



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ & ΚΡΙΣΕΩΝ

POST GRADUATE PROGRAM
ENVIRONMENTAL, DISASTER & CRISES MANAGEMENT STRATEGIES

Επιπτώσεις των ηφαιστειακών εκρήξεων στο δομημένο ανθρωπογενές περιβάλλον

The effects of volcanic eruptions on the structured human environment

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ / PANAGIOTIS SIMOPOULOS

A.M. / R.N. : 15091

Ειδικές Εκδόσεις / Special Publications:

No. 2017039

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

Επιπτώσεις των ηφαιστειακών εκρήξεων στο δομημένο ανθρωπογενές περιβάλλον

The effects of volcanic eruptions on the structured human environment

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΣΙΜΟΠΟΥΛΟΣ / PANAGIOTIS SIMOPOULOS

A.M. / R.N. : 15091

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Δρ. Κ. Κυριακόπουλος,
Καθηγ. ΕΚΠΑ

Δρ. Σ. Λόζιος,
Επικ. Καθηγ. ΕΚΠΑ

Δρ. Ν. Βούλγαρης,
Καθηγ. ΕΚΠΑ

*Η Παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία είναι
Αφιερωμένη στους Γονείς μου και στην Κόρη μου Μιχαέλα, στον
Υπέρτατο Βαθμό Σεβασμού και Εκτίμησης.*

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Εθνικού Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών με επιβλέποντα τον καθηγητή Κων/νο Κυριακόπουλο τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω για τις πολύτιμες συμβουλές του σε όλες τις φάσεις ολοκλήρωσή της.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	5
Κατάλογος Εικόνων	7
Περίληψη.....	9
Abstract.....	11
B. ΚΥΡΙΟ ΜΕΡΟΣ.....	12
Εισαγωγή.....	12
Κεφάλαιο 1 ^ο Ηφαίστεια – Ηφαιστειακές εκρήξεις.....	15
1.1. Ορισμός.....	15
1.2. Περιγραφή ηφαιστείου.....	15
1.3. Δημιουργία ηφαιστείων – Περιοχές εντοπισμού.....	16
1.4. Γεωγραφική κατανομή.....	18
1.5. Ταξινόμηση ηφαιστείων με βάση το γεωτεκτονικό περιβάλλον.....	20
1.5.1. Τύποι ηφαιστείων.....	22
1.5.1.1. Ασπιδικά ηφαίστεια.....	22
1.5.1.2. Μικτά ηφαίστεια ή Στρωματοηφαίστεια.....	23
1.5.1.3. Ηφαιστειακοί δόμοι.....	24
1.6. Ταξινόμηση με βάση την εκρηκτικότητα.....	25
1.6.1. Εκρήξεις Ισλανδικού τύπου (Iceland type eruptions).....	27
1.6.2. Εκρήξεις τύπου Χαβάης (Hawaiian eruptions).....	27
1.6.3. Εκρήξεις τύπου Στρόμπολι (Strombolian eruptions).....	28
1.6.4. Εκρήξεις τύπου Vulcano (Vulcanian eruptions).....	28
1.6.5. Εκρήξεις Πλίνιου τύπου (Plinian eruptions).....	29
1.6.6. Εκρήξεις τύπου Πελέ (Pele eruptions).....	31
1.6.7. Υδροθερμικές εκρήξεις (Hydrothermal eruptions).....	33
1.7. Ταξινόμηση με βάση την ενεργότητα.....	33
1.8. Ηφαιστειακές εκρήξεις.....	34
1.8.1. Ταξινόμηση ανάλογα με το είδος.....	37
1.8.2. Ταξινόμηση με βάση τον μηχανισμό.....	38
Κεφάλαιο 2 ^ο Επιπτώσεις.....	41
2.1. Επιπτώσεις στο περιβάλλον.....	42
2.2. Επιπτώσεις στον άνθρωπο.....	44

2.3. Επιπτώσεις στην οικονομία και τη βιομηχανία.....	47
2.4. Μελέτη περίπτωσης.....	48
2.4.1. Γεγονότα	48
2.4.2. Επιπτώσεις	51
2.4.2.1. Οικονομικές.....	51
2.4.2.2. Στην υγεία	55
2.4.2.3. Διαχείριση.....	56
Κεφάλαιο 3 ^ο Μέτρα πρόληψης και αποκατάστασης.....	57
3.1. Μέθοδοι πρόβλεψης.....	58
3.2. Διαχείριση της ηφαιστειακής έκρηξης.....	60
3.2.1. Μέτρα πριν την έκρηξη.....	60
3.2.2. Μέτρα κατά τη διάρκεια της έκρηξης	65
3.2.3. Μέτρα μετά την έκρηξη.....	67
3.3. Διεθνή μέτρα.....	68
3.4. Αποκατάσταση.....	70
Επίλογος	72
Γ. ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	74
Βιβλιογραφία	74

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Δομή ενός ηφαιστείου και οι πιθανοί κίνδυνοι που προκύπτουν από την έκρηξη. (Πηγή: http://history-pages.blogspot.gr/2012/08/blog-post.html).....	16
Εικόνα 2: Το δαχτυλίδι της φωτιάς στον Ειρηνικό ωκεανό. Πηγή: USGS.....	18
Εικόνα 3: Ενεργά ηφαίστεια, τεκτονικές λιθοσφαιρικές πλάκες. Πηγή: NASA.....	19
Εικόνα 4: Κατανομή των ορίων των λιθοσφαιρικών πλακών, των ενεργών ηφαιστείων και των ηφαιστειακών κέντρων στο χώρο της Μεσογείου και της Μαύρης Θάλασσας. Α: η περιοχή ηφαιστειότητας της Καλαβρίας, Β: η ηφαιστειακή περιοχή του Αιγαίου (Ελληνική) και C: η ηφαιστειακή περιοχή της Ανατολίας, που περιλαμβάνει και τα ηφαίστεια του Καυκάσου (van der Meijde et al., 2003; McKenzie, 1970, από geonaut-online.com).....	19
Εικόνα 5: Θερμοκρασία, σύσταση και ιζώδες των μαγμάτων. Πηγή: USGS.....	21
Εικόνα 6: Αριστερά: Κάθετη τομή Ασπιδόμορφου ηφαιστείου. Δεξιά: Ηφαίστειο Mauna Loa, Χαβάη.....	23
Εικόνα 7: Αριστερά: Κάθετη τομή Στρωματοηφαιστείου. Δεξιά: Mount. Fuji, Ιαπωνία.....	24
Εικόνα 8: Επάνω: Ανάπτυξη του ηφαιστειακού δόμου στο Mount St.Helens κατά τη δραστηριότητα της δεκαετίας του 1980. Κάτω: δόμοι στο εσωτερικό του κρατήρα.....	25
Εικόνα 9: Οι κυριότεροι τύποι ηφαιστειακών εκρήξεων κατανεμημένοι σε σειρά αυξανόμενου κινδύνου και καταστροφής.....	26
Εικόνα 10: Σχετική εκρηκτικότητα διαφόρων τύπων ηφαιστείων και μέγιστο ύψος των αναβλημάτων. Πηγή: USGS, The COMET Program.....	26
Εικόνα 11: Βασαλική λάβα από το ηφαίστειο Kilauea στη Χαβάη.....	27
Εικόνα 12: Περιοδικές εκρήξεις βασαλικής λάβας από έναν κύριο κρατήρα στο ηφαίστειο Stromboli στη Νότια Ιταλία.....	28
Εικόνα 13: Έκρηξη τύπου Vulcan του ηφαιστείου Tavunur στην Parua της Νέας Γουινέας, το 2014.....	29

Εικόνα 14: The eruption plume Of Mt. Pinatubo's Destructive Volcanic Eruption. Πηγή: USGS.....	30
Εικόνα 15: Η έκρηξη του Mt. Pele το 1902 (16 Δεκεμβρίου) με χαρακτηριστικές πυροκλαστικές ροές, όπως φωτογραφήθηκε από τον Γάλλο ηφαιστειολόγο Alfred Lacroix.....	32
Εικόνα 16: Μετά το τέλος της εκρηκτικής δραστηριότητας του Πελέ, το ηφαίστειο κατέρρευσε (τον Σεπτέμβριο του 1903) αφήνοντας πίσω του μόνον έναν οβελίσκο λάβας ύψους 300 μέτρων, σαν “μνημείο των 30.000 θυμάτων που κείτονται παρακάτω, στη σιωπηλή πόλη”, όπως χαρακτηρίστηκε από τον Angel Heilprin.....	32
Εικόνα 17: Υδροθερμική (φρεατομαγματική) έκρηξη στο ηφαίστειο Ukinrek στην Αλάσκα. Πηγή: AVO.....	33
Εικόνα 18: Πίνακας κλίμακας δείκτη VEI κατά όγκο αναβλυμάτων, εκρηκτικότητας, ύψος στήλης υλικών και συχνότητας της έκρηξης. Πηγή: wikipedia.org.....	36
Εικόνα 19: Η παραγωγή και η διανομή της ηφαιστειακής τέφρας από την έκρηξη του Eyjafjallajökull στην Ισλανδία. Απρίλιος-Μάιος 2010. Πηγή: Scientific Reports.....	50
Εικόνα 20: Χάρτης όπου απεικονίζεται η εξάπλωση του νέφους τέφρας του ηφαιστείου <i>Eyjafjallajökull</i> τη Δευτέρα 19 Απριλίου και την Πέμπτη 22 με τη διακεκομμένη γραμμή. Πηγή: The Economist, UK Met Office.....	52
Εικόνα 21: Country-pair passenger market and airline revenue impact on Monday 19 April. Πηγή: IATA Economics, PaxIS Plus database.....	53
Εικόνα 22: Impact on airline revenues per day. Πηγή: IATA Economics, Eurocontrol.....	53
Εικόνα 23: Χάρτης επικινδυνότητας του ηφαιστείου Kanloan. (Πηγή: Neri M., 2013).....	61

Περίληψη.

Οι φυσικές καταστροφές μπορεί να αποτελέσουν απειλή τόσο για την κοινωνία όσο και για την οικονομία μιας περιοχής. Τις περισσότερες φορές είναι απρόβλεπτες, αν και κατά καιρούς έχουν αναπτυχθεί ποικίλα συστήματα ενόργανης συνεχούς παρακολούθησής τους. Ειδικότερα από τις φυσικές καταστροφές θα πραγματευθώ με θέματα που σχετίζονται με όλες τις φάσεις της ηφαιστειακής δραστηριότητας. Αυτό παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον δεδομένου ότι υπάρχουν αρκετά ηφαιστειακά κέντρα στη χώρα μας η κατανόηση των οποίων θα βοηθήσει τα μέγιστα στην αποφυγή καταστροφικών επιπτώσεων στους ανθρώπους και το δομημένο περιβάλλον.

Οι εκρήξεις των ηφαιστειών είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με τις κινήσεις των τεκτονικών πλακών του φλοιού της Γης. Παγκοσμίως υπάρχουν διάφοροι τύποι ηφαιστειών ανάλογα με το σχήμα, τη χημική σύσταση του μάγματος, το γεωτεκτονικό περιβάλλον ή ακόμη και τη γεωγραφική περιοχή στην οποία βρίσκονται. Απασχολούν τους επιστήμονες και γενικότερα όλους τους πολίτες λόγω των τεράστιων επιπτώσεών τους στην υγεία, το περιβάλλον και την οικονομία. Οι σοβαρές επιπτώσεις που δύναται να έχει μια ηφαιστειακή έκρηξη στην οικονομία φαίνονται από την περίπτωση της έκρηξης του ηφαιστείου Eyjafjallajökull το 2010 στην Ισλανδία η οποία θα αναλυθεί στην παρούσα εργασία.

Όπως με όλες τις φυσικές καταστροφές, ομοίως και με τις ηφαιστειακές εκρήξεις δίνεται ιδιαίτερη σημασία στα μέτρα πρόληψης, διαχείρισης και αποκατάστασης. Όσον αφορά στην πρόληψη κυρίως γίνεται καταγραφή της δραστηριότητας του ηφαιστείου και σχεδιασμός ενός αποτελεσματικού σχεδίου εκκένωσης. Το σχέδιο εκκένωσης είναι σημαντικό και για τη διαχείριση, ενώ στην τελευταία συμβάλλουν και οι οδηγίες των αρχών. Τέλος η αποκατάσταση σχετίζεται με το πόσο γρήγορα μπορεί να δράσει η εθνική διοίκηση και οι πολίτες με τις εθελοντικές οργανώσεις ώστε να επανέλθουν στην κατάσταση πριν από την ηφαιστειακή έκρηξη.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να πραγματοποιηθεί μια βιβλιογραφική ανασκόπηση και να παρουσιαστούν τα βασικά χαρακτηριστικά

των ηφαιστειών και των εκρήξεών τους, καθώς οι επιπτώσεις αυτών στο δομημένο ανθρωπογενές περιβάλλον, αλλά και τα μέτρα πρόληψης που λαμβάνονται.

Abstract.

Natural disasters can be a threat not only to society but also to the economy of a region. Most of the time they are unpredictable, though over time various instrumental systems of monitoring them have been devised. In the field of natural disasters I will deal with issues relating to all the phases of volcanic activity. They are of particular interest in that there are several volcanic sites in our country, the understanding of which will help greatly in avoiding catastrophic consequences on human beings and the structured environment.

Volcanic eruptions are closely tied to the movement of tectonic plates in the Earth's crust. There are various types of volcanoes in the world, according to shape, chemical composition of the magma, geo-tectonic surroundings and geographical area. They are of concern not only to scientists but also to the people in general as they can have huge effects on health, the environment and the economy. The serious effects that a volcanic eruption can have on the economy was apparent in the eruption of the Eyjafjallajökull volcano in Iceland in 2010, which will be analysed in this paper.

As with all natural disasters, in volcanic eruptions great importance is attached to prevention, management and restoration measures. The preventive sphere includes monitoring the volcanic activity and drawing up an effective evacuation plan. The evacuation plan is important for the management stage along with instructions from the authorities. Restoration, finally, is related to how quickly the national administration and volunteer organizations can act so that pre-eruption conditions can be restored.

The aim of this paper is to carry out a bibliographical survey in order to present the basic characteristics of volcanoes and their eruptions, their effects on the human structured environment, and preventive measures that can be taken.

B. ΚΥΡΙΟ ΜΕΡΟΣ.

Εισαγωγή.

Τα ηφαίστεια και ειδικότερα οι ηφαιστειακές εκρήξεις απασχολούν όχι μόνο τους επιστήμονες άλλα και τους κατοίκους μιας περιοχής, μιας και έχουν τεράστιες επιπτώσεις σε όλους τους τομείς. Ετησίως περίπου 50 με 60 ηφαίστεια εκδηλώνουν δραστηριότητα, παγκόσμια. Τα ηφαίστεια εντοπίζονται σε διαφορετικές περιοχές σε όλο τον κόσμο με συγκεκριμένη όμως κατανομή. Μέχρι τώρα έχουν καταγραφεί 539 ενεργά ηφαίστεια, χωρίς ο αριθμός αυτός να είναι ακριβής, μιας και μπορούν να θεωρηθούν ανενεργά μόνο όταν δεν έχει εκδηλωθεί ηφαιστειακή έκρηξη για 25.000 χρόνια (Λέκκας Ε., 2000).

Ένα ηφαίστειο θεωρείται ενεργό όταν έχει δραστηριοποιηθεί κατά τους ιστορικούς χρόνους δηλαδή μέσα στα τελευταία 10.000 χρόνια. Αν ένα ανενεργό ηφαίστειο είναι εσβεσμένο ή απλώς βρίσκεται σε περίοδο ηρεμίας εξαρτάται εν μέρει από τη μέση περίοδο ηρεμίας μεταξύ των εκρήξεων. Υπάρχουν κάποια είδη ηφαιστείων όπως οι κώνοι σκωρίων που θεωρούνται εσβεσμένοι, μιας και εκρήγνυνται μόνο μία φορά. Όπως προαναφέρθηκε προϋπόθεση για να θεωρηθεί εσβεσμένο είναι να έχουν παρέλθει χιλιάδες έτη (BGS, British Geological Survey). Ακόμη όμως και έτσι, τα όρια δεν είναι σαφή και υπάρχουν περιπτώσεις ηφαιστείων όπως στο Yellowstone που δεν έχει εκδηλωθεί ηφαιστειακή δραστηριότητα εδώ και 70.000 έτη, ωστόσο παραμένει ενεργό (Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.). Σύμφωνα με τη Βρετανική Γεωλογική Υπηρεσία, υπάρχουν 1.500 ηφαίστεια παγκοσμίως ενεργά ή εσβεσμένα (BGS).

Στον ελλαδικό χώρο τα ηφαίστεια αριθμούνται σε 39, με μεγαλύτερα της Σαντορίνης, της Νισύρου, της Μήλου και των Μεθάνων. Να σημειωθεί ότι το ηφαίστειο της Σαντορίνης έχει τη μεγαλύτερη καλντέρα όλου του κόσμου με ύψος 300m και διάμετρο 11km. Έχουν σημειωθεί και αρκετές εκρήξεις. Πιο συγκεκριμένα η ηφαιστειακή δραστηριότητα σημειώθηκε για πρώτη φορά πριν 5 εκατομμύρια έτη, ενώ η πιο πρόσφατη πριν 1 εκατομμύριο έτη. Έχουν δημιουργηθεί από την κίνηση της Αφρικάνικης λιθοσφαικής πλάκας σε αυτή της Ευρωπαϊκής. Τα ηφαίστεια του Αιγαίου σχηματίζουν ένα ηφαιστειακό τόξο

μήκους 500km (RACEE, Raising earthquake Awareness & Coping Children's Emotions).

Οι ηφαιστειακές εκρήξεις που σημάδεψαν την παγκόσμια ιστορία είναι αρκετές. Η πρώτη που σημειώθηκε ήταν αυτή του Βεζούβιου το 79 μ.Χ., κατά μήκος του κόλπου της Νάπολης στη Νότια Ιταλία. Το συγκεκριμένο ηφαίστειο έχει ξεσπάσει πάνω από 50 φορές τα τελευταία 2.000 χρόνια. Η πρώτη έκρηξή του έθαψε την Πομπηία, ενώ μία άλλη έκρηξη το 1631 σκότωσε περίπου 4.000 ανθρώπους. Το 1669 στη Σικελία, η έκρηξη της Αίτνας έστειλε ένα ποτάμι λάβας που ξεχύθηκε στους δρόμους της Κατάνια και σκότωσε περίπου 20.000 ανθρώπους στη γύρω περιοχή. Το 1783, η έκρηξη του όρους Skartar στην Ισλανδία κατέστρεψε την καλλιέργεια και την αλιεία, προκαλώντας λιμό που σκότωσε το ένα πέμπτο των ανθρώπων της χώρας. Αργότερα, το 1815, οι ανεμοστρόβιλοι και τα τσουνάμι που προκλήθηκαν από την έκρηξη του όρους Tambora, στο νησί Sumbawa στην Ινδονησία, θανάτωσαν 12.000 ανθρώπους. Το ηφαίστειο έστειλε ένα νέφος υλικών ψηλά στην ατμόσφαιρα, που ήταν τέσσερις φορές περισσότερο από την ποσότητα που εκτινάχθηκε από το όρος Pinatubo το 1991. Το 1883 ένα άλλο ινδονησιακό ηφαίστειο, το Krakatoa, εξερράγη σε μια έκρηξη που έφτασε μέχρι 3000 μίλια μακριά και δημιούργησε ένα τσουνάμι ύψους 130 ποδιών. Περίπου 36.000 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους, και το στρώμα σκόνης προκάλεσε τον μπλε χρωματισμό του φεγγαριού για δύο χρόνια (Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.).

Στον αιώνα που ακολούθησε, αξιοσημείωτες εκρήξεις ήταν αυτή του 1902 του όρους Πελέ της νήσου Μαρτινίκα, που το θανάσιμο αέριο και η καυτή τέφρα σκότωσαν 29.933 κατοίκους. Το 1980, η έκρηξη του όρους St. Helens στην Ουάσινγκτον σκότωσε 57 ανθρώπους και βύθισε στο σκοτάδι πόλεις που βρίσκονταν 85 μίλια μακριά. Το 1991, μετά από 600 χρόνια λήθαργου, το όρος Pinatubo στις Φιλιππίνες βούιζε για ημέρες πριν ξεσπάσει και σκότωσε περίπου 750 άτομα. Το νέφος από θειικό οξύ που δημιουργήθηκε έφτασε σε ύψος άνω των 12 μιλίων στη στρατόσφαιρα. Κατά τη διάρκεια των επόμενων εβδομάδων, το νέφος περικύκλωσε τον ισημερινό και εξαπλώθηκε στους πόλους. Επίπτωση ήταν η μείωση της παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά 1 βαθμό Fahrenheit (Τμήμα

Γεωλογίας Α.Π.Θ.). Πρόσφατη σημαντική έκρηξη ήταν αυτή του 2010 στο Eyjafjallajökull στην Ισλανδία που θα περιγραφεί στο 2^ο κεφάλαιο αναλυτικά.

Οι ηφαιστειακές εκρήξεις σε όποια χώρα και αν σημειωθούν έχουν τεράστιες συνέπειες είτε άμεσες είτε μακροχρόνιες, σε όλους τους τομείς. Αυτό αποτελεί και έναν από τους βασικούς λόγους που όλα τα καταγεγραμμένα ηφαίστεια βρίσκονται υπό συνεχή παρακολούθηση. Επιπλέον, καταβάλλεται προσπάθεια από καταρτισμένους επιστήμονες και ινστιτούτα να γίνει πρόβλεψη των εκρήξεων ώστε να υπάρξει ετοιμότητα. Οι συνέπειες θα αναλυθούν λεπτομερέστερα στο 2^ο κεφάλαιο. Στην περίπτωση των ηφαιστειακών εκρήξεων, όπως και με άλλα φυσικά φαινόμενα, είναι δύσκολη η πρόληψη, αφού ποτέ δεν μπορούν να προβλεφθούν όλες οι συνέπειες. Σημασία έχει όμως κάθε φορά να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα που δυνητικά περιορίζουν τις επιπτώσεις. Περίπου το 10% του παγκόσμιου πληθυσμού, δηλαδή περισσότεροι από 500 εκατομμύρια άνθρωποι, διαβιούν μέσα σε ένα δυναμικό εύρος έκθεσης σε προϊόντα κάποιου δραστηριοποιημένου ηφαιστείου. Ο αριθμός των ατόμων που εκτίθενται, αυξάνεται συνεχώς, αφού πολλά από τα ηφαίστεια βρίσκονται σε αναπτυσσόμενες χώρες (Doocy S *et al.*, 2013). Μάλιστα από τη χαρτογράφηση της Γης έχουν χαρακτηριστεί 91 περιοχές ως ζώνες με πολύ υψηλή ηφαιστειακή επικινδυνότητα.

Κεφάλαιο 1^ο Ηφαίστεια – Ηφαιστειακές εκρήξεις.

1.1. Ορισμός.

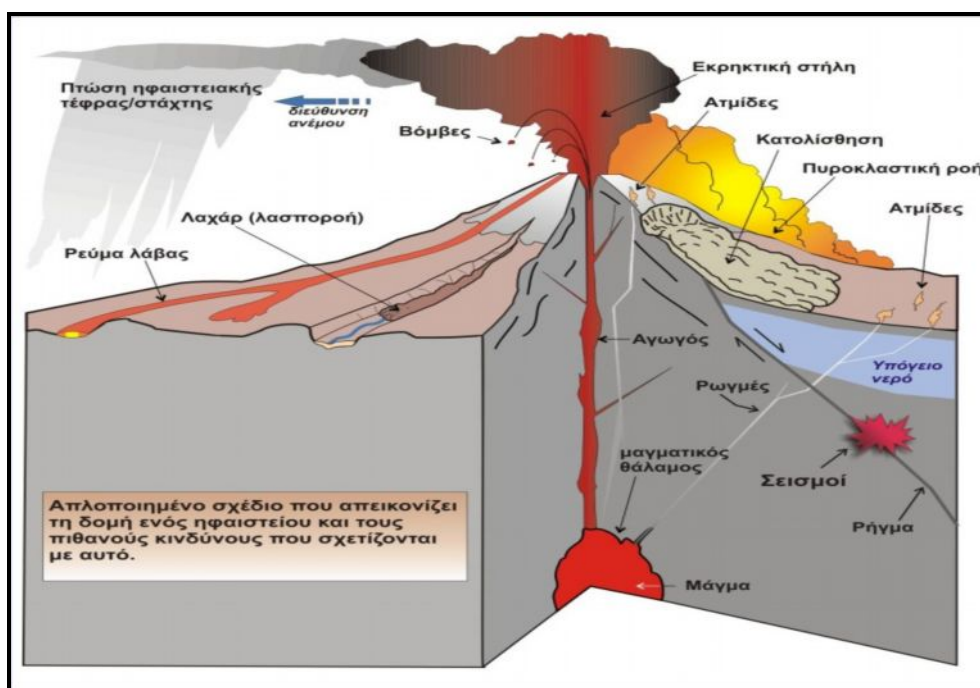
Ως ηφαίστειο ορίζεται μια διέξοδος ή σχισμή στον φλοιό της Γης, μέσω της οποίας εκρέει και ξεσπά λάβα, στάχτη, πέτρες και αέρια. Ένα ηφαίστειο μπορεί επίσης να οριστεί και ως ένα βουνό που σχηματίζεται από τη συσσώρευση αυτών των εκρηκτικών προϊόντων (Environmental Literacy Council, 2007).

1.2. Περιγραφή ηφαιστείου.

Σε γενικές γραμμές τα ηφαίστεια διαθέτουν κοινά μορφολογικά χαρακτηριστικά. Κάθε ηφαίστειο διαθέτει έναν κεντρικό αγωγό όπου στο ανώτερο άκρο του ανοίγει και παίρνει τη μορφή χοανοειδούς σχήματος το οποίο ονομάζεται κρατήρας του ηφαιστείου. Από τον κεντρικό αγωγό διέρχεται το μαγματικό τήγμα και απελευθερώνεται στην επιφάνεια. Συνήθως το ηφαιστειακό οικοδόμημα έχει σχήμα κώνου και δομείται από συμμετρική περίπτωση συσσώρευση λάβας ή/και πυροκλαστικού υλικού γύρω από τον κεντρικό αγωγό. Οι πλευρές του ηφαιστείου είναι συνήθως ασταθείς και περιέχουν κατακόρυφα ρήγματα που επικοινωνούν με τον κύριο μαγματικό θάλαμο ή με κάποιο δευτερεύοντα σε μικρότερο βάθος ή μέσω παρακλαδιών με τον κεντρικό αγωγό. Συχνά αυτά τα ρήγματα αποτελούν φλέβες τροφοδοσίας πλευρικών εκρήξεων, καθώς το μάγμα εκχύνεται περιοδικά στις πλευρές του ηφαιστειακού οικοδομήματος. Οι εκρήξεις αυτές δημιουργούν κώνους ηφαιστειακού υλικού που ονομάζονται παρασιπικοί κώνοι. Επίσης τα ρήγματα μπορούν να αποτελέσουν διεξόδους διαφυγής ηφαιστειακών αερίων δημιουργώντας έτσι τις ατμίδες ή φουμαρόλες (Ηφαιστειολογία – Κυριακόπουλος, 2014). Ο κεντρικός αγωγός συνδέεται στο βάθος με τον μαγματικό θάλαμο που είναι η θέση όπου αποθηκεύεται το ηφαιστειακό υλικό. Η δημιουργία όμως του μάγματος γίνεται πολύ πιο βαθιά στον ανώτερο μανδύα της Γης. Αδρανοποίηση του μαγματικού θαλάμου προκαλεί αναστολή της λειτουργίας του ηφαιστείου, οπότε είναι δυνατόν, εξαιτίας της απώλειας

στήριξης που δημιουργείται, να καταρρεύσει το ασταθές κάλυμμα του κρατήρα και να σχηματιστεί μια λεβητοειδής μορφή που λέγεται καλδέρα. Οι καλδέρες είναι αρνητικές γεωμορφές (βυθίσματα) που συνδέονται με ογκώδεις καταβυθίσεις και προκύπτουν λόγω μετακίνησης μαγματικών μαζών ή λόγω κατάρρευσης των υποκείμενων τμημάτων. Διακρίνουμε δύο τύπους καλδέρας. Αυτές που σχηματίζονται λόγω σταδιακής κατάρρευσης των επιφανειακών τμημάτων (κρατήρα) του ηφαιστείου και εκείνες που δημιουργούνται στιγμιαία και είναι αποτέλεσμα κάποιας βίαιης έκρηξης του ηφαιστείου.

Στην εικόνα που ακολουθεί δίνονται απλοποιημένα τα βασικά μέρη που αποτελούν ένα ηφαίστειο καθώς και τα πρωτογενή και δευτερογενή φαινόμενα όπως οι κατολισθήσεις, τα ηφαιστειακά νέφη και οι βόμβες. Τα φαινόμενα αυτά θα περιγραφούν σε επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 1: Δομή ενός ηφαιστείου και οι πιθανοί κίνδυνοι που προκύπτουν από την έκρηξη. (Πηγή: <http://history-pages.blogspot.gr/2012/08/blog-post.html>).

1.3. Δημιουργία ηφαιστείων – Περιοχές εντοπισμού.

Σχετικά με τη δημιουργία και τις εκρήξεις των ηφαιστείων, αυτές σχετίζονται με τις τεκτονικές πλάκες. Η επιφάνεια της Γης αποτελείται από άκαμπτες πλάκες που κινούνται με ρυθμό λίγων εκατοστών ανά έτος και ονομάζονται τεκτονικές ή λιθοσφαιρικές πλάκες. Να σημειωθεί ότι οι τεκτονικές

πλάκες είναι μεγάλα και μικρά τμήματα που υπάρχουν στον φλοιό της Γης. Ειδικότερα, η 80-100 με 150 Km πάχους λιθόσφαιρα χωρίζεται τεκτονικές πλάκες. Αυτές οι πλάκες επιπλέουν σε ένα στρώμα μάγματος, το οποίο είναι τηγμένο υλικό με διαλυμένα αέρια, πυριτικά υλικά και ορυκτά. Οι πλάκες αυτές είναι δυνατόν να συγκλίνουν, να αποκλίνουν ή να κινούνται παράλληλα μεταξύ τους. Στα όρια αυτών των πλακών το μάγμα, που είναι ελαφρύτερο από τον περιβάλλοντα στερεό βράχο, είναι συχνά σε θέση να εξαναγκαστεί να διέλθει ανοδικά μέσα από ρωγμές και σχισμές και τελικά να εκραγεί και να εκρεύσει έξω στην επιφάνεια της γης ξεχειλίζοντας ως λάβα δημιουργώντας κατά αυτόν τον τρόπο το ηφαίστειο (geology.com).

Οι περιοχές όπου εντοπίζονται τα ηφαίστεια είναι στις **ζώνες σύγκλισης** των λιθοσφαιρικών πλακών, στις **ζώνες απόκλισης** καθώς και στις **κεντρικές** περιοχές αυτών.

Στην πρώτη περιοχή εντοπισμού των ηφαιστείων η μία πλάκα υποβυθίζεται και καταστρέφεται κάτω από μια άλλη, και είναι η περίπτωση όπου εμφανίζεται το 80% των ενεργών ηφαιστείων σε παγκόσμια κλίμακα. Η βυθιζόμενη πλάκα μπαίνει σε χώρους υψηλών θερμοκρασιών και αρχίζει και λιώνει. Το τήγμα αυτό έχει μικρότερη πυκνότητα από τα περιβάλλοντα πετρώματα και με τη δράση των αερίων αρχίζει να ανεβαίνει διαπερνώντας την άλλη πλάκα που βρίσκεται από πάνω του. Καθ' οδόν ψύχεται και βαθμιαία κρυσταλλώνεται. Το υλικό που διαφεύγει στη στερεοποίηση φτάνει στην επιφάνεια και δημιουργεί μια σειρά ηφαιστείων σε γραμμική διάταξη που χαρακτηρίζεται ως ηφαιστειακό τόξο.

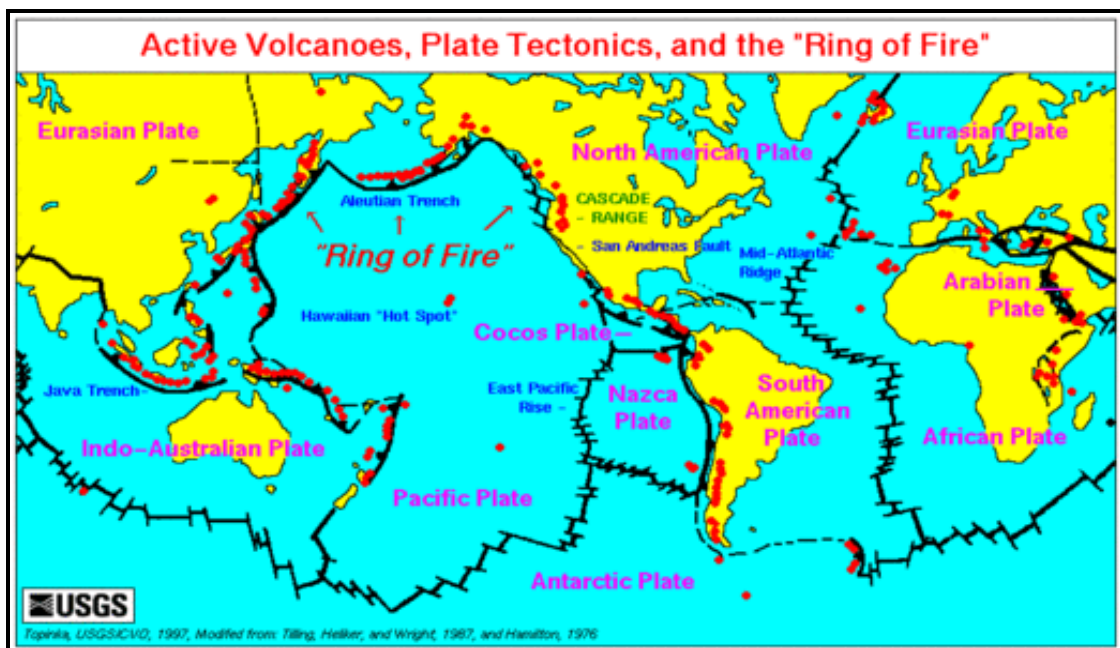
Στη δεύτερη, τα αποκλίνοντα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών είναι γνωστά και ως μεσοωκεάνιες ράχες, κατά μήκος των οποίων συντελείται συνεχής άνοδος μαγματικού υλικού και δημιουργία νέου φλοιού στους ωκεάνιους πυθμένες. Τα ηφαίστεια των μεσοωκεάνιων ράχων είναι υποθαλάσσια και σε ελάχιστες περιπτώσεις φτάνουν σε ύψη τέτοια, ώστε τα κορυφαία τους τμήματα να αναδύονται πάνω από τη στάθμη της θάλασσας με τη μορφή ηφαιστειογενών νησιών (π.χ. Ισλανδία/Β.Ατλαντικός, Τρισταν ντα Κούνια, Bouvet/N.Ατλαντικός, Γκαλαπάγκος, Νησιά του Πάσχα/Ειρηνικός).

Στην τελευταία, εντοπίζονται ηφαίστεια στις κεντρικές περιοχές των (ωκεάνιων ή ηπειρωτικών) τεκτονικών πλακών – περιοχές θερμών κηλίδων (hot spots) – όπου κάποια ασυνέχεια του φλοιού επιτρέπει τη δίοδο τηγμένου υλικού μέσα από το εσωτερικό της γης και προκαλεί την εμφάνιση ηφαιστειών. Τα νησιά της Χαβάης στο κέντρο του Ειρηνικού ωκεανού αποτελούν αντιπροσωπευτικό παράδειγμα. (Ηφαιστειολογία – Κυριακόπουλος, 2014).

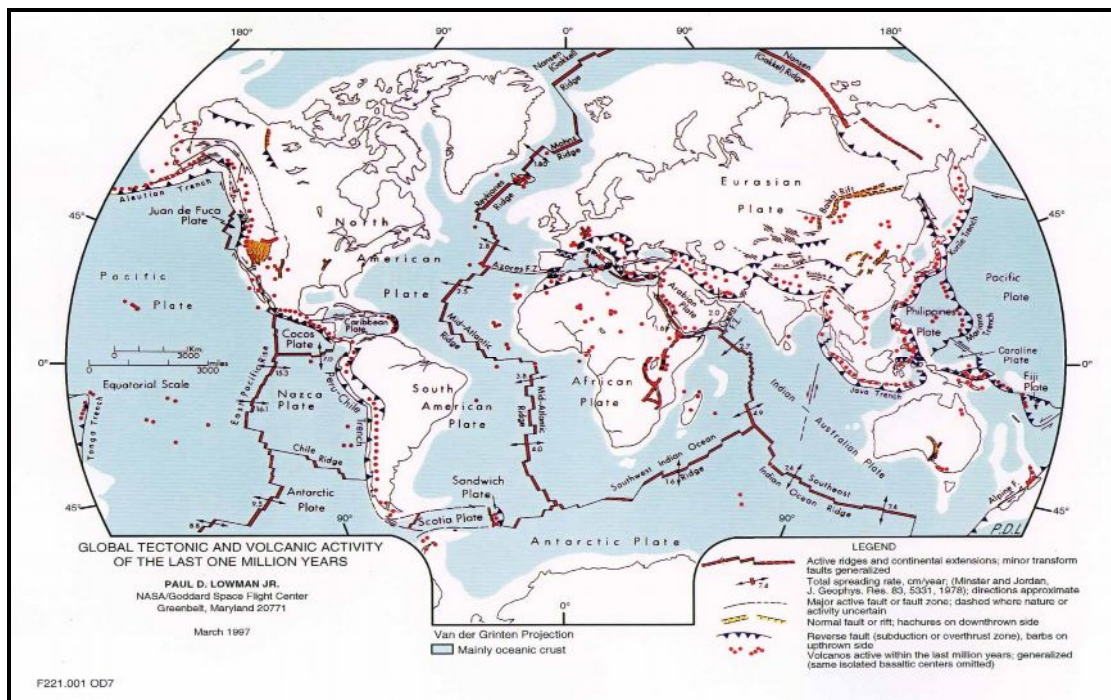
Σε κάθε μία από τις ανωτέρω περιοχές υπάρχουν διαφορετικού τύπου ηφαίστεια. Πιο συγκεκριμένα, στις ζώνες απόκλισης και στα ωκεάνια hot spots το μαγματικό υλικό προέρχεται απευθείας από το μανδύα ενώ στις ζώνες σύγκλισης το μάγμα προέρχεται από τη μερική τήξη της υποβυθιζόμενης ωκεάνιας πλάκας μαζί με υλικό της υπερκείμενης. Αυτή η διαφορά έχει αντίκτυπο στη σύσταση του μάγματος, δηλαδή στο περιεχόμενό του σε πυρίτιο, και συνεπώς και στο ιξώδες του και τελικά στην εκρηκτικότητα των ηφαιστειών. (Πηγή: Encyclopedia Britannica).

1.4. Γεωγραφική κατανομή.

Τα περισσότερα ηφαίστεια, περίπου το 80%, εντοπίζονται στο δαχτυλίδι της φωτιάς στον Ειρηνικό Ωκεανό. Η θέση τους εξαρτάται από τη θέση των τεκτονικών ή αλλιώς λιθοσφαιρικών πλακών.

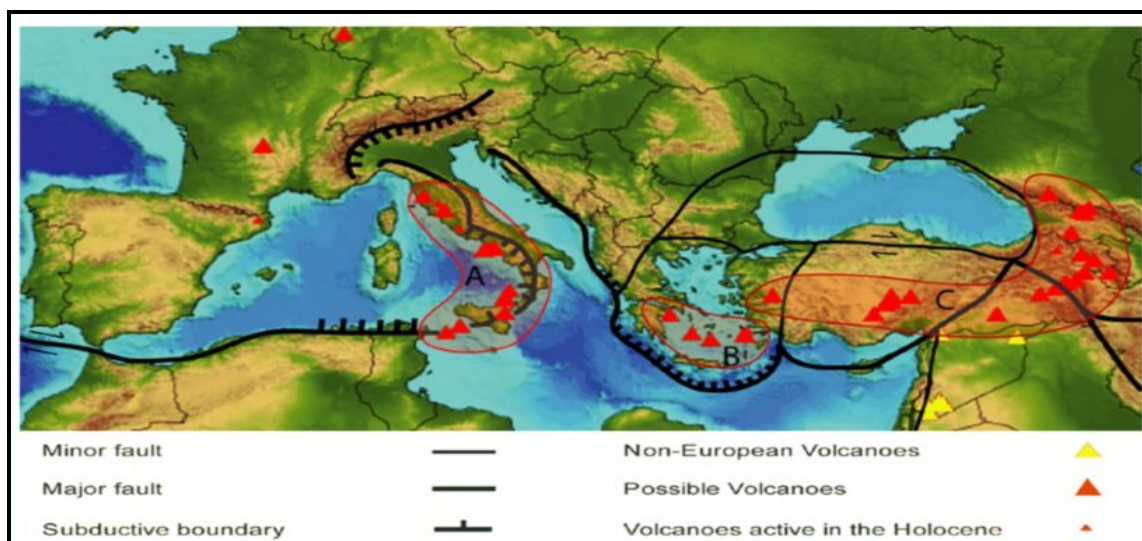


Εικόνα 2: Το δαχτυλίδι της φωτιάς στον Ειρηνικό ωκεανό. Πηγή: USGS.



Εικόνα 3: Ενεργά ηφαίστεια, τεκτονικές λιθσφαιρικές πλάκες. Πηγή: NASA.

Πολλά ηφαίστεια είναι μέσα και γύρω από τη Μεσόγειο Θάλασσα. Η Αίτνα στη Σικελία είναι το μεγαλύτερο και το υψηλότερο αυτών των βουνών. Στην Ιταλία, ο Βεζούβιος είναι το μόνο ενεργό ηφαίστειο στην ηπειρωτική Ευρώπη. Κοντά στο νησί Vulcano, το ηφαίστειο Stroboli είναι σε μια κατάσταση σχεδόν συνεχούς, ήπιας έκρηξης από τις αρχές των ρωμαϊκών χρόνων (Hansell A. et al., 2006).



Εικόνα 4: Κατανομή των ορίων των λιθσφαιρικών πλακών, των ενεργών ηφαιστειών και των ηφαιστειακών κέντρων στο χώρο της Μεσογείου και της Μαύρης Θάλασσας. A: η περιοχή ηφαιστειότητας της Καλαβρίας, B: η ηφαιστειακή περιοχή του Αιγαίου (Ελληνική) και C: η

ηφαιστειακή περιοχή της Ανατολίας, που περιλαμβάνει και τα ηφαίστεια του Καυκάσου (van der Meijde et al., 2003; McKenzie, 1970, από geonaut-online.com).

1.5. Ταξινόμηση ηφαιστειών με βάση το γεωτεκτονικό περιβάλλον.

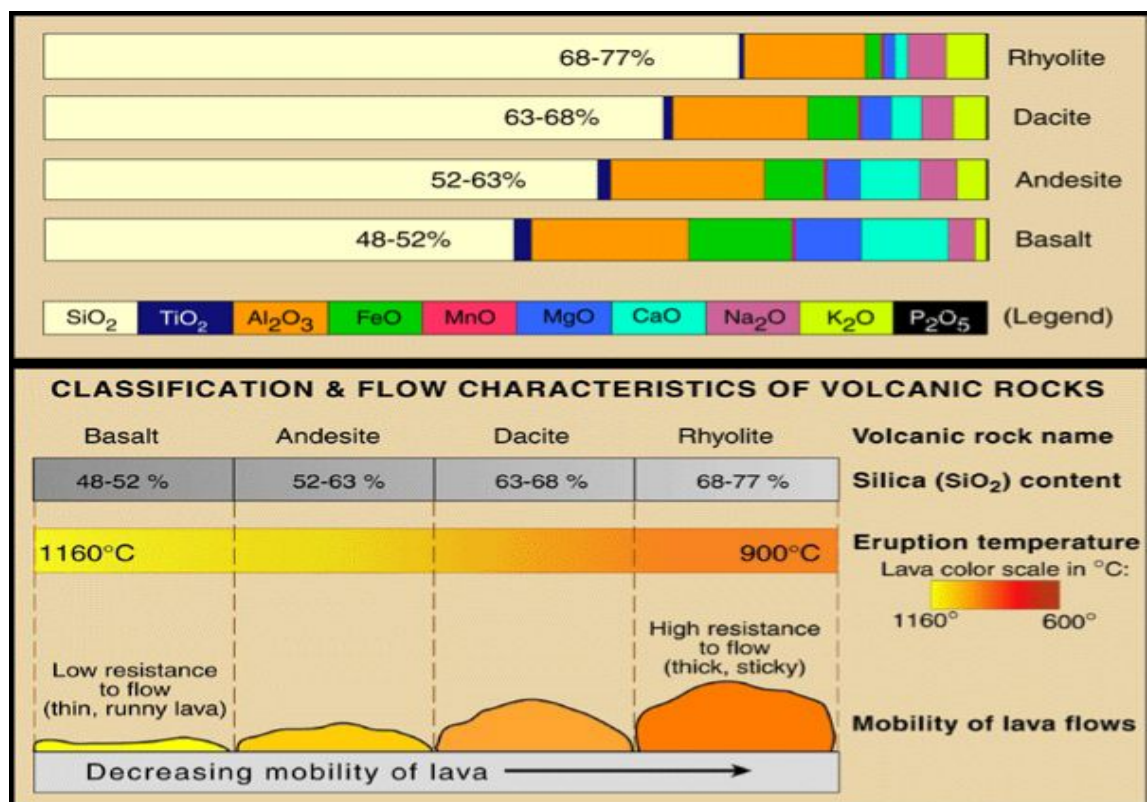
Το γεωτεκτονικό περιβάλλον κάθε ηφαιστείου καθορίζει τη σύσταση του ανερχόμενου μάγματος και συνεπώς τη δομή και τον εκρηκτικό χαρακτήρα του. Κάθε τύπος ηφαιστείου έχει χαρακτηριστική δραστηριότητα η οποία καθορίζεται σε ένα μεγάλο βαθμό από την πυκνότητα του μάγματος. Το μάγμα λοιπόν είναι το κύριο συστατικό ενός ηφαιστείου αλλά και το κύριο προϊόν της ηφαιστειακής έκρηξης, για αυτό και κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν κάποια βασικά χαρακτηριστικά. Μιας και δημιουργείται από λιωμένους βράχους, κατά κύριο λόγο αποτελείται από ορυκτά. Τα πυκνότερα ανόργανα άλατα, όπως τα πυριτικά άλατα σιδηρομαγνητικά σχηματίζονται σε υψηλότερες θερμοκρασίες, ενώ τα λιγότερο πυκνά σχηματίζονται όταν το μάγμα ψύχεται. Οι τύποι των ορυκτών που αποτελούν το λιωμένο πέτρωμα συχνά αναπτύσσονται χωρίς περιορισμούς σε πολύ μεγάλο μέγεθος και μπορεί να έχουν μια λεπτή κρυσταλλική μορφή. Χημικά η λάβα είναι κατασκευασμένη από στοιχεία όπως το πυρίτιο, το οξυγόνο, το αλουμίνιο, ο σίδηρος, το μαγνήσιο, το ασβέστιο, το νάτριο, το κάλιο, ο φωσφόρος, και το τιτάνιο. Βέβαια υπάρχουν και άλλα στοιχεία τα οποία είναι σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις (Oregon State University).

Ανάλογα με την συγκέντρωση των ορυκτών διακρίνονται τρεις βασικοί τύποι μάγματος. Το βασαλτικό μάγμα αποτελείται από 45-55% διοξείδιο του πυριτίου και είναι πλούσιο σε σίδηρο, μαγνήσιο και ασβέστιο αλλά φτωχό σε κάλιο και νάτριο. Το ανδεσιτικό μάγμα περιέχει 55-65% διοξείδιο του πυριτίου και ενδιάμεση ποσότητα των προαναφερθέντων μετάλλων. Τέλος το ρυολιτικό μάγμα αποτελείται από 65-75% διοξείδιο του πυριτίου και είναι φτωχό σε σίδηρο, μαγνήσιο και ασβέστιο αλλά πλούσιο σε κάλιο και νάτριο (Nelson S., 2015).

Όπως προαναφέρθηκε, το μάγμα αποτελείται από αέρια που επηρεάζουν την εκρηκτικότητα λόγω της αυξημένη πίεσης που αναπτύσσεται. Βασικό αέριο είναι ο ατμός που είναι δεσμευμένος σε ποσοστό 70-90%. Σε ιχνοποσότητες συμμετέχουν το άζωτο, το υδρογόνο, το μονοξείδιο του

άνθρακα, το θείο, το αργό, το χλώριο και το φθόριο. Αυτά τα αέρια ενώνονται με το υδρογόνο και σχηματίζουν διάφορες τοξικές ενώσεις όπως υδροχλώριο, υδροφθόριο, θειικό οξύ, υδρόθειο, που αποτελούν χαρακτηριστικά προϊόντα της δραστηριότητας των αμιδών αλλά και γενικότερα των ηφαιστείων. Βέβαια η συγκέντρωση και το είδος των αερίων που υπάρχουν σε ένα ηφαίστειο εξαρτώνται άμεσα από τη σύσταση του μάγματος και το ευρύτερο περιβάλλον του ηφαιστείου. Γενικά τα ρυολιτικά μάγματα περιέχουν τη μικρότερη ποσότητα αερίων (Ηφαιστειολογία – Κυριακόπουλος, 2014).

Όσον αφορά στα φυσικά χαρακτηριστικά του μάγματος, η θερμοκρασία είναι πολύ δύσκολο να μετρηθεί. Από εργαστηριακές μετρήσεις και παρατηρήσεις η θερμοκρασία του βασαλτικού μάγματος κυμαίνεται μεταξύ 1000- 1200°C, του ανδεσιπικού 800- 1000°C και του ρυολιτικού 650- 800°C. Η πυκνότητα τους εξαρτάται από την περιεκτικότητά σε πυρίτιο (SiO₂) η οποία κυμαίνεται από 50 –70% και από τη θερμοκρασία τους.



Εικόνα 5: Θερμοκρασία, σύσταση και ιξώδες των μαγμάτων. Πηγή: USGS.

Η ποσοστιαία συμμετοχή του πυριτίου έχει ιδιαίτερη σημασία, τόσο στη συμπεριφορά όσο και στη μορφή του ηφαιστείου. Όσο περισσότερο πυρίτιο υπάρχει στο μάγμα, τόσο πιο μικρή είναι η θερμοκρασία του και τόσο πιο

παχύρρευστο είναι. Ταυτόχρονα, οι ρευστές φάσεις (διάφορα αέρια και υδρατμοί) παραμένουν εγκλωβισμένα στο μάγμα, και τελικά οι εκρήξεις είναι πιο βίαιες και καταστροφικές. Αντίθετα, τα φτωχά σε πυρίτιο μάγματα, έχουν υψηλότερη θερμοκρασία και μικρότερο ιξώδες (ρέουν πιο εύκολα), χαρακτηριστικά η βασαλτική λάβα να ρέει με ταχύτητα 0.5- 5000m³/s, ενώ η αδενσιπική και η ρυολιτική με ταχύτητα 0.05- 10m³/s. Έτσι, αφενός κατά τη διαδρομή τους χάνουν πιο εύκολα τις ρευστές φάσεις που απελευθερώνονται σταδιακά στην ατμόσφαιρα, ενώ τα αντίστοιχα ηφαίστεια και οι εκρήξεις τους, είναι λιγότερο βίαια. Όσο πιο λίγο πυρίτιο υπάρχει (βασαλτικά μάγματα), τόσο η θερμοκρασία του μάγματος πλησιάζει τους 1200°C, ενώ όσο αυξάνεται το πυρίτιο (ανδεσιπικά-ρυολιτικά μάγματα) η θερμοκρασία του μάγματος χαμηλώνει μέχρι τους 600-650°C.

Άρα, όπως θα περιγραφεί και παρακάτω, π.χ. στα ασπιδωτά ηφαίστεια, οι λάβες έχουν χαμηλότερο ιξώδες, υψηλότερη θερμοκρασία, λιγότερα αέρια και χαρακτηριστικές ροές με βασαλτική λάβα, που ρέει ακόμα και σε ήπιας κλίσης επιφάνειες, σχηματίζοντας ομαλές επιφάνειες. Αντίθετα, π.χ. τα στρωματοηφαίστεια, έχουν ψηλότερο ιξώδες (πιο παχύρρευστα), χαμηλότερη θερμοκρασία, περισσότερα αέρια και είναι πιο εκρηκτικά, όπου εκχύνονται ανδεσίτες (μεγαλύτερο ποσοστό πυριτίου από τους βασάλτες) και σχηματίζουν ψηλούς δόμους γιατί ρέουν δύσκολα. (Ηφαιστειολογία – Κυριακόπουλος, 2014 – Nelson S., 2015).

1.5.1. Τύποι ηφαιστειών.

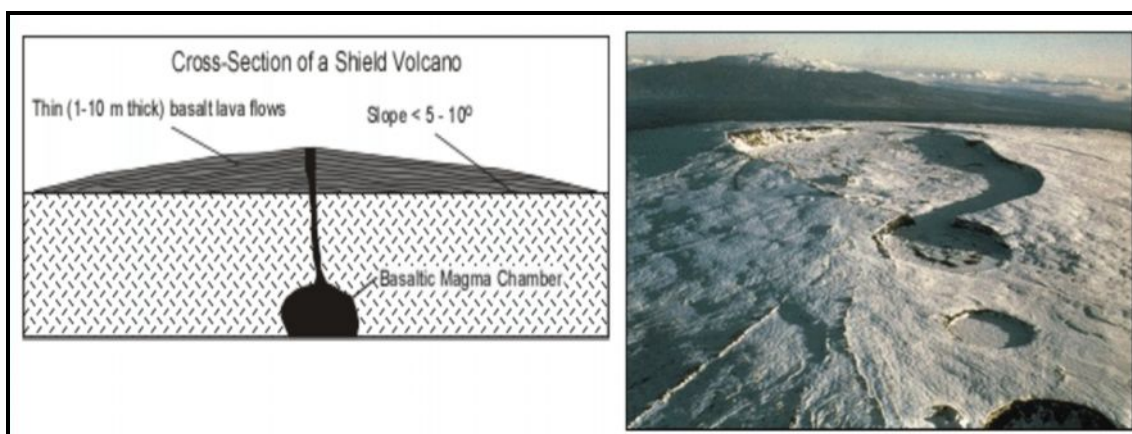
Οι κυριότεροι επομένως ηφαιστειακοί τύποι με βάση την σύσταση του μάγματος είναι (α) τα Ασπιδικά (shield) ηφαίστεια, (β) τα Μικτά ηφαίστεια ή στρωματοηφαίστεια και (γ) οι Ηφαιστειακοί δόμοι.

1.5.1.1. Ασπιδικά ηφαίστεια.

Τα ασπιδικά (ή ασπιδόμορφα) ηφαίστεια χαρακτηρίζονται από μη εκρηκτική δραστηριότητα που είναι αποτέλεσμα της μικρής περιεκτικότητας του μάγματος σε πυρίτιο (περίπου 50%). Είναι πολύ μεγάλα σε έκταση και

αποτελούνται αποκλειστικά σχεδόν από πολυάριθμες ροές λαβών. Αποτελούν τον πλέον συνηθισμένο τύπο ηφαιστειών.

Μερικά από τα μεγαλύτερα ηφαιστεια του κόσμου ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία. Στην Νότια Καλιφόρνια και στο Όρεγκον πολλά από τα ασπιδόμορφα έχουν διάμετρο 5 έως 6 χλμ. και ύψος 450 με 600 μέτρα. Τα τυπικά ηφαιστεια ασπίδων είναι αυτά που αναπτύσσονται σε ωκεάνιες περιοχές και συγκεκριμένα σε αυτές των νήσων της Χαβάης, το Kilauea και το Mauna Loa είναι δύο από τα πιο γνωστά ενεργά ηφαιστεια στον κόσμο. Συγκεκριμένα το Mauna Loa, το οποίο είναι το μεγαλύτερο του είδους του και το πιο ενεργό ηφαιστειο στον κόσμο, προεξέχει 4.170 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας ενώ η κορυφή του βρίσκεται 9090 μέτρα από τον ωκεάνιο πυθμένα.

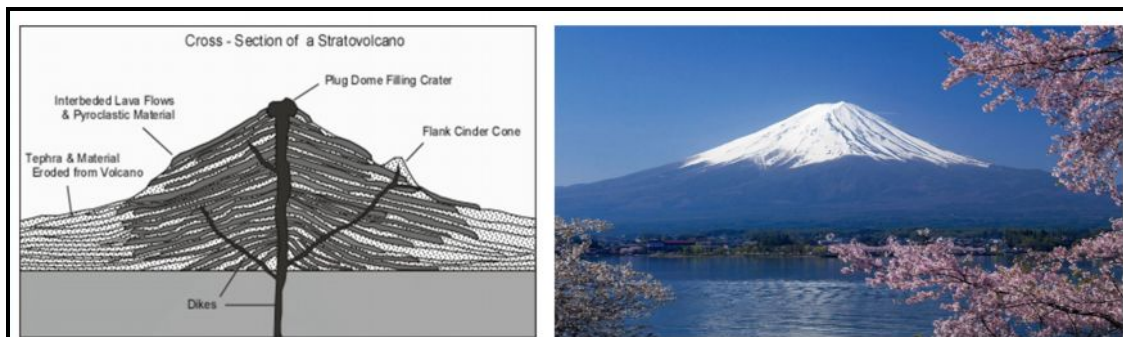


Εικόνα 6: Αριστερά: Κάθετη τομή Ασπιδόμορφου ηφαιστειού. Δεξιά: Ηφαιστειο Mauna Loa, Χαβάη.

1.5.1.2. Μικτά ηφαιστεια ή Στρωματοηφαιστεια.

Τα μεικτά ηφαιστεια ή στρωματοηφαιστεια (Composite Volcanoes or Stratovolcanoes) είναι γνωστά για το κωνοειδές σχήμα τους, χαρακτηρίζονται από μάγμα με ενδιάμεση περιεκτικότητα σε πυρίτιο (περίπου 60%), πιο παχύρρευστο από το μάγμα των ασπιδικών ηφαιστειών. Η δραστηριότητά τους χαρακτηρίζεται από αλληπαλλήλες εκρήξεις ροών λάβας και αερίων Τα ηφαιστεια του τύπου αυτού απαντούν σε πολλές περιοχές του κόσμου με πλέον χαρακτηριστικό παράδειγμα το ηφαιστειο της Αγίας Ελένης (Η.Π.Α.). Τα στρωματοηφαιστεια εντοπίζονται στις περιοχές που οι τεκτονικές πλάκες συγκλίνουν, στις οποίες η μια πλάκα υποβυθίζεται κάτω από μια άλλη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα ηφαιστεια τα οποία ανήκουν στο

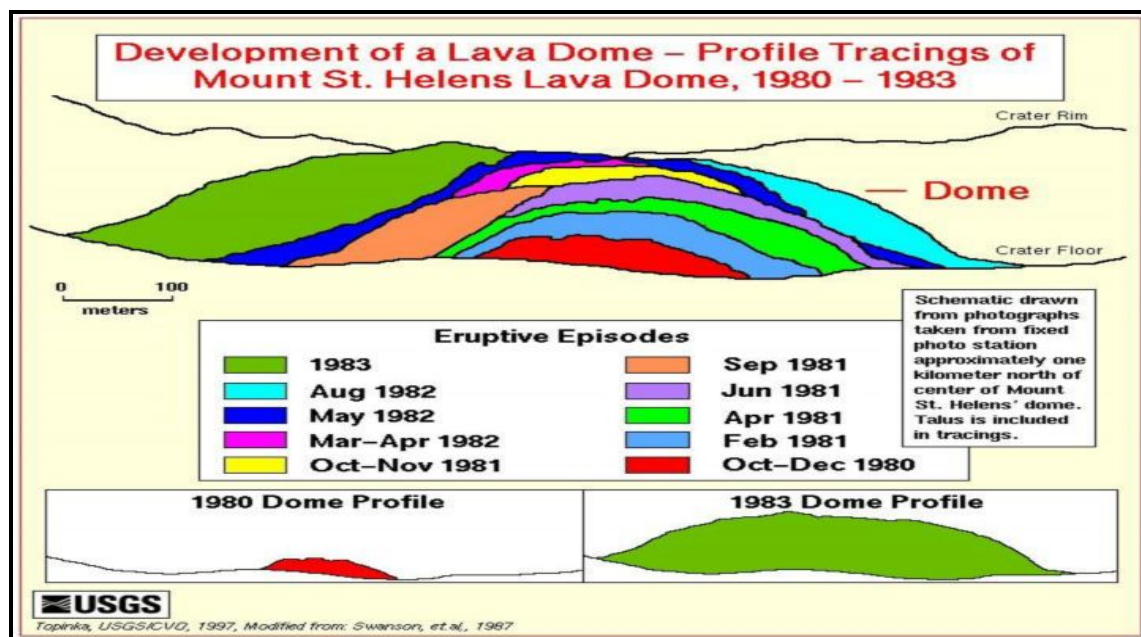
Πύρινο Δακτύλιο, Mount Fuji στην Ιαπωνία, Mount Cotopaxi στο Εκουαδόρ, Mount Shasta στην Καλιφόρνια, Mount Hood στο Όρεγκον, Mount St. Helens και Mount Rainier στην Ουάσιγκτον και Mount Vesuvius στην Ιταλία.



Εικόνα 7: Αριστερά: Κάθετη τομή Στρωματοηφαιστείου. Δεξιά: Mount. Fuji, Ιαπωνία.

1.5.1.3. Ηφαιστειακοί δόμοι.

Οι ηφαιστειακοί δόμοι χαρακτηρίζονται από παχύρευστο μάγμα με υψηλή περιεκτικότητα σε πυρίτιο (>70%). Η δραστηριότητά τους είναι γενικά πολύ μεγάλη, καθιστώντας τους πολύ επικίνδυνους.



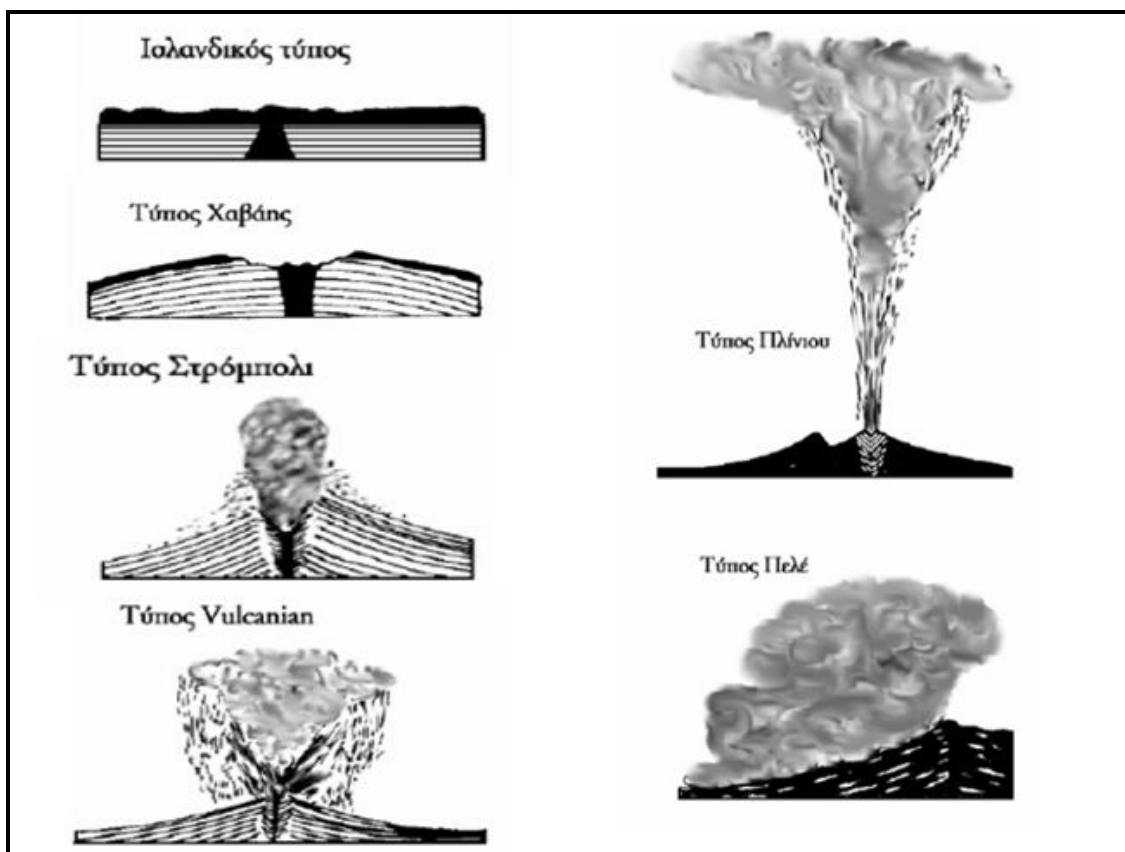


Εικόνα 8: Επάνω: Ανάπτυξη του ηφαιστειακού δόμου στο Mount St.Helens κατά τη δραστηριότητα της δεκαετίας του 1980. Κάτω: δόμοι στο εσωτερικό του κρατήρα.

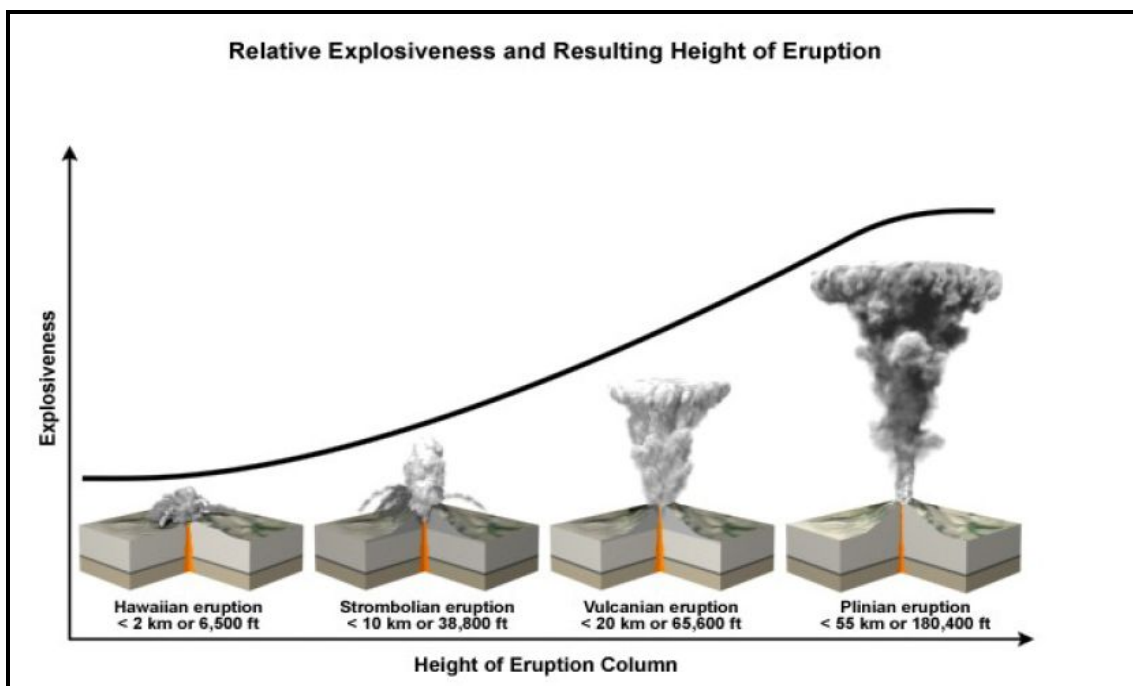
1.6. Ταξινόμηση με βάση την εκρηκτικότητα.

Η ταξινόμηση των ηφαιστείων με βάση την αυξανόμενη εκρηκτικότητα τους είναι η ακόλουθη:

- *Εκρήξεις Ισλανδικού τύπου*
- *Εκρήξεις τύπου Χαβάης*
- *Εκρήξεις τύπου Στρόμπολι*
- *Εκρήξεις τύπου Vulcano*
- *Εκρήξεις Πλίνιου τύπου*
- *Εκρήξεις τύπου Πελέ*
- *Υδροθερμικές εκρήξεις*



Εικόνα 9: Οι κυριότεροι τύποι ηφαιστειακών εκρήξεων κατανεμημένοι σε σειρά αυξανόμενου κινδύνου και καταστροφής.



Εικόνα 10: Σχετική εκρηκτικότητα διαφόρων τύπων ηφαιστείων και μέγιστο ύψος των αναβλημάτων. Πηγή: USGS, The COMET Program.

1.6.1. Εκρήξεις Ισλανδικού τύπου (Iceland type eruptions).

Είναι μεγάλης κλίμακας εκχύσεις λάβας με μεγάλη ρευστότητα. Κάθε εκρηκτική δράση σχηματίζει μικρά ηφαιστειακά οικοδομήματα κωνικού σχήματος κατά μήκος ρωγμών. Επαναλαμβανόμενες εκρήξεις δημιουργούν τεράστια βασαλτικά κράσπεδα όπως στην περιοχή του ποταμού Κολούμπια της Αμερικής, στο υψίπεδο του Deccan στην Ινδία και αλλού.

1.6.2. Εκρήξεις τύπου Χαβάης (Hawaiian eruptions).

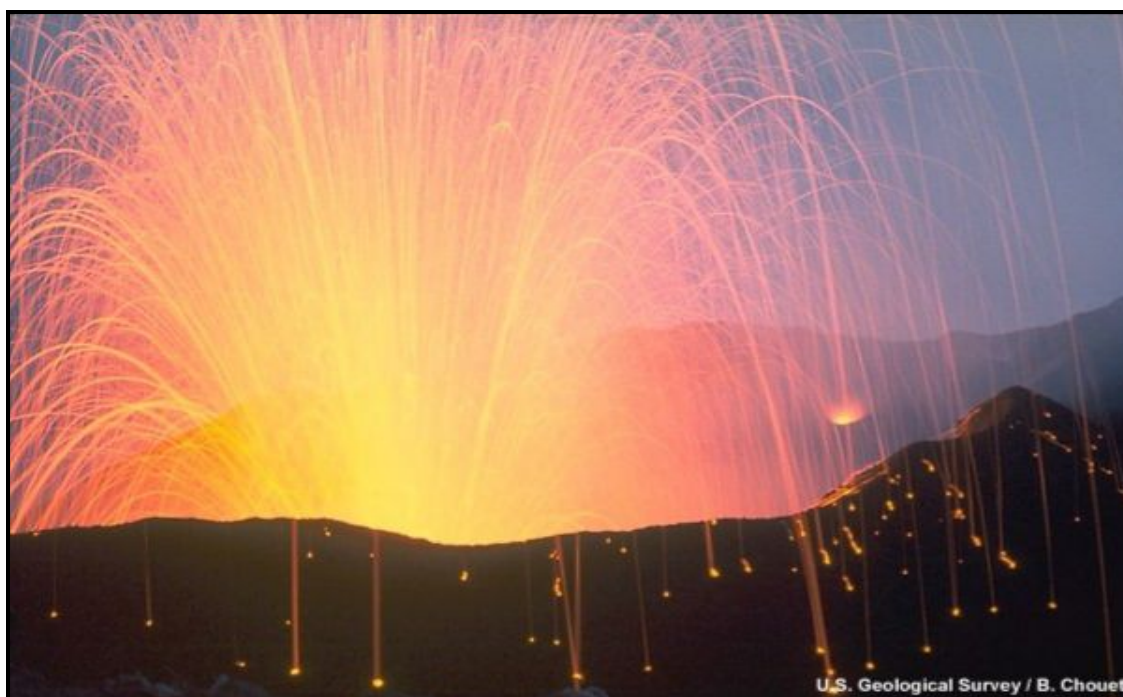
Είναι οι πιο ήπιες μορφές εκρήξεων, παρόμοιες με τις εκρήξεις Ισλανδικού τύπου. Χαρακτηρίζονται από εκχύσεις λάβας μεγάλης κινητικότητας ενώ τα λίγα σύνοδα αέρια απελευθερώνονται σχεδόν αθόρυβα. Το ξεχωριστό χαρακτηριστικό αυτού του τύπου εκρήξεων είναι η συμπαγής λάβα και η παραγωγή λεπτών ροών λάβας οι οποίες καλύπτουν τεράστιες επιφανειακές εκτάσεις σχηματίζοντας έτσι τα ασπιδωτά ηφαίστεια. Οι εκρήξεις εκδηλώνονται κυρίως κοντά στην κορυφή των ηφαιστείων και σε μεμονωμένες ρωγμές ενώ η πυρακτωμένη λάβα κατηφορίζει τις πλαγιές του ηφαιστείου με αποτέλεσμα να μη στερεοποιείται και αποφράσσει το στόμιο εξόδου.



Εικόνα 11: Βασαλτική λάβα από το ηφαίστριο Kilauea στη Χαβάη.

1.6.3. Εκρήξεις τύπου Στρόμπολι (Strombolian eruptions).

Αυτό το είδος ηφαιστειακής δραστηριότητας οφείλει την ονομασία του στο ηφαίστειο Stromboli, που βρίσκεται στη νότια Ιταλία. Αυτό το ηφαίστειο βρίσκεται σε δράση εδώ και εκατό χρόνια. Εκρήγνυται κάθε δώδεκα λεπτά και δίνει μια προσωρινή λάμψη έτσι ώστε να δικαιολογήσει το όνομά του ως «Φάρος της Μεσογείου». Η δραστηριότητα είναι ελαφρώς περισσότερο εκρηκτική από αυτήν της Χαβάης, λόγω της έκθεσης λιγότερο κινητικής λάβας στην ατμόσφαιρα. Χαρακτηρίζεται από μικρές βίαιες εκτινάξεις λάβας που φτάνουν μέχρι και εκατοντάδες μέτρα μέσα στην ατμόσφαιρα. Οι εκτινάξεις της παχύρρευστης βασαλτική λάβας γίνεται κυρίως από το στόμιο του ηφαιστείου. Τα σύνοδα αέρια απελευθερώνονται με μέτριας έντασης εκρήξεις, ρυθμικές ή συνεχιζόμενες. Τα αέρια που απελευθερώνονται παρασύρουν και εκτινάσσουν στερεά αναβλήματα τα οποία τοποθετούνται ομοιόμορφα γύρω από τον κρατήρα του ηφαιστείου. Αν και οι εκρήξεις αυτού του είδους είναι πιο θορυβώδεις από τις εκρήξεις τύπου Χαβάης ωστόσο είναι λιγότερο επικίνδυνες.



Εικόνα 12: Περιοδικές εκρήξεις βασαλτικής λάβας από έναν κύριο κρατήρα στο ηφαίστειο Stromboli στη Νότια Ιταλία.

1.6.4. Εκρήξεις τύπου Vulcano (Vulcanian eruptions).

Οι εκρήξεις αυτού του τύπου πήραν το όνομά τους από το μικρό Ιταλικό νησί Vulcano. Ιστορικές εκρήξεις οδήγησαν τους Ρωμαίους να πιστεύουν ότι

στο νησί αυτό ήταν το σιδηρουργείο του Ήφαιστου, του θεού της φωτιάς. Οι εκρήξεις αυτού του τύπου, οι οποίες είναι μικρές σε διάρκεια, περιλαμβάνουν την απελευθέρωση ρευστής λάβας η οποία ψύχεται και στερεοποιείται κατά το χρονικό διάστημα ηρεμίας που μεσολαβεί ανάμεσα στις διαδοχικές εκρήξεις και φράσσει το στόμιο εκπομπής του μάγματος με αποτέλεσμα να αυξάνεται η εσωτερική πίεση των αερίων. Ενώ η ηφαιστειακή τέφρα που παράγεται είναι σχετικά μικρή σε ποσότητα (λιγότερο από ένα κυβικό χιλιόμετρο) εντούτοις διασκορπίζεται σε μεγάλη απόσταση γύρω από το ηφαίστειο.



Εικόνα 13: Έκρηξη τύπου Vulcan του ηφαιστίου Tavunur στην Ραμα της Νέας Γουινέας, το 2014.

1.6.5. Εκρήξεις Πλίνιου τύπου (Plinian eruptions).

Οι εκρήξεις τύπου Plinian ή Βεζούβιου αντιπροσωπεύουν τις γνωστές ιστορικές ηφαιστειακές εκρήξεις κατά τις οποίες η ηφαιστειακή τέφρα που εκτοξεύθηκε ανέβηκε μέχρι και 45 Km μέσα στην στρατόσφαιρα. Αυτές οι εκρηκτικού τύπου εκρήξεις πήραν το όνομά τους από τον Πλίνιο, έναν Ρωμαίο πολιτικό, ο οποίος περιέγραψε με μεγάλη λεπτομέρεια την ηφαιστειακή έκρηξη του Βεζούβιου το 79 μ.Χ. Ο θείος του Πλίνιου, ήταν ναύαρχος του Ρωμαϊκού ναυτικού και πέθανε κατά τη διάρκεια της έκρηξης. Τότε ο Πλίνιος για να καταγράψει τα αίτια του θανάτου του θείου του έγραψε δύο γράμματα στον ιστορικό Tacitus περιγράφοντας την έκρηξη του Βεζούβιου. Κατά την έκρηξη

εκείνη σκοτώθηκαν χιλιάδες άνθρωποι και δύο μεγάλες πόλεις η Πομπηία και η Ηρακλεία θάφτηκαν από τα προϊόντα του ηφαιστείου. Η πόλη της Πομπηίας παρέμεινε θαμμένη για 1700 χρόνια μέχρι που βρέθηκε κατά λάθος κατά τη διάρκεια εκσκαφών για υδρορροή. Ο Βεζούβιος από τότε έχει δώσει πολυάριθμες εκρήξεις Πλίνιου τύπου, με λιγότερο καταστροφικά αποτελέσματα.

Οι εκρήξεις αυτού του τύπου περιλαμβάνουν βίαιες εκτοξεύσεις μάγματος και αερίων στην ατμόσφαιρα και συναντώνται κυρίως στα στρωματοηφαίστεια. Η διάρκεια των εκρήξεων ποικίλει από μερικές ώρες μέχρι και ημέρες. Λόγω της μακράς περιόδου ηρεμίας, το μάγμα είναι πολύ εμπλουτισμένο σε αέρια ενώ τα ηφαιστειακά νέφη που δημιουργούνται ανεβαίνουν ψηλά στην ατμόσφαιρα και η σποδός μεταφέρεται σε πολλές και απομακρυσμένες περιοχές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η έκρηξη του Mt. Pinatubo στις Φιλιππίνες το 1991 κατά την οποία η ηφαιστειακή σποδός εκτοξεύτηκε σε ύψος τουλάχιστον 30 χλμ.



Εικόνα 14: The eruption plume Of Mt. Pinatubo's Destructive Volcanic Eruption. Πηγή: USGS.

Οι υδρατμοί συμμετέχουν σε μεγάλο ποσοστό και προέρχονται από διείδυση θαλασσινού νερού στον υδροφόρο ορίζοντα κοντά στο ηφαίστειο.

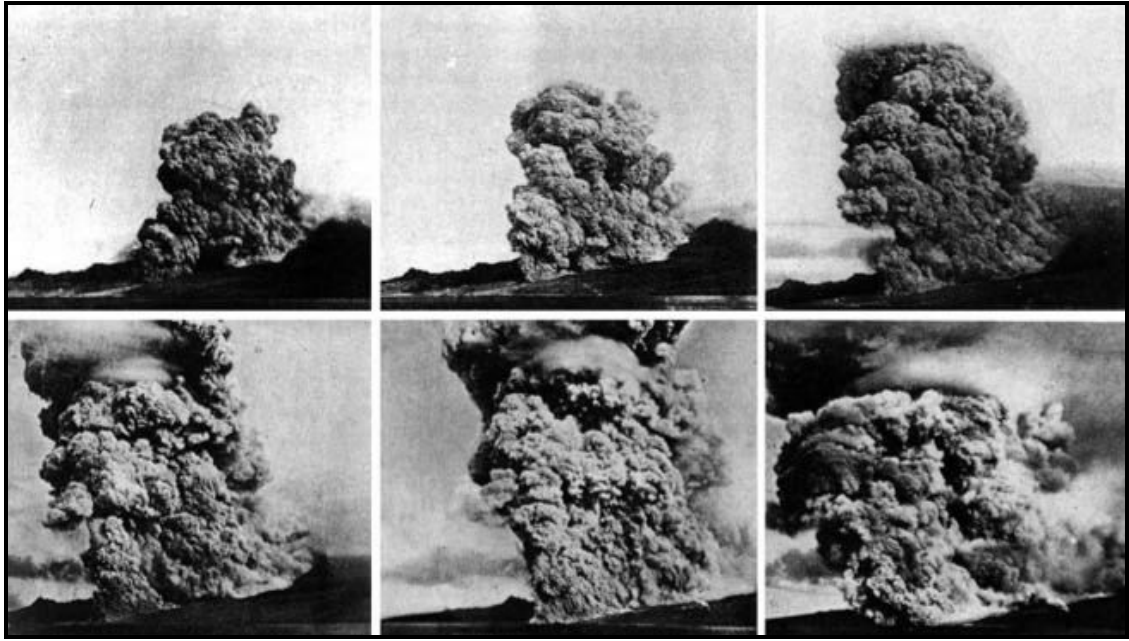
Οι περιοχές που βρίσκονται σε ηφαίστεια με χαρακτήρα εκρήξεων αυτού του είδους είναι εκτεθειμένες όχι μόνο από την ηφαιστειακή τέφρα αλλά

και από τα προϊόντα της πυροκλαστικής δραστηριότητας του ηφαιστείου και από τυχόν ηφαιστειακές λασποροές (lahars) οι οποίες δημιουργήθηκαν από την ανάμειξη του νερού με την μη στερεοποιημένη τέφρα.

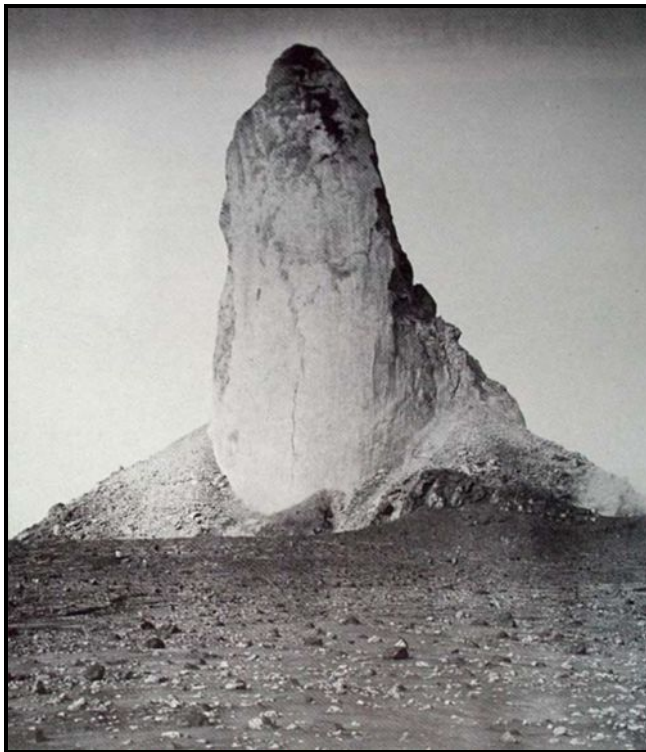
1.6.6. Εκρήξεις τύπου Πελέ (Pele eruptions).

Ο τύπος αυτός οφείλει την ονομασία του στον χαρακτηριστικό τρόπο δραστηριότητας του ηφαιστείου Πελέ της νήσου Μαρτινίκας. Τον Μάιο του 1902 εκτινάχθηκε από το ηφαίστειο με μεγάλη ταχύτητα ένα πυκνό πυρακτωμένο νέφος. Καταστράφηκε ολοσχερώς η πόλη του Αγίου Πέτρου που βρισκόταν σε απόσταση 6 Km, θανατώνοντας τους 30.000 κατοίκους της. Από το χώρο του παλαιού κρατήρα ανυψώθηκε μια στερεά ανδεσιπικής σύστασης λάβα με τη μορφή οβελίσκου σε ύψος 400 μέτρων (Εικ.6), η οποία στη συνέχεια λόγω της συνεχής πίεσης από τα κατώτερα τμήματά της κατέρρευσε. Η θερμοκρασία του γιγαντιαίου σύννεφου που φλεγόμενο άρχισε την καθοδική του πορεία από τον κρατήρα του ηφαιστείου ήταν περίπου 800°C.

Πρόκειται για το δυνητικά καταστροφικότερο εκρηκτικό τύπο. Από τον κεντρικό κρατήρα του ηφαιστείου εκτινάσσονται πυρακτωμένα νέφη και μεγάλες ποσότητες πτητικών συστατικών. Κυρίως κατά τα πρώτα στάδια παρατηρείται έντονη εκρηκτικότητα λόγω της συμμετοχής του μετεωρικού νερού. Η απελευθέρωση των πολύ εκρηκτικών υλικών παρεμποδίζεται από την παρουσία ενός δόμου συμπαγούς λάβας πάνω από τον κύριο ηφαιστειακό αγωγό. Το μάγμα που βρίσκεται υπό συμπίεση ακολουθώντας κάποια ασυνέχεια προκαλεί νέο άνοιγμα από όπου και απελευθερώνονται πλευρικά. Το κύμα λάβας μετακινείται με μεγάλες ταχύτητες αποτεφρώνοντας και καταστρέφοντας οτιδήποτε βρίσκεται στο πέρασμά του.



Εικόνα 15: Η έκρηξη του Mt. Pele το 1902 (16 Δεκεμβρίου) με χαρακτηριστικές πυροκλαστικές ροές, όπως φωτογραφήθηκε από τον Γάλλο ηφαιστειολόγο Alfred Lacroix.



Εικόνα 16: Μετά το τέλος της εκρηκτικής δραστηριότητας του Πελέ, το ηφαίστειο κατέρρευσε (τον Σεπτέμβριο του 1903) αφήνοντας πίσω του μόνον έναν οβελίσκο λάβας ύψους 300 μέτρων, σαν “μνημείο των 30.000 θυμάτων που κείτονται παρακάτω, στη σιωπηλή πόλη”, όπως χαρακτηρίστηκε από τον Angel Heilprin.

1.6.7. Υδροθερμικές εκρήξεις (Hydrothermal eruptions)

Προκαλούνται από την αντίδραση του μάγματος με το επιφανειακό ή υπόγειο νερό. Είναι πολύ πιο εκρηκτικές από τις εκρήξεις τύπου Stromboli. Εκρηκτικές υδροθερμικές εκρήξεις βασαλτικής λάβας λέγονται και Surtseyan eruptions μετά την έκρηξη του νησιού Surtsey στον Ατλαντικό το 1963. Καθώς το νερό θερμαίνεται μετατρέπεται σε υδρατμούς οι οποίοι εξαπλώνονται και κομματιάζουν το μάγμα το οποίο εκρήγνυται σε μορφή τέφρας. (Ηφαιστειολογία – Κυριακόπουλος, 2014)



Εικόνα 17: Υδροθερμική (φρεατομαγματική) έκρηξη στο ηφαίστειο Ukinrek στην Αλάσκα. Πηγή: AVO.

1.7. Ταξινόμηση με βάση την ενεργότητα.

Η ταξινόμηση των ηφαιστείων σε ενεργά, αδρανή και σβησμένα συχνά οδηγεί σε λάθος εκτιμήσεις και συμπεράσματα καθώς συνήθως δεν υπάρχει αξιόπιστος τρόπος καθορισμού τους για μεγάλες χρονικές περιόδους. Τα

ηφαίστεια με καταγεγραμμένη εκρηκτική δραστηριότητα μέσα στους ιστορικούς χρόνους χαρακτηρίζονται ως **ενεργά** (active volcanoes), δηλαδή ικανά να επαναδραστηριοποιηθούν ανά πάσα στιγμή και στο μέλλον. Εντούτοις υπάρχουν και πολλά ηφαίστεια που δεν έχουν ιστορικά καταγεγραμμένη δράση, είτε γιατί η περίοδος «χειμέριας νάρκης» τους υπερκαλύπτει τους ιστορικούς χρόνους, είτε γιατί βρίσκονται σε περιοχές με χρονικά περιορισμένες ιστορικές καταγραφές. Αυτά χαρακτηρίζονται ως **κοιμώμενα** (dormant volcanoes) και η μελλοντική τους δραστηριοποίηση δεν μπορεί να αποκλειστεί. Τέλος **σβησμένα** (extinct volcanoes) χαρακτηρίζονται τα ηφαίστεια που όλα τα δεδομένα δείχνουν πως έχουν ολοκληρώσει τον κύκλο ζωής τους και έχουν πλέον απονεκρωθεί.

1.8. Ηφαιστειακές εκρήξεις.

Οι ηφαιστειακές εκρήξεις εκδηλώνονται όταν η λάβα και το αέριο αποβάλλονται από μια ηφαιστειακή διέξοδο. Τα πρώτα φαινόμενα που εκδηλώνονται είναι οι πυροκλαστικές εκρήξεις, η απελευθέρωση θερμής τέφρας, ροές λάβας, οι εκπομπές αερίων και οι λαμπερές χιονοστιβάδες που απελευθερώνουν ταυτόχρονα τέφρα και αέρια. Μάλιστα τα γεγονότα αυτά και ειδικότερα οι ροές λάβας μπορούν να διαρκέσουν για αρκετό καιρό. Δευτερευόντως η τήξη των πάγων, το χιόνι και η βροχή που συνοδεύει εκρήξεις είναι πιθανό να προκαλέσουν πλημμύρες και θερμούς χειμάρρους λάσπης. Οι λασπορροές προκαλούνται όταν πλέον έχει επέλθει κορεσμός στα ηφαιστειακά προϊόντα. Επιπρόσθετα η ηφαιστειακή τέφρα προκαλεί κατολισθήσεις που καλούνται lahar, ενώ λόγω της θερμότητάς της μπορεί να εκκινήσει πυρκαγιές.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι οι ηφαιστειακές εκρήξεις μπορούν να προκαλέσουν και άλλα φυσικά φαινόμενα όπως θερμοπίδακες, ατμίδες, θερμές πηγές, σεισμούς και τσουνάμι. Τα τελευταία είναι κοινά μετά από εκρήξεις υποθαλάσσιων ηφαιστειών (WHO, World Health Organization). Οι θερμοπίδακες, οι ατμίδες και οι θερμές πηγές βρίσκονται γενικά σε περιοχές με νέα ηφαιστειακή δραστηριότητα. Γύρω από μια δεξαμενή μάγματος το νερό διεισδύει προς τα κάτω μέσα από τα βράχια κάτω από την επιφάνεια της Γης σε περιοχές υψηλής θερμοκρασίας, που είναι ενεργές ή έχουν πρόσφατα

στερεοποιηθεί. Εκεί το νερό θερμαίνεται, γίνεται λιγότερο πυκνό και ανυψώνεται πίσω στην επιφάνεια κατά μήκος σχισμών και ρωγμών. Μερικές φορές αυτά τα χαρακτηριστικά εκπροσωπούν το τελευταίο στάδιο της ηφαιστειακής δραστηριότητας, όπου το μάγμα σε βάθος ψύχεται και σκληραίνει (USGS).

Οι θερμοπίδακες παρέχουν εκπληκτικά θεάματα εξαπόλυσης υπόγειας ενέργειας, αλλά οι μηχανισμοί τους δεν είναι πλήρως κατανοητοί. Μεγάλες ποσότητες ζεστού νερού πληρώνουν τις υπόγειες κοιλότητες. Το νερό κατόπιν θερμαίνεται και εκτινάσσεται βίαια με ένα τμήμα του να «ξεφυσά» ξαφνικά ως ατμός. Αυτός ο κύκλος μπορεί να επαναληφθεί με αξιοσημείωτη κανονικότητα.

Οι ατμίδες εκπέμπουν μίγματα ατμού και άλλων αερίων, τροφοδοτούνται μέσω αγωγών που διέρχονται μέσω του νερού πριν ακόμη αυτό φτάσει στην επιφάνεια του εδάφους. Το υδρόθειο (H_2S) είναι ένα από τα τυπικά αέρια που απελευθερώνονται από τις ατμίδες και οξειδώνει εύκολα σε θειικό οξύ και εγγενές θείο. Αυτό εξηγεί την έντονη χημική δραστηριότητα και τα χρώματα στους βράχους σε πολλές θερμικές περιοχές.

Οι θερμές πηγές εντοπίζονται σε πολλές θερμικές περιοχές όπου η επιφάνεια της Γης τέμνει τον υδροφόρο ορίζοντα. Η θερμοκρασία και ο ρυθμός απόρριψης των πηγών εξαρτάται από παράγοντες όπως ο ρυθμός με τον οποίο το νερό κυκλοφορεί μέσα από το σύστημα των υπόγειων καναλιών, το ποσό της θερμότητας που παρέχεται στο βάθος και η έκταση της αραίωσης του θερμαινόμενου νερού με δροσερά υπόγεια ύδατα κοντά στην επιφάνεια (USGS).

Όσο αναφορά τη μέτρηση της δύναμης των εκρήξεων έχει αναπτυχθεί ο Δείκτης Ηφαιστειακής Εκρηκτικότητας με διεθνές αρκτικόλεξο **VEI** (= **V**olcanic **E**xplosivity **I**ndex) όπου και είναι η καθιερωμένη σήμερα διεθνώς κλίμακα μέτρησης της ηφαιστειακής ενέργειας που εκλύεται κατά την έκρηξη ενός ηφαιστείου. Πρόκειται για οκτάβαθμη λογαριθμική κλίμακα επί της οποίας βασικό κριτήριο έχει ληφθεί η κατ' όγκον ποσότητα των ηφαιστειακών αναβλημάτων σε κυβικά χλμ. που εκτινάσσονται κατά περίπτωση στον αέρα. Η κλίμακα αυτή επινοήθηκε από τους ηφαιστειολόγους ερευνητές Chris Newhall του Geological Survey των ΗΠΑ (Αμερικανός) και Steve Self του Πανεπιστημίου Χαβάης (Άγγλος) το 1982. Λειτουργεί με έναν τρόπο παρόμοιο με την κλίμακα

Richter για τους σεισμούς. Η κλίμακα είναι λογαριθμική, οπότε η τιμή κάθε διαστήματος αντιπροσωπεύει μια δεκαπλάσια αύξηση στο μέγεθος. Η συντριπτική πλειοψηφία των ηφαιστειακών εκρήξεων είναι VEIs μεταξύ 0 και 2. Οι πιο καταστρεπτικές είναι οι εκρήξεις με VEI 8. Τέτοια έκρηξη έχει να σημειωθεί εδώ και χιλιάδες χρόνια. Ανάλογα με την κλίμακα VEI καθορίζεται και ο όγκος της λάβας που απελευθερώνεται. Για παράδειγμα ένα ηφαίστειο με βαθμό VEI 7 μπορεί να εξαγάγει όγκο μάγματος που ισούται με περισσότερο από 100km³ (Smithsonian Institution)].

VEI	Όγκος υλικών	Εκρηκτικότητα	Ύψος στήλης υλικών	Συχνότητα
0	< 10.000 m ³	Μη εκρηκτική	< 100 m	Διαρκής
1	> 10.000 m ³	Ελάχιστα εκρηκτική	100–1.000 m	Ημερήσια
2	> 1.000.000 m ³	Μικρή	1–5 km	1 κάθε εβδομάδα
3	> 10.000.000 m ³	Μέτρια	3–15 km	1 κάθε λίγους μήνες
4	> 0,1 km ³	Μεγάλη	10–25 km	≥ 1 κάθε 1 έτος
5	> 1 km ³	Εξαιρετικά μεγάλη	20–35 km	≥ 1 κάθε 10 έτη
6	> 10 km ³	Κολοσσιαία	> 30 km	≥ 1 κάθε 100 έτη
7	> 100 km ³	Υπερ-κολοσσιαία	> 40 km	≥ 1 κάθε 1.000 έτη
8	> 1.000 km ³	Συντελειακή (υπερηφαίστειο)	> 50 km	≥ 1 κάθε 10.000 έτη

Εικόνα 18: Πίνακας κλίμακας δείκτη VEI κατά όγκο αναβλυμάτων, εκρηκτικότητας, ύψος στήλης υλικών και συχνότητας της έκρηξης. Πηγή: wikipedia.org.

Το περιεχόμενο του μάγματος σε **κρυστάλλους**, σε **φυσικό αέριο**, καθώς και η **θερμοκρασία του** είναι οι τρεις βασικοί παράγοντες που καθορίζουν τον τρόπο έκρηξης. Οι κρύσταλλοι καθιστούν το μάγμα πιο παχύρρευστο. Έτσι το μάγμα με υψηλή περιεκτικότητα σε κρυστάλλους είναι πιο πιθανό να εκραγεί παρά να ρεύσει απλώς. Επιπρόσθετα, τα αέρια δημιουργούν εκρήξεις αν δεν μπορούν να διαφύγουν από το παχύρρευστο μάγμα. Μάγματα υψηλής θερμοκρασίας συνήθως ξεσπούν διάχυτα, ενώ μάγματα χαμηλής θερμοκρασίας δεν ρέουν εύκολα, και είναι πιο πιθανό να ξεσπάσουν εκρηκτικά (Geology.com).

Η ταξινόμηση των ηφαιστειακών εκρήξεων μπορεί να γίνει ανάλογα με το είδος του ηφαιστείου και ανάλογα με τον φυσικό μηχανισμό που λαμβάνει χώρα.

1.8.1. Ταξινόμηση ανάλογα με το είδος.

Υπάρχουν δύο είδη ηφαιστειακών εκρήξεων που είναι ανάλογα του είδους του ηφαιστείου. Οι εκρήξεις μπορεί να είναι **διαχυτικές**, όπου η λάβα ρέει σαν ένα παχύ, κολλώδες υγρό, ή **εκρηκτικές**, όπου η κατακερματισμένη λάβα εκρήγνυται υπό εξαερισμό (IFRC, International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies). Στις διαχυτικές εκρήξεις το μάγμα έχει χαμηλό ιξώδες, το φυσικό αέριο μπορεί να διαφύγει εύκολα και ως εκ τούτου το μάγμα εκρήγνυται στην επιφάνεια και σχηματίζει ροές λάβας. Αυτές οι εκρήξεις είναι ήπια διαχυτικές εκρήξεις. Εάν το μάγμα ανεβαίνει πολύ αργά εντός του αγωγού ή στον λαιμό του ηφαιστείου, όλο το φυσικό αέριο μπορεί να διαφύγει. Όταν το μάγμα είναι παχύρρευστο (ή κολλώδες), δεν μπορεί να ρεύσει όταν φθάσει στην επιφάνεια και συσσωρεύεται σχηματίζοντας ένα θόλο λάβας. Είναι κοινή η εξαέρωση όχι όμως η απελευθέρωση τέφρας (Ηφαιστειολογία – Κυριακόπουλος, 2014).

Στις **διαχυτικές** εκρήξεις παρατηρούνται κάποιοι συγκεκριμένοι τύποι ροών. Η βασαλτική λάβα ρέει με δύο κυρίως μορφές. Τη λάβα Pahoehoe, που είναι ομαλή, σχοινοειδής ή κελυφοειδής και τη λάβα Aa στην οποία η επιφάνεια είναι ανώμαλη και κομματιασμένη. Η ανδεσιπική λάβα παρουσιάζει διαφορετική ροή, είναι κομματιασμένη στο εξωτερικό, ενώ στο εσωτερικό είναι συμπαγής με συνέπεια να δημιουργούνται αναχώματα. Οι ρυολιθικές λάβες σχηματίζουν θόλους που ονομάζονται coulee. Καθώς η έκρηξη φτάνει στο τέλος της το φτωχό σε αέρια μάγμα ανέρχεται στον κεντρικό πόρο και συσσωρεύεται στον κρατήρα ως παχύρρευστη λάβα, όπως πχ. βγαίνει η οδοντόπαστα από το σωληνάριό της. Σε κάποιες περιπτώσεις θόλοι λάβας σχηματίζονται κατά την έκχυση της λάβας στο πλευρό του ηφαιστείου, από σχισμές που δε συνδέονται με τον κεντρικό αγωγό. Τα coulee έχουν επίμηκες σχήμα και είναι κάτι ενδιάμεσο ανάμεσα σε μία ροή λάβας και σε ένα θόλο λάβας. Επιπρόσθετα στις περισσότερες περιπτώσεις δημιουργίας τους, η λάβα είναι δακτικική και

πλούσια σε κρυστάλλους. Ενίοτε κάποιοι θόλοι σχηματίζονται από οψιδιανό (ηφαιστειακό γυαλί). Ο οψιδιανός παρουσιάζει υαλώδη μορφή ιστού που οφείλεται στη μεγάλη περιεκτικότητα του μάγματος σε διοξείδιο του πυριτίου SiO_2 , με αποτέλεσμα το ιξώδες να είναι τόσο μεγάλο, ώστε να εμποδίζεται η ιοντική διάχυση και η ανάπτυξη των κρυστάλλων. Στις περιπτώσεις όπου το όξινο μάγμα ψύχεται πάρα πολύ γρήγορα (υπέρψυξη), προκύπτουν πετρώματα τα οποία αποτελούνται σχεδόν εξ ολοκλήρου από ύαλο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα θόλου λάβας με μορφή ακίδας αποτελεί αυτός του ηφαιστείου Pelee στη Μαρτινίκα. (Εικόνα 16). (Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.).

Στις **εκρηκτικές** εκρήξεις, το κατακερματισμένο πέτρωμα μπορεί να συνοδεύεται από απελευθέρωση τέφρας και αερίου. Στις περιπτώσεις αυτές το μάγμα έχει πολλά παγιδευμένα αέρια, οπότε η πίεση που δημιουργείται εσωτερικά οδηγεί σε μεγάλη έκρηξη κατά τη διαφυγή. Οι εκρηκτικές εκρήξεις μπορούν να σχηματίσουν πυροκλαστικές ροές που σαρώνουν τις κοιλάδες καταστρέφοντας τα πάντα στο πέρασμά τους. Μπορούν επίσης να απελευθερώσουν μεγάλα ποσοστά τέφρας και στα υψηλότερα στρώματα τέφρας να σχηματίζουν λοφία (geology.com).

1.8.2. Ταξινόμηση με βάση τον μηχανισμό.

Ανάλογα με το είδος του μηχανισμού που λαμβάνει χώρα, οι ηφαιστειακές εκρήξεις μπορούν να διακριθούν σε **μαγματικές**, **φρεατομαγματικές** και **φρεατικές**. Οι μαγματικές εκρήξεις προκύπτουν από την απελευθέρωση αερίου κατά την αποσυμπύεση, οι φρεατομαγματικές εκρήξεις από τη θερμική συρρίκνωση που προκαλείται έπειτα από την ψύξη του μάγματος κατά την επαφή με το νερό και τις φρεατικές που οφείλονται στην εκτίναξη των παρασυρόμενων σωματιδίων κατά τη διάρκεια εκρήξεων ατμού. Σε αυτά τα είδη των εκρήξεων αποδίδονται και οι αντίστοιχοι τύποι ηφαιστείων.

Οι **μαγματικές** εκρήξεις παράγουν νεοκλαστικές ροές κατά τη διάρκεια εκρηκτικής αποσυμπύεσης από την απελευθέρωση του αερίου. Κυμαίνονται σε ένταση από τις σχετικά μικρές ροές λάβας στη Χαβάη μέχρι τις καταστροφικές UltraPlinian στήλες που φτάνουν σε ύψος περισσότερο από 30 χιλιόμετρα. Οι μαγματικές εκρήξεις μπορούν περαιτέρω να διακριθούν σε υποκατηγορίες

ανάλογα με το είδος των ηφαιστειών. Μερικές είναι κοινές με το όνομα του συγκεκριμένου ηφαιστείου, το είδος της έκρηξης, ενώ άλλες προκύπτουν από τα εκρηκτικά προϊόντα ή τον τόπο όπου συμβαίνουν οι εκρήξεις.

Τα πιο καταστροφικά είναι τα ηφαίστεια τύπου Πελέ. Από αυτά απελευθερώνονται εκρηκτικά υλικά που κινούνται με μεγάλη ταχύτητα από τον κύριο αγωγό και τα πλευρικά ανοίγματα (geology.com).

Το πιο επικίνδυνο είδος ηφαιστειακής μαγματικής έκρηξης αναφέρεται ως λαμπερή χιονοστιβάδα. Το μάγμα ξεσπά ως ζεστή πυροκλαστική ροή που δύναται να φτάσει έως θερμοκρασίες 1.200°C. Η πυροκλαστική ροή που διαμορφώνεται από θραύσματα βράχου ρέει με ταχύτητες έως και αρκετές εκατοντάδες χιλιόμετρα ανά ώρα, σε αποστάσεις συχνά μέχρι 10 χιλιόμετρα και περιστασιακά έως 40 χιλιόμετρα από την αρχική τοποθεσία. Στο συγκεκριμένο είδος ηφαιστειακής έκρηξης τα παγιδευμένα αέρια μόλις ελευθερωθούν ορμούν έξω από την κορυφή συμπαρασύροντας και υγρό (IFRC).

Οι **φρεατομαγματικές** εκρήξεις είναι ένα είδος που προκύπτει όταν το μάγμα εκρήγνυται μέσα από το νερό (GNS Science). Οδηγούνται από τη θερμική συστολή του μάγματος όταν έρχεται σε επαφή με το νερό. Η διαφορά θερμοκρασίας είναι αυτή που προκαλεί τις βίαιες αλληλεπιδράσεις νερού-λάβας και πυροδοτεί την έκρηξη. Τέτοια ήταν η δεύτερη φάση της έκρηξης Eiyafjallajökull το 2010, που είχε ως αποτέλεσμα την έκρηξη του μάγματος κάτω από τον πάγο και θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο. Ακόμη, μερικά υποθαλάσσια ηφαίστεια είναι φρεατομαγνητικά, αν το μάγμα είναι πλούσιο σε φυσικό αέριο. Σε αυτά προστίθενται και τα ηφαίστεια που βρίσκονται κάτω από τον πάγο.

Για παράδειγμα, το ηφαίστειο Surtsey στην Ισλανδία, που η έκρηξή του είχε ως συνέπεια τον σχηματισμό ολόκληρου νησιού (Heiken G., Wohletz K., 1986). Χαρακτηριστικά αυτού του τύπου των εκρήξεων είναι ο σχηματισμός πυροκλαστικού ρεύματος και ενός ακτινωτού σύννεφου που αναπτύσσεται σε όλο το μήκος της ηφαιστειακής στήλης.

Οι **φρεατικές** εκρήξεις οφείλονται κυρίως στην επέκταση του ατμού. Όταν τα κρύα υπόγεια ή επιφανειακά ύδατα έρχονται σε επαφή με θερμά πετρώματα ή μάγμα, υπερθερμαίνονται και εκρήγνυται με αποτέλεσμα να

σπάζει ο γύρω βράχος και να ελευθερώνεται ένα μίγμα ατμού, νερού, τέφρας, ηφαιστειακών βομβών και μπλοκ. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των συγκεκριμένων εκρήξεων είναι ότι απελευθερώνουν μόνο θραύσματα προϋπάρχοντος στερεού βράχου από τον ηφαιστειακό αγωγό και μάλιστα αν η επιφάνεια του βράχου είναι αρκετά ισχυρή για να αντέξει την εκρηκτική δύναμη, δεν συμβαίνει έκρηξη. Ωστόσο δημιουργούνται ρήγματα τα οποία μελλοντικά μπορεί να οδηγήσουν σε έκρηξη (Watson J., 1997).

Γενικά οι φρεατικές εκρήξεις είναι αδύναμες. Μερικές φορές πυροδοτούνται από γεγονότα όπως η σεισμική δραστηριότητα. Μπορούν να απελευθερώσουν θανατηφόρα τοξικά αέρια, lahar, βόμβες, ηφαιστειακή βροχή ακόμη και χιονοστοιβάδες. Μάλιστα τα αέρια που εκλύονται από αυτές είναι ικανά να προκαλέσουν ασφυξία σε οποιονδήποτε βρίσκεται στη ζώνη έκρηξης (Watson J., 1997).

Κεφάλαιο 2^ο Επιπτώσεις

Οι ηφαιστειακές εκρήξεις έχουν τεράστιες επιπτώσεις σε όλους τους τομείς, όπως στο περιβάλλον, στην οικονομία και στην κοινωνία. Η σοβαρότητα των επιπτώσεων είναι άμεση συνάρτηση των τοπογραφικών παραγόντων, της εγγύτητας του πληθυσμού στο ηφαίστειο, του κατασκευαστικών σχεδίων των υποδομών καθώς και της έλλειψης συστήματος προειδοποίησης και εκκένωσης (WHO).

Οι επιπτώσεις μπορεί να είναι πρωτογενείς, δηλαδή να επηρεάζουν άμεσα τη γύρω περιοχή, αμέσως μόλις εκδηλωθεί η έκρηξη. Μπορεί όμως να είναι δευτερογενείς, οι οποίες επηρεάζουν μακροπρόθεσμα το περιβάλλον και τους ανθρώπους. Οι κυριότερες επιπτώσεις οφείλονται στις ροές λάβες, την πυροκλαστική δραστηριότητα, τα δηλητηριώδη αέρια, τις λασποροές και τις εκρήξεις καλδέρων. Μετά από μια ηφαιστειακή έκρηξη μπορεί να εκδηλωθούν πυρκαγιές, πτώσεις βράχων, ακόμη και πλημμύρες, ενώ συνήθως πριν τις εκρήξεις παρατηρείται σεισμική δραστηριότητα. Ως αποτέλεσμα, σε αυτές τις περιπτώσεις προκαλούνται και επιπρόσθετες συνέπειες από άλλες φυσικές καταστροφές (Λέκκας Ε., 2015).

Ενώ οι αρνητικές επιπτώσεις των ηφαιστειών είναι πολύ σοβαρές, υπάρχουν επίσης μερικά πολύ θετικά αποτελέσματα. Το βασικότερο είναι ότι η λάβα και η τέφρα είναι πλούσιες σε θρεπτικά συστατικά. Οπότε όταν φτάσουν στο έδαφος αυξάνουν τη γονιμότητά του. Τα ηφαίστεια είναι επίσης καλές πηγές γεωθερμικής ενέργειας, με την προϋπόθεση βέβαια να έχει κατασκευαστεί η απαραίτητη δομή, ώστε να συλλέξει την ενέργεια. Τέλος, τα ηφαίστεια διαμορφώνουν αξιόλογα τοπία που προσελκύουν τουρισμό. Βέβαια, αυτό το πλεονέκτημα μπορεί να αξιοποιηθεί εφόσον έχει παρέλθει η πλήρης αποκατάσταση. Η τέφρα και τα σωματίδια των αερολυμάτων που αιωρούνται στο ατμοσφαιρικό φως απορροφούν μήκη κύματος στο ερυθρό και συχνά καταλήγουν σε λαμπρά χρωματισμένα ηλιοβασιλέματα και ανατολές σε όλο τον κόσμο (BBC, British Broadcasting Corporation).

2.1. Επιπτώσεις στο περιβάλλον

Υπάρχουν αρκετές αναφορές και συσχετίσεις των ηφαιστειακών εκρήξεων με την κλιματική αλλαγή. Ακόμη, 2.000 έτη πριν, ο Πλούταρχος επεσήμανε ότι η έκρηξη του ηφαιστείου της Αίτνας το 44 π.Χ. σκοτείνιασε τον Ήλιο και ότι η προκύπτουσα ψύξη προκάλεσε καταστροφή των καλλιεργειών και την εμφάνιση λιμού στη Ρώμη και την Αίγυπτο (Robock A. 2000). Μπορούν να προκαλέσουν βροχή, βροντές και κεραυνούς. Πλέον με την τεχνολογική εξέλιξη έχει καταστεί δυνατή η παρακολούθηση των άμεσων επιπτώσεων με τη βοήθεια δορυφόρων. Είναι ποικίλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν την ένταση της επίδρασης στο κλίμα. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν κάποιοι που ξεχωρίζουν. Ως συνέπεια, σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν η διάρκεια της ηφαιστειακής έκρηξης, η σύσταση και ο όγκος του μάγματος, η γεωγραφική περιοχή καθώς και το ύψος που φτάνουν η τέφρα και τα αέρια (Parfitt E., Wilson L., 2008).

Μέχρι στιγμής η πιο ουσιαστική κλιματική επίπτωση είναι η παραγωγή της ατμοσφαιρικής ομίχλης. Τα σωματίδια τέφρας και τα αέρια που είναι πλούσια σε θείο φτάνουν πολύ γρήγορα (από λεπτά έως λίγες εβδομάδες) στην τροπόσφαιρα και τη στρατόσφαιρα, και μέσα σε λίγες εβδομάδες δημιουργούν κυκλικό σύννεφο που περιβάλλει την περιοχή. Μικρές ποσότητές τους μπορεί να διαρκέσουν για μερικούς μήνες στη στρατόσφαιρα. Τα μικρά σωματίδια τέφρας μειώνουν την ποσότητα του ηλιακού φωτός που φτάνει στην επιφάνεια της γης, και ως αποτέλεσμα παρατηρούνται χαμηλότερες μέσες παγκόσμιες θερμοκρασίες. Τα θειώδη αέρια αντιδρούν με το νερό που υπάρχει στην ατμόσφαιρα και σχηματίζουν όξινα αερολύματα που απορροφούν επίσης εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία και τη διασκορπίζουν πίσω στο διάστημα (Robock A. 2000).

Εκτός από την τέφρα, με τις ηφαιστειακές εκρήξεις απελευθερώνονται και μεγάλες ποσότητες αερίων. Τα πιο άφθονα είναι το N_2 (στοιχειακό άζωτο) και το CO_2 (διοξείδιο του άνθρακα) καθώς και υδρατμοί. Σε όλη τη διάρκεια ζωής της Γης οι ενώσεις αυτές αποτελούν την κύρια πηγή της ατμόσφαιρας του πλανήτη και των ωκεανών, αφότου η πρωτόγονη ατμόσφαιρα χάθηκε στο διάστημα. Το CO_2 αποτελεί ένα αέριο που έχει συσχετιστεί με το φαινόμενο του θερμοκηπίου και οι ποσότητες που παράγονται κατά τη διάρκεια των εκρήξεων

είναι αρκετά μεγάλες (Robock A. 2000). Τα αέρια του θερμοκηπίου παγιδεύουν τη θερμότητα που εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης σχηματίζοντας ένα είδος μόνωσης γύρω από τον πλανήτη. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι απαραίτητο για την επιβίωσή μας, διότι διατηρεί τη θερμοκρασία του πλανήτη μας μέσα από ένα κατοικήσιμο φάσμα. Παρ' όλα αυτά, υπάρχει αυξανόμενη ανησυχία ότι η παραγωγή αερίων όπως το CO₂ από την καύση των ορυκτών καυσίμων μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την υπερβολική αύξηση της θερμοκρασίας σε παγκόσμια κλίμακα (American Geophysical Union, 1992).

Δεν υπάρχει καμία αμφιβολία ότι οι ηφαιστειακές εκρήξεις προσθέτουν CO₂ στην ατμόσφαιρα, αλλά σε σύγκριση με την ποσότητα που παράγεται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, ο αντίκτυπός τους είναι σχεδόν ασήμαντος. Να σημειωθεί ότι οι ηφαιστειακές εκρήξεις παράγουν περίπου 110 εκατομμύρια τόνους CO₂ κάθε χρόνο, ενώ οι ανθρώπινες δραστηριότητες παράγουν σχεδόν 10.000 φορές περισσότερη ποσότητα (Scientific American).

Αντίθετα με τις εκπομπές CO₂, που δεν ασκούν τόσο μεγάλη επίδραση, η εκπομπή των ειδών θείου στη στρατόσφαιρα, κυρίως με τη μορφή του SO₂, είναι σημαντικότερη. Οι παγκόσμιες εκπομπές θείου από τα ηφαίστεια στην τροπόσφαιρα είναι περίπου 14% του συνόλου των φυσικών και ανθρωπογενών εκπομπών. Τα είδη θείου αντιδρούν με OH⁻ και H₂O, και ως προϊόν σχηματίζεται H₂SO₄ με τη μορφή αερολύματος, σε μερικές μονό εβδομάδες. Το προκύπτον αερόλυμα H₂SO₄ παράγει την κυρίαρχη επίπτωση ακτινοβολίας από τις ηφαιστειακές εκρήξεις. Πολλές ηφαιστειακές εκπομπές βρίσκονται πάνω από το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα, και έτσι τα είδη θείου έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σε σχέση με τα ανθρωπογενή αερολύματα. Η κατακράτηση ακτινοβολίας (που μετράται στην επιφάνεια) από τις εν λόγω εκπομπές εκτιμάται ότι είναι περίπου -0.2 W/m² για την υδρόγειο και -0.3 W/m² για το NH, μόνο λίγο λιγότερο από τις ανθρωπογενείς επιδράσεις και έχει ως αποτέλεσμα την ψύξη της γήινης επιφάνειας (Robock A. 2000).

Τα ηφαιστειακά αερολύματα έχουν τη δυνατότητα όχι μόνο να μεταβάλλουν την ακτινοβολία στη στρατόσφαιρα, αλλά και τη χημεία της. Οι πιο σημαντικές χημικές αλλαγές στη στρατόσφαιρα σχετίζονται με το O₃ (όζον), το οποίο έχει σημαντικές επιπτώσεις στην υπεριώδη – UV (Ultra Violet) – και

μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία. Οι αντιδράσεις που παράγουν και καταστρέφουν O_3 εξαρτώνται από παράγοντες όπως η UV ακτινοβολία, η θερμοκρασία και η παρουσία επιφανειών για ετερογενείς αντιδράσεις. Οι τελευταίες μεταβάλλονται με την παρουσία ηφαιστειακών αερολυμάτων .

Πιο συγκεκριμένα, για την επίδραση στην παγκόσμια θερμοκρασία, επηρεάζουν τον ημερήσιο κύκλο της θερμοκρασίας. Για παράδειγμα, η έκρηξη του ηφαιστείου St. Helens διατήρησε την τοπική θερμοκρασία στους $15^{\circ}C$ για 15 ώρες. Γενικά, μετά την έκρηξη ενός ηφαιστείου, ψύχεται απότομα η ατμόσφαιρα. Από καιρό ήταν γνωστό ότι η στρατόσφαιρα θερμαίνεται μετά τον σχηματισμό των ηφαιστειακών αεροζόλ. Η θέρμανση προκαλείται από την απορρόφηση τόσο της υπέρυθρης ηλιακής ακτινοβολίας στην κορυφή του στρώματος όσο και της επίγεια ακτινοβολίας στο κάτω μέρος του στρώματος. (Ηφαιστειολογία – Κυριακόπουλος, 2014).

Σημαντικές ηφαιστειακές εκρήξεις έχουν και επιπρόσθετες κλιματικές επιπτώσεις όπως η όξινη βροχή. Όταν το μάγμα ανεβαίνει κοντά στην επιφάνεια, τα ηφαίστεια εκπέμπουν τα αλογόνα φθόριο, χλώριο και βρώμιο, με τη μορφή των αλογονιδίων του υδρογόνου (HF, HCl και HBr). Τα είδη αυτά είναι όλα ισχυρά οξέα και διαθέτουν υψηλή διαλυτότητα. Ως εκ τούτου, διαλύονται γρήγορα σε σταγονίδια νερού στην ατμόσφαιρα, όπου μπορούν δυνητικά να προκαλέσουν όξινη βροχή. Επίσης σε μια έκρηξη τέφρας παράγονται σωματίδια τέφρας, που είναι επίσης συχνά επικαλυμμένα με υδραλογόνα. Μόλις επικαθίσουν τα επικαλυμμένα σωματίδια μπορούν να δηλητηριάσουν τα αποθέματα νερού και τις γεωργικές καλλιέργειες (USGS).

Άλλες επιδράσεις στο περιβάλλον είναι η καταστροφή της χλωρίδας και της πανίδας. Η λάβα μπορεί να σκοτώσει ακαριαία τόσο τα ζώα όσο και τα φυτά. Το ηφαίστειο St. Helens το 1980 σκότωσε περίπου 24.000 ζώα. Η ηφαιστειακή τέφρα επίσης είναι δυνατό να μολύνει την παροχή νερού, το οποίο μπορεί να δηλητηριάσει ανθρώπους και ζώα καθώς και το έδαφος (Oregon State University).

2.2. Επιπτώσεις στον άνθρωπο

Η πιο τραγική από όλες τις αρνητικές επιπτώσεις των ηφαιστειακών εκρήξεων είναι η απώλεια της ανθρώπινης ζωής. Από μια παγκόσμια

προοπτική καταστροφής, οι ηφαιστειακές εκρήξεις έχουν σαν αποτέλεσμα σχετικά μικρή θνησιμότητα και μετατόπιση. Στα ιστορικά αρχεία έχουν καταγραφεί περίπου 274.443 θάνατοι λόγω των εκρήξεων, με κατ' εκτίμηση 98.386 θάνατοι και 5,6 εκατομμύρια άνθρωποι να επηρεάζονται τον 20^ο αιώνα. Το 1902 η έκρηξη του όρους Pelee στη Μαρτινίκα είχε ως αποτέλεσμα 30.000 θανάτους, ο οποίος είναι και ο μεγαλύτερος αριθμός θανάτων σε όλες τις ηφαιστειακές εκρήξεις του 20^{ου} αιώνα.

Η γρήγορη κίνηση λάβας μπορεί να σκοτώσει ανθρώπους που δεν προλαβαίνουν να απομακρυνθούν, όμως σε εκρήξεις ηφαιστείων που η λάβα είναι πιο παχύρρευστη και κινείται πιο αργά, δεν δημιουργεί άμεσο κίνδυνο για αυτούς. Η διαδρομή της λάβας είναι συνήθως προβλέψιμη, και σε συνδυασμό με την αργή κίνησή της δίνει αρκετό χρόνο στους ανθρώπους να εκκενώσουν την περιοχή. Αντίθετα, η πτώση τέφρας μπορεί να δημιουργήσει μακροχρόνια προβλήματα. Η τέφρα πνίγει σιγά-σιγά τους ανθρώπους, κάνοντας την αναπνοή σχεδόν αδύνατη ή επιβαρύνει τα υπάρχοντα αναπνευστικά προβλήματα. Κατά την εισπνοή, τα σωματίδια εναποτίθενται στις διόδους αέρα και σε κύτταρα του πνεύμονα (WHO).

Η ηφαιστειακή τέφρα είναι επικίνδυνη και λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς της σε τοξικές χημικές ουσίες και δηλητηριώδη αέρια με την εισπνοή της μπορεί να δημιουργήσει βραχυπρόθεσμα αναπνευστικά προβλήματα όπως η καταρροή, ο πονόλαιμος, ο βήχας, η δύσπνοια και η δυνατή βρογχίτιδα. Τα αέρια που προκαλούν αναπνευστικά προβλήματα είναι τα υδραλογόνα και το H₂S. Πιο συγκεκριμένα το H₂S γίνεται άοσμο και πολύ τοξικό, προκαλώντας ερεθισμό του ανώτερου αναπνευστικού συστήματος και πνευμονικό οίδημα κατά τη διάρκεια μακράς έκθεσης. Για παράδειγμα η έκθεση σε 500ppm μπορεί να προκαλέσει αναισθησία σε 5 λεπτά και θάνατο σε λιγότερο από μία ώρα (USGS). Ένα μακροπρόθεσμα αποτέλεσμα της εισπνοής ηφαιστειακής τέφρας είναι η πυριτίαση. Πρόκειται για μια ασθένεια που προκαλεί βλάβη των πνευμόνων και ουλές έπειτα από την έκθεση σε σωματίδια ελεύθερου κρυσταλλικού πυριτίου. Στα ορυκτά που σχετίζονται με την πυριτίαση περιλαμβάνονται ο χαλαζίας, ο χριστοβαλίτης και ο τριδυμίτης, που δυνητικά είναι όλα παρόντα στην ηφαιστειακή τέφρα (Williams G., 2012).

Άλλες επιπτώσεις είναι ο ερεθισμός του δέρματος και τα προβλήματα στην όραση. Τα βραχυπρόθεσμα προβλήματα που προκαλούνται στον οφθαλμό είναι η εμφάνιση κνησμού και κοκκίνισματος, οι εκδορές στον κερατοειδή χιτώνα και οι γρατσουνιές. Επιπρόσθετα, μπορεί να οδηγήσει σε επιπεφυκίτιδα και σε θραύσεις. Λόγω της κατανάλωσης μολυσμένου νερού και τροφίμων μπορεί να προκληθούν και γαστρεντερικά προβλήματα (WHO). Η επαφή με την καυτή λάβα μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα και τραύματα. Βέβαια τα τελευταία μπορεί και να προκληθούν και από άλλα γεγονότα όπως η κατάρρευση κτιρίων ή ακόμη και από τον συνωστισμό.

Εκτός από τη λάβα και την τέφρα, μια άλλη αιτία του θανάτου είναι η πυροκλαστική ροή, η οποία είναι ένας συνδυασμός του θερμού αερίου και της τέφρας. Οι πυροκλαστικές ροές απελευθερώνονται πάρα πολύ γρήγορα και είναι τόσο θερμές που σκοτώνουν τους ανθρώπους και τα ζώα αμέσως. Ο θάνατος οφείλεται σε σοκ που προκαλείται από τη θερμότητα, σε ασφυξία λόγω παρεμπόδισης της λειτουργίας των αεραγωγών, τον θερμικό τραυματισμό των πνευμόνων και τα βαθιά εγκαύματα. Εκτός από τις άμεσες επιπτώσεις που έχουν τα ηφαιστειακά προϊόντα στην υγεία του ανθρώπου, ο θάνατος μπορεί να επέλθει είτε έμμεσα είτε μετά από αρκετό καιρό. Σε αυτές συγκαταλέγονται ο μαζικός υποσιτισμός και η λειψυδρία που είναι πιθανό να σημειωθούν λόγω καταστροφής των καλλιεργειών και των συστημάτων παροχής νερού. Ακόμη και στην περίπτωση που υπάρχουν τρόφιμα και νερό μπορεί αυτά να έχουν μολυνθεί από τις τοξικές ουσίες της τέφρας και να συσσωρευτούν τελικά στον ανθρώπινο οργανισμό. Μπορούν επίσης οι άνθρωποι να πεθάνουν από τις πυρκαγιές και τους σεισμούς που μπορεί να σχετίζονται με τα ηφαίστεια (Hansell A. *et al.*, 2006).

Τέλος, άλλες πιθανές επιπτώσεις μπορεί να οφείλονται σε επιδημικές ασθένειες που εμφανίζονται σε χώρες όπως η Ιρλανδία και το Ηνωμένο Βασίλειο. Ίσως επηρεάζονται από την ψύξη κατά το καλοκαίρι και την άνοδο της θερμοκρασίας κατά τον χειμώνα. Να αναφερθεί ότι υπάρχουν και κάποιες ομάδες ανθρώπων που βιώνουν τις επιπτώσεις των ηφαιστειών ακόμη και όταν δεν εκδηλώνονται εκρήξεις, λόγω της φύσης της εργασίας τους. Σε αυτούς συγκαταλέγονται οι γεωλόγοι, όσοι καταγράφουν την ηφαιστειακή

δραστηριότητα καθώς και οι εργαζόμενοι σε γεωθερμικές μονάδες. Επιπλέον, οι εργαζόμενοι στον τομέα των κατασκευών, των λατομείων, της γεωργίας και των συναφών κλάδων μπορεί να εκτεθούν σε νέες ή παλαιότερες εναποθέσεις της ηφαιστειακής τέφρας και να εμφανίσουν αυξημένο κίνδυνο ή ακόμα αμιάντωση και μεσοθηλίωμα ανάλογα με τη σύνθεση της στάχτης (Hansell A. *et al.*, 2006).

2.3. Επιπτώσεις στην οικονομία και τη βιομηχανία

Αδιαμφισβήτητο είναι και το γεγονός ότι η πτώση λάβας και τέφρας προκαλεί απώλειες και σε υλικά αγαθά. Κτίρια σκεπάζονται από στρώματα λάβας και τέφρας και λόγω τους βάρους των τελευταίων, καταρρέουν. Να αναφερθεί ότι η πτώση κτιρίων είναι δυνατό να τραυματίσει τους ανθρώπους. Η λάβα στο πέρασμα της παρασύρει και καταστρέφει κοντινές δομές. Η τέφρα δύναται να καταστρέψει και κτίρια τα οποία απέχουν κάποια απόσταση από το σημείο έκρηξης, μιας και μεταφέρεται μέσω του αέρα. Επιπρόσθετα παρατηρείται απώλεια της δημόσιας και ιδιωτικής περιουσίας, αφού καταστρέφεται το οδικό σύστημα και το δημόσιο, αλλά καταστρέφονται και οι οικίες και τα χωράφια των ανθρώπων. Σε περιπτώσεις ηφαιστειακών εκρήξεων, όπως σε αυτή του ηφαιστείου Eyjafjallajökull, είναι τεράστιες οι επιπτώσεις στις αερομεταφορές λόγω του γεγονότος ότι οι μεγάλες ποσότητες τέφρας δεν επιτρέπουν την πραγματοποίηση πτήσεων. Επίσης, η τέφρα καταστρέφει το δίκτυο τηλεπικοινωνιών με τους ακόλουθους τρόπους: i) εξασθένηση και μείωση της ισχύος του σήματος ii) ανεπανόρθωτη ζημιά στον εξοπλισμό και iii) με την υπερφόρτωση του δικτύου μέσω ζήτησης των χρηστών (McNutt S.R.; Williams E., 2010).

Με την καταστροφή των δικτύων μεταφοράς πλήγεται και το διεθνές εμπόριο, μιας και παρεμποδίζεται η εισαγωγή και η εξαγωγή αγαθών μέχρι την αποκατάσταση. Αυτό παράλληλα προκαλεί πλήγμα και στον κλάδο της βιομηχανίας και είναι η πιο τραγική οικονομική επίπτωση για τις χώρες που βασίζουν την οικονομία τους αποκλειστικά στο εμπόριο. Εκτός του γεγονότος ότι μπορούν να καταστραφούν ολόκληρες βιομηχανικές εγκαταστάσεις, στις περισσότερες περιπτώσεις παρεμποδίζονται και οι εξαγωγές. Βραχυπρόθεσμα αλλά και μακροπρόθεσμα οι ηφαιστειακές εκρήξεις επηρεάζουν τη γεωργία και

την κτηνοτροφία, μιας και μολύνουν το περιβάλλον με τοξικές ουσίες καθιστώντας το έτσι ακατάλληλο. Επίσης ολόκληρες καλλιέργειες θάβονται κάτω από στρώματα τέφρας, ενώ πολλά ζώα πεθαίνουν στις πυρκαγιές και από την εισπνοή σκόνης που είναι πλούσια σε πυρίτιο. Ως αποτέλεσμα οι βιομηχανίες τροφίμων καταρρέουν (United States International Trade Commission).

Εκτός από τις άμεσες συνέπειες οι ηφαιστειακές εκρήξεις μπορούν να δράσουν αρνητικά και έμμεσα, εξαιτίας της μείωσης του τουρισμού. Αν και πολλές φορές τα ηφαίστεια προσελκύουν τουρίστες, οι πόλεις που έχουν πληγεί από μια ηφαιστειακή έκρηξη παρουσιάζουν μειωμένη τουριστική δραστηριότητα λόγω του φόβου ότι μπορεί να ξαναεκδηλωθεί.

2.4. Μελέτη περίπτωσης

Χαρακτηριστική και καλά μελετημένη περίπτωση ηφαιστειακή έκρηξης αποτελεί αυτή του ηφαιστείου Eyjafjallajökull στην Ισλανδία, το 2010. Βρίσκεται 125km ανατολικά του Ρέικιαβικ. Η διάμετρος του κρατήρα του είναι 3-4km και ανήκει στο είδος Stratovolcano. Βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος 63.633°N και γεωγραφικό μήκος 19.633°W. Με το ίδιο όνομα αναφέρεται και ο παγετώνας που καλύπτει τον ηφαιστειακό κρατήρα και έχει έκταση 100km². Εκτείνεται νότια του ηφαιστείου, καταλήγοντας στις ακτές του Ατλαντικού Ωκεανού. Η έκρηξη επηρέασε την οικονομική, πολιτική και κοινωνική δραστηριότητα όχι μόνο της περιοχής αλλά και της Ευρώπης και όλου του κόσμου (en.vedur.is; Bye B., 2011).

Η τελευταία ημέρα της συνεχούς δραστηριότητας του Eyjafjallajökull υπήρξε η 22η Μαΐου 2010. Μέχρι τις 23 Ιουνίου 2010, η Μετεωρολογική Υπηρεσία της Ισλανδίας (IMO, Iceland Meteorological Office) και το Πανεπιστημιακό Ινστιτούτο Γεωεπιστημών της Ισλανδίας (IES, Institute of Earth Sciences), έπαψε να εκδίδει τακτικές εκθέσεις για την κατάσταση (Smithsonian Institution, Global Volcanism Program).

2.4.1. Γεγονότα

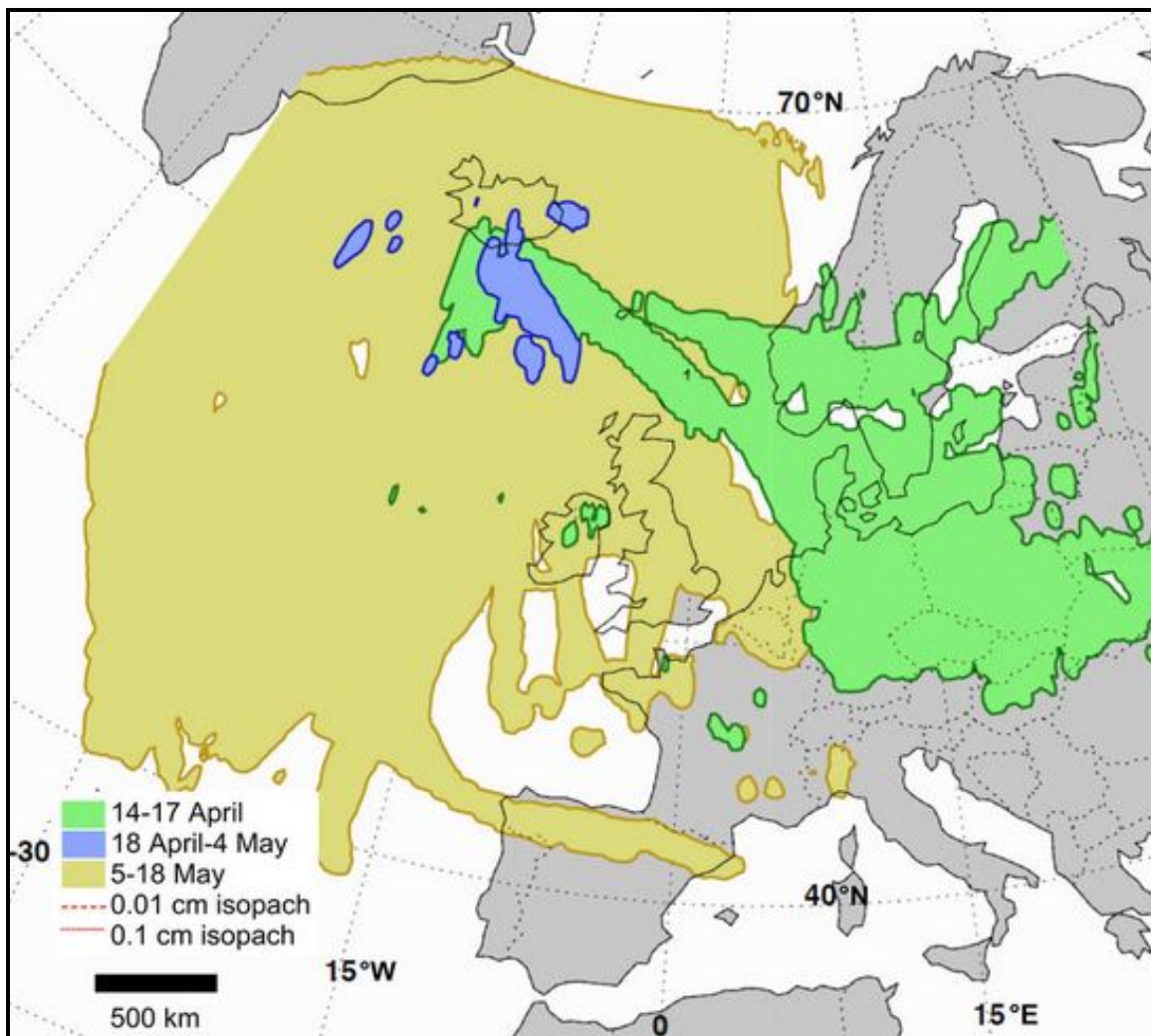
Το ηφαίστειο είναι ενεργό από τον 9^ο αιώνα και παρουσιάζει συχνή ηφαιστειακή δραστηριότητα. Εξερράγη διαδοχικά τα έτη 902, 1612, 1821, 1823

και 2010. Η έκρηξη όμως του Απριλίου 2010 ήταν αυτή που δημιούργησε το μεγαλύτερο πρόβλημα λόγω του ηφαιστειακού νέφους που κάλυψε το μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης.

Μια σειρά επαναλαμβανόμενων μικροσεισμών αύξουσας έντασης στα τέλη του Δεκεμβρίου του 2009 σηματοδότησαν την ενεργοποίηση του ηφαιστείου.

Στις 20 Μαρτίου λοιπόν ακολούθησε μια μικρή πλευρική έκρηξη, στη βορειο-ανατολική πλευρά του ηφαιστείου, σχηματίζοντας ένα πεδίο βασαλτικής λάβας 1.3 km^2 με όγκο 0.020 km^3 έως τις 12 Απριλίου 2010. Η έκρηξη αυτή συνέβη σε αρκετή απόσταση από τον κρατήρα σε μια εκτεθειμένη κορυφογραμμή που καλύπτεται με εκτεταμένους παγετώνες. Κατά τη φάση αυτή υπήρχε πολύ μεγάλη εκτόνωση αερίων η οποία ενεργοποίησε τις υπηρεσίες ασφαλείας της Χώρας. (Smithsonian Institution, Global Volcanism Program). Στις 27 Μαρτίου η έκρηξη ξεκίνησε με εκτίναξη τεραστίων ποσοτήτων ατμού υγροποιημένου πάγου, γεγονός που οδήγησε στην απομάκρυνση των κατοίκων της γύρω περιοχής.

Στη συνέχεια, μετά τους ατμούς, ακολούθησε μικρή ύφεση, και στις 14 Απριλίου οι εκρήξεις ξεκίνησαν στην αρχικά καλυμμένη με πάγο κορυφή του κρατήρα προκαλώντας την τήξη μεγάλων ποσοτήτων πάγου, που οδήγησε σε πλημμύρες στη νότια Ισλανδία Επιπρόσθετα, αποτέλεσμα των εκρήξεων ήταν η εκτίναξη μεγάλων ποσοτήτων ηφαιστειακής τέφρας που έφτασε σε υψος έως και τα 10.000 χλμ. (33,000ft) καλύπτοντας περιοχές της βόρειας Ευρώπης αλλά και μέχρι της Ρωσίας. Μετά την τήξη των τμημάτων που είχαν καλυφθεί με πάγο, ο κρατήρας απελευθέρωνε σύννεφα λεπτόκοκκης τέφρας που παρέμειναν αιωρούμενα στην ατμόσφαιρα για μεγάλες αποστάσεις. Η τέφρα μεταφέρθηκε με τον αέρα πάνω από τον Ατλαντικό αλλά και πάνω από την Ευρώπη, με αποτέλεσμα να διακοπούν οι πτήσεις των εμπορικών αεροσκαφών για σχεδόν μία εβδομάδα με τελικό αντίκτυπο τις οικονομικές επιπτώσεις. Στην παρακάτω εικόνα δίνονται η έκταση που έφτασε η ηφαιστειακή τέφρα



Εικόνα 19: Η παραγωγή και η διανομή της ηφαιστειακής τέφρας από την έκρηξη του Eyjafjallajökull στην Ισλανδία. Απρίλιος-Μάιος 2010. Πηγή: Scientific Reports.

Η δραστηριότητα του ηφαιστείου συνεχίστηκε με φθίνουσα όμως πορεία για ακόμη 6 ημέρες. Μέχρι τις 20 Απριλίου είχε χάσει περίπου το 80% της αρχικής έντασής της. Την Κυριακή 18 Απριλίου ερευνητές από το Πανεπιστήμιο της Ισλανδίας εκτίμησαν ότι περίπου 750 τόνοι μάγματος εκτινάσσονταν από το ηφαίστειο κάθε δευτερόλεπτο. Μέχρι τις 20 Απριλίου το μεγαλύτερο μέρος του πάγου στον κρατήρα φαινόταν να είχε λιώσει και η ποσότητα του υλικού που εκτινασσόταν να έχει αυξηθεί σημαντικά. Καθώς το διαθέσιμο ποσό του πάγου που αλληλεπιδρούσε με το μάγμα μειωνόταν το ηφαίστειο άλλαξε από παραγωγή τέφρας σε παραγωγή κυρίως πύρινων συντριβανιών. Μέχρι το τέλος Απριλίου η εκρηκτική δραστηριότητα είχε ουσιαστικά τελειώσει, με ένα αδύναμο «λοφίο» νέφους αποτελούμενο κυρίως από ατμό και τη λάβα που έρεε να έχει προχωρήσει λίγα χιλιόμετρα βόρεια από τον κρατήρα.

Στις αρχές Μαΐου, εκρηκτική δραστηριότητα άρχισε και πάλι να αυξάνεται, με περισσότερη τέφρα να εκτινάσσεται στο σύννεφο καπνού. Το σύννεφο έφθανε γενικά σε ύψος περίπου 4-6 χιλιόμετρα, αλλά μερικές φορές έφθανε μέχρι και τα 8-9 χλμ. Κατά τη διάρκεια των δύο πρώτων εβδομάδων του Μαΐου, η δραστηριότητα έγινε κυκλική, και τη σεισμική δραστηριότητα ακολουθούσε άνοδος μάγματος και αερίων από το βάθος κάτω από το ηφαιστείο. Η εκρηκτική δράση τώρα γινόταν από αέριο διαλυμένο στο αυξανόμενο μάγμα, παρά από την αλληλεπίδραση του μάγματος με το νερό. Η εκρηκτική δραστηριότητα μειώθηκε σταδιακά και μέχρι τις 23 Μαΐου ελάχιστη ή καθόλου τέφρα εκτινασσόταν από το ηφαιστείο.

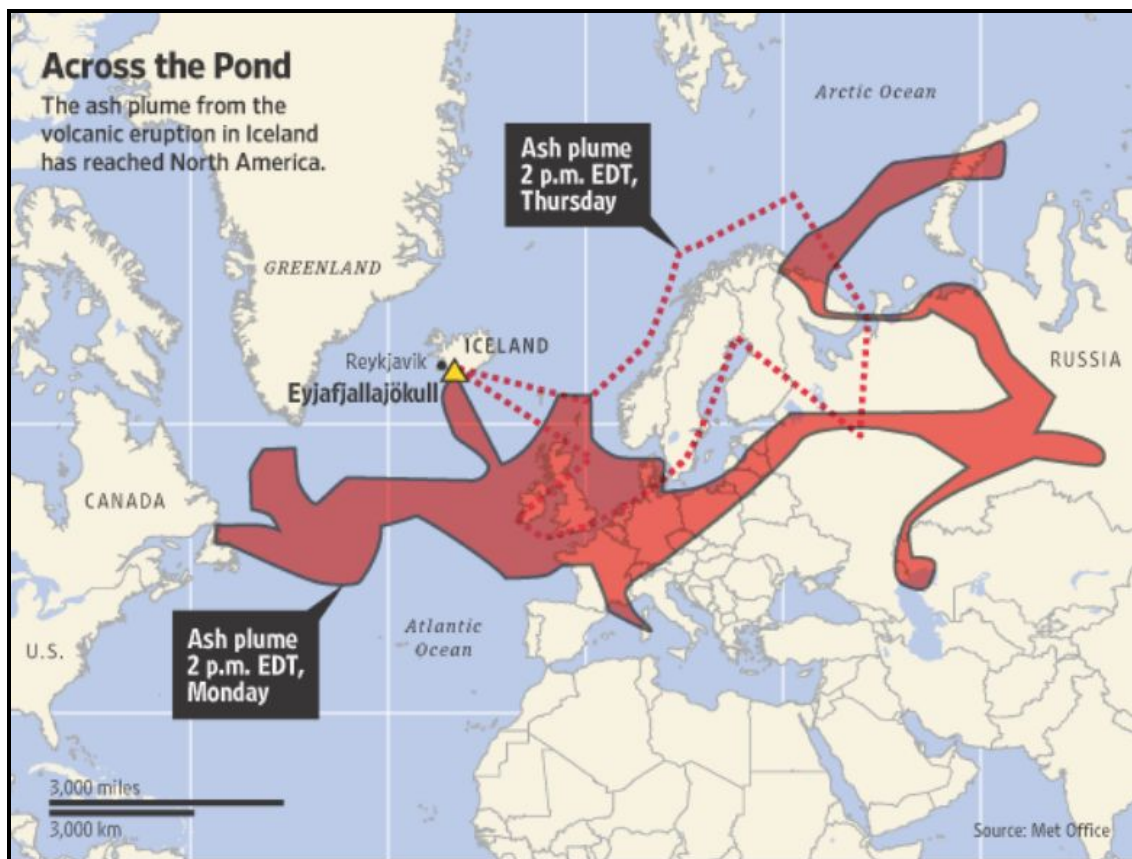
2.4.2. Επιπτώσεις

Η έκρηξη του ηφαιστείου Eyjafjallajökull αποτελεί ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα του μεγέθους της καταστροφής που μπορεί να προκληθεί στην οικονομία όχι μόνο μιας χώρας αλλά και άλλων χωρών γειτονικών και μη. Πέραν των οικονομικών επιπτώσεων το ηφαιστειακό νέφος επηρέασε σημαντικά και την υγεία των κατοίκων. Ωστόσο δεν θα πρέπει να παραληφθούν και οι θετικές επιδράσεις. Η περιοχή αργότερα έγινε τουριστικό αξιοθέατο και ενίσχυσε μακροπρόθεσμα σημαντικά την οικονομία της Ισλανδίας. Επιπρόσθετα, η λάβα και η τέφρα λόγω της πλούσιας σύστασής τους σε θρεπτικά συστατικά εμπλούτισαν το έδαφος και το κατέστησαν γόνιμο ώστε να χρησιμοποιηθεί ξανά για γεωργία.

2.4.2.1. Οικονομικές

Η μεγαλύτερη επίπτωση ήταν η διακοπή των αερομεταφορών. Τα αεροπορικά ταξίδια και οι μεταφορές ακυρώθηκαν σε όλο τον κόσμο λόγω των περιορισμών του εναερίου χώρου. Η τέφρα του ηφαιστείου οδήγησε σταδιακά στα μέσα του Απριλίου στο κλείσιμο μεγάλου μέρους του εναερίου χώρου της Ευρώπης, σε μια περίοδο επτά ημερών, προκαλώντας πάνω από 100,000 πτήσεις να ακυρωθούν. Η μέγιστη επίδραση ήταν την Κυριακή 18 και τη Δευτέρα 19 Απριλίου όπου ακυρώθηκαν περίπου 19.000 πτήσεις ανά ημέρα.

Η εξάπλωση του νέφους τέφρας όπως απεικονίζεται στον παρακάτω χάρτη οδήγησε στο κλείσιμο μεγάλου μέρους εναέριου χώρου του Ηνωμένου Βασιλείου και του Σκανδιναβικού.



Εικόνα 20: Χάρτης όπου απεικονίζεται η εξάπλωση του νέφους τέφρας του ηφαιστείου *Eyjafjallajökull* τη Δευτέρα 19 Απριλίου και την Πέμπτη 22 με τη διακεκομμένη γραμμή. Πηγή: The Economist, UK Met Office

Η αρχική εκτίμηση της Διεθνούς Ένωσης Αεροπορικών Μεταφορών (International Air Transport Association IATA) ήταν, ότι 200 εκ US δολάρια εσόδων ανα ημέρα από τη μεταφορά επιβατών, επήλθε ως αντίκτυπο στις εμπορικές αεροπορικές εταιρείες, βασισμένα στο κλείσιμο του συγκεκριμένου εναέριου χώρου όπως απεικονίζεται ανωτέρω.

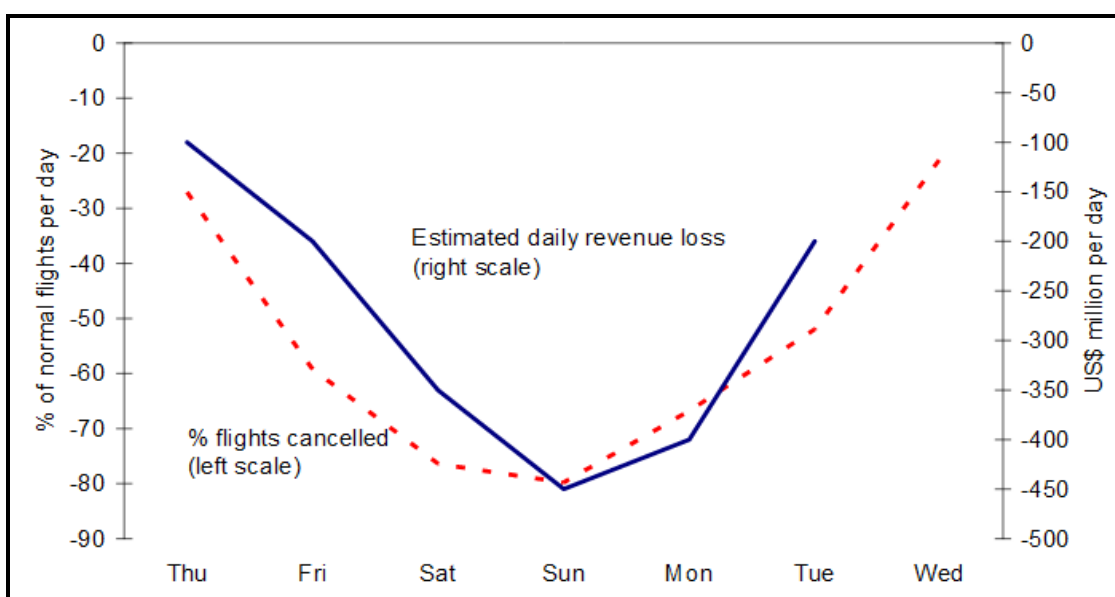
Όμως το κλείσιμο του Ευρωπαϊκού εναέριου χώρου προκάλεσε στις εταιρείες να χάσουν περίπου 400 εκ. US δολάρια ανά ημέρα από τις προγραμματισμένες υπηρεσίες τους όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Flows per day, 2009				
Market	Passengers	% total	Revenue \$US million	% total
1 United Kingdom - United States	37,018	3.0%	24.9	8.0%
2 France - France	47,200	3.8%	8.7	2.8%
3 Germany - United States	20,681	1.7%	7.7	2.5%
4 France - United States	13,474	1.1%	7.4	2.4%
5 United Kingdom - United Kingdom	63,054	5.0%	6.3	2.0%
6 Germany - Germany	55,589	4.5%	5.5	1.8%
7 United Kingdom - Australia	4,802	0.4%	4.6	1.5%
8 France - Japan	3,084	0.2%	4.3	1.4%
9 Switzerland - United States	4,652	0.4%	3.6	1.2%
10 Netherlands - United States	7,000	0.6%	3.4	1.1%
11 Germany - Japan	2,284	0.2%	3.3	1.1%
12 Ireland - United States	5,501	0.4%	2.9	0.9%
13 United Kingdom - Canada	5,024	0.4%	2.8	0.9%
14 United Kingdom - Japan	1,902	0.2%	2.7	0.9%
15 United Kingdom - South Africa	3,840	0.3%	2.6	0.9%
16 United Kingdom - United Arab Emirates	4,796	0.4%	2.6	0.8%
17 United Kingdom - Hong Kong	3,256	0.3%	2.6	0.8%
18 United Kingdom - India	7,508	0.6%	2.5	0.8%
19 United Kingdom - Singapore	2,102	0.2%	2.0	0.7%
20 France - Morocco	10,236	0.8%	1.9	0.6%
Other affected routes	946,078	75.7%	208	67.1%
Total of above	1,249,083	100.0%	310	100.0%
Ancillary revenues			31	
Cargo revenues			47	
Expected 2010 growth			30	
Total impact on 2010 airline revenues per day			418	

Εικόνα 21: Country-pair passenger market and airline revenue impact on Monday 19 April. Πηγή: IATA Economics, PaxIS Plus database

Αυτή η απώλεια στις εταιρείες καθώς και η προηγούμενη των 200 εκ US δολλαρίων βασίστηκε σε bottom up διαδικασία υπολογισμού από δεδομένα επιβατών και των εσόδων όπως προέκυψαν από χιλιάδες ζεύγη χωρών.

Τελικά η Ένωση εκτίμησε ότι οι συσσωρευμένες απώλειες κατά την περίοδο αυτή από τακτικές υπηρεσίες μεταφοράς επιβατών και εμπορευμάτων ήταν 1,7 δις US δολάρια.



Εικόνα 22: Impact on airline revenues per day. Πηγή: IATA Economics, Eurocontrol

Επίσης πάνω από 1,2 εκ επιβάτες τακτικών αερογραμμών είχαν επηρεαστεί κάθε μέρα. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εκτίμησε το συνολικό αριθμό των επιβατών που δεν μπόρεσαν να ταξιδέψουν για όλη την περίοδο σε 10 εκατομμύρια. Το γεγονός αυτό ανάγκασε τις εταιρείες να επωμιστούν το κόστος διαμονής των επιβατών σε ξενοδοχεία, το οποίο ανήλθε λίγο κάτω από τα 200 εκ ευρώ εκτιμώμενο από την Ένωση Ευρωπαϊκών Αεροπορικών Εταιρειών – Association of European Airlines (AEA) καθόλη τη διάρκεια της περιόδου.

Εκτός από τις αερομεταφορές η έκρηξη επηρέασε την ευρωπαϊκή, αφρικανική και ασιατική οικονομία. Αρκετοί τομείς που εξαρτώνται από τις εισαγωγές και τις εξαγωγές αερομεταφερόμενων προϊόντων επλήγησαν σοβαρά από τις διαταραχές των πτήσεων. Ελλείψεις εισαγόμενων λουλουδιών, φρούτων και ηλεκτρονικού υλικού αναφέρθηκαν τις επόμενες ημέρες μετά τη διακοπή. Η Ολλανδία δεν ήταν σε θέση να προμηθεύσει ορχιδέες στη Βόρεια Αμερική. Οι εξαγωγές του υλικού πληροφορικής επηρεάστηκαν επίσης, καθώς οι επιχειρήσεις δεν ήταν σε θέση να στείλουν τα προϊόντα τους σε άλλες χώρες (BBC). Επιπρόσθετα, και η φαρμακευτική βιομηχανία δέχτηκε ισχυρό πλήγμα, ενώ οι επιχειρηματίες και οι αξιωματούχοι εξέφρασαν ανησυχίες σχετικά με τις εισαγωγές νωπών τροφίμων και άλλων βασικών αγαθών στο Ηνωμένο Βασίλειο.

Στην Κένυα είχαν καταστραφεί 400 τόνοι λουλουδιών, καθώς το αεροπλάνο δεν ήταν σε θέση να ταξιδέψει στο Ηνωμένο Βασίλειο στις 19 και 20 Απριλίου 2010. Ως αποτέλεσμα, η οικονομία τους εκτιμάται ότι είχε απώλειες ύψους 3,8\$ εκατομμυρίων για κάθε ημέρα ματαίωσης της πτήσης. Χιλιάδες εργάτες που απασχολούνταν στις καλλιέργειες λουλουδιών και λαχανικών, απολύθηκαν προσωρινά.

Η βιομηχανία λουλουδιών και λαχανικών της Ζάμπια έχανε περίπου 150.000\$ ανά ημέρα (Hanlon, 2010). Άλλες αφρικανικές βιομηχανίες, όπως αυτή των φαριών, επηρεάστηκαν επίσης (Hanlon, 2010). Στην Ασία, η αυτοκινητοβιομηχανία Nissan κήρυξε αναστολή στην παραγωγή τριών μοντέλων, αφού η προμήθεια ανταλλακτικών είχε διαταραχθεί. Ως αποτέλεσμα, σταμάτησε η παραγωγή 2.000 οχημάτων σε δύο εργοστάσια. Η Honda ανακοίνωσε επίσης μερική διακοπή της παραγωγής. Εργοστάσια της Κίνας

διέκοψαν ή καθυστέρησαν τις διά αέρος αποστολές ρούχων και κοσμημάτων. Στη Νότια Κορέα, η Samsung και η LG δεν ήταν σε θέση να μεταφέρουν εμπορεύματα που αντιστοιχούσαν σε περισσότερο από το 20% των καθημερινών εξαγωγών ηλεκτρονικών τους. Η Ομοσπονδία των βιομηχανιών του Χονγκ Κονγκ δήλωσε ότι τα ξενοδοχεία και τα εστιατόρια αντιμετώπιζαν ελλείψεις σε ευρωπαϊκά προϊόντα (BBC).

Αντίθετα με τις παραπάνω χώρες, η αλιευτική οικονομία της Νέας Ζηλανδίας βοηθήθηκε από τη διακοπή των αεροπορικών μεταφορών στην Ευρώπη. Λόγω της δυσκολίας μεταφοράς φρέσκου σολομού στις διεθνείς αγορές από τη Νορβηγία, πολλά κράτη είχαν αυξήσει σημαντικά τις παραγγελίες για τον σολομό της Νέας Ζηλανδίας.

2.4.2.2. Στην υγεία

Γενικά άτομα που έχουν εκτεθεί σε ηφαιστειακή ατμοσφαιρική ρύπανση παρουσιάζουν αυξημένο επιπολασμό και είναι ιδιαίτερα ευπαθή σε λοιμώξεις του ανώτερου και κατώτερου αναπνευστικού συστήματος. Μελέτες περίπτωσης που πραγματοποιήθηκαν στους κατοίκους της περιοχής απέδειξαν ότι έπειτα από έκθεση σε ηφαιστειακή τέφρα επηρεάζεται η λειτουργία των μακροφάγων. Είναι πιθανό η τέφρα να παρεμποδίζει την ικανότητα των μακροφάγων να θανατώνουν τα βακτήρια και ως αποτέλεσμα τα άτομα να έχουν εξασθενημένο ανοσοποιητικό σύστημα και τελικά να μην μπορούν να αντιμετωπίσουν ακόμη και απλές λοιμώξεις (Monick M. *et al.*, 2013).

Μια άλλη μελέτη από τους Carlsen H. *et al.*, συσχέτισε τις επιπτώσεις μεταξύ ατόμων που εκτέθηκαν σε τέφρα και ατόμων που δεν εκτέθηκαν. Έξι με εννέα μήνες μετά την έκρηξη του ηφαιστείου Eyjafjallajökull, οι κάτοικοι που ζούσαν στην εκτεθειμένη περιοχή, ιδιαίτερα σε περιοχές πλησίον του ηφαιστείου, είχαν σημαντικά αυξημένο επιπολασμό σε διάφορα φυσικά συμπτώματα. Οι συμμετέχοντες από περιοχές μεσαίας και υψηλής έκθεσης είχαν σημαντικά υψηλότερα ποσοστά συμπτωμάτων του ανώτερου αναπνευστικού συστήματος, του δέρματος και ερεθισμό των ματιών σε σχέση με αυτά που εμφάνισαν άτομα από περιοχή χαμηλής έκθεσης. Αυτό υποδηλώνει μια δόσοεξαρτώμενη σχέση της έκθεσης στην τέφρα και των

σωματικών συμπτωμάτων της τέφρας. Επίσης, ένα τμήμα του εκτιθέμενου πληθυσμού ανέφερε πολλαπλά συμπτώματα και ακόμη βρέθηκε σε κίνδυνο για μακροχρόνια φυσική και ψυχολογική νοσηρότητα (Carlsen H. *et al.*, 2012).

Κύριο μειονέκτημα των μελετών που αφορούσαν στις επιπτώσεις στην υγεία μετά την έκρηξη, ήταν ότι δεν υπήρχε ιατρικό ιστορικό των κατοίκων ώστε να δοθούν συγκριτικά αποτελέσματα.

2.4.2.3. Διαχείριση

Για τη διαχείριση της κρίσης το Ηνωμένο Βασίλειο πήρε το προβάδισμα λόγω της σχετικής του γειννίας με την Ισλανδία αλλά και της θέσης του μέσα στη διαδρομή του νέφους της τέφρας. Λόγω της έλλειψης ετοιμότητας, τα μέτρα διαχείρισης ήταν καθαρά αντιδραστικά. Οι Αρχές αντιμετώπισαν δυσκολίες λόγω της απουσίας δεδομένων που αφορούσαν στην ανοχή των αεροσκαφών σε τέφρα με τους Ευρωπαίους υπουργούς μεταφορών να υιοθετούν μια βραχυπρόθεσμη λύση. Δήλωσαν ότι η ηφαιστειακή τέφρα συγκέντρωσης έως και $2\text{mg}/\text{m}^3$ είναι «ασφαλής» για τη διεξαγωγή των εναέριων μεταφορών υπό την προϋπόθεση ότι εφαρμόστηκαν τα μέτρα μετριασμού του κινδύνου.

Όσον αφορά στους επτά εκατομμύρια επιβάτες, που αντιμετώπισαν σημαντικές καθυστερήσεις και χρηματικό κόστος, η Ευρωπαϊκή Οδηγία 261/2004 μετρίασε το πρόβλημα καθιερώνοντας την ευθύνη των αεροπορικών εταιρειών για την αποζημίωση των επιβατών σε περίπτωση ακύρωσης της πτήσης (Ευρωπαϊκή Ένωση, 2004). Ωστόσο, οι μεταφορείς χαμηλού κόστους προσέβαλλαν με σφοδρότητα αυτή την απόφαση και δεν δέχτηκαν την εγγυημένη αποζημίωση των επιβατών. Οι αεροπορικές εταιρίες ήταν ανένδοτες στην αποζημίωση δεδομένου ότι η κατάσταση ήταν εκτός του δικού τους ελέγχου και δεν ήταν προετοιμασμένες για φυσική καταστροφή. Παρ' όλα αυτά, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρέμεινε πεπεισμένη ότι αυτές είχαν την ευθύνη να μην εγκαταλείψουν τους επιβάτες.

Αργότερα τέθηκε σε εφαρμογή και το σχέδιο αποκατάστασης. Σύμφωνα με τον Υπουργό Μεταφορών της Ισλανδίας το κόστος επισκευής των κατεστραμμένων δρόμων ανήλθε σε περισσότερα από 651.000 Ε (BBC).

Κεφάλαιο 3^ο Μέτρα πρόληψης και αποκατάστασης

Ως επί το πλείστον οι συνέπειες των φυσικών καταστροφών μπορούν να μετριαστούν με τη λήψη κατάλληλων μέτρων και αποφάσεων. Ομοίως και οι συνέπειες μιας ηφαιστειακής έκρηξης είναι εφικτό σε πολλές περιπτώσεις να μετριαστούν λαμβάνοντας τα κατάλληλα μέτρα πρόβλεψης και ετοιμότητας. Σε καμία περίπτωση όμως δεν μπορούν να εξαλειφθούν, γιατί μερικά γεγονότα είναι απρόβλεπτα. Τα μέτρα στοχεύουν πρωτίστως στη μείωση των απωλειών σε ανθρώπινες ζωές και δευτερευόντως στις οικονομικές απώλειες.

Ένα σημαντικό ζήτημα, το οποίο πρέπει να εξεταστεί από την αρχή, είναι η σχέση μεταξύ της χρονικής κλίμακας των ηφαιστειακών γεγονότων και του χρόνου που απαιτείται για να μπουν διάφορα προστατευτικά μέτρα (δηλαδή, στο χώρο της προστασίας και / ή εκκένωσης) σε ισχύ. Η εμπειρία έχει δείξει ότι το διάστημα μεταξύ της εμφάνισης μιας έκρηξης, ή των σημαντικών πρόδρομων φαινομένων, και της βίαιης κορύφωσης της έκρηξης, μπορεί να κυμαίνεται από λίγες ώρες έως αρκετές ημέρες, εβδομάδες ή μήνες. Από την άλλη πλευρά, ο χρόνος που απαιτείται για να μπουν έκτακτα μέτρα προστασίας σε ισχύ εξαρτάται από το μέγεθος της περιοχής σε κίνδυνο, την πυκνότητα του πληθυσμού και των εγκαταστάσεων, το βαθμό κινητικότητας του πληθυσμού, τα διαθέσιμα μέσα μεταφοράς και επικοινωνίας, καθώς και το γενικό τεχνολογικό επίπεδο της ανάπτυξης.

Στην πράξη, συνήθως κρίνεται σκόπιμο να προγραμματιστούν δύο τύποι δράσεων:

i. Σταδιακή απάντηση σε μια σταδιακή ανάπτυξη της ηφαιστειακής κρίσης, κατά τη διάρκεια της οποίας κάποιος αναμένει να έχει προειδοποίηση των δυνητικά επικίνδυνων ηφαιστειακών εκδηλώσεων τουλάχιστον 24 ώρες πριν αυτά συμβούν και

ii. Άμεση ανταπόκριση σε μια κατάσταση ζητώντας την ταχύτερη δυνατή εκκένωση των ανθρώπων με οποιοδήποτε μέσο που είναι άμεσα διαθέσιμο (UNDRO).

Όσο περισσότερα στοιχεία είναι γνωστά για την ιστορία ενός ηφαιστείου, και όσο μεγαλύτερη είναι η προσπάθεια που έχει καταβληθεί σε

επιστημονικές μελέτες και στην παρακολούθηση της συμπεριφοράς του, τόσο πιο εύκολο θα είναι να προβλεφθεί πόσος χρόνος μπορεί να είναι διαθέσιμος για να ληφθούν προστατευτικά μέτρα όταν μια έκρηξη συμβεί.

Τα μόνα γεγονότα που μπορούν περιστασιακά να ελέγξουν οι άνθρωποι είναι η εκτροπή των ροών λάβας και των κατολισθήσεων, καθώς και ο περιορισμός των φυσικών αερίων στις λίμνες, για αυτό και οι περισσότερες ενέργειες επικεντρώνονται σε αυτά. Η πτώση τέφρας, οι πυροκλαστικές ροές και οι εκρήξεις λάβας δεν είναι δυνατό να αποτραπούν και είναι και δύσκολο να προβλεφθεί η πορεία τους. Ως αποτέλεσμα η κύρια στρατηγική που πρέπει να αναπτυχθεί είναι η μείωση του κίνδυνου (Parfitt E., Wilson L., 2008).

3.1. Μέθοδοι πρόβλεψης

Αρκετές φορές υπάρχουν ποικίλες ενδείξεις ότι πρόκειται να σημειωθεί μια ηφαιστειακή έκρηξη. Λόγω της εκροής του μάγματος δημιουργείτε αλλαγή της πίεσης στο εσωτερικό της γής με αποτέλεσμα τη δημιουργία του ηφαιστειακού σεισμού. Το σήμα τέτοιων σεισμών ονομάζεται ηφαιστειογενής δόνηση. Είναι πολύ πιθανό λοιπόν να σημειωθεί αυξημένη σεισμική δραστηριότητα προκαλώντας παραμορφώσεις και σχισμές στο έδαφος πλησίον του ηφαιστείου καθώς και ζημιές σε κατασκευές. (Λέκκας E., 2015). Σχετικά με τις παραμορφώσεις του εδάφους, παρατηρούνται διογκώσεις στον κώνο και αλλαγή στην κλίση. Επιπρόσθετα στις θερμές πηγές και στις ατμίδες αυξάνεται η θερμοκρασία και η απελευθέρωση αερίων. Σε περιοχές που το ηφαίστειο καλύπτεται από πάγο αυτός λιώνει, ενώ στις παρυφές του ηφαιστείου η βλάστηση καταστρέφεται. Σε κάποιες περιπτώσεις παρατηρείται και μεταβολή της χημικής σύστασης των αερίων που απελευθερώνονται (Parfitt E., Wilson L., 2008).

Σήμερα υπάρχουν αρκετά προγράμματα παρακολούθησης και πρόβλεψης της ηφαιστειακής δραστηριότητας, που όμως δεν εφαρμόζονται ευρέως εξαιτίας του υψηλού κόστους τους. Λόγω της ανάπτυξης της επιστήμης και της τεχνολογίας είναι αρκετά ευαίσθητα και ακριβή. Όλα αφορούν στις πρώιμες ενδείξεις της έκρηξης. Σήμερα ηφαίστεια όπως το Mount St Helens στις Η.Π.Α. και η Αίτνα στην Ιταλία καταγράφονται εντατικά επειδή είναι ενεργά

αλλά και λόγω του γεγονότος ότι γύρω από αυτά είναι χτισμένες πόλεις. Αρκετές φορές βέβαια οι προβλέψεις είναι λανθασμένες. Επιπλέον, υπάρχουν και οι περιπτώσεις που οι ενδείξεις μιας επικείμενης έκρηξης εκδηλώνονται αρκετό καιρό πριν από την πραγματική (Parfitt E., Wilson L., 2008).

Για την καταγραφή της σεισμικής δραστηριότητας χρησιμοποιούνται σειсмоγράφοι. Διατηρώντας αρκετά σεισμόμετρα μόνιμα γύρω από τον ηφαιστειακό κώνο καταγράφεται ένα πρότυπο παρακολούθησης τόσο του δυναμικού όσο και της έναρξης της ηφαιστειακής δραστηριότητας. Καθώς αυξάνεται η δραστηριότητα αυξάνεται ανάλογα και η θερμοκρασία. Οι θερμικές αυτές ανωμαλίες μπορούν να ανιχνευθούν στο έδαφος, στις θερμές πηγές, στον κρατήρα και στις φουμαρόλες όπου οι θερμοκρασίες των αερίων αυξάνονται. Μια τεχνική θερμικής απεικόνισης είναι μέσω παρατηρήσεων από δορυφόρους και υπέρυθρων τηλεσκοπίων.

Η διαρκής παρακολούθηση των εκπομπών αερίων καθώς και της σύστασης τους αποτελεί ένα χρήσιμο μέσο για την πρόβλεψη μιας πιθανής ηφαιστειακής έκρηξης. Είναι αξιοσημείωτο ότι οι εκπομπές θείου αυξάνονται όσο πλησιάζει η στιγμή της έκρηξης. Εκτός όμως από το θείο αυξάνονται και τα υπόλοιπα αέρια. Μπορεί να γίνει άμεση μέτρηση αν και είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο για τους επιστήμονες. Από απόσταση είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν φασματογράφοι συσχέτισης και υπέρυθρου ώστε να καταγραφούν τα ποσοστά διοξειδίου του θείου και του άνθρακα, αντίστοιχα. Σε μεγαλύτερη απόσταση μπορεί να γίνει καταγραφή του όζοντος φασματομετρικά με τη βοήθεια δορυφόρων (Ηφαιστειολογία – Κυριακόπουλος, 2014).

Επιπρόσθετο σημαντικό μέτρο πρόβλεψης μιας ηφαιστειακής έκρηξης είναι η παρατήρηση των εδαφικών παραμορφώσεων. Πρόκειται για ακριβή αλλά αρκετά δαπανηρά συστήματα, τα οποία καταγράφουν τις αλλαγές στην κλίση του εδάφους και στη στάθμη των θαλασσών ή των λιμνών που βρίσκονται κοντά στο ηφαίστειο. Συχνά χρησιμοποιούνται συστήματα εντοπισμού θέσης – Global Positioning Systems (GPS) – που καταγράφουν τις οριζόντιες και κάθετες κινήσεις του εδάφους ή ραντάρ που δίνουν εικόνα με τη βοήθεια δορυφόρου σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα (Λέκκας E., 2015). Να σημειωθεί ότι στην περίπτωση που το ηφαίστειο βρίσκεται κοντά σε υδάτινο

περιβάλλον ή μέσα σε αυτό, τότε είναι επιθυμητή η μέτρηση και της τιμής του pH που μειώνεται λόγω διάλυσης όξινων αερίων, αλλά και των αλλαγών στην αναλογία των ιόντων του ύδατος. Δευτερευόντως μπορεί να μετρηθούν οι μαγνητικές, βαρυτικές και ηλεκτρικές ιδιότητες των πετρωμάτων καθώς μεταβάλλονται με την αύξηση της θερμοκρασίας (Ηφαιστειολογία – Κυριακόπουλος, 2014).

3.2. Διαχείριση της ηφαιστειακής έκρηξης

Η καταγραφή των πρόδρομων φαινομένων αποτελεί μια δράση πρόβλεψης της επικείμενης καταστροφής, εκείνο όμως που πραγματικά χαρακτηρίζει μια χώρα ως προς το αν είναι αποτελεσματική είναι η διαχείριση της καταστροφής και τα μέτρα που λαμβάνονται κάθε φορά για τη μείωση των επιπτώσεων.

Τα μέτρα πρέπει να λαμβάνονται τόσο σε συλλογικό όσο και σε ατομικό επίπεδο. Η διαδικασία της διαχείρισης περιλαμβάνει τρεις φάσεις. Σε πρώτη φάση κρίνεται σκόπιμο να μειωθεί ο κίνδυνος με ενημέρωση του κοινού, σχέδια εκκένωσης και χαρτογράφηση των ζωνών επικινδυνότητας. Τέτοιου είδους κινητοποίηση παρατηρείται περίπου 15 ημέρες πριν την εκδήλωση της ηφαιστειακής δραστηριότητας. Η δεύτερη φάση περιλαμβάνει την ετοιμότητα με παρακολούθηση της ηφαιστειακής δραστηριότητας και οριοθέτηση των ζωνών και χρονικά εμπίπτει στο διάστημα 2-5 ημέρες πριν από την έκρηξη. Στην τρίτη φάση διαχειρίζονται οι επιδράσεις των εκρήξεων με εκκένωση, κινητοποίηση των υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης, ιατρική περίθαλψη και συνεχή ενημέρωση του κοινού. Η φάση αυτή είναι 1 ημέρα πριν την έκρηξη. Μετά το πέρας της καταστροφής ακολουθεί η αξιολόγηση των ζημιών και η τελική αποκατάσταση (explorevolcanoes.com).

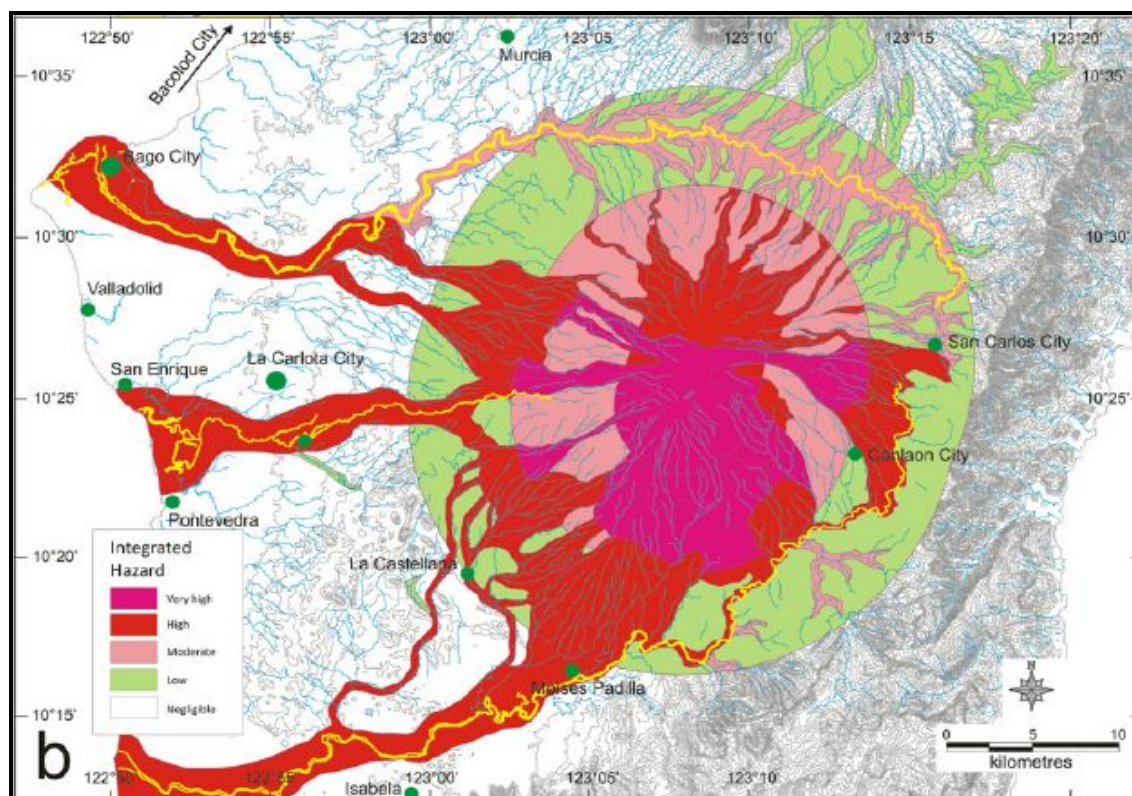
3.2.1. Μέτρα πριν την έκρηξη

Το βασικότερο και σημαντικότερο από όλα κρίνεται η κατασκευή ενός σχεδίου έκτακτης ανάγκης στο οποίο θα απεικονίζονται οι ζώνες επικινδυνότητας. Πιο συγκεκριμένα κατασκευάζεται ένας χάρτης με τις ζώνες κινδύνου γύρω από το ηφαίστειο, οι οποίες ενδέχεται να επηρεαστούν από ένα

ή περισσότερα καταστροφικά φαινόμενα κατά τη διάρκεια μιας έκρηξης και δίνονται με διάφορα χρώματα ανάλογα με την επικινδυνότητα.

Η περιοχή που εκτίθεται σε κάθε είδος κινδύνου υποδιαιρείται σε δύο ή τρεις υποζώνες που αντιστοιχούν σε εκρήξεις διαφορετικών μεγεθών. Επίσης, στους χάρτες των περιοχών κινδύνου σημαίνονται και οι περιοχές που επλήγησαν κατά τη διάρκεια της προηγούμενης έκρηξης με πλήρες ιστορικό και γεωλογικά στοιχεία. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτοί οι χάρτες επικινδυνότητας βασίζονται σε καθαρά γεωλογικά δεδομένα, σε στοιχεία από προηγούμενα συμβάντα, σε τοπογραφικά στοιχεία και σε πιθανά μοντέλα διασποράς των ηφαιστειακών προϊόντων, στα οποία συμπεριλαμβάνονται και μετεωρολογικές παράμετροι. Για πρακτικούς σκοπούς, π.χ. σχέδια εκκένωσης, οι τοπικές αρχές που είναι αρμόδιες για τη διαχείριση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης μπορεί να επεκτείνουν τα όρια ορισμένων ζωνών, προκειμένου να ληφθούν υπόψη οι διαθέσιμοι οδοί διαφυγής, τα όρια των οικισμών, κ.λπ. (UNDRO).

Στην παρακάτω εικόνα δίνεται ένα χάρτης με ζώνες επικινδυνότητας για το ηφαίστειο Kanloan στις Φιλιππίνες.



Εικόνα 23: Χάρτης επικινδυνότητας του ηφαιστίου Kanloan. (Πηγή: Neri M., 2013).

Με κόκκινο δίνονται οι περιοχές που είναι επιρρεπείς σε εισβολή λάβας και κατολισθήσεις. Με σκούρο ροζ χρώμα δίνονται οι περιοχές εξαιρετικά μεγάλης επικινδυνότητας, ενώ με ανοιχτό ροζ και πράσινο χρώμα δίνονται οι περιοχές που βρίσκονται μεν πλησίον του ηφαιστείου αλλά θα επηρεαστούν λιγότερο δε από τα ηφαιστειακά προϊόντα.

Ο προγραμματισμός της εκκένωσης είναι αρκετά απαιτητικός και χρονοβόρος. Αν και τις περισσότερες φορές οι περιοχές εκκενώνονται πριν εκδηλωθούν τα φαινόμενα, στο σχέδιο θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και το γεγονός της αιφνίδιας εκδήλωση της ηφαιστειακής έκρηξης. Αρχικά θα πρέπει να πραγματοποιηθεί μια απογραφή του πληθυσμού που θα αφορά τουλάχιστον στις ζώνες κινδύνου και να ενημερώνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Συστήνεται η ενημέρωση να πραγματοποιείται τουλάχιστον μία φορά κάθε πέντε χρόνια ή όποτε υπάρχουν ενδείξεις μη φυσιολογικής ηφαιστειακής δραστηριότητας. Αυτή η απογραφή θα περιλαμβάνει όχι μόνο τα άτομα που διαμένουν μόνιμα στις ζώνες αλλά και εκείνα που εισέρχονται σε καθημερινή βάση, όπως είναι για παράδειγμα οι εργαζόμενοι. Καλό θα είναι στην απογραφή να συμπεριληφθεί και το ζωικό κεφάλαιο που υπάρχει σε κάθε ζώνη, έτσι ώστε να διευθετηθεί η απομάκρυνσή τους (Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, OCHA). Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στη σημείωση περιουσιών ή εγκαταστάσεων στις ζώνες κινδύνου, των οποίων η απώλεια ή η καταστροφή θα έχει άμεσες επιπτώσεις και εκτός των ζωνών αυτών, π.χ., σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ραδιοπομπούς, τηλεφωνικά κέντρα, ύδρευση, εργοστάσια (WHO).

Στο σχέδιο εκκένωσης θα πρέπει να περιλαμβάνονται και τα σημεία συγκέντρωσης και παραλαβής των πολιτών ώστε τελικά να μεταφερθούν σε ασφαλές μέρος. Το σχέδιο αυτό καθορίζει και τις υπόλοιπες ρυθμίσεις για τη μεταφορά των εκτοπισμένων σε ασφαλές καταφύγιο, όπως για παράδειγμα τον αριθμό των ατόμων που θα υποδεχθεί καθένα από αυτά. Για τα σημεία προσέλευσης θα πρέπει να έχουν κατασκευαστεί καλές εγκαταστάσεις για τηλέφωνο ή ραδιόφωνο ώστε να υπάρχει επικοινωνία μεταξύ των πολιτών. Αν και συνήθως διαθέτουν μόνο ελάχιστες εγκαταστάσεις για τη στέγαση και τη σίτιση των εκτοπισμένων επιλέγονται γιατί είναι προσβάσιμα, βρίσκονται έξω

από τη ζώνη κινδύνου και μπορούν να υποδεχθούν μεγάλο αριθμό ατόμων. Κατάλληλα για τέτοια χρήση είναι συχνά σχολεία, κοινοτικά κέντρα, αποθήκες ή άλλα μεγάλα κτίρια. Σε ηφαιστειακές εκρήξεις, οι σκηνές δεν είναι κατάλληλες ως προσωρινό καταφύγιο, ειδικά αν βρίσκονται κοντά σε ζώνες υψηλής επικινδυνότητας, επειδή μπορεί εύκολα να καταστραφούν από την πτώση κομματιών στάχτης ή λάβας. Για αυτό θα πρέπει να αποφεύγονται είτε ατομικά είτε συλλογικά (UNDRO).

Ακόμη, περιλαμβάνεται και ο λεπτομερής σχεδιασμός των μεταφορών εκκένωσης είτε πρόκειται για σταδιακή εκκένωση είτε για άμεση. Σε μια σταδιακή εκκένωση, όταν υπάρχει αρκετός χρόνος μεταξύ της έναρξης της καταστροφικής έκρηξης και της επίσημης ανακοίνωσης για εκκένωση, μπορεί κανείς να υποθέσει ότι κάθε οικογένεια διαθέτει το δικό της όχημα ή μέσο μεταφοράς και θα φροντίσει τους εαυτούς της και τυχόν γείτονες για τους οποίους διαθέτει χώρο και έχει γίνει συγκεκριμένη δέσμευση. Σε περίπτωση απροσδόκητα ταχείας κλιμάκωσης της καταστροφικής δραστηριότητας, οι μεταφορές γίνονται όλο και πιο δύσκολο να ελεγχθούν, κυρίως λόγω της προσπάθειας των ανθρώπων να αγωνίζονται για το πλησιέστερο διαθέσιμο φορητό ή λεωφορείο μεταφοράς. Στην περίπτωση άμεσης εκκένωσης, είναι απαραίτητο εκ των προτέρων να διαπιστωθεί πόσοι άνθρωποι έχουν ιδιωτικά οχήματα ή/και σκάφη και να οριστούν τα δρομολόγια που θα ακολουθήσουν. Επιπρόσθετα, πρέπει να περιλαμβάνει τον αριθμό και τις θέσεις των ανθρώπων που χρειάζονται δημόσιες μεταφορές και να οριστούν σημεία συγκέντρωσης για τα μέσα μαζικής μεταφοράς. Τέλος, για τον σχεδιασμό των μεταφορών οι Αρχές, πρέπει να προβούν σε απογραφή των διαθέσιμων δημόσιων μεταφορικών μέσων και οδηγών και να αποδώσουν τα σημεία παραλαβής σε κάθε έναν από αυτούς, όπως επίσης και να προχωρήσουν και σε ρυθμίσεις που αφορούν στην επίταξη των ιδιωτικών φορητών και λεωφορείων με σκοπό να συνδράμουν στην εκκένωση (UNDRO).

Στα παραπάνω πρέπει να προστεθεί και το γεγονός ότι η κίνηση της κυκλοφορίας κατά μήκος των οδών διαφυγής από αστικές περιοχές μπορεί να γίνει αδύνατη λόγω του μεγάλου αριθμού των ατόμων που εγκαταλείπουν με τα πόδια. Σε τέτοιες περιπτώσεις καλό είναι να υπάρχει ένα εναλλακτικό σχέδιο το

οποίο θα ακολουθηθεί στην έσχατη περίπτωση και θα επιτρέπει σε οποιαδήποτε οχήματα να επιστρέφουν στη ζώνη κινδύνου και να συλλέγουν πεζούς. Για την καλύτερη και πιο γρήγορη ροή διάφορα σημεία καμπής κατά μήκος της οδού διαφυγής πρέπει να βρίσκονται υπό τον έλεγχο ατόμων της αστυνομίας ή της πολιτικής άμυνας.

Όσον αφορά στα κτίρια σε περιοχές που είναι πιθανό να επηρεαστούν από ηφαιστειακή έκρηξη, η μόνη προφύλαξη που μπορεί να ληφθεί είναι η κατασκευή από ανθεκτικά υλικά ή τουλάχιστον να υπάρξει ενίσχυση των ορόφων ώστε να αποφευχθεί η κατάρρευση. Προληπτικό μέτρο για τη μείωση του κινδύνου πρόκλησης ζημιών στο σύστημα παροχής νερού είναι η κάλυψη του εξοπλισμού και των αντλιών ώστε να μην εισχωρήσει η τέφρα και αργότερα να μπορέσει να απομακρυνθεί πιο εύκολα και γρήγορα. Ανάλογα μπορούν να καλυφθούν και οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Προαιρετικά συνίσταται και η κατασκευή φραγμάτων για την εκτροπή των ροών λάβας σε σημεία όχι τόσο επικίνδυνα και ενός συστήματος ψύξης ώστε μόλις έλθει σε επαφή η λάβα με το νερό να ψύχεται και να μη ρέει πλέον (CDC).

Πριν από την έκρηξη κάθε πολίτης θα πρέπει να είναι προετοιμασμένος για όλα τα ενδεχόμενα φαινόμενα που τη συνοδεύουν. Σύμφωνα με το τοπικό σχέδιο εκκένωσης υπάρχει και ένα οικογενειακό σχέδιο εκκένωσης με οδούς διαφυγής από την οικία. Στην περίπτωση που τα μέλη βρίσκονται εκτός οικίας καλό θα είναι να υπάρχει και σχέδιο συνάντησης, μιας και συχνά δεν είναι δυνατή η επικοινωνία με άλλα μέσα αλλά και ένα σχέδιο μεταφοράς με κάποιο μέσο σε ασφαλές μέρος. Στο οικογενειακό σχέδιο εκκένωσης θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι καθυστερήσεις που θα προκληθούν από την κυκλοφοριακή συμφόρηση. Επίσης καλό είναι να διαθέτουν απαραίτητα εφόδια όπως φακός, μπαταρίες, κουτί πρώτων βοηθειών, τρόφιμα και νερό, ραδιόφωνο, προστατευτικά γυαλιά, μάσκα και απαραίτητα φάρμακα τα οποία θα φυλάσσονται σε μέρος που θα το γνωρίζουν όλα τα μέλη της οικογένειας (CDC).

Σε καταστροφές όπως αυτές η ενημέρωση του κοινού είναι καθοριστική. Είναι σημαντικό να έχουν ενημερωθεί οι κάτοικοι των περιοχών που βρίσκονται κοντά σε ηφαίστεια, και μάλιστα να είναι προετοιμασμένοι για τις δράσεις τους

πριν, κατά τη διάρκεια και μετά από μια ηφαιστειακή έκρηξη. Οι πληροφορίες μπορούν να διαδοθούν από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης. Επίσης, θα πρέπει να υπάρχει συντονισμός των αρχών και των υπηρεσιών για κοινές οδηγίες. Να έχουν οργανωθεί οι υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης αλλά και ομάδες καθαρισμού (WHO).

Η εκπαίδευση αποτελεί μια θεμελιώδη ενέργεια για τη διαχείριση του κινδύνου μιας έκρηξης και είναι βέβαιο ότι αποτρέπει αρκετές δυσάρεστες συνέπειες που προκαλούνται από την αμάθεια. Αφορά όχι μόνο στους επιστήμονες και τις εθνικές και τοπικές αρχές, αλλά και τον πληθυσμό. Η δημόσια εκπαίδευση συχνά παρεμποδίζεται από επιχειρηματικά συμφέροντα και από τις τοπικές κυβερνήσεις. Εκπαιδύοντας τους κατοίκους τους εφιστά σαφώς ότι υπάρχει κίνδυνος στην κοινότητα. Για την αποφυγή σοβαρών αντιδράσεων, πριν από την οργάνωση εκστρατειών εκπαίδευσης είναι σκόπιμο οι αρχές να συναντηθούν με τους ιδιοκτήτες των επιχειρήσεων και των ενώσεων ώστε να διευκρινίσουν την απειλή και τους στόχους της εκπαίδευσης (Perry R., Godchaux J. 2005). Οι αρχές θα πρέπει να δίνουν τις απαραίτητες οδηγίες, ενώ οι επιστήμονες να ενημερώνουν σωστά. Καταλυτική είναι και η εκπαίδευση εθελοντών. Σε πολλές χώρες υπάρχουν και προγράμματα εκπαίδευσης των μαθητών και των φοιτητών, μιας και με αυτόν τον τρόπο μπορούν να εκπαιδευτούν ατομικά σε μια ενεργό φάση της ζωής τους.

3.2.2. Μέτρα κατά τη διάρκεια της έκρηξης

Σύμφωνα με τη Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας κατά τη διάρκεια της έκρηξης είναι απαραίτητη η εκτέλεση των οδηγιών που έχουν δοθεί από τις Αρχές. Στην περίπτωση που ένας πολίτης βρεθεί σε κλειστό χώρο θα πρέπει να κλείσει τις πόρτες και τα παράθυρα και να μεριμνήσει ώστε να μεταφέρει κατοικίδια ζώα και μηχανήματα σε στεγασμένο χώρο. Αν βρεθεί ένας πολίτης σε ανοιχτό χώρο καλό θα είναι να αποφύγει την κίνηση κατά τη διεύθυνση του ανέμου και να βρει όσο το δυνατό συντομότερα στεγασμένο χώρο. Επίσης κρίνεται σκόπιμη η αποφυγή προσέγγισης ποταμών και λιμνών, μιας και ανυψώνεται η στάθμη του νερού μετά από έκρηξη (Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας).

Επιπρόσθετα, κρίνεται απαραίτητη η προστατευτική κάλυψη του κεφαλιού από τα πιθανά στερεοποιημένα ηφαιστειακά υλικά. Απαραίτητη είναι και η προστασία του σώματος και των ματιών. Έτσι, τα μακριά ρούχα, προστατευτικά γυαλιά ασφαλείας και η μάσκα μιας χρήσεως μπορούν να προστατεύσουν ικανοποιητικά από την ηφαιστειακή τέφρα. Τέλος, κατά τη διάρκεια της έκρηξης η εκκένωση θα πρέπει να ακολουθεί περιοχές με σχετικά υψηλό υψόμετρο για να προστατευτούν οι πολίτες από τις πιθανές ροές λάβας και λασποροές (CDC).

Κατά τη διάρκεια μιας έκρηξης οι κάτοικοι θα πρέπει να είναι προετοιμασμένοι και για την εκκένωση. Να ακούν στο ραδιόφωνο τα νέα, να παρακολουθούν για σειρήνες και σήματα, να προετοιμάσουν τα πράγματα που θα πάρουν, και σε περίπτωση που δοθούν εντολές εκκένωσης, να εγκαταλείψουν άμεσα τις οικίες τους. Κατά την εκκένωση θα πρέπει να πάρουν μαζί τους όσο λιγότερα μπορούν, και αν υπάρχει η δυνατότητα, να κλείσουν την παροχή ηλεκτροδότησης και νερού ώστε να αποφευχθούν τυχόν πυρκαγιές.

Ιδιαίτερα σημαντική στην αντιμετώπιση των φυσικών καταστροφών είναι η δράση ομάδων αναζήτησης κατά τη διάρκεια ή μετά από μια εκκένωση. Μερικοί άνθρωποι που ζουν ή εργάζονται σε μια ζώνη κινδύνου μπορεί να αποτύχουν να εμφανιστούν σε οποιοδήποτε από τα ασφαλή σημεία προσέλευσης ή σε μια ζώνη καταφύγιο, με αποτέλεσμα να κρίνεται απαραίτητη η οργάνωση δράσεων προς αναζήτησή τους. Μπορεί επίσης να υπάρχουν άνθρωποι που απομονώνονται σε περιοχές που δεν εκτίθενται σε οποιοδήποτε κίνδυνο, αλλά στις οποίες οι οδοί πρόσβασης έχουν παρεμποδιστεί από πυροκλαστικές ροές, χειμάρρους λάσπης ή ροές λάβας. Εκεί μπορεί να χρειαστεί και η από αέρος ή διά θαλάσσης αποστολή ομάδων αναγνώρισης, μόλις οι συνθήκες είναι ευνοϊκές, για την προμήθεια τροφίμων ή διάσωσης. Βέβαια είναι απαραίτητο να υπάρχει διαθέσιμος εξοπλισμός και να έχει εξεταστεί το ενδεχόμενο πραγματοποίησης τέτοιων αποστολών ώστε να έχουν σχεδιαστεί (UNDRO).

Όσον αφορά στη λειτουργία νοσοκομείων και πρώτων βοηθειών, είναι καθοριστική για την προφύλαξη της ζωής. Τα προβλήματα υγείας που πρέπει να αντιμετωπιστούν αμέσως είναι τριών τύπων.

Αναπνευστικά προβλήματα σε ανθρώπους που έχουν εκτεθεί σε πτώση τέφρας που ενδεχομένως περιέχει επικίνδυνα επίπεδα H_2S , SO_2 και άλλων ηφαιστειακών αερίων. Παρόμοια προβλήματα μπορεί να προκληθούν και από την εισπνοή τοξικών αερίων, όπως το μονοξείδιο και το διοξείδιο του άνθρακα, που εκτός από την ατμόσφαιρα συσσωρεύονται και σε κλειστούς χώρους (UNDRO).

Επίσης μπορεί να παρουσιαστούν περιστατικά με σπασμένα άκρα, τραύματα και μώλωπες που προκύπτουν από την επίδραση των θραυσμάτων πετρωμάτων ή κομματιών λάβας από πτώση από μεγάλο ύψος.

Ο τελευταίος τύπος είναι τα εγκαύματα του δέρματος πρώτου έως τρίτου βαθμού και τα εγκαύματα στο αναπνευστικό. Τα τελευταία προκαλούνται από τη διέλευση του ατμού και των ζεστών σύννεφων σκόνης από τους πνεύμονες και γενικότερα από την αναπνευστική οδό. Το ανησυχητικό με τα εγκαύματα της αναπνευστικής οδού είναι ότι μερικά από τα θύματα κατά πάσα πιθανότητα θα είναι σοβαρά καμένα στο μεγαλύτερο μέρος του σώματός τους και σε κρίσιμη κατάσταση. Αργότερα, μπορεί να προκύψουν ιατρικά προβλήματα από την κατανάλωση πόσιμου νερού από δεξαμενές που έχουν μολυνθεί με τοξικές ενώσεις (UNDRO).

3.2.3. Μέτρα μετά την έκρηξη

Μετά την έκρηξη καλό είναι να αποφεύγεται η έξοδος από το σπίτι ή το καταφύγιο. Για κάθε ενδεχόμενο καλό είναι να διακοπεί η ηλεκτροδότηση, μιας και μπορεί να προκληθούν προβλήματα με την παροχή ρεύματος. Οι πολίτες θα πρέπει να αποφύγουν την προσέγγιση στο ηφαίστειο από τη στιγμή που απελευθερώνονται δηλητηριώδη αέρια. Όσο το δυνατό γρηγορότερα πρέπει να απομακρυνθεί με προσοχή η τέφρα, αφού λόγω βάρους μπορεί να προκαλέσει κατάρρευση των κτηρίων (Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας). Ειδική μέριμνα θα πρέπει να δοθεί σε ευάλωτες πληθυσμιακές ομάδες όπως οι ηλικιωμένοι, τα παιδιά, οι έγκυες και οι ανάπηροι αλλά και σε άτομα με αναπνευστικές δυσκολίες. Ιδιαίτερα οι τελευταίοι θα πρέπει να παραμείνουν σε προστατευμένο χώρο κατά την πτώση της ηφαιστειακής τέφρας. Καλό είναι ακόμη και μετά τη έκρηξη οι πολίτες να συνεχίσουν να φορούν τα μακριά ρούχα,

τα γυαλιά και τη μάσκα, γιατί κάποια τοξικά αέρια και ουσίες έχουν χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα (CDC).

Από τις πρώτες δράσεις που μπορούν να γίνουν είναι ο καθαρισμός των κτηρίων και των οχημάτων από την τέφρα. Επίσης, είναι απαραίτητη η λήψη προστατευτικών μέτρων, αφού η τέφρα γλιστράει και είναι πιθανό να προκληθούν τραυματισμοί, ενώ επιδρά αρνητικά στο αναπνευστικό σύστημα. Η στεγνή στάχτη μπορεί εύκολα να φύγει από τον αέρα ή με το βούρτσισμα. Η υγρή στάχτη για να αφαιρεθεί χρειάζεται νερό υψηλής πίεσης ή καθάρισμα με το χέρι. Για τον καθαρισμό της στάχτης είναι προτιμότερη η χρήση απιονισμένου νερού το οποίο όμως σε τέτοιες περιπτώσεις σπανίζει (Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας).

Το συντομότερο δυνατό θα πρέπει να τεθεί και σε εφαρμογή το σύστημα παρακολούθησης επιπέδων θολότητας και οξύτητας του νερού, ώστε εάν αυξηθούν πάνω από το επιτρεπτό όριο, να διακοπεί άμεσα η παροχή νερού. Η μείωση των υψηλών επιπέδων θολότητας αντιμετωπίζεται με τον συχνό καθαρισμό και την αντικατάσταση των φίλτρων. Μπορούν επίσης οι κάτοικοι να βράζουν το νερό πριν τη χρήση, ακόμη κι έτσι όμως δεν είναι κατάλληλο, καθώς μπορεί να περιέχει ανόργανες και οργανικές ουσίες που υπάρχουν στην τέφρα. (CDC). Το δίκτυο μπορεί να τεθεί σε επαναλειτουργία μόλις οι τιμές επιστρέψουν σε φυσιολογικά επίπεδα.

Μετά την έκρηξη οι αρχές θα πρέπει να είναι και προετοιμασμένες για μετα – φαινόμενα, μιας και μπορεί να εκδηλωθούν πλημμύρες, κατολισθήσεις βράχων και λάσπης, διακοπές ρεύματος και πυρκαγιές (UNDRO). Για αυτό θα πρέπει να ληφθούν μέτρα και για αυτές τις περιπτώσεις.

3.3. Διεθνή μέτρα

Πολλές χώρες και ειδικότερα οι αναπτυσσόμενες δεν είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν μόνες τους τις καταστροφές λόγω έλλειψης χρημάτων και κατάλληλων υποδομών. Για αυτό σε αυτές τις περιπτώσεις κρίνεται απαραίτητη και η συμβολή των διεθνών μέσων. Κυρίως η συμβολή έγκειται στην οικονομική ενίσχυση. Άλλες φορές, γειτονικές χώρες μπορούν να συμβάλλουν από τεχνολογική πλευρά (Λέκκας Ε., 2000).

Τα Ηνωμένα Έθνη διαθέτουν οργανώσεις που μπορούν να ανταποκριθούν ταχύτατα σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Η UNDAC (United Nations Disaster Assessment and Coordination) δημιουργήθηκε το 1993 και μέλη της είναι αρκετές χώρες της Ευρώπης, της Ασίας, της Αμερικής αλλά και της Αφρικής. Διαθέτει ομάδες σε όλο τον κόσμο που μπορούν να επέμβουν και να παρέχουν βοήθεια άμεσα. Το προσωπικό είναι εκπαιδευμένο για αντιμετώπιση καταστάσεων που προκαλούνται από καταστροφές. Ακόμη διαθέτουν εξοπλισμό, προκαθορισμένες μεθόδους και συστήματα που αποδεδειγμένα είναι αποτελεσματικά (Office for the Coordination of Humanitarian Affairs – OCHA). Τα Ηνωμένα έθνη διαθέτουν και την UNDRO (United Nations Disaster Relief Co-ordinator) που πρόκειται ουσιαστικά για μια οργάνωση με παρόμοια δράση που έχει ως σκοπό την ανακούφιση έπειτα από φυσικές καταστροφές (unju.org).

Ένα επιπλέον μέτρο που έχει καθιερωθεί από την EPA (United States Environmental Protection Agency) είναι το πρόγραμμα VDAP (Volcano Disaster Assistance Program). Βασικοί στόχοι του προγράμματος είναι η μείωση της απώλειας ζωής και περιουσίας, η ελαχιστοποίηση των οικονομικών επιπτώσεων και η πρόληψη της κρίσης. Έμπειρες ομάδες επιστημόνων που συμμετέχουν σε αυτό μπορούν να ανταποκριθούν γρήγορα και αποτελεσματικά στις εξελισσόμενες κρίσεις σε όλο τον κόσμο. Έχουν συσταθεί επιστημονικές ομάδες που είναι σε θέση να απαντήσουν σε 30 μείζονες κρίσεις και να παρέχουν τεχνική βοήθεια σε εκατοντάδες επιπλέον ηφαιστειακά γεγονότα. Επιπλέον, μπορούν να ενισχύσουν την ικανότητα ανταπόκρισης σε 12 χώρες. Μεταξύ των ομάδων υπάρχει συνεργασία και παρέχεται υποστήριξη σε διεθνείς εταίρους, που είναι οι υπεύθυνοι για την επικοινωνία σε κατάσταση κινδύνου. Κατά τη διάρκεια των κρίσεων, οι επιστήμονες του VDAP εργάζονται με τους ομολόγους τους για την κατασκευή και βελτίωση των συστημάτων παρακολούθησης του ηφαιστείου, για τη διεξαγωγή κοινών δραστηριοτήτων ώστε να μειωθεί ο ηφαιστειακός κίνδυνος και για τη βελτίωση της κατανόησης των ηφαιστειακών κινδύνων.

3.4. Αποκατάσταση

Η ανάκαμψη έπεται από καταστροφή σε ηφαιστειακά τοπία έχει πολλά κοινά χαρακτηριστικά με άλλες καταστροφές. Η σημασία αυτών των χαρακτηριστικών ποικίλει και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Η κατανόηση των μηχανισμών αποκατάστασης είναι τόσο πρακτικής όσο και θεωρητικής σημασίας. Σε πρακτικό επίπεδο, μπορούμε να μάθουμε πώς να σχεδιάζονται αποτελεσματικές μέθοδοι αποκατάστασης των κατεστραμμένων τοπίων. Σε θεωρητικό επίπεδο είναι καλό να κατανοηθούν καλύτερα η αβιοτική βελτίωση, η διασπορά, οι βιοτικές αλληλεπιδράσεις και οι παράγοντες που επηρεάζουν την προβλεψιμότητα (whyfiles.org).

Η αβιοτική βελτίωση περιλαμβάνει φυσικές και χημικές μεθόδους. Κυρίως πραγματοποιείται χημική αποσάρθρωση. Στις φυσικές μεθόδους ανήκει η σπορά φυτών, των οποίων η επιβίωση στα άγονα ηφαιστειακά υποστρώματα ενισχύεται από κάθε παράγοντα που προάγει τη σύλληψη σπόρων, μειώνει το στρες από την ξηρασία, αυξάνει τη συγκέντρωση της οργανικής ύλης αλλά και την ικανότητα πρόσληψης θρεπτικών συστατικών. Οι περιοχές που καλύπτονται με τέφρα ανακάμπτουν δυσκολότερα, ωστόσο αν διαβρωθούν η βλάστηση επιβιώνει. Η αποκατάσταση εξαρτάται επίσης και από τον ρυθμό διασποράς αλλά και από τα είδη που επιβίωσαν.

Στις βιοτικές αλληλεπιδράσεις ανήκει συγκεκριμένα η αποίκιση και η εγκατάσταση που προωθείται από όλα τα είδη. Υπάρχουν φυτά και μύκητες που λειτουργούν ως εδαφοβελτιωτικά. Λόγω απουσίας θηρευτών επιβιώνουν τα είδη που τρέφονται από τα συστατικά του εδάφους και διασπούν την τέφρα. Πολλά μεταφέρονται μέσω του αέρα, της θάλασσας και των ζώων. Αν ο αποικισμός διαρκεί αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα, ο ρυθμός της τοπικής εξαφάνισης θα αρχίσει να ισούται με το ποσοστό της μετανάστευσης και έτσι ο αριθμός των ειδών θα σταθεροποιηθεί (whyfiles.org).

Η επιστροφή των δασών στην κατάσταση που βρισκόταν πριν την έκρηξη είναι χρονοβόρα και απαιτούνται προσπάθειες αναδάσωσης. Αντίθετα περιοχές που έχουν πληγεί από lahars μπορούν να αναβλαστήσουν γρήγορα, εάν ξεπεραστούν η διασπορά και οι περιορισμοί γονιμότητας. Πειραματικές

μελέτες έχουν δείξει ότι με αζωτούχος λίπανση η γεωργία μπορεί να επιστρέψει πολύ γρήγορα (whyfiles.org).

Επίλογος

Οι ηφαιστειακές καταστροφές αποτελούν ένα σημαντικό πρόβλημα σε πολλές αναπτυσσόμενες και αναπτυγμένες χώρες. Τα τελευταία χρόνια, λόγω της ραγδαίας αύξησης του πληθυσμού, της επέκτασης των οικισμών και των βασικών γραμμών τροφοδοσίας (π.χ., νερό, φυσικό αέριο, κ.λπ.) έχουν αυξηθεί σε μεγάλο βαθμό και οι επιπτώσεις των ηφαιστειακών εκρήξεων. Κατά τη διάρκεια των ετών έχουν υπάρξει πολλά παραδείγματα ηφαιστειακών εκρήξεων που είχαν ολέθριες συνέπειες τόσο στην κοινωνία όσο και στην οικονομία. Αν και η έκρηξη στην Ισλανδία δεν κόστισε ζωές αλλά είχε τεράστιες συνέπειες στην εθνική και διεθνή οικονομία.

Από τις επιπτώσεις που αναφέρθηκαν γίνεται αντιληπτό ότι κάποιες από αυτές είναι άμεσες, ενώ κάποιες άλλες είναι μεγαλύτερης διάρκειας και φαίνεται ότι επηρεάζουν πολλούς τομείς μιας χώρας, ειδικότερα όταν πρόκειται για εκρηκτικές εκρήξεις. Όλες οι επιπτώσεις έχουν την ίδια βαρύτητα με εξαίρεση αυτές που αφορούν στην υγεία, μιας και είναι οι πρώτες που πρέπει να περιοριστούν και να αντιμετωπιστούν. Αυτοί είναι και οι βασικοί λόγοι που τις διαφοροποιούν από τις υπόλοιπες φυσικές καταστροφές.

Οι χώρες που απειλούνται από τέτοιου είδους καταστροφές είναι απαραίτητο να αναπτύξουν στρατηγικές για την ελαχιστοποίηση και την αντιμετώπιση των συνεπειών των μελλοντικών μεγάλων εκρήξεων, οι οποίες θα βασίζονται στην προηγούμενη εμπειρία. Η αποτελεσματικότητα αυτών των στρατηγικών κρίνεται από τη συντονισμένη συνεργασία, οργάνωση, εκπαίδευση και την ανάπτυξη δικτύων μεταξύ οργανισμών και αρχών, όχι μόνο σε εθνικό, αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο, μιας και πολλές φορές η διεθνής βοήθεια διαδραματίζει καταλυτικό ρόλο. Πάντως το οικονομικό κόστος της ανάκαμψης από οποιοσδήποτε μελλοντικές εκρήξεις είναι ένα σημαντικό βάρος για την κοινωνία (Self S., 2006).

Μελλοντικά, από τις επιστημονικές ομάδες, κρίνεται σκόπιμο να διεξαχθούν περαιτέρω μελέτες ατμοσφαιρικών μοντέλων με την παγκόσμια κυκλοφορία των προϊόντων των ηφαιστειών και την αξιολόγηση των ενδεχόμενων επιπτώσεών τους στο κλίμα και την ατμόσφαιρα σε συνδυασμό με

άλλες πιθανές ανατροφοδοτήσεις από περιβαλλοντικούς κύκλους. Κάποια στιγμή αναμένεται να υπάρξουν απρόβλεπτες συνέπειες.

Γ. ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.

Βιβλιογραφία

1. Κυριακόπουλος Κ. (2014). Ηφαιστειολογία. ΕΚΠΑ
2. Λέκκας Ε. (2000). *Φυσικές και Τεχνολογικές Καταστροφές*. Access Press. Αθήνα.
3. Λέκκας Ε. (2015). *Γεωδυναμικές Καταστροφές*. ΕΚΠΑ.
4. American Geophysical Union. (1992). *Volcanism and climate change*. AGU Special Report. American Geophysical Union, Washington, DC.
5. Bye B. (2011). Volcanic eruptions: Science and Risk Management. *Science* 2.
6. Doocy S., Daniels A., Dooling S., Gorokhovich Y. (2013). The Human Impact of Volcanoes: a Historical Review of Events 1900-2009 and Systematic Literature Review. *PLOS*. pp 1-27.
7. Ebisuzaki T., Miyahara H., Kataoka R., Sato T., Ish Y. (2011). Explosive volcanic eruptions triggered by cosmic rays: Volcano as a bubble chamber. *Gondwana Research*. 19. pp 1054–1061.
8. Environmental Literacy Council. (2007). *Earthquakes, Volcanoes, and Tsunamis*. NSTA Press/Archive.Org.
9. Gates A., Ritchie D. (2007). *Encyclopedia of Earthquakes and Volcanoes*. 3rd Edition. Checkmark Books. New York.
10. Gudmundsson, M. T., Pedersen, R., Vogfjörð, K., Thorbjarnardóttir, B., Jakobsdóttir, S., and Roberts, M.J., (2010a), Eruptions of Eyjafjallajökull Volcano, Iceland, *Eos, Transactions of the American Geophysical Union (AGU)*, 91:21, pp 190.
11. Gudmundsson M.T., Thordarson T., Hoskuldsson A., Larsen G., Jónsdóttir I., Oddsson B., Magnusson E., Hognadóttir, T., Sverrisdóttir G., Oskarsson N., Thorsteinsson T., Vogfjörð K., Björnsson H., Pedersen G.N., Jakobsdóttir S., Hjaltadóttir S., Roberts M.J., Gudmundsson G.B., Zophoniasson S., Hoskuldsson F., (2010b), The Eyjafjallajökull eruption in April-May 2010; course of events, ash generation and ash dispersal, *EOS, Transactions of the American Geophysical Union (AGU)*, 9121, Abstract V53F-01, 2010 Fall Meeting, AGU, San Francisco, Calif., 13-17 December.
12. Hanlon M. (2010). How we could ALL be victims of the volcano... and why we must hope for rain to get rid of the ash, *Daily Mail*.
13. Hansell A., Horwell C., Oppenheimer C. (2006). The health hazards of volcanoes and geothermal areas. *Occupational & Environmental Medicine*. 63:2. pp 149-156.

14. Hansell A., Oppenheimer C. (2004). Health Hazards from Volcanic Gases: A Systematic Literature Review. *Archives of Environmental Health: An International Journal*. 59:12, 628-639.
15. Heiken G., Wohletz K. (1986). *Volcanic Ash*. University of California Press. U.S.A.
16. Höskuldsson A., Magnusson E., Guðmundsson M.T., Sigmundsson F., Sigmarsson O., (2010a), The 20 March to 12 April basaltic Fimmvörðuháls flank eruption at Eyjafjallajökull volcano, Iceland: Course of events, abstract of presentation in Program of the Eyjafjallajökull and Aviation Conference (15-16 September 2010) and associated Eyjafjallajökull Eruption Workshop (Hotel Hvolsvellir, 17-19 September 2010).
17. Monick M., Baltrusaitis J., Powers S., Borchering J., Caraballo J., Mudunkotuwa I., Peate D., Walters K., Thompson J., Grassian V., Gudmundsson G., Comellas A. (2013). Effects of Eyjafjallajökull Volcanic Ash on Innate Immune System Responses and Bacterial Growth *in Vitro*. *Environmental Health Perspectives*. 121:6. pp 691-698.
18. McNutt S.R.; Williams E. (2010). Volcanic lightning: global observations and constraints on source mechanisms. *Bulletin of Volcanology*. 72. pp 1153.
19. Nelson S. (2015). Volcanoes, Magma, and Volcanic Eruptions. *Tulane University*.
20. Neri M., Le Cozannet G., Thierry P., Ruch J. (2013). A method for multi-hazard mapping in poorly known volcanic areas: an example from Kanlaon (Philippines). *Natural Hazards and Earth Systems Science*. 13. pp 1929-1943.
21. Perry R., Godchaux J. (2005). Volcano hazard management strategies: Fitting policy to patterned human responses. *Volcano Hazard Management*. 14. pp 183-195.
22. Robock A. (2000). Volcanic eruptions and climate. *Reviews of Geophysics* 38:2. pp 191-219.
23. Self S. (2006). The effects and consequences of very large explosive volcanic eruptions. *The Royal Society Publishing*.
24. Walker L. (1999). Ecosystems of Disturbed Ground. *Elsevier*. Amsterdam.
25. Watson J. (1997). Types of volcanic eruptions. USGS.
26. Williams G., (2012). Volcanic Ash: More Than Just A Science Project. *Geology and Human Health*.

ΙΣΤΌΤΟΠΟΙ

26. <http://geology.com/volcanoes/types-of-volcanic-eruptions/> (Τελευταία επίσκεψη: 20/8/2016).

27. World Health Organization – WHO
<http://www.who.int/hac/techguidance/ems/volcanos/en/> (Τελευταία επίσκεψη: 1/9/2016).
28. U.S Geological Survey – USGSa.
<https://pubs.usgs.gov/gip/volc/environments.html> (Τελευταία επίσκεψη: 3/9/2016).
29. U.S Geological Survey – USGSb.
<https://pubs.usgs.gov/gip/volc/types.html> (Τελευταία επίσκεψη: 3/9/2016).
30. U.S Geological Survey – USGSc.
<https://pubs.usgs.gov/gip/volc/submarine.html> (Τελευταία επίσκεψη: 3/9/2016).
31. U.S Geological Survey – USGSd.
<https://pubs.usgs.gov/gip/volc/structures.html> (Τελευταία επίσκεψη: 3/9/2016).
32. Smithsonian Institution – National Museum of Natural History – Global Volcanism Program
<http://volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=372020> (Τελευταία επίσκεψη: 1/9/2016).
33. USAID
<https://www.usaid.gov/what-we-do/working-crises-and-conflict/volcano-disaster-assistance-program> (Τελευταία επίσκεψη: 7/10/2016).
34. International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies – IFRC
<http://www.ifrc.org/en/what-we-do/disaster-management/about-disasters/definition-of-hazard/volcanic-eruptions> (Τελευταία επίσκεψη: 3/9/2016).
35. Institute of Earth Sciences – IES
http://earthice.hi.is/eruption_eyjafjallajokull_2010 (Τελευταία επίσκεψη: 3/9/2016).
36. Scientific American
<http://www.scientificamerican.com/article/how-do-volcanoes-affect-w> (Τελευταία επίσκεψη: 3/9/2016).
37. British Geological Survey – BGS
<http://www.bgs.ac.uk/discoveringGeology/hazards/volcanoes/home.html> Τελευταία επίσκεψη: 3/9/2016).
38. British Broadcasting Corporation – BBC
<http://news.bbc.co.uk/2/hi/business/8634147.stm> (Τελευταία επίσκεψη: 3/9/2016).
39. Fischer R. (1997)
<http://volcanology.geol.ucsb.edu/gas.htm> (Τελευταία επίσκεψη: 4/9/2016).

40. Icelanding Met Office
<http://en.vedur.is/earthquakes-and-volcanism/articles/nr/1880> (Τελευταία επίσκεψη: 4/9/2016).
41. Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.α,
http://www.geo.auth.gr/765/5_historical.htm, (Τελευταία επίσκεψη: 4/9/2016).
42. Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.β
http://www.geo.auth.gr/765/2_landforms/21_volcano_types.htm (Τελευταία επίσκεψη: 4/9/2016).
43. Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.γ
<http://www.geo.auth.gr/765/index.htm> (Τελευταία επίσκεψη: 4/9/2016).
44. Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.δ
http://www.geo.auth.gr/765/1_dynamics/16_controls.htm (Τελευταία επίσκεψη: 4/9/2016).
45. Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.ε
http://www.geo.auth.gr/765/2_landforms/22_volcano_cones.htm (Τελευταία επίσκεψη: 4/9/2016).
46. Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.φ
http://www.geo.auth.gr/765/3_products/31_lava_flows.htm (Τελευταία επίσκεψη: 4/9/2016).
47. Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.ζ
http://www.geo.auth.gr/765/3_products/37_gases.htm (Τελευταία επίσκεψη: 4/9/2016).
48. Oregon State University
<http://volcano.oregonstate.edu/how-do-volcanoes-affect-plants-and-animals>
(Τελευταία επίσκεψη: 4/9/2016).
49. GNS Science
<http://www.gns.cri.nz/Home/Learning/Science-Topics/Volcanoes/Types-of-Volcanoes-Eruptions> (Τελευταία επίσκεψη: 4/9/2016).
50. Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας
<http://civilprotection.gr/el/%CE%B7%CF%86%CE%B1%CE%AF%CF%83%CF%84%CE%B5%CE%B9%CE%B1> (Τελευταία επίσκεψη: 20/9/2016).
51. Centers for Disease Control and Prevention – CDC
<https://www.cdc.gov/disasters/volcanoes/before.html> (Τελευταία επίσκεψη: 4/10/2016).

52. Centers for Disease Control and Prevention – CDCa
<https://www.cdc.gov/disasters/volcanoes/before.html> (Τελευταία επίσκεψη: 4/10/2016).
53. Centers for Disease Control and Prevention – CDCb
<https://www.cdc.gov/disasters/volcanoes/during.html> (Τελευταία επίσκεψη: 4/10/2016).
54. Centers for Disease Control and Prevention – CDCc
<https://www.cdc.gov/disasters/volcanoes/after.html> (Τελευταία επίσκεψη: 4/10/2016).
55. ExploreVolcanoes.com
<http://www.explorevolcanoes.com/volcanic%20hazard%20management.html>
 (Τελευταία επίσκεψη: 25/9/2016).
56. Office for the Coordination of Humanitarian Affairs – OCHA, UN/ISDR, 2008
http://www.unisdr.org/files/2909_Disasterpreparednessforeffectiveresponse.pdf
 (Τελευταία επίσκεψη: 4/10/2016).
57. Office of the United Nations Disaster Relief Co-ordinator – UNDR0a
<http://www.unisdr.org/files/resolutions/NL800388.pdf> (Τελευταία επίσκεψη: 1/9/2016).
58. Office of the United Nations Disaster Relief Co-ordinator – UNDR0b
http://www.disastersrus.org/emtools/volcano/volcano_emergency_plan.htm
 (Τελευταία επίσκεψη: 1/9/2016).
59. RACEE, Raising earthquake Awareness & Coping Children’s Emotions – RECCE
http://racce.nhmc.uoc.gr/files/items/8/887/compiled_needs_analysis.pdf (Τελευταία επίσκεψη: 1/9/2016).
60. The Statistics Portal
<https://www.statista.com/statistics/267680/death-toll-worldwide-caused-by-volcanic-eruptions/> (Τελευταία επίσκεψη: 1/9/2016).
61. United States International Trade Commission
https://volcanoes.usgs.gov/vsc/file_mgr/file-78/pub1096.pdf
 (Τελευταία επίσκεψη: 29/8/2016).
62. United Nations Disaster Assessment and Coordination – UNDAC
<http://www.unocha.org/what-we-do/coordination-tools/undac/overview>
 (Τελευταία επίσκεψη: 29/8/2016).
63. whyfiles.org
<http://whyfiles.org/031volcano/6.html> (Τελευταία επίσκεψη: 5/10/2016)