



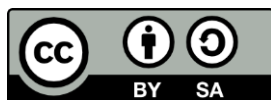
**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ  
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΤΕ**

# **ΓΕΝΙΚΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ**

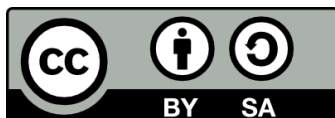
**ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ  
κ. ΠΑΠΑΘΕΟΔΩΡΟΥ**

**ΣΕΡΡΕΣ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2015**



## Άδειες Χρήσης

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons. Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Το έργο αυτό αδειοδοτείται από την Creative Commons Αναφορά Δημιουργού - Παρόμοια Διανομή 4.0 Διεθνές Άδεια. Για να δείτε ένα αντίγραφο της άδειας αυτής, επισκεφτείτε <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.el>.

## Χρηματοδότηση

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.

Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.

Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



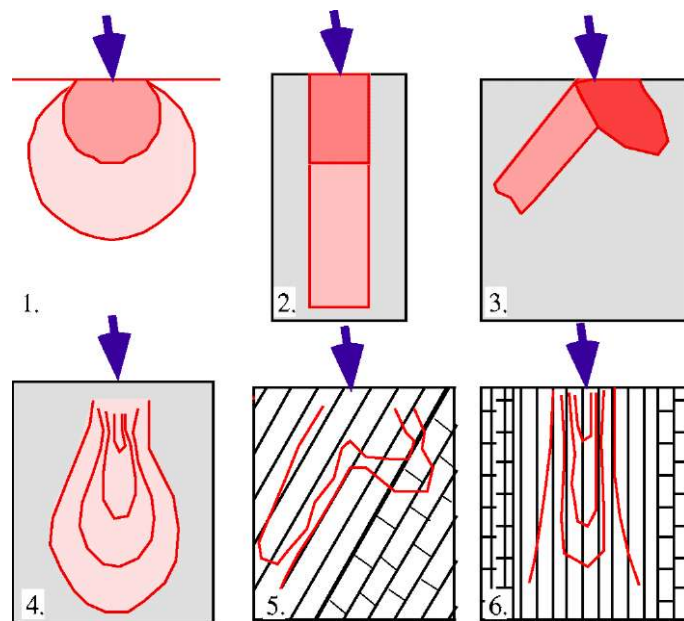
γεωμετρικά και φυσικά χαρακτηριστικά των ασυνεχειών.

Σημαντικότερο επίσης ρόλο παίζει το υπόγειο νερό που κινείται μέσα από τις ασυνέχειες.

Η μείωση της αντοχής της μάζας του ασυνεχούς πετρώματος (βραχώμαζα) σε σχέση με αυτήν του άρρηκτου πετρώματος εξαιτίας των ασυνεχειών της πρώτης, οφείλεται στο γεγονός ότι οι ασυνέχειες δεν μπορούν να μεταφέρουν εφελκυστικές τάσεις κάθετα προς την επιφάνειά τους. Επί πλέον, η διατμητική αντοχή κατά μήκος της επιφάνειας μίας ασυνέχειας είναι μειωμένη σε σχέση με εκείνη του άρρηκτου πετρώματος, με αποτέλεσμα την ευκολότερη αστοχία του πετρώματος κατά τη διεύθυνση αυτή.

Η παρουσία ασυνεχειών παίζει σημαντικό ρόλο και στην κατανομή των τάσεων μέσα στο πέτρωμα. Κατά τη θεμελίωση τεχνικών έργων σε βραχώδεις σχηματισμούς θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη για τον προσδιορισμό της φέρουσας ικανότητας του βράχου.

Ο αριθμός των ασυνεχειών σε ένα πέτρωμα καθώς και οι διαστάσεις τους (εύρος ανοίγματος, πλάτος, μήκος) μειώνονται προς τα βαθύτερα σημεία από την επιφάνεια του εδάφους. Το γεγονός αυτό συμβαίνει εξαιτίας της λιθοστατικής πίεσης που ασκείται στο βάθος και δεν επιτρέπει τη διεύρυνσή τους.



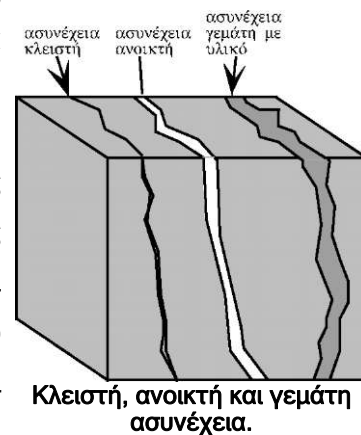
Επίδραση του προσανατολισμού των ασυνεχειών στην κατανομή των τάσεων σε βραχώδεις σχηματισμούς.

Αντίθετα, στην επιφάνεια του πετρώματος, οι παράγοντες της αποσάθρωσης επενεργούν συνεχώς, διευρύνοντας τις ασυνέχειες και δημιουργώντας νέες.

#### 4.5. Ασυνέχειες και τεχνικά προβλήματα

Η παρουσία υπόγειων νερών μέσα σε διαρρηγμένα πετρώματα, εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των διακλάσεων και την παρουσία υλικού πληρώσεως.

Σαν υλικό πληρώσεως θεωρείται το υλικό που γεμίζει και φράζει τις ασυνέχειες των πετρωμάτων και συνήθως προέρχεται από την αποσάθρωση των πετρογενετικών τους ορυκτών. Το υλικό αυτό παρασύρεται από το νερό της βροχής που κατεισδύει (κινείται κατακόρυφα προς τα κάτω) στο πέτρωμα μέσω των ασυνεχειών. Όταν το άνοιγμα των ασυνεχειών είναι πολύ μικρό, το "φερτό" αυτό υλικό αποτίθεται φράζοντάς τες. Υλικό πληρώσεως είναι και το ανθρακικό ασβέστιο που μερικές φορές αποτίθεται από τα υπόγεια νερά επάνω στα τοιχώματα των διακλάσεων, μειώνοντας το εύρος ανοίγματος τους.



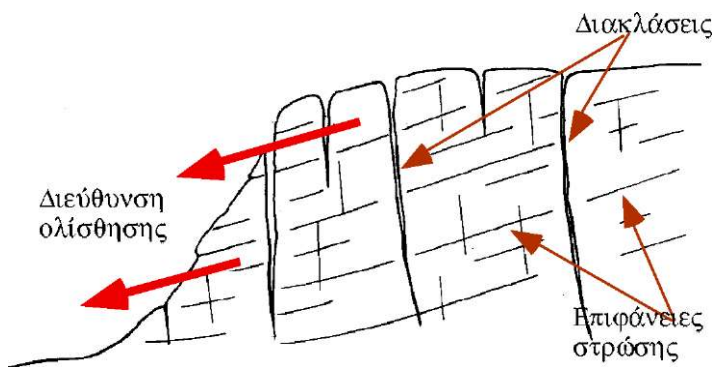
Επειδή τα προϊόντα της αποσάθρωσης είναι κυρίως αργιλικής φύσης, το υλικό που γεμίζει τις ασυνέχειες είναι συνήθως αδιαπέρατο από το νερό. Από το σημείο λοιπόν εκείνο και κάτω, το νερό της βροχής δεν μπορεί να διεισδύσει στο πέτρωμα μέσω των ασυνεχειών (εννοείται ότι επειδή όλες οι ασυνέχειες ενός πετρώματος δεν έχουν τις ίδιες διαστάσεις, τα παραπάνω αναφέρονται στο μεγαλύτερο πλήθος των ασυνεχειών).

Με τον τρόπο που περιγράφηκε πιο πάνω, δημιουργείται ακόμη και σε θεωρητικά αδιαπέρατα από το νερό πετρώματα, ένας επιφανειακός υδροφόρος ορίζοντας. Το νερό μέσα σ' αυτόν κινείται λόγω βαρύτητας, κατά τη διεύθυνση κλίσης του δαπέδου της ζώνης αποσάθρωσης. Η παρουσία του υδροφόρου αυτού ορίζοντα μέσα στους επιφανειακούς γεωλογικούς σχηματισμούς, δημιουργεί στην περίπτωση θεμελίωσης τεχνικών έργων, σημαντικά προβλήματα. Σε ανοικτές εκσκαφές δημιουργούνται συχνά μεγάλα προβλήματα ευστάθειας των πρανών, λόγω της πυκνότητας των ασυνεχειών και του προσανατολισμού τους σε σχέση με τον προσανατολισμό του ελεύθερου πρανού.

Καθώς οι ασυνέχειες διευκολύνουν την κίνηση των υπόγειων νερών, επιδεινώνουν τα προβλήματα ευστάθειας των πρανών, που εμφανίζονται σε αυτούς τους

γεωλογικούς σχηματισμούς.

Η παρουσία των διακλάσεων παίζει επίσης σημαντικό ρόλο και στην εξέλιξη της αποσάθρωσης. Οι διακλάσεις διευκολύνουν τα υπόγεια νερά να διεισδύσουν βαθύτερα στο εσωτερικό του πετρώματος. Έτσι τα ασθενή οξέα που βρίσκονται εν διαλύσει στο υπόγειο νερό, έρχονται σε επαφή με μεγαλύτερη επιφάνεια του πετρώματος αποσθρώνοντας ταυτόχρονα, μεγαλύτερο μέρος του. Με τον τρόπο αυτό επιταχύνεται η διαδικασία της αποσάθρωσης, η οποία με τη σειρά της έχει ως αποτέλεσμα και τη διεύρυνση των ασυνεχειών. Δημιουργείται έτσι ένας φαύλος κύκλος, που κλείνει με την ολοκληρωτική καταστροφή του πετρώματος.



#### 4.6. Αποτύπωση των ασυνεχειών

Γιά τη μελέτη και την κατασκευή οποιουδήποτε τεχνικού έργου σε περιοχή που δομείται από βραχώδεις σχηματισμούς πρέπει προηγουμένως να προσδιορισθούν τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του άρρηκτου πετρώματος διαφέρουν κατά πολύ από τα αντίστοιχα του διαρρηγμένου, εξαιτίας της παρουσίας ασυνεχειών. Η επίδραση αυτή της παρουσίας ασυνεχειών εξαρτάται από τη μορφή τους, τα φυσικά τους χαρακτηριστικά, την πυκνότητά τους και τον προσανατολισμό τους. Γιά το λόγο αυτό είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός των παραπάνω παραμέτρων των ασυνεχειών.

Η αποτύπωση των ασυνεχειών γίνεται σε διάφορες θέσεις της περιοχής του τεχνικού έργου, με τη βοήθεια μετροταινίας και γεωλογικής πυξίδας. Τα στοιχεία που καταγράφονται είναι:

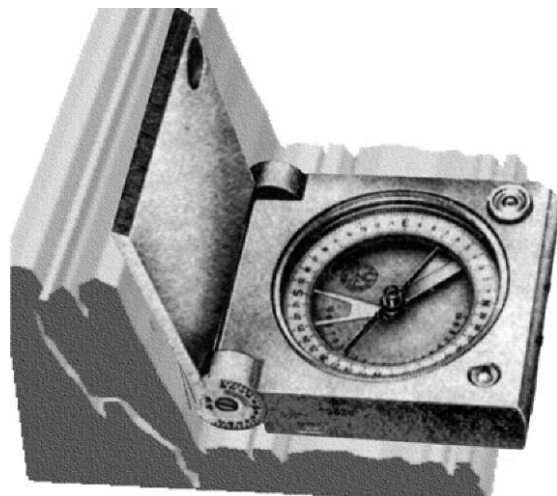
ο προσανατολισμός των ασυνεχειών, που καθορίζεται με βάση τα γεωμετρικά τους στοιχεία (παράταξη, κλίση, διεύθυνση κλίσης). Η κατανομή τους στο χώρο, που καθορίζεται με βάση τη μέση απόσταση

μεταξύ διαδοχικών ασυνεχειών και λέγεται συχνότητα. Τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά (ορατό μήκος, εύρος ανοίγματος). Αλλα χαρακτηριστικά (σχήμα, τραχύτητα παρειών, παρουσία και είδος υλικού πληρώσεως). Με βάση το σχήμα τους οι ασυνέχειες χαρακτηρίζονται ως επίπεδες, καμπύλες ή ανώμαλες ενώ με βάση την τραχύτητα των παρειών ως λείες ή τραχείες.

Ο προσανατολισμός των ασυνεχειών καθορίζεται με βάση τα γεωμετρικά τους στοιχεία τα οποία είναι η διεύθυνσή τους (η διεύθυνση της παράταξής τους), η γωνία κλίσης και η διεύθυνση κλίσης τους. Τα γεωμετρικά αυτά στοιχεία προσδιορίζονται με τη βοήθεια της γεωλογικής πυξίδας. Η πλέον εύχρηστη και συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη είναι η γεωλογική πυξίδα τύπου Clar με την οποία μετράται η γωνία κλίσης και η διεύθυνση κλίσης του επιπέδου της ασυνέχειας. Η διεύθυνσή του (γωνία παράταξης) υπολογίζεται στη συνέχεια εύκολα, αφού η διεύθυνση της παράταξης είναι κάθετη στη διεύθυνση κλίσης.

Οι ασυνέχειες μιάς βραχώδους μάζας τη διαχωρίζουν σε στοιχειώδεις όγκους. Για το λόγο αυτό, η πυκνότητα των ασυνεχειών αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την εκτίμηση της τεχνικής συμπεριφοράς της, αφού καθορίζει το μέγεθος των στοιχειωδών όγκων που την αποτελούν. Το μέτρο της πυκνότητας δίδεται από τη συχνότητα των ασυνεχειών και εκφράζεται ως αριθμός ασυνεχειών ανά μονάδα μήκους (συνήθως ανά μέτρο).

Στην περίπτωση που υπάρχουν δεδομένα γεωτρήσεων, η πυκνότητα εκφράζεται από το δείκτη θραύσεως (fracture index ή If) που ορίζεται ως ο αριθμός των θραύσεων ανά μέτρο μήκους πυρήνα της γεώτρησης.



Μέτρηση των γεωμετρικών στοιχείων προσανατολισμού των επιπέδων ασυνεχειών, με γεωλογική πυξίδα Clar.

Ενας ακόμη δείκτης της πυκνότητας των ασυνεχειών που προκύπτει από δεδομένα

γεωτρήσεων είναι ο δείκτης RQD (Rock Quality Designation).

Αυτός προσδιορίζεται από το επί τοις εκατό ποσοστό των κομματιών που είναι μεγαλύτερα από 10cm προς το συνολικό μήκος του πυρήνα της γεώτρησης. Εάν δηλαδή υποθεθεί ότι σε μία γεώτρηση με μήκος 12m και μήκος ληφθέντος πυρήνα 10m το συνολικό μήκος των μεγαλύτερων από 10cm κομματιών ήταν 7.5m, τότε το RQD ισούται με 75%  $((7.5/10)*100)$ .

Χαρακτηρισμός βραχώδους μάζας	Απόσταση μεταξύ ασυνεχειών (m)	Δείκτης θραύσεως (m-1)	Ταξινόμηση Terzaghi
Στερεή	>3		1
Συμπαγής	1-3	<1	2
Ογκοτεμαχισμένη	0.3-1	1-3	4-5
Σπασμένη	0.05-0.3	3-20	6
Θρυμματισμένη	<0.05	>20	7

Ταξινόμηση ασυνεχειών με βάση τη συχνότητα (Terzaghi, 1965 και Deere, 1968).

RQD	Ποιότητα βραχώδους σχηματισμού
0-25	Πολύ κακή
25-50	Κακή
50-75	Μέτρια
75-90	Καλή
90-100	Αριστη

Ποιοτική κατάταξη βραχωδών σχηματισμών κατά Deere (1966).

**ΤΟ ΠΕΜΠΤΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΧΕΙ ΑΦΑΙΡΕΘΕΙ ΕΠΕΙΔΗ ΕΙΝΑ ΕΚΤΟΣ ΥΛΗΣ**



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ**

### **ΤΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΩΣ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ**

Τα πετρώματα χρησιμοποιούνται ως δομικά υλικά σε όλες τις κατασκευαστικές εργασίες των τεχνικών έργων. Τα φυσικά και τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά καθορίζουν και την απόδοσή τους στις διάφορες χρήσεις. Τα χαρακτηριστικά αυτά ελέγχονται από την ορυκτολογική τους σύσταση, τον ιστό τους, τις μηχανικές καταπονήσεις που έχουν υποστεί ως γεωλογικοί σχηματισμοί και τέλος από την κατάσταση τους από άποψη αποσάθρωσης. Είναι συνεπώς δυνατόν με την αξιολόγηση των παραμέτρων αυτών, να γίνεται η βέλτιστη επιλογή πετρωμάτων προκειμένου να χρησιμοποιούνται αυτά με τη μεγαλύτερη δυνατή αποδοτικότητα.

#### **6.1. Παράγοντες που επηρεάζουν τη δυνατότητα χρήσης των πετρωμάτων**

##### **6.1.1. Δράση του παγετού**

Όταν ένα πέτρωμα που χρησιμοποιείται σε εξωτερικές χρήσεις είναι κορεσμένο σε νερό, το πάγωμα του νερού δημιουργεί εφελκυστικές τάσεις στη μάζα του με τελικό αποτέλεσμα τη θραύση του πετρώματος.

Η δράση του παγετού εξαρτάται από το βαθμό κορεσμού και τις διαστάσεις των πόρων του πετρώματος. Επειδή ο βαθμός κορεσμού σε πετρώματα σπάνια φθάνει το 100%, η δράση του παγετού προκαλεί περιορισμένες μόνο θραύσεις της μάζας του πετρώματος. Από την άλλη πλευρά, πετρώματα με μεγάλους πόρους επιτρέπουν στο νερό να παγώσει χωρίς να υποστούν θραύση της μάζας τους.

Τα πετρώματα μετά την εξόρυξή τους και για ορισμένο χρονικό διάστημα περιέχουν συγκροτούμενο νερό στη μάζα τους. Το νερό αυτό που δεν έχει σχέση με τη φυσική υγρασία των πετρωμάτων, μπορεί να προκαλέσει ρωγμές στη μάζα τους εξαιτίας του παγετού. Για τον λόγο αυτόν, δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται πρόσφατα εξορυγμένα υλικά αλλά θα πρέπει αυτά να αφήνονται για ορισμένο χρονικό διάστημα προκειμένου να αποβάλουν το συγκρατημένο νερό τους.

Επειδή τα σχιστοφυή πετρώματα διογκώνονται και αποχωρίζονται σε φύλλα όταν το νερό παγώσει στις επιφάνειες σχιστότητας, η χρήση τους σε επικαλύψεις κατακόρυφων επιφανειών θα πρέπει να αποφεύγεται.

Ασβεστόλιθοι με ενστρώσεις αυξημένης περιεκτικότητας σε άργιλο όπως και οποιοδήποτε άλλο πέτρωμα με ορυκτά που προσροφούν νερό (αργιλοψαμμίτες, μάργες, αργιλικό σχιστόλιθοι) δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε εξωτερικές χρήσεις.

Προσοχή πρέπει να δοθεί στο γεγονός ότι η παρατήρηση αυτή δεν αφορά μόνο τα πετρογενετικά ορυκτά που αποτελούν το πέτρωμα αλλά και αυτά που προκύπτουν από τη δράση της αποσάθρωσης σ' αυτό.

### **6.1.2. Χημική καταστροφή**

Οι ρύποι της ατμόσφαιρας είναι ο κυρίαρχος παράγοντας καταστροφής των δομικών λίθων των τεχνικών έργων. Το διοξείδιο του άνθρακα, ( $CO_2$ ), το διοξείδιο του θείου ( $SO_2$ ) και το τριοξείδιο του θείου ( $SO_3$ ) είναι οι κύριοι ατμοσφαιρικοί ρύποι. Το τελευταίο μάλιστα, δημιουργεί με την υγρασία της ατμόσφαιρας θειικό οξύ και προσβάλλει τα ορυκτά συστατικά των πετρωμάτων.

Ευκολότερα προσβάλλεται το ανθρακικό ασβέστιο ( $CaCO_3$ ), που αποτελεί το κύριο συστατικό των ανθρακικών πετρωμάτων (ασβεστόλιθος, μάρμαρο, δολομίτης, τραβερτίνης) και περιέχεται σε πολλά άλλα (κροκαλοπαγή, ασβεστοψαμμίτες κ.λ.π).

Προσβάλλονται επίσης και άλλα ορυκτά όπως οι άστριοι και ο βιοτίτης που συμμετέχουν στο σχηματισμό του γρανίτη, του γρανοδιορίτη και άλλων πυριγενών και μεταμορφωμένων πετρωμάτων. Η χημική προσβολή των ορυκτών αυτών εκδηλώνεται σαν θάμπωμα των κρυστάλλων των αστρίων και εμφάνιση κηλίδων "σκουριάς" λόγω της προσβολής του βιοτίτη με αποτέλεσμα το πέτρωμα να χάνει τη γυαλάδα του και να εμφανίζει λεκέδες στην επιφάνειά του.

### **6.1.3. Φυσική καταστροφή**

Η καταστροφή των πετρωμάτων συντελείται πολλές φορές εξαιτίας της κρυστάλλωσης αλάτων μέσα στους πόρους τους. Το νερό της βροχής περιέχει διάφορα άλατα και καθώς αυτό εξατμίζεται από τους πόρους του πετρώματος, τα άλατα κρυσταλλώνονται και ασκούν εφελκυστικές τάσεις με αποτέλεσμα τη θραύση και τη σταδιακή αποσύνθεση του πετρώματος. Η κρυστάλλωση των αλάτων εμφανίζεται με τη μορφή λευκών συνήθως κηλίδων στην επιφάνεια των δομικών λίθων.

Η θέρμανση και η ψύξη της επιφάνειας των δομικών λίθων κατά τη διάρκεια του 24ώρου μπορεί να καταστρέψει τα πετρώματα, ιδιαίτερα όταν αυτά περιέχουν τον ασβεστίτη ή τους αστρίους ως κύρια ορυκτά συστατικά. Το αίτιο έχει σχέση με την ανισοτροπία των κρυστάλλων των ορυκτών (κεφάλαιο 1). Αυτό που συμβαίνει όταν ένας κρύσταλλος ασβεστίτη θερμανθεί, είναι ότι αυτός διαστέλλεται προς την κατεύθυνση ενός κρυσταλλογραφικού του άξονα (του c) και συστέλλεται σε κατεύθυνση κάθετη προς αυτή. Αντίστοιχα η θερμική διαστολή σε κάποιο κρύσταλλο αστρίου είναι 12 φορές μεγαλύτερη προς την κατεύθυνση κάποιου κρυσταλλογραφικού του άξονα σε σχέση με τους άλλους.

Η διαφορά επίσης της θερμικής διαστολής μεταξύ των ορυκτών που αποτελούν το πέτρωμα, έχει σαν συνέπεια τον αποχωρισμό των κρυστάλλων μεταξύ τους και τη χαλάρωση του πετρώματος. Η δράση αυτή εμφανίζεται σαν φούσκωμα στους δομικούς λίθους από γρανίτη ενώ στο μάρμαρο σαν αποτριβή των κρυστάλλων της επιφάνειάς του με τη μορφή κόκκων ζάχαρης.

Οι μεταβολές της θερμοκρασίας προκαλούν πολλές φορές αποφλοιώση των δομικών λίθων ιδιαίτερα στους γρανίτες και στα πετρώματα με σχιστοφυή ιστό.

## **6.2. Τα πετρώματα ως αδρανή για παρασκευή σκυροδέματος**

Η χρήση των πετρωμάτων ως αδρανών υλικών στην παρασκευή σκυροδέματος και άλλων τύπων υλικών είναι ευρύτατη. Η καταλληλότητα των πετρωμάτων για χρήση ως αδρανών ελέγχεται από τα φυσικά και τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά και από την κατάσταση από αποψη αποσάθρωσης.

Η καταλληλότητα των αδρανών για χρήση στην παραγωγή σκυροδέματος εκτός από τα παραπάνω, εξαρτάται και από άλλες παραμέτρους όπως είναι το σχήμα τους, η υφή της επιφάνειάς τους, η ανθεκτικότητά τους και τέλος κάποια φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά από τα οποία εξαρτάται η συμπεριφορά τους έναντι του τσιμέντου.

Το σχήμα των αδρανών παίζει σημαντικό ρόλο στην παρασκευή σκυροδέματος αφού καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τόσο την ευκολία παρασκευής και χρησιμοποίησής του όσο και την ομοιογένειά του. Αδρανή με επίπεδο ή επίμηκες σχήμα, μειώνουν την ευκολία παρασκευής και χρησιμοποίησης του σκυροδέματος με αποτέλεσμα να απαιτείται μεγαλύτερη ποσότητα νερού και τσιμέντου για την παραγωγή του. Επί πλέον ο επιλεκτικός

προσανατολισμός τους δημιουργεί ανισοτροπία των φυσικών και κυρίως των μηχανικών χαρακτηριστικών του σκυροδέματος.

Αδρανή με γωνιώδες σχήμα και οξείες ακμές δημιουργούν την ανάγκη για μεγαλύτερη ποσότητα τσιμέντου στο μίγμα του σκυροδέματος.

Το σχήμα των αδρανών που προκύπτουν από τη θραύση ενός πετρώματος εξαρτάται από τον ιστό του πετρώματος, από την παρουσία μικρορωγμών στη μάζα του και από τα ορυκτά του συστατικά. Εάν από το πέτρωμα απουσιάζουν προϋπάρχουσες επιφάνειες θραύσης, είναι πολύ πιθανό τα αδρανή που θα προκύψουν από τη θραύση του να έχουν περίπου ίσες διαστάσεις.

Από τα πετρογενετικά ορυκτά, ο χαλαζίας δεν παρουσιάζει σαφή σχισμό και για το λόγο αυτό οι κόκκοι του θραύονται σε τεμάχια ίσων διαστάσεων. Οι άστριοι που παρουσιάζουν σαφή σχισμό κατά μήκος δύο κρυσταλλικών εδρών τους, θραύονται σχηματίζοντας πλακοειδή τεμάχια.

Ο γρανίτης και τα άλλα πλουτώνια πυριγενή πετρώματα καθώς και ο χαλαζίτης από τα ιζηματογενή, δίνουν αδρανή με ίσες διαστάσεις κομματιών.

Η στρωσιγενής μορφή πολλών πετρωμάτων και ο σχιστοφυής ιστός άλλων έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή από αυτά, αδρανών με επίμηκες ή πλακοειδές σχήμα. Έτσι οι σχιστόλιθοι, οι γνεύσιοι και όλα τα πετρώματα που περιέχουν υψηλό ποσοστό μαρμαρυγιών, παρέχουν αδρανή με σχήμα λεπτών πλακών.

Αδρανή με σχήμα φλοιών δημιουργούνται συνήθως κατά τη θραύση πολύ σκληρών και εύθραυστων πετρωμάτων (π.χ. πυριγενών ηφαιστειακών). Εξαιρέση αποτελούν τα αδρανή που προέρχονται από τη θραύση βασαλτών και τα οποία έχουν κατά κανόνα γωνιώδες σχήμα με οξείες ακμές.

Η υφή της επιφάνειας των αδρανών έχει επίσης σημασία στην καταλληλότητά τους για παρασκευή σκυροδέματος. Το ποσοστό των κενών του αδρανούς επηρεάζει άμεσα την αντοχή του στον παγετό, τη μηχανική αντοχή του, την αντοχή του σε τριβή και κρούση, την ελαστικότητα του, το ειδικό του βάρος και τη δυνατότητά του να δημιουργεί ισχυρό δεσμό με το τσιμέντο. Αδρανή με λεία επιφάνεια τα οποία δεν επιτρέπουν τη διείδυση διαλυμάτων στο εσωτερικό τους δεν δημιουργούν ισχυρό δεσμό με το τσιμέντο.

Αδρανή με μεγάλη πυκνότητα πόρων των οποίων οι διαστάσεις δεν ξεπερνούν τα 0.004mm σε διάμετρο, απορροφούν νερό κατά την ανάμιξή τους με τσιμέντο. Μετά την πήξη του σκυροδέματος, τα αδρανή εξακολουθούν να περιέχουν στους πόρους τους το νερό αυτό, το οποίο κατά τη διάρκεια παγετού παγώνει, διογκώνεται και μπορεί να προκαλέσει θραύση και καταστροφή του σκυροδέματος.

Αντίθετα η απουσία πόρων στο αδρανές, αυξάνει το ειδικό του βάρος κάνοντάς του πιά ανθεκτικό στην απότριψη. Η ιδιότητα αυτή είναι σημαντική για την κατασκευή ειδικού τύπου αντισεισμικών σκυροδεμάτων. Ο χαλαζίας, ο χαλαζίτης και ο βασάλτης έχουν τα απαιτούμενα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά για να χρησιμοποιηθούν σε τέτοιες εφαρμογές.

Το ειδικό βάρος τέλος, αποτελεί κριτήριο για την επιλογή του κατάλληλου αδρανούς προκειμένου το παραγόμενο σκυροδεμα να έχει το επιθυμητό ειδικό βάρος.

Μία ακόμη παράμετρος που ελέγχει την καταλληλότητα των αδρανών για χρήση στην παραγωγή σκυροδεμάτων είναι η αντοχή τους στην αποσάθρωση. Έχει μεγάλη σημασία, τα συστατικά του σκυροδέματος να παρουσιάζουν αυξημένη ανθεκτικότητα στην αποσάθρωση. Τα πορώδη αδρανή υλικά, τα οποία θραύονται εύκολα ή διογκώνονται παρουσία νερού είναι ακατάλληλα για χρήση. Αυτά τα υλικά δημιουργούν ασθενή δεσμό με το τσιμέντο και η παρουσία τους προκαλεί τη δημιουργία ρωγμών ή οπών στη μάζα του. Τέτοια αδρανή προέρχονται από πετρώματα με υψηλό ποσοστό μαρμαρυγιών και αργίλου (βιοτιτικοί γνεύσιοι, μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι, φυλλίτες, αργιλικό σχιστόλιθοι, μάργες, ιλύολιθοι, αργιλοψαμμίτες.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ ΣΕΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ**

Οι σεισμικές και οι σεισμοειδείς κινήσεις και τα αποτελέσματά τους παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τον μηχανικό, αφού επηρεάζουν άμεσα την ευστάθεια των τεχνικών έργων.

Ο πλέον αποτελεσματικός τρόπος προφύλαξης από τον σεισμικό κίνδυνο είναι μέσω της κατασκευής αντισεισμικών κτιρίων. Ο σχεδιασμός των κατασκευών αυτών απαιτεί πληροφορίες σχετικά με τις αναμενόμενες κινήσεις του υποβάθρου θεμελίωσης καθώς και πληροφορίες που αφορούν τις ίδιες τις κατασκευές.

Οι παράμετροι μετάδοσης της σεισμικής ενέργειας στις κατασκευές, καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από τη φύση και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του υποβάθρου θεμελίωσης. Εξαρτώνται επίσης και από τα χαρακτηριστικά της σεισμικής κίνησης, τα οποία καθορίζονται με τη σειρά τους από τα ενεργειακά χαρακτηριστικά του σεισμού και από τις παραμέτρους απόσβεσης των σεισμικών κυμάτων. Αντικείμενο του κεφαλαίου αυτού, είναι η περιγραφή του φαινομένου των σεισμών και η μελέτη των παραμέτρων που επηρεάζουν τη σεισμική κίνηση από την εστία της μέχρι τα θεμέλια των τεχνικών έργων. Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται επίσης συνοπτικά οι στατιστικές μέθοδοι, με βάση τις οποίες καθορίζονται τα στοιχεία της αναμενόμενης σεισμικής κίνησης στη θέση των θεμελίων των τεχνικών έργων που πρόκειται να κατασκευασθούν.

### **7.1. Σεισμοί**

Με τον όρο "σεισμός" εννοείται οποιαδήποτε κίνηση του εδάφους η οποία προέρχεται από φυσικά αίτια. Οι κινήσεις του εδάφους που προκαλούνται τεχνητά (κίνηση μεγάλων οχημάτων, κατάρρευση βράχων κ.λ.π) και έχουν μικρή ένταση, ονομάζονται σεισμοειδείς κινήσεις.

Η θέση, στο εσωτερικό του φλοιού της Γής, όπου βρίσκεται το αίτιο που προκάλεσε



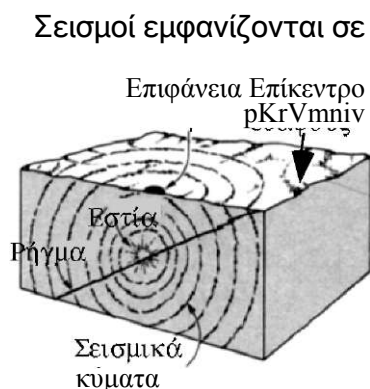
Καταστροφή οικοδομών εξαιτίας της ρευστοποίησης του υποβάθρου θεμελίωσης κατά τη διάρκεια σεισμού. Οι οικοδομές δεν υπέστησαν ζημιές, έγειραν άθικτες.  
(Φωτο. G. Housner, California Institute of Technology)

τον σεισμό λέγεται σεισμική εστία. Η κατακόρυφη προβολή του σημείου αυτού στην επιφάνεια της Γής λέγεται επίκεντρο του σεισμού. Η περιοχή γύρω από το επίκεντρο λέγεται σεισμόπληκτη περιοχή ενώ η περιοχή στην οποία ο σεισμός ήταν περισσότερο αισθητός και προκάλεσε μεγαλύτερες ζημιές λέγεται πλειόσειστη ζώνη. Τέλος, οι περιοχές στις οποίες κατ' επανάληψη στο παρελθόν υπήρξε το επίκεντρο κάποιου σεισμού λέγονται σεισμογενείς περιοχές.

## 7.2. Είδη σεισμών

Οι σεισμοί των οποίων το αίτιο γένεσης (η εστία) βρίσκεται σε βάθος μικρότερο των 60Km, λέγονται επιφανειακοί σεισμοί ενώ στην αντίθετη περίπτωση λέγονται πλουτώνειοι σεισμοί ή σεισμοί βάθους.

Η γένεση των σεισμών οφείλεται σε διάφορα αίτια, περιοχές όπου εκδηλώνεται ηφαιστειακή δραστηριότητα. Η πίεση της λάβας και των αερίων της προκαλεί θραύση των πετρωμάτων και δονήσεις στην περιοχή. Οι σεισμοί αυτοί λέγονται ηφαιστειογενείς και έχουν μικρή ένταση και τοπικό χαρακτήρα.



Μικροί τοπικοί σεισμοί δημιουργούνται από την πτώση μεγάλων μαζών βράχων από την οροφή εγκοίλων που βρίσκονται στο υπέδαφος. Οι σεισμοί αυτοί λέγονται εγκατακρημισιογενείς.

Τέλος, μία άλλη κατηγορία σεισμών οφείλεται στην συγκλίνουσα κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών. Οι σεισμοί αυτοί (τεκτονικοί σεισμοί) έχουν μεγάλη ένταση και πολλές φορές καταστρεπτικά αποτελέσματα στις κατασκευές. Γιά το λόγο αυτό η μελέτη τους παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

## 7.3. Αίτια γένεσης των τεκτονικών σεισμών-θεωρία των λιθοσφαιρικών πλακών

Όπως είναι γνωστό, η Γή αποτελείται από τρεις συγκεντρικούς σφαιρικούς τομείς. Τον εσωτερικό τομέα (σφαίρα) αποτελεί ο πυρήνας, όπου επικρατούν τα στοιχεία

νικέλιο (Ni) και σίδηρος (Fe). Τον πυρήνα περιβάλλει ο μανδύας στον οποίο επικρατούν τα στοιχεία πυρίτιο (Si) και μαγνήσιο (Mg) ενώ στο εξωτερικό μέρος βρίσκεται ο φλοιός όπου επικρατούν τα στοιχεία πυρίτιο (Si) και αργίλιο (Al).

Η πυκνότητα του στερεού φλοιού είναι  $2.7\text{gr/cm}^3$  ενώ η μέση πυκνότητα της Γής είναι  $5.52\text{gr/cm}^3$ . Από το γεγονός αυτό προκύπτει ότι η πυκνότητα του εσωτερικού της Γής είναι πολύ μεγαλύτερη από τα  $5.52\text{gr/cm}^3$ . Ο πυρήνας και το μεγαλύτερο μέρος του μανδύα βρίσκονται σε υγρή κατάσταση σε αντίθεση με το στερεό φλοιό.

Ο στερεός φλοιός της Γής δεν είναι συνεχής αλλά χωρίζεται από συστήματα διαρρήξεων σε μεγάλα τμήματα. Τα τμήματα αυτά εξαιτίας του σχήματος τους (μικρό πάχος σε σχέση με το μήκος και το πλάτος), ονομάζονται λιθοσφαιρικές πλάκες. Η έκταση των πλακών είναι τόσο μεγάλη που οι πλάκες αυτές περιλαμβάνουν σε πολλές περιπτώσεις ολόκληρες ηπείρους.

Οι λιθοσφαιρικές πλάκες περιλαμβάνουν εκτός από τον φλοιό της Γής και τμήμα του ανώτερου μανδύα. Είναι άκαμπτες και "επιπλέον" επάνω στα στρώματα του μανδύα που είναι μηχανικά ασθενέστερα.

Οι λιθοσφαιρικές πλάκες κινούνται σχετικά μεταξύ τους με ταχύτητα που δεν ξεπερνά τα λίγα εκατοστά στη διάρκεια του έτους. Η κίνηση αυτή οφείλεται στα ρεύματα μεταφοράς θερμότητας που αναπτύσσονται στο ρευστό υλικό του μανδύα και μεταδίδεται μέσω της τριβής μεταξύ αυτού και των κατώτερων στρωμάτων του φλοιού.

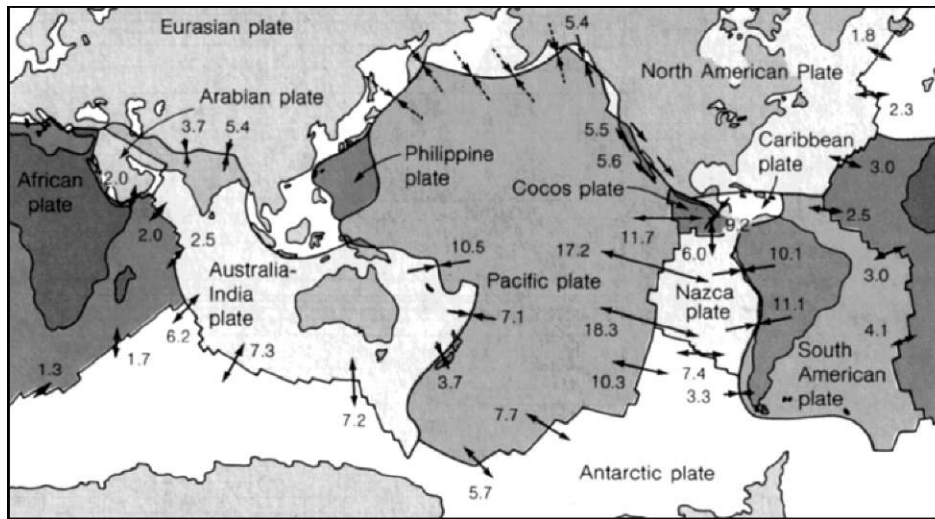
Η σχετική αυτή κίνηση μπορεί να είναι συγκλίνουσα (όταν οι πλάκες πλησιάζουν η μία την άλλη), αποκλίνουσα (όταν απομακρύνονται μεταξύ τους) ή εφαπτομενική.

Κατά τη συγκλίνουσα κίνηση η μία πλάκα βυθίζεται κάτω από την άλλη. Στις θέσεις αυτές, ο γήινος φλοιός καταστρέφεται.

Κατά την αποκλίνουσα κίνηση, οι λιθοσφαιρικές πλάκες απομακρύνονται η μία από την άλλη και το κενό που σχηματίζεται καλύπτεται από μάγμα που ανεβαίνει από το μανδύα και στερεοποιείται λόγω ψύξης. Στις περιοχές αυτές δημιουργείται νέος



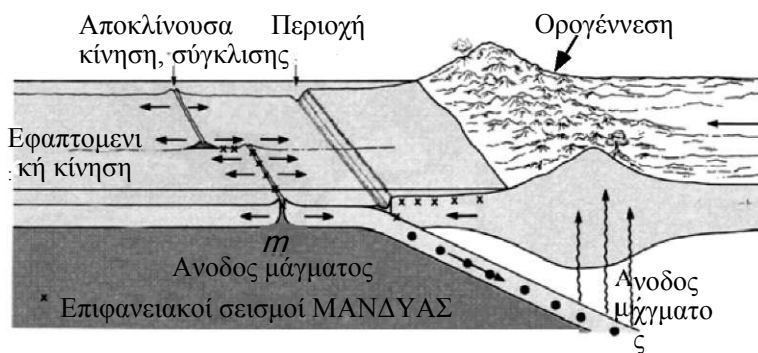
φλοιός.



Σχετική ταχύτητα και κατεύθυνση της κίνησης (βέλη) των λιθοσφαιρικών πλακών (D.P. McKenzie και F. Richter, Scientific American).

Κατά τη σύγκλιση των λιθοσφαιρικών πλακών και στο σημείο επαφής τους, αναπτύσσονται τριβές και τάσεις οι οποίες κατανέμονται στο εσωτερικό τους. Αυτές οι τάσεις έχουν σαν συνέπεια την εμφάνιση παραμορφώσεων στους γεωλογικούς σχηματισμούς.

Οι πλαστικές παραμορφώσεις εκδηλώνονται με την πτύχωση των γεωλογικών στρωμάτων και τη σχετική ανόρθωση της επιφάνειας του φλοιού. Το φαινόμενο αυτό λέγεται ορογένεση και είναι το αίτιο δημιουργίας των μεγαλύτερων οροσειρών του πλανήτη (Ιμαλία, Άνδεις, Άλπεις, Πίνδος κ.λ.π).

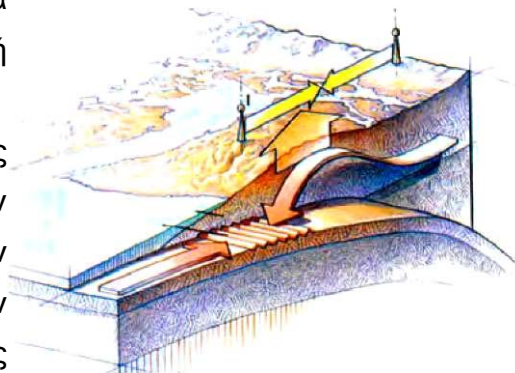


<sup>1</sup> Σεισμοί βάθους (Ιμαλία, Άνδεις, Άλπεις, Πίνδος κ.λ.π).

Η συσσώρευση των τάσεων αυτών πέρα από το όριο της αντοχής των πετρωμάτων του φλοιού, έχει ως αποτέλεσμα τη θραύση τους και τη δημιουργία μικρών ή μεγάλων ασυνεχειών σαυτά. Η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τη θραύση μεγάλων μαζών πετρωμάτων δημιουργεί τους τεκτονικούς σεισμούς.

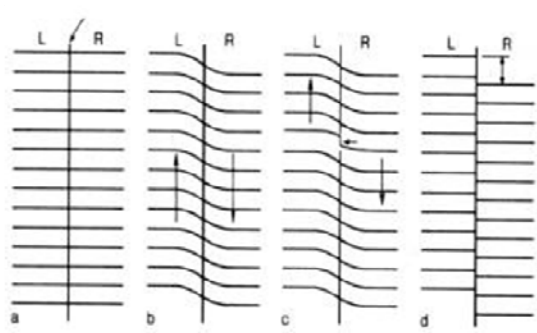
Η εκδήλωση σεισμών συνδέεται συχνά με την παρουσία μεγάλων ρηγμάτων του στερεού φλοιού. Ο μηχανισμός γένεσης σεισμών σε προϋπάρχοντα ρήγματα περιγράφεται παρακάτω.

Η ενέργεια που συσσωρεύεται στα πετρώματα από τις δύο πλευρές ενός ρήγματος με τη μορφή τάσεων (a), αντιτίθεται στη δύναμη τριβής που τα συγκρατεί στη θέση τους και που οφείλεται στο βάρος των υπερκείμενων στρωμάτων. Η συνεχής παραμόρφωση των πετρωμάτων (b) έχει σαν συνέπεια την αποθήκευση στο εσωτερικό τους δυναμικής ενέργειας που λέγεται ελαστικής παραμόρφωσης.



Όταν η ενέργεια αυτή ξεπεράσει τη δύναμη της τριβής που συγκρατεί τα δύο τεμάχια του ρήγματος στη θέση τους, το ρήγμα ξαφνικά ενεργοποιείται (c) και τα δύο κομμάτια του (blocks) μετακινούνται σχετικά μεταξύ τους (d). Μετά από μεγάλους σεισμούς, έχουν μετρηθεί στην επιφάνεια του εδάφους μετατοπίσεις έως και 15m.

Η απότομη απελευθέρωση, με τη μορφή δονήσεων, της ενέργειας που συσσωρευόταν στο σημείο αυτό για δεκάδες ή και εκατοντάδες χρόνια, προκαλεί το σεισμό. Από το σημείο αυτό, που είναι η εστία του σεισμού, η ενέργεια μεταδίδεται με ταχύτητα 3.5Km το δευτερόλεπτο προς κάθε κατεύθυνση φθάνοντας πολλές φορές σε απόσταση 1000km.



Σχηματική περάσταση γένεσης σεισμού σε ρήγμα, (α) Αρχική κατάσταση, (β) παραμόρφωση των γεωλογικών σχηματισμών, (c) ενεργοποίηση του ρήγματος και γένεση σεισμού, (d) τελική κατάσταση

Η ποσότητα της ενέργειας που μεταφέρουν τα σεισμικά κύματα μειώνεται συνεχώς με την απόσταση από την εστία του σεισμού καθώς ένα μέρος της απορροφάται από τους γεωλογικούς σχηματισμούς από τους οποίους διέρχεται το σεισμικό κύμα.

### 7.5. Σεισμικά κύματα

Η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τη γένεση ενός σεισμού μεταδίδεται με τα σεισμικά κύματα (κύματα χώρου). Η μετάδοση των κυμάτων αυτών υπόκειται στους νόμους που καθορίζουν τη μετάδοση των ελαστικών κυμάτων.

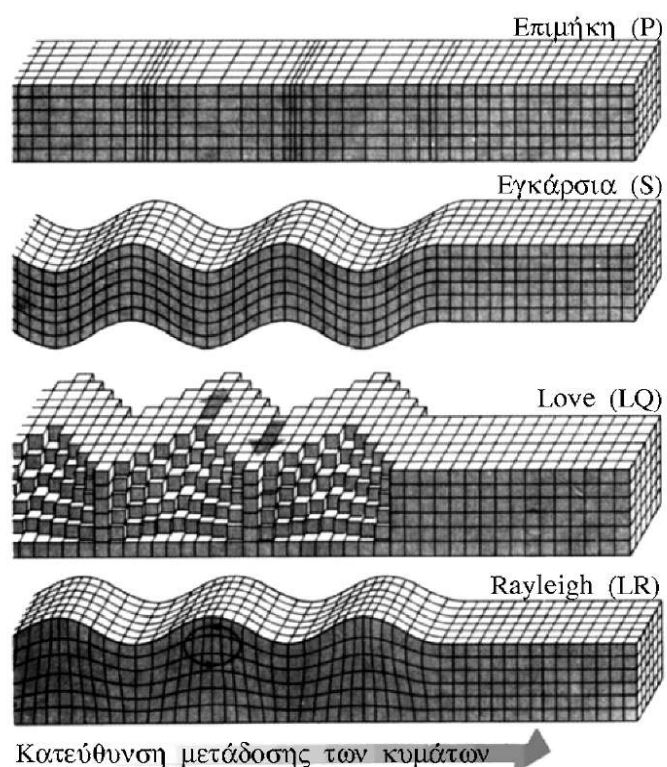
Τα σεισμικά κύματα λοιπόν, μεταδίδονται από το σημείο γένεσής τους προς κάθε κατεύθυνση με ταχύτητα η οποία εξαρτάται από τις συνθήκες του υπεδάφους.

Τα κύματα χώρου διακρίνονται, με βάση τον τρόπο ταλάντωσης του μέσου διάδοσης, σε δύο είδη τα επιμήκη και τα εγκάρσια.

Τα επιμήκη κύματα δημιουργούνται από την αντίδραση του μέσου διάδοσης για αποκατάσταση του όγκου του. Στην περίπτωση αυτή τα μόρια του μέσου διάδοσης δονούνται κατά τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος σχηματίζοντας πυκνώματα και αραιώματα (Σχ. 7.5).

Τα εγκάρσια κύματα ονομάζονται και κύματα διάτμησης. Η δόνηση των μορίων του μέσου κατά τη μετάδοση των κυμάτων αυτών γίνεται κάθετα προς τη διεύθυνση μετάδοσης του κύματος (Σχ. 7.5).

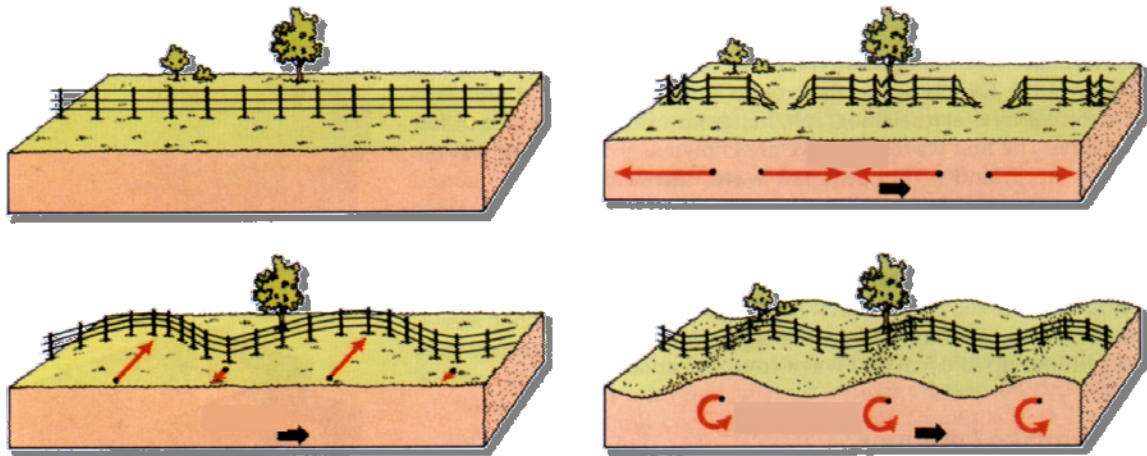
Η ταχύτητα των κυμάτων  $V_s$  προσδιορίζεται από τη σχέσεις:



Σχ. 7.5. Είδη σεισμικών κυμάτων και αντίστοιχος τρόπος ταλάντωσης των μορίων του μέσου μετάδοσης.

παραπάνω σχέσεις, τα επιμήκη κύματα έχουν υψηλότερη ταχύτητα από τα εγκάρσια. Γιά το λόγο αυτό φθάνουν πρώτα στους σταθμούς παρατήρησης και ονομάζονται και κύματα P (από το Primary). Τα εγκάρσια που φθάνουν αργότερα ονομάζονται και κύματα S (από το Secondary).

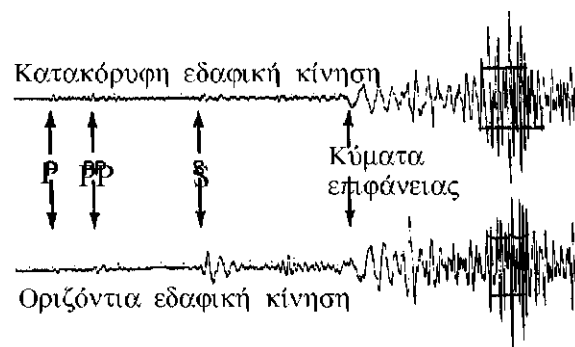
Από τα επιφανειακά κύματα ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα κύματα Love και τα κύματα Rayleigh.



Είδη σεισμικών κυμάτων. Από αριστερά προς τα δεξιά και από πάνω προς τα κάτω:  
Διαμήκη - Εγκάρσια - L.O.V.E. - Rayleigh

Στα κύματα Love η δόνηση των μορίων του μέσου μετάδοσης γίνεται κάθετα προς τη διεύθυνση μετάδοσης του κύματος (Σχ. 7.5). Η ταχύτητα των κυμάτων Love κυμαίνεται μεταξύ της ταχύτητας των εγκάρσιων κυμάτων του επιφανειακού και του αμέσως υποκείμενου στρώματος.

Κατά τη μετάδοση των κυμάτων Rayleigh τα μόρια του μέσου διάδοσης κινούνται σε ελλειπτικές τροχιές (Σχ. 7.5). Η ταχύτητα μετάδοσής τους εξαρτάται από το λόγο του Poisson και είναι πολύ μικρότερη από την ταχύτητα των εγκάρσιων κυμάτων στο ίδιο μέσο.



## 7.6. Μέγεθος των σεισμών

Το μέγεθος ενός σεισμού αποτελεί μέτρο της ενέργειας που απελευθερώνεται κατά τη γένεσή του. Το μέγεθος για τον Ελλαδικό χώρο υπολογίζεται από την εμπειρική σχέση:

$$M = \log(a) + 1.41 * \log(D) + 0.2$$

όπου: M: το μέγεθος του σεισμού

a: το μέτρο του γεωμετρικού αθροίσματος των μέγιστων πλατών καταγραφής των οριζόντιων συνιστωσών της εδαφικής κίνησης σε μικρά και

D: η επικεντρική απόσταση σε Km.

Από άποψη μεγέθους, οι σεισμοί κατατάσσονται με βάση την ΙΟβάθμια κλίμακα Richter.

Το μέγεθος ενός σεισμού συνδέεται άμεσα με την ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τη γένεσή του και αποτελεί μονοσήμαντη έννοια. Αύξηση του μεγέθους κατά

ένα βαθμό αντιστοιχεί σε αύξηση της σεισμικής ενέργειας κατά 25-30 φορές.

### 7.7. Ένταση των σεισμών

Με την έννοια σεισμική ένταση εννοείται το μέτρο των σεισμικών βλαβών. Ο καθορισμός ενός μόνο μεγέθους ως μέτρου των σεισμικών βλαβών είναι αδύνατος. Αυτό συμβαίνει γιατί οι σεισμικές βλάβες εξαρτώνται τόσο από τα στοιχεία της σεισμικής κίνησης (ταχύτητα, επιτάχυνση, περίοδο, διάρκεια, μετάθεση) όσο και από στοιχεία της κατασκευής (ιδιοπερίοδος, συντελεστής απόσβεσης). Εξαρτώνται επίσης από την ιστορία της εδαφικής κίνησης στα θεμέλια του κτιρίου κατά τη διάρκεια του σεισμού.

Πίνακας 1. Κλίμακα Έντασης (I) σεισμών από Mercalli-Sieberg

Βαθμοί	Μακροσεισμικά αποτελέσματα σεισμού	Επιτάχυνση $\gamma$ (m/sec <sup>2</sup> )
1	Αντιληπτός μόνο από ευαίσθητα όργανα (σειсмоγράφους).	0.0000-0.0025
2	Αισθητός μόνο υπό ορισμένες συνθήκες (π.χ. αισθητός μόνο από όσους βρίσκονται στους ανώτερους ορόφους ενός υψηλού κτιρίου).	0.0025-0.0050
3	Αισθητός από λίγους στα σπίτια.	0.0050-0.0100
4	Αισθητός μέσα στα σπίτια (τρίξιμο τζαμιών) και έξω στο ύπαιθρο.	0.0100-0.0250
5	Αισθητός από όλους. Ανατρέπονται μικρά αντικείμενα, κτυπάνε οι καμπάνες των εκκλησιών.	0.0250-0.0500
6	Γενικό ξύπνημα, ελαφρές ζημιές στις οικοδομές (ραγμές στα επιχρίσματα, πτώση λίγων κεραμιδιών).	0.0500-0.1000
7	Πτώση καπνοδόχων, πτώση επιχρισμάτων.	0.1000-0.2500
8	Σοβαρές ζημιές και μερική κατεδάφιση ορισμένων οικοδομών σε ποσοστό μεγαλύτερο του 25% του ολικού αριθμού οικοδομών.	0.2500-0.5000
9	Ολική καταστροφή σε ποσοστό μεγαλύτερο του 25% του ολικού αριθμού οικοδομών. Σποραδικά ανθρώπινα θύματα.	0.5000-1.0000
10	Μερική καταστροφή όλων των οικοδομών. Ολική καταστροφή σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50% του ολικού αριθμού οικοδομών. Εδαφικές διαρρήξεις. Πολλά θύματα.	1.0000-2.5000
11	Κατάρρευση κάθε οικοδομικού έργου.	2.5000-5.0000
12	Πλήρης καταστροφή κάθε ανθρώπινου έργου. Τεκτονικές κινήσεις με μεταβολή του επιφανειακού αναγλύφου.	>5.0000

Επειδή ο προσδιορισμός του μέτρου των σεισμικών βλαβών είναι αδύνατος, χρησιμοποιούνται για την εκτίμησή τους εμπειρικές κλίμακες μακροσεισμικών

αποτελεσμάτων. Μακροσεισμικά αποτελέσματα των σεισμών λέγονται οι μεταβολές που προκαλούνται από αυτούς στο έδαφος, στα τεχνικά έργα, στο υπόγειο νερό καθώς και οι επιδράσεις που έχουν στους ανθρώπους και στα ζώα.

Η κλίμακα που επεκράτησε και χρησιμοποιείται διεθνώς για τον προσδιορισμό της σεισμικής έντασης, είναι η κλίμακα των Rossi-Forel όπως διορθώθηκε από τους Mercalli-Sieberg.

Στην 12βάθμια αυτή κλίμακα οι σεισμοί κατατάσσονται ανάλογα με τη μέγιστη εδαφική επιτάχυνση που αναπτύχθηκε και τα μακροσεισμικά τους αποτελέσματα.

### **7.8. Εμπειρικός προσδιορισμός της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης**

Από τα στοιχεία της σεισμικής κίνησης έχουν ιδιαίτερη σημασία για την ασφάλεια των κατασκευών, η μέγιστη σεισμική επιτάχυνση και η μέγιστη σεισμική ταχύτητα. Τα δύο αυτά μεγέθη προσδιορίζονται με τη χρησιμοποίηση επιταχυνσιογραμμάτων του σεισμού. Επειδή όμως αυτά σπανίζουν, η μέγιστη σεισμική επιτάχυνση μπορεί να εκτιμηθεί από την ανατροπή αντικειμένων από τις σεισμικές δυνάμεις.

### **7.9. Επίδραση των σεισμών στα τεχνικά έργα**

Η επίδραση των σεισμών στα τεχνικά έργα παρουσιάζει τεράστιο ενδιαφέρον, αφού οι σεισμικές βλάβες μπορεί να προκαλέσουν εκτός από τεράστιες υλικές ζημιές και το θάνατο ανθρώπων.

Η κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής κίνησης προκαλεί κατά κανόνα μικρότερες καταστροφές από την οριζόντια συνιστώσα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ενέργεια που μεταφέρεται από την κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής κίνησης είναι κατά κανόνα πολύ μικρότερη από αυτή της οριζόντιας. Επί πλέον, στη δράση της αντιδρά το βάρος του κτιρίου γεγονός που δεν συμβαίνει στη δόνηση κατά την οριζόντια έννοια. Εξαίρεση στα παραπάνω αποτελεί η περίπτωση περιοχών κοντά στο επίκεντρο του σεισμού, στις οποίες η κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής κίνησης μπορεί να προκαλέσει σοβαρές ζημιές στις κατασκευές.

Η κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής κίνησης έχει ως άμεση συνέπεια τη μείωση της τριβής και την ολίσθηση αντικειμένων που συγκρατούνται κυρίως με την τριβή (κεραμίδια, καπνοδόχοι). Μία άλλη επίπτωση από τη δράση της συνιστώσας αυτής είναι η δημιουργία

θλιπτικών τάσεων στα κτίρια, με αποτέλεσμα τη θραύση των πάνω γωνιών και την πτώση της στέγης.

Η επίδραση της οριζόντιας συνιστώσας της σεισμικής κίνησης έχει ως συνέπεια τη διατμητική παραμόρφωση των διαφόρων στοιχείων των κτιρίων. Γιά το λόγο αυτό αναπτύσσονται θλιπτικές και εφελκυστικές τάσεις με διευθύνσεις εφαρμογής κάθετες μεταξύ τους. Δημιουργούνται με τον τρόπο αυτό στά κτίρια ρωγματώσεις, οι οποίες σχηματίζουν μεταξύ τους περίπου ορθές γωνίες. Η επίδραση της συνιστώσας αυτής στην ευστάθεια κάποιου κτιρίου εξαρτάται κυρίως από τη διεύθυνσή της σε σχέση με τον προσανατολισμό του κτιρίου.

Τα άμεσα αποτελέσματα των σεισμών στις κατασκευές εξαρτώνται κυρίως από τη σεισμική επιτάχυνση. Γιά τον καθορισμό τους όμως είναι απαραίτητη η γνώση και άλλων παραμέτρων της σεισμικής κίνησης όπως είναι η διάρκεια και η συχνότητα.

Οι έμμεσες βλάβες προκαλούνται κυρίως από πυρκαγιές που εκδηλώνονται κατά τη διάρκεια των σεισμών. Οι πυρκαγιές αυτές προκαλούνται συνήθως εξαιτίας της διάρρηξης δικτύων φυσικού αερίου και βραχυκυκλωμάτων των ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων.

### 7.10. Μελέτη της κατανομής βλαβών από σεισμούς



Η μελέτη της κατανομής της έντασης ενός σεισμού σε κάποια περιοχή γίνεται με τη βοήθεια των ισόσειστων καμπύλων. Αυτές είναι γραμμές που ενώνουν σημεία της επιφάνειας του εδάφους στα οποία παρατηρήθηκε η ίδια σεισμική ένταση. Η μορφή των καμπύλων αυτών εξαρτάται από τον μηχανισμό γένεσης του σεισμού, από τον τρόπο



απόσβεσης της σεισμικής ενέργειας κατά τη μετάδοση των σεισμικών κυμάτων, από το εστιακό βάθος, από τη φύση και τα μηχανικά χαρακτηριστικά του εδάφους θεμελίωσης και από τον τρόπο κατασκευής των κτιρίων.

Το τμήμα της επιφάνειας του εδάφους στο οποίο η παρατηρούμενη ένταση έχει τη μέγιστη τιμή, λέγεται πλειόσειστη περιοχή.

Η μέγιστη ένταση ενός σεισμού λέγεται και επικεντρική ένταση ( $I_0$ ) και συνδέεται με το μέγεθος του ( $M$ ) με τη σχέση:

$$M = aI_0 + b \log h + c$$

όπου  $a, b$ , και  $c$  είναι παράμετροι των οποίων οι τιμές για την Ελλάδα είναι  $a=2/3$ ,  $b=1.7$  και  $c=-1.7$  και  $h$  είναι το εστιακό βάθος του σεισμού.

Η επικεντρική ένταση είναι επίσης συνάρτηση του λογάριθμου της μέγιστης σεισμικής επιτάχυνσης  $Y$ . Η σχέση που συνδέει τα δύο αυτά μεγέθη είναι:  $I_0 = 3 \log Y + 1.5$ .

### **7.11. Παράγοντες που επηρεάζουν τη σεισμική κίνηση**

Το μέγεθος των ζημιών που προκαλούνται στις κατασκευές εξαιτίας της σεισμικής δράσης, εξαρτώνται από τα στοιχεία της σεισμικής κίνησης και από τα χαρακτηριστικά της κατασκευής. Τα κυριώτερα στοιχεία της σεισμικής κίνησης που αφορούν την εδαφική κίνηση είναι η μετάθεση, η ταχύτητα και η επιτάχυνση. Αντίστοιχα, τα κυριώτερα στοιχεία που είναι χαρακτηριστικά των σεισμικών κυμάτων είναι η περίοδος και η διάρκεια της δόνησης.

Οι παράμετροι που καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τα παραπάνω στοιχεία είναι:

τα χαρακτηριστικά της εστίας του σεισμού, όπως ο μηχανισμός γένεσης του σεισμού, η κατεύθυνση διάρρηξης των πετρωμάτων (ολίσθησης των παρειών του ρήγματος), το μέγεθος του σεισμού, το βάθος της εστίας του. Η διαδρομή την οποία ακολούθησαν τα σεισμικά κύματα από την εστία μέχρι την περιοχή αναφοράς (μήκος διαδρομής, υφιστάμενες παράμετροι απόσβεσης σεισμικών κυμάτων, φύση του μέσου διάδοσης) Τα γεωλογικά στοιχεία της θέσης αναφοράς (το είδος των γεωλογικών σχηματισμών και τεχνικά τους χαρακτηριστικά, η παρουσία ρωγματώσεων, η παρουσία υπόγειου νερού κ.λ.π).

Από τα στοιχεία της σεισμικής κίνησης η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση ( $\gamma_{ΓΤ1}$ ), η μέγιστη σεισμική ταχύτητα ( $u_m$ ) και η μέγιστη μετάθεση ( $S_m$ ), αυξάνουν ανάλογα με το μέγεθος ( $M$ ) και αντιστρόφως ανάλογα με την απόσταση της εστίας (εστιακή απόσταση  $D$ ).

Από τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά της εστίας του σεισμού το εστιακό βάθος επιδρά αντιστρόφως ανάλογα στο μέγεθος των σεισμικών βλαβών.

Σε ότι αφορά την κατεύθυνση διάρρηξης των πετρωμάτων κατά τη γένεση του σεισμού, αυτή επηρεάζει σημαντικά τον τρόπο και την κατεύθυνση ακτινοβολίας της σεισμικής ενέργειας και καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την κατανομή της σεισμικής δράσης. Η κατεύθυνση αυτή εξαρτάται από τον προσανατολισμό των σεισμικών ρηγμάτων που επηρεάζουν την περιοχή και από τον τρόπο ολίσθησης των τεμαχών του ρήγματος κατά τη γένεση του σεισμού.



## 7.12. Υπολογισμός της μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης

Όπως έχει προαναφερθεί, η μέγιστη σεισμική επιτάχυνση και η μέγιστη σεισμική ταχύτητα είναι τα στοιχεία της σεισμικής κίνησης που έχουν ιδιαίτερη σημασία στη συμπεριφορά των κατασκευών σε σεισμική διέγερση.

Ο ακριβής προσδιορισμός της σεισμικής επιτάχυνσης προϋποθέτει διαθέσιμο επιταχυνσιόγραμμα στη θέση της κατασκευής, κάτι που είναι πολύ δύσκολο να υπάρχει. Για το λόγο αυτό, το παραπάνω μέγεθος είτε εκτιμάται με βάση διάφορες παρατηρήσεις (βλ. παράγραφο 7.8) είτε υπολογίζεται έμμεσα με τη βοήθεια άλλων σεισμολογικών δεδομένων.

Ο προσδιορισμός της σεισμικής επιτάχυνσης μπορεί να γίνει με τη βοήθεια εμπειρικής σχέσης της μορφής :

$$\ln Y = c_1 + c_2 M_s + c_3 \ln(A + c_4) + c_5 S + \ln Y_P$$

όπου  $Y$  είναι το ζητούμενο στοιχείο της σεισμικής κίνησης,  $M_s$  το επιφανειακό μέγεθος του σεισμού,  $\Delta$  η επικεντρική απόσταση,  $S$  παράμετρος που εξαρτάται από τις εδαφικές συνθήκες (είναι (0) για τις αλλουβιακές αποθέσεις και (1) για πετρώματα),  $\sigma_{\ln Y}$  και  $P$  στατιστικές παράμετροι ( $\sigma_{\ln Y}$  είναι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα των υπολοίπων της σχέσης και  $P$  είναι μηδέν για το μέσο όρο τιμών  $\ln Y$  και ένα για το μέσο όρο συν ένα τετραγωνικό σφάλμα και  $c_1, c_2, c_3, c_4$  και  $c_5$  συντελεστές των οποίων οι τιμές που ισχύουν στον Ελληνικό χώρο δίνονται στον επόμενο πίνακα.

### 7.13. Επίδραση των γεωλογικών χαρακτηριστικών του υποβάθρου θεμελίωσης στο μέγεθος των σεισμικών βλαβών

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων μεταβάλλονται κατά τρόπο που είναι πολύ δύσκολο να προσδιορισθεί, όταν τα πετρώματα ταλαντώνονται εξαιτίας σεισμικής διέγερσης. Από την άλλη πλευρά, ορισμένα χαρακτηριστικά των σεισμικών κυμάτων (π.χ. μορφή και πλάτος) επηρεάζονται από το είδος της θεμελίωσης και το συντελεστή απόσβεσης των κατασκευών. Κατά συνέπεια είναι πολύ δύσκολο να γίνει ο ακριβής προσδιορισμός της επίδρασης του υποβάθρου θεμελίωσης στο μέγεθος των σεισμικών βλαβών στις κατασκευές.

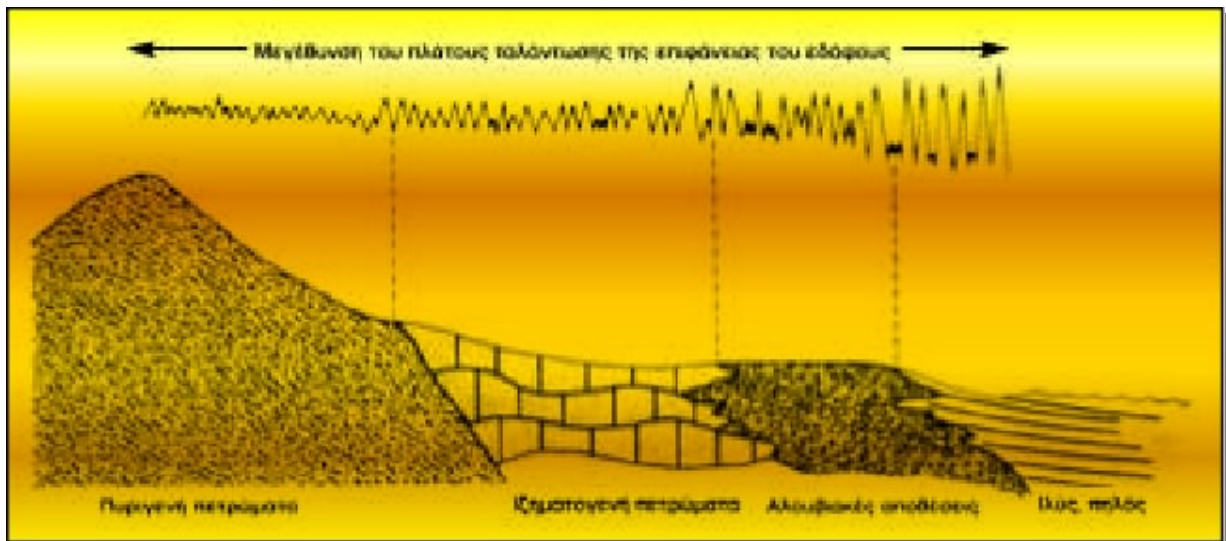
Έχει παρόλα αυτά παρατηρηθεί, ότι στις περιπτώσεις που το υπόβαθρο θεμελίωσης είναι χαλαρό και η κατασκευή έχει μεγάλο βάρος ή είναι εύκαμπτη, οι σημαντικότερες βλάβες

είναι η μετάθεση, η κλίση ή η ανατροπή της κατασκευής. Αντίθετα, στις περιπτώσεις όπου το υπόβαθρο θεμελίωσης είναι συνεκτικό ή βραχώδες και η κατασκευή είναι δύσκαμπτη, οι βλάβες είναι κυρίως οριζόντιες θραύσεις και μεταθέσεις στο τμήμα της κατασκευής που τη συνδέει με το έδαφος καθώς και ρωγμές στο κύριο μέρος της.

	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	c <sub>3</sub>	c <sub>4</sub>	c <sub>5</sub>
<b>Μέγιστη εδαφική επιτάχυνση (a<sub>g</sub>)</b>	3.88	1.12	-1.65	15	0.41
<b>Μέγιστη εδαφική ταχύτητα (v<sub>g</sub>)</b>	-0.79	1.41	-1.62	10	-0.22

Οι σεισμικές βλάβες εξαρτώνται από τα φυσικά και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των γεωλογικών σχηματισμών που βρίσκονται πλησιέστερα προς την επιφάνεια του εδάφους. Είναι συνεπώς απαραίτητη η μελέτη των γεωλογικών και τεχνικών χαρακτηριστικών των στρωμάτων αυτών, για τον προσδιορισμό των παραμέτρων που καθορίζουν την αντισεισμική προστασία της κατασκευής. Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη το πάχος των γεωλογικών στρωμάτων, η κλίση των στρωμάτων τους, η συνεκτικότητά τους, η παρουσία νερού μέσα σ' αυτούς και η μορφή της επιφάνειας του εδάφους (κλίσεις πρανών, κ.λ.π).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον από άποψη σεισμικών βλαβών παρουσιάζουν οι περιπτώσεις στις οποίες μία περιοχή δομείται από χαλαρούς σχηματισμούς που επικάθονται σε συνεκτικούς σχηματισμούς ή βράχο. Τέτοιες περιοχές είναι συνήθως παραλιακές περιοχές και περιοχές κοντά σε ποταμούς, οι οποίες είναι από τις πλέον πυκνοκατοικημένες. Στις περιπτώσεις αυτές, η σεισμική κίνηση εξαρτάται από τα μηχανικά χαρακτηριστικά τόσο του επιφανειακού όσο και του βαθύτερου βραχώδους γεωλογικού σχηματισμού.



**7.14. Προσδιορισμός του πλάτους μετάθεσης στο επιφανειακό στρώμα  
ΕΚΤΟΣ ΥΛΗΣ**

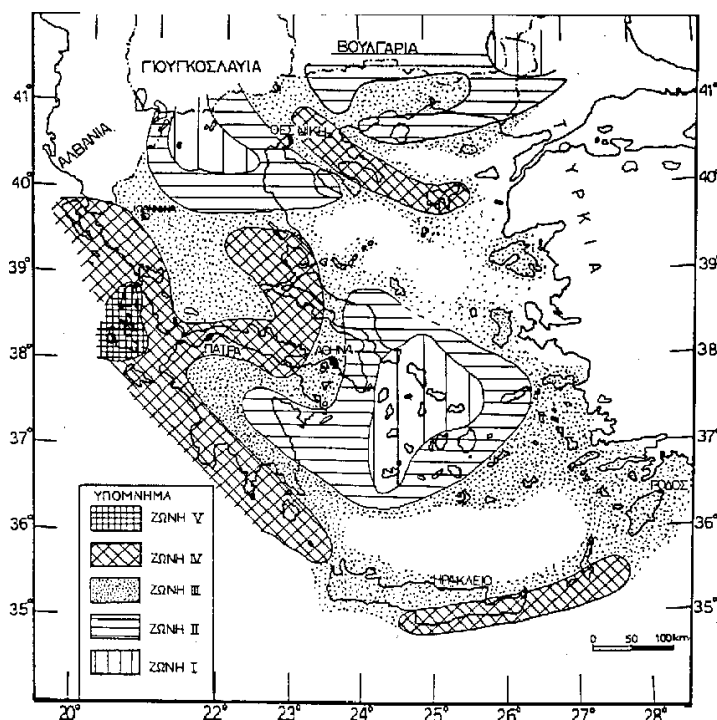
**7.15. Σεισμικός κίνδυνος και στατιστική πρόγνωση αυτού**

**ΕΚΤΟΣ ΥΛΗΣ**

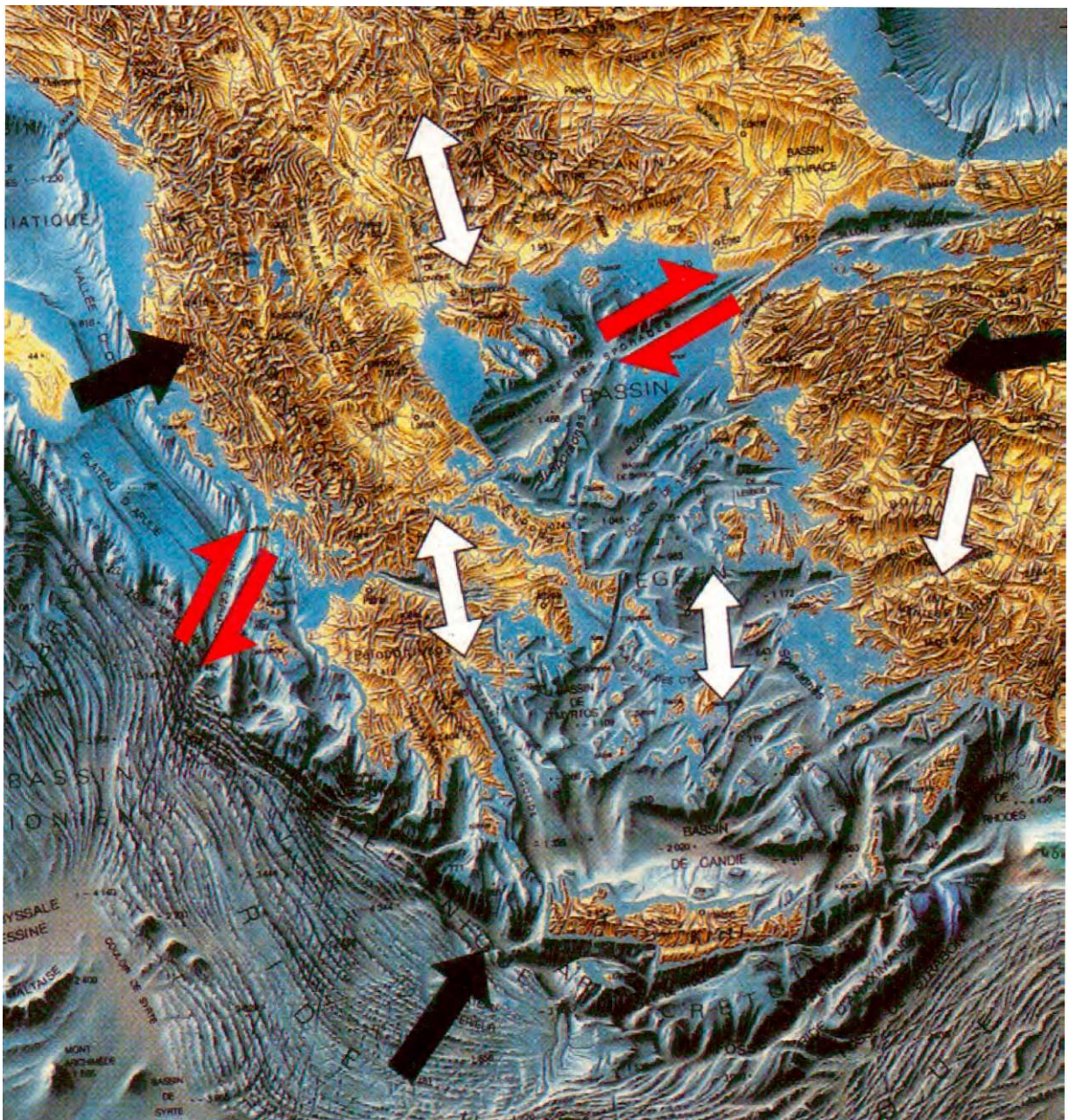
## 7.16. Η σεισμική δράση στην Ελλάδα

Η σεισμική δράση στον Ελληνικό χώρο είναι ιδιαίτερα αυξημένη. Η Ελλάδα είναι από τις πλέον σεισμογενείς χώρες της Ευρώπης και του κόσμου. Η κύρια σεισμική ζώνη ακολουθεί το Ελληνικό τόξο (Ιόνια νησιά, Κύθηρα, Κρήτη, Δωδεκάνησα) και η μεγαλύτερη έκλυση ενέργειας παρατηρείται στα νησιά του Ιονίου πελάγους και στα Δωδεκάνησα μεταξύ Ρόδου και Κώ. Μία δεύτερη σεισμική ζώνη διασχίζει τη Δυτική Τουρκία και περνώντας από το βόρειο Αιγαίο, τις Σποράδες και τη Θεσσαλία, ενώνεται τελικά με την κύρια ζώνη του Ελληνικού τόξου.

Με δεδομένη την αδυναμία ακριβούς βραχείας πρόγνωσης των σεισμών, η κύρια αντισεισμική προστασία είναι η κατασκευή αντισεισμικών κτιρίων. Ο προσδιορισμός της επιβάρυνσης των κατασκευών εξαιτίας σεισμικών δονήσεων γίνεται μέσω του ισχύοντος Αντισεισμικού Κανονισμού. Οι βασικές παράμετροι της εδαφικής κίνησης εξαιτίας σεισμικής διέγερσης, οι οποίες λαμβάνονται υπόψη στη σύνταξη του Αντισεισμικού Κανονισμού, έχουν προκύψει από σχετικές μελέτες ερευνητών. Τα διαγράμματα που παρατίθενται στη συνέχεια αφορούν ορισμένες από αυτές.

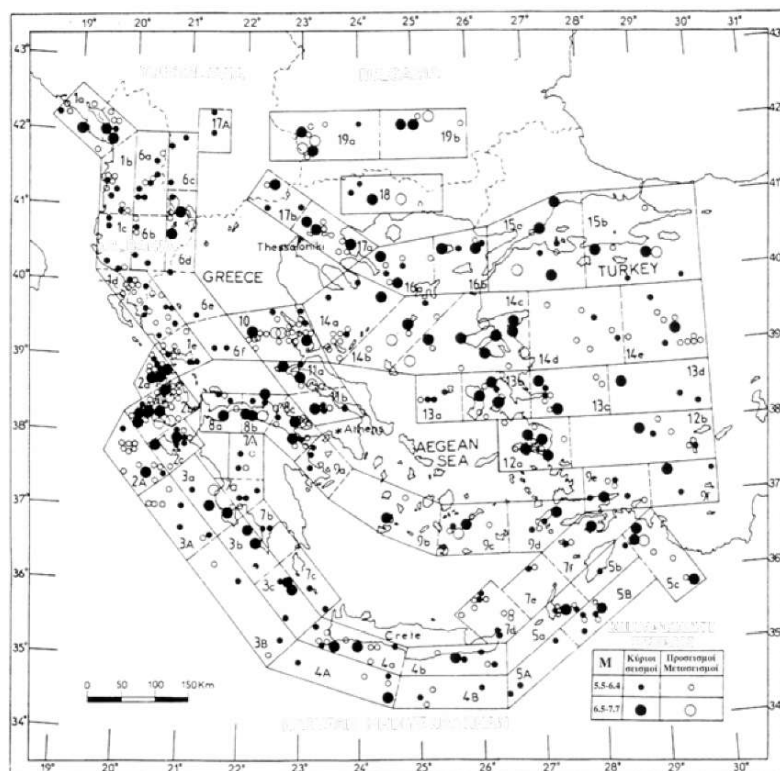


Χάρτης καμπύλων ίσης σεισμικής επιτάχυνσης ( $\text{cm/sec}^2$ ) του Ελληνικού χώρου και της ευρύτερης περιοχής. Η πιθανότητα μη υπέρβασης των τιμών αυτών στα επόμενα 50 χρόνια είναι 90% (Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας, 1989).



Γεωδυναμικό μοντέλο του Ελληνικού χώρου και της ευρύτερης περιοχής.  
 Με μαύρα βέλη συμβολίζεται η διεύθυνση κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών ενώ με λευκά βέλη παρουσιάζονται οι αναπτυσσόμενες τάσεις. Τα κόκκινα βέλη δείχνουν τη διεύθυνση ολίσθησης των τεμαχών των ρηγμάτων.

Οι 69 περιοχές εμφάνισης  
σεισμών επιφάνειας στο  
Αιγαίο και την ευρύτερη  
περιοχή.



Χάρτης κατηγοριών ζωνών ίσης  
σεισμικής επικινδυνότητας του  
Ελληνικού χώρου (Χ.  
Παπαϊωάννου, 1988)

