



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
με θέμα:

«ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ»



ΟΙ ΦΟΙΤΗΤΕΣ:

ΓΑΛΑΝΟΣ ΦΙΛΙΠΠΟΣ (Α.Ε.Μ.: 3977)

ΣΤΟΓΙΑΝΝΙΔΗΣ ΚΩΝ/ΝΟΣ (Α.Ε.Μ.: 2839)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
κ. ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2009

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
με θέμα:

«ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ»

ΟΙ ΦΟΙΤΗΤΕΣ:

ΓΑΛΑΝΟΣ ΦΙΛΙΠΠΟΣ (Α.Ε.Μ.: 3977)

ΣΤΟΓΙΑΝΝΙΔΗΣ ΚΩΝ/ΝΟΣ (Α.Ε.Μ.: 2839)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
κ. ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	1
2.	ΓΕΝΙΚΑ	2
3.	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ	4
3.1	Γενικά	4
3.2	Ταξινόμηση κατά Zaruba – Mencl	7
3.2.1	Μετακινήσεις επιφανειακών αποθέσεων	7
3.2.2	Μετακινήσεις στα αργιλικά εδάφη και πετρώματα	12
3.2.3	Μετακινήσεις συμπαγών πετρωμάτων	14
3.2.4	Ειδικοί τύποι μετακίνησης	17
3.3	Ταξινόμηση κατά Varnes	18
3.3.1	Καταπτώσεις (falls)	21
3.3.2	Ανατροπές (topples)	24
3.3.3	Ολισθήσεις (slides)	28
3.3.4	Πλευρικές εξαπλώσεις (Lateral spreads)	39
3.3.5	Ροές (flows)	41
3.3.6	Σύνθετες μετακινήσεις πρανών (composite slides)	48
4.	ΕΝΕΡΓΟΤΗΤΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ	52
4.1	Γενικά	52
4.2	Καθεστώς ενεργότητας (state of activity)	52
4.2.1	Ενεργές Κατολισθήσεις (active landslides)	52
4.2.2	Ανενεργές Κατολισθήσεις (inactive landslides)	52
4.3	Κατανομή ενεργότητας (distribution of activity)	53
4.4	Τύπος ενεργότητας (distribution of activity)	54
5.	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ	56
5.1	Γενικά	56
5.2	Κατηγοριοποίηση ως προς την ταχύτητα	56

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η διπλωματική εργασία που αναπτύσσεται στο παρόν σύγγραμμα, ανατέθηκε από τον καθηγητή κ. Χρηστάρα Βασίλειο. Η εργασία είναι βιβλιογραφική και βασίστηκε σε εργασίες δημοσιευμένες κυρίως σε διεθνή περιοδικά, συναφείς με το θέμα, σε ιστοσελίδες στο διαδίκτυο που αναφέρονταν γενικότερα και ειδικότερα σε κατολισθητικά φαινόμενα, αναλύοντας τα επί μέρους είδη αυτών, σε δημοσιευμένες διπλωματικές εργασίες σχετικές με το θέμα και σε ελληνικά και ξένα επιστημονικά συγγράμματα.

Στο σημείο αυτό οφείλουμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας, αρχικά στον επιβλέπων καθηγητή κ. Χρηστάρα Βασίλειο για την ανάθεση του θέματος, για τις πολύτιμες καθοδηγήσεις και συμβουλές του και για την υπομονή και σχολαστικότητα που επέδειξε στις όποιες απορίες μας γεννήθηκαν, κατά τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας.

Επίσης, ευχαριστούμε θερμά το Δρ. Γεωλόγο κ. Μακεδών Θωμά και τον υποψήφιο διδάκτορα Γεωλογίας κ. Χατζηγώγο Νικόλαο, για τις πολύτιμες καθοδηγήσεις τους και την παροχή της απαραίτητης βιβλιογραφίας.

2. ΓΕΝΙΚΑ

Οι κατολισθήσεις, με την ευρύτερη έννοια του όρου, περιγράφουν τις μετακινήσεις μαζών που εκδηλώνονται τόσο σε φυσικά όσο και τεχνητά πρηνή και συνιστούν μαζί με τους σεισμούς, τις εκρήξεις των ηφαιστείων, τις ανεξέλεγκτες πυρκαγιές και τις πλημμύρες, τις σπουδαιότερες Φυσικές Καταστροφές (Natural Disasters). Ως φυσικό φαινόμενο, αποτελούν μια από τις βασικότερες αιτίες απώλειας ανθρώπινων ζώων καθώς και περιουσιών με σημαντικές κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις.

Σε πολλές χώρες του κόσμου, μια εκ των οποίων είναι και οι Η.Π.Α., οι κατολισθήσεις, αποτελούν το πιο σημαντικό από τα φυσικά καταστροφικά φαινόμενα, από άποψη πρόκλησης ζημιών. Βέβαια, μέχρι σήμερα δεν έχει γίνει δυνατή λεπτομερής απεικόνιση της κατανομής των κατολισθήσεων σε έναν Παγκόσμιο Άτλαντα, ώστε να είναι δυνατή μία συνολική διερεύνηση των αιτιών που προκαλούν το φαινόμενο και να δοθεί μία ικανοποιητική εξήγηση στην κατανομή αυτή. Παρόλα αυτά, έχουν δημοσιευθεί αρκετές επιστημονικές εργασίες, τεχνικογεωλογικές έρευνες και μελέτες που αφορούν την εκδήλωση και κατανομή των κατολισθητικών φαινομένων σε διάφορες χώρες και τη συσχέτισή τους με κάποια αίτια και παράγοντες (π.χ. βροχοπτώσεις, σεισμοί κ.λπ.), αλλά σύμφωνα με τους Κούκη & Σαμπατακάκη (2007), αποτελούν μεμονωμένες προσπάθειες.

Ο καθορισμός της απαραίτητης ορολογίας για την ενιαία περιγραφή του φαινομένου, ξεκίνησε το 1978, όταν η Διεθνής Ένωση Τεχνικής Γεωλογίας (IAEG) προχώρησε στη σύσταση σχετικών επιστημονικών επιτροπών. Η Επιτροπή Κατολισθήσεων της IAEG παρουσίασε το έτος 1990, μία ολοκληρωμένη πρόταση σχετικά με τον καθορισμό των χρησιμοποιούμενων όρων που περιγράφουν το φαινόμενο και καθορίζουν τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά. Παράλληλα, η διακήρυξη από τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών της δεκαετίας 1990 – 2000 σαν Διεθνούς Δεκαετίας για τον περιορισμό των φυσικών καταστροφών, ενθάρρυνε την πρόταση της IAEG για την ονοματολογία των κατολισθήσεων και τη δημιουργία στις Διεθνείς Γεωτεχνικές Εταιρίες (IAEG, ISSMFE, ISRM), Ομάδων Εργασίας της UNESCO, με σκοπό την καταγραφή των κατολισθήσεων. Αποτέλεσμα των ομάδων εργασίας ήταν η διατύπωση προτάσεων και οδηγιών σχετικά με:

- την περιγραφή των κατολισθήσεων
- την ενεργότητα των κατολισθήσεων

- την καταγραφή των αιτιών που προκαλούν κατολισθήσεις
- την καταγραφή της ταχύτητας μετακίνησης
- την περιγραφή των μέτρων προστασίας

Επίσης, ολοκληρώθηκε η σύνταξη του “Multilingual Landslide Glossary” για να ενθαρρύνει τη χρήση μιας ενιαίας ορολογίας, σχετικά με την περιγραφή των κατολισθήσεων.

Κατολισθητικά φαινόμενα που εκδηλώθηκαν σε ιστορικούς χρόνους, συνήθως στερούνται πλήθους πληροφοριών, που θα συνέβαλαν στην ουσιαστική έρευνα των κατολισθήσεων και την αντιμετώπισή τους. Προς την κατεύθυνση αυτή, αναφέρθηκε στο κάλεσμά του για τη Διακήρυξη της δεκαετίας 1990-2000 σαν Διεθνούς Δεκαετίας για τη μείωση των Φυσικών Καταστροφών, ο Γενικός Γραμματέας των Ηνωμένων Εθνών, ο οποίος ανέφερε ότι: «βασική προϋπόθεση για την εκτίμηση του κινδύνου και τη διαχείριση της επικινδυνότητας λόγω των φυσικών καταστροφών, είναι η διαθεσιμότητα αξιόπιστων ιστορικών στοιχείων για τα καταστροφικά φαινόμενα, σε όλες τις χώρες του κόσμου».

Η εκτενής και συστηματική μελέτη των μηχανισμών που διέπουν τα κατολισθητικά φαινόμενα σε παγκόσμια κλίμακα, αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για τη σωστή ερμηνεία τους και οδηγεί στην ασφαλή εκτίμηση κατολισθητικών φαινομένων. Κατά τη διεθνή βιβλιογραφία, η χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών, στατιστικών μεθόδων ανάλυσης, μαθηματικών μοντέλων, εργαστηριακών και επί τόπου δοκιμών εδαφομηχανικής και βραχομηχανικής και επί τόπου ενόργανης παρακολούθησης ενεργών κατολισθήσεων και επιδεκτικών προς κατολίσθηση περιοχών, συμβάλλει καθοριστικά στην ολοκληρωμένη μελέτη των κατολισθητικών φαινομένων στο σύνολό τους. Απώτερος στόχος παραμένει η εκτίμηση των επιδεκτικών προς κατολίσθηση περιοχών και η πρόβλεψη των φαινομένων αυτών, ώστε να αποφευχθούν τα δυσάρεστα αποτελέσματα που επιφέρουν (Van Westen, C.J., Van Asch, T.W.J., Soeters, R., 2005). Παρόλα αυτά, η όλη διαδικασία παραμένει αρκετά πολύπλοκη και πολυπαραμετρική, ενέχει σφάλματα, όσων αφορά το τελικό αποτέλεσμα και επιδέχεται διόρθωσης. Η ανθρωποκεντρική θεώρηση των επιβλαβών επιπτώσεων που συνοδεύουν ένα κατολισθητικό φαινόμενο, επιβάλλει τη συντονισμένη προσπάθεια και συνεργασία πολλών γεωεπιστημών.

3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

3.1 Γενικά

Ο όρος κατολίσθηση, προέκυψε από την απόδοση του αγγλικού όρου “Landslide”, ο οποίος ετυμολογικά δεν ανταποκρίνεται με μεγάλη ακρίβεια στο σύνολο του φαινομένου, διότι εκτός της ολίσθησης (slide) μπορεί να περιλαμβάνει την πτώση, ή την ανατροπή, ή ακόμη και τη ροή. Σημειώνεται επίσης πως κατολισθητικά φαινόμενα μπορεί να λάβουν χώρα όχι μόνο στην ξηρά, αλλά και στη θάλασσα, σε τεχνητούς ταμιευτήρες και σε λίμνες. Με τη γενίκευση του όρου, κατολίσθηση ονομάζεται κάθε αλλαγή, μεγάλη ή μικρή, στην επιφάνεια μιας κλιτύς, που χαρακτηρίζεται από μετακίνηση υλικού, με ρήξη ή όχι της συνέχειάς της, απότομη ή αργή, που προέρχεται από δυνάμεις βαρύτητας και οφείλεται σε φυσικά ή τεχνητά αίτια. Η κατολίσθηση δεν είναι τίποτε άλλο από τη φυσική τάση του εδάφους να επανακτήσει την ισορροπία του, που διαταράχτηκε για κάποιο λόγο. Έτσι, με εξαίρεση την περίπτωση όπου η κατολίσθηση οφείλεται σε ανθρώπινη παρέμβαση, το φαινόμενο αυτό αποτελεί μια φυσική γεωλογική εξέλιξη, όπως η διάβρωση ή οι τεκτονικές κινήσεις, αλλά με πολύ μεγάλες ταχύτητες, τουλάχιστον στην τελική φάση εκδήλωσης. Αυτό γιατί το φαινόμενο που συνήθως ονομάζεται κατολίσθηση δεν είναι παρά το τελικό στάδιο μιας διαδικασίας που έχει αρχίσει πολύ καιρό πριν, με πρόδρομα φαινόμενα, ορατά ή όχι και με εσωτερικές και εξωτερικές θραύσεις και παραμορφώσεις (Στουρνάρας, Κ.Γ., 1989).

Σχετικά με τον ορισμό του όρου «κατολίσθηση» και των διεργασιών που περιλαμβάνει σαν φαινόμενο, έχουν κατά καιρούς προταθεί από διάφορους μελετητές τα παρακάτω (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007):

Ο TERZAGHI (1950) ορίζει την κατολίσθηση σαν «μία γρήγορη κίνηση μάζας πετρώματος, υπολειμματικού (residual) εδάφους ή ιζήματος ενός πρανούς, της οποίας το κέντρο βάρους μετακινείται προς τα κάτω και προς τα έξω».

Οι ZARUBA and MENCL (1969) ορίζουν την κατολίσθηση σαν «μία γρήγορη κίνηση πετρωμάτων που οφείλεται στην ολίσθηση ενός τμήματος πρανούς που διαχωρίζεται από το υπόλοιπο σταθερό τμήμα με μία καλά καθορισμένη επιφάνεια».

Ο COATES (1977), στην ειδική έκδοση της Αμερικανικής Γεωλογικής Εταιρείας (USGS) για τις κατολισθήσεις, δίνει τους παρακάτω όρους - προϋποθέσεις για την ταξινόμηση μίας εδαφικής κίνησης στις κατολισθήσεις:

- η βαρύτητα είναι η δύναμη που κατέχει πρωτεύοντα ρόλο
- η ταχύτητα της κίνησης πρέπει να είναι σχετικά μεγάλη (ο ερπυσμός δεν μπορεί να συμπεριληφθεί στα κατολισθητικά φαινόμενα)
- η κίνηση μπορεί να εκδηλώνεται με πτώση, ολίσθηση ή ροή
- η ζώνη ή το επίπεδο της κίνησης δεν ταυτίζεται με γεωλογικό ρήγμα
- η κίνηση πρέπει να γίνεται προς τα κάτω και προς τα έξω με δημιουργία ελεύθερης επιφάνειας (με την έννοια αυτή στις κατολισθήσεις δεν συμπεριλαμβάνονται οι καθιζήσεις)
- το μετακινούμενο υλικό έχει καθορισμένα όρια και συνήθως αποτελεί περιορισμένο τμήμα μιας ορεινής ή λοφώδους έκτασης
- το μετακινούμενο υλικό περιλαμβάνει μέρος του μανδύα αποσάθρωσης των πετρωμάτων ή μέρος το μητρικού πετρώματος ή ακόμα και τα δύο. Ολισθήσεις που οφείλονται σε φαινόμενα παγετού, συνήθως δεν συμπεριλαμβάνονται στις κατολισθήσεις

Ο VARNES (1978), στην ειδική έκδοση για τις κατολισθήσεις, του Οργανισμού Έρευνας Μεταφορών των Η.Π.Α. (Report 176, Landslides: Analysis and Control), χρησιμοποιεί τον όρο «μετακίνηση μαζών» (mass movements) αντί του όρου «κατολίσθηση» και με αυτόν περιλαμβάνει κάθε μετακίνηση τμήματος πρανού που οφείλεται σε ολίσθηση, κατάπτωση, ανατροπή, ροή και ερπυσμό. Με την έννοια αυτή δεν περιλαμβάνονται στις κατολισθήσεις φαινόμενα όπως οι καθιζήσεις (ground subsidences) ή οι χιονοστιβάδες (snow avalanches) και οι μετακινήσεις του πάγου.

Από το 1978 μέχρι και σήμερα έχει επικρατήσει γενικά ο παραπάνω ορισμός για τις κατολισθήσεις που αποδίδει μία ευρύτερη έννοια από αυτή που η λέξη υποδηλώνει, ενώ οι καθιζήσεις και καταρρεύσεις δεν περιλαμβάνονται στις κατολισθήσεις. Η ευρύτητα που αποδίδεται στον όρο φαίνεται και από τον ορισμό που δίνει ο CRUDEN (1991), σαν Πρόεδρος της Ομάδας Εργασίας της UNESCO για τη διεθνή καταγραφή των κατολισθήσεων, ο οποίος ορίζει την κατολίσθηση σαν «την κίνηση μιας μάζας βράχου, εδάφους ή κορημάτων προς τα κατάντη ενός πρανού».

Οι διάφορες ταξινομήσεις που έχουν κατά καιρούς προταθεί για τις κατολισθήσεις, βασίζονται κυρίως σε παραμέτρους που έχουν σχέση με:

- 1) τον τύπο - είδος του υλικού κατολίσθησης
- 2) την περιεχόμενη υγρασία του κατολισθαίνοντος υλικού
- 3) τον τύπο της κίνησης (κατάπτωση, ολίσθηση, ροή)
- 4) την ταχύτητα της κίνησης

- 5) το αίτιο της κίνησης (σεισμός, πίεση νερού, ανθρώπινος παράγοντας)
- 6) τη σχέση ολίσθησης και επιφάνειας ολίσθησης (επίπεδη, περιστροφική)
- 7) την τοποθεσία όπου γίνεται το φαινόμενο (ξηρά, θάλασσα, λίμνη)
- 8) τη γεωμετρία και μορφολογία του πρσανούς
- 9) το περιβαλλοντικό καθεστώς και τις κλιματικές συνθήκες
- 10) το μηχανισμό ολίσθησης

Τα πρώτα συστήματα ταξινόμησης των κατολισθήσεων προτάθηκαν από τον SHARPE (1939) και VARNES (1958) και βασίζονταν σε τέσσερις παραμέτρους: (α) τον τύπο κίνησης, (β) την ταχύτητα κίνησης, (γ) τον τύπο υλικού και (δ) την περιεχόμενη υγρασία.

Ο ERSKINE (1973), λαμβάνοντας υπόψη περιβαλλοντικές παραμέτρους, καθώς και τις απαιτήσεις για τη χρήση γης, ταξινόμησε τις κατολισθήσεις με βάση την ενεργότητά τους και τις επιπτώσεις που πιθανώς να έχουν στα διάφορα τεχνικά έργα, στις παρακάτω τέσσερις κατηγορίες:

- 1) σταθεροποιημένες κατολισθήσεις (δεν έχουν ενδείξεις πρόσφατης ενεργοποίησης)
- 2) πρόσφατα ενεργές κατολισθήσεις (εκδηλώνονται με πρόσφατες κινήσεις)
- 3) κατολισθήσεις που ανέδρασαν πρόσφατα, (μετά από μία περίοδο σταθεροποίησης)
- 4) ενεργές κατολισθήσεις (δείχνουν να μην έχουν σταθεροποιηθεί).

Οι ZARUBA and MENCL (1969, 1976) εκφράζοντας τις απόψεις της Τσεχοσλοβάκικης Σχολής και τις ιδιομορφίες της γεωλογικής δομής των χωρών τους, διακρίνουν δύο μεγάλες κατηγορίες μετακίνησης πρσανών (κατολισθήσεων):

- 1) τις μετακινήσεις του τεταρτογενούς καλύμματος, οι οποίες είναι και οι πολυπληθέστερες
- 2) τις μετακινήσεις του προτεταρτογενούς υποβάθρου, οι οποίες υποδιαιρούνται ανάλογα με το χαρακτήρα των πετρωμάτων και τον τύπο της μετακίνησης.

Ο COATES (1977) ταξινομεί τις κατολισθήσεις με βάση τις δύο παρακάτω παραμέτρους:

- 1) το υλικό μετακίνησης:
 - (α) βραχώδες υπόβαθρο, (β) μανδύας αποσάθρωσης - κορήματα, (γ) εδαφικοί σχηματισμοί
- 2) τον τύπο κίνησης:

(α) ολίσθηση, (β) ροή, (γ) κατάπτωση.

Ο VARNES (1978) πρότεινε ένα σύστημα ταξινόμησης όλων των μετακινήσεων που θα μπορούσαν να παρατηρηθούν σε πρηνή, εξαιρουμένων των καθιζήσεων. Η ταξινόμηση αυτή βασίζεται σε δύο κύρια κριτήρια, τον τύπο μετακίνησης και το είδος του υλικού που μετακινείται. Κάθε κατολίσθηση, σύμφωνα με το σύστημα αυτό, είναι δυνατό να ταξινομηθεί και να περιγραφεί με δύο μόνο λέξεις: η πρώτη αναφέρεται στον τύπο της κίνησης και η δεύτερη στο υλικό που μετακινείται (π.χ. ροή κορημάτων, ολίσθηση γαιών, ανατροπή βράχων κ.λπ).

Από όλες τις παραπάνω ταξινομήσεις, οι πλέον σημαντικές οι οποίες και περιγράφονται στη συνέχεια είναι των Zaruba - Mencl και κυρίως του Varnes, η οποία έχει γίνει πλέον διεθνώς αποδεκτή και χρησιμοποιείται ευρέως για την περιγραφή όλων των εδαφικών μετακινήσεων. Σημειώνεται ότι η ταξινόμηση των Zaruba - Mencl έχει περιορισμένη «ευρύτητα» στην εφαρμογή της, με έντονη τη θεώρηση του γεωλογικού παράγοντα, σε αντίθεση με αυτήν του Varnes που είναι αρκετά «ευέλικτη», προσαρμόζεται εύκολα στις εκάστοτε συνθήκες και αποτελεί πρακτικά πιο εύκολα εφαρμόσιμη ταξινόμηση.

3.2 Ταξινόμηση κατά Zaruba – Mencl

Οι ZARUBA και MENCL (1969, 1976), διακρίνουν τέσσερις κύριες κατηγορίες μετακίνησης πρηνών ανάλογα με τη σύσταση των μετακινούμενων υλικών. Οι κατηγορίες αυτές υποδιαιρούνται ανάλογα με το χαρακτήρα των πετρωμάτων και κυρίως τον τύπο της μετακίνησης. Η ταξινόμηση δίνεται στον Πίνακα 3.1.

3.2.1 Μετακινήσεις επιφανειακών αποθέσεων

Πρόκειται για μετακινήσεις αποσαθρωμάτων, του επιφανειακού δηλαδή μανδύα αποσάθρωσης των πετρωμάτων και προϊόντων της διάβρωσης, οι οποίες προκαλούνται κυρίως από τους ατμοσφαιρικούς παράγοντες και ελέγχονται γενικά από το χαρακτήρα των αποσαθρωμάτων, καθώς και τη μορφολογία των πρηνών. Σ' αυτή την κατηγορία των μετακινήσεων υπάγονται:

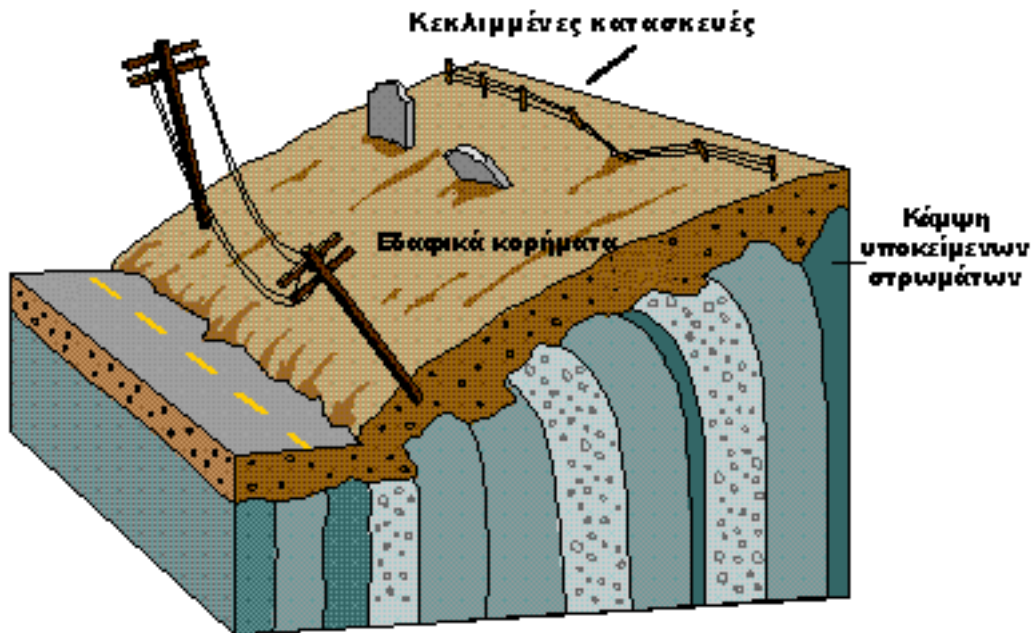
Πίνακας 3.1: Ταξινόμηση κατολισθήσεων κατά ZARUBA και MENCL (1976).

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

α) Ερπυσμός κορημάτων και κάμψη της κεφαλής των στρωμάτων

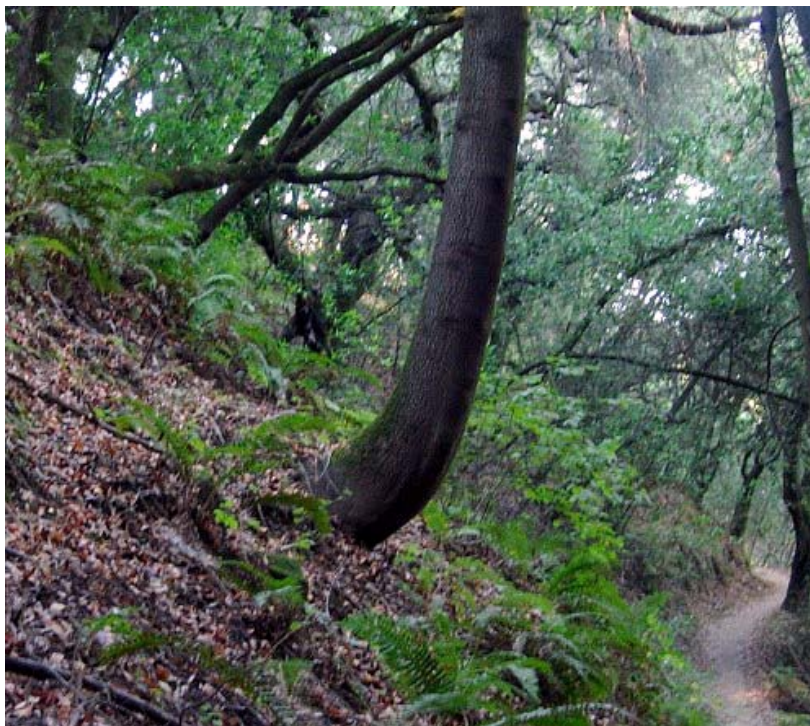
Ο ερπυσμός (creep) των κορημάτων είναι αποτέλεσμα της εναλλαγής κατά το χειμώνα και την άνοιξη της χαμηλότερης και υψηλότερης θερμοκρασίας, που προκαλεί αντίστοιχα διόγκωση και συρρίκνωση των αργιλικών χαλαρών υλικών. Το πάγωμα και το λιώσιμο του νερού και του πάγου αντίστοιχα στα επιφανειακά στρώματα, προκαλούν τη χαλάρωση των υλικών και τη μετακίνησή τους κάτω από την επίδραση της βαρύτητας. Τα επιφανειακά, κυρίως αργιλικής σύστασης υλικά, μετακινούνται κατά μήκος μίας ζώνης όπου γίνονται επιμέρους μικρές μετακινήσεις (ερπυσμός). Το πάχος του μετακινούμενου υλικού δεν ξεπερνά το βάθος της εποχικής μεταβολής της θερμοκρασίας και της υγρασίας, ενώ οι μετακινήσεις είναι γενικά της τάξεως του cm/έτος, αλλά μπορεί να προκαλέσουν απόκλιση από την κατακόρυφο των τηλεφωνικών και ηλεκτρικών στύλων καθώς και βλάβες στους τοίχους αντιστήριξης, στις οικοδομές και τις υπόγειες γραμμές και αγωγούς (Σχήμα 3.1).

Ο ερπυσμός των αποσθρωμάτων μπορεί να οδηγήσει βαθμιαία στην τελική κάμψη των υποκείμενων στρωμάτων (στην περίπτωση βέβαια που αυτά παρουσιάζουν ισχυρή κλίση), λόγω της τριβής ανάμεσα στο επιφανειακό στρώμα και στην επιφάνεια των στρωμάτων του υπόβαθρου (Φωτο 3.1-3.2), με αποτέλεσμα οι εκσκαφές στα επιφανειακά τμήματα των στρωμάτων μπορεί να είναι ασταθείς ενώ οι μετρήσεις της κλίσης των στρωμάτων σε αυτά να δίνουν αναληθείς πληροφορίες.



Σχήμα 3.1: Τυπική μορφή ερπυσμού (creep) κορημάτων
(www.em.gov.bc.ca/mining/Geol/Surv/Surficial/lamslid/ls-f)

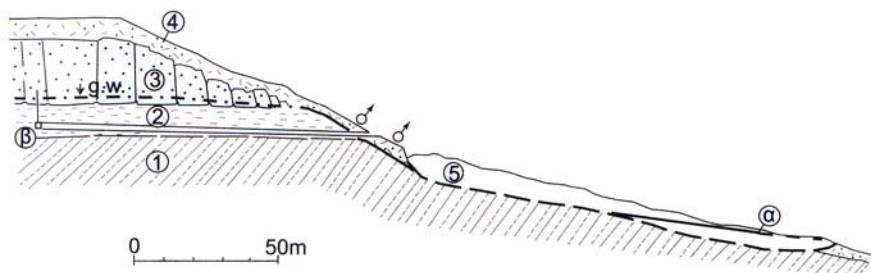
Ο ερπυσμός γίνεται πολλές φορές αντιληπτός, στις περιοχές που καλύπτονται με δενδρώδη βλάστηση, από την κάμψη των κορμών των δένδρων, η οποία υποδεικνύει τη φορά ερπυσμού, ενώ ο κορμός του δένδρου τείνει πάντα να αναπτύσσεται κατακόρυφος (Φωτο 3.1).



Φωτο 3.1: Κάμψη κορμού δένδρου, αποτέλεσμα εδαφικού ερπυσμού (<http://landslides.usgs.gov>).

β) Ολισθήσεις κορημάτων και μανδύα αποσάθρωσης

Οι διαστάσεις των υλικών που ολισθαίνουν (συνήθως κορήματα και προϊόντα αποσάθρωσης, μπορεί να είναι μεγάλες σε έκταση, αλλά το πάχος τους είναι γενικά μικρό που δεν ξεπερνά τα μερικά μέτρα (Σχήμα 3.2) και για το λόγο αυτό χαρακτηρίζονται σαν επίπεδες - μικρού πάχους ολισθήσεις (sheet - slab slides). Συνήθως παρατηρούνται διάφορα στάδια της ολίσθησης, από αρχική ρωγμάτωση του επιφανειακού στρώματος μέχρι προχωρημένες μορφές με αλληπάλληλες ολισθήσεις, η μία πάνω στην άλλη.



Σχήμα 3.2: Ολίσθηση μανδύα αποσάθρωσης σχιστολίθων (Zaruba & Mencl, 1976, από Κούκη & Σαμπατακάκη, 2007). 1) Σχιστόλιθοι, 2) Αργιλόλιθοι, 3) Ψαμμίτες, 4) Πλευρικά κορήματα, 5) Κύρια Ολίσθηση, (α) Υποριζόντιες αποστραγγιστικές γεωτρήσεις, (β) Στοά αποστράγγισης, gw: Στάθμη υπόγειου νερού, ♂ Πηγές.

Οι ολισθήσεις αυτές συνήθως βρίσκονται σε ηρεμία την ξηρή περίοδο και η κίνηση ενεργοποιείται μετά από έντονη βροχόπτωση, καθώς και κατά την τήξη του παγωμένου νερού στο επιφανειακό τμήμα του μανδύα, ιδιαίτερα μετά από μία μακρά παγετώδη περίοδο. Το επιφανειακό τμήμα του μανδύα, συνήθως αργιλοαμμώδες ή πηλούχο, εμπλουτίζεται με νερό κατά το πάγωμα του εδάφους. Το νερό ανέρχεται με την τριχοειδή ανύψωση από τα κατώτερα στρώματα, στα οποία το νερό δεν έχει παγώσει προς την επιφάνεια, όπου παγώνει. Όταν το στρώμα του πάγου λιώσει προκαλεί χαλάρωση του επιφανειακού στρώματος. Ολισθήσεις του μανδύα είναι πολύ συνηθισμένες στα αργιλικά ιζήματα, και στον Ελληνικό χώρο αφθονούν στα νεογενή ιζήματα, στο φλύσχη και στη μολάσσα.

γ) Ροές γαιών

Οι ολισθήσεις του μανδύα αποσάθρωσης καθώς και οι ολισθήσεις κατά μήκος κυλινδρικών επιφανειών ολίσθησης, μπορεί να μεταπέσουν σε ροές γαιών, όταν τα υλικά που έχουν κατολισθήσει συγκεντρώνονται σε μία διαβρωσιγενή χαράδρα και κορένονται με νερό. Ανάλογα με τη φύση των υλικών και τη συνεκτικότητά τους, οι

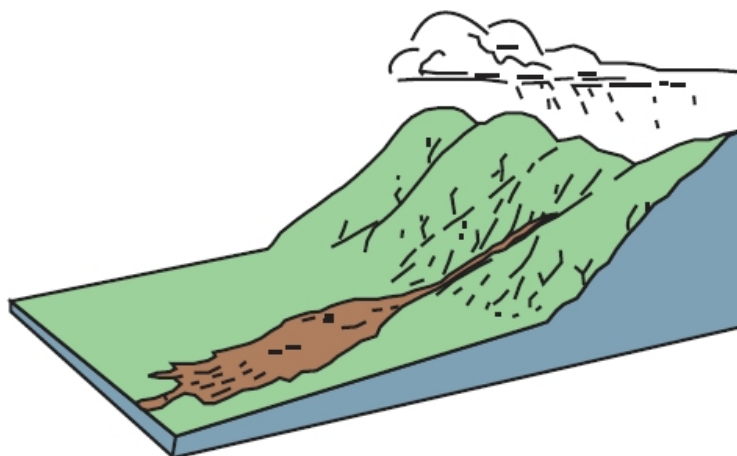
ροές μπορούν να διαφοροποιηθούν σε ροές κορημάτων και γαιών ή λάσπης.

- Ροές γαιών (*earth flows*).

Τόσο η διαδρομή όσο και το σχήμα της ροής γαιών προσαρμόζονται στο ανάγλυφο. Η κίνηση γενικά προκαλείται από τις έντονες βροχοπτώσεις, που αυξάνουν το βάρος των εδαφών και ελαττώνουν τη διατμητική τους αντοχή. Έτσι, οι ροές γαιών μετακινούνται γρηγορότερα από τις ολισθήσεις του μανδύα. Οι ροές γαιών αφθονούν στο φλύσχη και στα νεογενή, δηλαδή σε σχηματισμούς όπου επικρατούν τα αργιλομαργαϊκά υλικά, με τη μορφή σχιστολιθικών ενστρώσεων, μαζί με ψαμμιτικά στρώματα. Οι μαργαϊκοί και αργιλικοί σχιστόλιθοι αποσαθρώνονται εύκολα, οπότε στα πρηνή σχηματίζονται παχιά στρώματα από αργιλοαμμώδη αποσαθρώματα που υπόκεινται σε εύκολη ολίσθηση, μετά από διαβροχή τους από το νερό της βροχής.

-Ροές αποσαθρωμάτων - κορημάτων (*debris – talus flows*)

Πρόκειται για μεταφορά μάλλον παρά για μετακίνηση μάζας αποσαθρωμάτων - κορημάτων και μάλιστα με μεγάλη ταχύτητα. Ξεκινούν από χαλαρά και μικρής συνεκτικότητας πετρώματα μέσα στα οποία διηθείται το νερό με ευκολία. Οι ορεινές ροές αποσαθρωμάτων συχνά αναφέρονται και σαν Muren ή «χιονοστιβάδες αποσαθρωμάτων». Στις περιπτώσεις αυτές το αδιαβάθμιτο υλικό που κυμαίνεται από λεπτόκοκκα αμμούχα αποσαθρώματα μέχρι μεγάλους ογκόλιθους, συμπαρασύρεται από τη χειμαρική απορροή μετά από ισχυρή βροχόπτωση με πολύ μεγάλη ταχύτητα προς τα κάτω (Σχήμα 3.3). Ο λόγος στερεών προς το νερό είναι της τάξης του 1: 1.



Σχήμα 3.3: Τυπική μορφή ροής αποσαθρωμάτων (debris flow). (<http://landslides.usgs.gov>).

Οι ροές αποσαθρωμάτων είναι ιδιαίτερα συχνές σε περιοχές όπου τα

αποσαθρώματα είναι πηλούχα ή ιλυούχα και τα πρηνή είναι γυμνά, δηλαδή εκεί που η έλλειψη φυτοκάλυψης αυξάνει την απόπλυση από τις ισχυρές βροχοπτώσεις. Στην ίδια κατηγορία ροών ανήκουν και οι ροές ηφαιστειακής λάσπης. Γενικά οι ηφαιστειακές εκρήξεις συνοδεύονται από ισχυρές βροχοπτώσεις που προκαλούν απόπλυση και χαλάρωση της ηφαιστειακής σποδοού και των έκχυτων πετρωμάτων και μετατρέπουν τα υλικά αυτά σε μία υδαρή μάζα. Η ροή των άμμων ανήκει κατά Zaruba - Mencl στην κατηγορία της ροής γαιών, μπορεί δε να προκληθεί από την απότομη πτώση της στάθμης στις τεχνητές λίμνες ή από τη διάτρηση του στεγανού καλύμματος αμμούχων υδροφόρων.

3.2.2 Μετακινήσεις στα αργιλικά εδάφη και πετρώματα

α) Ολισθήσεις κατά μήκος κυλινδρικών επιφανειών ολίσθησης (Slumps -Rotational Slides)

Όταν ξεπεραστεί η διατμητική αντοχή των συνεκτικών αργιλικών εδαφών, δημιουργούνται ολισθήσεις που φτάνουν σε σημαντικό βάθος, οι οποίες εξελίσσονται γενικά πάνω σε καμπύλες επιφάνειες. Σε ομογενή αργιλικά γεωλογικά υλικά (άργιλοι, αργιλόλιθοι, αργιλικοί σχιστόλιθοι), το σχήμα της επιφάνειας ολίσθησης μπορεί να θεωρηθεί ως κυλινδρικό. Επειδή στις ολισθήσεις αυτές η επιφάνεια ολίσθησης είναι καμπύλη, η κίνηση είναι περιστροφική (rotational), ενώ η μάζα που ολισθαίνει, κλίνει κατά κανόνα προς το μέρος του πρηνούς (Φωτο 3.2). Η περιοχή της βάσης της μάζας που αποσπάται παρουσιάζει μία τυπική κοίλη μορφή ενώ το υλικό συγκεντρώνεται στη βάση της κατολίσθησης. Οι εγκάρσιες ρωγμές που διανοίγονται στο μέτωπο της ολίσθησης γεμίζουν βαθμιαία με επιφανειακό νερό, με αποτέλεσμα την περαιτέρω διατάραξη της ισορροπίας του πρηνούς και με δυνατότητα να μεταπέσει σε ροή γαιών. Οι ολισθήσεις της μορφής αυτής έχουν ποικίλες διαστάσεις, από μικρής έκτασης στις τεχνητές κυρίως εκσκαφές, μέχρι αυτές που αναπτύσσονται στις υψηλές όχθες και τα αναχώματα των ποταμών ή στις παράκτιες περιοχές και μπορεί να έχουν τεράστιες διαστάσεις, οι οποίες υπερβαίνουν σε όγκο μερικά εκατομμύρια κυβικά μέτρα. Συχνά, οι μετακινήσεις γίνονται κατά μήκος καμπύλης μορφής επιφανειών ολίσθησης με τυχαίο κυματισμό, με αποτέλεσμα η συνολική επιφάνεια ολίσθησης να μην είναι κυλινδρική. Κατά γενικό κανόνα, το βάθος και το σχήμα της μετακίνησης προσαρμόζονται συνήθως στη γεωλογική κατασκευή του πρηνούς καθώς και στις τοπικές συνθήκες της εδαφικής απόθεσης.



Φωτο 3.2: Ολίσθηση κατά μήκος κυλινδρικών επιφανειών ολίσθησης (slump).
(<http://landslides.usgs.gov>).

β) Ολισθήσεις κατά μήκος σύνθετων επιφανειών ολίσθησης

Οι μεγάλες μετακινήσεις μαζών σε αργιλικά πετρώματα γενικά προκαλούν διαδοχικές καμπύλες επιφάνειες ολίσθησης στο ανώτερο αλλά και στο κατώτερο τμήμα τους. Οι επιφάνειες αυτές διέρχονται από στρώματα μικρότερης αντοχής, τα οποία βρίσκονται στρωματογραφικά σε ευνοϊκή και κατάλληλη θέση για την εκδήλωση αστάθειας. Οι μετακινήσεις είναι μεταβατικές προς τις ολισθήσεις κατά μήκος προκαθορισμένων επιφανειών και είναι συχνές στα νεογενή ιζήματα, ιδιαίτερα όταν υπάρχουν εναλλαγές μαργών και ιλύων με εύθρυπτους ψαμμίτες και κροκαλοπαγή. Στην ίδια κατηγορία εντάσσονται πολλές παράκτιες ολισθήσεις, λόγω της διαβρωτικής διεργασίας της θάλασσας στις αργίλους - μάργες που υπόκεινται ασβεστόλιθων στο ύψος της μέσης στάθμης της θάλασσας. Αυτό προκαλεί αποφόρτιση (υποσκαφή) της βάσης της απότομης όχθης και κατά συνέπεια την ολίσθηση κατά μήκος καμπύλης επιφάνειας θραύσης. Η ευστάθεια μειώνεται από την υδροστατική πίεση του νερού μέσα στις ρωγμές των ασβεστολίθων. Οι μετακινήσεις του τύπου αυτού, ελέγχονται κατά ένα σημαντικό μέρος από τις υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής και συχνά καθοριστικό παράγοντα για την εκδήλωσή τους ή για την ανάδραση παλιότερων μετακινήσεων, κατέχουν οι έντονες βροχοπτώσεις.

γ) *Μετακίνηση πρανών από σύνθλιψη μαλακών πετρωμάτων*

Σ' αυτήν την κατηγορία ανήκουν οι ολισθήσεις τεμαχών και οι παραμορφώσεις πρανών που προκαλούνται από τη σύνθλιψη «μαλακών» αργιλικών πετρωμάτων σε διαβρωσιγενείς χαράδρες καθώς και οι θραύσεις σε επιχώματα που έχουν εδραστεί πάνω σε σχηματισμούς που έχουν μικρή φέρουσα ικανότητα, δηλαδή μικρή τιμή φορτίου ανά μονάδα επιφάνειας, το οποίο προκαλεί τη θραύση. Η ταχύτητα εξέλιξης του φαινομένου είναι πολύ μικρή και για το λόγο αυτό γίνεται αντιληπτό μετά από αρκετό χρονικό διάστημα από την έναρξή του, όταν δηλαδή οι παραμορφώσεις παίρνουν μετρήσιμες τιμές.

Ολισθήσεις τεμαχών έχουν παρατηρηθεί σε πρανή όπου συνεκτικοί συμπαγείς ψαμμίτες επικάθονται σε αργιλικές μάργες ή όταν βασालτικές ή ανδεσιτικές λάβες επικάθονται σε τόφφους ή μάργες. Η ταχύτητα με την οποία εξελίσσονται οι ολισθήσεις τεμαχών είναι πολύ μικρή ώστε να μπορούν να ταξινομηθούν στους ερπυσμούς. Όμως η ισχυρή βροχόπτωση μπορεί να διαταράξει τη συνεκτικότητα του υποστρώματος σε τέτοια έκταση ώστε να είναι δυνατή η εμφάνιση απότομης καθίζησης και μετατόπιση των τεμαχών.

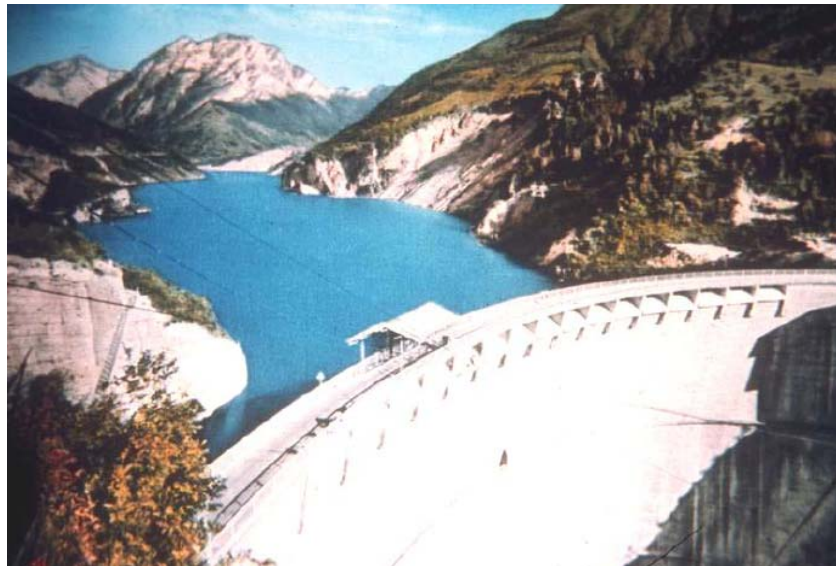
3.2.3 Μετακινήσεις συμπαγών πετρωμάτων

α) *Ολισθήσεις βράχων κατά μήκος προκαθορισμένων επιφανειών*

Τα επίπεδα στρώσης, σχιστότητας, ρωγμάτωσης ή διάρρηξης προκαλούν ολίσθηση βραχωδών τεμαχών, όταν έχουν κλίση ομόρροπη προς το πρανές και όταν η συνέχεια των τελευταίων διαταραχτεί στη βάση του πρανούς. Στα στρωσιγενή πετρώματα με επίπεδα στρώσης ομοιόμορφα και σχετικά λεία, η κλίση των στρωμάτων είναι συνήθως η μέγιστη κλίση κάτω από την οποία είναι σταθερό ένα πρανές. Αν τα στρώματα υποσκάπτονται λόγω διάβρωσης από υδρόρεμα ή από τεχνικές επεμβάσεις, διατηρούν τη θέση τους λόγω κυρίως της τριβής. Η γωνία τριβής αυξάνει ανάλογα με την τραχύτητα και την ανομοιομορφία των επιπέδων στρώσης ενώ μπορεί να ελαττωθεί από κλιματικούς παράγοντες (πήξιμο και λιώσιμο του νερού των ρωγμών) ή από την ανάπτυξη υδροστατικών πιέσεων του νερού στις ρωγμές και ασυνέχειες.

Οι ολισθήσεις βράχων πάνω σε επίπεδα στρώσης ή σε άλλες επιφάνειες ασυνέχειας, μπορεί να επιφέρουν σημαντικές επιπτώσεις και βλάβες στις ορεινές περιοχές, όταν η ταχύτητα μετακίνησης λόγω του ισχυρού ανάγλυφου φτάσει εκείνη

της πτώσης βράχων. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση της καταστροφικής κατολίσθησης του φράγματος Vajont, όπως φαίνεται στις Φωτο 3.3-3.4 (από Hoek, 2000). Ολισθήσεις βράχων πάνω σε επίπεδα στρώσης είναι πολύ συνηθισμένες στο φλύσχη, λόγω της φύσης των πετρωμάτων και της τοπογραφικής διαμόρφωσης (έντονο ανάγλυφο, βαθιές χαραδρώσεις). Επίσης οι εκσκαφές για την κατασκευή δρόμων, σιδηροδρομικών γραμμών ή για την εκμετάλλευση μεταλλευμάτων, προκαλούν συχνά τη δημιουργία τέτοιων ολισθήσεων.



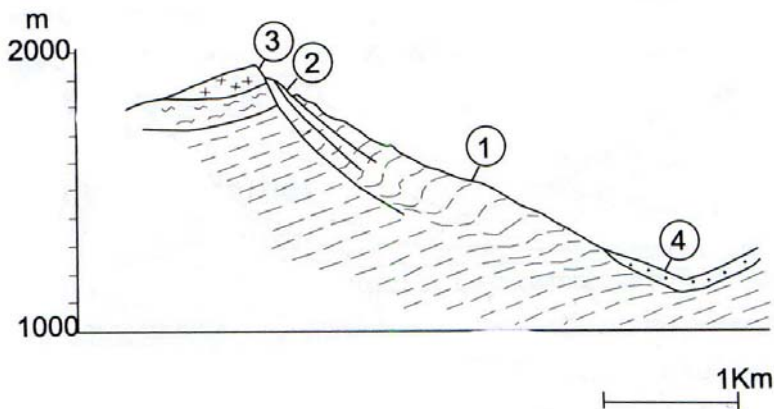
Φωτο 3.3: Άποψη του ταμιευτήρα του φράγματος Vajont, πριν την καταστροφική ολίσθηση στο αριστερό αντέρεισμα (Hoek, 2000).



Φωτο 3.4: Άποψη του ταμιευτήρα του φράγματος Vajont, μετά την καταστροφική ολίσθηση στο αριστερό αντέρεισμα. Η ολισθαίνουσα μάζα των μεσοζωικών ασβεστολίθων εντός του ταμιευτήρα προκάλεσε κύμα ύψους 100m που υπερχειλισε επάνω από το σώμα του φράγματος και κατέκλυσε την κοιλάδα Pieve to 1963, καταστρέφοντας την πόλη Longarone, προκαλώντας το θάνατο περισσότερων από 2000 ανθρώπων (Hoek, 2000).

β) Ολισθήσεις βαρύτητας (μακροχρόνιες παραμορφώσεις πρηνών)

Η μετακίνηση στην κατηγορία αυτή είναι πολύ αργή και μπορεί να χαρακτηριστεί σαν ερπυσμός. Συναντάται σε πρηνή πετρώματων που είναι επιδεκτικά σε πλαστική παραμόρφωση (φυλλίτες, μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι, παραγνεύσιοι, χλωριτικοί σχιστόλιθοι) δηλαδή σε πετρώματα που μπορεί να παραμορφωθούν από διαφορικές κινήσεις, οι οποίες προκαλούνται από τις συνιστώσες της βαρύτητας, που επιδρούν παράλληλα προς επίπεδα στρώσης, σχιστότητας ή ρωγμών χωρίς τη δημιουργία μιας συνεχούς επιφάνειας ολίσθησης (Σχήμα 3.4). Η δημιουργία των ολισθήσεων αυτών οφείλεται στη βαθμιαία διεύρυνση των ρωγμών και διακλάσεων λόγω κλιματικών παραγόντων (πήξιμο του νερού στις ρωγμές) ή όταν η παραμένουσα τάση ελευθερώνεται σαν συνέπεια της εμβάθυνσης της χαράδρας.



Σχήμα 3.4: Ολίσθηση βαρύτητας στο βουνό Rastoky.
(Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007, από Zaruba & Mencl, 1976, από Nemcok, 1972)

γ) Πτώσεις βράχων

Πρόκειται για απότομες μετακινήσεις χαλαρωμένων βράχων συμπαγών πετρωμάτων που αποσπώνται από τα απότομα πρηνή. Η ταχύτητα μετακίνησης είναι πολύ μεγάλη (μέχρι 200 km/ώρα), καθώςον πρόκειται για ελεύθερη πτώση (Φωτο 3.5). Οι διαστάσεις τους ποικίλουν από μεμονωμένους λίθους μέχρι τεράστιες μάζες πετρωμάτων. Τα υλικά αυτά δημιουργούν κώνους κορημάτων ή πλευρικά κορήματα. Οι πτώσεις βράχων αφθονούν στις βραχώδεις ακτές λιμνών και θαλασσών καθώς και στις πλευρές βαθιών χαραδρώσεων που έχουν μεγάλες ή ακόμα αρνητικές κλίσεις.

Οι Ρώσοι ερευνητές αποδίδουν τη δημιουργία μερικών από τις πιο μεγάλες πτώσεις βράχων στο γεγονός ότι αυτές ενεργοποιήθηκαν από σεισμούς και τις αποκαλούν σεισμοβαρυτικές (SOLONEKKO 1972, από Κούκη & Σαμπατακάκη, 2007). Τέτοιες περιπτώσεις αναφέρονται στο Παμίρ το 1911, όπου δημιουργήθηκε

λίμνη μήκους 75 km και βάθους 262 m καθώς επίσης στα Ιμαλάια το 1893, που σχηματίστηκε λίμνη μήκους 7 km. Εξαιρετικά σημαντική ήταν η περίπτωση της πτώσης βράχων στο Elm της Ελβετίας το 1881. Η θραύση προκλήθηκε από υποσκαφή της βάσης απότομου πρανούς από λατομεία σχιστόλιθων, με αποτέλεσμα μέσα σε λίγα λεπτά της ώρας, περισσότερα από $10 \times 10^6 \text{ m}^3$ βράχων γέμισαν την κοιλάδα σε ύψος 10 με 20 m, ενώ 83 σπίτια καταστράφηκαν με 115 ανθρώπινα θύματα. Στη Νορβηγία οι πτώσεις βράχων στα φιόρδ προκαλούν καταστροφικά θαλάσσια κύματα ύψους μερικών δεκάδων μέτρων που σαρώνουν τις ακτές.



Φωτο 3.5: Καταπτώσεις βράχων. (<http://landslides.usgs.gov>).

3.2.4 Ειδικοί τύποι μετακίνησης

Στην κατηγορία αυτή οι Zaruba - Mencl εντάσσουν μετακινήσεις πρανών που συναντώνται σε ορισμένα μόνο γεωλογικά περιβάλλοντα και συγκεκριμένα:

α) Εδαφική ροή λόγω παγετού (*Solifluction*)

Είναι μια σύνθετη ροή και ολίσθηση που σημειώνεται στα επιφανειακά στρώματα (μέχρι βάθος 0,5m) που βρίσκονται πάνω σε παγωμένο υπόστρωμα.

β) Ροή αργίλων

Πρόκειται για αργίλους με υψηλή ευαισθησία (*quick clays*) θαλάσσιας προέλευσης που αποτέθηκαν μετά την απόσυρση της θάλασσας. Η διατμητική τους

αντοχή ελαττώνεται προοδευτικά, λόγω μείωσης της περιεκτικότητας ιόντων Na^+ και K^+ στο νερό των πόρων, το οποίο απομακρύνεται με τη διαδικασία της απόπλυσης (leaching). Η μείωση των ιόντων Na^+ και K^+ προκαλεί χαλάρωση των δεσμών ανάμεσα στα σωματίδια της αργίλου που συμπεριφέρεται σαν ιξώδες ρευστό. Η ροή τέτοιων αργίλων μπορεί να συμβεί σε περίπου οριζόντιες περιοχές (κλίση $< 5^\circ$) και προκαλείται κυρίως από δονήσεις και σεισμούς.

γ) Υποθαλάσσιες ολισθήσεις (subaqueous slides)

Πρόκειται για ολίσθηση χαλαρών ιζημάτων σε κεκλιμένο θαλάσσιο πυθμένα. Τα ιζήματα μπορεί να είναι αργιλούχα, ιλυούχα και ασβεστούχες λάσπες. Είναι συνηθισμένες στα δέλτα ποταμών, ενώ η μετακίνηση μπορεί να προκληθεί από σεισμικές ή άλλες δονήσεις. Οι ολισθήσεις αυτές μπορεί να δημιουργήσουν τουρβιδιτικά ρεύματα (turbidites), κάτι που αναγνωρίζεται εύκολα στους σχηματισμούς του φλύσχη, που πολλές φορές προκαλούν ζημιές σε υποβρύχια καλώδια. Έχει αναφερθεί ταχύτητα τέτοιων ρευμάτων της τάξης των 4,4 m/sec όπως προέκυψε από την καταγραφή των χρόνων διαδοχικής θραύσης υποβρύχιων καλωδίων (Zaruba & Mencl, 1976, από Κούκη & Σαμπατακάκη, 2007).

Σημαντικά κατολισθητικά φαινόμενα αναφέρονται στον υποθαλάσσιο χώρο του Κορινθιακού κόλπου, που συνιστούν κυρίως περιστροφικές ολισθήσεις, εδαφικές ροές και ροές κορημάτων, με συχνότητα περίπου ανά 2 έτη, με αποτέλεσμα τις συνεχείς βλάβες στα υπόγεια καλώδια (Ferentinos, Papatheodorou and Collins, 1988).

3.3 Ταξινόμηση κατά Varnes

Ο VARNES (1978) πρότεινε ένα σύστημα ταξινόμησης κατολισθήσεων που περιλαμβάνει όλες τις εδαφικές μετακινήσεις που μπορούν να παρατηρηθούν σε πρανή εκτός των καθιζήσεων. Τα βασικά κριτήρια για την ταξινόμηση είναι: (i) ο τύπος της μετακίνησης και (ii) το είδος του μετακινούμενου υλικού.

Ανάλογα με τον τύπο της μετακίνησης διακρίνονται σε: πτώσεις, ανατροπές, ολισθήσεις, πλευρικές εξαπλώσεις και ροές, ενώ μία επιπλέον ομάδα περιλαμβάνει τις σύνθετες μετακινήσεις που αποτελούν συνδυασμό περισσότερων τύπων μετακίνησης. Ανάλογα με το είδος του γεωλογικού υλικού που μετακινείται διακρίνονται κινήσεις οι οποίες εκδηλώνονται: α) στο βραχώδες υπόβαθρο (bedrock), και β) στους εδαφικούς σχηματισμούς (engineering soils) που διακρίνονται σε

κορήματα (debris) και σε γαίες (earth). Στον Πίνακα 3.2 φαίνονται συνοπτικά οι διάφοροι τύποι μετακίνησης πρανών που προκύπτουν από τους συνδυασμούς των παραπάνω τύπων μετακίνησης και του είδους του μετακινούμενου υλικού.

Πίνακας 3.2: Ταξινόμηση μετακίνησης πρανών κατά Varnes (1978).

ΤΥΠΟΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ		ΤΥΠΟΣ ΥΛΙΚΟΥ (πριν την κίνηση)		
		Βραχώδες Υπόβαθρο	Μηχανικά Εδάφη	
			Χονδρόκοκκα	Λεπτόκοκκα
Καταπτώσεις		Καταπτώσεις βράχων	Καταπτώσεις κορημάτων	Καταπτώσεις γαιών
Ανατροπές		Ανατροπές βράχων	Ανατροπές κορημάτων	Ανατροπές γαιών
Ολισθήσεις	Περιστροφικές	Κάθιση βράχων	Κάθιση κορημάτων	Κάθιση γαιών
	Μεταθετικές	Ολίσθηση τεμάχους	Ολίσθηση τεμάχους κορημάτων	Ολίσθηση τεμάχους γαιών
		Ολίσθηση βράχων	Ολίσθηση κορημάτων	Ολίσθηση γαιών
Πλευρικές εξαπλώσεις		Εξαπλώσεις βράχων	Εξαπλώσεις κορημάτων	Εξαπλώσεις γαιών
Ροές		Ροή βράχων (βαθύς ερπυσμός)	Ροή κορημάτων	Ροή γαιών
			(Ερπυσμός εδάφους)	
Σύνθετες		Συνδυασμός δύο ή περισσότερων κύριων τύπων		

Σύμφωνα με την παραπάνω ταξινόμηση, σαν βραχώδεις υπόβαθρο ορίζεται η μάζα εκείνη η οποία πριν από την εκδήλωση της κατολίσθησης ήταν ένα σκληρό συνεκτικό πέτρωμα που βρισκόταν από γεωλογική άποψη στη φυσική του θέση, ενώ σαν έδαφος (soil), χαρακτηρίζονται τα χαλαρά ή ασθενώς συνδεδεμένα συσσωματώματα ορυκτών και πετρωμάτων που έχουν προκύψει από αποσάθρωση, διάβρωση και μεταφορά προϋπαρχόντων πετρωμάτων ή από την επιτόπου αποσάθρωσή τους.

Τα εδάφη διακρίνονται περαιτέρω σε: (α) γαίες (earth), δηλαδή εδαφικά υλικά τα οποία με βάση τη μηχανική τους ταξινόμηση, ποσοστό μεγαλύτερο του 80% της μάζας τους έχει μέγεθος μικρότερο των 2 mm (κλάσμα άμμου, ιλύος και αργίλου) και (β) σε κορήματα (debris), δηλαδή εδαφικά υλικά που περιέχουν ποσοστό 20 - 80% χονδρόκοκκων υλικών μεγέθους μεγαλύτερου των 2 mm (χαλίκια, κροκάλες, λατύπες, ογκόλιθοι), ενώ το υπόλοιπο ποσοστό τους είναι μικρότερο των 2 mm. Ο όρος «κορήματα» έχει σχέση με την κοκκομετρική διαβάθμιση του εδαφικού υλικού, αναφέρεται δηλαδή σε αδρομερή – χονδρόκοκκα υλικά και όχι με την καθαρώς γεωλογική του έννοια (σύμφωνα με την οποία (κατά Δερμιτζάκη, 1994) ο όρος αναφέρεται περισσότερο στη θέση του σχηματισμού των κορημάτων και τα υλικά είναι κλαστικά γωνιώδη τεμάχια τα οποία έχουν αποσπασθεί από προϋπάρχοντα

πετρώματα και στη συνέχεια μεταφέρθηκαν από ύδατα, τον άνεμο, τη βαρύτητα και συσσωρεύθηκαν στις κλιτύες των όρεων, κοντά στην κοίτη των χειμάρρων κ.λπ.). Η παραπάνω διάκριση αναφέρεται στα υλικά της μάζας της κατολίσθησης πριν εκδηλωθεί το φαινόμενο. Έτσι, λέγοντας κατάπτωση βράχου (rockfall), εννοείται ότι πριν την εκδήλωση της κατολίσθησης, η μάζα ήταν βραχώδης, η οποία μετά την κατολίσθηση πιθανό να μετατράπηκε σε κορήματα (θραύσματα πετρώματος), αποτέλεσμα της κατάπτωσης.

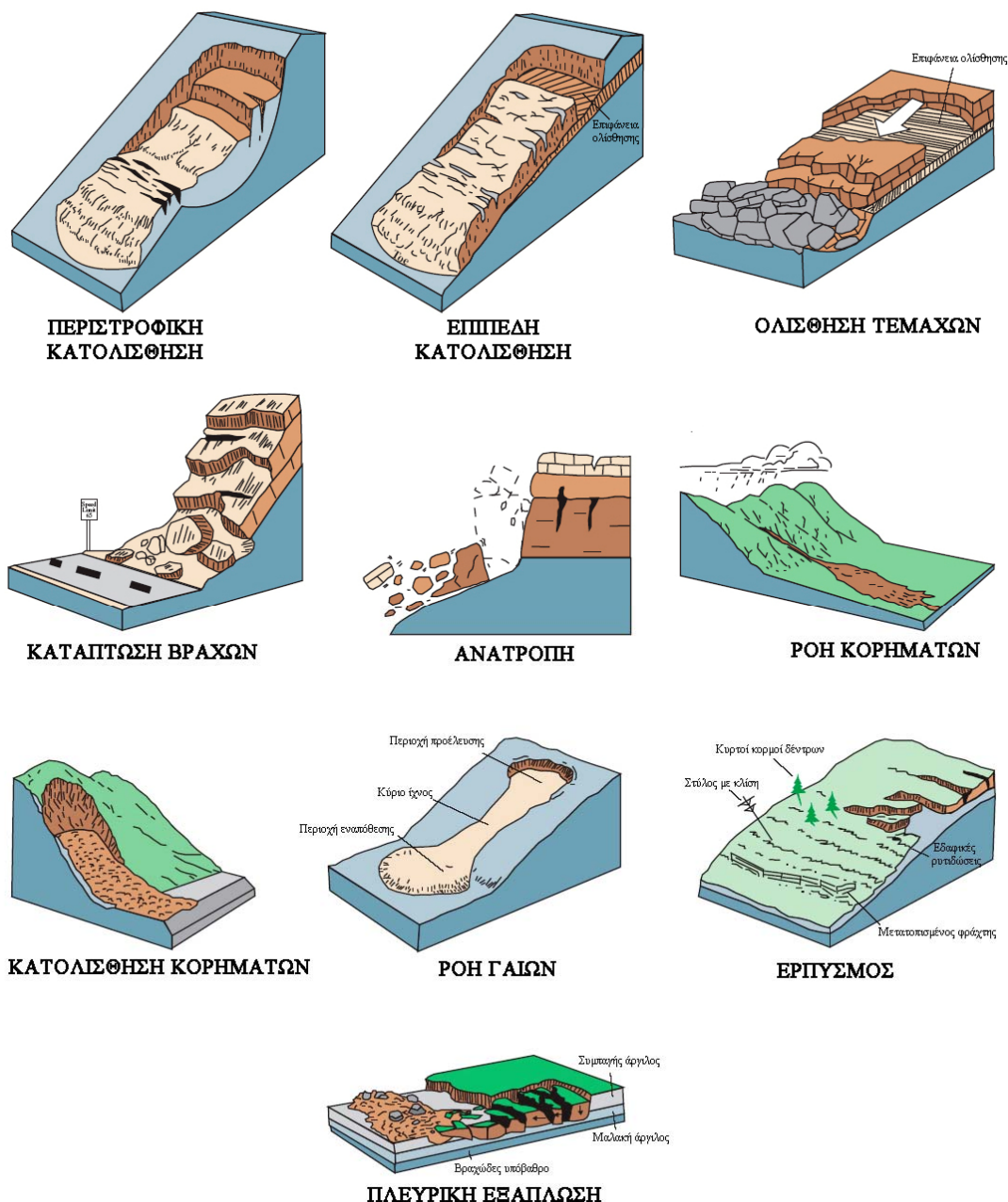
Τα υλικά των κατολισθήσεων από άποψη περιεχόμενης υγρασίας μπορούν να διακριθούν μακροσκοπικά σε:

- ξηρά, όταν δεν παρατηρείται κάποιο ποσοστό υγρασίας
- διαβρεγμένα, όταν περιέχουν ποσοστό υγρασίας αλλά στη μάζα τους δεν κυκλοφορεί ελεύθερα νερό, και
- υγρά (διαποτισμένα), όταν περιέχουν υψηλό ποσοστό υγρασίας, το νερό ρέει μέσα από τη μάζα τους και συμπεριφέρονται μερικώς ως υδαρά, ή ακόμα όταν περιέχουν πολύ μεγάλες ποσότητες νερού, ώστε να έχουν συμπεριφορά ρευστού.

Πολλές φορές είναι δύσκολο να διακριθεί σε μια κατολισθαίνουσα μάζα η κατάσταση που αυτή βρίσκεται από άποψη περιεχόμενης υγρασίας, διότι πολύ συχνά παρατηρούνται ξηρά ή με μικρή υγρασία τεμάχια υλικού να μετακινούνται σε μία διαποτισμένη υδαρή μάζα του ίδιου υλικού (HUTCHINSON, 1988, από Κούκη & Σαμπατακάκη, 2007).

Στη συνέχεια δίνεται μια σχετικά συνοπτική περιγραφή κάθε τύπου μετακίνησης, σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης του Varnes, που συμπληρώνεται και «εμπλουτίζεται» από άλλες πρόσφατες θεωρήσεις και εμπειρίες σχετικά με τα είδη και τους τύπους των κατολισθητικών κινήσεων. Σημειώνεται ότι η συγκεκριμένη ταξινόμηση των κατολισθήσεων χρησιμοποιείται σε διεθνές επίπεδο, είναι η πλέον αποδεκτή από τους γεωεπιστήμονες, ενώ διάφορες επιμέρους τροποποιήσεις που πιθανά γίνονται για την προσαρμογή της ταξινόμησης στις εκάστοτε τοπικές γεωλογικές συνθήκες, είναι πάντα μέσα στα πλαίσια της γενικότερης εφαρμογής της, κάτι το οποίο την καθιστά περισσότερο εύχρηστη και εφαρμόσιμη.

Στο Σχήμα 3.5 που ακολουθεί δίνονται οι κυριότεροι τύποι κατολισθήσεων κατά Varnes (1978).

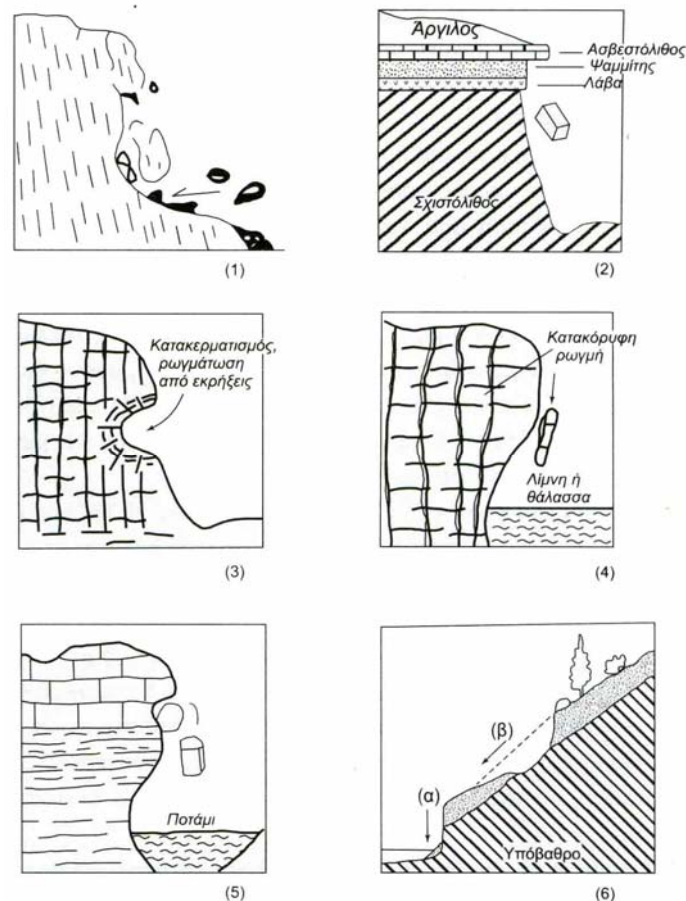


Σχήμα 3.5: Κυριότεροι τύποι κατολισθήσεων κατά Varnes (1978). (<http://landslides.usgs.gov>).

3.3.1 Καταπτώσεις (falls)

Στις καταπτώσεις, μία μάζα (κυρίως πετρώματος αλλά και συνεκτικού εδάφους) οποιουδήποτε μεγέθους, αποσπάται από ένα απότομο εδαφικό ή βραχώδες πρανές, κατά μήκος μιας επιφάνειας, χωρίς ή ελάχιστη διατμητική μετατόπιση και η πτώση γίνεται κυρίως ελεύθερα, με αναπήδηση ή κύλιση στην επιφάνεια του πρανούς. Η μετακίνηση είναι πολύ μέχρι εξαιρετικά γρήγορη και είναι δυνατό να έχουν προηγηθεί μικρότερες μετακινήσεις που οδήγησαν στον προοδευτικό αποχωρισμό της μετακινούμενης μάζας από το μητρικό πέτρωμα.

Το φαινόμενο των καταπτώσεων είναι συνηθισμένο στα απότομα πρανή πολύ συνεκτικών εδαφών ή βράχων, τα οποία υποσκάπτονται από την ενέργεια θαλάσσιων κυμάτων ή το ρεύμα ποταμών ή ακόμα από ανθρωπογενή παρέμβαση. Σε απότομα πρανή με κλίση μεγαλύτερη του 4:1 (ύψος: βάση δηλαδή με κλίση περίπου 76°), παρατηρούνται αστοχίες που εκδηλώνονται συνήθως με ελεύθερη πτώση (free falling) της μάζας που αποκόπτεται από το πρανές. Σε ηπιότερα πρανή παρατηρείται αναπήδηση (bouncing) της μάζας πάνω στο πρανές και θραύση σε μικρότερα τεμάχια, το μέγεθος των οποίων εξαρτάται από το είδος του υλικού και τη γωνία πρόσπτωσης. Σε πρανή με κλίση μικρότερη των 45° (1:1), η κύρια κίνηση των καταπτώσεων μετατρέπεται σε κύλιση (rolling). Έτσι σε ένα πρανές που παρουσιάζει μεταβολές στην κλίση του, είναι δυνατό η κίνηση της μάζας να μετατρέπεται από ελεύθερη πτώση σε αναπήδηση και κύλιση και αντίστροφα. Στο Σχήμα 3.6 φαίνονται μερικές χαρακτηριστικές περιπτώσεις καταπτώσεων.



Σχήμα 3.6: Καταπτώσεις βράχων, κορημάτων και γαιών (από Κούκη & Σαμπατακάκη, 2007): (1) Τυπική κατάπτωση βράχων (VARNES, 1978), (2) Κατάπτωση λόγω διαφορικής αποσάθρωσης (LETOURNEUR & MICHEL, 1971), (3) Κατάπτωση λόγω φυσικού κατακερματισμού ή από εκρήξεις, (4) Κατάπτωση λόγω ρωγμών ή διαφορικής διάβρωσης από το κύμα, (5) Κατάπτωση λόγω ρωγμών ή διαφορικής διάβρωσης από το ποτάμι (VARNES, 1978), (6) Άμεση κατάπτωση γαιών – εδάφους (α), ή μετά από ολίσθηση (β).

Στην περίπτωση καταπτώσεων βράχων (rockfalls) η μάζα που μετακινείται (καταπίπτει) είναι μάζα βράχων που αποσπάστηκαν από μία περιοχή του υπόβαθρου, ενώ οι πιο συχνές περιπτώσεις αναφέρονται σε:

1) Εναλλαγές συμπαγών και λιγότερο συμπαγών πετρωμάτων. Η κατάπτωση οφείλεται στην υποσκαφή του συμπαγούς πετρώματος από εξωγενείς παράγοντες, οι οποίοι προκαλούν διάβρωση του υποκείμενου ασθενέστερου πετρώματος. Είναι περίπτωση ιδιαίτερα συνήθης στο σχηματισμό του φλύσχη (εναλλαγές ιλυολιθικών - ψαμμιτικών ενστρώσεων) ή και των νεογενών ιζημάτων (εναλλαγές μαργών - ψαμμιτών και κροκαλοπαγών)

2) Συμπαγή πετρώματα με δυσμενή γεωμετρία ασυνεχειών. Στην περίπτωση αυτή οι αποκολλήσεις - καταπτώσεις υποβοηθούνται από την παρουσία ρωγμών, οι οποίες οφείλονται σε προϋπάρχουσες ασυνέχειες ή ακόμα να δημιουργηθούν από την αποσυμπίεση (εκφόρτιση τάσεων) του πετρώματος. Σημαντικό παράγοντα στην όλη διαδικασία κατέχει η παρουσία νερών με τη δράση υδροστατικών πιέσεων, καθώς και η δράση του παγετού στις ασυνέχειες. Συγκεκριμένα, η συνεχής ψύξη-απόψυξη του εγκλωβισμένου νερού στις διακλάσεις, δημιουργεί περαιτέρω τάσεις στις επιφάνειές τους,. Έχει αποδειχθεί πειραματικά πως το νερό κατά το πάγωμά του αυξάνει τον όγκο του κατά 9%, κατά τη μετάβασή του από την υγρή στη στερεή φάση. Αποτέλεσμα αυτής της διαστολής είναι η άσκηση επιπλέον πιέσεων στις επιφάνειες των ασυνεχειών, η διεύρυνση αυτών και η «χαλάρωση» της βραχομάζας. Κατά το ξεπάγωμα του νερού, οι ασυνέχειες παραμένουν διευρυμένες, με αποτέλεσμα σε έναν επόμενο παρόμοιο κύκλο να επαναδιευρύνονται. Η διαδικασία αυτή οδηγεί στο διαμελισμό της βραχομάζας και στην αποκοπή τεμαχών επικίνδυνων προς αποκοπή και κατάπτωση στα κατάντη του πρανούς.

Στην περίπτωση καταπτώσεων κορημάτων, η μάζα που αποκολλάται είναι κορηματικής μορφής, και αποτελείται από θραύσματα που δημιουργήθηκαν πριν την εμφάνιση του φαινομένου της μετακίνησης.

Σύμφωνα με τον RAPP (1960) οι καταπτώσεις διακρίνονται σε:

- i) πρωτογενείς καταπτώσεις, που αντιστοιχούν σε πτώσεις υλικών απευθείας από το μητρικό πέτρωμα και
- ii) δευτερογενείς καταπτώσεις που αντιστοιχούν σε πτώσεις μεταφερμένων χαλαρών υλικών.

Οι δευτερογενείς καταπτώσεις διακρίνονται ανάλογα με το μέγεθος των

κορημάτων σε:

- πτώσεις χαλικιών (μέγεθος < 75mm)
- πτώσεις κροκάλων (75mm < μέγεθος < 300mm)
- πτώσεις τεμαχών (μέγεθος > 300mm)

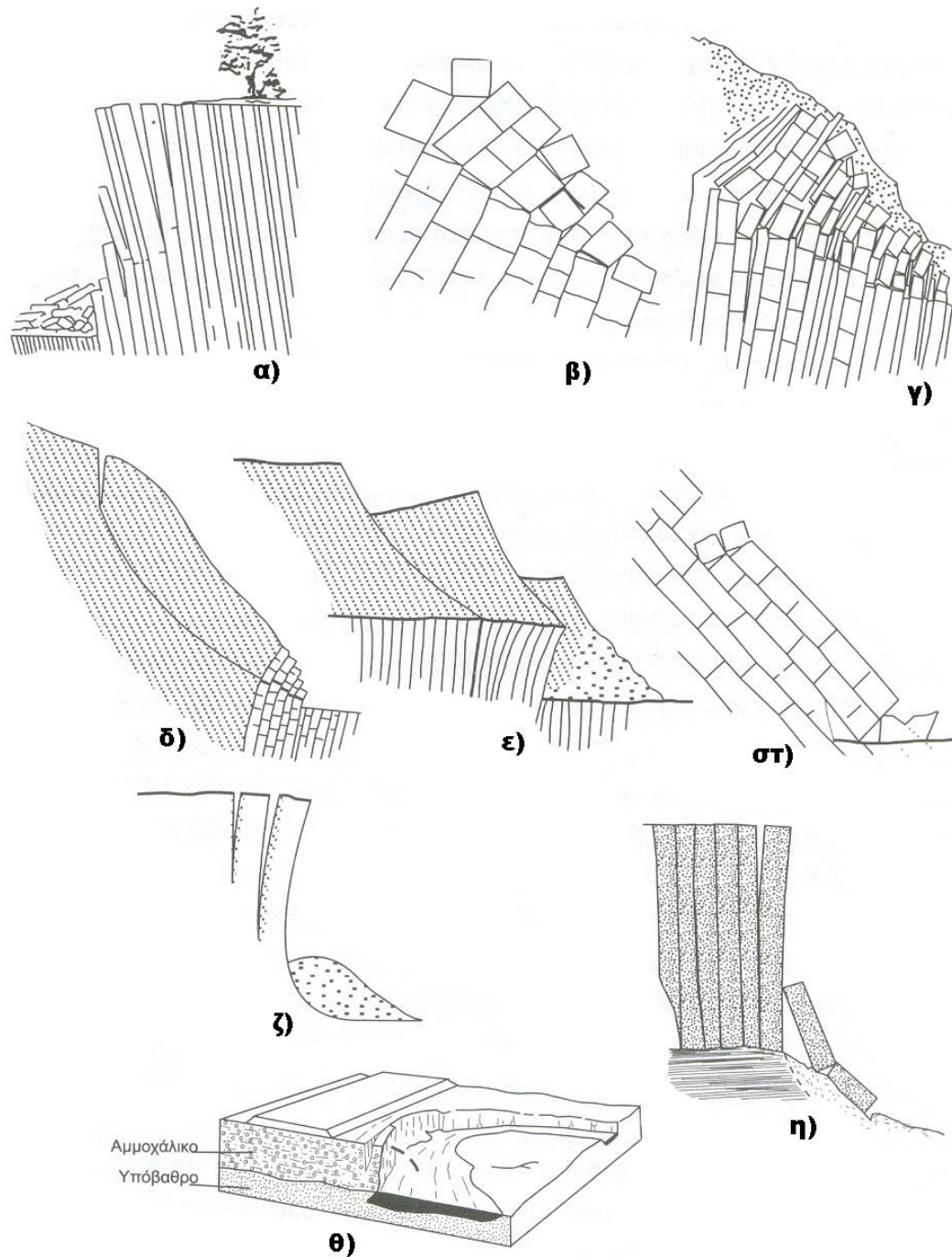
Τέλος, η κατάπτωση γαιών (ή εδάφους), είναι αρκετά σπάνιο φαινόμενο διότι τα υλικά αυτά, κατά κανόνα, υπόκεινται στους άλλους τύπους μετακίνησης.

3.3.2 Ανατροπές (*topples*)

Στις ανατροπές η κίνηση είναι μία προς τα έξω περιστροφή της αποσπώμενης μάζας από ένα βραχώδες κυρίως πρανές, γύρω από σημείο ή άξονα περιστροφής που βρίσκεται χαμηλότερα από το κέντρο βάρους της μετακινούμενης μάζας.

Η ανατροπή προκαλείται κυρίως από τη βαρύτητα και 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 πρανούς 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 ταχεία στα τελευταία στάδια.

Οι GOODMAN & BRAY (1976) και στη συνέχεια οι HOEK & BRAY (1977, 1981) με βάση τους μηχανισμούς που συμβάλλουν στην εκδήλωση των ανατροπών στους βραχώδεις κυρίως σχηματισμούς (ανατροπές βράχων), πρότειναν την παρακάτω ταξινόμηση (Σχήμα 3.7):



Σχήμα 3.7: Ταξινόμηση ανατροπών κατά GOODMAN & BRAY, 1976 (από Κούκη & Σαμπατακάκη, 2007): α) Ανατροπή του πόδα λόγω ολίσθησης των ανώτερων στρωμάτων, β) Ανατροπή τεμαχών λόγω κάμψης, γ) κυκλοειδής ολίσθηση και ανατροπή, δ) Ανατροπή λόγω παρουσίας εφελκυστικών ρωγμών, ε) Ανατροπή των ανώτερων στρωμάτων λόγω ολίσθησης, ζ) Ανατροπή της βάσης λόγω ολίσθησης

- Ανατροπή λόγω κάμψης (flexural toppling). Το σκληρό πέτρωμα αποχωρίζεται σε κολώνες, λόγω της ύπαρξης ενός καλά αναπτυγμένου και συνήθως μοναδικού υποκατακόρυφου συστήματος ασυνεχειών (ασβεστόλιθος, ψαμμίτης με καλά ανεπτυγμένη στρώση ή ηφαιστίτες με στυλοειδή κατάτμηση) το ανώτερο τμήμα

των οποίων αστοχεί από κάμψη (Σχήμα 3.7 α).

- Ανατροπή τεμαχών (block toppling). Είναι ανάλογη περίπτωση με την προηγούμενη, με τη διαφορά ότι η θραύση και ανατροπή γίνεται λόγω της παρουσίας ενός δεύτερου συστήματος ασυνεχειών, σχεδόν κάθετου στο κύριο, το οποίο παρουσιάζει εξαιρετικά μεγάλη απόσταση (Σχήμα 3.7 β).

- Ανατροπή τεμαχών λόγω κάμψης (block - flexural toppling). Σε απότομα βραχώδη πρηνή, που αποτελούνται κυρίως από λεπτοστρωματώδη κερματισμένα πετρώματα ή σχιστόλιθους, μπορεί να παρατηρηθεί σημαντική κάμψη των στρωμάτων κατά μήκος μιας καλά διαμορφωμένης επιφάνειας, η οποία αποτελεί μια δυνητική επιφάνεια ολίσθησης του βραχώδους πρηνούς. Στην περίπτωση αυτή η κάμψη των στρωμάτων (ψευδοπτύχωση Chevron) γίνεται κατά μία σταθερή γωνία και κατά μήκος όλης της επιφάνειας ανατροπής των στρωμάτων (Σχήμα 3.7 γ).

Μία άλλη περίπτωση ανατροπής με ταυτόχρονη κάμψη και ψευδοπτύχωση των επιφανειακών στρωμάτων παρατηρείται σε πρηνή με μικρότερες κλίσεις (μέχρι και 25°) που αποτελούνται από εναλλαγές σχιστόλιθων και ψαμμιτών ή λεπτοστρωματωδών ασβεστόλιθων και κερατόλιθων με πυκνό δίκτυο διακλάσεων. Εδώ δεν παρατηρείται μία απότομη κάμψη των στρωμάτων αλλά η κάμψη αυτών γίνεται εντονότερη στα επιφανειακά στρώματα. Η μάζα που μετακινείται είναι δύσκολο να καθοριστεί με κάποια ακρίβεια χωρίς τη χρήση ενόργανων μετρήσεων μέσα σε γεωτρήσεις (π.χ. αποκλισιομέτρων).

- Δευτερογενείς ανατροπές (secondary toppling). Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται περιπτώσεις που προκαλούνται κυρίως από υποσκαφή της βάσης του πρηνούς λόγω φυσικών διεργασιών (π.χ. διάβρωση) ή ανθρωπογενών παρεμβάσεων (π.χ. τεχνικά έργα, ταμιευτήρες, λατομεία). Στις περιπτώσεις αυτές η βασική μετακίνηση είναι τύπου ολίσθησης (slide), ενώ η ανατροπή υπεισέρχεται σαν συνέπεια της κίνησης αυτής. Οι πιο συχνές από τις περιπτώσεις αυτές είναι:

- Ανατροπή του πόδα λόγω ολίσθησης των ανωτέρων στρωμάτων (Slide toe toppling). Συναντάται σε πρηνή που αποτελούνται από διαφορετικής σύστασης γεωλογικούς σχηματισμούς που παρουσιάζουν δομή όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.7 δ). Στην περίπτωση αυτή, οι ολισθήσεις των στρώσεων του ανώτερου τμήματος του πρηνούς προκαλούν φόρτιση στους υποκείμενους με αποτέλεσμα τη δημιουργία ανατροπών τεμαχών.

- Ανατροπή της βάσης λόγω ολίσθησης (Slide base toppling). Εδαφικό πρηνές υπέρκειται στρωσιγενούς βραχομάζας με υποκατακόρυφη στρώση.

Διαδοχικές ολισθήσεις του εδαφικού πρηνούς προκαλούν διατμητική καταπόνηση του κορυφαίου τμήματος της βραχομάζας με αποτέλεσμα τη δημιουργία ανατροπών λόγω κάμψης στα υποκατακόρυφα στρώματα (Σχήμα 3.7 ε).

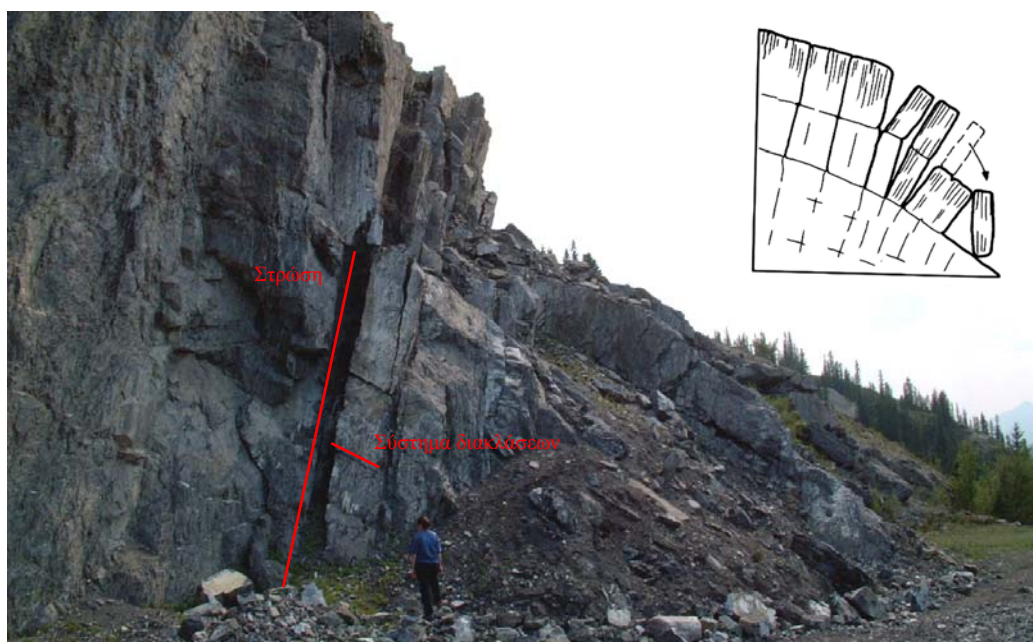
- Ανατροπή των ανώτερων στρωμάτων λόγω ολίσθησης (Slide head toppling). Ολίσθηση στο κατώτερο τμήμα του πρηνούς σε στρωσιγενή πετρώματα που εμφανίζουν καλά αναπτυγμένο σύστημα ασυνεχειών κάθετα στη στρώση, οδηγεί σε ανατροπή αυτών που βρίσκονται στο υψηλότερο τμήμα (Σχήμα 3.7 στ).

- Ανατροπή λόγω της παρουσίας εφελκυστικών ρωγμών (Tension crack toppling) (Σχήμα 3.7 ζ). Αναφέρεται κυρίως σε μαλακά πετρώματα και σε σκληρά εδάφη (μάργες, μαργόλιθοι κ.α.) λόγω της δημιουργίας εφελκυστικών ρωγμών σε απότομα πρηνή.

- Κυκλοειδής ολίσθηση και ανατροπή (Toppling and slumping). Ο εδαφικός σχηματισμός στη βάση του πρηνούς ολισθαίνει με αποτέλεσμα το υπερκείμενο πέτρωμα λόγω αποσάθρωσης, απώλειας στήριξης κ.λπ. να υφίσταται ανατροπές και να αποχωρίζεται σε κολώνες λόγω της ύπαρξης υποκατακόρυφου συστήματος ασυνεχειών (Σχήμα 3.7 η).

Η ανατροπή κορημάτων και γαιών είναι ένα σπάνιο φαινόμενο και στην κατηγορία αυτή εντάσσονται κυρίως δευτερογενείς ανατροπές λόγω εφελκυστικών ρωγμών ή περιπτώσεις που ενδεικτικά φαίνονται στο Σχήμα 3.7 θ.

Στη Φωτο 3.6 που ακολουθεί δίνεται μια τυπική μορφή πτώσης από ανατροπή.



Φωτο 3.6: Τυπική μορφή κατάπτωσης βράχων από ανατροπή. Στη συγκεκριμένη περίπτωση τα αποκοπτόμενα τεμάχια προκύπτουν από ένα σύστημα διακλάσεων αντίρροπο προς το σχηματιζόμενο πρηνές (στην περίπτωση της φωτογραφίας η στρώση του πετρώματος) κι ενός συστήματος διακλάσεων ομόρροπου προς το σχηματιζόμενο πρηνές. <http://cgc.rncan.gc.ca/landslides>

3.3.3 Ολισθήσεις (slides)

Στις ολισθήσεις, η μετακίνηση προϋποθέτει κυρίως διατμητική παραμόρφωση και μετατόπιση - θραύση του υλικού κατά μήκος μιας ή περισσότερων επιφανειών, που μπορεί να είναι ορατές ή όχι και να εκδηλώνονται μέσα σε μία σχετικά στενή ζώνη. Η μετακίνηση μπορεί να είναι προοδευτική, δηλαδή η διατμητική θραύση να μη συμβαίνει ταυτόχρονα σε όλη την επιφάνεια που θα αποτελέσει τελικά την επιφάνεια θραύσης, αλλά να επεκτείνεται διαδοχικά πέρα από την αρχική περιοχή τοπικής θραύσης. Η μάζα που μετατοπίζεται μπορεί να ολισθήσει προς τα κατάντη απομακρυνόμενη από την αρχική επιφάνεια θραύσης.

Στους βραχώδεις γεωλογικούς σχηματισμούς η ολίσθηση μπορεί να συνίσταται από μετατόπιση - μετακίνηση επάνω σε καλά διαμορφωμένες επιφάνειες ασυνεχειών (στρώσεις, συστήματα διακλάσεων, σχιστότητες κ.λπ.), χωρίς να παρατηρείται πρωτογενής «θραύση» του υλικού οπότε και η επιφάνεια ολίσθησης να είναι σαφώς καθορισμένη. Έτσι, είναι δυνατό η ολισθαίνουσα μάζα να κινηθεί πάνω στην επιφάνεια ολίσθησης, η οποία και αποτελεί πλέον μία επιφάνεια διαχωρισμού για τη μετακινούμενη μάζα. Η μετακινούμενη μάζα μπορεί να παραμείνει ενιαία κατά την ολίσθηση ή να διαχωριστεί σε μικρότερες ανεξάρτητα κινούμενες μάζες.

Οι ολισθήσεις, ανάλογα με τη μορφή της επιφάνειας ολίσθησης καθώς και το μηχανισμό μετακίνησης διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες: (α) στις περιστροφικές και (β) στις μεταθετικές.

(α) Περιστροφικές ολισθήσεις (rotational slides)

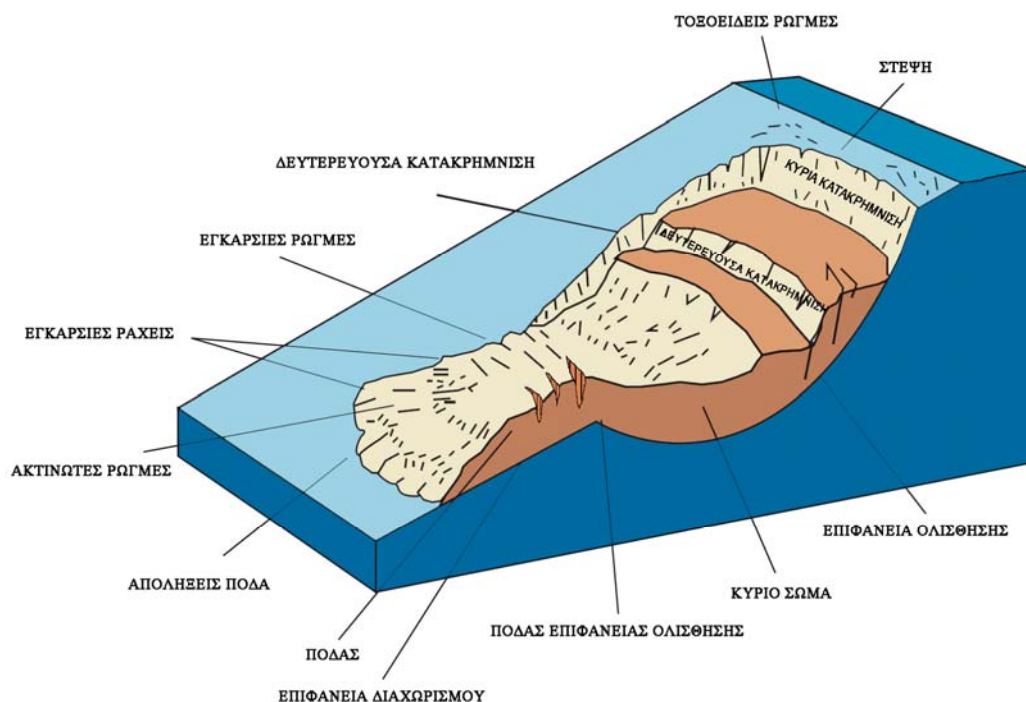
Οι περιστροφικές ολισθήσεις γίνονται συνήθως κατά μήκος κοίλων προς τα πάνω επιφανειών με μικρή παραμόρφωση στο εσωτερικό της μετακινούμενης μάζας. Το ανώτερο τμήμα της μετακινούμενης μάζας κινείται σχεδόν κατακόρυφα προς τα κάτω με μία μικρή κάμψη προς τα πίσω, λόγω της περιστροφικής κίνησης, ενώ στη βάση της μετακινούμενης μάζας παρατηρείται ανύψωση.

Η μορφή αυτή της περιστροφικής ολίσθησης, η οποία είναι και η πιο συνηθισμένη, αποδίδεται συνήθως με τον όρο “slump” αν και οι CRUDEN and VARNES (1996) αποθαρρύνουν τη χρήση του όρου αυτού. Στην περίπτωση περιστροφικών ολισθήσεων μεγάλου μήκους η ολίσθηση γίνεται πάνω σε μία κυλινδρική επιφάνεια που ο άξονάς της θεωρείται παράλληλος προς την περιστροφή της κατολίσθησης.

Οι περιστροφικές κατολίσθησεις εκδηλώνονται κυρίως σε ομογενή εδαφικά

υλικά και συνήθως το μήκος τους είναι 3 - 7 φορές το βάθος τους (SKEMPTON and HUTCHINSON 1969). Επίσης μπορούν να εκδηλωθούν σε έντονα ασυνεχείς βραχομάζες (με πολλαπλά συστήματα ασυνεχειών που κανένα δεν δημιουργεί δυνητική αστάθεια) οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν σαν «ισότροπες».

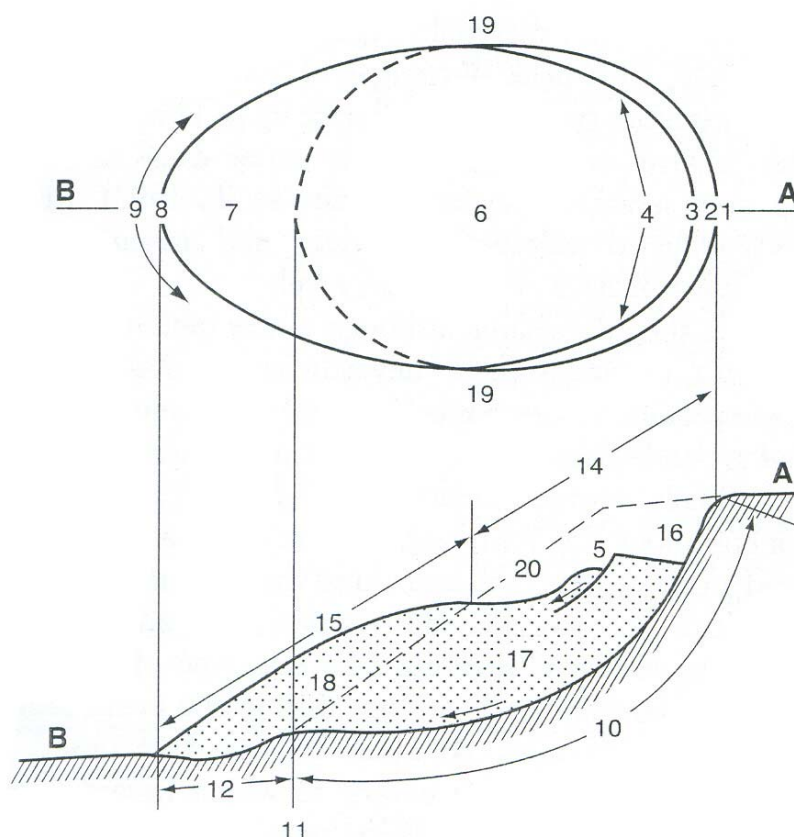
Συνήθως οι πρώτες ενδείξεις πριν την εκδήλωση μιας περιστροφικής ολίσθησης είναι η εμφάνιση τοξοειδών ρωγμών στο έδαφος, κατά μήκος των οποίων θα αναπτυχθεί η κύρια κατακρήμνιση με τη μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση της ολίσθησης. Στο Σχήμα 3.8 δίνεται ένα ιδεατό σχέδιο μιας περιστροφικής ολίσθησης η οποία εξελίσσεται σε ροή γαιών, όπου συμπληρωματικά καθορίζεται και η αντίστοιχη ορολογία των επιμέρους χαρακτηριστικών της συγκεκριμένης κατολισθητικής κίνησης. Σημειώνεται ότι η συγκεκριμένη ορολογία που φαίνεται στο Σχήμα 3.8 προτάθηκε από τον Varnes και αποτέλεσε τη βάση για την περιγραφή μιας κατολισθητικής κίνησης.



Σχήμα 3.8: Τυπική μορφή περιστροφικής κατολίσθησης, κατά Varnes, 1978 (τροποποιημένο από <http://landslides.usgs.gov>).

Το έτος 1990 η Ειδική Επιτροπή για τις κατολισθήσεις που συστάθηκε από τη Διεθνή Ένωση Τεχνικής Γεωλογίας (IAEG, Commission on Landslides) πρότεινε μία λεπτομερή ονοματολογία για τις περιστροφικές ολίσθήσεις, η οποία σε γενικές

γραμμές συμπληρώνει αυτήν του Varnes που αναφέρθηκε παραπάνω. Τα επιμέρους χαρακτηριστικά και η ονοματολογία που προτάθηκαν, περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια και στο Σχήμα 3.9 δίνεται μια τυπική μορφή περιστροφικής ολίσθησης σε τομή και κάτοψη. Η συγκεκριμένη ονοματολογία χρησιμοποιείται για την περιγραφή όλων των κατολισθήσεων γενικότερα (όχι μόνον των περιστροφικών) σε διεθνές επίπεδο (Lee & Jones, 2004).



Σχήμα 3.9: Τυπική μορφή, σε τομή και κάτοψη, χαρακτηριστικά και ονοματολογία περιστροφικής ολίσθησης (Lee & Jones, 2004, από Cruden & Varnes, 1996: IAEG Commission on Landslide, 1990).

(1) Στέψη (Crown): Το ανώτερο σταθερό τμήμα του φυσικού εδάφους, το πλησιέστερο προς την κύρια κατακρήμνιση.

(2) Κύρια κατακρήμνιση (Main scarp): Απότομο βύθισμα της επιφάνειας του φυσικού εδάφους στο ανώτερο τμήμα της ολίσθησης (στέψη), που προκλήθηκε από την κίνηση της ολισθαίνουσας μάζας.

(3) Κορυφή (Top): Το υψηλότερο σημείο επαφής της μετακινούμενης μάζας (13) και της κύριας κατακρήμνισης.

(4) Κεφαλή (Head): Τα ανώτερα τμήματα της κατολίσθησης κατά μήκος της επαφής της μετακινούμενης μάζας (13) και της κύριας κατακρήμνισης.

(5) Δευτερεύουσα κατακρήμνιση (Minor scarp): Δευτερεύουσα επιφάνεια

θραύσης της μετακινούμενης μάζας που έχει προέλθει από διαφορικές μετακινήσεις της μάζας αυτής.

(6) Κύριο σώμα (Main body): Το τμήμα της μετακινούμενης μάζας που υπέρκειται της επιφάνειας ολίσθησης, μεταξύ της κύριας κατακρήμνισης και της απόληξης της επιφάνειας ολίσθησης.

(7) Πόδας (Foot): Το τμήμα της κατολίσθησης που έχει κινηθεί πέραν της απόληξης της επιφάνειας ολίσθησης και το οποίο υπέρκειται της αρχικής επιφάνειας του εδάφους.

(8) Άκρο (Tip): Το σημείο της απόληξης που απέχει τη μεγαλύτερη απόσταση από την κορυφή της κατολίσθησης.

(9) Απόληξη (Toe): Το κατώτερο, συνήθως κυρτό όριο της μετακινούμενης μάζας. Απέχει τη μεγαλύτερη απόσταση από την κύρια κατακρήμνιση.

(10) Επιφάνεια ολίσθησης (Surface of rupture): Η επιφάνεια που αποτελεί επέκταση της κύριας κατακρήμνισης κάτω από τη μετακινούμενη μάζα της κατολίσθησης, πάνω στην οποία έγινε η ολίσθηση.

(11) Απόληξη της επιφάνειας ολίσθησης (Toe of surface of rupture): Η τομή του κατώτερου τμήματος της επιφάνειας ολίσθησης και της αρχικής επιφάνειας του φυσικού εδάφους.

(12) Επιφάνεια διαχωρισμού (Surface of separation): Το τμήμα της αρχικής επιφάνειας του φυσικού εδάφους που καλύπτεται από τον πόδα της κατολίσθησης.

(13) Μετακινούμενη μάζα (Displaced material): Η μάζα του πρανούς που έχει μετακινηθεί από την αρχική της θέση, λόγω της κατολίσθησης.

(14) Ζώνη απομείωσης (Zone of depletion): Η περιοχή της κατολίσθησης στην οποία η μετακινούμενη μάζα κείται κάτω από την αρχική επιφάνεια του φυσικού εδάφους.

(15) Ζώνη συσσώρευσης (Zone of accumulation): Η περιοχή της κατολίσθησης στην οποία η μετακινούμενη μάζα κείται πάνω από την αρχική επιφάνεια του φυσικού εδάφους.

(16) Απομείωση (Depletion): Ο όγκος που ορίζεται μεταξύ της κύριας κατακρήμνισης, της απομειούμενης μάζας και της αρχικής επιφάνειας του φυσικού εδάφους.

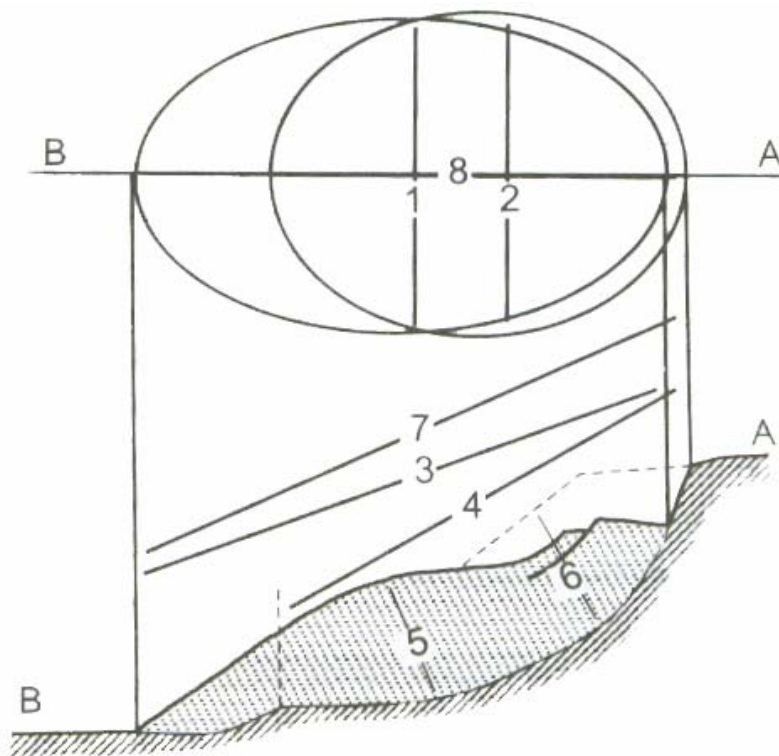
(17) Απομειούμενη μάζα (Depleted mass): Τμήμα της μετακινούμενης μάζας (13) το οποίο υπέρκειται της επιφάνειας ολίσθησης και υπόκειται της αρχικής επιφάνειας του φυσικού εδάφους.

(18) Συσσώρευση (Accumulation): Τμήμα της μετακινούμενης μάζας που υπέρκειται της αρχικής επιφάνειας του φυσικού εδάφους.

(19) Πλευρά (Flank): Η δεξιά ή αριστερή πλευρά της κατολίσθησης (όπως φαίνεται από τη στέψη) που είναι προέκταση της κυρίας κατακρήμνισης.

(20) Αρχική επιφάνεια εδάφους (Original ground surface): Η επιφάνεια του εδάφους πριν την εκδήλωση της κατολίσθησης.

Σημειώνεται ότι στη ζώνη απομείωσης, το υψόμετρο της αρχικής επιφάνειας του εδάφους μειώνεται, ενώ στη ζώνη συσσώρευσης αυξάνεται. Μια λεπτομερής τοπογραφική αποτύπωση της περιοχής μιας κατολίσθησης πριν και μετά την εκδήλωσή της βοηθά σημαντικά στον προσδιορισμό των δύο παραπάνω ζωνών. Στις περισσότερες των περιπτώσεων, το υλικό που συσσωρεύεται στην αντίστοιχη ζώνη συσσώρευσης της κατολίσθησης είναι μεγαλύτερο σε όγκο από το υλικό που απομειώνεται διότι παρόλο που πρόκειται για ισοδύναμες μάζες, με την ολίσθηση και τη διατάραξη της ολισθαίνουσας μάζας, παρατηρείται χαλάρωση και μείωση της πυκνότητας των υλικών (φαινομενική διόγκωση υλικού). Σχετικά με τις διαστάσεις και τα γεωμετρικά στοιχεία μιας τυπικής περιστροφικής ολίσθησης, η Επιτροπή για τις κατολισθήσεις της Διεθνούς Ένωσης Τεχνικής Γεωλογίας (IAEG Commission on Landslides) προτείνει τα παρακάτω, όπως δίνονται και στο Σχήμα 3.10:



Σχήμα 3.10: Τυπικές διαστάσεις περιστροφικής ολίσθησης (IAEG Commission on Landslides, 1990, από Κούκη & Σαμπατακάκη, 2007).

(1) **Πλάτος ολισθαίνουσας μάζας (W_d).** Η μέγιστη απόσταση μεταξύ των πλευρικών ορίων της ολισθαίνουσας μάζας, κάθετα στο μήκος της.

(2) **Πλάτος της επιφάνειας ολίσθησης (W_r).** Η μέγιστη απόσταση μεταξύ των πλευρών της κατολίσθησης, κάθετα στο μήκος της επιφάνειας ολίσθησης (L_r).

(3) **Μήκος ολισθαίνουσας μάζας (L_d).** Η ελάχιστη απόσταση από την κορυφή στο άκρο της κατολίσθησης.

(4) **Μήκος επιφάνειας ολίσθησης (L_r).** Η ελάχιστη απόσταση από τη στέψη μέχρι την απόληξη της επιφάνειας ολίσθησης.

(5) **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 .

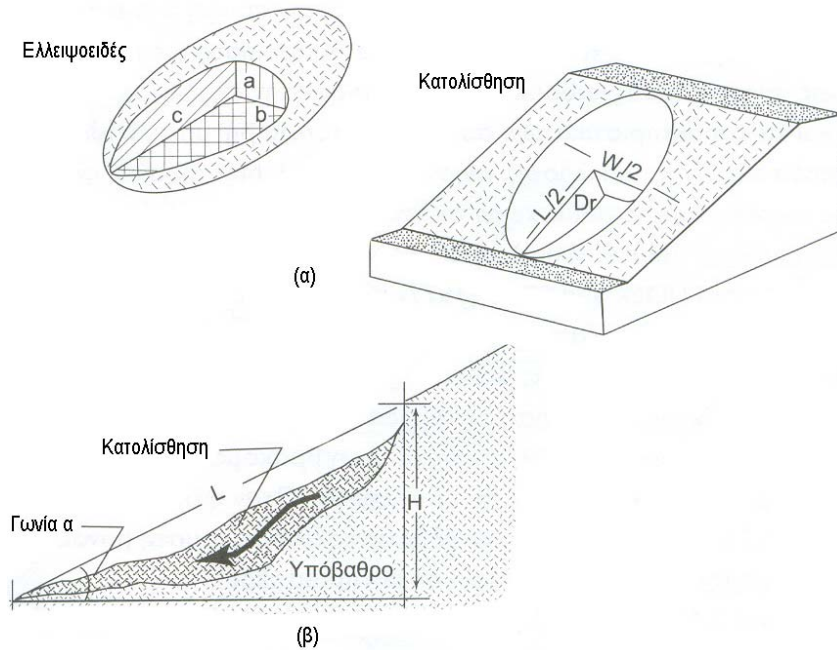
(6) **Βάθος της επιφάνειας ολίσθησης (D_r).** Το μέγιστο βάθος της επιφάνειας ολίσθησης από την αρχική επιφάνεια του εδάφους μετρημένο κάθετα στο επίπεδο που ορίζουν τα W_r και L_r .

(7) **Ολικό μήκος (I).** Η ελάχιστη απόσταση από τη στέψη της κατολίσθησης μέχρι το άκρο της.

(8) **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.

Ο καθορισμός των παραπάνω γεωμετρικών χαρακτηριστικών, τα οποία περιγράφουν τις διαστάσεις μιας τυπικής κατολίσθησης, είναι βασικής σημασίας για την εκτίμηση του όγκου της κατολισθαίνουσας μάζας, που αποτελεί σημαντικό παράγοντα στο σχεδιασμό των μέτρων αποκατάστασης και αντιμετώπισης του φαινομένου στο σύνολό του.

Για τις περισσότερες περιστροφικές ολισθήσεις, η επιφάνεια ολίσθησης μπορεί να αναπαρασταθεί με το ήμισυ της επιφάνειας ενός ελλειψοειδούς με ημιάξονες D_r , $W_r/2$, $L_r/2$ (Σχήμα 3.11).



Σχήμα 3.11: α) Προσομοίωση του ελλειψοειδούς για την εκτίμηση του όγκου της κατολίσθησης, β) Καθορισμός γωνίας μετακίνησης μιας κατολίσθησης (TRB special report 247, 1996, Κούκη & Σαμπατακάκη, 2007).

Ο όγκος του ελλειψοειδούς δίνεται από τη σχέση (BEYER 1987):

$$VOL_{eps} = \frac{4}{3} \pi abc$$

όπου a, b και c οι ημιάξονές του. Έτσι ο όγκος μιας περιστροφικής ολίσθησης που αναφέρεται στο ήμισυ του ελλειψοειδούς είναι:

$$VOL_{eps} = \frac{1}{2} \frac{4}{3} \pi abc = \frac{4}{6} \pi abc$$

όπου $a = D_r$, $b = W_r/2$, $c = L_r/2$

οπότε ο προσεγγιστικός όγκος της ολισθαίνουσας μάζας είναι:

$$VOL_{is} = \frac{4}{6} \pi D_r \frac{W_r}{2} \frac{L_r}{2} = \frac{1}{6} \pi W_r L_r D_r$$

Ο όγκος αυτός αντιστοιχεί στο υλικό πριν την εκδήλωση της ολίσθησης. Μετά την εκδήλωση του φαινομένου όμως, ο όγκος αυξάνει και μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$VOL_{is} = \frac{1}{6} \pi W_d L_d D_d$$

Εκτιμάται, ότι ένας λόγος «διόγκωσης» περίπου 33% (αύξηση του όγκου ως προς τον αρχικό όγκο), ισχύει για την εκσκαφή των βραχωδών πρανών με μηχανικά

μέσα και αντιπροσωπεύει το ανώτερο όριο για τις κατολισθήσεις. Οπότε προσεγγιστικά ισχύει:

$$W_d L_d D_d = 1.33 W_r L_r D_r$$

Η μέτρηση του ολικού μήκους (L) της ολίσθησης γίνεται από τη στέψη μέχρι το άκρο και όχι οριζόντια σε κάποια κάτοψη της ολίσθησης. Η υψομετρική διαφορά μεταξύ της στέψης και του άκρου της ολίσθησης καθορίζει το ύψος (H) της ολίσθησης, ενώ η γωνία μετακίνησης (θ) της κατολίσθησης δίνεται από τη σχέση (Σχήμα 3.11):

$$\eta\mu\theta = \frac{H}{L}$$

(β) Μεταθετικές ολισθήσεις (Translational slides)

Στις μεταθετικές ολισθήσεις, η μάζα που αποσπάται από το πρανές μετακινείται προς τα έξω ή προς τα κάτω και έξω, κατά μήκος μιας κατά προσέγγιση επίπεδης ή ομαλής - κυματοειδούς επιφάνειας, με πολύ μικρή ή καθόλου περιστροφική κίνηση ή κάμψη (Φωτ. 3.7). Συνήθως, η μετακινούμενη μάζα ολισθαίνει και μετακινείται παράλληλα πάνω στην επιφάνεια ολίσθησης. Η διάκριση της μεταθετικής από την περιστροφική ολίσθηση είναι βασικής σημασίας για την αντιμετώπιση του προβλήματος. Στην περιστροφική ολίσθηση, όπου η επιφάνεια ολίσθησης στην περιοχή του πόδα κλίνει προς το πρανές, υπάρχει η «εγγενής» τάση αποκατάστασης της ισορροπίας στην ασταθή μάζα. Αντίθετα, σε μία μεταθετική ολίσθηση μπορεί η μετακίνηση να προχωρεί απεριόριστα, όταν η επιφάνεια ολίσθησης έχει σημαντική κλίση και εφόσον η διατμητική αντίσταση κατά μήκος της επιφάνειας αυτής παραμένει μικρότερη από τη σταθερή δύναμη που προκαλεί την κίνηση.



Φωτο 3.7: Τυπική μορφή μεταθετικής ολίσθησης, κατά την οποία η κάμψη-περιστροφή της μετακινούμενης μάζας είναι μικρή και η επιφάνεια ολίσθησης σχετικά αβαθής.
<http://cgc.rncan.gc.ca/landslides>

Σε πολλές μεταθετικές ολισθήσεις, η ολισθαίνουσα μάζα παραμορφώνεται έντονα και διαχωρίζεται σε πολλές ημιανεξάρτητες μονάδες. Καθώς συνεχίζεται η παραμόρφωση και η αποσύνθεση και ιδιαίτερα καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα σε νερό, η αποσυνθεμένη πλέον μάζα που ολισθαίνει μπορεί να μεταπέσει σε εδαφική ροή.

Οι μεταθετικές ολισθήσεις είναι γενικά πιο αβαθείς από τις περιστροφικές και συνήθως το μήκος τους υπερβαίνει το δεκαπλάσιο του βάθους τους (SKEMPTON and HATCHINSON, 1969), ενώ η επιφάνεια ολίσθησης έχει μορφή «διευρυμένου σε πλάτος καναλιού» (HATCHINSON, 1988).

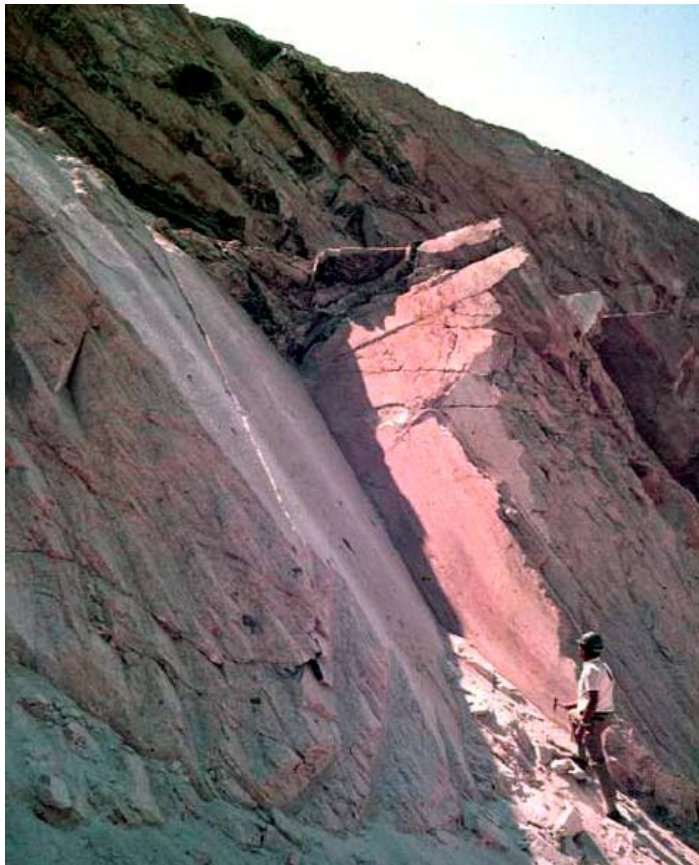
Στις μεταθετικές ολισθήσεις που γίνονται στους εδαφικούς σχηματισμούς, η κίνηση συνήθως ελέγχεται από την παρουσία υποκείμενων πυκνότερων ή μεγαλύτερης συνεκτικότητας εδαφικών στρώσεων, από την επαφή ανάμεσα στο υπόβαθρο και στα υπερκείμενά του αποσαθρώματα ή κορήματα κ.λπ. Αντίθετα, στους βραχώδεις σχηματισμούς καθοριστικής σημασίας στην εκδήλωσή τους είναι η παρουσία και τα χαρακτηριστικά των ασυνεχειών (όπως ρήγματα, κάθε είδους ρωγμές, επίπεδα στρώσης, διακλάσεις, σχιστότητα κ.λπ.). Μεταθετικές ολισθήσεις κατά μήκος συγκεκριμένης ασυνέχειας σε ασυνεχείς βραχομάζες ονομάζονται ολισθήσεις τεμάχους (block slides) κατά PANET (1969), ή επίπεδες ολισθήσεις (planar slides) κατά HOEK and BRAY (1977) (Φωτο 3.8).

Στην περίπτωση που η ολίσθηση γίνεται πάνω σε δύο τεμνόμενες επιφάνειες ασυνεχειών και κατά μήκος της τομής τους, καλείται σφηνοειδής ολίσθηση (wedge failure) (Φωτο 3.9). Κλιμακωτές μεταθετικές ολισθήσεις (stepped translational slides) είναι επίσης δυνατό να εκδηλωθούν σε βραχώδη πρανή, όταν η βραχομάζα

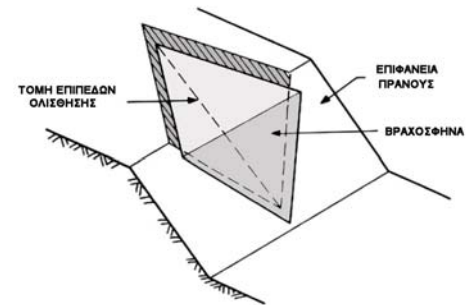
διατέμενεται από δύο ή περισσότερα κυρίαρχα συστήματα ασυνεχειών. Όταν η συνολικά μετακινούμενη μάζα αποτελείται από πολλές ημιανεξάρτητες ολισθαίνουσες μονάδες, τότε καλείται κερματισμένη ολίσθηση (broken or disrupted slide).



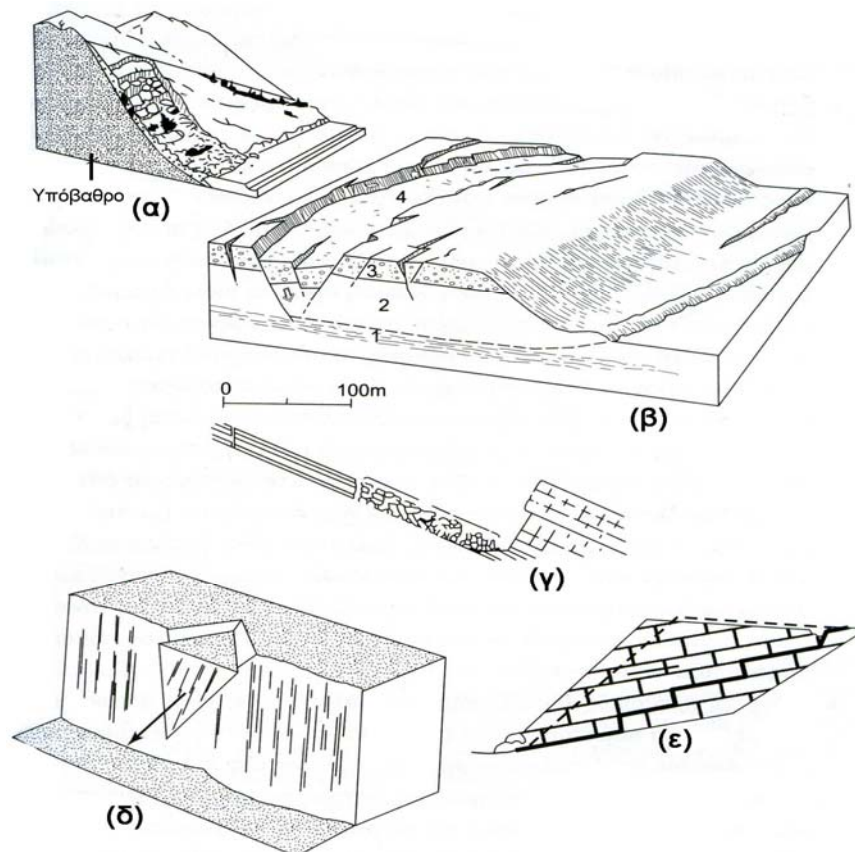
Φωτο 3.8: Πρανές με επιφάνειες ομόρροπες προς αυτό επιφάνειες σχιστότητας, οι οποίες οδηγούν σε ολίσθηση κατά τα επίπεδα σχιστότητας. <http://cgc.mcan.gc.ca/landslides>



Φώτο 3.9: Αποκόλληση τεμάχους με τη μορφή βραχοσφήνας (Hoek, 2000).



Στο Σχήμα 3.12 που ακολουθεί, δίνονται μερικές χαρακτηριστικές περιπτώσεις μεταθετικών ολισθήσεων.



Σχήμα 3.12:

Μεταθετικές ολισθήσεις:
(α) Αποσαθρωμάτων
(β) Εδαφικού τεμάχου
(γ) Τεμαχών βράχων – επίπεδη ολίσθηση
(δ) Σφηνοειδής
(ε) Κλιμακωτή

(Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007, από HANSEN, 1965 and VARNES, 1978).

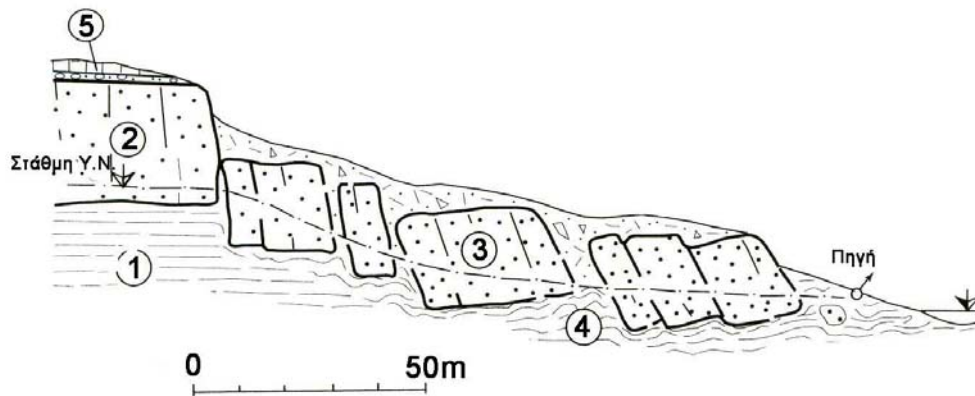
3.3.4 Πλευρικές εξαπλώσεις (*Lateral spreads*)

Στις πλευρικές εξαπλώσεις η κίνηση που επικρατεί είναι η πλευρική διάσταση του υλικού που διευκολύνεται από διατμητικές ή εφελκυστικές ρωγμές. Ο όρος «εξαπλώση» προτάθηκε αρχικά από τους TERZACHI and PECK (1948) για την περιγραφή των απότομων μετακινήσεων υδροφόρων στρωμάτων άμμου ή ιλύος στα οποία υπέρκεινται ομογενή στρώματα αργίλου ή τα οποία έχουν φορτιστεί από επιχώματα. Αποτέλεσμα αυτών είναι η μετακίνηση αργίλων σε πολύ ομαλό μορφολογικό ανάγλυφο που για δεκαετίες δε παρουσίαζαν κάποιες ενδείξεις για επικείμενες μετακινήσεις τους.

Παρακάτω δίνονται οι παρακάτω βασικοί τύποι πλευρικών εξαπλώσεων:

1) *Εξαπλώση τεμαχών (block spreads)*, όπου βραχώδεις γεωλογικοί σχηματισμοί που υπέρκεινται άλλων ασθενέστερων, διαχωρίζονται με κατακόρυφες ρωγμές σε τεμάχη. Το υποκείμενο υλικό συνθλίβεται και συχνά καλύπτει τις ρωγμές που δημιουργούνται. Η μετατόπιση κατανέμεται σε όλη την εκτεινόμενη μάζα, δίχως όμως να σχηματίζεται μια καλά καθορισμένη επιφάνεια διάτμησης ή κάποια ζώνη πλαστικής ροής που να ελέγχει τη μετακίνηση. Στις περισσότερες φορές η μετακίνηση είναι εξαιρετικά αργή, αλλά η επιφάνειά στην οποία εκδηλώνεται είναι κατά κανόνα πολύ μεγάλη (λωρίδες αρκετών χιλιομέτρων).

Η περίπτωση του Σχήματος 3.13 αναφέρεται σε ενεργή κατολίσθηση στη Σιβηρία, όπου ένα παχύ στρώμα συνεκτικού σκληρού υλικού (Ψαμμίτες και ασβεστόλιθοι αντίστοιχα) υπέρκειται μαλακών σχιστόλιθων και αργιλόλιθων - μαργών. Το υποκείμενο στρώμα λόγω προσρόφησης νερού υπέστη πλαστική ροή σε κάποια έκταση, προκαλώντας έτσι στο υγιές υπερκείμενο συνεκτικό υλικό κερματισμό σε τεμάχη τα οποία και αποχωρίστηκαν. Οι ρωγμές ανάμεσα στα τεμάχη γέμισαν είτε με μαλακό υλικό που υπέστη σύνθλιψη και ωθήθηκε προς τα πάνω, είτε με αποσαθρώματα που προέρχονται από το υπερκείμενο.



Σχήμα 3.13: Ολίσθηση τεμαχίων στην κοιλάδα Augara της Σιβηρίας (κατά PALSHIM, 1963, από ZARUBA – MENCL, 1976). (1) Αργιλόλιθοι, (2) Ψαμμίτες, (3) «Βυθισμένος» ογκόλιθος ψαμμίτη, (4) Αποσαθρωμένος, έντονα διατμημένος, λόγω πλαστικής παραμόρφωσης, Αργιλόλιθος (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).

2) *Εξαπλώσεις λόγω ρευστοποίησης (Liquefaction spreads)*, που δημιουργούνται κυρίως σε ευαίσθητες αργίλους και ιλύες, οι οποίες παρουσιάζουν απώλεια της αντοχής τους όταν διαταραχθούν και αλλοιωθεί η αρχική τους δομή. Η θραύση είναι συνήθως βαθμιαία, δηλαδή ξεκινά σε μία περιοχή σαν τοπικό φαινόμενο και επεκτείνεται. Συχνά, η αρχική θραύση είναι μία εκτεταμένη καθίζηση και η προοδευτική επέκτασή της γίνεται αντίστροφα, δηλαδή από την αρχική θραύση προς τα πίσω (στέψη). Η κύρια μετακίνηση είναι περισσότερο μεταθετική παρά περιστροφική. Αν η υποκείμενη ευκίνητη ζώνη είναι σημαντικού πάχους, τα υπερκείμενα τεμάχια μπορεί να βυθιστούν προς τα κάτω σαν τάφροι, χωρίς να υποστούν περιστροφή, ενώ μπορεί να υπάρξει εξώθηση και ροή του υλικού κυρίως στη βάση. Η κίνηση γενικά αρχίζει αιφνίδια, χωρίς σημαντική προειδοποίηση και εξελίσσεται με μεγάλη μέχρι πολύ μεγάλη ταχύτητα. Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται και πλευρικές εξαπλώσεις λόγω ρευστοποίησης κορεσμένων, χαλαρών μη συνεκτικών εδαφικών στρώσεων μετά από ισχυρές σεισμικές δονήσεις. Τονίζεται πως στους ισχυρούς σεισμούς, οι κύριες καταστροφές προκαλούνται από ολισθήσεις αυτού του τύπου.

3) *Σύνθετες πλευρικές εξαπλώσεις (complex spreads)* είναι μετακινήσεις οι οποίες αρχικά παρατηρήθηκαν σε πολλές κοιλάδες της κεντρικής και βόρειας Αγγλίας κατά την κατασκευή φραγμάτων στα τέλη του 19^{ου} αιώνα. Τα φαινόμενα αυτά εκδηλώθηκαν ως έντονες παραμορφώσεις σε σχεδόν οριζόντια επιφανειακά σκληρά και διερρηγμένα πετρώματα που υπέρκεινται παχιών στρωμάτων σκληρών ρωγματομένων αργίλων ή μαλακών σχιστόλιθων τα οποία με τη σειρά τους υπέρκεινται κάποιου σκληρού βραχώδους υπόβαθρου. Μία κάμψη του επιφανειακού

σκληρού πετρώματος είχε ως αποτέλεσμα την κίνηση (πλευρική εξάπλωση) τεμαχίων του, την ανατροπή τους και τη βύθισή τους προς την κοιλάδα. Τα φαινόμενα αυτά συνοδεύτηκαν από έντονες παραμορφώσεις και ανύψωση (αναθόλωση-bulge) του πυθμένα της κοιλάδας (HUTCHINSON 1991). Οι εξαπλώσεις αυτές συμβαίνουν και στο βραχώδες υπόβαθρο και ιδιαίτερα στις κορυφές των υβωμάτων, χωρίς να έχει ακόμη διευκρινιστεί αρκετά ο μηχανισμός της μετακίνησης αυτής.

3.3.5 Ροές (flows)

Οι ροές, υγρές ή ξηρές, γρήγορες ή αργές εκδηλώνονται κυρίως σε χαλαρά υλικά. Αντίθετα, στο βραχώδες υπόβαθρο, οι αντίστοιχες μετακινήσεις περιλαμβάνουν τις πολύ αργές παραμορφώσεις που κατανέμονται ανάμεσα σε πολλές, κοντινές ρωγμές - διακλάσεις, καθώς και εκείνες που παρατηρούνται μέσα στη μάζα του πετρώματος και προέρχονται από κάμψη, πτύχωση ή διόγκωση. Σε πολλές περιπτώσεις η κατανομή των ταχυτήτων μετακίνησης πλησιάζει εκείνη των ιξωδών ρευστών και οι κινήσεις μπορεί να περιγραφούν σαν μία μορφή ροής άθικτου πετρώματος.

Οι αργές ροές ταξινομούνται από το Varnes και από πολλούς ερευνητές στον ερπυσμό (creep) που είναι μία αργή, όχι άμεσα ορατή κίνηση του επιφανειακού μανδύα του εδάφους ή του σαθρού καλύμματος των πετρωμάτων. Μπορεί να θεωρηθεί σαν μία φυσική εξέλιξη της κλίσης της κλιτύος που οφείλεται σε διαμοριακές και όχι εξωτερικές τάσεις και υποβοηθείται από τη βαρύτητα. Στη μηχανική, ερπυσμός ονομάζεται η παραμόρφωση που συνεχίζεται κάτω από μία σταθερή τάση. Μέρος της παραμόρφωσης αυτής αποκαθίσταται μετά από κάποιο χρόνο από την άρση της τάσης, αλλά γενικά το μεγαλύτερο μέρος της δεν αποκαθίσταται.

Η μετατόπιση κατά κανόνα είναι δυσδιάκριτη ενώ το φαινόμενο του ερπυσμού συντελείται στα παρακάτω τρία κύρια στάδια:

1. το πρωτογενές (επιβραδυνόμενη παραμόρφωση)
2. το δευτερογενές (σταθερή ταχύτητα παραμόρφωσης)
3. το τριτογενές (επιτάχυνση της παραμόρφωσης μέχρι τη θραύση).

Ο VARNES (1976) υποστηρίζει ότι η παραμόρφωση κατά τον ερπυσμό είναι δυνατό να είναι ευδιάκριτη ενώ ο MULLER (1968) αναφέρει ότι στη μεγάλη κατολίπωση που οδήγησε στην καταστροφή του φράγματος Vajont, προηγήθηκαν ευδιάκριτα φαινόμενα ερπυσμού.



Φωτο 3.10: Χαρακτηριστική μορφή κάμψης στρωμάτων κοντά στην επιφάνεια.

Ο όρος «ερπυσμός» πρέπει γενικά να χρησιμοποιείται με μεγάλη επιφύλαξη και να περιορίζεται στις αργές και συνεχείς στο χώρο παραμορφώσεις (VARNES 1976). Γενικά αποτελεί επιφανειακό φαινόμενο που προσβάλλει το σύνολο μιας κλιτύος, η επιφάνεια της οποίας εμφανίζει μορφολογικές κυματώσεις, ενώ συνήθως απουσιάζουν ρωγμές και αποκολλήσεις. Αναγνωρίζεται από τη κλίση δέντρων, στύλων ή ακόμα από τη σχετική θέση των θραυσμάτων κάποιου χαρακτηριστικού γεωλογικού ορίζοντα. Το βάθος της μετακίνησης είναι συνήθως της τάξεως των λίγων δεκάδων εκατοστών (cm) αλλά μερικές φορές, όταν η βαρύτητα αποτελεί το βασικό αίτιο μετακίνησης, φτάνει τα 2 - 3 m (βαθύς ή συνεχής ερπυσμός).

Η διάκριση γενικά μεταξύ αργών ολισθήσεων και ροών γίνεται με την ύπαρξη καλά καθορισμένων, λείων επιφανειών ολίσθησης που πολλές φορές φέρουν γραμμώσεις ολίσθησης (slickensides), στοιχεία που δεν παρατηρούνται στις ροές, ενώ επιπρόσθετα στις ροές η μετακινούμενη μάζα υφίσταται έντονες παραμορφώσεις.

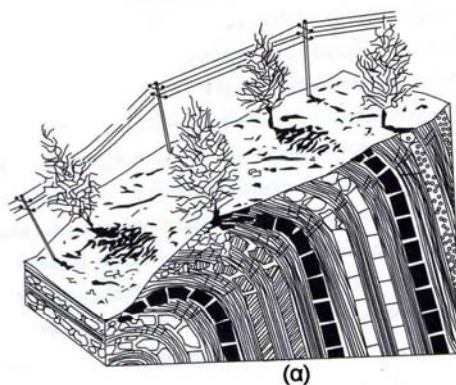
(α) Ροές βραχώδους υπόβαθρου

Περιλαμβάνουν παραμορφώσεις της βραχομάζας που κατανέμονται ανάμεσα σε πολλές και μικρές ή μεγάλες ρωγμές - διακλάσεις ή ακόμη μικρορωγμές, χωρίς

εντοπισμό της μετατόπισης κατά μήκος μιας συγκεκριμένης επιφάνειας. Οι μετακινήσεις είναι εξαιρετικά αργές και σχετικά σταθερές στο χρόνο. Τέτοιες μετακινήσεις προέρχονται από πτυχώσεις, κάμψεις (π.χ. κάμψεις κεφαλών στρωμάτων), διογκώσεις ή άλλες εκδηλώσεις πλαστικής παραμόρφωσης. Η κατανομή των ταχυτήτων μπορεί προσεγγιστικά να προσομοιωθεί με εκείνη των ιξωδών ρευστών.

Μετακινήσεις του είδους αυτού παρατηρούνται συχνότερα σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο. Μερικές από αυτές έχουν περιγραφεί από τους NEMCOK, RYSEK and RYBAR (1972) σαν ερπυσμοί ενώ άλλες σαν βαρυτικές παραμορφώσεις πρανών, ενώ θα μπορούσαν επίσης να ταξινομηθούν στις σύνθετες μετακινήσεις.

Η κάμψη της κεφαλής των στρωμάτων (sagging) που θα πρέπει να θεωρείται και να αντιμετωπίζεται ως βαρυτικός ερπυσμός (RADBRUCH and HALL 1971), οφείλει τη δημιουργία του στο γεγονός ότι όταν τα στρώματα των πετρωμάτων (ιδιαίτερα στους σχιστόλιθους - πλακώδεις ασβεστόλιθους κ.λ.π.) είναι κατακόρυφα ή κλίνουν με πολύ μεγάλες κλίσεις αντίθετα προς την κλίση του φυσικού πρανούς, οι κεφαλές τους γέρνουν προς τη μεριά της τοπογραφικής κλίσης, πάνω στην οποία έρπουν. Η κάμψη αυτή των στρωμάτων διευκολύνεται από την παρουσία επιφανειών ασυνέχειας, όπως η σχιστότητα και η στρώση, που επιτρέπουν διαφορική ολίσθηση. Ανάλογα με την αντοχή στη διάτμηση, δημιουργούνται στις κεφαλές των στρωμάτων θραύσεις που τελικά οδηγούν σε γενική μετατόπιση του επιφανειακού στρώματος του πρανούς. Το φαινόμενο εξελίσσεται συνεχώς βαθύτερα καθώς το ανάγλυφο συχνά παίρνει μεγαλύτερες κλίσεις μετά τον πρώτο βαρυτικό ερπυσμό. Το Σχήμα 3.14 (α και β), περιγράφει σχηματικά διάφορες περιπτώσεις βαρυτικού ερπυσμού.



Σχήμα 3.14: (α) Βαρυτικός ερπυσμός των επιφανειακών στρωμάτων (DESIO, 1959), (β) τρία διαδοχικά στάδια εξέλιξης του ερπυσμού βαρύτητας: (1) Κρυσταλλικοί σχιστόλιθοι, (2) Τριαδικοί εβαπορίτες, (3) Ασβεστόλιθοι Λιασίου, (4) Σχιστόλιθοι Λιασίου (LETOURNEUR-MICHEL, 1971), (από Κούκη & Σαμπατακάκη, 2007).



(β) Ροές κορημάτων

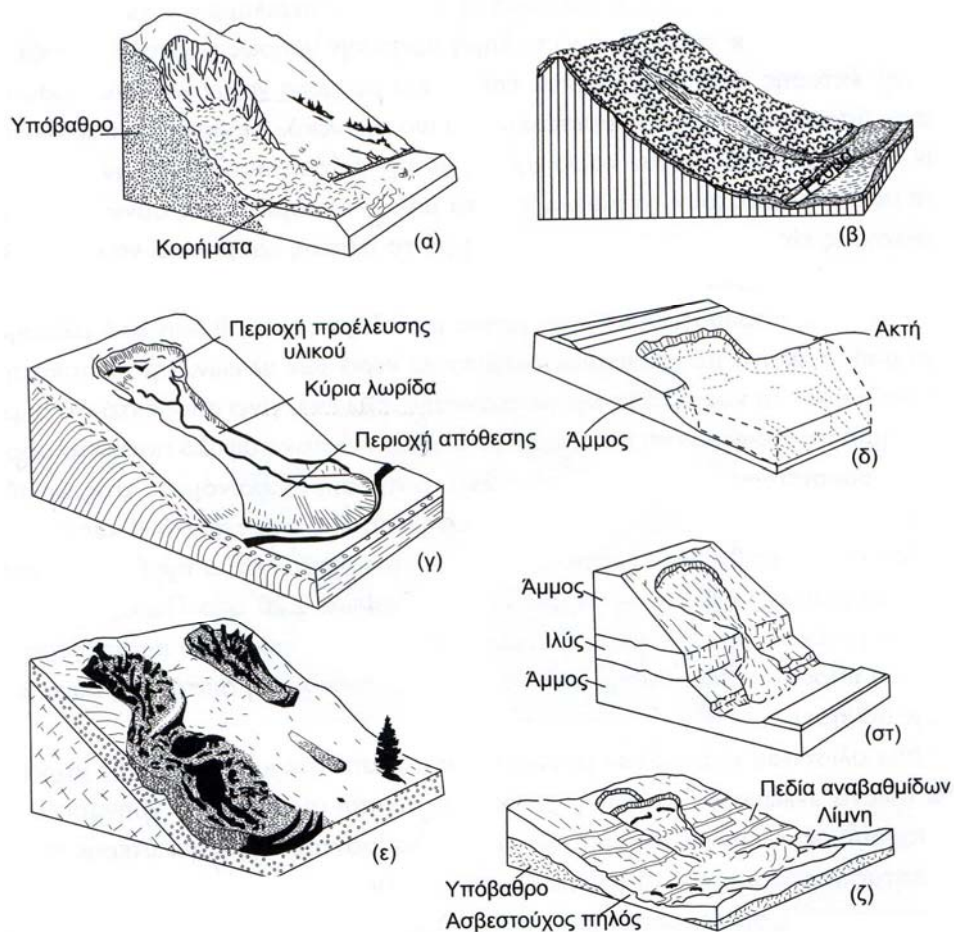
Στα χαλαρά υλικά οι ροές αναγνωρίζονται αρκετά εύκολα σε σχέση με εκείνες στο βραχώδες υπόβαθρο, καθόσον οι μετατοπίσεις είναι σημαντικά μεγαλύτερες και πολύ πιο ευκρινείς. Επιφάνειες ολίσθησης μέσα στη μετακινούμενη μάζα δεν είναι ορατές. Το όριο ανάμεσα στη μετακινούμενη μάζα και στο υλικό που δεν παίρνει μέρος στη μετακίνηση είναι σαφές και εντοπίζεται σχετικά εύκολα, στη θέση που η συνοχή και γενικότερα η διατμητική αντοχή των υλικών γίνεται πολύ μεγαλύτερη. Μπορεί να είναι μία επιφάνεια διαφορικής κίνησης ή μία ζώνη με κατανεμημένη διάτμηση. Η εσωτερική παραμόρφωση του υλικού που ρέει είναι πολύ μεγάλη ενώ η εσωτερική του δομή διαφορετική από αυτή που είχε στην αρχική του θέση.

Ο όρος «ροή» βέβαια αναφέρεται στην κίνηση ρευστού υλικού και κάποια περιεκτικότητα νερού είναι απαραίτητη για τους περισσότερους τύπους ροής πρανών. Είναι όμως γνωστές και ροές σε τελείως ξηρά κοκκώδη υλικά, συχνά δε πολύ καταστροφικές. Έτσι, η ταξινόμηση των ροών περιλαμβάνει όλο το φάσμα της περιεκτικότητας σε νερό, από τη ξηρή μέχρι την πλήρως κορεσμένη μάζα. Οι μεγάλης έκτασης ροές ονομάζονται επίσης και ρεύματα γαιών και είναι τόσο πιο έντονα, όσο το υλικό που συμμετέχει είναι πιο αργιλικό. Οι εκτάσεις που διατρέχουν τα ρεύματα δεν έχουν καμία σχέση με την έκταση που κάλυπταν αρχικά τα υλικά που τροφοδοτούν το ρεύμα, ενώ το μήκος της οριζόντιας συνιστώσας της μετακίνησης είναι πολύ μεγάλο σε σχέση με το πλάτος και μπορεί να φτάσει και σε μερικά χιλιόμετρα.

Στις ροές κορημάτων υπάρχει γενικά μία πλήρης διαβάθμιση από ολίσθηση μέχρι ροή, ανάλογα με την περιεκτικότητα σε νερό των υλικών, την κινητικότητα τους καθώς και το χαρακτήρα της μετακίνησης, ενώ έχει γίνει αποδεκτό ότι οι ροές κορημάτων αναφέρονται σε υλικό που περιέχει σχετικά υψηλό ποσοστό αδρομερών θραυσμάτων των πετρωμάτων. Ένα συνηθισμένο φαινόμενο στις ορεινές ζώνες είναι η ξηρή ροή κορημάτων, (τα κορήματα εδώ αποτελούνται κυρίως από ποικίλου μεγέθους βραχώδη θραύσματα) που είναι αποτέλεσμα της βαρύτητας σε απότομες κλιτύες, χωρίς την παρουσία νερών (Φωτο 3.11). Το έναυσμα μετακίνησης αποτελεί η διατάραξη της ευστάθειας λόγω προστιθέμενων υλικών, η υποσκαφή της βάσης λόγω διάβρωσης ή ακόμα η διατάραξη λόγω σεισμικής δόνησης.

Μία ολίσθηση κορημάτων μπορεί να μετατραπεί σε «χιονοστιβάδα κορημάτων» (debris avalanche), καθώς η μετακίνηση γίνεται συνεχώς πιο γρήγορη λόγω της παρουσίας χαλαρών υλικών που συμπαρασύρονται, της μεγαλύτερης περιεκτικότητας

νερού και γενικά της μεγαλύτερης κλίσης των πρανών (Σχήμα 3.15α). Στις περιπτώσεις αυτές, ολόκληρη σχεδόν η εδαφική μάζα βρίσκεται σε ρευστή κατάσταση, ρέει προς τα κάτω συνήθως κατά μήκος μιας μισχάγγειας και μπορεί να φτάσει αρκετά μακρύτερα από το πόδι του πρανούς. Οι «χιονοστιβάδες κορημάτων» είναι συνήθως επιμήκεις και στενές και συχνά αφήνουν στην περιοχή της κεφαλής ένα πριονωτό ή σχήματος V ίχνος (Σχήμα 3.15β), σε αντίθεση με την πεταλοειδή κατακρήμνιση μιας περιστροφικής ολίσθησης.



Σχήμα 3.15: Ροές (α) πολύ γρήγορη ροή – «χιονοστιβάδα κορημάτων», (β) «χιονοστιβάδα κορημάτων», (γ) ροή γαιών πολύ αργή έως γρήγορη (ZARUBA – MENCL, 1963), (δ) ροή άμμου ή ιλύος γρήγορη, (ε) καναλιζάρισμα ροής κορημάτων και ρεύμα τεμάχους, (στ) ροή στεγνής άμμου γήγορη μέχρι πολύ γρήγορη (VARNES, 1978), (ζ) ροή ξερής αιολικής γης, εξαιρετικά γρήγορη, προκαλούμενη από σεισμικές δονήσεις (από Κούκη & Σαμπατακάκη, 2007).

Ο όρος «χιονοστιβάδα» κορημάτων, που είναι μία πολύ ως εξαιρετικά γρήγορη ροή κορημάτων έχει υποστεί έντονη κριτική (RAPP 1963 και TAMPLE and RAPP 1972) καθώς υποστηρίζεται ότι θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο για τις μετακινήσεις πρανών στα οποία εκτός των κορημάτων συμμετέχουν χιόνι και πάγος. Οι ολισθήσεις κορημάτων και οι «χιονοστιβάδες κορημάτων» μπορεί να περιλαμβάνουν στην κεφαλή τους τεμάχια που έχουν υποστεί περιστροφική ολίσθηση

ενώ η μετακινούμενη μάζα συνήθως διασπάται σε συνεχώς μικρότερα τμήματα, καθώς προχωρεί προς το πόδι και η κίνηση είναι συνήθως αργή.



Φωτο 3.11: «Χιονοστιβάδα» κορημάτων (debris avalanche). (<http://www.dnr.wa.gov>)

Τα ρεύματα τεμαχών είναι «γλώσσες» κορημάτων βράχων σε απότομα πρανή, που κινούνται εξαιρετικά αργά και συχνά τροφοδοτούνται από πλευρικά κορήματα ή κώνους στην κεφαλή του ρεύματος. Λόγω της βροχής που προκαλεί απόπλυση των υλικών, στα επιφανειακά στρώματα συναντώνται περισσότερα αδρομερή υλικά παρά στο εσωτερικό.

(γ) Ροές γαιών

Αυτές διακρίνονται σε ροές αποσαθρωμάτων συχνά αποκαλούνται ροές λάσπης (mud flows) και αναφέρονται σε γαιώδη υλικά αρκετά διαβρεγμένα που ρέουν σχετικά γρήγορα με περιεκτικότητα τουλάχιστον 50% σε άμμο, ιλύ και άργιλο. Συνήθως δημιουργούνται από ασυνήθιστα ισχυρή βροχόπτωση ή από λιώσιμο χιονιού και ευνοούνται από την παρουσία εδάφους σε απότομες κλιτύες από τις οποίες έχει απομακρυνθεί η φυτοκάλυψη λόγω πυρκαγιών ή ανθρώπινης δραστηριότητας. Ροές γαιών μεγάλης ταχύτητας συμβαίνουν επίσης στις λεπτόκοκκες ιλύες, αργίλους και αργιλικές άμμους (Σχήμα 3.15γ και δ). Πολλές από τις ροές αυτές παρομοιάζουν με

πλευρικές εξαπλώσεις, όπου «ρευστοποιείται» όχι μόνο το υποκείμενο υλικό (πλησίον της επιφάνειας ολίσθησης) αλλά ολόκληρη η ολισθαίνουσα μάζα. Όταν υπάρχει συνδυασμός αργίλου, ή αποσαθρωμένων αργιλούχων πετρωμάτων και πρηνή με μέσες κλίσεις καθώς και αρκετή υγρασία, τότε σημειώνονται κάπως ξηρότερες και βραδύτερες ροές γαιών (πλαστικές γαίες). Μία συνηθισμένη ροή γαιών φαίνεται στο Σχήμα 3.15ε, όπου παρατηρείται επιμήκυνση και «καναλιζάρισμα» της ροής με έκταση του πόδα.

Μία άλλη μορφή ροής γαιών είναι η εδαφική ροή (Solifluction), που αναφέρεται σε μία ειδική περίπτωση μετακίνησης και ροής των επιφανειακών στρωμάτων πάνω σε επίπεδο, που κάτω από αυτό το έδαφος είναι παγωμένο και παρατηρείται κυρίως κοντά στις αρκτικές και στις υψηλές ορεινές περιοχές. Κατά τη χειμερινή περίοδο το νερό παγώνει στο μανδύα σε αρκετό βάθος. Κατά τη διάρκεια του σύντομου καλοκαιριού, τήκεται ο πάγος μόνο μέχρι μικρό βάθος. Η τήξη του πάγου και το ατμοσφαιρικό νερό καθιστούν κορεσμένο το έδαφος, το οποίο κινείται σαν πυκνή λάσπη, ακόμα και σε πρηνή με μικρή κλίση, πάνω στο παγωμένο ακόμα τμήμα του μανδύα.

Η εδαφική ροή μπορεί να εμφανιστεί ακόμη και σε θερμότερα κλίματα, σε μεγάλα υψόμετρα, ιδιαίτερα κατά τη μετάβαση του εδάφους από το όριο πλαστικότητας στο όριο υδαρότητας. Το φαινόμενο αυτό εξελίσσεται μέχρι βάθους 0,5 m (ZARUBA - MENCL 1976) και αποτέλεσε αρχικά τον ορισμό του φαινομένου της «εδαφικής ροής». Ο όρος αυτός έχει σήμερα γενικευθεί, χωρίς να αναφέρεται αποκλειστικά στις συνθήκες παγετού, αλλά έχει άμεση σχέση με το πέρασμα του εδάφους στις περιοχές πλαστικότητας ή υδαρότητας.

Στις ροές των σχετικά λεπτόκοκκων υλικών, όπως άμμου, ιλύος και αργίλου η μορφή ποικίλει και κυμαίνεται από πλευράς περιεκτικότητας νερού, από υπερκορεσμένη μέχρι ξηρά κατάσταση και από πλευράς ταχύτητας μετακίνησης από εξαιρετικά γρήγορη μέχρι εξαιρετικά αργή. Στη μία άκρη της κλίμακας βρίσκεται η ροή λάσπης που είναι το υδαρό μέλος της οικογένειας των ροών λεπτόκοκκων γαιών και στο άλλο άκρο οι ξηρές άμμοι. Ο KURDIN (1973) προτείνει την ταξινόμηση των ροών λάσπης με βάση:

- τη φύση της πηγής νερού και του στερεού υλικού
- τη φύση του μέσου μεταφοράς (ελεύθερο νερό ή ιξωδοπλαστική μάζα νερού και λεπτομερή στοιχεία)
- τη σύνθεση της λάσπης (από νερό και στοιχεία λεπτότερα από 1 mm ή

από λάσπη μαζί με χαλίκια, κροκάλες, ογκόλιθους και θραύσματα πετρωμάτων)
- τα ποσοτικοποιημένα δυναμικά χαρακτηριστικά της λάσπης (όγκος, ρυθμός παροχής, διαβρωτική και καταστροφική ισχύς)

Συνηθισμένες είναι οι ξηρές ροές άμμου, ενώ αντίθετα σπάνιες οι ροές αιολικής γης (ασβεστούχου πηλού). Οι τελευταίες κινητοποιούνται κυρίως από σεισμικές δονήσεις είναι από τις πλέον καταστροφικές. Μία τέτοια ροή στην Κίνα το 1920 (Σχήμα 3.15ζ) είχε σαν αποτέλεσμα την απώλεια 100.000 ανθρώπων (CLOSE and McCORMICK 1922). Στην περίπτωση αυτή, η σεισμική δόνηση διαταράσσει την ασθενή εσωτερική υφή του πορώδους πηλού, οπότε ο πηλός γίνεται ένα ρευστό αιώρημα ιλύος που ρέει με μεγάλη ταχύτητα και ορμή προς το χαμηλότερο ανάγλυφο. Παρόμοιο φαινόμενο που έλαβε χώρα το 1949 στο Tadzhikistan (Νότια Κεντρική Ασία) κατάστρεψε 33 χωριά, καθώς η ροή κάλυψε για πολλά χιλιόμετρα την κοιλάδα με πολλές δεκάδες μέτρα πάχους ιλύος.

3.3.6 Σύνθετες μετακινήσεις πρανών (*composite slides*)

Συνήθως οι μετακινήσεις των πρανών είναι ένας συνδυασμός των κύριων τύπων μετακινήσεων που περιγράφηκαν μέχρι τώρα, που εκδηλώνονται είτε στα διάφορα τμήματα της μετακινούμενης μάζας είτε στα διάφορα στάδια της εξέλιξης της μετακίνησης (Φωτο 3.12).

Σαν σύνθετες ολισθήσεις (*composite, complex slides*) ταξινομούνται αυτές στις οποίες διαφορετικού τύπου μετακινήσεις γίνονται σε διαφορετικές περιοχές της ολισθαίνουσας μάζας, μερικές φορές ταυτόχρονα (CRUDEN and VARNES 1996).

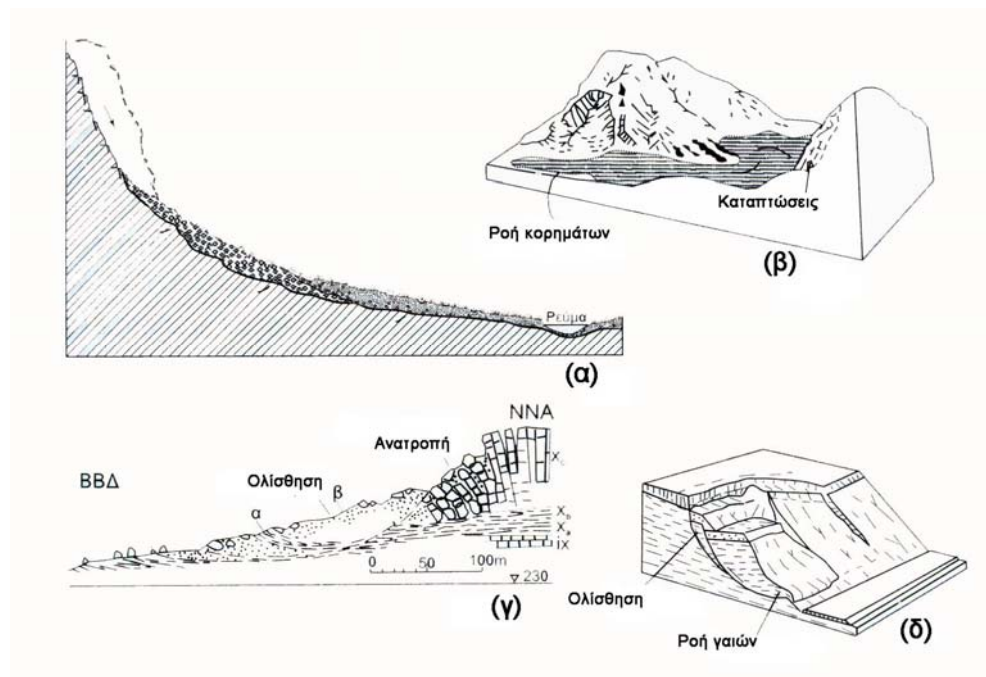


Φωτο 3.12: Σύνθετη μετακίνηση (composite slide), αποτελούμενη από πτώση από ανατροπή (rock topple) και ροή κορημάτων (debris flow). (<http://cgc.rncan.gc.ca/landslides>).

Σημειώνεται ότι ιδιαίτερα επικίνδυνες είναι οι εξαιρετικά γρήγορες πτώσεις και ολισθήσεις βράχων - ροές κορημάτων που συχνά αναφέρονται και σαν «χιονοστιβάδα από καταπτώσεις βράχων» (rockfall avalanche) (Φωτο 3.13).



Φωτο 3.13: «Χιονοστιβάδα» από καταπτώσεις βράχων (rockfall avalanche). (<http://gees.usc.edu>).



Σχήμα 3.16: Περιπτώσεις σύνθετων κατολισθήσεων: (α) Πτώσεις βράχων-ερυσμός κορημάτων, (β) Πτώσεις βράχων-ροή κορημάτων, (γ) Περιστροφική ολίσθηση-ανατροπές, (δ) περιστροφική ολίσθηση-ροή εδάφους (από Κούκη & Σαμπατακάκη, 2007).

Στο Σχήμα 3.16α φαίνεται μία χαρακτηριστική περίπτωση σύνθετων μετακινήσεων πρανούς που περιλαμβάνει καταπτώσεις βράχων - ερυσμό κορημάτων και γαιών. Οι μετακινήσεις του τύπου ολίσθησης βράχων - ροής κορημάτων είναι πολύ συνηθισμένες στις ανώμαλες ορεινές περιοχές. Ένας τέτοιος

τύπος μετακίνησης, συνέβη στο Elm της Ελβετίας (1881), με τεράστιες καταστροφικές συνέπειες. Η έναρξη του φαινομένου έγινε με μερικές ολισθήσεις βράχων στις δύο πλευρές ενός λατομείου και μερικά λεπτά αργότερα έγινε θραύση ολόκληρη της βραχομάζας πάνω από το λατομείο που εξελίχθηκε σε ροή (Σχήμα 3.16 β). Κατά τους σεισμούς του Περού (1970) σημειώθηκαν τεράστιες μετακινήσεις του τύπου πτώση βράχων - ροή κορημάτων, που κυριολεκτικά έθαψαν την πόλη Yungay και μέρος της πόλης Ranrahinca προκαλώντας το θάνατο σε 18.000 ανθρώπους. Η ταχύτητα της μετακίνησης υπολογίστηκε σε 280 - 335 km/h. Η μεγάλη αυτή ταχύτητα οφειλόταν στις χαμηλές τριβές της ροής, λόγω λίπανσης με τη δημιουργία στρώματος από εγκλωβισμένο αέρα μέσα στα κορήματα (PLAFKER et al. 1971) ή από ατμούς (PANTRE et al. 1974).

Οι μεγάλοι σεισμοί της Αλάσκας (1964) δημιούργησαν τη μετακίνηση ενός τεράστιου στρώματος από κορήματα που μετακινήθηκε πάνω σε ένα εφήμερο στρώμα πιεσμένου αέρα (SHREVE, 1968) ή με τη μορφή ροής κορημάτων (HSU, 1975). Το Σχήμα 3.16 γ δείχνει τον τύπο περιστροφικής ολίσθησης - ανατροπής και το Σχήμα 3.16δ το συνηθισμένο σύνθετο τύπο μιας περιστροφικής ολίσθησης που μετατρέπεται σε ροή γαιών στο κατώτερο τμήμα της. Συνηθισμένες είναι οι περιπτώσεις ολισθήσεων (περιστροφικών ή μεταθετικών) που μεταπίπτουν σε ροές εδαφών (Φωτο 3.14).



Φωτο 3.14: Σύνθετη μετακίνηση (composite slide), αποτελούμενη από περιστροφική ολίσθηση (rotational slide) και ροή εδαφών (earth flow). Η κατολίσθηση είναι αποτέλεσμα της ποτάμιας διάβρωσης στον πόδα του πρανούς. (<http://www.aegweb.org>).

4. ΕΝΕΡΓΟΤΗΤΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

4.1 Γενικά

Το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται στην ταξινόμηση των κατολισθητικών φαινομένων σύμφωνα με την ενεργότητά τους (activity), ο προσδιορισμός της οποίας αποτελεί έναν από τους πλέον σημαντικούς παράγοντες στην έρευνα και μελέτη των κατολισθήσεων.

Η Ομάδα Εργασίας της UNESCO (WPIWLI, 1993) πρότεινε τις παρακάτω παραμέτρους για τον προσδιορισμό της ενεργότητας των κατολισθήσεων:

- 1) Το καθεστώς ενεργότητας, που αναφέρεται στο χρονικό των μετακινήσεων.
- 2) Την κατανομή ενεργότητας, με την οποία περιγράφεται ποια τμήματα της κατολίσθησης μετακινούνται.
- 3) Τον τύπο ενεργότητας, με τον οποίο καθορίζεται ο τρόπος που εκδηλώνονται οι διαφορετικές μετακινήσεις μέσα στην ίδια τη μάζα της κατολίσθησης.

4.2 Καθεστώς ενεργότητας (state of activity)

4.2.1 Ενεργές Κατολισθήσεις (active landslides)

Ως ενεργές χαρακτηρίζονται οι κατολισθήσεις που παρουσιάζουν πρόσφατες μετακινήσεις. Οι ενεργές μετακινήσεις είναι συνήθως πρόσφατες, δηλαδή οι μορφολογικοί τους χαρακτήρες αναγνωρίζονται εύκολα και δεν έχουν αλλοιωθεί σημαντικά από τις διεργασίες της επιφανειακής αποσάθρωσης και διάβρωσης. Από τις κατολισθήσεις αυτές, άλλες εκδηλώνονται για πρώτη φορά και άλλες επανενεργοποιούνται μετά από ένα χρονικό διάστημα, κατά το οποίο είχαν σταθεροποιηθεί (επανεργοποιημένες-reactivated). Οι τελευταίες μετακινούνται συνήθως πάνω σε προϋπάρχουσες επιφάνειες ολίσθησης, των οποίων η διατμητική αντοχή πλησιάζει την παραμένουσα (SKEMPTON 1970). Οι κατολισθήσεις που μετακινήθηκαν τον τελευταίο εποχικό κύκλο και οι οποίες κατά την παρούσα περίοδο δεν μετακινούνται χαρακτηρίζονται ως παροδικά ανενεργές ή υπό αναστολή (suspended).

4.2.2 Ανενεργές Κατολισθήσεις (inactive landslides)

Ως ανενεργές αναφέρονται οι κατολισθήσεις οι οποίες παραμένουν σταθερές για περισσότερο από ένα έτος (κατά τον τελευταίο εποχικό κύκλο). Αν τα αίτια που συντελούν στην εκδήλωση της κατολίσθησης παραμένουν, τότε η κατολίσθηση

βρίσκεται σε λανθάνουσα κατάσταση (dormant state). Αν όμως τα αίτια που τις προκαλούν έχουν εκλείψει, τότε πρόκειται για μη ενεργοποιήσιμη κατολίσθηση (abandoned landslide). Τέλος, όταν για μία ανενεργή κατολίσθηση έχουν ληφθεί μέτρα προστασίας και σταθεροποίησης, η κατολίσθηση θεωρείται σταθεροποιημένη (stabilized landslide).

Πολλές από τις κατολισθήσεις αφήνουν ανεξίτηλα τα ίχνη τους στα πρανή για πάρα πολλά χρόνια χωρίς να έχουν επανενεργοποιηθεί. Τέτοιες κατολισθήσεις καλούνται παλιές (αρχαίες) ή απολιθωμένες (relict), ενώ πολλές από αυτές έχουν θαφτεί κάτω από νεώτερα ιζήματα ή αποθέσεις. Το είδος και η κατανομή της βλάστησης, καθώς και η ηλικία των δέντρων, αλλά και η δημιουργία νεότερων αποθέσεων στο πόδι τέτοιων κατολισθήσεων καθορίζουν τους παραπάνω τύπους των ανενεργών κατολισθήσεων.

Πολλές φορές η μακροσκοπική διάκριση των διαφόρων τύπων των κατολισθήσεων από άποψη ενεργότητας είναι δύσκολη και απαιτείται η εγκατάσταση τοπογραφικού δικτύου ή ενόργανων μετρήσεων (αποκλισιομέτρων, εκτασιομέτρων και οργάνων μέτρησης της υδροστατικής πίεσης του εδάφους), για τη συνεχή παρακολούθηση και καταγραφή των μετακινήσεων.

4.3 *Κατανομή ενεργότητας (distribution of activity)*

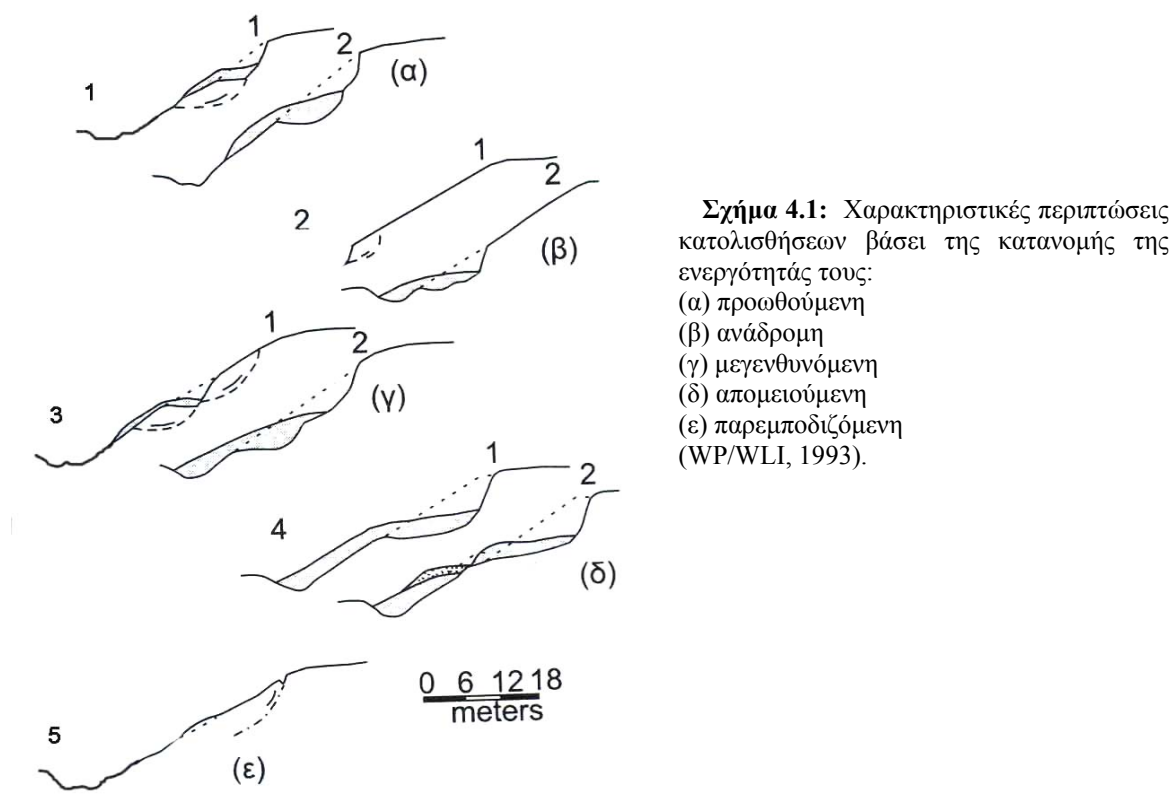
Στην περίπτωση όπου παρατηρείται περαιτέρω επέκταση μιας κατολίσθησης προς τα κατάντη (προς την κατεύθυνση της γενικότερης μετακίνησης), τότε θεωρείται ότι η κατολίσθηση είναι προωθούμενη (advancing) (Σχήμα 4.1α), ενώ όταν οι θραύσεις και η ολίσθηση επεκτείνονται προς τα ανάντη (αντίθετα της κατεύθυνσης της γενικότερης μετακίνησης), τότε πρόκειται για ανάδρομη (retrogressive) (Σχήμα 4.1β). Αν η επέκταση γίνεται σε μία ή και στις δύο πλευρές της κατολίσθησης, τότε πρόκειται για διευρυνόμενη (widening) κατολίσθηση.

Γενικότερα, αν η κατολίσθηση παίρνει συνεχώς μεγαλύτερες διαστάσεις (πλάτος, μήκος ή και βάθος) καλείται προοδευτική (progressive). Η χρήση του συγκεκριμένου όμως όρου δε συνιστάται, διότι συγχέεται με την περίπτωση της προοδευτικής θραύσης (progressive failure), που έχει σχέση με την ψαθυρή συμπεριφορά κάποιων σκληρών εδαφών (π.χ. μάργες), που οδηγεί στην προοδευτική μείωση της αντοχής τους με την πάροδο του χρόνου, έτσι ώστε η μέση διατμητική αντοχή που ενεργοποιείται κατά τη θραύση, να είναι σημαντικά μικρότερη της αναμενόμενης ή/και προσδιορισθείσας εργαστηριακά. Ο όρος μεγεθυνόμενη

(enlarging) κατολίσθηση (Σχήμα 4.1γ) αντιπροσωπεύει καλύτερα την πραγματικότητα. Αντίθετα, όταν ο όγκος των μετακινούμενων μαζών συνεχώς μειώνεται με το χρόνο, καλείται απομειούμενη(diminishing) (Σχήμα 4.1δ).

Ο HUTCHINSON (1988, 1989) πρότεινε τον όρο παρεμποδιζόμενη (confined) μετακίνηση για την περίπτωση εκείνη που έχουμε την εμφάνιση μόνο τοξοειδών θραύσεων στην κεφαλή μιας ολίσθησης, χωρίς να είναι ορατή η επιφάνεια της ολίσθησης και η συνήθης ανύψωση στον πόδα (Σχήμα 4.1ε).

Στις περιπτώσεις των περισσότερων περιστροφικών κατολισθήσεων και ανατροπών ο ρυθμός εξέλιξης είναι συνεχώς απομειούμενος μετά την κύρια εκδήλωσή τους, εκτός και αν το κύριο αίτιο είναι η συνεχής διάβρωση και υποσκαφή του πόδα, οπότε η κυκλική επανενεργοποίηση είναι βέβαιη, αν δε ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα προστασίας και σταθεροποίησης.



4.4 Τύπος ενεργότητας (distribution of activity)

Ο τύπος της ενεργότητας των κατολισθήσεων καθορίζεται από τον τρόπο που κατανέμονται οι πιθανές διαφορετικές μετακινήσεις μέσα στην ίδια τη μάζα τους.

Ο VARNES (1978) καθόρισε ως σύνθετες (complex ή composite) κατολισθήσεις, αυτές που εκδηλώνονται με τουλάχιστον δύο διαφορετικούς τύπους

μετακίνησης (π.χ. ολίσθηση και ανατροπή). Στην αγγλική ορολογία ο όρος “complex” χρησιμοποιείται στην περίπτωση εκδήλωσης των διαφόρων τύπων μετακίνησης της κατολίσθησης σε διαφορετικές περιόδους, ενώ ο όρος “composite” για την περίπτωση σύγχρονης εκδήλωσης διαφόρων τύπων μετακίνησης σε διαφορετικά τμήματα της κατολίσθησης. Γενικά όμως ο όρος «σύνθετη» (composite or complex) περιγράφει κατολίσθηση στην οποία γίνονται διαφορετικού τύπου μετακινήσεις σε διαφορετικές περιοχές της κατολισθαίνουσας μάζας, μερικές φορές ταυτόχρονα (CRUDEN and VARNES 1996).

Μία κατολίσθηση που εμφανίζει επαναλαμβανόμενες κινήσεις του ίδιου τύπου με επέκταση της επιφάνειας θραύσης καλείται πολλαπλή (multiple). Στην περίπτωση αυτή η νέα μετακινούμενη μάζα είναι σε επαφή με την προηγούμενη και πολλές φορές έχουν κοινό τμήμα των επιφανειών θραύσης.

Οι διαδοχικές (successive) κατολισθήσεις είναι παρόμοιες με τις πολλαπλές, αλλά στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει επικάλυψη του υλικού της μίας κατολίσθησης με το αντίστοιχο της άλλης και η κάθε μία αποτελεί ξεχωριστή περίπτωση.

Τέλος, μία απλή (single) κατολίσθηση, σε αντίθεση με τη σύνθετη εκδηλώνεται πάντα με έναν τύπο μετακίνησης, χωρίς η μάζα που ολισθαίνει να διαχωρίζεται σε διάφορα μέρη κινούμενα μερικώς ανεξάρτητα μεταξύ τους.

5. ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

5.1 Γενικά

Το παρόν κεφάλαιο αναφέρεται στην ταξινόμηση των κατολισθητικών φαινομένων σύμφωνα με την ταχύτητά τους (velocity), ο προσδιορισμός της οποίας αποτελεί ιδιαίτερα σημαντικό παράγοντα στην έρευνα και μελέτη των κατολισθήσεων, όσων αφορά την εκτίμηση της επικινδυνότητας προς κατολίσθηση (landslide hazard) και του κινδύνου κατολίσθησης (landslide risk).

5.2 Κατηγοριοποίηση ως προς την ταχύτητα

Η ταχύτητα μετακίνησης μιας κατολίσθησης είναι παράμετρος που σχετίζεται άμεσα με τις επιπτώσεις που έχει σε ανθρώπινες ζωές, βλάβες κτιρίων και έργων υποδομής καθώς και σε απώλεια γης. Η πιο πρόσφατη ταξινόμηση των κατολισθήσεων με βάση την ταχύτητα εκδήλωσής τους δίνεται στον Πίνακα 5.1 (WP/WLI 1995). Σημειώνεται ότι συχνά είναι δύσκολος ο προσδιορισμός της ταχύτητας μετακίνησης μιας κατολίσθησης, λόγω της διαφορετικής ταχύτητας που αναπτύσσει στα διάφορα στάδια εξέλιξής της ή ακόμα και στα διάφορα τμήματά της ή της διαφορετικής ταχύτητας των διαφόρων τύπων μετακίνησης που συνήθως αυτή περιλαμβάνει (στην περίπτωση σύνθετων ολισθήσεων).

Πίνακας 5.1: Κλίμακα ταχύτητας μετακίνησης κατολισθήσεων (WP/WLI, 1995).

Κατηγορία	Περιγραφή	Ταχύτητα (mm/sec)	Τυπική ταχύτητα
7	Εξαιρετικά γρήγορη	$> 5 \times 10^3$	$> 5 \text{ m/sec}$
6	Πολύ γρήγορη	$> 5 \times 10^1$	$> 3 \text{ m/min}$
5	Γρήγορη	$> 5 \times 10^{-1}$	$> 1,8 \text{ m/hr}$
4	Μέτρια	$> 5 \times 10^{-3}$	$> 13 \text{ m/μήνα}$
3	Αργή	$> 5 \times 10^{-5}$	$> 1,6 \text{ m/έτος}$
2	Πολύ αργή	$> 5 \times 10^{-7}$	$> 16 \text{ mm/έτος}$
1	Εξαιρετικά αργή	$< 5 \times 10^{-3}$	$< 16 \text{ mm/έτος}$

Οι επιπτώσεις που έχει μία κατολίσθηση αυξάνουν σημαντικά με την αύξηση της ταχύτητας μετακίνησης, αφού γενικά οι πολύ γρήγορες κατολισθήσεις προκαλούν μεγαλύτερες απώλειες σε ζωές και περιουσίες σε σχέση με τις αργές. Ακόμα και μικρού μεγέθους «χιονοστιβάδες» κορημάτων (debris avalanche) μπορεί να προκαλέσουν μεγάλες καταστροφές και απώλειες ανθρώπινων ζωών, ενώ αντίθετα ακόμα και πολύ εκτεταμένες κατολισθήσεις, οι οποίες όμως μετακινούνται πολύ αργά, δεν προκαλούν ανθρώπινα θύματα, ενώ οι ζημιές είναι δυνατό να ελεγχθούν με

τη λήψη κατάλληλων μέτρων προστασίας. Σαν παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί η περιοχή Lugnez της Ελβετίας (HUDER, 1976) όπου παρατηρείται μετακίνηση ομαλού πρανούς (με κλίση περίπου 150) και σε έκταση 25 km². Επειδή η ταχύτητα μετακίνησης είναι πολύ αργή (0.37 m/έτος) και η κατολίσθηση κινείται σαν ένα ενιαίο τέμαχος, τα σπίτια και οι εκκλησίες με τα ψηλά καμπαναριά των έξι χωριών που βρίσκονται μέσα στην κατολίσθηση δεν παρουσιάζουν καμιά βλάβη τα τελευταία 100 χρόνια.

Στον Πίνακα 5.2 δίνονται οι πιθανές βλάβες που μπορούν να προκληθούν από κατολισθήσεις που ανήκουν στις επτά διαφορετικές κατηγορίες, με βάση την ταχύτητα μετακίνησής τους.

Πίνακας 5.2: Πιθανές βλάβες ανάλογα με την ταχύτητα μετακίνησης (WP/WLI, 1995).

Κατηγορία Ταχύτητας Μετακίνησης	Πιθανές Βλάβες
7	Καταστροφές κτιρίων λόγω έντονων μετακινήσεων ή πρόσκρουσης της μετακινούμενης μάζας, πολλοί θάνατοι, απίθανη ύπαρξη επιζώντων
6	Μερικοί θάνατοι, περιορισμένος χώρος για ασφαλή φυγή των κατοίκων
5	Δυνατή η ασφαλής φυγή των κατοίκων. Σπίτια, εγκαταστάσεις και δίκτυα υποδομής με μεγάλες βλάβες ή τελείως κατεστραμμένα.
4	Μερικές από τις προσωρινές εγκαταστάσεις είναι δυνατό να διατηρηθούν
3	Δυνατή η λήψη μέτρων προστασίας κατά την ενεργοποίηση. Μερικές καλά σχεδιασμένες εγκαταστάσεις μπορεί να διατηρηθούν με κατάλληλη συντήρηση, αν δεν υπάρξει ξαφνική επιτάχυνση της κίνησης
2	Μερικές από τις μόνιμες εγκαταστάσεις παραμένουν ανέπαφες
1	Η μετακίνηση προσδιορίζεται μόνο με ενόργανες μετρήσεις, λόγω του μικρού μεγέθους της. Οι κατασκευές δεν υφίστανται βλάβες, όταν λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα.

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία της ταξινόμησης του Πίνακα 5.1 είναι το όριο μεταξύ πολύ γρήγορης (κατηγορία 6) και εξαιρετικά γρήγορης (κατηγορία 7) μετακίνησης, που πλησιάζει την ταχύτητα ενός δρομέα (5 m/sec), σε ότι αφορά την απώλεια ανθρώπινων ζωών και τη δυνατότητα διαφυγής τους από την επικίνδυνη περιοχή. Επίσης πολύ σημαντικό είναι το όριο ταχύτητας μεταξύ της αργής (κατηγορία 3) και της πολύ αργής (κατηγορία 2) μετακίνησης (1.6 m/έτος), κάτω από το οποίο μερικές από τις κατασκευές που βρίσκονται μέσα στην κατολίσθηση

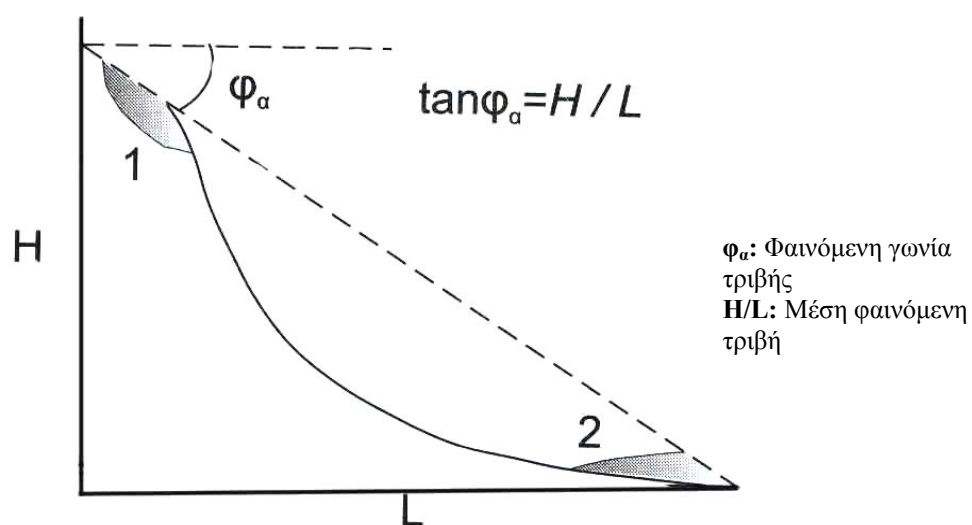
παραμένουν ανέπαφες.

Σχετικά με τον ερπυσμό που ο TERZAGHI (1950) είχε καθορίσει σαν αργή κίνηση των πρανών που δεν είναι προσδιορίσιμη μακροσκοπικά και η ταχύτητα μετακίνησης είναι της τάξης των 10-6 mm/sec, είναι προφανές ότι εμπίπτει στην κατηγορία 1 ή 2 του Πίνακα 2.3. Σύμφωνα με την πρόσφατη διεθνή πρακτική, ο όρος «ερπυσμός» θα πρέπει να αντικατασταθεί με τους όρους πολύ αργή ή εξαιρετικά αργή κατολίσθηση.

Ο SASSA (2004) συνδέει τις προκαλούμενες καταστροφές (κυρίως ανθρώπινες απώλειες) από κατολισθήσεις, με την ταχύτητα και την απόσταση μετακίνησης των εδαφικών μαζών. Με τον τρόπο αυτόν ταξινομήσε τις κατολισθήσεις στις παρακάτω βασικές κατηγορίες:

1. Γρήγορες, μεγάλης απόστασης μετακινήσεις
2. Γρήγορες, μικρής απόστασης μετακινήσεις
3. Αργές, μεγάλης απόστασης μετακινήσεις
4. Αργές, μικρής απόστασης μετακινήσεις

Από τις παραπάνω κατηγορίες οι πλέον επικίνδυνες ανήκουν στην πρώτη κατηγορία και έχουν σαν κύριο έναυσμα μετακίνησης τις έντονες βροχοπτώσεις και τους σεισμούς. Η ταξινόμηση μπορεί να γίνει σύμφωνα με το Σχήμα 5.1, όπου υπολογίζεται ο λόγος H/I (μέση φαινόμενη τριβή) όπου H : η υψομετρική διαφορά της μετακινούμενης μάζας (m) και I : η απόσταση μετακίνησης (m). Αν $H/I < 0.50$ τότε η κατολίσθηση εμπίπτει στην πρώτη κατηγορία.



Σχήμα 5.1: Εκτίμηση του λόγου H/I (μέση φαινόμενη τριβή) για μια κατολισθητική κίνηση. Μετακινούμενη μάζα: (1) αρχική θέση, (2) τελική θέση (SASSA 2004).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Βογιατζής, Ν. Δ. (2004).** *ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΙΣ ΒΡΑΧΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΚΙΝΗΣΗΣ-ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ-ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ Η περίπτωση του Δρυμόνα στο νησί της Λευκάδας.* Διατρ., Ειδίκευσης, Τμήματος Γεωλογίας, Ειδίκευση: Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία. Α.Π.Θ.
- Δερμιτζάκης, Δ. Μ., Θεοδώρου, Ε. Γ. (1994).** *ΓΛΩΣΣΑΡΙΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΟΡΩΝ.* ΑΘΗΝΑ.
- ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ, Μ.Α. (1998).** *ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΓΕΝΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ Β. ΕΛΛΑΔΑ.* Διατριβή Ειδίκευσης, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Τμήματος Γεωλογίας, Ειδίκευση: Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία. Α.Π.Θ. Θεσ/νίκη.
- ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ. & ΚΟΥΚΗΣ, Γ. (1985).** *ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ.* ΕΚΤΥΠΩΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΠΑΤΡΩΝ, 558 σελ. Πάτρα.
- ΚΟΥΚΗΣ, Χ.Γ. & ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ, Σ.Ν. (2007).** *ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ.* ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΠΑΠΑΣΩΤΗΡΙΟΥ, 575 σελ. ΑΘΗΝΑ.
- Μαραγκός, Ν.Χ. (1997).** *ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ - κατασκευές στην επιφάνεια του βράχου, υπόγειες κατασκευές, φράγματα.* Έκδοση Υπηρεσίας δημοσιευμάτων Α.Π.Θ., Θεσ/νίκη.
- Στουρνάρας, Γ. (1989).** *ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ.* ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ, ΤΟΜΕΑΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ-ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ-ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ. ΑΘΗΝΑ.
- CORNFORTH, H.D. (2004).** *LANDSLIDES in PRACTICE: Investigation, Analysis and Remediation/Preventative Options in Soils.* John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, pp.596.
- Dai, C.F., Lee, F.C. & Wang, J.S. (1999).** *Analysis of rainstorm-induced slide-debris flows on natural terrain of Lantau Island, Hong Kong.* Engineering Geology, vol. 51, pp. 279-290.
- Dai, C.F., Lee, F.C. & Xu, W.Z. (2001).** *Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong.* Environmental Geology, vol. 40, Issue 3, pp. 381-391.
- Donati, L. & Turrini, C.M. (2002).** *An objective method to rank the importance of the factors predisposing to landslides with the GIS methodology: application to an area of the Apennines (Valnerina; Perugia, Italy).* Engineering Geology, vol. 63, pp. 277-289.

- Fell, R. (1994).** *Landslide risk assessment and acceptable risk.* Canadian Geotechnical Journal, vol. 31, pp. 261-272.
- Ferentinos, G., Papatheodorou, G., Collins, M. (1988).** *Sediment transport process on an active submarine fault escarpement: gulf of Corinth, Greece.* Marine Geology, vol. 83 pp. 43-61.
- Hoek, E. (2000).** *ROCK ENGINEERING.* Edition A.A. BALKEMA, ROTTERDAM, BROOKFIELD.
- Hovius N., & Stark, C.P. (2002).** *Landslide-driven Erosion and Topographic Evolution of Active Mountain Belts.* Landslides from Massive Rock Slope Failure. Springer Special Edition, 3 pp. 573-590
- IAEG (1990).** *SUGGESTED NOMENCLATURE FOR LANDSLIDES-PROPOSITION DE DÉFINITIONS POUR LA DESCRIPTION DES GLISSEMENTS DE TERRAIN.* BULLETIN of the International Association of ENGINEERING GEOLOGY. No 41, pp.13-16.
- INTERNATIONAL UNION OF GEOLOGICAL SCIENCES WORKING GROUP ON LANDSLIDES (1995).** *A SUGGESTED METHOD FOR DESCRIBING THE RATE OF MOVEMENT OF A LANDSLIDE.* BULLETIN of the International Association of ENGINEERING GEOLOGY. No 52, pp.75-78.
- KOUKIS, G., TSIAMBAOS, G. SABATAKAKIS, N. (1994).** *Slope Movements in the Greek Territory: A Statistical Approach.* Proceedings of the 7th International Congress I.A.E.G., 4621-4628, Lisboa-Portugal, Balkema.
- KOUKIS, G., ZIOURKAS, C. (1991).** *Slope Stability phenomenon in Greece: A Statistical Analysis.* Bulletin of the International Association of Engineering Geology. No43, pp.48-59.
- LEE, M.E. & JONES, D.K.C. (2004).** *LANDSLIDE RISK ASSESSMENT.* Thomas Telford Publishing. London, pp. 454.
- Pachauri, K.A. & Pant, M. (1992).** *Landslide hazard mapping based on geological attributes.* Engineering Geology, vol. 32, pp. 81-100.
- Sassa, K. (2004).** *Preface.* Landslides 1, vol. 3 pp. 169-171.
- THE INTERNATIONAL GEOTECHNICAL SOCIETIES UNESCO WORKING PARTY ON WORLD INVENTORY (1990).** *A SUGGESTED METHOD FOR REPORTING A LANDSLIDE.* BULLETIN of the International Association of ENGINEERING GEOLOGY. No 41, pp.5-12.
- UNESCO WORKING PARTY ON WORLD INVENTORY (1993).** *A SUGGESTED METHOD FOR DESCRIBING THE ACTIVITY OF A LANDSLIDE.* BULLETIN of the International Association of ENGINEERING GEOLOGY. No 47, pp.53-57.

Van Westen, C.J., Van Asch, T.W.J. & Soeters, R. (2006). *Landslide hazard and risk zonation-why is it so difficult?* Bulletin of Engineering Geology and the Environment, vol. 65, pp. 167-184.

<http://www.sciencedirect.com>

<http://www.springerlink.com>

<http://landsides.usgs.gov>

<http://geology.about.com/od/naturalhazardsclimate/ig/Landslides>