

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ
& ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ
ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
& ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ (Ο.Α.Σ.Π.)

ΣΕΙΣΜΟΣ

Η ΓΝΩΣΗ ΕΙΝΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Αντισεισμική Προστασία Σχολείων

ΑΘΗΝΑ 2007

Β' ΕΚΔΟΣΗ

Π Ε Ρ Ι Ε Χ

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ

Συγγραφή κειμένων:

Δρ. Α. Κούρου, Γεωλόγος
Π. Παπαδάκης, Αρχιτ. Μηχανικός

με τη συμβολή των:

Δ. Παναγιωτοπούλου,
Πολ. Μηχανικού MSc
Μ. Πανουτσοπούλου,
Πολ. Μηχανικού MSc

Οργάνωση και επιμέλεια ύλης:

Δρ. Α. Κούρου, Γεωλόγος

Επιμέλεια - Επικαιροποίηση β' έκδοσης:

Δρ. Α. Κούρου, Γεωλόγος

Ευχαριστούμε το προσωπικό του Ο.Α.Σ.Π. που συνέβαλε στη δημιουργία του βιβλίου αυτού καθώς και όσους συμμετείχαν στη συγκέντρωση φωτογραφικού υλικού για το αρχείο του Οργανισμού, το οποίο και χρησιμοποιήθηκε στο παρόν βιβλίο.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΣΕΛ.

6

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

7

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΓΝΩΡΙΜΙΑ ΜΕ ΤΟΥΣ ΣΕΙΣΜΟΥΣ

8

1.1. Φυσικά Φαινόμενα - Φυσικές Καταστροφές	9
1.2. Τι είναι σεισμός;	10
1.3. Ποια είναι η δομή του εσωτερικού της Γης;	11
1.4. Πώς αλλάζει η μορφή της Γης με την πάροδο του χρόνου;	12
1.5. Πώς γεννιέται ένας σεισμός;	13
1.6. Πού γεννιέται ένας σεισμός;	14
1.7. Τι είναι η σεισμική ακολουθία;	16
1.8. Ποια είδη σεισμών υπάρχουν;	16
1.9. Ποια είναι τα είδη των σεισμικών κυμάτων;	16
1.10. Πώς μετράμε τους σεισμούς;	19
1.11. Ποια είναι τα είδη των σεισμικών ρηγμάτων;	21
1.12. Πώς οι σεισμοί αποτυπώνονται στο φυσικό περιβάλλον;	22
1.13. Είναι δυνατή η πρόγνωση των σεισμών;	26
1.14. Ελλάδα και σεισμοί	28

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ

32

2.1. Ποια τα αποτελέσματα του σεισμού στον ίδιο τον άνθρωπο;	33
2.2. Ποια τα αποτελέσματα του σεισμού στα έργα του ανθρώπου;	38
2.3. Οικονομικές συνέπειες	51

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΜΕΤΡΑ ΑΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

56

3.1. Προσεισμικά μέτρα αυτοπροστασίας σε ατομικό και οικογενειακό επίπεδο	58
3.2. Ποιες ενέργειες πρέπει να γίνουν κατά τη διάρκεια του σεισμού;	61

Ο Μ Ε Ν Α

	ΣΕΛ.
3.3. Ποιες ενέργειες πρέπει να γίνουν μετά το σεισμό;	65
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ	
ΣΕΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΧΟΛΕΙΟ	68
4.1. Ποια μέτρα προστασίας πρέπει να ληφθούν προσεισμικά;	72
4.1.1. Στατική επάρκεια του σχολικού κτιρίου	72
4.1.2. Άρση επικινδυνοτήτων μέσα στο σχολείο	72
4.1.3. Ενημέρωση - εκπαίδευση μαθητών και εκπαιδευτικών	75
4.2. Σύνταξη σχεδίου έκτακτης ανάγκης, λόγω σεισμού, στα σχολεία	77
4.2.1. Πώς συντάσσεται ένα σχέδιο έκτακτης ανάγκης;	77
4.2.2. Ορισμός καθηκόντων στο εκπαιδευτικό προσωπικό	78
4.3. Ποιες πρέπει να είναι οι ενέργειες σε πιθανό σεισμό;	78
4.3.1. Σεισμός την ώρα του μαθήματος	78
4.3.2. Σεισμός κατά τη διάρκεια του διαλείμματος	85
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	88
1. Επισήμανση επικινδυνοτήτων σε ένα σχολικό κτίριο	88
2. Σχέδιο εκκένωσης σχολικού κτιρίου	92
3. Άσκηση Ετοιμότητας σε σχολικό κτίριο	94
4. Μύθοι και αλήθειες για το σεισμό	98
ΠΗΓΕΣ	102
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	103



Σε μια χώρα, όπως η χώρα μας, που έχει το θλιβερό προνόμιο να κατέχει την πρώτη θέση στην Ευρώπη από άποψη σεισμικότητας, η προσπάθεια για μείωση των συνεπειών των σεισμών τόσο σε οικονομικό, όσο και κυρίως σε επίπεδο ανθρώπινων θυμάτων είναι κεφαλαιώδους σημασίας.

Η μείωση των συνεπειών είναι άμεσα συνδεδεμένη με το βαθμό ενίσχυσης της αντισεισμικής θωράκισης της χώρας και στην περίπτωση των σεισμών ισχύει το απόφθεγμα: «το προνοείν κάλλιον του θεραπεύειν».

Προς αυτήν την κατεύθυνση, ο Ο.Α.Σ.Π. από την ίδρυσή του το 1983 καλείται να υλοποιήσει την αντισεισμική πολιτική που η πολιτεία μέσω του Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. χαράζει.

Με δεδομένη την ανάληψη της επιχειρησιακής ευθύνης κατά τη διάρκεια και μετά την εκδήλωση καταστροφικού σεισμού όπως και κάθε άλλης φυσικής καταστροφής από τη Γ.Γ. Πολιτικής Προστασίας, οι κύριοι στόχοι του Ο.Α.Σ.Π. αποβλέπουν στο σχεδιασμό μέτρων και δράσεων που πρέπει να λαμβάνονται στην προσεισμική περίοδο.

Είναι γνωστό ότι η σωστή εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας κάθε σπιθαμής της χώρας, καθώς και ο προσδιορισμός της σεισμικής τρωτότητας τόσο των μεμονωμένων κατασκευών όσο και του κοινωνικού ιστού κάθε οικιστικού συνόλου είναι καθοριστικοί παράγοντες του μεγέθους των συνεπειών μετά από ένα ισχυρό σεισμό, δηλαδή του σεισμικού κινδύνου. Από τους δύο αυτούς παράγοντες η σεισμική επικινδυνότητα μιας περιοχής (σεισμικότητα, γειτνίαση με ενεργά ρήγματα κ.α.) είναι λίγο - πολύ δεδομένη. Ο παράγοντας στον οποίο μπορούμε και οφείλουμε να επεμβούμε, ώστε να μειώσουμε τις συνέπειες, είναι αυτός της τρωτότητας του συστήματος.

Με στόχο λοιπόν τη μείωση της τρωτότητας κατασκευών και κοινωνικού ιστού, ο Ο.Α.Σ.Π. σχεδιάζει, εξειδικεύει και προωθεί νομοθετικές και κανονιστικές διατάξεις που αποβλέπουν στη βελτίωση της σεισμικής συμπεριφοράς και την ενίσχυση της ικανότητας και ασφάλειας των κατασκευών απέναντι στα σεισμικά φορτία που θα δεχθούν στην περίοδο της ζωής τους.

Παράλληλα ένας εξίσου σημαντικός παράγοντας μείωσης της τρωτότητας άρα και του σεισμικού κινδύνου, είναι η σωστή και συνεπής ενημέρωση του πληθυσμού αρχίζοντας από τις μικρότερες ηλικίες στα σχολεία, αλλά και στους εκπαιδευτικούς και τα μέλη των τοπικών αυτοδιοικήσεων ώστε να δράσουν ως πολλαπλασιαστές στους χώρους ευθύνης τους. Στόχος και εδώ, η εμπέδωση αντισεισμικής συμπεριφοράς των μαθητών και των συμπολιτών μας. Μια τέτοια πολιτική πρόληψης για να έχει αποτελέσματα πρέπει να έχει διάρκεια, συνέπεια, σαφείς στόχους και σωστή ιεράρχηση των προτεραιοτήτων.

Στο πλαίσιο αυτής της διαρκούς προσπάθειας εκδόθηκε και το τεύχος «Σεισμός – η Γνώση είναι Προστασία», επικαιροποίηση του οποίου είναι η παρούσα έκδοση που απευθύνεται κυρίως στην εκπαιδευτική κοινότητα με την πεποίθηση ότι θα αποτελέσει ένα χρήσιμο βοήθημα στην κοινή μας προσπάθεια για μια Ελλάδα σεισμικά θωρακισμένη και έτοιμη να αντιμετωπίσει με ψυχραιμία αλλά και αποτελεσματικότητα κάθε ενδεχόμενη επίσκεψη του γνωστού από αρχαιοτάτων χρόνων υιού του Τιτάνα και της Γης, του Εγκέλαδου. Μη ξεχνάμε ότι τον Εγκέλαδο τον νίκησε η Αθηνά, η θεά της σοφίας και της γνώσης και ο συμβολισμός δεν είναι καθόλου τυχαίος.

Μια τέτοια γνώση προσπαθεί να δώσει και τούτο το βιβλίο που έχετε στα χέρια σας. Εκμεταλλευθείτε το για το καλό των παιδιών σας, των παιδιών μας.

Ο Πρόεδρος του Ο.Α.Σ.Π.
Καθηγητής **Κ. Χ. Μακρόπουλος**

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Η γη παρουσιάζει συνεχώς μεταβολές στη μορφή και το ανάγλυφό της γι' αυτό και χαρακτηρίζεται “ζωντανός” πλανήτης. Ο σεισμός είναι ένα φυσικό φαινόμενο που αποδεικνύει αυτή ακριβώς τη “δράση” της γης και είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τη ζωή και την ιστορία της.

Σε πολλές περιπτώσεις δυστυχώς, η γένεση ενός σεισμού έχει καταστροφικές συνέπειες για τα ανθρώπινα δημιουργήματα και κατ' επέκταση για τον ίδιο τον άνθρωπο. Είναι φανερό ότι με την πάροδο του χρόνου οι πόλεις επεκτείνονται, τα κτίσματα πολλαπλασιάζονται, οπότε αυξάνονται οι πιθανότητες για περισσότερες καταστροφές.

Στον εικοστό αιώνα, περισσότεροι από 1.000.000 άνθρωποι σε όλο τον κόσμο έχασαν τη ζωή τους κατά τη διάρκεια σεισμικών δονήσεων, ενώ δισ. δολάρια σε παγκόσμιο επίπεδο δαπανώνται ετησίως για την αντιμετώπιση των αναγκών και την ανασυγκρότηση των σεισμόπληκτων περιοχών.

Η Ελλάδα είναι γνωστό ότι κατέχει την πρώτη θέση από άποψη σεισμικότητας στην Ευρώπη και την έκτη σε παγκόσμιο επίπεδο. Είναι λοιπόν βέβαιο ότι σεισμοί, στη χώρα μας, θα γίνονται διαρκώς. Χρέος της Πολιτείας είναι να μεριμνήσει για την ελαχιστοποίηση των απωλειών σε έμπυχο δυναμικό και υλικοτεχνική υποδομή. Αυτό επιτυγχάνεται αφενός με την ορθή εφαρμογή του ισχύοντος αντισεισμικού κανονισμού στις κατασκευές και αφετέρου με την οργάνωση της κοινωνικής αντισεισμικής άμυνας μέσω της ευρείας ενημέρωσης του πληθυσμού (ψυχολογική και πρακτική προετοιμασία των πολιτών).

Η ενημέρωση του πληθυσμού σχετικά με την αντισεισμική άμυνα είναι μία από τις κύριες δραστηριότητες του Ο.Α.Σ.Π.. Για το λόγο αυτό διοργανώνει επιμορφωτικά σεμινάρια που απευθύνονται σε εκπαιδευτικούς, εθελοντές ή στελέχη υπηρεσιών, ενημερωτικές ομιλίες σε μαθητές και διάφορες άλλες κοινωνικές ομάδες.

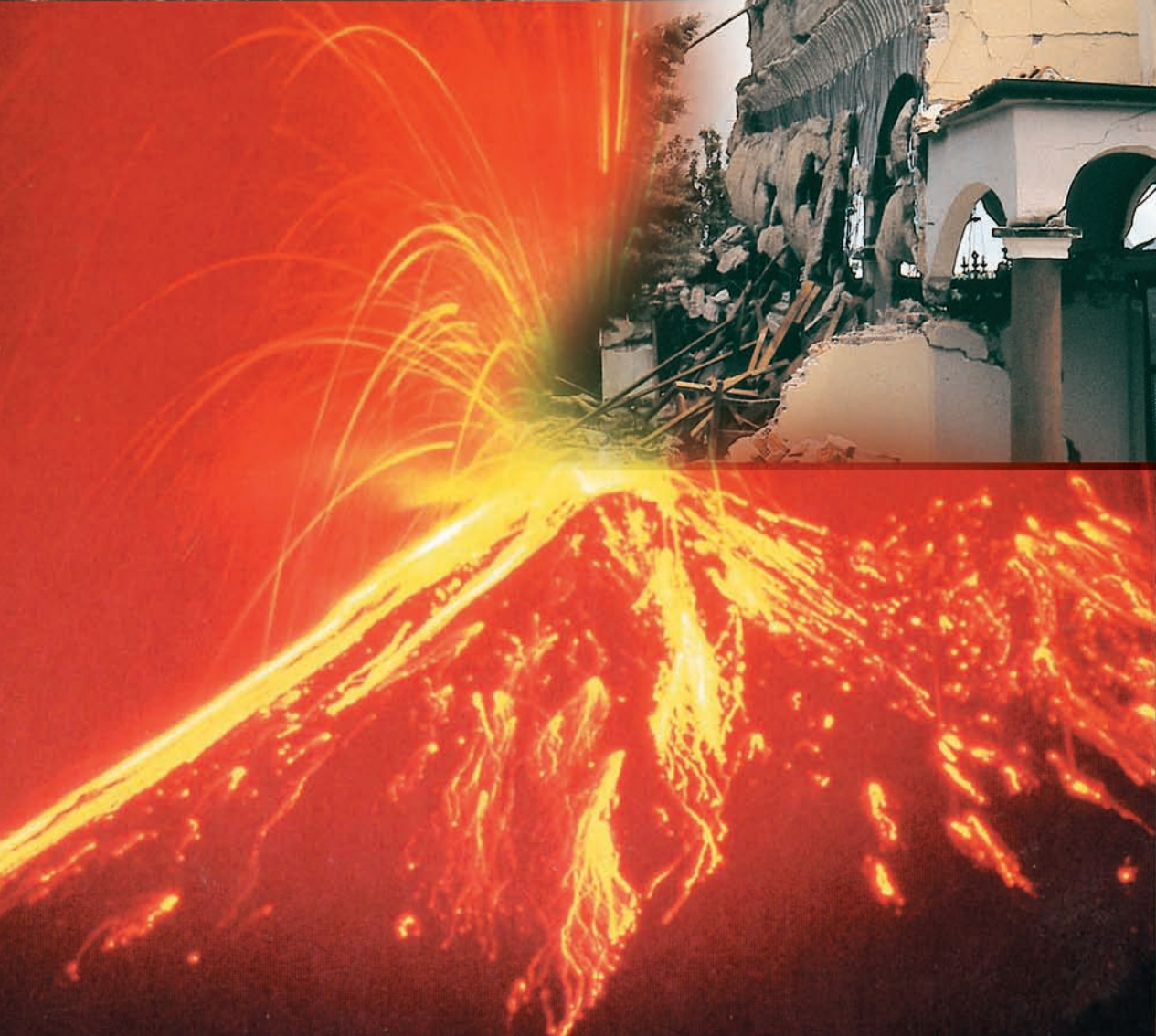
Το βιβλίο αυτό απευθύνεται κυρίως σε εκπαιδευτικούς, εμπεριέχει τη μέχρι τώρα αποκτηθείσα εμπειρία, επιλεγμένες φωτογραφίες από το πλούσιο υλικό του Ο.Α.Σ.Π. και άλλες πηγές, καθώς και απαντήσεις σε ερωτήματα που τυχόν απασχολούν τους πολίτες και ιδιαίτερα τους εκπαιδευτικούς και τους μαθητές.

Πιο συγκεκριμένα με τη συγγραφή του βιβλίου αυτού προσπαθήσαμε:

- να υπενθυμίσουμε έννοιες σχετικές με το φαινόμενο του σεισμού, προσεγγίζοντας ταυτόχρονα τις σύγχρονες απόψεις της γεωλογίας, καθώς και τα γεωλογικά - σεισμολογικά δεδομένα του ελλαδικού χώρου,
- να ενημερώσουμε για τις επιπτώσεις των σεισμών κεντρίζοντας το ενδιαφέρον του αναγνώστη με στοιχεία και αντίστοιχες φωτογραφίες από μεγάλους σεισμούς που έπληξαν την Ελλάδα και διάφορες άλλες χώρες,
- να συμβάλουμε στην προσπάθεια για απόκτηση αντισεισμικής συνείδησης και συμπεριφοράς προτείνοντας μέτρα αυτοπροστασίας που μπορούν να ληφθούν προσεισμικά, κατά τη διάρκεια, αλλά και μετά από το σεισμό σε ατομικό και οικογενειακό επίπεδο,
- να ευαισθητοποιήσουμε τους εκπαιδευτικούς για την αναγκαιότητα των μέτρων αντισεισμικής προστασίας στο δικό τους χώρο, το σχολείο, επισημαίνοντας τυχόν επικινδυνότητες και υποδεικνύοντας αρχές σύνταξης σχεδίου έκτακτης ανάγκης.

Θέλουμε να ελπίζουμε ότι με το βιβλίο αυτό συμβάλλουμε και εμείς, στο μέτρο του δυνατού, στην οργανωμένη προσπάθεια της Πολιτείας και των αρμόδιων φορέων της για ενημέρωση των πολιτών σε θέματα αντισεισμικής προστασίας.

Οι συγγραφείς





ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΓΝΩΡΙΜΙΑ ΜΕ ΤΟΥΣ ΣΕΙΣΜΟΥΣ

1.1 Φυσικά Φαινόμενα - Φυσικές Καταστροφές

Πλημμύρες, Εκρήξεις Ηφαιστειών, Κατολισθήσεις, Θύελλες, Σεισμοί..., φυσικά φαινόμενα που συχνά προκαλούν φόβο, τρόμο, δέος και αποτελούν φυσικές - γεωλογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στη γη εδώ και εκατομμύρια χρόνια.

Τα φυσικά φαινόμενα οφείλονται είτε σε ενδογενή αίτια (σεισμοί, εκρήξεις ηφαιστειών), είτε σε εξωγενή αίτια (πλημμύρες, θύελλες, ξηρασίες), είτε σε ανθρωπογενή αίτια (πλημμύρες, κατολισθήσεις που προκαλούνται από ανθρώπινες δραστηριότητες).

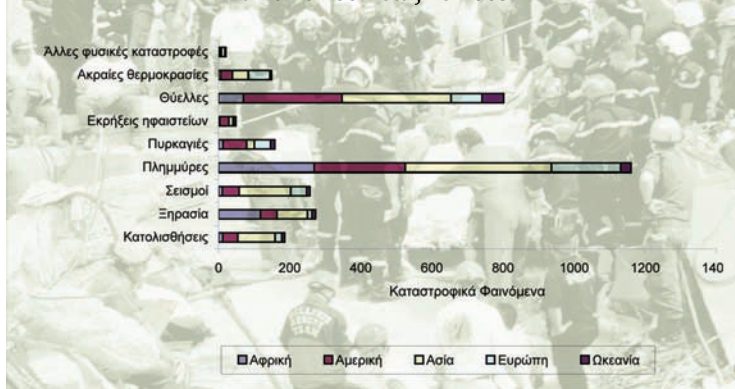
Άμεση ή έμμεση συνέπεια των φαινομένων αυτών είναι ο τραυματισμός ή ο θάνατος ανθρώπων καθώς και οι απώλειες υλικών αγαθών. Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας 1994 - 2003, **2,581 δισ. άνθρωποι επηρεάστηκαν από φυσικά καταστροφικά γεγονότα**. Η μέχρι τώρα αποκτηθείσα εμπειρία έχει δείξει ότι, αφού τα φυσικά φαινόμενα δεν μπορούν να εκλείψουν, είναι απαραίτητο και αναγκαίο να αντιμετωπιστούν με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι συνέπειές τους, ιδιαίτερα όταν έχει παρατηρηθεί επανάληψη του ίδιου γεγονότος σε μία περιοχή. Παραδείγματα επαναλαμβανόμενων, σε έναν τόπο, καταστροφικών φαινομένων αποτελούν π.χ. οι πλημμύρες που προκαλούνται από ραγδαίες βροχοπτώσεις, μπορούν όμως να αποφευχθούν με τη δημιουργία αντιπλημμυρικών έργων.

Στην πράξη είναι αρκετά δύσκολο να συγκεντρωθούν και να αξιολογηθούν στατιστικά στοιχεία που αφορούν φυσικές καταστροφές. Παρόλα αυτά, σύμφωνα με τα

ήδη υπάρχοντα, οι πλημμύρες παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης σε παγκόσμια κλίμακα αλλά και στην Ευρώπη τη δεκαετία 1994 - 2003 (διαγρ. 1.1, 1.2). Από όλα τα φυσικά καταστροφικά φαινόμενα οι ξηρασίες προκαλούν τους περισσότερους θανάτους (διαγρ. 1.3). Στην Ελλάδα ο συνολικός αριθμός των ανθρώπων που αναφέρεται ότι έχασαν τη ζωή τους κατά τη διάρκεια της δεκαετίας 1994 - 2003 από φυσικές καταστροφές είναι 521.

Όσον αφορά τις οικονομικές συνέπειες των φυσικών καταστροφών, αυτές είναι τεράστιες. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το ποσό που δαπανήθηκε για αποκατάσταση - ανασυγκρότηση περιοχών που επλήγησαν από φυσικά

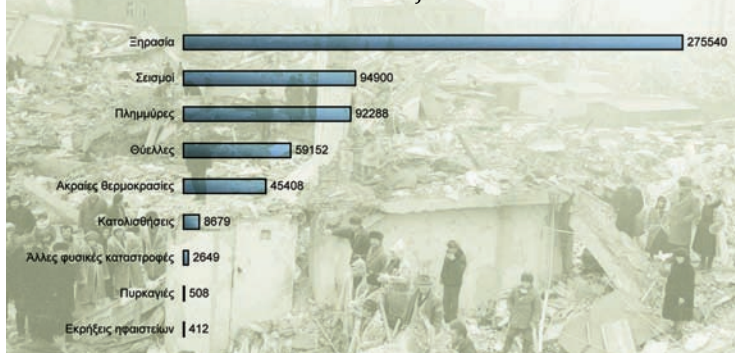
Διάγραμμα 1.1. Φυσικά Καταστροφικά Φαινόμενα ανά Ήπειρο από το 1994 έως το 2003



Διάγραμμα 1.2. Συνολικός αριθμός Φυσικών Καταστροφικών Φαινομένων που έπληξαν την Ευρώπη από το 1994 έως το 2003



Διάγραμμα 1.3. Συνολικός αριθμός ανθρώπων που έχουν αναφερθεί ότι έχασαν τη ζωή τους ανά φυσικό φαινόμενο από το 1994 έως το 2003



καταστροφικά γεγονότα, σε παγκόσμια κλίμακα, για τη δεκαετία 1994 - 2003 ανέρχεται στα 683,7 δισ. δολάρια. Από αυτά τα 257 δισ. δολάρια αφορούν τις οικονομικές επιπτώσεις των σεισμών, (διαγρ. 1.4) που είναι οι μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές των υπόλοιπων φυσικών καταστροφών.

Ανεξάρτητα όμως από τις κοινωνικοοικονομικές συνέπειες και τη συχνότητα εμφάνισης των καταστροφικών φαινομένων, κανένα δεν προκάλεσε τόσο φόβο και ανασφάλεια από την αρχαιότητα έως σήμερα, όσο ο **σεισμός**. Κι αυτό γιατί **ο σεισμός εκδηλώνεται**, τις περισσότερες φορές, ξαφνικά και **χωρίς προειδοποίηση** ενώ συνήθως δεν υπάρχουν πολλά περιθώρια για προφύλαξη και δράση. Αυτό άλλωστε τον διαφοροποιεί από τις άλλες φυσικές καταστροφές. Αξίζει να σημειωθεί ότι περίπου 650 σεισμικά συμβάντα σε όλο τον κόσμο, πρόξενι μεγάλων καταστροφών, έχουν καταγραφεί από το 1968 έως το 1992, ενώ περισσότερες από 3.000 σεισμικές δονήσεις γίνονται ετησίως αντιληπτές σε όλο τον κόσμο (μέγεθος μεγαλύτερο του 5).

1.2. Τι είναι σεισμός;

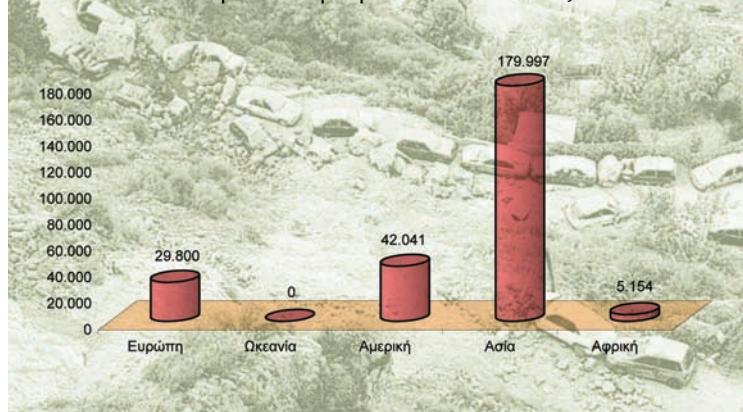
Μέγεθος, εστία, ένταση, επίκεντρο, ρήγμα, σεισμικά κύματα...

έννοιες που ακούγονται συχνά και που επαναλαμβάνονται από όλους μετά από ένα μεγάλο σεισμό. Τι είναι όμως ο σεισμός;

Στην αρχαιότητα: Η δόνηση λόγω της κίνησης του Εγκέλαδου μέσα στον τάφο του, αναγκαίο κακό σταλμένο από το Δία, το αποτέλεσμα της συμπίεσης ατμών στο εσωτερικό της Γης ή μήπως ο κραδασμός του εδάφους από το σπαρτάρισμα του γιαπωνέζικου γατόψαρου (εικ. 1.1);

Σήμερα: Το τράνταγμα, η κίνηση του εδάφους που οφείλεται στη θραύση πετρωμάτων, το στιγμιαίο αποτέλεσμα μιας μακροχρόνιας διαδικασίας συσσώρευσης δυναμικής ενέργειας σε καταπονούμενες περιοχές της λιθόσφαιρας. Ένα **φυσικό φαινόμενο** που μπορεί να

Διάγραμμα 1.4. Οικονομικές επιπτώσεις των σεισμών σε εκατ. \$ για κάθε ήπειρο από το 1994 έως το 2003



προκαλέσει πολλές απώλειες τόσο σε ανθρώπινο δυναμικό όσο και σε υλικά αγαθά.

Ένας πιο συγκεκριμένος και ακριβής ορισμός είναι ο ακόλουθος: Σεισμός είναι η εδαφική δόνηση που γεννιέται κατά τη διατάραξη της μηχανικής ισορροπίας των πετρωμάτων στο εσωτερικό της γης, από φυσικές αιτίες.

1.3. Ποια είναι η δομή του εσωτερικού της Γης;

Η Γη αποτελείται από τρία διαφορετικά στρώματα το **φλοιό**, το **μανδύα** και τον **πυρήνα**, συνολικού πάχους 6.370km περίπου (εικ. 1.2).

Ο φλοιός είναι το στερεό, εξωτερικό περίβλημα της Γης. Υπάρχουν δύο είδη φλοιού, ο **ηπειρωτικός** και ο **ωκεάνιος**. Το μέσο πάχος του ηπειρωτικού είναι περίπου 35km, κάτω όμως από τις μεγάλες οροσειρές μπορεί να φτάσει τα 60 - 70km. Το μέσο πάχος του ωκεάνιου είναι 7km.

Ο μανδύας είναι το αμέσως επόμενο στρώμα και φτάνει μέχρι το βάθος των 2.900km. Η επιφάνεια που χωρίζει το φλοιό από το μανδύα, είναι η **ασυνέχεια Mohorovicic**.

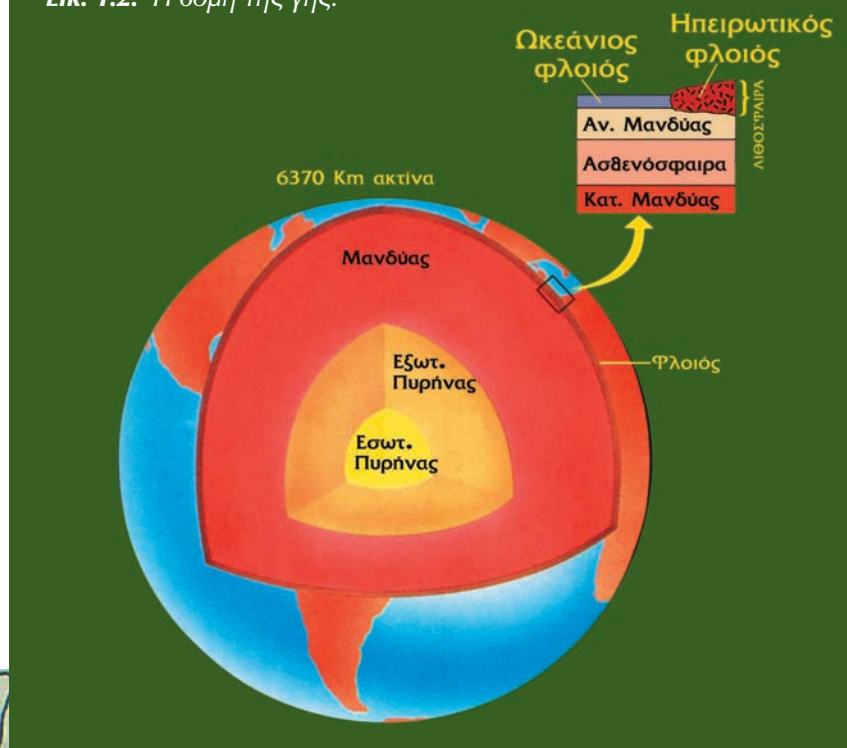
Εικ. 1.1. Το σπαρτάρισμα του γατόψαρου, σύμφωνα με γιαπωνέζικο θρύλο, προκαλεί τους σεισμούς. Στον πίνακα: περιόδου Edo απεικονίζεται η προσπάθεια των ανθρώπων να δαμάσουν το τεράστιο γατόψαρο.



Ως **λιθόσφαιρα** χαρακτηρίζεται ένα δύσκαμπτο στρώμα, μέσου πάχους 80 χιλιομέτρων περίπου, που αποτελείται από το στερεό φλοιό και μέρος του στερεού ανώτερου μανδύα. Το τμήμα του μανδύα που βρίσκεται κάτω από τη λιθόσφαιρα είναι γνωστό ως **ασθενόσφαιρα**.

Κάτω από το μανδύα υπάρχει ο πυρήνας που φτάνει έως το κέντρο της γης. Ο πυρήνας διακρίνεται σε **εξωτερικό** (υγρή/ρευστή κατάσταση) και σε **εσωτερικό** (στερεή κατάσταση).

Εικ. 1.2. Η δομή της γης.



1.4. Πώς αλλάζει η μορφή της Γης με την πάροδο του χρόνου;

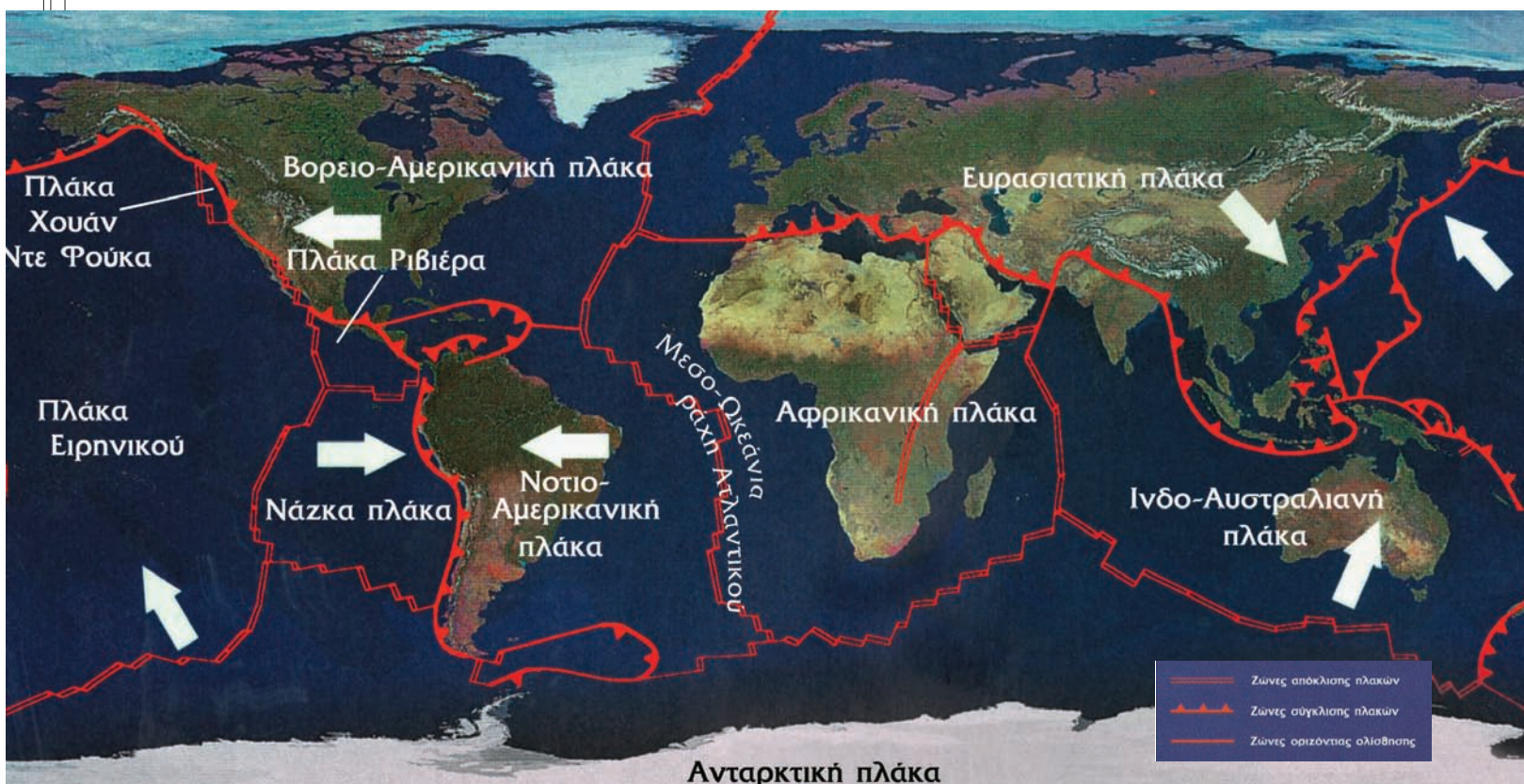
Είναι πλέον γενικά παραδεκτό ότι η μορφή της Γης, του πλανήτη μας, αλλάζει συνεχώς. Οι γεωεπιστήμονες, μετά από έρευνες πολλών ετών, μπορούν σήμερα να αναπαραστήσουν με σχετική ακρίβεια την εξελικτική πορεία των ηπείρων και των ωκεανών μέσα στο χρόνο.

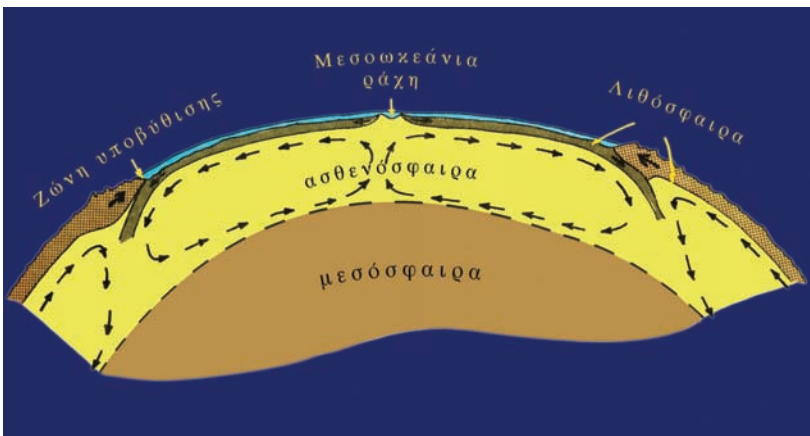
Ανατρέχοντας στο παρελθόν, 500 εκατ. χρόνια πριν, οι ήπειροι είχαν τελειώς διαφορετική θέση από τη σημερινή, βρίσκονταν συγκεντρωμένες στο νότιο ημισφαίριο του πλανήτη (εικ. 1.3).

Πριν 200 εκατ. χρόνια, δημιουργήθηκε μία ενιαία ήπειρος, η **Παν-γαία**, που βρεχόταν από την **Παν-θάλασσα**.

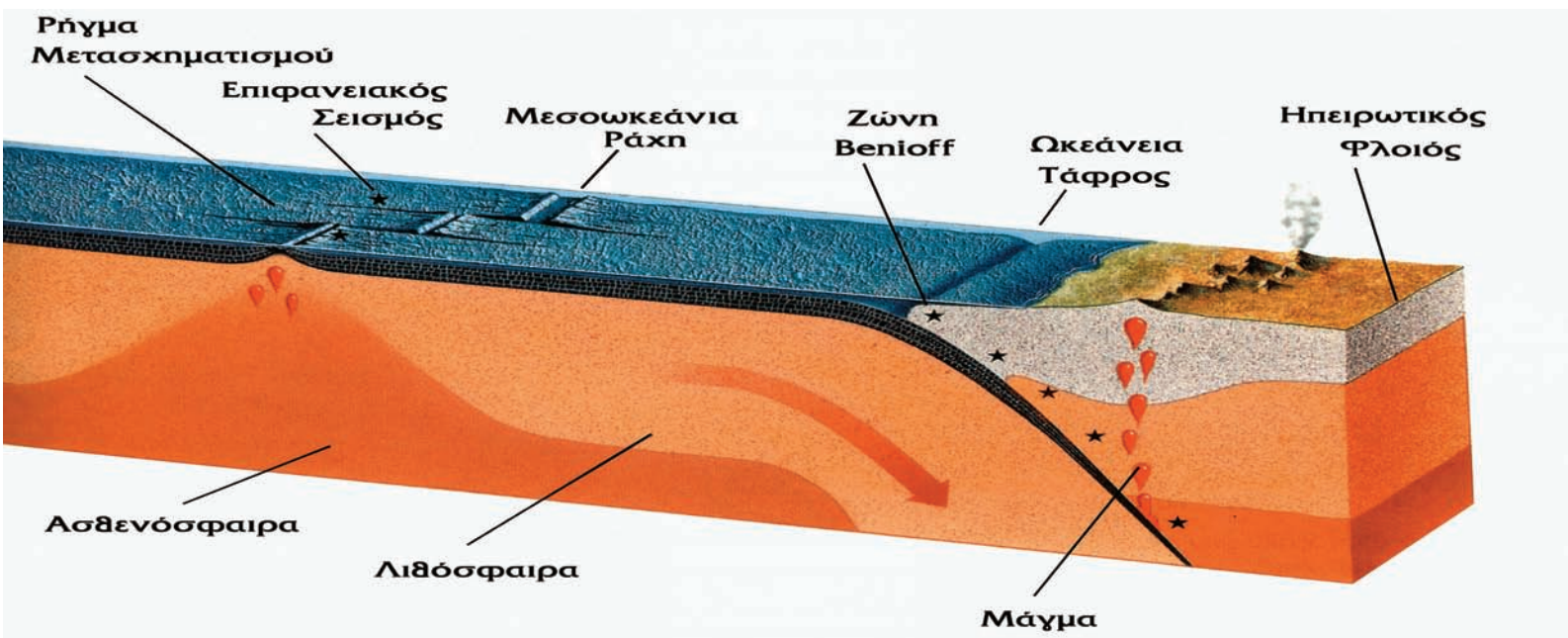
Εικ. 1.3. Εξελικτική πορεία των ηπείρων μέσα στο χρόνο.

Εικ. 1.4. Η λιθόσφαιρα της Γης αποτελείται από επτά μεγάλες πλάκες (Αφρικανική, Ευρασιατική, Ινδο-Αυστραλιανή, Ανταρκτική, πλάκα του Ειρηνικού, Βορειο-Αμερικανική, Νοτιο-Αμερικανική). Υπάρχουν όμως και αρκετές μικρότερες. Οι πλάκες κινούνται προς διαφορετικές διευθύνσεις. Τα βέλη δείχνουν κάποιες από τις κινήσεις τους.





Εικ. 1.5. Λόγω των κινήσεων των λιθοσφαιρικών πλακών δημιουργούνται μεσοωκεάνιες ράχες στις περιοχές απόκλισης πλακών και ζώνες υποβύθισης στις περιοχές σύγκλισης.



κινήσεις τους που προκαλούν τις αλλαγές στη μορφή της Γης θα αναφερθούν στη συνέχεια.

1.5. Πώς γεννιέται ένας σεισμός;

Η λιθόσφαιρα δεν είναι ενιαία αλλά απαρτίζεται από ένα σύνολο μεγάλων και μικρότερων πλακών (Εικ. 1.4) που ολισθαίνουν πάνω στο υποκείμενο παχύρρευστο μανδυακό υλικό (ασθενόσφαιρα) πραγματοποιώντας σχετικές μεταξύ τους κινήσεις. Οι πλάκες αυτές λέγονται **λιθοσφαιρικές πλάκες**. Τα αίτια κίνησής τους πιθανόν να είναι οι οριζόντιες εφραπτομενικές δυνάμεις που ασκούνται στον πυθμένα τους από τα θερμικά **ρεύματα μεταφοράς** τα οποία δημιουργούνται στον ασθενοσφαιρικό μανδύα.

Η θεωρία που ερμηνεύει ικανοποιητικά το σύνολο των γεωλογικών και γεωφυσικών παρατηρήσεων, που σχετίζονται με την ενεργό τεκτονική δράση και κατά συνέπεια και με τη σεισμική δράση, είναι αυτή που περιγράφει την **κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών**.

Οι λιθοσφαιρικές πλάκες αλλού **αποκλίνουν**, αλλού

συγκλίνουν και αλλού η μία κινείται **παράλληλα - εφραπτομενικά** σε σχέση με τη διπλανή της (Εικ. 1.5, 1.6).

Στις περιοχές που αποκλίνουν οι λιθοσφαιρικές πλάκες θερμό ασθενοσφαιρικό υλικό βγαίνει στην επιφάνεια, ψύχεται, στερεοποιείται και έτσι δημιουργείται νέα λιθόσφαιρα κατά μήκος των δύο πλευρών ράχων που χαρακτηρίζονται ως **μεσοωκεάνιες ράχες** (π.χ. μεσοωκεάνια ράχη Ατλαντικού ωκεανού, απομάκρυνση Νοτιο-Αμερικανικής και Αφρικανικής πλάκας).

Στις περιοχές που ολισθαίνουν οριζόντια η μία πλάκα σε σχέση με την άλλη, η κίνηση γίνεται κατά μήκος των **ρηγμάτων μετασχηματισμού** (Εικ. 1.7).

Στην περίπτωση της σύγκλισης των πλακών **η πυκνότερη από τις δύο βυθίζεται κάτω από την άλλη**. Όταν η υποβυθιζόμενη λιθόσφαιρα φτάσει σε μεγάλα βάθη λυώνει μέσα στο θερμό μανδυακό υλικό κι έτσι καταστρέφεται λιθοσφαιρικό υλικό (Εικ. 1.8). Η δημιουργία νέου λιθοσφαιρικού υλικού στις μεσοωκεάνιες ράχες αντισταθμίζεται λοιπόν με την καταστροφή αντίστοιχης ποσότητας στις περιοχές σύγκλισης πλακών, οπότε η συνολική επιφάνεια της Γης παραμένει "αμετάβλητη".

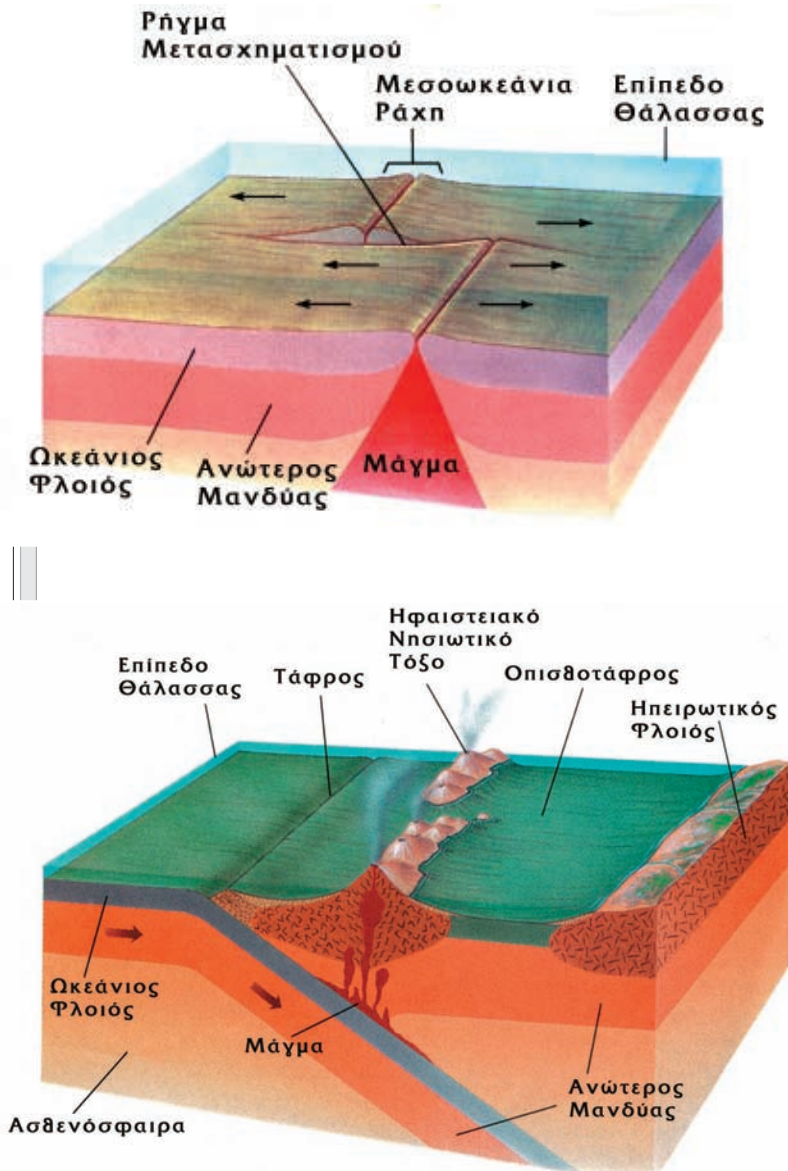
Αποτέλεσμα της σχετικής κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών είναι η αργή παραμόρφωση των πετρωμάτων στις παρυφές τους. Για το λόγο αυτό, στα πετρώματα που βρίσκονται κοντά στις περιοχές αυτές συσσωρεύονται τεράστια ποσά δυναμικής ενέργειας (ενέργεια ελαστικής παραμόρφωσης πετρωμάτων), και αναπτύσσονται μεγάλες τάσεις που συνεχώς αυξάνουν. Όταν οι τάσεις αυξηθούν τόσο πολύ, ώστε να υπερβούν το όριο αντοχής του λιθοσφαιρικού υλικού στο σημείο αυτό, επέρχεται **θραύση**. Ταυτόχρονα πραγματοποιείται

απότομη σχετική κίνηση των δύο τμημάτων που έχουν προκύψει, κατά μία επιφάνεια, έως ότου ισορροπήσουν σε νέες θέσεις. Η επιφάνεια αυτή είναι το **σεισμικό ρήγμα**. Τη χρονική αυτή στιγμή γεννιέται ένας σεισμός.

1.6. Πού γεννιέται ένας σεισμός;

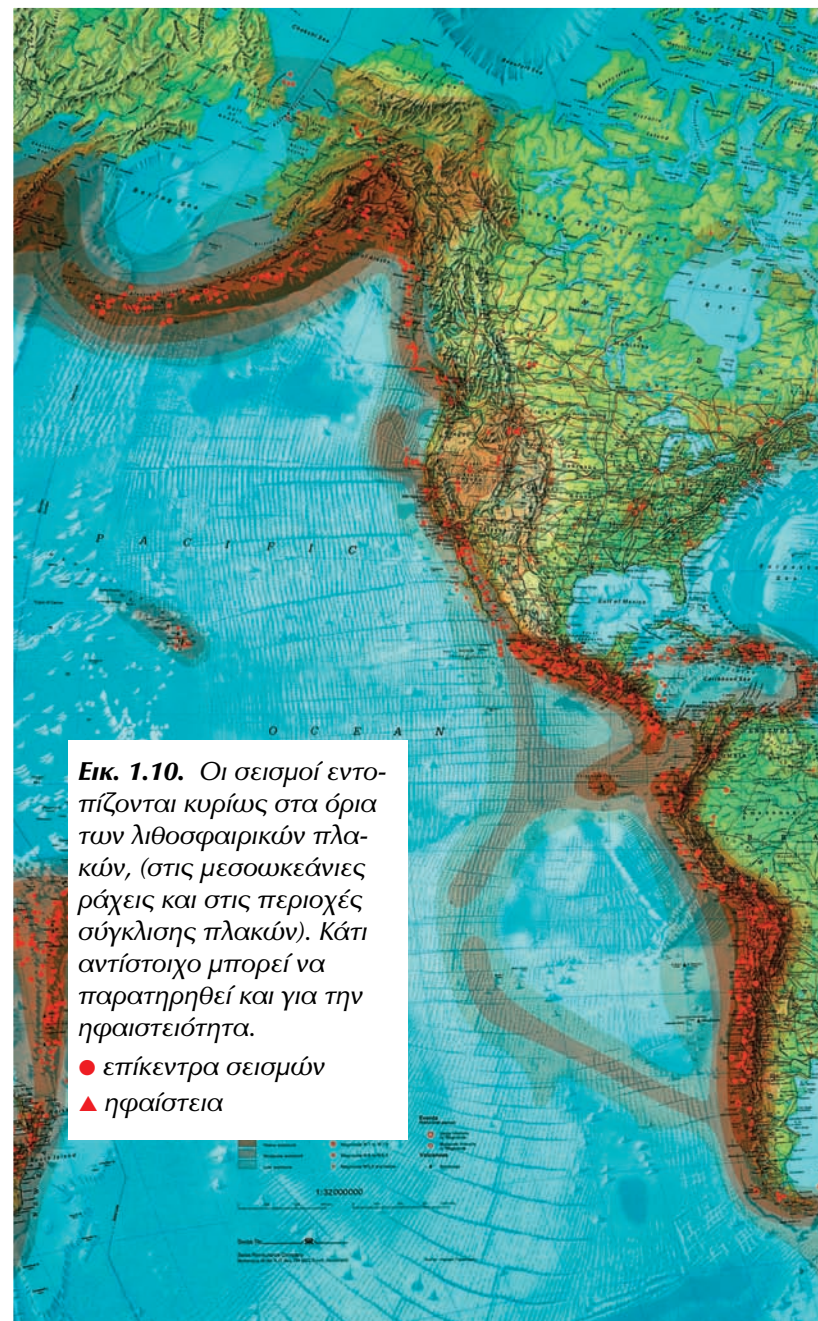
Ο χώρος που πρωτοεκδηλώνεται η διάρρηξη των πετρωμάτων (σεισμογόνος χώρος) μπορεί κατά προσέγγιση να θεωρηθεί ως σημείο και ονομάζεται **εστία** ή **υπό-κεντρο** του σεισμού. Το ίχνος της κατακόρυφης προβολής της εστίας πάνω στην επιφάνεια της γης είναι το **επί-κεντρο**, ενώ η απόστασή του από την εστία (βάθος της εστίας) λέγεται **εστιακό βάθος** (εικ. 1.9).

Οι σεισμοί γεννιούνται μόνο μέσα στη λιθόσφαιρα και κατά κύριο λόγο εντοπίζονται στα όρια των λιθοσφαιρι-



Εικ. 1.7. (πάνω) Δημιουργία μεσοωκεάνιας ράχης σε περιοχή απόκλισης των λιθοσφαιρικών πλακών και άνοδος θερμού υλικού (μάγματος). Η οριζόντια κίνηση των πλακών συμβαίνει κατά μήκος ενός ρήγματος μετασχηματισμού.

Εικ. 1.8. (κάτω) Δημιουργία τόξου (που αποτελείται από ωκεάνια τάφρο, ηφαιστειακό - νησιωτικό τόξο και οπισθοτάφρο) σε περιοχή υποβύθισης μιας ωκεάνιας λιθοσφαιρικής πλάκας κάτω από μία άλλη.

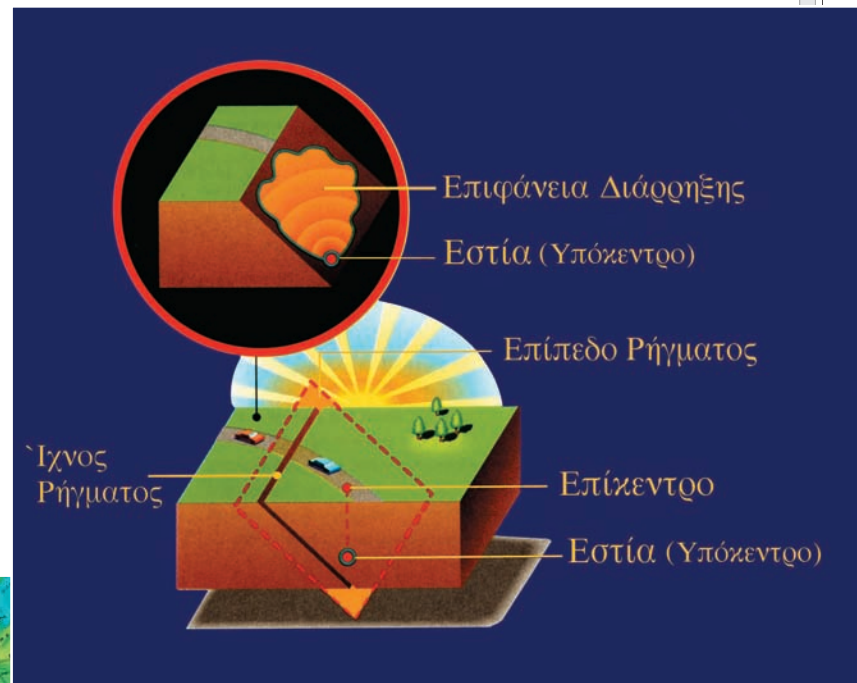


κών πλακών (εικ. 1.10).

Οι εστίες των σεισμών βρίσκονται είτε κοντά στην επιφάνεια είτε σε βάθος πολλών χιλιομέτρων. Εντοπίζονται έως και στα 720km περίπου, βάθος που μπορεί να φτάσει η καταδυόμενη λιθόσφαιρα διατηρώντας τις ελαστικές της ιδιότητες.

Ανάλογα με το εστιακό βάθος, οι σεισμοί διακρίνονται σε **επιφανειακούς** όταν το εστιακό βάθος είναι μικρότερο από 60km, **ενδιάμεσου βάθους** όταν το εστιακό βάθος κυμαίνεται μεταξύ 60 και 300km, και **μεγάλου βάθους** όταν το εστιακό βάθος είναι μεγαλύτερο από 300km. Οι ενδιάμεσου και μεγάλου βάθους σεισμοί χαρακτηρίζονται ως **πλουτώνιοι**. Οι επιφανειακοί σεισμοί είναι αυτοί που προκαλούν συνήθως τις μεγαλύτερες καταστροφές.

Εικ. 1.9. Γένεση σεισμού.



Στις μεσοωκεάνιες ράχες γεννιούνται μόνο επιφανειακοί σεισμοί, ενώ στις περιοχές σύγκλισης πλακών που υπάρχει καταβύθιση της μίας πλάκας κάτω από την άλλη γεννιούνται και πλουτώνιοι σεισμοί.

Οι εστίες των σεισμών στις περιοχές σύγκλισης πλακών συγκεντρώνονται σε μία “σεισμική ζώνη”, τη **ζώνη Benioff**, που τοποθετείται κατά μήκος της πάνω επιφάνειας της καταδυόμενης λιθοσφαιρικής πλάκας, όπως φαίνεται και στην εικόνα 1.6. Στη ζώνη αυτή παρατηρούνται και τα περισσότερα φαινόμενα παραμόρφωσης και μεταμόρφωσης των πετρωμάτων.

1.7. Τι είναι η σεισμική ακολουθία;

Το σύνολο των σεισμικών δονήσεων που εκδηλώνονται μέσα σε ένα μικρό σχετικά χρονικό διάστημα σε μία περιοχή χαρακτηρίζεται ως **σεισμική ακολουθία**.

Ο σεισμός της ακολουθίας με το μεγαλύτερο μέγεθος ονομάζεται **κύριος σεισμός**. Οι σεισμοί που προηγούνται χρονικά από τον κύριο σεισμό είναι οι **προσεισμοί** ενώ αυτοί που ακολουθούν είναι οι **μετασεισμοί**.

Συνήθως οι μετασεισμοί μίας ακολουθίας είναι περισσότεροι από τους προσεισμούς. Σε ορισμένες περιπτώσεις η συχνότητα εμφάνισης των προσεισμών αυξάνει όσο πλησιάζει η γένεση του κύριου σεισμού, ενώ η συχνότητα εμφάνισης των μετασεισμών ελαττώνεται με την πάροδο του χρόνου.

Οι εστίες των προσεισμών και των μετασεισμών βρίσκονται πάνω ή κοντά στην επιφάνεια του σεισμικού ρήγματος που σχετίζεται με τον κύριο σεισμό.

Οι σεισμικές ακολουθίες μπορούν να διακριθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες. Στην πρώτη περίπτωση ο κύριος σεισμός γεννιέται ξαφνικά χωρίς να έχουν προηγηθεί προσεισμοί ενώ ακολουθούν μετασεισμοί που η συχνότητα εμφάνισής τους ελαττώνεται συνεχώς. Στη δεύτερη περίπτωση υπάρχει πλήρης σεισμική ακολουθία με προσεισμούς, κύριο σεισμό και μετασεισμούς. Τέλος, στην τρίτη περίπτωση δεν υπάρχει σεισμός με σαφώς μεγαλύτερο μέγεθος από τους υπόλοιπους ώστε να χαρακτηριστεί ως κύριος, οπότε έχουμε **σμήνος σεισμών** (σμηνοσειρά).

1.8. Ποια είδη σεισμών υπάρχουν;

Ο τρόπος γένεσης των σεισμών αποτέλεσε και συνεχίζει να αποτελεί θέμα συζήτησης μεταξύ των επιστημόνων. Αυτό οφείλεται σε πειραματικές και θεωρητικές δυσκολίες στον καθορισμό του.

Οι σεισμοί στην πλειονότητά τους προέρχονται, όπως ήδη αναφέρθηκε, από καταπόνηση της λιθοσφαι-

ρας και χαρακτηρίζονται ως **τεκτονικοί**. Το 90% περίπου των επιφανειακών και το σύνολο των πλουτώνιων σεισμών είναι τεκτονικοί, και λόγω της μεγάλης συχνότητάς τους αυτοί ουσιαστικά αποτελούν το μεγαλύτερο σεισμικό κίνδυνο.

Οι σεισμοί που σχετίζονται με εκρήξεις ηφαιστείων είναι οι **ηφαιστειογενείς**. Αυτοί είναι επιφανειακοί που είτε προηγούνται είτε συνοδεύουν ηφαιστειακές εκρήξεις, και αποτελούν το 7% του συνόλου των επιφανειακών σεισμών.

Οι σεισμοί που οφείλονται σε τοπικά αίτια, κυρίως σε κατακρήμνιση οροφών φυσικών εγκοίλων - σπηλαίων, ονομάζονται **εγκατακρημνισιογενείς**. Αποτελούν το 3% του συνόλου των επιφανειακών σεισμών. Τα μεγέθη τους είναι μικρά και συνήθως εκδηλώνονται σε μη ενεργές περιοχές της γης (μακριά από τα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών).

1.9. Ποια είναι τα είδη των σεισμικών κυμάτων;

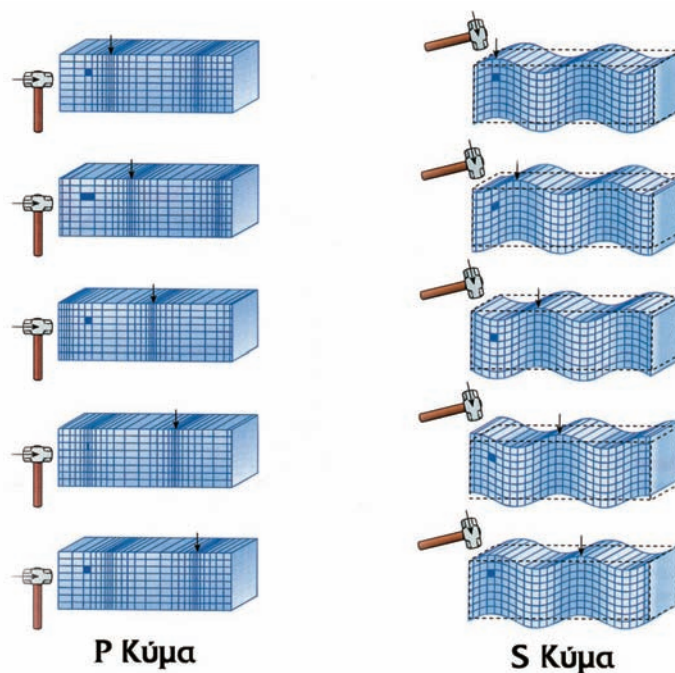
Η διάρρηξη των πετρωμάτων που σηματοδοτεί τη γένεση ενός σεισμού συνοδεύεται από απότομη έκλυση



Εικ. 1.11. Γένεση σεισμού. Είδη σεισμικών κυμάτων (Bolt B.A., 1987).

ενέργειας. Η συσσωρευμένη δυναμική ενέργεια παραμόρφωσης των πετρωμάτων μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια ταλάντωσης των υλικών σημείων της επιφάνειας του ρήγματος. Οι ταλαντώσεις αυτές μεταδίδονται στα γειτονικά τους σημεία κ.λπ.. Στην περίπτωση αυτή επέρχονται μεταβολές τόσο στον όγκο όσο και στο σχήμα των πετρωμάτων και έτσι παράγονται δύο είδη κυμάτων: τα **επιμήκη** (P - πρωτεύοντα), και τα **εγκάρσια** (S - δευτερεύοντα) (εικ. 1.11). Τα κύματα αυτά χαρακτηρίζονται ως **κύματα χώρου** και διαδίδονται προς κάθε κατεύθυνση στο εσωτερικό της Γης, τόσο στα επιφανειακά στρώματα όσο και στον πυρήνα. Τα εγκάρσια κύματα δε διαδίδονται στον εξωτερικό πυρήνα γεγονός που αποτελεί απόδειξη ότι αυτός βρίσκεται σε υγρή κατάσταση (είναι γνωστό ότι δεν είναι δυνατή η διάδοση των S κυμάτων στα ρευστά).

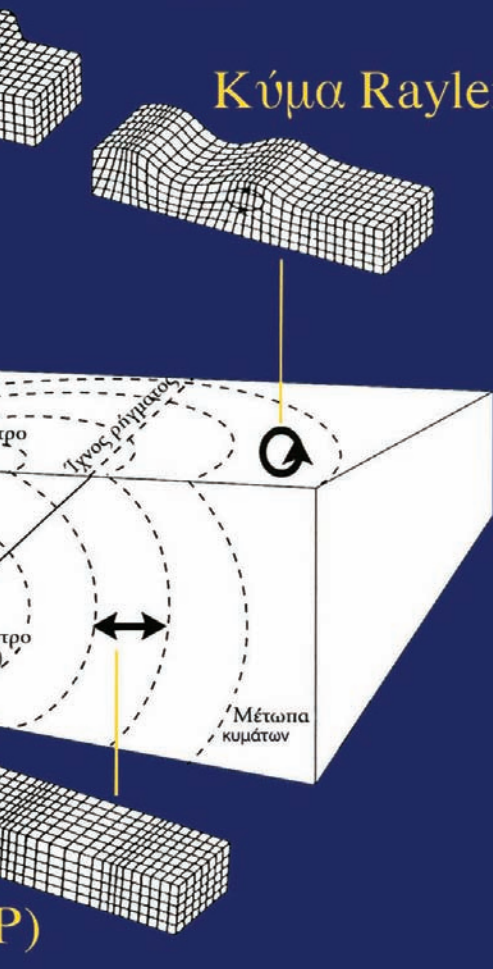
Κατά τη διάδοση των επιμήκων σεισμικών κυμάτων τα υλικά σημεία του μέσου διάδοσης ταλαντώνονται παράλληλα προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος, ενώ στην περίπτωση των εγκαρσίων κυμάτων τα υλικά σημεία ταλαντώνονται κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος (εικ. 1.12).



Εικ. 1.12. Μοντέλο διάδοσης των P και S κυμάτων.

α Love (L)

Κύμα Rayleigh (R)

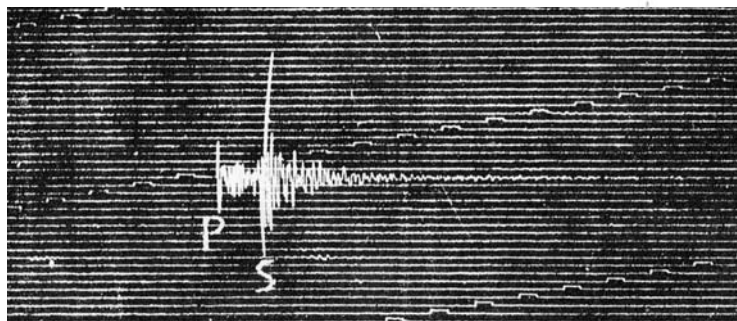
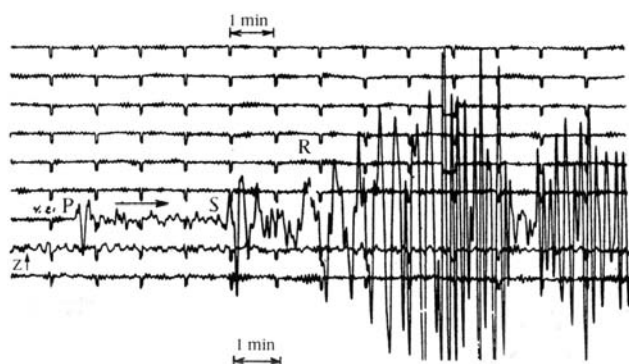


Εξαιτίας της ανομοιογένειας των πετρωμάτων τα κύματα χώρου κατά τη διάδοσή τους δημιουργούν και άλλα κύματα, τα **επιφανειακά** καθώς και ανακλάσεις και διαθλάσεις των P και S κυμάτων. Τα επιφανειακά κύματα διακρίνονται σε διάφορα είδη όπως τα κύματα Love (L), Rayleigh (R) και Stonley (S). Τα κύματα αυτά κατά τη διάδοσή τους ακολουθούν συγκεκριμένα στρώματα του επιφανειακού τμήματος της Γης, δε διαδίδονται δηλαδή προς όλες τις κατευθύνσεις όπως τα κύματα χώρου.

Η ταχύτητα διάδοσης των επιμήκων κυμάτων είναι μεγαλύτερη από αυτή των εγκαρσίων. Για το λόγο αυτό τα επιμήκη φθάνουν πρώτα σε ένα σημείο της επιφάνειας της γης και όπως είναι αναμενόμενο είναι τα πρώτα κύματα που καταγράφονται από τους σειсмоγράφους. Τα πλάτη των εγκαρσίων είναι μεγαλύτερα από τα πλάτη των άλλων κυμάτων και κατά συνέπεια αυτά είναι τα κύματα που προκαλούν τις μεγαλύτερες βλάβες στις κατασκευές.

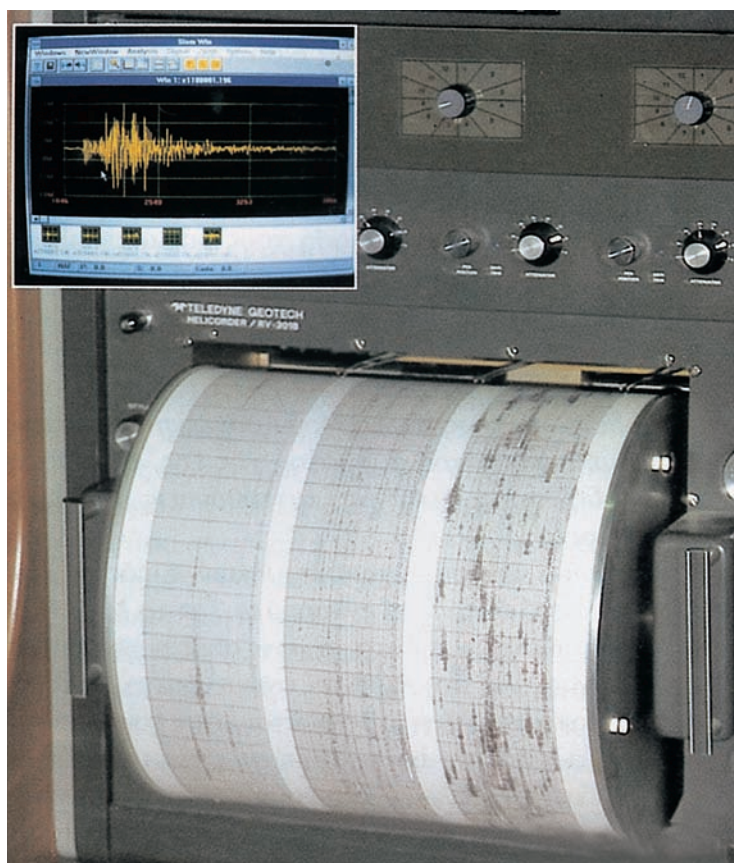
Τα όργανα καταγραφής των σεισμικών δονήσεων είναι τα **σεισμοσκόπια**, οι **σεισμογράφοι** και τα **σεισμόμετρα** (εικ. 1.13α,β). Την καταγραφή την ονομάζουμε **σεισμογράφημα** ή **σεισμόγραμμα** (εικ. 1.14, 1.15).

Στον Ελληνικό χώρο, στην Αθήνα αλλά και στην περιφέρεια, υπάρχουν μόνιμα εγκατεστημένοι σεισμογράφοι σε σεισμολογικούς σταθμούς για την καταγραφή των σεισμικών δονήσεων. Υπάρχει όμως και η δυνατότητα εγκατάστασης φορητών δικτύων σεισμογράφων, για κάποιο χρονικό διάστημα, σε περιοχές με αυξημένη σεισμική δραστηριότητα.



Εικ. 1.14. (πάνω) Σεισμόγραμμα από σχετικά μακρινό σεισμό. Διακρίνονται τα επιμήκη (P), τα εγκάρσια (S) και τα επιφανειακά κύματα Rayleigh (R) (Bath M., 1973).

Εικ. 1.15. (κάτω) Σεισμόγραμμα μικρού σεισμού (επίκεντρο στη λίμνη Βόλβη) που καταγράφηκε από σεισμόμετρο στη Θεσσαλονίκη. Είναι εμφανής η άφιξη των P και S κυμάτων (Παπαζάχος Β., Δρακόπουλος Ι., 1992).



Εικ. 1.13α. Σεισμογράφος.

Εικ. 1.13β. (ένθετη) Ψηφιακή καταγραφή σεισμολογικών δεδομένων.

Πίνακας 1.1.

Οι σεισμοί με τα μεγαλύτερα μεγέθη σε όλο τον κόσμο (1900-2007)

Χιλή 9,5
22-5-1960



Αλάσκα 9,2
27-3-1964



Σουμάτρα (νησιά Άνταμαν) 9,1
26-12-2004



Καρτσάτκα 9,0
4-11-1952



Ισημερινός 8,8
31-1-1906

Αλάσκα (νησιά Ράτ) 8,7
4-2-1965

Βόρεια Σουμάτρα 8,6
28-3-2005

Αλάσκα (νησιά Αντρεάνοφ) 8,6
9-3-1957



Ασσάμ-Θιβέτ 8,6
15-8-1950

Αξίζει να αναφερθεί ότι οι ενόργανες καταγραφές των σεισμών στην Ελλάδα ξεκίνησαν στην αρχή του αιώνα (1911) με την εγκατάσταση του πρώτου σεισμομέτρου στην Αθήνα. Τα προγενέστερα του 1911 στοιχεία που αφορούν τη σεισμική δραστηριότητα βασίζονται σε περιγραφές κυρίως μακροσεισμικών αποτελεσμάτων.

1.10. Πώς μετράμε τους σεισμούς;

Για να υπάρχει κάποιο μέτρο σύγκρισης των σεισμών δημιουργήθηκε η ανάγκη υπολογισμού μίας ποσότητας που να τους χαρακτηρίζει. Έτσι ορίστηκε το **μέγεθος (M)** του σεισμού που είναι το μέτρο της ενέργειας που εκλύεται από την εστία κατά τη διάρκεια της σεισμικής δόνησης.

Το μέγεθος προσδιορίζεται με μετρήσεις διαφόρων παραμέτρων των σεισμικών κυμάτων όπως το πλάτος, η περίοδος και η διάρκεια.

Για τον υπολογισμό του μεγέθους των σεισμών επινοήθηκαν διάφορες κλίμακες. Οι πιο γνωστές είναι: η κλίμακα **τοπικού μεγέθους M_L** (κλίμακα **Richter** - το όνομά της το πήρε από τον Ch. Richter το 1935), **επιφανειακού μεγέθους M_s** , **χωρικού μεγέθους m_w** , **μεγέθους διάρκειας M_d** , **μεγέθους σεισμικής ροπής M_w** .

Στην Ελλάδα, συνήθως, οι αναφορές στο μέγεθος γίνονται σε M_s .

Οι σεισμοί που προκαλούν βλάβες έχουν τις περισσότερες φορές μέγεθος μεγαλύτερο από 5 βαθμούς της κλίμακας Richter. Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι οι επιπτώσεις ενός σεισμού στους ανθρώπους και στις κατασκευές (βλάβες ή μη βλάβες) εξαρτώνται εκτός από το μέγεθος και από άλλους παράγοντες όπως: το βάθος της εστίας, τη θέση του επικέντρου, το είδος της κατασκευής, το έδαφος θεμελίωσης της κατασκευής, τη γειτνίαση με ενεργά ρήγματα κ.λπ..

Ο σεισμός της Πάρνηθας (7-9-1999) είχε σχετικά μικρό μέγεθος ($M=5,9$), όμως προκάλεσε μεγάλες καταστροφές σε πολλές περιοχές του λεκανοπεδίου της Αττικής γιατί ήταν επιφανειακός, το επίκεντρο ήταν κοντά σε πυκνοκατοικημένη περιοχή, ορισμένα κτίρια ήταν κακές κατασκευές ή με ανεξέλεγκτες επεμβάσεις στο φέροντα οργανισμό τους, κ.ά..

Το μεγαλύτερο μέγεθος σεισμού που έχει μετρηθεί έως σήμερα σε παγκόσμια κλίμακα είναι 9,5 (πιν. 1.1). Για να γίνει κατανοητή η αντιστοιχία των εννοιών μέγεθος - ενέργεια που εκλύεται από ένα σεισμό αρκεί να αναφερθεί ότι για μεγάλους σεισμούς (μέγεθος 8,7 - 8,9) η ενέργεια που εκλύεται είναι περίπου 900 φορές μεγαλύτερη από αυτήν της βόμβας στη Χισοσίμα.

Εικ. 1.16. Ενδεικτική απεικόνιση της κλίμακας MM με σκίτσα.



Πίνακας 1.2.

Συνοπτική περιγραφή της κλίμακας MM

- I** Δε γίνεται αισθητός.
- II** Αισθητός από μερικούς ανθρώπους που βρίσκονται σε ανάπαυση στους ψηλότερους ορόφους κτιρίων.
- III** Αισθητός μέσα στα σπίτια. Μπορεί να μην αναγνωριστεί ως σεισμός. Δονήσεις σαν να περνάει ελαφρύ φορτηγό.
- IV** Τίθενται σε κίνηση αντικείμενα που κρέμονται π.χ. φωτιστικά. Τζάμια τρίζουν. Σταματημένα αυτοκίνητα κλυδωνίζονται. Δονήσεις σαν να περνάει βαρύ φορτηγό. Κρότος παραθύρων, χτύπος στις πόρτες.
- V** Αισθητός στην ύπαιθρο. Αυτοί που κοιμούνται ξυπνούν. Αιώρηση αντικειμένων που κρέμονται. Ανατροπή μερικών μικρών αντικειμένων.
- VI** Αισθητός από όλους. Πολλοί τρομοκρατούνται και τρέχουν έξω από τα κτίρια. Οι άνθρωποι περπατούν με αστάθεια. Μικρές καμπάνες ηχούν. Μετακίνηση ή ανατροπή πολυάριθμων μεγάλων αντικειμένων και επίπλων. Βλάβες σε σοβάδες, κεραμίδια, καπνοδόχους. Βλάβες λίγες, ελαφρές.
- VII** Μεγάλες καμπάνες ηχούν. Πτώση πολυάριθμων κεραμιδιών, καπνοδόχων. Σοβάδες και τοιχοποιία ρηγματώνονται στις συνηθισμένες κατασκευές. Στις κακές κατασκευές πέφτουν σοβάδες, αποκολλούνται τούβλα και πέτρες. Γίνεται αισθητός από οδηγούς αυτοκινήτων. Κυματισμός στις λίμνες, θόλωμα νερού από λάσπη.
- VIII** Επιηρεάζεται η οδήγηση των αυτοκινήτων. Αρκετές ζημιές και μερική κατάρρευση στις συνηθισμένες κατασκευές. Λίγες βλάβες στην τοιχοποιία των καλών κατασκευών, και μεγάλες στις κακές κατασκευές. Κλαδιά σπάνε από τα δένδρα. Αλλαγές στη ροή και στη θερμοκρασία του νερού σε πηγές και σε πηγάδια.
- IX** Γενική καταστροφή στις κακές κατασκευές. Σοβαρές βλάβες στην τοιχοποιία των καλών κατασκευών. Υπόγειοι αγωγοί σπάζουν. Σε περιοχές με αλλούβια αναβλύζει από το έδαφος λεπτή άμμος, ιλύς και νερό.
- X** Καταστροφή μερικών καλά κατασκευασμένων ξύλινων κτιρίων και γεφυρών. Οι περισσότερες κατασκευές τοιχοποιίας και τα προκατασκευασμένα κτίσματα καταστρέφονται μαζί με τα θεμέλια. Σοβαρές ζημιές σε φράγματα, υδροφράχτες και αναχώματα. Μεγάλες κατολισθήσεις. Οι σιδηροτροχιές κάμπτονται.
- XI** Μεγάλες ρωγμές στο έδαφος. Οι σιδηροτροχιές κάμπτονται έντονα. Υπόγειοι αγωγοί καταστρέφονται εντελώς.
- XII** Ολική καταστροφή. Αντικείμενα εκτινάσσονται στον αέρα. Μεταβάλλεται η επιφάνεια του εδάφους και η γραμμή του ορίζοντα.

Ο μεγαλύτερος ίσως ελληνικός σεισμός ($M=8,3$) έπληξε την Κρήτη, έγινε στις 21 Ιουλίου του 365μ.Χ. και προκάλεσε μεγάλες καταστροφές σε περιοχές της Μεσογείου (Κρήτη, Πελοπόννησο, Αίγυπτο, Σικελία, Δαλματικές ακτές).

Το συχνότερα παρατηρούμενο μέγιστο μέγεθος σεισμού -ετησίως- στη χώρα μας είναι το 6,3.

Μία άλλη ποσότητα που αποτελεί μέτρο των μακροσεισμικών αποτελεσμάτων και πιο συγκεκριμένα μέτρο των βλαβών της σεισμικής δόνησης στους ανθρώπους και στις τεχνικές κατασκευές, είναι η **ένταση** του σεισμού.

Οι εμπειρικές κλίμακες που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της έντασης είναι: η τροποποιημένη 12βάθμια κλίμακα Mercalli (**MM**, 1931) (εικ. 1.16, πιν. 1.2), η επίσης 12βάθμια **MSK** (1964) που προτάθηκε από τους Medvedev, Sponheuer, Karnik και η 8βάθμια **JMA** (Japanese Meteorological Agency) που χρησιμοποιείται από τους Ιάπωνες. Το 1992 το Συμβούλιο της Ευρώπης υιοθέτησε μία νέα κλίμακα που αποτελεί εξέλιξη της MSK και έχει προσαρμοστεί σε ευρωπαϊκά δεδομένα. Η κλίμακα αυτή είναι η **EMS** (European Macroseismic Scale).

Η ένταση ενός σεισμού είναι διαφορετική από περιοχή σε περιοχή και εξαρτάται κυρίως από την απόσταση της περιοχής αυτής από την εστία του σεισμού και εδαφικούς παράγοντες. Στο σεισμό της Πάρνηθας (7-9-1999), οι εντάσεις έφτασαν το IX ή IX⁺ της κλίμακας Mercalli στους Θρακομακεδόνες, στη Φυλή, στα Άνω Λιόσια και στις Αχαρνές ενώ μόλις το VI στο Νέο Ψυχικό, στη Νέα Σμύρνη και στο Παλαιό Φάληρο.

Ο προσδιορισμός της έντασης ενός σεισμού σε διάφορες περιοχές επιτρέπει τη χάραξη **ισόσειστων καμπυλών**, ώστε να εντοπιστούν οι περιοχές στις οποίες ο σεισμός προκάλεσε τις ίδιες βλάβες, είχε δηλαδή την ίδια ένταση (εικ. 1.17).



Εικ. 1.17. Ισόσειστες καμπύλες για το σεισμό που έπληξε το Αίγιο το 1995 (Papazachos B.C. et al, 1997).



Εικ. 1.18. Τουρκία, σεισμός 17-8-1999 ($M=7,4$). Επιφανειακή εκδήλωση του σεισμικού ρήγματος 2 - 3km ανατολικά της πόλης Gölcük, σε προαύλιο δημοτικού σχολείου, το οποίο και κατέρρευσε. Το συνολικό μήκος του ρήγματος έφτασε τα 160 - 170km.

Εικ. 1.19. (ένθετη) Στίβος Θεσσαλονίκης, σεισμός 1978 ($M=6,5$). Επιφανειακή εκδήλωση του σεισμικού ρήγματος.

1.11. Ποια είναι τα είδη των σεισμικών ρηγμάτων;

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, όταν οι τάσεις που ασκούνται σε ένα πέτρωμα ξεπεράσουν το ανώτατο όριο αντοχής του, γίνεται διάρρηξη και αρχίζει η σχετική κίνηση των δύο εκατέρωθεν τμημάτων. Δημιουργείται δηλαδή ένα **σεισμικό ρήγμα**.

Τα σεισμικά ρήγματα σε λίγες μόνο περιπτώσεις φτάνουν στην επιφάνεια της γης και μπορούν να μελετηθούν με απευθείας παρατήρηση (σε περιπτώσεις μεγάλων επιφανειακών σεισμών), (εικ. 1.18, 1.19).

Το **μήκος του ρήγματος** σχετίζεται με το μέγεθος του σεισμού και μπορεί να φτάσει έως και εκατοντάδες χιλιόμετρα. Το 1960 στο σεισμό της Χιλής ($M=9,5$) το μήκος της επιφανειακής εκδήλωσης του ρήγματος έφτανε τα 1.000km. Το 1978 στο σεισμό που έπληξε την περιοχή της Θεσσαλονίκης ($M=6,5$) η επιφανειακή εκδήλωση του ρήγματος είχε διεύθυνση ανατολή - δύση. Ακο-

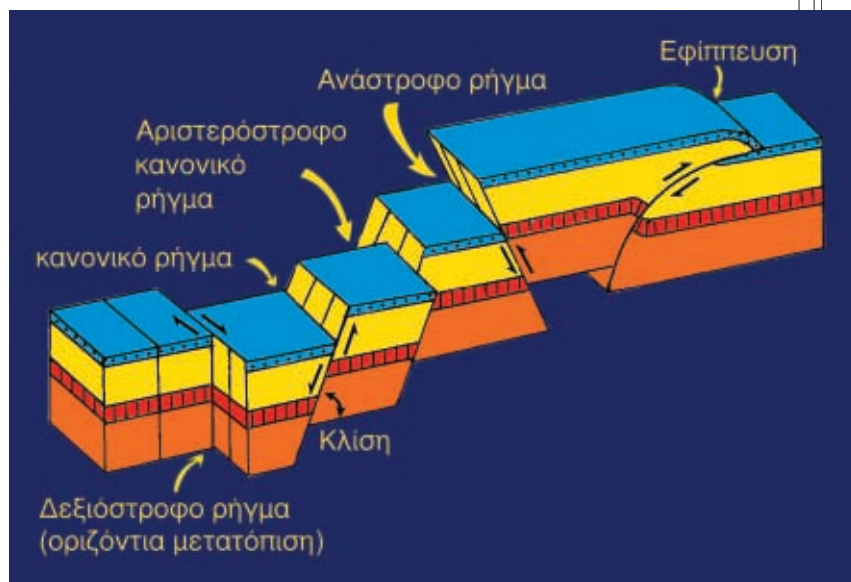
λουθούσε τα χωριά Περιστερώνας - Στίβος - Γερακαρού και είχε μήκος περίπου 12km.

Το **μέγεθος της ολίσθησης** σχετίζεται και αυτό με το μέγεθος του σεισμού και μπορεί να κυμαίνεται από μερικά εκατοστά έως και μερικά μέτρα. Στο σεισμό του 1981 στις Αλκυονίδες ($M=6,7$) παρατηρήθηκε επιφανειακή εκδήλωση του ρήγματος με μέση πτώση 60cm, και στο σεισμό του 1978 στη Θεσσαλονίκη ($M=6,5$) με μέγιστη κατακόρυφη βύθιση του βορείου τμήματος σε σχέση με το νότιο 35cm.

Το είδος του ρήγματος μπορεί να καθοριστεί από τη διεύθυνση και τη φορά της σχετικής κίνησης των δύο τμημάτων του. Τα βασικά είδη ρηγμάτων περιγράφονται ακόλουθα (εικ. 1.20).



Κανονικό χαρακτηρίζεται ένα ρήγμα όταν το πάνω του τμήμα ολισθαίνει προς τα κάτω, ενώ **ανάστροφο** όταν το πάνω του τμήμα κινείται προς τα πάνω.



Εικ. 1.21. Είδη σεισμικών ρηγμάτων.

Οριζόντιας μετατόπισης χαρακτηρίζεται ένα ρήγμα όταν τα δύο του τμήματα περιορίζονται σε πλευρικές μετακινήσεις και μπορεί να είναι **δεξιόστροφο** ή **αριστερόστροφο**. Δεξιόστροφο είναι το οριζόντιας μετατόπισης ρήγμα που το ένα του τμήμα κινείται από αριστερά προς τα δεξιά, όταν παρατηρείται από το άλλο τμήμα. Αριστερόστροφο είναι το αντίθετο.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι περισσότερες διαρρήξεις που συναντώνται στη φύση αποτελούν συνδυασμό των παραπάνω περιπτώσεων, π.χ. αριστερόστροφο κανονικό ρήγμα (εικ. 1.21).



Εικ. 1.22. (αριστερά) Λευκάδα, σεισμός 2003 ($M=6,4$). Πτώσεις βράχων στο δυτικό οδικό άξονα του νησιού. Αναγκαστική διακοπή κυκλοφορίας.

Εικ. 1.24. (δεξιά) Ζάκυνθος, σεισμός 2006 ($M=5,9$). Καθίζηση του οδοστρώματος.

Εικ. 1.23. (κάτω) Νομός Γρεβενών, σεισμός 1995 ($M=6,6$). Κατολίσθηση.

1.12. Πώς οι σεισμοί αποτυπώνονται στο φυσικό περιβάλλον;

Τα “ίχνη” των σεισμικών δονήσεων στο φυσικό περιβάλλον, τα μακροσεισμικά αποτελέσματα των σεισμών δηλαδή, είναι είτε συνέπειες των αιτίων γένεσης των σεισμικών κυμάτων (π.χ. ηφαιστειακή δράση, κατακρήμνιση υπόγειων εγκοίλων), είτε συνέπειες της διέλευσης και δράσης των σεισμικών κυμάτων από το χώρο παρατήρησης (π.χ. κατολισθητικά φαινόμενα, καθιζήσεις, ρευστοποιήσεις εδαφών, εδαφικές διαρρήξεις, tsunamis). Τα φαινόμενα αυτά μπορεί να προκαλέσουν μεγαλύτερα προβλήματα από αυτά που προκάλεσε η ίδια η σεισμική δόνηση.

Ο γενικός όρος **κατολισθητικά φαινόμενα** περιλαμβάνει όλες τις εδαφικές ή βραχώδεις μετακινήσεις όπως **κατολισθήσεις εδαφών**, **πτώσεις βράχων**, ακόμα και **χιονοστιβάδες** (εικ. 1.22, 1.23).

Ο βασικότερος λόγος πρόκλησης των φαινομένων αυτών είναι η εξαιτίας της σεισμικής κίνησης ελάττωση της τριβής που συγκρατεί σε επαφή τα διάφορα στρώ-



ματα. Αποτελούν συνήθη φαινόμενα στην επικεντρική περιοχή και για την εκδήλωσή τους κυρίαρχο ρόλο παίζουν οι μορφολογικές κλίσεις και ασυνέχειες, ο προσανατολισμός του πρσανούς, η φύση των γεωλογικών σχηματισμών και η αλληλουχία τους, οι υπάρχουσες τεκτονικές ασυνέχειες καθώς και ο βαθμός ανθρώπινης παρέμβασης στο πρσανές.

Η εκδήλωσή τους μπορεί να προκαλέσει σοβαρές βλάβες στις κατασκευές αλλά και τον τραυματισμό ή το θάνατο πολλών ανθρώπων. Σε σεισμό στη Λέσβο (1845, $M=6,7$) βράχια που έπεσαν προκάλεσαν το θάνατο μιας γυναίκας και σοβαρές βλάβες σε 60 σπίτια στο χωριό Βρυσά. Το 1986 στο σεισμό της Καλαμάτας ($M=6,0$) βράχια που έπεσαν από τον Ταύγετο έφραξαν τον οδικό άξονα Σπάρτης - Καλαμάτας για 24 ώρες. Το 1970 σε σεισμό στο Περού ($M=7,9$) αντίστοιχα φαινόμενα προκάλεσαν το θάνατο σε χιλιάδες ανθρώπους.

Οι **καθιζήσεις** και οι **εξάρσεις εδαφών** (εικ. 1.24, 1.25), οι υψομετρικές μεταβολές του εδάφους δηλαδή, είναι άμεσες συνέπειες των ολισθήσεων στα σεισμικά ρήγματα και σε ορισμένες μόνο περιπτώσεις αποτελούν δευτερογενή φαινόμενα που οφείλονται σε άλλα αίτια π.χ. σε κατολισθήσεις.

Οι **ρευστοποιήσεις εδαφών** είναι σύνηθες φαινόμενο που λαμβάνει χώρα σε χαλαρούς, λεπτόκοκκους ιζηματογενείς σχηματισμούς που περιέχουν σημαντική ποσότητα νερού (εικ. 1.26, 1.27).

Οι σχηματισμοί αυτοί χάνουν τη διατμητική τους αντοχή με αποτέλεσμα να αποκτούν παροδικά τη συμπεριφορά "βαρέως ρευστού". Η επιφανειακή εκδήλωση των ρευστοποιήσεων γίνεται με τη μορφή εξογκωμάτων ή βυθισμάτων στην άμμο ή υπόγειων κατολισθήσεων μεταξύ στρωμάτων άμμου ή το συχνότερο με ροή λάσπης στην επιφάνεια του εδάφους η οποία βγαίνει μέσα από εδαφικές ρωγμές. Όπως είναι φανερό, άμεση συνέπεια είναι η απώλεια στήριξης των υπερκείμενων κατασκευών ή των τεχνικών έργων, τα οποία στην κυριολεξία βυθίζονται, ανατρέπονται ή καταρρέουν.

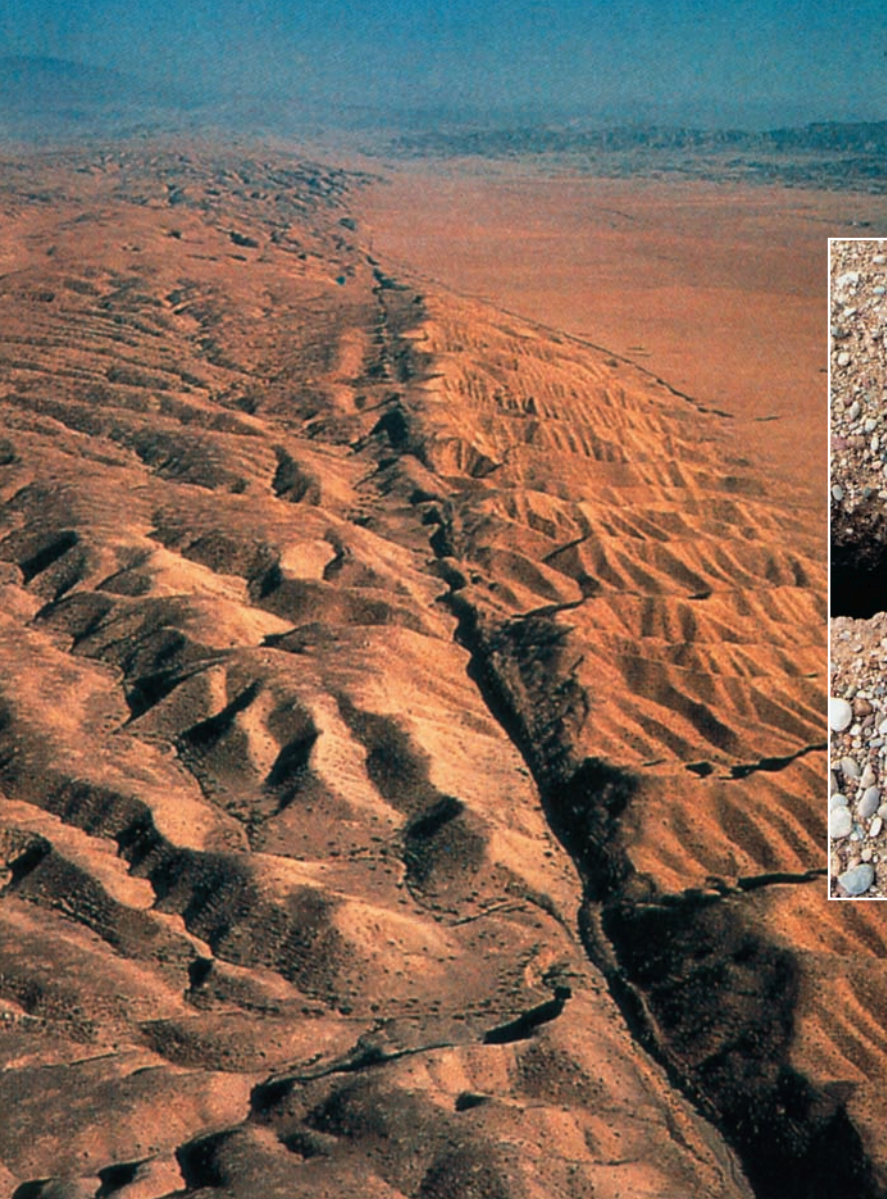


Εικ. 1.25. Γρεβενά - Κοζάνη, σεισμός 1995 ($M=6,6$). Καθίζηση στη γέφυρα του Αλιάκμονα.

Εικ. 1.26. (κάτω) Hanshin - Kobe Ιαπωνία, σεισμός 1995 ($M=7,2$). Εκτεταμένες ρευστοποιήσεις εδαφών (καφέ χρώμα) στο λιμάνι του Kobe.

Εικ. 1.27. (κάτω αριστερά) Βαρθολομιά, σεισμός 1988 ($M=6,0$). Ρευστοποιήσεις στην περιοχή Μπούκα.





Εικ. 1.28. Το ρήγμα του Αγίου Ανδρέα βρίσκεται στην Καλιφόρνια, κατά μήκος του ορίου επαφής της πλάκας του Ειρηνικού με την Βορειο-Αμερικανική πλάκα. Χιλιάδες σεισμοί έχουν γίνει στην περιοχή αυτή (το 1984 καταγράφηκαν 10.000), μερικοί από αυτούς ήταν ιδιαίτερα καταστροφικοί όπως: Los Angeles 1857, San Francisco 1906, Loma Prieta 1989, Northridge 1994.

Στον Ελληνικό χώρο το πρόβλημα των ρευστοποιήσεων κατά τη διάρκεια των σεισμών είναι υπαρκτό σε μερικές περιπτώσεις μόνο για επιστημονική παρατήρηση, ενώ σε άλλες προκαλώντας έντονα προβλήματα, όπως: στην Περαχώρα το 1981, στην Κυλλήνη το 1988, στον Πύργο το 1993 και στο Αίγιο το 1995.

Οι **εδαφικές διαρρήξεις** μπορεί να είναι είτε επιφανειακές εκδηλώσεις των σεισμικών ρηγμάτων -άμεση συνέπεια της διάρρηξης- είτε επιφανειακές ρωγμές, σε χαλαρούς συνήθως σχηματισμούς, που οφείλονται σε τοπικές ανακατατάξεις του εδάφους (δευτερογενή φαινόμενα) (Εικ. 1.28, 1.29).

Οι επιφανειακές εκδηλώσεις των σεισμικών ρηγμάτων έχουν μήκη που μπορούν να φτάσουν έως και δεκάδες ή εκατοντάδες χιλιόμετρα, ορατά βάθη έως και 100m, και πλάτη έως και μερικά μέτρα.

Εικ. 1.29. Βαρθολομιό, σεισμός 1988 ($M=6,0$). Εδαφική ρωγμή.



Οι εδαφικές ρωγμές που εντάσσονται στα δευτερογενή φαινόμενα έχουν περιορισμένο πλάτος που σπάνια υπερβαίνει τα μερικά εκατοστά, ενώ το μήκος τους μπορεί να φτάσει τα μερικά μέτρα.

Οι διαρρήξεις του εδάφους δημιουργούν συνήθως ακόμα μεγαλύτερο πρόβλημα βλαβών σε κτίρια και σε άλλα έργα π.χ. οδοποιία.

Τα **θαλάσσια κύματα βαρύτητας** ή **tsunamis** έχουν μεγάλο σχετικά μήκος κύματος και διαδίδονται στην επιφάνεια της θάλασσας “μεταφέροντας” σημαντικές ποσότητες νερού από το χώρο γένεσης των σεισμών σε άλλους χώρους.

Τα tsunamis είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα όταν πλήττουν παραθαλάσσιες περιοχές προκαλώντας ζημιές σε λιμάνια, πλοία, κατασκευές αλλά και τραυματισμούς ή θανάτους στους κατοίκους των περιοχών αυτών (Εικ. 1.30, 1.31). Στην ανοιχτή θάλασσα δεν είναι επικίνδυνα γιατί το ύψος τους συνήθως δεν ξεπερνά το 1m.

Είναι γνωστό ότι οι χώρες γύρω από την Περιερινική ζώνη είναι αυτές που απειλούνται συχνότερα από τα θαλάσσια αυτά κύματα. Περίπου 370 tsunamis έχουν πλήξει τη ζώνη αυτή από το 1900 - 1980. Το 25% αυτών των γεγονότων σημειώθηκε στο νησιωτικό τόξο της Ιαπωνίας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το tsunami που δημιουργήθηκε από το σεισμό της Χιλής το 1960 και έπληξε τη Χαβάη με ύψος περίπου 11m (61 νεκροί), το Χονσού και το Χοκάιντο της Ιαπωνίας με ύψος 5m (185 νεκροί και αγνοούμενοι).

Το tsunami που δημιουργήθηκε μετά το σεισμό της Σουμάτρας ($M=9,1$), στις 26-12-2004, άφησε πίσω του εκατοντάδες νεκρούς (283.106 άνθρωποι έχασαν τη

ζωή τους από το σεισμό και το τσουνάμι) και πολλές βλάβες στην Ινδονησία, τη Σρι-Λάνκα, την Ινδία, την Ταϊλάνδη, τη Σομαλία, τις Μαλδίβες, τη Μαλαισία, τη Μιανμάρ, την Τανζανία, τις Σεϋχέλλες, την Κένυα κ.ά. Προκάλεσε επίσης βλάβες στη Μαδαγασκάρη, στον Άγιο Μαυρίκιο και έγινε αισθητό στη Μοζαμβίκη, στη Νότια Αφρική, στην Αυστραλία και στην Ανταρκτική.

Στον Ελλαδικό χώρο ο κίνδυνος από τα tsunamis είναι σχετικά μικρός, έστω και αν κατ' επανάληψη έχουν σημειωθεί αντίστοιχα φαινόμενα. Στο σεισμό του 373π.Χ. το tsunami που έπληξε το Δυτ. Κορινθιακό κατέστρεψε δύο σημαντικές πόλεις, την Ελίκη (7km μακριά από το Αίγιο) και τη Βούρα. Το πιο ίσως σημαντικό κύμα βαρύτητας

που έπληξε τον ελληνικό χώρο ήταν αυτό της Αμοργού (1956, σεισμός $M=7,5$). Το κύμα αυτό είχε ύψος 25m στις νοτιοανατολικές ακτές της Αμοργού, 20m στη βορειοδυτική ακτή της Αστυπάλαιας και είχε πολύ μικρότερο ύψος σε άλλες περιοχές του νοτίου Αιγαίου.

Εικ. 1.30. Seward - Αλάσκα, σεισμός 1964 ($M=9,2$). Εκτεταμένες καταστροφές από tsunami.



Εικ. 1.31. Σουμάτρα, σεισμός 2004 ($M=9,1$).

Χωριό κοντά σε ακτή της Σουμάτρας που χτυπήθηκε από το θαλάσσιο κύμα βαρύτητας. Το τσουνάμι αυτό δημιουργήθηκε μετά το σεισμό της 26ης Δεκεμβρίου του 2004 και προκάλεσε περισσότερους τραυματισμούς και θανάτους από οποιοδήποτε άλλο. Το τσουνάμι διέσχισε τον Ειρηνικό και τον Ατλαντικό Ωκεανό και καταγράφηκε τόσο στη Νέα Ζηλανδία όσο και κατά μήκος των δυτικών και ανατολικών ακτών της Νότιας και Βόρειας Αμερικής.

Στο **νερό της ξηράς** μπορεί να παρατηρηθούν ταλαντώσεις του επιφανειακού νερού (π.χ. σε πηγάδια, λίμνες, ποτάμια, λιμάνια) που οφείλονται στη διέλευση σεισμικών κυμάτων καθώς και διαταράξεις του επιφανειακού ή του υπόγειου νερού που προκαλούνται από παραμορφώσεις και μεταθέσεις των γειτονικών πετρωμάτων.

Στη δεύτερη αυτή περίπτωση οι συνέπειες μπορεί να είναι: απομάκρυνση νερού και αποξήρανση ελών - λιμνών - ποταμών, μεταβολή της παροχής των πηγών (αύξηση ή ελάττωση της παροχής - στέρεψη - δημιουργία νέων πηγών), δημιουργία πιδάκων, ακόμα και αλλαγή της κοίτης των ποταμών.

Το 1959 σε σεισμό ($M=6,3$) που έπληξε το Ηράκλειο της Κρήτης παρατηρήθηκε αύξηση της παροχής των πηγών και άνοδος της στάθμης του νερού στα πηγάδια στο Αντισκάριο και στο Λίσταρο. Το 426π.Χ., ο σεισμός στο Μαλιακό κόλπο προκάλεσε αλλαγή της κοίτης του Σπερχειού ποταμού και μείωση της παροχής νερού των πηγών, ενώ ο σεισμός του 597μ.Χ. που έπληξε τις Σέρρες προκάλεσε αλλαγή της κοίτης του ποταμού Στρυμόνα.

1.13. Είναι δυνατή η πρόγνωση των σεισμών;

Η πρόγνωση των σεισμών από πολύ νωρίς αποτέλεσε προσδοκία και επιδίωξη του ανθρώπου ώστε να εξαλειφθεί ο παράγοντας του “ξαφνικού” και “απρόβλεπτου”. Ακόμα και σήμερα συνεχίζει να αποτελεί θέμα συζήτησης και συχνά διαφωνίας μεταξύ των επιστημόνων.

Τι σημαίνει όμως πρόγνωση του σεισμού; Είναι η **γνώση** του **μεγέθους**, του **χρόνου γένεσης** και του **επικέντρου** ενός σεισμού πριν αυτός εκδηλωθεί.

Η πρόγνωση διακρίνεται σε **μακροπρόθεση** όταν ο χρόνος γένεσης του σεισμού ορίζεται σε δεκάδες έτη, **μεσοπρόθεσμη** όταν ο χρόνος γένεσης του σεισμού ορίζεται σε λίγα χρόνια και σε **βραχείας διάρκειας** όταν ο χρόνος γένεσης ορίζεται μέσα στις επόμενες ημέρες, εβδομάδες ή μήνες.

Οι μακροπρόθεσμες προγνώσεις παίζουν σημαντικό ρόλο στη σύνταξη του Χάρτη Ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας του Αντισεισμικού Κανονισμού. Η θέσπιση και η εφαρμογή ασφαλών - επικαιροποιημένων αντισεισμικών κανονισμών οδηγεί στη μείωση των επιπτώσεων του σεισμού και στην προστασία του πληθυσμού από τις σεισμικές καταστροφές.

Στην περίπτωση της μεσοπρόθεσμης πρόγνωσης παρέχεται η δυνατότητα καλύτερης προετοιμασίας της Πολιτείας και των μηχανισμών που εμπλέκονται σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης - παροχής βοήθειας, σύνταξης και εφαρμογής σχεδίων έκτακτης ανάγκης καθώς και εκπαίδευσης του πληθυσμού.





Εικ. 1.32. Tangshan - Κίνα, 1976. Ο σεισμός ($M=7,5$) που έπληξε τη βορειοανατολική Κίνα ήταν από τους πιο καταστροφικούς. Το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού της πόλης Tangshan παγιδεύτηκε κάτω από τα ερείπια των 650.000 κτιρίων που κατέρρευσαν. Σαν από θαύμα όμως, μόνο το 16% των κατοίκων τραυματίστηκε θανάσιμα (περίπου 255.000 νεκροί).

Τέλος, στην περίπτωση της βραχείας διάρκειας πρόγνωσης μπορεί να ληφθούν άμεσα μέτρα προστασίας του πληθυσμού όπως: προσωρινή διακοπή της λειτουργίας βιομηχανιών που μπορεί να είναι επικίνδυνες μετά τον επικείμενο σεισμό (π.χ. πυρηνικά εργοστάσια), ή ακόμα και εκκένωση περιοχών - πόλεων εάν αυτό κριθεί αναγκαίο.

Η πρόγνωση των σεισμών, όπως ήδη αναφέρθηκε, είναι ένα θέμα που παρουσιάζει μεγάλο θεωρητικό αλλά και πρακτικό ενδιαφέρον και αποτελεί ένα είδος πρόκλησης για τους επιστήμονες. Η έρευνα στον τομέα αυτό προχωράει συνεχώς, έχουν γίνει σημαντικά βήματα, οι προσπάθειες όμως συνεχίζονται ώστε να επιτευχθεί ο στόχος.

Οι σεισμολόγοι στην προσπάθειά τους για πρόβλεψη των σεισμών στηρίζονται σε παρατηρήσεις και ερμηνείες διαφορετικών πρόδρομων φαινομένων, σε μελέτη μεταβολών δηλαδή διαφόρων παραμέτρων όπως:

- η σεισμικότητα και οι ιδιομορφίες στη χωροχρονική κατανομή της
- οι παραμορφώσεις του φλοιού της γης (επιμηκύνσεις, ανυψώσεις, καθιζήσεις, μεταβολές κλίσης εδάφους)
- διάφορες γεωφυσικές - γεωχημικές - υδρογεωλογικές παράμετροι όπως π.χ. μεταβολή:
 - της ταχύτητας των σεισμικών κυμάτων
 - της εδαφικής στάθμης
 - του ύψους και της θερμοκρασίας του υπόγειου νερού
 - του μηχανισμού γένεσης των μικρών σεισμών
 - της έντασης του γεωμαγνητικού πεδίου
 - της έντασης του γεωηλεκτρικού πεδίου
 - της έντασης του πεδίου βαρύτητας
 - της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης των πετρωμάτων
 - της περιεκτικότητας του υπόγειου νερού σε ραδόνιο, μεθάνιο, κ.α..

Πολλές φορές τα πρόδρομα των σεισμών φαινόμενα επηρεάζουν και τα ζώα. Αποτελέσματα ερευνών συσχετίζουν τη σεισμική δράση με την εξαφάνιση διαφόρων κατοικίδιων ζώων ή με τη μεταβολή της συμπεριφοράς τους. Μεταβολές στη συμπεριφορά των ζώων παρατηρήθηκαν σε αρκετές περιπτώσεις όπως: το 373π.Χ., πριν το σεισμό ($M=7,0$) που κατέστρεψε την Ελίκη (κοντά στο Αίγιο), οι γάτες, τα ποντίκια και τα φίδια εγκατέλειψαν την περιοχή, καθώς και το 1975 πριν το σεισμό που έπληξε την πόλη Haicheng στην Κίνα παρατηρήθηκε ότι γάτες και σκυλιά μετέφεραν τα μικρά τους έξω από τις φωλιές ενώ ποντίκια σκαρφάλωναν ακόμη και σε καλώδια τηλεφώνου.

Ως παράδειγμα επιτυχούς σεισμικής πρόγνωσης αναφέρεται η προαναφερόμενη περίπτωση του σεισμού στην περιοχή Haicheng της Κίνας (1975). Ασυνήθιστα φαινόμενα, όπως αλλαγές στη συμπεριφορά των ζώων και μεταβολές της στάθμης του νερού στα πηγάδια, οδή-

γησαν τους επιστήμονες στην πρόβλεψη του επερχόμενου σεισμού και την Πολιτεία στην εκκένωση της συγκεκριμένης περιοχής. Ο σεισμός που έγινε το ίδιο κιόλας απόγευμα κατέστρεψε το 90% των κτιρίων. Την επόμενη χρονιά όμως απέτυχαν να προβλέψουν το σεισμό στην περιοχή Tangshan της Κίνας (1976, $M=7,5$) και σκοτώθηκαν περίπου 255.000 άνθρωποι (εικ. 1.32).

1.14. Ελλάδα και σεισμοί

Έχει ήδη επισημανθεί ότι οι περισσότεροι σεισμοί οφείλονται στις κινήσεις των λιθοσφαιρικών πλακών, και κατά συνέπεια οι ζώνες έντονης σεισμικής δράσης ουσιαστικά ταυτίζονται με τις παρυφές των πλακών.

Ο Ελληνικός χώρος βρίσκεται στα όρια επαφής και σύγκλισης της Ευρασιατικής πλάκας με την Αφρικανική, γι' αυτό και είναι χώρος μεγάλης σεισμικότητας. Πρέπει στο σημείο αυτό να αναφερθεί ότι η **σεισμικότητα** ενός τόπου καθορίζεται από τη συχνότητα εμφάνισης των σεισμών και από τα μεγέθη τους. Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία η Ελλάδα, από άποψη σεισμικότητας, κατέχει την πρώτη θέση στη Μεσόγειο και στην Ευρώπη καθώς και την έκτη θέση σε παγκόσμιο επίπεδο, μετά την Ιαπωνία, Vanuatu (Νέες Εβρίδες), Περού, νησιά Σολομώντος και Χιλή.

Βασικό τεκτονικό γνώρισμα του Ελληνικού χώρου είναι το **Ελληνικό τόξο**. Το Ελληνικό τόξο (τόξο του Αιγαίου) αποτελεί το όριο επαφής της Ευρασιατικής λιθοσφαιρικής πλάκας, τμήμα της οποίας είναι το Αιγαίο, και της Αφρικανικής πλάκας. Οι δύο λιθοσφαιρι-

κές πλάκες συγκλίνουν στην περιοχή αυτή με σχετική ταχύτητα 2,5 εκατοστά το χρόνο, με συνέπεια την καταβύθιση της ωκεάνιας πλάκας της Ανάτ. Μεσογείου (Αφρικανικής), λόγω μεγαλύτερης πυκνότητας, κάτω από την ηπειρωτική πλάκα του Αιγαίου.

Το τόξο που δημιουργείται στη περίπτωση αυτή αποτελείται από την ελληνική τάφρο, το νησιωτικό τόξο, την οπισθοτάφρο και το ηφαιστειακό τόξο (εικ. 1.33, 1.34).

Η **τάφρος** δημιουργείται κατά μήκος της επαφής των δύο πλακών. Πρόκειται για ένα σύστημα τάφρων, μία σειρά από βαθιές θαλάσσιες λεκάνες, από τη Ρόδο έως και την Κεφαλονιά (γνωστή και ως ελληνική διάυλος). Το μέγιστο βάθος της εντοπίστηκε νοτιοδυτικά της Πελοποννήσου στο Ιόνιο πέλαγος (βάθος περίπου 4.500m). Αυτό είναι το βαθύτερο σημείο της Μεσογείου.

Το **νησιωτικό τόξο** αποτελείται από μία σειρά διαδοχικών νησιών (Ρόδος, Κρήτη, Κύθηρα κ.ά.) και από την Πελοπόννησο. Τοποθετείται παράλληλα ως προς την τάφρο και σε μικρή απόσταση από αυτήν. Το τόξο αυτό δημιουργείται από την παραμόρφωση και την ανύψωση πετρωμάτων (κυρίως ιζηματογενών) του περιθωρίου της Ευρασιατικής πλάκας και περιλαμβάνει πολύ παραμορφωμένα πετρώματα της Αλπικής πτύχωσης.

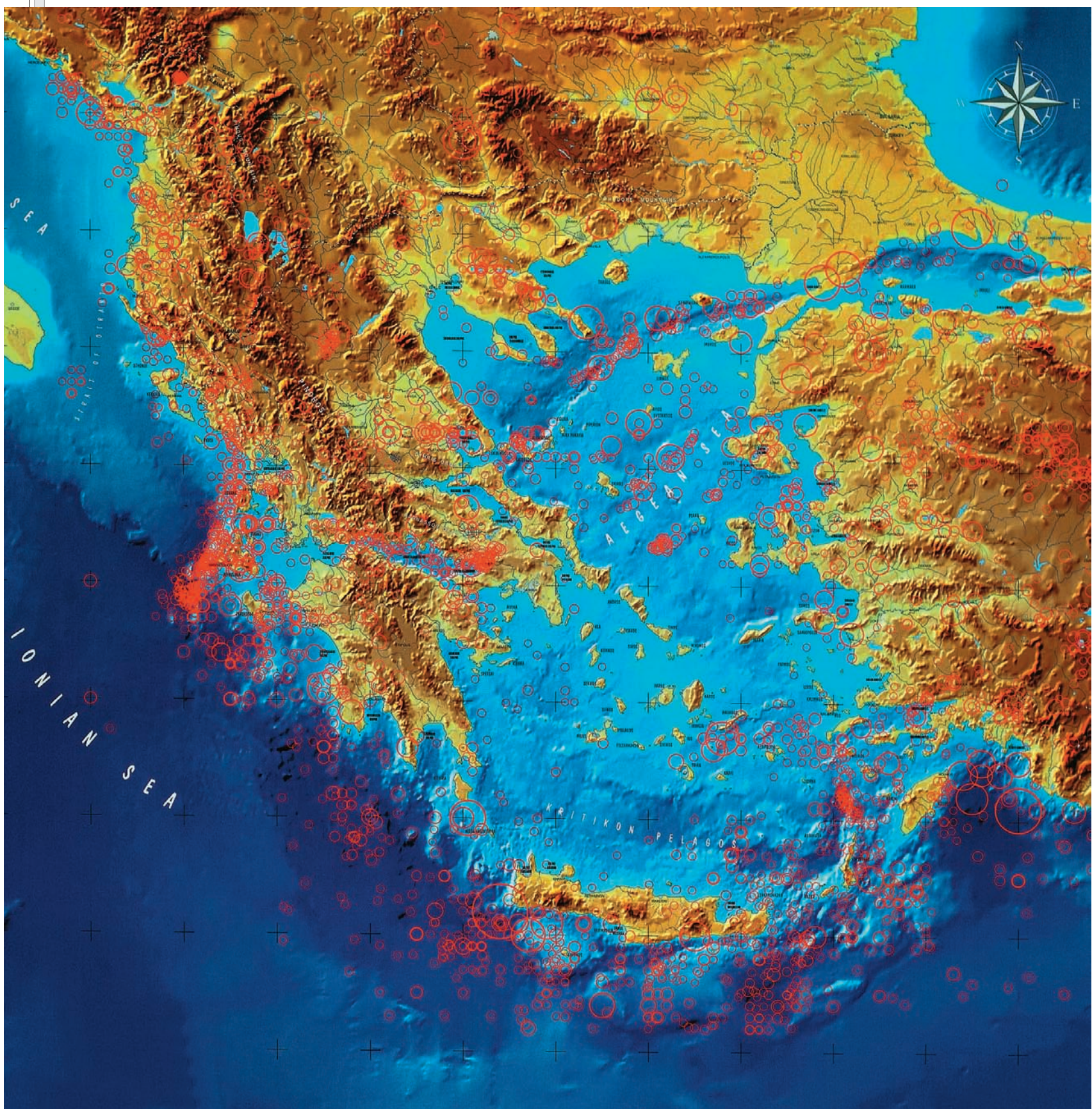
Η **οπισθοτάφρος** είναι μία θαλάσσια λεκάνη (Κρητικό πέλαγος), μικρότερου βάθους από την τάφρο. Το μέγιστο βάθος της φτάνει τα 2.000m περίπου. Η λεκάνη αυτή βρίσκεται μπροστά από το νησιωτικό τόξο και πάνω στην Ευρασιατική πλάκα.



Εικ. 1.33. Σχηματική απεικόνιση (τομή) του ελληνικού τόξου (Παπανικολάου Δ., 1998).



Εικ. 1.34. Το ελληνικό τόξο (Παπανικολάου Δ., 1998).



Εικ. 1.35. Κατανομή των επικέντρων των επιφανειακών σεισμών στον ελληνικό χώρο:

550π.Χ. - 1995 $M = 8,0 - 8,3$

1845 - 1995 $M = 6,5 - 7,2$

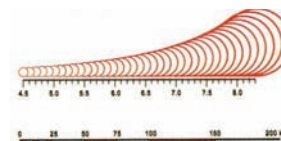
1950 - 1995 $M = 5,0 - 5,4$

(Papazachos B.C. et al., 1997).

1500 - 1995 $M = 7,3 - 7,8$

1911 - 1995 $M = 5,5 - 6,4$

1970 - 1995 $M = 4,5 - 4,9$



Εικ. 1.36. Σχηματική αποτύπωση των δυνάμεων που ασκούνται στη λιθόσφαιρα του Αιγαίου. Οι συμπιεστικές δυνάμεις Σ_1 , Σ_2 και Σ_3 που ασκούν οι γειτονικές λιθοσφαιρικές πλάκες στη μικρόπλακα του Αιγαίου απεικονίζονται με τα κόκκινα βέλη. Οι εφελκυστικές δυνάμεις που ασκούνται στην κάτω επιφάνεια της λιθόσφαιρας με τα κίτρινα βέλη (Παπαζάχος Β., 1989).



Τέλος, το **ηφαιστειακό τόξο** αποτελείται από διαδοχικά, ενεργά και ανενεργά ηφαιστεια (Σουσαάκι, Μέθανα, Μήλος, Σαντορίνη, Νίσυρος). Η δημιουργία τους οφείλεται σε ανάττηξη υλικού της υποβυθιζόμενης Αφρικανικής πλάκας. Κατά την άνοδό του το υλικό αυτό διαπερνά την Ευρασιατική πλάκα και σχηματίζει τα ηφαιστεια.

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα τελευταία χρόνια έχει δρομολογηθεί, μέσω ερευνητικών προγραμμάτων, μία σειρά βαθιών γεωτρήσεων και μία σειρά σεισμικών τομών με υποθαλάσσιους σειсмоγράφους στην περιοχή του Ν. Αιγαίου και έτσι οι επιστήμονες ελπίζουν ότι σύντομα θα έχουν στη διάθεσή τους νέα, πληρέστερα στοιχεία σχετικά με την κίνηση των πλακών αλλά και τη δομή και την εξέλιξη του ελληνικού τόξου γενικότερα.

Όσον αφορά την περιοχή του Β. Αιγαίου, βασικό της μορφολογικό χαρακτηριστικό είναι η **τάφρος του Βορείου Αιγαίου**, με βάθος 1.500m περίπου.

Μία γεωγραφική κατανομή των επικέντρων των σεισμών στον ελληνικό χώρο οδηγεί στις εξής παρατηρήσεις:

- **τα επίκεντρα των επιφανειακών σεισμών** στον Ελληνικό χώρο και τις γύρω περιοχές (εικ. 1.35), εμφανίζουν σημαντική διασπορά. Παρόλα αυτά όμως, τα περισσότερα διατάσσονται κατά μήκος μίας τοξοειδούς ζώνης στην περιοχή του ελληνικού τόξου (Δ. Αλβανία - νησιά Ιονίου πελάγους - Κρήτη - Κάρπαθος - Ρόδος - Ν.Δ. Τουρκία). Σημαντική σεισμική δραστηριότητα παρατηρείται επίσης και στην περιοχή του Β. Αιγαίου και της Β.Δ. Ανατολίας
- **οι σεισμοί ενδιάμεσου βάθους** εκδηλώνονται στην περιοχή του Ν. Αιγαίου. Τα επίκεντρα διατάσσονται

σε μία ζώνη παράλληλη με το ελληνικό τόξο, ενώ οι εστίες βρίσκονται πάνω στη ζώνη Benioff η οποία κλίνει με γωνία περίπου 35° από το κυρτό προς το κοίλο μέρος του τόξου, από την Ανάτ. Μεσόγειο προς το Αιγαίο πέλαγος. Τα εστιακά τους βάθη φτάνουν έως τα 160 km περίπου.

Το θέμα της σεισμικής δραστηριότητας στο Αιγαίο και των αιτίων της είναι αρκετά πολύπλοκο. Τα διαθέσιμα στοιχεία δείχνουν ότι η σεισμική δραστηριότητα στο Αιγαίο είναι αυξημένη εξαιτίας της ύπαρξης (εικ. 1.36):

- **συμπιεστικής δύναμης που οφείλεται στη σύγκλιση της Αφρικανικής - Ανάτ. Μεσογείου λιθοσφαιρικής πλάκας με την αντίστοιχη Ευρασιατική - Αιγαίο.** Η σύγκλιση αυτή προκαλεί τους επιφανειακούς σεισμούς κατά μήκος του Ελληνικού τόξου καθώς και τους σεισμούς ενδιάμεσου βάθους στο Ν. Αιγαίο
- **συμπιεστικής δύναμης που οφείλεται στην αριστερόστροφη περιστροφή της Αδριατικής - Αιολικής πλάκας.** Η περιστροφή προκαλεί τη γένεση επιφανειακών σεισμών κατά μήκος των δυτικών ακτών της Κεντρικής Ελλάδας, της Αλβανίας κ.ά.
- **συμπιεστικής δύναμης που οφείλεται κυρίως στην κίνηση της Τουρκικής - Ανατολίας λιθοσφαιρικής πλάκας προς τα δυτικά.** Η κίνηση αυτή δημιούργησε το δεξιόστροφο ρήγμα της Β. Ανατολίας και τους δύο κλάδους του (ένα σύνολο παράλληλων ρηγμάτων) που φτάνουν μέχρι το Βόρειο Αιγαίο
- **οριζόντιων εφελκυστικών δυνάμεων που έχουν διεύθυνση βορρά - νότου** και αναπτύσσονται στην κάτω επιφάνεια της πλάκας του Αιγαίου εξαιτίας της οριζόντιας κίνησης των ρευμάτων μεταφοράς.

