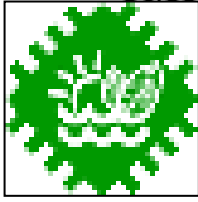


ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Επικαιροποίηση γνώσεων θεμάτων**

**συσχετιζόμενων με φαινόμενα Φυσικών**

**Καταστροφών και Διαχείριση Φυσικών**

**Κινδύνων**

Καλαϊτζάκη Αθηνά

A.M.746

**Επιτροπή εποπτείας**

Ηλίας Παπαδόπουλος

Παντελής Σουπιός

Μαρία Κούλη

Οκτώβριος 2010





*TECHNOLOGICAL INSTITUTE OF CRETE  
DEPARTMENT OF NATURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT*

# **Dissertation**

**Update knowledge regarding Natural**

**Phenomena and managing of Natural**

**Hazards**

**Kalaitzaki Athina**

R.N.746

**Examining Comittee**

Ilias Papadopoulos

Pantelis Souprios

Maria Kouli

October 2010



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι φυσικές καταστροφές υπήρχαν πάντοτε στη γεωλογική ιστορία σαν ακραία φυσικά φαινόμενα. Οι φυσικές καταστροφές εξαρτώνται κατά βάση από φυσικά φαινόμενα η γνώση των οποίων μπορεί να επιτρέψει τη χρήση της σύγχρονης τεχνολογίας για την ελαχιστοποίηση των δυσμενών επιπτώσεων. Οι φυσικές καταστροφές που αναλύονται στο παρών κείμενο είναι οι σεισμοί και τα ηφαίστεια καθώς και τα αποτελέσματα που παράγονται από αυτές. Επίσης εξηγείται ο τρόπος με τον οποίον οι φυσικές καταστροφές αλληλεπιδρούν στον πολιτισμό μας και οι τρόποι προσαρμογής στα αποτελέσματά τους. Η παρούσα εργασία βασίζεται στο βιβλίο <<*Natural Hazards Earth's Processes as Hazards, Disasters and Catastrophes*>> των Edward A. Keller, Robert H. Blodgett

## ABSTRACT

Natural hazards have always been evident through out all geological history as extreme natural phenomena. Natural hazards depend mostly from natural phenomena, the knowledge of which allows us to use modern technology to eliminate the bad consequences. The natural hazards that are described in this thesis are earthquakes and volcanos, and the consequences that run through them. Also, it is explained the way they affect our civilization and how we can adopt around them. Most of the thesis is based on the book "*Natural Hazards Earth's Processes as Hazards, Disasters and Catastrophes*" by Edward A. Keller, Robert H. Blodgett

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Εισαγωγή στους φυσικούς κινδύνους.....	12
ΙΣΤΟΡΙΚΟ: Nevado del Ruiz: Μια ιστορία των ανθρώπων, χρήση γης, και ηφαιστειακή έκρηξη.....	13
1.1 Γιατί η μελέτη των φυσικών κινδύνων είναι σημαντική.....	17
Διαδικασίες: Εσωτερικές και εξωτερικές.....	18
Κίνδυνος, καταστροφή, ή φυσική καταστροφή .....	19
Θάνατος και ζημία που προκαλούνται από τους φυσικούς κινδύνους.....	23
1.2 Ρόλος της ιστορίας στην κατανόηση των κινδύνων.....	24
1.3 Γεωλογικός κύκλος.....	26
Ο τεκτονικός κύκλος.....	26
Τύποι ορίων λιθοσφαιρικών πλακών.....	28
Τα καυτά σημεία.....	31
Ο τεκτονικός κύκλος και οι φυσικοί κίνδυνοι.....	32
Ο κύκλος βράχου.....	33
Ο υδρολογικός κύκλος.....	35
Βιογεωχημικοί κύκλοι.....	36
1.4 Θεμελιώδεις έννοιες για την κατανόηση φυσικών Διαδικασιών ως κίνδυνοι.....	37
1.Οι κίνδυνοι είναι προβλέψιμη από την επιστήμη.....	39
Επιστήμη και φυσικοί κίνδυνοι.....	39
Οι κίνδυνοι είναι φυσικές διαδικασίες.....	40
Πρόβλεψη και προειδοποίηση.....	41
2.Η αξιολόγηση του κινδύνου είναι ένα σημαντικό συστατικό τις κατανόησης των αποτελεσμάτων των επικύνδινων διαδικασιών.....	46
3.Σύνδεσμοι ανάμεσα στους φυσικούς κινδύνους και τους κινδύνους στο φυσικό περιβάλλον.....	48
4. επικύνδυνα γεγονότα που παρήγαγαν προηγουμένως τις καταστροφές παράγουν τώρα τις καταστροφές.....	48
1.1 περιπτωσιολογική μελέτη.....	51
1.2 περιπτωσιολογική μελέτη.....	53
5. οι συνέπειες των κινδύνων μπορούν να ελαχιστοποιηθούν.....	55
1.5 πολλοί κίνδυνοι παρέχουν μία φυσική λειτουργία υπηρεσιών.....	61
1.6 σφαιρική και περιφερειακή κλιματολογική αλλαγή.....	64

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Σεισμοί.....	65
2.1 Εισαγωγή στους σεισμούς.....	71
Μέγεθος σεισμού.....	71
Ένταση σεισμού .....	73
2.2 Διαδικασίες σεισμού.....	77
Διαδικασία ρηγμάτων.....	77
Δραστηριότητα ρηγμάτων.....	81
Τεκτονικός ερπυσμός.....	82
Σεισμικά κύματα.....	83
2.3 Τίναγμα σεισμού.....	86
Απόσταση από το επίκεντρο .....	86
Βάθος της εστίασης.....	88
Κατεύθυνση του επίκεντρου.....	89
Τοπικές γεωλογικές συνθήκες.....	90
2.4 σεισμικός κύκλος .....	95
2.5 Γεωγραφικές περιοχές σε κίνδυνο από τους σεισμούς .....	96
Σεισμοί στα όρια των πλακών.....	97
Σεισμοί στο μέσο των πλακών .....	98
2.6 Αποτελέσματα των σεισμών και των συνδέσμων με άλλους φυσικούς κινδύνους .....	102
Τίναγμα και Ρήξη εδάφους .....	102
Ρευστοποίηση .....	104
Περιφερειακές αλλαγές στην ανύψωση εδάφους.....	105
Καθιζήσεις .....	105
Πυρκαγιές.....	106
Ασθένειες.....	107
2.7 Φυσικές λειτουργίες υπηρεσιών από τους σεισμούς.....	108
Υπόγεια νερά και πόροι ενέργειας .....	108
Ορυκτοί πόροι .....	109
Επέκταση εδάφους.....	109
Μελλοντική μείωση του κινδύνου των σεισμών.....	109
2.8 Ανθρώπινη αλληλεπίδραση με τους σεισμούς .....	110
Σεισμοί που προκαλούνται από ανθρώπινη δραστηριότητα.....	110
2.9 Ελαχιστοποίηση του σεισμικού κινδύνου.....	113
Το εθνικό πρόγραμμα μείωσης σεισμικού κινδύνου.....	113
Εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου.....	114
Βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη .....	115
Το μέλλον της πρόβλεψης σεισμού.....	118
Συστήματα προειδοποίησης σεισμού .....	120

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Ηφαιστεια	122
3.1 Εισαγωγή στα ηφαιστεια	123
Τύποι ηφαιστειών	128
Ηφαιστειακά χαρακτηριστικά γνωρίσματα	132
Προέλευση ηφαιστειών	137
3.2 Γεωγραφικές περιοχές σε κίνδυνο για τα ηφαιστεια	141
3.3 Αποτελέσματα των ηφαιστειών	142
Ροές λάβας	144
Πυροκλαστική δραστηριότητα	146
Δηλητηριώδη αέρια	146
Συντρίμμια, λασπορροές, και άλλες μαζικές μετακινήσεις	148
3.1 ΠΕΡΙΠΤΩΣΙΟΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ: Ηφαιστειακά καθιζήσεις εδάφους και τσουνάμι	151
Όρος ST Helens το 1980-2002: Από τα πλευρικά φουσηματα στις ροές λάβας	152
3.4 Σύνδεσμοι μεταξύ των ηφαιστειών και άλλων φυσικών κινδύνων	157
3.5 Φυσικές λειτουργίες υπηρεσιών από τα ηφαιστεια	159
Ηφαιστειακά χώματα	159
Γεωθερμική ενέργεια	159
Αναψυχή	160
Δημιουργία του νέου εδάφους	161
3.6 Ανθρώπινη αλληλεπίδραση με τα ηφαιστεια	162
3.7 Ελαχιστοποίηση του ηφαιστειακού κινδύνου	162
Πρόβλεψη	162
Ηφαιστειακή επιφυλακή ή προειδοποίηση	166
3.8 Αντίληψη και ρύθμιση στον ηφαιστειακό κίνδυνο	167
Αντίληψη για τον ηφαιστειακό κίνδυνο	167
Ρυθμίσεις στους ηφαιστειακούς κινδύνους	167
Προσπάθειες να ελεγχθούν οι ροές λάβας	168
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	171

## Εισαγωγή

*Φυσικοί κίνδυνοι:* Γήινες διαδικασίες ως κίνδυνοι, καταστροφές, και φυσικές καταστροφές είναι μια μη τεχνική έρευνα για τις διαδικασίες της γήινης επιφάνειας που έχουν άμεσες, συχνές ξαφνικές και βίαιες, επιδράσεις στην ανθρωπότητα. Αυτό το κείμενο ενσωματώνει αρχές της γεωλογίας, μετεωρολογίας, κλιματολογίας, ωκεανογραφίας, οικολογίας, και αστρονομίας ηλιακών συστημάτων.

Στην προηγούμενη δεκαετία ο κόσμος είχε δοκιμαστεί από μια καταστροφή τσουνάμι στον Ινδικό Ωκεανό που παρήχθη από έναν από τους πέντε μεγαλύτερους σεισμούς στην καταγραμμένη ιστορία της καταστροφικής πλημμύρας στη Βενεζουέλα, Μπαγκλαντές, και την κεντρική Ευρώπη. Η βόρεια Αμερική, την τελευταία δεκαετία έχει δει μια θανάσιμη κατηγορία 5 τυφώνων στη Γουατεμάλα την Ονδούρα την Αριζόνα, το Κολοράντο, και την Καλιφόρνια, το χειρότερο ξέσπασμα των ανεμοστροβίλων στην ιστορία της Οκλαχόμα, μια σειρά τεσσάρων τυφώνων μέσα σε έξι εβδομάδες στη Φλόριδα και στη Καρολίνα, μια παράλυτη θύελλα πάγου στη Νέα Αγγλία και το Κεμπέκ, χαλάζι στη Νεμπράσκα και μια γενική θέρμανση του κλίματος. Αυτά τα γεγονότα είναι το αποτέλεσμα από τις τεράστιες δυνάμεις που δουλεύουν μέσα στην επιφάνεια του πλανήτη μας..

Αν και οι περισσότερες από αυτές τις δυνάμεις περιγράφονται σαν «φυσικοί κίνδυνοι», πρέπει πρώτα να καταλάβουμε ότι οι γήινες διαδικασίες δεν είναι, από μόνες τους, «κίνδυνοι.» Οι σεισμοί, πλημμύρες, ηφαιστειακές εκρήξεις, πυρκαγιές -αυτά είναι οι φυσικές διαδικασίες και έχουν εμφανιστεί για χιλιετίες, αδιάφορες στην ανθρωπότητα. Οι διαδικασίες μπορούν να προκαλέσουν κίνδυνο μόνο όταν προσκρούουν στην ανθρωπότητα. Ειρωνικά, η ανθρώπινη συμπεριφορά οδηγεί συχνά σε αυτές τις διαδικασίες που γίνονται καταστροφές. Το κείμενο, επομένως, προσπαθεί να ισορροπήσει αποτελεσματικά την παρουσίαση αυτών των φαινομένων μεταξύ των γεωλογικών διαδικασιών και του ανθρώπινου αντίκτυπού τους.

Εκτός από το να ικανοποιήσει μια φυσική περιέργεια για τέτοιους είδους γεγονότα, υπάρχουν πολλά οφέλη στη λήψη μιας σειράς μαθημάτων στους φυσικούς κινδύνους. Ένα ενημερωμένο σύνολο των πολιτών είναι η καλύτερη εγγύησή μας από το ακμάζον μέλλον. Οπλισμένοι με τις ιδέες διχοτόμησης της ανθρωπότητας και του γεωλογικού περιβάλλοντος, θα υποβάλουμε καλύτερες ερωτήσεις και θα κάνουμε καλύτερες επιλογές. Σε βασικό επίπεδο, θα προετοιμαστούμε καλύτερα να λάβουμε τις αποφάσεις σχετικά με το που ζούμε και πόσο καλύτερα θα επενδύσουμε το χρόνο και τους πόρους μας. Σε ένα εθνικό και διεθνές επίπεδο, θα είμαστε ικανότεροι να κρατήσουμε τους ηγέτες μας υπεύθυνους για τις επιλογές και τις απαντήσεις τους στις καταστροφές, μεγάλης και μικρής κλίμακας.

## **Μια ισορροπημένη προσέγγιση**

Αν και το ενδιαφέρον πολλών αναγνωστών θα εστιάσει στους φυσικούς κινδύνους που απειλούν την κοινότητά, το κράτος, ή την επαρχία, η παγκοσμιοποίηση της οικονομίας μας, η πρόσβαση πληροφοριών, και τα ανθρώπινα αποτελέσματα στον πλανήτη μας απαιτούν μια ευρύτερη, ισορροπημένη προσέγγιση μελέτη των φυσικών κινδύνων. Ένας σημαντικός σεισμός στην Ταϊβάν έχει επιπτώσεις στο εμπόριο του Σιάτλ και του Βανκούβερ, στην οικονομία του Σίλικον Βάλεϋ στην Καλιφόρνια, και την τιμή των υπολογιστών στη Βαλδόστα, τη Γεωργία και το Χάλιφαξ, Νέα Σκωτία.

## **Οι πέντε θεμελιώδεις έννοιες**

Αυτές οι πέντε έννοιες έχουν ως σκοπό να παρέχουν ένα αξιολογικό, μεταφερόμενο, εννοιολογικό πλαίσιο ότι ένας αναγνώστης μπορεί να μεταφέρει και να χρησιμοποιήσει καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του πάνω στις γεωλογικές διαδικασίες:

### **1. Οι κίνδυνοι είναι (γενικά) προβλέψιμοι από επιστημονική αξιολόγηση.**

Οι περισσότερες επικίνδυνες διαδικασίες και γεγονότα μπορούν να ελεγχθούν, η ταξινομική, και μελλοντική δραστηριότητά τους



πρόβλεφθηκε βασισμένη επάνω στη συχνότητα των προηγούμενων γεγονότων, των σχεδίων στο περιστατικό τους, και των τύπων γεγονότων προδρόμων.

**2. Η ανάλυση κινδύνου είναι ένα σημαντικό τμήμα στην κατανόηση των επιδράσεων των επικίνδυνων διαδικασιών.**

Οι επικίνδυνες διαδικασίες είναι υποκείμενες στην ανάλυση κινδύνου βασισμένες στην πιθανότητα ενός γεγονότος που εμφανίζεται και οι συνέπειες εκείνου του γεγονότος ως αποτέλεσμα.

**3. Οι σύνδεσμοι υπάρχουν μεταξύ των διαφορετικών φυσικών κινδύνων όπως και μεταξύ των κινδύνων και του φυσικού περιβάλλοντος.**

Οι επικίνδυνες διαδικασίες συνδέονται από πολλές απόψεις. Για παράδειγμα, οι σεισμοί μπορούν να παράγουν τις καθιζήσεις εδάφους και γιγάντια κύματα θάλασσας που προκάλεσαν τα τσουνάμι, τυφώνες συχνές πλημμύρες και παράκτια διάβρωση.

**4. Επικίνδυνα γεγονότα που παρήγαγαν προηγουμένως τις καταστροφές παράγουν τώρα τις φυσικές καταστροφές.**

Η διάσταση, ή το μέγεθος, ενός επικίνδυνου γεγονότος δεδομένου πόσο συχνά αυτό εμφανίζεται, μπορεί να επηρεαστεί από τη ανθρώπινη δραστηριότητα. Ως αποτέλεσμα της αύξησης του ανθρώπινου πληθυσμού και τις φτωχές πρακτικές χρήσης του εδάφους, γεγονότα που συνήθιζαν να προκαλούν καταστροφές τώρα συχνά προκαλούν φυσικές καταστροφές.

**5. Οι συνέπειες των κινδύνων μπορούν να ελαχιστοποιηθούν.**

Ελαχιστοποίηση των πιθανών δυσμενών συνεπειών και τα αποτελέσματα των φυσικών κινδύνων απαιτούν μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που περιλαμβάνει την επιστημονική κατανόηση, χρήση του εδάφους, προγραμματισμός και κανονισμός, εφαρμοσμένη μηχανική, και δυναμική προπαρασκευή καταστροφής.

Αυτές οι έννοιες εισάγονται στο πρώτο κεφάλαιο σε όλο το κείμενο. Με τη σύνδεση του περιεχομένου αυτές οι πέντε αρχές, παρέχουν ένα πλαίσιο για την κατανόηση που θα επεκταθεί αρκετά πέρα από τα όρια αυτής της σειράς μαθημάτων και στη καθημερινή ζωή.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## Εισαγωγή στους φυσικούς κινδύνους

Φυσικές διαδικασίες όπως ηφαιστειακές εκρήξεις, σεισμοί, πλημμύρες, και τυφώνες γίνονται κίνδυνοι όταν απειλούν ανθρώπινη ζωή και ιδιοκτησία. Όπως ο πληθυσμός συνεχίζει να αυξάνεται, κίνδυνοι, καταστροφές, και συμφορές γίνονται πιο κοινοί. Η κατανόηση μιας φυσικής μιας διαδικασίας ως κίνδυνο απαιτεί κάποια βασική γνώση στην επιστήμη της γης. Οι στόχοι σας στην ανάγνωση αυτού του κεφαλαίου πρέπει να είναι:

- Γνώση της διαφοράς μεταξύ μιας καταστροφή και μιας συμφοράς.
- Γνώση συστατικών και διαδικασιών του γεωλογικού κύκλου.
- Κατανόηση της επιστημονικής μεθόδου.
- Κατανόηση βασικών χαρακτηριστικών αξιολόγησης του κινδύνου.
- Αναγνώριση ότι φυσικοί κίνδυνοι που προκαλούν καταστροφές είναι γενικά υψηλής ενέργειας γεγονότα, προκαλούμενοι από φυσικές γήινες διαδικασίες.
- Κατανόηση της έννοιας ότι το μέγεθος ενός επικίνδυνου γεγονότος συσχετίζεται αντιστρόφως με τη συχνότητα του.
- Κατανόηση πως φυσικοί κίνδυνοι μπορούν να συνδεθούν με έναν άλλο και το φυσικό περιβάλλον
- Αναγνώριση ότι η αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού και οι φτωχές αλλαγές του εδάφους συνθέτουν τα αποτελέσματα των φυσικών κινδύνων που μπορούν να μετατραπούν σε καταστροφές.

## **Nevado del Ruiz: Μια ιστορία των ανθρώπων, χρήση γης, και ηφαιστειακή έκρηξη**

Μια από τις θεμελιώδεις αρχές στη μελέτη των φυσικών κινδύνων είναι ότι μια αύξηση πληθυσμών θα εντείνει την επίδραση ενός κινδύνου. Σε μερικές περιπτώσεις, αυτή η ενδυνάμωση μπορεί να αναγκάσει μια καταστροφή να γίνει μια φυσική καταστροφή. Παραδείγματος χάριν, όταν εξερράγη το κολομβιανό ηφαίστειο Nevado del Ruiz το 1845, ροή λάβας βρυχήθηκε κάτω από την ανατολική κλίση του βουνού και σκοτώθηκαν περίπου 1000 άνθρωποι. Στρώματα εδάφους(πλούσια χώματα) παράχθηκαν από εκείνο το γεγονός στην κοιλάδα ποταμών Lagunilla, προσελκύοντας ανθρώπους για να κινηθούν εκεί και να εγκαταστήσουν τα αγροκτήματά τους. Η πόλη Armero έγινε το γεωργικό κέντρο για την κοιλάδα και μέχρι το 1985 είχε αυξηθεί σε πληθυσμό 23.000. Στις 13 Νοεμβρίου 1985, μια μικρή έκρηξη του Nevado del Ruiz παρήγαγε άλλη μια ποσότητα ροής λάβας που έθαψε την πόλη Armero, αφήνοντας περίπου 21.000 ανθρώπους νεκρούς ή αγνοούμενους και προκλήθηκε ζημιά στις ιδιοκτησίες τους περισσότερα από 200 εκατομμύρια δολάρια. Σε διάρκεια 140 χρόνων μεταξύ ροών λάβας, η αύξηση στον πληθυσμό πολλαπλασίασε το φόρο θανάτου με περισσότερες από 20 φορές. Ειρωνικά, η φυσική διαδικασία που θέτει το στάδιο για τη γεωργική ανάπτυξη και την πληθυσμιακή αύξηση, ήταν η ίδια που ήταν αρμόδια και για την καταστροφή τους.

Αντίθετα από την έκρηξη 1845, υπήρξαν προηγμένοι δείκτες για το γεγονός του 1985. Αυτοί οι δείκτες, καλούμενοι ως πρόδρομοι, περιλάμβαναν την αύξηση της σεισμικής δραστηριότητας πριν από την έκρηξη. Οι ηφαιστειολόγοι ξεκίνησαν να προσέχουν το βουνό κοντά στον Ιούλιο, του 1985, και είχαν ολοκληρώσει το χάρτη κινδύνου μέχρι τον Οκτώβριο. Ο χάρτης και η συνοδευτική έκθεση, η οποία προέβλεψε σωστά τα γεγονότα της 13<sup>ης</sup> Νοεμβρίου, αναθεωρήθηκαν από τους ανώτερους υπαλλήλους πολιτικής άμυνας πριν από την έκρηξη. Η έκθεση ήταν μια αξιολόγηση του κινδύνου που έδωσε μια πιθανότητα 100 τοις εκατό ότι μια έκρηξη θα παρήγε ροή λάβας ενδεχομένως καταστροφική.

Όπως αναμένεται, το γεγονός της 13ης Νοεμβρίου άρχισε με μια έκρηξη παράγοντας ροές καυτής ηφαιστειακής τέφρας. Η τέφρα ρέει από το λιωμένο πάγο διαμορφώνοντας ένα παγετώδες πηλό και άλλα συντρίμια. Αυτός ο πηλός έγινε λασποροή κάτω από τις κοιλάδες ποταμών, που στραγγίζουν το βουνό (σχήμα

1.1). Πήρε πάνω από δύο ώρες για λασποροή που είχε αρχίσει κοντά στην κορυφή του βουνού να φτάσει στην πόλη του Armero. Λασποροή έθαψε έπειτα το νότιο μισό της πόλης, σκουπίζοντας κτίρια εντελώς από τα θεμέλιά τους (σχήμα 1.2).

Η πραγματική τραγωδία της καταστροφής ήταν ότι η έκβαση ήταν προβλέψιμη, στην πραγματικότητα, υπήρξαν διάφορες προσπάθειες να προειδοποιηθεί η πόλη και να εκκενωθεί.



Σχ1.1 έκρηξη του ηφαιστείου NEVADA DEL RUIS

Δυστυχώς, οι χάρτες κινδύνου που κυκλοφόρησαν τον Οκτώβριο αγνοήθηκαν κατά ένα μεγάλο μέρος. Μια σύγκριση του χάρτη κινδύνου με τα γεγονότα που πραγματοποιήθηκαν στις 13 Νοεμβρίου το 1985, επεξηγούν γραφικά τη χρησιμότητα από τους ηφαιστειακούς χάρτες κινδύνου (σχήμα 1.3). Παρά τις προειδοποιήσεις υπήρξε μικρή ανταπόκριση, και κατά συνέπεια περίπου 21.000 άνθρωποι πέθαναν. Είχαν υπάρξει καλύτερες γραμμές επικοινωνίας από την έδρα πολιτικής άμυνας στις τοπικές πόλεις και μια καλύτερη εκτίμηση πιθανών ηφαιστειακών κινδύνων ακόμη και 40 χλμ (περίπου 25 mi.) από το ηφαίστειο, η εκκένωση θα ήταν δυνατή για την πόλη του Armero.

Νωρίς το 1986 ένα μόνιμο κέντρο ηφαιστειακής παρατήρησης ιδρύθηκε στην Κολομβία για να συνεχίσει την παρακολούθηση του ηφαιστείου Ruiz και άλλων στη Νότια Αμερική. Κάποιος μπορεί να ελπίζει ότι τα παθήματα που γίνονται μαθήματα από αυτό το γεγονός βοήθησαν να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες από ηφαιστειακές εκρήξεις και άλλες φυσικές καταστροφές.

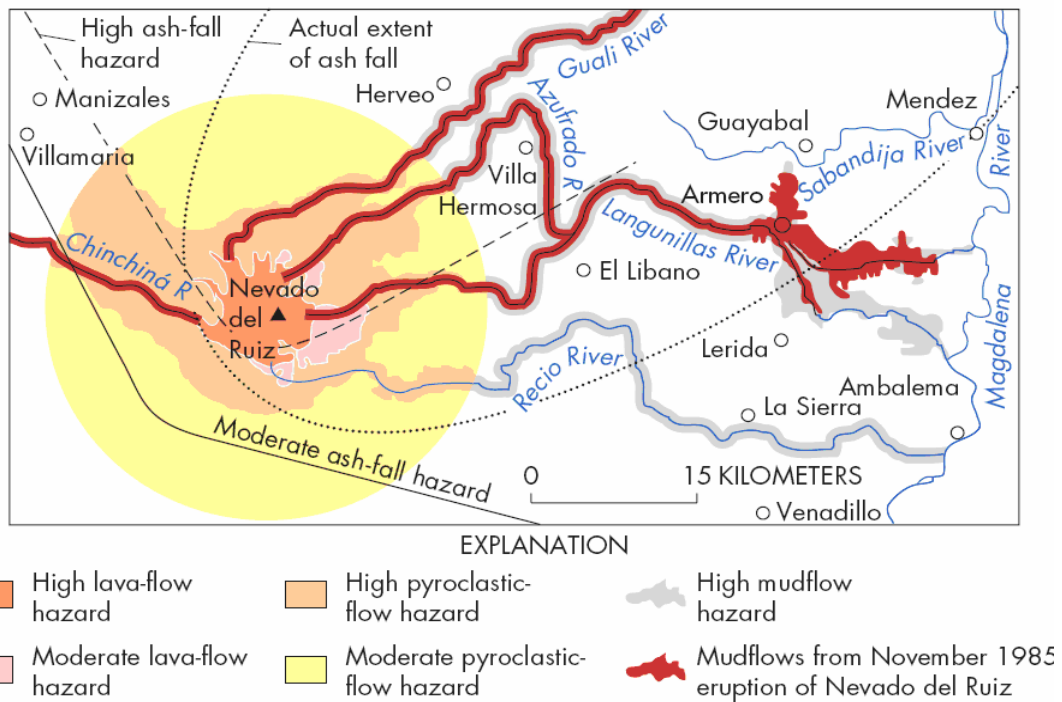


Σχ 1.2 (α) το Νοέμβριο του 1985 εξερράγη το ηφαίστειο NEVADO DEL RUIS





(β) με το λιώσιμο του πάγου δημιουργήθηκαν λασποροές που κατέστρεψαν την πόλη Αρμέρο σκοτώνοντας 21000 ανθρώπους



Σχ 1.3 ηφαιστειακός χάρτης κινδύνου

Από μια αναθεώρηση της ιστορίας του Nevado del Ruiz μπορούμε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι (1) η έκρηξη και οι λασπορές του 1985 προβλέφθηκαν, ο κίνδυνος προσδιορίστηκε και αξιολογήθηκε (2) πληθυσμιακή αύξηση από την τελευταία λασποροή το 1845 αύξησε τον αριθμό ανθρώπων σε κίνδυνο και (3) η τεράστια απώλεια ζωής θα μπορούσε να είναι σημαντικά μειωμένη εάν οι προειδοποιήσεις είχαν προσεχτεί.

## **1.1 Γιατί η μελέτη των φυσικών κινδύνων είναι σημαντική**

Από το 1995, ο κόσμος έχει δοκιμαστεί απο μια καταστροφή τσουνάμι στον Ινδικό Ωκεανό που παρήχθη από έναν από τους πέντε μεγαλύτερους σεισμούς στην καταγραμμένη ιστορία, καταστροφική πλημμύρα στη Βενεζουέλα, στο Μπαγκλαντές, και την κεντρική Ευρώπη με ισχυρότερο το Ελ Νίνιο στο αρχείο, και θανατηφόρους σεισμούς στην Ινδία, το Ιράν, και την Τουρκία. Από το 1995, η Βόρεια Αμερική είχε δοκιμαστεί απο μια θανάσιμη κατηγορία 5 τυφώνων στη Γουατεμάλα και την Ονδούρα αρχείο-ρύθμιση πυρκαγιές στην Αριζόνα και Καλιφόρνια το χειρότερο ξέσπασμα από τους ανεμοστροβίλους στην ιστορία της Οκλαχόμα ένα αρχείο-ταίριασμα από μια σειρά τεσσάρων τυφώνων μέσα σε έξι εβδομάδες στη Φλώριδα και το Carolinas μια παράλυτη θύελλα πάγου στη Νέα Αγγλία και Κεμπέκ αρχείο-θέτοντας χαλάζι στη Νεμπράσκα και γενική θέρμανση του κλίματος στην Αλάσκα και το βόρειο Καναδά. Αυτά τα γεγονότα είναι το αποτέλεσμα από τεράστιες δυνάμεις που είναι σε εργασία μέσα στην επιφάνεια του πλανήτη μας. Σε αυτό το κείμενο θα εξηγήσουμε πώς αυτές οι δυνάμεις αλληλεπιδρούν με τον πολιτισμό μας, και πώς μπορούμε να προσαρμοστούμε καλύτερα στα αποτελέσματά τους. Αν μπορούσαμε να περιγράψουμε τις περισσότερες από αυτές τις δυνάμεις των φυσικών κινδύνων, μπορούμε ταυτόχρονα να νιώθουμε ένα δέος με τα αποτελέσματά τους.

## Διαδικασίες: Εσωτερικές και εξωτερικές

Στη συζήτηση αυτών των φυσικών κινδύνων θα χρησιμοποιήσουμε τους όρους φυσικοί, χημικοί, και βιολογικοί τρόποι από τους οποίους τα γεγονότα, όπως οι ηφαιστειακοί εκρήξεις, οι σεισμοί, οι καθιζήσεις εδάφους, και οι πλημμύρες έχουν επιπτώσεις στην επιφάνεια της γης. Μερικές από αυτές τις διαδικασίες, όπως οι ηφαιστειακοί εκρήξεις και οι σεισμοί, είναι το αποτέλεσμα των εσωτερικών δυνάμεων βαθιά μέσα στη γη. Οι περισσότερες από αυτές τις εσωτερικές διαδικασίες είναι εξηγημένες από τη θεωρία της τεκτονικής των πλακών, μια από τις βασικές θεωρίες στην επιστήμη. Στην πραγματικότητα, οι τεκτονικές πλάκες, μεγάλοι φραγμοί επιφάνειας της στερεάς γης, χαρτογραφούνται με τον προσδιορισμό των ζωνών των σεισμών και των ενεργών ηφαιστείων.

Άλλες διαδικασίες που συνδέονται με τους φυσικούς κινδύνους ως αποτέλεσμα από τις εξωτερικές δυνάμεις που είναι πολύ κοντά στη Γήινη επιφάνεια. Παραδείγματος χάριν, ενέργεια από τον ήλιο θερμαίνει τη γήινη ατμόσφαιρα και την επιφάνεια, παράγοντας ανέμους και εξάτμιση νερού. Η κυκλοφορία αέρα και η εξάτμιση νερού είναι αρμόδιες για τη διαμόρφωση των γήινων κλιματικών ζωνών και για να οδηγήσει τη μετακίνηση του νερού μέσα στον υδρολογικός κύκλο. Αυτές οι δυνάμεις είναι στη συνέχεια άμεσα σχετικές με τις επικίνδυνες διαδικασίες, όπως οι βίαιες θύελλες και πλημμύρες, καθώς επίσης και την παράκτια διάβρωση. Ακόμα άλλες εξωτερικές διαδικασίες, όπως, είναι το αποτέλεσμα της βαρύτητας να ενεργήσει στις πλαγιές και τα βουνά. Η βαρύτητα είναι δύναμη της φυσικής έλξης σε μια μάζα-σε αυτήν την περίπτωση η έλξη των υλικών στη γήινη επιφάνεια τη σε ολόκληρη μάζα της γης. Λόγω της βαρύτητας έλξης, τα αντικείμενα στις πλαγιές ή κατά μήκος της κοίτης ενός ποταμού τείνουν φυσικά να κινήσουν στην κατηφόρα. Κατά συνέπεια, το νερό που στις βουνοπλαγιές κινείται κάτω από το λόφο και με τη βαρύτητα στο δρόμο του πίσω στον ωκεανό.

Κατά συνέπεια, οι διαδικασίες θεωρούμε ότι είναι φυσικοί κίνδυνοι ως αποτέλεσμα από τις φυσικές δυνάμεις όπως η εσωτερική θέρμανση της γης ή από την εξωτερική ενέργεια από τον ήλιο. Η ενέργεια απελευθερωμένη από φυσικές διαδικασίες ποικίλλει πολύ. Παραδείγματος χάριν, ο μέσος ανεμοστρόβιλος χρησιμοποιεί περίπου 1.000 φορές περισσότερη ενέργεια από ένα μπουλόνι φωτισμού, ενώ η ηφαιστειακή έκρηξη του ST Helens το Μάιο του 1980 χρησιμοποίησε περίπου ένα εκατομμύριο φορές περισσότερη ενέργεια απ' ό, τι ένα μπουλόνι φωτισμού. Το ποσό



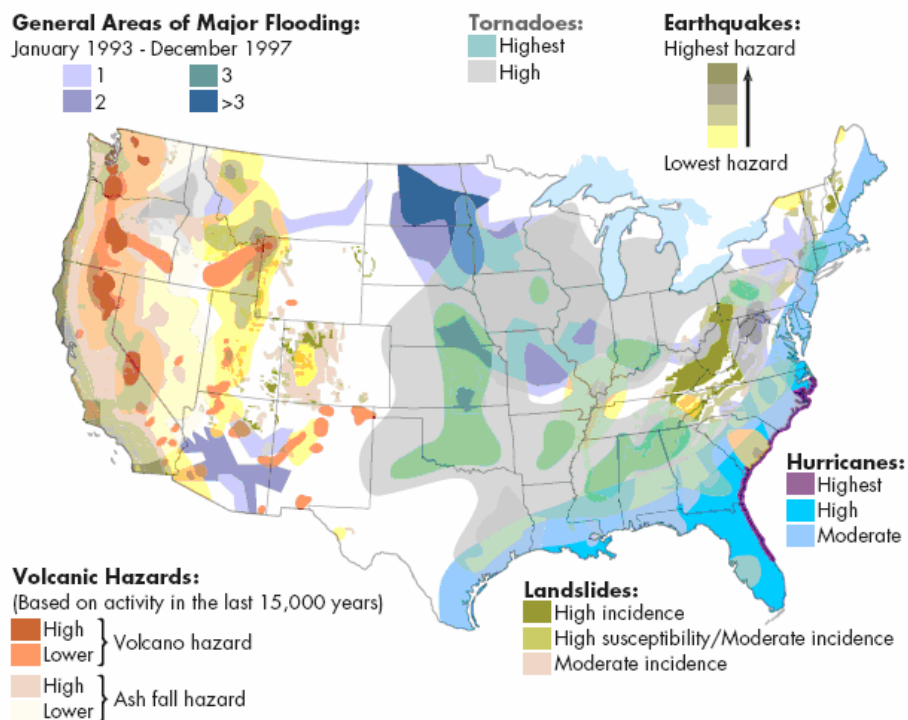
της ηλιακής ενέργειας λαμβάνει κάθε μέρα η γη είναι ένα τρισεκατομμύριο φορές περισσότερο από ένα μπουλόνι φωτισμού. Εντούτοις, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη ότι ένα μπουλόνι αστραπής μπορεί να χτυπήσει ένα δέντρο, προκαλώντας μιας τεράστια απελευθέρωση ενέργειας με αποτέλεσμα μια δασική πυρκαγιά, εκτιμώντας ότι η ηλιακή ενέργεια διαδίδεται σε όλη την ολόκληρη υδρόγειο. Γεγονότα όπως οι σεισμοί, ηφαιστεια, πλημμύρες, και οι πυρκαγιές είναι φυσικές διαδικασίες που έχουν εμφανιστεί επάνω στη γήινη επιφάνεια από πολύ πριν να αποικηθεί από ανθρώπους. Αυτές οι φυσικές διαδικασίες γίνονται επικίνδυνες όταν τα ανθρώπινα όντα ζουν ή εργάζονται στην πορεία τους. Εμείς συχνά χρησιμοποιούμε τον κίνδυνο ή την καταστροφή για να περιγράψουμε την αλληλεπίδρασή μας με αυτές τις φυσικές διαδικασίες.

### **Κίνδυνος, καταστροφή, ή φυσική καταστροφή**

Ένας κίνδυνος, ή φυσικός κίνδυνος, είναι οποιαδήποτε φυσική διαδικασία που αποτελεί απειλή για τη ανθρώπινη ζωή ή την ιδιοκτησία. Το ίδιο το γεγονός δεν είναι ένας κίνδυνος μάλλον, μια διαδικασία γίνεται ένας κίνδυνος όταν απειλεί τα ανθρώπινα ενδιαφέροντα. Μια καταστροφή, ή φυσική καταστροφή, είναι η επίδραση ενός κινδύνου στην κοινωνία, συνήθως ως γεγονός που εμφανίζεται πέρα από μια περιορισμένη χρονική έκταση σε μια καθορισμένη γεωγραφική περιοχή. Η καταστροφή όρου χρησιμοποιείται όταν υπάρχει μια αλληλεπίδραση μεταξύ των ανθρώπων και μιας φυσικής διαδικασίας που έχει ως αποτελέσματα τη σημαντική ζημία ιδιοκτησίας, τους τραυματισμούς, ή την απώλεια ζωής. Μια καταστροφή, που τίθεται απλά, είναι μια ογκώδης φυσική καταστροφή, που απαιτεί τις σημαντικές δαπάνες του χρόνου και των χρημάτων για την αποκατάσταση.

Οι φυσικοί κίνδυνοι έχουν επιπτώσεις στις ζωές εκατομμυρίων ανθρώπων σε όλο τον κόσμο. Όλες οι περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών και του Καναδά βρίσκονται σε κίνδυνο σε περισσότερες από μια γήινη διαδικασία. Είναι επιρρεπείς σε χιονοθύελλες περιοχών και οι θύελλες πάγου, οι ακτές που έχουν δοκιμαστεί από τα τσουνάμι κατά τη διάρκεια του προηγούμενου αιώνα, οι περιοχές που επηρεάζονται τακτικά από τις πυρκαγιές, ή οι περιοχές που έχουν δοκιμαστεί από την ξηρασία, την καθίζηση, ή την παράκτια διάβρωση. Καμία περιοχή δεν εξετάζεται ως ελεύθερη από κινδύνους.

Κατά τη διάρκεια μερικών προηγούμενων δεκαετιών, φυσικές καταστροφές όπως οι σεισμοί, οι πλημμύρες, και οι τυφώνες έχουν σκοτώσει αρκετά εκατομμύρια ανθρώπων σε αυτόν τον πλανήτη, ο μέσος όρος ετήσιας απώλειας ζωής είναι περίπου 150.000. Οικονομικά η απώλεια από τις φυσικές καταστροφές υπερβαίνει τώρα τα 50 δισεκατομμύρια δολάρια το χρόνο, αυτός ο αριθμός δεν περιλαμβάνει τις κοινωνικές απώλειες όπως η απώλεια απασχόλησης, διανοητικό άγχος, και μειωμένη παραγωγικότητα.



Σχ 1.4 σημαντικοί κίνδυνοι στις Ηνωμένες Πολιτείες(σεισμοί καταστροφές πλημμύρες ηφαιστειακές εκρήξεις )



σχήμα 1.5 συνέπειες καταστροφικών κυκλώνων

Δύο μεμονωμένες καταστροφές, ένας κυκλώνας συνοδευόμενος από πλημμύρα στο Μπαγκλαντές το 1970 και έναν σεισμό στην Κίνα το 1976, κόστισε πάνω από 300.000 ζωές. Το τσουνάμι στον Ινδικό Ωκεανό το 2004 οδήγησε σε τουλάχιστον 200.000 θανάτους, και ένας άλλος κυκλώνας που χτύπησε το Μπαγκλαντές το 1991 κόστισε 145.000 ζωές (σχήμα 1.5). Ένας σεισμός στο Kobe, Ιαπωνία το 1995 κόστισε πάνω από 5000 ζωές, κατέστρεψε πολλές χιλιάδες κτίρια, και προκάλεσε πάνω από 100 δισεκατομμύρια δολάρια ζημιά στις ιδιοκτησίες (Σχήμα 1.6). Αυτές οι καταστροφές προκλήθηκαν από φυσικές διαδικασίες και δυνάμεις που πάντα θα υπάρχουν. Οι κυκλώνες προκαλούνται από την ατμοσφαιρική διαταραχή, και τη γήινη εσωτερική θερμότητα που οδηγεί στην κίνηση των τεκτονικών πλακών, η οποία προκαλεί τους σεισμούς και μερικές φορές τα τσουνάμι. Ο αντίκτυπος αυτών των γεγονότων έχει επηρεαστεί από τον ανθρώπινο πληθυσμό και τη χρήση του εδάφους.

Σε μια προσπάθεια να εξεταστεί ο αυξανόμενος αριθμός θυμάτων και η αυξανόμενη ζημιά ιδιοκτησίας από φυσικούς κινδύνους, τα Ηνωμένα Έθνη υπέδειξαν ότι η δεκαετία του '90 ως Διεθνής δεκαετία για τη μείωση φυσικών κινδύνων. Οι στόχοι του προγράμματος των Η.Ε ήταν να ελαχιστοποιήσουν την απώλεια ζωής και τη ζημιά ιδιοκτησίας ως αποτέλεσμα φυσικού κινδύνου. Η

επίτευξη αυτού του στόχου θα απαιτήσει μέτρα για να μετριάσουν τους συγκεκριμένους φυσικούς κινδύνους και τους βιολογικούς κινδύνους που τους συνοδεύουν συχνά. Ο όρος μετριασμός, που σημαίνει τη μείωση των αποτελεσμάτων από κάτι, χρησιμοποιείται συχνά από τους επιστήμονες, τους αρμόδιους για το σχεδιασμό, και την πολιτική στην περιγραφή των προοπτικών προπαρασκευής καταστροφής.



Σχήμα 1.6 καταστροφικός σεισμός στην Ιαπωνία τον Ιανουάριο του 1995 σκοτώνοντας πάνω από 5000 ανθρώπους και προκάλεσε εκατοντάδες ζημιές

Για παράδειγμα, μετά από τους σεισμούς και τις πλημμύρες μπορεί να προκληθεί μόλυνση από βακτηρίδια και αύξηση των ασθενειών. Για να μετριάσει τα αποτελέσματα αυτής της μόλυνσης, μια υπηρεσία ανθρωπιστικής βοήθειας ή η κυβέρνηση μπορεί να επεκτείνει τα φορητά εργοστάσια επεξεργασίας νερού, απολυμαίνοντας τα φρεάτια νερού, και διανέμοντας εμφιαλωμένο νερό.

## **Θάνατος και ζημία προκαλούμενος από τους φυσικούς κινδύνους**

Όταν συγκρίνουμε τα αποτελέσματα των διάφορων φυσικών κινδύνων, διαπιστώνουμε ότι εκείνοι που προκαλούν τη μέγιστη απώλεια στην ανθρώπινη ζωή δεν είναι απαραίτητως η ίδια με εκείνους που προκαλούν την πίο εκτενή ζημία ιδιοκτησίας. Ο μεγαλύτερος αριθμός θανάτων κάθε έτος συνδέεται με τους ανεμοστρόβιλους και τις θύελλες, αστραπές, πλημμύρες, και οι τυφώνες παίρνουν επίσης έναν βαρύ φόρο. Η απώλεια ζωής από τους σεισμούς μπορεί να ποικίλει αρκετά από το ένα έτος στο επόμενο, επειδή ένας ενιαίος μεγάλος σεισμός μπορεί να προκαλέσει τεράστια ανθρώπινη απώλεια. Παραδείγματος χάριν, το 1994, ο μεγάλος, αλλά όχι σπουδαίος σεισμός Northridge στην περιοχή του Λος Άντζελες σκότωσε περίπου 60 ανθρώπους και επέβαλε 20 έως 30 δισεκατομμύρια δολάρια ζημία στην ιδιοκτησία. Ο επόμενος μεγάλος σεισμός σε ένα πυκνά κατοικημένο μέρος της Καλιφόρνιας θα μπορούσε να επιβάλει 100 δισεκατομμύρια δολάρια στις ζημιές και το θάνατο σε αρκετές χιλιάδες ανθρώπους.

Η ζημία ιδιοκτησίας που προκαλείται από κάθε τύπο κινδύνου είναι ιδιαίτερος. Πλημμύρες, καθιζήσεις εδάφους, που συρρικνώνονται και διογκώνονται, και ο πάγος προκαλεί παραπάνω από 1.5 δισεκατομμύρια δολάρια σε ζημιές κάθε έτος στις Ηνωμένες Πολιτείες.

Οι φυσικές καταστροφές κοστίζουν στις Ηνωμένες Πολιτείες μεταξύ 10 δισεκατομμύριο και 50 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως το μέσο κόστος μιας ενιαίας μεγάλης καταστροφής είναι τουλάχιστον 500 εκατομμύρια δολάρια.

Επειδή ο πληθυσμός αυξάνεται σταθερά στις υψηλού κινδύνου περιοχές, όπως κατά μήκος των ακτών, μπορούμε να περιμένουμε ότι αυτός ο αριθμός θα αυξηθεί σημαντικά.

Μια σημαντική πτυχή όλων των φυσικών κινδύνων είναι η δυνατότητα τους να παράγουν μια καταστροφή, η οποία έχει οριστεί ως οποιαδήποτε κατάσταση στην οποία οι ζημιές στους ανθρώπους, την ιδιοκτησία, ή την κοινωνία είναι γενικά ικανοποιητικές ότι η ανάκτηση ή αποκατάσταση είναι μια μακροχρόνια, περιληφθείς διαδικασία. Οι φυσικοί κίνδυνοι ποικίλλουν πολύ στη δυνατότητά τους να προκαλέσουν μια καταστροφή. Οι πλημμύρες, οι τυφώνες, οι ανεμοστρόβιλοι, οι σεισμοί, οι ηφαιστειακές εκρήξεις, και οι μεγάλες πυρκαγιές είναι οι κίνδυνοι για να δημιουργήσουν πιθανότατα τις καταστροφές. Οι καθιζήσεις εδάφους, επειδή έχουν επιπτώσεις γενικά σε μια

μικρότερη περιοχή, έχουν μόνο μια μέτρια δυνατότητα καταστροφής. Η ξηρασία επίσης έχει μια μέτρια δυνατότητα καταστροφής αν και μπορεί να καλύψει μια ευρεία περιοχή, υπάρχει συνήθως αφθονία του χρόνου προειδοποίησης προτού να γίνουν αισθητά τα χειρότερα αποτελέσματά του. Οι κίνδυνοι με μια χαμηλή δυνατότητα καταστροφής περιλαμβάνουν την παράκτια διάβρωση, τον παγετό, την αστραπή, και τα επεκτατικά χώματα.

Τα αποτελέσματα των φυσικών κινδύνων αλλάζουν χρόνο με το χρόνο λόγω των αλλαγών στα σχέδια χρήσης του εδάφους. Η αστική αύξηση μπορεί να επηρεάσει τους ανθρώπους που αναπτύσσουν τα περιθωριακά εδάφη, όπως οι απότομες βουνοπλαγιές και οι κοίτες πλημμυρών. Αυτή η τάση είναι ειδικά ένα πρόβλημα στις περιοχές που περιβάλλουν μεγάλες πόλεις στα αναπτυσσόμενα έθνη. Εκτός από την αύξηση της πυκνότητας πληθυσμών, η αστικοποίηση μπορεί επίσης να αλλάξει τις φυσικές ιδιότητες των γήινων υλικών με τον επηρεασμό της αποξήρανσης, την αλλαγή των απόκρημνων βουνοπλαγιών, και τη μείωση της βλάστησης. Οι αλλαγές στη γεωργία, δασονομία, και τα μεταλλεύματα μπορούν να έχουν επιπτώσεις στα ποσοστά διάβρωσης και ιζηματογένεσης των απόκρημνων βουνοπλαγιών, και τη φύση της φυτικής κάλυψης. Συνολικά, η ζημία από τους περισσότερους φυσικούς κινδύνους στις Ηνωμένες Πολιτείες αυξάνεται, αλλά ο αριθμός θανάτων από πολλούς κίνδυνοι μειώνεται λόγω της καλύτερης πρόβλεψης και προειδοποίησης.

## **1.2 Ρόλος της ιστορίας στην κατανόηση των κινδύνων**

Μια θεμελιώδης αρχή για την κατανόηση των φυσικών κινδύνων είναι ότι είναι επαναλαμβανόμενα γεγονότα, και επομένως η μελέτη της ιστορίας τους παρέχει αναγκαίες πληροφορίες για οποιοδήποτε σχέδιο κινδύνου-μείωσης. Υπενθυμίστε πώς η ιστορία διαδραμάτισε έναν ρόλο στον καταστροφικό λασποροές από Nevado del Ruiz στην Κολομβία. Εάν μελετάμε τις πλημμύρες, καθιζήσεις εδάφους, ηφαιστειακές εκρήξεις, ή σεισμούς, η γνώση του ιστορικού των γεγονότων και η πρόσφατη γεωλογική ιστορία μιας περιοχής είναι ζωτικής σημασίας στην κατανόηση και την αξιολόγησή του κινδύνου. Παραδείγματος

χάριν, εάν επιθυμούμε να αξιολογήσουμε την ιστορία της πλημμύρας ενός ιδιαίτερου ποταμού, ένας από τους πρώτους στόχους είναι να προσδιορίσουμε τις πλημμύρες που έχουν εμφανιστεί στο ιστορικό και πρόσφατο παρελθόν. Χρήσιμες πληροφορίες μπορούν να ληφθούν με τη μελέτη των αεροφωτογραφιών και των χαρτών μέχρι όπου το αρχείο επιτρέπει. Στην αναδημιουργία μας από τα προηγούμενα γεγονότα μπορούμε να ψάξουμε τα στοιχεία από τις προηγούμενες πλημμύρες στις καταθέσεις ρευμάτων. Συνήθως αυτές οι καταθέσεις περιέχουν το οργανικό υλικό όπως ξύλο ή κογχύλια που μπορεί να είναι αυτά που χρονολογείται ότι μπορούν να παρέχουν πληροφορίες των αρχαίων γεγονότων πλημμυρών. Αυτή η χρονολογία μπορεί έπειτα να συνδεθεί με το ιστορικό αρχείο για να παρέχει μια γενική προοπτική για το πόσο συχνές και εκτενείς οι πλημμύρες μπορεί να είναι. Ομοίως, εάν μελετάμε τις καθιζήσεις εδάφους μέσα μια ιδιαίτερη περιοχή, μια έρευνα για τις ιστορικές και προϊστορικές καθιζήσεις εδάφους είναι απαραίτητες για να προβλεφθούν καλύτερα μελλοντικές καθιζήσεις εδάφους. Οι γεωλόγοι έχουν τα εργαλεία και την εκπαίδευση «διαβάστε το τοπίο» και αξιολογήστε προϊστορικά στοιχεία για τους φυσικούς κινδύνους. Συνδέοντας τα προϊστορικά και ιστορικά αρχεία επεκτείνεται η προοπτική μας από το χρόνο όταν μελετάμε επαναλαμβανόμενα φυσικά γεγονότα.

Εν περιλήψει, προτού να μπορέσουμε σωστά να εκτιμήσουμε τη φύση και την έκταση ενός φυσικού κινδύνου, πρέπει να μελετήσουμε το ιστορικό του περιστατικό του καθώς επίσης και τα γεωλογικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα που μπορεί να παράγει ή τις επιπτώσεις. Αυτά τα γεωλογικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα μπορεί να είναι τα κανάλια, λόφοι, ή παραλίες δομές, όπως τα γεωλογικά ρήγματα, ρωγμές, ή πτυχές βράχων ή γήινα υλικά, όπως οι ροές λάβας, μετεωρίτες, ή χώμα. Οποιαδήποτε πρόβλεψη μελλοντικού περιστατικού και τα αποτελέσματα ενός κινδύνου θα είναι ακριβέστερα εάν μπορούμε να συνδυάσουμε τις πληροφορίες του ιστορικού και την προϊστορική συμπεριφορά με γνώση τις συνθήκες του παρόντος και πρόσφατα προηγούμενα γεγονότα, συμπεριλαμβανομένων των αλλαγών της χρήσης του εδάφους.

Για να καταλάβουμε πλήρως τις φυσικές διαδικασίες καλούμε κίνδυνους, κάποια γνώση υποβάθρου του γεωλογικού κύκλου-διαδικασίες που παράγουν και τροποποιούν τα γήινα υλικά όπως οι βράχοι, μεταλλεύματα, και νερό-είναι απαραίτητα. Στα επόμενα τμήματα θα συζητήσουμε το γεωλογικό κύκλο και έπειτα πέντε έννοιες που είναι θεμελιώδεις στην κατανόηση των φυσικών διαδικασιών όπως κίνδυνοι.

## 1.3 Γεωλογικός κύκλος

Οι γεωλογικοί όροι και τα υλικά διέπουν κατά ένα μεγάλο μέρος τον τύπο, τη θέση, και την ένταση των φυσικών διαδικασιών. Για παράδειγμα, οι σεισμοί και τα ηφαίστεια δεν εμφανίζονται τυχαία πέρα από τη γήινη επιφάνεια, μάλλον, οι περισσότεροι από αυτούς καταγράφονται στα όρια των τεκτονικών πλακών. Η θέση των καθιζήσεων εδάφους, επίσης, διέπεται από τους γεωλογικούς όρους. Οι κλίσεις που αποτελούνται από έναν αδύνατο βράχο, όπως ο σχιστόλιθος, είναι πιθανότερο να γλιστρήσει από εκείνους που είναι φτιαγμένοι από ισχυρό πέτρωμα όπως ο γρανίτης. Οι τυφώνες, αν και όχι από μόνοι τους κυβερνημένοι συγκεκριμένα από τη γεωλογία, θα έχει διαφορετικά αποτελέσματα ανάλογα με τη γεωλογία της περιοχής που αυτοί χτυπούν. Μια κατανόηση των συστατικών και η δυναμική του γεωλογικού κύκλου θα εξηγήσει αυτές τις σχέσεις.

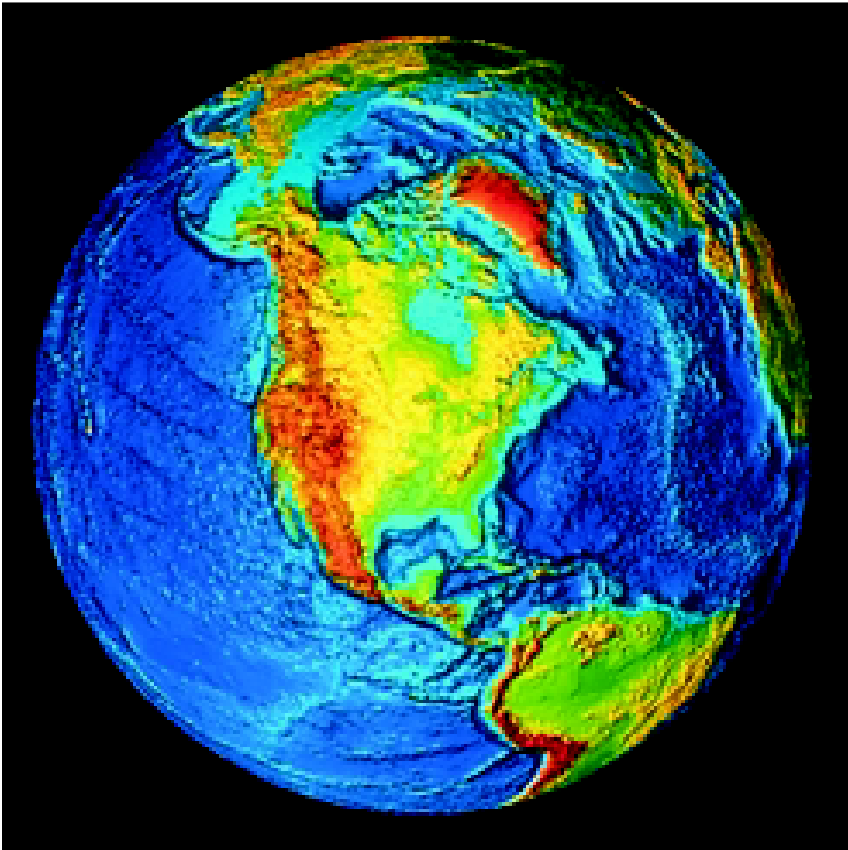
Σε ένα μεγάλο μέρος των 4.6 δισεκατομμυρίων ετών της ιστορίας, της γης τα υλικά κοντά στη γήινη επιφάνεια έχουν δημιουργηθεί, διατηρηθεί, και καταστραφεί από πολυάριθμες φυσικές, χημικές, και βιολογικές διαδικασίες. Συνεχώς οι λειτουργούσες διαδικασίες παράγουν τα γήινα υλικά, έδαφος, νερό, και ατμόσφαιρα, απαραίτητη για την επιβίωσή μας. Συλλογικά, αυτές οι διαδικασίες αναφέρονται ως γεωλογικός κύκλος, ο οποίος είναι πραγματικά μια ομάδα υπόκοικλων που περιλαμβάνει

- ο τεκτονικός κύκλος
- ο κύκλος βράχου
- ο υδρολογικός κύκλος
- βιογεωχημικοί κύκλοι

### Ο τεκτονικός κύκλος

Ο όρος τεκτονικός αναφέρεται σε μεγάλη κλίμακα στις γεωλογικές διαδικασίες που παραμορφώνουν τα εδαφικά γνωρίσματα γήινων κρουστών και προϊόντων όπως οι ωκεάνιες λεκάνες, οι ήπειροι, και τα βουνά. Οι τεκτονικές διαδικασίες οδηγούνται από τις δυνάμεις βαθιά μέσα στη Γη. Για να περιγράψουμε αυτές τις διαδικασίες πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τις πληροφορίες για τη σύνθεση και τη διάταξη στα στρώματα του εσωτερικού της γης και για τους μεγάλους φραγμούς της στερεάς γης που καλούμε τις τεκτονικές





πλάκες. Ο τεκτονικός κύκλος περιλαμβάνει τη δημιουργία, τη μετακίνηση, και τη καταστροφή των τεκτονικών πλακών.

**Λιθόσφαιρα και γήινη κρούστα** Η γη έχει αρκετά εσωτερικά στρώματα που διαφέρουν στη σύνθεση ή τις φυσικές ιδιότητες. Το πιο ακραίο ή στρώμα επιφάνειας, καλείται λιθόσφαιρα, είναι ισχυρότερο και πιο άκαμπτο από τα

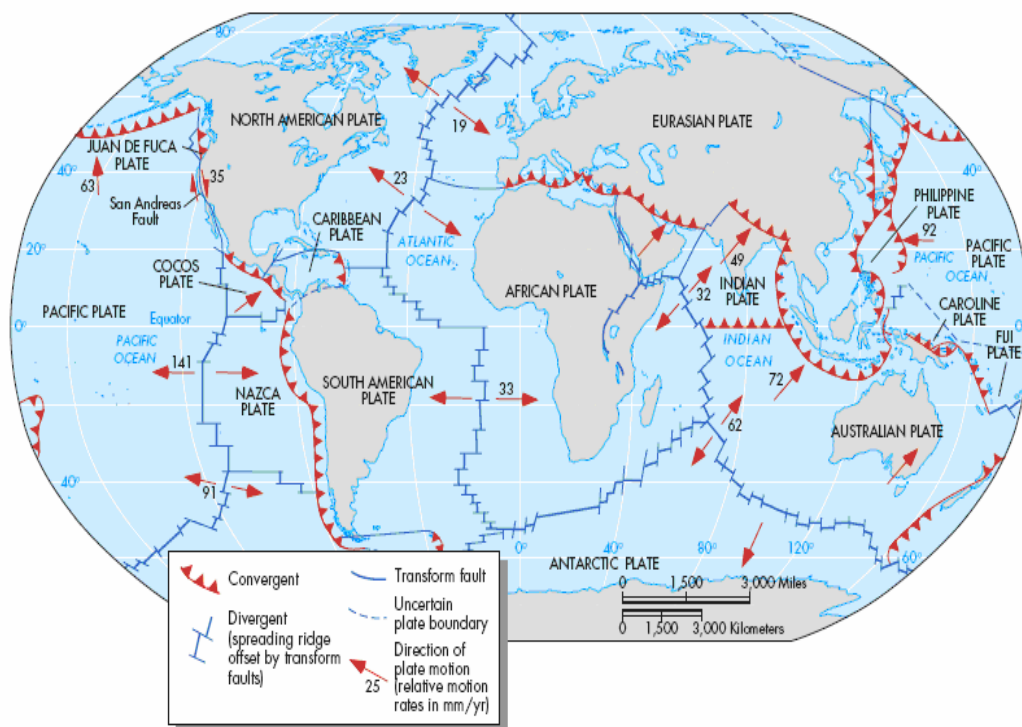
σχ. 1.7 γήινη λιθόσφαιρα και φλοιός της γης

βαθύτερα υλικά. Κάτω από τη λιθόσφαιρα βρίσκεται η ατμόσφαιρα, ένα καυτό και ρέον στρώμα σχετικά χαμηλής δύναμης που είναι παρών σε ένα μέσο όρο βάρους περίπου 250 χλμ (155 mi.). Μέσω λεπτομερής μελέτη των ωκεάνιων λεκανών και των ηπείρων, οι επιστήμονες έχουν καθορίσει ότι η λιθόσφαιρα υπολογίζεται κατά μέσο όρο 100 χλμ (62 mi.) στο πάχος, κυμαίνεται από μερικά χιλιόμετρα πυκνά κάτω από το φλοιό στο μέσω των ωκεάνιων κορυφογραμμών σε 120 χλμ

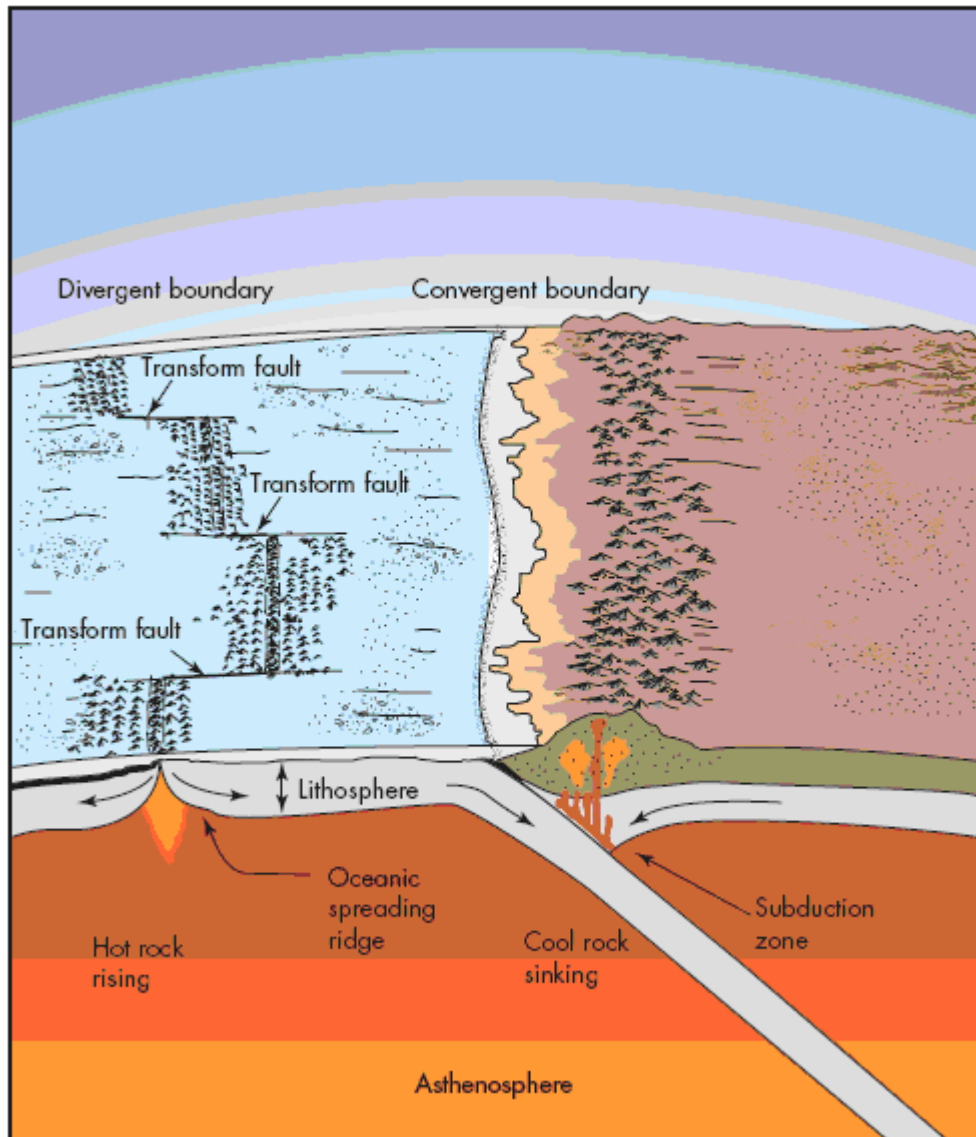
κάτω από τις ωκεάνιες λεκάνες σε 400 χλμ (250 mi.) κάτω από τις ηπείρους. Το ανώτερο μέρος της λιθόσφαιρα είναι η κρούστα. Κατά μέσον όρο, εφελκιδωτή βράχοι είναι λιγότερο πυκνοί από τους κατώτερους βράχους. Από τους δύο τύπους κρουστών, ωκεάνιους και ηπειρωτικούς, η ωκεάνια κρούστα είναι κάπως πυκνότερη από την ηπειρωτική κρούστα. Η ωκεάνια κρούστα είναι επίσης λεπτότερη, ο ωκεανός έχει ένα μέσο πάχος γήινου φλοιού περίπου 7 χλμ (4 mi.), ενώ οι ήπειροι είναι περίπου 30 χλμ (18 mi.) πυκνά σε μέσο όρο και μέχρι 70 χλμ (43 mi.) πυκνά κάτω από τις ορεινές περιοχές.

**Τύποι ορίων λιθοσφαιρικών πλακών** Αντίθετα από την ασθενόσφαιρα, η οποία είναι πιθανά λίγο πολύ συνεχής, η λιθόσφαιρα είναι σπασμένη σε μεγάλα κομμάτια αποκαλούμενα λιθοσφαιρικές ή τεκτονικές πλάκες που κινούνται σχετικά η μια με την άλλη (Σχήμα 1.8). Διαδικασίες που συνδέονται με την προέλευση, μετακίνηση, και καταστροφή αυτών των πλακών είναι συλλογικά γνωστός ως τεκτονική πλακών. Και ο σχηματισμός και η καταστροφή των τεκτονικών πλακών πραγματοποιείται κατά μήκος των ορίων και των περιθωρίων τους. Τα όρια των πλακών μπορούν να είναι διάφορα. (σχήματα 1.9 και 1.10). Αυτά τα όρια δεν είναι στενές ρωγμές αλλά είναι ζώνες από γεωλογικά ρήγματα που είναι δεκάδες ή εκατοντάδες χιλιόμετρα πέρα από αυτές. Σε αυτά τα όρια οι σεισμοί και τα ηφαιστεια εμφανίζονται.

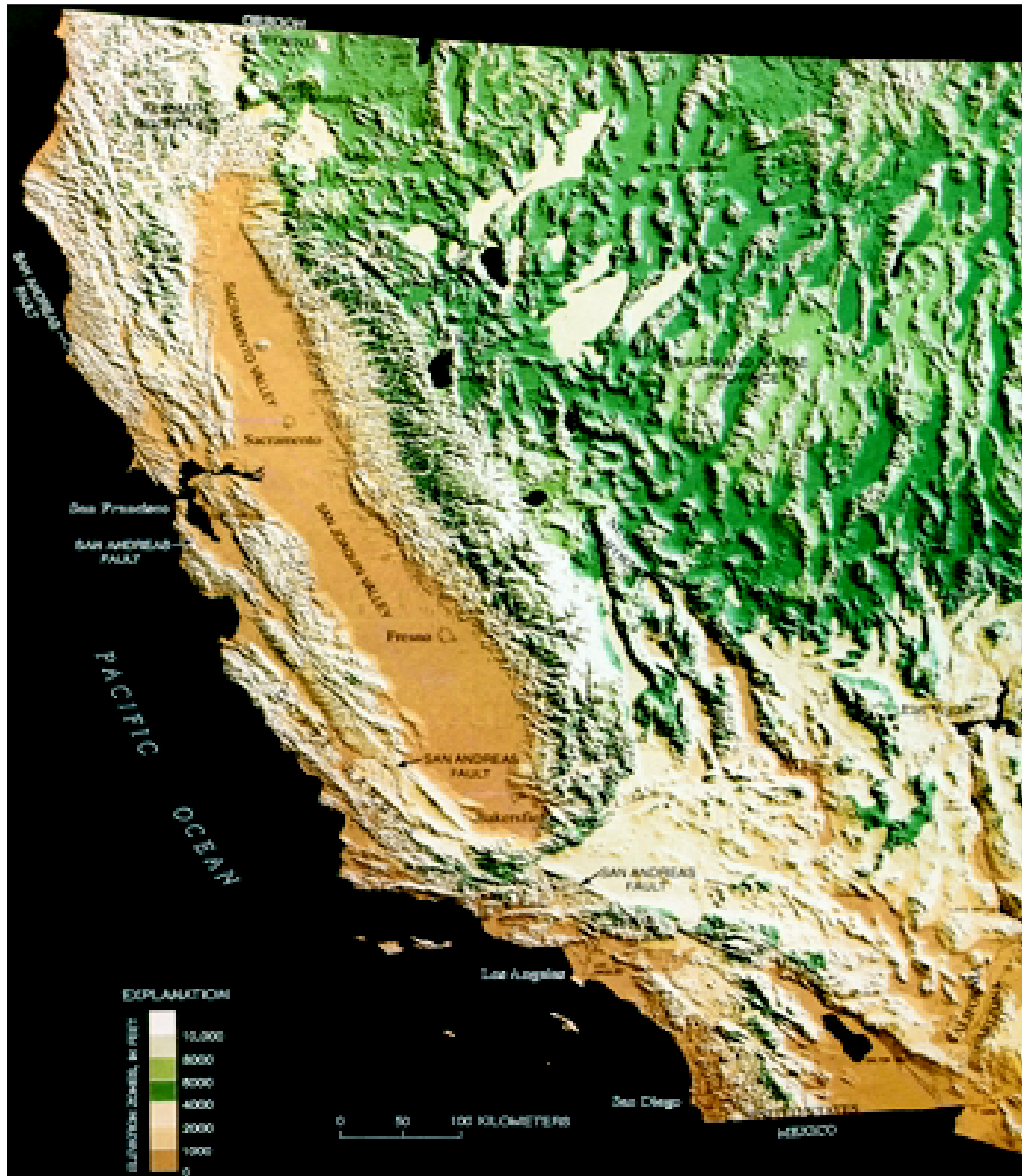
Τα διάφορα όρια εμφανίζονται όπου οι πλάκες κινούνται μακριά η μια από την άλλη έναν και μια λιθοσφαιρική πλάκα παράγεται. Μια θέση που αυτός ο χωρισμός εμφανίζεται είναι κατά μήκος



Σχ 1.8 γήινες τεκτονικές πλάκες



Σχ 1.9 διάγραμμα μοντέλων τεκτονικών πλακών



Σχ 1.10 το ρήγμα του SAN ANDREA στη Καλιφόρνια

του κέντρου των μεγάλων, υποβρύχιων κορυφογραμμών βουνών γνωστών όπως μέσω-ωκεάνιες κορυφογραμμές με μια διαδικασία γνωστή ως διάσωση θαλάσσιου πυθμένα (σχήμα 1.9). Στη διάδοση θαλάσσιου πυθμένα, η ωκεάνια κορυφογραμμή αναπτύσσει μια σειρά ρωγμών επέκτασης περισσότερο ή λιγότερο παράλληλες στο λόφο κορυφογραμμών. Κατά μήκος αυτών των ρωγμών η λιθόσφαιρα δημιουργεί σπασίματα ή ρωγμές χώρια. Πολλές από τις ρωγμές μέσα αυτή την υποβρύχια ζώνη εγχέονται με το λειωμένο βράχο από κάτω. Η νέα λιθόσφαιρα έχει διαμορφώσει αυτές οι ρωγμές να σταθεροποιηθούν, και οι τεκτονικές πλάκες έχουν από κάθε πλευρά χώρια ένα ποσοστό

δεκάδων σε μερικές εκατοντάδες των χιλιοστών κάθε έτος (σχήμα 1.9).

Τα συγκλίνοντα όρια εμφανίζονται όπου οι πλάκες συγκρούονται (Σχήμα 1.9). Κατά τη διάρκεια της σύγκρουσης, η υψηλότερη πυκνότητας πλάκα θα βυθιστεί κάτω από την πλάκα χαμηλότερης πυκνότητας. Η διαδικασία μιας τεκτονικής πλάκας που βυθίζεται κάτω από άλλη αποκαλείται υποπαραγωγή. Συγκλίνοντα όρια αυτού του τύπου καλούνται οι υποπαραχθείσες ζώνες και χαρακτηρίζονται από βαθύβιες τάφρους στον ωκεανό. Έντούτοις, εάν η αιχμή και των δύο πλακών αποτελείται από υλικό από σχετικά ίση πυκνότητα, είναι δυσκολότερο για να αρχίσει η υποπαραγωγή. Σε αυτήν την περίπτωση μια ηπειρωτική σύγκρουση πλακών στο όριο μπορεί να αναπτύξει βουνά, όπως τα Ιμαλάια στην κεντρική Ασία.

Η χαρτογράφηση του πυθμένα της θάλασσας δείχνει ότι οι κορυφογραμμές στο μέσω των ωκεανών δεν είναι συνεχείς αλλά αποτελούνται από μια σειρά απότομων ρωγμών που αντισταθμίζονται οι μεν από τους δε (σχήμα 1.9). Κατά μήκος των αντισταθμισμάτων είναι ο τρίτος τύπος ορίου πλακών, ένα όριο μετατροπής. Στα όρια πλακών μετατροπής δύο τεκτονικές πλάκες γλιστρούν η μια μετά από την άλλη κατά μήκος των γεωλογικών ρηγμάτων γνωστά ως ρήγματα μετατροπής. Αν και τα περισσότερα όρια μετατροπής εμφανίζονται στην ωκεάνια κρούστα, μερικές φορές εμφανίζονται και στις ηπείρους. Μια γνωστή ηπειρωτική μετατροπή ορίου είναι του San Andreas στην Καλιφόρνια, όπου ένα τμήμα του ειρηνικής πλάκας στη δυτική πλευρά το ρήγμα γλιστρά οριζόντια μετά από ένα τμήμα Βορειοαμερικανικής πλάκας στην ανατολική πλευρά του ρήγματος (Σχήμα 1.10).

**Τα καυτά σημεία** Όχι ολόκληρη η τεκτονική δραστηριότητα πραγματοποιείται στα όρια των πλακών. Σε διάφορες θέσεις στη γη, ηφαίστεια μέσα σε μια τεκτονική πλάκα σε θέσεις γνωστές ως καυτά σημεία. Ο λειωμένος βράχος που φθάνει στην επιφάνεια σε αυτά τα καυτά σημεία παράγεται βαθιά μέσα στο μανδύα, το συνθετικό στρώμα μεταξύ του πυρήνα και την κρούστα που αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του εσωτερικού της γης. Μερικά μακρόβια καυτά σημεία μπορούν να <<ταϊστούν>> από το λειωμένο βράχο που δημιουργείται στο όριο μεταξύ του πυρήνα και του μανδύα. Εν μέρει τα λειωμένα υλικά είναι καυτά και αρκετά επιπλέοντα να κινηθούν επάνω μέσω του μανδύα και μέσω της επικαλυπτόμενης τεκτονικής πλάκας. Ένα παράδειγμα ενός

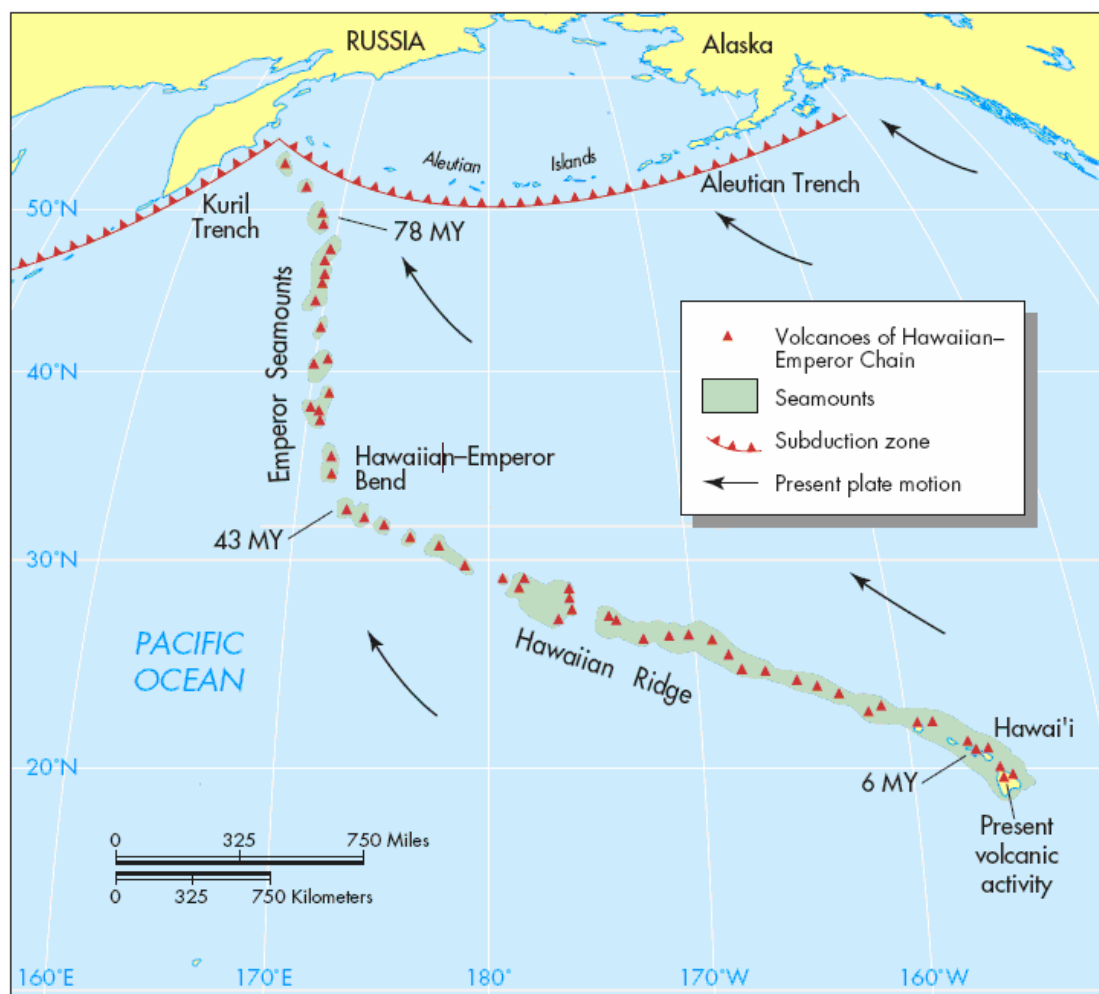
ηπειρωτικού καυτού σημείου είναι η ηφαιστειακή περιοχή που περιλαμβάνει το εθνικό πάρκο Yellowstone. Άλλα καυτά σημεία στο έδαφος είναι στην Αφρική. Τα καυτά σημεία εμφανίζονται στο ωκεανό του Ατλαντικού, του Ειρηνικού, και των ινδικών ωκεανών.

Εάν ένα καυτό σημείο δένεται σε αργή κίνηση στο βαθύ μανδύα, έπειτα αυτό θα παραμείνει σχετικά σταθερό στις κινήσεις της επιφάνειας των τεκτονικών πλακών πέρα από αυτό. Αυτή η κίνηση θα παραγάγει μια γραμμή ηφαιστειών όπως εκείνα της Χαβάης στον Ειρηνικό Ωκεανό (σχήμα 1.11). Κατά μήκος αυτής της αλυσίδας, η ηφαιστειακή σειρά βράχων που διαμορφώνουν σήμερα το μεγάλο νησί Hawaii ( νοτιοανατολικό σημείο), στους ηφαιστειακούς βράχους περισσότερα από 78 εκατομμύρια έτη πριν κοντά στο βόρειο τέλος της αλυσίδας. Με την εξαίρεση των νησιών της Χαβάης και των δαχτυλιδιών των κοράλλινων νησιών γνωστών ως ατόλλες, η αλυσίδα της Χαβάης-Emperor αποτελείται από τα υποβρύχια ηφαίστεια γνωστά ως θαλάσσια όρη. Πολλά από αυτά τα είναι πρώην νησιά που υποχώρησαν αφότου σταμάτησε το ηφαίστειό τους.

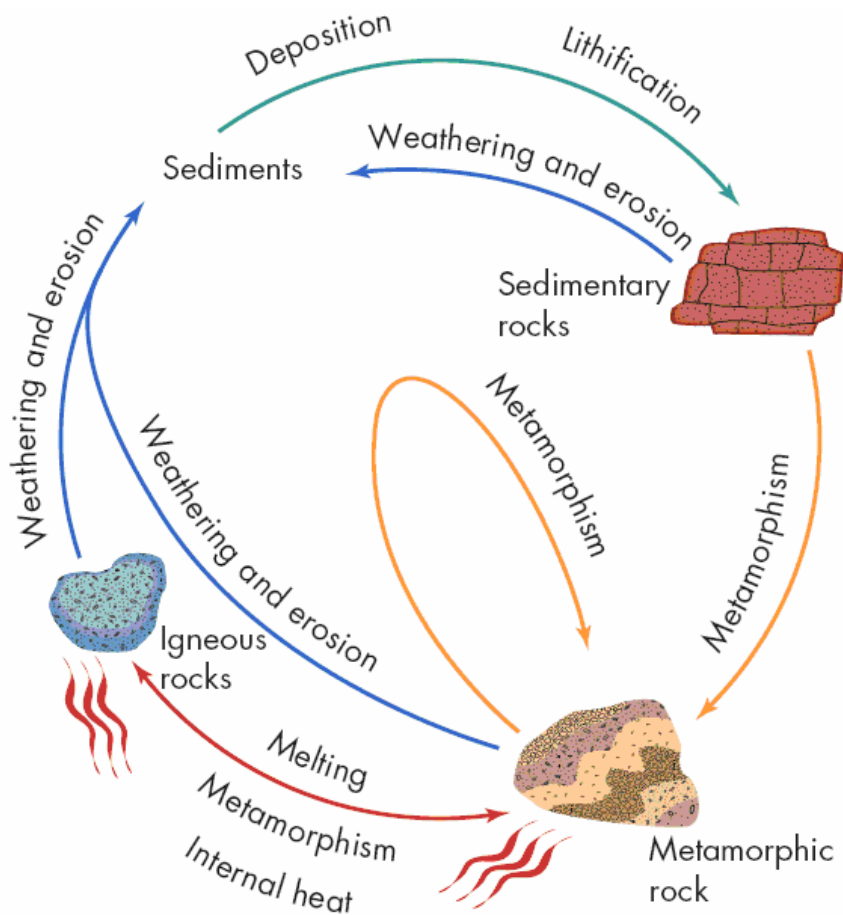
**Ο τεκτονικός κύκλος και οι φυσικοί κίνδυνοι.** Η σημασία του τεκτονικού κύκλου στους φυσικούς κινδύνους δεν μπορεί να τονιστεί. Οι κάτοικοι όλης της γης επηρεάζονται από την τεκτονική των πλακών. Καθώς οι πλάκες κινούνται αργά, με μέσο ποσοστό περίπου 50 χιλ. (2 μέσα.) το χρόνο, έτσι κάνει τις ηπείρους και τις ωκεάνιες λεκάνες, να παράγουν τις ζώνες των σεισμών και των ηφαιστειών. Οι τεκτονικές διαδικασίες καθορίζουν τα όρια των πλακών και κατά ένα μεγάλο μέρος τις ιδιότητες των βράχων και του εδάφους από τους οποία εξαρτώμαστε για την κατασκευή και γεωργία. Επιπλέον, η κίνηση των πλακών κατά τη διάρκεια εκατομμυρίων ετών τροποποιεί τα σχέδια των ωκεάνιων ρευμάτων, αυτές οι τροποποιήσεις επηρεάζουν το παγκόσμιο κλίμα καθώς επίσης και τις περιφερειακές παραλλαγές στην καθίζηση.

## Ο κύκλος βράχου

Οι βράχοι είναι ένα σύνολο ενός ή περισσότερων μεταλλευμάτων. Ένα μέταλλευμα είναι μια φυσική, κρυστάλλινη ουσία με καθορισμένες ιδιότητες. Ο κύκλος βράχου είναι ο μεγαλύτερος των γεωλογικών υπόκυκλων, και συνδέεται με όλους τους άλλους υπόκυκλους. Εξαρτάται από τον τεκτονικό κύκλο για τη θερμότητα και την ενέργεια, ο βιογεωχημικός κύκλος για τα υλικά, και ο υδρολογικός κύκλος για το νερό.



Σχ 1.11 κίνηση πλακών στα καυτά σημεία των νησιών της Χαβάης



Σχ 1.12 εξιδανικευμένη παρουσίαση του κύκλου βράχου και των σημαντικών διαδικασιών που τον διαμορφώνουν και δείχνει τις 3 οικογένειες των βράχων

Το νερό χρησιμοποιείται έπειτα από τις διαδικασίες της διάβρωσης, της μεταφοράς, της απόθεσης, του λιθιακού ιζήματος.

Αν και οι βράχοι ποικίλλουν πολύ στη σύνθεσή τους και τις ιδιότητες, μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις γενικούς τύπους, ή οικογένειες, σύμφωνα με το πώς διαμορφώθηκαν στον κύκλο βράχου. Μπορούμε να θεωρήσουμε αυτόν τον κύκλο μια παγκόσμια διαδικασία βράχος-ανακύκλωσης που οδηγείται από τη γήινη εσωτερική θερμότητα, η οποία λειώνει τους βράχους παράγοντας τον τεκτονικό κύκλο. Η κρυστάλλωση του λειωμένου βράχου παράγει τους πύρινους βράχους στη γήινη επιφάνεια. Οι βράχοι κοντά στην επιφάνεια αναλύονται χημικά και φυσικά με σκοπό να ξεπεράσουν και να διαμορφώσουν τα μόρια γνωστά ως ίζημα. Αυτά τα μόρια ποικίλλουν στο μέγεθος από το λεπτό άργιλο μέχρι τα πολύ μεγάλα κομμάτια του αμμοχάλικου λίθος-μεγέθους. Ίζημα που διαμορφώνεται από τη διάβρωση μεταφέρεται έπειτα από τον αέρα, το νερό, τον πάγο, και τη βαρύτητα στα στρώματα λεκανών όπως ο ωκεανός. Όταν η επιβράδυνση ρευμάτων αέρα ή νερού, λιώσιμο πάγου, ή το υλικό που κινείται από τη βαρύτητα φθάνει σε μια επίπεδη επιφάνεια, το ίζημα εγκαθίσταται και



συσσωρεύετε με μια διαδικασία γνωστή όπως απόθεση. Τα συσσωρευμένα στρώματα του ιζήματος υποβάλλονται τελικά στο <<lithification>> (μετατροπή σε στερεό βράχο), διαμορφώνοντας τους ιζηματώδεις βράχους. Το <<Lithification>> πραγματοποιείται κοντά στο τσιμεντάρισμα και τη συμπίεση και ως ίζημα θάβονται κάτω από άλλο ίζημα. Με το βαθύ ενταφιασμό, οι ιζηματώδη βράχοι μπορούν να μεταμορφωθούν (αλλαγμένος με μορφή) από τη θερμότητα, πίεση, ή χημικά ενεργά ρευστά παράγοντας μεταμορφικούς βράχους. Οι μεταμορφικοί βράχοι μπορούν να θαφτούν σε βάθη όπου οι όροι πίεσης και θερμοκρασίας τα αναγκάζουν να λειώσουν, αρχίζοντας τον ολόκληρο κύκλο βράχου πάλι. Όπως οποιοδήποτε γήινο κύκλο, υπάρχουν πολλές εξαιρέσεις ή παραλλαγές από την εξιδανικευμένη ακολουθία. Παραδείγματος χάριν, ένας πύρινος ή μεταμορφικός βράχος μπορεί να αλλάξουν σε έναν νέο μεταμορφικό βράχο χωρίς να υποβληθεί στη διάβρωση, ή ιζηματοποιήσεις και μεταμορφικοί βράχοι μπορεί να ανυψωθούν και να ξεπεραστούν προτού να μπορέσουν να συνεχιστούν προς το επόμενο στάδιο, τον κύκλο. Τέλος, υπάρχουν άλλες πηγές ιζήματος που έχουν μια βιολογική ή χημική προέλευση και τους τύπους μεταμόρφωσης που δεν περιλαμβάνουν βαθύ ενταφιασμό. Συνολικά, ο τύπος βράχου που διαμορφώνεται στον κύκλο βράχου εξαρτάται από το περιβάλλον του βράχου.

## **Ο υδρολογικός κύκλος**

Η μετακίνηση του νερού από τους ωκεανούς στην ατμόσφαιρα και πίσω πάλι καλείται υδρολογικός κύκλος (Σχήμα 1.13). Οδηγημένος από τη ηλιακή ενέργεια, ο κύκλος λειτουργεί μέσω της εξάτμισης, πτώση, απορροή επιφάνειας, την επιφάνεια ροή, και το νερό αποθηκεύεται στα διαφορετικά διαμερίσματα κατά μήκος του τρόπου. Σε αυτά τα διαμερίσματα περιλαμβάνονται οι ωκεανοί, η ατμόσφαιρα, οι ποταμοί και τα ρεύματα, υπόγεια νερά, λίμνες, και πολικοί παγετώνες. Ο χρόνος κατοικιών, ή κατ' εκτίμηση μέσο χρονικό διάστημα ότι μια σταγόνα νερού ξοδεύεται σε οποιοδήποτε διαμέρισμα, ποικίλλει από δεκάδες χιλιάδες έτη σε εννέα ημέρες στην ατμόσφαιρα.

Μόνο πολύ μικρή ποσότητα από το συνολικό νερό στον κύκλο είναι ενεργό κοντά στη γήινη επιφάνεια σε οποιοδήποτε χρόνο. Αν και συνδυάζει ποσοστό του νερού στην ατμόσφαιρα, ποταμοί, και το ρηχό κάτω από την επιφάνεια το περιβάλλον είναι μόνο το περίπου 0.3 τοις εκατό από το σύνολο, αυτό το νερό είναι παρά

πολύ σημαντικό για τη ζωή στη γη και για τα πετρώματα και τους βιογεωχημικούς κύκλους. Αυτή η επιφάνεια ή οι κοντινές επιφάνειες βοηθούν το νερό να κινείται.

## **Βιογεωχημικοί κύκλοι**

Ένας βιογεωχημικός κύκλος είναι η μεταφορά ή η ανακύκλωση στοιχείου ή στοιχείων μέσω της ατμόσφαιρας (το στρώμα δηλητηριάζει με αέρια την περιβάλλουσα γη), λιθόσφαιρα ( εξωτερικό στρώμα γης), υδρόσφαιρα (ωκεανοί, λίμνες, ποταμοί, και υπόγειος νερό), και βιόσφαιρα (το μέρος της γης όπου η ζωή υπάρχει). Προκύπτει από αυτόν τον καθορισμό ότι οι βιογεωχημικοί κύκλοι σχετίζονται στενά με τον τεκτονικό, βράχο, και υδρολογικό κύκλο. Ο τεκτονικός κύκλος παρέχει νερό από τις ηφαιστειακές διαδικασίες καθώς επίσης και τη θερμότητα και ενέργεια που απαιτείται για να διαμορφώσει και να αλλάξει τα γήινα υλικά μεταφερόμενος στους βιογεωχημικούς κύκλους. Ο βράχος και υδρολογικός είναι οι κύκλοι που περιλαμβάνονται σε πολλές διαδικασίες που μεταφέρουν χημικά στοιχεία στο νερό, το χώμα, και το βράχο.

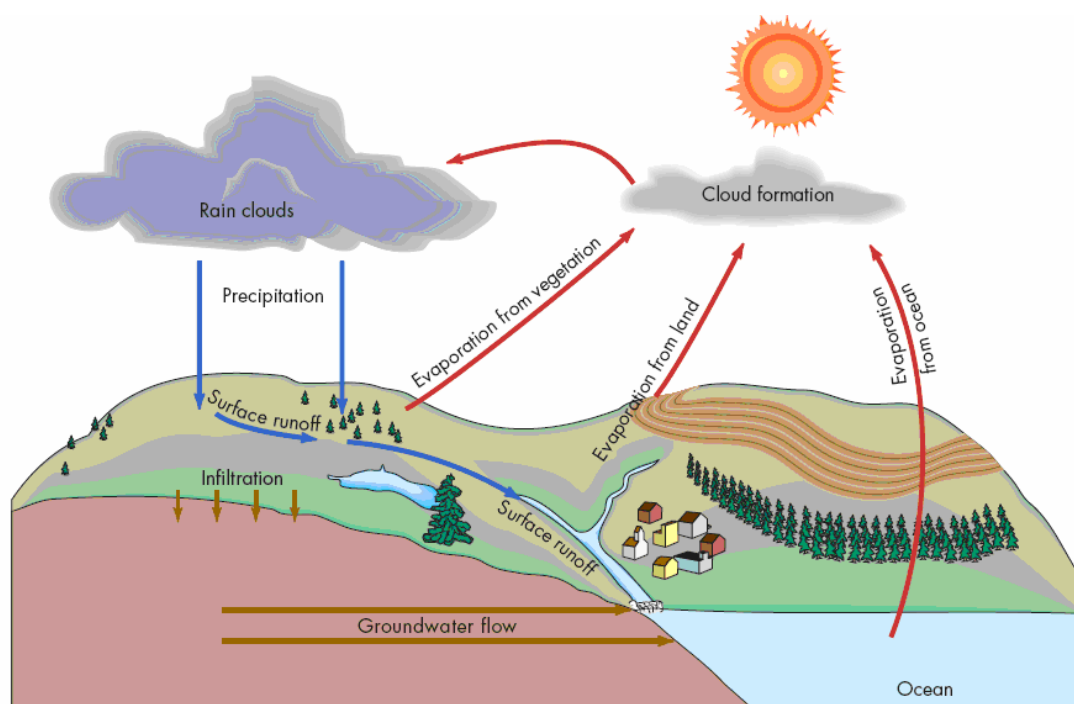
Οι βιογεωχημικοί κύκλοι μπορούν ο ευκολότερα να περιγραφούν σαν μεταφορά των χημικών στοιχείων μέσω μιας σειράς διαμερισμάτων ή δεξαμενές αποθήκευσης (π.χ., αέρας, χώμα, υπόγεια νερά, βλάστηση). Παραδείγματος χάριν, ο άνθρακας αναδίνεται από τα ζώα, εισάγεται στην ατμόσφαιρα, και λαμβάνεται έπειτα στις κοντινές εγκαταστάσεις. Όταν ένας βιογεωχημικός κύκλος γίνεται κατανοητός, το ποσοστό μεταφοράς, ή ροή, μεταξύ όλων των διαμερισμάτων είναι γνωστό. Εντούτοις, για τον καθορισμό αυτών των ποσοστών σε μια σφαιρική βάση είναι ένα πολύ δύσκολο έργο. Τα ποσά τέτοιων σημαντικών στοιχείων ως άνθρακα, άζωτο, και φώσφορο σε κάθε διαμέρισμα, και τα ποσοστά μεταφοράς τους μεταξύ τα διαμερίσματα, είναι περίπου γνωστά.

## 1.4 Θεμελιώδεις έννοιες για την κατανόηση φυσικών διαδικασιών ως κίνδυνοι

Οι πέντε έννοιες που περιγράφονται κατωτέρω είναι βασικές για την κατανόηση των φυσικών κινδύνων. Αυτοί θεμελιώδεις οι έννοιες χρησιμεύουν ως ένα εννοιολογικό πλαίσιο για τη συζήτηση κάθε φυσικού κινδύνου στα επόμενα κεφάλαια από αυτό το βιβλίο.

### 1. Οι κίνδυνοι είναι προβλέψιμοι από την επιστημονική αξιολόγηση.

Φυσικοί κίνδυνοι, όπως οι σεισμοί, ηφαιστειακοί οι εκρήξεις, καθιζήσεις εδάφους, και οι πλημμύρες, είναι φυσικές διαδικασίες που μπορούν να προσδιοριστούν και να μελετηθούν με τη χρήση επιστημονικής μεθόδου. Τα περισσότερα επικίνδυνα γεγονότα και οι διαδικασίες μπορούν να ελεγχθούν, να χαρτογραφηθούν, και να προβλέπεται μελλοντικά η δραστηριότητα τους βάσει της συχνότητας τους από τα προηγούμενα γεγονότα, σχέδια περιστατικών και τύποι γεγονότων προδρόμων.



Σχ 1.13 υδρολογικός κύκλος που παρουσιάζει τη διαδικασία μεταφοράς του νερού

**2. Η ανάλυση κινδύνου είναι ένα σημαντικό τμήμα για την κατανόηση των αποτελεσμάτων επικίνδυνων διαδικασιών.**

Οι επικίνδυνες διαδικασίες είναι υποκείμενες στην ανάλυση κινδύνου, το οποίο υπολογίζει την πιθανότητα που ένα γεγονός θα εμφανιστεί και οι συνέπειες του αποτελέσματος από αυτό το γεγονός. Παραδείγματος χάριν, εάν επρόκειτο να το υπολογίσουμε με οποιοδήποτε δεδομένο έτος Λος Άντζελες έχει πέντε τοις εκατό πιθανότητα ενός μέτριου σεισμού, και εάν ξέρουμε τη συνέπεια εκείνου του σεισμού από την άποψη της απώλειας από τη ζωή και τη ζημία, έπειτα μπορούμε να υπολογίσουμε τη δυνατότητα κινδύνου για την κοινωνία.

**3. Οι σύνδεσμοι υπάρχουν μεταξύ των διαφορετικών φυσικών κινδύνων όπως και μεταξύ των κινδύνων του φυσικού περιβάλλοντος.** Οι επικίνδυνες διαδικασίες συνδέονται από πολλές απόψεις. Για παράδειγμα, οι σεισμοί μπορεί να παράγουν τις καθιζήσεις εδάφους και τα γιγαντιαία κύματα θάλασσας (τσουνάμι), τους τυφώνες τις πλημμύρες και την παράκτια διάβρωση.

**4. Επικίνδυνα γεγονότα που παρήγαγαν προηγουμένως τις καταστροφές παράγουν τώρα τις φυσικές καταστροφές.**

Το μέγεθος, ή η διάσταση, ενός επικίνδυνου γεγονότος ή πόσο συχνά αυτό εμφανίζεται, μπορεί να επηρεαστεί από τη ανθρώπινη δραστηριότητα. Ως αποτέλεσμα της αύξησης του ανθρώπινου πληθυσμού και φτωχές πρακτικές χρήσης του εδάφους, τα γεγονότα που χρησιμοποίησαν για να προκαλέσουν τις καταστροφές είναι τώρα συχνά υπεύθυνα για την πρόκληση των καταστροφών.

**5. Οι συνέπειες των κινδύνων μπορούν να ελαχιστοποιηθούν.**

Η ελαχιστοποίηση των πιθανών δυσμενών συνεπειών και τα αποτελέσματα των φυσικών κινδύνων απαιτούν ενσωματωμένη προσέγγιση που περιλαμβάνει την επιστημονική κατανόηση, προγραμματισμό, χρήση του εδάφους, κανονισμούς, εφαρμοσμένη μηχανική και δυναμική προπαρασκευή καταστροφής.



## Οι κίνδυνοι είναι προβλέψιμοι από την επιστήμη

### Επιστήμη και φυσικοί κίνδυνοι

Η επιστήμη είναι σώμα της γνώσης που έχει προκύψει από έρευνες και πειράματα, τα αποτελέσματα των οποίων είναι υπό τον όρο της επαλήθευσης. Η μέθοδος επιστήμης, συχνά αναφερόμενη ως επιστημονική μέθοδος, έχει μια σειρά βημάτων. Το πρώτο βήμα είναι η διατύπωση μιας ερώτησης. Με σεβασμό σε ένα επικίνδυνο γεγονός, ένας γεωλόγος μπορεί να ρωτήσει: Γιατί μια καθίζηση εδάφους μπορεί να εμφανιστεί σε τρία σπίτια; Προκειμένου να ερευνηστεί και να απαντηστεί σε αυτήν την ερώτηση, ο γεωλόγος θα ξοδέψει χρόνο που εξετάζει την κλίση που απέτυχε. Μπορεί να παρατηρήσει ότι προκύπτει από τη βάση της κλίσης και καθίζηση εδάφους. Εάν ο γεωλόγος επίσης ξέρει ότι μια ίσαλη γραμμή θάβεται στην κλίση τότε μπορεί να υποβάλλει τη συγκεκριμένη ερώτηση: Το νερό στην κλίση προκάλεσε την καθίζηση εδάφους; Αυτή η ερώτηση είναι η βάση για μια υπόθεση που μπορεί να δηλωθεί ως εξής: Η καθίζηση εδάφους εμφανίστηκε επειδή θαμμένος κεντρικός αγωγός νερού έσπασε, προκαλώντας μια μεγάλη ποσότητα από το νερό για να εισαγάγει την κλίση, που μειώνει τη δύναμη και την πρόκληση της καθίζησης εδάφους. Συχνά μια σειρά οι ερωτήσεις ή οι πολλαπλάσιες υποθέσεις εξετάζονται.

Στο παράδειγμά μας, μπορούμε να εξετάσουμε την υπόθεση ότι ένας σπασμένος κεντρικός αγωγός νερού ανάγκασε μια καθίζηση εδάφους με την ανασκαφή της κλίσης για να καθορίσει την πηγή του νερού. Στην επιστήμη εξετάζουμε τις υποθέσεις μέσα μια προσπάθεια να ανασκευαστούν. Δηλαδή εάν βρήκαμε αυτόν δεν υπήρξε κανένας έχων διαρροή υδροσωλήνας στην κλίση στην οποία η καθίζηση εδάφους εμφανίστηκε, θα απορρίπταμε την υπόθεση και θα εξετάσουμε μια άλλη υπόθεση. Η χρήση της επιστημονικής μεθόδου έχει βελτιώσει την κατανόησή πολλών φυσικών γήινων διαδικασιών επεξεργάζονται,

συμπεριλαμβανομένης της πλημμύρας, ηφαιστειακές εκρήξεις, σεισμοί, τυφώνες, και παράκτια διάβρωση.

Στην επιστημονική μας μελέτη φυσικών διαδικασιών έχουμε προσδιορίσει τις περισσότερες από αυτές τις διαδικασίες που εμφανίζονται, και τη συχνότητα τους. Εμείς έχουμε χαρτογραφήσει επίσης τη φύση και την έκταση των κινδύνων. Συνδεδεμένα με τη γνώση της συχνότητας των γεγονότων στο παρελθόν, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τέτοιους χάρτες για να προβλέψουμε διαδικασίες όπως οι πλημμύρες, οι καθιζήσεις εδάφους, και οι σεισμοί που θα εμφανιστούν στο μέλλον. Έχουμε αξιολογήσει επίσης τα σχέδια και τους τύπους πρόδρομων γεγονότων. Παραδείγματος χάριν, πριν από οι μεγάλους σεισμούς μπορούν εκεί να είναι τινάγματα και πριν από τις ηφαιστειακές εκρήξεις η εκπομπή καυσαερίων μπορεί να κάνουν σήμα μια επικείμενη έκρηξη.

### **Οι κίνδυνοι είναι φυσικές διαδικασίες**

Από την αρχή της ανθρώπινης ύπαρξης, έχουμε υποχρεωθεί να προσαρμοστούμε στις διαδικασίες που καθιστούν τις ζωές μας δυσκολότερες. Οι άνθρωποι είμαστε προφανώς ένα προϊόν Πλειστόκαινες ηλικίες πάγου, οι οποίες ξεκίνησαν πάνω από 1.8 εκατομμύριο έτη πριν. Η πλειστόκαινη και ακολούθως η εποχή των παγετώνων έχουν χαρακτηριστεί από γρήγορες κλιματολογικές αλλαγές-από τις σχετικά κρύες, σκληρές παγετώδεις συνθήκες μόλις μερικές χιλιάδες έτη πριν σχετικά με τις θερμές μεσοπαγετωνικές συνθήκες που απολαμβάνουμε σήμερα. Η εκμάθηση να προσαρμοζόμαστε στις σκληρές και μεταβαλλόμενες κλιματολογικές συνθήκες έχει γίνει απαραίτητη για την επιβίωσή μας από την αρχή.

Τα γεγονότα που καλούμε φυσικούς κινδύνους είναι φυσικές γήινες διαδικασίες. Γίνονται επικίνδυνοι όταν οι άνθρωποι ζουν ή εργάζονται κοντά σε αυτές τις διαδικασίες, και όταν αλλάζει η χρήση του εδάφους με την αστικοποίηση ή την αποδάσωση που ενισχύουν την επίδραση τους. Για να μειωθεί η ζημία και η απώλεια ζωών, είναι επιτακτικό να προσδιοριστούν ενδεχομένως επικίνδυνες διαδικασίες και να κάνουν αυτές τις πληροφορίες διαθέσιμες στους αρμόδιους κατασκευαστές για το σχεδιασμό και τους αρμόδιους για τις αποφάσεις. Εντούτοις, επειδή οι κίνδυνοι που αντιμετωπίζουμε είναι φυσικοί και όχι το αποτέλεσμα των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, εμείς αντιμετωπίζουμε ένα φιλοσοφικό εμπόδιο όποτε προσπαθούμε να ελαχιστοποιήσουμε τα δυσμενή αποτελέσματα τους. Παραδείγματος χάριν, όταν εμείς

συνειδητοποιούμε ότι η πλημμύρα είναι ένα φυσικό μέρος της δύναμης των ποταμών, πρέπει να αναρωτηθούμε εάν είναι σοφότερο να προσπαθήσουμε να ελέγξουμε τις πλημμύρες ή απλά να σιγουρευτούμε ότι άνθρωποι και η ιδιοκτησία τους είναι εκτός των ζημιών που εμφανίζονται.

Αν και είναι δυνατό να ελεγχθούν μερικοί φυσικοί κίνδυνοι ως ένα βαθμό, πολλοί είναι εντελώς πέρα από τον έλεγχός μας. Παραδείγματος χάριν, αν και μπορούμε να έχουμε μερική επιτυχία στην παρεμπόδιση της ζημίας από τις δασικές πυρκαγιές με τη χρήση ελεγχόμενης καύσης και προηγμένες πυροσβεστικές τεχνικές, δεν θα είμαστε ποτέ σε θέση να αποτρέψουμε τους σεισμούς. Στην πραγματικότητα, εμείς μπορούμε πραγματικά να επιδεινώσουμε τα αποτελέσματα των φυσικών διαδικασιών απλά με το μαρκάρισμα τους ως επικίνδυνοι. Οι ποταμοί πάντα δοκιμάζονται με τις πλημμύρες. Επειδή επιλέγουμε να ζούμε και να εργαζόμαστε σε κοίτες πλημμυρών, έχουμε ονομάσει τις πλημμύρες επικίνδυνες διαδικασίες. Αυτή η ετικέτα έχει οδηγήσει σε προσπάθειες να ελέγχονται. Δυστυχώς, δεδομένου ότι θα συζητήσουμε αργότερα, μερικά μέτρα πλημμύρα-έλεγχος εντείνονται πραγματικά τα αποτελέσματα της πλημμύρας, με αυτόν τον τρόπο αυξάνοντας τον ίδιο τον κίνδυνο που προσπαθούμε να αποτρέψουμε (Κεφάλαιο 4). Η καλύτερη προσέγγιση στη μείωση κινδύνου είναι να προσδιοριστούν οι επικίνδυνες διαδικασίες και να σκιαγραφηθούν οι γεωγραφικές περιοχές όπου εμφανίζονται. Κάθε προσπάθεια πρέπει γίνεται για να αποφύγει στους ανθρώπους και την ιδιοκτησία τους ζημιά ειδικά για εκείνους τους κινδύνους, όπως οι σεισμοί, που δεν μπορούμε να ελέγξουμε.

## **Πρόβλεψη και προειδοποίηση**

Μαθαίνοντας πώς να προβλέψουμε τις καταστροφές έτσι μπορούμε να ελαχιστοποιήσουμε την ανθρώπινη απώλεια και τη ζημιά ιδιοκτησίας είναι μια σημαντική προσπάθεια. Για μερικούς φυσικούς κινδύνους έχουμε αρκετές πληροφορίες για να προβλέψουμε τα γεγονότα ακριβώς. Όταν υπάρχουν ανεπαρκείς πληροφορίες για να γίνουν ακριβείς οι προβλέψεις, το καλύτερο που μπορούμε να κάνουμε είναι να εντοπίζουμε τις περιοχές όπου καταστροφικά γεγονότα έχουν εμφανιστεί και να συμπεράνουμε που και πότε παρόμοια μελλοντικά γεγονότα θα πραγματοποιηθούν. Εάν ξέρουμε και τις δύο πιθανότητες και τις πιθανές συνέπειες ενός γεγονότος σε μια ιδιαίτερη θέση, μπορούμε να αξιολογήσουμε τον κίνδυνο στους ανθρώπους και την ιδιοκτησία τους, ακόμα κι αν δεν μπορούμε ακριβώς να

προβλέψουμε πότε θα εμφανιστεί. Τα αποτελέσματα ενός επικίνδυνου γεγονότος μπορούν να μειωθούν εάν αυτό μπορεί να προβλεφθεί και μια προειδοποίηση. Προσπάθεια για να γίνει αυτό περιλαμβάνει τα περισσότερα ή όλα τα ακόλουθα στοιχεία:

- Προσδιορισμός της θέσης ενός κινδύνου
- Καθορισμός της πιθανότητας που ένα γεγονός θα εμφανιστεί
- Προσδιορίζοντας οποιαδήποτε γεγονότα προδρόμων, πρόβλεψη γεγονότος, και έκδοση μιας προειδοποίησης

**Θέση** Για το μεγαλύτερο μέρος, ξέρουμε που ένα ιδιαίτερο είδος γεγονότος είναι πιθανό να εμφανιστεί. Σε μια παγκόσμια κλίμακα, σημαντικές ζώνες για τους σεισμούς και τις ηφαιστειακές εκρήξεις έχουν σκιαγραφηθεί από τη χαρτογράφηση (1) όπου σεισμοί έχουν εμφανιστεί, (2) η έκταση πρόσφατα διαμορφωμένη από ηφαιστειακούς βράχους, και (3) οι θέσεις από πρόσφατα ενεργά ηφαίστεια. Σε μια περιφερειακή κλίμακα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις προηγούμενες εκρήξεις για να προσδιορίσουμε τις περιοχές που είναι πιθανό να απειληθούν μέσα από μελλοντικές εκρήξεις. Αυτός ο κίνδυνος έχει σκιαγραφηθεί για αρκετά Ηφαίστεια καταρρακτών, όπως το Mt. Rainier καθώς επίσης και για διάφορα ηφαίστεια στην Ιαπωνία, Ιταλία, Κολομβία, και αλλού. Σε μια τοπική κλίμακα, λεπτομερής χαρτογράφηση των χωμάτων, βράχων, υπόγειων νερών, και αποξήρανση επιφάνειας μπορεί να προσδιορίσει τις κλίσεις που είναι πιθανό να πέσουν ή όπου τα επεκτατικά χώματα υπάρχουν. Στις περισσότερες περιπτώσεις μπορούμε να προβλέψουμε πού είναι πιθανό η πλημμύρα να εμφανιστεί από τη θέση της κοίτης πλημμυρών και από τη χαρτογράφηση της έκτασης των πρόσφατων πλημμυρών.

**Πιθανότητα του περιστατικού** που καθορίζει την πιθανότητα από ένα ιδιαίτερο γεγονός σε μια ιδιαίτερη θέση μέσα σε ιδιαίτερη χρονική έκταση είναι ένα βασικό μέρος μιας πρόβλεψης κινδύνου. Για πολλούς ποταμούς, έχουμε αρκετά μακροχρόνια αρχεία από τη ροή για να αναπτύξουμε τα πρότυπα πιθανότητας που μπορούν εύλογα να προβλέψουν το μέσο αριθμό πλημμυρών που θα εμφανιστούν σε μια δεκαετία. Επιπλέον, ξηρασίες μπορούν να οριστούν με μια πιθανότητα βάσει των προηγούμενων βροχοπτώσεων στην περιοχή. Εντούτοις, αυτές οι πιθανότητες είναι παρόμοιες με τις πιθανότητες επιστροφής ενός ιδιαίτερου αριθμού σε έναν κύβο ή σύροντας έναν εσωτερικό κατ' ευθείαν στο πόκερ-στοιχείο, η πιθανότητα είναι πάντα παρούσα. Αν και η δέκα ετών πλημμύρα μπορεί εμφανιστεί κατά μέσον όρο μόνο μία φορά κάθε 10 έτη, είναι δυνατό να έχει διάφορες

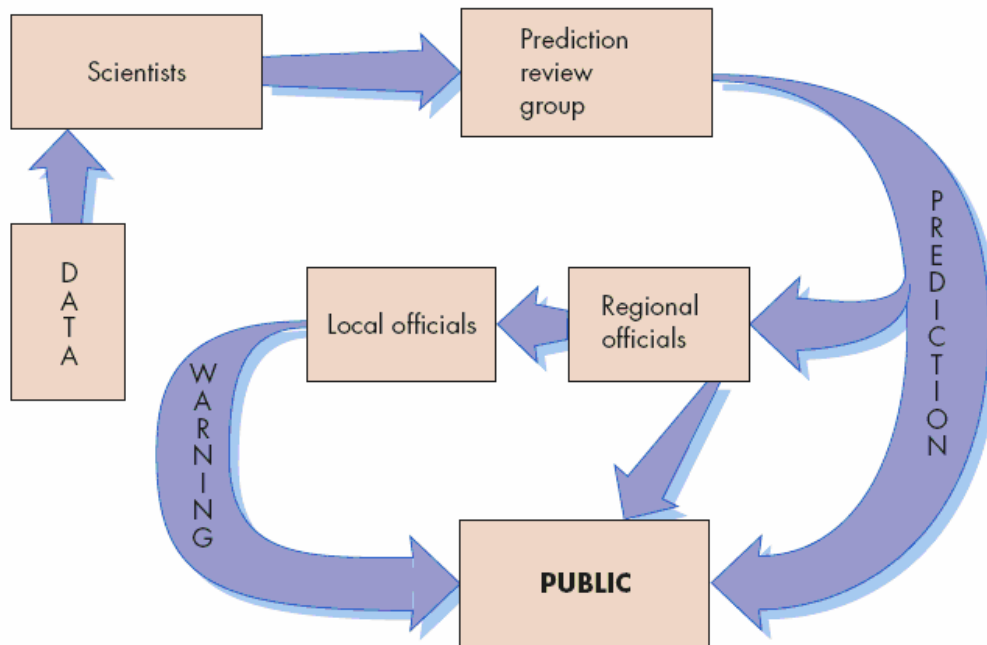


πλημμύρες αυτού του μεγέθους σε οποιοδήποτε έτος, ακριβώς όπως είναι δυνατό να ριχτούν δύο εξάρες με ένα κύβο.

**Πρόδρομα γεγονότα.** Πολλά επικίνδυνα γεγονότα προηγούνται από τα γεγονότα προδρόμων. Παραδείγματος χάριν, η επιφάνεια του εδάφους μπορεί να συρθεί (δηλαδή αργή κίνηση για μια μεγάλη περίοδο από το χρόνο) πριν από μια πραγματική καθίζηση εδάφους. Συχνά, το ποσοστό αύξησης ερπυσμού μέχρι την τελική πτώση και την καθίζηση εδάφους αλλάζει. Τα ηφαίστεια πρήζονται μερικές φορές ή διογκώνονται πριν από μια έκρηξη, και συχνά η δραστηριότητα σεισμού αυξάνεται σημαντικά μέσα στην περιοχή. Η δόνηση ή η ασυνήθιστη άνοδος του εδάφους μπορεί να προηγηθεί των σεισμών. Ο προσδιορισμός των προδρόμων γεγονότων βοηθά τους επιστήμονες να προβλέψουν όταν και που ένα μεγάλο γεγονός είναι πιθανό να συμβεί. Κατά συνέπεια, η τεκμηρίωση του ερπυσμού καθιζήσεων εδάφους ή της διόγκωσης από ένα ηφαίστριο μπορεί να οδηγήσει τις αρχές για να εκδώσει μια προειδοποίηση εκκένωσης ανθρώπων από μια επικίνδυνη περιοχή.

**Πρόβλεψη** Με μερικές φυσικές διαδικασίες είναι δυνατό για να προβλέψει ακριβώς πότε το γεγονός θα φθάσει. Πλημμύρα από το ποτάμι Μισισσιπή την άνοιξη, σε απάντηση από τα χιόνια που έλιωσαν ή πολύ μεγάλα περιφερειακά συστήματα θύελλας, είναι αρκετά προβλέψιμα. Στην πραγματικότητα, η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία μπορεί συχνά να προβλέψει πότε ο ποταμός θα φθάσει σε έναν ιδιαίτερο στάδιο πλημμυρών. Όταν οι τυφώνες επισημαίνονται μακριά έξω από τη θάλασσα και κινούμενα προς την ακτή, μπορούμε να προβλέψουμε όταν και που θα χτυπήσουν πιθανώς το έδαφος. Τσουνάμι, μεγάλα ωκεάνια κύματα που παράγονται από τους σεισμούς κάτω από τον πυθμένα θάλασσας και από άλλες διαταραχές, μπορούν επίσης να προβλεφθούν. Αυτοί οι προβλέψεις είναι δυνατές εάν υπάρχει ένα σύστημα προειδοποίησης σε θέση για να ανιχνεύσει τα κύματα και εάν υπάρχει ικανοποιητική απόσταση μέχρι τα κύματα να αρχίζουν να εμφανίζονται στην ακτή. Ένα σύστημα προειδοποίησης τσουνάμι ήταν αρκετά επιτυχές στη λεκάνη Ειρηνικών Ωκεανών, και σε μερικές περιπτώσεις που ο χρόνος άφιξης των κυμάτων έχει προβλεφθεί ακριβώς. Δυστυχώς, το 2004 η Ειρηνική Ωκεάνια λεκάνη ήταν η μόνη λεκάνη που είχε ένα τέτοιο σύστημα.

**Η προειδοποίηση** Μετά από ένα επικίνδυνο γεγονός που έχει γίνει προειδοποίηση ή μια πρόβλεψη, το κοινό πρέπει να προειδοποιηθεί. Η ροή πληροφοριών που οδηγεί στην προειδοποίηση ενός πιθανού γεγονότος όπως ένας μεγάλος σεισμός



σχ 1.14 πρόβλεψη η προειδοποίηση κινδύνου για μια φυσική καταστροφή

η πλημμύρας-πρέπει να κινηθεί κατά μήκος μιας προκαθορισμένης πορείας (σχ 1.14). Το κοινό δεν καλοσωρίζει πάντα τέτοιες προειδοποιήσεις, εντούτοις, ειδικά όταν το προβλεφθέν γεγονός δεν ήρθε. Το 1982, μετά την συμβουλή από τους γεωλόγους ότι μια ηφαιστειακή έκρηξη κοντά στις λίμνες Μαμούθ, Καλιφόρνια, ήταν αρκετά πιθανή, η συμβουλευτική προκαλούμενη απώλεια τουρισμού και ανησυχία εκ μέρους των κατοίκων. Η έκρηξη δεν εμφανίστηκε και ο συμβουλευτικός ανυψώθηκε τελικά. Τον Ιούλιο του 1986, μια σειρά σεισμών εμφανίστηκε σε περίοδο τεσσάρων ημερών στην Καλιφόρνια, στην ανατολική οροσειρά Νεβάδα, αρχίζοντας με ένα μέγεθος 3 και κατέληξε σε ένα καταστρεπτικό μέγεθος 6.1 ρίχτερ. Οι ερευνητές συμπέραναν ότι υπήρξε μια μεγάλη πιθανότητα ενός μεγαλύτερου σεισμού στην περιοχή στο κοντινό μέλλον και προειδοποίησαν. Τοπικοί ιδιοκτήτες επιχειρήσεων, οι οποίοι φοβισμένοι από την απώλεια του θερινού τουρισμού, θεώρησαν ότι η προειδοποίηση ήταν ανεύθυνη, στην πραγματικότητα, ο προβλεφθείς σεισμός δεν πραγματοποιήθηκε ποτέ.

Τα γεγονότα αυτού του είδους έχουν οδηγήσει μερικούς ανθρώπους να καταλήξουν πως εκείνες οι επιστημονικές προβλέψεις είναι άνευ αξίας και οι συμβουλευτικές προειδοποιήσεις δεν πρέπει να εκδοθούν. Μέρος του προβλήματος είναι φτωχή επικοινωνία μεταξύ της έρευνας και των μέσων μαζικής ενημέρωσης. Οι εκθέσεις από εφημερίδα, τηλεόραση, διαδίκτυο, και ραδιόφωνο μπορούν να αποτύχουν να εξηγήσουν τα στοιχεία ή την πιθανολογική φύση της πρόβλεψης καταστροφής, που οδηγεί το κοινό για να αναμείνει απολύτως στις δηλώσεις για αυτό που θα συμβεί. Αν και οι επιστήμονες δεν είναι ακόμα ικανοί να προβλέψουν τις ηφαιστειακές εκρήξεις και τους σεισμούς επακριβώς, θα φαίνονταν ότι έχουν μια ανταπόκριση στο να κοινοποιήσουν τις ενημερωμένες κρίσεις τους. Ένα ενημερωμένο κοινό είναι καλύτερα ικανό να ενεργήσει υπεύθυνα από ανενημέρωτο κοινό, ακόμα κι αν το θέμα κάνει τους ανθρώπους ανήσυχους. Καπετάνιοι σκαφών, οι οποίοι εξαρτώνται από τις συμβουλές για τον καιρό και τις προειδοποιήσεις για τις αλλαγές συνθηκών, δεν προτείνουν ότι θα ήταν καλύτερο να μη γνωρίζουν μια επικείμενη θύελλα, ακόμα κι αν η τρικυμία να στρέψει και χάσουν το σκάφος. Ακριβώς όπως οι καιρικές προειδοποιήσεις έχουν αποδειχθεί πολύ χρήσιμες για το σχεδιασμό, επίσημων προειδοποιήσεων των κινδύνων όπως οι σεισμοί, καθιζήσεις εδάφους, και πλημμύρες είναι επίσης χρήσιμες στους ανθρώπους που αποφασίζουν πού να ζήσουν, να εργαστούν, και να ταξιδέψουν.

Εξετάστε ακόμα μια φορά την πρόβλεψη μιας ηφαιστειακής έκρηξης στην περιοχή λιμνών της Καλιφόρνιας. Η τοποθεσία και το βάθος των σεισμών που προτείνονται στους επιστήμονες ότι ο λειωμένος βράχος κινούταν προς την επιφάνεια. Σε μια υψηλή πιθανότητα που το ηφαίστειο θα εκραγεί και η πιθανή απώλεια ζωής εάν αυτό γινόταν θα ήταν ανευθυνότητα για τους επιστήμονες να μην εκδώσουν μια προειδοποίηση. Αν και η προβλεφθείς έκρηξη δεν εμφανίστηκε, η προειδοποίηση οδήγησε στην ανάπτυξη των διαδρομών εκκένωσης και την εκτίμηση προπαρασκευής της καταστροφής. Αυτό το σχέδιο μπορεί να αποδειχθεί πολύ χρήσιμο, για την πιθανότητα ότι μια ηφαιστειακή έκρηξη θα εμφανιστεί στις λίμνες Μαμούθ στο μέλλον. Το πιο πρόσφατο γεγονός εμφανίστηκε μόνο 600 έτη πριν! Ως αποτέλεσμα της πρόβλεψης, η κοινότητα είναι καλύτερα ενημερωμένη από ήταν πριν και έτσι είναι ικανότερη να εξετάσει μια έκρηξη όταν εμφανίζεται.

## Η αξιολόγηση του κινδύνου είναι ένα σημαντικό συστατικό της κατανόησής των αποτελεσμάτων των επικίνδυνων διαδικασιών

Προτού να μπορέσουν οι άνθρωποι να συζητήσουν και να εξετάσουν τις ρυθμίσεις στους κινδύνους, πρέπει να έχουν μια καλή ιδέα του ρίσκου που αντιμετωπίζουν στις διάφορες περιστάσεις. Η αξιολόγηση του κινδύνου αυξάνεται γρήγορα, και η αίτησή του στην ανάλυση των φυσικών κινδύνων πιθανώς να είναι επεκταμένος.

**Ο κίνδυνος** ενός ιδιαίτερου γεγονότος ορίζεται ως το προϊόν από την πιθανότητα της εμφάνισης εκείνου του γεγονότος και τις συνέπειες εάν εμφανιζόταν. Συνέπειες (ζημίες στους ανθρώπους, ιδιοκτησία, οικονομική δραστηριότητα, δημόσιες υπηρεσίες, και ούτω καθεξής) μπορούν να εκφραστούν σε ποικίλες κλίμακες. Εάν, παραδείγματος χάριν, εξετάζουμε τον κίνδυνο ζημίας ενός σεισμού σε έναν πυρηνικό αντιδραστήρα, μπορούμε να αξιολογήσουμε τις συνέπειες της ακτινοβολίας που απελευθερώνεται, η οποία έπειτα μπορεί να αφορά τις ζημίες στους ανθρώπους και άλλα βιώσιμα πράγματα. Σε οποιαδήποτε τέτοια αξιολόγηση, είναι σημαντικό να υπολογιστούν οι κίνδυνοι για διάφορα πιθανά γεγονότα-σε αυτό το παράδειγμα, για τους σεισμούς διάφορων μεγεθών. Ένα μεγάλο γεγονός έχει μια χαμηλότερη πιθανότητα από ένα μικρό, αλλά οι συνέπειές του είναι πιθανό να είναι σπουδαιότερες.

Ο καθορισμός του *αποδεκτού κινδύνου* είναι πιο περίπλοκος, για τον κίνδυνο ότι η κοινωνία ή τα άτομα είναι πρόθυμα να πάρουν εξαρτήσεις από την κατάσταση. Η οδήγηση ενός αυτοκινήτου είναι αρκετά επικίνδυνη, αλλά οι περισσότεροι από μας δέχονται εκείνο τον κίνδυνο ως τμήμα διαβίωσης σε ένα μοντέρνο κόσμο. Από την άλλη πλευρά για πολλούς ανθρώπους το ενδεχόμενο ρίσκο από εγκαταστάσεις πυρηνικής ενέργειας είναι πολύ χαμηλό επειδή θεωρούν ότι σχεδόν ποτέ δεν υπάρχει κίνδυνος δηλητηρίασης από ακτινοβολία. Οι εγκαταστάσεις πυρηνικής ενέργειας είναι αμφισβητούμενοι επειδή πολλοί άνθρωποι τις αντιλαμβάνονται σαν υψηλού κινδύνου εγκαταστάσεις. Ακόμα κι αν η πιθανότητα ατυχήματος εξ αιτίας ενός γεωλογικού κινδύνου όπως ένας σεισμός μπορεί να είναι

αρκετά χαμηλός, οι συνέπειες θα μπορούσαν να είναι καταστρεπτικές, σε έναν σχετικά υψηλό κίνδυνο.

Σε ένα μεμονωμένο επίπεδο, είναι σημαντική η αναγνώριση ότι έχετε κάποιο βαθμό επιλογής σχετικά με το επίπεδο κινδύνου που είστε πρόθυμοι να ζήσετε. Για τα πιο πολλά μέρη, εσείς μπορεί να επιλέξετε που θα ζήσετε. Εάν κινείστε προς την ακτή της βόρειας Καρολίνας, πρέπει να συνειδητοποιήσετε ότι τίθεστε στην πορεία των ενδεχομένως θανάσιμων τυφώνων. Εάν επιλέγετε να ζήσετε στο Λος Άντζελες, είναι ιδιαίτερα πιθανό ότι στη διάρκεια ζωής σας θα δοκιμαστείτε από ένα σεισμό. Τότε γιατί οι άνθρωποι ζουν σε επικίνδυνες περιοχές; Ίσως σας προσφέρθηκε μια τέλεια εργασία στη βόρεια Καρολίνα, ή η γοητεία του θερμού καιρού, τα βουνά, και ο ωκεανός σας τράβηξαν στο Λος Άντζελες. Σε οποιαδήποτε περίπτωση, ως άτομα πρέπει μάθετε να ζυγίζετε τα πλεονεκτήματα - και - μειονεκτήματα της διαβίωσης σε μια περιοχή και να αποφασίσετε εάν αξίζει ή όχι τον κίνδυνο. Αυτή η αξιολόγηση πρέπει να εξεταστεί για τους παράγοντες όπως την πιθανή ερήμωση που προκαλείται από ένα γεγονός, η συχνότητα του γεγονότος, και την έκταση της γεωγραφικής περιοχής σε κίνδυνο, και πρέπει να συγκρίνει αυτούς τους παράγοντες με πιθανά οφέλη στην υψηλού κινδύνου περιοχή. Κατά αυτόν τον τρόπο καθορίζουμε τον κίνδυνο που αποδεχόμαστε, ο οποίος μπορεί ποικίλλει από άτομο σε άτομο.

Ένα συχνό πρόβλημα της ανάλυσης κινδύνου είναι έλλειψη αξιόπιστων στοιχείων για την ανάλυση είτε της πιθανότητας είτε των συνεπειών ενός γεγονότος. Μπορεί να είναι πολύ δύσκολο να οριστούν οι πιθανότητες σε γεωλογικά γεγονότα όπως οι σεισμοί και οι ηφαιστειακές εκρήξεις, επειδή τα υπάρχοντα αρχεία του παρελθόντος για αυτά τα γεγονότα είναι συχνά ανεπαρκή. Ομοίως, μπορεί να είναι πολύ δύσκολος ο καθορισμός των συνεπειών ενός γεγονότος ή σειρά γεγονότων. Παραδείγματος χάριν, εάν ενδιαφερόμαστε για τις συνέπειες της απελευθέρωσης της ακτινοβολίας στο περιβάλλον, χρειαζόμαστε πολλές πληροφορίες για τον τοπική βιολογία, γεωλογία, υδρολογία, και μετεωρολογία, που μπορεί να είναι σύνθετο και δύσκολο να αναλυθούν. Αυτοί οι περιορισμοί και η ανάλυση κινδύνου είναι ένα βήμα προς τη σωστή κατεύθυνση. Δεδομένου ότι μαθαίνουμε περισσότερα για τον καθορισμό της πιθανότητας και τις συνέπειες ενός επικίνδυνου γεγονότος, πρέπει να είμαστε σε θέση να παρέχουμε τις πιο αξιόπιστες αναλύσεις απαραίτητες για τη λήψη αποφάσεων.



## **Σύνδεσμοι ανάμεσα στους φυσικούς κινδύνους και τους κινδύνους στο φυσικό περιβάλλον**

Σύνδεσμοι μεταξύ των φυσικών διαδικασιών που είναι επικίνδυνοι στους ανθρώπους χωρίζονται γενικά σε δύο κατηγορίες. Κατ' αρχάς, πολλοί από τους κινδύνους συνδέονται. Για παραδείγματα, όπως οι τυφώνες συνδέονται συχνά με την πλημμύρα, και η έντονη πτώση που συνδέεται με τους τυφώνες μπορεί να προκαλέσει τη διάβρωση κατά μήκος της ακτής και των καθιζήσεων εδάφους στις εσωτερικές κλίσεις. Ηφαιστειακές εκρήξεις στο έδαφος συνδέονται με λασποροές και τις πλημμύρες, και οι εκρήξεις στον ωκεανό συνδέονται με τα τσουνάμι. Δεύτερον, οι φυσικοί κίνδυνοι συνδέονται με τα γήινα υλικά. Εκθέσεις από το σχιστόλιθο, ένα τύπος ιζηματώδους βράχου που αποτελείται από αόριστα τσιμενταρισμένα και συμπιεσμένα μόρια αργίλου, είναι επιρρεπή σε καθιζήσεις εδάφους. Αφ' ενός ο γρανίτης, ένας τύπος πετρώματος που είναι γενικά ισχυρό και ανθεκτικό, είναι επιρρεπής σε ολίσθηση κατά μήκος των μεγάλων σπασιμάτων μέσα στο βράχο.



## **Επικίνδυνα γεγονότα που προηγουμένως παρήγαγαν καταστροφές τώρα παράγουν φυσικές καταστροφές**

Νωρίς στην ιστορία των ειδών μας, η προσπάθειά μας με τις γήινες διαδικασίες ήταν πιθανό μια καθημερινή εμπειρία. Εντούτοις, οι αριθμοί μας ήταν σπουδαία συγκεντρωμένοι, έτσι οι απώλειες από τις επικίνδυνες γήινες διαδικασίες δεν ήταν πολύ σημαντικές. Έτσι οι άνθρωποι έμαθαν να παράγουν για πολλά

χρόνια, αφθονία τροφίμων, ο πληθυσμός αυξήθηκε και συγκεντρώθηκαν σε κοντινές πηγές τροφίμων. Η συγκέντρωση του πληθυσμού και οι πόροι αύξησαν επίσης τα αποτελέσματα της επίδρασης των σεισμών, τις πλημμύρες, και άλλες ενδεχομένως επικίνδυνες φυσικές διαδικασίες. Αυτή η τάση έχει συνεχιστεί, έτσι πολλοί άνθρωποι ζουν σήμερα σε περιοχές που πιθανά να βλαφθούν από τις επικίνδυνες γήινες διαδικασίες ή είναι ευαίσθητες σε επίδραση τέτοιων διαδικασιών στις παρακείμενες περιοχές. Επειδή η αύξηση στον πληθυσμό βάζει έναν μεγαλύτερο αριθμό ανθρώπων σε κίνδυνο και επίσης αναγκάζει περισσότερους ανθρώπους να εγκατασταθούν σε επικίνδυνες περιοχές, η ανάγκη για προγραμματισμό αυξάνεται για να ελαχιστοποιηθούν απώλειες από τις φυσικές καταστροφές.

### **Παραδείγματα καταστροφών σε πυκνοκατοικημένες περιοχές**

Η Πόλη του Μεξικού είναι το κέντρο της πιο πυκνοκατοικημένης περιοχής του κόσμου. Περίπου 23 εκατομμύρια άνθρωποι είναι συγκεντρωμένοι σε μια περιοχή περίπου 2300 km<sup>2</sup>. Οι οικογένειες σε αυτήν την περιοχή υπολογίζονται κατά μέσο όρο από πέντε μέλη, και υπολογίζεται ότι το ένα τρίτο των οικογενειών ζει σε ένα μονόκλινο δωμάτιο. Η πόλη στηρίζεται στους πυθμένες που ενισχύουν το τίναγμα σε έναν σεισμό, και μέρη της πόλης έχουν βυθιστεί πολλά εκατοστόμετρα το χρόνο από την άντληση του υπόγειου νερού. Η καθίζηση δεν είναι ομοιόμορφη, έτσι τα κτίρια γέρνουν και είναι πιο ευαίσθητα σε σεισμό. Το Σεπτέμβριο του 1985, το Μεξικό υπέμεινε ένα μέγεθος σεισμού 8.0 ρίχτερ που σκότωσε περίπου 10.000 ανθρώπους στην Πόλη του Μεξικού.

Ένα άλλο παράδειγμα προέρχεται από τους σεισμούς στο Izmit, της Τουρκίας, το 1999. Αυτοί οι σεισμοί σκότωσαν πάνω από 17.000 ανθρώπους επειδή πραγματοποιήθηκαν κοντά σε πυκνοκατοικημένη περιοχή όπου πολλά κτήρια ήταν κακής κατασκευής.

Ένας λόγος ότι οι σεισμοί στην πόλη του Μεξικού και του Izmit προκάλεσε τέτοια μεγάλη απώλεια ζωής ήταν επειδή πολλοί άνθρωποι ζούσαν στις επηρεασθείσες περιοχές. Εάν καθένας από αυτούς τους σεισμούς είχε εμφανιστεί σε λιγότερο πυκνά εποικημένος περιοχές, λιγότεροι θάνατοι θα είχαν υπάρξει.

## **Ανθρώπινη πληθυσμιακή αύξηση**

Ο παγκόσμιος πληθυσμός έχει περισσότερο από τριπλασιαστεί τα τελευταία 70 έτη. Μεταξύ 1830 και 1930, ο παγκόσμιος πληθυσμός διπλασιάστηκε από 1 έως 2 δισεκατομμύριο ανθρώπους. Μέχρι το 1970 είχε σχεδόν διπλασιαστεί και πάλι, και μέχρι το 2000 ήταν περίπου 6 δισεκατομμύρια άνθρωποι στη γη. Αυτή η γρήγορη αύξηση στον πληθυσμό είναι μερικές φορές η αποκαλούμενη πληθυσμιακή βόμβα, επειδή ο εκθέτης αύξησης των ανθρώπινων πληθυσμών έχει ως αποτέλεσμα σε μια εκρηκτική αύξηση στους αριθμούς (σχήμα 1.15). Εκθετική αύξηση σημαίνει ότι ο πληθυσμός αυξάνεται κάθε έτος όχι από προσθήκη ενός σταθερού αριθμού ανθρώπων μάλλον, αυτό αυξάνεται από την προσθήκη ενός σταθερού ποσοστού τρέχοντος πληθυσμού. Εντούτοις, είναι ο ίδιος ο εκθέτης που είναι επικίνδυνος στην επιβίωσή μας. Έτσι υπάρχει περισσότερη έκθεση στις επικίνδυνες φυσικές διαδικασίες, αυξανόμενη ρύπανση, μειωμένη διαθεσιμότητα των τροφίμων και καθαρό νερό κατανάλωσης, και μια μεγαλύτερη ανάγκη για τη διάθεση αποβλήτων. Η ερώτηση είναι: Θα είναι ικανός ο πλανήτης να υποστηρίξει τόσους πολλούς ανθρώπους;

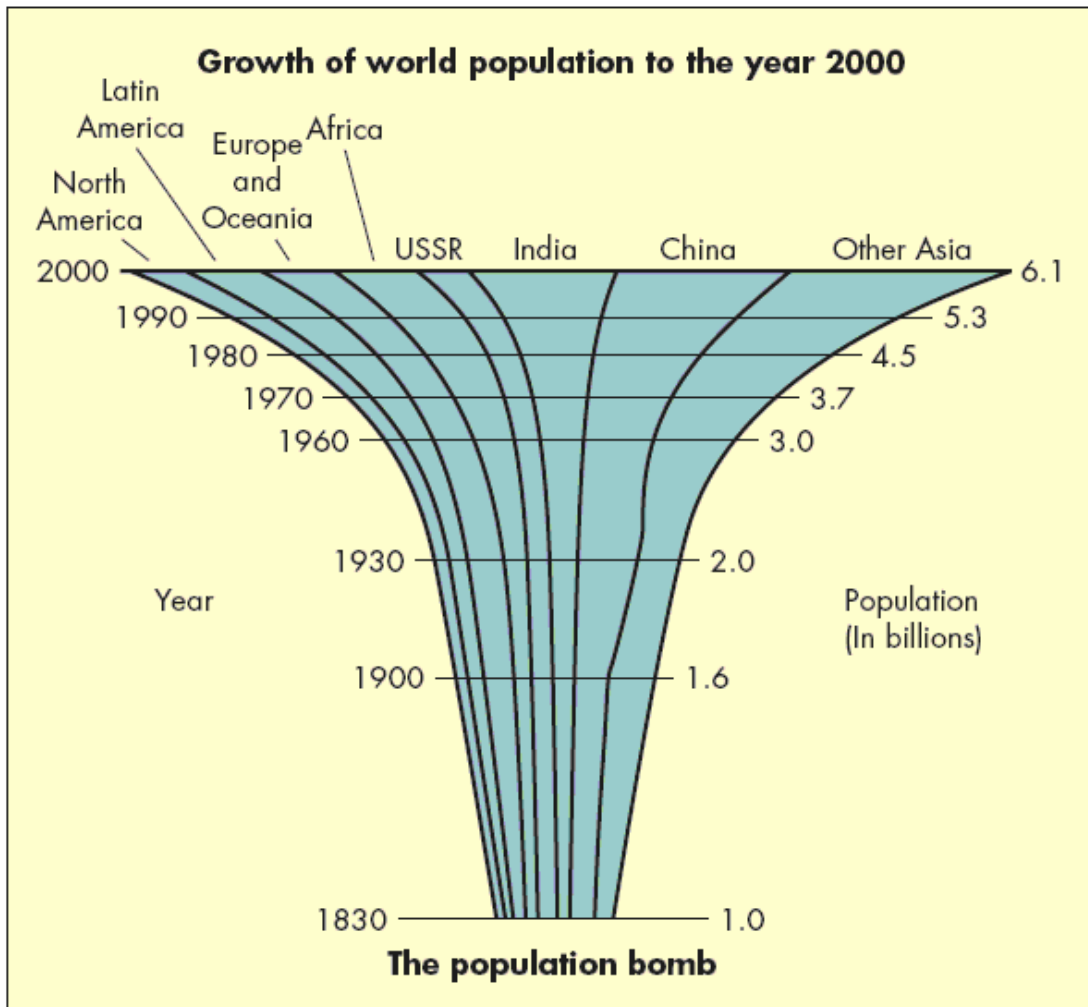
Δεν υπάρχει καμία εύκολη απάντηση στο πρόβλημα πληθυσμών, αλλά ο ρόλος της εκπαίδευσης είναι κυρίαρχος. Δεδομένου ότι οι άνθρωποι (ιδιαίτερα γυναίκες) είναι πιο εκπαιδευμένοι, το ποσοστό αύξησης του πληθυσμού τείνει να μειωθεί. Όσο το ποσοστό βασικής εκπαίδευσης αυξάνεται, η πληθυσμιακή αύξηση μειώνεται. Λαμβάνοντας υπόψη την ποικιλία των πολιτισμών, των τιμών, και των κανόνων στον κόσμο σήμερα, φαίνεται ότι η μέγιστη ελπίδα μας για τον πληθυσμό είναι ο έλεγχος μέσω της εκπαίδευσης.

## **Μέγεθος και συχνότητα από τα επικίνδυνα γεγονότα**

Ο αντίκτυπος ενός επικίνδυνου γεγονότος είναι εν μέρει μια λειτουργία του ποσού της ενέργειας που απελευθερώνεται, δηλ., το μέγεθός του, και το διάστημα μεταξύ των περιστατικών, δηλ., η συχνότητά του. Ο αντίκτυπός τους επηρεάζεται επίσης από πολλούς άλλους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του κλίματος, γεωλογία, βλάστηση, πληθυσμός, και χρήση γης. Γενικά, η συχνότητα ενός γεγονότος είναι αντιστρόφως ανάλογα με το μέγεθος. Μικροί σεισμοί, παραδείγματος χάριν, είναι πιο κοινός



από ότι οι μεγαλύτεροι. Ένα μεγάλο γεγονός, όπως μια ογκώδης δασική πυρκαγιά, θα κάνει πολύ περισσότερα ζημιά από ένα μικρό, περιλαμβανόμενο έγκυαμα. Εντούτοις, τέτοια γεγονότα είναι πολύ λιγότερο συχνά από τα μικρότερα. Επομένως, αν και οι αρμόδιοι για το σχεδιασμό πρέπει να προετοιμαστούν για μεγάλα καταστρεπτικά γεγονότα, η πλειοψηφία των πυρκαγιών που καταστέλλονται είναι τα μικρότερα.



Σχ 1.15 η πληθυσμιακή βόμβα

## 1.1 Περιπτωσιολογική μελέτη

### Ο ανθρώπινος πληθυσμός μέσα στην ιστορία

Η αύξηση στον αριθμό του πληθυσμού στον πλανήτη μας μπορεί να είναι σχετικός με τα διάφορα στάδια ανθρώπινης ανάπτυξης. Όταν ήμασταν κυνηγοί, οι αριθμοί μας ήταν πολύ μικροί και τα ποσοστά αύξησης πολύ χαμηλά. Με τη γεωργία, τα ποσοστά πληθυσμιακής αύξησης είχαν ως αποτέλεσμα μια σταθερή

προσφορά τροφίμων. Κατά τη διάρκεια της πρόωρης βιομηχανικής περιόδου (1600 έως 1800 Μ.Χ.) τα ποσοστά αυξήθηκαν πάλι περίπου 10 φορές. Από τη βιομηχανική Επανάσταση, με τη σύγχρονη υγιεινή και την ιατρική, τα ποσοστά αυξήθηκαν άλλες 10 φορές. Ο ανθρώπινος πληθυσμός έφτασε τα 6 δισεκατομμύρια το 2000, και μέχρι το 2013 θα είναι 7 δισεκατομμύρια. Αυτό το 1 δισεκατομμύριο νέων ανθρώπων έγινε μόνο μέσα σε 13 έτη. Από η σύγκριση, συνολικός ανθρώπινος πληθυσμός έφθασε σε 1 δισεκατομμύριο μόνο περίπου 1800 Μ.Χ., μετά από πάνω από 40.000 έτη ιστορίας της ανθρωπότητας!

## **Πληθυσμιακή αύξηση και Μέλλον**

Επειδή ο γήινος πληθυσμός αυξάνεται εκθετικά, πολλοί επιστήμονες ανησυχούν για το ότι μέσα στην πρώτη εικοσαετία θα είναι αδύνατο να παρασχεθούν οι πόροι και ένα υψηλής ποιότητας περιβάλλον για τα δισεκατομμύρια των ανθρώπων που προστέθηκαν στον παγκόσμιο πληθυσμό. Ο αυξανόμενος πληθυσμός στις τοπικές, περιφερειακές, και σφαιρικές ενώσεις σχεδόν όλοι οι κίνδυνοι, συμπεριλαμβανομένων των πλημμυρών, καθιζήσεις εδάφους, ηφαιστειακές εκρήξεις, και σεισμούς.

Δεν υπάρχει καμία εύκολη απάντηση στο πρόβλημα πληθυσμών. Στο μέλλον μπορούμε να είμαστε σε θέση να παράγουμε μαζικά αρκετά τρόφιμα από τη γεωργία ή να χρησιμοποιήσουμε τεχνητές μεθόδους αύξησης. Εντούτοις, τα αρκετά τρόφιμα δε λύνουν τα προβλήματα του διαστήματος διαθέσιμο στους ανθρώπους και τη διατήρηση ή τη βελτίωση της ποιότητας ζωής τους. Μερικές μελέτες προτείνουν ότι ο παρών πληθυσμός είναι ήδη επάνω από μια άνετη ικανότητα μεταφοράς για τον πλανήτη. Η ικανότητα μεταφοράς είναι ο μέγιστος αριθμός ανθρώπων που η γη μπορεί να <<κρατήσει>> χωρίς πρόκληση περιβαλλοντικής υποβάθμισης που μειώνει τη δυνατότητα του πλανήτη στην υποστήριξη του πληθυσμού.

Το μεγαλύτερο μέρος της πληθυσμιακής αύξησης στον εικοστό πρώτο αιώνα θα είναι στα αναπτυσσόμενα έθνη. Η Ινδία πιθανώς θα έχει το μέγιστο πληθυσμό όλων των χωρών μέχρι το 2050, που θα είναι περίπου 18 τοις εκατό του συνολικού παγκόσμιου πληθυσμού, η Κίνα θα έχει περίπου 15 τοις εκατό. Μέχρι το 2050 αυτές οι δύο χώρες θα έχουν το ένα τρίτο του συνολικού πληθυσμού!

Οι ειδήσεις σχετικά με την ανθρώπινη πληθυσμιακή αύξηση δεν είναι κακές -για την πρώτη φορά τα προηγούμενα 50 έτη το ποσοστό αύξησης στον ανθρώπινο πληθυσμό μειώνεται. Η

αύξηση μπορεί να είχε οξύνει σε 85 εκατομμύρια ανθρώπους το χρόνο προς το τέλος της δεκαετίας του '80, και μέχρι το 1995 η αύξηση μειώθηκε σε 80 εκατομμύρια νέους ανθρώπους το χρόνο. Αυτή η μείωση είναι ένα κύριο σημείο στην ανθρώπινη πληθυσμιακή αύξηση και είναι ενθαρρυντικό. Από μια αισιόδοξη άποψη, είναι δυνατό ότι ο παγκόσμιος πληθυσμός των 6 δισεκατομμυρίων ατόμων το 2000 μπορεί να μην διπλασιαστεί ξανά. Αν και η πληθυσμιακή αύξηση είναι δύσκολο στο να προγραμματιστεί λόγω των μεταβλητών όπως η γεωργία, υγιεινή, ιατρική, πολιτισμός, και εκπαίδευση, από το 2050 ο ανθρώπινος πληθυσμός προβλέπεται για να είναι μεταξύ 7.3 και 10.7 δισεκατομμύρια. Η μείωση πληθυσμού είναι πλέον σχετική με την εκπαίδευση των γυναικών, η απόφαση να παντρεύει αργότερα στη ζωή, και τη διαθεσιμότητα σύγχρονων σε γέννηση-ελέγχου μεθόδων. Εντούτοις, μέχρι το ποσοστό αύξησης να είναι μηδέν, ο πληθυσμός θα συνεχίσει να αυξάνεται. Εάν ο ρυθμός ανάπτυξης είναι μειωμένος σε 0.7% το χρόνο, δηλ., μισό του πρόσφατου ποσοστού 1.4%, ο ανθρώπινος πληθυσμός θα διπλασιαστεί μέσα σε 100 έτη.

## **1.2 Περιπτωσιολογική μελέτη**

### **Η έννοια μέγεθος-συχνότητα**

Η έννοια μέγεθος-συχνότητας βεβαιώνει ότι υπάρχει γενικά μια αντίστροφη σχέση μεταξύ του μεγέθους από ένα γεγονός και τη συχνότητά του. Με άλλα λόγια, η μεγαλύτερη πλημμύρα, η λιγότερο συχνά εμφάνιση μιας τέτοιας πλημμύρας. Η έννοια περιλαμβάνει επίσης την ιδέα ότι ένα μεγάλο μέρος της εργασίας της διαμόρφωσης της γήινης επιφάνειας επηρεάζεται από το μέγεθος και τη συχνότητα, αν και κοινές διαδικασίες με το χαμηλό μέγεθος και την υψηλή συχνότητα ή ακραία γεγονότα υψηλού μεγέθους και χαμηλής συχνότητας.

Σαν αναλογία στην έννοια μέγεθος-συχνότητα, εξετάζουμε την εργασία της καταγραφής ενός δάσους που γίνεται από τερμίτες, ανθρώπινους έμπορους ξυλείας, και ελέφαντες. Οι τερμίτες είναι πολυάριθμοι και εργάζονται αρκετά σταθερά, αλλά είναι τόσο μικροί που δεν μπορούν ποτέ να κάνουν αρκετή εργασία για να καταστρέψουν όλα τα δέντρα. Οι άνθρωποι είναι λιγότεροι και εργάζονται λιγότερο συχνά, αλλά όντας ισχυρότεροι από τους τερμίτες μπορούν να ολοκληρώσουν περισσότερη εργασία σε έναν δεδομένο χρόνο. Αντίθετα από τους τερμίτες, οι άνθρωποι μπορούν τελικά να καταρρίψουν τα περισσότερα από τα δέντρα.

(σχήμα 1.A). Οι ελέφαντες είναι ισχυρότεροι και μπορούν να ρίξουν κάτω πολλά δέντρα σε σύντομο χρονικό διάστημα, αλλά εκεί υπάρχουν μόνο μερικοί και επισκέπτονται σπάνια το δάσος. Μακροπρόθεσμα οι ελέφαντες εργάζονται λιγότερο από τους ανθρώπους και επιφέρουν μικρότερη αλλαγή.



Σχήμα 1.A αλλαγή της ανθρώπινης κλίμακας

Στην αναλογία μας είναι άνθρωποι που, με σύγχρονη δαπάνη της ενέργειας και του χρόνου, κάνουν την περισσότερη εργασία και αλλάζουν το δάσος πιο δραστικά. Ομοίως, φυσικά γεγονότα με μέτριες ενεργειακές δαπάνες και μέτρια συχνότητα είναι συχνά οι σημαντικότεροι διαμορφωτές του τοπίου. Παραδείγματος χάριν, το μεγαλύτερο μέρος του ιζήματος φερμένο από τους ποταμούς στις περιοχές με ένα υπόυγρο κλίμα, όπως στις ανατολικές Ηνωμένες Πολιτείες, μεταφέρεται από ροές μέτριου μεγέθους και συχνότητας. Εντούτοις, υπάρχουν πολλές εξαιρέσεις. Στις ξηρές περιοχές, παραδείγματος χάριν, ένα μεγάλο μέρος του ιζήματος στα κανονικά ξηρά κανάλια μπορεί να είναι μεταφερόμενο από τις σπάνιες ροές υψηλός-μεγέθους παραχθείσες έντονες αλλά σπάνιες καταιγίδες. Κατά μήκος των κοραλλιογενών ακτών των ανατολικών Ηνωμένων Πολιτειών, υψηλού-μεγέθους θύελλες κόβουν συχνά τους κολπίσκους που προκαλούν τις σημαντικές αλλαγές στο σχέδιο και στη ροή του ιζήματος.

Η χρήση γης μπορεί άμεσα να έχει επιπτώσεις στο μέγεθος και τη συχνότητα των γεγονότων. Παίρνοντας το ποτάμι Μισισσιπή,

παραδείγματος χάριν. Για χρόνια έχουμε προσπαθήσει να μειώσουμε την απειλή των πλημμυρών κοντά στην οικοδόμηση των αναχωμάτων κατά μήκος του ποταμού. Εντούτοις, η επίδραση των αναχωμάτων είναι στη σύσφιξη στο πλάτος του ποταμού, και το μειωμένο πλάτος δημιουργεί μια δυσχέρεια που αυξάνει το ύψος από τα νερά της πλημμύρας προς τα πάνω. Στην πραγματικότητα, οι προσπάθειές μας να μειωθούν οι πλημμύρες μπορούν πραγματικά να γίνουν μεγαλύτερες, συχνότερες πλημμύρες προς τα πάνω.

Δύο από τις χειρότερες καταστροφές φυσικών κινδύνων ήταν τα τελευταία χρόνια ο τυφώνας Mitch και η πλημμύρα του ποταμού Yangtze στην Κίνα, και οι δύο μέσα στο 1998. Ο τυφώνας Mitch, ο οποίος κατέστρεψε την κεντρική Αμερική, προκάλεσε περίπου 11.000 θανάτους, ενώ οι πλημμύρες στον ποταμό Yangtze οδήγησαν σε σχεδόν 4.000 θανάτους. Οι αλλαγές στη χρήση του εδάφους έκαναν τη ζημία από αυτά τα ιδιαίτερα γεγονότα. Παραδείγματος χάριν, η Ονδούρα έχει χάσει σχεδόν τα μισά από τα δάση της, και μια πυρκαγιά 11,000 km<sup>2</sup> εμφανίστηκε στην περιοχή πριν από τον τυφώνα. Ως αποτέλεσμα της αποδάσωσης και της πυρκαγιάς, βουνοπλαγιές γκρεμίστηκαν και μαζί αγροκτήματα, σπίτια, δρόμοι, και γέφυρες. Στην κεντρική Κίνα η ιστορία είναι σχεδόν η ίδια τα τελευταία χρόνια στο Yangtze η λεκάνη ποταμών έχει χάσει περίπου το 85% του δάσους με συνέπεια τη συγκομιδή ξυλείας και τη μετατροπή του εδάφους στη γεωργία. Ως αποτέλεσμα αυτών των αλλαγών χρήσης του εδάφους, πλημμυρίζει επάνω ο ποταμός Yangtze είναι πιθανώς πιο κοινό από ήταν προηγουμένως.

Αυτές και άλλες καταστροφές που προκαλούνται από φυσικές διαδικασίες μπορεί να είναι μια έγκαιρη προειδοποίηση των πραγμάτων που θα έρθουν.



## **Οι συνέπειες των κινδύνων μπορούν να ελαχιστοποιηθούν**

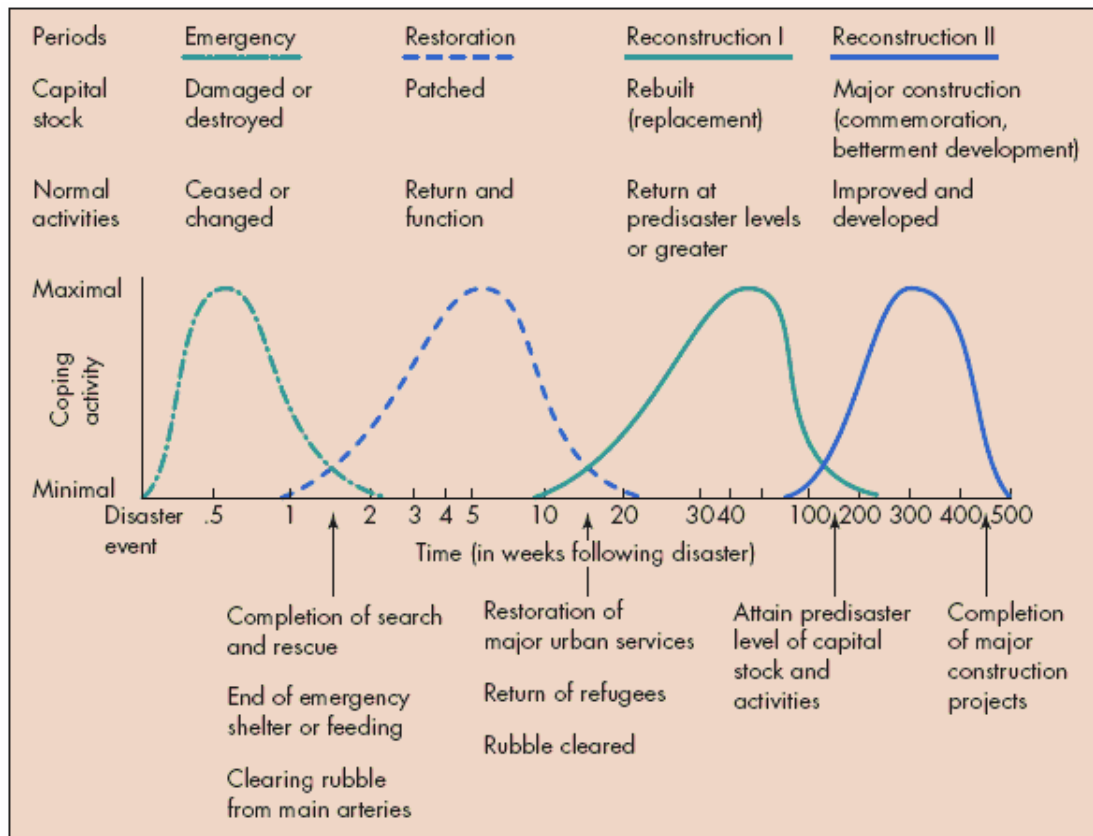
Οι τρόποι με τους οποίους εξετάζουμε τους κινδύνους είναι πάρα πολύ συχνά πρώτιστα αντιδραστικοί-μετά από μια καταστροφή συμμετέχουμε στην αναζήτηση και διάσωση, πυρόσβεση, και

παρέχουμε βοήθεια τρόφιμα, νερό, και στέγη. Δεν υπάρχει καμία άρνηση ότι αυτές οι δραστηριότητες μειώνουν την απώλεια ζωής και την ιδιοκτησία και πρέπει να είναι συνεχιζόμενες. Εντούτοις, μια κίνηση προς ένα υψηλότερο επίπεδο κινδύνου ή μείωση απαιτεί αυξανόμενες προσπάθειες που προσδοκούν καταστροφές και τα αποτελέσματά τους. Χρήση του εδάφους που προγραμματίζει τα όρια κατασκευής στις επικίνδυνες θέσεις, κίνδυνος-ανθεκτικότητα κατασκευής, και τροποποίηση ή έλεγχος κινδύνου (όπως τα κανάλια ελέγχου πλημμυρών) είναι μερικές από τις ρυθμίσεις που προσδοκούνται μελλοντικά καταστρεπτικά γεγονότα και μπορεί να μειωθεί η ευπάθειά μας σε αυτά.

### **Αντιδραστική απάντηση: Αντίκτυπος και αποκατάσταση από τις καταστροφές**

Η επίδραση μιας καταστροφής επάνω σε έναν πληθυσμό μπορεί να είναι άμεσος ή έμμεση. Τα άμεσα αποτελέσματα περιλαμβάνουν τους ανθρώπους που σκοτώνονται, τραυματίζονται, ή πληγώνονται από ένα ιδιαίτερο γεγονός. Τα έμμεσα αποτελέσματα είναι γενικά απαντήσεις στην καταστροφή. Περιλαμβάνουν το συναισθηματικό κίνδυνο, δωρεά χρημάτων ή αγαθών, και η πληρωμή των φόρων που επιβάλλονται για την αποκατάσταση. Τα άμεσα αποτελέσματα γίνονται αισθητά από λιγότερα άτομα, ενώ τα έμμεσα αποτελέσματα έχουν επιπτώσεις σε περισσότερους ανθρώπους.

Τα στάδια της αποκατάστασης μετά από μια καταστροφή είναι εργασία έκτακτης ανάγκης, αποκατάσταση των υπηρεσιών και γραμμές επικοινωνίας, και αναδημιουργία (σχήμα 1.16). Εμείς μπορούμε να δούμε αυτά τα στάδια στην ακολουθία δραστηριοτήτων αποκατάστασης του σεισμού στο Northridge το 1994 στην περιοχή του Λος Άντζελες. Η αποκατάσταση άρχισε σχεδόν αμέσως με την επισκευή των δρόμων και της χρήσης κεφαλαίων από ομοσπονδιακά προγράμματα, ασφαλιστικές εταιρείες, και άλλες πηγές που έφθασαν στις πρώτες εβδομάδες και μήνες μετά το σεισμό. Οι πληγείσες περιοχές έπειτα κινήθηκαν γρήγορα από τη φάση αποκατάστασης προς αναδημιουργία I περίοδος, οι οποίες υπολογίστηκαν για να ολοκληρωθούν περίπου το έτος 2000.



Σχ1.16 αποκατάσταση της καταστροφής

Καθώς κινούμαστε τώρα στην αναδημιουργία II περίοδος είναι σημαντικό να αναφερθούν τα μαθήματα από δύο προηγούμενες καταστροφές: το 1964 τους σεισμούς σε Anchorage, Αλάσκα, και την ξαφνική πλημμύρα που κατάστρεψε την πόλη Ράπιντ, νότια Ντακότα, το 1972. Η ακόλουθη αποκατάσταση μετά το σεισμό του Anchorage άρχισε σχεδόν αμέσως σε απάντηση της τεράστιας εισροής των δολαρίων από τα ομοσπονδιακά προγράμματα, ασφαλιστικές εταιρείες, και άλλες πηγές περίπου ένα μήνα μετά το σεισμό. Αναδημιουργία που κινήθηκε γρήγορα αφού ο καθένας προσπάθησε να λάβει όσα περισσότερα κεφάλαια από τα διαθέσιμα. Στην πόλη Ράπιντ, η αποκατάσταση ξεκίνησε περίπου 10 εβδομάδες μετά από την πλημμύρα, και η κοινότητα πήρε το χρόνο να σκεφτεί προσεκτικά μέσω καλύτερων εναλλακτικών λύσεων. Κατά συνέπεια, η πόλη Ράπιντ χρησιμοποιεί σήμερα το έδαφος στην κοίτη πλημμυρών με έναν εξ ολοκλήρου διαφορετικό τρόπο, και ο κίνδυνος πλημμυρών μειώθηκε πολύ. Αντιθέτως, στο Anchorage η γρήγορη αποκατάσταση και η αναδημιουργία ήταν συνοδευόμενος από φτωχό προγραμματισμό χρήσης του εδάφους. Διαμερίσματα και άλλα κτήρια κατασκευάστηκαν βιαστικά απέναντι σε περιοχές που είχαν υποστεί επίγεια ρήξη εδάφους και ήταν προετοιμασμένη

απλά να συμπληρώσει τις ρωγμές και να επαναδιαβαθμίσει την επιφάνεια του εδάφους. Με την αδιαφορία των πιθανών οφελών ο προσεκτικός προγραμματισμός χρήσης του εδάφους, σε Anchorage έχει γίνει τρωτός στον ίδιο τύπο σεισμού που χτύπησε το 1964. Στην πόλη Ράπιντ, η κοίτη πλημμυρών αποτελεί τώρα μια πράσινη ζώνη με τα γήπεδα του γκολφ και μια τέτοια δυνατότητα-αλλαγή έχει μειώσει τον κίνδυνο πλημμυρών.

Στην περίπτωση του Northridge, τα αποτελέσματα του σεισμού στις εθνικές οδούς και τις γέφυρες, κτήρια, και άλλες δομές έχουν αξιολογηθεί προσεκτικά. Ο στόχος είναι να καθοριστούν εφαρμοσμένα μηχανικά πρότυπα για την κατασκευή των νέων δομών ή την ενίσχυση των παλαιότερων δομών κατά τη διάρκεια της αναδημιουργίας II περιόδου (σχήμα 1.16). Οι μελλοντικοί μέτριοι έως μεγάλοι σεισμοί είναι σίγουροι για την περιοχή του Λος Άντζελες. Επομένως, εμείς χρειάζεται να συνεχίσουμε τις προσπάθειες ώστε να μειωθούν οι κίνδυνοι από τους σεισμούς.

### **Προκαταβολική απάντηση: Αποφυγή και προσαρμοσμένος στους κινδύνους**

Οι επιλογές που κάνουμε, χωριστά ή ως κοινωνία, για την αποφυγή ή την ελαχιστοποίηση των αποτελεσμάτων των καταστροφών εξαρτάται εν μέρει στην αντίληψη μας για τους κινδύνους. Πολύ εργασία έχει γίνει τα τελευταία χρόνια για την προσπάθεια της κατανόησης για το πώς οι άνθρωποι αντιλαμβάνονται τους διάφορους φυσικούς κινδύνους. Αυτή η κατανόηση είναι σημαντική επειδή η επιτυχία στα προγράμματα μείωσης κινδύνου εξαρτάται από τις τοποθετήσεις των ανθρώπων που πιθανό να επηρεαστούν από τον κίνδυνο. Αν και μπορεί να υπάρξει επαρκής αντίληψη για έναν κίνδυνο στο θεσμικό επίπεδο, αυτή η αντίληψη δεν μπορεί να γίνει αντιληπτή στο γενικό πληθυσμό. Αυτή η έλλειψη συνειδητοποίησης ισχύει ιδιαίτερα για τα γεγονότα που εμφανίζονται σπάνια και οι άνθρωποι γνωρίζουν τέτοιες καταστάσεις όπως οι δασικές πυρκαγιές που μπορούν να εμφανιστούν κάθε λίγα χρόνια.

Οι τυποποιημένες διαδικασίες, καθώς επίσης και οι τοπικές διατάξεις, μπορούν ήδη να είναι σε θέση να ελέγξουν τη ζημία από αυτά τα γεγονότα. Παραδείγματος χάριν, σπίτια σε μερικές περιοχές της νότιας Καλιφόρνιας είναι χτισμένα με βότσαλα που δεν καίγονται εύκολα, μπορεί να έχουν συστήματα ψεκασμού, και τα μέρη τους συχνά καθαρίζονται. Τέτοια μέτρα ασφαλείας είναι



συνήθως αξιοπρόσεχτα κατά τη διάρκεια της φάσης ανοικοδόμησης μετά από μια πυρκαγιά.

Μια από τις πιο περιβαλλοντικά υγιείς ρυθμίσεις στους κινδύνους περιλαμβάνει τον προγραμματισμό χρήσης του εδάφους. Δηλαδή οι άνθρωποι μπορούν να αποφύγουν το χτίσιμο στις κοίτες πλημμυρών, στις περιοχές όπου υπάρχουν ενεργές καθιζήσεις εδάφους, ή σε μέρη όπου η παράκτια διάβρωση είναι πιθανό να εμφανιστεί. Σε πολλές πόλεις, κοίτες πλημμυρών έχουν σκιαγραφηθεί και έχουν χωριστεί σε ζώνες για μια ιδιαίτερη χρήση γης. Όσον αφορά τις καθιζήσεις εδάφους, νομικές απαιτήσεις για τις μελέτες εδαφολογικής εφαρμοσμένης μηχανικής και γεωλογίας εφαρμοσμένης μηχανικής στα κτίρια μπορούν να μειώσουν σημαντικά τις πιθανές ζημίες. Οι ζημίες από την παράκτια διάβρωση μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με την οπισθοδρόμηση των κτηρίων από απότομους βράχους ακτών ή θάλασσας. Αν και μπορεί να είναι δυνατός ο έλεγχος φυσικών διαδικασιών στις συγκεκριμένες περιπτώσεις, σχεδιασμός χρήσης του εδάφους να προσαρμοστούν οι φυσικές διαδικασίες είναι συχνά προτιμητέο σε μια τεχνολογική αποτύπωση που μπορεί ή όχι να δουλέψει.

*Η ασφάλεια* είναι μια άλλη επιλογή που οι άνθρωποι μπορούν να ασκήσουν όσον αφορά τους φυσικούς κινδύνους. Η ασφάλεια έναντι της πλημμύρας είναι κοινή σε πολλές περιοχές, και στο σεισμό η ασφάλεια είναι επίσης διαθέσιμη. Ακριβώς επειδή η ασφάλεια είναι διαθέσιμη, εντούτοις, δεν σημαίνει ότι είναι πρακτικό (ή ηθικό) να χτίσεις σε μια σεισμό-επιρρεπή περιοχή, που ξέρεις ότι πρέπει να χρησιμοποιήσεις περισσότερο την ασφάλειά σε κάποιο βαθμό. Στην πραγματικότητα, λόγω των μεγάλων απωλειών μετά το σεισμό του 1994 στο Northridge, διάφορες ασφαλιστικές εταιρείες ανήγγειλαν ότι δεν θα προσέφεραν πλέον την ασφάλεια.

*Η εκκένωση* είναι μια σημαντική επιλογή ή μια ρύθμιση στον κίνδυνο ενός τυφώνα στα κράτη κατά μήκος του Κόλπου του Μεξικού και κατά μήκος της ανατολικής ακτής του Ηνωμένων Κρατών. Συχνά υπάρχει αρκετός χρόνος για τους ανθρώπους για την εκκένωση υπό τον όρο ότι προσέχουν τις προβλέψεις και τις προειδοποιήσεις. Εντούτοις, εάν οι άνθρωποι δεν αντιδρούν γρήγορα και η επηρεασθείς περιοχή είναι μια μεγάλη αστική περιοχή, έπειτα οι διάδρομοι εκκένωσης μπορεί να εμποδιστούν από τους κατοίκους της τελευταίας στιγμής δημιουργώντας πανικό.

*Η προπαρασκευή καταστροφής* είναι μια επιλογή που μπορούν να εφαρμόσουν άτομα, οι οικογένειες, οι πόλεις, τα κράτη, ή ακόμα και ολόκληρα έθνη. Ιδιαίτερη σπουδαιότητα είναι η κατάρτιση των ατόμων και των οργάνων για να χειριστεί τους

μεγάλους αριθμούς τραυματισμένων ανθρώπων ή ανθρώπων που προσπαθούν να εκκενώσουν μια περιοχή μετά από μια προειδοποίηση που εκδίδεται.

Προσπάθειες στον τεχνητό έλεγχο των φυσικών διαδικασιών όπως οι καθιζήσεις εδάφους, οι πλημμύρες, και οι ροές λάβας είχαν μικτή επιτυχία. Κρηπιδώματα που κατασκευάζονται για να ελέγξουν την παράκτια διάβρωση και να προστατεύσουν την ιδιοκτησία ως ένα ορισμένο βαθμό, αλλά τείνουν στο στένεμα ή ακόμα και στην εξάλειψη της παραλίας. Ακόμη και οι τεχνητές δομές δεν μπορούν να αναμένονται επαρκώς ως μέτρο υπεράσπισης ενάντια σε ένα ακραίο γεγονός, αν και διατηρώντας τους τοίχους και άλλες δομές για να υπερασπίσει τις κλίσεις από τις καθιζήσεις εδάφους ήταν γενικά επιτυχείς όταν είχαν σχεδιαστεί καλά. Ακόμη και ο περιστασιακός παρατηρητής έχει πιθανώς παρατηρήσει την ποικιλία τέτοιων δομών κατά μήκος των εθνικών οδών και αστικό έδαφος στις λοφώδεις περιοχές. Δομές που υπερασπίζουν οι κλίσεις έχουν μια περιορισμένη επίδραση στο περιβάλλον και είναι απαραίτητες όπου οι τεχνητές περικοπές πρέπει να ανασκαφθούν ή όπου οι ασταθείς κλίσεις προσκρούουν στις ανθρώπινες δομές. Οι κοινές μέθοδοι ελέγχου πλημμυρών είναι τα κανάλια και κατασκευή των φραγμάτων και των αναχωμάτων. Δυστυχώς, τα προγράμματα ελέγχου πλημμυρών τείνουν να παρέχουν στους κατοίκους μια ψεύτικη αίσθηση ασφαλείας, καμία μέθοδος δεν μπορεί εντελώς να προστατεύσει τους ανθρώπους και την ιδιοκτησία τους από πλημμύρες υψηλού μεγέθους.

Μια συχνή επιλογή είναι απλά η υπομονή σε απώλεια που προκαλείται από μια φυσική καταστροφή. Πολλοί άνθρωποι είναι αισιόδοξοι για τις πιθανότητές τους να το κάνουν μέσω οποιουδήποτε είδους καταστροφής και επομένως θα πάρει λίγη δράση στην υπεράσπισή τους. Αυτή η απάντηση είναι ιδιαίτερα σωστή για τέτοιους κίνδυνους όπως ηφαιστειακές εκρήξεις και σεισμούς είναι σπάνια στη δεδομένη περιοχή. Ανεξάρτητα από τη στρατηγική που χρησιμοποιούμε για να ελαχιστοποιήσουμε ή να αποφύγουμε τους κινδύνους, είναι επιτακτικό να καταλαβαίνουμε και να προσδοκάμε τα φυσικά, βιολογικά, οικονομικά, και κοινωνικά αποτελέσματα τους.

## 1.5 Πολλοί κίνδυνοι παρέχουν μια φυσική λειτουργία υπηρεσιών.

Είναι ειρωνικό ότι τα ίδια φυσικά γεγονότα που παίρνουν την ανθρώπινη ζωή και καταστρέφουν την ιδιοκτησία παρέχουν σε μας σημαντικά οφέλη, μερικές φορές καλούνται ως φυσική υπηρεσία. Παραδείγματος χάριν, περιοδική πλημμύρα του ποταμού Μισσισιπί παρέχει τις θρεπτικές ουσίες στην κοίτη πλημμυρών και δημιουργεί τα χώματα που χρησιμοποιούνται εύφορα για την καλλιέργεια. Πλημμύρα, η οποία προκαλεί την διάβρωση στις βουνοπλαγιές, επίσης το ίζημα ρύποι παραλιών και εκροών από τις εκβολές στο παράκτιο περιβάλλον. Οι καθιζήσεις του εδάφους μπορούν να ωφελούν τους ανθρώπους όταν τα συντρίμια τους διαμορφώνουν τα φράγματα, δημιουργώντας τις λίμνες μέσα ορεινές περιοχές. Αν και μερικά φράγματα με καθιζήσεις εδάφους προς τα κάτω είναι επικίνδυνα στην πλημμύρα γιατί μπορούν να προκαλέσουν αιτία για κατάρρευση, εάν το φράγμα παραμένει σταθερό μπορεί να παρέχει πολύτιμη αποθήκευση νερού και είναι ένα σημαντικός φυσικός πόρος. Οι ηφαιστειακές εκρήξεις έχετε τη δυνατότητα να δημιουργούν τις πραγματικές καταστροφές? εντούτοις, παρέχουν επίσης σε μας πολυάριθμα οφέλη. Δημιουργούν συχνά νέο έδαφος, όπως στην περίπτωση των κατοίκων στα νησιά της Χαβάης τα οποία έχουν προέλευση ηφαιστειακή (Σχήμα 1.17).

Η θρεπτικός-πλούσια ηφαιστειακή τέφρα μπορεί να εγκαταστήσει επάνω της υπάρχοντα χώματα και γρήγορα να ενσωματωθούν, δημιουργώντας χώμα κατάλληλο και για τις συγκομιδές και για τις άγριες εγκαταστάσεις. Οι σεισμοί μπορούν επίσης να παρέχουν σε μας πολύτιμες υπηρεσίες. Όταν οι βράχοι κονιοποιούνται κατά τη διάρκεια ενός σεισμού, μπορούν να διαμορφώσουν μια αδιαπέραστη ζώνη αργίλου γνωστή ως λάθος σκάψιμο κατά μήκος ενός γεωλογικού ελαττώματος. Σε πολλά μέρη, το λάθος σκάψιμο έχει διαμορφώσει κάτω από την επιφάνεια φυσικά εμπόδια στη ροή υπόγειων νερών, τα εμπόδια αυτά συγκεντρώνουν έπειτα το νερό ή δημιουργούν τα ελατήρια που είναι σημαντικές πηγές νερού. Κατά μήκος μερικών μερών του SAN Ανδρέα στην ξηρά κοιλάδα Coachella κοντά σε Indio, Καλιφόρνια, αυτή η διαδικασία έχει παραγάγει τις οάσεις ερήμων με ομάδες του νερού που περιβάλλονται από τους εγγενείς φοίνικες (αριθμός 1.18). Επιπλέον, οι σεισμοί είναι επίσης σημαντικοί μέσα σε ένα βουνό

από κτίρια και είναι έτσι άμεσα αρμόδιο για πολλά από τα φυσικά τοπία των Ηνωμένων Κρατών



Σχ 1.17 (α) καινούρια γη από την ηφαιστειακή έκρηξη



Σχ 1.17 (β) φόντο ηφαιστειακής λάβας



Σχ 1.18 (α) οάση κατά μήκος του ρήγματος του san Andrea που περιβάλλεται από εγγενείς φοίνικες



Σχ 1.18 (β) σε μερικές περιπτώσεις τα επιφανειακά νερά χύνονται στις οάσεις

## 1.6 Σφαιρική και περιφερειακή κλιματολογική αλλαγή.

Η σφαιρική και περιφερειακή κλιματολογική αλλαγή που συνδέεται συχνά με την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου, μπορεί να αλλάξει επικίνδυνα από τα φυσικά γεγονότα όπως οι θύελλες, καθιζήσεις εδάφους, ξηρασία, και πυρκαγιές. Πώς οι αλλαγές κλίματος μπορούν να αλλάξουν την επιρροή του μέγεθος και της συχνότητας αυτών των γεγονότων; Με κυκλική θέρμανση, η στάθμη της θάλασσας θα αυξηθεί δεδομένου ότι η θέρμανση επεκτείνει των όγκο των ωκεάνιων νερών και η τήξη την αύξηση του πάγου. Κατά συνέπεια, η παράκτια διάβρωση θα αυξηθεί. Η αλλαγή κλίματος μπορεί να μετατοπίσει τις περιοχές παραγωγής προϊόντων όπως μερικές έχουν περισσότερη πτώση και άλλοι λαμβάνουν λιγότερη. Οι έρημοι και οι ημιάγονες περιοχές θα επεκταθούν πιθανώς, και τα θερμότερα βόρεια γεωγραφικά πλάτη θα μπορούσαν να γίνουν παραγωγικότερα. Τέτοιες αλλαγές θα μπορούσαν να οδηγήσουν στον παγκόσμιο πληθυσμό μετατοπίσεις, οι οποίες να επιφέρουν πολέμους ή σημαντικές κοινωνικές και πολιτικές αναταραχές. Η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου θα εξασφαλίσει περισσότερη ενέργεια από θερμότερο ωκεάνιο νερό στην ατμόσφαιρα όπου αυτή η ενέργεια θα μπορέσει να αυξήσει τη δριμύτητα και τη συχνότητα επικίνδυνου καιρού όπως thunderstorms (με τους ανεμοστροβίλους) και τους τυφώνες. Στην πραγματικότητα, αυτή η τάση μπορεί ήδη να είναι εν εξελίξει του 1998 ένα νέο ρεκόρ για τις οικονομικές απώλειες από σχετικές με τον καιρό καταστροφές, οι οποίες κοστίζουν τουλάχιστον \$89 δισεκατομμύρια παγκοσμίως. Αυτός ο αριθμός αντιπροσωπεύει μια αύξηση 48% στο προηγούμενο αρχείο του συνόλου των \$60 δισεκατομμυρίων το 1996.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### Σεισμοί

Οι σεισμοί είναι σοβαροί φυσικοί κίνδυνος που έχουν επιπτώσεις στους ανθρώπους παγκόσμια, μερικές φορές σε μεγάλες αποστάσεις από όπου οι σεισμοί εμφανίζονται. Είναι ιδιαίτερα επικίνδυνοι επειδή σεισμολόγοι, οι επιστήμονες που μελετούν τους σεισμούς, δεν μπορούν να τους προβλέψουν εγκαίρως για εκκενώσεις ή άλλες προφυλάξεις. Οι στόχοι σας στην ανάγνωση αυτού του κεφαλαίου πρέπει να είναι:

- Κατανόηση πώς οι επιστήμονες μετρούν και συγκρίνουν τους σεισμούς
- Εξοικείωση με σεισμικές διαδικασίες όπως σφάλμα, τεκτονικός ερπυσμός, και σχηματισμός των σεισμικών κυμάτων
- Να μάθετε ποιες σφαιρικές περιοχές είναι πιο επικίνδυνες για σεισμούς και γιατί είναι σε κίνδυνο
- Γνώση και κατανόηση αποτελεσμάτων των σεισμών όπως τίναγμα, επίγεια ρήξη, και ρευστοποίηση
- Αναγνώριση πώς οι σεισμοί είναι συνδεδεμένοι με άλλους φυσικούς κινδύνους όπως οι καθιζήσεις εδάφους, πυρκαγιές, και τσουνάμι
- Γνώση των σημαντικών φυσικών λειτουργιών υπηρεσιών των σεισμών
- Γνώση πώς τα ανθρώπινα όντα αλληλεπιδρούν με τις επιπτώσεις από κίνδυνο σεισμού
- Κατανόηση του πώς μπορούμε να ελαχιστοποιήσουμε το σεισμικό κίνδυνο, και να αναγνωρίσουμε τις ρυθμίσεις που μπορούμε να κάνουμε για να προστατευτούμε

## Σεισμοί νωρίτερα του 2001

Οι συνέπειες ενός σεισμού εξαρτώνται από έναν συνδυασμό των παραγόντων: μέγεθος, βάθος, απόσταση από μια εποικημένη περιοχή, φύση των τοπικών γήινων υλικών, και τον τρόπο με τον οποίο τα σπίτια, τα κτήρια, οι δρόμοι, οι σιδηρόδρομοι, οι γραμμές χρησιμότητας και οι σωληνώσεις χτίζονται. Καταλαβαίνοντας αυτές τις βοήθειες παραγόντων εξηγήστε γιατί, στις αρχές του 2001, μεγάλοι σεισμοί σκότωσαν χιλιάδες ανθρώπους στο Ελ Σαλβαδόρ και δεκάδες χιλιάδες ανθρώπους στην Ινδία, κανείς νεκρός όμως στην περιοχή Σιάτλ-Τακόμα Πολιτεία της Washington.

Ο πρώτος καταστροφικός σεισμός του 2001 εμφανίστηκε στην κεντρική Αμερική, ανατολικά Ελ Σαλβαδόρ. Αυτό το μέγεθος 7.7 ρίχτερ ήταν κεντροθετημένος περίπου 110 χλμ (65 mi.) νοτιοανατολικά του Σαν Σαλβαδόρ, στην πρωτεύουσα. Είχε γίνει αισθητός μέχρι 1370 χλμ (850 mi.) στα βορειοδυτικά της Πόλη του Μεξικού και πάνω από 1160 χλμ (720 mi.) στο νοτιοανατολικό μέρος της βόρειας Κολούμπια. Τα αποτελέσματα του σεισμού ήταν μέγιστα στην επαρχία, όπου σε μερικές περιοχές περισσότερα από 95 τοις εκατό των σπιτιών γκρεμίστηκαν. Οι σεισμός-προκαλούμενες καθιζήσεις εδάφους ήταν αρμόδιες για πολλούς θανάτους, ειδικά στην κοινότητα Santa Tecla όπου μια μεγάλη βουνοπλαγιά κατέρρευσε και έθαψε 500 σπίτια (σχήμα 2.1). Το σεισμό ακολούθησαν περισσότερες από 3.000 μετασεισμικές δονήσεις, μερικές από τις οποίες ήταν μεγαλύτερες από το μέγεθος 5.0 ρίχτερ. Τελικά, τουλάχιστον 5.000 άνθρωποι έχασαν τις ζωές τους, και άλλα 250.000 έμειναν άστεγα. Ακριβώς έναν μήνα αργότερα, ένας σεισμός με μέγεθος 6.1 ρίχτερ χτύπησε την ίδια περιοχή, που σκότωσε ή που τραυμάτισε περισσότερους από 3.500 ανθρώπους και που κατάστρεψε 55.000 σπίτια.

Δύο εβδομάδες μετά από τον πρώτο σεισμό του Ελ Σαλβαδόρ, η βορειοδυτική Ινδία λικνίστηκε από τον ισχυρότερο σεισμό που είχε να γίνει στη χώρα για 50 έτη. Αυτό το μέγεθος 7.7 ρίχτερ ο σεισμός κεντροθετήθηκε κοντά στη Bhuj, μια πόλη 150.000 ανθρώπων στο δυτικό κράτος του Gujarat, κοντά στα σύνορα με το Πακιστάν. Ο σεισμός εμφανίστηκε σε μια εθνική εορτή, όταν πολλοί άνθρωποι είχαν αργία από την εργασία ή το σχολείο (σχήμα 2.2). Τα κτήρια αναφέρθηκε ότι λικνιζόταν για σχεδόν 2 λεπτά κατά τη διάρκεια του σεισμού. Πολλές πόλεις στις αγροτικές περιοχές ισοπεδώθηκαν τελείως. Στις πρώτες-πρώτες



ημέρες μετά από το σεισμό περισσότερες από 250 μετασεισμικές δονήσεις τίναξαν την περιοχή. Τουλάχιστον 20.000 άνθρωποι σκοτώθηκαν, και οι ζημιές ήταν μεγαλύτερες από 1 δισεκατομμύριο δολάρια.

Τέλος του Φεβρουαρίου 2001, το Σιάτλ, Ουάσιγκτον, δοκιμάστηκε από ένα μέγεθος 6.8 ρίχτερ σεισμό-σημαντικά μεγαλύτερο από το δεύτερο του Ελ Σαλβαδόρ σεισμό- ο οποίος έκανε εκπληκτικά λίγη ζημία και δεν σκότωσε κανένα. Κεντροθετημένος κοντά στην Ολυμπία, 56 χλμ (35 mi.) του νοτιοδυτικού σημείου του Σιάτλ, ο σεισμός τραυμάτισε κατ' εκτίμηση 250 ανθρώπους και προκάλεσε περίπου 1.5 δισεκατομμύριο δολάρια στη ζημία.









Σχ 2.1 εδαφικές καθιζήσεις στο Ελ Σαλβαδór σε μια μεγάλη βουνοπλαγιά που κατέρρευσε και έθαψε 500 σπίτια



σχ2.2 η κατάρρευση ενός σχολικού κτιρίου που χτίστηκε στην Ινδία στη διάρκεια σεισμού μεγέθους 7.7 το 2001

Τι μπορεί να εξηγήσει την τεράστια παραλλαγή στον αριθμό θυμάτων από αυτούς τους τέσσερις σεισμούς; Κατ' αρχάς, αυτοί οι σεισμοί εμφανίστηκαν σε διαφορετικά βάθη μέσα στη γη. Οι σεισμοί του Ελ Σαλβαδόρ και της Ινδίας πραγματοποιήθηκαν σε σχετικά ρηχά βάθη έναντι του σεισμού του Σιάτλ. Στους βαθιούς σεισμούς ένα μεγάλο μέρος της ενέργειας διαλύεται ώσπου να οι δονήσεις να φθάσουν στην επιφάνεια, με συνέπεια τη λιγότερη ζημία.

Δεύτερον, οι κανονισμοί κατασκευής και ο χωρισμός έπαιξαν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της έκτασης της ζημίας από αυτούς τους σεισμούς. Στο Σιάτλ, τα περισσότερα από τα κατεστραμμένα κτήρια ήταν χτισμένα πάνω από 25 έτη πριν, πριν από την υιοθέτηση ενός ακριβού οικοδομικού συντελεστή που σχεδιάζεται για να βοηθήσει τα κτήρια να αντισταθούν στους ισχυρούς σεισμούς. Για παράδειγμα, η διάσημη διαστημική βελόνα σχεδιάστηκε να αντιστέκεται σε σεισμό του μεγέθους 9! Δυστυχώς, τα αναπτυσσόμενα έθνη συχνά δεν έχουν αυστηρούς κώδικες κατασκευής, και όπου οι κώδικες υπάρχουν είναι συνήθως είτε αγνοημένοι είτε έχουν παρακαμφτεί. Μετά από το σεισμό στην Ινδία, έγιναν καταγγελίες ενάντια διάφορων κατασκευαστικών εταιρειών, όπου οι εμπειρογνώμονες λένε ότι χρησιμοποιήθηκαν φτηνά υλικά και αγνοήθηκαν οι οικοδομικοί κανόνες. Το σχέδιο τη ζημίας από τις υποστηρίξεις του σεισμού αυτές οι καταγγελίες- πολλά παλαιότερα σπίτια τινάχτηκαν, αλλά δεν βλάφθηκαν, εκτιμώντας ότι τα νεότερα σπίτια κατέληξαν στα ερείπια. Οι εκθέσεις από το Ahmedabad, Ινδία, δήλωσαν ότι 80 τοις εκατό από τα κατεστραμμένα κτήρια των πόλεων είχαν παραβιάσει τους κώδικες κατασκευής, και ότι πολλά από τα αρμόδια συμβαλλόμενα μέρη κρύφτηκαν αμέσως μετά το σεισμό.

Τέλος, στο Ελ Σαλβαδόρ, όπως σε πολλούς σεισμούς, δεν ήταν πώς οι δομές χτίστηκαν, αλλά που επιπτώσεις στον αριθμό θυμάτων. Για παράδειγμα, η γειτονιά Las Colinas σε Santa Tecla έπασχε τη μέγιστη απώλεια ζωής από σεισμός-σχετικούς με τις καθιζήσεις εδάφους, κυρίως από μια γιγαντιαία φωτογραφική διαφάνεια (σχήμα 2.1). Η σοβαρή ζημιά εμφανίζεται να προκύπτει από την οικοδόμηση των σπιτιών κάτω από μια κλίση του χαλαρού γήινου υλικού και από τις φτωχές πρακτικές χρήσης του εδάφους. Η κορυφογραμμή Balsamo, ο λόφος επάνω από την κοινότητα, αποτελείται από ασταθή ηφαιστειακή τέφρα και άλλο κοκκώδες υλικό που είναι ευαίσθητο στις καθιζήσεις εδάφους. Τοπικές αρχές και οικολόγοι επίσης υποστήριξαν ότι η αποδάσωση και η πλεονεξία ήταν άμεσα αρμόδιες για την ενίσχυση της καταστροφής. Οι κάτοικοι της Las Colinas

παρακλήθηκαν από την κυβέρνηση να σταματήσουν την κατασκευή φραγμάτων στη βουνοπλαγιά. Οι κάτοικοι σωστά υποστήριξαν ότι κάλυψη λιγότερων εγκαταστάσεων στο γυμνό έδαφος θα τους άφηνε τρωτούς στις καθιζήσεις εδάφους. Οι αιτήσεις τους αγνοήθηκαν, τα αρχοντικά πήγαν επάνω, και κατά τη διάρκεια του σεισμού, οι κλίσεις ήρθαν κάτω.

Αν και δεν μπορούμε να ελέγξουμε το γεωλογικό περιβάλλον ή το βάθος ενός σεισμού, υπάρχουν πολλά που μπορούμε να κάνουμε για να αποφύγουμε τις υπερβολικές ζημιές και τις απώλειες ζωών.

## **2.1 Εισαγωγή στους σεισμούς**

Παγκοσμίως οι άνθρωποι αισθάνονται κατ' εκτίμηση 1 εκατομμύριο σεισμούς το χρόνο. Εντούτοις, λίγοι από αυτούς τους σεισμούς παρατηρούνται πολύ μακριά από την πηγή τους, και ακόμη εξετάζονται και λιγότεροι σημαντικοί σεισμοί. Ακόμα κι αν δεν έχετε νιώσει ποτέ έναν σεισμό που μπορείτε να αναρωτηθείτε τι πραγματικά συμβαίνει και το πότε εμφανίζεται. Για να καταλάβετε τα αποτελέσματα των σεισμών πρέπει να μάθουμε πώς είναι μετρημένος και πώς ένας σεισμός μπορεί να συγκριθεί με άλλο. Οι σεισμοί συγκρίνονται από το ποσό της ενέργειας που απελευθερώνονται, από το μέγεθός τους, και από τα αποτελέσματα της επίγειας κίνησης στους ανθρώπους και στις δομές, η έντασή τους.

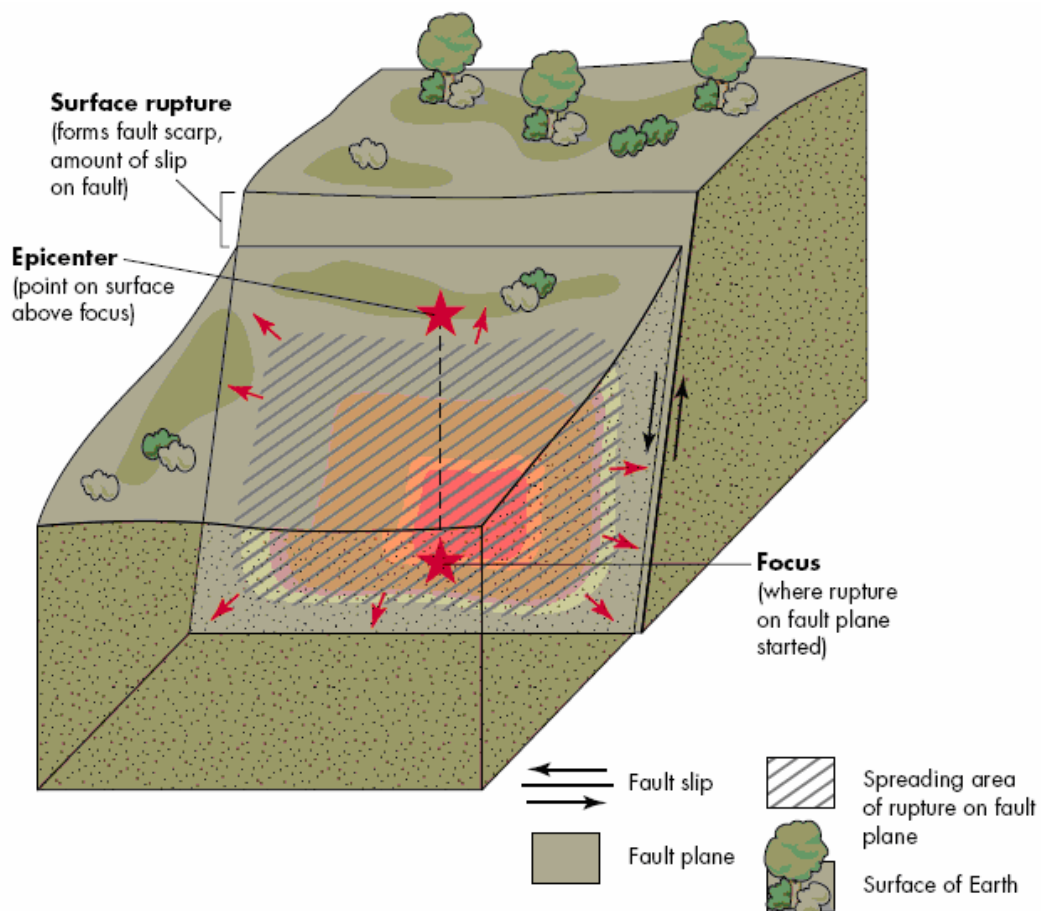
### **Μέγεθος σεισμού**

Οι ειδήσεις ενός CNN ή AP υποβάλλουν έκθεση σχετικά με έναν σεισμό και γενικά δίνουν τις πληροφορίες για το που ο σεισμός άρχισε. Αυτή η θέση, γνωστή ως επίκεντρο, είναι η θέση όπου η επιφάνεια της γης στο ανώτερο σημείο της όπου οι σπασμένοι βράχοι παραγάγουν το σεισμό (σχήμα 2.3). Το σημείο από το αρχικό σπάσιμο ή τη ρήξη μέσα στη γη είναι γνωστό ως εστίαση, ή υπόκεντρο, του σεισμού είναι άμεσα κάτω από το επίκεντρο. Οι εκθέσεις ειδήσεων δείχνουν επίσης το μέγεθος του σεισμού με έναν δεκαδικό αριθμό (π.χ., 6.8) που αναφέρεται ως μέγεθος στιγμής του σεισμού. Μέγεθος στιγμής καθορίζεται από μια εκτίμηση της περιοχής αυτής σπασμένη κατά μήκος ενός επιπέδου ελαττωμάτων κατά τη διάρκεια του σεισμού, ποσό μετακίνησης ή ολίσθησης κατά μήκος του ελαττώματος, και η ακαμψία των

βράχων κοντά στην εστίαση του σεισμού. Πριν από τη χρήση του μεγέθους στιγμής, σεισμολόγοι περιγράφουν την ενέργεια σεισμού με μια κλίμακα που αναπτύσσεται για την τοπική χρήση στη νότια Καλιφόρνια από το διάσημο σεισμολόγο Charles Richter. Αν και μερικές νέες ειδήσεις αναφέρονται ακόμα στη «κλίμακα Richter,» οι οποίες δεν είναι πλέον σε κοινή χρήση από τους σεισμολόγους. Και τα δύο παλαιότερα Richter η κλίμακα και η νεότερη κλίμακα μεγέθους στιγμής είναι λογαριθμικές. Αυτό σημαίνει ότι η αύξηση από έναν ακέραιο αριθμό στον επόμενο δεν είναι γραμμικός. Παραδείγματος χάριν, η επίγεια μετατόπιση κατά τη διάρκεια ενός σεισμού 6 βαθμών είναι περίπου δέκα φορές μεγαλύτερη όσο η μετατόπιση κατά τη διάρκεια του σεισμού 5 βαθμών. Εκτός από τους πολύ μεγάλους σεισμούς, το μέγεθος σε κλίμακα Richter είναι περίπου ίσο με το μέγεθος της στιγμής. Λόγω αυτού του συσχετισμού θα αναφέρουμε το μέγεθος ενός σεισμού απλά ως μέγεθός του, M, χωρίς υπόδειξη του μεγέθους Richter ή στιγμής. Είναι ενδιαφέρον να εξετάσει το πόσο συχνά εμφανίζεται ο σεισμός στα διάφορα μεγέθη. Οι σεισμοί λαμβάνοντας υπόψη τα περιγραφικά επίθετα είναι βασισμένα στο μέγεθος των επιλεγμένων σημαντικών σεισμών.

Παραδείγματος χάριν, οι περισσότεροι καταστρεπτικοί σεισμοί έχουν περιγραφεί ως σημαντικά (M 7-7.9) ή ισχυρά (M 6-6.9). Οι σημαντικοί σεισμοί είναι σε θέση να προκαλέσουν διαδεδομένη και σοβαρή ζημιά. Οι ισχυροί σεισμοί μπορούν επίσης να προκαλέσουν ιδιαίτερη ζημιά ανάλογα με τη θέση τους και τη φύση από τα γήινα υλικά. Ευτυχώς, ο ισχυρότερος σεισμός (M 8 ή ο υψηλότερος) είναι ασυνήθιστος ? ο παγκόσμιος μέσος όρος είναι ένας το χρόνο. Αντίθετα, περισσότεροι από 100.000 πολύ μικρούς σεισμούς με ένα μέγεθος λιγότερο από 3 εμφανίζονται κάθε ημέρα. Οι περισσότεροι από αυτούς τους σεισμούς είναι επίσης μικροί ή πάρα πολύ μακρινοί για να γίνουν αισθητοί από τους ανθρώπους. Είναι επίσης ενδιαφέρον να δούμε πώς το μέγεθος του σεισμού συσχετίζεται με το ποσό επίγειας κίνησης, ή τινάγματος, όπου αυτός εμφανίζεται κατά τη διάρκεια ενός σεισμού. Θα συζητήσουμε αυτό γενικά εδώ και λεπτομερέστερα αργότερα. Επίγεια κίνηση, είτε κάθετη είτε οριζόντια η κατεύθυνση, καταγράφεται από ένα όργανο γνωστό ως σειсмоγράφος. Το ποσό επίγειας κίνησης που πραγματοποιείται από έναν σεισμό συσχετίζεται με το μέγεθός του, το βάθος και το γεωλογικό περιβάλλον στο οποίο εμφανίζεται. Όπως η αύξηση του μεγέθους του σεισμού, τις αλλαγές των επίγειων κινήσεων που είναι πιο αργές από το ποσό της ενέργειας που απελευθερώνεται. Όπως αυτός ο πίνακας επεξηγεί, τη διαφορά μεταξύ ενός M 6 και ενός σεισμού M 7 που είναι

ιδιαίτερος. Αν και το ποσό μετατόπισης, ή η υπόγεια κίνηση, από έναν σεισμό M 7 είναι 10 φορές πιο μεγάλοι όσο η μετατόπιση κατά τη διάρκεια ενός σεισμού M 6, το ποσό τις ενέργειας που απελευθερώνεται είναι 32 φορές πιο πολύ! Εάν συγκρίνουμε ένα M 5 με έναν σεισμό M 7 οι διαφορές είναι πολύ μεγαλύτερες. Η ενέργεια που απελευθερώνεται είναι περίπου 1000 φορές, μεγαλύτερη. Κατά συνέπεια, περίπου 33.000 τινάγματα του M 5 απαιτούνται για να απελευθερώσει τόση ενέργεια όσο έναν ενιαίο σεισμό από το M 8.



ΣΧ 2.3 βασικά χαρακτηριστικά σεισμών

## Ένταση σεισμού

Η κλίμακα μεγέθους στιγμής παρέχει έναν ποσοτικό τρόπο σύγκρισης των σεισμών. Αντίθετα, η σεισμική ένταση είναι συχνά υποδειγμένη με τον ποιοτικό τροποποιημένο Κλίμακα Mercalli. Οι δώδεκα κατηγορίες σε αυτήν την κλίμακα είναι ορισμένοι με ρωμαϊκούς αριθμούς. Κάθε κατηγορία περιέχει μια περιγραφή για το πώς οι άνθρωποι αντιλήφθηκαν έναν σεισμό, και την έκταση της

ζημίας σε κτήρια και άλλες από τον άνθρωπο κατασκευές. Παραδείγματος χάριν, ο σεισμός Sylmar του 1971 στο San Fernando Valley, στην Καλιφόρνια είχε ένα ενιαίο μέγεθος (6.7), αλλά στην κλίμακα Mercalli η ένταση ποίκιλε από το I σε XI ανάλογα με την εγγύτητα το επίκεντρο και τις τοπικές γεωλογικές συνθήκες (Σχήμα 2.4).

Οι εντάσεις σεισμού παρουσιάζονται συνήθως επάνω σε χάρτες. Συμβατικοί τροποποιημένοι χάρτες έντασης Mercalli, όπως το σχήμα 2.4, παίρνουν ημέρες ή ακόμα και εβδομάδες να ολοκληρωθούν. Είναι βασισμένοι στα ερωτηματολόγια που στέλνονται στους κατοίκους κοντά στο επίκεντρο, τα άρθρα εφημερίδων, και τις εκθέσεις από ομάδες εκτίμησης ζημιών.

Πρόσφατα το κέντρο γεωλογίας της Αμερικής (USGS) άρχισε πειραματισμούς με τη χρήση του Διαδικτύου για να συλλέξει πληροφορίες για την ένταση. Αυτές οι εκθέσεις χρησιμοποιούνται για να προετοιμάσουν μια απευθείας σύνδεση με τον κοινοτικό Διαδικτυακό Χάρτη έντασης που ενημερώνεται κάθε λίγα λεπτά μετά από έναν μεγάλο σεισμό.

Μια από τις σημαντικότερες προκλήσεις κατά τη διάρκεια ενός καταστροφικού σεισμού είναι να καθοριστεί γρήγορα το σημείο όπου η ζημία είναι σπουδαιότερη. Αυτές οι πληροφορίες είναι τώρα διαθέσιμες στα μέρη Καλιφόρνια, το Pacific Northwest, και τη Γιούτα όπου

**TABLE 2.4 Modified Mercalli Intensity Scale (abridged)**

Intensity	Effects
I	Felt by very few people.
II	Felt by only a few persons at rest, especially on upper floors of buildings. Delicately suspended objects may swing.
III	Felt quite noticeably indoors, especially on upper floors of buildings, but many people do not recognize it as an earthquake. Standing motor cars may rock slightly. Vibration feels like the passing of a truck.
IV	During the day felt indoors by many, outdoors by few. At night some awakened. Dishes, windows, doors disturbed; walls make cracking sound; sensation like heavy truck striking building; standing motor cars rock noticeably.
V	Felt by nearly everyone; many awakened. Some dishes, windows, and so on, broken; a few instances of cracked plaster; unstable objects overturned; disturbances of trees, poles, and other tall objects sometimes noticed. Pendulum clocks may stop.
VI	Felt by all; many frightened and run outdoors. Some heavy furniture moved; a few instances of fallen plaster or damaged chimneys. Damage is slight.
VII	Everybody runs outdoors. Damage negligible in buildings of good design and construction; slight to moderate in well-built ordinary structures; considerable in poorly built or badly designed structures; some chimneys broken. Noticed by persons driving cars.
VIII	Damage slight in specially designed structures; considerable in ordinary substantial buildings with partial collapse; great in poorly built structures; panel walls thrown out of frame structures; fall of chimneys, factory stacks, columns, monuments, walls; heavy furniture overturned; sand and mud ejected in small amounts; changes in well water; disturbs persons driving cars.
IX	Damage considerable in specially designed structures; well-designed frame structures thrown out of plumb; great in substantial buildings, with partial collapse. Buildings are shifted off foundations. Ground cracked conspicuously. Underground pipes are broken.
X	Some well-built wooden structures are destroyed; most masonry and frame structures with foundations destroyed; ground badly cracked. Rails bent. Landslides considerable from riverbanks and steep slopes. Shifted sand and mud. Water is splashed over banks.
XI	Few, if any (masonry) structures remain standing. Bridges are destroyed. Broad fissures are formed in ground. Underground pipelines are taken out of service. Earth slumps and land slips on soft ground occurs. Train rails are bent.
XII	Damage is total. Waves are seen on ground surfaces. Lines of sight and level distorted. Objects are thrown upward into the air.

Source: From Wood and Neuman, 1931, by U.S. Geological Survey, 1974, Earthquake Information Bulletin 6(5):28



## ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΜΕΡΚΑΛΙ

### Τροποποιημένη κλίμακα έντασης Mercalli

I Αισθητός από πολύ λίγους ανθρώπους.

II αισθητός από μόνο μερικά πρόσωπα σε στάση, ειδικά στα ανώτερα πατώματα των κτηρίων. Τα λεπτά αντικείμενα μπορεί να ταλαντευθούν.

III αισθητός αρκετά καταφανώς στο εσωτερικό, ειδικά στα ανώτερα πατώματα των κτηρίων, αλλά πολλοί άνθρωποι δεν το αναγνωρίζουν ως σεισμό. Τα μόνιμα αυτοκίνητα μηχανών μπορούν να λικνίσουν ελαφρώς. Η δόνηση είναι αισθητή όπως τη διάβαση ενός φορτηγού.

IV κατά τη διάρκεια της ημέρας που γίνεται αισθητός στο εσωτερικό από πολλούς, υπαίθρια από λίγους. Μερικοί που ξυπνούν. Πιάτα, παράθυρα, πόρτες διαστέλλονται, οι τοίχοι κάνουν τον ήχο ραγίσματος αίσθηση όπως την εντυπωσιακή οικοδόμηση βαριών φορτηγών μόνιμος βράχος αυτοκινήτων μηχανών καταφανώς.

V αισθητός από όλους. Μερικά πιάτα, παράθυρα, και ούτω καθεξής, που σπάζουν μερικές περιπτώσεις ραγισμένου ασβεστοκονιάματος αντικείμενα που ανατρέπονται ασταθή διαταραχές των δέντρων, των πόλων, και άλλων ψηλών αντικειμένων που παρατηρούνται μερικές φορές. Τα ρολόγια εκκρεμών μπορούν να σταματήσουν.

VI αισθητός από όλους πολλοί που εκφοβίζονται και τρέξιμο υπαίθρια. Κάποια έπιπλα που κινούνται βαριά μερικές περιπτώσεις πεσμένου ασβεστοκονιάματος ή χαλασμένων καπνοδόχων. Η ζημία είναι μικρή.

VII καθένας τρέχει υπαίθρια. Βλάβη αμελητέα στα κτήρια του καλού σχεδίου και την οικοδόμηση μικρός για να συγκρατήσουν στις καλοχτισμένες συνηθισμένες δομές ιδιαίτερος στις κακώς χτισμένες ή άσχημα σχεδιασμένες δομές καπνοδόχοι που σπάζουν μερικές. Παρατηρημένος από τα πρόσωπα που οδηγούν τα αυτοκίνητα.

VIII ζημία μικρή στις ειδικά σχεδιασμένες δομές ιδιαίτερος στα συνηθισμένα ουσιαστικά κτήρια με τη μερική κατάρρευση μεγάλος στις κακώς χτισμένες δομές τοίχοι επιτροπής που ρίχνονται από τις δομές πλαισίων πτώση των καπνοδόχων, σωροί εργοστασίων, στήλες, μνημεία, τοίχοι τα βαριά έπιπλα άμμος και λάσπη που εκτινάσσονται στα μικρά ποσά οι αλλαγές ποτίζουν καλά ενοχλεί τα πρόσωπα που οδηγούν τα αυτοκίνητα.

IX ζημία ιδιαίτερη στις ειδικά σχεδιασμένες δομές καλά σχεδιασμένες δομές πλαισίων που ρίχνονται από Bob Rasely μεγάλος στα ουσιαστικά κτήρια, με τη μερική κατάρρευση. Τα κτήρια μετατοπίζονται από τα θεμέλια. Έδαφος που ραγίζεται εμφανώς. Οι υπόγειοι σωλήνες είναι σπασμένοι.

X μερικές καλοχτισμένες ξύλινες δομές καταστρέφονται οι περισσότερες δομές τεκτονικών και πλαισίων με τα θεμέλια που καταστρέφονται έδαφος που ραγίζεται άσχημα. Κλίση ραγών. Καθιζήσεις εδάφους ιδιαίτερες από τα riverbanks και τις απότομες κλίσεις. Μετατοπισμένες άμμος και λάσπη. Το νερό είναι καταβρεγμένος πέρα από τις τράπεζες.

XI λίγοι, εάν οποιεσδήποτε δομές (τεκτονικών) παραμένουν στεμένος. Οι γέφυρες καταστρέφονται. Οι ευρείες σχισμές διαμορφώνονται στο έδαφος. Οι υπόγειες σωληνώσεις είναι ληφθείσα έξω - - υπηρεσία. Τα γήινα κατακυλισματα και οι ολισθήσεις εδάφους στο μαλακό έδαφος εμφανίζονται. Οι ράγες τραίνων κάμπτονται.

XII η ζημία είναι συνολική. Τα κύματα βλέπουν να στηρίζουν τις επιφάνειες. Γραμμές θέας και επιπέδου που διαστρεβλώνονται. Τα αντικείμενα ρίχνονται προς τα πάνω στον αέρα.



Σχ 2.4 ευαισθησία στο λίκνισμα

υπάρχουν πυκνά δίκτυα υψηλής ποιότητας σειсмоγράφων. Αυτά τα δίκτυα διαβιβάζουν τις άμεσες μετρήσεις από την επίγεια κίνηση μόλις σταματά το τίναγμα. Αυτές οι πληροφορίες, γνωστές ως οργανική ένταση, χρησιμοποιούνται για την παραγωγή χάρτη που παρουσιάζει τίναγμα και πιθανή ζημία (σχήμα 2.5). Καλείτε ως <<χάρτης κίνησης>> «ShakeMap,» αυτός ο χάρτης είναι πάρα πολύ πολύτιμος στις ομάδες έκτακτης ανάγκης - απάντησης που πρέπει να εντοπίσουν και να διασώσουν τους ανθρώπους στα κτήρια που έχουν καταρρεύσει. Το κόστος των σειсмоγράφων είναι μικρό σχετικά με τη ζημία από το τίναγμα σεισμού και την αξία των ζώων που σώζονται από τη γρήγορη διάσωση. Η οργανική ένταση είναι επίσης χρήσιμη στην εντόπιση των περιοχών όπου φυσικές γραμμές αερίου και άλλες χρησιμότητες είναι πιθανό να βλαφθούν.

## 2.2 Διαδικασίες σεισμού

Όπως συζητείται στο κεφάλαιο 1, η γη είναι ένα δυναμικό, εξελισσόμενο σύστημα στο οποίο οι τεκτονικές διαδικασίες πλακών διαμορφώνουν ωκεάνιες λεκάνες, ήπειροι, και σειρές βουνών. Αυτές οι διαδικασίες, και συμπεριλαμβανομένων των σεισμών και των ηφαιστειών, είναι πιο ενεργές κατά μήκος των ορίων των λιθοσφαιρικών πλακών (σχήματα 2.6 και 2.7).

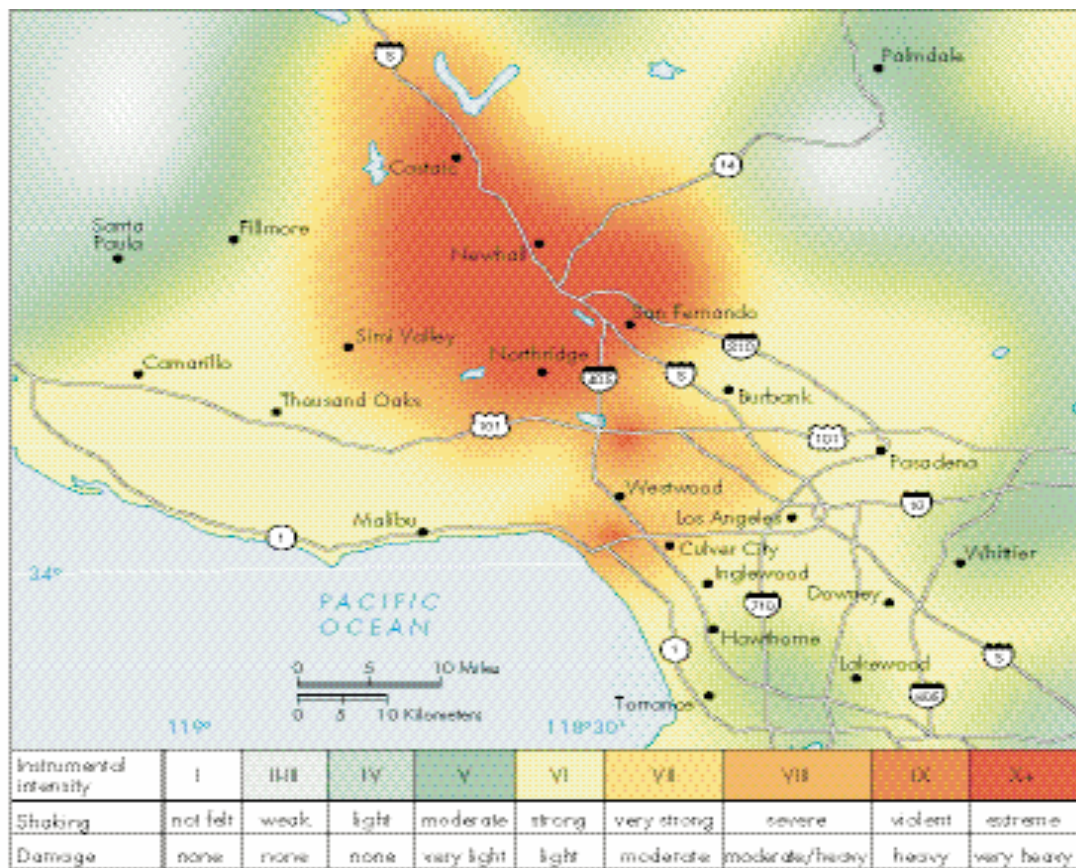
### Διαδικασία ρηγμάτων.

Η διαδικασία της ρήξης ρηγμάτων, ή του σφάλματος, μπορεί να συγκριθεί στην ολίσθηση δύο τραχιών το ένα μετά το άλλο. Η τριβή κατά μήκος του ορίου μεταξύ των πινάκων μπορεί προσωρινά επιβραδύνει την κίνησή τους, αλλά οι τραχιές άκρες σπάζουν και η κίνηση εμφανίζεται στις διάφορες θέσεις κατά μήκος του επίκεντρου. Ομοίως, οι λιθοσφαιρικές πλάκες που κινούνται επιβραδύνουν την τριβή κατά μήκος των ορίων τους. Αυτή είναι η «δράση φρεναρίσματος» πιέζοντας τους βράχους κατά μήκος του ορίου.

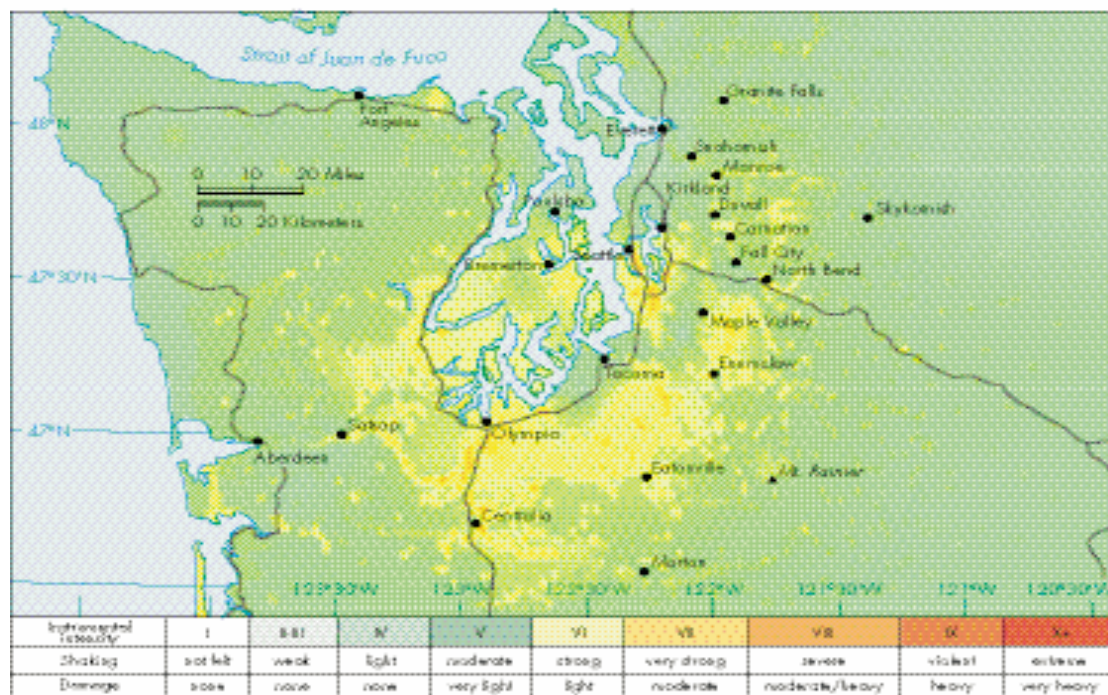
Κατά συνέπεια, αυτοί οι βράχοι υποβάλλονται στην πίεση ή παραμόρφωση. Όταν η πίεση στους βράχους υπερβαίνει τη δυνατότητά τους να αντισταθούν, οι βράχοι σπάνε, διαμορφώνοντας ένα ρήγμα. Ένα ρήγμα είναι ένα σπάσιμο ή ένα σύστημα σπασίματος όπου οι βράχοι έχουν μετατοπιστεί δηλαδή μια πλευρά του σπασίματος ή το σύστημα σπασίματος έχει κινηθεί σχετικά με την άλλη πλευρά. Το μακροπρόθεσμο ποσοστό μετακίνησης είναι γνωστό ως το ποσοστό ολίσθησης και καταγράφεται συχνά ως χιλιοστόμετρα το χρόνο ή μέτρα ανά 1000 έτη. Όταν μια ρήξη αρχίζει αρχίζει η εστίαση και διαδίδει έπειτα επάνω, κάτω από, και πλευρικά κατά μήκος του επίκεντρου ρηγμάτων κατά τη διάρκεια του σεισμού. Η ξαφνική ρήξη των βράχων παράγει τα κρουστικά κύματα, αποκαλούμενα σεισμικά κύματα, τα οποία μπορούν να τινάξουν το έδαφος. Με άλλα λόγια, ένας σεισμός απελευθερώνει την αποθηκευμένη ενέργεια των βράχων ως σειρά παλμικών σφυγμών ή κυμάτων από την ενέργεια. Τα ρήγματα είναι επομένως σεισμικές πηγές, και ο προσδιορισμός είναι το πρώτο βήμα στην αξιολόγηση του σεισμικού κινδύνου, σε μια δεδομένη περιοχή.

**Τύποι ρηγμάτων** Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι γεωλογικών ρηγμάτων, απεργία-ολίσθηση και εμβύθιση-ολίσθηση, τα οποία διακρίνονται από την κατεύθυνση στην οποία τα γήινα υλικά κινούνται. Στα ρήγματα απεργία-ολίσθησης τα τοιχώματα κινούνται κυρίως σε οριζόντια κατεύθυνση και σε ένα ρήγμα εμβύθιση-ολίσθησης κινούνται κυρίως σε μια κάθετη κατεύθυνση. Ένα ρήγμα εμβύθιση-ολίσθησης είναι ταξινομημένο ως αντίστροφο ρήγμα.

Οι γεωλόγοι χρησιμοποιούν παλαιά ορολογία μεταλλείας για να διακρίνουν αντίστροφα και κανονικά ρήγματα. Πολλά υπόγεια ορυχεία σκάφτηκαν σε μια κλίση μέσα στη γη μεταλλοποιώντας τις ζώνες ρηγμάτων. Το ορυχείο, όπως το επίκεντρο ρήγματος, ήταν μεταξύ δύο φραγμών του φλοιού της γης. Φανταστείτε ότι το επίκεντρο ρήγματος είναι το πάτωμα ενός ορυχείου και ότι μπαίνετε κάτω από το ρήγμα μέσα τη γη (Σχ 2.8). Οι ανθρακωρύχοι κάλεσαν το φραγμό της γης κάτω από τα πόδια τους το football και ο φραγμός που κρεμούν ανωτέρω τα κεφάλια τους ο κρεμώ-τοίχος. Εάν η κίνηση σε ένα γεωλογικό



(α)



(β)

Σχ 2.5(α) (β) πραγματικός χρόνος τινάγματος οργανικής έντασης





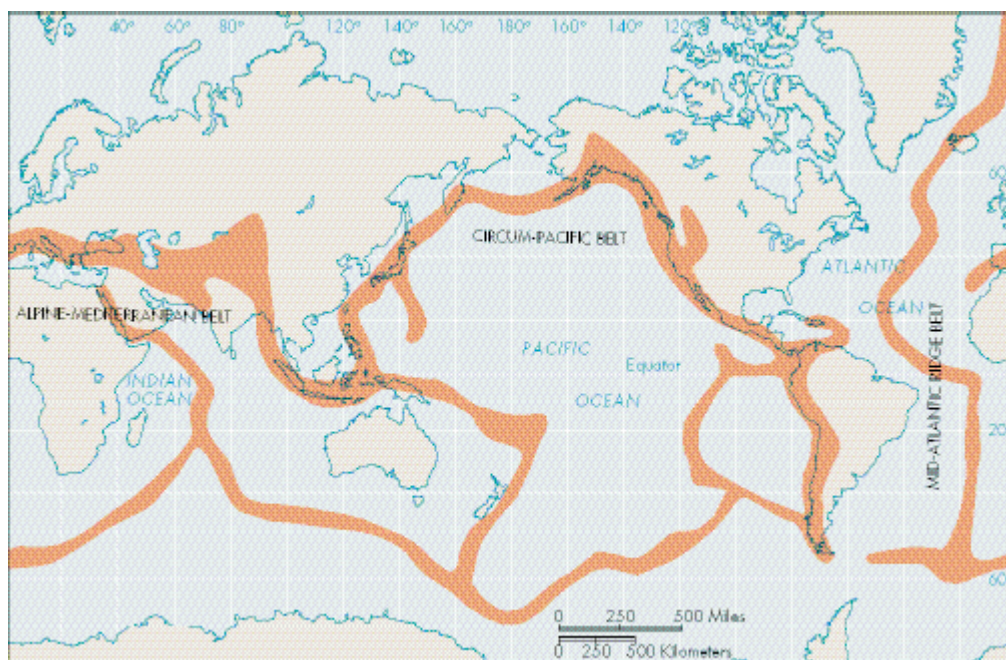
Σχ 2.6 χάρτης σεισμικής διανομής που παρουσιάζει τα επίκεντρα στα όρια των πλακών

ρήγμα είναι τέτοιο που ο κρεμώ-τοίχος κινείται επάνω σχετικά με το footwall, έπειτα το ρήγμα καλείται αντίστροφο ρήγμα εάν το επίκεντρο ρήγμα είναι κεκλιμένο διαγωνίως πιο απότομο από 45 βαθμούς ή μια ώθηση σφάλλουν εάν η γωνία είναι 45 βαθμοί ή λιγότερος. Εάν ο κρεμώ-τοίχος κινείται κάτω σχετικά με το footwall το ρήγμα καλείται κανονικό ρήγμα.

Μέχρι σήμερα θεωρήθηκε ότι τα περισσότερα ενεργά ρήγματα θα μπορούσαν να χαρτογραφηθούν επειδή ο πιο πρόσφατος σεισμός θα προκαλούσε ρήξη της επιφάνειας. Εντούτοις, ξέρουμε τώρα ότι μερικά ρήγματα θάβονται, ή εξαφανίζονται, και ότι η ρήξη δεν φτάνει πάντα στην επιφάνεια (σχήμα 2.9). Αυτή η ανακάλυψη έχει καταστήσει δυσκολότερη την αξιολόγηση του κινδύνου του σεισμού σε μερικές περιοχές.

## Δραστηριότητα ρηγμάτων

Οι περισσότεροι γεωλόγοι θεωρούν ένα ρήγμα ιδιαίτερο εάν έχει κινηθεί κατά τη διάρκεια των προηγούμενων 10.000 ετών της ολόκενης εποχής. Η ολόκενη είναι η πιο πρόσφατη εποχή των τεσσάρων καταστάσεων της γήινης ιστορίας. Ήταν η προηγούμενη από την πλειστοκαινή εποχή της τέταρτης περιόδου. Ένα μεγάλο μέρος του παρόντος τοπίου αναπτύχθηκε κατά τη διάρκεια της τεσσάρων καταστάσεων περιόδου. Ρήγματα που παρουσιάζουν στοιχεία μετακίνησης κατά τη διάρκεια της πλειστοκαινής, αλλά όχι της ολόκενης εποχής, είναι ταξινομημένα ως ενδεχομένως ενεργά

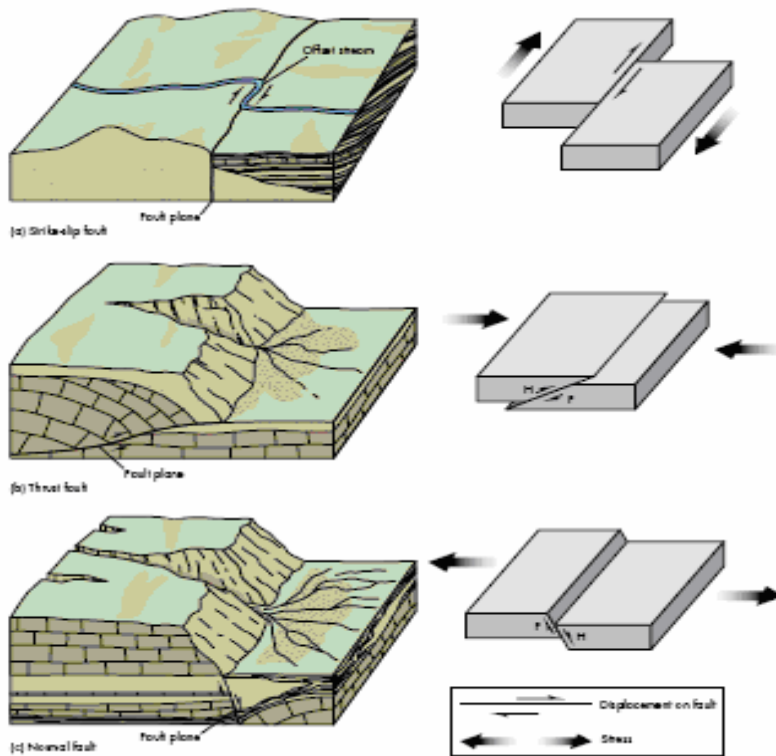


Σχ 2.7 ζώνες σεισμού

Ρήγματα που δεν έχουν κινηθεί κατά τη διάρκεια των προηγούμενων 2 εκατομμυρίων χρόνων είναι γενικά ταξινομημένα σαν ανενεργά. Εντούτοις, εμείς υπογραμμίζουμε ότι είναι συχνά δύσκολο να αποδειχθεί όταν ένα ρήγμα ήταν τελευταία ενεργό, ειδικά εάν δεν υπάρχει ένα ιστορικό αρχείο των σεισμών. Σε πολλές περιπτώσεις οι γεωλόγοι πρέπει να καθορίσουν την παλαιοσεισμικότητα του ρήγματος, δηλ., προϊστορικό αρχείο των σεισμών. Κάνουν έτσι με τον προσδιορισμό των γήινων υλικών τον καθορισμό της ηλικίας ή την πιο πρόσφατη μετατόπιση.

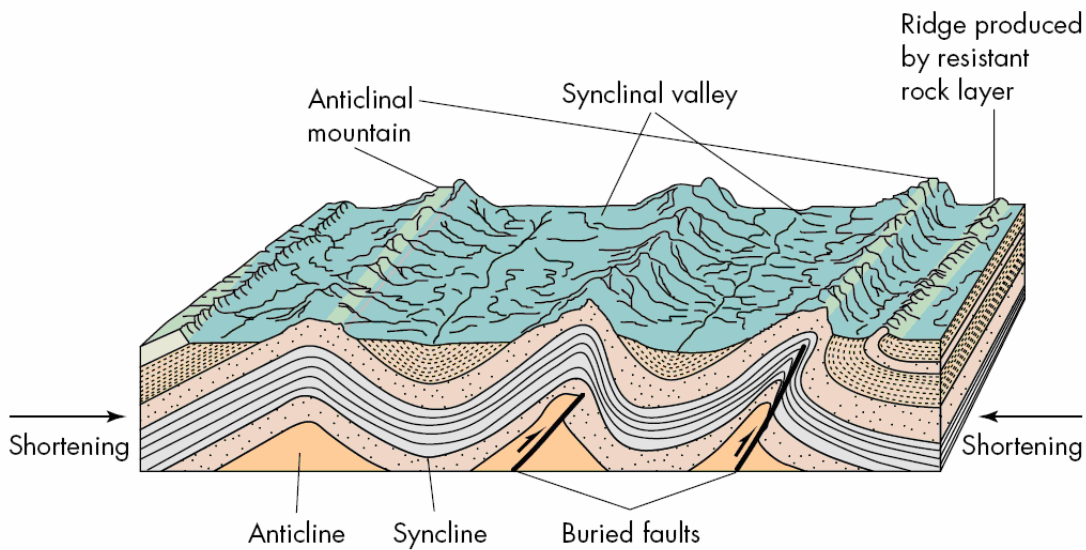
## Τεκτονικός ερπυσμός

Μερικά ενεργά ρήγματα εκθέτουν τον **τεκτονικό ερπυσμό**, δηλ., βαθμιαία μετακίνηση κατά μήκος ενός ρήγματος που δεν συνοδεύεται από αισθητούς σεισμούς. Παραδείγματος χάριν, τεκτονικός ερπυσμός κατά μήκος της ζώνης υποβύθισης Cascadia κάτω από νοτιοδυτική Βρετανική Κολομβία και το κράτος της Ουάσιγκτον παράγει «σιωπηλούς» σεισμούς που δεν γίνονται αισθητοί και έχουν μόνο πρόσφατα ανιχνευτεί. Επίσης ονομάζεται ερπυσμός ρηγμάτων, αυτή η διαδικασία μπορεί αργά να βλάψει τους δρόμους, πεζοδρόμια, οικοδόμηση, θεμέλια, και άλλες δομές (σχήμα 2.10). Ο τεκτονικός ερπυσμός έχει βλάψει τους οχετούς κάτω από το πανεπιστήμιο της Καλιφόρνιας στο γήπεδο ποδοσφαίρου του Μπέρκλεϋ. Μετακίνηση 2.2 εκατ. (1.3 μέσα.) μετρήθηκε κάτω από το στάδιο μέσα σε μόνο 11 έτη, και οι περιοδικές επισκευές ήταν απαραίτητες δεδομένου ότι οι ρωγμές αναπτύχθηκαν. Ο γρηγορότερος τεκτονικός ερπυσμός έχει καταγραφεί στο ρήγμα Calaveras κοντά στο Hollister, Καλιφόρνια. Εκεί μια οινόποιία πάνω στο ρήγμα κινείται αργά περίπου 1 εκατοστό το χρόνο. Ακριβώς επειδή οι ερπυσμοί ρηγμάτων δεν σημαίνουν εκείνη την καταστροφή οι σεισμοί δεν θα εμφανιστούν. Συχνά το ποσοστό ερπυσμού είναι μια σχετικά μικρή μερίδα του συνολικού ποσοστού ολίσθησης σε ένα ρήγμα περιοδικές ξαφνικές μετατοπίσεις που παράγουν σεισμούς μπορεί να αναμένονται.



Σχ 2.8 τύποι γεωλογικών ρηγμάτων





Σχ 2.9 <<θαμμένα ρήγματα>>

## Σεισμικά κύματα

Όταν ένα ρήγμα σπάζει, ξαφνικά και βίαια, απελευθερώνει την ενέργεια υπό μορφή σεισμικών κυμάτων. Αυτά τα κύματα ακτινοβολούν εξωτερικά σε όλες τις κατευθύνσεις όπως τους κυματισμούς σε μια λίμνη μετά από ένα χαλίκι που έχει χτυπήσει το νερό. Είναι η μετάβαση αυτών των κυμάτων θεωρηθεί ως σεισμός, αν και ο σεισμός όρου αναφέρει επίσης στη ρήξη ρηγμάτων αυτής δίνει αφορμή για τα κύματα.

Μερικά σεισμικά κύματα που παράγονται από τη ρήξη ρηγμάτων και ταξιδεύουν μέσα στο σώμα της γης και άλλα ταξιδεύουν κατά μήκος της επιφάνειας της γης. Υπάρχουν δύο τύποι κυμάτων, Κύματα Π και κύματα S.

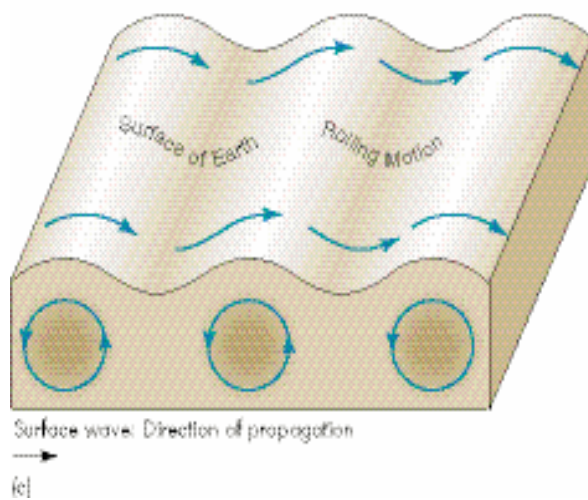
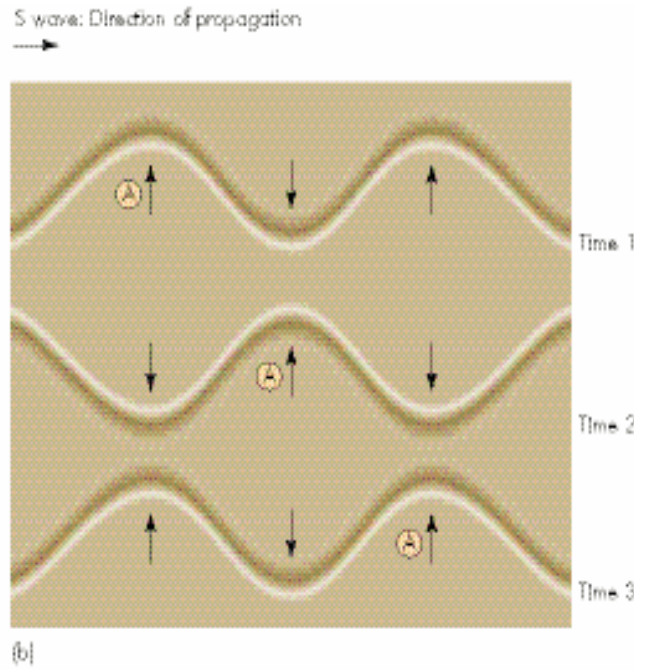
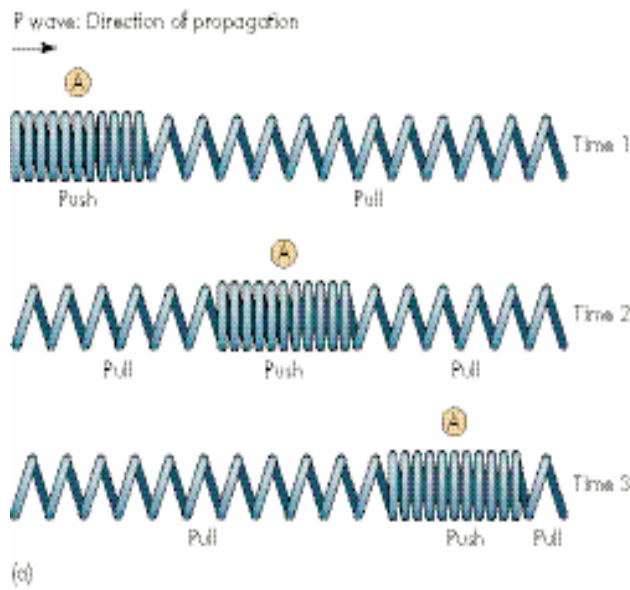
**Κύματα Π**, αποκαλούνται επίσης συμπιεστικά ή αρχικά κύματα, είναι τα γρηγορότερα από τα δύο (σχήμα 2.11a). Μπορούν να ταξιδέψουν μέσω ενός στερεού, ενός υγρού, και ενός αερίου. Τα κύματα Π ταξιδεύουν γρηγορότερα μέσω των στερεών απ' ό,τι μέσω των υγρών. Η μέση ταχύτητα για τα κύματα Π μέσω της γήινης κρούστας είναι 6 χλμ (3.7 mi.) ανά δευτερόλεπτο σε αντίθεση με 1.5 χλμ (0.9 mi.) ανά δευτερόλεπτο μέσω του νερού. Κατά τρόπο ενδιαφέροντα, όταν Τα κύματα Π φθάνουν στη γήινη επιφάνεια και διαβιβάζονται ο αέρας, οι άνθρωποι και άλλα ζώα μπορούν να είναι σε θέση να ακούσουν ένα μέρος τους. Ο ήχος που μερικοί άνθρωποι ακούν για έναν σεισμό προσέγγισης είναι ο δυνατός θόρυβος, όχι το πραγματικό κύμα Π.

**Τα κύματα S**, αποκαλούνται επίσης δευτεροβάθμια κύματα, και μπορούν να ταξιδέψουν μόνο μέσω των στερεών υλικών (σχήμα 2.11b). Αυτά ταξιδεύουν πιο αργά από τα κύματα Π και έχουν έναν μέσο όρο ταχύτητα μέσω της γήινης κρούστας 3 χλμ (1.9 mi.) ανά δευτερόλεπτο. Τα κύματα του S παράγουν μια κίνηση επάνω-και-κάτω κάθετα στην κατεύθυνση που το κύμα κινείται. Αυτή η μετακίνηση είναι παρόμοια με το λίκνισμα ενός μεγάλου σχοινού που δύο άνθρωποι παίζουν σε μια παιδική χαρά.

Όταν τα κύματα Π και του S φθάνουν στην επιφάνεια εδάφους, συνθέτουν τα επιφανειακά κύματα και κινούνται κατά μήκος της γήινης επιφάνειας. Αυτά τα κύματα ταξιδεύουν πιο αργά είτε από τα Π είτε τα S κύματα, και προκαλούν ένα μεγάλο μέρος ζημίας κοντά επίκεντρο. Επειδή τα κύματα επιφάνειας έχουν μια σύνθετη οριζόντια και κάθετη επίγεια μετακίνηση ή κυκλική κίνηση, μπορούν να ραγίσουν τους τοίχους και τα θεμέλια των κτηρίων, γέφυρες, και δρόμους. Άνθρωποι που βρίσκονται κοντά στο επίκεντρο από έναν ισχυρό σεισμό έχουν εκθέσει ότι τα κύματα κυματίζουν πέρα από την επιφάνεια εδάφους. Ένας τύπος



Σχ2.10 τεκτονικός ερπυσμός κατά μήκος του ρήγματος του SAN ANDREAS



Σχ 2.11 σεισμικά κύματα – συμπεριφορά των τριών σημαντικών τύπων σεισμικών κυμάτων P –S- επιφανειακά

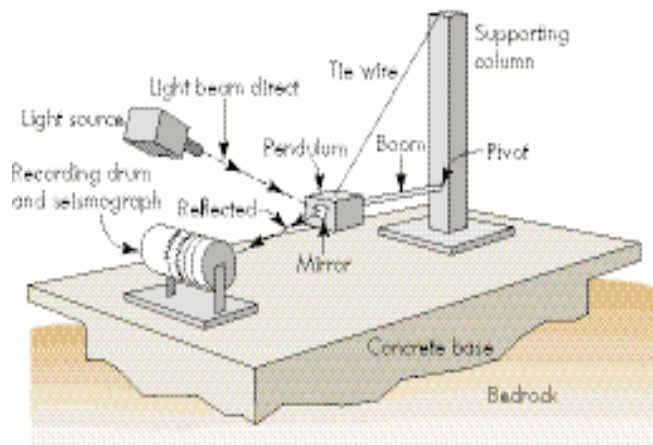
επιφανειακών κυμάτων, αποκαλούνται κύματα αγάπης, προκαλεί οριζόντιο τίναγμα που είναι ιδιαίτερα καταστρεπτικό στα θεμέλια. (Αντίθετα προς αυτό που μπορούμε να φανταστούμε, κύματα αγάπης ονομάστηκαν από ένα Βρετανό μαθηματικό, μάλλον από τις δονήσεις που προέρχονται από το Σαν Φρανσίσκο στα τέλη της δεκαετίας του '60.)

## 2.3 Τίναγμα σεισμού

Τρεις σοβαροί παράγοντες καθορίζουν το τίναγμα κατά τη διάρκεια ενός σεισμού: (1) μέγεθος σεισμού, (2) η θέση σε σχέση με το επίκεντρο, και (3) τοπικές συνθήκες χώματος και βράχου. Γενικά, ισχυρό τίναγμα μπορεί να αναμένεται από τους σεισμούς μέτριου μεγέθους ( $M$  5 έως 5.9) ή μεγαλύτερου. Είναι ισχυρή η κίνηση από το σεισμό που ραγίζει το έδαφος και κάνει τη γη να λικνιστεί δημιουργώντας ζημιές στα κτήρια και σε άλλες κατασκευές.

### Απόσταση από το επίκεντρο

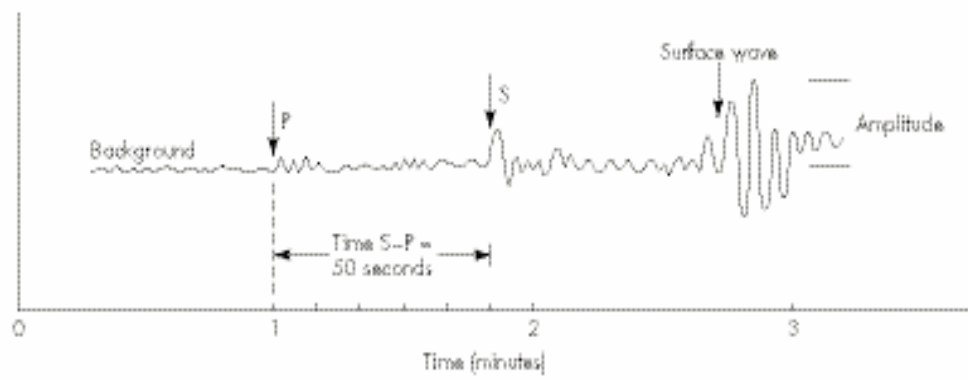
Για να καθοριστεί η απόσταση από το επίκεντρο πρέπει πρώτα να εντοπίσουμε την τοποθεσία χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες για τα κύματα  $P$  και του  $S$  που ανιχνεύονται από σειсмоγράφους (σχ 2.12a και β). Γραπτό ή ψηφιακό αρχείο αυτών των κυμάτων καλείται σεισμογράμμα. Τα κύματα  $P$  και  $S$  στα σεισμογράμματα εμφανίζονται ως ταλαντευόμενες γραμμές που φαίνονται παρόμοιες με έναν ηλεκτροκαρδιογράφο (EKG) όπως ο κτύπος της καρδιάς ενός ατόμου (σχήμα 2.12c). Επειδή τα  $P$  κύματα ταξιδεύουν γρηγορότερα από τα κύματα  $S$  θα εμφανιστούν πρώτα πάντα στα σεισμογράμματα. Οι σεισμολόγοι χρησιμοποιούν τη διαφορά μεταξύ του χρόνου ότι τα πρώτα κύματα  $P$  και του  $S$  φθάνουν (SP) από έναν σεισμό για να καθορίσουν το πόσο μακριά είναι το επίκεντρο από το σεισμογράφο. Παραδείγματος χάριν, στο σχήμα 2.12c τα κύματα του  $S$  έφθασαν 50 δευτερόλεπτα μετά από το  $P$  κύματα. Αυτή η δεύτερη καθυστέρηση 50 δευτερολέπτων θα εμφανιζόταν εάν και οι δύο τύποι από τα κύματα που ταξιδεύουν ήταν από ένα επίκεντρο περίπου 420 χλμ (261 mi.) μακριά. Σεισμογράφοι που διασκορπίζονται σε όλη την υδρόγειο θα καταγράψουν έτσι τους διαφορετικούς χρόνους άφιξης για τα κύματα  $P$  και  $S$



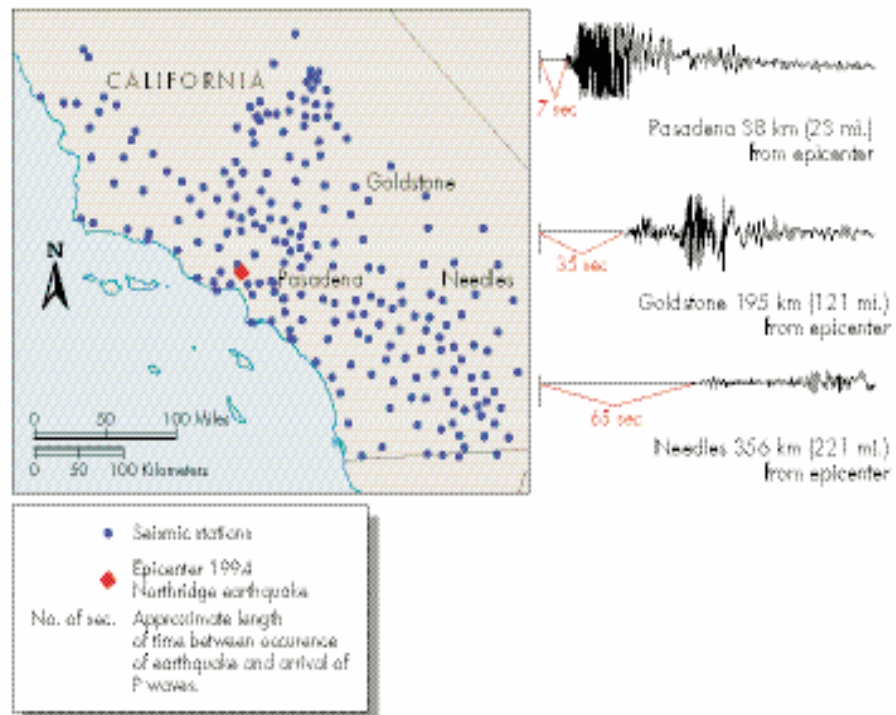
(a)



(b)



(c)



(d)

Σχ 2.12 σεισμογράφοι



από έναν σεισμό. Οι σειсмоγραφικοί σταθμοί που είναι όσο το δυνατόν πιο μακριά από το επίκεντρο θα παρατηρήσουν διαφορά μεταξύ των χρόνων άφιξης κυμάτων P και S. Αυτή η σχέση παρατηρήθηκε το 1994 στο σεισμό στο Northridge, Καλιφόρνια, (M 6.7) (σχήμα 2.12d).

Η διαφορά μεταξύ των χρόνων άφιξης του P και του S (SP) στις διαφορετικές θέσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό του επίκεντρου ενός σεισμού. Για να το ολοκληρώσει μια απόσταση στο επίκεντρο, υπολογίζεται για κάθε ένα από τους τρεις σειсмоγράφους και οι αντίστοιχες τιμές χρησιμοποιούνται για την ακτίνα ενός κύκλου που σύρεται γύρω από κάθε σεισμικό σταθμό. Αυτοί οι κύκλοι θα κόψουν μια θέση- επίκεντρο. Η διαδικασία έχει ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα που χρησιμοποιεί τις αποστάσεις από τρία σημεία και καλείται τριγωνισμός. Κατά συνέπεια το επίκεντρο ενός σεισμού στην Κεντρική Αμερική μπορεί να είναι τοποθετημένο από τον τριγωνισμό των σταθμών στη Χονολουλού, Χαβάη, Μπέρκλεϋ, Καλιφόρνια, και San Juan, Puerto Rico. (Σχ 2.13)

## **Βάθος της εστίασης**

Εκτός από την απόσταση, το βάθος ενός σεισμού επηρεάζεται από το ποσό τινάγματος. Υπενθυμίζουμε ότι η θέση μέσα στη γη όπου ξεκινάει ο σεισμός είναι η εστίαση. Γενικά, όσο βαθύτερη είναι η εστίαση του σεισμού, τόσο λιγότερο τινάγμα θα εμφανιστεί στην επιφάνεια. Για σχετικά βαθύ σεισμούς τα σεισμικά κύματα χάνουν ένα μεγάλο μέρος της ενέργειάς τους προτού να φθάσουν στην επιφάνεια. Αυτή η απώλεια ενέργειας, καλούμενη ως μείωση, εμφανίστηκε το 2001 στο Σιάτλ, Ουάσιγκτον, (M6.8). Στο Σιάτλ ο σεισμός εμφανίστηκε κατά μήκος της ζώνης υποβύθισης Cascadia σε ένα βάθος 52 χλμ (32 mi.). Στη σύγκριση, υπήρξε λιγότερη μείωση το 1994 Northridge σε σεισμό (M 6.7), ο οποίος είχε ένα πιο ρηχό βάθος εστίασης από 19 χλμ (12 mi.) (σχήμα 2.14).



Σχ 2.13 τοποθεσία ενός σεισμού

### Κατεύθυνση του επίκεντρου

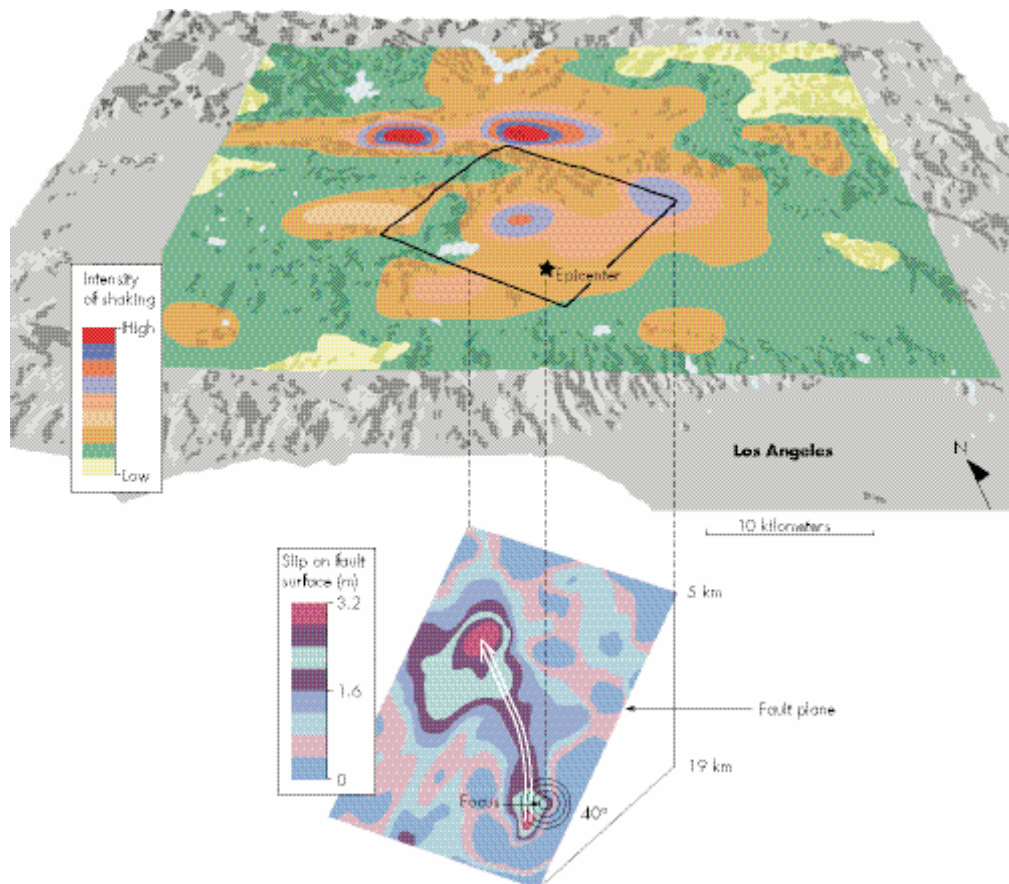
Ένας τρίτος παράγοντας που επηρεάζει το ποσό τινάγματος είναι η κατεύθυνση που η ρήξη κινεί κατά μήκος του ρήγματος στη διάρκεια του σεισμού. Αν και η ρήξη μπορεί να προχωρήσει μέσα, σε πολλές κατευθύνσεις από την εστίαση, μπορεί να στρέψει την ενέργεια του σεισμού. Αυτή η συμπεριφορά, γνωστή ως κατευθυντικότητα, συμβάλλει στην ενίσχυση των σεισμικών κυμάτων και έτσι και στο αυξανόμενο τινάγμα. Για παράδειγμα, στο σεισμό Northridge του 1964 η μέγιστη πορεία στο ρήγμα ήταν στα βορειοδυτικά (σχ 2.14). Αυτή η τάση ανάγκασε το εντονότερο τινάγμα να εμφανιστεί και να εστιάσει βορειοδυτικά του επίκεντρου.

## Τοπικές γεωλογικές συνθήκες

Η φύση των τοπικών γήινων υλικών επηρεάζει έντονα το ποσό της επίγειας κίνησης. Οι διάφοροι τύποι γήινων υλικών συμπεριφέροντε διαφορετικά σε έναν σεισμό. Αυτή η διαφορά συσχετίζεται με το βαθμό σταθεροποίησής τους. Τα σεισμικά κύματα κινούνται γρηγορότερα μέσω παγιωμένου στρώματος βράχου μέσω του μη σταθεροποιημένου ιζήματος ή χώματος. Επιβραδύνονται ακόμα περαιτέρω εάν το μη σταθεροποιημένο υλικό έχει μια περιεκτικότητα σε νερό. Παραδείγματος χάριν, τα σεισμικά κύματα επιβραδύνονται χαρακτηριστικά καθώς κινούνται από στρώμα βράχου στις κατευθύνσεις ρευμάτων της άμμου και του αμμοχάλικου, το ονομάζουν αλούβιο, και αργούν πάλι καθώς κινούνται μέσω της λάσπης (σχήμα 2.15). Τα κύματα P και S κινούνται αργά καθώς πηγαίνουν προς τα κάτω, η ενέργεια που κατευθύνθηκε μία φορά προς τα εμπρός είναι μεταφερόμενη στην κάθετη κίνηση των κυμάτων επιφάνειας. Αυτή η επίδραση, γνωστή ως **υλική ενίσχυση**, επηρεάζει έντονα το ποσό της επίγειας κίνησης μέσω ενός σεισμού.

Παραδείγματος χάριν, στο σεισμό Loma Prieta του 1989 (M 6.9) στη βόρεια Καλιφόρνια το αυστηρότερο τίναγμα στο έδαφος ήταν καταγεγραμμένο κατά μήκος της ακτής του SAN Francisco Bay (σχήμα 2.16). Από την έντονη επίγεια κίνηση κατέρρευσε η γέφυρα του αυτοκινητόδρομου Nimitz στο Όουκλαντ και σκότωσε 41 ανθρώπους και προκάλεσε σοβαρή ζημιά στη περιοχή Μαρίνα του Σαν Φρανσίσκο (σχήμα 2.17, Σχήμα 2.18). Η μεριά του αυτοκινητόδρομου που κατέρρευσε στηρίχτηκε στο μαλακό ίζημα από τον κόλπο του Σαν Φρανσίσκο. Επιπλέον, η περιοχή Μαρίνα δημιουργήθηκε μετά από το σεισμό το 1906 του Σαν Φρανσίσκο μετά από



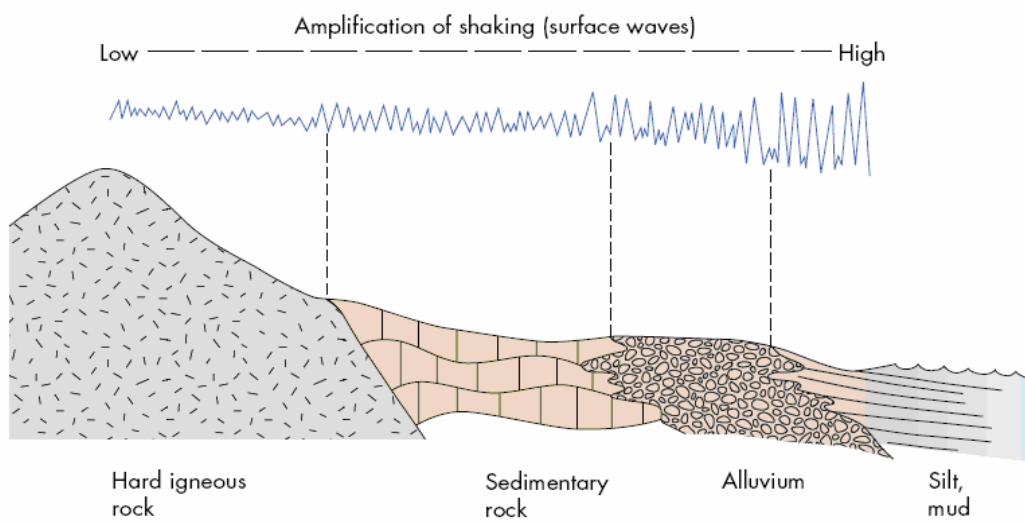


Σχ 2.14 κατεύθυνση της ρήξης προς την περιοχή του εντονότερου τινάγματος

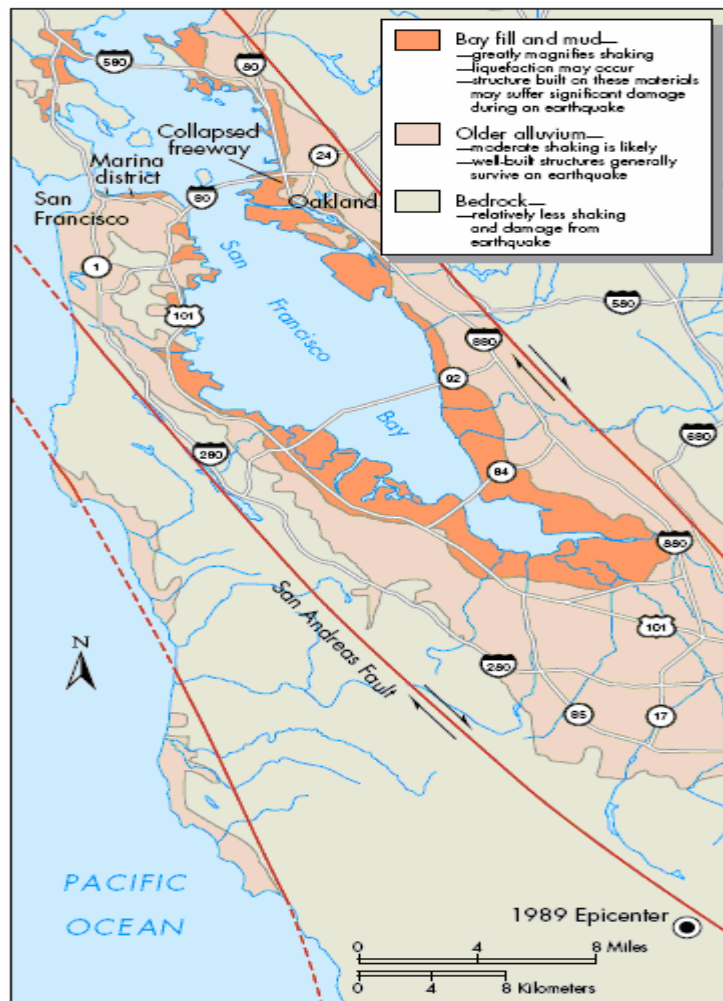
τα συντρίμια από τα χαλασμένα κτίρια και τη λάσπη που αντλήθηκε από το κατώτατο σημείο του κόλπου. Η μη σταθεροποιημένη φύση του κόλπου γεμίζει από λάσπη, που συνδυάζεται με την περιεκτικότητα σε νερό, που προκάλεσε το αυξανόμενο τινάγμα. Εκπληκτικά, επειδή από την υλική ενίσχυση, το μέγιστο τινάγμα εμφανίστηκε 100 χλμ (πάνω από 60 mi.) βόρεια του επίκεντρου.

Οι θάνατοι πάνω από 8000 ανθρώπων το 1985 στη πόλη του Μεξικού από σεισμό (M8.0) είναι ένα άλλο τραγικό παράδειγμα από αυτή την επίδραση. Αυτός ο σεισμός περαιτέρω κατέδειξε ότι κτήρια κατασκευασμένα από υλικά που είναι πιθανό να επηρεαστούν από το σεισμικό τινάγμα είναι εξαιρετικά τρωτά σε σεισμούς, ακόμα κι αν το γεγονός είναι κεντροθετημένο αρκετά χιλιόμετρα μακριά. Ένα μεγάλο μέρος της Πόλης του Μεξικού στηρίζεται στις καταθέσεις από λάσπη από την αρχαία λίμνη Texcoco (σχήμα 2.19a, ). Όταν τα σεισμικά κύματα χτύπησαν την μη σταθεροποιημένη λάσπη, το εύρος του τινάγματος της επιφάνειας εμφανίστηκε να έχει αυξανόμενο βαθμό από έναν παράγοντα 4 ή 5. Περισσότερα από 500 κτήρια έπεσαν από το έντονο τινάγμα. Πολλά κτήρια από τα ισχυρά τινάγματα

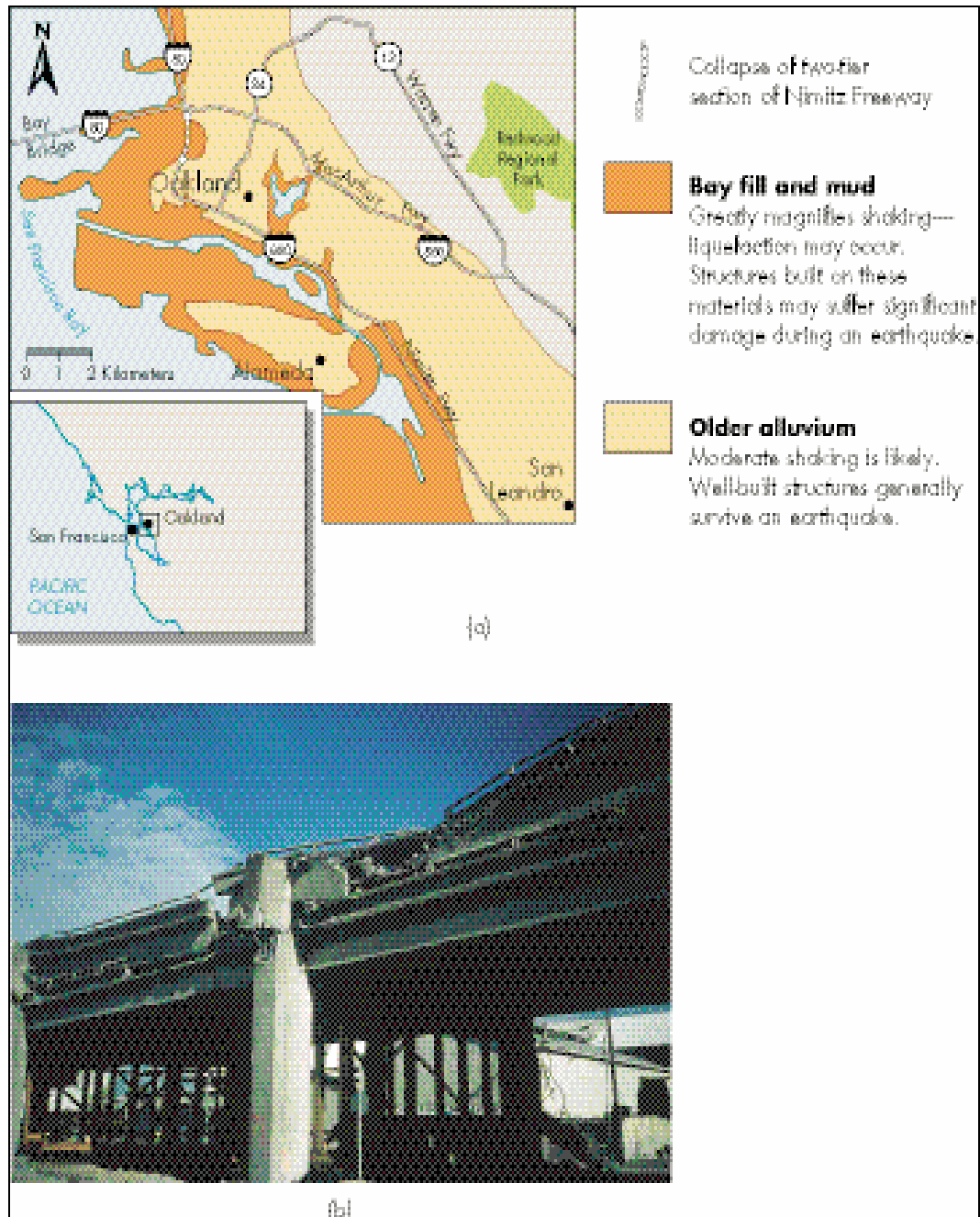
κατέρρευσαν στα ανώτερα πατώματα δημιουργώντας έναν σωρό από «πίτες»(σχήμα 2.19b).



Σχ 2.15 ενίσχυση τινάγματος



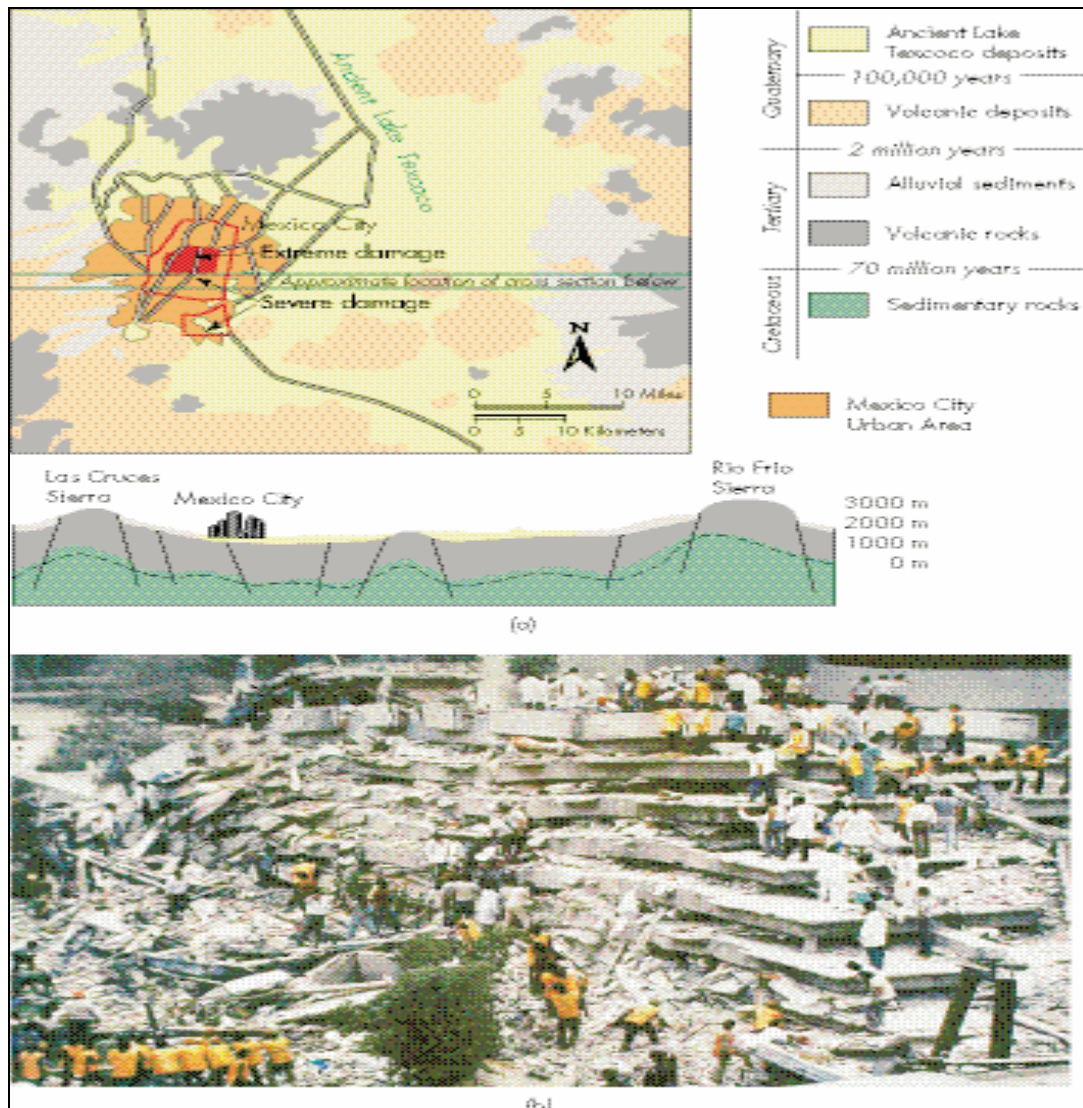
Σχ 2.16 σεισμός στη Loma Prieta



Σχ 2.17 κατάρρευση του αυτοκινητόδρομου



Σχ 2.18 ζημιές σεισμού στο κτίριο του Σαν Φρανσίσκο το 1989 με μέγεθος σεισμού 6.9



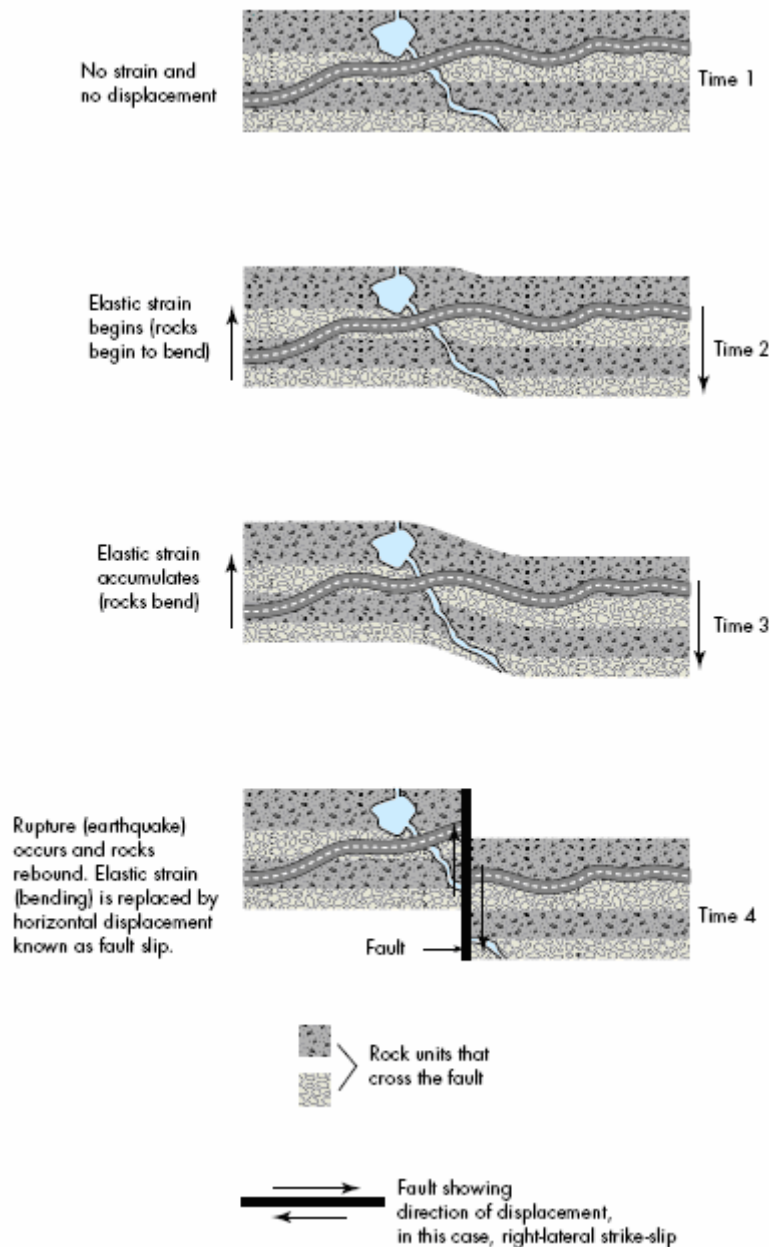
Σχ 2.19 καταστροφές από σεισμό στην πόλη του Μεξικού

## 2.4 Ο σεισμικός κύκλος

Παρατηρήσεις του σεισμού του Σαν Φρανσίσκο του 1906 (Μ 7.8) οδήγησαν σε μια υπόθεση γνωστή ως σεισμικό κύκλο. Ο κυκλικός σεισμός προτείνει ότι υπάρχει μια πτώση στην ελαστική πίεση μετά από έναν σεισμό και μια εκ νέου συσσώρευση από την πίεση πριν από το επόμενο γεγονός.

Η κλίση είναι παραμόρφωση ως αποτέλεσμα της πίεσης. Η ελαστική πίεση μπορεί να θεωρηθεί ως παραμόρφωση που δεν είναι μόνιμη, υπό τον όρο ότι η πίεση τελικά απελευθερώνεται. Όταν η πίεση απελευθερώνεται, το ελαστικά παραμορφωμένο υλικό επιστρέφει στην αρχική μορφή του. Εάν η πίεση δεν απελευθερώνεται και συνεχίζει να αυξάνεται, το παραμορφωμένο υλικό τελικά παραμορφώνεται μόνιμα. Για παράδειγμα, συνεχής πίεση σε μια τεντωμένη. Μια παρόμοια επίδραση, καλούμενη ως ελαστική αναπήδηση, εμφανίζεται μετά από έναν σεισμό (σχήμα 2.20).





Σχ 2.20 ο κύκλος των σεισμών

Οι σεισμολόγοι σκέπτονται ότι ένας τυπικός κυκλικός σεισμός έχει τρία ή τέσσερα στάδια. Το πρώτο είναι μια μεγάλη περίοδος αδράνειας κατά μήκος ενός τμήματος ενός γεωλογικού ρήγματος. Στο δεύτερο στάδιο, η συσσωρευμένη ελαστική πίεση παράγει μικρούς σεισμούς. Το τρίτο στάδιο, αποτελείται από μικροσεισμούς, που μπορεί να εμφανιστούν μόνο ώρες ή ημέρες πριν από τον επόμενο μεγάλο σεισμό. Οι προσεισμοί είναι μικρού μεγέθους σεισμοί που εμφανίζονται πριν από το μεγάλο γεγονός. Εντούτοις, σε μερικές περιπτώσεις αυτό το τρίτο στάδιο μπορεί να μην εμφανιστεί. Τέλος, το τέταρτο στάδιο είναι ο κύριος σεισμός, και οι μετασεισμικές δονήσεις του. Ένας μετασεισμός είναι ένας

μικρότερος σεισμός που εμφανίζεται οπουδήποτε για μερικά λεπτά ακολουθώντας το κύριο γεγονός και αυτός έχει επίκεντρο κοντά στο επίκεντρο του κύριου σεισμού. Αν και αυτός ο κύκλος είναι υποθετικός και οι περίοδοι μεταξύ σημαντικών σεισμών είναι μεταβλητές, αυτά τα στάδια έχουν προσδιοριστεί σε πολλούς μεγάλους σεισμούς.

## **2.5 Γεωγραφικές περιοχές σε κίνδυνο από τους σεισμούς**

Οι σεισμοί δεν διανέμονται τυχαία. Οι περισσότεροι εμφανίζονται σε καθορισμένες ζώνες κατά μήκος των ορίων των τεκτονικών πλακών της γης (σχήματα 2.6 και 2.7). Στις ΗΠΑ, οι περιοχές με τον υψηλότερο κίνδυνο σεισμού περιλαμβάνουν τις ειρηνικές παραλιακές περιοχές Καλιφόρνιας, Όρεγκον, Ουάσιγκτον, Αλάσκα, και Χαβάη και μια περιοχή κατά μήκος της Καλιφόρνιας στα σύνορα της Νεβάδας και τα αμερικάνικα εδάφη του Πουέρτο Ρίκο και των Παρθένων Νήσων (σχήμα 2.21). Αυτή η διανομή δεν είναι εκπληκτική δεδομένου ότι, με εξαίρεση τη Χαβάη, αυτές οι περιοχές είναι επάνω ή πολύ κοντά στο να καλύψουν τα όρια. Τι μπορεί να είναι πιο εκπληκτικό είναι οι υψηλού κινδύνου ζώνες στη νότια Καρολίνα και την κεντρική κοιλάδα του ποταμιού Μισισσιπή. Αυτές οι περιοχές δεν είναι κοντά στα παρόντα όρια πλακών, αλλά έχουν δοκιμαστεί από μεγάλους σεισμούς στο *μέσο των πλακών*.

### **Σεισμοί στα όρια των πλακών**

Οι σεισμοί στο μέσο των ορίων των πλακών εμφανίζονται κοντά στα όρια πλακών στις συνεχείς γραμμικές ή ζώνες καμπής. Στις δυτικές Ηνωμένες Πολιτείες, αυτοί οι σεισμοί συσχετίζονται με τη ζώνη ρηγμάτων του San Andreas, Cascadia (πίνακας 2.1, σχήμα 2.21). Εκτιμώντας ότι Καλιφόρνια και η Αλάσκα είναι διάσημες για τους σεισμούς τους, Νεβάδα, Γιούτα, Αϊντάχο, Μοντάνα, Ουαϊόμινγκ, Όρεγκον, και Ουάσιγκτον επίσης.

Η Καλιφόρνια <<καβαλικεύει>> δύο λιθοσφαιρικές πλάκες, την Ειρηνική πλάκα δυτικά της ζώνης ρηγμάτων του San Andreas και τη βορειοαμερικανική πλάκα στην ανατολή. Η κίνηση αυτών των πλακών οδηγεί στους συχνούς καταστρεπτικούς σεισμούς. Το 1989 ο σεισμός στη Loma Prieta (M 6.9) στο SAN Andreas νότια του Σαν Φρανσίσκο προκάλεσε 63 θανάτους, 3.757

τραυματισμούς, και κατ' εκτίμηση \$5.6 δισεκατομμύρια στη ζημία ιδιοκτησίας. Και οι θάνατοι και οι τραυματισμοί θα ήταν σημαντικά μεγαλύτεροι εάν πολλοί άνθρωποι δεν είχαν μείνει σπίτι για να αποφύγουν τα πλήθη και τη συμφόρηση του τρίτου παιχνιδιού της παγκόσμιας σειράς στο Όουκλαντ. Ούτε ο σεισμός στη Loma Prieta ούτε ο σεισμός στο Northridge (M 6.7) θεωρήθηκε μεγάλος σεισμός. Ένας μεγάλος σεισμός (M 8 και υψηλότερο) που εμφανίζεται σήμερα στο πιο πυκνοκατοικημένο μέρος της νότιας Καλιφόρνιας θα μπορούσε να επιβάλλει \$100 δισεκατομμύρια δολάρια στη ζημία και να σκοτώσει αρκετές χιλιάδες ανθρώπους. Κατά συνέπεια, κανένας σεισμός δεν ήταν ο προσδοκώμενα «μεγάλος» στην Καλιφόρνια. Και οι δύο σεισμοί ήταν αρχικά παράξενοι επειδή δεν παρήγαγαν ρήξη επιφάνειας. Υπέδειξαν πόσα πρέπει να μάθουμε για τις διαδικασίες του σεισμού.

Αυτή η ιστορία για το σεισμό στη Loma Prieta επεξηγεί πώς η παρατήρηση μιας ακολουθίας γεγονότων σχετίζεται με έναν σεισμό χωρίς αυτό να σημαίνει ότι καταλαβαίνουμε τις αιτίες πίσω από αυτόν :

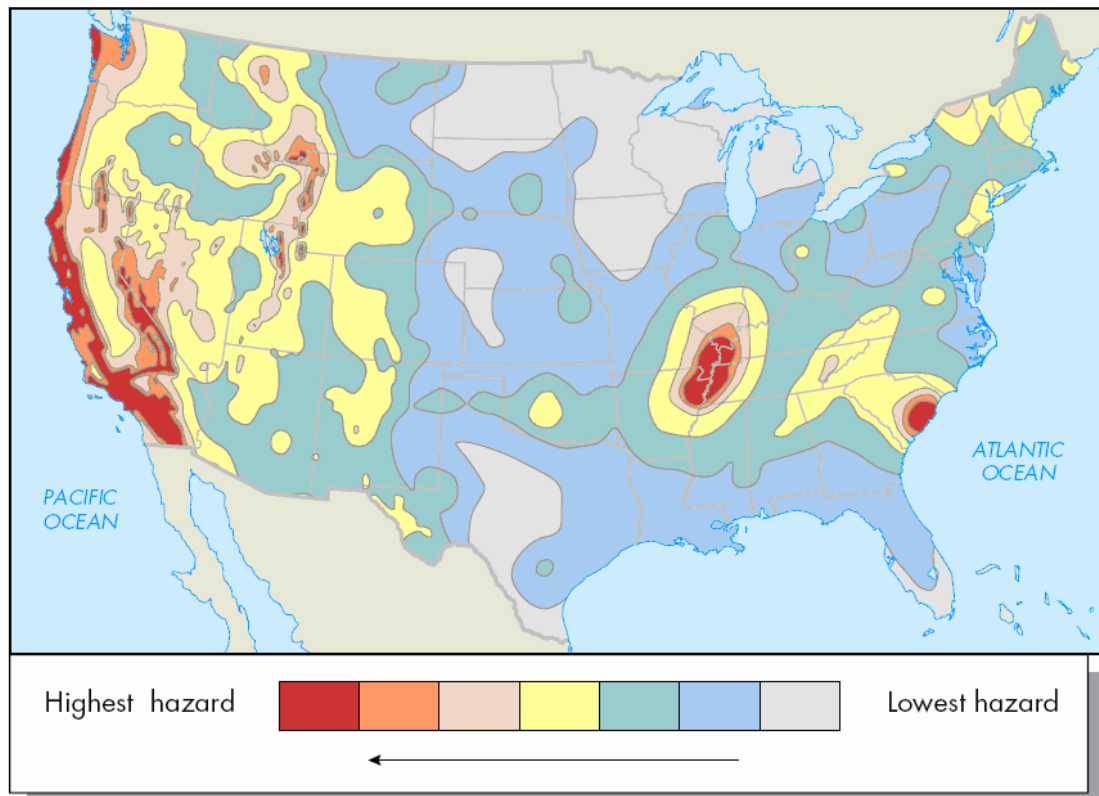
Λίγο πριν ο σεισμός χτυπήσει, ένα δίχρονο αγόρι έπαιζε έξω στην αυλή ανακάλυψε πώς να ανοίξει τους ψεκαστήρες των φυτών. Η μητέρα του δεν ήταν ευχαριστημένη με αυτό και τον πήγε στο δωμάτιό του για να του δώσει τις οδηγίες της. Αμέσως μόλις επέστρεψε έξω η γη άρχισε να τρέμει. Αυτή άκουσε το παιδί της να φωνάζει και έτρεξε πίσω στο σπίτι βρίσκοντας το τρομαγμένο. Αυτός έπειτα παρέμεινε πολύ ήρεμος μέχρι που ήρθε ο πατέρας του σπίτι από τη δουλειά. Βλέποντας τον πατέρα του, οι πρώτες λέξεις του παιδιού ήταν συναισθηματικές «Μπαμπά, μην ανοίξεις τον ψεκαστήρα!»

Τα περισσότερα που ξέρουμε για την πιθανή θέση, μέγεθος, και αποτελέσματα ενός σεισμού, είναι ο καλύτερος τρόπος για να μπορούμε να υπολογίσουμε τη ζημία που είναι πιθανό να εμφανιστεί και να γίνουν τα απαραίτητα σχέδια για την ελαχιστοποίηση της απώλειας ζωής και της ιδιοκτησίας.

### **Σεισμοί στο μέσο των πλακών**

Αν και πολύ λιγότερο κοινοί από τους σεισμούς στο όριο των πλακών οι σεισμοί στο μέσο των πλακών μπορούν να είναι μεγάλοι και εξαιρετικά καταστρεπτικοί. Επειδή εμφανίζονται λιγότερο συχνά,

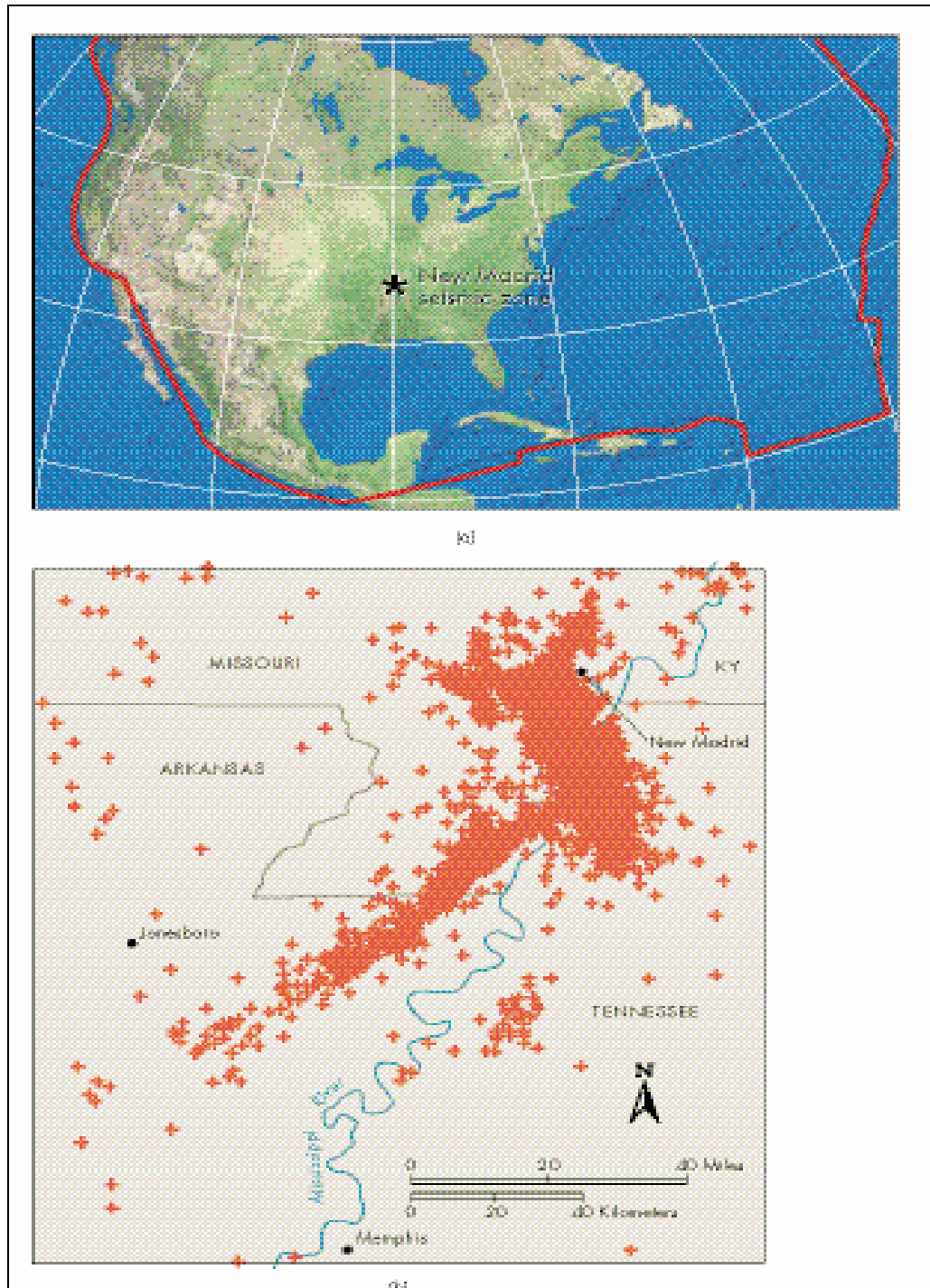




Σχ 2.21 χαρτογράφηση κινδύνου τινάγματος

υπάρχει γενικά μια έλλειψη προπαρασκευής, και τα κτήρια μπορεί να μην είναι σε θέση να αντισταθούν στο ισχυρό τίναγμα. Τουλάχιστον δύο σεισμοί με μέγεθος 7.5 και μεγαλύτερο εμφανίστηκαν το χειμώνα του 1811-1812 στην κεντρική κοιλάδα του Μισισσιπή. Οι σεισμοί κατάστρεψαν σχεδόν την πόλη της νέας Μαδρίτης, Μισσούρι, και σκοτώθηκε ένας άγνωστος αριθμός ανθρώπων. Έγιναν αισθητοί σχεδόν σε κάθε κοντινή πόλη της ανατολικής Βόρειας Αμερικής από τη Νέα Ορλεάνη στην πόλη του Κεμπέκ στον Καναδά, μια περιοχή πέρα από ένα εκατομμύριο τετραγωνικά μίλια. Τα σεισμικά κύματα από αυτούς τους σεισμούς χτύπησαν τις καμπάνες των εκκλησιών της Βοστώνης, πάνω από 1600 χλμ (995 mi.) μακριά! Σε συνδυασμό με την επίγεια κίνηση παράγαγε έντονη παραμόρφωση της επιφάνειας πέρα από μια ευρεία περιοχή βόρεια της Μέμφιδας, Τένεσι, 230 χλμ 11 7.5+ (145 mi.), στη συμβολή των ποταμών του Μισισσιπή και του Οχάιου. Κατά συνέπεια, τα δάση ισιώθηκαν, σπασίματα στο έδαφος το άνοιξαν τόσο ώστε οι άνθρωποι έπρεπε να περιορίσουν τα δέντρα, και το έδαφος βυθίστηκε προκαλώντας τοπική πλημμύρα. Περιοδικά και εκθέσεις εφημερίδων δείχνουν ότι η τοπική άνοδος της επιφάνειας του εδάφους ανάγκασε το ποτάμι του Μισισσιπή να αντιστραφεί η ροή του για μια σύντομη περίοδο.

Αυτοί οι σεισμοί εμφανίστηκαν κατά μήκος της σεισμικής ζώνης της Νέας Μαδρίτης μια σεισμικά ενεργή μερίδα από μια γεωλογική δομή γνωστή ως Embayment του Μισισσιπή (Σχήμα 2.22). Embayment είναι μια περιοχή της γήινης κρούστας όπου η λιθόσφαιρα είναι



Σχ 2.22 σεισμική ζώνη Νέας Μαδρίτης

σχετικά λεπτή. Αυτή η λέπτυνση πραγματοποιήθηκε κοντά στο τέλος του πρωτοζωικού αιώνα, περίπου 600 εκατομμύρια έτη πριν, όταν ένα αποκλίνων όριο πλακών αναπτύχθηκε νοτιοανατολικά των ΗΠΑ. Αν και embayment που διαμορφώθηκε κατά μήκος ενός πολύ παλαιού ορίου πλακών, οι παρατηρήσεις χρήσης γης και τα ποσοστά ανόδου στην κοιλάδα του Μισισσιπή δείχνουν ότι η σεισμική δραστηριότητα είναι πολύ πρόσφατη, ίσως λιγότερο από 10.000 χρονών.

Το **διάστημα επανάληψης**, ή χρόνος μεταξύ των γεγονότων, για μεγάλους σεισμούς Embayment του Μισισσιπή υπολογίζονται να είναι αρκετά έτη. Με το υλικό ενίσχυσης, η νέα σεισμική ζώνη της Μαδρίτης εμφανίζεται να είναι σε θέση παραγωγής εντάσεων που συνδέονται συνήθως με τους μεγάλους σεισμούς στην Καλιφόρνια. Γι' αυτό το λόγο, η εσωτερική πλάκα της βόρειας Αμερικής είναι μακριά από «το στάβλο.» Σε αναγνώριση αυτού, η ομοσπονδιακή Αντιπροσωπεία έκτακτης ανάγκης (FEMA) και επηρεασμένη από κράτη και δήμους έχει υιοθετήσει έναν νέο οικοδομικό κώδικα που σχεδιάστηκε για να μετριαστούν σημαντικοί κίνδυνοι από σεισμό.

Ένας άλλος μεγάλος, καταστρεπτικός σεισμός (M7.3) εμφανίστηκε τη νύχτα της 31ης Αυγούστου 1886, κοντά στο Τσάρλεστον, στη νότια Καρολίνα. Σεισμός που σκότωσε περίπου 60 άνθρωποι και έπληξε ή κατάστρεψε τα περισσότερα κτήρια στο Τσάρλεστον. Πάνω από 102 κτήρια καταστράφηκαν ολοκληρωτικά και περίπου 14.000 καμινάδες έπεσαν, λόγω της φτωχής κατασκευής μετά από μια μεγάλη πυρκαγιά το 1838. Ο σεισμός έγινε αισθητός από τον Καναδά έως την Κούβα όπως και δυτικά της Αρκάνσας. Τα αποτελέσματα του σεισμού αναφέρθηκαν σε αποστάσεις που υπερβαίνουν τα 1000 χλμ (620 mi.) από το επίκεντρο.

Οι σεισμοί στο μέσω των Ηνωμένων Πολιτειών είναι γενικά οι πιο καταστρεπτικοί και αισθητοί πέρα από μια πολύ μακρύτερη περιοχή όπως από έναν παρόμοιο μεγέθους σεισμό στην Καλιφόρνια. Επειδή οι βράχοι στις ανατολικές ΗΠΑ είναι γενικά ισχυρότεροι και λιγότερο σπασμένοι, μπορούν αποτελεσματικότερα να διαβιβάσουν τα σεισμικά κύματα.

## **2.6 Αποτελέσματα των σεισμών και σύνδεσμοι με άλλους φυσικούς κινδύνους**

Το τίναγμα δεν είναι η μόνη αιτία θανάτου και βλάβης από ένα σεισμό. Πολλοί σεισμοί προκαλούν άλλους κινδύνους και είναι έτσι ένα άριστο παράδειγμα για το πώς οι φυσικοί κίνδυνοι είναι συχνά συνδεδεμένοι. Τα αρχικά αποτελέσματα ενός σεισμού είναι εκείνα που προκαλούνται άμεσα από τη μετακίνηση ρηγμάτων, όπως το επίγειο τίναγμα, επηρεάζοντας ανθρώπους, κατασκευές, και ρήξη της επιφάνειας. Δευτερεύοντα αποτελέσματα είναι εκείνα που προκύπτουν στη συνέχεια από τα ρήγματα και το τίναγμα. Αυτά περιλαμβάνουν τη ρευστοποίηση του εδάφους, περιφερειακές αλλαγές στην ανύψωση εδάφους, καθιζήσεις εδάφους, πυρκαγιά, τσουνάμι, και ασθένειες

### **Τίναγμα και ρήξη εδάφους**

Τα άμεσα αποτελέσματα ενός καταστροφικού σεισμού μπορεί να περιλαμβάνουν το βίαιο επίγειο τίναγμα που συνοδεύεται από τη ρήξη και τη μετατόπιση της γήινης επιφάνειας. Αν και οι περισσότερες ρωγμές επιφάνειας που παράγονται από τους σεισμούς είναι αποτέλεσμα της ρευστοποίησης και καθίζησης του εδάφους (που συζητούνται κατωτέρω), μια σημαντική ρήξη επιφάνειας μπορεί να εμφανιστεί κατά μήκος του ρήγματος που ήταν η σεισμική πηγή για το σεισμό. Αυτή η ρήξη παράγει συνήθως ένα χαμηλό απότομο βράχο, αποκαλούμενο ρήγμα απόρριψης, το οποίο μπορεί να επεκταθεί για χιλιόμετρα κατά μήκος του ρήγματος. (σχήμα 2.23). Αντίθετα σε πολλές ταινίες του Hollywood, η γη ραγίζει σπάνια ανοίγει και έπειτα κλείνει κατά τη διάρκεια ενός σεισμού.



Σχ 2.23 ρήγμα απόρριψης ονομάζεται έτσι γιατί παρήχθη από την ρήξη του γήινου φλοιού το 1992

Ο σεισμός του Σαν Φρανσίσκο του 1906 (M 7.8) παρήγαγε 6.5 μ (ελαφρώς πάνω από 21 πόδ.) οριζόντια μετατόπιση κατά μήκος του SAN Andreas Fault βόρεια του SAN Francisco. Οι μελέτες μετά το σεισμό δείχνουν ότι οι μερίδες της περιοχής των κόλπων έφθασαν σε μια μέγιστη ένταση της κλίμακας Mercalli XI. Σε αυτήν την ένταση, οι επιταχύνσεις επιφάνειας μπορούν να σπάσουν απότομα και να ξεριζώσουν μεγάλα δέντρα και να ρίξουν τους ανθρώπους στο έδαφος. Αυτό το επίπεδο τινάγματος μπορεί να βλάψει ή να καταρρεύσει τα μεγάλα κτήρια, τις γέφυρες, τα φράγματα, τις σήραγγες, τις σωληνώσεις, και άλλες άκαμπτες δομές.

Η μεγάλη προκαλούμενη εκτενής ζημία σεισμού του 1964 στην Αλάσκα (M 9.2) στα συστήματα μεταφορών, αερολιμένες, και κτήρια. Και οι σεισμοί Northridge του 1989 Loma Prieta (M 6.9) και του 1994 (M 6.7) ήταν μικρότεροι από το μεγάλο σεισμό της Αλάσκα, όμως η ζημία τους ήταν πολύ δαπανηρότερη. Σε πληθωρισμός-ρυθμισμένα δολάρια, ο Loma Prieta σεισμός ήταν πέντε φορές πιο δαπανηρός όπως ο σεισμός της Αλάσκα και ο σεισμός Northridge ήταν είκοσι φορές πιο δαπανηρός. Με τις απώλειες \$30 δισεκατομμυρίων, ο σεισμός Northridge ήταν ένα από τα ακριβότερα επικίνδυνα γεγονότα στην ιστορία των ΗΠΑ. Ο σεισμός Northridge προκάλεσε τόσο πολλή ζημία επειδή υπήρξε

μεγάλο μέρος να πάθει βλάβη. Η μεγαλύτερη ζημία ήταν στα βορειοδυτικά του SAN Fernando Valley του Λος Άντζελες, μια ιδιαίτερα αστικοποιημένη περιοχή με μια υψηλή πυκνότητα πληθυσμών που δοκιμάστηκε από το έντονο τίναγμα.

Το βίαιο επίγειο τίναγμα μπορεί να είναι ιδιαίτερα καταστρεπτικό στα κτήρια εάν η οριζόντια κίνηση είναι ιδιαίτερα ισχυρή ή εάν η συχνότητα του τινάγματος ταιριάζει με τη φυσική παλμική συχνότητα του κτηρίου. Το τίναγμα μετριέται συνήθως ως επίγεια επιτάχυνση και συγκρίνεται με τη γενική επιτάχυνση της βαρύτητας. Το ταίριασμα των παλμικών συχνοτήτων καλείται αντήρηση και μπορεί να έχει επιπτώσεις στα κτήρια σε μια σημαντική απόσταση από το επίκεντρο. Γενικά, οι υψηλές συχνότητες βλάπτουν τα χαμηλά κτήρια και οι χαμηλές συχνότητες βλάπτουν τα ψηλά κτήρια.

## **Ρευστοποίηση**

Κατά τη διάρκεια των σεισμών, έντονο τίναγμα μπορεί να προκαλέσει το ίζημα για να αλλάξει γρήγορα από ένα στερεό σε ένα υγρό. Αυτή η επίδραση, αποκαλούμενη **ρευστοποίηση**, περιλαμβάνει την ιδιαίτερα υπερβολική «κινούμενη άμμο» που βλέπουμε στις ταινίες του Hollywood. Παρά την εμφάνιση στην επιφάνεια, η ρευστοποίηση κατά τη διάρκεια των σεισμών πραγματοποιείται συχνά στα ρηχά βάθη όπου η κάτω από την επιφάνεια πίεση του ύδατος αυξάνεται από τη συμπίεση του ιζήματος. Το διατηρημένο σε σταθερή ατμοσφαιρική πίεση ύδωρ αναστέλλει τα μόρια ιζημάτων, επιτρέποντας τη ροή τους. Μόλις μειωθεί η πίεση, το υγροποιημένο ίζημα συμπιέζεται και γίνεται στερεό πάλι. Αυτές οι αλλαγές μπορεί να αναγκάσουν την επιφάνεια του εδάφους να μετατοπιστεί ή να υποχωρήσει.

Η ρευστοποίηση του φτωχού συμπιεσμένου ιζήματος έχει αναγκάσει τα κτήρια να ανατραπούν, τις γέφυρες εθνικών οδών να καταρρεύσουν, και τα φράγματα να γκρεμιστούν. Έχει φέρει επίσης κενές υπόγειες δεξαμενές, σωληνώσεις, και συσσωρεύσεις γεφυρών στην επιφάνεια. Η ρευστοποίηση μπορεί να προκαλέσει την αποτυχία κλίσεων και την επίγεια καθίζηση πέρα από τις μεγάλες περιοχές. Ένας καταπληκτικός δείκτης της ρευστοποίησης είναι «χτυπήματα άμμου,» μικρά αναχώματα της άμμου που διαμορφώνονται στην επιφάνεια όπου νερό από τα υγροποιημένα στρώματα πετάγεται από το έδαφος.

## **Οι περιφερειακές αλλαγές στην ανύψωση του εδάφους**

Κατακόρυφη παραμόρφωση της επιφάνειας του εδάφους είναι ένας κίνδυνος που συνδέεται με μερικούς μεγάλους σεισμούς. Αυτή η παραμόρφωση περιλαμβάνει την περιφερειακή άνοδο και την καθίζηση της γήινης επιφάνειας. Αυτές οι αλλαγές στην ανύψωση μπορούν να προκαλέσουν την ουσιαστική ζημία στις παράκτιες περιοχές και κατά μήκος των ρευμάτων και μπορούν να αυξήσουν ή να χαμηλώσουν το επίπεδο των υπόγειων νερών.

Ο μεγάλος σεισμός στην Αλάσκα το 1964 (Μ 9.2) παρείχε ένα δραματικό παράδειγμα της περιφερειακής παραμόρφωσης. Αυτός ο σεισμός προκάλεσε την κάθετη παραμόρφωση σε μια περιοχή άνω των 250 χιλιομέτρων περισσότερο από (σχεδόν), μια επιφάνεια εδάφους ελαφρώς μεγαλύτερη από την κατάσταση του Βερμόντ. Μέσα σε αυτήν την περιοχή, άνοδος τουλάχιστον 10 μ (πάνω από 30 πόδ.) εξέθεσε και σκότωσε την παράκτια θαλάσσια ζωή, ανύψωσε τις αποβάθρες του ύδατος, και μετατόπισαν την ακτή μακριά από τα κονσερβοποιεία ψαριών και τα σπίτια των ψαράδων. Σε άλλες περιοχές, καθίζηση τουλάχιστον 2.4 μ (8 πόδ.) οδήγησε στη μερική πλημμύρα διάφορων κοινοτήτων. Και η άνοδος και η παραχθείς καθίζηση προκάλεσε αλλαγές στο επίπεδο των υπόγειων νερών.

## **Καθιζήσεις**

Δύο από τους πιο άμεσα συνδεδεμένους φυσικούς κινδύνους είναι οι σεισμοί και οι καθιζήσεις εδάφους. Οι σεισμοί είναι μια από τις πιο κοινές ωθήσεις για τις καθιζήσεις εδάφους στις λοφώδεις και ορεινές περιοχές. Οι καθιζήσεις εδάφους που προκαλούνται από τους σεισμούς μπορούν να είναι εξαιρετικά καταστρεπτικές και να προκαλέσουν μεγάλη απώλεια ζωής. Για παράδειγμα, μια γιγαντιαία καθίζηση εδάφους που προκλήθηκε από το σεισμό του Περού του 1970 έθαψε τις πόλεις Yungay και Ranrahirca. Κατ' εκτίμηση 20.000 των 70.000 ανθρώπων που πέθαναν στο σεισμό σκοτώθηκαν από την καθίζηση εδάφους. Και στο σεισμό στην Αλάσκα το 1964 και του Loma Prieta το 1989 προκάλεσαν την εκτενή ζημία στα κτήρια, τους δρόμους, και άλλες κατασκευές. Ο σεισμός στο Northridge το 1994 και τις σχετικές μετασεισμικές δονήσεις προκλήθηκαν χιλιάδες καθιζήσεις εδάφους.

Όπως αναφέρεται στο πρόσφατο ιστορικό, μια μεγάλη καθίζηση εδάφους που συνδέθηκε με το σεισμό της 13ης Ιανουαρίου 2001, EL Σαλβαδόρ (M 7.7) έθαψε την κοινότητα Las Colinas, που σκοτώθηκαν εκατοντάδες άνθρωποι. Τραγικά, η καθίζηση εδάφους θα μπορούσε πιθανώς να έχει αποφευχθεί εάν η πλαγιά που έπεσε δεν ήταν πρόσφατα <<καθαρισμένη>> από τη βλάστηση για την κατασκευή σπιτιών πολυτέλειας.

## Πυρκαγιές

Η πυρκαγιά είναι ένας άλλος σημαντικός κίνδυνος που συνδέεται με τους σεισμούς. Το τίναγμα των μετατοπίσεων εδάφους και της επιφάνειας μπορεί να σπάσει την ηλεκτρική ενέργεια και τις φυσικές γραμμές αερίου, με συνέπεια τις πυρκαγιές. Η απειλή από την πυρκαγιά είναι ακόμα μεγαλύτερη επειδή ο πυροσβεστικός εξοπλισμός μπορεί να βλαφθεί οι οδοί, οι δρόμοι, και οι γέφυρες μπορεί να μπλοκάρουν και ουσιαστικοί κεντρικοί αγωγοί ύδατος να σπάσουν. Στα μεμονωμένα σπίτια και άλλα κτήρια, συσκευές όπως αυτή της θέρμανσης νερού μπορεί να χτυπηθούν,



Σχ 2.24 σεισμός και φωτιά



προκαλώντας διαρροές αερίου που αναφλέγονται. Σεισμοί στην Ιαπωνία και στις Ηνωμένες Πολιτείες έχουν συνοδευθεί με την καταστροφή των πυρκαγιών (σχήμα 2.24). Ο σεισμός του Σαν Φρανσίσκο το 1906 έχει αναφερθεί επανειλημμένα ως «πυρκαγιά του Σαν Φρανσίσκο» επειδή το 80 τοις εκατό της ζημίας προκλήθηκε από τις θύελλες μετά από βομβαρδισμό που ερήμωσαν την πόλη για αρκετές ημέρες. Ο σεισμός στη Loma Prieta το 1989 προκάλεσε επίσης μεγάλες πυρκαγιές στην περιοχή μαρίνων του Σαν Φρανσίσκο.

Οι περισσότερες πυρκαγιές μετά από έναν σεισμό δεν είναι πολύ μεγάλες πυρκαγιές επειδή αρχίζουν στις αστικές περιοχές όπου το αέριο και οι ηλεκτρικές γραμμές είναι τοποθετημένες.

## **Ασθένειες**

Οι εκδηλώσεις ασθενειών συνδέονται μερικές φορές με τους μεγάλους σεισμούς. Μπορούν να προκληθούν από μια απώλεια αποχέτευσης μιας κατοικίας, τις μολυσμένες παροχές νερού, τη διάσπαση των υπηρεσιών δημόσιας υγείας, και τη διαταραχή του φυσικού περιβάλλοντος. Οι σεισμοί σπάζουν επίσης τον υπόνομο και τις ίσαλες γραμμές, αναγκάζοντας το νερό να μολυνθεί με την ασθένεια-πρόκληση των οργανισμών.

Ένα ενδιαφέρον παράδειγμα για το πώς η διαταραχή μπορεί να οδηγήσει σε μια εκδήλωση ασθενειών εμφανίστηκε στη νότια Καλιφόρνια. Τα ερημικά απόβλητα στις νοτιοδυτικές Ηνωμένες Πολιτείες και το βορειοδυτικό Μεξικό περιέχουν σπόρο ενός μύκητα που προκαλεί μια αναπνευστική ασθένεια γνωστή ως πυρετός κοιλάδων. Οι καθιζήσεις εδάφους από το σεισμό Northridge του 1994 αύξησαν τους μεγάλους όγκους της σκόνης ερήμων που περιέχει αυτά τα μυκητιακά σπόρια. Οι άνεμοι έφεραν τη σκόνη και τα σπόρια στις αστικές περιοχές όπως η κοιλάδα Simi, όπου ένα ξέσπασμα του πυρετού κοιλάδων εμφανίστηκε. Περισσότερες από 200 περιπτώσεις της ασθένειας εντοπίστηκαν μέσα σε 8 εβδομάδες μετά από το σεισμό, 16 φορές ο κανονικός αριθμός περιπτώσεων. Πενήντα από αυτούς τους ανθρώπους νοσηλευθήκαν και τρεις πέθαναν.

## **2.7 Φυσικές λειτουργίες υπηρεσιών από τους σεισμούς**

Όταν κάποιος έρχεται αντιμέτωπος με το θάνατο και την καταστροφή όπου προκαλείται από τους μεγάλους σεισμούς, είναι δύσκολο να φανταστεί ότι θα μπορούσαν να υπάρξουν οποιαδήποτε οφέλη από τέτοιες καταστροφές. Εντούτοις, οι σεισμοί, όπως πολλοί φυσικοί κίνδυνοι, παρέχουν τις φυσικές λειτουργίες. Συμβάλλουν στην ανάπτυξη των υπόγειων νερών και των ενεργειακών πόρων, σχηματισμένοι από την έκθεση των πολύτιμων ορυκτών πόρων, την ανάπτυξη του εδάφους, και τις τοπικές μειώσεις κινδύνου των μελλοντικών μεγάλων σεισμών.

### **Υπόγειο νερό και πόροι ενέργειας**

Τα Υπόγεια νερά και τα γεωλογικά ρήγματα που παράγονται από τους σεισμούς επηρεάζουν έντονα την υπόγεια ροή του νερού, του ελαίου, και του φυσικού αερίου. Οι ζώνες ρηγμάτων με τα <<αγενή>> σπασμένα γήινα υλικά μπορούν να πράξουν ως προνομιακές πορείες για τη ρευστή μετακίνηση. Αυτά τα ρήγματα μπορούν να χρησιμεύσουν ως αγωγοί για την προς τα κάτω ροή του επιφανειακού νερού ή ως ζώνες μέσω των οποίων τα υπόγεια νερά έρχονται πίσω στην επιφάνεια ως πίδακες.

Σε άλλες τοποθετήσεις, το ρήγμα δημιουργεί τα φυσικά υπόγεια φράγματα για να επιβραδύνει ή να επαναπροσανατολίσει τη ροή του νερού, του ελαίου, ή του φυσικού αερίου. Αυτά τα φράγματα αναπτύσσονται όπου το ρήγμα κονιοποιεί το βράχο για να διαμορφώσει ένα αδιαπέραστο εμπόδιο αργίλου που το ρήγμα κινεί τα αδιαπέραστα γήινα υλικά παράλληλα με τα γήινα υλικά του νερού, του ελαίου, ή του φυσικού αερίου. Τέτοια φράγματα κάτω από την επιφάνεια είναι αρμόδια για τις οάσεις στις ξηρές περιοχές της νότιας Καλιφόρνιας και για πολλές υπόγειες συσσωρεύσεις του πετρελαίου και του αερίου στο Τέξας, Οκλαχόμα, Αλμπέρτα και αλλού.

## **Ορυκτοί Πόροι**

Το σχετικό ρήγμα με τους σεισμούς μπορεί να είναι αρμόδιο για τη συσσώρευση ή την έκθεση οικονομικού πολύτιμου μεταλλεύματος. Τα ορυκτά αποθέματα αναπτύσσονται συνήθως στη γη που συνδέονται με το ρήγμα. Αυτές οι ρωγμές, αποκαλούμενες φλέβες, μπορούν να είναι η πηγή πολύτιμων μετάλλων όπως ο χρυσός, το ασήμι, και ο λευκόχρυσος. Οι φλέβες που συνδέονται με τις μεγάλες ζώνες ρηγμάτων μπορούν να παράγουν αρκετά μεταλλεύματα που είναι οικονομικά βιώσιμα για την εξαγωγή.

## **Επέκταση εδάφους**

Οι σεισμοί μπορούν να διαμορφώσουν θεαματικά το έδαφος πέρα από τα μακροχρόνια διαστήματα του γεωλογικού χρόνου. Άνοδοι των γήινων υλικών εμπρός από τα γεωλογικά ρήγματα μπορούν να παράγουν τους λόφους, βουνά, και παράκτια πεζούλια. Οι ζώνες των ρηγμάτων μπορούν να γίνουν μέρος της χρήσης γης εάν περιέχουν σπασμένους βράχους που είναι εύκολο να διαβρωθούν από τα γήινα υλικά στις γύρω περιοχές. Εύκολα διαβρωμένες ζώνες ρηγμάτων γίνονται κοιλάδες που κόβονται από τα ρεύματα και τους ποταμούς.

## **Μελλοντική μείωση του κινδύνου των σεισμών**

Η μελλοντική μείωση του κινδύνου των σεισμών μπορεί να βοηθήσει στο να αποτρέψουν μεγαλύτερο κίνδυνο στην ίδια περιοχή. Εάν υποθέτουμε ότι οι μικροί σεισμοί απελευθερώνουν την έγκλειστη ενέργεια, έπειτα η ελαστική πίεση μπορεί να χαμηλώσει την πιθανότητα μιας σεισμικής καταστροφής κατά μήκος ενός ιδιαίτερου ρήγματος. Στην πραγματικότητα, οι επιστήμονες προσπαθούν να προσδιορίσουν τις περιοχές κατά μήκος των ενεργών ρηγμάτων που δεν έχουν δοκιμαστεί σε μακροπρόθεσμους σεισμούς. Όπως συζητείται παρακάτω, αυτές οι περιοχές, αποκαλούμενες «σεισμικά χάσματα,» μπορούν να

έχουν τη μέγιστη δυνατότητα για να παράγουν μεγάλους σεισμούς στο μέλλον.

## 2.8 Ανθρώπινη αλληλεπίδραση με τους σεισμούς

Ως φυσικός κίνδυνος ο σεισμός δεν μπορεί να αποτραπεί ή να ελεγχθεί, μπορούμε μόνο να επινοήσουμε τους τρόπους που ελαχιστοποιούν το θάνατο και που προκαλούν την καταστροφή. Αυτό δεν σημαίνει, ότι δεν μπορούμε να προκαλέσουμε τους σεισμούς οι ίδιοι. Στην πραγματικότητα, διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες είναι γνωστές για την αιτία και την αύξηση του σεισμού. Η ζημία από αυτούς τους σεισμούς είναι παθήματα που γίνονται μαθήματα και μπορούν να βοηθήσουν στο να ελέγξουν ή να σταματήσουν τους μεγάλους καταστροφικούς σεισμούς στο μέλλον.

### Σεισμοί προκαλούμενοι από την ανθρώπινη δραστηριότητα

Τρεις τρόποι που οι ενέργειες των ανθρώπων έχουν προκαλέσει τους σεισμούς είναι οι ακόλουθοι :

- Γήινος φλοιός της γης, όπως στην οικοδόμηση ενός φράγματος και μιας δεξαμενής
- Έγχυση των υγρών αποβλήτων βαθιά στο έδαφος κατευθείαν στα φρεάτια διάθεσης
- Δημιουργία υπόγειων πυρηνικών εκρήξεων

**Δεξαμενές νερού** Η κατασκευή μιας μεγάλης, βαθιάς δεξαμενής πίσω από ένα φράγμα σε έναν ποταμό μπορεί να δημιουργήσει, ή να προκαλέσει, σεισμό. Το τεράστιο βάρος του νερού σε μια νέα δεξαμενή μπορεί να δημιουργήσει ή να επεκτείνει τα σπασίματα στον παρακείμενο βράχο και να αυξήσει την πίεση του νερού στα περιβάλλοντα υπόγεια νερά.

Αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να παράγουν νέα ρήγματα και να ενεργοποιήσουν τα υπάρχοντα. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, αρκετές τοπικές δονήσεις εμφανίστηκαν στη δεκαετία μετά την ολοκλήρωση του φράγματος Hoover dam και την πλήρωση λιμνών στην Αριζόνα και τη Νεβάδα. Οι περισσότεροι από αυτούς τους σεισμούς ήταν πολύ μικροί, αλλά κάποιος ήταν M 5 και δύο ήταν M 4. Στην Ινδία και την Κίνα, η πλήρωση δεξαμενών έχει προκαλέσει σεισμούς με μέγεθος πάνω από 6.0. Δύο από αυτούς τους

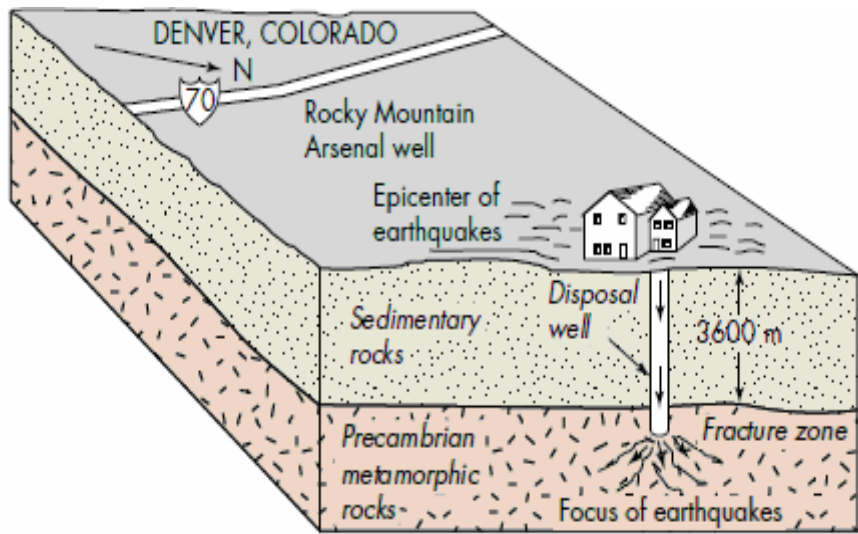
σεισμούς σκότωσαν εκατοντάδες ανθρώπους και έβλαψαν σοβαρά τα φράγματα δεξαμενών.

**Βαθιά διάθεση αποβλήτων** Στις αρχές της δεκαετίας του 1960 ένα μη σχεδιασμένο πείραμα από τον Αμερικάνικο στρατό παρείχε πρώτα άμεσα στοιχεία ότι εγχέοντας τα ρευστά στη γη μπορεί να προκληθούν σεισμοί. Από τον Απριλίου του 1962 μέχρι τον Νοέμβριο 1965 το Ντένβερ, Κολοράντο, αντιμετώπισαν αρκετούς σεισμούς, πολλούς περισσότερους από το κανονικό που εμφανίζονται μέσα σε ενάμιση χρόνο. Ο μεγαλύτερος σεισμός, Μ. 4.3, προκάλεσε ικανοποιητικό τίναγμα για να ρίξει τα μπουκάλια από τα ράφια στα καταστήματα. Ο γεωλόγος Δαβίδ Evans επισήμανε την πηγή των σεισμών στο οπλοστάσιο βουνών, μια χημική ουσία από τη βορειοανατολική πλευρά του Ντένβερ. Τα υγρά απόβλητα από τις εγκαταστάσεις εγχέονταν υπό πίεση κάτω από μια βαθιά διάθεση αποβλήτων 3.600 μ (11.800 πόδ.) στη γη. Το εγχυμένο υγρό αυξανόμενο από υπόγεια ρευστή πίεση και προκαλούμενη ολίσθηση των πολυάριθμων σπασιμάτων στο μεταμορφικό βράχο. Ο Evans ανέδειξε έναν υψηλό συσχετισμό μεταξύ του ποσοστού έγχυσης αποβλήτων της θέσης και του συγχρονισμού των σεισμών. Όταν η έγχυση των αποβλήτων σταμάτησε, προκλήθηκαν οι σεισμοί (Σχήμα 2.25). Η βαθιά έγχυση έχει προκαλέσει επίσης σεισμούς στο Οχάιο και το Τέξας.

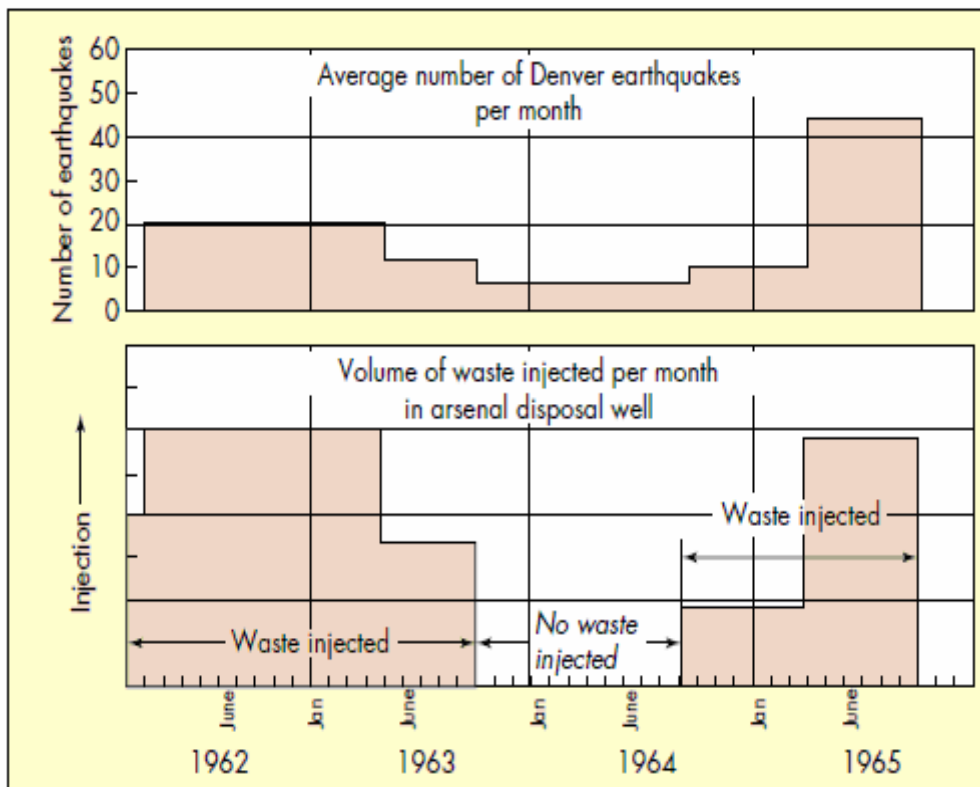
Αναγνωρίζοντας ότι η έγχυση των ρευστών θα μπορούσε να προκαλέσει έναν σεισμό που είναι μια σημαντική ανάπτυξη επειδή επέστησε την προσοχή στη σχέση μεταξύ της ρευστής πίεσης και των σεισμών. Επομένως μελέτες υποβίθυσης των ζωνών και των ενεργών ζωνών των πτυχών παρατηρούν ότι υψηλές ρευστές πιέσεις είναι παρούσες σε πολλές περιοχές όπου οι σεισμοί εμφανίζονται. Μια υπόθεση είναι ότι όπου η ρευστή πίεση αυξάνεται σε μια περιοχή έως ότου σπάσουν οι βράχοι, προκαλώντας έναν σεισμό και απομακρύνοντας το ρευστό προς τα πάνω. Κατόπιν το γεγονός, ρευστή πίεση αρχίζει να ενισχύει πάλι, αρχίζοντας έναν άλλο κύκλο.

**Πυρηνικές εκρήξεις** Υπόγειες δοκιμές εκρήξεων πυρηνικού εξοπλισμού στη Νεβάδα έχει προκαλέσει πολυάριθμους σεισμούς με μεγέθη τόσο μεγάλα όπως 6.3. Μια ανάλυση από τις μετασεισμικές δονήσεις προτείνει ότι αυτές οι εκρήξεις μπορεί να είχαν απελευθερώσει κάποια φυσική πίεση μέσα στη γη. Αυτό έχει οδηγήσει σε συζητήσεις από τους επιστήμονες ως προς το εάν η πυρηνική δύναμη εκρήξεων χρησιμοποιείται για να αποτρέψει τους

μεγάλους σεισμούς με την απελευθέρωση της πίεσης προτού να φθάσει σε ένα κρίσιμο σημείο.



(a)



Σχ 2.25 επιπτώσεις της ανθρώπινης δραστηριότητας στους σεισμούς

## 2.9 Ελαχιστοποίηση του σεισμικού κινδύνου

Ένας σημαντικός λόγος ότι οι σεισμοί προκαλούν μεγάλες ζημιές και απώλειες ζωής είναι ότι χτυπούν συχνά και χωρίς προειδοποίηση. Λόγω αυτής της σπουδαίας έρευνας αφιερώθηκε ως πρόγνωση των σεισμών. Το καλύτερο που μπορούμε να κάνουμε αυτή τη στιγμή είναι να προβλέψουμε την πιθανότητα ότι ένας σεισμός θα εμφανιστεί σε μια ιδιαίτερη περιοχή ή σε ένα ιδιαίτερο τμήμα ενός ρήγματος. Αυτές οι προβλέψεις χρησιμοποιούν τις πιθανολογικές μεθόδους για να καθορίσουν τον κίνδυνο. Μια πρόβλεψη θα πει ότι ένας σεισμός δεδομένου μεγέθους ή έντασης έχει μια υψηλή πιθανότητα εμφάνισης σε ένα δεδομένο τμήμα περιοχής ρηγμάτων μέσα σε ένα διευκρινισμένο αριθμό ετών. Αυτές οι προβλέψεις και βοηθούν τους αρμόδιους για το σχεδιασμό που εξετάζει τα σεισμικά μέτρα ασφαλείας ή τους ανθρώπους για να αποφασίσουν που θα ζήσουν. Εντούτοις, οι μακροπρόθεσμες προβλέψεις δεν βοηθούν τους κατοίκους μιας σεισμικής περιοχής να προσδοκήσουν και να προετοιμαστούν για έναν σεισμό. Μια πραγματική πρόβλεψη που διευκρινίζει το χρόνο και τόπο ενός σεισμού θα ήταν πιο χρήσιμη, αλλά η δυνατότητα να κάνουν τέτοιες προβλέψεις είναι δύσκολη. Πρόβλεψη των σεισμών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την παρατήρηση των φυσικών φαινομένων ή στις αλλαγές της γης που προηγούνται ενός γεγονότος.

### Το εθνικό πρόγραμμα μείωσης σεισμικού κινδύνου

Στα ηνωμένα έθνη, τα USGS καθώς επίσης και το πανεπιστήμιο και άλλοι επιστήμονες αναπτύσσουν ένα εθνικό πρόγραμμα μείωσης σεισμικού κινδύνου. Οι σημαντικοί στόχοι του προγράμματος είναι οι ακόλουθοι:

- Ανάπτυξη της κατανόηση της πηγής του σεισμού. Αυτός ο στόχος απαιτεί τις πληροφορίες για τις φυσικές ιδιότητες και τη μηχανική συμπεριφορά των ρηγμάτων και την ανάπτυξη ποσοτικών πρότυπων της φυσικής της διαδικασίας του σεισμού.
- Καθορισμός της δυνατότητας του σεισμού. Αυτός ο στόχος απαιτεί τη λεπτομερή μελέτη των σεισμικά ενεργών περιοχών για να καθοριστεί η παλαιοσεισμικότητα τους , να προσδιοριστούν τα

ενεργά ρήγματα, και να καθοριστούν τα ποσοστά παραμόρφωσης. Αυτές οι πληροφορίες θα χρησιμοποιηθούν για να υπολογίσουν τις πιθανολογικές προβλέψεις και για να αναπτύξουν τις μεθόδους για τη βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη ενδιάμεσων σεισμών.

- Πρόβλεψη σεισμικών αποτελεσμάτων. Αυτός ο στόχος απαιτεί τις πληροφορίες που χρειάζονται για να προβλέψουν τα αποτελέσματα επίγειας ρήξης και τινάγματος ενός σεισμού στα κτήρια και άλλες κατασκευές. Αυτές οι πληροφορίες θα χρησιμοποιηθούν για να αξιολογήσουν τις απώλειες που συνδέονται με τον κίνδυνο σεισμού.
- Εφαρμογή ερευνητικών αποτελεσμάτων. Το πρόγραμμα θα εκπαιδεύσει τα άτομα, τις κοινότητες, τα κράτη, και το έθνος για τους κινδύνους σεισμού. Αυτός ο στόχος απαιτεί καλύτερο σχεδιασμό για τους σεισμούς και τους τρόπους να μειωθεί η απώλεια ζωής και ιδιοκτησίας.

## **Εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου**

Διάφοροι τύποι χαρτών κινδύνου χρησιμοποιούνται για να μεταδώσουν τον κίνδυνο σεισμού. Οι απλούστεροι χάρτες απεικονίζουν το συγγενή κίνδυνο με την παρουσίαση της θέσης των επίκεντρων των ιστορικών σεισμών των διάφορων μεγεθών. Οι πιο πληροφοριακοί χάρτες μεταδίδουν την πιθανότητα ενός ιδιαίτερου γεγονότος ή το ποσό του τινάγματος που είναι πιθανό να εμφανιστεί. Παραδείγματος χάριν, ένας χάρτης κινδύνου σεισμικού-τινάγματος γειτονικά των ηνωμένου κρατών (σχήμα 2.21) παρουσιάζει περιοχές σε πράσινο μέσω του κόκκινου που έχει μια 1 πιθανότητα να συμβεί μια σεισμική καταστροφή σε μια περίοδο 50-ετών. Μέσα στη χρωματισμένη περιοχή οι κόκκινες και πορτοκαλί περιοχές έχουν μέγιστο σεισμικό κίνδυνο επειδή είναι πιθανό να δοκιμαστούν από εντονότερο τινάγμα στα επόμενα 50 έτη. Περιφερειακοί χάρτες σεισμικού-κινδύνου είναι επίσης χρήσιμοι στην καθιέρωση των περιορισμών χωρισμού ιδιοκτησίας και καθορισμό των ασφαλιστικών ποσοστών εντούτοις, αρκετά περισσότερα στοιχεία είναι απαραίτητα για να κατασκευάσουν αυτούς τους χάρτες.

Εκτός από τη χαρτογράφηση, το κράτος Καλιφόρνιας τώρα ταξινομεί τα ρήγματα ως μέθοδο για το σεισμικό κίνδυνο. Τα γεωλογικά ρήγματα είναι ταξινομημένα στο μέγιστο μέγεθος



στιγμής που το ρήγμα μπορεί να παραγάγει και ποσοστό ολίσθησης του ρήγματος. Το ποσοστό ολίσθησης καθορίζεται από το ποσό μετακίνησης κατά μήκος ενός ρήγματος που υπολογίζεται κατά μέσο όρο κατά τη διάρκεια χιλιάδων ετών και πολυάριθμους σεισμούς. Δεν είναι πραγματική η ολίσθηση που πραγματοποιείται κατά μήκος ενός ρήγματος κάθε έτος. Αν και ταξινομώντας τα ρήγματα παρέχονται περισσότερες πληροφορίες καθοριστικές για το εάν ένα ρήγμα είναι ενεργό τα προηγούμενα 10.000 έτη, τα μακροπρόθεσμα ποσοστά ολίσθησης των περισσότερων σημαντικών ρηγμάτων στη Βόρεια Αμερική είναι άγνωστα ή καθορισμένα μόνο από τις πληροφορίες που συλλέγονται επί ενός ή δύο τόπων.

### **Βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη**

Η βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη των σεισμών είναι ένας ενεργός τομέας της έρευνας. Οι προβλέψεις πρέπει να στηριχθούν στα **πρόδρομα** γεγονότα ή τις αλλαγές που εμφανίζονται πριν από τον κύριο σεισμό. Αντίθετα από μια πρόβλεψη, μια αληθινή σεισμική πρόβλεψη καθορίζει ένα σχετικά μικρό χρονικό διάστημα (δευτερόλεπτα στις εβδομάδες) στο οποίο είναι πιθανό, ένα κατ' εκτίμηση μέγεθος για το σεισμό, σε σχετικά περιορισμένη γεωγραφική περιοχή, και μια πιθανότητα από το που εμφανίζεται. Η βασική διαδικασία για τους σεισμούς ήταν μία φορά πιθανά τόσο εύκολος όπως το «ένα-δύο-τρία». Κατ' αρχάς, επεκτείνονται τα όργανα για να ανιχνεύσουν τους πιθανούς προδρόμους ενός μελλοντικού σεισμού δεύτερον, ανίχνευση και αναγνώριση των πρόδρομων που λένε τότε και πόσο μεγάλος ένας σεισμός θα είναι και ο τρίτον, μετά από την αναθεώρηση των στοιχείων , προβλέπει δημόσια το σεισμό. Δυστυχώς η πρόβλεψη σεισμού είναι πιο σύνθετος από την πρώτη σκέψη.

Οι ιαπωνικοί σεισμολόγοι έκαναν τις πρώτες προσπάθειες στην πρόβλεψη σεισμού που χρησιμοποιεί τη συχνότητα των μικροσεισμών ( $M$  λιγότερο από 2), των επαναλαμβανόμενων ερευνών για να ανιχνεύσει την κλίση της επιφάνειας εδάφους, και των μετρήσεων των αλλαγών στο τοπικό μαγνητικό πεδίο της γης. Διαπίστωσαν ότι οι σεισμοί στις περιοχές που μελέτησαν σχεδόν πάντα συνοδεύθηκαν από σμήνος μικροσεισμών αρκετούς μήνες πριν από τους σημαντικότερους κλονισμούς. Επιπλέον, διαπίστωσαν ότι η επίγεια κλίση σχετίζεται έντονα με τη σεισμική δραστηριότητα.

Οι κινεζικοί επιστήμονες προέβλεψαν έναν σημαντικό σεισμό (Μ 7.0) το 1975 που έσωσε χιλιάδες ζωές. Αν και αυτή η πρόβλεψη εμφανίζεται να είναι επιτυχής κατά τύχη, δεδομένου ότι οι κινεζικοί επιστήμονες είχαν εκδώσει πολλές ανεπιτυχείς προβλέψεις και επίσης στη συνέχεια απέτυχαν να προβλέψουν σημαντικούς σεισμούς, το αποτέλεσμα ήταν ευεργετικό. Προβλεφθείς σεισμός κατάστρεψε περίπου 90 τοις εκατό των κτηρίων σε Haicheng, Κίνα. Οι περισσότεροι από 9.000 ανθρώπους σώθηκαν λόγω της ογκώδους εκκένωσης από την ενδεχομένως μη ασφαλή κατοικία. Η πρόβλεψη βασίστηκε πρωτίστως σε μια σειρά προσεισμών που άρχισαν 4 ημέρες πριν από το κύριο γεγονός.

Δυστυχώς, προσεισμοί δεν προηγούνται των περισσότερων μεγάλων σεισμών και δεν υπάρχει καμία μέθοδος για ένα προσεισμό από οποιοδήποτε σεισμό. Το 1976, ένας από τους πιο καταστροφικούς σεισμούς στην καταγραμμένη ιστορία (Μ 7.5), χτύπησε κοντά στην πόλη Tanshan, Κίνα, που σκότωσε πάνω από 240.000 ανθρώπους. Δεν υπήρξε κανένας προσεισμός.

Εκτός από τους προσεισμούς, πολλά φαινόμενα έχουν προταθεί ως πρόδρομα για τους σεισμούς. Μια σειρά από σεληνιακές παλίρροιες στην ασυνήθιστη ζωική συμπεριφορά. Οι εκθέσεις της ζωικής συμπεριφοράς έχουν περιλάβει ασυνήθιστο γάβγισμα των σκυλιών, κοτόπουλα που αρνούνται να γεννήσουν τα αυγά, τα άλογα ή τα βοοειδή που τρέχουν σε κύκλους, αρουραίοι σκαρφαλώνουν σε ηλεκτροφόρα καλώδια, και τα φίδια που σέρνονται έξω στο χειμώνα και στο πάγωμα. Μέχρι σήμερα, καμία επιστημονική μελέτη δεν παρουσιάζει έναν συσχετισμό μεταξύ της ασυνήθιστης ζωικής συμπεριφοράς ή των σεληνιακών παλιρροιών και των σεισμών. Η πρόβλεψη σεισμού είναι ακόμα ένα σύνθετο πρόβλημα. Ακόμα κι αν οι αξιόπιστοι πρόδρομοι μπορούν να προσδιοριστούν, οι αξιόπιστες περιορισμένου φάσματος προβλέψεις είναι πολλά έτη μακριά. Τέτοιες προβλέψεις, εάν είναι δυνατές, πιθανότατα να βασιστούν στα προκαταρκτικά φαινόμενα όπως τα ακόλουθα:

- Σχέδια και συχνότητα των σεισμών, όπως οι μικροσεισμοί που συζητούνται ανωτέρω με την πρόβλεψη Haicheng
- Παραμόρφωση της επίγεια επιφάνειας
- Σεισμικά χάσματα κατά μήκος των ρηγμάτων
- Γεωφυσικές και γεωχημικές αλλαγές στη γη

**Επίγεια παραμόρφωση** Οι αλλαγές στην ανύψωση εδάφους, καλούμενη η άνοδος και η καθίζηση, που εμφανίζονται γρήγορα ή είναι ασυνήθιστες μπορούν να βοηθήσουν να προβλέψουν τους σεισμούς. Παραδείγματος χάριν, πάνω από 120 χλμ (75 mi.) της δυτικής ιαπωνικής ακτής διάφορα εκατοστόμετρα της αργής ανόδου παρατηρήθηκαν στη δεκαετία πριν από το σεισμό του Νιγκάτα του 1964 (M 7.5) Μια παρόμοια άνοδος εμφανίστηκε κατά τη διάρκεια μιας πέντε ετών περιόδου πριν από το σεισμό το 1983 στην Ιαπωνία (M 7.7).

Οι άνοδοι 1 έως 2 μ (3 έως 7 πόδ.) επίσης προηγήθηκαν των μεγάλων ιαπωνικών σεισμών το 1793, 1802, 1872, και του 1927. Αυτές οι άνοδοι αναγνωρίστηκαν από τις ξαφνικές αποσύρσεις της θάλασσας από το έδαφος. Το πρωί του σεισμού του 1802, η θάλασσα απέσυρε ξαφνικά περίπου 300 μ(1000 πόδ.) σε απάντηση σε μιας ανόδου περίπου 1 μ (3 πόδ.). Τέσσερις ώρες αργότερα ο σεισμός χτύπησε, καταστρέφοντας πολλά σπίτια και ανυψώνοντας το έδαφος.

**Σεισμικά χάσματα** περιοχές κατά μήκος μιας ενεργού ζώνης ρηγμάτων είναι πιθανό να παραγάγει τους μεγάλους σεισμούς αλλά δεν έχει παραγάγει πρόσφατα είναι γνωστά ως **σεισμικά χάσματα**. Αυτές οι περιοχές θεωρούνται προσωρινά ανενεργές ενώ αποθηκεύουν την ελαστική πίεση για τους μελλοντικούς μεγάλους σεισμούς. Η έννοια σεισμικός-χάσματος ήταν η βάση για αυτό που μπορεί να έχει η πρώτη επιστημονική, μακροπρόθεσμη πρόβλεψη σεισμού. Το 1883, ο πολύ-ταλαντούχος USGS γεωλόγος G.K. Gilbert προβλέψτε έναν καταστροφικό σεισμό για το τμήμα της Σωλτ Λέικ Σίτυ του ρήγματος Wasatch βασισμένου στα στοιχεία του στην αδράνεια. Από το 1965 η έννοια σεισμικός-χάσματος έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς στις **intermediate-range** προβλέψεις για τουλάχιστον 10 μεγάλο, σεισμών στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών. Ένας από αυτούς τους σεισμούς πραγματοποιήθηκε στην Αλάσκα, τρεις στο Μεξικό, ένας στη Νότια Αμερική, και τρεις στην Ιαπωνία. Στον παρακείμενο Οι Ηνωμένες Πολιτείες, σεισμικά χάσματα κατά μήκος του San Andreas σφάλλουν σε Καλιφόρνια περιλαμβάνουν το ένα κοντά στο οχυρό Tejon που τελευταίος που σπάζουν το 1857 και ένας κατά μήκος της Coachella κοιλάδας, ένα τμήμα δεν έχει παραγάγει έναν μεγάλο σεισμό για αρκετά έτη. Και τα δύο χάσματα είναι πιθανό να παραγάγουν έναν μεγάλο σεισμό στις επόμενες μερικές δεκαετίες.

**Γεωφυσικά και γεωχημικά φαινόμενα.** Τοπικές αλλαγές στη βαρύτητα της γης, το μαγνητικό πεδίο, και τη δυνατότητα να διευθυνθούν τα ηλεκτρικά ρεύματα έχουν συνδεθεί με σεισμούς. Οι αλλαγές έχουν παρατηρηθεί επίσης στα επίπεδα, θερμοκρασίας, και της χημείας των υπόγειων νερών. Πολλές από αυτές τις αλλαγές μπορεί να εμφανιστούν πριν από έναν σεισμό όπως οι βράχοι επεκτείνονται, σπάσιμο, και τα σπασίματα γεμίζουν με το νερό. Παραδείγματος χάριν, οι αλλαγές στη δυνατότητα των γήινων υλικών να διευθυνθεί ένα ηλεκτρικό ρεύμα, καλούμενη ως ηλεκτρική ειδική αντίσταση, έχουν αναφερθεί πριν από τους σεισμούς στις Ηνωμένες Πολιτείες, στην Ανατολική Ευρώπη, και Κίνα. Επίσης, σημαντικές αυξήσεις στην περιεκτικότητα σε ραδόνιο αναφέρθηκε στο μήνα ή πριν από το σεισμό το 1995 Kobe, Ιαπωνία(M 6.9).

### **Το μέλλον της πρόβλεψης σεισμού**

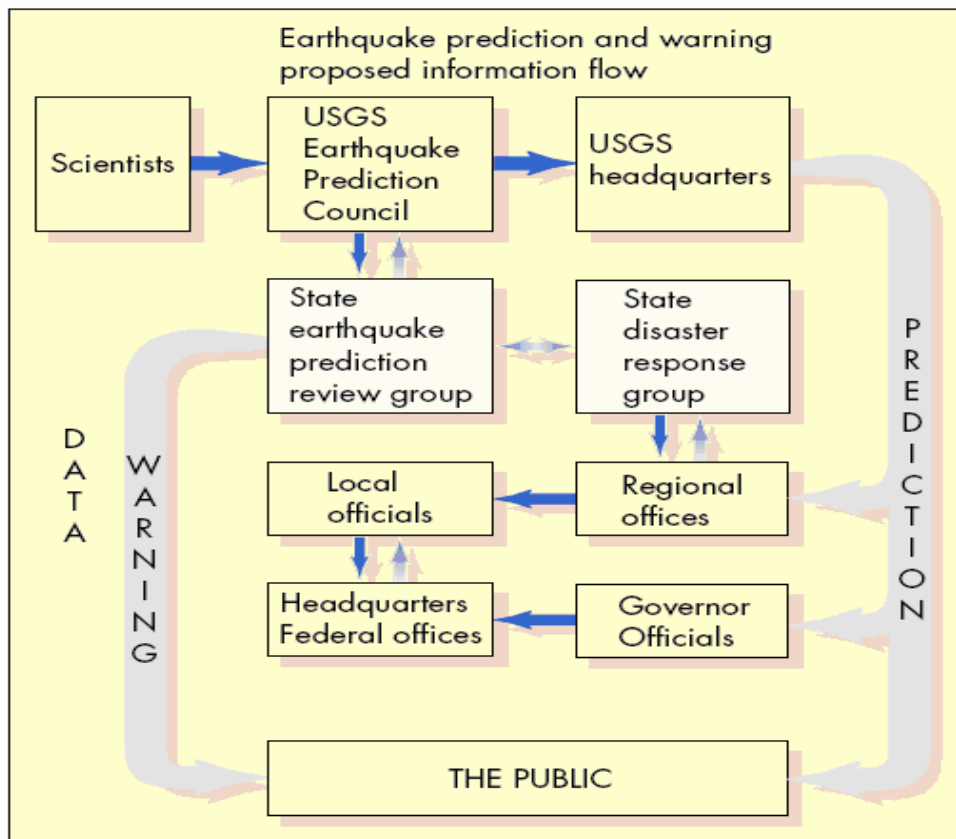
Είμαστε ακόμα σε ένα μακροχρόνιο τρόπο από μια εργασία, πρακτική μεθοδολογία για να προβλέψουμε σοβαρά τους σεισμούς. Εντούτοις, πολλές πληροφορίες συγκεντρώνονται σε αυτήν την περίοδο ως πιθανά φαινόμενα προδρόμων που συνδέονται με τους σεισμούς. Μέχρι σήμερα ο πιο χρήσιμος πρόδρομος για τα φαινόμενα είναι σχέδια των σεισμών, προσεισμοί, και αναγνώριση των σεισμικών χασμάτων. Οι αισιόδοξοι επιστήμονες σε όλο τον κόσμο θεωρούν σήμερα ότι θα είμαστε σε θέση τελικά να κάνουμε συνεπείς προβλέψεις σε μεγάλη ακτίνα(δεκαετίες στους αιώνες), ενδιάμεσες προβλέψεις (μήνες στις δεκαετίες), και περιορισμένου φάσματος προβλέψεις (δευτερόλεπτα στις εβδομάδες) γενικά για τις θέσεις και τα μεγέθη των μεγάλων, καταστρεπτικών σεισμών. Αν και η πρόοδος στην περιορισμένου φάσματος πρόβλεψη του σεισμού δεν έχει ταιριάξει με τις προσδοκίες, η ενδιάμεσος μεγάλης ακτίνας πρόβλεψη, συμπεριλαμβανομένης της αξιολόγησης κινδύνου και η πιθανολογική ανάλυση των περιοχών κατά μήκος των ενεργών ρηγμάτων, έχει προχωρήσει γρηγορότερα από το αναμενόμενο.

Παραδείγματος χάριν, στο σεισμό Borah του 1983(M 7.0) στο χαμένο ρήγμα ποταμών στο Αϊντάχο έχει επαινεθεί ως πετυχημένη ιστορία για τη μεσάζοντα αξιολόγηση κινδύνου σεισμού σειράς. Προηγούμενη αξιολόγηση υπήρξε όταν το ρήγμα ήταν ενεργό. Ο σεισμός σκότωσε δύο ανθρώπους και προκάλεσε περίπου \$15 εκατομμύρια στις ζημιές. Μετακίνηση δημιούργησε κατά τη διάρκεια του σεισμού σε ένα ρήγμα και πολυάριθμα επίγεια σπασίματα κατά μήκος 36 χλμ (22-mi.) σπάζουν τη ζώνη. Η

έρευνα μετά από το σεισμό βρήκε αυτό το νέο ρήγμα και τα σπασίματα που επιβλήθηκαν προηγουμένως του υπάρχοντος ρήγματος, επικυρώνοντας τη χρησιμότητα από την προσεκτική χαρτογράφηση. Θυμήσου – όπου το έδαφος έχει σπάσει, είναι πιθανό να σπάσει και πάλι!

Ελπίζουμε τελικά να είμαστε σε θέση να προβλέψουμε τους σεισμούς. Λόγω αυτής της ελπίδας, σχεδόν 30 έτη πριν U.S. Η γεωλογική μελέτη καθιέρωσε ένα σχέδιο για την έκδοση πρόβλεψης σεισμού και των πιο σπουδαίων προειδοποιήσεων (σχήμα 2.26). Αυτό το σχέδιο απαιτεί ανεξάρτητη επιστημονική αναθεώρηση πριν από τις πληροφορίες που διαβιβάζονται στους ανώτερους κυβερνητικούς υπάλληλους και το κοινό.

Κυβερνητικοί ανώτεροι υπάλληλοι και τα μέσα ειδήσεων που δίνουν δημοσιότητα στις προβλέψεις που δεν έχουν επιστημονικά αναθεωρηθεί κάνουν μεγάλο κακό κοινότητα. Αυτό το ένταλμα καταδείχθηκε το 1990 όταν μια ψευτοεπιστημονική πρόβλεψη για έναν σεισμό μέσα στη Μαδρίτη, Μισσούρι, κοινοποιήθηκε από κάποια κυβερνητική ενέργεια από το τοπικό κράτος. Σχολεία και επιχειρήσεις έμειναν κλειστά, δημόσια γεγονότα ακυρώθηκαν, οι άνθρωποι εκκένωσαν τα σπίτια τους, και πάνω από 30 τηλεοράσεις-ράδιο φορητά συγκεντρώθηκαν στο προβλεφθέν επίκεντρο.



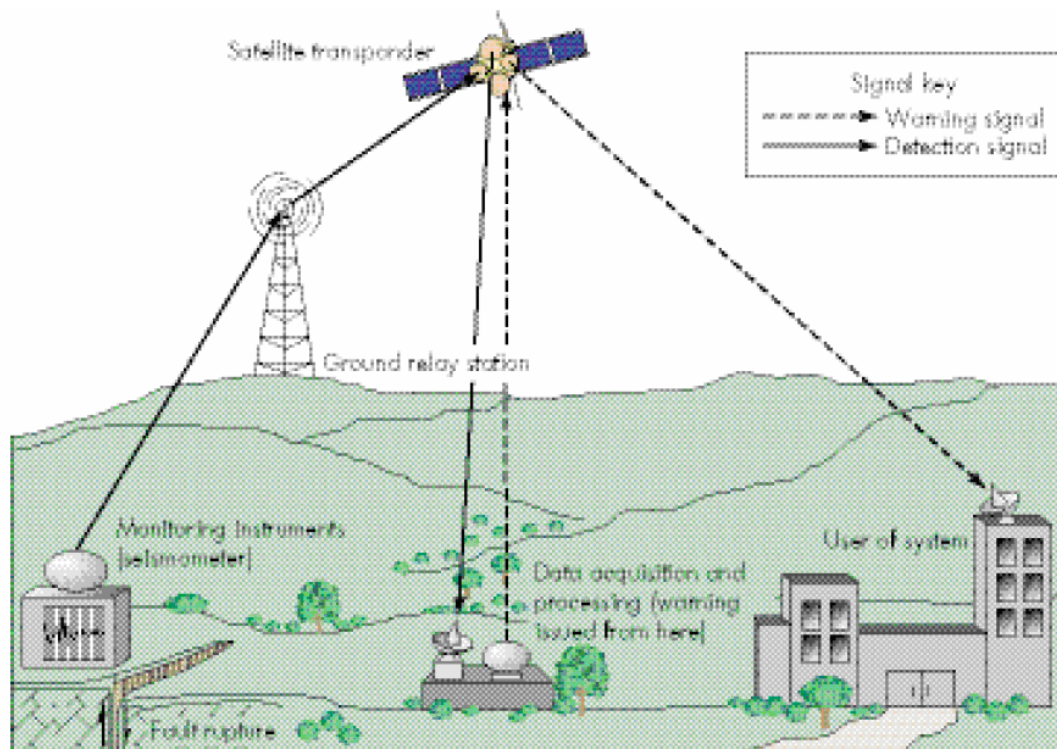
Σχ 2.26 ελαχιστοποίηση του κινδύνου που εκδίδει ένα ομοσπονδιακό σχέδιο

## Συστήματα προειδοποίησης σεισμού

Τεχνικά είναι εφικτό να αναπτυχθεί ένα σύστημα προειδοποίησης σεισμού που θα παρείχε μέχρι περίπου ένα λεπτό προειδοποίησης στην περιοχή του Λος Άντζελες πριν από την άφιξη της καταστροφής των κυμάτων του σεισμού για ένα γεγονός αρκετά χιλιόμετρα μακριά. Ένα τέτοιο σύστημα θα βασιζόταν στην αρχή ότι τα ραδιοκύματα ταξιδεύουν πολύ γρηγορότερα από τα σεισμικά κύματα. Οι Ιάπωνες είχαν ένα τέτοιο σύστημα για σχεδόν 20 έτη που παρείχε τις προειδοποιήσεις σεισμού για το τους μεγάλους εκτροχιασμούς από τα τραίνα «σφαιρών τους» από έναν σεισμό θα μπορούσε να σκοτωθούν εκατοντάδες άνθρωποι.

Ένα προτεινόμενο σύστημα για την Καλιφόρνια περιλαμβάνει ένα περίπλοκο δίκτυο σεισμομέτρων και συσκευών αποστολής σημάτων στο ρήγμα του San Andreas. Αυτό το σύστημα θα αισθανόταν αρχικά κίνηση που συνδέεται με έναν μεγάλο σεισμό και έπειτα θα έστελνε μια προειδοποίηση στο Λος Άντζελες, το οποίο θα αναμεταδιδόταν για εκκένωση στις κρίσιμες εγκαταστάσεις, τα σχολεία, και το γενικό πληθυσμό (σχήμα 2.27). Ο χρόνος προειδοποίησης θα κυμαινόταν από 15 δευτερόλεπτα σε ένα λεπτό ανάλογα με τη θέση του επίκεντρου σεισμού. Αυτό το διάστημα θα μπορούσε να είναι αρκετός χρόνος για πολλούς ανθρώπους για να διακόψουν τα μηχανήματα και τους υπολογιστές και να καλυφθούν. Θυμηθείτε ότι ένα σύστημα προειδοποίησης σεισμού δεν είναι ένα εργαλείο πρόβλεψης, επειδή μόνο προειδοποιεί ότι ένας σεισμός έχει εμφανιστεί ήδη.

Επειδή ο χρόνος προειδοποίησης είναι τόσο σύντομος, μερικοί άνθρωποι θεωρούν επιστημονική αξιοπιστία που προκαλείται από τους ψεύτικους συναγερμούς θα ήταν πολύ μεγαλύτερη από τα οφέλη μιας συνοπτικής προειδοποίησης. Στο ιαπωνικό σύστημα υπολογίζεται ότι περίπου 5 τοις εκατό των προειδοποιήσεων αποδεικνύονται ψεύτικοι συναγερμοί. Άλλοι έχουν εκφράσει την ανησυχία για τα ζητήματα ευθύνης ως αποτέλεσμα των ψεύτικων συναγερμών, των αποτυχιών συστημάτων προειδοποίησης, και της ζημίας και του βασάνου ως αποτέλεσμα των ενεργειών να λαμβάνονται ως αποτέλεσμα της ψεύτικης έγκαιρης προειδοποίησης.



Σχ 2.27 προειδοποίηση σεισμού χρησιμοποιώντας ραδιοφωνικά κύματα τα οποία ταξιδεύουν γρηγορότερα από τα σεισμικά

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### Ηφαιστεια

Υπάρχουν περίπου 1.500 ενεργά ηφαιστεια στη γη, από τα οποία σχεδόν 400 έχουν εκραγεί τον τελευταίο αιώνα. Ενώ διαβάζετε αυτήν την παράγραφο τουλάχιστον 20 ηφαιστεια εκρήγνυται στον πλανήτη μας. Τα ηφαιστεια εμφανίζονται και στις επτά ηπείρους όπως και στη μέση από τον ωκεανό. Όταν άνθρωπος ζει στην πορεία ενός ενεργού ηφαιστείου, τα αποτελέσματα μπορεί να είναι καταστροφικά. Σε αυτό το κεφάλαιο θα εστιάσουμε στους ακόλουθους στόχους:

- Γνώση των διάφορων ηφαιστειακών τύπων σε σχέση με τα χαρακτηριστικά τους
- Κατανόηση της σχέσης ηφαιστειών και λιθοσφαιρικών πλακών
- Γνώση των γεωγραφικών περιοχών ηφαιστειακής επικυνδινότητας
- Γνώση των αποτελεσμάτων των ηφαιστειών και πώς συνδέονται με άλλους φυσικούς κινδύνους
- Αναγνώριση στα πιθανά οφέλη από τις ηφαιστειακές εκρήξεις
- Κατανόηση του τρόπου ελαχιστοποίησης του ηφαιστειακού κινδύνου
- Γνώση ρυθμίσεων που εμείς μπορούμε να κάνουμε για να αποφύγει ο θάνατος και ζημία από τα ηφαιστεια



### **Mt. Unzen, 1991**

Η Ιαπωνία έχει 19 ενεργά ηφαίστεια κατανεμημένα στο μεγαλύτερο μέρος της γης. Μόλις πάνω από 200 έτη πριν, το Mt. Unzen στα νοτιοδυτικά της Ιαπωνίας εξερράγη και σκότωσε κατ' εκτίμηση 15.000 ανθρώπους. Το ηφαίστειο κατόπιν κοιμώμενο μέχρι τις 3 Ιουνίου 1991, άλλη μια βίαια έκρηξη οδήγησε στην εκκένωση χιλιάδων ανθρώπων. Μέχρι το τέλος του 1993, το Mt. Unzen είχε παραγάγει περίπου 0.2 km<sup>2</sup> λάβας. Είχε επίσης παράγει περισσότερες από 8000 πυρογενείς ροές θερμού αερίου, τέφρας, και μεγάλα τεμάχια βράχου, περισσότερο από οποιοδήποτε ηφαίστειο στον πρόσφατο χρόνο, που το κάνει ένα φυσικό εργαστήριο για τη μελέτη τέτοιων ροών. Η έκρηξη του 1991 επίσης παρήγαγε καταστροφική ροή λάσπης. Ένα ειδικά σχεδιασμένο κανάλι κατασκευάστηκε για να περιέχει ροές λάσπης, αλλά οι ροές υπερέβησαν το κανάλι, θάβοντας πολλά σπίτια στη λάσπη (σχήμα 3.1).

Η ιστορία του Mt. Unzen υπογραμμίζει αρκετές από τις θεμελιώδεις αρχές μας: Η έκρηξη του 1991 εμφανίστηκε σε ένα ηφαίστειο που είχε προηγούμενο ιστορικό εκρήξεων, επικίνδυνες διαδικασίες των πυροπυρογενών ροών και ροών λάσπης συνδέθηκε, με την εκκένωση χιλιάδων ανθρώπων μειώνοντας την απώλεια ζωής.

## **3.1 Εισαγωγή στα ηφαίστεια**

Η ηφαιστειακή δραστηριότητα, ή ηφαιστειακή δράση, συσχετίζεται άμεσα με την τεκτονική πλακών, και τα περισσότερα ενεργά ηφαίστεια βρίσκονται κοντά στα όρια πλακών (δείτε Κεφάλαιο 1). Αυτή η σχέση υπάρχει επειδή όταν διαδίδονται ή βυθίζονται οι λιθοσφαιρικές πλάκες αλληλεπιδρούν με άλλα γήινα υλικά στα όρια των πλακών και παράγουν λειωμένους βράχους που αποκαλούνται μάγμα. Αυτό το πολύ παχύ υγρό περιέχει μικρά, αλλά σημαντικά, ποσά διαλυμένων αερίων, συνήθως υδρατμών και διοξειδίου του άνθρακα. Μόλις το μάγμα εκραγεί επάνω στη γήινη επιφάνεια αναφέρεται ως λάβα. Οι ενάρξεις μέσω των οποίων η λάβα και άλλες ηφαιστειακές δραστηριότητες που εξωθούν το υλικό αναφέρονται ως διέξοδοι. Περίπου δύο τρίτα από όλα τα ενεργά ηφαίστεια στη γη βρίσκονται στο δαχτυλίδι της πυρκαγιάς που περιβάλλει ο Ειρηνικός Ωκεανός

(σχήμα 3.2). Αυτό το δαχτυλίδι έχει διαμορφώσει επάνω από τις υποβυθισμένες ζώνες που οριοθετούν τον Ειρηνικό, Nazca, Cocos, Φιλιππίνες, και Πλάκες Juan de Fuca. Το μέγεθος, η μορφή, και η συμπεριφορά ενός ηφαιστείου είναι στενά συνδεδεμένες στην τεκτονική ρύθμιση των πλακών. Οι περισσότερες ηφαιστειακές ενεργές περιοχές έχουν επίσης μια ποικιλία από την ενδιαφέρουσα επιφάνεια των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων που συνέδεσαν με τα υπόγεια υδραυλικά σπασίματα και τους θαλάμους μέσω των οποίων είναι το μάγμα, τα ηφαιστειακά αέρια, και η ροή των ζεστών νερών.





Σχ 3.1(α) λασποροή από το ηφαίστειο στην κορυφή του Mt. Unzen το 1991



Σχ 3.1 (β) λασποροή κατέκλυσε τα σπίτια και τα κτίρια στο κέντρο της φωτογραφίας



Σχ 3.2 το δαχτυλίδι της φωτιάς (πορτοκαλί γραμμή)



Σχ 3.3 ασπίδωτό ηφαίστειο



## Τύποι ηφαιστείων

Κάθε τύπος ηφαιστείου έχει ένα χαρακτηριστικό εκρηκτικό ύψος αυτός οφείλεται, εν μέρει, στο πόσο ανθεκτικό είναι το μάγμα στη ροή. Αυτή η αντίσταση στη ροή καλείται ιξώδες. Ρευστά όπως το δροσερό, κατεψυγμένο μέλι ή το φυστικοβούτυρο έχει υψηλή αντίσταση στη ροή και έτσι ένα υψηλό ιξώδες. Αντίθετα, τα ρευστά όπως το νερό ή το θερμό μέλι έχουν έναν χαμηλότερο ιξώδες. Το ιξώδες του μάγματος καθορίζεται από το πυρίτιο που περιέχει και από τη θερμοκρασία του. Υψηλότερο σε περιεκτικότητα πυρίτιο και στη θερμοκρασία ψύξης το μάγμα έχει μεγαλύτερο ιξώδες. Ιδιαίτερα ιξώδες μάγμα συχνά εκρήγνυται κατά τρόπο εκρηκτικό, σε αντιδιαστολή με λιγότερο ιξώδη μάγμα, το οποίο τείνει να ρεύσει παρά να εκραγεί.

**Ηφαίστεια ασπίδων** τα μεγαλύτερα ηφαίστεια στον κόσμο είναι οι **ηφαιστειακές ασπίδες**. Είναι κοινά με εκείνα στα νησιά της Χαβάης, Ισλανδία, και σε μερικά στον Ινδικό Ωκεανό (Σχήμα 3.3). Στο σχεδιάγραμμα, ένα ηφαίστριο ασπίδων εμφανίζεται ως ευρύ τόξο όπως μια ασπίδα πολεμιστών. Αυτά τα ηφαίστεια είναι μεταξύ των πιο ψηλών βουνών στη γη όταν μετρούνται από τις βάσεις τους, που βρίσκονται συχνά στο ωκεανό. Οι ηφαιστειακές ασπίδες έχουν γενικά μη εκρηκτικές δραστηριότητες σαν αποτέλεσμα τη σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε πυρίτιο από το βασάλτικο μάγμα. Αυτό το μάγμα δροσίζει για να διαμορφώσει το βασάλτη, ένα μαύρο πύρινο βράχο. Όταν ένα ηφαίστριο ασπίδων εκρήγνυται, λάβα τείνει να ρεύσει κάτω από τις πλευρές του ηφαιστείου παρά να εκραγεί βίαια.

Τα ηφαίστεια ασπίδων ενισχύονται σχεδόν εξ ολοκλήρου από τη λάβα που ρέει, αλλά μπορούν επίσης να παράγουν πολλή τέφρα. Επίσης αναφερόμενη ως πυρογενής συντριμμία, η **τέφρα** περιλαμβάνει όλους τους τύπους ηφαιστειακών υλικών που εκτινάσσονται κατά τρόπο εκρηκτικό από ένα ηφαίστριο. Σειρά μορίων συντριμμίων από τη λεπτή σκόνη σε άμμος-ταξινομημένος (0.2 μέσα.), σε μικρό αμμοχάλικο-που ταξινομείται κομμάτι λάβας 2 έως 64 χιλ. (0.2 έως 2.5 μέσα.), στους μεγάλους γωνιακούς φραγμούς και ομαλός-εμφανισμένος (2.5 μέσα.).



Σχήμα 3.4 Σωλήνας λάβας. Η εξωτερική μαύρη γραμμή αποτελείται από βασάλτη και η κόκκινη στο κέντρο αποτελεί τη λάβα



Σχήμα 3.5 Σύνθετο ηφαίστειο. Όρος Fuji, της Ιαπωνίας, το υψηλότερο βουνό είναι απατηλά ένα όμορφο και σύνθετο ηφαίστειο που η τελευταία έκρηξη έγινε το 1708.

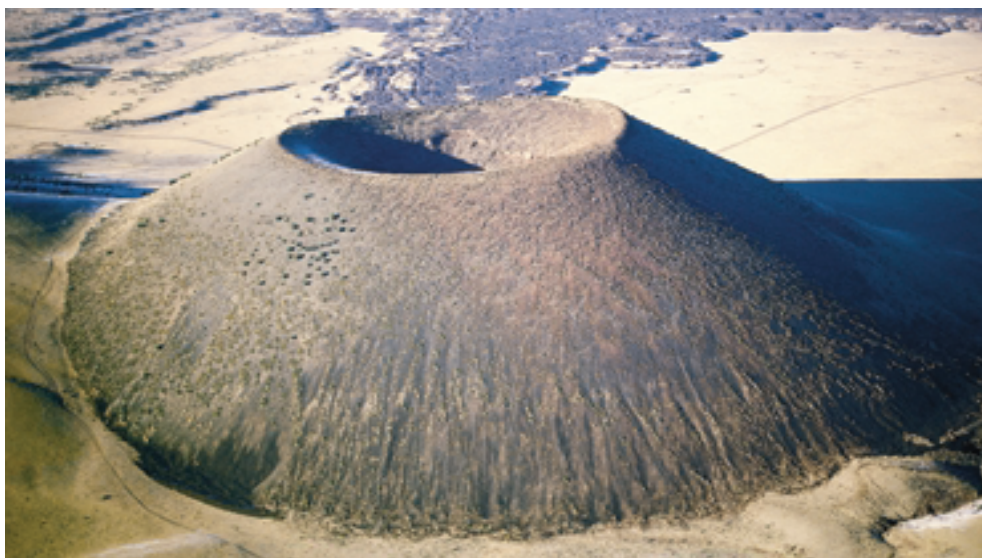
**Σύνθετα ηφαίστεια** Είναι γνωστά για το κωνοειδές σχήμα τους, χαρακτηρίζονται από μάγμα με ενδιάμεση περιεκτικότητα σε πυρίτιο (περίπου 60 %), πιο ρευστό από το μάγμα των ασπιδικών ηφαιστείων. Η δραστηριότητα τους χαρακτηρίζεται από αλληπάλληλες εκρήξεις ροών λάβας και πυροκλαστικών υλικών. Τα ηφαίστεια του τύπου αυτού απαντούν σε πολλές περιοχές του

κόσμου με πλέον χαρακτηριστικό παράδειγμα το ηφαίστειο της Αγίας Ελένης (Η.Π.Α).

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



Σχήμα 3.6 Έκρηξη αιχμής Ανατολικά από το Redding, στην Καλιφόρνια, είναι το νοτιότερο ηφαίστειο στους καταρράκτες . Αυτή η έκρηξη πραγματοποιήθηκε τον Ιούνιο του 1914.



Σχήμα 3.7 τεμάχιο λάβας κώνου. Το τεμάχιο λάβας κώνου με ένα μικρό κρατήρα στην κορυφή κοντά στο Springville, στην Αριζόνα ροή της λάβας στο ανώτερο μέρος της φωτογραφίας προέρχεται από την βάση του τεμαχίου της λάβας .



**Κώννοι στάχτης** που ενισχύονται από τη συσσώρευση της τέφρας κοντά σε μια ηφαιστειακή διέξοδο, οι κώννοι στάχτης είναι σχετικά μικρά ηφαιστεια που αποτελούνται από κόκκινη ή μαύρη λάβα. Η τέφρα από τους σβησμένους κώννους στάχτης είναι ο βράχος λάβας που χρησιμοποιήθηκε ευρέως στον εμπορικό εξωραϊσμό. Επίσης αποκαλούνται κώννοι λάβας, οι κώννοι στάχτης είναι κοινοί στα πλευρά των μεγαλύτερων ηφαιστειών, κατά μήκος των κανονικών ρηγμάτων, και κατά μήκος των ρωγμών ή των σχισμών (σχήμα 3.7).

Το κωνικό ηφαίστειο στάχτης Parícutin (σχήμα 3.8) Κοιλάδα Itzicuaro του κεντρικού Μεξικού, περίπου 320 χλμ (200 mi.) δυτικά της Πόλης του Μεξικού, πρόσφερε μια σπάνια ευκαιρία για να παρατηρηθεί η γέννηση και η ταχεία ανάπτυξη ενός ηφαιστείου μια ευκαιρία όπου δεν είχε υπάρξει πριν. Στις 20 Φεβρουαρίου 1943, μετά από αρκετές εβδομάδες σεισμών και ήχους όπως τη βροντή που προέρχεται κάτω από την επιφάνεια της γης, ένα καταπληκτικό γεγονός εμφανίστηκε. Όταν ο Dionisio Pulido προετοίμαζε για φύτευση ένα χωράφι με καλαμπόκι παρατήρησε ότι μια τρύπα που προσπαθούσε να γεμίσει για χρόνια είχε ανοίξει στο έδαφος στη βάση ενός λόφου. Όταν ο Señor Pulido παρακολούθησε, το περιβάλλον έδαφος που είχε διογκωθεί, αύξηση πάνω από δύο μέτρα (πάνω από 6 1/2 πόδ.), θειώδη αέρια και τέφρα άρχισαν να αναδύονται από την τεράστια τρύπα. Όλη τη διάρκεια της νύχτας, η τρύπα εκτίνασσε τα καμένα κόκκινα τεμάχια του βράχου ψηλά στον αέρα. Μέχρι την επόμενη ημέρα, ο κώννος είχε αυξηθεί 10 μ (33 πόδ.) ψηλά ως τους βράχους και η τέφρα συνέχισε να αναδύεται ως τον ουρανό από την έκρηξη. Μετά από μόνο πέντε ημέρες, ο κώννος στάχτης είχε αυξηθεί σε περισσότερο από 100 μ (330 πόδ.) ψηλότερα. Τον Ιούνιο του 1944, μια σχισμή 400 μέτρα, η οποία είχε ανοίξει, βασαλτική ροή λάβας εκρήχθηκε καίγοντας το κοντινό χωριό του SAN Juan Parangaricutiro, άφησε ελάχιστα. Κανένας δεν σκοτώθηκε σε αυτές τις εκρήξεις, και μέσα σε μια δεκαετία, ο κώννος στάχτης Parícutin έγινε κοιμισμένο ηφαίστειο. Εντούτοις, κατά τη διάρκεια των εννέα ετών από την έκρηξη περισσότερο από 1 δισεκατομμύριο κυβικών μέτρων τέφρας και 700 εκατομμύρια κυβικών μέτρων λάβας εξερράγησαν από του Señor Pulidos το χωράφι. Συγκομιδές καταστράφηκαν, ειδικά όταν θάφτηκαν από την τέφρα γρηγορότερα από ότι θα μπορούσαν να αυξηθούν, και το υγιές κεφάλαιο έγινε άρρωστο και πέθανε. Αν και διάφορα χωριά μετακινήθηκαν σε άλλες περιοχές, μερικοί κάτοικοι είχαν κινηθεί

πίσω στην Parícutin. Ο εντοπισμός των ορίων ιδιοκτησίας ήταν δύσκολος επειδή οι δείκτες συχνά καλύπτονταν από την τέφρα και τη λάβα, με συνέπεια διαφωνίες εδαφικής ιδιοκτησίας.



Σχήμα 3.8 ταχεία ανάπτυξη του ηφαιστίου σε αυτή τη φωτογραφία του 1943, , εξίσου ο κώνος στάχτης στο κεντρικό Μεξικό εκρήγνυται ένα σύννεφο της ηφαιστειακής τέφρας και των αερίων. Η ροή της λάβας έχει θάψει σχεδόν το χωριό του SAN Juan Parangaricutiro, που έχει αφήσει μόνο να εκτίθεται το καμπαναριό των εκκλησιών.

## Ηφαιστειακά χαρακτηριστικά γνωρίσματα

Τα ηφαίστεια είναι πολυσύνθετα συστήματα, και ένα ηφαίστειο είναι πραγματικά πολύ περισσότερο από ένα βουνό που αποβάλλει τη λάβα και πυρογενή συντρίμμια από την κορυφή του. Ηφαίστεια ή ηφαιστειακές οι περιοχές περιλαμβάνουν συνήθως τους κρατήρες, ηφαιστειακές διεξόδους, πίδακες ζεστού νερού και θερμοπηγές. Ένα ηφαίστειο ή μια ηφαιστειακή περιοχή μπορεί να εκθέσει ένα, μερικά, ή όλα αυτά τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα.

**Κρατήρες, καλδές, και καταθλίψεις** Οι διέοδοι που βρίσκονται στις κορυφές των ηφαιστίων είναι κρατήρες, οι οποίοι διαμορφώνονται από την έκρηξη ή την κατάρρευση της ανώτερης μερίδας του ηφαιστειακού κώνου. Είναι συνήθως μερικά χιλιόμετρα (γύρω από το α μίλι) στη διάμετρο. Γιγαντιαίες διέοδοι διαμορφώνονται κατά τη διάρκεια της εκρηκτικής εκτίναξης του

μάγματος και η επόμενη κατάρρευση του ανώτερου κώνου είναι γνωστές ως καλδές. Οι βίαιες εκρήξεις που καλούνται calderas συζητούνται κατωτέρω. Οι καλδές μπορεί να είναι 20 ή περισσότερα χιλιόμετρα (12.5 ή περισσότερα μίλια) στη διάμετρο και περιέχει τις ηφαιστειακές διεξόδους καθώς επίσης και άλλα ηφαιστειακά χαρακτηριστικά γνωρίσματα όπως οι διέξοδοι αερίου και τις θερμοπηγές. **Οι ηφαιστειακές διέξοδοι** είναι ενάρξεις μέσω των οποίων η λάβα και τα πυρογενή συντρίμια εκρήγνυνται και μπορεί να είναι κατά προσέγγιση κυκλικοί ή μπορεί να είναι επιμηκυμένες ρωγμές που ονομάζονται **σχισμές**. Μερικές εκτενείς εκρήξεις σχισμών έχουν παράγει τεράστιες ροές λάβας καλούμενες ως βασαλτικές πλημμύρες. Η πιο γνωστή συσσώρευση της βασαλτικής πλημμύρας στις Ηνωμένες Πολιτείες είναι το οροπέδιο της Κολούμπια στο Οροπέδιο της Κολούμπια, Ουάσιγκτον, Όρεγκον, και Αίνταχο (σχήμα 3.9).



Σχ 3.9 βασαλτικές πλημμύρες κατά μήκος του ποταμού Κολούμπια στην Ουάσιγκτον

Αυτές οι βασαλτικές πλημμύρες καλύπτουν μια περιοχή 128,000 km<sup>2</sup> ελαφρώς μεγαλύτερη από την κατάσταση του Μισισσιπή.

**Θερμοπηγές και Πίδακες ζεστού νερού** Σε μερικές ηφαιστειακές περιοχές, τα υδρολογικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα όπως θερμοπηγές και πίδακες ζεστού νερού είναι κοινά. Όταν τα υπόγεια νερά έρχονται σε επαφή με καυτό βράχο, αυτός θερμαίνεται και μπορεί να διαμορφώσει την επιφάνεια σαν **θερμή πηγή**. Λιγότερο κοινά, τα υπόγεια νερά βράζει σε μια υπόγεια αίθουσα μπορεί να παράγουν περιοδικές, ατμός-οδηγημένες απελευθερώσεις ατμού και ζεστού νερού στην επιφάνεια, ένα φαινόμενο αποκαλούμενο ως **πίδακα ζεστού νερού**. Οι παγκοσμίως διάσημοι πίδακες

ζεστού νερού βρίσκονται στην Ισλανδία, τη Νέα Ζηλανδία, και στο Εθνικό πάρκο Yellowstone στο Ουαϊόμινγκ (σχήμα 3.10).

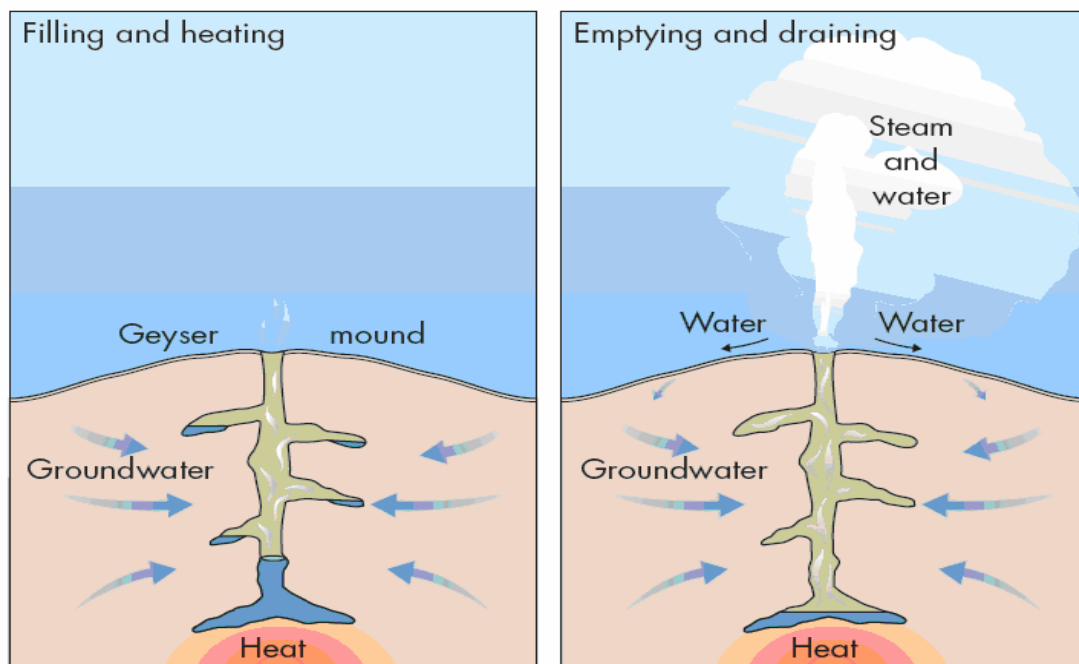
**Εκρήξεις κρατήρα** Οι κρατήρες παράγονται πολύ σπάνιες, αλλά εξαιρετικά βίαιες, εκρήξεις. Αν και κανένας δεν έχει εμφανιστεί οπουδήποτε στη γη στα τελευταία εκατοντάδες χιλιάδες έτη, τουλάχιστον δέκα τέτοιες εκρήξεις έχουν εμφανιστεί τα τελευταία εκατομμύρια χρόνια, τρεις από τα οποίες ήταν στη Βόρεια Αμερική. Μια μεγάλη έκρηξη κρατήρα μπορεί να παράγει περισσότερα από 1000 κυβικά μέτρα πυρογενών συντριμμιών που αποτελούνται συνήθως από στάχτη. Μια τέτοια ποσότητα θα κάλυπτε το νησί του Μανχάταν σε ύψος περίπου 1.6 χλμ (1 mi.) τέσσερις φορές το ύψος Empire State Building. Αυτός ο όγκος είναι περίπου χίλιες φορές περισσότερο από το ποσό τέφρας που εκτινάχθηκε από έκρηξη το 1980 του Mount St Helens! Μια τέτοια έκρηξη θα μπορούσε να παράγει κρατήρα 10 χλμ (6.2 mi.)σε διάμετρο μεγαλύτερο από τη λίμνη κρατήρων στο Oregon. Τα αποθέματα στάχτης από μια τέτοια έκρηξη θα μπορούσαν να είναι 100 μ (330 πόδ.) κοντά στο πλαίσιο των κρατήρων και ένα μέτρο (3 πόδ.) ή τόσο παχιά 100 χλμ (62 mi.) μακριά από την πηγή. Οι περισσότερες πρόσφατες εκρήξεις στη Βόρεια Αμερική εμφανίστηκαν περίπου 600.000 έτη πριν στο Yellowstone Εθνικό πάρκο στο Ουαϊόμινγκ και 700.000 έτη πριν στη Μακριά κοιλάδα, της Καλιφόρνια. Το τελευταίο γεγονός παρήχθη στη μακριά κοιλάδα καλύπτοντας μια μεγάλη περιοχή με τέφρα (σχήμα 3.11). Αν και οι πιο πρόσφατες ηφαιστειακές εκρήξεις στη μακριά κοιλάδα ήταν περίπου 400 έτη πριν, ακόμα υπάρχουν πιθανοί κίνδυνοι από μελλοντική ηφαιστειακή έκρηξη (σχήμα 3.12). Μετρήσιμη άνοδος του εδάφους συνοδευμένη από σμήνος σεισμών μέχρι το M 6 στις αρχές δεκαετίας του '80 έδειξε ότι το μάγμα κινούταν προς τα πάνω στη Μακριά κοιλάδα. Αυτό προέτρεψε την ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΗ γεωλογική μελέτη (USGS) για να εκδώσει μια πιθανή ηφαιστειακή προειδοποίηση κινδύνου που ανυψώθηκε στη συνέχεια. Εντούτοις, το μέλλον της μακριάς κοιλάδας παραμένει αβέβαιο.

Τα κύρια γεγονότα σε μια έκρηξη καλδέρας μπορεί να εμφανιστούν γρήγορα από μερικές ημέρες σε μερικές εβδομάδες αλλά ασυνεχώς, η μικρότερη σε μέγεθος ηφαιστειακή δραστηριότητα μπορεί να καθυστερήσει για από εκατομμύρια έτη. Το γεγονός στο Yellowstone μας έχει αφήσει θερμοπηγές και πίδακες ζεστού νερού, συμπεριλαμβανομένου του Old Faithful, ενώ το γεγονός της μακριάς κοιλάδας μας έχει αφήσει μια δυνατότητα ηφαιστειακού κινδύνου. Στην πραγματικότητα, και οι δύο περιοχές είναι ακόμα ικανές παραγωγής ηφαιστειακής

δραστηριότητας επειδή το μάγμα είναι παρόν σε ρηχά βάθη κάτω από τα πατώματα της καλδέρας. Και οι δύο θεωρούνται αναζωπυρωμένες καλδέρες επειδή τα πατώματά τους έχουν αργά καλυφθεί από τότε που οι ηφαιστειακές εκρήξεις τις διαμόρφωσαν.



Σχ 3.10 (α) έκρηξη θερμοπίδακα



(b)

Σχ 3.10 (β) λειτουργία θερμοπίδακα



Σχ. 3.11 κίνδυνος πτώσης τέφρας



Σχ. 3.12 κίνδυνοι της Καλδέρας

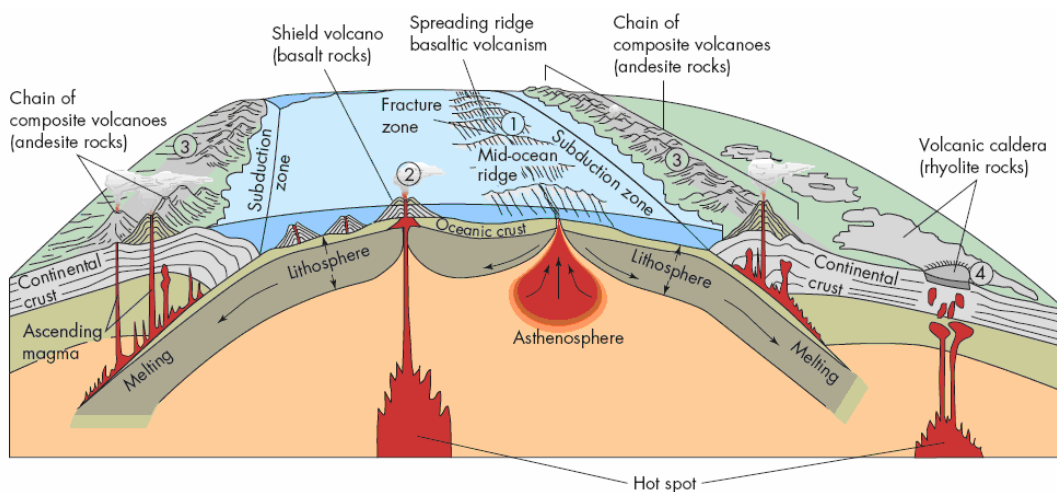
## Προέλευση ηφαιστείων

Καθορίσαμε νωρίτερα ότι οι αιτίες της ηφαιστειακής δραστηριότητας συσχετίζεται άμεσα με την τεκτονική πιάτων. Πιο συγκεκριμένα, η τεκτονική ρύθμιση καθορίζει τον τύπο ηφαιστείου αυτός θα είναι παρών (σχήμα 3.13):

**1. Κορυφογραμμές στο μέσο των ωκεανών** Η ηφαιστειακή δράση στο μέσο των ωκεανών παράγει το βασαλτικό μάγμα που προέρχεται από την ασθενόσφαιρα, μέρος του ανώτερου γήινου μανδύα (Κεφάλαιο 1). Αυτό το μάγμα αποτελείται από πολύ λίγα υλικά εκτός από τη βασαλτική ωκεάνια κρούστα. Επομένως, οι επακόλουθες λάβες είναι αποτελούμενες σχεδόν εξ ολοκλήρου του βασάλτη χαμηλού ιξώδους. Όπου αυτές οι κορυφογραμμές διάδοσης εμφανίζονται στο έδαφος, όπως στην Ισλανδία, εκεί διαμορφώνονται τα ηφαίστεια ασπίδων (σχήμα 3.14)

**2. Ζώνες υποβίθησης** τα σύνθετα ηφαιστεια ζωνών συνδέονται με ζώνες υποβίθισης και είναι έτσι πιο κοινός τύπος ηφαιστείου που βρίσκεται γύρω από τις χώρες του δακτυλίου του Ειρηνικού. Παραδείγματος χάριν, ηφαιστεια στη σειρά καταρρακτών της Ουάσιγκτον, Όρεγκον, και Καλιφόρνια παράγονται από τη ζώνη υποβύθισης της Cascadia (σχήμα 3.15). Πάνω από 80 τοις εκατό των ηφαιστειακών εκρήξεων σε ιστορικούς καιρούς έχουν προέλθει από τα ηφαιστεια επάνω από τις ζώνες υποβύθισης. Ηφαιστειακοί βράχοι που παράγονται από τις ζώνες υποβύθισης αποτελούνται από ανδεσίτη, ένα τύπο βράχου που παράγεται όταν αυξάνεται το μάγμα που αναμιγνύεται και με την ωκεάνια και ηπειρωτική κρούστα. Δεδομένου ότι η ηπειρωτική κρούστα έχει υψηλότερη περιεκτικότητα σε πυρίτιο από το βασαλτικό μάγμα, ο ανδεσίτης έχει μια ενδιάμεση περιεκτικότητα σε πυρίτιο.

**3. Τα καυτά σημεία κάτω από τους ωκεανούς** τα ηφαιστεια ασπίδων βρίσκονται κάτω από τα καυτά σημεία της ωκεάνιας λιθόσφαιρας. Παραδείγματος χάριν, τα ηφαιστεια της Χαβάης, τοποθετημένα καλά μέσα στην ειρηνική πλάκα, έχουν χτιστεί από τον πυθμένα της θάλασσας μέσω των υποβρύχιων εκρήξεων βασαλτικής λάβας παρόμοια με εκείνους στις κορυφογραμμές στο μέσο των ωκεανών. Αυτό το μάγμα εμφανίζεται να προέρχεται από ένα καυτό σημείο που είναι αρκετά στάσιμο για πολλά εκατομμύρια έτη. Η ειρηνική πλάκα κινείται κατά προσέγγιση στα βορειοδυτικά πέρα από αυτό το καυτό σημείο. Με το χρόνο αυτή η μετακίνηση έχει παράγει μια αλυσίδα μετακίνησης των ηφαιστειακών νησιών από το βορειοδυτικό στο νοτιοανατολικό σημείο. Το νησί



Σχ 3.13 ηφαιστειακή δραστηριότητα και τεκτονικές πλάκες

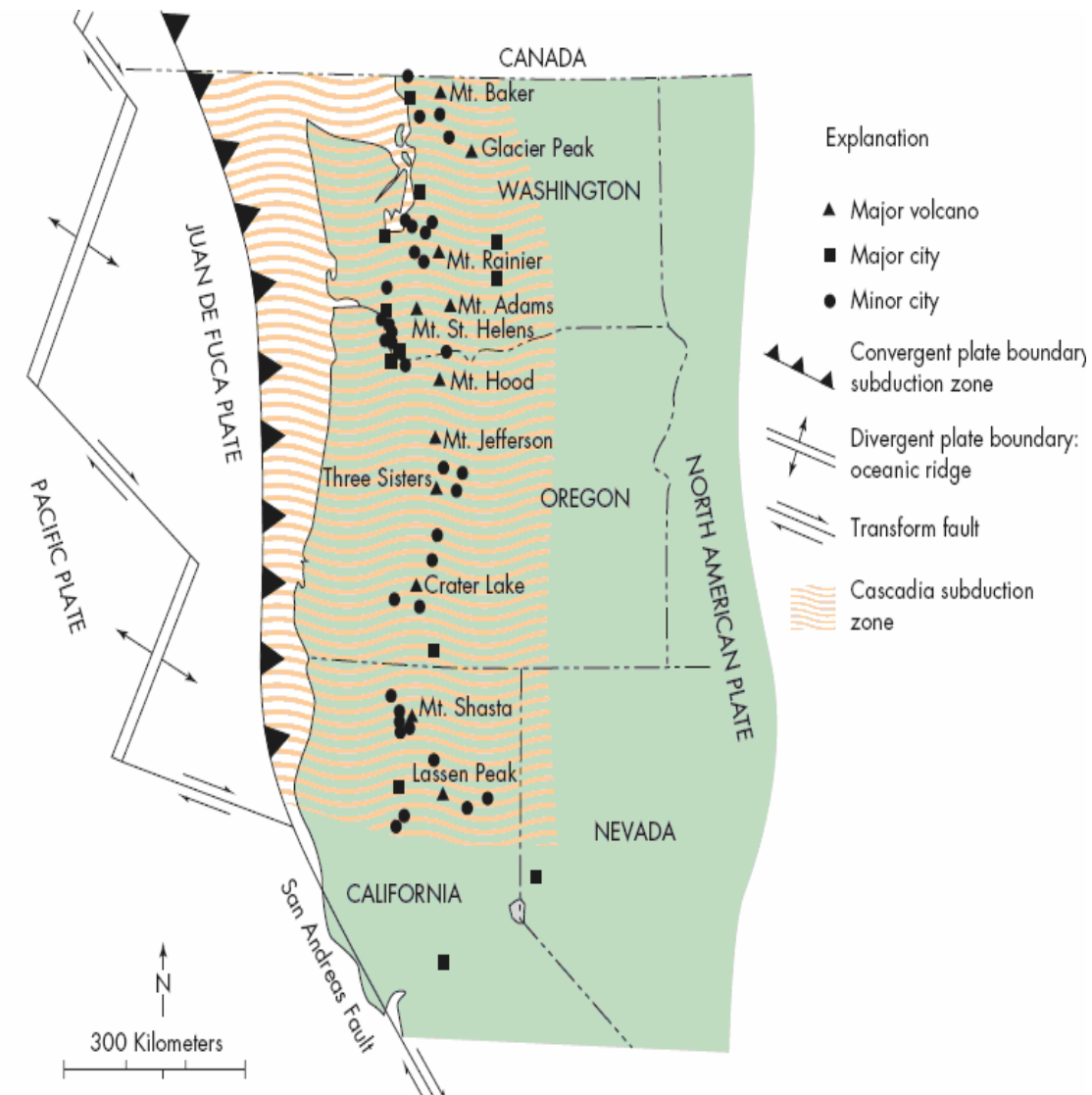
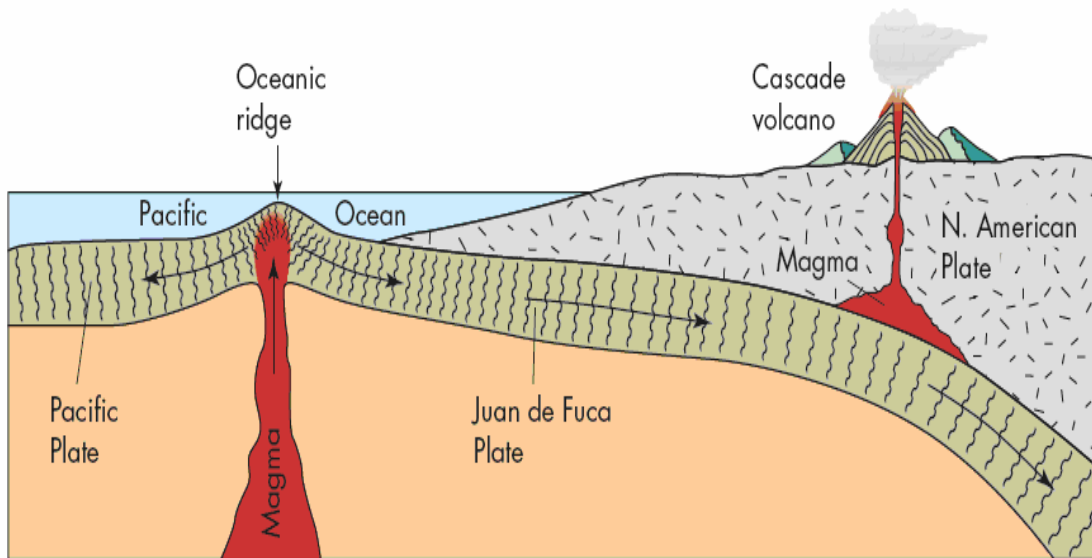


της Χαβάης είναι προς το παρόν κοντά στο καυτό σημείο και δοκιμάζεται από ενεργές ηφαιστειακές δράσεις και ανάπτυξη. Νησιά στα βορειοδυτικά, όπως Molokai και Oahu, εμφανίζονται να έχουν κινηθεί από το καυτό σημείο, από τότε που τα ηφαίστεια τους δεν είναι πλέον ενεργά.

**4. Καυτά σημεία μεταξύ των ηπείρων** Οι εκρήξεις καλδέρας συμβαίνουν σε αυτήν την τεκτονική ρύθμιση. Μπορεί να είναι εξαιρετικά εκρηκτικές και βίαιες, και είναι συνδεδεμένες με το ηφαιστειακό γρανιτικό μάγμα. Ο γρανίτης έχει υψηλή περιεκτικότητα σε πυρίτιο όταν το μάγμα αναμιγνύεται με την ηπειρωτική κρούστα. Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, η πιο πρόσφατη έκρηξη καλδέρας στη Βόρεια Αμερική εμφανίστηκε περίπου 600.000 έτη πριν στο εθνικό πάρκο Yellowstone. Αυτή η εκρηκτική ύλη η έκρηξη του γρανιτικού μάγματος έχει συνδεθεί με ένα ακόμα-ενεργό καυτό σημείο κάτω από τη νοτιοαμερικανή πλάκα.



Σχ 3.14 ηφαίστεια σε κορυφογραμμές



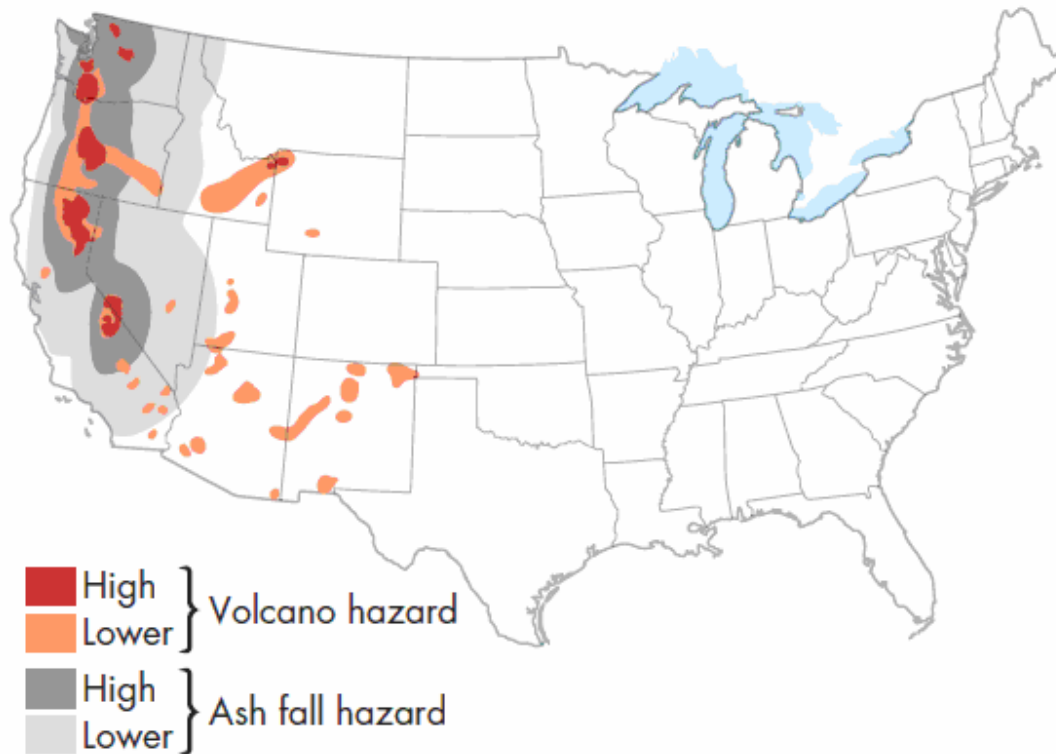
Σχ 3.15 ηφαιστειακοί καταρράκτες και τεκτονικές πλάκες

## 3.2 Γεωγραφικές περιοχές σε κίνδυνο για τα ηφαίστεια

Όπως καθιερώσαμε, τα ηφαίστεια, καθώς και οι σεισμοί, συσχετίζονται στενά με τις τεκτονικές πλάκες, και περισσότερο εμφανίστηκαν κατά μήκος του δαχτυλιδιού της φωτιάς που περιβάλλει την λεκάνη του Ειρηνικού Ωκεανού.(σχήμα 3.2). Περιοχές έξω από το δαχτυλίδι της φωτιάς μπορούν επίσης να δοκιμαστούν από τα ηφαίστεια, λόγω δραστηριότητας καυτών σημείων ή επειδή βρίσκονται σε μια τοποθεσία στη μέση του Ωκεανού της κορυφογραμμής (Ισλανδία). Η Ανατολή, Αφρική έχει ηφαιστειακή σχέση με το άνοιγμα ή το τράβηγμα μακριά από την κάθε μία, από τις τρεις τεκτονικές πλάκες.

Επίσης, μεγάλες, σπάνιες εκρήξεις στη μακριά κοιλάδα και στην περιοχή Yellowstone στη Βόρεια Αμερική έδειξαν ότι αυτές οι περιοχές μπορούν να είναι στο μέλλον σε κίνδυνο. Ο υψηλότερος κίνδυνος τοπικής ηφαιστειακής δραστηριότητας στις Ηνωμένες Πολιτείες είναι οι ορεινές περιοχές το Pacific Coast και το Yellowstone (σχήμα 3.16). Άλλοι απομονωμένοι τομείς του νοτιοδυτικού σημείου είναι σε κίνδυνο, ενώ ανατολικά το δύο τρίτο των Ηνωμένων Πολιτειών είναι σε κίνδυνο-ελεύθερο για την τοπική ηφαιστειακή δραστηριότητα. Εντούτοις, αποτελέσματα μιας μεγάλης έκρηξης στις δυτικές Ηνωμένες Πολιτείες τους έχει κάνει να αισθάνονται πιθανώς ότι βρίσκονται μακριά από η πηγή, υπό μορφή πτώσης τέφρας που καλύπτει την ατμόσφαιρα.

### Volcanic Hazards: (Based on activity in the last 15,000 years)



Σχήμα 3.16 Ηφαιστειακός κίνδυνος στις Η.Π.Α

### 3.3 αποτελέσματα των ηφαιστείων

Παγκοσμίως, πενήντα έως εξήντα ηφαίστεια εκρήγνυνται κάθε έτος. Οι Ηνωμένες Πολιτείες, εμφανίζουν εκρήξεις δύο ή τρεις φορές το χρόνο, συνήθως στην Αλάσκα. Οι εκρήξεις είναι συχνά μέσα σε αραιοκατοικημένες περιοχές του κόσμου, που προκαλούν λίγο, εάν υπάρξει οποιοδήποτε, απώλεια ζωής ή οικονομικής ζημιάς. Εντούτοις, όταν η έκρηξη πραγματοποιείται κοντά σε μια πυκνοκατοικημένη περιοχή, τα αποτελέσματα μπορούν να είναι καταστροφικά (πίνακας 3.2). Περίπου 500 εκατομμύρια άνθρωποι στη γη ζουν κοντά στα ηφαίστεια, και δεδομένου ότι ο ανθρώπινος πληθυσμός αυξάνεται, όλο και περισσότεροι άνθρωποι ζουν στα πλευρά, ή τις πλευρές, ενεργού ή ενδεχομένως ενεργών ηφαιστείων. Στα προηγούμενα 100 έτη σχεδόν 100.000 άνθρωποι έχουν σκοτωθεί από τις ηφαιστειακές εκρήξεις, περίπου 28.500 ζωές χάθηκαν μόνο στη δεκαετία του '80. Πυκνοκατοικημένες χώρες με πολλά ενεργά ηφαίστεια, όπως η Ιαπωνία, Μεξικό,



Σχήμα 3.17 τοποθεσία των ηφαιστειών στις Ηνωμένες Πολιτείες.

ειδικά κοντά στη πόλη του Μεξικού, οι Φιλιππίνες, και η Ινδονησία, είναι ιδιαίτερα τρωτές. Διάφορα ενεργά ή ενδεχομένως ενεργά ηφαιστειακά κέντρα στις δυτικές Ηνωμένες Πολιτείες είναι κοντά στη πόλη με πληθυσμό πάνω από 350.000 ανθρώπους (σχήμα 3.17). Οι ηφαιστειακοί κίνδυνοι περιλαμβάνουν τα αρχικά αποτελέσματα μιας ηφαιστειακής δραστηριότητας που είναι τα άμεσα

αποτελέσματα μιας έκρηξης, και δευτεροβάθμια αποτελέσματα, τα οποία μπορούν να προκληθούν από τον αρχικό αποτελέσματα.

## Ροές λάβας

Λαμβάνουν χώρα όταν το μάγμα φθάνει στην επιφάνεια και υπερχειλίζει από τον κρατήρα καλύπτοντας τις πλευρές του ηφαιστείου. Οι ροές λάβας αποτελούν το πλέον γνωστό προϊόν της ηφαιστειακής δραστηριότητας και χαρακτηρίζονται από μεγάλες ταχύτητες μετακίνησης όταν έχουν μικρό ιξώδες και μικρές ταχύτητες μετακίνησης όταν εμφανίζουν μεγάλο ιξώδες. Οι περισσότερες λάβες κινούνται αρκετά αργά με αποτέλεσμα να δίνεται στους ανθρώπους η δυνατότητα αντίδρασης και προφύλαξης. Αρκετές μέθοδοι έχουν υιοθετηθεί κατά καιρούς για την εκτροπή των ροών λαβών όπως βομβαρδισμοί, υδραυλικοί ψύξη και κατασκευή τοίχων- φραγμάτων και οδηγών τάφρων. Οι μέθοδοι αυτοί δεν έχουν σαν στόχο βέβαια την συγκράτηση μεγάλων ροών, αλλά απλώς και μόνο την προφύλαξη ή και την αναστολή της εξέλιξης μερικών ρευμάτων λάβας σε πολύ συγκεκριμένες περιπτώσεις και περιοχές.

Ειδικότερα η κατασκευή τοίχων- φραγμάτων εφαρμόζεται για την παρεμπόδιση ή την εκτροπή μέσα σε τάφρους αρκετών ροών λάβας. Χαρακτηριστικές περιπτώσεις επιτυχημένης και αποτελεσματικής εφαρμογής της μεθόδου έχουν εφαρμοσθεί στη Χαβάη και την Ιταλία. Ο βομβαρδισμός γίνεται στις περιπτώσεις όπου επιθυμείτε η στιγμιαία ανακοπή της ροής της λάβας προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση διευκολύνοντας έτσι την πήξη της. Τέλος, η μέθοδος της υδραυλικής ψύξης περιλαμβάνει ψύξη της λάβας με τεράστιες ποσότητες νερού έτσι ώστε να διευκολύνεται αλλά και να επισπεύδεται η στερεοποίηση της. Η μέθοδος αυτή έχει αποδειχτεί ως η πλέον επιτυχής τουλάχιστον στις περιπτώσεις όπου έχει εφαρμοσθεί με πλέον αντιπροσωπευτικό το παράδειγμα της νήσου heimaey στην Ισλανδία όπου με την ροή της λάβας κινδύνευσε άμεσα η είσοδος του πιο σημαντικού αλιευτικού λιμανιού της χώρας. (σχ 3.18) (σχ 3.19)



Σχ 3.18 ροή λάβας



Σχ 3.19 ροή λάβας

## **Πυροκλαστική δραστηριότητα**

Είναι χαρακτηριστική δραστηριότητα ενός μάγματος με υψηλή περιεκτικότητα σε πυρίτιο. Κατά την διάρκεια της πυροκλαστικής δραστηριότητας λαμβάνουν μέρος όλα τα είδη των ηφαιστειακών αιωρημάτων από την ηφαιστειακή σποδό έως την τέφρα, τα οποία εκτινάσσονται από κάποιο ηφαιστειακό αγωγό στην ατμόσφαιρα. Οι εκρήξεις αυτές είναι αρκετά έντονες και η ταχύτητα τους είναι δυνατό σε ορισμένες περιπτώσεις να υπερβεί την ταχύτητα του ήχου, ενώ τα υλικά μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις και να καλύψουν εκατοντάδες ή ακόμα και χιλιάδες τετραγωνικά χιλιόμετρα.

Η πυροκλαστική δραστηριότητα μπορεί να έχει άμεσες επιπτώσεις στο περιβάλλον και ειδικότερα στην πανίδα και τη χλωρίδα ενώ σημαντικές είναι και οι καταστροφές σε οικιστικούς χώρους και τεχνικά έργα. Οι πλέον επιβλαβείς περιπτώσεις είναι οι εκρηκτικές στοιβάδες σποδού με θερμοκρασία μερικών εκατοντάδων βαθμών κελσίου, οι οποίες αποτεφρώνουν τα πάντα στο πέρασμα τους με πλέον χαρακτηριστικές τις περιπτώσεις των καταστροφών στις δυτικές ακτές των Η.Π.Α.

## **Δηλητηριώδη αέρια**

Ένα πλήθος από αέρια όπως ατμοί διοξειδίου του άνθρακα, μονοξειδίου του άνθρακα, υδρόθειου, κλπ. Εκπέμπονται τόσο κατά την διάρκεια της ηφαιστειακής δραστηριότητας όσο και κατά την διάρκεια των ενδιάμεσων περιόδων. Αρκετές μάλιστα φορές τα αέρια είναι δυνατό να είναι βαρύτερα του ατμοσφαιρικού αέρα με αποτέλεσμα να επικάθονται στα κατώτερα στρώματα κοντά στο έδαφος και να προκαλούν αρκετούς θανάτους. Πολύ χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα του Καμερούν στις 21 Αυγούστου 1986 όπου προκλήθηκαν 2.000 περίπου θάνατοι.





Σχ3.20 (α) δηλητηριώδη αέρια από το κοιμισμένο ηφαίστειο



Σχ 3.21(β) δηλητηριώδη αέρια από το κοιμισμένο ηφαίστειο



Σχ 3.21 (c) δηλητηριώδη αέρια από το κοιμισμένο ηφαίστειο

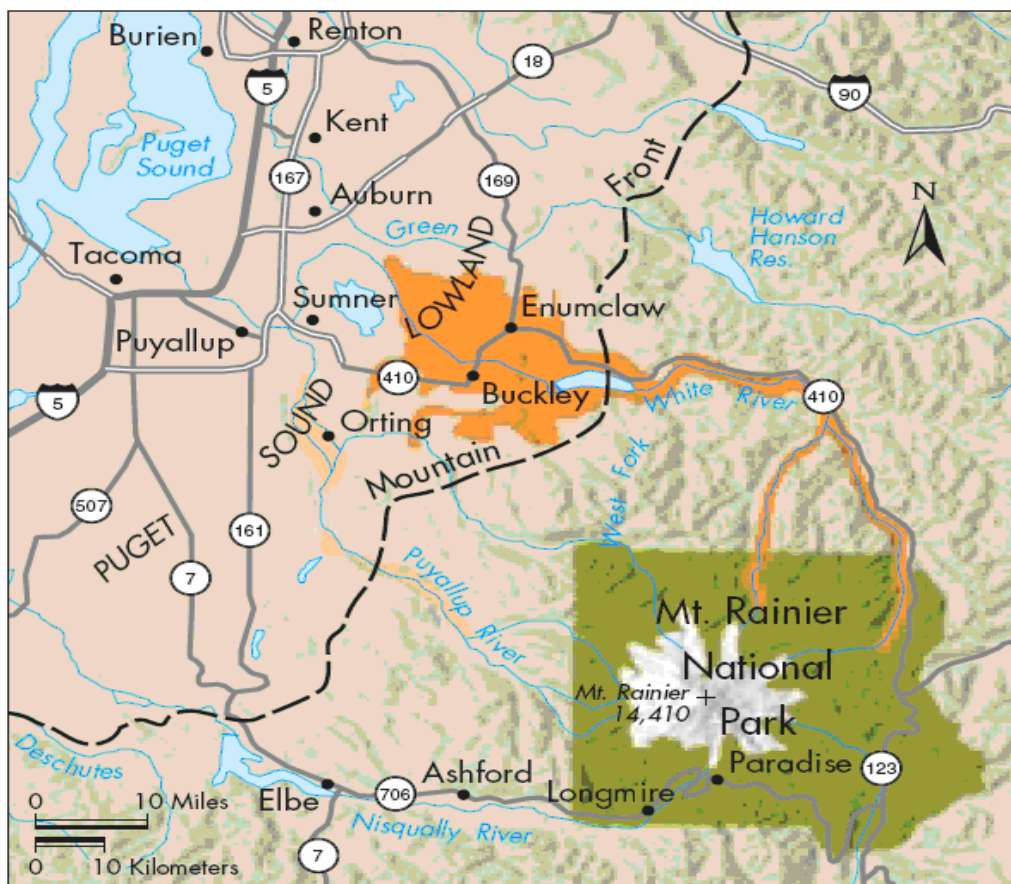
### **Συντρίμμια, λασποροές και άλλες Μαζικές μετακινήσεις**

Τα σοβαρότερα δευτεροβάθμια αποτελέσματα της ηφαιστειακής δραστηριότητας είναι συντρίμμια και λασποροές, γνωστές συλλογικά από το ινδονησιακό όνομα τους <<lahar>>. Τα <<Lahars>> παράγονται όταν μεγάλα ποσά χαλαρής ηφαιστειακής στάχτης και άλλης τέφρας είναι ποτίζονται με νερό, γίνονται ασταθή, και ξαφνικά κατηφορίζουν (σχήμα 3.1). Οι ροές συντριμμιών διαφέρουν από τις λασποροές στο ότι είναι πιο χονδροειδή περισσότερο από τα μισά μόριά τους είναι μεγαλύτερα από τα σιτάρια άμμου. Αντίθετα από τις πυρογενείς ροές, <<lahars>> μπορούν να εμφανιστούν χωρίς μια έκρηξη και είναι γενικά χαμηλής θερμοκρασίας ροές.

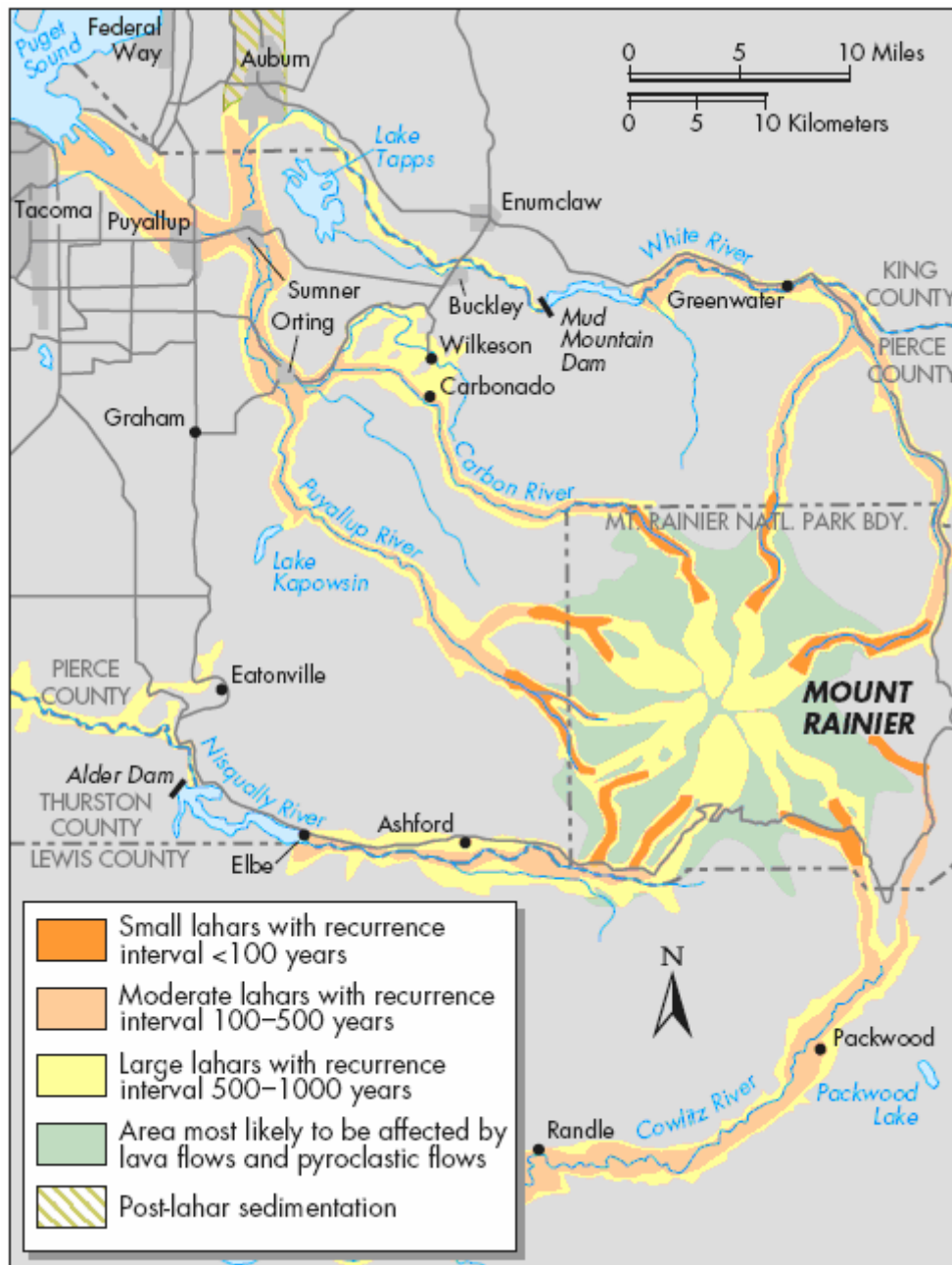
**Τα συντρίμμια ρέουν** ακόμη και σε σχετικά μικρές εκρήξεις καυτού ηφαιστειακού υλικού που μπορεί γρήγορα να λειώσει τους μεγάλους όγκους του χιονιού και πάγου σε ένα ηφαίστειο. Αυτή η γρήγορη τήξη παράγει μια πλημμύρα από νερά λιωμένων χιονιών που διαβρώνουν την κλίση του ηφαιστείου που δημιουργεί μια ροή συντριμμιών. Οι ηφαιστειακές ροές συντριμμιών είναι γρήγορα κινούμενα μίγματα λεπτού ιζήματος και μεγάλων βράχων που

έχουν σύσταση παρόμοια με το υγρό σκυρόδεμα. Οι ροές συντριμμίων μπορούν να ταξιδέψουν πολλά χιλιόμετρα κάτω από τις κοιλάδες και τα πλευρά του ηφαιστείου όπου διαμόρφωσαν. Παραδείγματος χάριν, νωρίς το 1990 μια πυρογενής ροή από το ηφαίστειο Redoubt στην Αλάσκα κινήθηκε πέρα από τον παγετώνα κλίσης. Γρήγορα έλιωσε το χιόνι και τον πάγο παράγοντας ογκώδη ποσά νερού και ιζήματος. Αυτό ο πηλός δημιούργησε μια ροή συντριμμίων με μια εκκένωση συγκρίσιμη με αυτή στο ποτάμι Μισισσιπή σε στάδιο πλημμυρών. Ευτυχώς, το γεγονός ήταν σε μια απομονωμένη περιοχή, έτσι καμία ζωή δεν χάθηκε.

**Λασποροές** γιγαντιαίες λασποροές έχουν δημιουργηθεί επάνω στα πλευρά των ηφαιστειών στο Pacific Northwest στον ιστορικό και προϊστορικό χρόνο. Δύο από αυτές, η λασποροή στην Osceola και η λασποροή ηλεκτρονίων, άρχισαν στο Mt. Rainier (σχήμα 3.22). Περίπου 5.000 έτη πριν λασποροή στην Osceola κίνησε (0.45 mi.3) του ιζήματος σε μια απόσταση περισσότερη από 80 χλμ μακριά από το ηφαίστειο. Πολλές περιοχές νότια του Πουκέτ είναι σε κίνδυνο για ροή από συντρίμια, λασποροή, λάβα και πυρογενή ροή από το Mt. Rainier. (σχ 3.23 )



Σχ 3.22 λασποροές και πιθανοί κίνδυνοι λασποροών



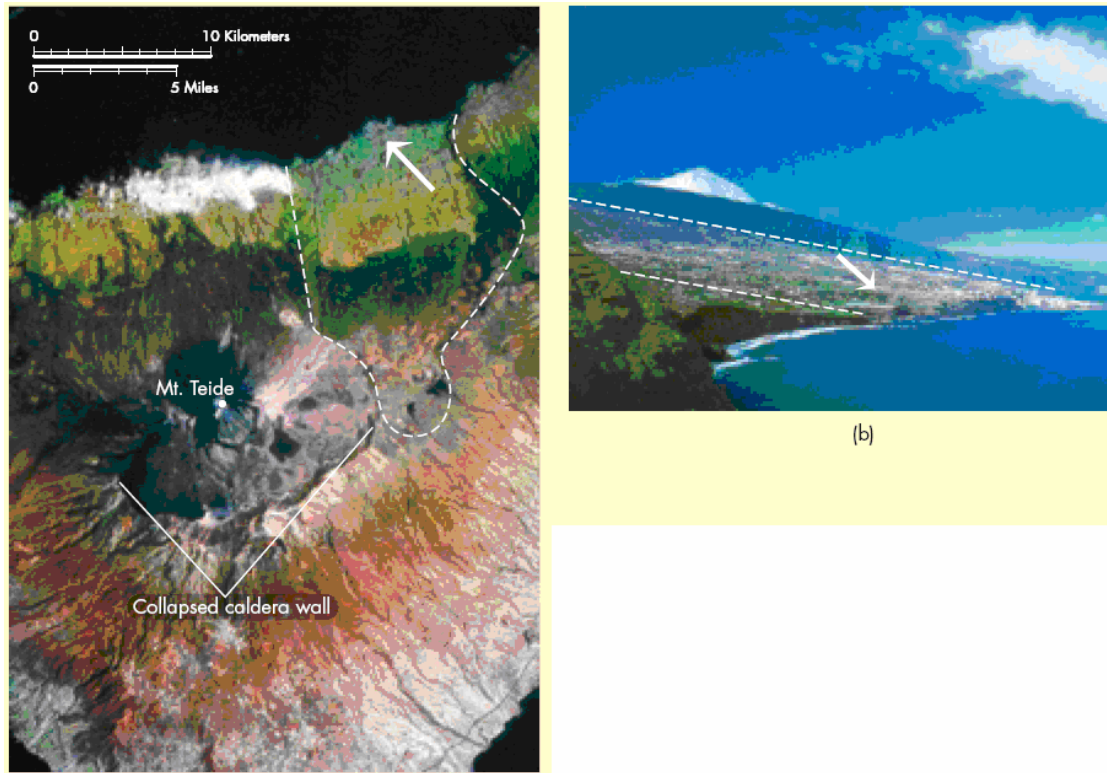
Σχ 3.23 λασπορές και πιθανοί κίνδυνοι λασπορών

### **3.1 Περιπτώσιολογική μελέτη**

#### **Ηφαιστειακές καθιζήσεις εδάφους και Τσουνάμι**

Οι μεγαλύτερες ενεργές καθιζήσεις εδάφους στη γη βρίσκονται στη Χαβάη. Είναι πάνω από 100 χλμ (60 mi.) ευρέως, 10 χλμ (6 mi.) πυκνά, και 20 χλμ (12 mi.) πολύ και επεκταμένα από μια ηφαιστειακή ζώνη ρωγμών στο έδαφος στο τελικό σημείο κάτω από τη θάλασσα. Αυτήν την περίοδο ερπυσμός αυτών των καθιζήσεων εδάφους φτάνει περίπου τα 10 εκατ. (4 μέσα.) το χρόνο και περιέχουν φραγμούς του βράχου στο μέγεθος του νησιού Μανχάταν. Ο φόβος είναι ότι μπορεί να γίνουν πάλι μια γιγαντιαία, γρήγορη υποβρύχια χιονοστιβάδα συντριμμιών. Αυτή η χιονοστιβάδα θα παρήγαγε ένα τεράστιο τσουνάμι ικανό για την ανύψωση εκατοντάδων θαλασσιών μέτρων συντριμμιών επάνω στα κοντινά νησιά και θα προκαλούσε καταστροφική ζημία γύρω από τη λεκάνη του Ειρηνικού. Ευτυχώς, τέτοιου μεγάλου μεγέθους γεγονότα είναι σπάνια και η μέση επανάληψη τους φαίνεται να είναι σε περίπου 100.000 έτη.

Άλλες τεράστιες ηφαιστειο-σχετικές με το έδαφος καθιζήσεις ή χιονοστιβάδες συντριμμιών έχουν παρατηρηθεί στα Κανάρια νησιά, του Ατλαντικού Ωκεανού της δυτικής ακτής στην Αφρική. Στην Tenerife, το μεγαλύτερο νησί, έξι τεράστιες καθιζήσεις εδάφους έχουν εμφανιστεί τα τελευταία εκατομμύρια χρόνια (αχ 3.Α), η πιο πρόσφατη πραγματοποιήθηκε λιγότερο από 150.000 έτη πριν. Ο παράκτιος θαλάσσιος πυθμένας βόρεια της Tenerife καλύφθηκε από 5.500 km<sup>2</sup> εδαφικής καθίζησης, μια περιοχή τόσο μεγάλη όσο το κράτος Ντελαγουέρ και περισσότερο από δύο φορές η επιφάνεια εδάφους του νησιού.



Σχ 3 Α γιγαντιαία καθίζηση του εδάφους στα ηφαιστεια

**Οι ηφαιστειακές καθιζήσεις** εδάφους είναι άλλη μια δευτεροβάθμια επίδραση της ηφαιστειακής δραστηριότητας. Όπως τα <<lahars>>, μπορούν να προκληθούν από γεγονότα πέρα της έκρηξης. Μεγάλες ηφαιστειακές καθιζήσεις εδάφους μπορούν να έχουν επιπτώσεις στις περιοχές μακριά από την πηγή τους (δείτε την περιπτωσιολογική μελέτη 3.1). Παραδείγματος χάριν, ογκώδης καθίζηση εδάφους στον πυθμένα θάλασσας από τις ακτές της Χαβάης και τα Κανάρια νησιά πρέπει να έχουν παραγάγει τεράστια τσουνάμι. Αυτά τα μεγάλα κύματα θα προκαλούσαν την καταστροφική ζημία μακριά από τα νησιά όπου δημιουργήθηκαν.

### **ST Helens 1980-2005: Από τα πλευρικά φυσήματα στις ροές λάβας**

Στις 18 Μαΐου 1980, έκρηξη του ST Helens στη νοτιοδυτική γωνία της πολιτείας της Washington (σχήμα 3.24) εξηγεί τους πολλούς τύπους ηφαιστειακών γεγονότων αναμενόμενων από ένα ηφαίστειο καταρρακτών. Η έκρηξη, όπως πολλά φυσικά γεγονότα, ήταν μοναδικά και σύνθετα, κάνοντας τις γενικεύσεις κάπως δύσκολες. Εντούτοις, έχουμε μια σπουδαία ιδέα από το ST Helens, και η ιστορία δεν είναι ακόμα ολοκληρωμένη.

Το ST Helens ξύπνησε το Μάρτιο 1980, μετά από 120 έτη λήθαργου, με τη σεισμική δραστηριότητα και μικρές εκρήξεις δημιουργημένα από το βρασμό των υπόγειων νερών καθώς ήρθαν σε επαφή με τον καυτό βράχο. Μέχρι την 1η Μαΐου, μια προεξέχουσα διόγκωση στο βόρειο πλευρό του βουνού θα μπορούσε να παρατηρηθεί και αυξήθηκε σε ένα ποσοστό περίπου 1.5 μ (5 πόδ.) ανά ημέρα. Στις 8:32 Π.Μ. στις 18 Μαΐου 1980, ένας σεισμός μεγέθους 5.1 καταχωρημένος στο ηφαιστειο προκάλεσε μια μεγάλη χιονοστιβάδα καθιζήσεων εδάφους/συντριμμίων από το γήινο υλικό. Η χιονοστιβάδα, η οποία περιέλαβε την ολόκληρη περιοχή διόγκωσης, συνέβη κάτω από το βόρειο πλευρό του βουνού, μετατοπίζοντας το νερό στη λίμνη Spirit. Έπειτα χτύπησε και εξουδετέρωσε μια κορυφογραμμή 8 χλμ (5 mi.) στο Βορρά και κάνοντας μια απότομη στροφή, μετακίνησε 18 χλμ (11 mi.) τον ποταμό Toutle.

Δευτερόλεπτα μετά από την αποτυχία της διόγκωσης, το ST Helens εξερράγη με ένα πλευρικό φύσημα κατευθυνόμενο από την περιοχή που η διόγκωση είχε καταλάβει. Το φύσημα κινήθηκε με ταχύτητα 1080 χλμ (670 mi.) ανά ώρα. Αυτή η ταχύτητα ήταν σχεδόν 220 χλμ (135 mi.) ανά ώρα γρηγορότερη από το γρηγορότερο Boeing 747 αεριωθούμενο αεροπλάνο. Τα αποτελέσματα του φυσήματος έγιναν αισθητά σχεδόν 30 χλμ (19 mi.) από την πηγή του. Το φύσημα κατάστρεψε περίπου 600 km<sup>3</sup>, μια περιοχή με μέγεθος του Σικάγο, Ιλλινόις. Καταθέσεις συντριμμι-χιονοστιβάδων, ανατινάζονται κάτω από την ξυλεία, την καψαλισμένη ξυλεία, τις πυρογενείς ροές και λασποροές από τις μεγάλες περιοχές κάλυψης φυσήματος γύρω από το ηφαιστειο

Μέχρι μια ώρα μετά από το αργότερο πλευρικό φύσημα, ένα μεγάλο κατακόρυφο σύννεφο είχε ανέλθει γρήγορα σε ένα ύψος περίπου 19 χλμ (12 mi.), εκτεινόμενο άνω των 4 χλμ (2.5 mi.) στη στρατόσφαιρα. Έκρηξη της κατακόρυφης στήλης συνεχίστηκε για περισσότερο από 9 ώρες, και μεγάλοι όγκοι ηφαιστειακής στάχτης αφόρισε μια ευρεία περιοχή της Ουάσιγκτον, το βόρειο Αίνταχο, και τη δυτική και κεντρική Μοντάνα. Κατά τη διάρκεια της εννιάωρης έκρηξης πυρογενείς ροές κινήθηκαν στη βόρεια κλίση του ηφαιστείου. Το συνολικό ποσό της ηφαιστειακής στάχτης που εκτινάχθηκε ήταν περίπου 1km<sup>3</sup> (0.4 mi.<sup>3</sup>), και ένα μεγάλο σύννεφο στάχτης κινήθηκε πέρα από τις Ηνωμένες Πολιτείες μέχρι τα ανατολικά της Νέας Αγγλίας. Σε λιγότερο από 3 εβδομάδες το σύννεφο τέφρας περιέβαλε τη γη.

Ολόκληρη η βόρεια κλίση του ηφαιστείου, το οποίο είναι το ανώτερο μέρος του βόρειου Fork του ποταμού Toutle ο υδροκρίτης, καταστράφηκε. Οι δασικές κλίσεις μετασχηματίστηκαν



σε ένα γκρίζο τοπίο η ηφαιστειακή στάχτη, βράχοι, φραγμοί λειωμένου παγετώνα, στενές χαράδρες, και καυτά κοιλώματα.

Η πρώτη από τις λασποροές αποτελέσθηκε από ένα μίγμα από νερό, ηφαιστειακή τέφρα, βράχο, και οργανικά συντρίμμια, όπως κούτσουρα, και εμφανίστηκαν λεπτά μετά την έναρξη της έκρηξης. Αυτές οι ροές και οι συνοδευτικές πλημμύρες κινήθηκαν στις κοιλάδες του ποταμού Toutle με ταχύτητες 29 έως 55 χλμ (18 έως 35 mi.) ανά ώρα, απειλώντας τις ζωές των ανθρώπων που είχαν κατασκηνώσει κατά μήκος του ποταμού.

Το πρωινό της 18ης Μαΐου 1980, δύο νέοι σε ένα ταξίδι για ψάρεμα στον ποταμό Toutle κοιμόταν περίπου



Σχ 3.24 άγονο τοπίο που παράγεται από την έκρηξη

36 χλμ (22 mi.) από την κατεύθυνση του ρεύματος της Spirit Lake. Ξύπνησαν από ένα δυνατό θόρυβο βοής από τον ποταμό, όποιος καλύφθηκε από πεσμένα δέντρα. Προσπάθησαν να τρέξουν στο αυτοκίνητό τους, αλλά το νερό από τον ποταμό αυξήθηκε, κάλυψε το δρόμο, αποτρέποντας τη διαφυγή τους. Μια μάζα λάσπης κατόπιν συνέτριψε το δάσος και κατευθύνθηκε προς το αυτοκίνητο, το ζεύγος αναρριχήθηκε στη στέγη του για να δραπετεύσει από τη λάσπη. Αυτοί ήταν ασφαλής μόνο προς στιγμήν, αφού η λάσπη ώθησε το όχημα πέρα από την όχθη και το έριξε στο ποτάμι. Πηδώντας από τη στέγη, περιήλθαν στον ποταμό, ο οποίος ήταν ήδη μάζα από λάσπης, κούτσουρα, κατέρρευσε τα τρίποδα τράινων, και άλλα συντρίμμια. Η θερμοκρασία του νερού αυξανόταν και οι δυο νέοι παγιδεύτηκαν μεταξύ των κούτσουρων.



Εξαφανίστηκαν αρκετές φορές κάτω από τη ροή, αλλά ήταν αρκετά τυχεροί και ήρθαν στην επιφάνεια ξανά .

Όταν το ηφαίστειο φάνηκε ξανά μετά από την έκρηξη, η κορυφή του βουνού ήταν μειωμένη περίπου 400 μ (1314 πόδ.). Αυτό που ήταν αρχικά ένα συμμετρικό ηφαίστειο ήταν τώρα ένα τεράστιο, απότομος-περιτοιχισμένος αμφιθέατρο με βόρεια κατεύθυνση, και ήταν αρχικά η Spirit Lake γέμισαν τώρα με ίζημα. Η χιονοστιβάδα συντριμμιών, οριζόντια φύσημα, πυρογενείς ροές, και λασποροές καταστρέψανε σχεδόν μια περιοχή 400 km<sup>3</sup> μέγεθος του Ντένβερ, Κολοράντο. Η έκρηξη σκότωσε 57 ανθρώπους και η σχετική πλημμύρα κατάστρεψε περισσότερα από 100 σπίτια. Περίπου 800 εκατομμύριο πόδια πινάκων της ξυλείας ισιώθηκαν από το φύσημα . Ένα πόδι πινάκων είναι 1 τετραγωνικό πόδι της ξυλείας που είναι 1 ίντσα. Συνολικά η ζημία από την έκρηξη υπολογίστηκε \$1 δισεκατομμύριο δολάρια.

Μετά από την καταστροφική έκρηξη του ST Helens, ένα εκτενές πρόγραμμα ελέγχου καθιερώθηκε για την ηφαιστειακή δραστηριότητα. Κατά τη διάρκεια των πρώτων έξι ετών μετά από την έκρηξη, 19 μικρότερες εκρήξεις εμφανίστηκαν. Οι ροές λάβας κατά τη διάρκεια αυτών των μικρότερων εκρήξεων έχτισαν ένα θόλο λάβας σε ένα ύψος περίπου 267 μ (876 πόδ.) επάνω από το 1989 πάτωμα κρατήρων. Μεταξύ 1989 και 2004, η σεισμική δραστηριότητα αυξάνεται κατά τη διάρκεια αρκετών περιόδων, μερικοί από τις οποίες συνοδεύθηκαν από μικρές εκρήξεις, ροές τέφρας, και λασποροές.

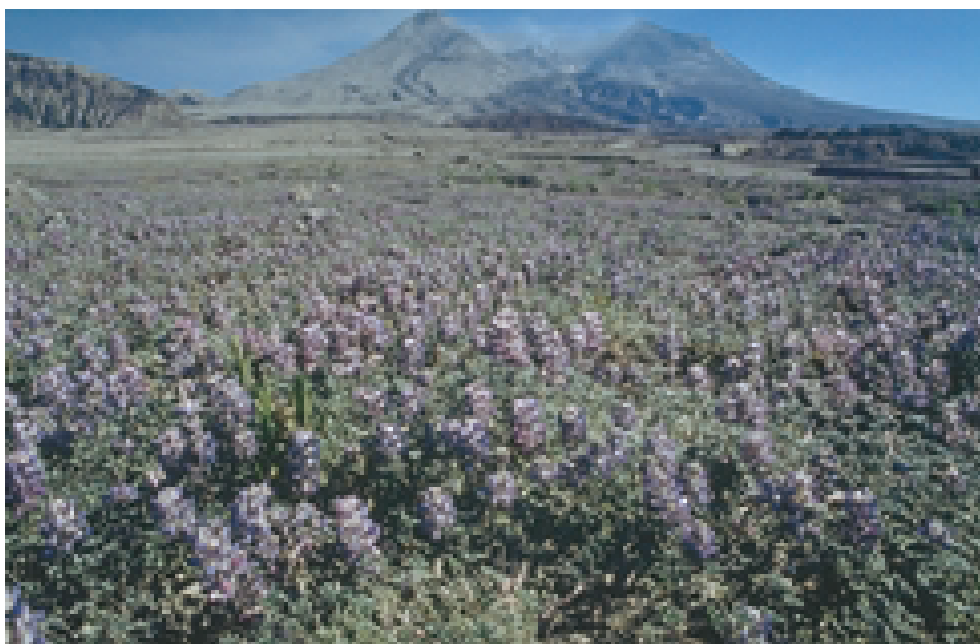
Στις 23 Σεπτεμβρίου 2004 το ST Helens ήρθε πίσω στη ζωή όταν άρχισε το μάγμα άρχισε να κινείται επάνω προς τον κρατήρα. Μια έκρηξη εμφανίστηκε στη συνέχεια που έχει χτίσει έναν νέο θόλο λάβας στο νότο, και μερικώς επάνω κορυφή του θόλου του 1980-1986 (σχήμα 3.25). Από του Μάιο 2005 αυτή η πιο πρόσφατη έκρηξη συνεχίζεται και ελέγχεται



Σχ 3.25 νέα δομή στους κρατήρες

από το παρατηρητήριο ηφαιστειών καταρρακτών USGS. Ο έλεγχος περιλαμβάνει ένα δίκτυο αυτοματοποιημένων σειсмоγράφων και δορυφόρους συστημάτων παγκόσμιας πλοήγησης (ΠΣΤ) δέκτες για να ανιχνεύσει τους σεισμούς και την αλεσμένη παραμόρφωση, εναέρια δειγματοληψία αερίου, ακουστικά όργανα ελέγχου για λασποροές, και επιτήρηση με Webcams.

Μέχρι το 1998, 18 έτη μετά από την κύρια έκρηξη, η ζωή είχε επιστρέψει στο βουνό και την περιβάλλουσα περιοχή καθιστώντας πολλές θέσεις πράσινες ακόμα μια φορά (σχήμα 3.26). Εντούτοις, τα αναχώματα των καθιζήσεων εδάφους είναι ακόμα προεξέχων, μια υπενθύμιση του καταστροφικού γεγονότος του 1980 Mt St National Monument έχει τώρα ένα νέο παρατηρητήριο επισκεπτών και έχει προσελκύσει πάνω από 1 εκατομμύριο επισκέπτες.



Σχ 3.26 χρόνια ανάκαμψης

### **3.4 Σύνδεσμοι μεταξύ των ηφαιστείων και άλλων φυσικών κινδύνων.**

Τα ηφαίστεια συνδέονται στενά με το φυσικό τους περιβάλλον καθώς επίσης και με διάφορους άλλους φυσικούς κινδύνους. Έχουμε τονίσει ήδη τη σχέση μεταξύ των ηφαιστείων και των τεκτονικών πλακών, εκτός από τη σχέση μεταξύ της τεκτονικής ρύθμισης των πλακών και το τύπο μάγματος, και επομένως των εκρήξεων. Τα ηφαίστεια συσχετίζονται επίσης και με άλλους φυσικούς κινδύνους όπως η πυρκαγιά, οι σεισμοί, οι καθιζήσεις εδάφους, και η κλιματική αλλαγή.

Αν και τα ηφαίστεια δεν είναι μια από τις σημαντικές αιτίες των πυρκαγιών, δεν είναι δύσκολο να φανταστεί ότι ένας σύνδεσμος μεταξύ αυτών των κινδύνων υπάρχει. Δεδομένου ότι η λειωμένη λάβα χύνετε κάτω από την πλευρά ενός ηφαιστείου, ή τα πυρογενή συντρίμια εκτινάσσονται, εγκαταστάσεις και ανθρώπινες-χτισμένες δομές συνήθως προκαλούν την πυρκαγιά. Στην πραγματικότητα, το παρατηρητήριο ηφαιστείων της Χαβάης, Το μεγάλο νησί της Χαβάης προειδοποιεί τους τουρίστες για τις πυρκαγιές προκαλούμενες από τις ενεργές ροές της λάβας Kilauea. Τον Ιανουαρίου του 2002, η πιο καταστρεπτική ηφαιστειακή έκρηξη της Αφρικής σε 25 τα έτη στέλνει τους κατοίκους της λαϊκής Δημοκρατίας του Κονγκό να απομακρυνθούν τρέχοντας από τις πυρκαγιές που αναφλέγονται από τις ροές

λάβας (Σχήμα 3.27). Δυστυχώς, η λάβα προκάλεσε επίσης μια έκρηξη, που σκότωσε 60 ανθρώπους.

Οι σεισμοί συνοδεύουν συνήθως ή προηγούνται σε ηφαιστειακές εκρήξεις ως μάγμα που αυξάνεται μέσω της κρούστας της γης . Παραδείγματος χάριν, οι εβδομάδες των σεισμών προηγήθηκαν από την εμφάνιση του ηφαιστείου Parícutin 320 χλμ (200 mi.) δυτικά από την Πόλη του Μεξικού. Μερικοί σεισμοί μπορούν να είναι αρκετά μεγάλοι ανεξάρτητα από την ζημιά του ηφαιστείου.

Οι καθιζήσεις εδάφους είναι ενδεχομένως οι πιο κοινές παρενέργειες της ηφαιστειακής δραστηριότητας. Όπως συζητείται ανωτέρω και στην περίπτωση της μελέτης 3.1, οι ηφαιστειακά ροές συντριμμιών και οι λασποροές έχουν τη δυνατότητα να προκαλέσουν μεγάλες ζημιές και να πάρουν πολλές ζωές. Τελικά, οι ηφαιστειακές εκρήξεις μπορούν να έχουν επιπτώσεις στο σφαιρικό μας κλίμα. Παραδείγματος χάριν, μετά το γεγονός από το όρος Pinatubo του 1991 , όπως με άλλες μεγάλες εκρήξεις, ένα σύννεφο της τέφρας και το αερόλυμα θειικού οξέος παρέμεινε στην ατμόσφαιρα για περισσότερο από ένα χρόνο (σχήμα 3.28). Τα μόρια τέφρας και τα σταγονίδια αερολύματος διασκόρπισαν το εισερχόμενο φως του ήλιου και ελαφρώς δρόσισαν το παγκόσμιο κλίμα κατά τη διάρκεια των ακόλουθων εκρήξεων του έτους.



Σχήμα 3.27 Λάβα προκάλεσε φωτιά στην Αφρική.

### **3.5 Φυσικές λειτουργίες υπηρεσιών από τα ηφαίστεια**

Αν και τα ηφαίστεια θέτουν μια σοβαρή απειλή σε εκείνους που ζουν στις πορείες τους, όπως τους περισσότερους κινδύνους που παρέχουν επίσης σημαντικές φυσικές λειτουργίες υπηρεσιών. Ίσως το μεγαλύτερο τους δώρο σε μας εμφανίστηκε δισεκατομμύρια χρόνια πριν όταν αέρια και υδρατμοί που απελευθερώθηκαν από τα ηφαίστεια άρχισαν να διαμορφώνουν τα ατμοσφαιρικά και υδρολογικά συστήματά μας που επιτρέπουν τη ζωή, όπως το ξέρουμε, για να εξελισσόμαστε. Επιπλέον, τα ηφαίστεια παρέχουν σε εμάς εύφορα χώματα, μια πηγή δύναμης, και ψυχαγωγικές ευκαιρίες, καθώς επίσης δημιουργούν και το νέο έδαφος.

#### **Ηφαιστειακά χώματα**

Από μια γεωργική προοπτική, οι ηφαιστειακές εκρήξεις είναι αρκετά πολύτιμες, παρέχοντας ένα άριστο μέσο αύξησης για τις εγκαταστάσεις. Οι θρεπτικές ουσίες που παράγονται από τη διάβρωση, οι ηφαιστειακοί βράχοι επιτρέπουν τις συγκομιδές όπως ο καφές, αραβόσιτος, ανανάς, κάλαμος ζάχαρης, και σταφύλια για να αναπτυχθούν τα ηφαιστειακά χώματα. Εντούτοις, πλούσια, εύφορα χώματα που παράγονται από τα ηφαίστεια ενθαρρύνουν τους ανθρώπους για να ζήσουν στις επικίνδυνες περιοχές (δείτε, κεφάλαιο 1). Έτσι αν και τα ηφαιστειακά χώματα παρέχουν έναν σημαντικό πόρο, και κοντινή ηφαιστειακή δραστηριότητα μπορούν να καταστήσουν δύσκολο να χρησιμοποιήσουν ακίνδυνα εκείνο τον πόρο.

#### **Γεωθερμική ενέργεια**

Ένα άλλο όφελος που παρέχεται από τα ηφαίστεια είναι η δυνατότητά τους για τη γεωθερμική ενέργεια. Η εσωτερική θερμότητα που συνδέεται με τα ηφαίστεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσει ενέργεια για κοντινές αστικές περιοχές. Στην πραγματικότητα, η ηφαιστειακή δραστηριότητα ενέργεια χρησιμοποιείται σε γεωθερμική ενέργεια σε Kilauea, Hawaii, Santa Rosa, Καλιφόρνια και μακριά κοιλάδα, Καλιφόρνια. Ένα σημαντικό όφελος που έχει η γεωθερμική ενέργεια είναι ότι μπορεί να είναι ένας ανανεώσιμος πόρος. Αυτό σημαίνει ότι, αντίθετα από τα απολιθωμένα καύσιμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα ποσοστό που δεν ξεπερνά το ξαναγέμισμά

του. Εντούτοις, προσοχή πρέπει να ληφθεί στο ότι η θερμότητα ή/και ο ατμός που οδηγεί στο σύστημα δεν αφαιρείται γρηγορότερα από αυτό που μπορεί να αποκατασταθεί φυσικά, ή θα γίνει μειωμένο, τουλάχιστον προσωρινά.



Σχήμα 3.28 το ηφαίστειο δροσίζει προσωρινά το παγκόσμιο κλίμα. Μια έκρηξη του όρους Pinatubo, μέσα του 1991.

## **Αναψυχή**

Η θερμότητα που συνδέεται με τα ηφαίστεια μπορεί επίσης να παρέχει ψυχαγωγικές ευκαιρίες. SPA υγείας και καυτά ελατήρια αναπτύσσονται στις ηφαιστειακές περιοχές. Τα ηφαίστεια παρέχουν επίσης ευκαιρίες για την πεζοπορία, τον αθλητισμό χιονιού, και την εκπαίδευση. Περισσότεροι από ένα εκατομμύριο τουρίστες επισκέπτονται το Ηφαίστειο Kilauea κάθε χρόνο πολλοί από τους οποίους έρχονται να παρατηρήσουν το ηφαίστειο κατά τη διάρκεια της έκρηξης (σχήμα 3.29).

## Δημιουργία του νέου εδάφους

Στη συζήτησή μας για τα οφέλη των ηφαιστειών, δεν πρέπει να ξεχνάμε να αναφέρουμε τους αρμόδιους για τη δημιουργία ενός μεγάλου μέρους του εδάφους που κατοικούμε. Όχι μόνο τις ηφαιστειακές διαδικασίες που είναι η σημαντικότερη δύναμη που χτίζει τις ηπείρους, τα ωκεάνια νησιά όπως είναι η Χαβάη δεν θα υπήρχαν χωρίς ηφαίστεια!



Σχήμα 3.29 Η έκρηξη του ηφαιστείου θέαμα για τους τουρίστες

### **3.6 Ανθρώπινη αλληλεπίδραση με τα ηφαίστεια**

Αντίθετα από τους σεισμούς, τα ηφαίστεια δεν παραχωρούνται στην ανθρώπινη επιδιόρθωση. Δηλαδή, υπάρχουν λίγα που μπορούμε να κάνουμε για να επηρεάσουμε το χρόνο και τη δριμύτητα των εκρήξεών τους. Εκτιμώντας καλά τη διάθεση που μπορεί να αυξήσει τον αριθμό από τους σεισμούς σε μια περιοχή, και το καθάρισμα στο έδαφος για τη γεωργία μπορεί να συμβάλει στην πλημμύρα, χωρίς να εμφανιστεί οποιαδήποτε ανθρώπινη δραστηριότητα που έχει επιπτώσεις στα ηφαίστεια. Είναι αληθινά ένας κίνδυνος που είναι πέρα από τον έλεγχό μας, και το καλύτερο που μπορούμε να κάνουμε είναι η προσπάθεια ελαχιστοποίησης της απώλειας ζωής και ιδιοκτησίας που συνδέεται με τις εκρήξεις.

### **3.7 Ελαχιστοποίηση τον ηφαιστειακού κινδύνου**

Η πρόβλεψη των ηφαιστειακών εκρήξεων είναι ένα σημαντικό συστατικό του στόχου για να μειώσουμε τους ηφαιστειακούς κινδύνους. Μια «πρόβλεψη» για μια ηφαιστειακή έκρηξη είναι μια πιθανολογική περιγραφή δήλωσης του χρόνου, τόπου, και χαρακτήρας μιας έκρηξης. Είναι ανάλογο με την πρόβλεψη του καιρού και δεν είναι ακριβής δήλωση ως πρόβλεψη.

#### **Πρόβλεψη**

Είναι απίθανο να είμαστε σε θέση να προβλέψουμε ακριβώς την πλειοψηφία της ηφαιστειακής δραστηριότητας στο κοντινό μέλλον, αλλά πολύτιμες πληροφορίες μαζεύονται για τα φαινόμενα αυτά που εμφανίζονται πριν από τις εκρήξεις. Ένα πρόβλημα είναι ότι οι τεχνικές πρόβλεψης απαιτούν εμπειρία με τις πραγματικές εκρήξεις προτού να γίνει κατανοητός ο μηχανισμός. Κατά συνέπεια, είμαστε ικανότεροι να προβλέψουμε τις εκρήξεις στα νησιά της Χαβάης επειδή είχαμε τόσο πολλή εμπειρία εκεί.

Η πρόβλεψη ηφαιστειακών εκρήξεων χρησιμοποιεί πληροφορίες από :

- Έλεγχος σεισμικής δραστηριότητας
- Ελεγκτικοί θερμικοί, μαγνητικοί και υδρολογικοί όροι
- Έλεγχος της επιφάνειας εδάφους για να ανιχνεύσει την κλίση ή διόγκωση του ηφαιστείου
- Ελεγκτικές ηφαιστειακές εκπομπές καυσαερίων
- Μελέτη της γεωλογικής ιστορίας ενός ιδιαίτερου ηφαιστείου ή ηφαιστειακού κέντρου



**Σεισμική δραστηριότητα** η εμπειρία μας με τα ηφαίστεια, όπως του ST Helens και εκείνους στο νησί της Χαβάης, προτείνει ότι οι σεισμοί παρέχουν συχνά την πιο έγκαιρη προειδοποίηση μιας επικείμενης ηφαιστειακής έκρηξης. Στην περίπτωση του ST Helens, η σεισμική δραστηριότητα άρχισε στα μέσα Μαρτίου πριν από την έκρηξη το Μάιο. Η δραστηριότητα το Μάρτιο άρχισε ξαφνικά με συνεχείς, ρηχούς σεισμούς. Δυστυχώς δεν υπήρξε καμία πρόσθετη αύξηση στους σεισμούς που προηγήθηκαν αμέσως την καταστροφική έκρηξη στις 18 Μαΐου. Στους σεισμούς της Χαβάης έχει χρησιμοποιηθεί μόνιτορ για να ελέγξει τη μετακίνηση του μάγματος όπως πλησιάζει την επιφάνεια.

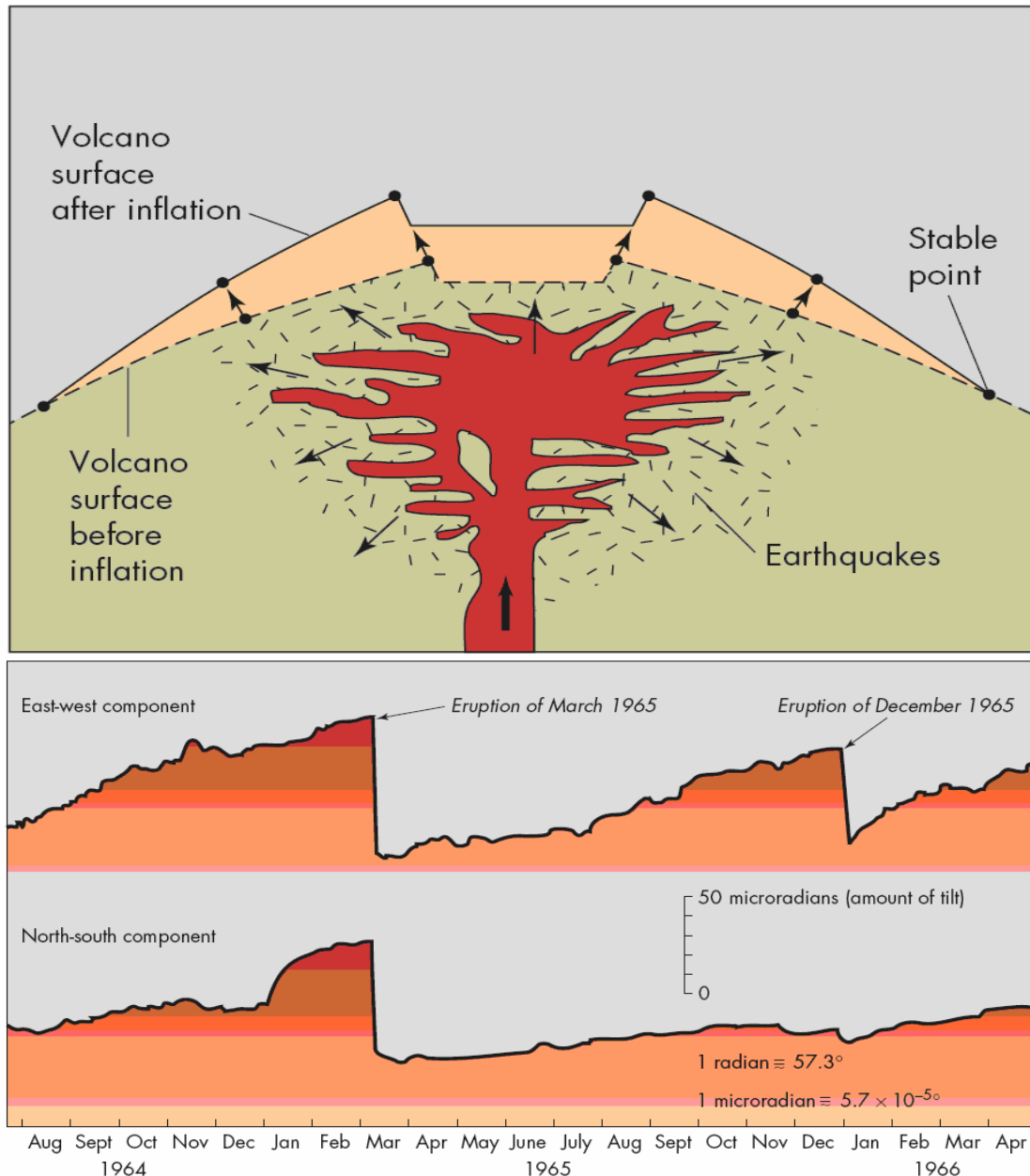
Αρκετούς μήνες πριν το Pinatubo εκραγεί το 1991, μικρές εκρήξεις ατμού και σεισμού άρχισαν. Αντίθετα από το ST Helens, το Pinatubo ήταν μια διαβρωμένη κορυφογραμμή που δεν είχε την κλασική μορφή ενός ηφαιστείου. Επιπλέον, δεν είχε εκραγεί για 500 έτη έτσι η πλειοψηφία των ανθρώπων που ζούσαν κοντά δεν ήξεραν ακόμη ότι ήταν ένα ηφαίστειο! Μετά από τις αρχικές εκρήξεις ατμού, επιστήμονες άρχισαν να παρατηρούν το ηφαίστειο και μελετώντας προηγούμενη ηφαιστειακή δραστηριότητα, καθορίστηκε ως εκρηκτικό. Σεισμοί αυξανόμενοι σε αριθμό και μέγεθος πριν από την καταστροφική έκρηξη, και εστιάσεις βαθιά κάτω από το ηφαίστειο σε ρηχά βάθη κάτω από την κορυφή.

**Θερμικός, μαγνητικός, και υδρολογικός έλεγχος** Πριν από μια ηφαιστειακή έκρηξη, ένας μεγάλος όγκος του μάγματος κινείται σε μια δεξαμενή εκμετάλλευσης κάτω από το ηφαίστειο. Το καυτό υλικό αλλάζει το τοπικές μαγνητικές, θερμικές, υδρολογικές, και γεωχημικές συνθήκες. Όσο περιβάλλοντες βράχοι θερμαίνονται η άνοδος στη θερμοκρασία του επιφανειακού βράχου μπορεί να ανιχνευθεί από το δορυφόρο ανίχνευσης ή υπέρυθρη αεροφωτογραφία.

Η αυξανόμενη θερμότητα μπορεί να λειώσει χιόνια ή τους παγετώνες κατά συνέπεια, η περιοδική τηλεπισκόπηση μιας ηφαιστειακής αλυσίδας μπορεί να ανιχνεύσει τις νέες καυτές θέσεις σχετικές με την ηφαιστειακή δραστηριότητα. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε με κάποια επιτυχία στο ST Helens πριν από την κύρια έκρηξη στις 18 Μαΐου 1980.

Όταν οι παλαιότεροι ηφαιστειακοί βράχοι θερμαίνονται από το νέο μάγμα, μαγνητικές ιδιότητες, αρχικά αποτυπώθηκαν όταν οι παλαιότεροι βράχοι δροσίζονται και κρυσταλλώνονται, μπορεί να αλλάξουν. Αυτές οι αλλαγές μπορούν να παρατηρηθούν λεπτομερώς από τις εδαφικές ή εναέριες μαγνητικές έρευνες.

**Έλεγχος επιφανειακών αλλαγών στο έδαφος** Ο έλεγχος της επιφάνειας του εδάφους και της σεισμικής δραστηριότητας των ηφαιστείων είναι χρήσιμος στην πρόβλεψη μερικών ηφαιστειακών εκρήξεων. Τα ηφαίστεια της Χαβάης, ειδικά της Kilauea, έχουν παράγει το μεγαλύτερο μέρος των πληροφοριών. Η κορυφή του Kilauea γέρνει και διογκώνεται πριν από η έκρηξη και υποχωρεί κατά τη διάρκεια του πραγματικού ξεσπάσματος (σχ 3.30).



Σχ 3.30 πληθωρισμός και κλίση πριν από την έκρηξη

Το Kilauea υπόκειται επίσης σε σμήνος μικρών σεισμών από την υπόγεια μετακίνηση του μάγματος λίγο πριν την έκρηξη. Η κλίση

της κορυφής, σε συνδυασμό με τα σμήνη σεισμών, χρησιμοποιήθηκε για να προβλέψει μια ηφαιστειακή έκρηξη στην κοινότητα Καροχο στο πλευρό του ηφαιστείου, 45 χλμ (28 mi.) από την κορυφή. Κατά συνέπεια, οι κάτοικοι εκκένωσαν το χωριό πριν από το γεγονός, στο οποίο η λάβα υπερέβη και τελικά καταστράφηκε το μεγαλύτερο μέρος του χωριού. Εξαιτίας της χαρακτηριστικής της διόγκωσης και της σεισμικής δραστηριότητας πριν από τις εκρήξεις, οι επιστήμονες αναμένουν ότι τα ηφαίστεια της Χαβάης θα συνεχίσουν να είναι τα πιο προβλέψιμα. Έλεγχος των επίγειων μετακινήσεων όπως η κλίση, διόγκωση, και άνοιγμα των ρωγμών, ή αλλαγές στο επίπεδο του νερού των λιμνών κοντά σε ένα ηφαίστριο, μπορεί να προσδιορίσει τη μετακίνηση που μπορεί να εκδηλωθεί σε μια προσεχή έκρηξη. Σήμερα ένα δορυφορικό ραντάρ και ένα δίκτυο σφαιρικού προσδιορισμού θέσης και δορυφορικοί δέκτες συστημάτων (ΠΣΤ) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ελέγξουν αλλαγή στα ηφαίστεια, συμπεριλαμβανομένης της παραμόρφωσης της επιφάνειας, χωρίς αποστολή ανθρώπων σε μια επικίνδυνη περιοχή.

**Έλεγχος ηφαιστειακών εκπομπών καυσαερίων** Ο αρχικός στόχος του ελέγχου των ηφαιστειακών εκπομπών καυσαερίων είναι η αναγνώριση στις αλλαγές στη χημική σύνθεση. Αλλαγές στα σχετικά ποσά από το διοξείδιο του άνθρακα και το διοξείδιο του θείου, καθώς επίσης και οι αλλαγές στα ποσοστά εκπομπής καυσαερίων, συσχετίζονται με τις κάτω από την επιφάνεια ηφαιστειακές διαδικασίες. Αυτές οι αλλαγές μπορούν να δείξουν τη μετακίνηση του μάγματος προς την επιφάνεια. Αυτή η τεχνική ήταν χρήσιμη στη μελέτη των εκρήξεων στο ST Helens και στο Pinatubo. Ο όγκος του διοξειδίου του θείου που εκπέμφθηκε από το Pinatubo αυξήθηκε περισσότερο από ένα εκατομμύριο φορές δύο εβδομάδες πριν από την έκρηξη.

**Η γεωλογική ιστορία** Η κατανόηση της γεωλογικής ιστορίας ενός ηφαιστείου ή ενός ηφαιστειακού συστήματος είναι χρήσιμη καθώς κάποιος προσπαθεί να προβλέψει τους μελλοντικούς τύπους εκρήξεων. Το αρχικό εργαλείο για τη γεωλογική ιστορία είναι η γεωλογική χαρτογράφηση των ηφαιστειακών βράχων και των καταθέσεων. Οι προσπάθειες γίνονται για να καθορίσουν την ηλικία των προηγούμενων ροών λάβας και των πυρογενών καταθέσεων. Η γεωλογική χαρτογράφηση, από κοινού με τη χρονολόγηση των ηφαιστειακών καταθέσεων σε Kilauea, οδήγησε στην ανακάλυψη ότι περισσότερο από 90 τοις εκατό εδαφικής

επιφάνειας του ηφαιστείου είναι καλυμμένη από λάβα μόνο τα προηγούμενα 1500 έτη. Η πόλη Kalarana, που καταστράφηκε από τις ροές λάβας το 1990, μπορεί να μην είχε χτιστεί ποτέ εάν αυτές οι πληροφορίες ήταν γνωστές πριν από την ανάπτυξη, επειδή ο κίνδυνος θα ήταν πάρα πολύ μεγάλος. Η πραγματική αξία της γεωλογικής χαρτογράφησης και της χρονολόγησης των ηφαιστειακών γεγονότων είναι ότι επιτρέπει στην προετοιμασία των χαρτών κινδύνου για να βοηθήσουν στον προγραμματισμό χρήσης γης και την προπαρασκευή σε περίπτωση καταστροφής. Τέτοιοι χάρτες είναι τώρα διαθέσιμοι για ένα αριθμό ηφαιστείων σε όλο τον κόσμο.

### **Ηφαιστειακή επιφυλακή ή προειδοποίηση**

Σε ποιο σημείο θα έπρεπε το κοινό να αφυπνιστεί ή να προειδοποιηθεί εάν μια ηφαιστειακή έκρηξη μπορεί να εμφανιστεί; Αυτή η ερώτηση είναι σημαντική και εξετάζεται από ηφαιστειολόγους και φορείς χάραξης πολιτικής. Αυτή τη στιγμή δεν υπάρχει κανένας τυποποιημένος κώδικας, αλλά κάποιος που χρησιμοποιείται με διάφορες τροποποιήσεις έχει αναπτυχθεί από το γεωλογικό ινστιτούτο των ΗΠΑ(USGS). Σε αυτό το σύστημα, χρωματικοί κώδικες-πράσινο, κίτρινος, πορτοκαλί, και κόκκινος-απεικονίζουν μια αυξανόμενη ανησυχία. Αυτό το σύστημα είναι σε λειτουργία για την καλδέρα στην Long Valley της Καλιφόρνια. Παρόμοια συστήματα ήταν, ή είναι, αναπτυγμένα και για άλλες ηφαιστειακές περιοχές, όπως η Αλάσκα και τα βουνά καταρρακτών του Pacific Northwest. Αν και ένα κωδικοποιημένο διά χρώματος σύστημα είναι μια καλή έναρξη, οι σκληρές ερωτήσεις παραμένουν: Πότε θα έπρεπε η εκκένωση να αρχίσει; Πότε είναι ασφαλές για τους ανθρώπους να επιστρέψουν; Η εκκένωση αναγνωρίζεται απαραίτητη πριν από το κόκκινο, αλλά η ανάγκη για εκκένωση μεταξύ κίτρινου, πορτοκαλί, και κόκκινων συνθηκών λιγότερο καλά καθορίζονται. Στις Η.Π.Α, ένα εθνικό ηφαιστειακό σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης (NVEWS) είναι υπό ανάπτυξη.

## 3.8 Αντίληψη και ρύθμιση στον ηφαιστειακό κίνδυνο

### Αντίληψη για τον ηφαιστειακό κίνδυνο

Πληροφορίες σχετικά με το πώς οι άνθρωποι αντιλαμβάνονται έναν ηφαιστειακό κίνδυνο είναι περιορισμένες. Οι άνθρωποι ζουν κοντά στα ηφαίστεια για μια ποικιλία από λόγους: (1) γεννήθηκαν εκεί και στην περίπτωση μερικών νησιών, όπως τα Κανάρια νησιά, όλο το έδαφος είναι ηφαιστειακό (2) το έδαφος είναι εύφορο και καλό για την καλλιέργεια (3) οι άνθρωποι είναι αισιόδοξοι και θεωρούν ότι μια έκρηξη είναι απίθανη και (4) δεν μπορούν να επιλέξουν όπου ζουν για παράδειγμα, μπορούν να περιοριστούν από τα οικονομικά. Μια μελέτη αντίληψης στη Χαβάη που βρίσκεται η ηλικία ενός προσώπου και το μήκος της κατοικίας κοντά σε έναν ηφαιστειακό κίνδυνο είναι σημαντικοί οι παράγοντες στη γνώση του κινδύνου και πιθανές ρυθμίσεις για τον κίνδυνο. Ένας λόγος εκκένωσης 60.000 ανθρώπων πριν από την έκρηξη του 1991 στο Pinatubo ήταν επιτυχής όταν η κυβέρνηση είχε εκπαιδεύσει ανθρώπους για τους κινδύνους της βίαιης έκρηξης στάχτης με τις ροές συντριμμιών. Ένα βίντεο που απεικονίζει αυτά τα γεγονότα παρουσιάστηκε ευρέως πριν από την έκρηξη, και βοήθησε να πείσουν τους τοπικούς ανώτερους υπαλλήλους και τους κατοίκους ότι αντιμετωπίζουν μια πραγματική και άμεση απειλή.

Η επιστήμη των ηφαιστείων γίνεται καλά - γνωστή. Εντούτοις, η καλή επιστήμη δεν είναι ικανοποιητική. Πιθανώς η μέγιστη μείωση κινδύνου θα έρθει από μια αυξανόμενη κατανόηση του ανθρώπου στα κοινωνικά ζητήματα που προκύπτουν κατά τη διάρκεια μιας αναδυόμενης **ηφαιστειακής κρίσης**. Μια ηφαιστειακή κρίση μπορεί να αναπτυχθεί όταν προβλέπουν οι επιστήμονες ότι μια έκρηξη είναι πιθανή στο κοντινό μέλλον. Σε μια τέτοια κρίση, βελτιωμένη επικοινωνία μεταξύ των επιστημόνων, έκτακτη ανάγκη, διευθυντών, εκπαιδευτικών, των μμε και των απλών πολιτών είναι ιδιαίτερα σημαντική. Ο στόχος είναι να αποτραπεί μια ηφαιστειακή κρίση από το να γίνει καταστροφή.

### Ρυθμίσεις στους ηφαιστειακούς κινδύνους

Εκτός από την ψυχολογική προσαρμογή στις απώλειες, η αρχική ανθρώπινη ρύθμιση στην ηφαιστειακή δραστηριότητα είναι η εκκένωση. Μια αξιοσημείωτη εξαίρεση είναι η φιλόδοξη εκστρατεία

να αντιμετωπιστεί μια ροή λάβας στην Ισλανδία το 1973. αυτή η εκστρατεία χρησιμοποίησε πολλές μεθόδους απομάκρυνσης ροών λάβας από κατοικημένες περιοχές.

### **Προσπάθειες να ελεγχθούν οι ροές λάβας**

Διάφορες μέθοδοι, όπως ο βομβαρδισμός, υδραυλική κατάψυξη, και η κατασκευή τοίχων, έχει χρησιμοποιηθεί για την εκτροπή της λάβας μακριά από εποίκημένες ή πολύτιμες περιοχές. Αυτές οι μέθοδοι είχαν μικτή επιτυχία. Δεν μπορούν να περιμένουν την τροποποίηση μεγάλων ροών και η αποτελεσματικότητά τους με τις μικρότερες ροές απαιτεί περαιτέρω αξιολόγηση.

Ο βομβαρδισμός των ροών λάβας έχει προσπαθήσει να σταματήσει την πρόοδό τους. Έχει αποδειχθεί ότι το αποτελεσματικότερο ενάντια στις ροές στις οποίες η ρευστή λάβα είναι να περιοριστεί στο κανάλι από σταθεροποιημένη λάβα στις άκρες της ροής. Προσπάθειες βομβαρδισμού να εμποδιστεί μερικώς το κανάλι, αυτή η παρεμπόδιση αναγκάζει τη λάβα να συσσωρευτεί και να τραπεί προς τα πάνω όπου θα πάρει μια λιγότερο καταστροφική διαδρομή. Διαδοχικός βομβαρδισμός σε υψηλότερα και υψηλότερα σημεία σε μια ροή μπορεί να είναι απαραίτητος για να ελέγξουν την απειλή. Κακές καιρικές συνθήκες, άφθονος καπνός από το κάψιμο της βλάστησης, και τη μειωμένη τέφρα μείωσε την αποτελεσματικότητά του βομβαρδισμού. Συνολικά, τα αποτελέσματα του βομβαρδισμού είναι απρόβλεπτα και δεν μπορεί να αναμένεται να έχουν επιπτώσεις στις μεγάλες ροές. Υδραυλική κατάψυξη των ροών λάβας, ή δροσίζοντας τη ροή με το νερό, έχει μερικές φορές επιτυχία στη μείωση της ζημίας από ηφαιστειακές εκρήξεις.

Η πιο φιλόδοξη προσπάθεια υδραυλική κατάψυξης άρχισε τον Ιανουαρίου 1973 στο ισλανδικό νησί Heimaey. Βασαλτικές ροές λάβας από το υποστήριγμα Helgafell σχεδόν έκλεισαν το λιμάνι Vestmannaeyjar, του νησιού, κύρια πόλη και κύριος λιμένας αλιείας της Ισλανδίας. Η κατάσταση παρακινούσε άμεση δράση.

Τρεις ευνοϊκοί όροι υπήρξαν: (1) αργή μετακίνηση των ροών επιτρέποντας τον απαραίτητο χρόνο για να ξεκινήσει προσπάθεια ελέγχου



(α) έκρηξη ηφαιστείου τη νύχτα



(β) οι άνθρωποι παλεύουν με τις εκρήξεις λάβας



(γ)σχ 3.31 αεροφωτογραφία κοντά στο λιμάνι

(2) μεταφορά από τη θάλασσα και τους δρόμους που επιτρέπονται για την παράδοση των σωλήνων, των αντλιών, και του βαριού εξοπλισμού και (3) το νερό ήταν εύκολα διαθέσιμο. Αρχικά οι άκρες και η επιφάνεια της ροής δροσίστηκαν με νερό από πολυάριθμες μάνικες πυρκαγιάς (σχήμα 3.31).

Κατόπιν οι εσκαφείς κινήθηκαν αργά πάνω στην κατεύθυνση της ροής για να γίνει μια πορεία για έναν μεγάλο υδροσωλήνα. Ο πλαστικός σωλήνας δεν έλιωσε εφ' όσον έρεε το νερό σε αυτόν, και μικρές τρύπες στο σωλήνα επέτρεπαν την ψύξη από τα καυτά σημεία κατά μήκος των μερών της ροής. Το πότισμα είχε λίγο επηρεαστεί την πρώτη ημέρα, αλλά αφ' ετέρου η πίσω ροή ακρών άρχισε να επιβραδύνεται και σε μερικές περιπτώσεις να σταματάει.

Αυτές οι ενέργειες είχαν αναμφισβήτητα μια σημαντική επίδραση στις ροές λάβας από το Helgafell. Περιορίσαν τη μετακίνηση λάβας, μειωμένη ζημία ιδιοκτησίας, και επέτρεψαν στο λιμάνι να παραμείνει ανοικτός. Όταν η έκρηξη σταμάτησε πέντε μήνες αργότερα το λιμάνι ήταν ακόμα χρησιμοποίησιμο. Στην πραγματικότητα, από τυχαίες περιστάσεις, η μορφή του λιμανιού πραγματικά βελτιώθηκε επειδή η δροσισμένη λάβα παρείχε πρόσθετη προστασία από τη θάλασσα.



## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Natural Hazards  
Earth's Processes as Hazards,  
Disasters and Catastrophes

**Edward A. Keller**

University of California, Santa Barbara

**Robert H. Blodgett**

Austin Community College