



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ - ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΗΡΩΩΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ 9
15780 ΖΩΓΡΑΦΟΥ ΑΘΗΝΑ

Τεχνική Γεωλογία Ι

Διδάσκοντας:

Κωνσταντίνος Λουπασάκης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργιών

Αντικείμενο της Διάλεξης

Κατολισθήσεις ή Αστοχίες Πρανών
(Landslides or Slope Failures)

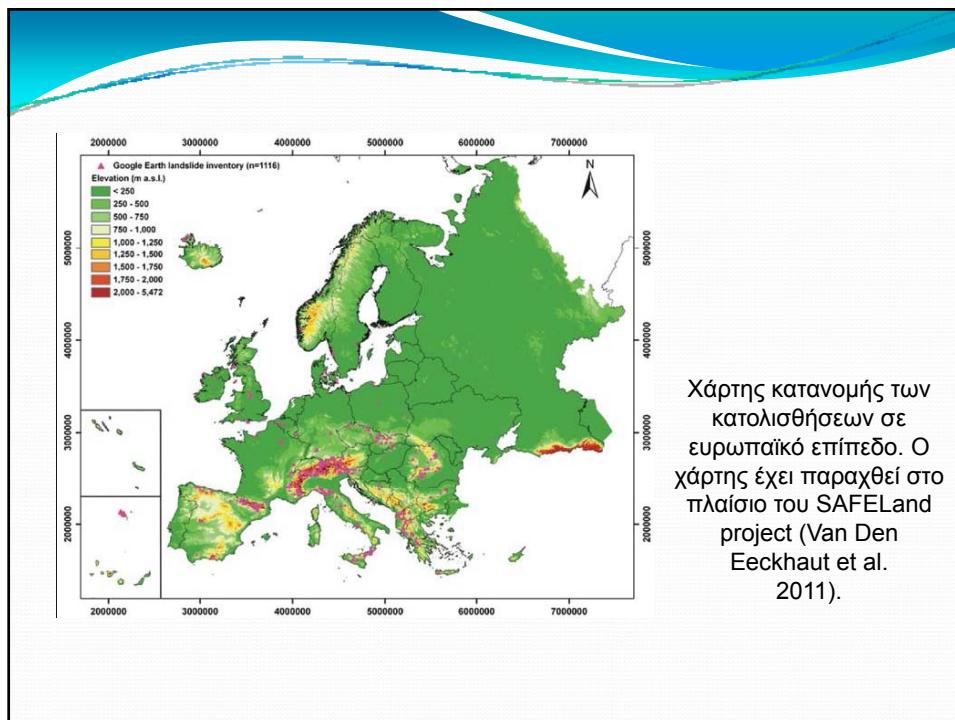
Ως κατολισθήσεις ορίζονται οι μετακινήσεις που λαμβάνουν χώρα σε φυσικά και τεχνητά πρανή.

Ο όρος κατολίσθηση δεν περιγράφει πλήρως το γενικότερο φαινόμενο καθώς εκτός από ολισθήσεις αναφέρεται σε καταπτώσεις, ανατροπές, ροές, ερπυσμούς κ.α.

Από τον Varnes (1978) έχει προταθεί ο όρος
``μετακίνηση μαζών`` (mass movements)

Φυσικά Καταστροφικά Φαινόμενα

- Υδρο-μετεωρολογικά φαινόμενα (πλημμύρες)
- Κατολισθήσεις
- Σεισμοί
- Ηφαιστειακές εκρήξεις
- Εδαφικές υποχωρήσεις – καταρρεύσεις
- Διαβρώσεις ακτών
- Χιονοστιβάδες



Κατανομή Κατολισθήσεων στον Ελλαδικό χώρο

Κατανομή Κατολισθήσεων που είχαν
καταγραφεί έως το 2000
(Κούκης & Σαμπατακάκης 2007)



Κατολίσθηση Τεμπών,
17^η Δεκεμβρίου 2009

Κατολίσθηση Φράγματος Θησαυρού,
10^η Φεβρουαρίου 2008





Ορισμός

- `` μία γρήγορη κίνηση μάζας πετρώματος, υπολειμματικού (residual) εδάφους ή ιζήματος ενός πρानούς, της οποίας το κέντρο βάρους μετακινείται προς τα κάτω και προς τα έξω`` (Terzaghi, 1950)
- `` μία γρήγορη κίνηση πετρωμάτων που οφείλεται στην ολίσθηση ενός τμήματος πρानούς που διαχωρίζεται από το υπόλοιπο σταθερό τμήμα με μία καλά καθορισμένη επιφάνεια`` (Zaruba & Mencl, 1969)
- `` κίνηση μιας μάζας βράχου, εδάφους ή κορημάτων προς τα κατόντη ενός πρानούς`` (Cruden-WP/WLI, 1991)

Ταξινόμηση κατολισθητικών φαινομένων

Οι ταξινομήσεις βασίζονται σε παραμέτρους όπως:

- τον τύπο - είδος του υλικού κατολίσθησης
- την περιεχόμενη υγρασία του κατολισθαίνοντος υλικού
- τον τύπο της κίνησης (κατάπτωση, ολίσθηση, ροή)
- την ταχύτητα της κίνησης
- την ενεργότητα του φαινομένου (ενεργή, ανενεργή, επαναδραστηριοποιημένη, κλπ),
- το αίτιο της κίνησης (σεισμός, πίεση νερού, ανθρώπινος παράγοντας)
- τη μορφή της επιφάνειας ολίσθησης (επίπεδη, περιστροφική)
- την τοποθεσία όπου γίνεται το φαινόμενο (ξηρά, θάλασσα, λίμνη)
- τη γεωμετρία και μορφολογία του πρानούς
- το περιβαλλοντικό καθεστώς και τις κλιματικές συνθήκες
- το μηχανισμό ολίσθησης

Ταξινόμηση κατά Erskine (1973)

Ο ERSKINE (1973), ταξινόμησε τις κατολισθήσεις με βάση την ενεργότητά τους και κατά συνέπεια με βάση τις επιπτώσεις που πιθανώς να έχουν στα τεχνικά έργα, στις παρακάτω τέσσερις κατηγορίες:

- Σταθεροποιημένες κατολισθήσεις (δεν έχουν ενδείξεις πρόσφατης ενεργοποίησης)
- Πρόσφατα ενεργές κατολισθήσεις (εκδηλώνονται με πρόσφατες κινήσεις)
- Κατολισθήσεις που ανέδρασαν πρόσφατα (μετά από μία περίοδο σταθεροποίησης), και
- Ενεργές κατολισθήσεις (δείχνουν να μην έχουν σταθεροποιηθεί).

Ταξινόμηση κατά Zaruba – Mencl (1967, 1970)

Οι Zaruba-Mencl (1967) κατέταξαν τις κατολισθήσεις ανάλογα με το χαρακτήρα των πετρωμάτων και κυρίως τον τύπο της μετακίνησης.

Η ταξινόμηση αυτή, αν και εκφράζοντας τις απόψεις της Τσεχο-Σλοβάκισης Σχολής και τις ιδιομορφίες της γεωλογικής δομής στις χώρες τους, είναι απλή και θεωρείται ότι ανταποκρίνεται στις συνθήκες της χώρας μας.

Διακρίνουν τέσσερις κύριες κατηγορίες μετακίνησης πρανών ανάλογα με τη σύσταση των μετακινούμενων υλικών. Οι κατηγορίες αυτές υποδιαιρούνται περαιτέρω.

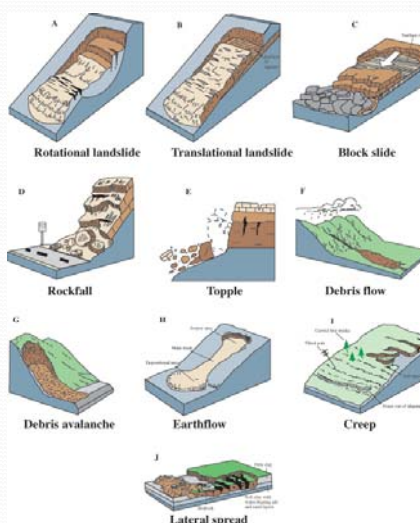
Κατηγορία	Είδος
Μετακινήσεις επιφανειακών αποθέσεων	Ερπυσμός κορημάτων και κάμψη της κεφαλής των στρωμάτων
	Ολισθήσεις κορημάτων και μανδύα αποσάθρωσης
	Ροές γαιών
Μετακινήσεις στα αργιλικά εδάφη και πετρώματα	Ολισθήσεις κατά μήκος κυλινδρικών επιφανειών ολίσθησης
	Ολισθήσεις κατά μήκος σύνθετων επιφανειών ολίσθησης
	Μετακίνηση πρανών από σύνθλιψη μαλακών πετρωμάτων
Μετακινήσεις συμπαγών πετρωμάτων	Ολισθήσεις βράχων κατά μήκος προκαθορισμένων επιφανειών
	Ολισθήσεις βαρύτητας (μακροχρόνιες παραμορφώσεις πρανών)
	Πτώσεις βράχων
Ειδικοί τύποι μετακίνησης	Εδαφική ροή λόγω παγετού
	Ολισθήσεις σε ευαίσθητες αργίλους
	Υποθαλάσσιες ολισθήσεις

Ταξινόμηση κατά Varnes (1978)

Η Ταξινόμηση περιλαμβάνει όλες τις εδαφικές μετακινήσεις που μπορούν να παρατηρηθούν σε πρανή εκτός των εδαφικών υποχωρήσεων και των καταρρεύσεων.

Τα βασικά κριτήρια για την ταξινόμηση είναι:

- (α) ο τύπος της μετακίνησης και
- (β) το είδος του μετακινούμενου υλικού.



Ανάλογα με τον τύπο της κίνησης διακρίνονται σε:

- καταπτώσεις (falls)
- ανατροπές (topplings)
- ολισθήσεις (slides)
- πλευρικές εξαπλώσεις (lateral spreads)
- ροές (flows)
- σύνθετες κινήσεις (complex)
- ερπυσμοί

Ανάλογα με τον τύπο του υλικού που μετακινείται διακρίνονται σε αυτές που εκδηλώνονται:

- στο βραχώδες υπόβαθρο (bedrock) και
- στα επιφανειακά εδάφη (engineering soils) που διαχωρίζονται σε κορήματα (debris) και γαίες (earth).

Σαν **βραχώδες υπόβαθρο** ορίζεται κάθε σκληρό συνεκτικό πέτρωμα (βράχος ή ημίβραχος)

Σαν **έδαφος** ορίζονται τα χαλαρά ή ασθενώς συνδεδεμένα συσσωματώματα ορυκτών και πετρωμάτων.

Τα εδάφη διακρίνονται περαιτέρω σε:

(α) **γαίες**, δηλαδή εδαφικά υλικά τα οποία με βάση τη μηχανική τους ταξινόμηση, περιέχουν ποσοστό μεγαλύτερο του 80% άμμου, ιλύος και αργίλου και

(β) **κορήματα**, δηλαδή εδαφικά υλικά που περιέχουν ποσοστό έως και 80% χαλίκια, κροκάλες, λατύπες, ογκόλιθους, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό τους αποτελείται από λεπτομερή υλικά.

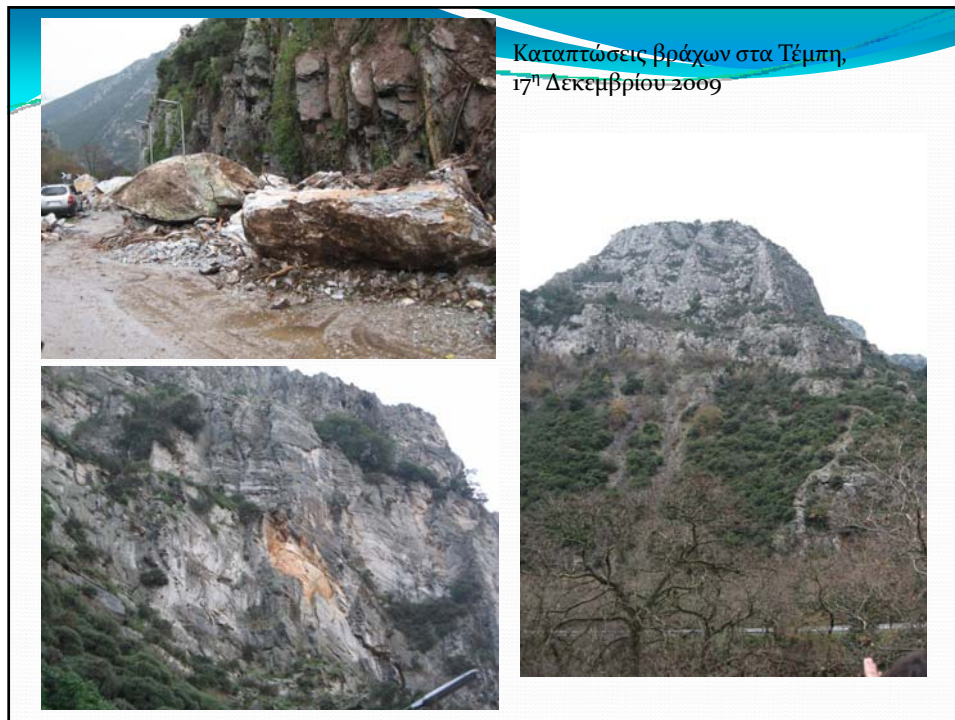
Ο όρος «**κορήματα**» έχει σχέση με την κοκκομετρική διαβάθμιση του εδαφικού υλικού (δηλαδή αναφέρεται σε αδρομερή - χονδρόκοκκα υλικά) και όχι με την καθαρώς γεωλογική του έννοια.

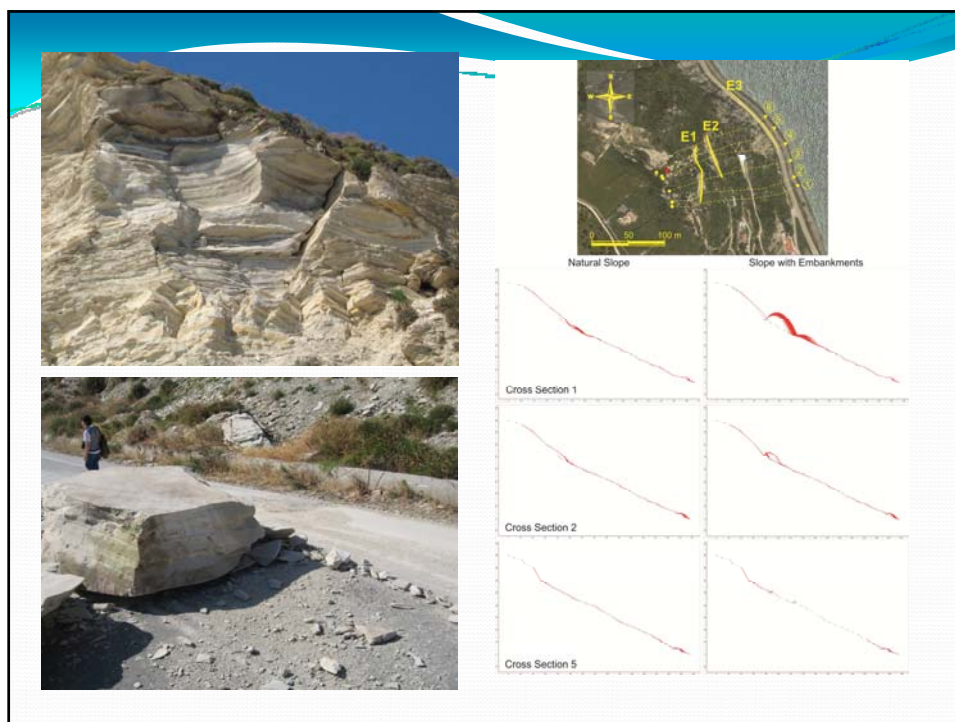
Τύπος Κίνησης	Τύπος μετακινούμενου υλικού		
	Βραχώδεις υπόβαθρο	Μηχανικά εδάφη	
		Χονδρόκοκκα	Λεπτόκοκκα
Κατάπτωση	Κατάπτωση βράχων	Κατάπτωση κορημάτων	Κατάπτωση γαιών
Ανατροπή	Ανατροπή βράχων	Ανατροπή κορημάτων	Ανατροπή γαιών
Ολίσθηση	Περιστροφική	Περιστροφική ολίσθηση βραχώδους υποβάθρου	Περιστροφική ολίσθηση κορημάτων
	Μεταθετική	Μεταθετική ολίσθηση βραχώδους υποβάθρου	Μεταθετική ολίσθηση κορημάτων
Πλευρική εξάπλωση	Πλευρική εξάπλωση βραχώδους υποβάθρου	Πλευρική εξάπλωση κορημάτων	Πλευρική εξάπλωση γαιών
Ροή	Ροή βραχώδους υποβάθρου (ερπυσμός)	Ροή κορημάτων	Ροή γαιών
		Ερπυσμός εδάφους	
Σύνθετη	Συνδυασμός δύο ή περισσότερων τύπων		

Καταπτώσεις (falls)

Αποκόλληση τμήματος βραχομάζας ή και συνεκτικού εδάφους, σε απότομο πρανές και κατά μήκος μιας επιφάνειας χωρίς ή με ελάχιστη διατμητική μετατόπιση. Ακολουθεί η **ελεύθερη πτώση** του τμήματος της βραχομάζας με **κύλιση** ή **αναπήδηση**, που καλείται **κατάπτωση**.

Η μετακίνηση είναι από **πολύ μέχρι εξαιρετικά γρήγορη** και είναι δυνατό να έχουν προηγηθεί αυτής μικρότερες μετακινήσεις που οδήγησαν στον προοδευτικό αποχωρισμό της μετακινούμενης μάζας από το μητρικό πέτρωμα.





Ανατροπές (toppling)

Μία **προς τα έξω περιστροφή** της αποσπώμενης μάζας γύρω από σημείο ή άξονα περιστροφής που βρίσκεται χαμηλότερα από το κέντρο βάρους της μετακινούμενης μάζας.

Προκαλείται κυρίως από τη **βαρύτητα**, από τις δυνάμεις που ασκούνται από τα **γειτονικά τεμάχια** ή από την **επίδραση του νερού** (υδροστατικές πιέσεις, παγετός) που γεμίζει τις ασυνέχειες και ρωγμές.

Η ανατροπή της μάζας **εξελίσσεται συνήθως σε πτώση ή ολίσθηση**, ανάλογα με τη γεωμετρία του πρανού και της μετακινούμενης μάζας, καθώς και της επιφάνειας αποκόλλησης.

Η ταχύτητα μετακίνησης μπορεί να είναι **εξαιρετικά αργή στα αρχικά στάδια και να μετατραπεί σε εξαιρετικά γρήγορη στα τελευταία στάδια**.

Ταξινόμηση Ανατροπών

(GOODMAN & BRAY, 1976 και HOEK & BRAY, 1977)

- **Ανατροπή λόγω κάμψης (flexural toppling).** Το πέτρωμα αποχωρίζεται σε κολώνες- πλάκες, λόγω της ύπαρξης ενός καλά αναπτυγμένου υποκατακόρυφου συστήματος ασυνεχειών, το ανώτερο τμήμα των οποίων αστοχεί από κάμψη.

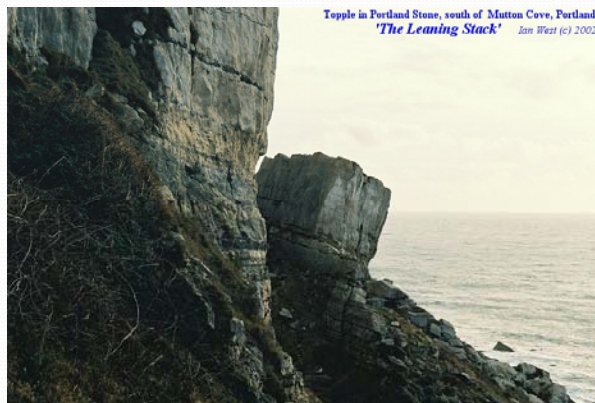


Ανατροπή τεμαχών (block toppling). Περίπτωση ανάλογη με την προηγούμενη με τη διαφορά ότι η θραύση και ανατροπή γίνεται λόγω της παρουσίας ενός δεύτερου συστήματος ασυνεχειών, σχεδόν κάθετου στο κύριο.

- **Ανατροπή τεμαχών λόγω κάμψης (block - flexural toppling).** Σε απότομα βραχώδη πρανή, που αποτελούνται κυρίως από λεπτοστρωματώδη κερματισμένα πετρώματα ή σχιστόλιθους, μπορεί να παρατηρηθεί σημαντική κάμψη των στρωμάτων κατά μήκος μιας καλά διαμορφωμένης επιφάνειας η οποία στη συνέχεια είναι δυνατό να αποτελεί μία επιφάνεια ολίσθησης του βραχώδους πρανούς.



- **Δευτερογενείς ανατροπές (secondary toppling).** Προκαλούνται κυρίως από υποσκαφή της βάσης του πρανούς λόγω φυσικών διεργασιών ή ανθρωπογενών παρεμβάσεων. Η βασική μετακίνηση είναι άλλου τύπου π.χ. ολίσθηση και η ανατροπή υπεισέρχεται σαν συνέπεια της κίνησης αυτής.



Ολισθήσεις (slides)

Διατμητική παραμόρφωση-μετατόπιση και τέλος διατμητική θραύση του υλικού κατά μήκος μιας ή περισσότερων επιφανειών, εντός των ορίων μίας σχετικά στενής ζώνης.

Η επιφάνεια αστοχίας μπορεί να είναι **επίπεδη ή κυκλική**. Στους βραχώδεις σχηματισμούς η επιφάνεια αστοχίας μπορεί να ταυτίζεται με καλά διαμορφωμένες επιφάνειες ασυνεχειών.

Η μετακίνηση μπορεί να είναι **προοδευτική ή ακαριαία** (ταχεία), ανάλογα με την πρόοδο της διατμητικής θραύσης.

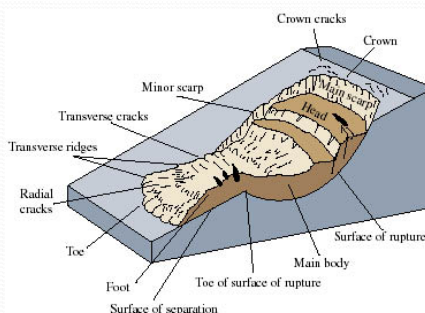
Η μετακινούμενη μάζα μπορεί να παραμείνει **ενιαία** κατά την ολίσθηση ή να διαχωριστεί σε **μικρότερες ανεξάρτητα κινούμενες μάζες**.

Οι ολισθήσεις διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες. Στις **περιστροφικές (rotational)** και στις **μεταθετικές (translational)**

Περιστροφικές ολισθήσεις (rotational slides ή slumps)

Πραγματοποιούνται κατά μήκος **κοίλων προς τα πάνω επιφανειών** με μικρή παραμόρφωση στο σώμα της μετακινούμενης μάζας. Δηλαδή η ολίσθηση γίνεται πάνω σε μία κυλινδρική επιφάνεια ο άξονας της οποίας θεωρείται παράλληλος προς την περιστροφή της κατολίσθησης.

Στις κατολισθήσεις αυτές διακρίνεται με σαφήνεια μια **ζώνη απομείωσης και μια ζώνη συσσώρευσης**. Δηλαδή το ανώτερο τμήμα (κεφαλή) της μετακινούμενης μάζας κινείται προς τα κάτω ενώ στη βάση (πόδα) παρατηρείται ανύψωση.



Εκδηλώνονται κυρίως σε **ομοιογενή εδαφικά υλικά** και συνήθως το μήκος τους είναι 3 - 7 φορές το βάθος τους (Skempton & Hutchinson, 1969). Ως εκ τούτου εκδηλώνονται σε φυσικά πρανή αλλά και σε επιχώματα (φράγματα, επιχώματα οδοποιίας κ.α.)



Κατολίσθηση Βουτιανών,
ΕΟ Τρίπολης - Σπάρτης, 12/2/2010.

Επίσης μπορούν να εκδηλωθούν σε **έντονα κατακερματισμένες βραχομάζες**. Δηλαδή σε πρανή που λόγω του έντονου κατακερματισμού της βραχομάζας είναι σαν να δομούνται από αδρομερή εδαφικά υλικά.



Κατολίσθηση Παναγοπούλας,
ΕΟ Αθηνών - Πατρών, 28/4/1971.

Μεταθετικές ολισθήσεις (Translational slides)

Μετακίνηση κατά μήκος μιας κατά προσέγγιση **επίπεδης ή κυματοειδούς επιφάνειας**, με πολύ μικρή ή καθόλου περιστροφική κίνηση.

Η βασική διαφορά της από την περιστροφική ολίσθηση είναι ότι, εξαιτίας της μορφής της επιφάνειας ολίσθησης δεν έχει την τάση σταδιακής εξισορρόπησης της ασταθούς μάζας.

Οι μεταθετικές ολισθήσεις είναι γενικά πιο αβαθείς από τις περιστροφικές και συνήθως το μήκος τους υπερβαίνει το 10-πλάσιο του βάθους τους (Skempton and Hatchinson 1969).

Στους **εδαφικούς σχηματισμούς** η επιφάνεια ολίσθησης ορίζεται από στρωματογραφικές μεταβάσεις ή από μεταβολές στα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών.

Στους **βραχώδεις σχηματισμούς** η επιφάνεια ολίσθησης ορίζεται από επιφάνειες ασυνεχειών.

Στους βραχώδεις σχηματισμούς ολισθήσεις κατά μήκος μίας ασυνέχειας ονομάζονται **ολισθήσεις τεμάχους** (block slides) κατά Panet (1969) ή **επίπεδες ολισθήσεις** (planar slides) κατά Hoek & Bray (1977). Ενώ ολίσθηση πάνω σε δύο τεμνόμενες επιφάνειες ασυνεχειών καλείται **σφηνοειδής ολίσθηση** (wedge failures).

Χαροκόπι Ιωαννίνων
Μεταθετική ολίσθηση σε
σηματισμούς Φλύσχη.



The top right photograph shows a two-story house with significant structural damage, partially buried under a landslide of earth and debris. The bottom right photograph shows a house with a completely collapsed roof, surrounded by a large amount of earth and rubble. The left photograph shows a steep, eroded hillside with sparse vegetation and exposed soil, indicating a landslide area.

Δυτικό Πήλιο, επίπεδη ολίσθηση σε
λεπτοπλακώδη ασβεστόλιθο.



The left photograph shows a landslide on a hillside with green vegetation. The right photograph shows a close-up of layered rock formations, likely limestone, with a visible fracture line.

Χερσόνησος Παναγίας, Κάστρο
Καβάλας, σφηνοειδής ολίσθηση σε
γνεύσιο.

Πλευρικές εξαπλώσεις (Lateral spreads)

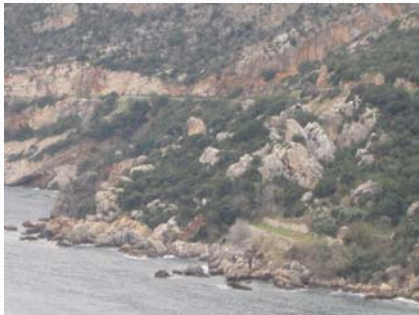
Υποοριζόντιες μετακινήσεις πάνω σε στρώσεις υλικών με ασθενή μηχανικά υλικά. Οι μετακινήσεις διευκολύνονται από την παρουσία διατμητικών και εφελκυστικών ρωγμών.

Διακρίνονται οι ακόλουθοι τύποι μετακινήσεων:

➤ **Εξάπλωση τεμαχίων (block spreads)**. Εκδηλώνονται σε βραχώδεις σχηματισμούς που υπέρκεινται άλλων ασθενέστερων. Τεμάχια του υπερκείμενου σχηματισμού συνθλίβουν το υποκείμενο στρώμα. Η μετατόπιση κατανέμεται σε όλη την εκτεινόμενη μάζα, χωρίς όμως να διαμορφώνεται καλά καθορισμένη επιφάνεια διάτμησης ή που να ελέγχει τη μετακίνηση. Εξαιρετικά αργή κίνηση.



Προϊστορική πλευρική εξάπλωση τεμαχίων ασβεστόλιθου πάνω σε στρώματα ηφαιστο-ιζηματογενών, περιοχή Λεωνιδίου.



- **Εξαπλώσεις λόγω ρευστοποίησης** (liquefaction spreads) εκδηλώνονται σε ευαίσθητες αργίλους ή σε ρευστοποιήσιμους σχηματισμούς. Λαμβάνει χώρα βαθμιαία θραύση, η οποία ξεκινά από μία θέση και εξελίσσεται προς τα πίσω έως τη στέψη της αστοχίας. Τα αποσπώμενα τεμάχια αρχικά καθιζάνουν με ή χωρίς περιστροφή ενώ στη συνέχεια μπορεί να υπάρξει εξώθηση και ροή του ρευστοποιημένου υλικού και των υπερκείμενων τεμαχίων. Αιφνίδιο φαινόμενο που εξελίσσεται με μεγάλη έως πολύ μεγάλη ταχύτητα, χωρίς σημαντική προειδοποίηση. Αίτια εκδήλωσης των φαινομένων αυτών είναι η αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων (έντονες βροχοπτώσεις και λιώσιμο χιονιού), οι σεισμικές δονήσεις και οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις (εκσκαφές και επιβολή φορτίσεων).
- **Σύνθετες, πλευρικές εξαπλώσεις** (complex spreads). Καταγράφονται διαφόρων ειδών σύνθετες εξαπλώσεις σε ορισμένες μάλιστα χωρίς να έχει διευκρινιστεί επαρκώς ο μηχανισμός γένεσής τους.

Ευαίσθητα Αργιλικά Εδάφη

Ευαισθησία (Sensitivity) είναι ο λόγος της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη ενός αδιατάρακτου αργιλικού δείγματος, $q_{u,undisturbed}$, προς την αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη του αναζυμωμένου δείγματος, $q'_{u,remoulded}$, με σταθερή περιεκτικότητα σε υγρασία.

$$S_t = \frac{q_{u,undisturbed}}{q'_{u,remoulded}}$$

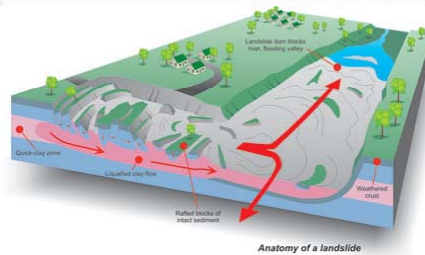
Sensitivity, S_t	Nature of Clay	
1	Insensitive Clay	
1-2	Low Sensitive Clay	
2-4	Medium Sensitive Clay	
4-8	Sensitive Clay	
8-16	Extra Sensitive Clay	Light Quick Clay
16-32	Quick Clay	Medium Quick Clay
32-64		High Quick Clay
>64		Extra Quick Clay

Παράγοντες που επηρεάζουν την ευαισθησία των αργίλων είναι: η έκπλυση των αλάτων, η χημική σύσταση και το επίπεδο του pH στο νερό των πόρων, η παρουσία παραγόντων διασποράς κ.α. τα οποία **αλλοιώνουν τη σύσταση των αργίλων και μειώνουν τις δυνάμεις συνοχής μεταξύ των σωματιδίων της αργίλου.**

Π.χ. Η πόλη Lemieux στην πολιτεία της Ottawa εγκαταλείφθηκε το 1991 λόγω του κινδύνου εκδήλωσης αστοχίας. Το 1993 όντος εκδηλώθηκε αστοχία το μέτωπο της οποίας προωθήθηκε από τις όχθες του διερχόμενου ποταμού 680m σε διάστημα μικρότερο από μία ώρα, καταστρέφοντας έκταση 17.000m². Τα υλικά της αστοχίας μεταφέρθηκαν 1,7 km αντίθετα και προς τη ροή του ποταμού προκαλώντας τη δημιουργία φυσικών αναχωμάτων και πλημμυρίζοντας τεράστιες εκτάσεις.



Lemieux Landslide, June 20, 1993



Anatomy of a landslide

Ροές (flows)

Εκδηλώνονται κυρίως σε χαλαρά υλικά αλλά και σε βραχώδεις σχηματισμούς.

Οι ροές μπορούν να είναι υγρές ή ξηρές, γρήγορες ή αργές.

Διαφέρουν από τις ολισθήσεις στην απουσία καλά διαμορφωμένων επιφανειών ολίσθησης και στην έντονη αναμόχλευση - παραμόρφωση της μετακινούμενης μάζας.

Ροές βραχωδών σχηματισμών

Εξαιρετικά αργές παραμορφώσεις που λαμβάνουν χώρα κατά μήκος των ασυνεχειών της βραχομάζας χωρίς να ορίζεται μια σαφής επιφάνεια ολίσθησης. Σχετίζονται με φαινόμενα κάμψης, πτύχωσης κ.α.



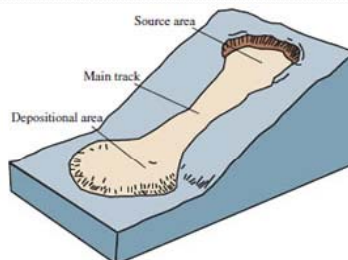
Κάμψη κεφαλών στρωμάτων,
(Desio, 1959)

Ροές κορημάτων (Debris flow)

Μετακινήσεις ξηρών έως υγρών εδαφικών αδρομερών υλικών.

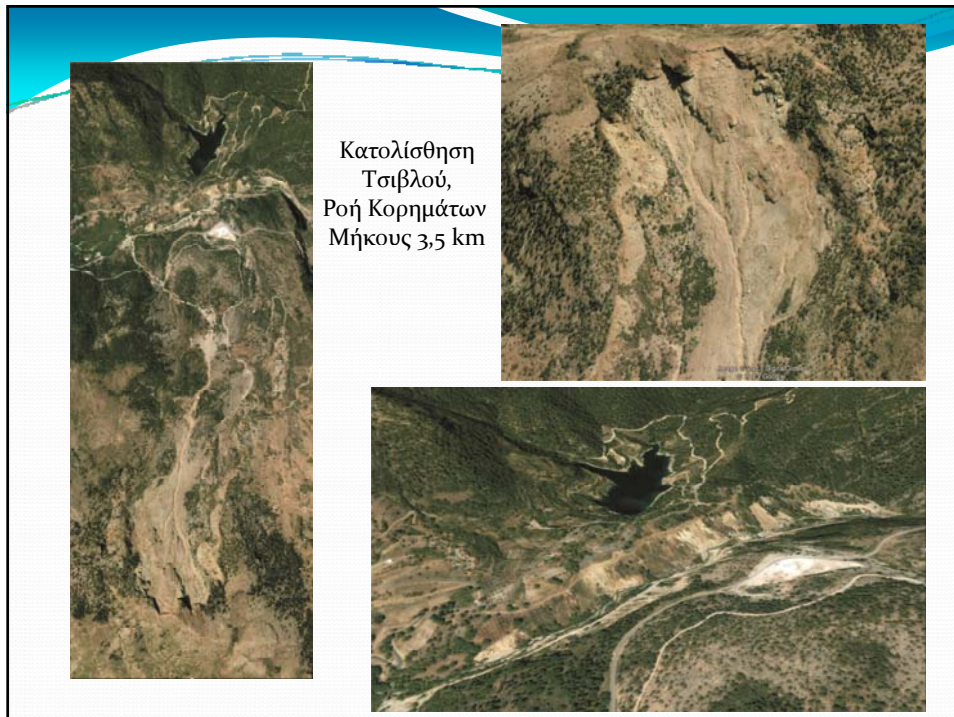
Η ταχύτητα και η μορφή της ροής κορημάτων διαφοροποιείται **ανάλογα με την περιεκτικότητα σε νερό** των υλικών αλλά και **ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε λεπτομερή υλικά**, υλικά που αυξάνουν την κινητικότητά τους. Με την αύξηση του ποσοστού των λεπτόκοκκων μεταβαίνουν σε ροές γαιών.

Η **παραμόρφωση - αναμόγχευση** του υλικού που ρέει είναι **πολύ έντονη** και η δομή του διαφοροποιείται από αυτή στην αρχική του θέση. Τα υλικά διασχίζουν μεγάλες αποστάσεις και τελικά καταλαμβάνουν εκτάσεις πολύ μεγαλύτερες από την έκταση που καταλάμβαναν αρχικά.



Ξηρή ροή κορημάτων. Ροή, χωρίς την παρουσία νερού, σε πρανή με απότομες κλίσεις και με τη δράση των δυνάμεων βαρύτητας. Ένασμα της κίνησης μπορεί να αποτελεί μια υποσκαφή στη βάση του πρανούς, σεισμική δράση κ.α.

«**χιονοστιβάδα**» **κορημάτων.** Πολύ ως εξαιρετικά γρήγορη ροή κορημάτων που εκδηλώνεται σε υλικά με ιδιαίτερα αυξημένη περιεκτικότητα νερού, τα οποία συνήθως συμπαρασύρουν και σημαντικό ποσοστό λεπτομερών κλασμάτων.



Ροές γαιών (Earth flow – mud flow)

Σε αντιστοιχία με τις ροές κορημάτων πρόκειται για ροές εδαφικών υλικών που περιέχουν το ελάχιστο 50% λεπτομερές κλάσμα (άμμο, ιλύ και άργιλο). Ουσιαστικά στις περισσότερες των περιπτώσεων πρόκειται για ροές του μανδύα αποσάθρωσης (ροές αποσαθρωμάτων).

Η ταχύτητα και η μορφή της ροής γαιών διαφοροποιείται **ανάλογα με την περιεκτικότητα σε νερό** των υλικών αλλά και **ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε λεπτομερή υλικά**.

Όταν η περιεκτικότητα σε νερό είναι μεγάλη τότε οι κινήσεις είναι εξαιρετικά γρήγορες και αναφέρονται ως ροές λάσπης ή λασποροές (mud flows). Εκδηλώνονται με έναυσμα τις έντονες βροχοπτώσεις ή το γρήγορο λιώσιμο του πάγου και έχουν ιδιαίτερα καταστροφικές συνέπειες.

Ερπυσμοί (creep)

Οι αργές ροές που εκδηλώνονται στα επιφανειακά στρώματα του εδαφικού μανδύα ή στο μανδύα αποσάθρωσης των πετρωμάτων χαρακτηρίζονται συχνά ως ερπυσμοί (creep).

Οι ερπυσμοί προσβάλλουν μεγάλες εκτάσεις, με μέγιστο βάθος μετακινούμενης μάζας τα 2-3m. Στο σώμα των μετακινούμενων μαζών συνήθως εμφανίζονται κυματοειδείς παραμορφώσεις και συνήθως δεν εκδηλώνονται εφελκυστικές και διατμητικές ρωγμές.

Δείκτες ερπυστικών κινήσεων είναι και οι κάμψεις κορμών δέντρων καθώς και η εκτροπή στύλων από την κατακόρυφο.



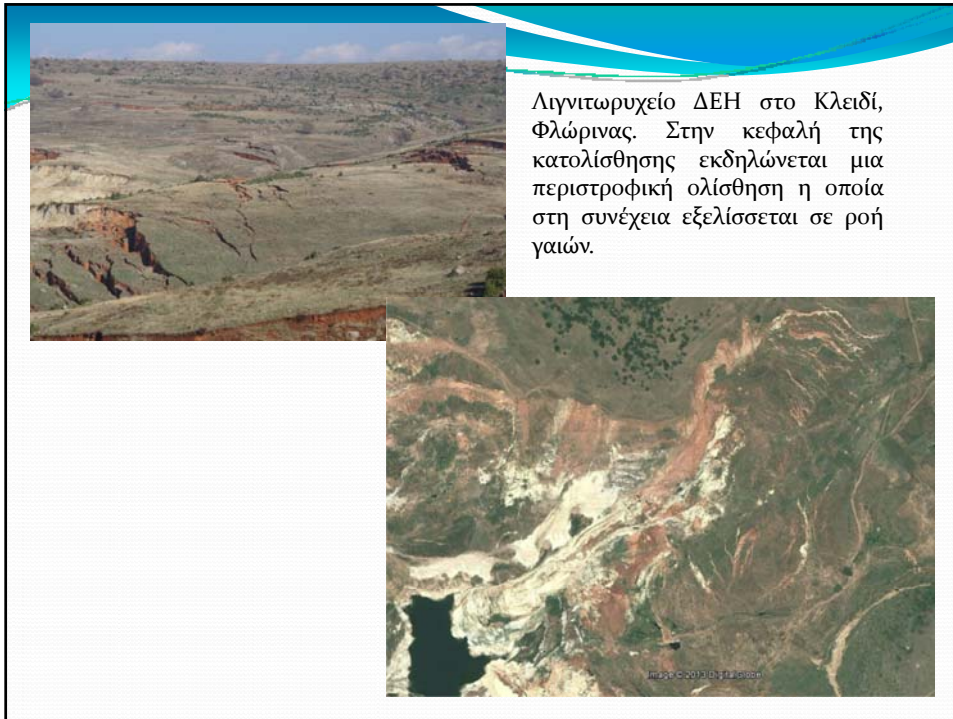
Κάμψη κορμών δέντρων εξαιτίας ερπυστικών μετακινήσεων σε πρανές στην περιοχή του Ροπωτού Τρικάλων.

Σύνθετες μετακινήσεις πρανών (composite or complex slides)

Πρόκειται για μετακινήσεις που αποτελούνται από συνδυασμό μετακινήσεων .

Όταν διαφορετικού τύπου μετακινήσεις λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα ή σχεδόν ταυτόχρονα σε διαφορετικές περιοχές της κατολισθαίνουσας μάζας τότε αναφέρονται ως composite slides.

Όταν μια μετακίνηση σε διαφορετικά στάδια εξέλιξης της μεταβαίνει σε άλλη μορφή μετακίνησης τότε αναφέρονται ως complex slides.



Λιγνιτωρυχείο ΔΕΗ στο Κλειδί, Φλώρινας. Στην κεφαλή της κατολίσθησης εκδηλώνεται μια περιστροφική ολίσθηση η οποία στη συνέχεια εξελίσσεται σε ροή γαιών.

Movement Type	Material		
	ROCK	DEBRIS	EARTH
FALLS	Rock fall	Debris fall Scree Debris cone	Scar Earth fall Colluvium Debris cone
TOPPLES	Rock topple	Debris topple Debris cone	Cracks Earth topple Debris cone
SLIDES	Single rotational slide (slump)	Crown Head Scarp Minor Scarp Multiple rotational slide	Successive rotational slides
	Translational (Planar)	Rock slide Debris slide	Earth slide
SPREADS	Cap rock Normal sub-horizontal structure Cleft Cantilever struts Dip and fault Failure of bed Failure of debris Component sub-parallel	e.g. constricting and valley bulging	Earth spread
FLUIDS	Solifluction flows (Pseudostatic debris flows)	Debris flow	Earth flow (mud flow)
COMPLEX	e.g. Slump-earthflow with rockfall debris	e.g. composite, non-circular part rotational part translational slide grading to earthflow at toe	

Ταξινόμηση σύμφωνα με την ταχύτητα κίνησης

Οι κατολισθήσεις ταξινομούνται κατά Varnes (1978) ανάλογα με την ταχύτητά τους σε:

- **πάρα πολύ αργές** (ταχύτητα < από 0.06 m/year),
- **πολύ αργές** (ταχύτητα από 0.06-1,5m/year),
- **αργές** (ταχύτητα από 1,5m/year έως 1,5m/month),
- **μέτριες** (ταχύτητα από 1,5m/month έως 1,5m/day),
- **γρήγορες** (ταχύτητα από 1,5m/day έως 0,3m/min)
- **πολύ γρήγορες** (ταχύτητα από 0,3m/min έως 3m/sec)
- **πάρα πολύ γρήγορες** (ταχύτητα >από 3m/sec).

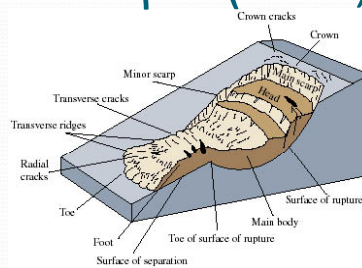
Οι κατολισθήσεις ταξινομούνται κατά WP/WLP(1994) ανάλογα με την ταχύτητά τους σε:

- **πάρα πολύ αργές** (ταχύτητα < από 16 mm/year),
- **πολύ αργές** (ταχύτητα από 16 mm/year έως 1,6m/year),
- **αργές** (ταχύτητα από 1,6m/year έως 13m/month),
- **μέτριες** (ταχύτητα από 13m/month έως 1,8m/hour),
- **γρήγορες** (ταχύτητα από 1,8m/hour έως 3m/min)
- **πολύ γρήγορες** (ταχύτητα από 3m/min έως 5m/sec)
- **πάρα πολύ γρήγορες** (ταχύτητα >από 5m/sec).

Ταξινόμηση σύμφωνα με την Ενεργότητα

- **Ενεργές:** παρουσιάζουν δραστηριότητα κατά τον τελευταίο εποχικό κύκλο (νέες ή επανεργοποιημένες).
- ⇒ **Παροδικά ανενεργές:** παρουσίασαν δραστηριότητα κατά τον τελευταίο εποχικό κύκλο τώρα όμως είναι αδρανείς.
- **Ανενεργές:** παραμένουν αδρανείς για περισσότερο από ένα εποχικό κύκλο.
- ⇒ **Ενεργοποιήσιμες ή σε λανθάνουσα κατάσταση:** τα αίτια εξακολουθούν να υφίστανται.
- ⇒ **Μη ενεργοποιήσιμες:** τα αίτια έχουν εκλείψει.
- ⇒ **Παλιές, αρχαίες, προϊστορικές, απολιθωμένες:** πολύ παλιές ανενεργές κατολισθήσεις.

Ονοματολογία (ΙΑΕΓ, 1990)



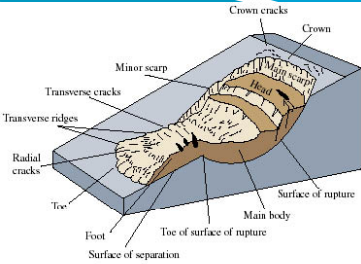
- **Αρχική επιφάνεια του εδάφους (Original ground surface).** Η μορφολογία της επιφάνειας του εδάφους πριν την εκδήλωση της κατολίθησης.
- **Στέψη (Crown).** Το ανώτερο σταθερό τμήμα του φυσικού εδάφους, το πλησιέστερο προς την κύρια κατακρήμνιση.
- **Κύρια κατακρήμνιση (Main scarp).** Η απότομη επιφάνεια του φυσικού εδάφους στο ανώτερο τμήμα της ολίσθησης, που προκλήθηκε από την κίνηση της ολισθαίνουσας μάζας.
- **Κεφαλή (Head).** Τα ανώτερα τμήματα της κατολίθησης μεταξύ της μετακινούμενης μάζας και της κύριας κατακρήμνισης.



Κατολίσθηση στην επαρχιακή οδό
Παραλίας - Πλατάνας (Κύμη)
Άποψη ανάντη τμήματος
κατολίσθησης όπου διακρίνονται
η στέψη, η κύρια κατακρήμνιση
και η κεφαλή.

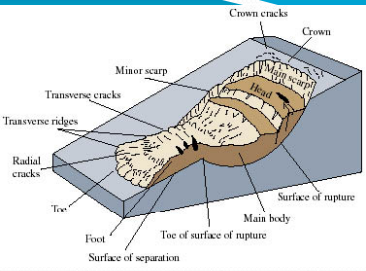


Χαροκόπι Ιωαννίνων,
31^η Δεκεμβρίου 2005.
Άποψη ανάντη τμήματος
κατολίσθησης όπου διακρίνονται
η στέψη, η κύρια κατακρήμνιση, η
επιφάνεια ολίσθησης, η δεξιά
πλευρά και η κεφαλή.



- **Δευτερεύουσα κατακρήμνιση (Minor scarp).** Μικρότερη κατακρήμνιση στο σώμα της μάζας που έχει ολισθήσει και έχει προέλθει από διαφορικές κινήσεις αυτής.
- **Κύριο σώμα (Main body).** Η μετακινούμενη μάζα μεταξύ κύριας κατακρήμνισης και ποδός της κατολίσθησης που υπέρκειται της επιφάνειας ολίσθησης.
- **Επιφάνεια ολίσθησης (Surface of rupture).** Η επέκταση της κύριας κατακρήμνισης κάτω από τη μετακινούμενη μάζα της κατολίσθησης.
- **Μετακινούμενη μάζα (Displaced material).** Η μάζα του πρανούς που έχει μετακινηθεί από την αρχική της θέση, λόγω της κατολίσθησης.
- **Πόδας (Foot).** Το κάτω τμήμα της κατολίσθησης που υπέρκειται της αρχικής επιφάνειας του εδάφους.





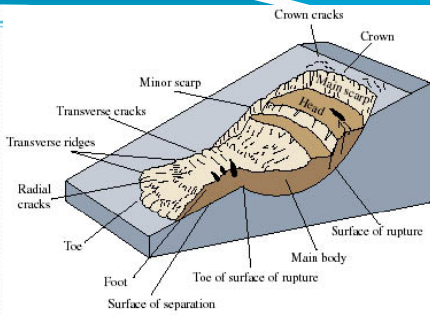
- **Δάκτυλος ποδός (Toe).** Το κατώτερο, συνήθως κυρτό όριο του ποδός, (έχει τη μεγαλύτερη απόσταση από τη στέψη της κατολίσθησης).
- **Πλευρά (Flank).** Η δεξιά ή αριστερή πλευρά της κατολίσθησης, όπως καθορίζεται κοιτώντας από τη στέψη προς τη μάζα της κατολίσθησης.
- **Ζώνη απομείωσης (Zone of depletion).** Η περιοχή της κατολίσθησης στην οποία η μετακινούμενη μάζα βρίσκεται κάτω από την αρχική επιφάνεια του φυσικού εδάφους.
- **Ζώνη συσσώρευσης (Zone of accumulation).** Η περιοχή της κατολίσθησης στην οποία η μετακινούμενη μάζα κείται πάνω από την αρχική επιφάνεια του φυσικού εδάφους.



Λιγνιτωρυχείο ΔΕΗ στο Κλειδί, Φλώρινας. Άποψη της κεφαλής, δευτερευουσών κατακρημνίσεων και της ζώνης απομείωσης.



Κατολίσθηση σε σχηματισμό Φλύσχη στην Ευρυτανία. Πόδας και δάκτυλος ποδός κατολίσθησης.



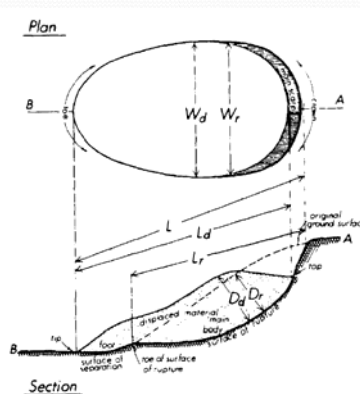
- **Εγκάρσιες ρωγμές (Transverse cracks).** Ρωγματώσεις εγκάρσια στην κύρια διεύθυνση της κίνησης, μεταξύ κύριου σώματος και ποδός.
- **Ακτινωτές ρωγμές (Radial cracks).** Ρωγματώσεις που σημειώνονται στον πόδα της κατολίσθησης.
- **Εγκάρσιες διογκώσεις (Transverse ridges).** Διογκώσεις στα υλικά του ποδός της κατολίσθησης.

Επιπλέον, στις καταπτώσεις έχουμε και τη ``θέση αποκόλλησης βραχοτεμαχίων`` όπου είναι το μέτωπο στη στέψη του πρανούς από το οποίο αποκολλούνται τα βραχοτεμαχία .

Διαστάσεις και γεωμετρικά στοιχεία

Σύμφωνα με την Επιτροπή για τις κατολίσθήσεις της Διεθνούς Ένωσης Τεχνικής Γεωλογίας (IAEG Commission of Landslides)

- **Πλάτος ολισθαίνουσας μάζας (W_d).** Η μέγιστη απόσταση μεταξύ των πλευρών της ολισθαίνουσας μάζας, κάθετα στο μήκος της, (L_d).
- **Πλάτος της επιφάνειας ολίσθησης (W_r).** Η μέγιστη απόσταση μεταξύ των πλευρών της κατολίσθησης, κάθετα στο μήκος της επιφάνειας ολίσθησης (L_r).
- **Μήκος ολισθαίνουσας μάζας (L_d).** Η ελάχιστη απόσταση από την κορυφή στο άκρο της κατολίσθησης.
- **Μήκος επιφάνειας ολίσθησης (L_r).** Η ελάχιστη απόσταση από τη στέψη μέχρι την απόληξη της επιφάνειας ολίσθησης.



- **Βάθος της ολισθαίνουσας μάζας (D_d).** Το μέγιστο βάθος της μάζας που έχει ολισθήσει, μετρημένο κάθετα στο επίπεδο που ορίζουν τα W_d και L_d .
- **Βάθος της επιφάνειας ολίσθησης (D_r).** Το μέγιστο βάθος της επιφάνειας ολίσθησης από την αρχική επιφάνεια του εδάφους μετρημένο κάθετα στο επίπεδο που ορίζουν τα W_r και L_r .
- **Ολικό μήκος (L).** Η ελάχιστη απόσταση από τη στέψη της κατολίσθησης μέχρι το άκρο της.
- **Μήκος της κεντρικής γραμμής (L_c).** Η απόσταση από τη στέψη μέχρι το άκρο της κατολίσθησης κατά μήκος των σημείων που ισαπέχουν από τις πλευρές της κατολίσθησης και τα όρια της επιφάνειας θραύσης.

Αίτια πρόκλησης κατολισθήσεων

Πρόκειται για αίτια τα οποία διαταράσσουν τις συνθήκες ισορροπίας του πρανούς. Είναι σχεδόν πάντα περισσότερα του ενός.

Καθώς το πρανές μεταβαίνει από την **σταθερή κατάσταση** στην **οριακά σταθερή** και εν συνεχεία στην **ασταθή**, τα αίτια διακρίνονται στα **προπαρασκευαστικά (preparatory causal factors)** και στα αίτια που αποτελούν το **έναυσμα της κίνησης (triggering factors)**.

Διάκριση αιτίων κατά Terzaghi (1950) σε δύο βασικές κατηγορίες:

- τα εξωγενή που προκαλούν αύξηση της αναπτυσσόμενης διατμητικής τάσης (π.χ. αλλαγές στη γεωμετρία, επιφορτίσεις κ.α.)
- τα ενδογενή που προκαλούν μείωση της διατμητικής αντοχής του υλικού (π.χ. αποσάθρωση, διάβρωση κ.α.)

Διάκριση αιτίων κατά Varnes (1978) σε τρεις επιμέρους κατηγορίες:

- στους παράγοντες που συμβάλλουν στην αύξηση της αναπτυσσόμενης διατμητικής τάσης (π.χ. αλλαγές στη γεωμετρία, επιφορτίσεις κ.α.)
- στους παράγοντες που συμβάλλουν στην πιθανή χαμηλή διατμητική αντοχή του υλικού (π.χ. δομή, ορυκτολογική σύσταση κ.α.)
- στους παράγοντες που συντελούν στη μείωση της διατμητικής αντοχής του υλικού (π.χ. αποσάθρωση, διάβρωση κ.α.)

Ταξινόμηση παραγόντων εκδήλωσης κατολισθήσεων (WP/WLI 1994)

1. Γεωλογικοί παράγοντες

- 1) Πλαστικό - χαμηλής αντοχής υλικό
- 2) Ευαίσθητο υλικό
- 3) Καταρρεύσιμο υλικό
- 4) Αποσαθρωμένο υλικό
- 5) Διατμημένο υλικό
- 6) Ρωγματομένο υλικό
- 7) Βραχομάζα με δυσμενή προσανατολισμό ασυνεχειών (στρώση, σχιστότητα)
- 8) Βραχομάζα με δυσμενή προσανατολισμό ασυνεχειών (διακλάσεις, ρήγματα, ασυμφωνίες)
- 9) Υλικά με διαφοροποιήσεις στην υδροπερατότητα
- 10) Υλικά με διαφοροποιήσεις στη δυσκαμψία

2. Γεωμορφολογικές διεργασίες

- 1) Τεκτονική ανύψωση
- 2) Διόγκωση ηφαιστείων
- 3) Προώθηση παγετώνων
- 4) Ποτάμια διάβρωση στη βάση του πρανούς
- 5) Θαλάσσια διάβρωση στη βάση του πρανούς
- 6) Διάβρωση στη βάση του πρανούς από παγετώνα
- 7) Διάβρωση των παριών των πρανών
- 8) Εσωτερική διάβρωση (διασολήνωση – διάλυση)
- 9) Φόρτιση από φυσικές διεργασίες στη στέψη του πρανούς
- 10) Καταστροφή φυτοκάλυψης

3. Φυσικές διεργασίες

- 1) Έντονη, μικρής διάρκειας βροχόπτωση
- 2) Γρήγορο λιώσιμο χιονιού
- 3) Παρατεταμένη υψηλή βροχόπτωση
- 4) Γρήγορη πτώση στάθμης νερού (μετά από πλημμύρες, παλίρροιες κ.α.)
- 5) Σεισμοί
- 6) Εκρήξεις ηφαιστείων
- 7) Διάρρηξη λιμνών σε κρατήρες ηφαιστείων
- 8) Λιώσιμο παγωμένου εδάφους
- 9) Αποσάθρωση λόγω παγετού
- 10) Αποσάθρωση από διόγκωση και συρρίκνωση εδαφών

4. Ανθρωπογενείς διεργασίες

- 1) Εκσκαφές στη βάση (πόδι) του πρανούς
- 2) Φόρτιση στο μέτωπο ή πάνω από τη στέψη του πρανούς
- 3) Υποβιβασμός στάθμης σε ταμιευτήρες - Υποβιβασμός της στάθμης υπόγειων υδροφόρων
- 4) Άρδευση - Καλλιέργεια πρανούς
- 5) Κακή συντήρηση αποστραγγιστικών έργων
- 6) Διαρροή νερού από τεχνικά έργα
- 7) Αποψίλωση βλάστησης
- 8) Λατομική - μεταλλευτική δραστηριότητα - Κατάρρευση ανθρωπογενών εγκοίλων
- 9) Δημιουργία χωματερών
- 10) Τεχνητές δονήσεις (εκρήξεις, λειτουργία μηχανημάτων, διέλευση βαρέων οχημάτων)

BULLETIN of the International Association of ENGINEERING GEOLOGY
de l'Association Internationale de GÉOLOGIE DE L'INGÉNIEUR Paris - No 50 - Octobre 1994

A SUGGESTED METHOD FOR REPORTING LANDSLIDE CAUSES
PROPOSITION D'UNE MÉTHODE POUR RENDRE COMPTE DES CAUSES DES GLISSEMENTS DE TERRAIN

M.E. POPESCU*

Summary
A brief list of landslide causal factors is presented and a format for reporting landslide causes is suggested. They make useful additions to the Landslide Report proposed by the International Geotechnical Society's UNESCO Working Party on World Landslide Inventory.

Table 2: Landslide Report Section on Landslide Causal Factors. Example for the Hudson Slide (Terzaghi, 1950).

Preparatory causal factors : 4.2, 4.7
Triggering causal factors : 3.3

Table 1: A brief list of landslide causal factors.

1. GROUND CONDITIONS
 - 1) Plastic weak material
 - 2) Sensitive material
 - 3) Collapsible material
 - 4) Weathered material
 - 5) Sheared material
 - 6) Jointed or fissured material
 - 7) Adversely oriented mass discontinuities (including bedding, schistosity, cleavage)
 - 8) Adversely oriented mass discontinuities (including faults, unconformities, flexural shears, sedimentary contacts)
 - 9) Contrast in permeability and its effects on ground water
 - 10) Contrast in stiffness (stiff, dense material over plastic materials)
2. GEOMORPHOLOGICAL PROCESSES
 - 1) Tectonic uplift
 - 2) Volcanic uplift
 - 3) Glacial rebound
 - 4) Fluvial erosion of the slope toe
 - 5) Wave erosion of the slope toe
 - 6) Glacial erosion of the slope toe
 - 7) Erosion of the lateral margins
 - 8) Subterranean erosion (solution, piping)
 - 9) Deposition loading the slope crest
 - 10) Vegetation removal (by erosion, forest fire, drought)
3. PHYSICAL PROCESSES
 - 1) Intense, short period, rainfall
 - 2) Rapid melt of deep snow
 - 3) Prolonged high precipitation
 - 4) Rapid drawdown following floods, high tides or breaching of natural dams
 - 5) Earthquake
 - 6) Volcanic eruption
 - 7) Breaching of crater lakes
 - 8) Thawing of permafrost
 - 9) Freeze and thaw weathering
 - 10) Shrink and swell weathering of expansive soils
4. MAN-MADE PROCESSES
 - 1) Excavation of the slope or at its toe
 - 2) Loading of the slope or at its crest
 - 3) Draw-down (of reservoirs)
 - 4) Irrigation
 - 5) Defective maintenance of drainage system
 - 6) Water leakage from services (water supplies sewers, stormwater drains)
 - 7) Vegetation removal (deforestation)
 - 8) Mining and quarrying (open pits or underground galleries)
 - 9) Creation of dumps of very loose waste
 - 10) Artificial vibration (including traffic, pile driving, heavy machinery)

Βιβλιογραφία

- Κούκης Γ., Σαμπατακάκης Ν., (2007) Γεωλογία Τεχνικών Έργων, Εκδ. Παπασωτηρίου, σελ.575.
- Ph. Bally Ed. (2012), Scientific and Technical Memorandum of The International Forum on Satellite EO and Geohazards, 21-23 May 2012, Santorini Greece. doi:10.5270/esa-geo-hzrd-2012