β συνέβησαν το Μάρτιο και Οκτώβριο 2012 και Φεβρουάριο 2013.

Η σύμπτωση της σεισμικότητας στην καλδέρα με τα δύο μεγάλα γεγονότα των Χριστιανών και ο παρόμοιος τύπος των παρατηρούμενων εστιακών μηχανισμών τους, θα μπορούσε να σημαίνει μία σύνδεση μεταξύ των δύο περιοχών. Αυτό το σεισμικό πρότυπο καλείται περιφερειακή ηφαιστειο-τεκτονική δραστηριότητα και μπορεί να θεωρηθεί ως πρόδρομο φαινόμενο σε ηφαιστειακές εκρήξεις. Στην περίπτωση της Σαντορίνης όμως, καμία έκρηξη δεν αναφέρθηκε που μπορεί να σχετιστεί με την σεισμική κρίση του 2011-2012.



Εικόνα 2.7 Σεισμικότητα ανά ημέρα, 1/10/2011-1/4/2012 (Vallianatos et al., 2013)



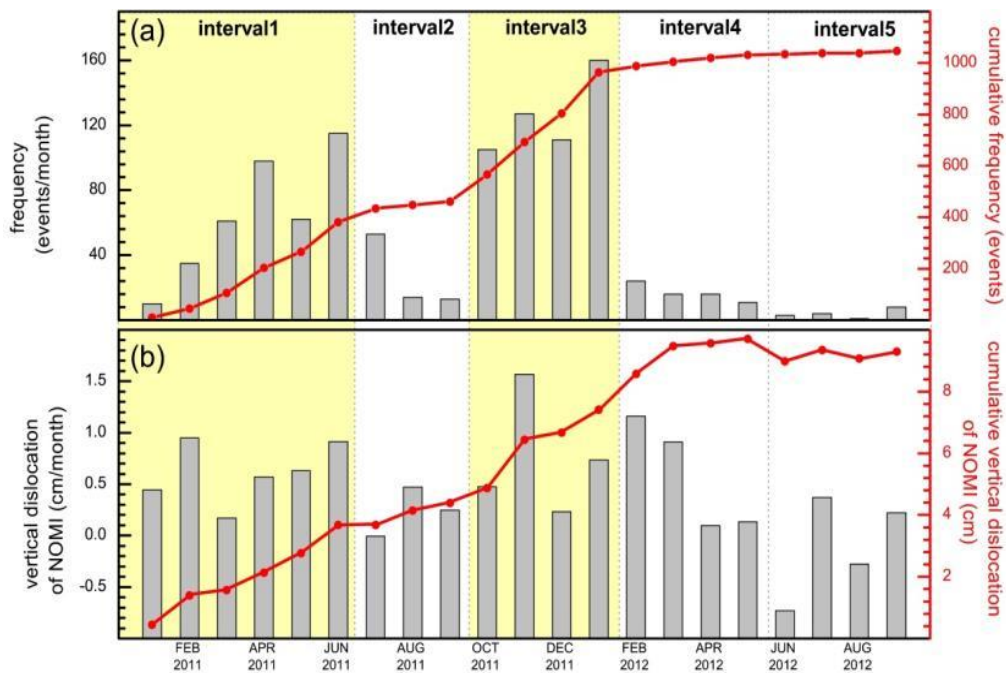
Εικόνα 2.8 Πλήθος σεισμών ανά μήνα από την Νέα Καμένη με μέγεθος  $M > 0.5$  για το χρονικό διάστημα 1/1/2012-19/9/2013 (Μακρόπουλος, 2013)

Όπως φαίνεται από την εικόνα 2.8 ο μέγιστος αριθμός σεισμών ήταν τον Ιανουάριο του 2012 με 130 σεισμούς και ακολουθεί μία απότομη τάση μείωσης. Εξαιρεση αποτελούν οι μήνες Σεπτέμβριος και Μάρτιος του 2013 όπου το πλήθος των σεισμών δεν ακολουθεί τη γενική τάση μείωσης. Το Μάρτιο του 2013 είχαμε μία σμηνοσειρά στη γραμμή Καμένης (Στείρος, 2015)

Στην εικόνα 2.9 φαίνεται ότι έχουμε κάποιες περιόδους με έντονη σεισμικότητα και κάποιες με λιγότερο έντονη. Χρησιμοποιήθηκε ένας σύνθετος



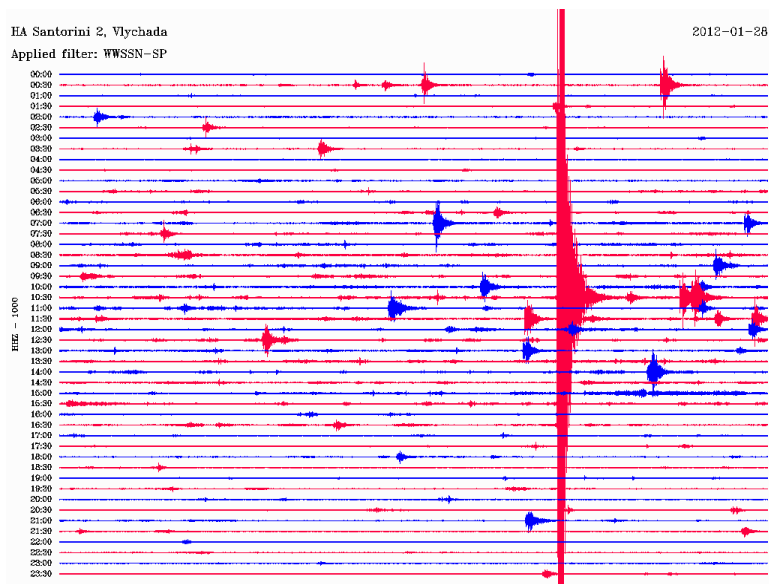
αλγόριθμος-λογισμικό ανάλυσης δεδομένων και έγινε δυνατή η προσομοίωση δύο διαφορετικών πηγών μαγματικής διείσδυσης.



Εικόνα 2.9 (α) Πλήθος σεισμών ανά μήνα και αθροιστικά από τον Ιανουάριο 2011 έως Σεπτέμβριο 2012  $M_L \geq 1.0$ . (β) Μηνιαίες μέσες κατακόρυφες μετακινήσεις του σταθμού NMI (Στείρος, 2015)

Σημείωση. Παρατηρείται συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών (σεισμικότητας και παραμόρφωσης) και αναγνωρίστηκαν πέντε περίοδοι με χαμηλή (περίοδος 2, 4, 5) και έντονη σεισμική δραστηριότητα (περίοδος 1, 3)

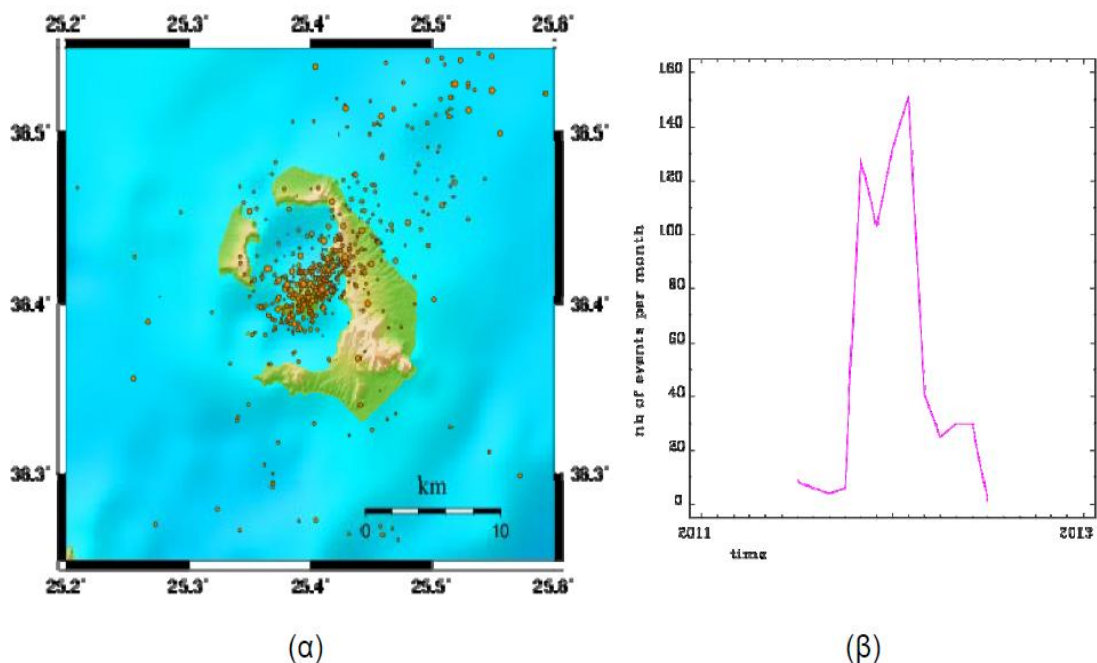
Το ΓΕ.ΙΝ. ενίσχυσε το σεισμολογικό του δίκτυο στο νησί με 4 φορητούς σειсмоγράφους συμπληρωματικά στους ήδη 3 υπάρχοντες μόνιμους σταθμούς. Αυτό βοήθησε στις περαιτέρω έρευνες. Κατεγράφησαν σεισμοί μικρού μεγέθους και μία αύξηση στο ρυθμό σεισμικότητας πάνω από 100%. Πολλές μελέτες έχουν αναφέρει ανωμαλίες στον ρυθμό κατά τη διάρκεια σεισμικών και ηφαιστειακών διεργασιών (Chouliaras et al., 2012).



Εικόνα 2.10 Εικοσιτετράωρη καταγραφή του σταθμού SNT2. Ε.Κ.Π.Α., (Λάγιος, 2012)

Τα δεδομένα από όλους τους συνεργαζόμενους φορείς για τη σεισμικότητα της Σαντορίνης, εντόπισαν περισσότερους από 2000 μικροσεισμούς στην ευρύτερη περιοχή της Σαντορίνης από τον Ιούνιο του 2011 έως το Μάιο του 2012. Η δραστηριότητα επικεντρώνεται κυρίως μέσα στην Καλδέρα, ειδικότερα μεταξύ Φηρών και Νέας Καμένης καθώς και στη θαλάσσια περιοχή ΒΑ της Σαντορίνης. Οι ισχυρότεροι σεισμοί έγιναν στις 26 και 27 Ιανουαρίου 2012 με μεγέθη  $M_w=5,1$  και  $5,2$  αντίστοιχα. Μικρή συγκέντρωση επικέντρων παρατηρήθηκε και στα NNA της Σαντορίνης. Οι περισσότεροι σεισμοί στην ευρύτερη περιοχή της Σαντορίνης, έγιναν τον Ιανουάριο του 2012 (360 περίπου γεγονότα) και το Φεβρουάριο του 2012 οι οποίοι συνδέονται με τους δύο σεισμούς που αναφέρθηκαν παραπάνω και τη μετασεισμική τους ακολουθία.

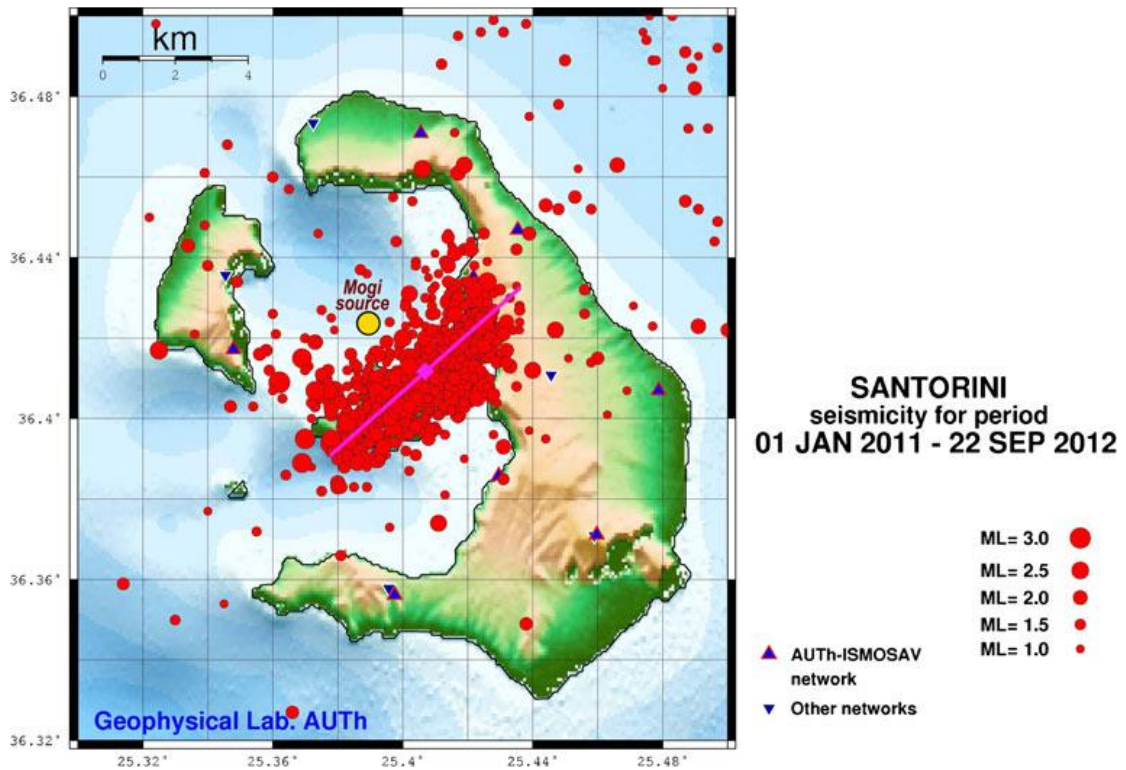
Στην εικόνα που ακολουθεί εντοπίστηκαν 536 σεισμοί με κέντρο τη Νέα Καμένη και ακτίνα 20 km. Τα μεγέθη είναι πολύ μικρά, με  $M < 2$ . Η κατανομή αυτή μπορεί να συσχετισθεί με την τεκτονική γραμμή της Καμένης. Στην ίδια εικόνα φαίνεται ότι η σεισμικότητα στην Καλδέρα δεν είναι συνεχής από τον Ιούνιο του 2011 αλλά εμφανίζεται σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Έτσι λοιπόν, στο διάστημα Ιουνίου 2011-Σεπτεμβρίου 2011 η σεισμικότητα εμφανίζεται περιορισμένη, με πρώτη έξαρση τον Οκτώβριο του 2011. Οι σεισμοί παραμένουν σχετικά αυξημένοι και το Νοέμβριο αλλά μειωμένοι σχετικά με τον Οκτώβριο και το Δεκέμβριο έχουμε πάλι αύξηση. Τον Ιανουάριο του 2012 είχαμε τους περισσότερους σεισμούς στην περιοχή της Νέας Καμένης ενώ από το Φεβρουάριο και μετά έχουμε σημαντική μείωση και εντός της καλδέρας αλλά και στην περιοχή του Columbo. Από το Μάρτιο του 2012 έχουμε κατά μέσο όρο ένα μικροσεισμό την ημέρα εντός της καλδέρας (Λάγιος, 2012).



Εικόνα 2.11 Περιοχή με κέντρο τη Νέα Καμένη και ακτίνα 20 km: (α) Χάρτης Σεισμικότητας. (β) Αριθμός Σεισμών ανά μήνα (Λάγιος, 2012)

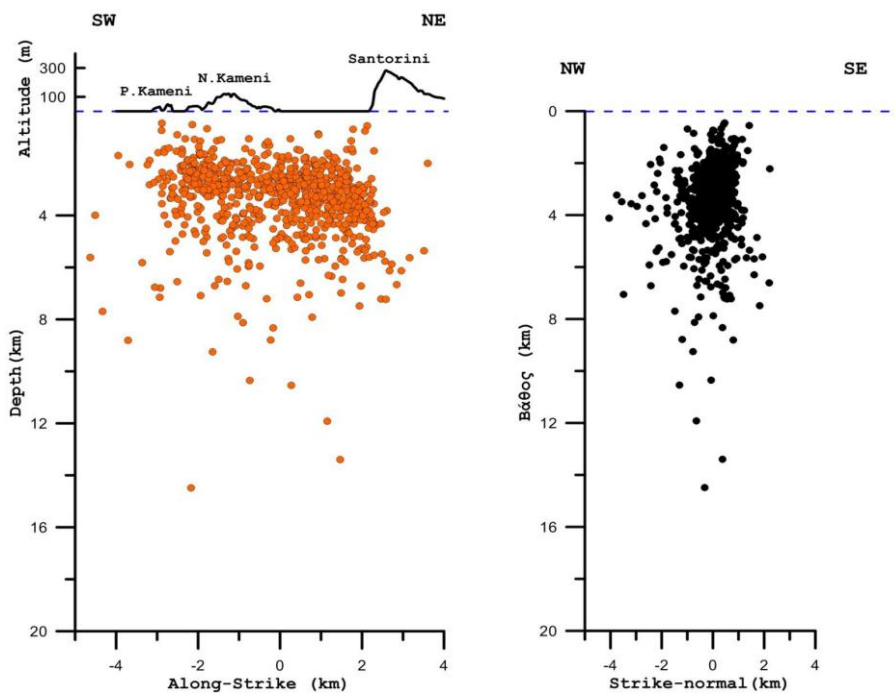
Υπολογίστηκαν οι σεισμικές παράμετροι για τους δύο πιο ισχυρούς σεισμούς με τη μέθοδο υπολογισμού των συνθετικών κυμάτων σε τοπικές–περιφερειακές επικεντρικές αποστάσεις. Ο σεισμός στις 26 Ιανουαρίου 2012 με  $M_W=5,2$  χαρακτηρίστηκε από σημαντική οριζοντιολισθητική συνιστώσα και στοιχεία  $\phi=191^\circ$ ,  $\delta=66^\circ$  και  $\lambda=-139^\circ$ , σεισμική ροπή  $M_0=4.3 \times 10^{23}$  dyn cm, ενώ εντοπίζεται σε εστιακό βάθος 22 km. Ο δεύτερος στις 27 Ιανουαρίου 2012 με  $M_W=5,2$  έχει τα ίδια χαρακτηριστικά και στοιχεία  $\phi=75^\circ$ ,  $\delta=68^\circ$  και  $\lambda=-16^\circ$ , εστιακό βάθος  $h=22$  km και σεισμική ροπή  $M_0=7.4 \times 10^{23}$  dyn cm. (Λάγιος, 2012, Ο.Α.Σ.Π.)

Ο Παπαζάχος ερμηνεύει τη χωροχρονική κατανομή των σεισμών για το πρώτο τρίμηνο του 2011 ως πιθανή μαγματική διείδυση (π.χ τύπου φλέβας, dyke) η οποία διαδίδεται προς τα ΒΑ και ΝΔ, χωρίς να αποκλείεται το φαινόμενο να έχει και τεκτονικό χαρακτήρα, δηλαδή να είναι σεισμο-ηφαιστειακό.

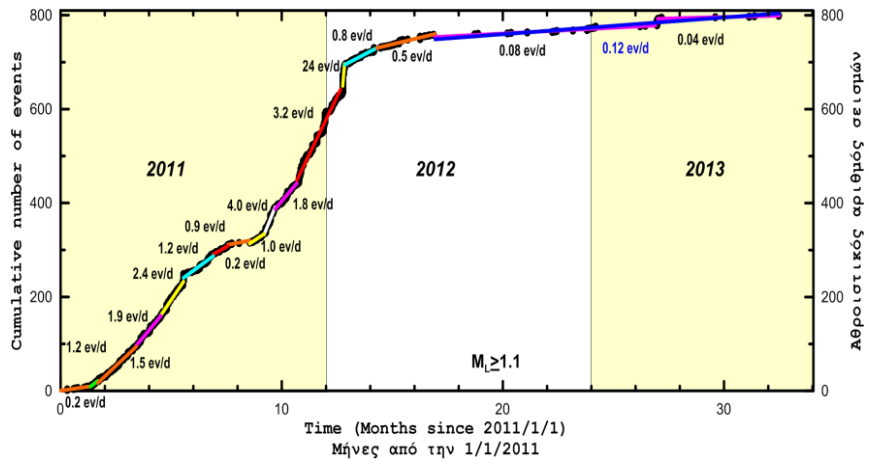


Εικόνα 2.12 Χωρική κατανομή σεισμών με  $M \geq 1,1$  μέσα στην καλδέρα από την αρχή της ηφαιστειακής κρίσης Ιανουάριος 2011-Σεπτέμβριος 2012 (Tassi et al., 2013).

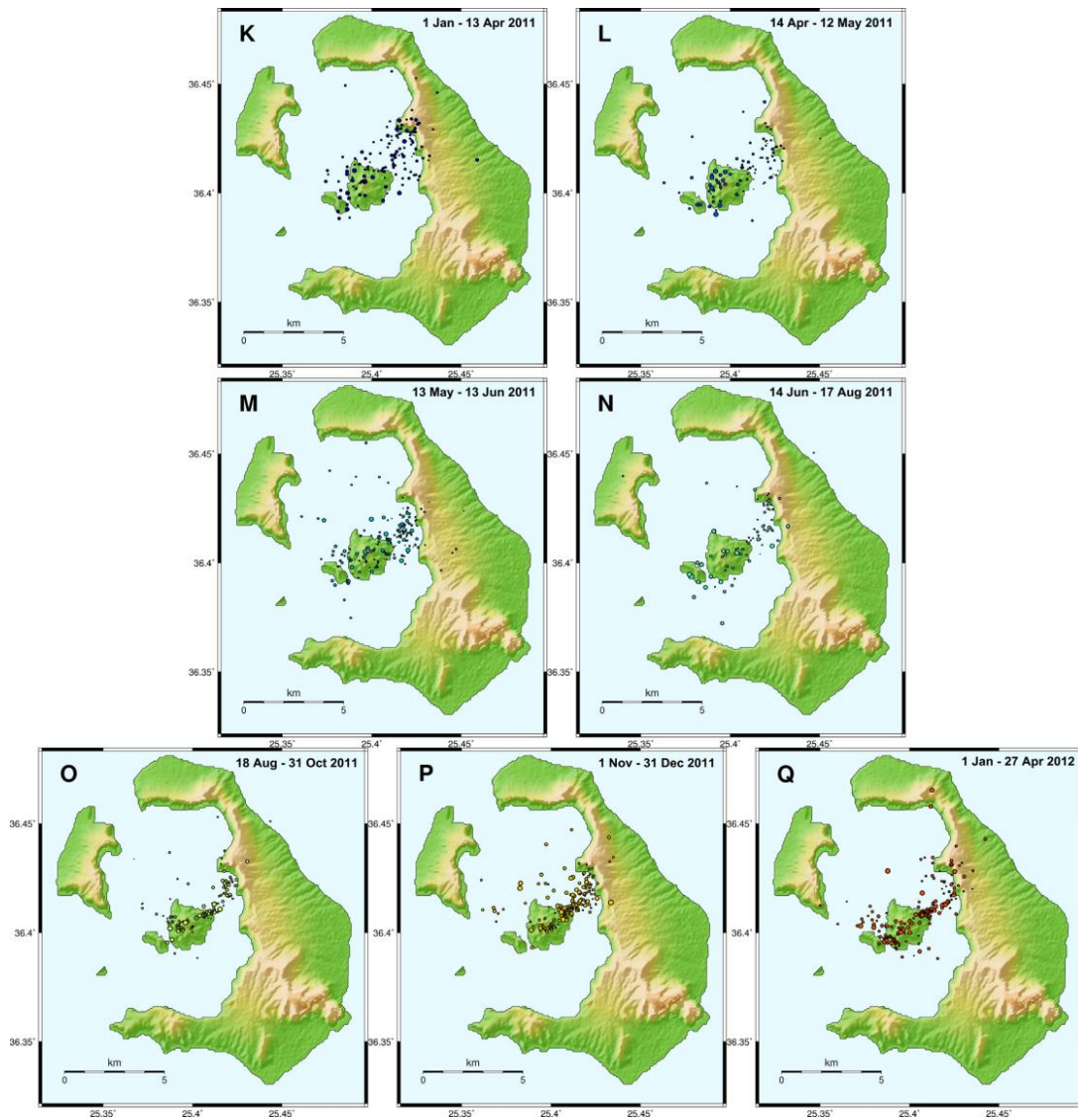
Σημείωση. Η ροζ γραμμή χρησιμοποιείται για κατά μήκος τομή ενώ ο κίτρινος κύκλος δείχνει την προτεινόμενη (Newman et al., 2012)



Εικόνα 2.13 Σεισμοί κάτω από τα νησιά των Καμένων σε επίπεδο NE-SW μήκους 6 km, βάθους 5 km και κλίσης  $80^\circ$  προς βορρά (Parazachos et al., 2012).



Εικόνα 2.14 Αθροιστικός αριθμός σεισμών με  $M_L \geq 1.1$  μέσα στην καλδέρα από τον Ιανουάριο 2011 μέχρι το 2013 (Parazachos et al., 2013).



Εικόνα 2.15 Σεισμικότητα στην καλδέρα κατά τη διάρκεια Ιανουάριο 2011-Απρίλιος 2012, χωρισμένη σε υποπεριόδους (Papadimitriou et al., 2014)



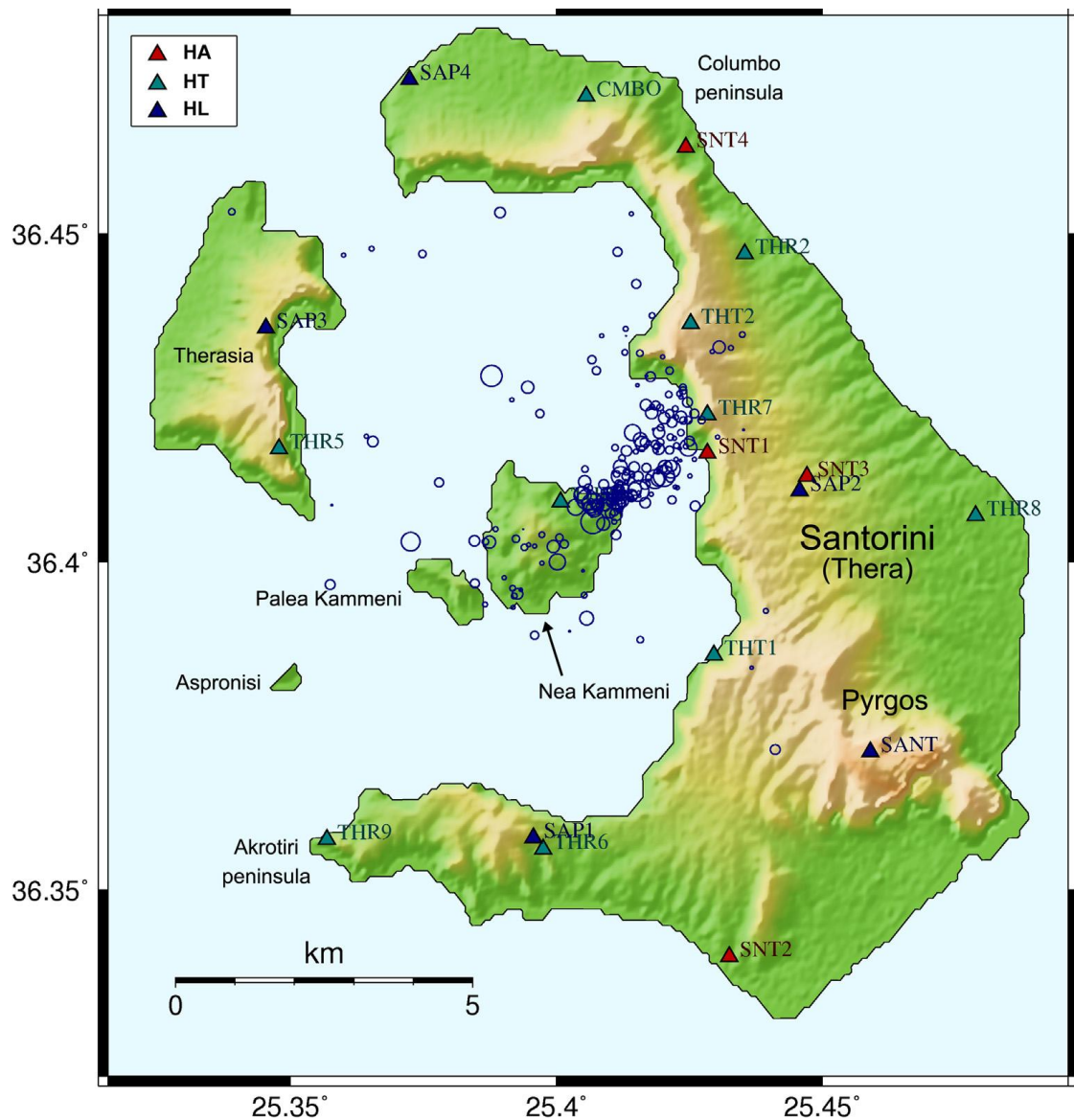
### 2.2.1. Σεισμική ανισοτροπία

Ανισοτροπία ορίζεται ως η μεταβολή μιας φυσικής παραμέτρου ενός ομογενούς μέσου, ανάλογα με την κατεύθυνση. Αλλαγές στις ελαστικές ιδιότητες του μέσου, σε σχέση με τους άξονες συμμετρίας μπορεί να οδηγήσουν σε ανισοτροπία στην ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων. Η σεισμική ανισοτροπία έχει μελετηθεί διεξοδικά σε διάφορες ηφαιστειακές περιοχές σε όλο τον κόσμο, δεδομένου ότι μπορεί να σχετίζεται με την ενεργοποίηση του μαγματικού θαλάμου. Οι παράμετροι διάσπασης των διατμητικών κυμάτων σε μια ηφαιστειακή περιοχή έχουν μεγάλη σημασία. Πιο συγκεκριμένα, αλλαγές στην διάσπαση διατμητικών κυμάτων, ενδεχομένως προκαλούνται από τη σταδιακή διόγκωση και συρρίκνωση των μαγματικών θαλάμων.

Από τότε που το ηφαίστειο επαναδραστηριοποιήθηκε σεισμικά για πρώτη φορά, μετά την έκρηξη του 1950, εξετάστηκαν οι αλλαγές στις φυσικές παραμέτρους του μέσου χρησιμοποιώντας διαφορετικές προσεγγίσεις στο να αξιολογήσουν την κατάσταση του ηφαιστείου. Μελέτες σεισμικής ανισοτροπίας που εκπονήθηκαν από το Ε.Κ.Π.Α. (Kaviris et al., 2014) έδειξαν την ύπαρξη ενός ανισοτροπικού ανώτερου φλοιού στην περιοχή του ηφαιστειακού συμπλέγματος, ενώ δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές χρονικές διαφοροποιήσεις στη διεύθυνση ανισοτροπίας.

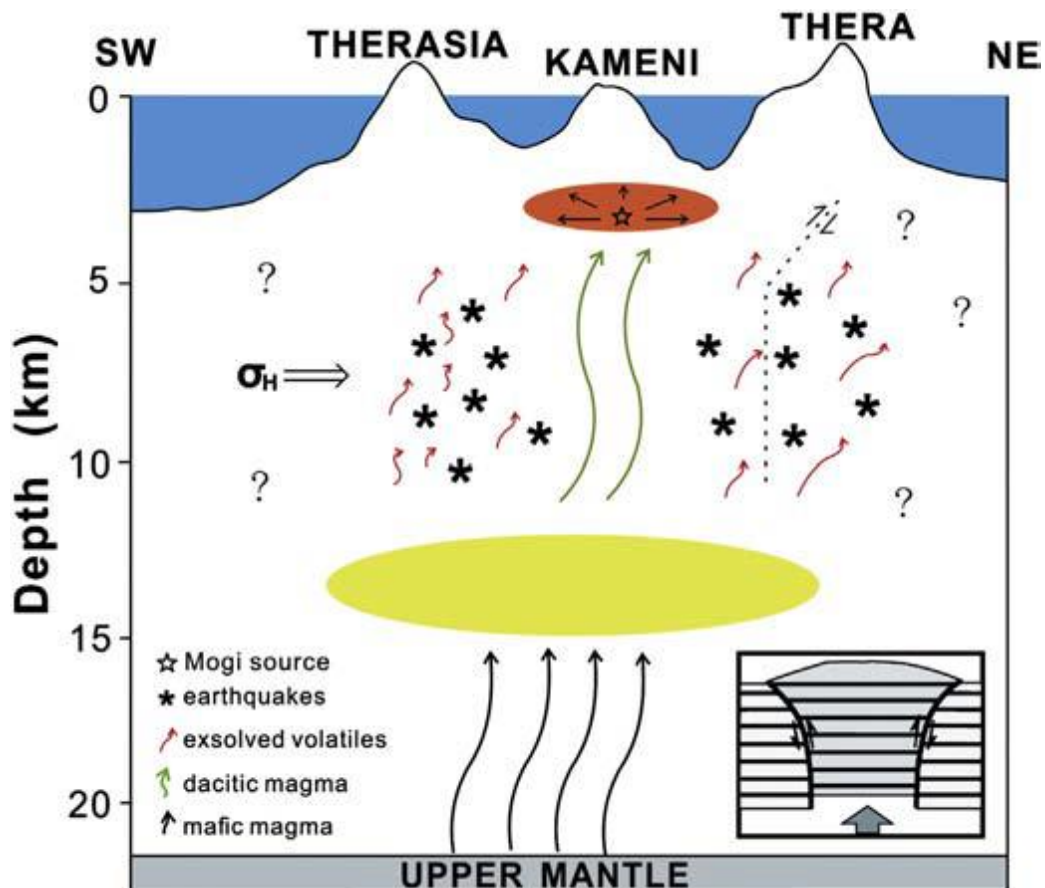
Η πλειοψηφία των καταγεγραμμένων συμβάντων ταξινομήθηκαν ως ηφαιστειο-τεκτονικοί μικροσεισμοί χρησιμοποιώντας φασματικές αναλύσεις. Παρ' όλα αυτά, παρατηρήθηκαν μερικές περιπτώσεις ξεσπασμάτων και χαμηλής συχνότητας γεγονότα, που μπορούν να συσχετιστούν με τη μαγματική δραστηριότητα όπως επίσης και με τις αλλαγές στις ιδιότητες του μάγματος και στις διαφορές της πίεσης στον αγωγό (Paradimitriou et al., 2014).

Η ανάλυση που έγινε σε τρεις σεισμολογικούς σταθμούς στη Σαντορίνη, έδειξαν την ύπαρξη ενός ανισότροπου ανώτερου φλοιού. Η ανισοτροπία σε ανώτερο φλοιό εξετάστηκε από τα κύματα διάτμησης τα οποία είναι ευαίσθητα σε χρονικές μεταβολές που προκαλούνται από αλλαγές στις φυσικές ιδιότητες του μέσου και από το πεδίο τάσεων της περιοχής που εξετάζεται. Η ομάδα του Ε.Κ.Π.Α. σε μελέτες ανισοτροπίας από 8 σεισμολογικούς σταθμούς έδειξε ότι σε κάποιους από αυτούς η διεύθυνση ανισοτροπίας ήταν κάθετη στο περιφερειακό πεδίο τάσεων ενώ σε άλλους, η διεύθυνση έδειχνε προς το μαγματικό θάλαμο. Οι χρονικές μεταβολές των μέσων διευθύνσεων ανισοτροπίας έδειξαν ότι δεν θα ακολουθήσει έκρηξη. Οι μέθοδοι που εφαρμόστηκαν, απέδειξαν ότι ενεργοποιήθηκε το ηφαίστειο, ενώ τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το ηφαίστειο δεν έφτασε σε κρίσιμο επίπεδο κατά τη διάρκεια της διέγερσης του 2011-2012. Σε κανένα σταθμό δεν είχε αλλάξει η διεύθυνση ανισοτροπίας, το οποίο σημαίνει ότι δεν θα κατέληγε η κρίση σε έκρηξη. Στην περίπτωση όμως που η διεύθυνση άλλαζε κατά 90° τότε θα ακολουθούσε έκρηξη όπως φάνηκε στη Σικελία (Καβύρης, προσωπική επικοινωνία).



Εικόνα 2.16 Χάρτης του Ηφαιστειακού Συγκροτήματος της Σαντορίνης αποτελούμενου από τη Σαντορίνη, Θηρασία και Απρονήσι με τα μικρότερα νησιά Παλαιά και Νέα Καμένη στο κέντρο (Papadimitriou et al., 2014).

Σημείωση. Με μπλε κύκλους είναι σημειωμένα τα επίκεντρα που αξιολογήθηκαν για τη μελέτη ανισοτροπίας. Τα τρίγωνα αντιπροσωπεύουν τους σεισμολογικούς σταθμούς που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη ανισοτροπίας



Εικόνα 2.17 Πιθανή διαμόρφωση του ηφαιστειακού συστήματος κάτω από την καλδέρα. (Konstantinou et al., 2013)

Σημείωση. Μαφικό μάγμα από τον ανώτερο μανδύα κινείται στη δεξαμενή βάθους 11-14 km και διαφοροποιείται σε δακτινικής σύστασης πριν κινηθεί σε πιο ρηχό ρυολιθικό θάλαμο. Η συσσώρευσή του εκεί προκαλεί ανύψωση και την επαναδραστηριοποίηση προϋπάρχοντος ρήγματος. Αέρια που παράγονται από χημικές αντιδράσεις με τα περιβάλλοντα πετρώματα μπορούν να γεμίσουν τις ανοιχτές ρωγμές που προκαλούνται από τους σεισμούς. Οι μαζικές διακυμάνσεις χρονικά μπορούν να εξηγήσουν τις περιόδους μείωσης και αύξησης λόγου  $V_p/V_s$

Οι σεισμολογικές παρατηρήσεις ( $V_p/V_s$  και ανισοτροπία διατμητικών κυμάτων) είναι συμβατές με τα πετρολογικά μοντέλα που προτείνουν την ύπαρξη μιας βαθιάς δακτινικής μαγματικής δεξαμενής (11-14 km) και μιας ενός πιο ρηχού ρυολιθικού θαλάμου (<5 km). (Konstantinou et al., 2013)

### 2.2.2. Φασματομετρία

Με τη φασματομετρία μπορούν να ανιχνευθούν ηφαιστειακά σήματα από τις τοπικές καταγραφές των σταθμών που είναι εγκατεστημένοι στη νησί και να διερευνηθούν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους. Μέχρι και το 2012, από τη φασματογραφική ανάλυση των σεισμών και του θορύβου παρατηρήθηκαν χαρακτηριστικές συχνότητες μικρότερες από 10 Hz, που θα μπορούσαν να συσχετιστούν με ηφαιστειακή δραστηριότητα. Περαιτέρω αναλύσεις θα διερευνούσαν



τη συχνοτική διακύμανση η οποία θα μπορούσε να οδηγήσει στην κατηγοριοποίηση του φαινομένου και μία ενδεχόμενη χρονική εξέλιξή του. (Λάγιος, 2012)

### **2.2.3. Σεισμικές Τομογραφίες**

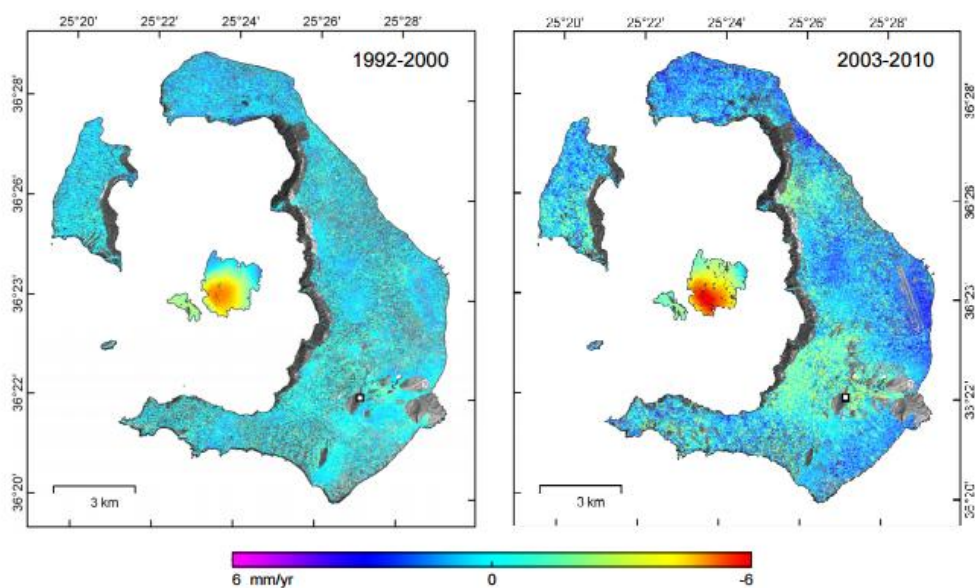
Πραγματοποιήθηκαν τρισδιάστατες σεισμικές τομογραφίες τοπικής κλίμακας οι οποίες ανέδειξαν τις γνωστές τεκτονικές δομές της ζώνης Καμένης και Columbo. Επίσης αναδεικνύεται ένας μαγματικός θάλαμος στο ΒΒΔ τμήμα της Νέας Καμένης, όπου υπολογίστηκαν αρνητικές ανωμαλίες για τα επιμήκη και για τα εγκάρσια κύματα, με ιδιαίτερα υψηλό λόγο απόλυτων ταχυτήτων αυτών  $V_p/V_s$ . Συγκεκριμένα, κάτω από τη Νέα Καμένη και σε βάθος 4-6 km, δεδομένου ότι η ανωμαλία βρίσκεται σε ηφαιστειακό περιβάλλον, ο μαγματικός θάλαμος θα πρέπει να εντοπίζεται εντός αυτής (Λάγιος, 2012)

Μελέτες τομογραφίας αποκάλυψαν μια περιοχή ανωμαλίας με χαμηλές  $V_s$  και υψηλή αναλογία  $V_p/V_s$  κάτω από την καλδέρα ΒΑ της Νέας Καμένης, μεταξύ 3-5 km βάθους. Αυτό το πρότυπο μπορεί να θεωρηθεί ως ο όγκος ενός μαγματικού θαλάμου που γέμισε εν μέρει με λιωμένο υλικό. (Paradimitriou et al., 2014)

Σύμφωνα με την Feuillet, η χρονική σύμπτωση στους σεισμούς του 2011 της Καλδέρας και του 2012 στα Χριστιανά, μπορεί να οφείλεται στη μαγματική διόγκωση. Η διόγκωση του 2011 αύξησε το πεδίο τάσεων Coulomb και σε άλλα γειτονικά ρήγματα αυξάνοντας και τη σεισμική επικινδυνότητα στην περιοχή. Το 1956, τα επίκεντρα των σεισμών εντοπίστηκαν σε περιοχή αυξημένων τάσεων. Εάν η ηφαιστειακή διέγερση του 1950 σχετίστηκε με διόγκωση μαγματικού θαλάμου κάτω από την καλδέρα, αυτό μπορεί να προώθησε το σεισμό του 1956 λίγα χρόνια μετά (Feuillet, 2013).

### **2.3. Εδαφικές Παραμορφώσεις**

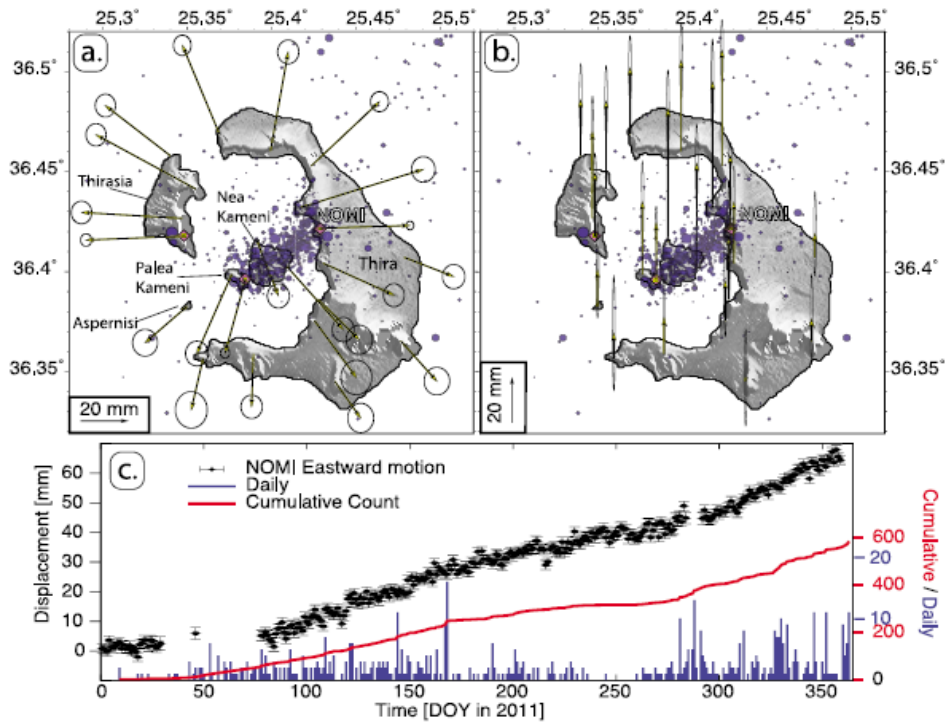
Στο χρονικό διάστημα από το 1994 μέχρι και το 2000, ανάλυση γεωδαιτικών δεδομένων έδειξε μικρής κλίμακας διόγκωση στο ΒΔ τμήμα της Θήρας, αύξηση έως και 10 cm κατά μήκος, και σταθεροποίηση ιδιαίτερα μετά το 2006. Το νότιο τμήμα της καλδέρας αντιθέτως, παρέμεινε πρακτικά σταθερό. Αυτή η μικρή διόγκωση προσδιορίστηκε ως μία αργή εισχώρηση μάγματος η οποία δεν σχετίζεται με αλλαγές στη σεισμικότητα. Η πηγή Mogi (Mogi, 1958) αυτής της μαγματικής δραστηριότητας εντοπίστηκε μεταξύ της Νέας Καμένης και της Θηρασίας, σε βάθος περίπου 1 km ή πιθανόν 5,5 km, παρέμεινε σταθερή καθ' όλη την περίοδο της μικρής κλίμακας διόγκωσης και συνδέθηκε με τις αλλαγές πίεσης μικρής κλίμακας επίσης. Οι αργές παραμορφώσεις έχουν παρατηρηθεί σε άλλα ηφαιστεια αλλά συνδέθηκαν με απότομες αλλαγές στη σεισμικότητα (Stiros et al., 2010).



Εικόνα 2.18 Κατακόρυφη εδαφική παραμόρφωση για τις περιόδους 1992-2000 και 2003-2010. Σημείο αναφοράς είναι το μικρό μαύρο τετράγωνο. (Parageorgiou et al., 2012)

Μέχρι τις αρχές του 2012, ένα δίκτυο από 19 ερευνητικούς σταθμούς και 5 σταθμούς συνεχούς καταγραφής GPS από τα Πανεπιστήμια της Πάτρας και του Georgia Tech, έδειξαν ότι μέχρι τις 21 Ιανουαρίου 2012, το ηφαιστειο είχε επεκταθεί πλευρικά από ένα σημείο μέσα στο βόρειο τμήμα της καλδέρας, περίπου 140 mm και επεκτάθηκε σε 180 mm/έτος. Τα δεδομένα των GPS από τη συνεργασία αυτών των πανεπιστημίων, δεν είχαν δείξει κίνηση στο εσωτερικό της καλδέρας κατά τα έτη 2006, 2008 και 2010. Μια σειρά από μοντέλα σφαιρικών πηγών έδειξαν ότι η πηγή δε μετανάστευσε σημαντικά, αλλά παρέμεινε σε βάθος περίπου 4 km και επεκτάθηκε κατά 14 εκατομμύρια  $m^3$  (Newman et al., 2012). Στις αρχές του 2011, οι περισσότεροι από τους σταθμούς έδειξαν να επεκτείνονται προς τα έξω από τη βόρεια καλδέρα, μεταξύ 5 mm και 32 mm (Newman et al., 2012). Για την παραμόρφωση, προτάθηκε το μοντέλο σφαιρικής πηγής Mogi (1958) λόγω της απλότητάς του (Newman et al., 2012) και στο οποίο η επιφανειακή παραμόρφωση που προκαλείται από την ηφαιστειακή πηγή σε βάθος  $d$  είναι συμμετρική. Η πηγή Mogi αντιπροσωπεύει το σφαιρικό μαγματικό θάλαμο στον οποίο η ακτίνα του είναι μικρή σε σχέση με το βάθος του (Parks et al., 2015).

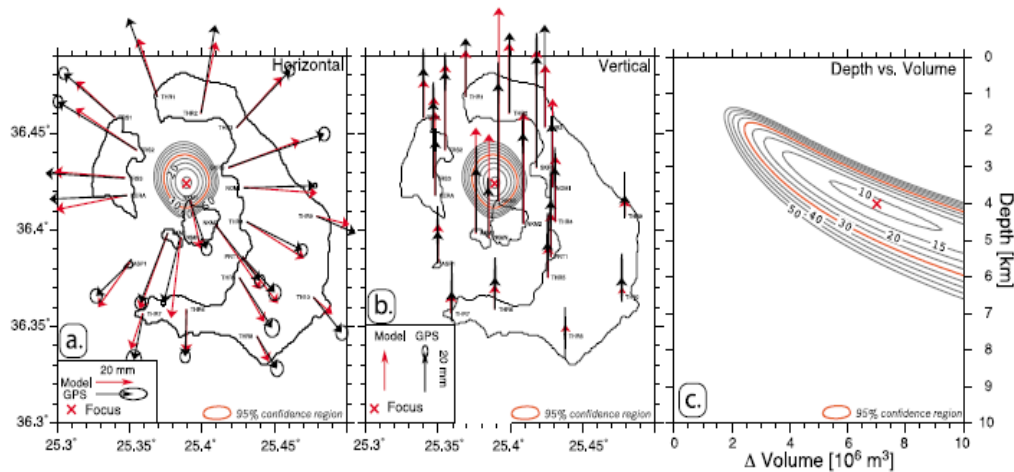
Οι όγκοι της διόγκωσης που υπολογίζονται από μοντέλα Mogi μπορεί να διαφέρουν από τους πραγματικούς όγκους των μαγμάτων που έχουν διεισδύσει λόγω των επιδράσεων της πολύπλοκης γεωμετρίας της πηγής πίεσης και τη συμπίεσσή του μάγματος. Ένας όγκος που σχετίζεται με μία συγκεκριμένη διόγκωση εξαρτάται από τις παραδοχές στο μέγεθος του θαλάμου, πίεσης και των ελαστικών ιδιοτήτων του φλοιού.



Εικόνα 2.19 α)οριζόντιες β)κατακόρυφες μετακινήσεις σε συνδυασμό με τη σεισμικότητα το 2011,  $M_L \leq 3.2$ , 19 μη μόνιμους σταθμούς και 3 σταθμούς αναφοράς GPS δείχνουν ακτινωτή μετατόπιση από το 2010 έως τον Αύγουστο του 2011 γ) χρονική εξέλιξη της σεισμικότητας με  $M_L \geq 1.0$  και GPS όπως καταγράφηκαν στο σταθμό NAMI (μετακινήσεις στην οριζόντια συνιστώσα A-Δ) (Newman et al., 2012).

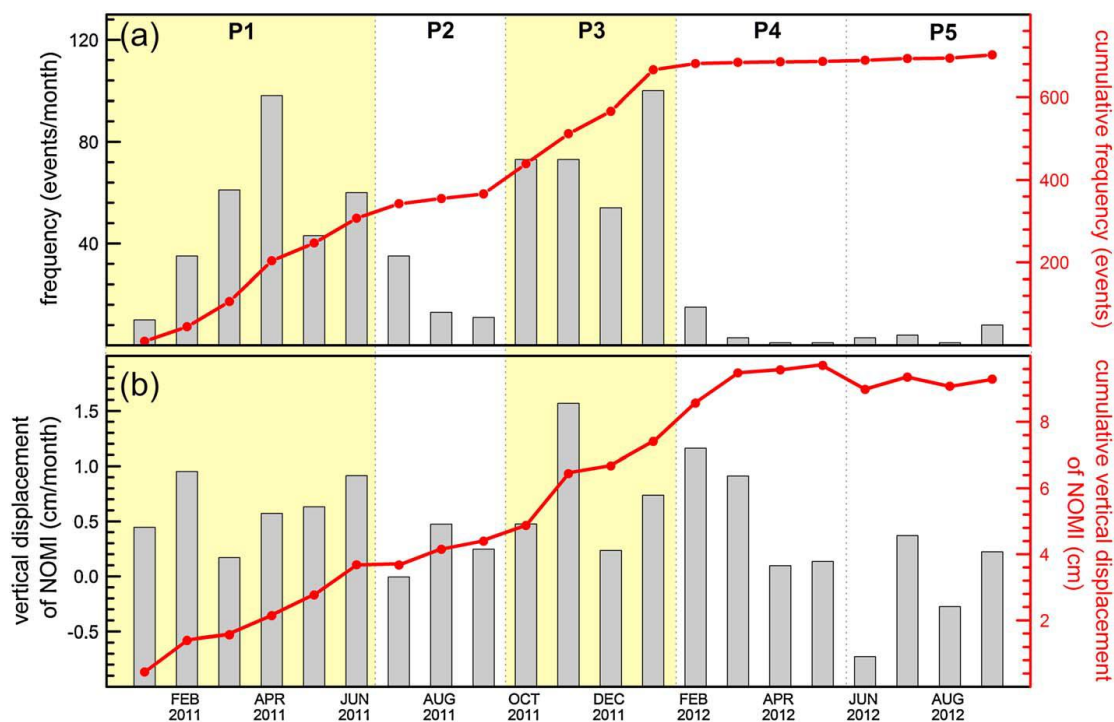
Σημείωση. Ο αθροιστικός αριθμός των σεισμών είναι παρόμοιος με την παραμόρφωση

Οι Parks et al (2015), με βάση καταγραφές 20 ετών από δεδομένα GPS και InSAR, αποκάλυψαν μία αργή καθίζηση στο νότιο τμήμα της Καμένης της τάξης των 6 mm/χρόνο από το 1993 έως το 2010, ενώ στη συνέχεια είχαμε τη διόγκωση της περιόδου 2011-2012. Η καθίζηση αποδόθηκε σε θερμική συστολή και επιφόρτιση του εδάφους που οφείλεται στις λάβες του 1866-1870. Οι 15 μήνες της διόγκωσης μοντελοποιήθηκαν ως ένας αριθμός παλμών (Saltogianni et al., 2014).



Εικόνα 2.20 α)Οριζόντιοβ)κατακόρυφο μοντέλο πρόβλεψης και λύση για σφαιρική πηγή η οποία περιγράφει το πεδίο παραμορφώσεων γ)βάθος πηγής (περίπου 4 km) συναρτήσεως του όγκου (Newman et al., 2012).

Σημείωση. Με μαύρο απεικονίζονται οι μετρήσεις και με κόκκινο χρώμα οι προβλέψεις του μοντέλου.



Εικόνα 2.21 α) πλήθος σεισμών ανά μήνα και αθροιστικά από τον Ιανουάριο 2011 έως το Σεπτέμβριο 2012  $M_L \geq 1.0$ . β) Μηνιαίες μέσες κατακόρυφες μετακινήσεις του σταθμού Nomi (Saltogianni et al., 2014)

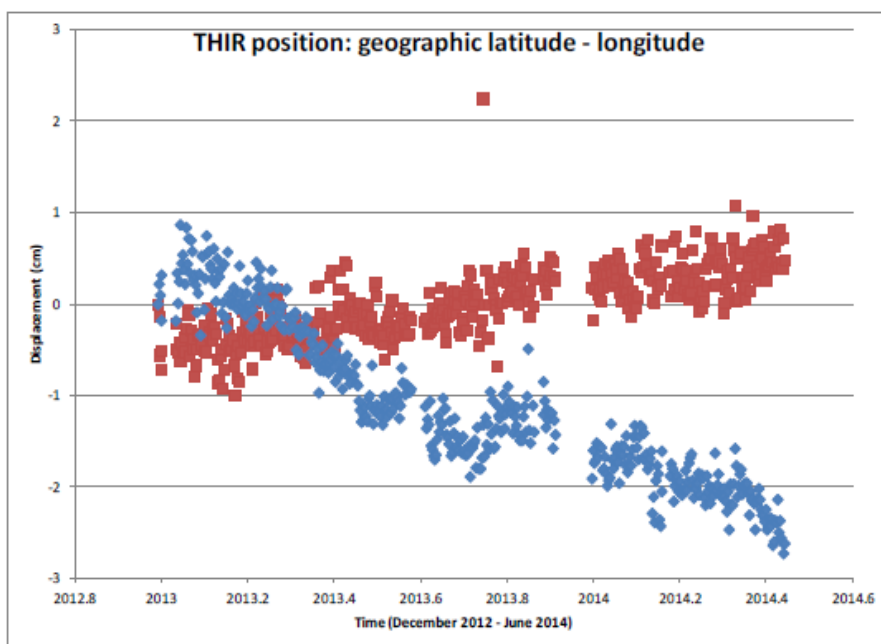
Σημείωση. Διακρίνεται η συσχέτιση μεταξύ σεισμικότητας και παραμόρφωσης όπου αναγνωρίστηκαν πέντε περιόδους με χαμηλή και έντονη σεισμική δραστηριότητα

Πίνακας 2.1. Μηνιαία σεισμικότητα  $M_L \geq 1.0$  και μετακινήσεις σε πέντε περιόδους (Parks et al., 2015)

Period	Date	Duration (Months)	Mean Earthquake Frequency (Events/Month)	Displacement (mm/Month)
P1	Jan-Jun 2011	6	64	6.1
P2	Jul-Sep 2011	3	27	2.4
P3	Oct 2011 to Jan 2012	4	126	7.5
P4	Feb-May 2012	4	17	5.7
P5	Jun-Sep 2012	3	3	-1.0

Μετά το Σεπτέμβριο του 2012 και μέχρι τον Ιούνιο του 2014, η σεισμικότητα στην καλδέρα και η καταγραφόμενη παραμόρφωση ήταν σχεδόν μηδενική, εκτός από μία μικρή σηματοσειρά το Μάιο του 2013 που πιθανόν σχετίζεται με μια παροδική κατακόρυφη μετατόπιση της τάξης των 5 mm σε αρκετούς σταθμούς GPS. Αυτό υποδεικνύει ότι δεν υπάρχει σημαντική συστολή που ακολούθησε την περίοδο του 2011-2012. (Saltogianni et al., 2014)

Το ΓΕ.ΙΝ. του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, τοποθέτησε το Δεκέμβριο του 2012, στα πλαίσια της χρηματοδότησης από την Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ., γεωδαιτικό σταθμό στον Πύργο Καλλίστης. Τα δεδομένα του σταθμού διατίθενται στους χρήστες σε μορφή compactrix από την ηλεκτρονική διεύθυνση <http://www.gein.noa.gr/services/GPSData/THIR/>. Ένας από τους γενικούς στόχους της λειτουργίας του σταθμού THIR ήταν η ενημέρωση με δεδομένα για τη Σαντορίνη από την πλατφόρμα: <http://eposwg4.grin.noa.gr/santorini/flexviewer/Rasor/> και την πύλη δεδομένων του EPOS <http://194.177.194.238:8080/noanetgsac>. Η ανάλυση των δεδομένων από το ΓΕ.ΙΝ. /Ε.Α.Α. γίνεται σε πραγματικό χρόνο και παρουσιάζονται στην ιστοσελίδα του ΓΕ.ΙΝ. για την έγκαιρη προειδοποίηση φυσικών καταστροφών. Στην έκθεσή του προς την Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ., ο κ. Γκανάς, τεκμηριώνει τη μετακίνηση του συγκεκριμένου σταθμού προς νότον/ανατολάς μεγέθους 3,5/2 cm αντίστοιχα, σε διάστημα 1,5 έτους με το παρακάτω γράφημα.

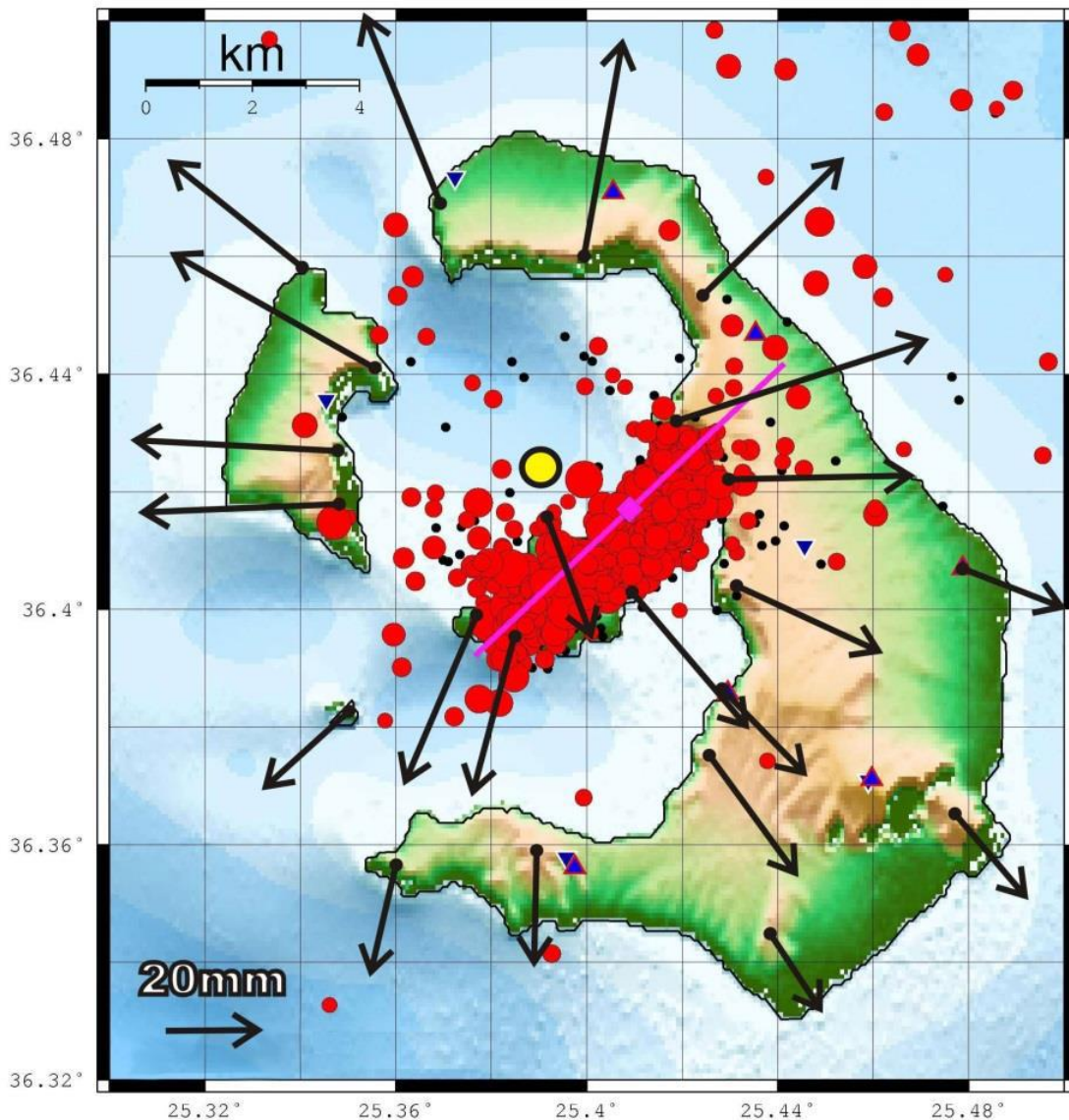


Εικόνα 2.22 Γράφημα της χρονοσειράς του σταθμού THIR (Γκανάς, 2014 )

Σημείωση. Κατά την οριζόντια συνιστώσα Βορράς-Νότος (γαλάζια χρώμα) και Ανατολή-Δύση (κόκκινο χρώμα), από το Δεκέμβριο 2012 ως τον Ιούνιο 2014. Διακρίνεται η μετακίνηση του σταθμού προς νότον 3,5 cm και ανατολικά κατά 2 cm αντίστοιχα, σε διάστημα 1,5 έτους

Η απότομη αναστροφή της τάσης στη συνιστώσα Β-Ν στη χρονική στιγμή 2013.8 μπορεί να οφείλεται σε κάποιο περιοδικό «σήμα» ή σε κάποια κίνηση του ηφαιστείου η οποία απαιτεί συγκρίσεις με χρονοσειρές άλλων GPS στο νησί (Γκανάς, 2014).





Εικόνα 2.23 Μετατοπίσεις GPS από 22 σημεία από το 2010 και μέχρι τέλη Αυγούστου 2011 και οι αντίστοιχοι σεισμοί ( $M_L > 1.0$ ) κατά μήκος της γραμμής Καμένης στην πρώτη φάση της αφύπνισης 2011-2012 (δεδομένα από Newman et al., 2012, Papazachos et al., 2012) (Vougioukalakis et al., 2016).

Σημείωση. Η προτεινόμενη θέση της πηγής Mogi σημειώνεται με κίτρινο κύκλο σε βάθος περίπου 4 km

Η αφύπνιση του ηφαιστείου κατά το 2011, μετά από 60 χρόνια, οφειλόταν στην ανοδική εισροή μάγματος που είχε ως αποτέλεσμα την ακτινωτή εδαφική παραμόρφωση και την ενδοκαλδερική σεισμικότητα που διήρκεσε έως τον Ιανουάριο του 2012 η οποία μειώθηκε στη συνέχεια. Όσον αφορά την περίοδο 2011-2012, η παραμόρφωση δεν ήταν γραμμική αλλά έντονα ακτινωτή στο βόρειο τμήμα της καλδέρας (50-120 mm/χρόνο). Στους περισσότερους σταθμούς GPS σημειώθηκε προοδευτική μείωση του ρυθμού παραμόρφωσης μετά τον Ιανουάριο του 2012 η οποία συνάδει με τη μείωση του ρυθμού της ενδοκαλδερικής σεισμικότητας. Τα χαρακτηριστικά των ρηγμάτων φαίνεται να έχουν καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη της

παραμόρφωσης, η οποία συνεχίστηκε μέχρι το τέλος του 2012, αλλά σε πολύ χαμηλό επίπεδο.

Η ακτινωτή παραμόρφωση συνεχίστηκε μέχρι το Φεβρουάριο του 2012, κατόπιν μειώθηκε και από τα τέλη Μαΐου έως τα τέλη του 2012 φαινόταν να έχει σταματήσει. Ομοίως και η σεισμικότητα. Μετά το Φεβρουάριο του 2012, η παραμόρφωση οριζόντιας συνιστώσας, σύμφωνα με δεδομένα GPS, έδειξε ότι σταμάτησε η παραμόρφωση. Αυτό υποδηλώνει ότι η ανοδική διεύθυνση του μάγματος από μία βαθύτερη δεξαμενή (Parks et al, 2012) που έγινε το 2011, μάλλον αποκαταστάθηκε. Μειώθηκαν επίσης και οι ασκούμενες πιέσεις μειώνοντας τις συνιστώσες παραμόρφωσης. Τα ρήγματα στον ανώτερο φλοιό παίζουν σημαντικό ρόλο στην οριζόντια διάταξη του μάγματος (dykes) η οποία θα μπορούσε να ελαττώσει την πίεση στο ρηχό μαγματικό θάλαμο (Lagios et al., 2013).

Η παραμόρφωση στο βόρειο κομμάτι της καλδέρας εξαιτίας του μάγματος δεν επηρέασε το ΝΑ τμήμα της Θήρας, όπου το αλπικό υπόβαθρο συμπεριφέρεται ως ένα ανθεκτικό όριο στο ακτινωτό πεδίο τάσεων.

### **2.3.1. Συμβολομετρία και δορυφορικές παρατηρήσεις**

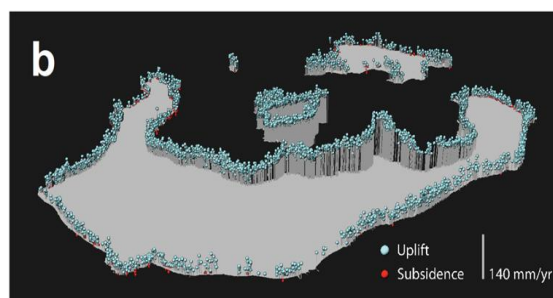
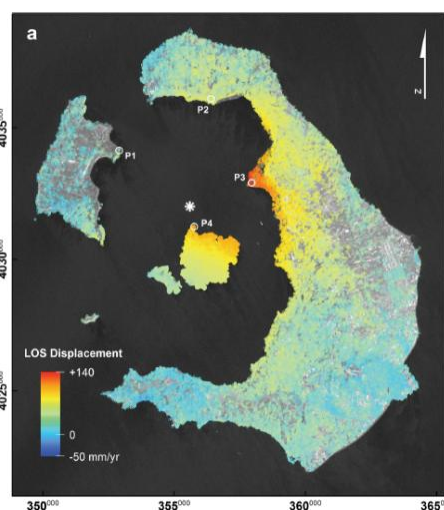
Οι γεωδαιτικές τεχνικές διαστήματος μπορούν να επεκτείνουν το χρόνο προειδοποίησης πριν από μία έκρηξη σε χρόνια έως δεκαετίες συμπληρώνοντας αυτό το κρίσιμο κενό ανάμεσα στην παραδοσιακή παρακολούθηση ενός ηφαιστείου με πρόδρομα φαινόμενα (ώρες έως μήνες της προειδοποίησης) και στις μακροπρόθεσμες εκτιμήσεις ηφαιστειακού κινδύνου, που βασίζονται στην ιστορία των εκρήξεων του συγκεκριμένου ηφαιστείου. Η διαστημική συμβολομετρία ραντάρ έχει ήδη δείξει την ικανότητα στην χαρτογράφηση παραμόρφωσης του εδάφους, όπως συν-σεισμική παραμόρφωση (π.χ. σεισμός Λευκάδας) (Ganas et al., 2016), καθώς και μακροπρόθεσμες κινήσεις, όπως είναι η εδαφική παραμόρφωση σε ηφαίστεια, κατολισθήσεις και καθιζήσεις. Οι γεωδαιτικές τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην αναγνώριση εδαφικής-επιφανειακής παραμόρφωσης που σχετίζεται με μαγματικές κινήσεις και/ή υδροθερμικά ρευστά κάτω από ηφαίστεια. Η συμβολομετρία έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να παρακολουθεί ευρύτερη κάλυψη και όχι σημειακή όπως οι τεχνικές με GPS και κλισιόμετρα. Τα αποτελέσματα συμβολομετρίας με εικόνες από ραντάρ ERS1, ERS2 και Envisat κατά το χρονικό διάστημα Ιουνίου 1993-Μαρτίου 2004 έδειξαν ότι, παρ' ότι το ηφαίστριο ήταν σε κατάσταση ηρεμίας, στα δύο ηφαιστειακά κέντρα της Παλαιάς και Νέας Καμένης, η εδαφική παραμόρφωση ήταν 62 mm κατά μήκος της γραμμής του δορυφόρου (Lagios et al., 2005).

Οι μετρήσεις που έγιναν με την τεχνική SqueeSAR και με DGPS κατά την περίοδο 1992-2010 έδειξαν ανύψωση της Παλαιάς Καμένης κατά 2mm/έτος με αυξανόμενο ρυθμό και υποβύθιση της Νέας Καμένης με ρυθμό μέχρι 6mm/έτος, επίσης με αυξανόμενο ρυθμό, μικρές ταχύτητες παραμόρφωσης και τιμές επιτάχυνσης που δεν υποδεικνύαν μαγματική δραστηριότητα. Το υπόλοιπο κομμάτι της καλδέρας έδειξε ένα πεδίο ταχύτητας από -1 έως +2mm/έτος υποδεικνύοντας μία μάλλον γραμμική παραμόρφωση. Για την ίδια περίοδο, εικόνες από τον δορυφόρο ENVISAT έδειξαν συστολή με ρυθμούς 5-6 mm το χρόνο σε συνδυασμό με έλλειψη

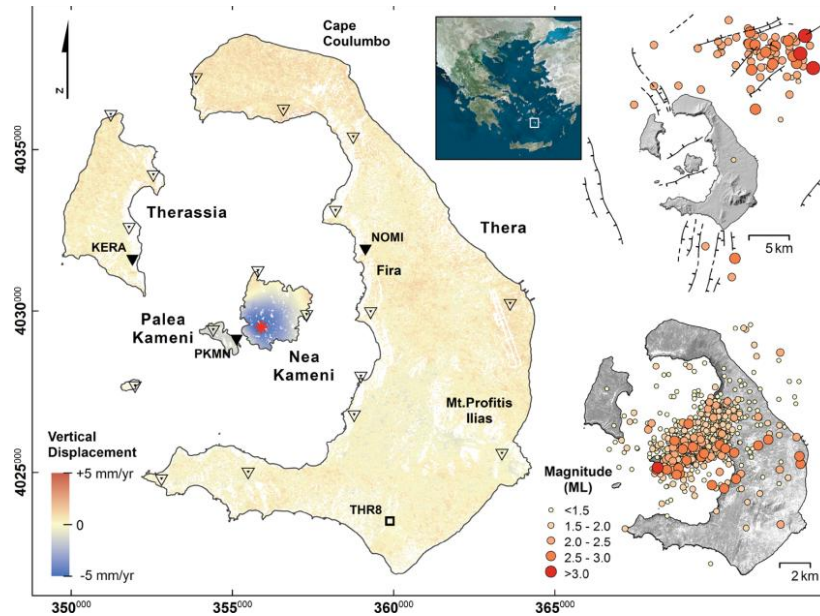


σεισμικότητας στην καλδέρα (Papageorgiou et al., 2012, Foumelis et al., 2013). Όμως το 2011, η αυξημένη σεισμική δραστηριότητα στην καλδέρα με μεγέθη έως  $M_L < 3,2$  μετακινούμενη από το Columbo στην Καμένη, έδειξε ότι το ηφαιστείο βρέθηκε σε κατάσταση αφύπνισης η οποία συνοδεύτηκε και από αξιόλογη εδαφική ανύψωση της τάξης των 14 cm μέσα σε ένα χρόνο (Μάρτιος 2011-Μάρτιος 2012) σύμφωνα με DInSAR και μετρήσεις GPS (Papageorgiou et al., 2012, Parks et al., 2012, Newman et al., 2012, Foumelis et al., 2013, Lagios et al., 2013, Papoutsis et al., 2013, Parks et al., 2015). Δεδομένα από ALOSPALSAR δείχνουν την έναρξη του φαινομένου στα μέσα του 2010 όπου μία σεισμική φάση αυξημένης υποβύθισης (1-3 cm) προηγήθηκε της ανύψωσης όταν επιβεβαιώθηκε σταδιακή μείωση στους ρυθμούς της διόγκωσης στο πρώτο τέταρτο του 2012, από μεταγενέστερες παρατηρήσεις RADARSAT-2 (Foumelis et al., 2013). Οι επιστημονικές ομάδες πρότειναν την ύπαρξη μίας ρηχής πηγής σε βάθος 3,8-4,5 km στην καλδέρα σε απόσταση 1 Km βόρεια της Νέας Καμένης (Newman et al., 2012, Parks et al., 2012, Foumelis et al., 2013).

Ο δορυφόρος Envisat στα 10 χρόνια λειτουργίας του, συνέλεξε δεδομένα για την παρακολούθηση της δραστηριότητας του ηφαιστείου της Σαντορίνης. Ο εν λόγω δορυφόρος ανίχνευσε τη μετακίνηση του μάγματος στο υπέδαφος από τον Ιανουάριο του 2011 η οποία προκάλεσε και την παραμόρφωση του εδάφους. Τα ραντάρ του δορυφόρου, από τα 800 km ύψος από την επιφάνεια του εδάφους, έστελναν εικόνες της περιοχής. Αυτές συνδυάζονταν και από τις μικρές διακυμάνσεις στο ανακλώμενο σήμα εκτιμήθηκε η παραμόρφωση. Η τεχνική αυτή της διαφορικής συμβολομετρίας δορυφορικών εικόνων-Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR)-με την οποία ασχολείται η ομάδα του κ. Παρχαρίδη από το Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, έδειξε την ανύψωση των 5 cm στο ΒΑ άκρο της Νέας Καμένης ενώ σε άλλα σημεία η ανύψωση ήταν 3-4 cm. Στους πρώτους μήνες του 2012, εκτός από τη μείωση της σεισμικής δραστηριότητας, παρατηρήθηκε και μείωση στην ταχύτητα παραμόρφωσης (E.S.A., 2012). Για την περίοδο του 2011, η ανύψωση ήταν 4,8 cm στη Νέα Καμένη, με την τεχνική DInSAR, γεγονός που επιβεβαιώθηκε και με τις μετρήσεις GPS (Papageorgiou et al., 2012)

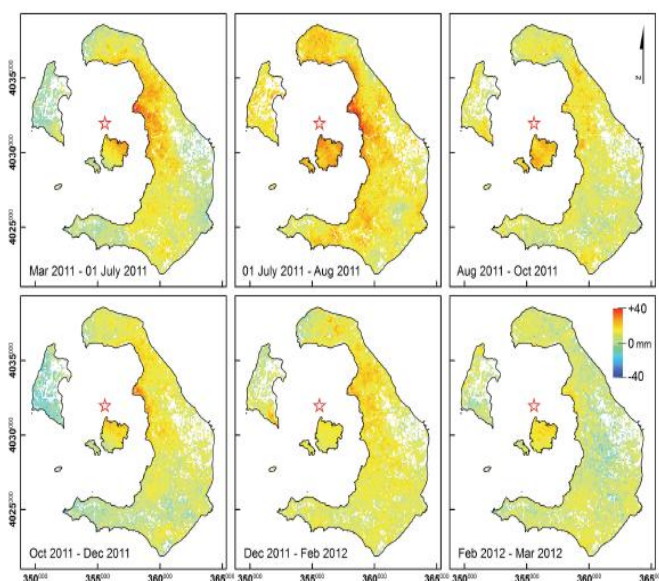


Εικόνα 2.24 α) Τιμές παραμόρφωσης PSILOS από δεδομένα ENVISATASAR, Μάρτιος 2011-Μάρτιος 2012, όπου φαίνεται η ακτινωτή παραμόρφωση που προκλήθηκε κατά την ηφαιστειακή αφύπνιση β) 3-D απεικόνιση κατά μήκος των ακτογραμμών (Foumelis et al., 2013)



Εικόνα 2.25 Τιμές κάθετης εδαφικής παραμόρφωσης για την περίοδο 1992-2010 (18 έτη), όπως υπολογίστηκαν με βάση ERS-ENVISATδεδομένα κατά την ανοδική και την καθοδική τροχιά (Foumelis et al., 2013)

Σημείωση. Τοπικό σημείο αναφοράς είναι το τετράγωνο (Thr8, κατά Newman et al., 2012). Το αστέρι είναι η πηγή Mogi. Τα τρίγωνα είναι οι γεωδαιτικοί σταθμοί GPS (Newman et al., 2012), συνεχούς καταγραφής (μαύρο) καμπάνιας (διαφανές). Η περιφερειακή σεισμικότητα της περιοχής από 2000-2010 (φάση ηρεμίας, Α.Π.Θ.) και τα κύρια συστήματα ρηγμάτων βρίσκονται επάνω δεξιά, ενώ η σύγχρονη σεισμική δραστηριότητα κατά την περίοδο αφύπνισης (Α.Π.Θ., Ιανουάριος 2011-Ιούνιος 2011 και NOA, Ιούλιος 2011- Μάρτιος 2012) δίνεται επίσης (κάτω δεξιά γωνία)



Εικόνα 2.26 Χωροχρονική εξέλιξη της εδαφικής μετατόπισης κατά τη φάση αφύπνισης με βάση PSI χρονοσειρών (Foumelis et al., 2013)

Σημείωση. Το αστέρι σηματοδοτεί την προβαλλόμενη στην επιφάνεια θέση της σημειακής πηγής παραμόρφωσης

Παρατηρήθηκε σταδιακή μείωση της ανύψωσης κατά το πρώτο τρίμηνο του 2012 η οποία επιβεβαιώθηκε μετά από παρατηρήσεις που έγιναν μεταγενέστερα (Bountzouklis et al., 2016).

Πίνακας 2.2. Γεωγραφικές συντεταγμένες και παράμετροι σημειακών πηγών εδαφικής παραμόρφωσης όπως προέκυψαν από μετρήσεις GPS και InSAR το διάστημα 2011-2012 (Από το συνδυασμό GPS/InSAR προκύπτει το βάθος 4,4 km για την πηγή Mogi και ο όγκος  $15,3 \times 10^6 \text{ m}^3$  του καινούριου μάγματος (Parks et al., 2015)

Table 1. Best Fitting Point Source Parameters Used to Model Ground Displacements Derived From InSAR and GPS Measurements During the Period of Unrest (2011–2012)<sup>a</sup>

Study	Longitude (°E)	Latitude (°N)	Depth (km)	Average Rate of Volume Change ( $\times 10^9 \text{ m}^3/\text{yr}$ )
GPS [Newman et al., 2012]	25.389–25.390	36.423–36.430	3.9–4.0	9.5–17.4
InSAR [Parks et al., 2012]	25.389	36.430	4.4	11.8
GPS [Papoutsis et al., 2013]	25.384	36.429	3.5	12.4
InSAR [Papoutsis et al., 2013]	25.403	36.426	6.3	24.2
InSAR [Foumelis et al., 2013]	25.389	36.429	4.3	9.4
GPS [Foumelis et al., 2013]	25.389	36.424	4.0	10.3
Joint InSAR-GPS [Foumelis et al., 2013]	25.389	36.425	3.8	9.2
InSAR [Lagios et al., 2013]	25.395	36.426	4.5	9.2
GPS [Lagios et al., 2013]	25.389	36.426	4.9	~10.4
Median	25.389	36.426	4.2	10.4
Interquartile range	0.001	0.004	0.6	2.8
InSAR (this study)	25.390	36.428	$4.2 \pm 1.3$ $1.4$	<sup>a</sup> (11.2 ± 0.6)
GPS (this study)	25.388	36.428	$4.4 \pm 0.5$ $0.6$	<sup>a</sup> 15.3 ± 3.0
Joint InSAR-GPS (this study)	25.388	36.428	$4.4 \pm 0.5$ $0.6$	<sup>a</sup> 15.3 ± 3.0

<sup>a</sup>The average rate is computed using the measurements up until 29 April 2012.

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, η πηγή διόγκωσης βρίσκεται κατά μέσο όρο σε γεωγραφικό μήκος 25.389°E, γεωγραφικό πλάτος 36.426°N, βάθος 4,2 km και μέσο όρο διόγκωσης  $10,4 \times 10^6 \text{m}^3/\text{yr}$ . Η εξαίρεση στην εργασία του Paroutsis et al., 2013, προέρχεται από τη χρήση δεδομένων από δορυφορική τροχιά του Envisat σε καθοδική τροχιά (Parks et al., 2015).

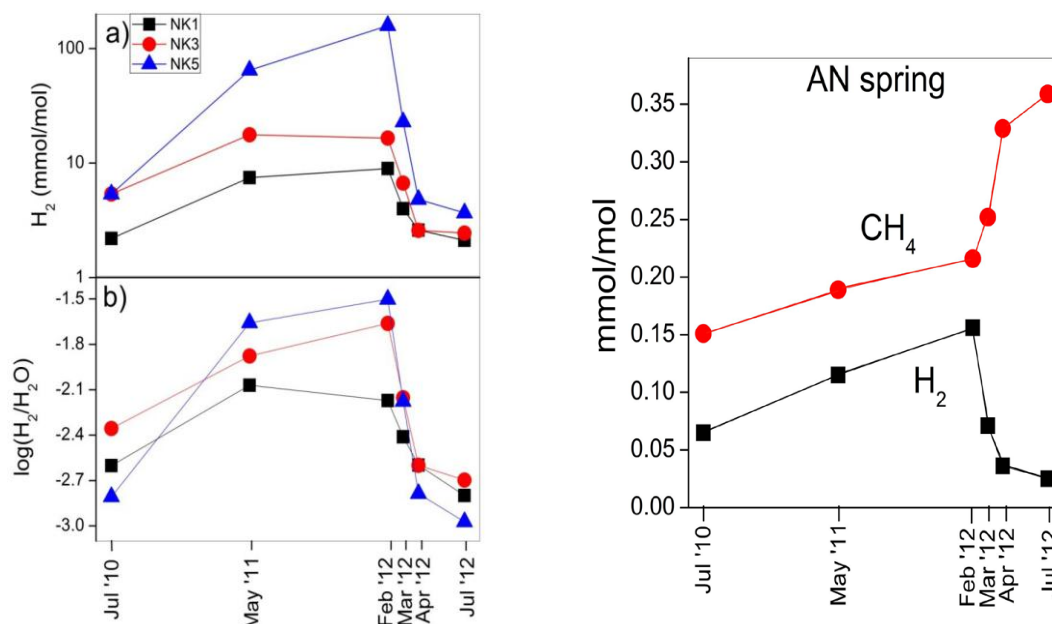
Η εξέλιξη του ρηχού μαγματικού θαλάμου κάτω από τη Σαντορίνη ρυθμίζεται από την απελευθέρωση μάγματος από μία βαθύτερη δεξαμενή μάγματος ή δεξαμενές. Πετρολογικές ενδείξεις από τα προϊόντα εκρήξεων στη Σαντορίνη δείχνουν ότι τέτοια δεξαμενή υπάρχει σε βάθος των 10-14 km (Parks et al., 2012).

Από το Σεπτέμβριο του 2014 έως τον Απρίλιο του 2016, από αναλύσεις χρονοσειράς συνεχούς καταγραφής GPS κατακόρυφης συνιστώσας, διαπιστώθηκε πτώση, στη Νέα Καμένη, έως 10 mm στην περίοδο 2014-2015, η οποία παρέμεινε σταθερή (Λάγιος, Ε.Κ.Π.Α., προσωπική επικοινωνία).

## 2.4. Γεωχημικά- Υδροθερμικά φαινόμενα

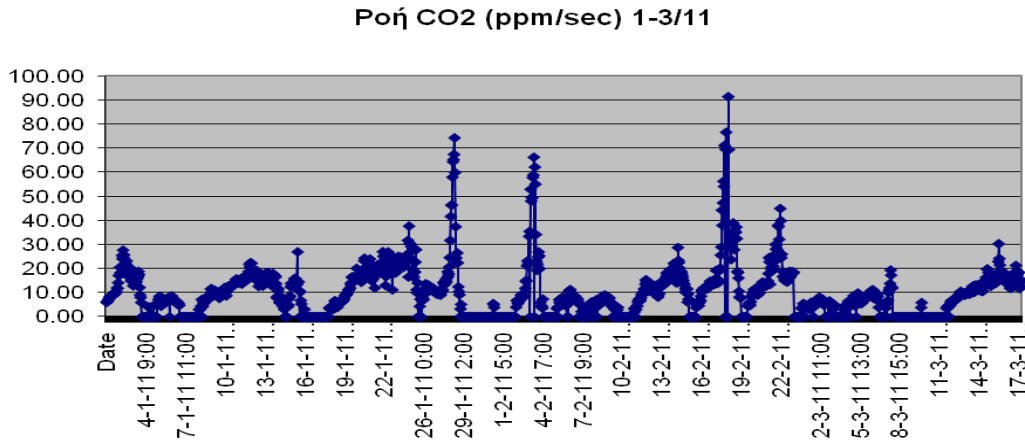
### 2.4.1. Χημική παρακολούθηση

Η χημική σύσταση των ατμίδων και των πηγών μεταβάλλονται δραματικά στην περίπτωση ενεργοποίησης ενός ηφαιστείου, μιας και οι αέριες φάσεις του μάγματος φτάνουν πιο γρήγορα στην επιφάνεια από το ίδιο το μάγμα και έτσι μεταβάλουν το χημισμό.

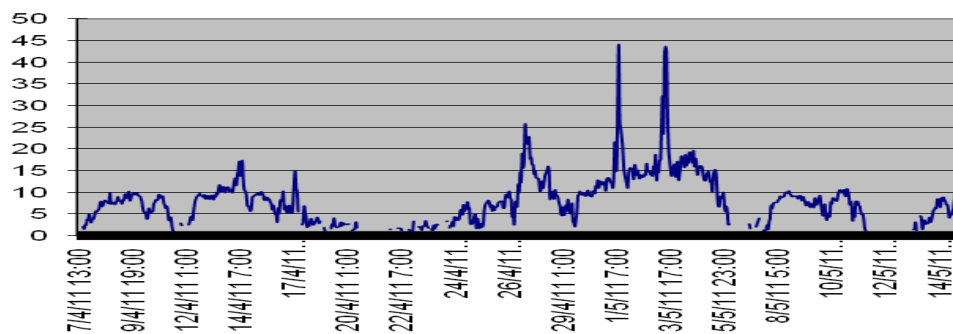


Εικόνα 2.27 Χημικές και ισοτοπικές αναλύσεις στα υγρά που απελευθερώθηκαν από τις φουμαρόλες και αέρια (Tassi et al., 2013)

Σημείωση. Αποτύπωση σημαντικής αύξησης των αερίων που προέρχονται από βάθος, π.χ.  $H_2$ ,  $HCl$ ,  $HF$ ,  $NH_3$ . Αυτή η χρονική εξέλιξη στη συγκέντρωση των αερίων από τις φουμαρόλες προηγήθηκε μιας σημαντικής αύξησης στην αναλογία  $CO_2/CH_4$  από τον Αύγουστο του 2010, αρκετούς μήνες πριν τη σεισμική κρίση

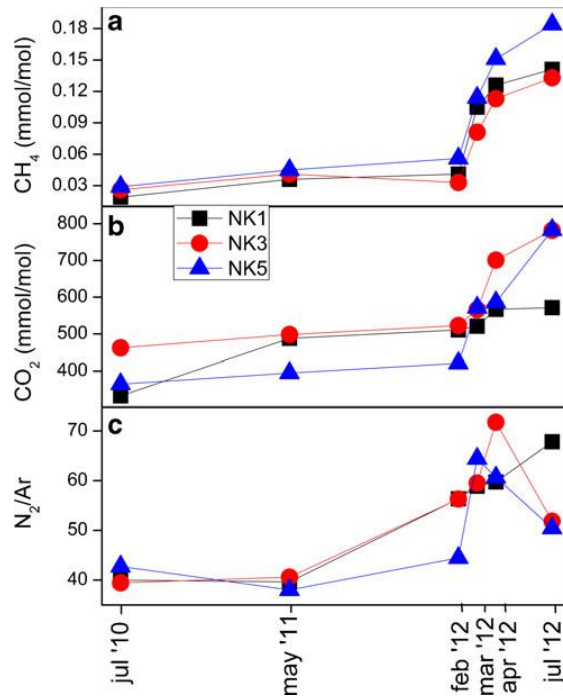


Εικόνα 2.28 Εκπομπές  $CO_2$  στο σταθμό της Καμένης για το διάστημα Ιανουάριος-Μάρτιος 2011 (Παπαζάχος, 2011)



Εικόνα 2.29 Εκπομπές  $CO_2$  στο σταθμό της Καμένης για το διάστημα Απρίλιος-Μάιος 2011 (Παπαζάχος, 2011)

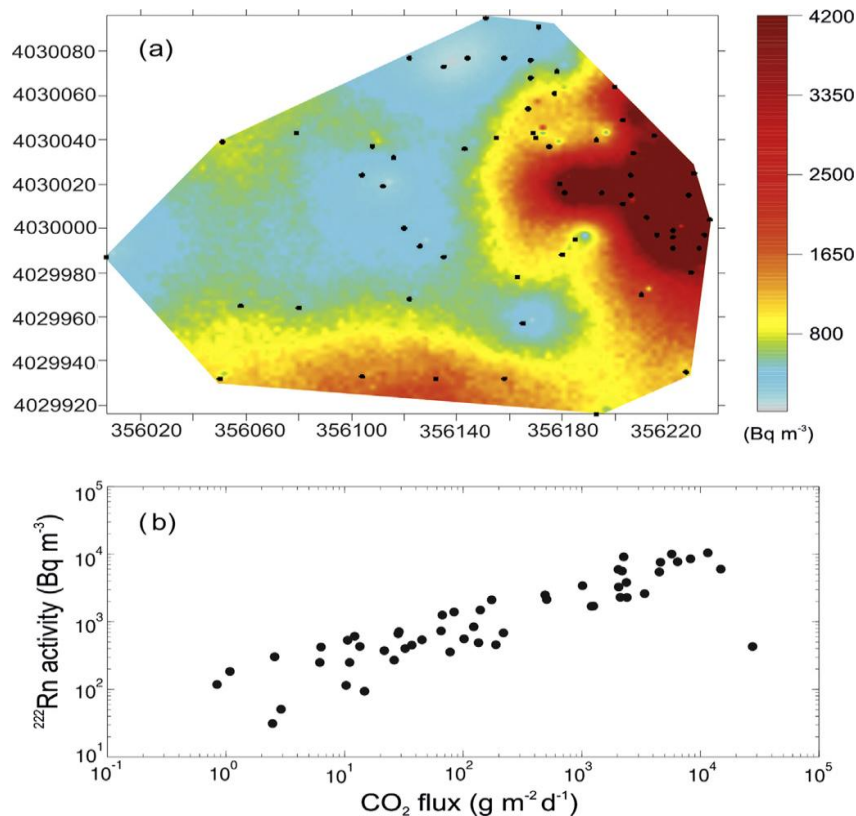
Οι εκπομπές  $CO_2$  παρουσιάζουν κάποιες εξάρσεις μετά τις 13/1/2011 με μέγιστες, μεγαλύτερες κατά 30% από τις συνήθεις μέσες (από 60-90 ppm/sec), τρία μέγιστα στις περιόδους, διαφοροποίηση που δεν εκτιμάται ως ανησυχητική. Στο τελευταίο μέγιστο εκπομπής  $CO_2$  ξεκίνησε η έντονη αύξηση της σεισμικής δράσης στις 22/2 με το σεισμό των  $M=2,9$  (Παπαζάχος, 2011)



Εικόνα 2.30 Χρονική εξέλιξη στις συγκεντρώσεις του a)CH<sub>4</sub>b)CO<sub>2</sub>c) N<sub>2</sub>/AR στις ατμίδες 3 σταθμών στη Νέα Καμένη (Tassi et al., 2013)

Κατά τη διάρκεια της διέγερσης, υπήρξαν μικρές αυξήσεις στις ροές του H<sub>2</sub> και του CO<sub>2</sub> προερχόμενου από τον μανδύα (Parks et al., 2013, Tassi et al., 2013). Συνδυάζοντας τις μετρήσεις του δ<sup>13</sup>C και <sup>222</sup>Rn (Parks et al., 2013) αυτές έδειξαν ότι το CO<sub>2</sub> που απελευθερώθηκε στη διάρκεια της διέγερσης ήταν ένα μίγμα από μαγματικό CO<sub>2</sub> προερχόμενο από βάθος και από CO<sub>2</sub> που απελευθερώθηκε από τη θερμο-μεταμορφική διάσπαση του ασβεστολίθου του υποβάθρου. Η χημική σύνθεση των ατμίδων στη Νέα Καμένη άλλαξε και αυτό αντικατοπτρίζει την αύξηση στη θερμοκρασία των υδροθερμικών ρευστών, εξαιτίας της αυξημένης προσφοράς μαγματικών αερίων σε βάθος (Tassi et al., 2013, Parks et al., 2013, Rizzo et al., 2015) Οι αλλαγές στον όγκο και στη σύσταση των αερίων μπορεί να οφείλονται εν μέρει στην τεκτονική λόγω της συσσωρευμένης τάσης στα ρήγματα της περιοχής (Feuillet, 2013) και την αύξηση της διαπερατότητας των πετρωμάτων και επομένως εκπομπές αερίων (Tassi et al., 2013). Το νέο μάγμα που εισχώρησε έχει προταθεί βάση της αναλογίας των ισοτόπων He.





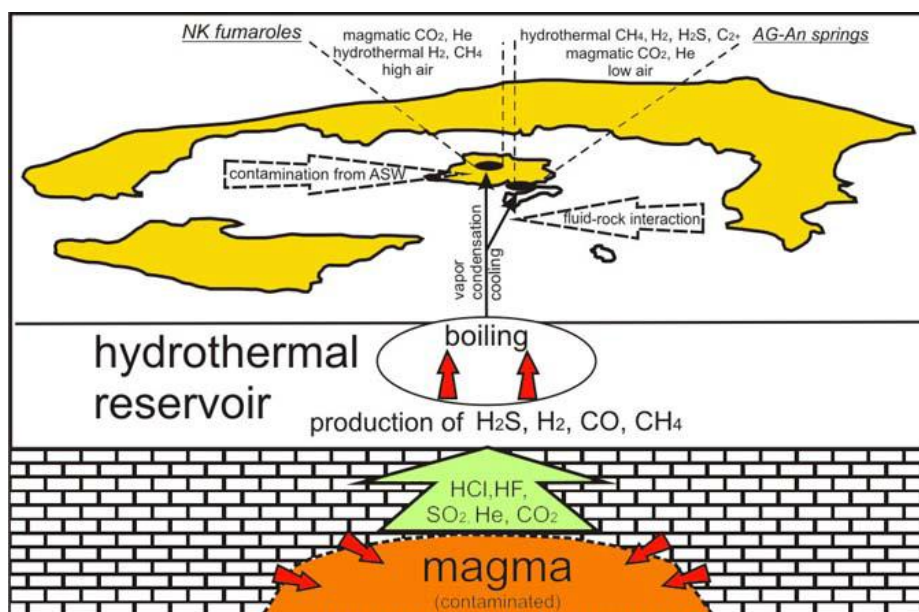
Εικόνα 2.31 α)Χάρτης της δραστηριότητας του  $^{222}\text{Rn}$  πάνω από το κέντρο της Νέας Καμένης το Σεπτέμβριο του 2011 β) δραστηριότητα  $^{222}\text{Rn}$  σε σχέση με τη ροή του  $\text{CO}_2$  (Parks et al., 2013)

Υπήρξαν αλλαγές στη σύσταση στις φουμαρόλες και ειδικότερα αύξηση στο  $\text{H}_2$  από το Μάιο του 2011 έως το Φεβρουάριο του 2012, ομοίως και στο  $\text{CH}_4$  από το Μάρτιο έως τον Ιούλιο του 2012. Το αέριο που απελευθερώθηκε από τις Καμένες είναι μαγματικής φύσης (υψηλός λόγος  $^{222}\text{Rn}/\text{CO}_2$ ) το οποίο αναμείχθηκε με συστατικά από απανθρακωμένο ασβεστόλιθο (Parks et al., 2013). Επίσης εκπομπές  $\text{CO}_2$  από το έδαφος αυξήθηκαν από το Σεπτέμβριο του 2010 έως τον Ιανουάριο του 2012. Τα αποτελέσματα ισοτοπικών αναλύσεων  $\delta^{13}\text{C}$  και  $^{222}\text{Rn}$  προέρχονται από μία κοινή βαθιά πηγή σημαντικής μαγματικής σύστασης. Αυτές οι προσωρινές μεταβολές στις ροές του  $\text{CO}_2$  συμφωνούν με τις ταυτόχρονες παραμορφώσεις και τη σεισμικότητα (Parks et al., 2013).

Σημαντικές αλλαγές στο χημισμό των αερίων από τις φουμαρόλες παρατηρήθηκαν ταυτόχρονα με την αύξηση της σεισμικότητας και των παραμορφώσεων (Parks et al., 2012, Newman et al., 2012) λόγω της έκχυσης νέου μάγματος από βαθιά. Αυτό το γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τη μεταφορά θερμότητας από βαθιά σε μια υδροθερμική δεξαμενή, θα μπορούσε να εξηγήσει και την αύξηση των συγκεντρώσεων των  $\text{H}_2$  και  $\text{CO}_2$  από το Μάιο του 2011 έως το Φεβρουάριο του 2012. Κάτι τέτοιο όμως θα μπορούσε να συμβεί και εάν η σεισμική δραστηριότητα είχε αυξήσει την περατότητα σε βάθος διευκολύνοντας την απελευθέρωση υγρών από βαθιά και θερμότητας, χωρίς να συνοδεύεται από κίνηση μάγματος. Μετά από αυτήν την περίοδο, η σεισμική δραστηριότητα και οι συγκεντρώσεις των αερίων που προέρχονται από βαθιά, μειώθηκαν σημαντικά σε



τιμές πριν την κρίση ( $H_2$ , ομοίως στις συγκεντρώσεις των  $F^-$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NH_4^+$  στις ατμίδες). Σε αντίθεση, υδρογονάνθρακες όπως το μεθάνιο που η παραγωγή τους σχετίζεται με αργές κινητικές διεργασίες, αυξήθηκαν από το Μάρτιο του 2012. Οι ορυκτές εναποθέσεις σφράγισαν τους αγωγούς στις ατμίδες γι αυτό αυξήθηκαν οι τάσεις στο  $CO_2$  και στην αναλογία  $N_2/Ar$  που παρατηρήθηκαν συγχρόνως με την αύξηση στους ελαφρείς υδρογονάνθρακες. Η εξέλιξη στις ατμίδες της Νέας Καμένης, μπορεί να εξηγηθεί από θερμό παλμό από βαθιά που σχετίζεται με τη σεισμική ενεργοποίηση του ΒΑ-ΝΔ τεκτονισμού της Καμένης και πιθανόν προκλήθηκε είτε με έκχυση νέου μάγματος κάτω από τη Νέα Καμένη, όπως προφανώς προτείνεται από τη σεισμικότητα και την παραμόρφωση ή από αυξημένη διαπερατότητα του ηφαιστειακού συστήματος που προκύπτει από τις τεκτονικές κινήσεις της περιοχής (Tassi et al., 2013)

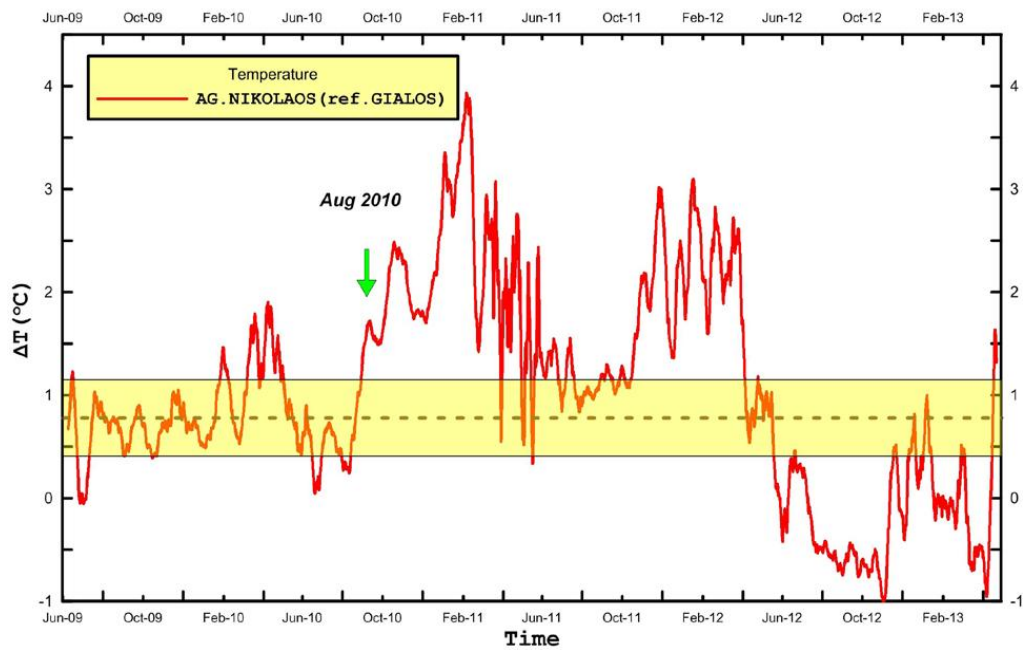


Εικόνα 2.32 Οι αλλαγές στη σύσταση μπορούν να ερμηνευτούν ως «θερμικοί παλμοί» που σχετίζονται με τη μεταφορά μάγματος σε πιο ρηχά βάθη. Δεν έχει ανιχνευτεί παραγωγή  $SO_2$  από τη Νέα Καμένη (Tassi et al., 2013)

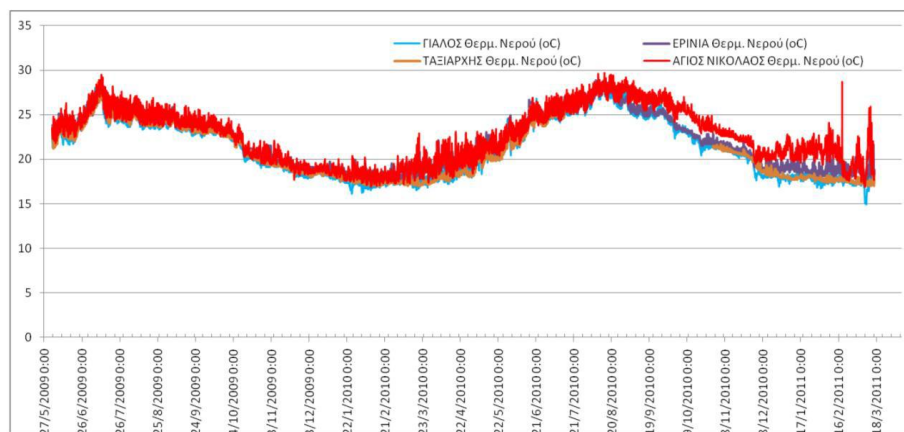
#### 2.4.2. Θερμικές Μεταβολές

Οι μεταβολές στη θερμική κατάσταση του χώρου είναι ένα από τα πρόδρομα φαινόμενα ηφαιστειακής δραστηριότητας όπου συνήθως παρατηρείται αύξηση θερμοκρασιών, θερμικής ροής και αλλαγές στο χημισμό και στην ισοτοπική σύσταση των θερμικών ρευστών (αερίων και υγρών) που εκλύονται στη γύρω περιοχή.

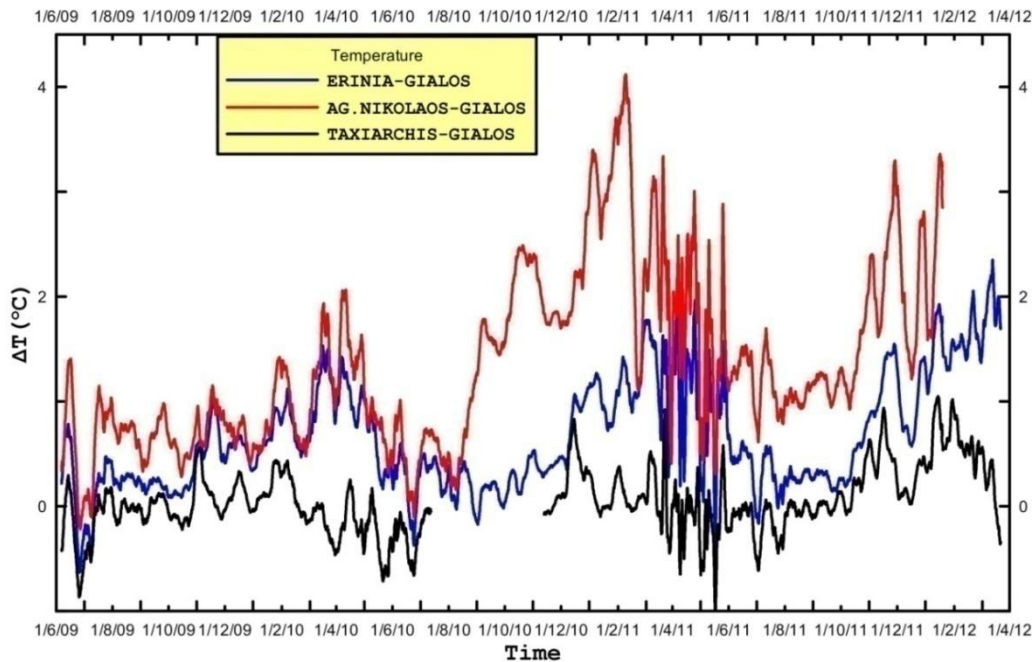
Από τον Ιανουάριο του 2011, τα δίκτυα του Ι.Μ.Π.Η.Σ. κατέγραψαν περιοδικές μεταβολές στη θερμοκρασία των θερμών ρευστών που προέρχονται από τις θερμές πηγές του όρμου του Αγ. Γεωργίου Νέας Καμένης και του όρμου του Αγ. Νικολάου Παλαιάς Καμένης. Αυτό ερμηνεύεται ως «παλμοί» αύξησης της τροφοδοσίας των θερμών ρευστών από τους βαθύτερους και θερμότερους ορίζοντες, λόγω της διέγερσης της περιοχής (Βουγιουκαλάκης, ΟΑΣΠ, 2012).



Εικόνα 2.33 Χρονικές μεταβολές στη μεταβολή της θερμοκρασίας νερού στο σταθμό του Αγίου Νικολάου (Parazachos et al., 2012)



Εικόνα 2.34 Χρονική μεταβολή στη θερμοκρασία νερού στους 4 σταθμούς του ΙΜΠΗΣ με έντονη μεταβολή στον Άγιο Νικόλαο μετά τις 1/2/2011 (Παπαζάχος, 2011).

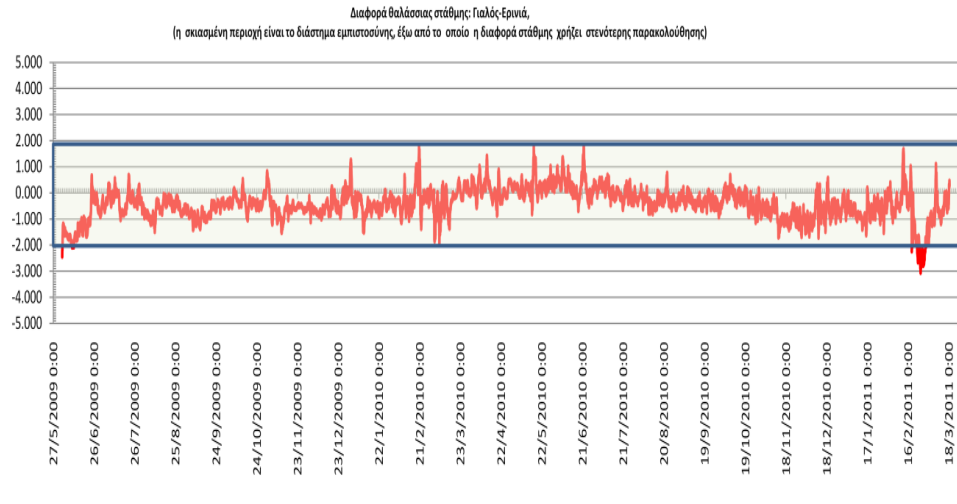


Εικόνα 2.35 Χρονική μεταβολή στη θερμοκρασία νερού στους 3 σταθμούς του Ι.Μ.Π.Η.Σ. από το 2009 έως το 2012 (Parazachos et al, 2012)

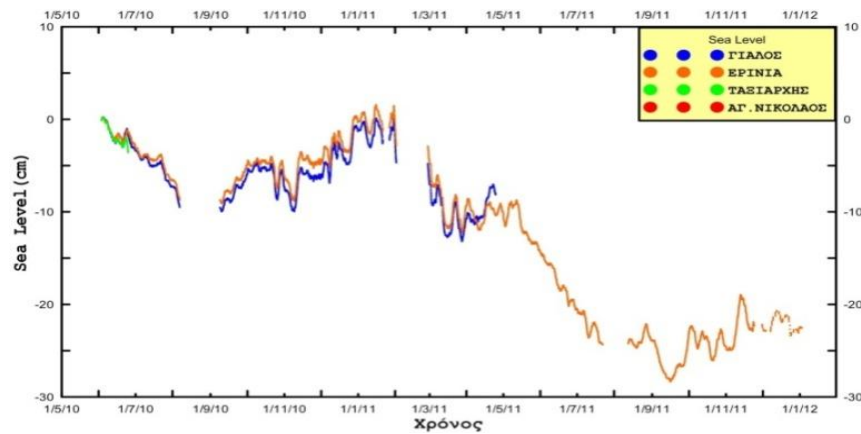
Από τον Οκτώβριο του 2010 άρχισε σιγά-σιγά μία μικρή διαφοροποίηση του σταθμού Αγ. Νικολάου στην Παλαιά Καμένη. Από τον Ιανουάριο του 2011 άρχισε να γίνεται πιο έντονη. Η διαφοροποίηση οφείλεται σε μία έντονη ταλάντωση της θερμοκρασίας με τα μέγιστα να είναι κατά πολύ θερμότερα των αναμενόμενων για την εποχή (Παπαζάχος, 2011). Ο ίδιος σταθμός παρουσιάζει έντονες μεταβολές μετά τις αρχές της σεισμικής ακολουθίας και κυρίως στο διάστημα Φεβρουάριος-Μάρτιος 2011, ενώ οι άλλοι σταθμοί στα βόρεια και ανατολικά της Νέας Καμένης και στο Γιαλό δε δείχνουν ανάλογα μεγάλες μεταβολές. Με βάση τη μεταβολή αυτή, πιθανολογείται η συσχέτισή της με την πιο επιφανειακή σεισμική δραστηριότητα ανάμεσα στην Παλαιά και Νέα Καμένη π.χ. λόγω τροφοδότησης παροδικών ρών θερμών υδροθερμικών ρευστών (Παπαζάχος, 2011).

#### 2.4.3. Μεταβολές στάθμης θάλασσας

Στο διάστημα Φεβρουάριος-Μάρτιος 2011 οι παλιρροιογράφοι δείχνουν έντονες μεταβολές στη στάθμη της θάλασσας, σημαντική πτώση της στάθμης του νερού (30-40 cm σε ένα μήνα). Αυτό όμως δεν μπορεί να αποδοθεί σε μία άνοδο της στάθμης της ξηράς αφού παρόμοιες ταπεινώσεις στη στάθμη παρατηρούνται και στους άλλους παλιρροιογράφους στο Ν. Αιγαίο. Αυτό είναι αποτέλεσμα γενικότερων μεταβολών, αφού η θαλάσσια στάθμη επηρεάζεται και από άλλες παραμέτρους. Η διαφορική στάθμη ανάμεσα στη Νέα Καμένη και στο Γιαλό δείχνουν έντονες διαφορικές μεταβολές για το ίδιο χρονικό διάστημα με τη σεισμική έξαρση. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ένα έντονο φαινόμενο μεταβολής κλίσης μεταξύ Νέας Καμένης και Θήρας, το οποίο είναι σε παράλληλη εξέλιξη με τη σεισμική δραστηριότητα, συμβατό με ενδεχόμενες διαφορικές μετακινήσεις της επιφάνειας λόγω μαγματικής διείδυσης και τεκτονικής δραστηριότητας (Παπαζάχος, 2011).



Εικόνα 2.36 Διαφορές στάθμης της θάλασσας ανάμεσα στις θέσεις Ερινιά (Νέα Καμένη) και Γιάλος (επίγειο Φηρών), από το Μάιο του 2009 έως το Μάρτιο του 2011, με μεταβολή μετά τις 20/2/2011 (Παπαζάχος, 2011)



Εικόνα 2.37 Χρονικές μεταβολές στη στάθμη της θάλασσας στους 4 σταθμούς (Papazachos et al., 2012)

## **Κεφάλαιο 3. Ο ρόλος της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ.**

### **3.1. Συγκρότηση επιτροπής**

Ο Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (Ο.Α.Σ.Π.) ιδρύθηκε το 1983 (Φ.Ε.Κ. 52/25-4-1983), μετά τους τρεις ισχυρούς σεισμούς που έπληξαν τη Θεσσαλονίκη (1978), το Βόλο (1980) και την Αθήνα (1981), με στόχο το σχεδιασμό και την υλοποίηση της αντισεισμικής σεισμικής πολιτικής της χώρας. Είναι Νομικό Πρόσωπο Δημοσίου Δικαίου και εποπτεύεται από το Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων.

Ο Ο.Α.Σ.Π., καθώς είναι ο αρμόδιος φορέας για το σχεδιασμό και την αποτελεσματική εφαρμογή της αντισεισμικής πολιτικής της χώρας, δραστηριοποιείται στους τομείς της Εκτίμησης Σεισμικής Επικινδυνότητας, Ενίσχυσης της Σεισμικής Ικανότητας των Κατασκευών, Σχεδιασμό Μέτρων Ετοιμότητας, Ενημέρωσης–Εκπαίδευσης του Πληθυσμού, Ενίσχυσης της Εφαρμοσμένης Έρευνας, Αντιμετώπισης Σεισμικών Συμβάντων και προσφάτως της Παρακολούθησης του Ηφαιστείου της Σαντορίνης.

Σκοπός του Ο.Α.Σ.Π. είναι η επεξεργασία και ο σχεδιασμός της αντισεισμικής πολιτικής της χώρας στο πλαίσιο των κυβερνητικών κατευθύνσεων, καθώς και ο συντονισμός των ενεργειών δημοσίου και ιδιωτικού δυναμικού για την εφαρμογή της πολιτικής αυτής. Μεταξύ των άλλων είναι υπεύθυνος για τη σύνταξη, σε συνεργασία με τους αρμόδιους φορείς, των αντισεισμικών κανονισμών των κατασκευών και την παροχή των στοιχείων που χρειάζονται για τον οικιστικό, πολεοδομικό, χωροταξικό και αντισεισμικό σχεδιασμό, για την εγκατάσταση στη χώρα δικτύου σεισμογράφων, επιταχυνσιογράφων ή άλλων επιστημονικών οργάνων, για τον καθορισμό, συντονισμό και την παρακολούθηση του έργου της πληροφόρησης και εκπαίδευσης του πληθυσμού σε θέματα σχετικά με το σεισμό.

Το έργο του Ο.Α.Σ.Π. συνδράμουν οι Μόνιμες Επιστημονικές Επιτροπές συμβουλευτικού χαρακτήρα, που έχουν στελεχωθεί από αναγνωρισμένους επιστήμονες και ειδικούς. Οι Επιτροπές αυτές συγκροτούνται μετά από απόφαση του Αναπληρωτή Υπουργού Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, κατόπιν σχετικής εισήγησης του Δ.Σ. του Οργανισμού. Ο Πρόεδρος της κάθε Επιτροπής (ή ο αναπληρωτής του) είναι ο σύνδεσμος της Επιτροπής με τον Ο.Α.Σ.Π. και έχει την ευθύνη της σύγκλησης, της εσωτερικής λειτουργίας και της διατύπωσης των προτάσεων της προς τον Ο.Α.Σ.Π.

Στα πλαίσια αυτά, και μετά την ανησυχία της τοπικής κοινωνίας της Σαντορίνης στη συνεχιζόμενη σεισμική δραστηριότητα του 2011, καθώς και για την ολοκληρωμένη παρακολούθηση της δραστηριότητας του ηφαιστείου της Σαντορίνης

συγκροτήθηκε με πρωτοβουλία του Ο.Α.Σ.Π. το Φεβρουάριο του 2012, η Ειδική Επιστημονική Επιτροπή Παρακολούθησης Ηφαιστείου Σαντορίνης (Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ.) με βάση την Δ16γ/55/8/66/Γ/3-2-2012 Απόφαση του Υφυπουργού Υποδομών Μεταφορών και Δικτύων (ΦΕΚ 102/8-3-2012). Η Επιτροπή είχε ως σκοπό:

α) τη διαρκή παρακολούθηση και αξιολόγηση των επιστημονικών δεδομένων που σχετίζονται με τη δραστηριότητα του ηφαιστείου της Σαντορίνης

β) την άμεση γνωμοδότηση και εισήγηση προς τον Ο.Α.Σ.Π. επί των ενδεικνυόμενων κατά περίπτωση μέτρων προστασίας και

γ) την εισήγηση προς τον Ο.Α.Σ.Π. επί των απαιτούμενων μέτρων και ενεργειών που σχετίζονται με την εξασφάλιση της επάρκειας της συνεχούς και απρόσκοπτης λειτουργίας του επιστημονικού εξοπλισμού και των οργάνων παρακολούθησης, προκειμένου να διασφαλίζεται η συλλογή των καταγραφών και στοιχείων που κρίνονται απαραίτητα για την παρακολούθηση της δραστηριότητας του ηφαιστείου.

Η σύνθεσή της ήταν η παρακάτω:

α)Βουγιουκαλάκης Γεώργιος, Δρ Ηφαιστειολόγος , Ι.Γ.Μ.Ε.

β)Λάγιος Ευάγγελος, Καθηγητής Ε.Κ.Π.Α.

γ)Λέκκας Ευθύμιος, Καθηγητής Ε.Κ.Π.Α., Αντιπρόεδρος Ο.Α.Σ.Π.

δ)Μακρόπουλος Κωνσταντίνος, Καθηγητής Ε.Κ.Π.Α., Διευθυντής Γ.Ι. - Ε.Α.Α..

ε)Παπαζάχος Κωνσταντίνος, Καθηγητής Α.Π.Θ.

στ)Παραδείσης Δημήτριος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ζ)Στυλιανίδης Κοσμάς, Καθηγητής Α.Π.Θ., Πρόεδρος Ο.Α.Σ.Π.

η)Συνολάκης Κωνσταντίνος, Καθηγητής Πανεπιστημίου Κρήτης, Πρόεδρος ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.

θ)Φυτίκας Μιχαήλ, Ομότιμος Καθηγητής Α.Π.Θ

ι)Αντωνάκος Ανδρέας, Δρ Γεωλόγος στη Γ.Γ.Π.Π.

ια)Γκανάς Αθανάσιος, Δρ Γεωλόγος, Κύριος Ερευνητής Γ.Ι.- Ε.Α.Α.

ιβ)Κυρατζή Αναστασία, Καθηγήτρια Α.Π.Θ.

ιγ)Κυριακόπουλος Κων/νος, Καθηγητής Ε.Κ.Π.Α.

ιδ)Λαλεχός Σπυρίδων, Δρ Γεωλόγος, Προϊστάμενος Τμ. Σεισμοτεκτονικής Ο.Α.Σ.Π.

ιε)Λεκίδης Βασίλειος, Δρ Πολιτικός Μηχανικός, Διευθυντής Ερευνών Ο.Α.Σ.Π.

ιστ)Μακρής Διονύσιος, Πολιτικός Μηχανικός, Γενικός Διευθυντής Συγκοινωνιακών Έργων

ιζ)Στείρος Ευστάθιος, Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών

ιη)Χουλιάρης Γεράσιμος, Δρ Σεισμολόγος, Κύριος Ερευνητής Γ.Ι. - Ε.Α.Α.

Τα μέλη (α) έως (θ) της ως άνω Επιτροπής συνιστούσαν την Εκτελεστική Γραμματεία της Επιτροπής, της οποίας το αντικείμενο ήταν η εξειδίκευση και ο σχεδιασμός της υλοποίησης των αποφάσεων της Επιτροπής και η παρακολούθηση της εφαρμογής τους. Ο Πρόεδρος, ή ο Αντιπρόεδρος, ανάλογα με τις ανάγκες συγκαλούσε την ολομέλεια ή την Εκτελεστική Γραμματεία, με θέματα που καθορίζονταν στην πρόσκλησή του και είχε την ευθύνη της εσωτερικής λειτουργίας της Επιτροπής και της Εκτελεστικής Γραμματείας της.

Πρόεδρος της Επιτροπής ορίστηκε ο Κ. Στυλιανίδης, καθηγητής Α.Π.Θ και τότε πρόεδρος του Ο.Α.Σ.Π με αναπληρωτή τον Ε. Λέκκα, καθηγητή Ε.Κ.Π.Α και τότε αντιπρόεδρο του Ο.Α.Σ.Π. Γραμματέας της Επιτροπής ορίστηκε η Β. Αβραμέα, Γεωλόγος MSc με αναπληρώτρια την κ. Μ. Μανουσάκη, Γεωλόγο. Η θητεία της ήταν διετής με δυνατότητα παράτασης ενός έτους, εφ' όσον δεν θα είχε εκδοθεί εν τω μεταξύ νέα απόφαση συγκρότησης. Για την εξυπηρέτηση του σκοπού της η Επιτροπή θα συγκαλείτο με φυσική παρουσία των μελών της είτε με τηλεδιάσκεψη. Η επιτροπή αποτελούσε εθνική επιτροπή προσωπικοτήτων και όχι εκπροσώπων φορέων.

Η Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ.. βρισκόταν σε συνεργασία και με άλλους ερευνητικούς φορείς εντός και εκτός Ελλάδας (Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Georgia Institute of Technology, Η.Π.Α., Oxford University, I.N.G.V. Ιταλία κ.λπ.). Οι φορείς αυτοί είχαν ήδη εγκαταστήσει δίκτυα παρακολούθησης της ηφαιστειακής δραστηριότητας (σεισμολογικά, γεωδαιτικά, φυσικοχημικά). Σημαντική βοήθεια στην πραγματοποίηση των δράσεων της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. προσέφερε το Γενικό Επιτελείο Εθνικής Άμυνας με την έκδοση αδειών αεροφωτογράφησης της Σαντορίνης από το βρετανικό Ινστιτούτο N.E.R.C. και με τη διάθεση του αεροναυαγοσωστικού ελικοπτέρου της αεροπορικής βάσης της Σαντορίνης για τη λήψη θερμικών απεικονίσεων της καλδέρας. Επιπλέον, ο Ο.Α.Σ.Π. εξασφάλισε το ποσό των 156.000 € για τη χρηματοδότηση των δράσεων της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. για το 2012 και για το 2013 από το Πρόγραμμα Δημοσίων Επενδύσεων του Υπουργείου Υποδομών, Μεταφορών & Δικτύων.

Η επιτροπή συνεδρίασε για πρώτη φορά την Παρασκευή 10 Φεβρουαρίου 2012. Όλες οι συνεδριάσεις πραγματοποιούνταν στις εγκαταστάσεις του Ο.Α.Σ.Π.



εκτός από την 3<sup>η</sup> συνεδρίαση η οποία έλαβε χώρα στη Σαντορίνη. Κατά τη διετή θητεία της Επιτροπής, έγιναν 10 συνεδριάσεις στις οποίες συζητήθηκαν όλες οι επιστημονικές εξελίξεις της σεισμικότητας και της ηφαιστειότητας της Σαντορίνης, η πορεία των οικονομικών θεμάτων (χρηματοδότηση, αγορά και συντήρηση οργάνων, μετακινήσεις), κρατήθηκαν λεπτομερή πρακτικά, διατυπώθηκαν γνώμες και ελήφθησαν πολύ σημαντικές αποφάσεις. Μερικές εξ αυτών ήταν η σύσταση 4 υποεπιτροπών, προς διευκόλυνση του έργου της επιτροπής, η συνεργασία συμβουλευτικού χαρακτήρα με ξένους επιστήμονες και φυσικά το τελικό πόρισμα που αφορούσε τα σενάρια επαναδραστηριοποίησης του ηφαιστείου και τα προτεινόμενα μέτρα προστασίας. Η Επιτροπή, ενημέρωνε με εμπιστευτικά σημειώματα την Πολιτική Ηγεσία της χώρας, τον Υπουργό του τότε Υπουργείου ΑΝ.ΑΝ.Υ.ΜΕ.ΔΙ., Υφυπουργό, το Γενικό Γραμματέα Δημοσίων Έργων και τον Γενικό Γραμματέα Πολιτικής Προστασίας για την εξέλιξη του φαινομένου και για τα τελικά σενάρια δραστηριοποίησης.

### **3.1.1. Υποεπιτροπές**

Ήδη από την πρώτη κιόλας συνεδρίαση φάνηκε η ανάγκη δημιουργίας κατηγοριοποίησης των παραμέτρων που αφορούσαν τη διέγερση του ηφαιστείου. Για το λόγο αυτό, αποφασίστηκε η δημιουργία 4 υποεπιτροπών, αποτελούμενες από τους επιστήμονες που δραστηριοποιούνται στο συγκεκριμένο τομέα, με τους αντίστοιχους συντονιστές τους και ορίστηκαν οι αρμοδιότητές τους. Έτσι λοιπόν συστάθηκαν οι παρακάτω υποεπιτροπές:

#### **1. Σεισμολογίας**

##### **Μέλη:**

Μακρόπουλος  
Κυρατζή  
Παπαζάχος  
Χουλιάρας

##### **Συντονιστής:**

Παπαζάχος

Η εν λόγω υποεπιτροπή ανέλαβε την καταγραφή και την ανάλυση της σεισμικής δραστηριότητας.

## **2. Παρακολούθησης Παραμορφώσεων**

<b>Μέλη:</b>	<b>Συντονιστής:</b>
Γκανάς	Στείρος
Λάγιος	
Παραδείσης	
Στείρος	
Συνολάκης	

Η υποεπιτροπή ανέλαβε την παρακολούθηση των εδαφικών παραμορφώσεων.

## **3. Παρακολούθησης Φυσικοχημικών Μεταβολών**

<b>Μέλη:</b>	<b>Συντονιστής:</b>
Βουγιουκαλάκης	Βουγιουκαλάκης
Γκανάς	
Κυριακόπουλος	
Λάγιος	
Συνολάκης	

Η υποεπιτροπή ανέλαβε την παρακολούθηση των θερμικών και γεωχημικών μεταβολών.

## **4. Πολιτικής Προστασίας**

<b>Μέλη:</b>	<b>Συντονιστής:</b>
Αντωνάκος	Μακρόπουλος
Βουγιουκαλάκης	
Λεκίδης	
Λέκκας	
Μακρής	
Μακρόπουλος	
Φυτίκας	

Η υποεπιτροπή θα συνέλεγε τις πληροφορίες από τις άλλες επιτροπές και ορίστηκε με διπλό ρόλο. Αφενός θα επεξεργαζόταν σενάρια ηφαιστειακού/σεισμικού κινδύνου και τα αντίστοιχα σενάρια αντιμετώπισης και αφετέρου θα αναλάμβανε και το έργο επικοινωνίας με το κοινό. Ένα άλλο σημαντικό αντικείμενο της τέταρτης υποεπιτροπής ήταν η τρωτότητα των κατασκευών από σεισμική και ηφαιστειακή δραστηριότητα.

Οι τρεις πρώτες ανέλαβαν τη συστηματική παρακολούθηση της συμπεριφοράς του ηφαιστείου ενώ η τέταρτη τη διαχείριση του ηφαιστειακού κινδύνου. Οι εργασίες των υποεπιτροπών θα γίνονταν παράλληλα ώστε να βελτιστοποιηθεί η λειτουργία της επιτροπής.

### **3.2. Συνεδριάσεις - Αποφάσεις**

#### **1<sup>η</sup> συνεδρίαση**. Γραφεία Ο.Α.Σ.Π., 10 Φεβρουαρίου 2012

Η πρώτη συνεδρίαση της επιτροπής χαρακτηρίστηκε από την παρουσία του Γενικού Δ/ντή του Ο.Α.Σ.Π. κ. Νικήτα Παπαδόπουλου και του κ. Χρήστου Αναγνώστου ως αντικαταστάτη του κ. Συνολάκη, εκ μέρους του ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. Έγινε η παρουσίαση των μελών της επιτροπής, η δράση που έχουν οι φορείς από όπου προέρχονται στη Σαντορίνη και η διαθεσιμότητα των επιστημονικών οργάνων των φορέων αυτών. Τονίστηκε ότι η αγορά του εξοπλισμού θα ανήκε και θα επέστρεφε στον Ο.Α.Σ.Π..

Ο πρόεδρος της επιτροπής κ. Στυλιανίδης ανέπτυξε λεπτομερώς το πλαίσιο λειτουργίας της Επιτροπής, την έναρξη της διαδικασίας χρηματοδότησης από το ΥΠ.Υ.ΜΕ.ΔΙ., μέσω του Υπουργείου Ανάπτυξης και διάνειμε τρία έγγραφα, του κ. Γεράσιμου Παπαδόπουλου από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, του κ. Μητρόπουλου Παναγιώτη από το Ι.Γ.Μ.Ε. και του κ. Philip England από το Oxford University που όλα αφορούσαν στοιχεία για τη σεισμικότητα της Σαντορίνης και προτάσεις για την παρακολούθηση του ηφαιστείου.

Τέθηκαν τα πρώτα ερωτήματα που αφορούσαν τα συστήματα προειδοποίησης ηφαιστειακού κινδύνου και την προσαρμογή τους στην Ελλάδα, του υπεύθυνου οργάνου εκ μέρους της πολιτείας για την ενημέρωση του κοινού καθώς και θέματα νομικής κάλυψης. Υπεύθυνο όργανο είναι η Γ.Γ.Π.Π και το Κ.Σ.Ο.Π.Π. ενώ ο κ. Βουγιουκαλάκης ανέλαβε να συντάξει ενημερωτικό κείμενο που θα αφορά στα συστήματα προειδοποίησης.

Αποφασίστηκε η σύσταση 4 υποεπιτροπών με τους συντονιστές τους ώστε να λειτουργήσει πιο αποτελεσματικά η Επιτροπή και η σύνταξη εγγράφου για συνεργασία προς ξένους επιστήμονες οι οποίοι έχουν διεθνή εμπειρία στον ηφαιστειακό κίνδυνο. Αναφέρθηκε η συνάντηση εργασίας του MeMoVolc στη Σαντορίνη και η ευκαιρία της Επιτροπής να έρθει σε επαφή με τους ξένους επιστήμονες.

#### **2<sup>η</sup> συνεδρίαση**. Γραφεία Ο.Α.Σ.Π., 23 Φεβρουαρίου 2012

Παρών ήταν ο κ. Ζήσης, σύμβουλος του Υφυπουργού ΥΠ.Υ.ΜΕ.ΔΙ. κ. Βορίδη προκειμένου να τον ενημερώσει για το έργο της Επιτροπής και να υποστηρίξει τα οικονομικά θέματά της. Ο Πρόεδρος γνωστοποίησε την υπό όρους και υπό προϋποθέσεις παραίτηση του κ. Συνολάκη και την αντικατάστασή του από τους κ. Αναγνώστου και Σακελλαρίου κατά την κρίση του Υπουργού. Αποφασίστηκε από την επιτροπή να παραμείνει ο κ. Αναγνώστου και να μεταφέρει τη γνώμη και την τεχνογνωσία του.

Απεστάλη το έγγραφο προς τους 30 διακεκριμένους ξένους επιστήμονες, απάντησαν έως τότε 13, αποδεχόμενοι χωρίς όρους και προϋποθέσεις και θεώρησαν τιμητική αυτήν την πρόταση να υποστηρίξουν το έργο της Επιτροπής.

Στο θέμα της χρηματοδότησης, θα έπρεπε να συνεδριάσουν πρώτα οι υποεπιτροπές ώστε να προτείνουν τις οικονομικές τους ανάγκες και κατόπιν να κατατεθεί τεχνικό δελτίο για την υποβολή προτάσεων για το Πρόγραμμα Δημοσίων Επενδύσεων.

Με αφορμή την υποβολή της πρότασης από το ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. για τη μελέτη του υποθαλάσσιου χώρου μέσα στην καλδέρα, ο Πρόεδρος παρέπεμψε το θέμα στην ανάλογη υποεπιτροπή και τόνισε τη δέσμευση των μελών της Επιτροπής ότι με την αποδοχή της συμμετοχής τους αποδέχονται πως τα αποτελέσματα της έρευνας θα είναι διαθέσιμα στην Επιτροπή.

Ο Πρόεδρος διευκρίνισε ότι οι 4 συντονιστές θα τον ενημερώνουν γραπτώς ανά υποεπιτροπή για την τρέχουσα κατάσταση του ηφαιστείου, ανά συνεδρίαση, ώστε να μπορεί να πληροφορεί σχετικά την Πολιτική Ηγεσία. Θα αναγράφεται και ένα συνολικό συμπέρασμα και υπεύθυνοι ορίστηκαν οι κ. Μακρόπουλος και Παπαζάχος. Η μέχρι εκείνη τη στιγμή κατάσταση του ηφαιστείου ήταν η σεισμική ηρεμία αλλά και η συνέχιση της δραστηριότητας στις παραμορφώσεις και στα γεωχημικά.

Οριστικοποιήθηκε η συνάντηση για το workshop MeMoVolc στη Σαντορίνη με τις ημερομηνίες και τη διαθεσιμότητα των μελών. Για το θέμα της τρωτότητας των κατασκευών στο πλαίσιο της ανάλυσης κινδύνου ορίστηκε ως υπεύθυνος ο κ. Λεκίδης λόγω εμπειρίας του με το Ε.Π.ΑΝΤ.Υ.Κ. που ασχολείται με υπόβαθρα στις πόλεις.

Οι υποεπιτροπές έπρεπε να απαντήσουν στο θέμα της καταγραφής του εγκατεστημένου εξοπλισμού, της αξιολόγησης της κατάστασης του υφιστάμενου εξοπλισμού από άποψη ετοιμότητας, προτάσεις βελτίωσης, αναμόρφωσης, υποστήριξης και να δώσουν προτάσεις για νέο εξοπλισμό, κοστολογημένου εάν ήταν δυνατόν. Επίσης θα παρήγαγαν ένα κείμενο για το τεχνικό δελτίο με προϋπολογισμό του ύψους άνω των 300.000 ευρώ με σαφείς τις προτεραιότητες.

Σημαντικό ήταν το θέμα του ποιος διαχειρίζεται την κρίση. Επί αυτού ο κ. Αντωνάκος αναφέρει ότι σε πρώτη φάση η Γ.Γ.Π.Π. θα αιτηθεί στην Επιτροπή δεδομένα απαραίτητα στο σχεδιασμό. Κατόπιν θα προχωρούσε στην εξειδίκευση του σχεδίου Ξενοκράτης λόγω ηφαιστειακής δραστηριότητας και μετά επί πλέον εξειδίκευση για τη Σαντορίνη, Σε αυτό το σχέδιο θα περιγράφονταν οι ρόλοι και οι αρμοδιότητες για όλους τους εμπλεκόμενους.

Η υποεπιτροπή σεισμολογίας είχε ήδη μία αναλυτική περιγραφή του εξοπλισμού και των ελλείψεων και σε ότι αφορούσε τον εξοπλισμό και το προσωπικό, οι φορείς δεσμεύονταν να εξαντλήσουν τις χρηματοδοτήσεις τους και τους περιορισμένους πρόσθετους πόρους που είχαν ήδη, πριν την όποια νέα χρηματοδότηση.

Σε συνεργασία με το ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε. θα διευκρινιζόταν μελλοντικά αν υπήρχε δυνατότητα παρακολούθησης σεισμικότητας με τη χρήση Ο.Β.Σ. σε πραγματικό χρόνο.

Η συντονιστής της υποεπιτροπής παρακολούθησης παραμορφώσεων κ. Στείρος ανέφερε αναλυτικά τον εξοπλισμό των GPS και πρότεινε να υπάρξουν επιπλέον σταθμοί, αναβαθμίσεις, αναλώσιμα, καλύτερες συνδέσεις, σύνδεση με παλιρροιογράφους και εξασφάλιση δυνατότητας κυκλοφορίας δεδομένων και πληροφόρησης ανά πάσα στιγμή.

Η υποεπιτροπή φυσικοχημικών μεταβολών ανέφερε ότι χρειαζόνταν άμεσες παρεμβάσεις στο κομμάτι της θερμικής παρακολούθησης οι οποίες όμως θα καλύπτονταν σύντομα με τη βοήθεια των ξένων συναδέλφων χωρίς κόστος. Τα δεδομένα θα λαμβάνονταν από τους Έλληνες επιστήμονες και θα αξιολογούνταν με τους ξένους. Στο χημικό κομμάτι τα πράγματα ήταν καλύτερα ενώ για τα γεωφυσικά θα έπρεπε να συμπεριληφθούν στην πρόταση.

Σημαντικό ήταν το θέμα της επί τόπου υποστήριξης για τη συντήρηση των μηχανημάτων και του δικτύου και αποφασίστηκε η ανάθεση της συντήρησης σε εταιρεία. Ανατέθηκε στον κ. Λαλεχό η αρμοδιότητα για επιστολή στο Γ.Ε.Α. για ελικόπτερο. Στον κ. Φυτίκα ανατέθηκε η επιστολή προς τους λεμβούχους για δωρεάν μεταφορά των επιστημονικών ομάδων στις Καμένες καθώς και συνεργασία του κ. Βουγιουκαλάκη και Αναγνώστου για τα θερμοχημικά στον υποθαλάσσιο χώρο.

Για το θέμα των ξένων επιστημόνων ο πρόεδρος πρότεινε μία προσωπική επαφή μαζί τους η οποία επρόκειτο να πραγματοποιηθεί στο workshop του MeMoVoic το Μάρτιο στη Σαντορίνη καθώς και μία παρουσίαση για το έργο της επιτροπής.

Στο θέμα της πληροφόρησης στα 3 επίπεδα:-πολιτικής ηγεσίας-επιστημονικής κοινότητας- κοινού, η άποψη του Γ.Γ.Π.Π. ήταν ότι η επιτροπή, μέσω του Προέδρου θα αναλάμβανε την ενημέρωση του κοινού μέχρι το σημείο της κλιμάκωσης. Από τη στιγμή εκδήλωσης του φαινομένου στο οποίο θα δημιουργούνταν κίνδυνοι, θα αναλάμβανε ο Γ.Γ.Π.Π. και το Κ.Σ.Ο.Π.Π.

Ο πρόεδρος ανέθεσε στους 4 συντονιστές να φροντίσουν με ποιο τρόπο τα δεδομένα που παράγονταν-σεισμολογικά και παραμορφώσεων-θα παρέχονται στον Ο.Α.Σ.Π. και κατόπιν και στα μέλη.

### 3η συνεδρίαση. Σαντορίνη, 26 Μαρτίου 2012



Εικόνα 3.1 11 από τα 18 μέλη της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. μαζί με τον κ. Παπαδημητρίου από το Ε.Κ.Π.Α.. (Προσωπικό αρχείο)

Η ιδιαιτερότητα της συγκεκριμένης συνεδρίασης, πέρα του γεγονότος ότι πραγματοποιήθηκε στη Σαντορίνη, ήταν η παρουσία του κ. Παπαδημητρίου από το Πανεπιστήμιο Αθηνών καθώς και του Δημάρχου Θήρας κ. Ζώρζου και Αντιδημάρχου σε θέματα Πολιτικής Προστασίας κ. Καφούρου. Ο κ. Ζώρζος εξέφρασε την ικανοποίησή του για τη συγκρότηση της Επιτροπής η οποία ήταν στόχος της Δημοτικής Αρχής.

Η χρηματοδότηση της επιτροπής υποβλήθηκε ως τεχνικό δελτίο στο πρόγραμμα Δημοσίων Επενδύσεων για δύο χρόνια με αίτημα ύψους 820.000 Ευρώ. Η επιτροπή επεξεργάστηκε και βοήθησε στο αίτημα του κ. Pyle από το πανεπιστήμιο της Οξφόρδης ώστε να δοθεί άδεια στα αεροπλάνα για αεροφωτογραφίες στη Σαντορίνη και ο οποίος θα παρείχε στην Επιτροπή όλα τα δεδομένα. Συζητήθηκαν θέματα εγκατάστασης οργάνων, τόσο από τους ξένους επιστήμονες- κυρίως από την Ιταλία- οι οποίοι θα παρείχαν τα δεδομένα τους στους Έλληνες συνεργάτες τους, όσο και από τις ελληνικές επιστημονικές ομάδες. Επιστημάνθηκε η σεισμική ηρεμία μετά το Δεκέμβριο και Ιανουάριο, η οποία δεν ήταν ηφαιστειακής προέλευσης αλλά τεκτονικής σύμφωνα με τον κ. Παπαζάχο. Ύφεση παρατηρήθηκε και στις παραμορφώσεις οι οποίες όμως και αυτές εμφάνιζαν ελάτπωση στους ρυθμούς τους σύμφωνα με τον κ. Στείρο. Από θερμοχημικής απόψης, ο κ. Βουγιουκαλάκης τόνισε την αύξηση του  $H_2$  που σημαίνει θερμική αναθόλωση, αλλά όχι την αλλαγή στις θερμοκρασίες των ατμίδων.

Αναφέρθηκε επίσης η σπουδαιότητα του workshop MeMoVolc 2012, το οποίο διοργανώνονταν στη Σαντορίνη τις 2 επόμενες ημέρες της συνεδρίασης, με προσκεκλημένους από το εξωτερικό που έχουν δουλέψει στη Σαντορίνη και φυσικά

με Έλληνες επιστήμονες, όπου θα παρουσιάζονταν τα τελευταία δεδομένα για τη διέγερση της Σαντορίνης. Επισημάνθηκε η ανάγκη να συμβουλευτεί η επιτροπή τους ξένους επιστήμονες οι οποίοι έχουν εμπειρία σε θέματα ηφαιστειακών γεγονότων καθώς η μετάβαση του ηφαιστείου από το χρωματικό επίπεδο ετοιμότητας του κίτρινου σε πορτοκαλί θα σήμαινε μεγάλη ευθύνη από την Επιτροπή.

Τέθηκε ο προβληματισμός για το ποιος ενημερώνει το κοινό σε περίοδο κρίσης και με ποιο τρόπο.

Αποφασίστηκε να γίνει επιστολή προς τον κ. Κωνσταντινίδη, μέλος Δ.Σ. Ι.Μ.Π.Η.Σ., προκειμένου να ενημερώνονται οι λεμβούχοι του νησιού ώστε να εξυπηρετούν αφιλοκερδώς τις ερευνητικές ομάδες της Επιτροπής, να γίνει αίτημα προς το Γ.Ε.ΕΘ.Α και στον αρχηγό Γ.Ε.Α. με τίτλο «Εκμετάλλευση Αεροναυαγωσσωστικού Ελικοπτήρου Αεροδρομίου Σαντορίνης» και να ετοιμαστεί ενημερωτικό σημείωμα προς την πολιτική ηγεσία.



Εικόνα 3.2 3<sup>η</sup> συνεδρίαση της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. στη Σαντορίνη (Φωτογραφικό αρχείο Ε. Λέκκα)

#### **4<sup>η</sup> συνεδρίαση**. Γραφεία Ο.Α.Σ.Π., 20 Απριλίου 2012

Η Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. βρισκόταν εν αναμονή από το Γ.Ε.Α. για την άδεια που θα δινόταν στον κ. Pyle για αεροφωτογράφιση του ηφαιστείου ενώ προχωρούσε κανονικά το θέμα της χρήσης του ελικοπτήρου και της επιστολής προς τους λεμβούχους.

Συζητήθηκε εκτενώς το θέμα για τη συνδρομή των ξένων φορέων στην ενοργάνωση του ηφαιστείου και για την πρωτοβουλία των κ. Druiitt από το Πανεπιστήμιο του Clemont Ferrand και Barberi από το Πανεπιστήμιο της Ρώμης. Διατυπώθηκαν διάφορες απόψεις για τον αν θα πρέπει να υιοθετηθούν αυτές οι



προτάσεις από την Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. και με ποιον τρόπο. Υπήρχε αυτάρκεια εκ μέρους των Ελληνικών ομάδων ενώ δεν υπήρχε ακόμα καμία χρηματοδότηση.

Ζητήθηκε και επισήμως η καταγραφή όλου του διαθέσιμου εξοπλισμού από όλους τους φορείς και ένας προγραμματισμός από τους 4 συντονιστές των επόμενων βημάτων της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. ώστε αυτές να πραγματοποιηθούν αμέσως μόλις έρθει η χρηματοδότηση.

Μετά το workshop του MeMoVolc, υπήρχε η σκέψη να διατυπωθεί ένα άρθρο ως σύνοψη του workshop, στο διεθνές γεωφυσικό περιοδικό EOS από την τριμελή ομάδα που διοργάνωσε το MeMoVolc.

Ο κ. Λαλεχός γνωστοποίησε την κατασκευή ενός GIS σε web interface όπου σε περιβάλλον google και στο κτηματολόγιο θα υπήρχαν οι θέσεις των σταθμών παρατήρησης και των αποτελεσμάτων τα οποία θα φαίνονταν στο διαδίκτυο.

Όσον αφορά στη διάχυση των δεδομένων εντός της επιτροπής, ο Πρόεδρος τόνισε ότι κάθε μέλος πρέπει να έχει πρόσβαση. Τα δεδομένα από τους σεισμολογικούς σταθμούς της Σαντορίνης πήγαιναν ψηφιακά στο Α.Π.Θ.

Συμπεράσματα από το MeMoVolc θα δίνονταν από τον κ. Βουγιουκαλάκη ενώ συζητήθηκε η περίπτωση του εργοστασίου αφαλάτωσης στην Οία ως παρατηρητήριο για εξοπλισμό και γι αυτό θα ζητούνταν η συναίνεση από το Δήμο.

Τα μέχρι τότε στοιχεία δεν έδειχναν καμία μεταβολή στα σεισμικά δεδομένα ενώ στα γεωδαιτικά υπήρχε μία αυξητική τάση και ίσως να εμφανιζόταν μία δεύτερη μαγματική πηγή όπως υποστηρίζει ο κ. Στείρος. Ο κ. Λέκκας τόνισε την ανάγκη ο παράγοντας των κατολισθήσεων να ληφθεί υπόψη στα σενάρια έκτακτης ανάγκης.

Πληροφόρηση του κοινού δεν υπήρχε ακόμα ενώ ο Πρόεδρος θα ήταν ο αρμόδιος να απαντά στις περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης μετά από ενημέρωση των υποεπιτροπών.

#### **5<sup>η</sup> συνεδρίαση**. Γραφεία Ο.Α.Σ.Π., 1 Ιουνίου 2012

Στο κομμάτι της πορείας της διέγερσης, η σεισμική δραστηριότητα μειώθηκε δραστικά, στα φυσικοχημικά η θερμοκρασία παρέμεινε αμετάβλητη με μία μικρή τάση μείωση της ροής του H<sub>2</sub> και του CO<sub>2</sub> ενώ στο γεωδαιτικό κομμάτι υπήρχαν διαφορετικές εκτιμήσεις από τους υπεύθυνους επιστήμονες.

Πραγματοποιήθηκε ενημέρωση του νέου Υπουργού κ. Σιμόπουλου ως προς το θέμα του ηφαιστείου, της Επιτροπής και της χρηματοδότησης όπου υπογράφηκε το αίτημα των 300.000 ευρώ.

Έγινε αίτημα της εταιρείας «ΑΕΡΟΝΑΥΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΛΛΑΣ Α.Ε» προς την Επιτροπή, στην προσφορά υψηλής ανάλυσης αεροφωτογράφισης στις Καμένες δωρεάν. Το αίτημά τους έγινε αποδεκτό με κύριο υπεύθυνο τον κ. Λαλεχό.

Η αεροφωτογράφιση για λογαριασμό των Άγγλων από την Αεροπορία έγινε, η επεξεργασία των εικόνων θα δίνονταν στον Ο.Α.Σ.Π. και κατόπιν θα διαβιβάζονταν στον κ. Pyle, ο οποίος ήδη ευχαρίστησε την επιτροπή.

Συζητήθηκε το θέμα με τους λεμβούχους τους νησιού, οι οποίοι προσφέρονταν να βοηθήσουν χωρίς χρήματα στη μεταφορά των επιστημονικών ομάδων στο ηφαίστειο.

Τα συνοπτικά συμπεράσματα του MemoVolc κατατέθηκαν από τον κ. Βουγιουκαλάκη και θα ήταν διαθέσιμα στα μέλη. Αποφασίστηκε μία νέα αναλυτική αναφορά προς την Πολιτική Ηγεσία.

Ο κ. Λαλεχός παρουσίασε στα μέλη της επιτροπής ένα πρωτόλειο πληροφοριακό σύστημα σε open source λογισμικό και σε υπόβαθρο google όπου φαίνονταν οι σεισμολογικοί σταθμοί, οι σταθμοί GPS με κάποιες βασικές πληροφορίες. Διατυπώθηκαν απόψεις για τις πηγές αυτών των πληροφοριών, για το χρονικό εύρος στο οποίο θα αναφέρονταν αυτές και κυρίως σε ποιους θα απευθύνεται.

Ο κ. Μακρόπουλος αναφέρθηκε στα 2 πιθανά σενάρια των εκρήξεων και ότι η Πολιτική Προστασία θα έπρεπε να πάρει διαφορετικά μέτρα για κάθε περίπτωση. Η Γ.Γ.Π.Π έστειλε έναν πίνακα τον οποίο θα έπρεπε να συμπληρώσει η Επιτροπή, ώστε εκείνη να συντάξει ένα σχέδιο αντιμετώπισης. Έτσι λοιπόν έπρεπε να απαντηθούν θέματα που αφορούσαν:

A. το ηφαιστειακό κομμάτι, το οποίο ήταν έτοιμο από τον κ. Βουγιουκαλάκη. Υπήρχε η Αγγλική έκθεση με τις ποσοτικές προσεγγίσεις και η Ελληνική έκθεση με τις ποιοτικές προσεγγίσεις και τον ορισμό των πιθανοτήτων.

B. το σεισμολογικό κομμάτι, με δεδομένα από τον κ. Παπαζάχο

Γ. την ευστάθεια πρανών

Δ. το τσουνάμι, με ειδικό τον κ. Συνολάκη

Συζητήθηκαν εκτενώς οι προτάσεις των ξένων επιστημονικών ομάδων. Επί αυτών αποφασίστηκε να δοθούν απαντήσεις για κάθε πρόταση ξεχωριστά, να μην υπάρχει αλληλοεπικάλυψη από τις ελληνικές ομάδες αλλά ότι ήταν απαραίτητη η συνεργασία μαζί τους καθώς επίσης να γίνει σαφές πως δεν υπάρχει χρηματοδότηση για την εκτέλεσή τους.

## 6<sup>η</sup> συνεδρίαση. Γραφεία Ο.Α.Σ.Π., 6 Ιουλίου 2012

Όσον αφορά στη δραστηριότητα του ηφαιστείου, ο κ. Παπαζάχος ενημέρωσε ότι υπήρχε σχεδόν απόλυτη σεισμική ενδοκαλδερική ησυχία και μείωση ανωμαλιών θερμοκρασίας νερού. Το H<sub>2</sub>, που είχε αύξηση φανερώνοντας προέλευση βαθιάς θερμικής ανωμαλίας με αντίστοιχη μείωση του CH<sub>4</sub>, είχε έντονη μείωση. Ο κ. Στείρος ενημέρωσε ότι παρότι τα προβλήματα στους σταθμούς GPS, υπήρχε τάση άμβλυσης του ρυθμού παραμόρφωσης χωρίς όμως να μηδενιστεί, το μάγμα που είχε διεισδύσει δεν επέστρεφε στα προηγούμενα επίπεδα και γι αυτό υπήρχε μία πολυπλοκότητα στο φαινόμενο.

Πραγματοποιήθηκε επικοινωνία και ενημέρωση με τον νέο Αναπληρωτή Υπουργό κ. Σ. Καλογιάννη για το θέμα της Επιτροπής και την πορεία της χρηματοδότησης.

Ο υπεύθυνος για τις αεροφωτογραφίες εκ μέρους του N.E.R.C. κ. Λαλεχός, ενημέρωσε ότι τελείωσε η αεροφωτογράφιση, η Γ.Υ.Σ. έστειλε τα στοιχεία και αυτά με τη σειρά τους εστάλησαν στο N.E.R.C. για επεξεργασία. Αυτά θα αποσταλούν εκ νέου στην επιτροπή από το N.E.R.C. Επίσης, ο κ. Λαλεχός ενημέρωσε ότι η αεροφωτογράφιση των Καμένων με μη επανδρωμένο σκάφος θα γινόταν στο τέλος του καλοκαιριού ενώ προχωρούσε και η τοποθέτηση θερμικής κάμερας στο ελικόπτερο της βάσης της Σαντορίνης στο οποίο βοηθούσε πολύ η Αεροπορία.

Μετά το workshop του MeMoVolc, οι κ. Druitt, Francalacci και Βουγιουκαλάκης συνέταξαν ένα σύντομο κείμενο για τα πεπραγμένα του, προς το περιοδικό EOS, το οποίο υπέστη κρίση από τους κριτές του. Έτσι η προσπάθεια φάνηκε να εγκαταλείπεται, όμως αποφασίστηκε από τα μέλη της επιτροπής να συνταχθεί ένα ενημερωτικό άρθρο για την Επιτροπή και τις προσπάθειές της από τους 4 συντονιστές των υποεπιτροπών μαζί με τον κ. Συνολάκη, προκειμένου να αποσταλεί στο forum του EOS.

Σχετικά με τη σελίδα για το ηφαίστειο που βρίσκεται στη ιστοσελίδα του Ο.Α.Σ.Π., δίνονταν τα δεδομένα για τα γεωδαιτικά από το Georgia Tech και τα γεωχημικά από τον κ. Βουγιουκαλάκη. Αποφασίστηκε η ανάρτηση ενός κειμένου ενημερωτικού ενδιαφέροντος, σχετικά με την Επιτροπή και την δραστηριότητα του ηφαιστείου, το οποίο θα απευθυνόταν στο κοινό.

Όσον αφορά στις ενέργειες της 4<sup>ης</sup> υποεπιτροπής, ο κ. Αντωνάκος αποσαφήνισε ότι ο πίνακας που θα συνταχθεί από την 4<sup>η</sup> υποεπιτροπή και θα αποσταλεί στην Γ.Γ.Π.Π. Θα περιέχει στήλες για τον κίνδυνο, την περιγραφή των κινδύνων, τα πρόδρομα φαινόμενα και την επηρεαζόμενη περιοχή. Οι στήλες που θα αφορούν τις επιπτώσεις στον πληθυσμό, τα κτίρια και τα μέτρα περιορισμού των επιπτώσεων θα διαμορφωθούν από τους καθ ύλην αρμόδιους ενώ τα μέτρα αντιμετώπισης έκτακτων αναγκών βραχείας αποκατάστασης θα συμπληρωθούν από τη Γ.Γ.Π.Π. Τονίστηκε ότι το έργο της επιτροπής ήταν να δοθούν τα σενάρια και οι ενδεχόμενες επιπτώσεις. Το πιο πιθανό σενάριο ήταν αυτό του 1926 και η προσομοίωση θα αφορούσε στο ρήγμα της Καμένης, με χαμηλή σεισμικότητα όχι

πάνω από 5,5 R. Θα προκληθεί μικρό τσουνάμι, κυρίως λόγω κατολίσθησης χωρίς σημαντικά προβλήματα ή αχρήστευσης του λιμανιού.

Αποφασίστηκε νέο ενημερωτικό σημείωμα προς την Πολιτική Ηγεσία με στοιχεία της δραστηριότητας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, σύνταξη του κειμένου απάντησης προς την Ιταλική και Γαλλική ομάδα και αποστολή εγγράφου προς τη Γ.Γ.Π.Π. με τα γενικά μέτρα που θα συστήσει η επιτροπή, τα οποία είναι εκτός του πίνακα. Με αυτά, θα μπορέσει η Πολιτική Προστασία να ξεκινήσει το έργο της, δηλαδή να εντοπιστεί ο χώρος του επιχειρησιακού κέντρου, του αποθηκευτικού χώρου, των συστημάτων απρόσκοπτης επικοινωνίας και προμήθειας πρώτης ανάγκης.

### **7<sup>η</sup> συνεδρίαση**. Γραφεία Ο.Α.Σ.Π., 28 Σεπτεμβρίου 2012

Κάθε Παρασκευή, ο κ. Μακρόπουλος έστειλε μηνύματα για τα σεισμολογικά δεδομένα στον κ. Πρόεδρο και πρακτικώς η σεισμική δραστηριότητα είχε σταματήσει. Στο γεωχημικό κομμάτι ο κ. Βουγιουκαλάκης ενημέρωνε ότι η κατάσταση έδειχνε να επιστρέφει στην ομαλότητα, από το Φεβρουάριο, με μείωση στο CO<sub>2</sub> και στο H<sub>2</sub>. Ερμήνευσε τις ανωμαλίες αυτές ως συσχέτιση με τη σεισμική διέγερση κυρίως καθώς δεν προκύπτει άμεσος συσχετισμός με το μάγμα. Στο κομμάτι των παραμορφώσεων, αυτές συνεχίζονταν με διαφορετικούς ρυθμούς και προς άλλες κατευθύνσεις, με ύφεση .

Υπενθυμίστηκε ότι το Φεβρουάριο υποβλήθηκε αίτημα 800.000 Ευρώ το οποίο διαμορφώθηκε στα 300.000 και έγινε αίτημα για 150.000 Ευρώ. Από αυτά δεν μπορούσαν να πληρωθούν ξένοι επιστήμονες και επιβαλλόταν να γίνει ένας κατάλογος προβλεπόμενων δαπανών και ενεργειών.

Για το θέμα του κατολισθητικού κινδύνου στη Σαντορίνη, είχαν ήδη γίνει 4 μελέτες που αφορούσαν στη βαρύτητα, στις βροχοπτώσεις και στη διάβρωση με προδιαγραφές χωρίς τη δράση του ηφαιστείου ή τους σεισμούς. Η ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ είχε αναλάβει το έργο αποκατάστασης των κατολισθήσεων. Στον πίνακα των κινδύνων για τις κατολισθήσεις, είχαν δοθεί στοιχεία από τον κ. Λέκκα οι οποίες θα αποτελούσαν και την επίσημη θέση της επιτροπής.

Γνωστοποιήθηκε ότι ο κ. Zuccaro θα έρθει στη Σαντορίνη για να πραγματοποιήσει διερεύνηση ηφαιστειακής διακινδύνευσης σε επίπεδο κτιρίων στη Σαντορίνη. Θα επιθυμούσε η επιτροπή να έχει 1 ή 2 Έλληνες που θα δουλέψουν μαζί του και να πάρουν την τεχνογνωσία του, όμως αυτό θα απαιτούσε χρηματοδότηση.

Αποφασίστηκε οι 4 συντονιστές να συντάξουν ένα ενημερωτικό κείμενο για την Επιτροπή και να παρουσιαστεί στο συνέδριο VOLSAM 2012 τον Οκτώβριο στη Σαντορίνη, είτε από τον Πρόεδρο είτε από άλλο μέλος, ενώ φαίνεται να εγκαταλείπεται η σκέψη για άρθρο στο EOS.

Έχει σταλεί έγγραφο στο Δήμαρχο Θήρας να ολοκληρώσει τον προσεισμικό έλεγχο των κτιρίων με τη συνεργασία της Περιφέρειας. Από τη μεριά του ο Ο.Α.Σ.Π., γνωρίζει σε πόσα κτίρια έχει γίνει προσεισμικός έλεγχος και τι απέδωσε αυτός.

Θα ζητούνταν εγγράφως τα δεδομένα και τα επεξεργασμένα αποτελέσματα από το Ν.Ε.Ρ.Σ.

Ολοκληρώθηκε η αποστολή των γενικών μέτρων προς τη Γ.Γ.Π.Π ως επιστολή αλλά έμενε να ολοκληρωθεί ο πίνακας. Ο κ. Αντωνάκος, είχε επίσης συντάξει χάρτες που απεικόνιζαν τις περιοχές με τις ακτίνες επίδρασης. Ο πίνακας μόλις ολοκληρωθεί, θα επικυρωθεί από την ολομέλεια και θα συνοδεύεται από ένα ακραίο και ένα πιθανό σενάριο επαναδραστηριοποίησης του ηφαιστείου, βασισμένα κυρίως στα στοιχεία του κ. Βουγιουκαλάκη.

Στο θέμα της χρηματοδότησης, θα σχεδιάζονταν δράσεις τις οποίες οι 4 υποεπιτροπές θα κατηγοριοποιούσαν ως προς τις προτεραιότητές τους για να κατανεμηθούν και τα χρήματα αναλόγως.

Αποφασίστηκε να υπάρχουν στο διαδίκτυο μετρήσεις και στοιχεία αυτών καθώς και ένα εκλαϊκευμένο, περιγραφικό κείμενο σχετικά με την Επιτροπή και το έργο της, στην ιστοσελίδα του Ο.Α.Σ.Π. και το οποίο θα αναλάμβανα να συντάξουν οι 4 συντονιστές. Θα ετοιμαζόταν ένα ακόμα ενημερωτικό σημείωμα προς την Πολιτική Ηγεσία το οποίο θα επεσήμαινε ότι το επίπεδο παρακολούθησης εξακολουθούσε να είναι το κίτρινο (στην αρχή του κίτρινου) παρ όλη την ύφεση.

### **8<sup>η</sup>συνεδρίαση**. Γραφεία Ο.Α.Σ.Π., 9 Νοεμβρίου 2012

Αναφέρθηκε η πολύ σημαντική συνάντηση του Προέδρου της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. με τον αναπληρωτή του ΑΝ.ΑΝ.Υ.ΜΕ.ΔΙ. και με τον Γ.Γ.Δ.Ε στους οποίους έγινε ενημέρωση για την κατάσταση στο ηφαιστειο και συζήτηση για την χρηματοδότηση της επιτροπής η οποία μέχρι εκείνη τη στιγμή ήταν μόλις 54.000 Ευρώ. Αποφασίστηκε η εκταμίευση του συνολικού ποσού των 150.000 που θα έπρεπε να ξοδευτούν για το έτος 2012.

Όσον αφορά στη δραστηριότητα του ηφαιστείου, οι παραμορφώσεις συνεχίζονταν χωρίς σεισμικότητα. Ο κ. Στείρος υποστήριζε τη μικρή παραμόρφωση η οποία δεν επρόκειτο για συρρίκνωση και ο κ. Λάγιος ότι η παραμόρφωση δεν είναι πλέον ακτινωτή και το πλάτος της έχει ελαττωθεί. Σύμφωνα με τον κ. Βουγιουκαλάκη, θεωρήθηκε ότι υπάρχει ηρεμία στο σεισμολογικό και γεωχημικό κομμάτι αλλά λόγω της, έστω και μικρής, συνεχιζόμενης παραμόρφωσης, το επιστημονικό κομμάτι ήταν ακόμα ανοιχτό και έτσι δεν υπήρχε θέμα αλλαγής στη χρωματική διαβάθμιση του επιπέδου προειδοποίησης.

Ο Πρόεδρος αναφέρθηκε στο θέμα των κατολισθήσεων στο νησί. Η «Εγνατία Οδός Α.Ε.» ήταν η διαχειρίστρια του έργου που αφορά στην αντιμετώπιση των

βραχοπτώσεων και όχι στην αστάθεια των πρανών και έτσι δεν είχε ληφθεί υπόψη η διέγερση του ηφαιστείου και οι σεισμοί, αφού δεν υπήρχε τέτοιο θέμα κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των μελετών. Αποφασίστηκε να διατυπωθεί ένα έγγραφο το οποίο δεν θα δημιουργούσε πρόβλημα στην εξέλιξη των έργων αλλά επρόκειτο να επισημανθεί η αναγκαιότητα επέκτασης του αντικειμένου για τα πρανή και η επέκταση των έργων και σε υπόλοιπα σημεία της καλδέρας.

Ο κ. Πρόεδρος ενημέρωσε ότι κλιμάκιο Ιταλών με επικεφαλής τον κ. Zuccaro, από το Πολυτεχνείο της Νάπολη, πραγματοποίησε τη διερεύνηση ηφαιστειακής διακινδύνευσης σε επίπεδο κτιρίων στη Σαντορίνη, η οποία έλαβε χώρα τον Οκτώβριο και συμμετείχε και συνεργάτης της μονάδας Έρευνας του Ο.Α.Σ.Π. Σύμφωνα με την αναφορά του κ. Παπανικολάου στα αποτελέσματα του Zuccaro, τα κτίσματα της Σαντορίνης είναι κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα νέας γενιάς κυρίως αυτά μετά το 1975 αλλά και κτίρια από φέρουσα τοιχοποιία με κονίαμα θηραϊκής γης και ζωνάρια που δένουν την τοιχοποιία. Φυσικά υπάρχουν και παραδοσιακές κατοικίες πριν το 1950 και έργα υποδομής και οδοποιίας. Έγινε συζήτηση με τον καθηγητή κ. Zuccaro, για μία από κοινού δράση για την επικινδυνότητα από ηφαιστειακή τέφρα. Η σεισμική και ηφαιστειακή διακινδύνευση συνίσταται στην εκτίμηση σεισμικής-ηφαιστειακής επικινδυνότητας και στον προσδιορισμό της τρωτότητας των κατασκευών. Για την εκτίμηση της τρωτότητας η μεθοδολογία ήταν οι καμπύλες τρωτότητας ή τα μητρώα πιθανότητας βλάβης. Ο κ. Λεκίδης τόνισε επίσης τις οικονομικές απώλειες ως απαραίτητο στοιχείο για τα «σενάρια ηφαιστειακής σεισμικής διακινδύνευσης». Προέκυψε μία ποσοστιαία κατανομή προκαθορισμένων τυπολογιών κτιρίων διαφορετικών περιόδων, υλικών κατασκευής και θεμελίωσης (π.χ. παλιά κτίρια από τοιχοποιία ή προ του 18<sup>ου</sup> αιώνα, μονώροφα μετά του 1956, νέα κτίρια από Ο/Σ μετά το 1970 ή το 2000), σε δέκα περιοχές του νησιού. Τα στοιχεία θα καταχωρούνταν σε βάση GIS ώστε να παραχθούν χάρτες με τις κατανομές των τυπολογιών και να καθοριστεί τελικά η σεισμική διακινδύνευση ανά περιοχή. Εστάλη επιστολή στο Δήμαρχο Θήρας για τον έλεγχο των κτιρίων.

Έγινε αίτημα προς το N.E.R.C. για παροχή των δεδομένων από την αεροφωτογράφιση που έγινε το καλοκαίρι και αναμενόταν η απάντηση. Ο Ο.Α.Σ.Π. και ο κ. Γκανάς, είχαν στη διάθεσή τους όλο το υλικό των φωτογραφιών και αεροφωτογραφιών και ήταν διαθέσιμα στην επιτροπή.

Ο Πρόεδρος, αναφερόμενος στην ιστοσελίδα του Ο.Α.Σ.Π. που θα ενημερώνει για την κατάσταση στη Σαντορίνη, παρακάλεσε να ετοιμαστεί υλικό προς το ευρύ κοινό προς αξιοποίηση για τις δραστηριότητες της Επιτροπής. Προτάθηκε, πάνω σε Google maps να ανέβουν οι σταθμοί και με ένα απλό κλικ να ανοίγουν παράθυρα με στοιχεία και γραφήματα.

Συντάχθηκε ένας πίνακας από την 4<sup>η</sup> υποεπιτροπή για να αποσταλεί στη Γ.Γ.Π.Π. ο οποίος θα αφορούσε στην ανάλυση του κινδύνου, στις επηρεαζόμενες περιοχές και στις επιπτώσεις στον πληθυσμό και στις υποδομές. Έλειπαν τα σεισμολογικά δεδομένα και τα σενάρια για τσουνάμι.

Στο οικονομικό κομμάτι, μιας και τα δεδομένα άλλαξαν, συμφωνήθηκε να τεθούν προτεραιότητες και το ποσό να διατεθεί στην κάλυψη συγκεκριμένων

αναγκών. Μία εξ αυτών ήταν τα δεδομένα που παίρνει ο Ο.Α.Σ.Π. να είναι προσβάσιμα σε όλους. Φορείς όπως το Αστεροσκοπείο Αθηνών, το Ε.Μ.Π., το Πανεπιστήμιο Αθηνών και Πατρών παρήγαγαν χάρτες παραμόρφωσης ή ταχύτητες σταθμών σε 6-7 ώρες.

### 9<sup>η</sup>συνεδρίαση. Γραφεία Ο.Α.Σ.Π., 14 Δεκεμβρίου 2012

Συνεχίζονταν οι εβδομαδιαίες αναφορές της σεισμικότητας από τον κ. Μακρόπουλο του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου προς τον Πρόεδρο της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ., παρότι την ελάττωση στη δραστηριότητας του ηφαιστείου. Στην ιστοσελίδα του κ. Newman, υπήρχε ένα βίντεο σχετικά με τη διόγκωση του μαγματικού θαλάμου με διανύσματα παραμόρφωσης η οποία συνεχιζόταν έως τότε. Η ιστοσελίδα ήταν η <http://geophysics.eas.gatech.edu/newman/research/Santorini/VectorMovie.php>. και είναι προσβάσιμη σε όλους. Στο γεωχημικό κομμάτι, η κατάσταση έτεινε στην ισορροπία καθώς οι αέριοι χρωματογράφοι δεν έδειχναν κάτι διαφορετικό.

Στην ιστοσελίδα του Ο.Α.Σ.Π. ξεκίνησε να λειτουργεί η ενότητα για το ηφαίστειο, η οποία ήταν ανοιχτή σε όλους, και παρουσιάζονταν πληροφορίες κτηματολογίου, σταθμών GPS, σεισμολογικοί σταθμοί, οι σεισμοί με τις ημερομηνίες τους από τον κατάλογο του κ. Παπαζάχου ενώ αποφασίστηκε να γίνουν παρατηρήσεις σχετικά με την ιστοσελίδα στην επόμενη συνεδρίαση.

Απεστάλη το έγγραφο για τις βραχοπτώσεις στο Υπουργείο ΑΝ.ΑΝ.Υ.ΜΕ.ΔΙ. και στην Εγνατία Οδό.

Σύμφωνα με τον κ. Παπαζάχο, το σεισμολογικό κομμάτι για την τελική αναφορά προς τη Γενική Γραμματεία ήταν σχεδόν έτοιμο με αναφορά στο ακραίο σενάριο του 1707, ενώ το πιθανότερο σενάριο ήταν αυτό του 1925 με σεισμούς εντάσεως 5. Οριοθετήθηκαν οι πιο προβληματικές και οι λιγότερο προβληματικές περιοχές του νησιού ενώ απαιτούνταν μικροζωνικές μελέτες για περαιτέρω συμπλήρωση των πληροφοριών. Ο κ. Λαλεχός ορίστηκε ως υπεύθυνος για την μακροχρόνια παραλαβή και χρήση του υλικού που αποκτήθηκε στα πλαίσια λειτουργίας της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. (διαδικασίες διάθεσης, ανάληψης, διατήρηση σε καλή κατάσταση, επιστροφή στον Ο.Α.Σ.Π. και διάθεση όλων των δεδομένων).

Ο Πρόεδρος εξουσιοδοτήθηκε να συντάξει τον τελικό πίνακα κατανομής των δαπανών έως εκείνη την εποχή, όπου ένα μέρος εξ αυτών θα δίνονταν τελικά σε εξωτερικούς συνεργάτες ενώ η αγορά του παλιρροιογράφου από το Γ.Ε.Ι.Ν. κρίθηκε απαραίτητη καθώς και η εγκατάστασή του έξω από την καλδέρα. Επίσης ανέλαβε να συντάξει ένα ακόμα ενημερωτικό σημείωμα προς την Πολιτεία στην οποία θα αναφερόταν ότι το επίπεδο προειδοποίησης παρέμενε το ίδιο, δηλαδή χαμηλές βαθμίδες του κίτρινου. Τέλος η Επιτροπή αποφασίστηκε να επανέλθει με νέο αίτημα χρηματοδότησης για τη νέα χρονιά.



## **10<sup>η</sup> συνεδρίαση.** Γραφεία Ο.Α.Σ.Π., 13 Ιουνίου 2013

Μετά από έξι μήνες συγκλήθηκε η τελευταία συνεδρίαση καθώς δεν υπήρχε κάποιο αντικείμενο το οποίο θα απασχολούσε ιδιαίτερα την Επιτροπή. Ο Δήμαρχος Θήρας εξέφρασε την ανησυχία του ως προς τη δρομολόγηση των μέτρων που έπρεπε να ληφθούν. Συνεχιζόταν το εβδομαδιαίο ενημερωτικό σημείωμα για τη σεισμικότητα η οποία ήταν πια σχεδόν ανύπαρκτη. Στο θέμα των κατολισθήσεων οι εργασίες των εργολάβων θα ξεκινούσαν από το φθινόπωρο.

Όσον αφορά στις ενόργανες παρατηρήσεις τα γεωδαιτικά όργανα του κ. Στερίου, μετέδιδαν ξανά σε πραγματικό χρόνο. Από πλευράς Ε.Μ.Π. υπήρχαν σοβαρά προβλήματα με τις επικοινωνίες με τους άλλους σταθμούς ενώ υπήρχε και μία χρηματοδότηση για δεδομένα μετρήσεων από τους Άγγλους. Ο κ. Παπαζάχος ενημέρωσε ότι ο καινούργιος χρωματογράφος που είχε παραχωρηθεί από το I.N.G.V. της Ιταλίας, θα επέστρεφε στην Ιταλία λόγω έλλειψης χρηματοδότησης αλλά παρέμενε το παλιό μηχάνημα μέτρησης CO<sub>2</sub> από το Πανεπιστήμιο του Παλέρμο. Λειτουργούσαν όλοι οι παλιροιογράφοι με καθημερινές μετρήσεις στάθμης και θερμοκρασίας. Τέλος επισκευάστηκε η υπέρυθρη κάμερα για τη θερμοκρασία των αμιδών η οποία επρόκειτο να επανατοποθετηθεί.

Όσον αφορά στο οικονομικό κομμάτι ο Πρόεδρος υπενθύμισε ότι η πίστωση ήταν 300.000 Ευρώ και είχε μέχρι τότε ρευστοποιηθεί το μισό τμήμα της, ενώ ζητήθηκε να γίνει νέος σχεδιασμός-προϋπολογισμός για τις επόμενες χρονιές έως το 2016 και την ένταξη 150.000 ανά έτος μέχρι το 2016. Ο Πρόεδρος κάλεσε όλα τα μέλη να προβούν εγγράφως στις απόψεις τους με βάση τα στοιχεία που διέθεταν και οι αρμόδιοι να κάνουν μια αναφορά στο επίπεδο παρακολούθησης και των προβλημάτων ώστε να διαβιβαστούν στην Πολιτική Ηγεσία και να επισπευστούν οι διαδικασίες μεταφοράς χρημάτων.

Συντάχθηκε ένα κείμενο, από το τέλος Μαΐου, από τον κ. Αντωνάκο με την εποπτεία του κ. Μακρόπουλου όπου μετά από διορθώσεις και παρεμβάσεις από τα άλλα μέλη της υποεπιτροπής, προέκυψε το κείμενο με καταγραφή των καταστάσεων στη διέγερση του ηφαιστείου. Προτεινόταν μέτρα, στηριζόμενα μόνο στη διεθνή βιβλιογραφία και πρακτική (ΗΠΑ, Ιταλία, Ν. Ζηλανδία), των οποίων οι λεπτομέρειες, η ενεργοποίηση και η δρομολόγησή τους θα ληφθούν από τη Γ.Γ.Π.Π.. Διευκρινίστηκε ότι στην έκθεση δεν γινόταν πρόβλεψη για το πώς θα εξελισσόταν το φαινόμενο αλλά γινόταν εκτίμηση για το εύρος που θα μπορούσε να εξελιχθεί το πολυδιάστατο αυτό φαινόμενο. Στο ίδιο κείμενο, θα επισημαίνονταν οι αβεβαιότητες στα σενάρια επαναδραστηριοποίησης του ηφαιστείου-λόγω της φύσης του φαινομένου-και η ανάγκη παρακολούθησης και συνεργασίας της Γ.Γ.Π.Π. με την Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. Σαφώς τα μέτρα αποκατάστασης δεν ήταν αντικείμενο της παρούσης έκθεσης. Συντάχθηκαν επίσης χάρτες ηφαιστειακού κινδύνου στη Σαντορίνη με πυκνή πληροφορία όπως και με δυνατότητα προσεχώς να δοθούν υποχάρτες Η Έκθεση και οι χάρτες είχαν προσωρινά εμπιστευτικό χαρακτήρα. Εξουσιοδοτήθηκε ο κ. Πρόεδρος να ετοιμάσει την Έκθεση ώστε να αποσταλεί το συντομότερο στη Γ.Γ.Π.Π.

Ο κ. Αντωνάκος αναφέρθηκε λεπτομερώς στο ρόλο της συγκεκριμένης έκθεσης και στις μελλοντικές ενέργειες εκ μέρους της Πολιτείας. Με την παραλαβή

αυτής της έκθεσης, θα πραγματοποιούνταν συσκέψεις με όλους τους εμπλεκόμενους φορείς, θα γινόταν απογραφή των διαθέσιμων μέσων και θα σχεδιαζόταν εκ του μηδενός το θεσμικό πλαίσιο για την αντιμετώπιση μιας τέτοιας κρίσης. Θα προέκυπτε δηλαδή ένα τοπικό σχέδιο Ξενοκράτης όπου στη φάση του σχεδιασμού του, η Επιτροπή θα είχε ενεργό ρόλο στις προτάσεις και στα συμπεράσματα επί της τρωτότητας των κτιρίων και των ρίσκων που δημιουργούσαν οι κίνδυνοι που περιγράφονταν στην έκθεση.

Προτάθηκε από αρκετά μέλη της επιτροπής, η διοργάνωση εκδήλωσης επιστημονικού ή τεχνικού χαρακτήρα όπου θα γινόταν μία μικρή παρουσίαση για την Επιτροπή. Τέλος, θερμές ευχαριστίες απευθύνθηκαν προς την 4<sup>η</sup> υποεπιτροπή και ιδιαίτερος στον κ. Αντωνάκο καθώς και στον Ο.Α.Σ.Π..

Στις 18 Ιουνίου 2013, εστάλη στο Γ.Γ.Π.Π. με εμπιστευτική επιστολή, η τελική Έκθεση με τίτλο «Σενάρια Επαναδραστηριοποίησης και Εκτίμηση Ηφαιστειακών Κινδύνων του Ηφαιστειακού Συγκροτήματος Σαντορίνης» με κοινοποίηση και στο Δήμο Θήρας, χωρίς τη συνημμένη Έκθεση.

Πίνακας 3.1. Συνεδριάσεις κατά ημερομηνία και τόπο διεξαγωγής

Συνεδριάσεις	Τόπος	Ημερομηνία
1 <sup>η</sup> συνεδρίαση	Αθήνα	10/2/2012
2 <sup>η</sup> συνεδρίαση	Αθήνα	23/2/2012
3 <sup>η</sup> συνεδρίαση	Σαντορίνη	26/3/2012
4 <sup>η</sup> συνεδρίαση	Αθήνα	20/4/2012
5 <sup>η</sup> συνεδρίαση	Αθήνα	1/6/2012
6 <sup>η</sup> συνεδρίαση	Αθήνα	6/7/2012
7 <sup>η</sup> συνεδρίαση	Αθήνα	28/9/2012
8 <sup>η</sup> συνεδρίαση	Αθήνα	9/11/2012
9 <sup>η</sup> συνεδρίαση	Αθήνα	14/12/2012
10 <sup>η</sup> συνεδρίαση	Αθήνα	13/6/2013

### 3.3. Οικονομικοτεχνικά στοιχεία

#### 3.3.1. Προϋπολογισμός

Αμέσως μετά την απόφαση συγκρότησης της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ., έγινε αίτημα χρηματοδότησης για τη λειτουργία της επιτροπής και την εξασφάλιση της επάρκειας και της συνεχούς και απρόσκοπτης λειτουργίας του επιστημονικού εξοπλισμού και των οργάνων παρακολούθησης. Ο σκοπός ήταν να διασφαλιστεί η συλλογή των καταγραφών και στοιχείων για την παρακολούθηση της δραστηριότητας του ηφαιστείου. Το ποσό προϋπολογίστηκε συνολικά στα 300.000 Ευρώ.

Από το 2012 είχε εγκριθεί κονδύλιο ύψους 300.000 Ευρώ για τις ανάγκες της Επιτροπής. Μέσα στο 2012, εκταμιεύτηκε το ποσό των 150.000 Ευρώ και στις αρχές του 2013 άλλα 6.000 Ευρώ, συνολικά 156.000 Ευρώ που απορροφήθηκαν πλήρως. Μέσα στο 2013, υπήρξε η υπόσχεση εκταμίευσης του υπόλοιπου ποσού των 144.000 Ευρώ. Έγινε προσπάθεια κατανομής του ποσού στις υποεπιτροπές αλλά τελικά το ποσό δεν εκταμιεύτηκε.

Κατά τη διάρκεια του 2013, το σύστημα παρακολούθησης συντηρείτο στοιχειωδώς με δαπάνες των φορέων που είχαν εγκαταστήσει τα όργανα παρακολούθησης.

Αναλυτικότερα, η χρηματοδότηση των 156.000 Ευρώ αναλώθηκε σε:

- Ανταλλακτικά και εργαλεία
- Αγορά παλιρροιογράφου, server και οθόνης
- Γεωδαιτική κεραία
- Επισκευές σταθμών GPS, εγκατάσταση νέων σταθμών
- Μετακινήσεις εκτός έδρας
- Επισκευή-συντήρηση σεισμολογικού σταθμού
- Επεξεργασία δεδομένων σταθμού GPS
- Μπαταρίες και φορτιστές
- Ανεμογεννήτρια
- Ρυθμιστή φόρτισης
- Εξαρτήματα γεωδαιτικών δεκτών
- Εργασίες πεδίου και επισκευή μηχανημάτων
- Αποστολή οργάνων για επισκευή
- Πληρωμή φόρων
- UPS, μπαταρίες, router
- Ηλεκτρονικό εξοπλισμό
- Αγορά σεισμομέτρων και εκτελωνισμός τους

- Ανάκτηση δεδομένων 4 μόνιμων γεωδαιτικών σταθμών GPS
- Αγορά συστήματος δίσκων αποθήκευσης δεδομένων
- Έλεγχο ποιότητας δεδομένων μόνιμων γεωδαιτικών σταθμών GPS
- Επεξεργασία μόνιμων σταθμών GNSS στη Σαντορίνη
- Ψηφιακά καταγραφικά θερμοκρασίας και λογισμικό για την ανίχνευση αλλαγών στη σύσταση των αερίων των ατμίδων της Ν.Καμένης
- Προμήθεια και αντικατάσταση αισθητήρα, μπαταρίας και βαθμονόμηση συσκευής ανάλυσης αερίων
- Μηχανική αντλία κενού
- Προμήθεια ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής για την αποτύπωση των εκδηλώσεων των θερμών σημείων της περιοχής
- Ταξινόμηση και αρχειοθέτηση των επιλύσεων ετερογενών διαθέσιμων δεδομένων GPS Σαντορίνης.
- Χημικές αναλύσεις θερμών ρευστών ατμίδων Ν.Καμένης
- Ανταλλακτικά για το σταθμό μέτρησης αέριων φάσεων
- Αγορά ανταλλακτικών επιταχυνσιογράφων
- Αγορά ειδικών καλωδίων για σεισμόμετρα
- Προμήθεια πολύμετρου για μετρήσεις οξύτητας αλατότητας και διαλυμένου οξυγόνου σε θερμά ρευστά.
- Αγορά ανταλλακτικών για το σταθμό μέτρησης αέριων φάσεων στο ηφαίστειο της Σαντορίνης
- Αντικατάσταση αισθητήρα υδρόθειου και βαθμονόμηση φορητής συσκευής μέτρησης ροής διοξειδίου του άνθρακα/μεθανίου/υδρόθειου από το έδαφος για το σταθμό αερίων της Νέας Καμένης
- Αγορά εικόνων ραντάρ προς εκτίμηση της εδαφικής παραμόρφωσης. Το κόστος διαμοιράστηκε εξ ημισείας με το Γ.Ε.ΙΝ.
- Δημιουργία ειδικής ιστοσελίδας στην ιστοσελίδα του Ο.Α.Σ.Π.
- Συμβάσεις συνεργατών

Η χρηματοδότηση του έργου με τίτλο «Ολοκληρωμένο Σύστημα 24ωρης Παρακολούθησης Ηφαιστείου Σαντορίνης για την Εκτίμηση και Αντιμετώπιση Ηφαιστειακού Κινδύνου» υπόκειται στο πρόγραμμα δημοσίων επενδύσεων.

Πρέπει να σημειωθεί ότι το σύνολο των εμπλεκόμενων κύριων επιστημόνων (πανεπιστημιακών και μη) παραιτήθηκαν της όποιας αμοιβής τους.

### **3.3.2. Εξοπλισμός**

Στο νησί ήταν εγκαταστημένα δίκτυα από διάφορους φορείς, ελληνικούς και ξένους, για την παρακολούθησή του. Ένας από αυτούς είναι και το Ινστιτούτο Μελέτης και Παρακολούθησης του Ηφαιστείου της Σαντορίνης (Ι.Μ.Π.Η.Σ.) το οποίο ήδη από το 1995, έτος ίδρυσής του, έχει εγκαταστήσει δίκτυα παρακολούθησης (σεισμολογικό, τοπογραφικό, θερμικό, φυσικοχημικό) τα οποία αποτελούν ένα αξιόπιστο σύστημα έγκαιρης εκτίμησης και πιθανής πρόβλεψης τυχόν επαναδραστηριοποίησης του ηφαιστείου, αλλά και ελέγχου τυχόν αναίτιων συναγερμών και φημολογιών. Υποστηρίζεται από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, το Πανεπιστήμιο Πατρών, το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο και το Ι.Γ.Μ.Ε.. Έχει μόνιμη συνεργασία και υποστήριξη στα δίκτυα παρακολούθησης από άλλα Πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα όπως το Georgia Tech, Πανεπιστήμια Ρώμης και Φλωρεντίας κ.α.

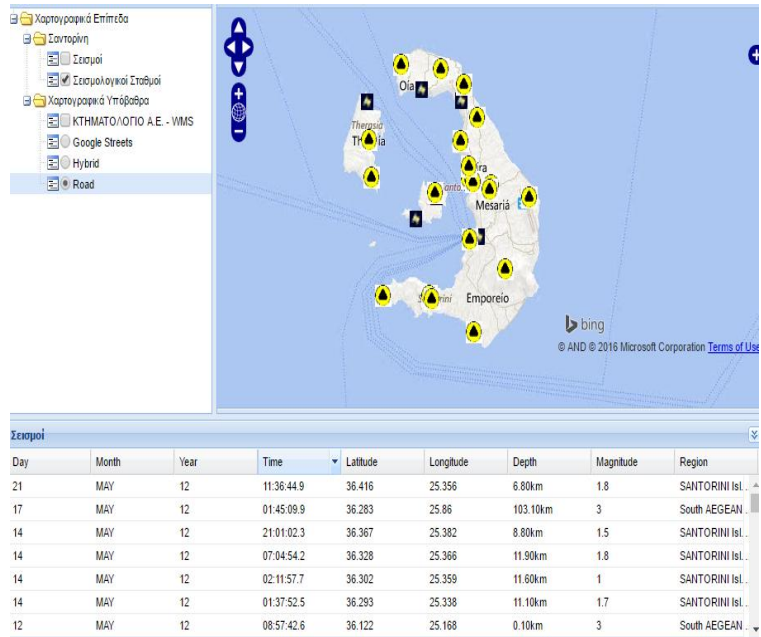
Η τυχόν αγορά του οποιοδήποτε εξοπλισμού θα αποτελούσε ιδιοκτησία του Ο.Α.Σ.Π. με παραχώρησή του στις ερευνητικές ομάδες για χρήση. Με τη λήξη της ηφαιστειακής κρίσης, ο εξοπλισμός θα επιστραφεί στον Ο.Α.Σ.Π.

Πίνακας 3.2. Στοιχεία εγκατεστημένων τηλεμετρικών σεισμολογικών σταθμών στη Σαντορίνη (Σταθμοί με αναλογική τοπική μετάδοση UHF, ψηφιοποίηση στο Κέντρο συλλογής δεδομένων του Ι.Μ.Π.Η.Σ. (Συνεδριακό Κέντρο Π. Νομικός) και αναμετάδοση ψηφιακού σήματος με ADSL. \*\* Ο σταθμός SNT4 δε διαθέτει μετάδοση πραγματικού χρόνου. \*\*\* Ο σταθμός STAX διαθέτει και σύστημα καταγραφής υποήχων (Ο.Α.Σ.Π, 2012)

Θέση	Κωδικός	Φορέας	Πλάτος	Μήκος	Υψομ.
Ακρωτήριο Κολούμπος	CMBO	ΑΠΘ-ΙΜΠΗΣ	36.47090	25.40560	108
Αθινιός	TH1	ΑΠΘ-ΙΜΠΗΣ	36.38580	25.42960	0
Ημεροβίγλι	TH2	ΑΠΘ-ΤΕΙ Κρήτης	36.43510	25.42180	338
Βούρβουλος	THR2*	ΑΠΘ-ΙΜΠΗΣ	36.44680	25.43530	220
Ν.Καμένη Εριτιά	THR3*	ΑΠΘ-ΙΜΠΗΣ	36.40910	25.40080	71
Κερά Θηρασιά	THR5*	ΑΠΘ-ΙΜΠΗΣ	36.41720	25.34790	180
Ακρωτήριο	THR6*	ΑΠΘ-ΙΜΠΗΣ	36.35620	25.39750	119
Φηρά	THR7	ΑΠΘ-ΙΜΠΗΣ	36.42240	25.42840	315
Μονόλιθος	THR8*	ΑΠΘ-ΙΜΠΗΣ	36.40700	25.47880	30
Φάρος	THR9*	ΑΠΘ-ΙΜΠΗΣ	36.35770	25.35690	54
Ταξιάρχης Ν.Καμένη	STAX***	ΑΠΘ-Firenze	36.39930	25.40450	20
Προφήτης Ηλίας	SANT	ΓΕΙΝ-GEOFON	36.371	25.459	540
Φηρά	THRA	ΓΕΙΝ	36.415	25.432	220
Ακρωτήριο	SAP1	ΓΕΙΝ	36.35794	25.39570	151
Καρτεράδος	SAP2	ΓΕΙΝ	36.41078	25.44570	185
Θηρασιά	SAP3	ΓΕΙΝ	36.43561	25.34539	205
Οία	SAP4	ΓΕΙΝ	36.47337	25.37244	56
Γιαλός	SNT1	ΕΚΠΑ	36.41650	25.42840	
Βλυχάδα	SNT2	ΕΚΠΑ	36.33980	25.43250	
Καρτεράδος	SNT3	ΕΚΠΑ	36.41300	25.44710	
Κολούμπο	SNT4**	ΕΚΠΑ	36.4631	25.4243	35
Φηρά	SFIR	ΟΑΣΠ-ΙΤΣΑΚ	36.42240	25.42840	315

Το 2011, το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, με συντονιστές τους κ. Μακρόπουλο και Χουλιάρα, είχε ήδη ενισχύσει το σεισμολογικό του δίκτυο με τέσσερις σταθμούς περιμετρικά του ηφαιστείου και τριών επιπλέον στα νησιά Ίο, Ανάφη και Αμοργό. Με την επιχορήγηση από την Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. έγινε η αγορά παλιρροιογράφου τύπου DATAMAR. Τον ίδιο χρόνο, το εργαστήριο Σεισμολογίας του Ε.Κ.Π.Α. με συντονιστές τους κ. Βούλγαρη και Παπαδημητρίου, είχαν εγκαταστήσει τέσσερις σεισμολογικούς σταθμούς με αποστολή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για τους τρεις από αυτούς.

Το πρώην Ι.Τ.Σ.Α.Κ., ως μονάδα έρευνας του Ο.Α.Σ.Π., επίσης από το Φεβρουάριο του 2011, εγκατέστησε επιταχυνσιογράφο στα Φηρά. Τέλος, το Εργαστήριο Γεωφυσικής του Α.Π.Θ., με συντονιστές τους κ. Παπαζάχο και Κυρατζή, σε συνεργασία με το Ι.Μ.Π.Η.Σ., λειτουργούσε πριν από την κρίση του 2011-2012 ένα δίκτυο 6 αναλογικών και ενός ψηφιακού σταθμού. Ομοίως το 2011, στο πλαίσιο ενίσχυσης της παρακολούθησης της σεισμικής δραστηριότητας του ηφαιστείου, εγκαταστάθηκαν πρόσθετοι ψηφιακοί σταθμοί και ένας αναλογικός, πυκνώνοντας έτσι το δίκτυο. Τα δεδομένα από τους σταθμούς του Ε.Κ.Π.Α. και του Α.Π.Θ. καθώς και αποτελέσματα αναλύσεων με τη μορφή χαρτών και καταλόγων παρουσιάζονται στις ιστοσελίδες των εργαστηρίων τους του Ε.Κ.Π.Α. και του Α.Π.Θ. αντίστοιχα.



Εικόνα 3.3 Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών με τους εγκατεστημένους σεισμολογικούς σταθμούς στο νησί και άλλα θεματικά πεδία, όπως έχει διαμορφωθεί στην ιστοσελίδα του Ο.Α.Σ.Π.. (<http://www.idcom.gr/ss/map.htm>, [www.oasp.gr](http://www.oasp.gr))



Εικόνα 3.4 Σεισμολογικός σταθμός SNT5 στη Νέα Καμένη, Πανεπιστήμιο Αθηνών (<http://www.geophysics.geol.uoa.gr/stations/gmaps3/sohpage.php?net=HA&station=SNT5&lang=el>)



Πίνακας 3.3. Στοιχεία εγκατεστημένων σταθμών GPS στη Σαντορίνη (Ο.Α.Σ.Π., 2012)

Α/Α	ΣΤΑΘΜΟΣ	Γ.ΠΛΑΤΟΣ	Γ.ΜΗΚΟΣ	ΤΥΠΟΣ	ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ	ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΦΟΡΕΑΣ
1	SNTR	36.357652	25.357077	Trimble 5700	30-s	2006	NTUA/OXFORD
2	WNRV	36.387451	25.436656	ASHTCH PROFL EX500	30-s	205/2011	NTUA/OXFORD
3	DSLN	36.460877	25.389228	ASHTCH PROFL EX500	30-s	206/2011	NTUA/OXFORD
4	ΜΚΜΝ	36.243061	25.240454	Trimble NETRS	30-s	Ιουλ/2011	NTUA/OXFORD
5	KERA	36.417845	25.348113	Trimble NETRS	15-s	127/2006	PATRA/GEORGIAECH
6	NOMI	36.421665	25.428621	Trimble NETRS	15-s	129/2006	PATRA/GEORGIAECH
7	MOZI	36.455500	25.422100	Trimble NETR9	15-s	240/2011	PATRA/GEORGIAECH
8	PKMN	36.396148	25.384578	Trimble NETRS	15-s	184/2008	PATRA/GEORGIAECH
9	RIBA	36.455000	25.343600	Trimble NETR9	15-s	238/2011	PATRA/GEORGIAECH
10	SANT	36.433610	25.422610	Leica GR-10	1-s	256/2011	NKUA/METRIKA
11	SANT	36.433594	25.422605	Leica GR-10	30-s	Αυγ/2012	GEIN.NO A/METRIKA
12	HIR	36.23056	25.270898	Leica GRX1200	1-s	Δεκ/2012	GEIN.NO A/METRIKA



Εικόνα 3.5 Ίδρυση γεωδαιτικού σταθμού Πύργου Καλίστης από το ΓΕ.ΙΝ. (Γκανάς, 2014)

Πίνακας 3.4. Σημεία περιοδικών μετρήσεων GPS Πανεπιστημίου Πατρών Φορέας Λειτουργίας: Πανεπιστήμιο Πάτρας, Georgia Tech σε συνεργασία με UNAVCO και Ι.Μ.Π.Η.Σ. (Ο.Α.Σ.Π., 2012)

ASP1	36,3825	25,3497	Trimble R-9 / Topcon GB-1000	2006 May 13
KERA	36,4179	25,3481	Trimble R-9 / Topcon GB-1000	2006 May 07
NKM1	36,4151	25,3915	Trimble R-9 / Topcon GB-1000	2006 May 11
NKM2	36,4032	25,4086	Trimble R-9 / Topcon GB-1000	2006 May 13
PKM1	36,3985	25,3764	Trimble R-9 / Topcon GB-1000	2006 May 11
PKMN	36,3962	25,3846	Trimble R-9 / Topcon GB-1000	2008 May 29
PRT1	36,3862	25,4277	Trimble R-9 / Topcon GB-1000	2006 May 13
SKRS	36,4323	25,418	Trimble R-9 / Topcon GB-1000	2006 May 16
TH10	36,3653	25,4769	Trimble R-9 / Topcon GB-1000	2006 May 18
THR1	36,4689	25,369	Trimble R-9 / Topcon GB-1000	2006 May 16
THR2	36,4604	25,3994	Trimble R-9 / Topcon GB-1000	2006 May 16
THR3	36,4529	25,4237	Trimble R-9 / Topcon GB-1000	2006 May 16
THR4	36,4042	25,4307	Trimble R-9 / Topcon GB-1000	2006 May 18
THR5	36,3754	25,4256	Trimble R-9 / Topcon GB-1000	2006 May 18
THR6	36,3589	25,3893	Trimble R-9 / Topcon GB-1000	2006 May 20
THR7	36,3566	25,3594	Trimble R-9 / Topcon GB-1000	2006 May 20
THR8	36,3451	25,4377	Trimble R-9 / Topcon GB-1000	2006 May 20
THR9	36,4071	25,4789	Trimble R-9 / Topcon GB-1000	2006 May 18
TRS1	36,4581	25,3397	Trimble R-9 / Topcon GB-1000	2006 May 11
TRS2	36,4415	25,3548	Trimble R-9 / Topcon GB-1000	2006 May 11
TRS3	36,4266	25,3467	Trimble R-9 / Topcon GB-1000	2008 May 31

Πίνακας 3.5. Στοιχεία εγκατεστημένων γεωχημικών οργάνων & παλιρροιογράφου στη Σαντορίνη (Ο.Α.Σ.Π, 2012)

ΟΡΓΑΝΑ	ΦΟΡΕΑΣ ΔΙΑΘΕΣΗΣ
Σταθμός μέτρησης ροής CO <sub>2</sub> (2 τεμ.)	ΙΜΠΗΣ, Παν. Ρώμης
Παλιρροιογράφοι (4 τεμ)	ΙΜΠΗΣ
Θερμόμετρα χειρός (2 τεμ) (περιοδικές μετρήσεις)	ΙΓΜΕ
Ψηφιακά καταγραφικά θερμοκρασίας (2 τεμ.) (δεν έχει ακόμα τοποθετηθεί)	Ισπανικό ΕΚΕ
Όργανο μέτρησης ραδονίου (περιοδικές μετρήσεις)	ΙΓΜΕ
Φορητοί αέριοι χρωματογράφοι (3 τεμ.) (περιοδικές μετρήσεις)	ΙΓΜΕ, Παν. Ρώμης
Φορητά χημεία (2 τεμ.) (περιοδικές μετρήσεις)	ΙΓΜΕ
Κάμερα υπεριύθρων με άμεση μεταφορά καταγραφών	Παν. Φλωρεντίας
Κάμερα υπεριύθρων για λήψεις από αέρα (περιοδικές μετρήσεις)	Georgia Tech - USA
Όργανο μέτρησης CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> με άμεση μεταφορά καταγραφών (δεν έχει ακόμα τοποθετηθεί)	Παν. Παλέρμιο
Συσκευή μέτρησης ροής CO <sub>2</sub> (2 τεμ.) (περιοδικές μετρήσεις)	ΙΓΜΕ, Παν. Ρώμης
Παλιρροιογράφος	Γ.Ι. - Ε.Α.Α.

Η αγορά του παλιρροιογράφου (τύπου DATAMAR), έγινε από το ΓΕ.ΙΝ./Ε.Α.Α. στα πλαίσια των αναγκών της υποεπιτροπής σεισμολογικής παρακολούθησης, εγκαταστάθηκε στην ανατολική πλευρά της Σαντορίνης και τα δεδομένα της μεταφέρονταν σε πραγματικό χρόνο στο ΓΕ.ΙΝ., αποθηκεύονταν στο server και προβάλλονταν σε οθόνη. Αποτελεί περιουσία του Ο.Α.Σ.Π. ο οποίος εκχώρησε τη χρήση του στο ΓΕ.ΙΝ. για τη διάρκεια του φυσικού αντικείμενου της Παρακολούθησης του Ηφαιστείου.

Πίνακας 3.5. Θέσεις οργάνων Παρακολούθησης (Ο.Α.Σ.Π, 2012)

ΘΕΣΕΙΣ
Σταθμός CO <sub>2</sub> , Νέα Καμένη
Αέριος Χρωματογράφος, Νέα Καμένη
Κάμερα Υπεριύθρων, Νέα Καμένη
Θερμή πηγή όρμου Αγ. Γεωργίου, Νέα Καμένη
Θερμή πηγή όρμου Αγ. Νικολάου, Παλαιά Καμένη
Θερμή πηγή Πλάκας, Θήρα
Παλιρροιογράφος όρμου Ερινιάς, Νέα Καμένη
Παλιρροιογράφος όρμου Ταξιάρχη, Νέα Καμένη
Παλιρροιογράφος όρμου Αγ. Νικολάου, Παλαιά Καμένη
Παλιρροιογράφος Γιαλού, Θήρα

Πρέπει να αναφερθεί ότι οι σταθμοί παρουσίαζαν φθορές που προκαλούνταν από διάφορους λόγους (βανδαλισμούς από ζώα και ανθρώπους, κεραυνούς, συνεχή θερμική καταπόνηση κεραιών και λοιπών συσκευών) και απαιτούνταν συντηρήσεις και επισκευές με προβλήματα στο κόστος πρόσβασης.

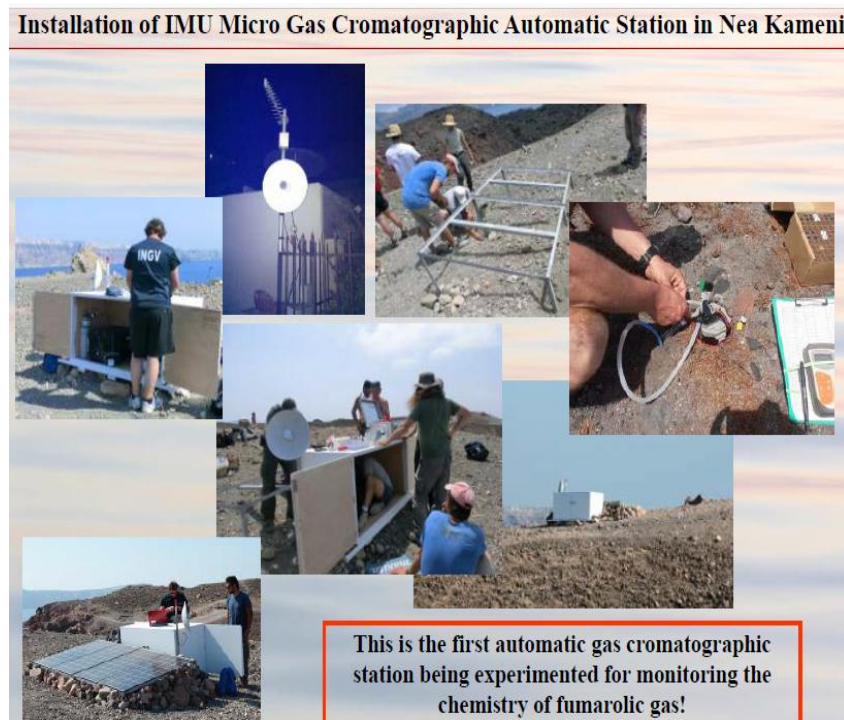
Ο κ. Βουγιουκαλάκης, ως συντονιστής της επιτροπής παρακολούθησης φυσικοχημικών μεταβολών, ενημέρωσε την επιτροπή για τους τρόπους με τους οποίους επιτυγχάνεται η παρακολούθηση της θερμοκρασίας, η οποία, στην περίπτωση δραστηριοποίησης, αυξάνεται. Έτσι λοιπόν στη Σαντορίνη υπάρχει:

- Συνεχής καταγραφή στη θερμοκρασία των θαλασσίων υδάτων από τους παλιρροιογράφους των όρμων της Ερινιάς και Ταξιάρχη στη Νέα Καμένη, στον όρμο του Αγ. Νικολάου στην Παλαιά Καμένη και στο Γυαλό της Θήρας.
- Συνεχής καταγραφή στη θερμοκρασία του εδάφους στη Νέα Καμένη από το σταθμό παρακολούθησης της ροής του CO<sub>2</sub> από το έδαφος.
- Συνεχής καταγραφή από υπέρυθρη κάμερα στη θερμική κατάσταση των αμιδίων στα δυτικά πρανή του κεντρικού κρατήρα της Νέας Καμένης.
- Περιοδική καταγραφή στη θερμοκρασία των αμιδίων στη Νέα Καμένη, στις θερμές πηγές της Παλαιάς Καμένης, της Νέας Καμένης και της Θήρας.
- Περιοδική παρακολούθηση στη θερμική κατάσταση της ευρύτερης περιοχής με τη βοήθεια του θερμικού καναλιού δορυφορικών εικόνων.

Οι ενόργανες παρατηρήσεις και καταγραφές του χημισμού αφορούν:

- Την περιοδική δειγματοληψία και ανάλυση στα θερμά ρευστά των αμιδίων της Νέας Καμένης. Αυτές έχουν ως στόχο τον εντοπισμό τυχόν αλλαγών αλλά και την ανίχνευση των αέριων φάσεων όπως το SO<sub>2</sub>.
- Τις αναλύσεις των πιο ενεργών αμιδίων στα εκλυόμενα αέρια από φορητό αέριο χρωματογράφο στη Νέα Καμένη, και τα αποτελέσματα αυτά μεταδίδονται στο Ηφαιστειολογικό Παρατηρητήριο του Ι.Μ.Π.Η.Σ. στο Φηροστεφάνι.
- Την αυτόματη μέτρηση της φυσικής ροής του CO<sub>2</sub> από ειδικό σταθμό ο οποίος μεταδίδει τα αποτελέσματα στο Ηφαιστειολογικό Παρατηρητήριο του Ι.Μ.Π.Η.Σ..
- Την περιοδική παρακολούθηση των CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> και Rn στα αέρια των εδαφών της Θήρας, Θηρασίας και στα θερμά ρευστά της Θήρας και των Καμένων, ως ένας δείκτης των ενεργών τεκτονικών διαδικασιών.
- Τις παρατηρήσεις και τις καταγραφές από τα όργανα που αναφέρθηκαν παραπάνω κατά τη διάρκεια του 2012. Συμπληρωματικά, όσον αφορά στη θερμική κατάσταση του δυτικού πρανού του κεντρικού κρατήρα της Νέας Καμένης, οι εικόνες που μεταφέρονταν στο παρατηρητήριο του Ι.Μ.Π.Η.Σ., ήταν επίσης διαθέσιμες και στο δικτυακό τόπο του Πανεπιστημίου της Φλωρεντίας όπου γίνονταν προσπάθειες για επεξεργασία, σύγκριση και αξιολόγηση των εικόνων με λογισμικό σε πραγματικό χρόνο.

- Στο κομμάτι της χημικής παρακολούθησης, εγκαταστάθηκε και λειτούργησε σύστημα συνεχούς παρακολούθησης της σύστασης των αερίων που διαχέονται από τις ατμίδες σε CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S και SO<sub>2</sub> και μετάδοσης των καταγραφών. Πραγματοποιήθηκαν περιοδικές δειγματοληψίες και πλήρης ανάλυση των στοιχείων και ισotόπων του C, των ρευστών από τις ατμίδες της Νέας Καμένης και τις θερμές πηγές και διαφυγές αερίων στη Νέα και Παλαιά Καμένη.



Εικόνα 3.6 Εγκατάσταση αερίου χρωματογράφου στη Νέα Καμένη (Βουγιουκαλάκης, 2013)

### 3.4. Συνέδρια

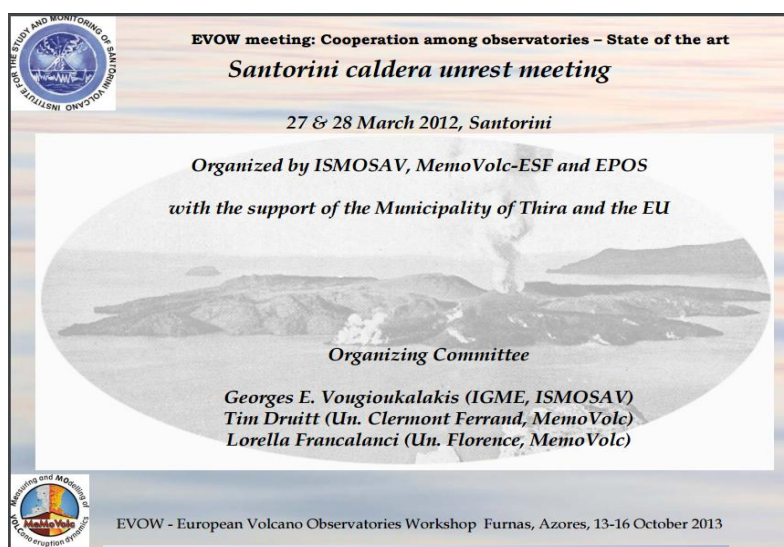
#### 3.4.1. MeMoVolc 2012



Στα πλαίσια συνεργασίας με τους ξένους επιστήμονες, 15 μέλη της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. παρευρέθησαν στο International workshop MeMoVolc (Measuring and Modelling Volcano Eruption Dynamics, πρόγραμμα που χρηματοδοτείται από το



European Science Foundation) με τον τίτλο «Unrest at Santorini Caldera, 2011-2012».



Εικόνα 3.7 Πρόσκληση για το workshop του MemoVolc στη Σαντορίνη (Βουγιουκαλάκης, 2013)

Πραγματοποιήθηκε στη Σαντορίνη, στις 27-28 Μαρτίου 2012 με κύριους διοργανωτές το MeMoVolc, το Ι.Μ.Π.Η.Σ. και το Δήμο Θήρας και συντονιστές τον Τ. Druitt από το Πανεπιστήμιο Clermont-Ferrand, τη L. Francalanci από το Πανεπιστήμιο της Φλωρεντίας και τον Γεώργιο Βουγιουκαλάκη από το Ι.Γ.Μ.Ε. Συνολικά, συμμετείχαν 42 επιστήμονες από 5 χώρες (Ελλάδα, Ιταλία, Γαλλία, Μ. Βρετανία, Ισλανδία), οι 11 από αυτούς ανήκουν σε φορείς που συμμετέχουν στο MeMoVolc, σε μία συνάντηση που αφορούσε τη συνεχιζόμενη διέγερση στην καλδέρα της Σαντορίνης. Η συμμετοχή του MeMoVolc στη συνάντηση προέκυψε από τη δυνατότητα του δικτύου MeMoVolc να εμπλέκεται στην παρακολούθηση και στην έρευνα σε ένα μεγάλο ευρωπαϊκό ηφαίστειο, στην περίπτωση που εξελισσεται μία διέγερση.



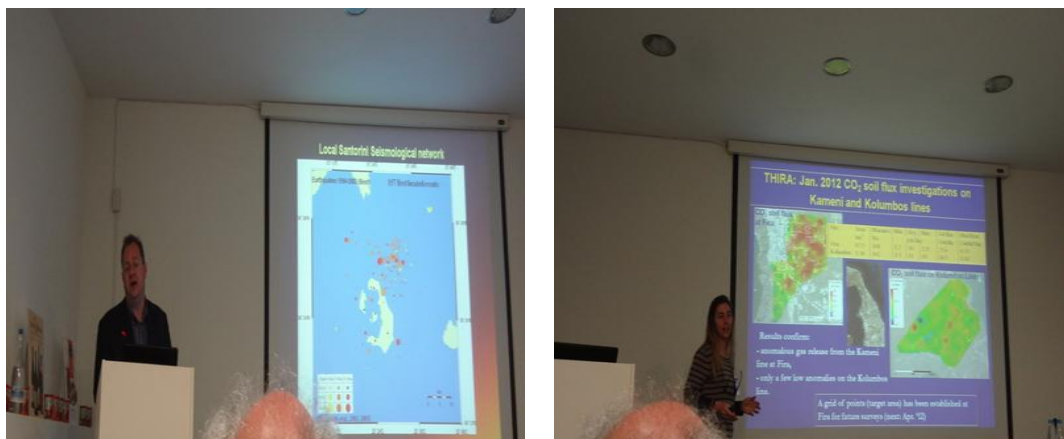
Εικόνα 3.8 Μ.Φυτίκας από το Ι.Μ.Π.Η.Σ. και .Κ.Μακρόπουλος από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο. (Προσωπικό αρχείο)

Οι στόχοι της συνάντησης ήταν:

1. Να φέρει σε επαφή τους Έλληνες επιστήμονες που συμμετέχουν στην παρακολούθηση της διέγερσης της καλδέρας με εμπειρογνώμονες από το εξωτερικό (ένα μέρος από αυτούς αντιπροσωπεύεται από τα μέλη του MeMoVoic), να παρέχουν στοιχεία, ερμηνείες και συμβουλές προς την Ειδική Επιστημονική Επιτροπή για την Παρακολούθηση του Ηφαιστείου της Σαντορίνης.

2. Να καθοριστούν δράσεις, πρωτοβουλίες και συνεργασίες έτσι ώστε να βελτιώσουν τις δυνατότητες παρακολούθησης στη Σαντορίνη και να αυξήσουν την κατανόηση στις διεργασίες που εμπλέκονται στη δημιουργία της αφύπνισης.

Ο Πρόεδρος της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. κ. Κοσμάς Στυλιανίδης πήρε το λόγο και έκανε μία αναφορά στο ιστορικό της Επιτροπής, στους στόχους και στα μέχρι τότε πεπραγμένα. Το λόγο πήραν επίσης, από ελληνικής πλευράς και ως μέλη της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. οι κ.κ. Φυτίκας, Μακρόπουλος, Βουγιουκαλάκης, Παπαζάχος, παρουσιάζοντας εργασίες τους σχετικά με το ηφαίστειο και την πρόσφατη δραστηριότητά του.



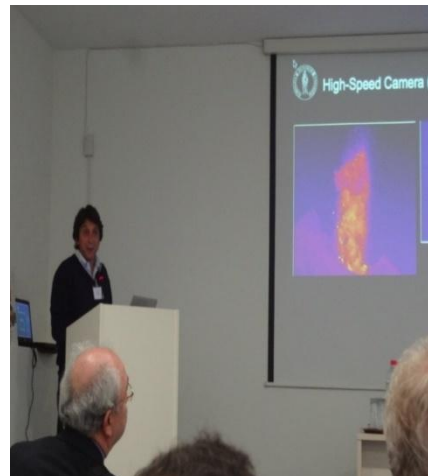
Εικόνα 3.9 Κ. Παπαζάχος από το Α.Π.Θ. και L. Francallazzi από το Πανεπιστήμιο Φλωρεντίας (Προσωπικό αρχείο)

Σύμφωνα με την απολογιστική αναφορά του workshop:

- Έγινε σύντομη ιστορική περιγραφή της δραστηριότητας της καλδέρας
- σύντομη ιστορική περιγραφή του υποθαλάσσιου ηφαιστείου Columbo
- αναδείχτηκε η ανάγκη σύστασης της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ.



- πραγματοποιήθηκαν 36 προφορικές παρουσιάσεις σχετικά με το ηφαιστείο της Σαντορίνης και τα αποτελέσματα της παρακολούθησης της μέχρι τότε δραστηριότητας τους ηφαιστείου
- πραγματοποιήθηκε εκτενής συζήτηση τη δεύτερη ημέρα
- Μία συνεδρία ήταν αφιερωμένη στην πρόγραμμα EPOS (<http://www.epos-eu.org/>), στην οποία Έλληνες, Ιταλοί και Ισλανδοί επιστήμονες, παρουσίασαν τις πρωτοβουλίες του EPOS στις αντίστοιχες χώρες τους, και πώς η Σαντορίνη μπορεί να επωφεληθεί από τις υποδομές του EPOS.



Εικόνα 3.10 F. Barberi από το Πανεπιστήμιο της Ρώμης και ο κ. M. Ripere από το Πανεπιστήμιο της Φλωρεντίας (Προσωπικό αρχείο)

Μέχρι το τέλος της συνάντησης, οι συμμετέχοντες είχαν συμφωνήσει να:

1. Συντονίζουν μια σειρά από έργα στην έρευνα και την παρακολούθηση της Σαντορίνης που θα υποβάλλονται στην «Ειδική Επιστημονική Επιτροπή Παρακολούθησης Ηφαιστείου Σαντορίνης» για έγκριση και προτάσεις. Τα έργα αυτά στη συνέχεια θα υποβάλλονταν για χρηματοδότηση στους διαφορετικούς εθνικούς φορείς χρηματοδότησης των συμμετεχόντων. Αυτό θα πραγματοποιούνταν από τις προτάσεις τέτοιων έργων από ορισμένες χώρες, κάποιες από τις οποίες εγκρίθηκαν από την Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. σε επίσημες επιστολές που στάλθηκαν σε ιδρύματα του εξωτερικού.

2. Συνέχιση μακροπρόθεσμων συζητήσεων σχετικά με την πιθανή πρόταση μεγαλύτερης χρηματοδότησης που θα αφορά αρκετές χώρες του MeMoVoic και θα απευθύνεται και για την Ελλάδα.

3. Υποβολή για δημοσίευση στο περιοδικό EOS ένα σύντομο κείμενο που θα συνοψιζε τα κύρια συμπεράσματα της συνάντησης.

Μετά τη συνάντηση ακολούθησε συνέντευξη τύπου στον τοπικό τύπο, στην οποία οι Έλληνες επιστήμονες παρουσίασαν τα κύρια συμπεράσματα του workshop.

### **3.4.2. International Forum on Satellite Earth Observation for Geo-Hazard Risk Management**

Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος (E.S.A.) διοργάνωσε στις 21-23 Μαΐου 2012, στο συνεδριακό κέντρο της Σαντορίνης, το International Forum on Satellite Earth Observation for Geo-Hazard Risk Management.

Σε συνεργασία με την Group on Earth Observations, το φόρουμ έδωσε την ευκαιρία σε διεθνείς εμπειρογνώμονες να συναντηθούν και να συζητήσουν πώς η διαστημική τεχνολογία μπορεί να βοηθήσει ώστε να προετοιμαστούμε και να ανταποκριθούμε στις φυσικές καταστροφές. Όσον αφορά στο ηφαίστειο της Σαντορίνης, στη θεματική ενότητα για τα ηφαίστεια παρουσιάστηκε η εργασία του κ. Παρχαρίδη από το Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο με τίτλο «Interferometric analysis of ground deformation at Santorini volcano». Στις 22 Μαΐου, η E.S.A. δημοσίευσε ένα άρθρο σχετικά με τη δραστηριότητα του ηφαιστείου της Σαντορίνης, τις εδαφικές παραμορφώσεις, όπως αυτές κατεγράφησαν από το δορυφόρο Envisat. Σε αυτό το άρθρο, ο Πρόεδρος της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. αναφέρει ότι κατόπιν αξιολόγησης των σεισμικών, γεωδαιτικών και γεωχημικών αλλαγών, τους τελευταίους μήνες το ηφαίστειο παρουσίαζε περιορισμένη δραστηριότητα, πολύ μικρότερη από εκείνη του 2011.

### **3.4.3. Volsam 2012**

Το Διεθνές Συνέδριο “Volcanism of the Southern Aegean in the frame of the broader Mediterranean area. Past volcanic history, present geohazards and future perspectives & opportunities” πραγματοποιήθηκε στη Σαντορίνη από 10-12 Οκτωβρίου 2012. Σ’αυτό πήραν μέρος μέλη της επιτροπής όπως οι κ. κ. Βουγιουκαλάκης, Παπαζάχος κ.α. εκτός επιτροπής και ξένοι επιστήμονες, όπου μία ολόκληρη θεματολογία αποτελούσε τη σεισμο-ηφαιστειακή κρίση της Σαντορίνης 2011-2012 με ενδιαφέρουσες εργασίες.

### **3.4.4. Voland 2014**



1st International Conference on  
Volcanic Landscapes

Το 1<sup>ο</sup> Διεθνές Συνέδριο για τα Ηφαιστειακά Τοπία πραγματοποιήθηκε στη Σαντορίνη από 16-18 Οκτωβρίου 2014. Στο πρόγραμμα, μεταξύ των άλλων, ομιλητές ήταν ο κ. Βουγιουκαλάκης, Φυτίκας και Zuccaro με ομιλίες που αφορούσαν την πρόσφατη ηφαιστειακή κρίση όπως «The effect of volcanic landscape on seismic hazard assessment: The case of Santorini caldera and the 2011-2012 volcanic unrest», «Volcanic risk in Santorini Island and first assessment of buildings vulnerability».

Το 2<sup>ο</sup> συνέδριο Voland θα πραγματοποιηθεί και πάλι στη Σαντορίνη το Μάιο του 2017.

### **3.4.5. NEMO International Conference 150 Years of Studying the Santorini Volcanoes (1866 - 2016)**

Στη Σαντορίνη πραγματοποιήθηκε από 3-5 Νοεμβρίου 2016 το Διεθνές Συνέδριο «NEMO. 150 Χρόνια μελέτης του ηφαιστείου της Σαντορίνης». Τα θέματα που αναπτύχθηκαν ήταν: Επιστήμη και Σαντορίνη το 19<sup>ο</sup> αιώνα, Επιστήμη και Σαντορίνη σήμερα, Ηφαιστεια-Πολιτισμός και σήμερα.

Μέλη της Επιτροπής έχουν παρουσιάσει τις εργασίες τους που αφορούν στην ηφαιστειακή κρίση του 2011-2012 σε ελληνικά και διεθνή συνέδρια όπως το 14<sup>ο</sup> Διεθνές Συνέδριο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας-Θεσσαλονίκη (2016), συνέδρια της EGU-Βιέννη (2014) και IUGG-Πράγα (2015).

## **3.5. Ξένοι Επιστήμονες**

Ήδη με την έναρξη λειτουργίας της επιτροπής, ο Πρόεδρος εκ μέρους όλων των μελών, απέστειλε επιστολή σε 30 ξένους επιστήμονες, γνωστοποιώντας τους το ρόλο της, τις 4 υποεπιτροπές, προσκαλώντας τους για συνεργασία. Όλοι τους απάντησαν θετικά, ενώ οι περισσότεροι από αυτούς έλαβαν μέρος στο workshop του MeMoVolc και αντάλλαξαν απόψεις με τους έλληνες συναδέλφους τους.

Μετά το λήξη του MeMoVolc, ο πρόεδρος της επιτροπής ήρθε σε επαφή με τους F.Barberi από το Πανεπιστήμιο της Ρώμης, S.Sparks από το Πανεπιστήμιο του Bristol και T.Druitt ώστε να υποστηρίξουν την ελληνική προσπάθεια. Υπήρξε η άποψη να έχουμε τη συνδρομή των ξένων ειδικών σε θέματα που η ελληνική επιτροπή ήταν λιγότερο έτοιμη ή έμπειρη, παρότι οι ελληνικές ομάδες ήταν αυτόρκες, ιδιαίτερα σε θέματα σεισμικότητας και παραμορφώσεων. Οι δράσεις που πρότειναν οι ξένοι επιστήμονες άπτονταν και των 4 υποεπιτροπών, ήταν ανεξάρτητες η μία από την άλλη και οι προτάσεις τους θα αξιολογούνταν από τους 4 συντονιστές με βάση τα οικονομικά στοιχεία, την αναγκαιότητα των προτάσεων, τη δυνατότητα συνεργασίας με ελληνικές ομάδες και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων. Προτάθηκε για κάθε πρόταση των ξένων να υπάρχει τεκμηριωμένη αρνητική ή θετική απάντηση. Αυτόνομο ήταν ότι αν οι ελληνικές ομάδες κάλυπταν κάποια δραστηριότητα πλήρως, τότε η ξένη πρόταση θα απορρίπτονταν. Πολύ βασικό ήταν το οικονομικό ζήτημα καθώς δεν υπήρχε ζήτημα ελληνικής χρηματοδότησης προς τις ξένες προτάσεις. Αν οι ξένοι μπορούσαν να βρουν δική τους χρηματοδότηση ή αν οι ελληνικές ομάδες θα

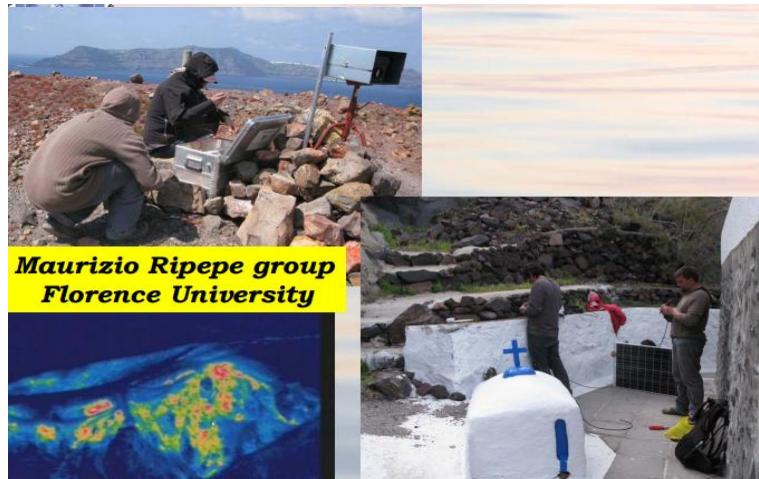
έβρισκαν χρηματοδότηση προσεχώς, τότε θα γινόταν δεκτή μία συγκεκριμένη πρόταση. Φυσικά, η ελληνική επιτροπή δεν θα σταματούσε τις όποιες ξένες ερευνητικές ομάδες ήθελαν να δραστηριοποιηθούν στο ηφαίστειο.

Η γαλλική ομάδα με επικεφαλής τον Druitt, έστειλε ένα πολυσέλιδο έγγραφο όπου οι προτάσεις της αφορούσαν την περίπτωση της συνεχιζόμενης φάσης της διέγερσης και την περίπτωση της πιθανής έκρηξης του ηφαιστείου, με μικρό ή περιορισμένο κόστος και συνεργασία με τους Έλληνες συναδέλφους. Η ιταλική ομάδα με τον κ. Barberi επικεφαλής, παρείχε 13 προτάσεις άμεσου ενδιαφέροντος με μεγάλο κόστος. Η Ιταλική Πολιτική Προστασία απάντησε ότι δεν μπορεί να χρηματοδοτήσει τις προτάσεις. Τελικά, η γαλλική και η ιταλική πρόταση θα γίνονταν δεκτές υπό όρους.

Ο Steven Sparks, μετά από αλληλογραφία που είχε με τον πρόεδρο της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. το Μάιο του 2012, απέστειλε προς την επιτροπή μία αναφορά με τίτλο «Initial assessment of ash and gas hazard in a future eruption of Santorini» με συγγραφείς τον ίδιο και τους T.Hincks, J.C.Phillips, T. Sheldrake και Γ. Βουγιουκαλάκη στα πλαίσια της συνεργασίας του Πανεπιστημίου του Bristol και του I.G.M.E.. Η ίδια αναφορά επρόκειτο να σταλεί στον Augusto Neri από το I.N.G.V. καθώς και στην Αγγλική επιστημονική ομάδα η οποία συμβούλευε τη Βρετανική κυβέρνηση για την κατάσταση της Σαντορίνης. Στην εν λόγω αναφορά τονίζονταν τα εξής:

- Στην περίπτωση της έκρηξης, θα υπήρχαν σημαντικοί κίνδυνοι από τα αέρια και τη στάχτη οι οποίοι δεν θα αποτελούσαν κίνδυνο για τις ανθρώπινες ζωές αλλά θα προκαλούσαν περιβαλλοντικές επιπτώσεις, προβλήματα στις μετακινήσεις, ιδίως στις αεροπορικές και θα έθεταν σε κίνδυνο την υγεία των κατοίκων. Γι αυτό το λόγο, θα έπρεπε οι τοπικές αρχές να αναπτύξουν στρατηγικές μετριασμού
- Για τις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης, καλό θα ήταν να χρησιμοποιηθεί το βόρειο κομμάτι του νησιού μιας και ο κίνδυνος από τη στάχτη και τα αέρια θα ήταν μικρότερος εκεί
- Θα ήταν πολύ σημαντικό να υπάρξει παρακολούθηση, μετρήσεις στάχτης και αερίων και λήψη δειγμάτων τους, τόσο πριν όσο και κατά τα πρώτα στάδια της έκρηξης. Η ομάδα του Bristol μπορούσε να βοηθήσει σ' αυτό και να συμβουλέψει σε θέματα εκπαίδευσης

Από τη μεριά της η Ελληνική Πολιτεία, απέστειλε το Μάιο του 2012, δια του Γενικού Γραμματέα Δημοσίων έργων κ. Γιάννη Οικονομίδη, έγγραφο για επιστημονική συνεργασία στην παρακολούθηση του Ηφαιστείου της Σαντορίνης, στους κ.κ. William Hague, από το Foreign and Commonwealth Office στο Λονδίνο, Pierre Briole από και Claude Jaupart από το Πανεπιστήμιο του Παρισιού, Pierre Schiano από το Πανεπιστήμιο Blaise Pascal του Clermont-Ferrand, Franco Gabrieli από την Πολιτική Προστασία της Ιταλίας διερευνώντας και μία πιθανή χρηματοδότηση από τους φορείς τους ή την Ευρωπαϊκή Ένωση.

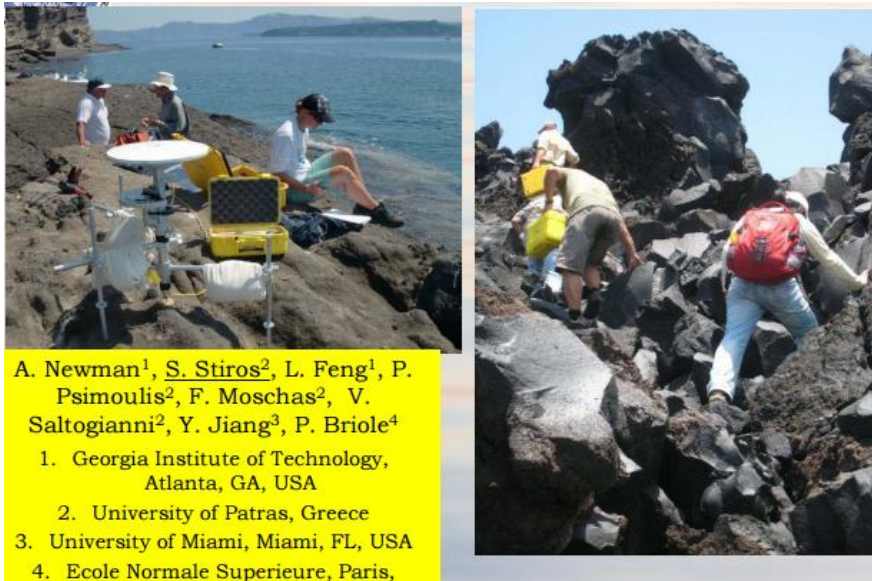


Εικόνα 3.11 Η επιστημονική ομάδα του M.Ripepe από το Πανεπιστήμιο της Φλωρεντίας (Βουγιουκαλάκης, 2013)

Αρκετοί από τους ξένους επιστήμονες εγκατέστησαν δικό τους εξοπλισμό με δικά τους έξοδα, όπως:

- Υπέρυθρη κάμερα από τον M. Ripepe, εγκατάσταση σειсмоγράφου στην Καμένη και σύστημα καταγραφής υποήχων.
- Ομάδα Ιταλών από το Πανεπιστήμιο της Ρώμης, Φλωρεντίας, Κατάνια, Παλέρμο, μετρούσαν τα γεωχημικά με αέριο χρωματογράφο ο οποίος έδινε αναλύσεις CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> κλπ. και εγκατέστησαν κάμερα θερμοκρασιακής παρακολούθησης.
- Ο A.Newman έστειλε τη θερμική κάμερα για το ελικόπτερο στη βάση της Σαντορίνης την οποία δάνειζαν οι Αμερικάνοι.
- Ο G. Zuccaro ήρθε με την ομάδα του στη Σαντορίνη για μελέτη δομικής τρωτότητας με δικά τους έξοδα και δεσμεύτηκαν να διαθέσουν τα αποτελέσματα στην επιτροπή.
- Ο D. Pyle θα λάμβανε επεξεργασμένες αεροφωτογραφίες από την Πολιτική Αεροπορία.





Εικόνα 3.12 Η επιστημονική ομάδα του A. Newman από το Georgia Tech, USA με τους στενούς της συνεργάτες Στείρο κ.α. από το Πανεπιστήμιο Πατρών (Βουγιουκαλάκης, 2013)

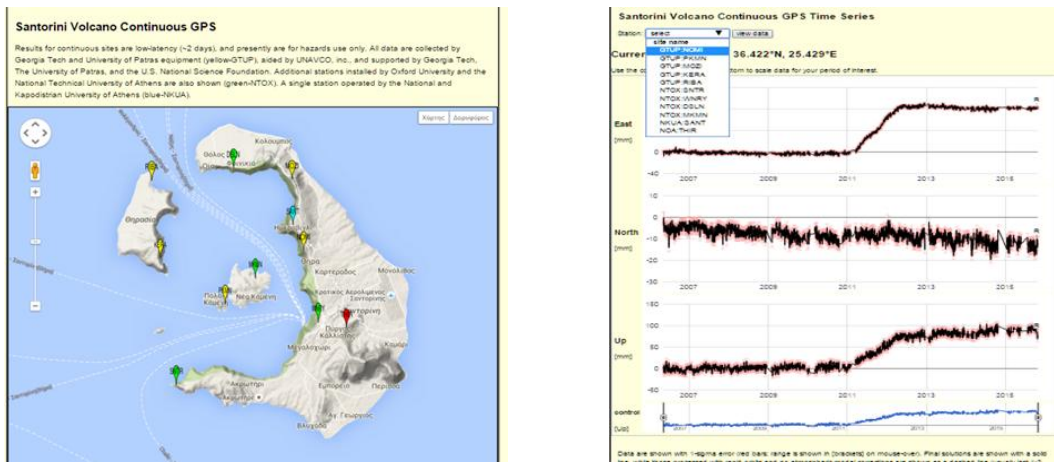


Εικόνα 3.13 Η επιστημονική ομάδα του O.Vaseli από το Πανεπιστήμιο της Φλωρεντίας στη Σαντορίνη (Βουγιουκαλάκης, 2013)

Οι μετρήσεις και η επεξεργασία τους γίνονταν από την ελληνική επιστημονική κοινότητα, όμως κάποιες φορές χρειάστηκε και η βοήθεια από τους ξένους ηφαιστειολόγους της Οξφόρδης (Παραδείσης, 2012).

Σε συνεργασία του Πανεπιστημίου Πατρών και του A. Newman (Georgia Tech), πραγματοποιούταν επίλυση των δεδομένων από τα GPS σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Τα αποτελέσματα διατίθενται σε μορφή χρονοσειρών στον ιστότοπο: <http://geophysics.eas.gatech.edu/newman/research/Santorini/> ο οποίος

αναβαθμίστηκε το 2014, με σκοπό την παροχή λεπτομερούς πληροφορίας για επιλεγόμενα χρονικά διαστήματα για κάθε σταθμό μέσα από απλά χειριζόμενο μενού.



Εικόνα 3.14 Η νέα διάταξη της ιστοσελίδας προβολής των χρονοσειρών των μόνιμων σταθμών (Στείρος, 2015)



## Κεφάλαιο 4. Σχεδιασμός – Μέτρα πρόληψης

Τον Ιούνιο του 2013, και μετά τη 10<sup>η</sup> συνεδρίαση της Επιτροπής, αναμορφώθηκε και οριστικοποιήθηκε από όλα τα μέλη της Επιτροπής, η τελική έκθεση σχετικά με τα σενάρια επαναδραστηριοποίησης και εκτίμησης ηφαιστειακών κινδύνων του ηφαιστειακού συγκροτήματος της Σαντορίνης. Συντάχθηκε από τα μέλη της 4<sup>ης</sup> υποεπιτροπής Πολιτικής Προστασίας με συντονιστή τον καθηγητή κ. Μακρόπουλο και στόχος της ήταν η διατύπωση των σεναρίων επαναδραστηριοποίησης του ηφαιστείου. Απευθυνόταν στη Γ.Γ.Π.Π. με σκοπό να συμβάλει στο έργο της για το σχεδιασμό των μέτρων προστασίας και την εποπτεία εφαρμογής τους. Η Έκθεση στηρίζεται στα στοιχεία της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ, τα οποία όμως δεν αναλύονται λόγω του μεγάλου φόρτου τους. Είναι όμως διαθέσιμα προς την Γ.Γ.Π.Π. αν και εφόσον ζητηθούν.

Πρέπει να τονιστεί το γεγονός της αβεβαιότητας στις εκτιμήσεις που έχουν γίνει. Τα ποσοτικά στοιχεία για κάθε σενάριο που έχει προταθεί, να μεν βασίζονται σε συγκεκριμένες αναλύσεις, πλην όμως τα στοιχεία που παρουσιάζονται δεν αντιπροσωπεύουν κατ' ανάγκη πλήρως τεκμηριωμένα αποτελέσματα που δεσμεύουν την Επιτροπή ως προς την ακρίβειά τους. Οι αβεβαιότητες οφείλονται:

- Στο ότι τα δεδομένα έχουν μία εγγενή αβεβαιότητα, η οποία μειώνεται με την προοδευτική αύξηση της ενόργανης παρακολούθησης
- Οι προσομοιώσεις κατά τους υπολογισμούς, στηρίζονται σε απλουστευμένες παραδοχές, που μπορεί να έχουν αποκλίσεις στην πραγματικότητα
- Τα φαινόμενα που περιγράφονται μπορεί να έχουν διαφορετική ένταση, συχνότητα εμφάνισης ή και χαρακτηριστικά από αυτά που τυπικά περιγράφονται. Αυτό μπορεί να ισχύει στην περίπτωση των σεισμικών δονήσεων, των οποίων το μέγεθος εκτιμήθηκε με βάση σαφώς τα στοιχεία της περιόδου 2011-2012 αλλά και τις προσεγγιστικές ανάδρομες αναλύσεις από παλαιότερες ιστορικές εκρήξεις

Οι αβεβαιότητες μπορούν να μειωθούν με την συνεχή και απρόσκοπτη λειτουργία των δικτύων παρακολούθησης ώστε να αξιολογούνται οι πληροφορίες και τα δεδομένα από κατάλληλο επιστημονικό κλιμάκιο. Το κλιμάκιο θα συντονίζεται με ευθύνη των επιστημονικών φορέων παρακολούθησης σε συνεργασία και με την εποπτεία της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. Ανάλογα με την εξέλιξη του φαινομένου και την παρακολούθησή του σε πραγματικό χρόνο, θα προσαρμόζεται ο σχεδιασμός και η λήψη των κατάλληλων μέτρων. Επιπροσθέτως, νεώτερες έρευνες, μελέτες και εργασίες θα πρέπει να αξιολογούνται και να ενσωματώνονται, επικαιροποιώντας τα σενάρια και τις εκτιμήσεις της έκθεσης του Ιουνίου 2013.

Στην περίπτωση της ηφαιστειακής διέγερσης, θα πρέπει να εγκατασταθούν στο νησί οι αρμόδιες επιστημονικές ομάδες παρακολούθησης, σε κέντρο παρακολούθησης κατάλληλο και ασφαλές ως προς τα διαθέσιμα δίκτυα, πιθανόν στην Οία, στα βόρεια του νησιού. Η Οία, έχει προνομιακή θέση σε σχέση με την επικρατούσα φορά των ανέμων και έχει οπτική επαφή με τις Καμένες.

Έτσι λοιπόν, τα σενάρια επαναδραστηριοποίησης του ηφαιστείου της Σαντορίνης που προτάθηκαν από την Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ είναι ένα ακραίο σενάριο με μία έκρηξη υπο-πλινιακού τύπου και ένα πιθανότερο σενάριο με μία βουλκάνιου τύπου έκρηξη.

#### **4.1. Ακραίο σενάριο.**

Δεν μπορεί να θεωρηθεί απίθανη η εκδήλωση τέτοιας έκρηξης τα χαρακτηριστικά της οποίας αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο 1, δεδομένου ότι οι αποθέσεις τέφρας υπο-πλίνιας έκρηξης βρίσκονται ενδιαστωμένες με τις αποθέσεις μεγάλων εκρηκτικών γεγονότων Μινωικού τύπου εκρήξεων. Για το άμεσο μέλλον δεν φαίνεται η πιθανότητα υπο-πλίνιας έκρηξης μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από τις έρευνες και τις μελέτες που να οδηγούν σε τέτοια εκτίμηση. Παρ όλα αυτά, η Πολιτική Προστασία πρέπει να λάβει υπόψη της και αυτό το σενάριο στο σχεδιασμό της (Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ, 2013).

#### **4.2. Πιθανότερο σενάριο**

Εάν η κρίση συνεχιστεί και είναι μη αναστρέψιμη στη πορεία της, τότε το πιθανότερο σενάριο είναι να εκδηλωθεί μία «ιστορικού τύπου» ενδοκαλαδική επαναδραστηριοποίηση των ηφαιστειακών κέντρων των Καμένων. Πρόκειται για ηφαιστειακή δράση αντίστοιχη με αυτές των ιστορικών χρόνων που δημιούργησαν τις νησίδες της Παλαιάς και Νέας Καμένης. Οι εκρήξεις θα είναι κυρίως «βουλκάνιου τύπου», οι οποίες παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 1, παρόμοιες με την ηφαιστειακή δραστηριότητα στις Καμένες το 1925-1928.

Η Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. στην τελική αναφορά της προς τη Γ.Γ.Π.Π:

- ανέλυσε την αναγκαιότητα της συνεχούς παρακολούθησης του ηφαιστείου, παρέθεσε ιστορικό ηφαιστειότητας, κυρίως από το 1707 και μετά
- περιέγραψε την μέχρι τότε υπάρχουσα κατάσταση
- ανέλυσε λεπτομερώς τα χαρακτηριστικά των δύο σεναρίων επαναδραστηριοποίησης με τις βουλκάνιου τύπου εκρήξεις (πιθανότερο σενάριο) και την υπο-πλίνιου τύπου δραστηριότητα (ακραίο σενάριο). Η ανάλυση κινδύνου περιελάμβανε την περιγραφή όλων των κινδύνων, των πρόδρομων φαινομένων, τις πιθανές επιπτώσεις στον πληθυσμό, στις

υποδομές, στις επηρεαζόμενες περιοχές και στα μέτρα περιορισμού και αποκατάστασης.

- Παρουσίασε τα αποτελέσματα των τιμών μέγιστης εδαφικής ταχύτητας, μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης και έντασης για τους οικισμούς του νησιού
- έκανε προτάσεις ως προς τον σχεδιασμό της Πολιτικής Προστασίας
- εξέδωσε δύο χάρτες κατανομής ζωνών ηφαιστειακού κινδύνου για τη Σαντορίνη, έναν για το πιθανότερο σενάριο και έναν για το ακραίο σενάριο (οι οποίοι παραμένουν μέχρι τώρα αδημοσίετοι). Σε αυτούς φαίνονται οι περιοχές που θα πληγούν από συγκεκριμένες εντάσεις σεισμών, το εύρος των περιοχών με ροές λάβας, υδρο-ηφαιστειακές εκρήξεις Surtsey, εναιώρωση στάχτης και αερίων στην ατμόσφαιρα, εκτίναξη αναβλημάτων, οι θέσεις των ηφαιστειακών πόρων, οι περιοχές με διαφορετικό βαθμό κατολισθητικού κινδύνου και τέλος όλες οι διαδρομές των μέσων μεταφοράς.

Η λεγόμενη «γραμμή των Καμένων» είναι η ζώνη πλάτους περίπου 2 km και μήκους 13 km ΒΑ, εκεί όπου κατανέμονται οι πόροι όλων των ιστορικών υποθαλάσσιων και χερσαίων ενδοκαλδερικών ηφαιστειακών κέντρων και αναμένονται και νέοι ηφαιστειακοί πόροι σε περίπτωση επαναδραστηριοποίησης. Οι ηφαιστειακοί πόροι είναι από ένας έως έξι και βρίσκονται πάνω στη γραμμή των Καμένων. Τα ηφαιστειακά κέντρα μένουν ενεργά συνήθως από 1 έως 5 χρόνια και στατιστικά, εκτιμάται ότι είναι σε ευθεία αντιστοιχία με τη διάρκεια της περιόδου ηρεμίας από το προηγούμενο ηφαιστειακό επεισόδιο. Με βάση αυτά τα στατιστικά στοιχεία, στην περίπτωση της επαναδραστηριοποίησης των ηφαιστειακών κέντρων στη Σαντορίνη σήμερα, το ηφαίστειο θα παραμείνει ενεργό για 3 περίπου χρόνια (Βουγιουκαλάκης, 2012)

Στα πρώτα στάδια της ηφαιστειακής δράσης, η εξέλιξη μπορεί να είναι αργή έως γρήγορη. Σε ορισμένες περιπτώσεις, παράλληλα με την αργή ανάδυση του μάγματος, μπορεί στην επιφάνεια να προκαλούνται μικρές υδροθερμικές εκτονώσεις. Η πορεία του μαγματικού νέφους στα 200-300 m ύψος ελέγχεται από τους ανέμους. Τα προβλήματα δημιουργούν η στάχτη και τα αέρια που προκαλούν αναπνευστικά και οφθαλμολογικά προβλήματα, καταστροφή στις καλλιέργειες και μόλυνση των αποθεμάτων κυρίως βρόχινου νερού, από την όξινη βροχή. Η εκχυτική φάση, οι ροές λάβας από τις ρωγμές των πρानών προς τα κατόντη, εκδηλώνεται συνήθως αμέσως μετά την αρχική εξωθητική φάση όπου δημιουργούνται θόλοι.

Το μάγμα που εκτιμήθηκε ότι μετακινήθηκε σε ρηχό περιβάλλον την παρούσα ηφαιστειακή κρίση ήταν  $14 \cdot 10^6 \text{m}^3$  και αντιστοιχεί στο 11% ή στο 13% αυτού που αναμένεται να παραχθεί από την ενδεχόμενη έκρηξη. Αυτό όμως δε σημαίνει ότι υπολείπονται ακόμα  $90-108 \cdot 10^6 \text{m}^3$  μάγματος για την εκδήλωση της ηφαιστειακής δράσης, καθώς δε γνωρίζουμε το συνολικό όγκο του μάγματος που μετακινήθηκε στα ρηχά από το 1950 έως την εκδήλωση της κρίσης. Όλες αυτές οι ενδείξεις δε σημαίνουν ότι δεν είναι πιθανή μία ηφαιστειακή δράση στο αμέσως επόμενο χρονικό διάστημα. Άλλωστε υπάρχουν περιπτώσεις όπου ο παραγόμενος όγκος μάγματος

είναι κατά πολύ μεγαλύτερος από αυτόν που εκτιμάται από τις τοπογραφικές παραμορφώσεις και αυτό οφείλεται στη συμπεριφορά των αερίων της μαγματικής μάζας που είναι συσσωρευμένη στο μαγματικό θάλαμο και στη μετακίνηση της οροφής αλλά και του πυθμένα του μαγματικού θαλάμου.

Αναμένονται να εμφανιστούν πρόδρομα φαινόμενα αρκετές ημέρες πριν από την έναρξη της ηφαιστειακής δράσης όπως:

- Αύξηση σεισμικότητας μακράς περιόδου
- Εκθετική αύξηση της σεισμικής ενέργειας
- Μείωση στο βάθος των υποκέντρων των σεισμικών συμβάντων
- Μείωση του εκτιμώμενου βάθους της πηγής παραμόρφωσης
- Βύθιση των περιοχών γύρω από τις θέσεις των αναμενόμενων πόρων
- Αύξηση στο ρυθμό της παραμόρφωσης ή χωρική διαφοροποίηση στην κατανομή της παραμόρφωσης
- Ανίχνευση παρουσίας αερίων μαγματικών φάσεων SO<sub>2</sub>, αύξηση των ρυθμών έκλυσης CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, διαφοροποίηση ισοτοπικών λόγων He, C.
- Αύξηση στο ρυθμό έκλυσης των θερμών ρευστών από τις ατμίδες και τις θερμές πηγές (Vougioukalakis et al., 2016)

Πιθανόν να εκδηλωθούν σεισμοί μικρού εστιακού βάθους αλλά σημαντικού μεγέθους οι οποίοι μπορεί να προκαλέσουν βλάβες στα κτίσματα των οικισμών στα Φηρά, Φηροστεφάνι και Ημεροβίγλι αλλά και προβλήματα στα πρανή της καλδέρας όπως κατολισθήσεις, αποκολλήσεις και καταπτώσεις βράχων. Αυτό αποτελεί μία ιδιαίτερη αντιμετώπιση από την πλευρά της Πολιτικής Προστασίας. Τέτοιου είδους γεωτεχνικά προβλήματα όπως τα παραπάνω και κατολισθήσεις από ασταθείς κώνους κορρημάτων του ρηχού υποθαλάσσιου τμήματος των πρανών, θα μπορούσαν να προκαλέσουν μικρό τσουνάμι που θα έθεταν σε κίνδυνο συγκεκριμένες περιοχές. Γίνονται μελέτες για την εκτίμηση της επικινδυνότητας από τη διασπορά της ηφαιστειακής στάχτης και των αερίων του ηφαιστειακού νέφους.

Από τις θέσεις εκδήλωσης των έντονων πρόδρομων φαινομένων και τις καταγραφές των δικτύων παρακολούθησης θα υπάρξει η πρώτη προσπάθεια εκτίμησης της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. για την πιθανή θέση των αναμενόμενων ηφαιστειακών πόρων. Αναμένονται οι ηφαιστειακοί πόροι να βρίσκονται πάνω στη «γραμμή Καμένης», στο χερσαίο κομμάτι της Νέας Καμένης ή στο ρηχό θαλάσσιο χώρο μεταξύ Παλαιάς και Νέας Καμένης. Η Επιτροπή θα ειδοποιήσει τις αρμόδιες αρχές Πολιτικής Προστασίας για τα μέτρα που πρέπει να ενεργοποιηθούν και που αφορούν τη ζώνη υψηλού κινδύνου από υδροθερμικές εκρήξεις, θερμοπίδακες ατμού, εκτόνωσης αερίων στο θαλάσσιο χώρο, από εκρήξεις διάνοιξης πόρου. Η ζώνη αυτή

είναι η χέρσος στις νησίδες Παλαιά και Νέα Καμένη, καθώς και ο θαλάσσιος χώρος, σε ακτίνα 2000 m από τους αναμενόμενους πόρους.

Με βάση λοιπόν την εκτίμηση των πρόδρομων αυτών φαινομένων, η Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. θα ήταν αυτή που θα πρότεινε τη μετάβαση από το κίτρινο στο πορτοκαλί. Κλιμάκιο της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. θα πρέπει, από τη στιγμή που αρχίσουν να εκδηλώνονται τα έντονα πρόδρομα φαινόμενα, να βρίσκεται σε επιχειρησιακό κέντρο στη Θήρα, να συμβουλεύει και να στηρίζει τους υπεύθυνους για την οργάνωση και το συντονισμό της Πολιτικής Προστασίας.

Στην περίπτωση της δραστηριοποίησης του ηφαιστείου, τα κυριότερα προβλήματα που θα προκληθούν είναι:

- Προβλήματα στις αερομεταφορές, στη λειτουργία του αεροδρομίου της Θήρας. Η ηφαιστειακή στάχτη στον αέρα καθιστά αδύνατη τη χρήση του αεροδρομίου ενώ μετά την απόθεση της στάχτης στον αεροδιάδρομο απαιτούνται μέτρα καθαρισμού του και απομάκρυνσής της. Εκτιμάται ότι το αεροδρόμιο θα σταματάει τη λειτουργία του για κάποια χρονικά διαστήματα
- Προβλήματα στη ναυσιπλοΐα στην καλδέρα της Σαντορίνης. Σοβαρά προβλήματα θα προκληθούν στο λιμάνι του Αθηνιού από τα ηφαιστειακά νέφη, τις εκρήξεις και τις κατολισθήσεις αλλά και στην περιοχή πρόσδεσης των κρουαζιερόπλοιων. Απαιτείται γρήγορη εξεύρεση εναλλακτικών λύσεων για τις θαλάσσιες επικοινωνίες
- Προβλήματα στα δίκτυα παροχής ενέργειας και τηλεπικοινωνιών. Η ηφαιστειακή στάχτη μπορεί να προκαλέσει βραχυκυκλώματα και γι αυτό απαιτούνται ειδικά μέτρα για την εξασφάλιση της λειτουργίας των υπαρχόντων υποδομών. Οι ασύρματες επικοινωνίες μπορούν να εξασφαλιστούν με ομάδες άμεσης επέμβασης της πολιτικής προστασίας
- Προβλήματα στην υγεία και στις μετακινήσεις των πολιτών. Προκαλούνται αναπνευστικά προβλήματα από την αιωρούμενη στάχτη και τα αέρια, προβλήματα στην ορατότητα, στη χρήση των αυτοκινήτων και στο οδικό δίκτυο.
- Προβλήματα στην αγροτική παραγωγή, καταστροφές στις καλλιέργειες, στο ζωικό βασίλειο (αμπέλια, μέλισσες) κυρίως λόγω της όξινης βροχής. Επίσης πιθανή μόλυνση δεξαμενών αποθήκευσης νερού

Όλα τα παραπάνω απαιτούν κατάρτιση σχεδίων έκτακτης ανάγκης, προμήθεια εξοπλισμού για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που αναμένονται, έγκαιρη οργάνωση μέτρων εκπαίδευσης και πληροφόρησης των πολιτών (σχολείο, διαδίκτυο, τηλεόραση,) εξασφάλισης της επάρκειας των υποδομών (π.χ. κέντρο υγείας).

Μεγάλη σημασία έχει το κομμάτι ενημέρωση-πληροφόρηση-επικοινωνία με το κοινό και τα Μ.Μ.Ε. πριν και κατά τη διάρκεια της κρίσης. Η επικοινωνία θα πρέπει να πραγματοποιείται μέσω της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. Η πληροφόρηση πρέπει να είναι

γρήγορη, απλή και ξεκάθαρη και να υπάρχει κλίμα εμπιστοσύνης με τα Μ.Μ.Ε. και το κοινό.

Στο πλαίσιο αυτό, η Γ.Γ.Π.Π. ήρθε σε επαφή με τους εμπλεκόμενους φορείς στην Αθήνα και στη Σαντορίνη όπως η Δ.Ε.Δ.Δ.Η.Ε., το Υπουργείο Υγείας κ.α. ζητώντας τις ενέργειές τους στην περίπτωση δραστηριοποίησης του ηφαιστείου. Ο τελικός σκοπός, είναι η έκδοση του γενικού σχεδίου «Ξενοκράτης Ηφαίστεια-Σαντορίνη» το οποίο πρόκειται να βγει το προσεχές διάστημα προς διαβούλευση και κατόπιν να εκδοθεί και επίσημα σε ΦΕΚ (Αντωνάκος, προσωπική επικοινωνία)

## Κεφάλαιο 5. Ο ηφαιστειακός κίνδυνος στην Ελλάδα

### 5.1. Ηφαιστειακός κίνδυνος

Ο μεγαλύτερος αριθμός θανατηφόρων εκρήξεων συνέβη στην Ινδονησία στο Tambora το 1815 και στο Krakatau το 1883. Πυκνοκατοικημένες χώρες με πολλά ενεργά ηφαίστεια όπως το Μεξικό, η Ιαπωνία, η Ινδονησία και οι Φιλιππίνες, είναι ιδιαίτερα τρωτές στον ηφαιστειακό κίνδυνο ο οποίος περιλαμβάνει όλα τα προϊόντα μιας ηφαιστειακής έκρηξης.

Οι κίνδυνοι από την έκρηξη ενός ηφαιστείου είναι:

- οι ροές λάβας
- η τέφρα
- οι ηφαιστειακές βόμβες
- η πυροκλαστική δραστηριότητα
- τα ατμοσφαιρικά φαινόμενα
- οι λασποροές
- τα δηλητηριώδη αέρια
- η σεισμική δραστηριότητα
- τα τσουνάμι

Η τοποθεσία και η χρονική στιγμή ενός ηφαιστειακού γεγονότος επιδρούν στον ηφαιστειακό κίνδυνο. Η κατεύθυνση του ανέμου και η έντασή του στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας ποικίλλουν ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή. Έτσι, η τέφρα από την έκρηξη μπορεί να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις, ή να εναποτεθεί σε περιοχές γύρω από το ηφαιστειακό κέντρο. Η περιοχή που επηρεάζεται από μια ηφαιστειακή έκρηξη μπορεί να εκτείνεται μέχρι και δεκάδες τετραγωνικά χιλιόμετρα και εξαρτάται από τον τύπο της έκρηξης

Το μέγεθος των ηφαιστειακών εκρήξεων μπορεί να υπολογιστεί με τον προσδιορισμό της 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. 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. Κατά μέσο όρο μια έκρηξη με VEI=5 συμβαίνει κάθε 10 χρόνια ενώ με VEI=7 κάθε 100 χρόνια. Σύμφωνα με αυτή την κλίμακα εκρήξεις μεγάλου μεγέθους δεν συμβαίνουν ευτυχώς τακτικά.

Πίνακας 2.1 Δείκτης Ηφαιστειακής Εκρηκτικότητας (Βουγιουκαλάκης, 2012)

Δείκτης Ηφαιστειακής Εκρηκτικότητας									
ΔΗΕ	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Γενική περιγραφή	Μη εκρηκτική	Μικρή	Μεσαία	Μεσαία προς μεγάλη	Μεγάλη	Πολύ μεγάλη			
Ποιοτική περιγραφή	Ήπια	Εκχυτική	Εκρηκτική		Κατακλυσμική				
Μέγιστος όγκος παραγόμενης τέφρας (m <sup>3</sup> )	10 <sup>4</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>10</sup>	10 <sup>11</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>13</sup>
Ύψος εκρηκτικής στήλης (km)	<0.1	0.1-1	1-5	3-15	10-25	>25			

Η εκτίμηση του ηφαιστειακού κινδύνου βασίζεται στην παραδοχή ότι γεγονότα ίδιου τύπου θα εκδηλωθούν και στο μέλλον, στις ίδιες περιοχές, με τον ίδιο τρόπο και την ίδια μέση συχνότητα που εκδηλώθηκαν στο παρελθόν. Η ηφαιστειακή δραστηριότητα πραγματοποιείται με εξάρσεις περιοδικής ή κυκλικής δράσης, που χωρίζονται από διαστήματα ηρεμίας. Τα πιο καταστροφικά γεγονότα συμβαίνουν συνήθως μετά από τα μεγαλύτερα διαστήματα ηρεμίας.



Εικόνα 5.1 Προσδιορισμός ηφαιστειακού κινδύνου (Κυριακόπουλος, 2015)

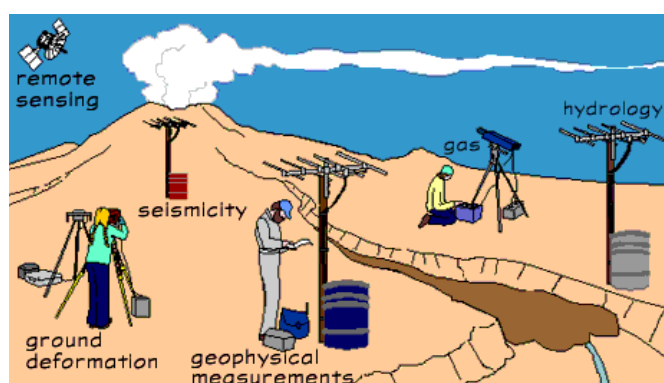
Η εκτίμηση του ηφαιστειακού κινδύνου και της επικινδυνότητας στηρίζεται στη γνώση της συμπεριφοράς του ηφαιστείου κατά το παρελθόν. Η μακροπρόθεσμη πρόβλεψη των πιθανών ηφαιστειακών συμβάντων και των επιπτώσεών τους είναι εφικτή και εκφράζεται σε χάρτες ηφαιστειακής επικινδυνότητας. Οι χάρτες αυτοί, ορίζουν τις ζώνες επικινδυνότητας για ένα συγκεκριμένο ηφαιστειακό συμβάν συνδυάζοντας τις ζώνες του ηφαιστειακού κινδύνου με την τρωτότητα και τις υπάρχουσες αξίες, π.χ. αναμενόμενο πάχος πυροκλαστικών, όριο κατάρρευσης κτισμάτων, πυκνότητα κτιρίων στην περιοχή.

### 5.1.1. Μέθοδοι παρακολούθησης ηφαιστειών

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα που παρατηρείται πριν από μία έκρηξη μπορεί να διαρκέσει από μερικές μέρες, μήνες, ή χρόνια. Σε πολλές περιπτώσεις πάντως, η πρόδρομη αυτή δραστηριότητα δεν καταλήγει σε έκρηξη καθώς το μάγμα μπορεί να παραμείνει στο υπέδαφος. Η συνεχής παρακολούθηση, ιδιαίτερα των πιο ενεργών ηφαιστειών είναι απαραίτητη.

Τα πρόδρομα φαινόμενα μίας ηφαιστειακής δραστηριότητας παρακολουθούνται με τις παρακάτω μεθόδους:

- Μετρήσεις σεισμικότητας με σειсмоγράφους λόγω της ανοδικής κίνησης του μάγματος
- Εδαφικές παραμορφώσεις που καταγράφονται με G.P.S., κλισίμετρα και δορυφόρους.
- Μετρήσεις θερμοκρασίας, ποσότητας και χημισμού των αερίων
- Μετρήσεις βαρυτικών, μαγνητικών και ηλεκτρικών ανωμαλιών



Εικόνα 5.2 Μέθοδοι παρακολούθησης ηφαιστειών (Γεωδυναμικές Καταστροφές, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Στρατηγικές Διαχείρισης Περιβάλλοντος, Καταστροφών και Κρίσεων, 2015)

### 5.1.2. Πρόβλεψη ηφαιστειακής δραστηριότητας

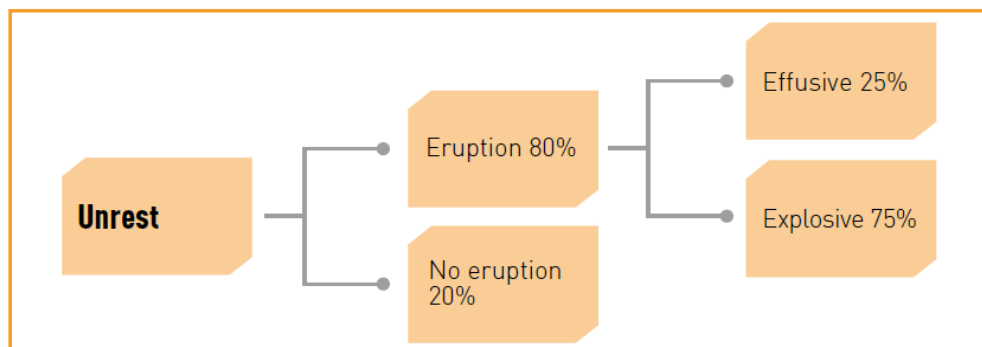
Σημαντικές προσπάθειες και βήματα έχουν γίνει στο κομμάτι της πρόγνωσης της έναρξης της ηφαιστειακής δραστηριότητας. Και αυτό γιατί η κίνηση του μάγματος συνοδεύεται από μία σειρά φαινομένων όπως αυτά καταγράφονται παρακάτω. Με ένα καλά εξοπλισμένο μόνιμο δίκτυο μέτρησης όλων των παραμέτρων, είναι εφικτή στις μέρες μας η πρόβλεψη της έναρξης της δραστηριότητας ενός ηφαιστείου.

Πίνακας 5.2 Πρόδρομα φαινόμενα που είναι πιθανό να παρατηρηθούν πριν από μια ηφαιστειακή έκρηξη (Λέκκας, 2000)

<b>ΠΡΟΔΡΟΜΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ</b>
<b>ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ</b>
Αύξηση της σεισμικής δραστηριότητας σε τοπικό επίπεδο
Υπόκωφη βοή
<b>ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ</b>
Διογκώσεις ή ανοδικές κινήσεις στον ηφαιστειακό κώνο
Αλλαγές στην κλίση των πρηνών κοντά στο ηφαίστειο
<b>ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ</b>
Αλλαγές στη χημική σύσταση των εκπεμπόμενων αερίων
<b>ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ</b>
Αυξημένες παροχές των θερμών πηγών
Αύξηση της θερμοκρασίας των θερμών πηγών ή των εκπομπών αερίων από τις φουμαρόλες
Αυξημένες απελευθερώσεις στις φουμαρόλες
Αύξηση θερμοκρασίας των λιμνών του κρατήρα

Τήξη χιονιού ή πάγου στο ηφαιστείο
Καταστροφή της βλάστησης στα πρανή του ηφαιστείου

Με βάση την προϊστορία του ηφαιστείου και τις ενόργανες παρατηρήσεις δίνονται ένα ακραίο και ένα πιθανότερο σενάριο για την ένταση του ηφαιστειακού γεγονότος. Η περιγραφή των πιθανών εξελίξεων της δραστηριότητας εκφράζεται με τη μορφή ενός «δέντρου φαινομένων» (event tree) με τις πιθανότητες εμφάνισης φαινομένων ανάλογα με την εξέλιξη της ηφαιστειακής δραστηριότητας.



Εικόνα 5.3 «Δέντρο φαινομένων» με τις πιθανότητες εμφάνισής τους ανάλογα με την εξέλιξη της ηφαιστειακής δραστηριότητας (Handbook for Volcanic Risk Management, Prevention, Risk Management, Resilience, 2012)

### 5.1.3. Ετοιμότητα

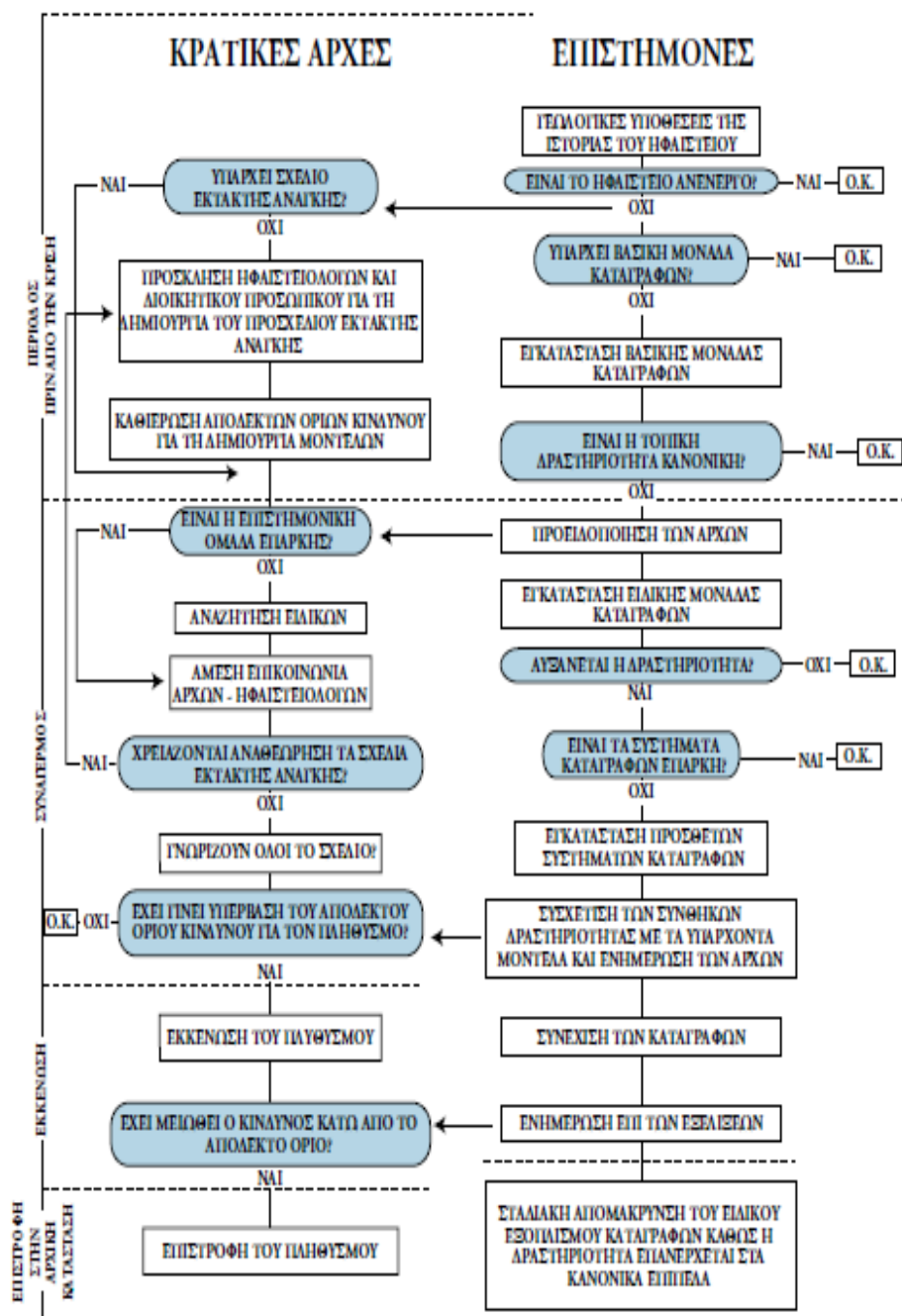
Το σύστημα συναγερμού ηφαιστειακής δραστηριότητας σύμφωνα με την Αμερικάνικη Γεωλογική Υπηρεσία, αποτελείται από δύο μέρη: ένα με ορολογία ενημέρωσης των κατοίκων σχετικά με την κατάσταση του και μία χρωματική κλίμακα για να ενημερώνει τον τομέα των αεροπορικών μεταφορών σχετικά με τους κινδύνους αερομεταφερόμενης τέφρας.

Η χρωματική κλίμακα καθιερώθηκε κατά τη διάρκεια της ηφαιστειακής έκρηξης του ηφαιστείου Redoubt στην Αλάσκα το 1989-1990 μετά από σοβαρότατα προβλήματα που δημιουργήθηκαν σε πτήση προς Ιαπωνία εξαιτίας της τέφρας. Έτσι λοιπόν, αυτή είναι πολύ χρήσιμη καθώς αποτελεί κοινή γλώσσα επικοινωνίας μεταξύ των επιστημόνων αλλά και μεταξύ των πολιτών για την κρισιμότητα της κατάστασης ενός ηφαιστείου.

Πίνακας 5.3 Σύστημα συναγερμού επιπέδου U.S.G.S. για την ηφαιστειακή δραστηριότητα (<https://volcanoes.usgs.gov/vhp/notifications.html>)

<b>Normal</b> (Φυσιολογικό)	<p>Το ηφαίστειο βρίσκεται στην τυπική μη εκρηκτική κατάσταση ή (μετά από αλλαγή υψηλότερο επίπεδο) η ηφαιστειακή δραστηριότητα σταμάτησε και το ηφαίστειο επέστρεψε στην κατάσταση ισορροπίας</p>
<b>Advisory</b> (Προειδοποίησης)	<p>Το ηφαίστειο έχει ενδείξεις αυξημένης διέγερσης πάνω από τα γνωστά επίπεδα ή (μετά από αλλαγή από υψηλότερο επίπεδο) η ηφαιστειακή δραστηριότητα μειώθηκε σημαντικά ή συνεχίζει να παρακολουθείται στενά για πιθανή νέα δραστηριότητα</p>
<b>Watch</b> (Επιτήρησης)	<p>Το ηφαίστειο εκδηλώνει υψηλότερη ή κλιμακούμενη διέγερση με αυξημένη πιθανότητα έκρηξης, αβέβαιο πότε η έκρηξη βρίσκεται σε εξέλιξη αλλά περιορισμένων κινδύνων (με ή μικρές εκπομπές τέφρας)</p>
<b>Warning</b> (Κινδύνου)	<p>Επικίνδυνη έκρηξη επίκειται ή είναι σε εξέλιξη (με σημαντική εκπομπή τέφρας στην ατμόσφαιρα)</p>

Στα πλαίσια μείωσης του ηφαιστειακού κινδύνου έχει υποδειχθεί από την U.N.D.R.O. ένα σύνθετο σχέδιο ετοιμότητας όπως παρουσιάζεται παρακάτω. Σ' αυτό, φαίνεται ξεκάθαρα η στενή συνεργασία που πρέπει να υπάρχει μεταξύ του επιστημονικού κόσμου και των αρχών ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή αντιμετώπιση του κινδύνου.



Εικόνα 5.4 Διάγραμμα ετοιμότητας για την αντιμετώπιση ηφαιστειακού κινδύνου(Λέκκας, 2000).

#### 5.1.4. Σχέδιο άμεσης απόκρισης

Τα επίπεδα κινδύνου πρέπει να καθορίζονται με ακρίβεια ώστε να συνδέονται με την κατάλληλη κοινωνική απόκριση. Ένα τέτοιο σχέδιο άμεσης απόκρισης για τη διαχείριση μίας περιόδου έκτακτης ανάγκης σε περίπτωση ηφαιστειακής δραστηριότητας περιλαμβάνει τις εξής φάσεις:

- Επαγρύπνιση. Οι υπηρεσίες κοινωνικής προστασίας κινητοποιούνται 5-15 ημέρες πριν από την εκδήλωση της αναμενόμενης δραστηριότητας
- Ετοιμότητα: 2-5 μέρες πριν από την αναμενόμενη ηφαιστειακή δραστηριότητα, ευαίσθητες κοινωνικές ομάδες όπως οι ασθενείς, τα μικρά παιδιά και οι ηλικιωμένοι μεταφέρονται, ενώ οι υπηρεσίες παροχής έκτακτης βοήθειας είναι σε συνεχή ετοιμότητα για μέτρα άμεσης δράσης
- Εκκένωση: 1-2 ημέρες πριν από την αναμενόμενη ηφαιστειακή δραστηριότητα γίνεται γενική εκκένωση της περιοχής

Το πόσο αποτελεσματική θα είναι η τρίτη φάση καθορίζεται από την ταχύτητα και την αποτελεσματικότητα των δύο πρώτων φάσεων μιας και τα περισσότερα καταστροφικά επεισόδια διαδραματίζονται πολύ γρήγορα.

## 5.2. Ηφαιστειακός κίνδυνος στο ελληνικό ηφαιστειακό τόξο

Η μετανάστευση του ηφαιστειακού τόξου, ως το τελευταίο τμήμα ενός ορογενετικού τόξου, δείχνει τη μετατόπισή του κατά το διάστημα Ανωτέρου Ηωκαίνου-Τεταρτογενούς από τη Βόρεια Ελλάδα ως τη σημερινή του θέση στο βόρειο άκρο της Κρητικής λεκάνης. Η μετανάστευση δείχνει μία μετακίνηση απόστασης περίπου 400 km σε 40 εκ. χρόνια, δηλαδή περίπου 10 km ανά εκ. έτος. Έτσι, έχουμε τα ηφαιστειακά κέντρα της Αίγινας στα 3-1.5 εκ. χρόνια και στα Μέθανα τα τελευταία 0,7 εκ. χρόνια με ενεργή ηφαιστειότητα έως και σήμερα.



Εικόνα 5.5 Χρονική εξέλιξη της ηφαιστειότητας στην Ελλάδα ([http://racce.nhmc.uoc.gr/files/items/8/899/poster20\\_greekreduced.pdf?rnd=1355135904](http://racce.nhmc.uoc.gr/files/items/8/899/poster20_greekreduced.pdf?rnd=1355135904))



Σήμερα, ο ηφαιστειακός κίνδυνος στον Ελλαδικό χώρο περιορίζεται στα ενεργά ηφαιστειακά κέντρα των Μεθάνων, Μήλου, Σαντορίνης και Νισύρου και σε ακτίνα μερικών δεκάδων χιλιομέτρων από αυτά. Σε σχέση με τις υπόλοιπες ηφαιστειακές ζώνες στον πλανήτη, η διακινδύνευση είναι ευτυχώς μικρή, όμως υπαρκτή και για αυτό θα πρέπει να δρομολογηθούν ενέργειες για τη μείωσή της.

Όλο το ηφαιστειακό τόξο δομείται σε νησιωτικές περιοχές με όλες τις ιδιομορφίες και τα προβλήματά τους τα οποία είναι τα παρακάτω:

- Παρουσιάζουν διαφορετική εικόνα σε κάθε εποχή του χρόνου
- Έχουν δυσκολίες στην προσβασιμότητα, στις μεταφορές, ανάλογα με την εποχή και τις κλιματολογικές συνθήκες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα και τις ιδιαιτερότητες στις ενσύρματες και ασύρματες επικοινωνίες
- Είναι παραμεθόριες περιοχές με εθνική σημασία
- Έχουν ιδιομορφίες στη διοικητική και οργανωτική δομή τους
- Έχουν ιδιαιτερότητες στην οικονομία η οποία στηρίζεται κυρίως στον τουρισμό
- Παρουσιάζουν προβλήματα στην ανάπτυξη λόγω συρρίκνωσης του πληθυσμού, ελλείψεις στις υποδομές, στις υπηρεσίες (π.χ. ιατρικές), στην εξυπηρέτηση (π.χ. είδη πρώτης ανάγκης, νερό)
- Παρουσιάζουν ιδιαιτερότητες στην πολεοδομία με μικρούς, παλιούς, παραδοσιακούς οικισμούς, στενούς δρόμους, μικρούς κοινόχρηστους χώρους, χαρακτηρίζονται από ανεπάρκεια ανοιχτών χώρων, μεγάλες κλίσεις εδάφους, κακό οδικό δίκτυο, σεισμική τρωτότητα, κίνδυνο αποκλεισμού οικισμών
- Εμφανίζουν πλήθος διατηρητέων κτηρίων, αρχαιολογικών μνημείων, τοπίων με ιδιαίτερο φυσικό κάλλος και πολιτιστική, ιστορική αξία

Οι παραπάνω παράγοντες αυξάνουν την τρωτότητα των περιοχών αυτών και δυσχεραίνουν τη δυνατότητα απόκρισης. Η συνολική μείωση του επιπέδου τρωτότητας μιας περιοχής προϋποθέτει την συμπληρωματική ενεργοποίηση όλων των επιπέδων σχεδιασμού και μάλιστα τόσο σε μακρο όσο και σε μικροκλίμακα. Οι δυσκολίες όμως εφαρμογής του σχεδιασμού πρόληψης (που σε κανονικές συνθήκες δύσκολα αποκτά μία ευρύτερη κοινωνική/πολιτική αποδοχή, ιδιαίτερα μάλιστα όταν δεν υπάρχει πρόσφατη καταστροφική εμπειρία) και το υψηλό κόστος που επιβάλλει, οδηγούν σε μία συνθήκη με την οποία μέτρα πρόληψης, μετριασμού και ετοιμότητας προβάλλουν ως το αποκλειστικό και μόνο αντιστάθμισμα στην έλλειψη μακροπρόθεσμης στρατηγικής σημασίας. Ο συνολικός όμως περιορισμός της τρωτότητας μπορεί να επιτευχθεί μόνο μέσω μίας διαδικασίας συνεχούς επαναπροσδιορισμού στόχων και στα τρία επίπεδα της διαχείρισης καταστροφών (Λέκκας, 2014)

Κάθε νησί θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως μία ανεξάρτητη μονάδα και να εκπονούνται ειδικές μελέτες για κάθε ένα από αυτά στηριζόμενες σε γεωλογικά, χωροταξικά, πολεοδομικά κ.α. χαρακτηριστικά. Σε αυτό το συμπέρασμα κατέληξαν σε πανελλαδική σύσκεψη που οργανώθηκε στη Μυτιλήνη το 1994 και αφορούσε στις ιδιαιτερότητες των νησιών απέναντι στα θέματα σχεδιασμού και προστασίας σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.

Στηριζόμενοι στα σύγχρονα επιστημονικά δεδομένα, πρέπει αρχικά να εκτιμηθεί το είδος και η πιθανότητα εμφάνισης μίας σεισμο-ηφαιστειακής καταστροφής αλλά και των δευτερογενών αναμενόμενων καταστροφών στα ηφαιστειακά νησιά και κατόπιν να προταθεί ένα σχέδιο Επιχειρησιακής Ετοιμότητας και Οργάνωσης των τοπικών αρχών με τη συμμετοχή των πολιτών. Σε αυτό το κομμάτι, η τοπική Αυτοδιοίκηση οφείλει να ελαχιστοποιήσει τις ανθρώπινες απώλειες και αυτές των υλικών αγαθών, τις οικονομικές επιπτώσεις στον ιδιωτικό και δημόσιο τομέα καθώς και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Τα ηφαίστεια ανέκαθεν αποτέλεσαν πόλο έλξης για τις ανθρώπινες δραστηριότητες και έτσι εκεί υπάρχει πληθώρα αρχαιολογικών θησαυρών. Αυτοί με τη σειρά τους προσελκύουν νέες ανθρώπινες δραστηριότητες, οικονομική ανάπτυξη και πολυποίκιλα συμφέροντα. Συν τοις άλλοις, σε ηφαιστειακά περιβάλλοντα αναπτύσσονται μοναδικά είδη χλωρίδας και πανίδας, για τη διατήρηση των οποίων απαιτούνται ειδικές διατάξεις. Όλα αυτά, δημιουργούν προβλήματα στον ορθό σχεδιασμό χρήσης γης που στοχεύει στη μείωση της διακινδύνευσης. Αυτές οι δράσεις προϋποθέτουν μία βάση δεδομένων στην οποία θα καταγράφονται δεδομένα γεωλογικά, μορφολογικά, ηφαιστειολογικά, πολεοδομικά, αρχαιολογικά, οικονομικά, τουριστικές, γεωργικές, βιομηχανικές δραστηριότητες καθώς και ένα πολύτιμο σύστημα λήψης αποφάσεων.

Ενώ μία ενδεχόμενη ηφαιστειακή δραστηριότητα μοιάζει να είναι περιορισμένη, εν τούτοις η σεισμο-ηφαιστειακή δραστηριότητα, στην οποία θα έχουμε «ηφαιστειακή διέγερση με ή χωρίς εμφανείς επιπτώσεις στην επιφάνεια και ταυτόχρονη σεισμική δραστηριότητα, είναι πολύ περισσότερο πιθανόν να συμβεί. Σε αυτήν την περίπτωση, οι σεισμοί είναι μεγέθους γύρω στα 5 R και μικρού βάθους, 1 έως 5 km. Ακόμα και με αυτού του είδους σεισμική διέγερση, οι βλάβες για τους παρακείμενους οικισμούς και πόλεις μπορεί να είναι μεγάλες. Οι οικισμοί αυτοί, και ειδικότερα στη Σαντορίνη, έχουν μεγάλη σεισμική τρωτότητα που οφείλεται στην ανεξέλεγκτη ανάπτυξη, τις πολεοδομικές ιδιαιτερότητες π.χ. υπόσκαφα και την πολύ μεγάλη τουριστική κίνηση, ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες. Εκτός από την σεισμο-ηφαιστειακή διέγερση της Σαντορίνης του 2011-2012, παρόμοια φαινόμενα παρουσιάστηκαν και στη Νίσυρο την περίοδο 1996-1997, με σεισμούς μεγέθους 5 R και βλάβες σε πολλά κτίρια του νησιού.

Στο κομμάτι της ενημέρωσης για τον ηφαιστειακό κίνδυνο στην Ελλάδα, συνεισέφερε το εκπαιδευτικό Ευρωπαϊκό πρόγραμμα «RACCE: Raising Earthquake Awareness and Coping Children's Emotions», το οποίο στοχεύει στην ενημέρωση των παιδιών για το σεισμικό και τον ηφαιστειακό κίνδυνο και στη μείωση των ψυχολογικών τους επιπτώσεων.

Τα κύρια αποτελέσματα του προγράμματος έχουν σκοπό να ενισχύσουν την αύξηση των γνώσεων του κοινού και κυρίως των παιδιών σχετικά με το σεισμό και το ηφαιστειακό κίνδυνο προσφέροντας εξειδικευμένες πληροφορίες σχετικά με τα μέτρα προστασίας και πρόληψης για παιδιά με κινητικές διαταραχές, την ευαισθητοποίηση των φορέων παρέμβασης, δασκάλους και γονείς, την συνεργασία μεταξύ των επιστημόνων, εκπαιδευτών, φορέων πολιτικής προστασίας, εκπαιδευτικών και γονέων, την αποτελεσματικότητα και τη λειτουργία των μουσείων και των εκπαιδευτικών κέντρων, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη της δια βίου μάθησης.

### **5.3. Μέτρα προστασίας**

Η Γ.Γ.Π.Π. στην ιστοσελίδα της, έχει εκδώσει οδηγίες που αφορούν στην ετοιμότητα για ηφαιστειακές εκρήξεις σε ατομικό μόνο επίπεδο.

#### **Πριν από την έκρηξη:**

- Στην περίπτωση που κατοικείτε σε περιοχή πλησίον ηφαιστείου, καταστρώστε ένα οικογενειακό σχέδιο έκτακτης ανάγκης που περιλαμβάνει εκκένωση και διαφυγή από την κατάλληλη οδό, ακολουθώντας πάντα τις οδηγίες των τοπικών Αρχών.
- Ψυχολογική προετοιμασία των πολιτών καθότι οι ηφαιστειακές εκρήξεις συνήθως συνοδεύονται από πυροκλαστικές ροές, εκτίναξη αναβλυμάτων, λασποροές, σεισμούς, κατολισθήσεις, τσουνάμι, εκλύσεις τοξικών αερίων, εναιώρηση ηφαιστειακής στάχτης.
- Γνώση πρώτων βοηθειών
- Εφοδιασμό με απαραίτητα υλικά (μάσκες, προστατευτικά γυαλιά ασφαλείας)

#### **Κατά τη διάρκεια της έκρηξης:**

##### *Εάν βρεθείτε σε μικρή απόσταση από την έκρηξη:*

- Απομακρυνθείτε άμεσα προς τις περιοχές με σχετικά υψηλό υψόμετρο και ακολουθείστε πιστά τις εντολές των τοπικών Αρχών.

##### *Εάν βρεθείτε σε ικανή απόσταση από την έκρηξη αλλά υπάρχει πτώση ηφαιστειακής τέφρας:*

##### *α) εάν βρίσκεστε σε κλειστό χώρο:*

- Σφραγίστε καλά όλες τις πόρτες και τα παράθυρα με κολλητική ταινία αυτών που δεν κλείνουν αεροστεγώς, τοποθετήστε βρεγμένες πετσέτες κάτω από τις πόρτες.

- Μείνετε μέσα και αποφύγετε την άσκοπη έκθεση στην ηφαιστειακή τέφρα, στην περίπτωση που πάσχετε από χρόνια αναπνευστικά προβλήματα. Φορέστε μάσκα μιας χρήσεως για να προστατευθείτε από την ηφαιστειακή τέφρα που τυχόν έχει εισχωρήσει στον εσωτερικό χώρο.
- Σε περίπτωση ερεθισμού των ματιών, της μύτης ή του λαιμού, απομακρυνθείτε αμέσως από την περιοχή, διότι ο ερεθισμός αυτός οφείλεται πιθανότατα στην παρουσία τοξικών αερίων.
- Ενημερωθείτε από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης και το διαδίκτυο για το αν πρέπει να παραμείνετε εντός στεγασμένων χώρων ή αν πρέπει να εκκενώσετε την περιοχή.
- Αποφύγετε την οδήγηση καθώς η ηφαιστειακή τέφρα δημιουργεί προβλήματα στους κινητήρες εσωτερικής καύσης και κάνει το οδόστρωμα ιδιαίτερα ολισθηρό. Αν πρέπει να οδηγήσετε, κάντε το με μειωμένη ταχύτητα, κλειστά παράθυρα και χωρίς κλιματισμό. Χρησιμοποιήστε προβολείς ομίχλης και άφθονο υγρό στους υαλοκαθαριστήρες.
- Εάν βρίσκεστε σε παράκτια περιοχή μετακινηθείτε προς περιοχές με υψηλότερο υψόμετρο καθώς μπορεί να προκληθεί τσουνάμι.

**β) εάν βρίσκεστε σε ανοιχτό χώρο:**

- Φορέστε μακριά ρούχα, προστατευτικά γυαλιά ασφαλείας και μάσκα μιας χρήσεως για να προστατευθείτε από την ηφαιστειακή τέφρα.
- Προσπαθήστε να καλυφθείτε σε στεγασμένο χώρο ή εάν αυτό δεν είναι εφικτό, καλύψτε το κεφάλι σας για να προστατευθείτε από πτώση ηφαιστειακών υλικών μεγαλύτερου μεγέθους.
- Αποφύγετε την οδήγηση, διαφορετικά οδηγείτε σύμφωνα με τις οδηγίες που δόθηκαν παραπάνω.

**Μετά την έκρηξη:**

- Συνεχίστε να φοράτε μακριά ρούχα, μάσκα μίας χρήσης, προστατευτικά γυαλιά ασφαλείας
- Παραμείνετε σε στεγασμένο χώρο, ιδιαίτερα αν υπάρχει χρόνιο αναπνευστικό πρόβλημα
- Καθαρίστε τους εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους των σπιτιών από την ηφαιστειακή τέφρα και μετέπειτα τις στέγες, καθώς αυτή μπορεί να προκαλέσει καταπτώσεις

Όσον αφορά στις ενέργειες της Πολιτείας, αυτές θα πρέπει να αφορούν:

**Πριν την εκδήλωση του φαινομένου:**













- Εντοπισμό κατάλληλων χώρων για την εγκατάσταση επιχειρησιακού και αποθηκευτικού κέντρου με βάση μετεωρολογικά και άλλα δεδομένα
- Εξοπλισμό του επιχειρησιακού κέντρου με συστήματα απρόσκοπτης τηλεπικοινωνίας
- Εφοδιασμό της αποθήκης με απαραίτητα υλικά πρώτης ανάγκης (π.χ. μάσκες, ιατροφαρμακευτικό υλικό)
- Συνεχή ενημέρωση για την κατάσταση του ηφαιστείου μέσω συνεχούς παρακολούθησης από αρμόδια επιστημονική επιτροπή
- Αναλυτικό καθορισμό μέτρων αυτοπροστασίας
- Ενημέρωση και εκπαίδευση των υπηρεσιακών παραγόντων για την εξασφάλιση προπαρασκευαστικών ενεργειών ετοιμότητας και των πολιτών μέσω ημερίδων, σεμιναρίων, ασκήσεων ετοιμότητας, ψυχολογικής υποστήριξης και παροχής έντυπου υλικού.
- Κατάρτιση σχεδίου Έκτακτης Ανάγκης «Ξενοκράτης – Ηφαίστειο»

#### **Κατά την εκδήλωση του φαινομένου:**

Εφαρμογή του σχεδίου Έκτακτης Ανάγκης «Ξενοκράτης–Ηφαίστειο» με προτεραιότητα στα ακόλουθα:

- Αναγγελία έναρξης φαινομένου και πρώτη εκτίμηση επιπτώσεων
- Άμεση μεταφορά των υπηρεσιών και του προσωπικού στο επιλεγμένο και εξοπλισμένο κέντρο επιχειρήσεων
- Άμεση ενεργοποίηση και χρήση απρόσκοπτων εναλλακτικών συστημάτων τηλεπικοινωνιών (ραδιοεπικοινωνιών κλπ.)
- Συνεχή παρακολούθηση της κατάστασης των δικτύων (οδικό δίκτυο, αεροδρόμιο, λιμάνι, δίκτυα ηλεκτρικού ρεύματος, ύδρευσης, τηλεφωνίας)

**Τι πρέπει να... αν ζεις σε μια ηφαιστειακή περιοχή ή εάν την επισκευτείς**

<p><b>Να αναζητήσεις το σχέδιο έκτακτης ανάγκης του δήμου σου,</b> ώστε να γνωρίζεις πως να δράσεις σε περίπτωση ηφαιστειακής έκρηξης. Να συμμετέχεις σε σχετικές ασκήσεις ετοιμότητας.</p>		<p><b>Κατά τη διάρκεια έκρηξης συμμορφώσου με την απόφαση απαγόρευσης εισόδου στην πληγείσα περιοχή.</b> Παρόλο που οι εκρήξεις φαίνονται εντυπωσιακές και γεννούν την περιέργεια, είναι πολύ επικίνδυνες.</p>	
	<p><b>Να ακολουθείς αποκλειστικά τις οδηγίες που δίδονται από τις αρχές πολιτικής προστασίας.</b> Κατά τη διάρκεια κρίσιμων καταστάσεων μπορεί να διακρίνονται εύκολα φήμες που να δυσχεραίνουν τις επεμβάσεις διάσωσης.</p>		<p><b>Είναι επικίνδυνο να πλησιάσεις κρατήρες ακόμη και αν ένα ηφαίστειο δεν είναι ενεργό.</b> Ξαφνικά εκρηξίσιμα φαινόμενα καλή εκπομπή αερίων είναι πάντα πιθανά.</p>
<p><b>Σε περίπτωση ροής λάβας μην πλησιάζεις ενεργή ροή λάβας ακόμη κι αν ρέει αργά.</b> Είναι πολύ ζεστές, εκπέμπουν αέρια και μπορεί να προκαλέσουν πτώσεις πετρωμάτων και ξαφνικές εκρήξεις.</p>		<p><b>Ακόμη και μετά από το τέλος μιας έκρηξης μην περπατάς στην επιφάνεια της λάβας.</b> Η ροή διατηρεί τη θερμότητά της για πολλά χρόνια.</p>	
	<p><b>Σε περίπτωση πτώσης ηφαιστειακών βολίδων αναζητήσε πληροφορίες για το κατά πόσο η περιοχή όπου βρίσκεσαι υπόκειται σε πτώση κονδρόκοκκων υλικών.</b> Αποτελεί ένα πολύ καταστροφικό φαινόμενο και τα κτίρια δεν μπορεί να αποτελέσουν καταφύγιο.</p>		<p><b>Μελέτησε το σχέδιο έκτακτης ανάγκης του δήμου σας και προετοιμάσου για μια ενδεχόμενη εκκένωση.</b> Η προληπτική απομάκρυνση από την πληγείσα περιοχή είναι σε αρκετές περιπτώσεις η κατάλληλη ενέργεια προστασίας.</p>
<p><b>Σε περίπτωση πτώσης ηφαιστειακής στάχτης μείνε στο σπίτι με κλειστά παράθυρα και έλεγξε την απόθεση στην οροφή.</b> Η ηφαιστειακή στάχτη είναι βαριά και η συσσώρευση της μπορεί να προκαλέσει ρωγμές στην οροφή ή και κατάρρευσή της.</p>		<p><b>Σε εξωτερικούς χώρους χρησιμοποίησε μάσκα και προστατευτικά γυαλιά και οδηγήσε προσεκτικά.</b> Η στάχτη προκαλεί προβλήματα στην αναπνοή και στα μάτια και κάνει την επιφάνεια των δρόμων να γλιστρά.</p>	
	<p><b>Σε περίπτωση εκπομπής αερίων απόφυγε τη στάση ή τη διαμονή σε ηφαιστειακές περιοχές και μην εισέρχεσαι σε υπόγειες στοές.</b> Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι άοσμο αέριο, βαρύτερο του αέρα και είναι θανατηφόρο σε μεγάλες συγκεντρώσεις.</p>		<p><b>Μην θεωρείς πως είσαι ασφαλής εάν σταματήσεις μακριά από τον κρατήρα.</b> Οι εκπομπές αερίων μπορούν να φτάσουν σε μεγάλες αποστάσεις.</p>

Εικόνα 5.6 Οδηγίες προστασίας που απευθύνονται κυρίως στα παιδιά σε περίπτωση ηφαιστειακής δραστηριότητας, σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα RACCE (<http://racce.nhmc.uoc.gr>)

#### 5.4. Πιθανότητα γένεσης ισχυρής έκρηξης στη Σαντορίνη

Οι μεγαλύτερες εκρήξεις του ηφαιστείου της Σαντορίνης τους τελευταίους πέντε αιώνες για τους οποίους έχουμε πλήρη στοιχεία είναι το 1573, 1650, 1707, 1866 και 1925. Τα χρονικά διαστήματα ανάμεσα σε αυτές τις εκρήξεις είναι 116, 77, 57, 159 και 60 χρόνια αντίστοιχα. Άρα η μέση περίοδος επανάληψης των εκρήξεων είναι 94 χρόνια με τυπική απόκλιση 44 χρόνια. Ο Παπαζάχος (1989), εφάρμοσε μία μέθοδο ανάλογη με αυτές που εφαρμόζονται για τη στατιστική πρόβλεψη των μεγάλων σεισμών, και βρήκε ότι μία έκρηξη παρόμοια με αυτή του 1925 ή και μεγαλύτερη, έχει πιθανότητα 10% να ξαναγίνει κατά τα επόμενα 10 χρόνια, πιθανότητα 60% να γίνει κατά τα επόμενα 50 χρόνια και πιθανότητα 95% να γίνει κατά τα επόμενα 110 χρόνια.

## 5.5. Δυναμικότητα της καλδέρας της Σαντορίνης σήμερα

Ο Ακύλας το 1925 γράφει: «συνήθως η έντασις των εκρήξεων είναι κατά τοσούτον μεγαλύτερα καθ όσον η προγενεστέρα περίοδος αναπαύσεως υπήρξε μακροτέρα».

Πίνακας 5.4 Ημερομηνίες ηφαιστειακών εκρήξεων στην καλδέρα της Σαντορίνης, διάρκεια της κάθε φάσης και χρόνος ανάπαυσης  $T$ , που προηγήθηκε της αντίστοιχης εκρηκτικής φάσης (Παπαζάχος, Β. & Παπαζάχου Κ., 1989)

Έτος	Αρχή φάσης ηφαιστειακής έκρηξης	Τέλος φάσης ηφαιστειακής έκρηξης	$t$ (έτη)	$T$ (έτη)
1573	?	?	?	?
1707	23 Μαΐου 1707	11 Σεπτεμβρίου 1711	4,7	134
1866	26 Ιανουαρίου 1866	15 Οκτωβρίου 1870	2,6	154
1925	11 Αυγούστου 1925	17 Μαρτίου 1928	2,6	55
1939	20 Αυγούστου 1939	15 Ιουλίου 1941	1,9	11

Από τον παραπάνω πίνακα δεν γνωρίζουμε τη διάρκεια του 1573 και επίσης δεν συγκαταλέχθηκε η έκρηξη του 1950 γιατί μάλλον θεωρήθηκε ασήμαντη. Με βάση και το ιστορικό της ηφαιστειότητας που παρατέθηκε στο Κεφάλαιο 1, η έκρηξη του 1866 ήταν πράγματι η μεγαλύτερη, ακολουθεί αυτή του 1707, 1925 και 1939. Έτσι, επαληθεύεται ότι η διάρκεια κάθε σημαντικής εκρηκτικής φάσης στη Νέα Καμένη είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη είναι η έκρηξη.

Σε διάγραμμα του  $t$  με το  $T$ , η σχέση είναι γραμμική και επομένως επαληθεύεται ότι η διάρκεια κάθε σημαντικής εκρηκτικής φάσης είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος που μεσολάβησε από την προηγούμενη έκρηξη. Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο χρόνος ανάπαυσης  $T$  του ηφαιστειακού κέντρου της Νέα Καμένης, μπορεί να αποτελέσει το μέτρο της διαθέσιμης ενέργειας που θα εκλυθεί κατά την επόμενη εκρηκτική φάση.

Στον πίνακα 5.4, εφαρμόζοντας τη μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων προκύπτει η σχέση  $t=1,61 + 0,02T$ . Από το τέλος της τελευταίας σημαντικής έκρηξης το 1941 έως τη χρονολογία δημοσίευσης της μεθόδου από τον Παπαζάχο (1989) μεσολάβησαν 48 χρόνια. Αν αυτή η τιμή εφαρμοστεί στην προηγούμενη σχέση, προκύπτει ότι  $t=2,6$  χρόνια. Συγκρίνοντας αυτήν την τιμή με τις τιμές του πίνακα προκύπτει ότι κάτω από την καλδέρα της Σαντορίνης υπάρχει σωρευμένη ενέργεια η οποία αν απελευθερωθεί μπορεί να προκαλέσει ηφαιστειακή έκρηξη ίσου μεγέθους με την έκρηξη του 1925.



## **Κεφάλαιο 6. Παγκόσμιες ηφαιστειακές κρίσεις**

Μελετημένα παραδείγματα διέγερσης καλδέρας είναι το Campi Flegrei στην Ιταλία και το Long Valley στην Καλιφόρνια, όπου έχουν αναλυθεί σεισμολογικές, γεωδαιτικές και γεωχημικές παρατηρήσεις. Αυτές, δίνουν έμφαση στο πρόβλημα της προσπάθειας να προβλεφθεί εάν μία μεγάλη έκρηξη επίκειται και πώς θα επηρεάσει τις κατοικημένες περιοχές γύρω από την καλδέρα.

Σε μια τέτοια περίπτωση, η καλδέρα Long Valley στην Καλιφόρνια άρχισε να παραμορφώνεται το 1980. Μετά ηρέμησε ως το 1989 ενώ ένας κύκλος δραστηριότητας επαναλήφθηκε από το 1997 έως το 2002 χωρίς να εκραγεί μέχρι σήμερα.

### **6.1. Ηφαιστειακή κρίση στο ηφαίστειο Campi Flegrei στη Νάπολη της Ιταλίας**

Το Campi Flegrei είναι μια καλδέρα στην Ιταλία, στο δυτικό άκρο του κόλπου της Νάπολης. Μαζί με τον Βεζούβιο και την Αίτνα, είναι ένα από τα Ιταλικά Supersite γεωκινδύνων. Πρόκειται για μία περιοχή με πολύ υψηλή ηφαιστειακή επικινδυνότητα λόγω της πολύ μεγάλης πυκνότητας των κατοίκων ( $1800/\text{km}^2$ ), της επίμονης δραστηριότητας του συστήματος και του εκρηκτικού χαρακτήρα της. Μία σημαντική ηφαιστειακή κρίση έλαβε χώρα το 1982-1984, όταν η πόλη του Pozzuoli, που βρίσκεται στο κέντρο της καλντέρας, ανυψώθηκε 1,80 m (1 m/yr). Μικρές ανυψώσεις λίγων εκατοστών, σηματοδοτικές και επεισόδια αερίων έλαβαν χώρα το 1989, 2000 και 2004-06. Από το 2005, το Campi Flegrei ανυψώνεται φτάνοντας σε εδαφική παραμόρφωση στα 9 cm/yr το 2012, αποδεικνύοντας ότι η καλδέρα βρίσκεται σε μία κρίσιμη κατάσταση στα πρόθυρα της αστάθειας (Trasatti et al., 2014). Η πηγή παραμόρφωσης ήταν σε βάθος 2 km. Τα χαρακτηριστικά της πηγής, μαζί με γεωχημικά, και μικροβαρυτικά δεδομένα, θα βοηθούσε στο αν η προέλευση της πηγής είναι μαγματική ή υδροθερμική, καθώς αυτή η διεκρίνιση μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις όσον αφορά στην Πολιτική Προστασία.

Το σχέδιο έκτακτης ανάγκης για το Βεζούβιο, ξεκίνησε το 1991, εκδόθηκε για πρώτη φορά το 1995, επικαιροποιήθηκε το 2001, 2003, 2007, 2008, 2012 και 2013 και μελετήθηκε από πολλούς συγγραφείς. Η προετοιμασία του σχεδίου έκτακτης ανάγκης για το Βεζούβιο και το Campi Flegrei είναι ένα έργο του Εθνικού Τμήματος της Ιταλικής Πολιτικής Προστασίας. Η βασική στρατηγική είναι μια προληπτική εκκένωση στην κόκκινη ζώνη, η οποία βάλλεται από πυροκλαστικές ροές και πλήττεται έντονα από πτώση τέφρας και ο μετριασμός των επιπτώσεων της τέφρας στον πληθυσμό, αμέσως μετά την έκρηξη, με την εκκένωση ατόμων από τις πιο ευάλωτες κατοικίες σε κτίρια με ισχυρότερη κατασκευή στις στέγες.

Το ηφαιστειακό μοντέλο προσομοίωσης PLINIVS είναι ένα εργαλείο διαθέσιμο στην Ιταλική Πολιτική Προστασία για την ποσοτικοποίηση των πιθανών απωλειών συνεπεία έκρηξης του Βεζούβιου ή του Campi Flegrei. Τα αποτελέσματα εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται ως δεδομένα π.χ. διάρκεια φάσης τέφρας και σεισμικής φάσης, αριθμός σεισμών στη φάση τέφρας, ποσοστό καταρρεύσεων κ.α. (Zuccaro et al., 2012).

## **6.2. Ηφαιστειακή κρίση στο ηφαίστειο Ubinas στο Περού (2006-2007)**

Η πιο πρόσφατη ηφαιστειακή δραστηριότητα στο Περού, ξεκίνησε στις 27 Μαρτίου 2006. Ως απόκριση στην ηφαιστειακή κρίση, συστάθηκε μία Επιστημονική Επιτροπή από μέλη 3 εθνικών Ινστιτούτων και της Περιφερειακής Πολιτικής Άμυνας στην πόλη Moquegua. Με βοήθεια από το εξωτερικό, τον Απρίλιο του 2006, παράχθηκε ένας προκαταρκτικός χάρτης ζωνών επικινδυνότητας και συντάχθηκε ένα σχέδιο έκτακτης ανάγκης. Ο χάρτης αυτός βασίστηκε σε δύο σενάρια: α)σε μία μικρή έκρηξη παρόμοια με το 1990-1998 με βουλκάνιου τύπου επεισόδια στην Sabancaya β)σε ένα μέτριο γεγονός όπως αυτό του 1677 όπου υπήρξαν σκωρίες και πτώση τέφρας αλλά και ροές στην περιοχή Ubinas. Ελήφθησαν καταγραφές από δίκτυα σειсмоγράφων, γεωχημικών αναλύσεων των θερμών πηγών από τα Ινστιτούτα σε προσωρινή βάση, μέχρι του Μάιο του 2006 και κατόπιν σε μόνιμη βάση. Η επιστημονική επιτροπή έδωσε επιτυχημένη απόκριση σε 3 βήματα στην αυξανόμενη εκρηκτική δραστηριότητα.

Μετά από περίπου 9 μήνες ο μετακινούμενος πληθυσμός επέστρεψε στα χωριά του το Μάρτιο του 2007, καθώς ο τοπικός πληθυσμός δεν μπορούσε να αντιμετωπίσει αυτούς και μια τεταμένη κατάσταση με λιγότερους οικονομικούς πόρους. Ο πληθυσμός ήταν όμως απογοητευμένος καθώς η προγραμματισμένη μετεγκατάσταση σε παράκτια περιοχή κοντά στη Moquegua δεν εφαρμόστηκε το 2007. Παρ' όλα τα οικονομικά και κοινωνικά προβλήματα, η ηφαιστειακή κρίση στο πιο ενεργό ηφαίστειο στο Περού, ήταν η πρώτη ευκαιρία για τα περουβιανά Επιστημονικά Ιδρύματα να συνεργαστούν επιτυχώς και να αποκτήσουν μαθήματα στη διαχείριση ηφαιστειακής κρίσης.

## **6.3. Ηφαιστειακή κρίση στο El Hierro 2011-2014 (Κανάρια νησιά, Ισπανία)**

Το 1971, στο νησί La Palma των Καναρίων νησιών, έγινε έκρηξη σε σχεδόν ακατοίκητη περιοχή με περιορισμένο αντίκτυπο στο πληθυσμό. Το 2004, σε μία νέα διέγερση στην Τενερίφη, δεν υπήρχε Εθνικό, Περιφερειακό ή Τοπικό Σχέδιο Ηφαιστειακού Κινδύνου και οι κάτοικοι δεν είχαν αντιληφθεί ότι κατοικούσαν σε ενεργή ηφαιστειακή περιοχή. Αυτή η κρίση οδήγησε τις αρχές να λάβουν μέτρα και πρωτοβουλίες μετριασμού του ηφαιστειακού κινδύνου. Σε αυτά ήταν ο σχεδιασμός του Περιφερειακού Σχεδίου Έκτακτης Ανάγκης γνωστό ως P.E.VOL.CA. (Plan de Emergencia por Riesgo Volcánico en Canarias), το οποίο εγκρίθηκε το 2010 και

κατόπιν το πρώτο Εθνικό Ισπανικό Σχέδιο Έκτακτης Ανάγκης Ηφαιστειακού Κινδύνου το 2013.

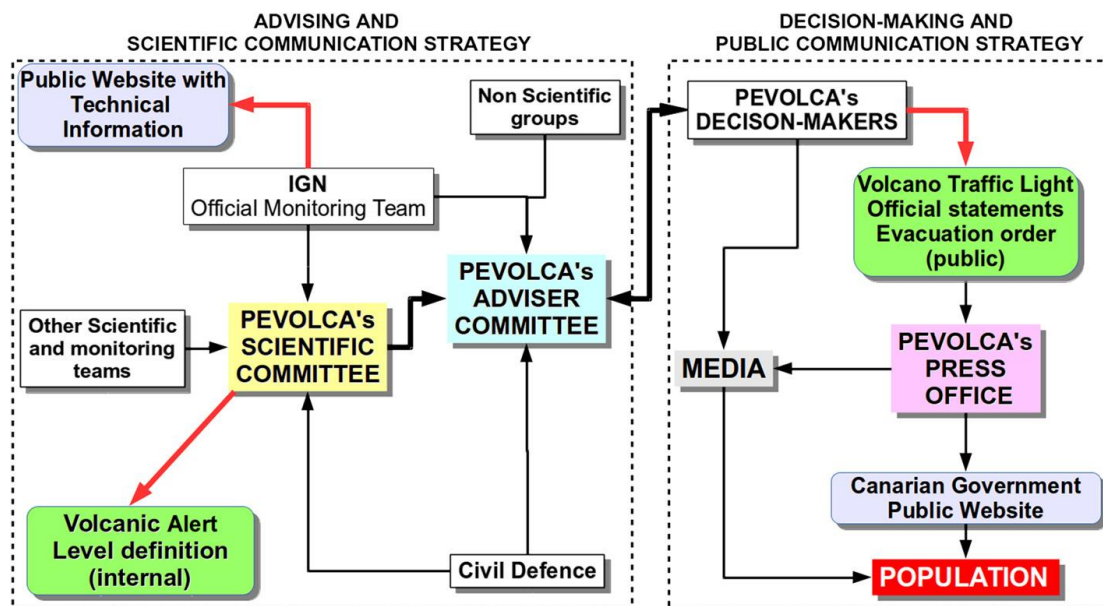
Τον Ιούλιο του 2011, ηφαιστειακή κρίση ξεκίνησε στο νησί El Hierro, στα νοτιοδυτικά των Καναρίων Νήσων, εκτάσεως μόλις 278,5 km<sup>2</sup>, όπου στη διαχείριση συμπεριλήφθηκε η ανάπτυξη επίσημου δικτύου ηφαιστειακής παρακολούθησης, ανάλυση γεωφυσικών δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, ενεργοποίηση του σχεδίου έκτακτης Ανάγκης για ηφαιστειακό κίνδυνο στα Κανάρια, ανάπτυξη προσωπικού απόκρισης σε έκτακτη ανάγκη, ενισχύσεις σε επικοινωνιακά συστήματα και άλλα μέτρα. Στις 10 Οκτωβρίου, ξεκίνησε υποθαλάσσια ηφαιστειακή έκρηξη 2 km νότια του νησιού. Από τον Ιούλιο του 2011 εγκαταστάθηκε δίκτυο παρακολούθησης στο νησί από το Εθνικό Γεωγραφικό Ινστιτούτο (I.G.N.). Περίπου 10.000 σεισμοί καταγράφηκαν ενώ οι αναλύσεις παραμόρφωσης έδειξαν μέγιστη παραμόρφωση πάνω από 5 cm. Μετανάστευση σεισμών παρατηρήθηκε από βορρά προς νότο καθώς και ανωμαλίες σε γεωχημικές και γεωμαγνητικές παραμέτρους.

Μεγάλος όγκος μάγματος συσσωρεύτηκε κάτω από το νησί και ακολούθησαν διαδοχικές εκχύσεις μάγματος. Η ηφαιστειακή δραστηριότητα χαρακτηρίστηκε από μεγάλη αύξηση σε παραμορφώσεις και σηνοσεισμούς με αυξανόμενα μεγέθη. Πέντε σημαντικές εκχύσεις έλαβαν χώρα από τον Ιούνιο του 2011 έως τον Ιανουάριο του 2014 (Garcia et al., 2014). Αυτές οι διαδικασίες του ηφαιστείου έδειξαν μία εξέλιξη η οποία επέτρεψε στους επιστήμονες να προβλέψουν την αύξηση και την επιτάχυνση της δραστηριότητας αρκετές μέρες εκ των προτέρων, πριν το αντιληφθεί ο πληθυσμός. Ήταν η πρώτη φορά που μία ηφαιστειακή έκρηξη παρακολούθηθηκε πλήρως στα Κανάρια Νησιά. Το El Hierro έλαβε παγκόσμια προσοχή είτε με τις δορυφορικές εικόνες είτε με αναρτήσεις στο διαδίκτυο.

Το σχέδιο P.E.VOL.CA. λαμβάνει υπόψη του τους φορείς που ορίζονται και όχι επώνυμους ειδικούς επιστήμονες, και αυτοί ήταν που συνεχώς άλλαζαν κατά τη διάρκεια της κρίσης. Οι φορείς της Επιστημονικής Επιτροπής ήταν το Εθνικό Γεωγραφικό Ινστιτούτο, η Μετεωρολογική Υπηρεσία, το Ανώτατο Συμβούλιο Επιστημονικών Ερευνών και η Γενική Δ/ση Πολιτικής Προστασίας του Υπουργείου Εσωτερικών. Παρ όλα αυτά, τα όρια και οι ευθύνες των επιστημόνων δεν ήταν καλά ορισμένες εξαιτίας του πολύπλοκου νομικού καθεστώτος.

Η Επιστημονική Επιτροπή διοικούνταν από έναν μη επιστήμονα, δεν υπήρχαν επίσημα πρακτικά από τις συνεδριάσεις οι οποίες ολοένα και καθυστερούσαν να πραγματοποιηθούν. Υπήρχαν διαφορές μεταξύ των επιστημονικών αποφάσεων που ελήφθησαν στην επιτροπή και στην τελική πληροφορία που ανακοινώνονταν στην Συμβουλευτική Επιτροπή, παρά το γεγονός ότι ορισμένοι φορείς λήψης αποφάσεων και των δημοσίων υπαλλήλων ήταν παρόντες στις συνεδριάσεις. Η μακρά περίοδος «ησυχίας», είχε ως αποτέλεσμα να λείπει η εμπειρία στα θέματα παρακολούθησης, αξιολόγησης κινδύνου και διαχείρισης κρίσης. Το αποτέλεσμα ήταν οι συζητήσεις της επιτροπής να επικεντρώνονται στην περιγραφή των διαθέσιμων δεδομένων παρά στα πιο πιθανά σενάρια.

Οι επιστημονικές ομάδες που απαρτίζουν την Επιστημονική Επιτροπή, επικοινωνούν τις πληροφορίες τους στις αρχές Πολιτικής Προστασίας, αλλά όχι στο κοινό όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 6.1 Επικοινωνία στο P.E.VOL.CA. Η επιστημονική πληροφορία δημοσιοποιούνται από το γραφείο τύπου του P.E.VOL.CA. (Marrero et al., 2015)

Η περίπτωση του El Hierro εκπροσωπεί μία κακού τύπου αντιμετώπιση όπου αρκετοί λόγοι ενήργησαν αρνητικά: ανεπαρκές και περίπλοκο νομικό πλαίσιο, λανθασμένη σύνδεση μεταξύ του επιπέδου ηφαιστειακής δραστηριότητας, επιπέδου ετοιμότητας και επιπέδου άμεσης απόκρισης στο ίδιο σχέδιο έκτακτης ανάγκης, επιστημονικές ασυμφωνίες και προσωπικά προβλήματα μεταξύ των επιστημόνων που βγήκαν στη δημοσιότητα από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης, διαχείριση της επιστημονικής επιτροπής με αδιαφανή τρόπο, κτλ. Σε γενικές γραμμές, η κακή διαχείριση της ηφαιστειακής κρίσης μπορεί να αποδοθεί στη μακρά περίοδο ανάπαυσης της ηφαιστειακής δραστηριότητας, στην ατυχή εμπειρία της κρίσης στην Τενερίφη το 2004 και σε προβλήματα που έχουν να κάνουν με τον «ανθρώπινο παράγοντα».

Ούτε η κατάλληλη διαδικασία πρόβλεψης, ούτε οι διαθέσιμοι πόροι διευκόλυναν τη διαχείριση της ηφαιστειακής κρίσης. Χρειάζονται σημαντικές βελτιώσεις για μία αποτελεσματική διαχείριση στα Κανάρια Νησιά. Αυτό είναι ανησυχητικό για την Τενερίφη, όπου υπάρχει ένα δυνητικά πολύ επικίνδυνο ηφαίστειο σε ένα μικρό νησί με πάνω από 1 εκατομμύριο κατοίκους και όπου δεν έχουν εφαρμοστεί ακόμα εκπαιδευτικά προγράμματα

## Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα - Προτάσεις

Δεν ήταν σαφές πώς θα προχωρούσε η κατάσταση στη Σαντορίνη το 2011-2012, αν θα οδηγούμασταν σε έκρηξη, μιας και παρόμοιου τύπου παραμορφώσεις και σεισμικότητα έχουν παρατηρηθεί και σε άλλες πυριτικές καλδέρες χωρίς έκρηξη τελικά. Ωστόσο, στην περίπτωση της έκρηξης, αυτή θα ήταν πυροκλαστικής ή/και φρεατικής δραστηριότητας παρόμοια με αυτές που έχουν συμβεί τα τελευταία 440 χρόνια. Πιο επικίνδυνη μπορεί να είναι η ηφαιστειακή τέφρα και η σεισμική δραστηριότητα οι οποίες θα μπορούσαν να βλάψουν σπίτια, να προκαλέσουν κατολισθήσεις κατά μήκος της απότομης καλδέρας και να προκαλέσουν τοπικό τσουνάμι που θα ήταν επικίνδυνο για την τοπική ακτοπλοϊκή συγκοινωνία μέσα στην καλδέρα. (Newman et al., 2012).

Η διόγκωση της μαγματικής πηγής προκάλεσε ακτινωτή παραμόρφωση όπως αυτή παρατηρήθηκε από GPS. Το μοντέλο σφαιρικής πηγής Mogi που προτάθηκε χωροθετήθηκε στα 4 km βάθος, στο βόρειο μισό της καλδέρας, με μία σωρευτική αύξηση των 14 εκατομμυρίων m<sup>3</sup> από τη στιγμή που άρχισε η διόγκωση. Καθώς η διόγκωση ήταν περίπου 0,03% του εκτιμώμενου όγκου της έκρηξης του 1650 π.Χ, το υλικό που διείσδυσε το 2011-2012 από μόνο του, δεν ήταν ικανό να προκαλέσει μία έκρηξη Μινωικού τύπου. Αντί γι αυτό, ήταν πολύ πιθανότερο να οδηγήσει σε μία πολύ μικρότερη έκρηξη ή θα συνέβαλε σε μία ανάπτυξη δόμου μακροπρόθεσμα (Newman et al., 2012).

Στην έκθεση πεπραγμένων 2014-2015 προς την Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ., ο κ. Στείρος συμπεραίνει ότι:

- Η διόγκωση του ηφαιστείου κατά το 2011-2012, δεν αντισταθμίστηκε από συρρίκνωση, αλλά αντίθετα εμφανίστηκαν μικρής κλίμακας παραμορφώσεις που πιθανόν υποδηλώνουν αστάθεια του ηφαιστειακού συγκροτήματος.
- Η κρίση του 2011-2012 φαίνεται να προέρχεται από ενεργοποίηση μάγματος και στις δύο μεγάλες τεκτονο-ηφαιστειακές ζώνες της Σαντορίνης, από πηγές σε διαφορετικά βάθη και μηχανική δράση.

Ο κ. Βουγιουκαλάκης ανέφερε ότι υπήρξε αύξηση στο εκλυόμενο CO<sub>2</sub> και H<sub>2</sub> στο έδαφος της Νέας Καμένης. Η αύξηση στη ροή του CO<sub>2</sub> και του H<sub>2</sub> ήταν πιθανόν να σχετίζεται με την έντονη σεισμική διέγερση και τη ρωγμάτωση των πετρωμάτων και δεν σχετίζονταν άμεσα με τις μαγματικές μετακινήσεις. Οι αναλύσεις στα θερμά ρευστά, δεν ανίχνευσαν καμιά αέρια φάση που να μπορεί να συσχετιστεί άμεσα με το μάγμα (Βουγιουκαλάκης, 2012).

Μετά την αφύπνιση του ηφαιστείου της Σαντορίνης στις αρχές του 2011 και την ανησυχία των τοπικών και κρατικών φορέων, συστάθηκε στον Ο.Α.Σ.Π. η Ειδική Επιστημονική Επιτροπή Παρακολούθησης Ηφαιστείου Σαντορίνης, για τη διαχείριση του φαινομένου και την αξιολόγηση των πιθανών επιπτώσεων του. Το έργο της Επιτροπής ήταν ιδιαίτερο τόσο από επιστημονικής όσο και από κοινωνικοπολιτικής και οικονομικής φύσης, καθώς επρόκειτο για την παρακολούθηση μιας πιθανής φυσικής καταστροφής σε έναν από τους πιο σημαντικούς τουριστικούς προορισμούς της χώρας μας και παγκοσμίως, με τη συνδρομή των καλύτερων ελληνικών επιστημονικών φορέων. Σχεδιάστηκαν ενέργειες σε τομείς που αποσκοπούσαν:

- Στην εντατική και συστηματική παρακολούθηση της συμπεριφοράς του ηφαιστείου από σύγχρονα δίκτυα παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο (real time) με στόχο τη συνεχή αποτίμηση της συμπεριφοράς του ηφαιστείου.
- Στη διαχείριση του ηφαιστειακού κινδύνου, την εκτίμηση της επικινδυνότητας των αναμενόμενων ηφαιστειακών δράσεων και τη σύνταξη σεναρίων επαναδραστηριοποίησης ώστε η Πολιτική Προστασία να προβεί στον καλύτερο σχεδιασμό των παρεμβάσεων στην περίπτωση εκδήλωσης ηφαιστειακού κινδύνου.

Σήμερα, είναι εγκατεστημένο ένα αξιόπιστο σύστημα έγκαιρης εκτίμησης και πιθανής πρόβλεψης τυχόν δραστηριοποίησης του ηφαιστείου.

Τα δεδομένα δείχνουν ότι η κατάσταση στο ηφαίστειο έχει περιέλθει σε ομαλή κατάσταση, το ηφαίστειο επανήλθε στην «πράσινη» κατηγορία (Λέκκας, 2013) από την «κίτρινη» κατηγορία στην οποία υπήρξε (Vougioukalakis et al., 2016). Όμως δεδομένου ότι πρόκειται για ενεργό ηφαίστειο με βαρύ ιστορικό, δεν πρέπει να εφησυχάσουμε.

Για πρώτη φορά στην Ελλάδα, λειτούργησε και λειτουργεί ακόμα, με τα όποια προβλήματα, ένα τέτοιο ολοκληρωμένο σύστημα παρακολούθησης ηφαιστείου. Ο στόχος του συστήματος όμως είναι να είναι συνεχώς διαθέσιμα στους επιστήμονες και στην πολιτεία όλα τα επιστημονικά δεδομένα που λαμβάνονται ώστε να υπάρξει η σωστή εκτίμηση της κατάστασης του ηφαιστείου και να ληφθούν οι κατάλληλες αποφάσεις και μέτρα για:

- Την ασφάλεια των πολιτών και των υποδομών.
- Την ασφάλεια των επενδύσεων.
- Την ομαλή συνέχιση και ελάχιστη δυνατή παρενόχληση για την κοινωνική και οικονομική δραστηριότητα του νησιού και των γύρω περιοχών.

Ο ρόλος της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. ήταν πολύ σημαντικός γιατί:

- Ήταν υπεύθυνη για τη συντήρηση του δικτύου παρακολούθησης και την καταγραφή των δεδομένων.

- Εκτιμούσε την κατάσταση του κινδύνου, κατατάσσοντας χρωματικά την περιοχή στο «κίτρινο» επίπεδο.
- Ενημέρωνε τη Γ.Γ.Π.Π. για την κατάσταση και έκανε εισήγηση για μέτρα στην περίπτωση της αυξημένης ηφαιστειακής δραστηριότητας. Η Γ.Γ.Π.Π. είναι αυτή που θα τα υλοποιήσει με τη βοήθεια των επιχειρησιακών φορέων.
- Η Επιτροπή έκανε προσπάθειες και ενέργειες σε ό,τι αφορά το επίπεδο παρακολούθησης και ζητούσε τη λήψη προληπτικών μέτρων προστασίας.
- Δεν είχαν ξαναγίνει αντίστοιχες προσπάθειες για ηφαιστειακό κίνδυνο και αποτελεί πρωτοπορία για τον ελληνικό χώρο.
- Έδωσε το έναυσμα για την κατάρτιση του σχεδίου Έκτακτης Ανάγκης «Ξενοκράτης-Ηφαίστεια» και ειδικότερα για το νησί της Σαντορίνης και συνέταξε χάρτες ζωνών ηφαιστειακού κινδύνου για τη Σαντορίνη.

Τα προβλήματα ήταν πολλά λόγω έλλειψης χρηματοδότησης ή μη έγκαιρης καταβολής των χρημάτων και επικεντρώνονταν κυρίως στα δίκτυα παρακολούθησης όπως π.χ. στη συνεχή και απρόσκοπτη μετάδοση δεδομένων λόγω βλαβών και στις μετακινήσεις των διαφόρων επιστημονικών ομάδων. Έτσι λοιπόν, θα μπορούσαν να είχαν γίνει πολλά περισσότερα στο εξοπλιστικό κομμάτι αλλά η οικονομική δυσπραγία δεν συνετέλεσε σε αυτό.

Στην Επιτροπή επικράτησε θετικό κλίμα, ενώ το ήθος, ο επαγγελματισμός, η σοβαρότητα, η σύμπνοια των μελών, λειτούργησαν προς όφελος του κοινωνικού της έργου. Οι συνεδριάσεις ήταν τακτικές, και στα αναλυτικά πρακτικά καταγράφηκαν όλες οι απόψεις και οι αποφάσεις. Θα μπορούσε παρόλα αυτά η επιτροπή να ήταν πιο ολιγομελής για την πιο ευέλικτη λειτουργία της.

#### Προτάσεις

- Για τη συνεχή λειτουργία του συστήματος σε 24<sup>η</sup> βάση και για όλο το χρόνο, απαιτείται η συνέχιση της χρηματοδότησης του έργου και για τα επόμενα χρόνια για λόγους που άπτονται του εθνικού συμφέροντος. Οι φθορές στα όργανα και στους σταθμούς είναι συχνές και απαιτείται κόστος συντήρησης και επισκευής. Επίσης να υπάρξει χρηματοδότηση για την υποθαλάσσια έρευνα
- Ύπαρξη μόνιμου τοπικού επιστημονικού κλιμακίου που θα τροφοδοτεί με πληροφορίες την Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. και την Πολιτική Προστασία σε περιόδους κρίσης
- Θέσπιση μικρής επιστημονικής ομάδας από μέλη της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ., συνεπικουρούμενα και από ξένους επιστήμονες, για να συμβουλευούν, υποστηρίζουν και να βοηθούν γενικότερα την Πολιτική Προστασία και την τοπική Αυτοδιοίκηση



- Εγκατάσταση ενός Εθνικού Ηφαιστειακού Παρατηρητηρίου στη Σαντορίνη, πλήρως εξοπλισμένου με όργανα αλλά και με επικοινωνιακό εξοπλισμό. Η καλύτερη θέση γι αυτό είναι στα βόρεια του νησιού και ειδικά στη Οία μιας και πληροί ευνοϊκές προϋποθέσεις για τους ανέμους, τη σεισμικότητα της καλδέρας και την άμεση οπτική πρόσβαση στις Καμένες, στο κέντρο αφαλάτωσης στην Οία για παράδειγμα
- Νομικό και θεσμικό πλαίσιο με σαφείς τις αρμοδιότητες και τους ρόλους των μελών της Επιστημονικής Επιτροπής αλλά και όλων των εμπλεκόμενων φορέων
- Διοργάνωση εκδήλωσης για το ηφαίστειο και την Επιτροπή σε επίπεδο ημερίδας ή συνεδρίου. Τον Απρίλιο του 2015 πραγματοποιήθηκε ημερίδα του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος στο Ε.Κ.Π.Α., με ομιλία του καθηγητή και Αντιπροέδρου της Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. κ. Λέκκα και θέμα «2011–2012: Η αφύπνιση του ηφαιστείου της Σαντορίνης. Επιστημονικά δεδομένα – Αντίδραση της Πολιτείας». Έχουν πραγματοποιηθεί ομιλίες για το συγκεκριμένο θέμα στα πλαίσια του προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών «Στρατηγικές διαχείρισης Κρίσης, Καταστροφών και Περιβάλλοντος»
- Με αφορμή την Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ., να συσταθεί και να λειτουργεί κατά καιρούς αντίστοιχη Επιτροπή παρακολούθησης για όλο το ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου, μικρότερου σχήματος για την καλύτερη λειτουργία της. Να υπάρξει παρόμοια τύπου παρακολούθηση για το επίσης επικίνδυνο υποθαλάσσιο ηφαίστειο Columbo και για το ηφαίστειο της Νισύρου
- Όσον αφορά στη ροή των πληροφοριών από τους επιστήμονες στο κοινό, το σχέδιο «Ξενοκράτης –Ηφαίστειο» για τη Σαντορίνη, θα αναφέρει ποιος είναι ο υπεύθυνος για επικοινωνία, πότε, που. Οι αντιφατικές πληροφορίες για την επικινδυνότητα ή για προβλέψεις μπορούν να προκαλέσουν πανικό, έλλειψη εμπιστοσύνης οικονομικές συνέπειες (πλήγμα στον τουρισμό) ακόμα και διπλωματικά επεισόδια (τουριστική απαγόρευση). Απαιτείται ΜΜΕ και κοινό να αποκτήσουν εμπιστοσύνη στην επιστημονική κοινότητα που θα έχει την ευθύνη της παρακολούθησης. Και αυτό γίνεται πριν την εκδήλωση της κρίσης, κατά τη διάρκεια της ενημέρωσης και της εκπαίδευσης του πληθυσμού.
- Συνεχή και υπεύθυνη ενημέρωση των τοπικών αρχών και του πληθυσμού σε θέματα ηφαιστειότητας και ηφαιστειακών κινδύνων, μέτρων αντιμετώπισής τους μέσω ομιλιών, επισκέψεων των σχολείων, ΜΜΕ, internet, επιστημονικών ταινιών καθώς και ασκήσεων ετοιμότητας-εκκένωσης.
- Σχεδιασμός για σενάρια εκκένωσης. Κάτι τέτοιο απαιτεί πολύ προσεκτικό σχεδιασμό για υποδομές μιας και πρόκειται για νησιωτική περιοχή με ό,τι αυτό συνεπάγεται, απομακρυσμένη από την πρωτεύουσα και πόλο έλξης παγκόσμιου τουρισμού για παραπάνω από το μισό του έτους.

- Θέσπιση και τήρηση «κώδικα συμπεριφοράς» στην περίπτωση πρόβλεψης κάποιου ηφαιστειακού γεγονότος.
- Να χρηματοδοτηθούν μελέτες για τον ηφαιστειακό κίνδυνο στη Σαντορίνη και την επικινδυνότητα
- Να γίνει μακροχρόνιος σχεδιασμός με χάρτες χρήσης γης (άδειες οικοδόμησης, εγκατάσταση οικονομικών μονάδων κ.α.) στις περιοχές όπου οι χάρτες επικινδυνότητας τις δείχνουν να είναι πιο εκτεθειμένες σε καταστροφική δράση. Έτσι, θα προκύψει ένας κανονισμός (κατά τον αντισεισμικό κανονισμό) για τους όρους δόμησης και ανάπτυξης σε ενεργά ηφαιστειακές περιοχές
- Να ληφθεί ειδική μέριμνα για τους τουρίστες και γενικά στο σχεδιασμό να συμπεριληφθεί ο τομέας του τουρισμού μιας και ένα τόσο μικρό νησί με 15.250 κατοίκους (απογραφή 2011) φιλοξενεί περίπου 2 εκατομμύρια τουρίστες ετησίως.

## Κεφάλαιο 8. Βιβλιογραφία

### Ελληνική Βιβλιογραφία

- Απολογισμός του έργου "Ολοκληρωμένο Σύστημα 24ης Παρακολούθησης Ηφαιστείου Σαντορίνης για την Εκτίμηση και Αντιμετώπιση του Ηφαιστειακού Κινδύνου". (2013). Αθήνα: ΟΑΣΠ, ΕΕΕΠΗΣ.
- Βουγιουκαλάκης, Γ. (2012). *Θερμική-Χημική Παρακολούθηση Ηφαιστείου Σαντορίνης*. Αθήνα: Έκθεση προς ΕΕΕΠΗΣ (αδημοσίευτη έκθεση)
- Βουγιουκαλάκης, Γ. (2012). *Σενάρια Επαναδραστηριοποίησης των ενεργών ηφαιστειακών κέντρων των Καμένων*. Αθήνα: Έκθεση προς ΕΕΕΠΗΣ (αδημοσίευτη έκθεση).
- Γκανάς, Α. (2014). *Γεωδαιτικός Σταθμός Αναφοράς THIR, Πύργος Σαντορίνη*. Έκθεση προς ΕΕΕΠΗΣ. (αδημοσίευτη έκθεση) .Αθήνα.
- Κυριακόπουλος, Κ. (1994). *Ηφαιστειολογία*.
- Κυριακόπουλος, Κ. (2015). *Ηφαίστεια και Γεωπεριβάλλον. συμπληρωματικό υλικό από το μάθημα «Γεωδυναμικές καταστροφές» Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Διαχείριση Περιβάλλοντος, Καταστροφών και Κρίσεων* .
- Λάγιος, Ε. (2012). *Παρακολούθηση Ηφαιστείου Σαντορίνης*. Τελική έκθεση προς ΕΕΕΠΗΣ (αδημοσίευτη έκθεση) . Αθήνα.
- Λέκκας, Ε. (2015). *«Γεωδυναμικές καταστροφές»*. Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Διαχείριση Περιβάλλοντος, Καταστροφών και Κρίσεων.
- Λέκκας, Ε. (2015). *Γεωδυναμικές Καταστροφές*. Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών "Στρατηγικές Διαχείρισης Περιβάλλοντος, Καταστροφών και Κρίσεων".
- Λέκκας, Ε. (2000). *Φυσικές και Τεχνολογικές καταστροφές*. Αθήνα: Β' έκδοση.
- Μίνου, Δ. (2000). *Η ανάδυση ενός πολιτισμού μέσα από ένα ηφαίστειο. Πρακτικά συμποσίου Γεωτουριστικά-Γεωπολιτιστικά Μονοπάτια και Γεωμυθότοποι*, Ιούνιος 1-4, Αθήνα.
- Παπαζάχος, Β. & Παπαζάχου Κ. (1989). *Οι σεισμοί της Ελλάδας*. Ζήτη.

Παπαζάχος, Κ. (2013). Έκθεση πεπραγμένων υποεπιτροπής Σεισμικής Παρακολούθησης. Έκθεση προς ΕΕΕΠΗΣ (αδημοσίευτη έκθεση) Θεσσαλονίκη.

Παπαζάχος, Κ. Π. (2011). Ηφαιστειακή Παρακολούθηση Σαντορίνης για το διάστημα 9/1/2011 έως 18/3/2011. Έκθεση προς ΟΑΣΠ. (αδημοσίευτη έκθεση) Θεσσαλονίκη.

Παπανικολάου, Δ. (2015). Γεωλογία της Ελλάδας. Αθήνα, Πατάκης.

Πρακτικά 1-10 συνεδριάσεων Ε.Ε.Ε.Π.Η.Σ. (2012-2013). Αθήνα, ΟΑΣΠ

### Ξένη Βιβλιογραφία

*Handbook for Volcanic Risk Management. Prevention, Crisis Management, Resilience.* (2012). Orleans: MIAVITA TEAM.

Actions due to volcanic eruptions (2010). *Conference: COST Action C26"Urban Habitat Constructions Under Catastrophic Events", Final Conference, At Naples, Italy, Volume: Final Report, Section 1.5.* Volume: Final Report, Section 1.5.

Bountzouklis, C., Benekos, G, Parcharidis, I., Briole, P. (2016). Post-Unrest deformation monitoring of Nea Kameni Volcano, Santorini, by Sentinel 1SAR Interferometry. *Πρακτικά 14ου Διεθνούς Συνεδρίου.* Θεσσαλονίκη: Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, τόμος L.

Chouliaras, G., Drakatos, G., Makropoulos, K., Melis, N. (2012). Recent seismicity detection increase in the Santorini volcanic island complex. *Natural Hazards and Earth System Sciences:12* , pp. 859-866.

Feuillet, N. (2013). The 2011-2012 unrest at Santorini rift: Stress interaction between active faulting and volcanism. *Geophysical Research Letters, Vol.40* , pp. 3532-3537. DOI: 10.1002/grl.50516.

Foumelis, M., Trasatti, E., Papageorgiou, E., Stramondo, S., Parcharidis, I. (2013). Monitoring Santorini volcano (Greece) breathing from space. *Geophysical Journal International* .

Ganas, A., Elias, P., Bozionelos, G., Avallone, A., Papastergios, A., Valkaniotis, S., Parcharidis, I., Briole, P. (2016). Coseismic degormation, field observations and seismic fault of the 17 November 2015 M=6,5 Lefkada Island. *Tectonophysics, 687* , pp. 210-222.

Jenkins, S., Barsotti, S., Hincks, T., Neri, A., Philips, J., Sparks, R., Sheldrake, T., Vougioukalakis, G. (2015). Rapid emergency assessment of ash and gas hazard for future eruptions at Santorini Volcano, Greece. *Journal of Applied Volcanology* .

- Kaviris, G., Papadimitriou, P., Kravvariti, Ph., Kapetanidis, V., Karakonstantis, A., Voulgaris, N., Makropoulos, K. (2015). A detailed seismic anisotropy study during the 2011–2012 unrest period in the Santorini Volcanic Complex. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 238 , pp. 51-88.
- Kaviris, G., Sakkas, V., Papadimitriou, P., Lagios, E., Karakonstantis, A., Kapetanidis, V., Kravvariti, Ph., Voulgaris, N., Makropoulos, K. (2014). Seismic Anisotropy and ground deformation results in the Santorini Volcanic Complex. *2nd European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, 25-29 August*. Istanbul.
- Konstantinou, K., Evangelidis, C., Liang, W., Melis, N., Kalogeras, I. (2013). Seismicity, Vp/Vs and shear wave anisotropy variations during the 2011 unrest at Santorini caldera, southern Aegean, southern Aegean. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 267 , pp. 57-67.
- Lagios, E., et al. (2013). SqueeSAR and GPS ground deformation monitoring of Santorini Volcano (1992-2012): Tectonic implications. *Tectonophysics* .
- Lagios, E., Parcharidis, I., Fomelis, M., Sakkas, V. (July, 2005). Ground Deformation Monitoring of the Santorini Volcano using Satellite Radar Interferometry. *Conference paper. Proceedings of 2nd International Conference on Recent Advances in Space Techn.*
- Lopez, C. et al. (2012). Monitoring the volcanic unrest of El Hierro (Canary Islands) before the onset of the 2011–2012 submarine eruption. *Geophysical Research Letters* , pp. VOL. 39, L13303, doi:10.1029/2012GL051846.
- Marrero, J., Garcia A., Llinares, A., Berrocoso, M., Ortiz, R. (2015). Legal framework and scientific responsibilities during volcanic crises: the case of the El Hierro eruption (2011–2014). *Journal of Applied Volcanology* , pp. DOI 10.1186/s13617-015-0028-8.
- Newman, A., Stiros, S., Feng, L., Psimoulis, P., Moschas, F., Saltogianni, V., Jiang, Y., Papazachos, C., Panagiotopoulos, D., Karagianni, E., Vamvakaris, D. (2012). Recent geodetic unrest at Santorini Caldera, Greece. *Geophysical Research Letters* , pp. vol 39, L06309, doi:10.1029/2012GL051286, 2012.
- Nomikou, P., Druitt, T., Hubscher, C., Mather, T., Paulatto, M., Kalnins, L., Kelfoun, K., Papanikolaou, D., Bejelou, K., Lampridou, D., Pyle, D., Carey, S., Watts, A., Weiß, B., Parks, M. (2016). Post-eruptive flooding of Santorini caldera and implications for tsunami generation. *Nature Communications* 7 .
- Papadimitriou, P., Kapetanidis, V., Karakonstantis, A., Kaviris, G., Bozionelos, G., Voulgaris, N., Makropoulos, K. (2014). A Seismological study in the Santorini Volcanic Complex Area during 2011-2012. *Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, 25-29 August*. Istanbul: Conference Paper • DOI: 10.13140/2.1.4176.3204.

- Papadimitriou, P., Kaviris, G., Voulgaris, N., Kolaitis, A., Karakonstantis, A., Kapetanidis, K., Makropoulos, K. (2012). Seismic Monitoring of the Santorini Volcano. *Conference Paper* .
- Papadimitriou, P., Kapetanidis, V., Karakonstantis, A., Kaviris, G., Voulgaris, N., Makropoulos, K. (2014). The Santorini Volcanic Complex: A detailed multi-parameter seismological approach with emphasis on the 2011–2012 unrest period. *Journal of Geodynamics* 85, p. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jog.2014.12.004>.
- Papageorgiou, E., Foumelis, M., Parcharidis, I. (2012). SAR Interferometric analysis of ground deformation at Santorini Volcano (Greece). Proceedings of Fringe 2011 Workshop, Volume: (ESA SP-697)
- Papageorgiou, E., Foumelis, M., Parcharidis, I. (2012). Long and Short-Term Deformation Monitoring of Santorini Volcano: Unrest Evidence by DInSAR Analysis. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* .
- Parks, M. et al. (2012). Evolution of Santorini Volcano dominated by episodic and rapid fluxes from depth . *Nature Geoscience* 5 , pp. 749-754.
- Parks, M. et al. (2013). Distinguishing contributions to diffuse CO<sub>2</sub> emissions in volcanic areas from magmatic degassing and thermal decarbonation using soil gas <sup>222</sup>Rn- $\delta$ <sup>13</sup>C systematics: Application to Santorini volcano, Greece. *Earth and Planetary Science Letters* 377-378 , pp. 180-190.
- Parks, M., Moore, J., Papanikolaou, X., Biggs, J., Mather, T., Pyle, D., Raptakis, C., Paradissis, D., Hooper, A., Parsons, B., Nomikou, P. (2015). From quiescence to unrest: 20 years of satellite geodetic measurements at Santorini volcano, Greece. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 120
- Saltogianni, V., Stiros, S., Newman, A., Flanagan, K., Moschas, F. (2014). Time-space modeling of the dynamics of Santorini volcano (Greece) during the 2011–2012 unrest. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* .
- Stiros, S., Psimoulis, P., Vougioukalakis, G., Fyticas, M. (2010). Geodetic evidence and modeling of a slow, small-scale inflation episode in the Thera (Santorini) volcano caldera, Aegean Sea. *Tectonophysics* 494 , pp. 180-190.
- Tassi, F., Vaselli, O., Papazachos, C., Giannini, L., Chiodini, G., Vougioukalakis, G., Karagianni, E., Vamvakaris, D., Panagiotopoulos, D. (2013). Geochemical and isotopic changes in the fumarolic and submerged gas discharges during the 2011–2012 unrest at Santorini caldera (Greece). *Bulletin of Volcanology* .
- Trasatti, E., Polcari, M., Bignami, C., Bonafede, M., Buongiorno, F., Stramondo, S. (2014). Study of the 2011-2013 unrest at Campi Flegrei caldera (Italy) through InSar and 3D modeling. *EGU General Assembly 2014* (pp. Vol.16, EGU 2014-9306). Geophysical Research Abstracts.

Vallianatos, F., Michas, G., Papadakis, G., Tzanis, A. (2013). Evidence of non-extensivity in the seismicity observed during the 2011–2012 unrest at the Santorini volcanic complex, Greece. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13 , pp. 177–185.

Vougioukalakis, G., Sparks, R.S.J., Pyle, D., Druitt, T., Barberi, F., Papazachos, C., Fytikas, M. (2016). Volcanic Hazard Assessment at Santorini Volcano: A review and a synthesis in the light of the 2011-2012 Santorini unrest. Proceedings of 14th Congress Geological Society of Greece. Conference, Thessaloniki, Vol:L

Zuccaro, G., Leone, M.F (2012). Building Technologies for the Mitigation of the Volcanic Risk: Vesuvius and Campi Flegrei. *Natural Hazards Review* .

### **Διαδικτυακές Πηγές**

<http://autochthonesellhnes.blogspot.gr/2012/10/1613.html>

<http://civilprotection.gr>

<https://earth.esa.int/web/guest/-/international-forum-on-satellite-earth-observation-for-geo-hazard-risk-management>

<http://www.elekkas.gr>

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%AF%CE%BD%CE%B7>

[http://www.esa.int/ell/ESA\\_in\\_your\\_country/Greece/Mhagma\\_synechos\\_syg\\_kentrhonetai\\_sta\\_sothikha\\_toy\\_ephaistehioy\\_tes\\_Santorhines](http://www.esa.int/ell/ESA_in_your_country/Greece/Mhagma_synechos_syg_kentrhonetai_sta_sothikha_toy_ephaistehioy_tes_Santorhines)

[http://www.esa.int/ell/ESA\\_in\\_your\\_country/Greece/Drasterihoteta\\_sto\\_ephah\\_isteio\\_tes\\_Santorhines\\_paraterheteke\\_apho\\_ton\\_i\\_Envisat\\_i](http://www.esa.int/ell/ESA_in_your_country/Greece/Drasterihoteta_sto_ephah_isteio_tes_Santorhines_paraterheteke_apho_ton_i_Envisat_i)

[http://www.ethnos.gr/koinonia/arthro/to\\_ifaisteio\\_anypsose\\_ti\\_santorini-63710035](http://www.ethnos.gr/koinonia/arthro/to_ifaisteio_anypsose_ti_santorini-63710035)

[http://www.ethnos.gr/koinonia/arthro/to\\_ifaisteio\\_anypsose\\_ti\\_santorini-63710035](http://www.ethnos.gr/koinonia/arthro/to_ifaisteio_anypsose_ti_santorini-63710035)

[http://www.ethnos.gr/koinonia/arthro/to\\_ifaisteio\\_anypsose\\_ti\\_santorini-63710035](http://www.ethnos.gr/koinonia/arthro/to_ifaisteio_anypsose_ti_santorini-63710035) <http://www.tovima.gr/science/technology-planet/article/?aid=480934>

<http://flashnews.gr/post/65179/to-ifestio-tis-santorinis-ontos-fouskonika8isixastiki-i-idiki>

<http://www.geodifhs.com/kappaomegaiotaalpha/406>



<http://www.geophysics.geol.uoa.gr>

<http://www.geo.auth.gr>

<http://www.iefimerida.gr/news/33977/%CF%84%CE%BF-%CE%B7%CF%86%CE%B1%CE%AF%CF%83%CF%84%CE%B5%CE%B9%CE%BF-%CF%84%CE%B7%CF%82-%CF%83%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%AF%CE%BD%CE%B7%CF%82-%CF%86%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%BA%CF%8E%CE%BD%CE%B5%CE%B9-%CF%83%CE%B1%CE%BD-%CE%BA%CE%AD%CE%B9%CE%BA>

<http://www.iefimerida.gr/news/41255/%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%BF%CE%AF-%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CF%83%CE%B8%CE%AE%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CE%B5%CE%BD%CE%B4%CE%B5%CF%87%CE%BF%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CF%89%CF%82-%CE%AD%CE%BA%CF%81%CE%B7%CE%BE%CE%B7-%CF%83%CF%84%CE%B7-%CF%83%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%AF%CE%BD%CE%B7>

<http://www.ktva.com/how-the-1989-mount-redoubt-eruption-changed-aviation-26-years-later-481/>

<http://www.livescience.com/56791-santorini-tsunamis-caused-by-volcanic-flow.html>

<http://memovolc.univ-bpclermont.fr>

<http://www.meteo-news.gr/2013/06/pos-to-ifaisteio-tis-santorinis-allakse-ton-kosmo.html>

<http://nemo.conferences.gr>

<http://www.newsbomb.gr/ellada/news/story/605065/san-simera-to-1956-o-seismos-7-3-rixter-stin-amorgo#ixzz4HgBBQQFq>

<http://www.newsbomb.gr/ellada/news/story/246101/ypo-24ori-parakoloythisi-to-ifaisteio-tis-santorinis>

[www.oasp.gr](http://www.oasp.gr)

<http://www.pancreta.gr/technology.php?p=4807>

<http://www.santorini.net/ismosav>

<http://santorini.hcmr.gr>

<http://www.santorinigreece.gr/santorinivolcano/volcaniceruptions.htm>

<http://www.tovima.gr/science/article/?aid=441661&wordsinarticle=%CE%B7%CF%86%CE%B1%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B5%CE%B9%CE%BF%3b%CF%83%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CF%82>

<http://www.tovima.gr/culture/article/?aid=327927&wordsinarticle=%CE%B7%CF%86%CE%B1%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B5%CE%B9%CE%BF%3b%CF%83%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CF%82>

<http://www.tovima.gr/science/article/?aid=327955&wordsinarticle=%CE%B7%CF%86%CE%B1%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B5%CE%B9%CE%BF%3b%CF%83%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CF%82>

<http://www.tovima.gr/science/article/?aid=294279&wordsinarticle=%CE%B7%CF%86%CE%B1%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B5%CE%B9%CE%BF%3b%CF%83%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CF%82>

<http://tvxs.gr/news/periballon/ifaisteio-tis-santorinis-peftei-kai-pali-se-ypno>

[http://www.volcanesdec Canarias.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=191:plan-de-emergencia-por-riesgo-volcanico-en-canarias-pevolca&catid=114&Itemid=112&lang=es](http://www.volcanesdec Canarias.com/index.php?option=com_content&view=article&id=191:plan-de-emergencia-por-riesgo-volcanico-en-canarias-pevolca&catid=114&Itemid=112&lang=es)

<https://www.volcanodiscovery.com/santorini/seismic-unrest/2012/january-march.html>

<http://volsam2012.conferences.gr>

<http://voland2014.conferences.gr>

<https://volcanoes.usgs.gov>

<http://www.zougla.gr/greece/article/santorini>

<http://www.zougla.gr/greece/article/fovi-gia-afipnisi-tou-ifestiou-tis-8iras>

<http://www.zougla.gr/greece/article/sto-mikroskopio-to-ifestio-tis-santorinis>