



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ Σ. ΣΠΑΝΟΣ

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ
ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2017



ΓΕΩΡΓΙΟΣ Σ. ΣΠΑΝΟΣ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ
ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Επίκουρος Καθηγητής Μαρίνος Βασίλειος



© Γεώργιος Σ. Σπανός, Τομέας Γεωλογίας, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

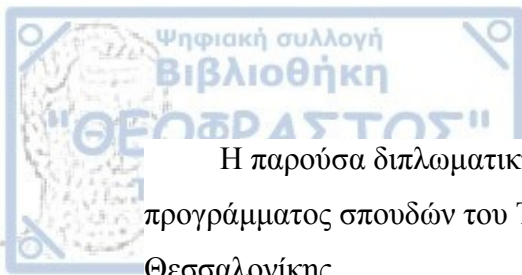
Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩ



ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ.....	7
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ Η ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ.....	9
1.3 ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ.....	10
1.4 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ.....	12
1.5 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ.....	14
1.6 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ.....	29
1.7 ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ.....	33
1.7.1 Ο μηχανισμός επαφής.....	34
1.7.2 Φυσικές ιδιότητες.....	34
1.7.3 Σφοδρότητα.....	36
1.8 ΤΡΩΤΟΤΗΤΑ.....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ.....	41
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	41
2.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ.....	41
2.3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ.....	42
2.4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	47
2.4.1 Αιτιοκρατικό μοντέλο.....	47
2.4.2 Μια προσέγγιση με χρήση πολλαπλών μεθόδων.....	50
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	53
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	54

ΠΡΟΛΟΓΟΣ



Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

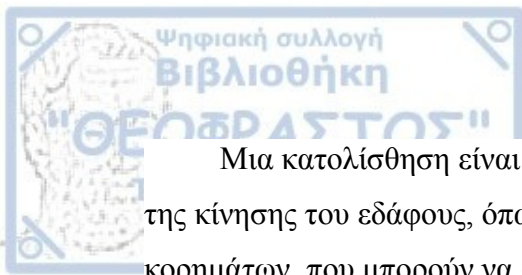
Μέσω αυτής της εργασίας καταβάλλεται μια προσπάθεια που στόχο έχει να αναλύσει την έννοια των κατολισθητικών φαινομένων αλλά και του εξειδικευμένου όρου, της επικινδυνότητας καθώς και να παρουσιάσει τεχνικές εκτιμήσεις της επικινδυνότητας του φαινομένου αυτού. Για να γίνει αυτό κρίνεται απαραίτητη η αναφορά κάποιων περιγραφικών όρων γύρω από τις κατολισθήσεις, όπως χρησιμοποιούνται από τους επιστήμονες που τις μελετάνε, καθώς και των επιπτώσεων τους τόσο στην κοινωνία όσο και στο περιβάλλον.

Η εργασία αποτελείται από δύο κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο δίνεται ο ορισμός των κατολισθήσεων όπως και του περιθωρίου ευστάθειας, γίνεται μια αναφορά στην ονοματολογία, αναλύονται οι διάφοροι τύποι κατολισθητικών φαινομένων και σχολιάζονται οι παράγοντες που τις επηρεάζουν καθώς και οι συνέπειες αυτών των φαινομένων. Το δεύτερο κεφάλαιο καταπιάνεται με την έννοια της επικινδυνότητας. Σε αυτό σχολιάζονται διάφορες τεχνικές εκτίμησής της, αναλύεται η μεθοδολογία υπολογισμού του Συντελεστή Ασφάλειας και γίνεται μια αναφορά σε μια προσέγγιση συνδυασμού πολλαπλών τεχνικών. Η εργασία ολοκληρώνεται με το κεφάλαιο των συμπερασμάτων.

Το θέμα της εργασίας μου ανατέθηκε από τον επίκουρο καθηγητή κ. Μαρίνο Βασίλειο, τον οποίο ευχαριστώ θερμά για την εμπιστοσύνη του αλλά και την μεθοδευμένη βοήθεια και καθοδήγησή του στην ανεύρεση αλλά και καλύτερη αξιοποίηση των πηγών για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι κατολισθήσεις συμβαίνουν σε διάφορες χωρικές και χρονικές κλίμακες και διαφέρουν σημαντικά όσον αφορά τη συμβολή τους στη μορφή του κεκλιμένου επιπέδου που σχηματίζουν σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήσεις.



Μια κατολίσθηση είναι ένα γεωλογικό φαινόμενο που περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα της κίνησης του εδάφους, όπως πτώσεις βράχων, βαθιά αστοχία των πρανών και ροές κορημάτων, που μπορούν να συμβούν σε υπεράκτια, παράκτια και χερσαία περιβάλλοντα. Παρά το γεγονός ότι η δράση της βαρύτητας είναι η κύρια κινητήρια δύναμη για να συμβεί μια κατολίσθηση, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που συμβάλλουν και επηρεάζουν την αρχική ευστάθεια των πρανών. Συνήθως, κάποιοι προδιαθετικοί παράγοντες δημιουργούν ειδικές συνθήκες κάτω από την επιφάνεια του εδάφους που κάνουν την περιοχή / πλαγιά επιρρεπή σε αποτυχία, ενώ η πραγματική κατολίσθηση συχνά απαιτεί κάτι που θα την θέσει σε κίνηση για να πραγματοποιηθεί.

Ανεξάρτητα από το μηχανισμό ενεργοποίησης, στις περισσότερες πλαγιές, οι κατολισθήσεις θα συμβούν στα χαμηλότερα σημεία που υπάρχει εγγενής επιδεκτικότητα. Εντούτοις, οι περιοχές αστοχίας για τα κλιματολογικά προκαλούμενα γεγονότα θα εμφανιστούν εκεί όπου συγκεντρώνονται τα επιφανειακά και τα υπόγεια νερά ή εκεί όπου υπάρχει ικανοποιητικό πάχος ευαίσθητου υλικού.

Η χρονική και χωρική συμπεριφορά των κατολισθήσεων υπαγορεύουν τη μέθοδο της ανάλυσης της επικινδυνότητας, καθώς και της αντιμετώπισης του προβλήματος. Είναι αδιαμφισβήτητο γεγονός ότι οι κατολισθήσεις είναι φαινόμενα τα οποία μπορούν να έχουν δυσμενείς συνέπειες, τόσο για το περιβάλλον, όσο και για τους ανθρώπους, συνεπώς η μελέτη του μηχανισμού τους, αποτελεί επιτακτική ανάγκη προκειμένου να προβλεφθούν και να αντιμετωπιστούν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα από τα προβλήματα με το οποίο καλείται συχνά να έρθει αντιμέτωπη η επιστημονική κοινότητα, τόσο των τεχνικών γεωλόγων όσο και των πολιτικών μηχανικών,

είναι αυτό της ευστάθειας των πρανών, είτε φυσικών είτε ορυγμάτων. Αυτό συμβαίνει διότι οι συνέπειες της διατάραξης της σταθερότητας ενός πρανούς και των ποικίλων φαινομένων ολίσθησης που ακολουθούν, είναι συχνά αισθητές και στην ανθρώπινη κοινωνία.



Εικόνα 1.1: Βόρεια Ταϊβάν, 25 Απριλίου 2010

Τόσο οι κατολισθήσεις και γενικά όλες οι μετακινήσεις του εδάφους, όσο και σεισμοί, πλημμύρες, ηφαίστεια, ανήκουν στα ανεξέλεγκτα φυσικά φαινόμενα που μπορούν να απειλήσουν την ζωή και την περιουσία του ανθρώπου. Η συχνότητα και η ένταση των κατολισθήσεων μεταβάλλεται ανά τις περιοχές της Γης τόσο πολύ που ενώ σε κάποιες περιοχές σχεδόν δεν παρατηρούνται καν, σε άλλες είναι βασικός παράγοντας της διαμόρφωσης του ανάγλυφου. Οι κατολισθήσεις έχουν την δυνατότητα να αναπτύξουν δυνάμεις οι οποίες θα είναι καταστροφικές αν δράσουν πάνω σε καλλιέργειες, δάση, κατοικημένες περιοχές, οδικά δίκτυα και κατασκευές πάσης φύσης. Συνεπώς οι οικονομικές επιπτώσεις μιας απρόβλεπτης και ανεξέλεγκτης κατολίσθησης θα ήταν δραματικές.

Σύμφωνα με τους John J. Clague και Nicholas J. Roberts από δεδομένα του Κέντρου Έρευνας της Επιδημιολογίας των Καταστροφών (Centre of Research on the Epidemiology of Disasters), "κάθε χρόνο, κατολισθήσεις είναι υπεύθυνες για καταστροφές πολλών εκατομμυρίων ευρώ ,κατά μέσο όρο, ενώ την τελευταία δεκαετία έχουν αφήσει περίπου 2.5 εκατομμύρια ανθρώπους άστεγους και κόστισαν την ζωή σε πάνω από 10.000 ανθρώπους ανά τον κόσμο". Είναι αδιαμφισβήτητο γεγονός ότι οι κατολισθήσεις έχουν μια τάση να λαμβάνουν χώρα σε ορεινές περιοχές. Θα ήταν λάθος όμως να θεωρηθεί ότι περιορίζονται σε αυτές. Οι κατολισθήσεις δεν έχουν -αυστηρά- τοπικούς περιορισμούς, γι' αυτό μπορούν να συμβούν οπουδήποτε πληρούνται οι προϋποθέσεις αστάθειας μιας -φυσικής ή τεχνητής- πλαγιάς, όπου δηλαδή υπάρχει έδαφος επιδεκτικό σε κατολισθήσεις. Στοχεύοντας στην καλύτερη κατανόηση των μηχανισμών που προκαλούν τις κατολισθήσεις, καθώς και των μηχανικών τους ιδιοτήτων, έχει επιτευχθεί σημαντική πρόοδος στους τομείς της έρευνας των φυσικών και μηχανικών επιστημών, καθώς και στην τεχνολογία και την αξιοποίηση την υπολογιστικής δύναμης. Παρόλα αυτά όμως, υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη για την επίλυση του πολύπλοκου προβλήματος της εκτίμησης της επικινδυνότητας εκδήλωσης κατολισθήσεων. Οι John J. Clague και Nicholas J. Roberts μάλιστα, βασισμένοι στην ανάγκη που παρατηρείται για όλο και περισσότερα και μεγαλύτερα τεχνικά έργα και κατασκευές λόγω της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού, εκτιμούν ότι ο κίνδυνος εκδήλωσης κατολισθήσεων θα αυξηθεί στις επόμενες δεκαετίες.

1.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ Η ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

Για το φαινόμενο των κατολισθήσεων έχουν προταθεί πολλοί ορισμοί από το 1950 μέχρι σήμερα με γνωστότερους αυτών των Terzaghi, Zarumba και Mencl, Varnes και του Cruden. Σύμφωνα με αυτούς, ως **κατολισθήσεις**, με την αυστηρή έννοια του όρου, χαρακτηρίζονται οι απότομες κινήσεις βράχων που έχουν αποκολληθεί από το υποκείμενο σταθερό μέρος της πλαγιάς και κινούνται πάνω σε ορισμένο επίπεδο αποκόλλησης. Είναι η κάθε αλλαγή της επιφάνειας μιας πλαγιάς, συνοδευόμενη από μετακίνηση υλικού από την υψηλότερη θέση μιας κλιτύς, προς την χαμηλότερη, που δραστηριοποιείται λόγω δυνάμενων βαρύτητας και οφείλεται σε φυσικά ή τεχνητά αίτια. Κατολισθήσεις που συμβαίνουν σε πλαγιές με πολύ διαφορετική γεωλογική δομή σύσταση, μπορεί να είναι από πολύ αργές (1.5 μέτρο τον χρόνο) ως πολύ γρήγορες και ξαφνικές (3 μέτρα το δευτερόλεπτο). Η συνολική έκταση που

καταλαμβάνουν εκτείνεται από μικρή, κάποια εκατοστά, ως αρκετά χιλιόμετρα και αναπτύσσονται κάτω από διάφορους μηχανισμούς και αιτίες. Συνοψίζοντας, εκφράζουν το αποτέλεσμα της αναζήτησης μιας νέας κατάστασης ισορροπίας του εδάφους.

Λόγω της καταστροφικής δυνατότητας των κατολισθήσεων, επιστήμονες και μηχανικοί προσπαθούν εδώ και πολλά χρόνια να αντιληφθούν τις συνθήκες κάτω από τις οποίες σε μια πλαγιά εμφανίζονται κατολισθήσεις και πιο συγκεκριμένα πόσο εύκολα μπορεί μια πλαγιά να αστοχήσει, κάτι το οποίο ονομάζεται *"ευστάθεια"* μιας πλαγιάς. Συνεπώς, ο όρος *"ευστάθεια πρανούς"*, όπως και η φυσική του συνέπεια, *"αστάθεια πρανούς"*, εκφράζουν την τάση της πλαγιάς να υποστεί καταστροφικά - μορφολογικά και δομικά - κατολισθητικά φαινόμενα.

Τα κατολισθητικά φαινόμενα συνήθως μελετώνται από δύο διαφορετικές πλευρές. Όταν θεωρούνται φυσική διαδικασία που συνεπιδρά στην σμίλευση της επιφάνειας της γης, υπόκεινται στον κλάδο των γεωλογικών επιστημών. Η προσέγγιση των μηχανικών και των τεχνικών γεωλόγων όμως, όπως θα αναλυθεί στην συγκεκριμένη εργασία είναι διαφορετική. Κύριο ενδιαφέρον αποτελεί, η έρευνα της ευστάθειας των πρανών και της ασφάλειας των δομών που θα κατασκευαστούν πάνω σε αυτά. Για αυτό τον λόγο προσπαθούν να αναγνωρίσουν εκείνες τις πλαγιές οι οποίες είναι επιδεκτικές σε ολίσθηση όταν διαταραχθούν οι οριακές συνθήκες λόγω της ανθρώπινης παρεμβολής, αλλά και να καθορίσουν την μέγιστη επιτρεπόμενη κλίση κατά την εκσκαφή των πρανών. Ακόμα είναι δουλειά τους να προτείνουν και να αναπτύξουν κατάλληλα μέτρα τόσο για την πρόληψη περεταίρω κίνησης της πλαγιάς όσο και για τον έλεγχο των κατολισθητικών επεισοδίων.

Για την μελέτη των κατολισθήσεων, τα καλύτερα αποτελέσματα μπορούν να αποκτηθούν μόνο με συνδυασμό των παραπάνω προσεγγίσεων. Ο ποσοτικός καθορισμός της σταθερότητας των πρανών με τις μεθόδους της εδαφικής μηχανικής πρέπει να βασίζεται στην γνώση (α) της γεωλογικής δομής της περιοχής, (β) της λεπτομερούς διαδοχής και προσανατολισμού των στρωμάτων, και (γ) της γεωμορφολογικής ιστορίας της επιφάνειας του εδάφους. Από την άλλη πλευρά, οι γεωλόγοι θα έπαιρναν μια πιο καθαρή εικόνα για την γένεση και την φύση των ολισθητικών διαδικασιών, διασταυρώνοντας τις θεωρητικές τους γνώσεις με τα αποτελέσματα τόσο των στατικών αναλύσεων όσο και της εδαφομηχανικής και βραχομηχανικής έρευνας.

1.3 ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ

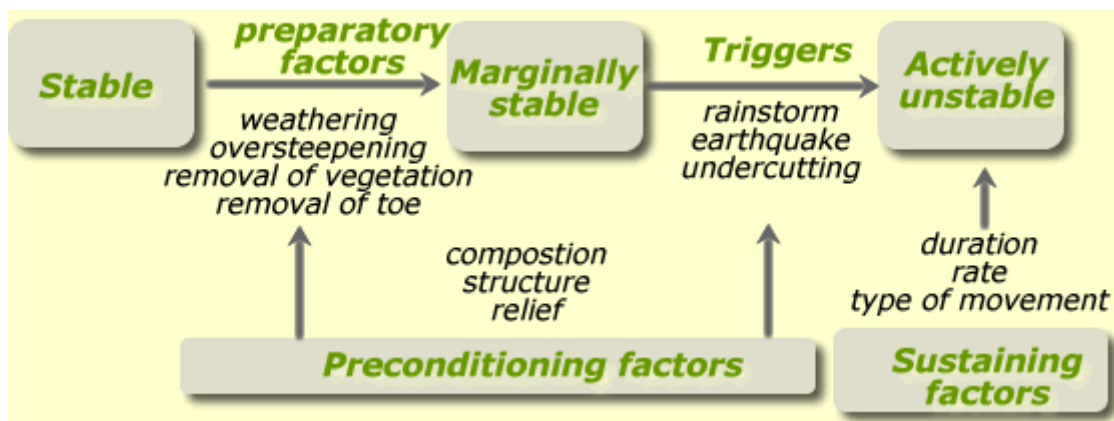
Σε κάθε πλαγιά δρουν τάσεις οι οποίες τείνουν να προωθήσουν κινήσεις υλικού προς τα κατάντη (δυνάμεις διάτμησης) αλλά και τάσεις που αντιτίθενται στην κίνηση (διατμητική αντοχή). Για την εκτίμηση του βαθμού της ευστάθειας, αυτές οι τάσεις μπορούν να υπολογισθούν για μια γνωστή ή θεωρητική επιφάνεια αστοχίας σε μια πλαγιά και να συγκριθούν μεταξύ τους για να υπολογιστεί ο συντελεστής ασφαλείας (factor of safety), ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της διατμητικής αντοχής προς τις δυνάμεις διάτμησης. Σε μια σταθερή πλαγιά, οι δυνάμεις αντίστασης στη διάτμηση ξεπερνούν τις δυνάμεις διάτμησης και έτσι ο συντελεστής ασφαλείας είναι μεγαλύτερος από 1.0 ενώ σε πλαγιές οι οποίες βρίσκονται στο όριο να παρουσιάσουν κίνηση, η διατμητική αντοχή βρίσκεται σε ισορροπία με τις διατμητικές τάσεις και ο συντελεστής ασφαλείας θεωρείται ίσος με 1.0 (Selby, 1993).

Η αστάθεια πρανούς με την ευρύτερη της έννοια όμως, δεν καθορίζεται μόνο από το εύρος της διαφοράς μεταξύ των παραπάνω τάσεων σε μια συγκεκριμένη πλαγιά, αλλά και από το μέγεθος και την συχνότητα των (εξωγενών) αποσταθεροποιητικών δυνάμεων που δρουν στην πλαγιά και είναι ικανές να μειώσουν αυτό το εύρος και εκκινήσουν κατολισθήσεις. Ορισμένη καταυτόν τον τρόπο, η έννοια της ευστάθειας/αστάθειας πρανούς είναι συναφής με την έννοια της "επιδεκτικότητας".

Εάν ένα φάσμα ευστάθειας πρανών (βλέπε Σχήμα 1.1), στο οποίο δύναται να προβληθεί άμεσα η κάθε πλαγιά και εκτείνεται από: μεγάλο περιθώριο υπέρσχυσης της διατμητικής αντοχής, με συνεπώς πολύ χαμηλή πιθανότητα αστοχίας στο ένα άκρο, μέχρι ενεργά πρανή που παρουσιάζουν αστοχίες και ελάχιστο περιθώριο ευστάθειας στο άλλο άκρο, θα ήταν χρήσιμο να καθορισθούν τρεις θεωρητικές καταστάσεις μέσα σε αυτό το φάσμα, βασισμένες στην ικανότητα των δυναμικών εξωγενών δυνάμεων να προκαλέσουν αστοχία (Crozier, 1989). Με αυτόν τον τρόπο, στο ένα άκρο του παραπάνω φάσματος ξεκινάει η πρώτη **"ευσταθής κατάσταση"** (stablestate), στην οποία ανήκουν πλαγιές με μεγάλο περιθώριο ευστάθειας, αρκετό μάλιστα για να αντισταθεί στην δράση όλων των φυσικών δυναμικών αποσταθεροποιητικών δυνάμεων οι οποίες θα μπορούσαν εν δυνάμει να επιβληθούν κάτω από το υπάρχον περιβαλλοντικό ή γεωμορφολογικό καθεστώς. Στην συνέχεια ακολουθεί η **"οριακά ευσταθής κατάσταση"** (marginally stablestate), η οποία αντιπροσωπεύεται από σταθερές πλαγιές που μεν δεν υπόκεινται καμία αστοχία επί του παρόντος, είναι δε επιδεκτικές σε αστοχία εφόσον ασκηθούν πάνω τους εξωτερικές δυνάμεις που υπερβαίνουν κάποιο συγκεκριμένο όριο. Φτάνοντας στο άλλο άκρο του φάσματος ορίζεται η τρίτη, **"ενεργά ασταθής κατάσταση"** (actively unstablestate), την οποία αντιπροσωπεύουν πλαγιές

με σχεδόν μηδενικό περιθώριο ευστάθειας οι οποίες υπόκεινται σε συνεχείς ή κατά διαστήματα μετακινήσεις.

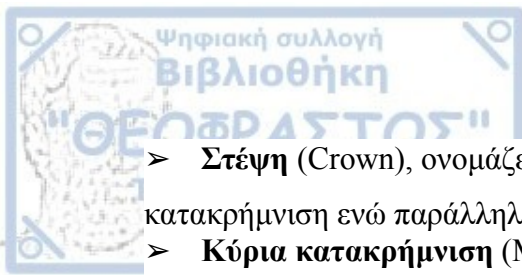
Το περιθώριο ευστάθειας συνεπώς είναι ένα μέτρο ευαισθησίας της πλαγιάς στους αποσταθεροποιητικούς παράγοντες, το οποίο μαζί με μια αξιολόγηση των επιπτώσεων αυτών των παραγόντων πάνω στην πλαγιά, παρέχουν ένα μέτρο επιδεκτικότητας της πλαγιάς σε κατολισθήσεις. Στην συνέχεια, η κατανόηση και ποσοτικοποίηση της σχέσης μεταξύ του περιθωρίου ευστάθειας με την συχνότητα και το μέγεθος των προαναφερθέντων παραγόντων προσφέρει έναν τρόπο για να καθοριστεί η πιθανότητα εμφάνισης κατολισθήσεων. Τελικά, η πιθανότητα αστοχίας σε συνδυασμό με το μέγεθος της αναμενόμενης κατολίσθησης σε μια περιοχή μπορούν να παρέχουν ένα μέτρο της κατολισθητικής επικινδυνότητας.



Σχήμα 1.1: Καταστάσεις ευστάθειας και αποσταθεροποιητικοί παράγοντες (Crozier, 1989)

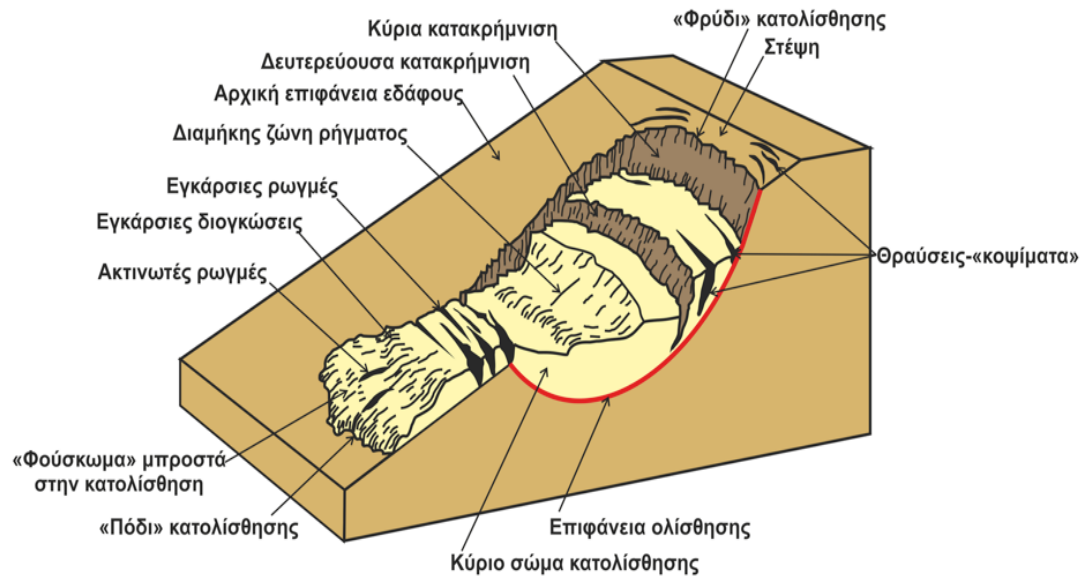
1.4 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

Αναγνωρίζοντας την ανάγκη για μια ενιαία ονοματολογία, η Διεθνής Ένωσης Τεχνικής Γεωλογίας (International Association of Engineering and the environment, IAEG) σύστησε την Ειδική Διεθνή Επιτροπή (Commission on Landslides), η οποία πρότεινε μια διεθνή ονοματολογία για τις περιστροφικές ολισθήσεις, η οποία εφαρμόζεται και σε όλους τους υπόλοιπους τύπους κατολισθήσεων σε διεθνές επίπεδο. Βασισμένος στην μορφολογία μιας τυπικής περιστροφικής ολίσθησης ο Varnes, 1978 πρότεινε μια ονοματολογία για την καλύτερη περιγραφή των μορφολογικών χαρακτηριστικών μιας κατολίσθησης, εκτός των καθιζήσεων, πάνω στην οποία βασίστηκαν και οι μεταγενέστεροι ερευνητές. Οι κυριότεροι όπως έχουν οριστικοποιηθεί από τους παραπάνω που θα πρέπει να αποσαφηνιστούν για την συνέχεια περιγράφονται παρακάτω (βλ. Εικόνα 1.14):

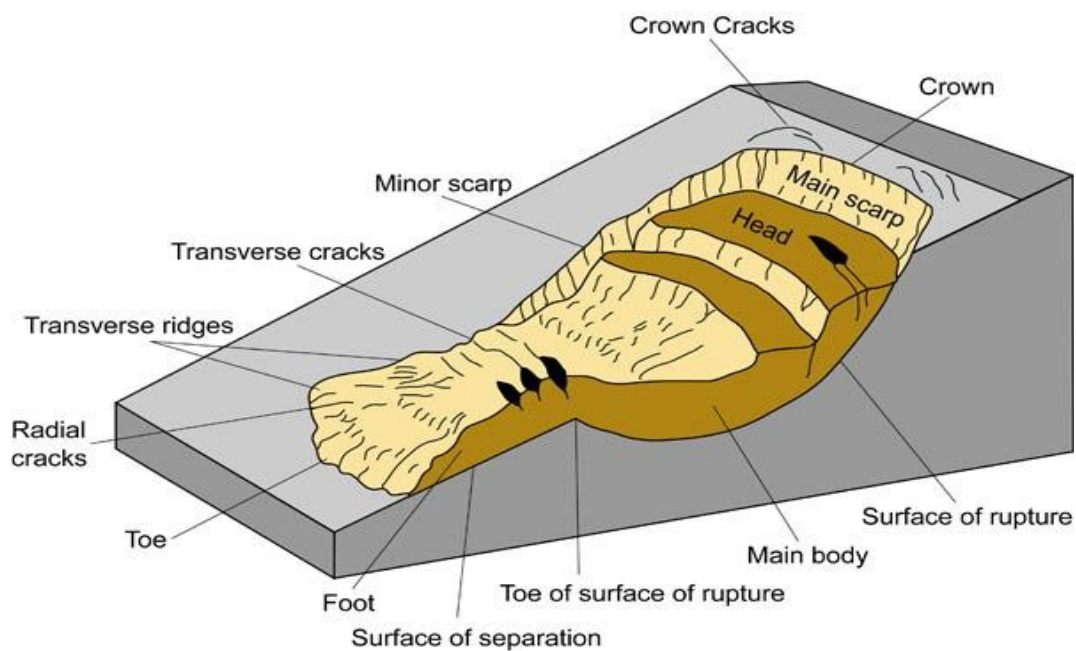


- > **Στέψη** (Crown), ονομάζεται το τμήμα του εδάφους που βρίσκεται πιο κοντά στην κατακρήμνιση ενώ παράλληλα είναι το ανώτερο ευσταθές τμήμα.
- > **Κύρια κατακρήμνιση** (Mainscarp), ονομάζεται το απότομο βύθισμα της επιφάνειας του εδάφους στο σημείο της Στέψης, που δημιουργήθηκε από την ολισθαίνουσα μάζα. Είναι το μόνο τμήμα που μπορούμε να παρατηρήσουμε την επιφάνεια αστοχίας.
- > **Κεφαλή** (Head), ονομάζεται η μάζα που ολισθαίνει πάνω στην επιφάνεια της Κύριας κατακρήμνισης και οριοθετεί το ανώτερο τμήμα της κατολίσθησης.
- > **"Φρύδι" κατολίσθησης**, είναι ο όρος που περιγράφει το τελευταίο τμήμα σταθερού εδάφους πριν την κατακρήμνιση.
- > **Δευτερεύουσα κατακρήμνιση** (Minorscarp), είναι το απότομο βύθισμα της επιφάνειας του εδάφους, που έχει προκληθεί δευτερευόντως από τις διαδοχικές κινήσεις της ολισθαίνουσας μάζας.
- > **Επιφάνεια ολίσθησης/θραύσης** (Surface of rupture), είναι η ουσιαστικά η προέκταση της Κύριας κατακρήμνισης, πάνω στην οποία ολισθαίνει η κύρια μάζα της κατολίσθησης.
- > **Κύριο σώμα κατολίσθησης** (Mainbody), ορίζεται ως το τμήμα που περικλείεται μεταξύ της Κεφαλής και της Απόληξης και ολισθαίνει πάνω στην Επιφάνεια ολίσθησης.
- > **Απόληξη της επιφάνειας ολίσθησης** (Toe of Surface of rupture), ορίζεται ως το κατώτερο σημείο της Επιφάνειας ολίσθησης, όπου η τελευταία έρχεται σε επαφή με την Αρχική επιφάνεια του εδάφους.
- > **Αρχική επιφάνεια εδάφους**, είναι η επιφάνεια της πλαγιάς που δεν έχει επηρεαστεί από την κατολίσθηση.
- > **"Πόδι" κατολίσθησης** (Foot), ονομάζεται το τμήμα της κατολίσθησης το οποίο λόγω του ότι έχει μετακινηθεί πέραν της Απόληξης της επιφάνειας ολίσθησης, πλέον υπέρκειται της Αρχικής επιφάνειας του εδάφους.
- > **Απόληξη ή Δάχτυλο ή "Φούσκωμα"** μπροστά από την κατολίσθηση (Toe), χαρακτηρίζεται το κατώτερο τμήμα της ολισθαίνουσας μάζας, το οποίο απέχει την μεγαλύτερη απόσταση από την Κύρια κατακρήμνιση και συνήθως σχηματίζει μια χαρακτηριστική κυρτή επιφάνεια.

Καθόλη την διάρκεια της κατολίσθησης και μέσα από τις διάφορες διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα δημιουργούνται εμφανίζονται πολλές επιφάνειες ρήγματος και δημιουργούνται ρωγμές (Cracks), τόσο στην επιφάνεια του σταθερού εδάφους όσο και μέσα στην μάζα που μετακινείται. Αυτές μπορεί να είναι είτε κάθετες (εγκάρσιες,) είτε παράλληλες (διαμήκεις-ακτινωτές) με την διεύθυνση της κατολίσθησης.



Εικόνα 1.14: Μορφολογία κατολίσθησης, Marinós



Εικόνα 1.15: Μορφολογία κατολίσθησης από Varnes, 1978, U.S. Geological Survey

Η ονοματολογία που προτάθηκε από την ΕΔΕ έρχεται να συμπληρώσει αυτή του Varnes και περιλαμβάνει κυρίως την προσθήκη των όρων των ζωνών απομείωσης και συσσώρευσης.

Κάθε συζήτηση περί κινδύνου ή επικινδυνότητας κατολισθήσεων θα πρέπει να αναγνωρίζει την ποικιλομορφία των μαζικών κινήσεων όπως και τα διάφορα γεωλογικά, τοπογραφικά και κλιματικά περιβάλλοντα στα οποία μπορούν να εμφανιστούν. Οι ερευνητές που ασχολούνται με τις επιστήμες της γης, ταξινομούν τις κατολισθήσεις με διάφορα χαρακτηριστικά τους. Έτσι, ανάλογα με το υλικό που κατολισθαίνει, η μάζα μπορεί να είναι:

- βράχος ή συνεκτικό πέτρωμα
- έδαφος στο οποίο περιλαμβάνονται λεπτόκοκκα ή αδρόκοκκα μη συμπαγοποιημένα ιζήματα.

Έπειτα οι κατολισθήσεις ανάλογα με τον μηχανισμό αστοχίας κατηγοριοποιούνται σε:

- ❖ **Πτώσεις (falls).** Μια πτώση αρχίζει με την απόσπαση του εδάφους ή του πετρώματος, ή και τα δύο, από μια απότομη πλαγιά κατά μήκος μιας επιφάνειας στην οποία έχει λάβει χώρα ελάχιστη ή καθόλου μετατόπιση. Το υλικό κατεβαίνει στη συνέχεια, κυρίως, με την πτώση, την αναπήδηση, ή το κύλισμα.

- **Πτώσεις βράχων.** Οι πτώσεις είναι απότομες, με καθοδικές κινήσεις των βράχων ή της γης, ή και των δύο που αποσπώνται από απότομες πλαγιές ή βράχια. Η πτώση του υλικού χτυπά συνήθως τη χαμηλότερη σε κλίση πλαγιά, σε γωνία μικρότερη από τη γωνία της πτώσης, προκαλώντας αναπήδηση. Η πτώση μάζας μπορεί να σπάσει κατά την πρόσκρουση, μπορεί να αρχίσει το κύλισμα σε μεγαλύτερες πλαγιές, και μπορεί να συνεχίσει έως ότου ισιώσει το έδαφος.

Εμφάνιση και σχετικό μέγεθος / έκταση. Η εμφάνιση είναι κοινή σε όλο τον κόσμο σε απότομες ή κάθετες πλαγιές, επίσης, στις παράκτιες περιοχές, καθώς και σε βραχώδεις όχθες των ποταμών και των ρεμάτων. Ο όγκος του υλικού που πέφτει μπορεί να ποικίλει σημαντικά, από μεμονωμένες πέτρες ή μάζες χώματος με χιλιάδες κυβικά μέτρα σε μέγεθος.

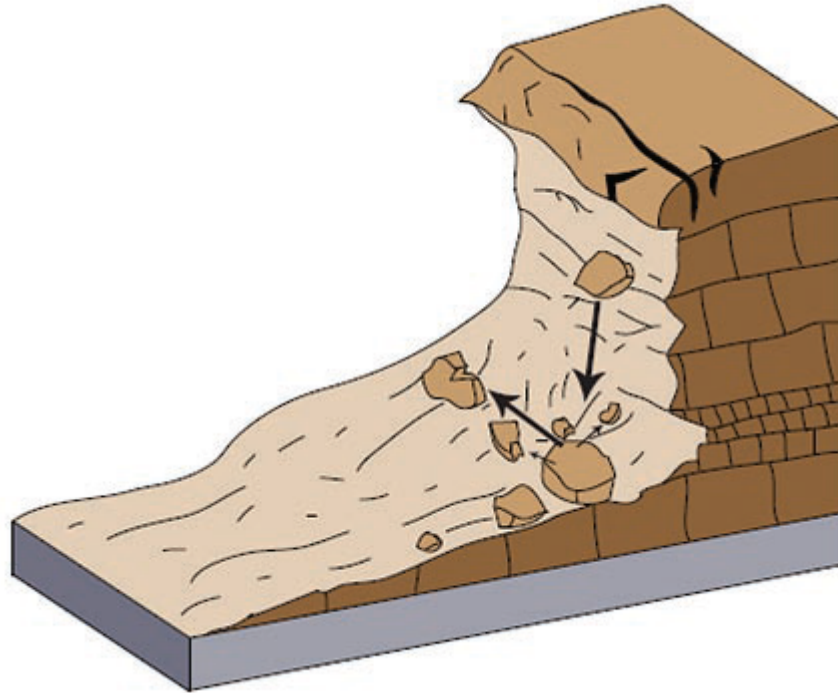
Ταχύτητα του ταξιδιού. Η ταχύτητα είναι πολύ γρήγορη έως εξαιρετικά γρήγορη και εξαρτάται από την κλίση των πρανών.

Μηχανισμός ενεργοποίησης. Φυσικές διεργασίες, όπως ρέματα και ποτάμια ή διαφορικές καιρικές συνθήκες, ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η εκσκαφή κατά τη διάρκεια κατασκευής δρόμου και η συντήρηση, σεισμοί ή άλλες έντονες δονήσεις, υπονομεύουν την κλίση.

Επιδράσεις (άμεσες/έμμεσες). Η πτώση υλικού μπορεί να είναι απειλητική για τη ζωή. Οι ογκόλιθοι μπορεί να αναπηδήσουν ή να κυλήσουν σε μεγάλες αποστάσεις και να προκαλέσουν βλάβες στις κατασκευές ή να σκοτώσουν ανθρώπους. Επιπλέον οι κατολισθήσεις μπορεί να προκαλέσουν καταστροφικές ζημιές σε οχήματα που έχουν πληγεί από βράχους και να μπλοκάρουν αυτοκινητόδρομους και σιδηροδρομικές γραμμές.

Διορθωτικά μέτρα. Μερικά από τα μέτρα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι: κουρτίνες βράχων ή άλλα καλύμματα πλαγιάς, προστατευτικά καλύμματα πάνω από δρόμους, τοίχοι αντιστήριξης για την αποφυγή κύλισης ή αναπήδησης και εκρηκτικό για ανατινάξεις των επικίνδυνων περιοχών προκειμένου να καταργηθεί η πηγή. Τα σημάδια προειδοποίησης συνιστάται σε επικίνδυνες περιοχές για ευαισθητοποίηση.

Προβλεψιμότητα. Η χαρτογράφηση των επικίνδυνων περιοχών που συμβαίνουν κατολισθήσεις έχει ολοκληρωθεί σε λίγες περιοχές σε όλο τον κόσμο. Υπολογισμοί για την αναπήδηση των βράχων και μέθοδοι εκτίμησης για την οριοθέτηση της περιμέτρου των βράχων σε ζώνες έχουν επίσης προσδιοριστεί και οι πληροφορίες δημοσιεύονται ευρέως.



Εικόνα 1.2: Σχηματική απεικόνιση κατολίσθησης (Highland & Bobrowsky, 2008)



Εικόνα 1.3: Μια πτώση βράχου / ολίσθηση που συνέβη στο Κολοράντο των Ηνωμένων Πολιτειών, της Αμερικής, το 2005, κλείνοντας την κυκλοφορία για αρκετές εβδομάδες. Η φωτογραφία δείχνει επίσης ένα παράδειγμα βραχοκουρτίνας, ένα εμπόδιο που συνήθως εφαρμόζεται πάνω από ασταθείς βραχώμαζες. (Highland & Bobrowsky, 2008)

- **Ανατροπές (topples).** Μια ανατροπή αναγνωρίζεται ως η προς τα εμπρός περιστροφή έξω από μια πλαγιά μιας μάζας του εδάφους ή του πετρώματος, γύρω από ένα σημείο ή άξονα κάτω από το κέντρο βάρους της μετατοπισμένης μάζας. Η ανατροπή ενίοτε οδηγείται μέσω της βαρύτητας που ασκείται από το βάρος του υλικού ανερχόμενο από τη μετατοπισμένη μάζα. Μερικές φορές η ανατροπή συμβαίνει εξαιτίας του νερού ή του πάγου σε ρωγμές της μάζας. Οι ανατροπές μπορούν να αποτελούνται από πετρώματα, συντρίμια (χοντρό υλικό), ή γήινα υλικά (λεπτόκοκκο υλικό). Οι ανατροπές μπορεί να είναι πολύπλοκες και σύνθετες.

Εμφάνιση. Είναι γνωστό ότι συμβαίνουν σε παγκόσμιο επίπεδο, συχνά επικρατούν σε ηφαιστειογενές έδαφος, καθώς και κατά μήκος των ρεμάτων και των ποταμιών, όπου οι όχθες είναι απότομες.

Ταχύτητα του ταξιδιού. Από εξαιρετικά αργή σε εξαιρετικά ταχεία. Μερικές φορές επιταχύνει τη διάρκεια της κίνησης ανάλογα με την απόσταση του ταξιδιού.

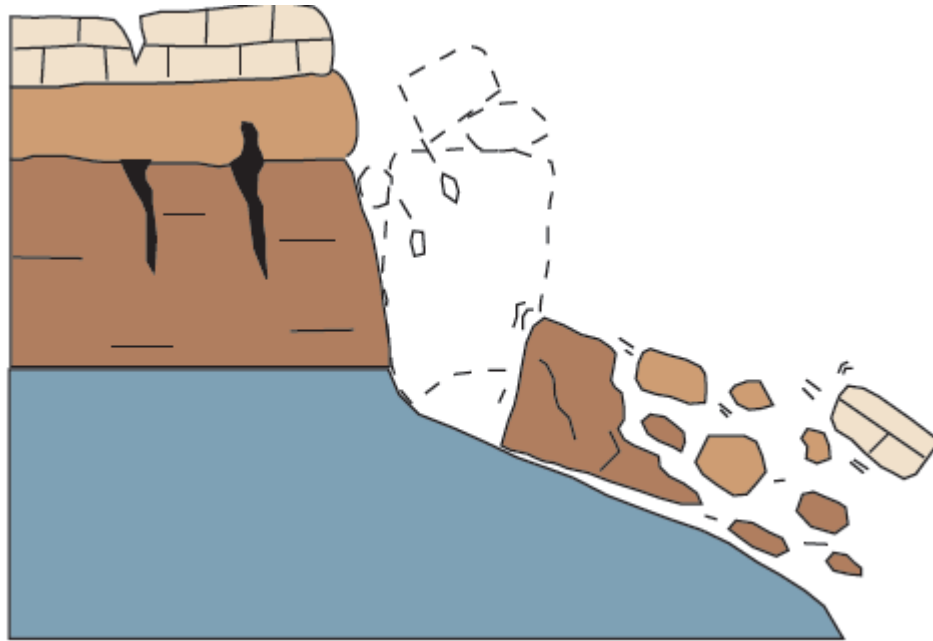
Μηχανισμός ενεργοποίησης. Μερικές φορές, οδηγείται μέσω της βαρύτητας που ασκείται από το υλικό που βρίσκεται στο ανερχόμενο τμήμα από την εκτοπισμένη μάζα και μερικές φορές από το νερό ή τον πάγο που εμφανίζεται σε ρωγμές στο εσωτερικό της μάζας. Επίσης, οι δονήσεις, οι διαφορετικές καιρικές συνθήκες, οι ανασκαφές, ή η διάβρωση των ρευμάτων, αποτελούν μηχανισμούς ενεργοποίησης.

Επιδράσεις (άμεσες/έμμεσες). Μπορεί να είναι εξαιρετικά καταστρεπτικές, ειδικά όταν η ανατροπή είναι ξαφνική και η ταχύτητα είναι ταχεία.

Διορθωτικά μέτρα. Στο βράχο υπάρχουν πολλές επιλογές για τη σταθεροποίηση της ανατροπής των επιρρεπών περιοχών. Η διήθηση είναι ένας παράγοντας που συμβάλλει στην αστάθεια του βράχου και η αποστράγγιση θα πρέπει να θεωρείται και να αντιμετωπίζεται ως διορθωτικό μέσο.

Προβλεψιμότητα. Δεν υπάρχει χαρτογράφηση της επιδεκτικότητας αλλά υπάρχει καταγραφή του περιστατικού για ορισμένες περιοχές. Η παρακολούθηση της ανατροπής, ωστόσο, των περιοχών που είναι επιρρεπείς είναι χρήσιμη, για παράδειγμα με την χρήση κλισιομέτρων. Τα κλισιόμετρα χρησιμοποιούνται για την καταγραφή της αλλαγής της κλίσης κοντά σε ρωγμές και περιοχές με μεγαλύτερες κάθετες κινήσεις. Προειδοποιητικά συστήματα

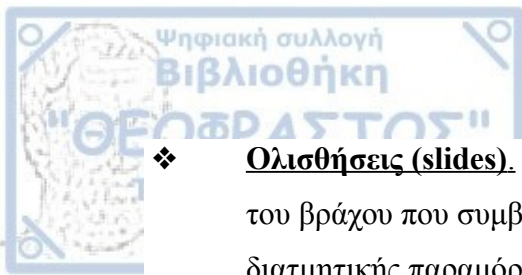
βασισμένα στην κίνηση που μετράται από τα κλισιόμετρα θα ήταν πολύ αποτελεσματικά.



Εικόνα 1.4: Σχηματική απεικόνιση ανατροπής. (Highland & Bobrowsky, 2008)



Εικόνα 1.5: Ανατροπή στο FortSt. John του Καναδά (Highland & Bobrowsky, 2008)



❖ **Ολισθήσεις (slides).** Μια ολίσθηση είναι μια καθοδική μετακίνηση του εδάφους ή του βράχου που συμβαίνει στις επιφάνειες ρήξης ή σε σχετικά λεπτές ζώνες έντονης διατμητικής παραμόρφωσης.

➤ **Περιστροφική ολίσθηση.** Είναι μια ολίσθηση εδάφους στην οποία η επιφάνεια της ρήξης είναι καμπύλη προς τα πάνω και η κίνηση ολίσθησης είναι λίγο πολύ περιστροφική γύρω από έναν άξονα που είναι παράλληλος προς το περίγραμμα της πλαγιάς. Η μετατοπισμένη μάζα μπορεί, υπό ορισμένες συνθήκες, να κινηθεί σαν μια συνεκτική μάζα κατά μήκος της επιφάνειας ρήξης, με μικρή εσωτερική παραμόρφωση. Η κεφαλή του αποκολλημένου υλικού μπορεί να μετακινηθεί σχεδόν κάθετα προς τα κάτω και η πάνω επιφάνειά του μπορεί να περιστραφεί ανάποδα, προς την κύρια κατακρήμνιση. Εάν η ολίσθηση είναι περιστροφική και έχει πολλά παράλληλα επίπεδα κίνησης, ονομάζεται καθίζηση.

Εμφάνιση. Επειδή οι ολισθήσεις συμβαίνουν πιο συχνά σε ομογενή υλικά, είναι ο πιο συχνός τύπος κατολίσθησης σε υλικά “πλήρωσης”.

Σχετικό μέγεθος / περιοχή. Συνδέεται με κλίσεις που κυμαίνονται από περίπου 20 έως 40 μοίρες. Σε εδάφη, η επιφάνεια της ρήξης έχει γενικά μία αναλογία βάθους - μήκους μεταξύ 0,3 έως 0,1.

Ταχύτητα ταξιδιού (ποσοστό της κίνησης). Εξαιρετικά χαμηλή (μικρότερη από 0,3 μέτρα ή 1 πόδι κάθε 5 χρόνια) έως μετρίως γρήγορη (1.5 μέτρα ή 5 πόδια ανά μήνα) σε γρήγορη.

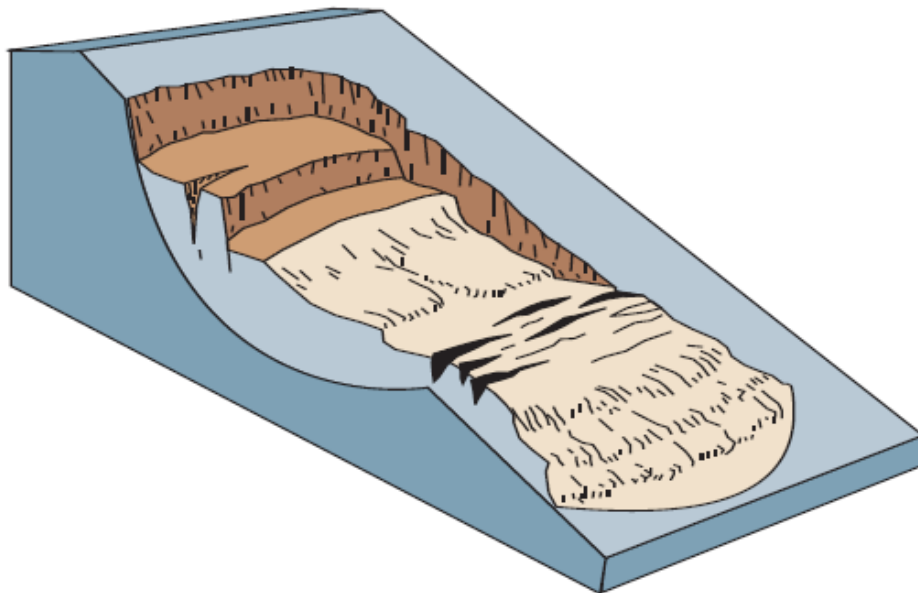
Μηχανισμός ενεργοποίησης. Οι έντονες ή και συνεχείς βροχοπτώσεις ή το γρήγορο λιώσιμο του χιονιού μπορεί να οδηγήσει σε κορεσμό των πρανών και σε αύξηση της στάθμης των υπόγειων υδάτων εντός της μάζας. Οι γρήγορες πτώσεις στο επίπεδο των ποταμών μετά από πλημμύρες, τα επίπεδα υπόγειων νερών που αυξάνονται ως αποτέλεσμα της πλήρωσης των δεξαμενών, ή η άνοδος στο επίπεδο ρευμάτων, λιμνών, και ποταμών, προκαλούν διάβρωση στη βάση της πλαγιάς. Αυτοί οι τύποι ολισθήσεων επίσης μπορούν να προκληθούν από σεισμούς.

Επιδράσεις (άμεσες/έμμεσες). Μπορεί να είναι εξαιρετικά επιζήμιες για τις κατασκευές και τους δρόμους αλλά συνήθως δεν είναι απειλητικές για τη ζωή, αν η κίνηση είναι αργή. Οι κατασκευές που είναι τοποθετημένες πάνω στην κινούμενη μάζα, επίσης, μπορεί να υποστούν σοβαρές ζημιές, καθώς η μάζα περιστρέφεται και παραμορφώνεται. Ο μεγάλος όγκος του υλικού που

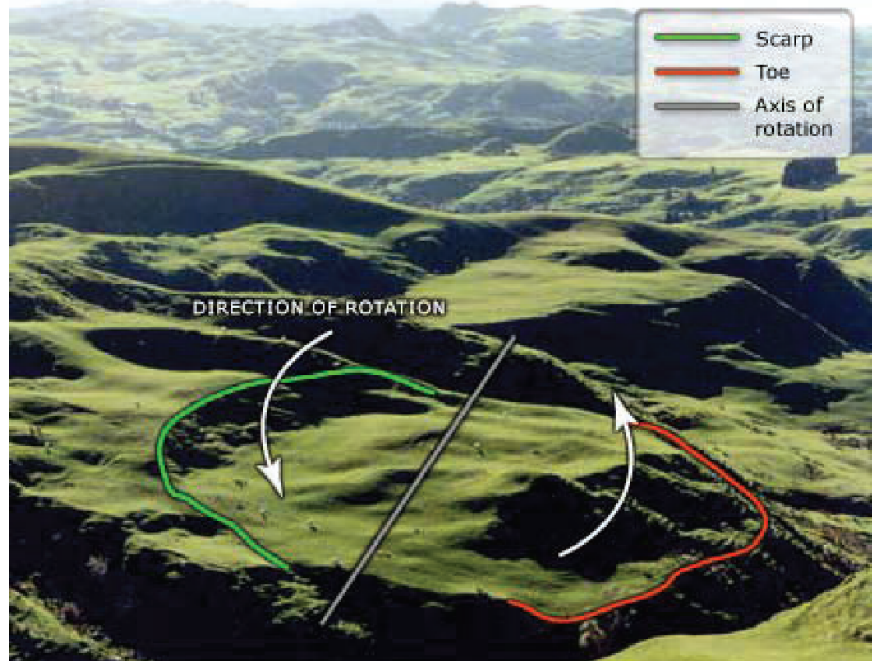
μετατοπίζεται είναι δύσκολο να σταθεροποιηθεί μόνιμα. Τέτοιες αποτυχίες μπορεί να φράξουν ποτάμια, προκαλώντας πλημμύρες.

Μέτρα άμβλυνσης. Μπορούν να τοποθετηθούν όργανα ελέγχου για την ανίχνευση της μετακίνησης και του ρυθμού μετακίνησης. Η σωστή διαβάθμιση και μηχανική των πρανών, όπου είναι δυνατόν, θα μειώσει σημαντικά την επικινδυνότητα. Η κατασκευή τοίχου αντιστήριξης μπορεί να είναι αποδοτική στην εκτροπή ή την καθυστέρηση της κατολίσθησης.

Προβλεψιμότητα. Οι ολισθήσεις μπορούν να επανενεργοποιηθούν. Οι ρωγμές στις κορυφές (κεφαλές) των πρανών είναι καλοί δείκτες έναρξης της αστοχίας. Παρακάτω παρατίθεται ένα σχήμα και μια φωτογραφία από μια περιστροφική ολίσθηση.



Εικόνα 1.6: Σχηματική απεικόνιση περιστροφικής ολίσθησης (Highland & Bobrowsky, 2008)



Εικόνα 1.7: Φωτογραφία μιας περιστροφικής ολίσθησης που σημειώθηκε στη Νέα Ζηλανδία. Η πράσινη καμπύλη στο κέντρο αριστερά είναι η κύρια κατακρήμνιση (η περιοχή όπου το έδαφος έχει αστοχήσει). Το λοφώδες έδαφος στο κάτω δεξιά (στη σκιά) είναι το δάχτυλο του ποδιού της κατολίσθησης (κόκκινη γραμμή). Αυτό ονομάζεται περιστροφική κατολίσθηση καθώς η γη έχει μετακινηθεί από αριστερά προς τα δεξιά σε μια κυρτή επιφάνεια ολίσθησης. Η κατεύθυνση και ο άξονας της περιστροφής απεικονίζονται επίσης. (Φωτογραφία από τον Michael J. Crozier, Encyclopedia of New Zealand, 2007).

- ❖ **Εξαπλώσεις (spreads).** Είναι μια επέκταση μιας συνεκτικής μάζας χώματος ή βράχου συνδυασμένο με τη γενική καθίζηση της σπασμένης μάζας του συνεκτικού υλικού στο μαλακότερο υποκείμενο υλικό. Οι εξαπλώσεις μπορούν να προκύψουν από τη ρευστοποίηση ή τη ροή (και την εξώθηση) του μαλακότερου υποκείμενου υλικού.
 - **Πλευρικές εξαπλώσεις.** Εμφανίζονται συνήθως σε πολύ ήπιες κλίσεις ή ουσιαστικά σε επίπεδη έκταση, ιδίως όταν ένα ισχυρότερο ανώτερο στρώμα του πετρώματος ή του εδάφους υφίσταται επέκταση και κινείται πάνω από ένα υποκείμενο πιο μαλακό, πιο αδύναμο στρώμα. Τέτοιες αστοχίες συνήθως συνοδεύονται από κάποια γενική καθίζηση στην ασθενέστερη βασική μονάδα.
- Εμφάνιση.** Σε όλο τον κόσμο, είναι γνωστό ότι εμφανίζονται όπου υπάρχουν ρευστοποιήσιμα εδάφη. Είναι κοινό να εμφανίζονται σε περιοχές σεισμικής δραστηριότητας, αλλά δεν περιορίζονται σε αυτές.
- Σχετικό μέγεθος / περιοχή.** Η περιοχή που επλήγη μπορεί να είναι μικρή σε μέγεθος και να έχει μερικές ρωγμές που δύναται να εξαπλωθούν γρήγορα, επηρεάζοντας περιοχές, εκατοντάδες μέτρα σε πλάτος.

Ταχύτητα του ταξιδιού. Μπορεί να είναι αργή έως μέτρια και μερικές φορές ταχεία μετά από ενεργοποίηση ορισμένων μηχανισμών, όπως ένας σεισμός. Το έδαφος, μπορεί έπειτα, αργά να εξαπλώνεται με το πέρασμα του χρόνου από μερικά χιλιοστόμετρα ανά ημέρα στις δεκάδες των τετραγωνικών μέτρων ανά ημέρα.

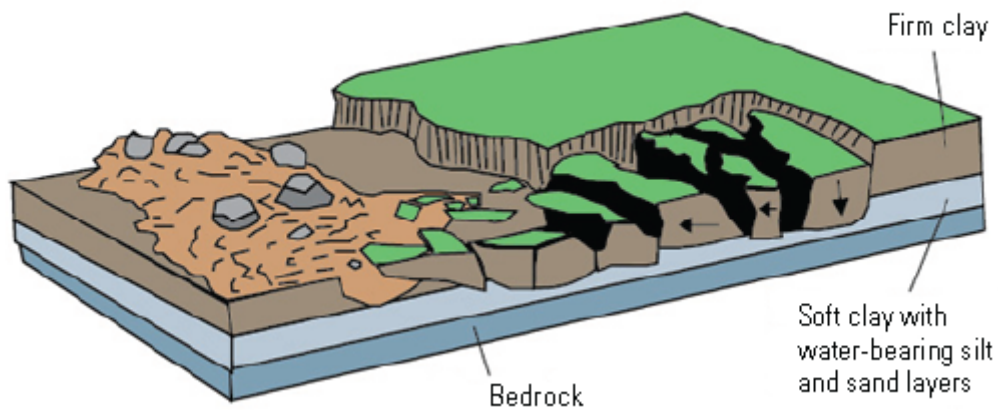
Μηχανισμός ενεργοποίησης. Οι ωθήσεις που αποσταθεροποιούν το ασθενές στρώμα περιλαμβάνουν:

- Υγροποίηση του κάτω αδύναμου στρώματος, από σεισμό
- Υπερφόρτωση του εδάφους πάνω από ασταθή πλαγιά, είτε από τη φύση είτε από τον άνθρωπο
- Κορεσμό των υποκείμενων ασθενέστερων στρωμάτων, ο οποίος οφείλεται στην καθίζηση, στα χιόνια που λιώνουν, ή και σε μεταβολές της στάθμης του υπόγειου νερού
- Διαταραχή στις όχθες του ποταμού/ πλαγιά
- Πλαστική παραμόρφωση των ασταθών υλικών σε βάθος (για παράδειγμα, αλάτι)

Επιδράσεις (άμεσες/έμμεσες). Μπορεί να προκαλέσει εκτεταμένες υλικές ζημιές σε κτίρια, δρόμους, σιδηρόδρομους. Μπορεί να εξαπλωθεί αργά ή γρήγορα, ανάλογα με την έκταση του κορεσμού σε νερό των διαφόρων στρωμάτων του εδάφους. Οι πλευρικές εξαπλώσεις τέλος, μπορεί να είναι ένας πρόδρομος εμφάνισης ροής γαιών.

Μέτρα άμβλυνσης. Υπάρχουν χάρτες υγροποίησης για ορισμένα σημεία, αλλά δεν είναι ευρέως διαθέσιμα. Οι περιοχές με δυνητικά ρευστοποιήσιμα εδάφη μπορούν να αποφευχθούν, όπως εργοτάξια, ιδίως σε περιοχές που είναι γνωστό ότι αντιμετωπίζουν συχνούς σεισμούς. Αν εμπλέκονται περιοχές με υψηλή στάθμη υπόγειου νερού, αυτές θα μπορούσαν να αποστραγγιστούν ή να γίνουν προσπάθειες για την εκτροπή του νερού.

Προβλεψιμότητα. Υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να επαναλαμβάνονται σε περιοχές που έχουν αντιμετωπίσει προβλήματα ξανά στο παρελθόν. Πιο διαδεδομένες, ωστόσο, οι πλευρικές εξαπλώσεις είναι στις περιοχές που έχουν μεγάλη σεισμική επικινδυνότητα, καθώς και σε ρευστοποιήσιμα εδάφη.



Εικόνα 1.8: Σχηματική απεικόνιση εξάπλωσης (Highland & Bobrowsky, 2008)



Εικόνα 1.9: Φωτογραφία πλευρικής εξάπλωσης σε οδόστρωμα, ως αποτέλεσμα, του σεισμού 1989 LomaPrieta, Καλιφόρνια, ΗΠΑ. (Highland & Bobrowsky, 2008)

- ❖ **Ροές (flows).** Μια ροή είναι μια χωρικά συνεχής κίνηση στην οποία οι επιφάνειες των διατμήσεων είναι βραχύβιες, με στενά διαστήματα, και συνήθως δεν διατηρούνται. Η συνισταμένη ταχύτητα στη μετατόπιση μάζας μιας ροής μοιάζει με εκείνη σε ένα παχύρρευστο υγρό. Συχνά, υπάρχει μια διαβάθμιση της αλλαγής από ολισθήσεις σε ροές, ανάλογα με την περιεκτικότητα σε νερό, την ευκινησία και την εξέλιξη του κίνησης.

- Ροή κορημάτων/δεβριτική ροή (debrisflow). Μια μορφή ταχείας μαζικής μετακίνησης στην οποία χαλαρό χώμα, βράχος και μερικές φορές οργανική ύλη συνδυάζονται με νερό για να σχηματιστεί ένας πολτός που ρέει προς τα κατάντη. Έχουν ονομασθεί άτυπα και ανάρμοστα "λασπορροές", λόγω της μεγάλης ποσότητας του λεπτόκοκκου υλικού που ενδέχεται να υπάρχει στη ροή. Περιστασιακά, καθώς η περιστροφική ολίσθηση αυξάνει ταχύτητα και η εσωτερική μάζα χάνει τη συνοχή της ή αυξάνεται το νερό, μπορεί να εξελιχθεί σε ροή κορημάτων. Στεγνές ροές μερικές φορές μπορεί να εμφανιστούν σε σαθρή άμμο (ροές άμμου). Οι ροές κορημάτων μπορεί να είναι θανατηφόρες, δεδομένου ότι μπορούν να είναι εξαιρετικά γρήγορες και μπορεί να συμβούν χωρίς οποιαδήποτε προειδοποίηση.

Εμφάνιση. Οι ροές κορημάτων συμβαίνουν σε όλο τον κόσμο και είναι διαδεδομένες σε απότομες ρεματιές και σε φαράγγια. Μπορούν να ενταθούν, όταν συμβαίνουν σε πλαγιές ή σε ρεματιές που έχουν απογυμνωθεί από βλάστηση εξαιτίας πυρκαγιών ή υλοτομίας. Είναι συνυφασμένες με ηφαιστειακές περιοχές με αδύναμο χώμα.

Σχετικό μέγεθος / περιοχή. Αυτοί οι τύποι των ροών μπορεί να είναι λεπτοί και υγροί ή παχιοί με ιζήματα και τα συντρίμμια συνήθως περιορίζονται στα όρια των απότομων ρεματιών που διευκολύνουν την κίνηση προς τα κάτω. Γενικά, η κίνηση είναι σχετικά ρηχή και η εξάπλωση είναι μεγάλη σε μήκος και στενή ταυτόχρονα, μερικές φορές μπορεί να φτάσει και χιλιόμετρα σε απότομα εδάφη. Τα κορημάτων και η λάσπη συνήθως τερματίζουν στη βάση των πρανών και δημιουργούν τριγωνικά κοιτάσματα, τα οποία επίσης μπορεί να είναι ασταθή.

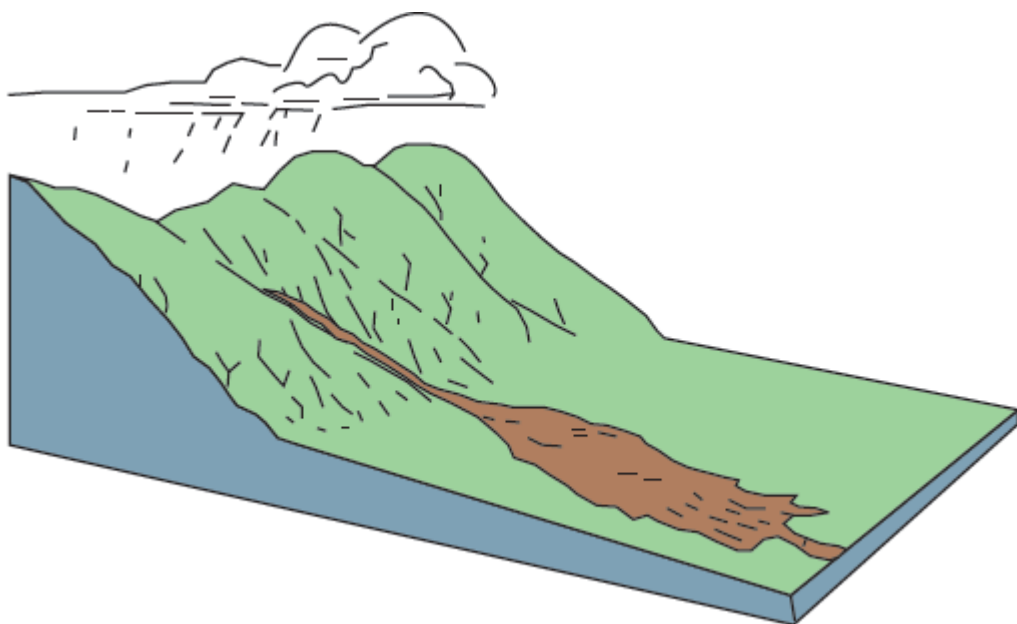
Ταχύτητα του ταξιδιού. Μπορεί να είναι γρήγορη ως εξαιρετικά γρήγορη (56 χιλιόμετρα ανά ώρα) ανάλογα με τη συνεκτικότητα και την κλίση της πλαγιάς.

Μηχανισμός ενεργοποίησης. Οι ροές κορημάτων συνήθως προκαλούνται από την έντονη επιφανειακή ροή του νερού, εξαιτίας ισχυρών βροχοπτώσεων ή εξαιτίας των χιονιών που λιώνουν γρήγορα, που διαβρώνουν και κινητοποιούν το χαλαρό χώμα ή το βράχο σε απότομες πλαγιές. Οι ροές κορημάτων επίσης κινητοποιούνται από άλλα είδη κατολισθήσεων που συμβαίνουν σε απότομες, σχεδόν κορεσμένες πλαγιές και αποτελούνται από σημαντικές ποσότητες υλικού μεγέθους ιλύος ως άμμου.

Επιδράσεις (άμεσες/έμμεσες). Οι ροές κορημάτων μπορεί να είναι θανατηφόρες, λόγω της ταχείας έναρξης, της υψηλής ταχύτητας των κινήσεων, και εξαιτίας του γεγονότος ότι μπορούν να ενσωματώσουν ογκόλιθους και άλλα κομμάτια των συντριμμίων. Στην καθοδική τους ροή μπορούν να μετακινήσουν αντικείμενα μεγέθους σπιτιού ή να καλύψουν κατασκευές με την ταχεία συσσώρευση ιζημάτων και οργανικής ύλης. Μπορούν τέλος να επηρεάσουν την ποιότητα του νερού με την εναπόθεση μεγάλων ποσοτήτων λάσπης και συντριμμίων.

Μέτρα άμβλυνσης. Οι ροές συνήθως δεν μπορούν να εμποδιστούν. Ως εκ τούτου, τα σπίτια, δεν θα πρέπει να χτίζονται σε απότομες ρεματιές που έχουν μια ιστορία στις ροές κορημάτων, ή είναι γενικότερα επιδεκτικές λόγω πυρκαγιών, τύπου εδάφους, ή άλλων συναφών παραγόντων. Η εκκένωση, η αποφυγή, καθώς και η μετεγκατάσταση είναι οι καλύτερες μέθοδοι για την πρόληψη τραυματισμών και απωλειών ζωής.

Προβλεψιμότητα. Χάρτες πιθανής επικινδυνότητας για τις ροές υπάρχουν για ορισμένες περιοχές. Τα συντρίμια ροών μπορεί να είναι συχνά σε οποιαδήποτε περιοχή με απότομες πλαγιές και έντονες βροχοπτώσεις, είτε εποχιακά είτε κατά διαστήματα, και ιδιαίτερα σε περιοχές που έχουν πρόσφατα καεί ή η βλάστηση αφαιρείται με άλλα μέσα.



Εικόνα 1.10: Σχηματική απεικόνιση ροής κορημάτων. (Highland & Bobrowsky, 2008)

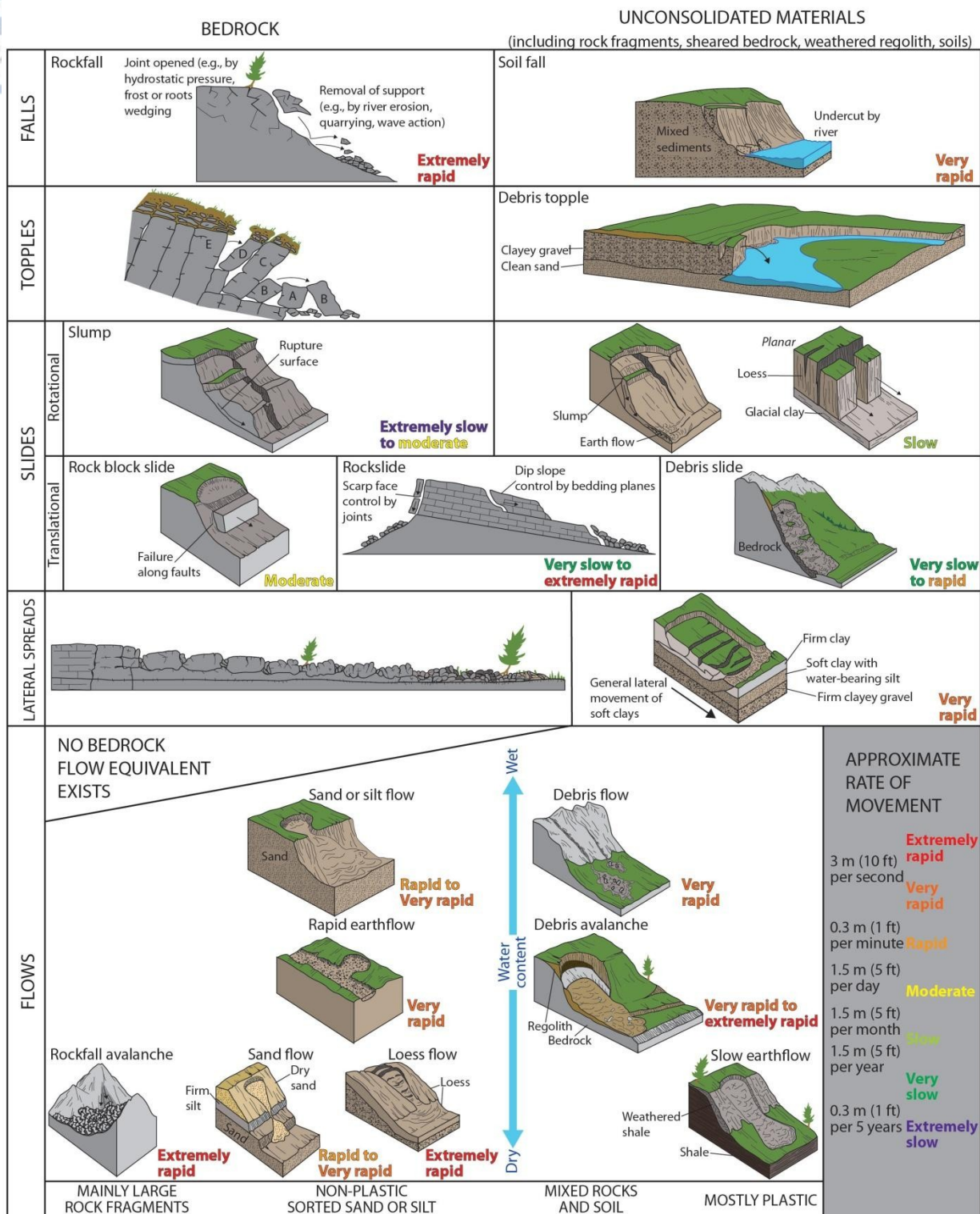


Εικόνα 1.11: Ζημιές από ροές κορημάτων στην πόλη της Caraballeda, που βρίσκεται στη βάση της Cordillera de laCostân, στη βόρεια ακτή της Βενεζουέλας. Τον Δεκέμβριο του 1999, η περιοχή χτυπήθηκε από τη χειρότερη φυσική καταστροφή του 20ου αιώνα για την Βενεζουέλα. Αρκετές ημέρες καταρρακτώδους βροχής ενεργοποίησαν ροές από λάσπη, πέτρες, νερό, και δέντρα με αποτέλεσμα να σκοτωθούν περισσότερα από 30.000 άτομα. . (Φωτογραφία από τον L.M. Smith, Waterways Experiment Station, U.S. Army Corps of Engineers, (Highland & Bobrowsky, 2008))

Επίσης, ανάλογα με το στάδιο εξέλιξης στο οποίο βρίσκονται χαρακτηρίζονται ως:

- ενεργές
- επανενεργοποιημένες αδρανείς
- ανενεργές και
- αρχαίες απολιθωμένες

Τέλος, μπορούν να ομαδοποιηθούν και ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε νερό και την ταχύτητα (βλ. Εικόνα 1.12).



Εικόνα 1.12: Ταξινόμηση κατολισθήσεων (Trista L. Thornberry-Ehrlich, 1978)

Ένα μεγάλο ποσοστό των κατολισθήσεων όμως, δεν επιτρέπουν την ένταξή τους σε κάποια από αυτές τις κατηγορίες. Ο Varnes ορίζει αυτές τις "περίπλοκες κατολισθήσεις" ως: μαζικές κινήσεις οι οποίες έχουν αρχικά έναν ορισμένο μηχανισμό αστοχίας, αλλά συνεχίζουν

με έναν ή περισσότερους διαφορετικούς τρόπους μετατόπισης. Τέτοια παραδείγματα αποτελούν οι βραχοκαταπτώσεις που εξελίσσονται σε καταιγισμό βράχων, ή ολισθήσεις βράχων που εξελίσσονται σε μεγάλες δερβιτικές ροές. Η μόνη ομοιότητα που έχουν με τις κατολισθήσεις είναι ότι εντάσσονται στον γενικώς αποδεκτό ορισμό: όλες οι καθοδικές κινήσεις με εδαφικό υλικό υπό την επίδραση της βαρύτητας, ονομάζονται κατολισθήσεις.

Τύποι Αστοχίας	Ταχύτητα	Τύπος Υλικού	Τύπος Κίνησης
Βραχοπτώσεις, Καταπτώσεις τεμαχών πάγου, Αποκοπές	Ραγδαία	Βράχος, Πάγος, Συμπαγοποιημένα εδάφη	Πτώση
Περιστροφική ολίσθηση, Επίπεδη ολίσθηση, Σφηνοειδής ολίσθηση, Μεταθετική ολίσθηση	Από χαμηλή ως ραγδαία	Βράχος, Έδαφος, Χιόνι	Ολίσθηση
Δερβιτική ροή, Λασποροή, Ροή εδάφους, Χιονοστιβάδα, Ερπυσμός, Ροή βραχώδους υποβάθρου, Εξάπλωση λόγω ρευστοποίησης, Εξάπλωση τεμαχών	Από χαμηλή ως ραγδαία	Θραύσματα βράχου, Άμμος, Ιλύς, Άργιλος, Χιόνι	Ροή - Εξάπλωση

Πίνακας 1.1: Ταξινόμηση Κατολισθήσεων

1.6 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ

Η αξιολόγηση της επιδεκτικότητας σε κατολισθήσεις είναι μια διαδικασία συσχετισμένη τόσο με τον χώρο όσο και με τον χρόνο και οι κατολισθήσεις είναι αποτέλεσμα συνδυασμού μερικών τόσο τοπικών όσο και χρονικών παραγόντων. Οι παράγοντες που μπορούν να προωθήσουν αστάθεια σε μια πλαγιά είναι πολύ σημαντικό να μπορούν να διακριθούν και να συνυπολογιστούν. Στην διεθνή βιβλιογραφία παρατηρεί κανείς ότι έχουν προταθεί αρκετοί τρόποι για την ομαδοποίηση αυτών των παραγόντων.

❖ Σύμφωνα με τους Dai και Lee (2001), αυτοί οι παράγοντες μπορούν να ομαδοποιηθούν :

- Στις **οιονεί στατικές μεταβλητές**, οι οποίες συμβάλουν στην επιδεκτικότητα των κατολισθήσεων, όπως η γεωλογία, τα χαρακτηριστικά του πρσανούς (κλίση, κατεύθυνση

κλίσης, ύψος), η γεωμορφολογία, οι γεωτεχνικές ιδιότητες, και η μακροπρόθεσμη διάταξη του υδρογραφικού δικτύου.

- ii. Στις **δυναμικές μεταβλητές**, οι οποίες τείνουν να ενεργοποιήσουν κατολισθήσεις σε μια περιοχή δεδομένης επιδεκτικότητας σε κατολισθήσεις, όπως οι βροχοπτώσεις και οι σεισμοί.

❖ Κατά τους Glade, Anderson και Crozier αναγνωρίζονται τέσσερις κατηγορίες

παραγόντων που μπορούν να προκαλέσουν κατολισθήσεις.

- i. Οι **παράγοντες προϋπόθεσης ή προδιάθεσης** (precondition/predisposing factors), οι οποίοι ανήκουν στους στατικούς παράγοντες, είναι εγγενής και όχι μόνο επηρεάζουν το περιθώριο ευστάθειας, αλλά κυρίως δρουν σαν καταλύτες επιτρέποντας σε άλλους δυναμικούς παράγοντες να είναι πιο δραστηριοί. Παραδείγματα τέτοιων παραγόντων είναι τα γεωυλικά τα οποία κάτω από υγρές συνθήκες χάνουν την αντοχή τους πιο γρήγορα από τα υπόλοιπα και προδιαθέτουν την πλαγιά σε αστοχία σε επικείμενη καταιγίδα. Άλλο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο προσανατολισμός της στρώσης του πετρώματος που μπορεί να ευνοεί την εμφάνιση κατολίσθησης.
- ii. Οι **προπαρασκευαστικοί παράγοντες** (preparatory factors), οι οποίοι ως δυναμικοί παράγοντες εξ ορισμού μειώνουν σταδιακά το περιθώριο ευστάθειας στην πλαγιά, χωρίς να εκκινούν κάποια μετακίνηση. Έτσι, όταν μάλιστα υποβοηθούνται από κατάλληλες προϋποθέσεις, όπως οι προηγούμενοι παράγοντες, έχουν την δυνατότητα να μεταφέρουν την πλαγιά από την κατάσταση "ευστάθειας" στην "οριακή ευστάθεια". Τέτοιοι παράγοντες θεωρούνται η διάβρωση, η κλιματική αλλαγή, η τεκτονική ανύψωση, η ανθρώπινη δραστηριότητα και άλλοι και μπορεί να δρουν για αρκετό ή και για σύντομο χρονικό διάστημα.
- iii. Οι **ενανσματοικοί παράγοντες** (triggering factors) είναι οι υπεύθυνοι για την έναρξη της κίνησης της πλαγιάς, συνεπώς αυτοί που την μεταφέρουν από την κατάσταση της "οριακής ευστάθειας" στην "ενεργά ασταθή" κατάσταση. Οι πιο κοινοί τέτοιοι παράγοντες είναι η έντονη βροχόπτωση, η μεγάλης διάρκειας βροχοπτώσεις, το απότομο λιώσιμο του χιονιού, η σεισμική δραστηριότητα αλλά και η υποσκαφή της κλιτύς. Συνήθως είναι εξωτερικοί παράγοντες οι οποίοι ασκούνται στην πλαγιά και για αυτό χαρακτηρίζονται ως *εξωγενείς*.
- iv. Οι **παράγοντες συντήρησης** (sustaining factors), οι οποίοι καθορίζουν την συμπεριφορά των "ενεργά ασταθών" κλιτύων, όπως για παράδειγμα την διάρκεια, τον ρυθμό και τον τύπο της κίνησης. Αν και κάποιες από αυτές θεωρούνται δυναμικοί εξωτερικοί παράγοντες, όπως η βροχόπτωση, άλλοι μπορεί να σχετίζονται με την προοδευτική κίνηση της κατολίσθησης ή το έδαφος που έρχεται σε επαφή με την κατολίσθηση.

❖ Η Ομάδα Εργασίας της UNESCO το 1994 πρότεινε μια ταξινόμηση των παραγόντων σε τέσσερις βασικές ομάδες, αυτή τη φορά βάση της προέλευσης του καθενός

και σε κάθε ομάδα μπορεί να συνυπάρχουν παράγοντες τόσο προπαρασκευαστικού όσο και εναυσματικού χαρακτήρα, συνεπώς τόσο στατικοί όσο και δυναμικοί (εκτός της ομάδας των εδαφικών συνθηκών). Σύμφωνα με την Ομάδα Εργασίας της UNESCO και τους Κούκης και Σαμπατάκης, 2007 κατασκευάστηκε ο παρακάτω πίνακας.

1. ΕΛΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	
Πλαστικό χαμηλής αντοχής υλικό	
Ευαίσθητο υλικό	
Υλικό επιρρεπές σε θραύση	
Αποσαθρωμένο υλικό	
Διατμημένο υλικό	
Ρωγματομένο ή διακλασμένο υλικό	
Βραχομάζα με δυσμενή προσανατολισμό ασυνεχειών (στρώση, σχιστότητα, διακλάσεις)	
Βραχομάζα με δυσμενή προσανατολισμό ασυνεχειών (ρήγματα, επιφάνειες επαφής, ασυμφωνίες)	
Διαφοροποιήσεις στην υδροπερατότητα	
Διαφοροποιήσεις στη δυσκαμψία (στιφρό ή πυκνό υλικό υπερκείμενο πλαστικού υλικού)	
2. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	
Τεκτονική ανύψωση	
Ανύψωση λόγω ηφαιστείων	
Επίδραση παγετώνων	
Ποτάμια διάβρωση της βάσης του πρανούς	
Θαλάσσια διάβρωση της βάσης του πρανούς	
Διάβρωση της βάσης του πρανούς από παγετώνα	
Διάβρωση των πλευρών του πρανούς	
Εσωτερική διάβρωση	
Φόρτιση από φυσική απόθεση υλικών στη στέψη του πρανούς	
Απομάκρυνση φυτοκάλυψης (από πυρκαγιά, διάβρωση κ.α)	
3. ΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	
Έντονη, μικρής διάρκειας βροχόπτωση	
Γρήγορο λιώσιμο χιονιού	
Παρατεταμένη υψηλή βροχόπτωση	
Γρήγορη πτώση στάθμης νερού μετά από πλημμύρες, παλίρροιες ή διάρρηξη φυσικών φραγμάτων	
Σεισμοί	
Εκρήξεις ηφαιστείων	
Διάρρηξη λιμνών σε κρατήρες ηφαιστείων	
Λιώσιμο παγωμένου εδάφους	
Αποσάθρωση λόγω παγετού	
Αποσάθρωση από διόγκωση και συρρίκνωση εδαφών	
4. ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ	
Εκσκαφές στη βάση (πόδα) του πρανούς	
Φόρτιση στο μέτωπο ή πάνω από τη στέψη του πρανούς	
Υποβιβασμός της στάθμης σε ταμειυτήρες	
Άρδευση	
Κακή συντήρηση αποστραγγιστικών έργων	

Διαρροή νερών από τεχνικά έργα (δίκτυα, δεξαμενές κ.α)	
Αποψίλωση	
Λατομεία και μεταλλεία	
Δημιουργία χωματερών	
Τεχνητές δονήσεις (κυκλοφορία οχημάτων, λειτουργία μηχανών, τοποθέτηση πασσάλων κ.α)	

Πίνακας 1.2: Οι πιο σημαντικοί παράγοντες εκδήλωσης κατολισθήσεων σύμφωνα με το WP/WLI 1994 (Κούκης& Σαμπατακάκης,2007).

Η σχέση μεταξύ της κλίσης μιας φυσικής πλαγιάς και των κατολισθήσεων επηρεάζεται από την αλληλεπίδραση των γεωλογικών διαδικασιών που διαμορφώνουν το ανάγλυφο. Έτσι, ενώ μεν οι πλαγιές με μεγάλη κλίση έχουν μεγάλη δυναμική ενέργεια για πιθανή εκδήλωση κατολισθήσεων, είναι δε καλός δείκτης ύπαρξης υλικών μεγάλης αντοχής. Η διεύθυνση επίσης της κλίσης του πρανούς μπορεί να επηρεάσει τις φυσικές του ιδιότητες, καθώς και την επιδεκτικότητα του σε κατολισθήσεις. Σε ένα πρανές εκτεθειμένο στην ηλιακή ακτινοβολία, σε βροχοπτώσεις καθώς και ισχυρούς τοπικούς ανέμους για μεγάλο χρονικό διάστημα μέσα στον χρόνο αναμένεται η διαδικασία της αποσάθρωσης να γίνεται με ταχύτερους και εντονότερους ρυθμούς.

Καθοριστικό ρόλο στα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά μιας πλαγιάς παίζει η λιθολογία, δηλαδή ο τύπος του υποκείμενου πετρώματος. Ο τύπος του πετρώματος, καθώς και η δομή του, καθορίζουν ως έναν σημαντικό βαθμό τόσο την ανθεκτικότητα του στην διάβρωση, την περατότητα του σε υπόγειο νερό, όσο και τον τύπο της αστοχίας που θα αναπτυχθεί.

Άλλοι παράγοντες που ανάλογα με την περιοχή και την μορφολογία μπορούν να παίξουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη ή μη κατολίσθησης, είναι η εγγύτητα της πλαγιάς σε κάποιο υδρογραφικό δίκτυο, η δασική εκμετάλλευση και φυτοκάλυψη της υπό μελέτη περιοχής και η ύπαρξη ή μη, όπως και ο τύπος, του υπόγειου νερού.

Παράγοντες όπως η ένταση, η διάρκεια και ο ρυθμός της δράσης των παραπάνω φαινομένων παίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στην κατανόηση των κατολισθητικών φαινομένων και στον υπολογισμό της επικινδυνότητας. Ένα ενδιαφέρον φαινόμενο που θα πρέπει να συνυπολογίζουν όσοι ασχολούνται με τα φαινόμενα των κατολισθήσεων είναι αυτό που αναφέρεται από τους Crozier και Preston, 1999, ως "eventresistance" ή σε μη κατοχυρωμένη μετάφραση, 'αντοχή στο αίτιο-συμβάν'. Αυτό το φαινόμενο γίνεται αντιληπτό όταν, καθώς κατά την διάρκεια του συμβάντος της κατολίσθησης, το επιδεκτικό υλικό απομακρύνεται σταδιακά από την πλαγιά και με αυτόν τον τρόπο το υλικό που παραμένει είναι το πιο σταθερό άρα παρουσιάζεται μια αύξηση της αντοχής της πλαγιάς και του ορίου

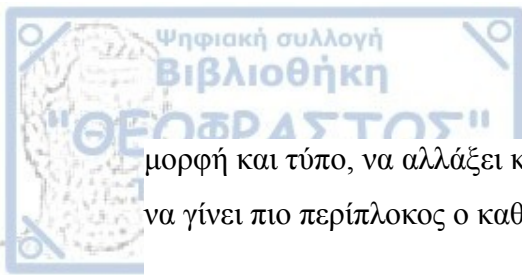
για την πυροδότηση κατολίσθησης. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα που παρατηρείται το παραπάνω φαινόμενο είναι σε επεισόδια δερβιτικής ροής, των οποίων η ενεργοποίηση δεν εξαρτάται μόνο από το μέγεθος του γεγονότος που θα τα πυροδοτήσει, αλλά και από τα αποθέματα υλικού που μπορεί να μεταφερθεί. Συνεπώς, εάν κάτω από ορισμένες συνθήκες προκληθεί σε μια περιοχή κατολισθητικό φαινόμενο τύπου ροής και παρουσιαστούν σύντομα οι ίδιες συνθήκες, δεν μπορεί να θεωρηθεί βέβαιο ότι θα εκδηλωθεί ξανά επεισόδιο κατολίσθησης. Το χρονικό διάστημα που θα μεσολαβήσει, καθώς και άλλοι τοπικοί, γεωμορφολογικοί και κλιματικοί παράγοντες, θα παίξει σημαντικό ρόλο διότι θα καθορίσει αν θα πληρείται η αναγκαία συνθήκη ύπαρξης κατάλληλου υλικού για την εκδήλωση των παραπάνω φαινομένων.

1.7 ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

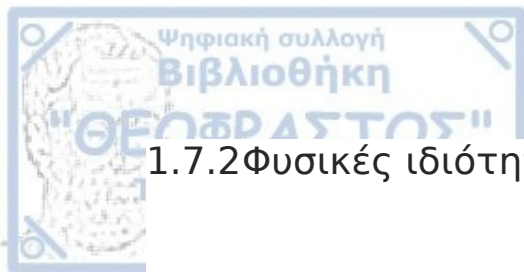
Οι κατολισθήσεις και το κόστος είναι δύο συνυφασμένες έννοιες για τον άνθρωπο. Οι T. Glade, M. Anderson και M. J. Crozier συνοψίζουν ότι το κόστος αυτό μπορεί να προέρχεται είτε από τις καταστροφές που θα προκληθούν μετά από κάποια ανεξέλεγκτη κατολίσθηση, είτε από τα μέτρα που θα πρέπει να παρθούν για να περιοριστούν οι επιπτώσεις αυτές. Με βάση την παραπάνω παραδοχή, το κόστος των κατολισθήσεων μπορεί μεν να μεταφερθεί ή να μετατραπεί, είναι όμως αδύνατη η αποφυγή του. Η εκτίμηση των επιπτώσεων των κατολισθήσεων αναφέρεται στην ανάλυση των φυσικών επιπτώσεων, τον μηχανισμό επαφής, αλλά και στην αμεσότητα εμφάνισης των επιπτώσεων τόσο σε κλίμακα χρόνου όσο και χώρου. Για αυτό και δεν είναι όλες οι κατολισθήσεις το ίδιο επικίνδυνες και καταστροφικές. Τέλος, ανάλογα με την διάρκεια ζωής των φαινομένων διαχωρίζονται σε *οξείες*, μικρής διάρκειας συνέπειες, αλλά και *χρόνιες*, που μπορεί να γίνονται αντιληπτές για αρκετά μεγαλύτερο διάστημα.

1.7.1 Ο μηχανισμός επαφής

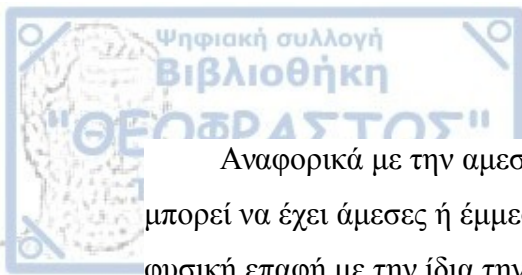
Όσο αφορά τον *μηχανισμό επαφής* με τον οποίο μελετούνται οι κατολισθήσεις εννοούμε το πώς επηρεάζονται τα φυσικά στοιχεία από την επαφή τους με την κατολίσθηση. Μερικά κύρια παραδείγματα τέτοιων μηχανισμών είναι: ταφή, μετωπική σύγκρουση, εδαφικές πιέσεις, διαφορά στις διατμητικές τάσεις, συμπίεση και πλαστική παραμόρφωση. Παρόλα αυτά όμως είναι αρκετά συνηθισμένο, καθώς η ίδια η κατολίσθηση μπορεί στην πορεία να αλλάξει



μορφή και τύπο, να αλλάξει και ο μηχανισμός επαφής από έναν τύπο σε κάποιον άλλο οπότε να γίνει πιο περίπλοκος ο καθορισμός του.



1.7.2 Φυσικές ιδιότητες



Αναφορικά με την αμεσότητα εμφάνισης των επιπτώσεων της κατολίσθησης, αυτές μπορεί να έχει άμεσες ή έμμεσες. Άμεσες θεωρούνται αυτές που προκαλούνται από την φυσική επαφή με την ίδια την κατολίσθηση, ενώ ως έμμεσες οι αλλαγές όταν οι αλλαγές που επιφέρονται λόγω της κατολίσθησης γίνονται αντιληπτές σε άλλα φυσικά περιβάλλοντα και μπορούν να προκαλέσουν με την σειρά τους νέα επικίνδυνα φαινόμενα. Έτσι, στις επιπτώσεις άμεσης επαφής ανήκουν οι καταστροφές που προκαλούνται σε κτήρια και δομές όπως: κατεδάφιση κτηρίων από πρόσκρουση και ταφή, παραμόρφωση λόγω διατμητικών εδαφικών τάσεων ή από πρόσκρουση ισχυρών ριπών αέρα, κ.α. Στον άνθρωπο και στα ζώα οι επιπτώσεις μπορεί να φτάσουν από απλό τραυματισμό μέχρι και απώλεια ζωής είτε από θανατηφόρα σύγκρουση με τα τεμάχια της κατολίσθησης αλλά είτε και από ασφυξία λόγω ταφής. Τέλος οι άμεσες επιπτώσεις στην βλάστηση μπορεί να προκαλέσουν ξερίζωμα δέντρων, εκταφή αλλά και θάψιμο ακόμα και μεγάλων δέντρων ενώ στην γεωργία από

προσωρινή μείωση της παραγωγής ως και παντελή καταστροφή των κτημάτων.



Εικόνα 1.13: Επαφή κατολίσθησης με ποτάμιο σύστημα

Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις που οι συνέπειες μιας κατολίσθησης δεν γίνονται αντιληπτές άμεσα και πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή καθώς μπορεί να προκαλέσουν μεταγενέστερα μεγάλες καταστροφές. Τέτοια συμβάντα είναι πιθανό να παρατηρηθούν όταν μια κατολίσθηση έρθει σε επαφή με επιφανειακό υδρογραφικό δίκτυο ή πάσης φύσεως ταμειυτήρες. Η πρόσκρουση μιας κατολίσθησης με μια λίμνη, είτε αυτή είναι φυσική είτε τεχνητή - όπως πχ ένα φράγμα, μπορεί να προκαλέσει μεγάλα κύματα ακόμα και τσουνάμι. Πιο επικίνδυνες όμως κρίνονται εμπειρικά οι περιπτώσεις που μια κατολίσθηση έρχεται σε επαφή με οποιονδήποτε τρόπο με κάποιο ποτάμιο σύστημα. Ο τρόπος με τον οποίο επιδρά

αυτή η επαφή μπορεί να έχει σοβαρές επιπλοκές στο σύστημα για αυτό και έχει υψηλό δυναμικό επικινδυνότητας. Οι συνέπειες μπορεί να είναι είτε μακροπρόθεσμες είτε βραχυπρόθεσμες με σοβαρότερη να κρίνεται η περίπτωση κατά την οποία η κατολίσθηση φράζει, μερικώς ή ολοκληρωτικά, την ροή του ποταμού και δημιουργεί φράγματα με ως επί το πλείστον μικρή διάρκεια ζωής. Κατά την κατάρρευσή τους μπορούν να προκαλέσουν καταστροφές τόσο στα κατώτερα τμήματα του φράγματος όσο και στα ανώτερα.

1.7.3 Σφοδρότητα

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό σύμφωνα με το οποίο μελετώνται και στην συνέχεια διαχωρίζονται οι συνέπειες των κατολισθήσεων είναι η *σφοδρότητα* και επηρεάζεται από μερικούς παράγοντες όπως η μορφολογία του εδάφους, τον τύπο της κατολίσθησης, τον μηχανισμό επαφής αλλά και την θέση των φυσικών στοιχείων που θα έρθουν σε επαφή με την μάζα της κατολίσθησης. Έχει παρατηρηθεί ότι οι πιο καταστροφικές και θανατηφόρες κατολισθήσεις είναι οι "χιονοστιβάδες" κορημάτων μεγάλης ταχύτητας, όπως και οι υψηλής κινητικότητας, μεσαίας με υψηλής ταχύτητας και μεγάλης απόστασης εξάπλωσης ροές κορημάτων. Από το παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι το μέγεθος της σφοδρότητας εξαρτάται άμεσα από την ταχύτητα που μπορεί να αναπτύξει η κατολίσθηση αλλά και την μάζα της. Η *ταχύτητα* η ίδια εξαρτάται από την μάζα του ολισθαίνοντος σώματος αλλά και από άλλους παράγοντες όπως η γωνία κλίσης της πλαγίας - η οποία καθορίζει την κάθετη και οριζόντια απόσταση που θα διανυθεί, η υγρασία του υλικού που ολισθαίνει, μέχρι και η φυτοκάλυψη. Η εκτίμηση της δυναμικής ταχύτητας που μπορεί να αναπτύξει η εκάστοτε κατολίσθηση είναι μια διαδικασία με σημαντικά οικονομικά οφέλη. Αυτό διότι αν ο ρυθμός μετακίνησης είναι μικρός ή τουλάχιστον ανεκτός, όπως σε κατολισθήσεις τύπου ερπυσμός ή περιστροφική ολίσθηση της τάξης των χιλ./έτος, υπάρχει η δυνατότητα από πλευράς μηχανικών να κατασκευαστούν συγκεκριμένα τεχνικά έργα, όπως κάποιος οικισμός ή γραμμές τρένου, ακόμα και μέσα στην ζώνη δράσης της κατολίσθησης. Το αν θα προχωρήσουν οι εργασίες υπόκειται σε δευτερεύουσα ανάλυση της σχέσης κόστους-κέρδους για να αποφασισθεί αν είναι οικονομικά συμφέρουσα μια τέτοια εργασία. Ένα τελευταίο χαρακτηριστικό που ελέγχει τόσο τον τύπο της πρόσκρουσης όσο και το είδος των μέτρων αντιστήριξης που θα χρησιμοποιηθούν, είναι το βάθος της κίνησης.

Velocity Class	Description	Velocity (mm/sec)	Typical Velocity	Probable Destructive Significance
7	Extremely Rapid	5×10^3	5 m/sec	Catastrophe of major violence; buildings destroyed by impact of displaced material; many deaths; escape unlikely
6	Very Rapid	5×10^1	3 m/min	Some lives lost; velocity too great to permit all persons to escape
5	Rapid	5×10^{-1}	1.8 m/hr	Escape evacuation possible; structures, possessions, and equipment destroyed
4	Moderate	5×10^{-3}	13 m/month	Some temporary and insensitive structures can be temporarily maintained
3	Slow	5×10^{-5}	1.6 m/year	Remedial construction can be undertaken during movement; insensitive structures can be maintained with frequent maintenance work if total movement is not large during a particular acceleration phase
2	Very Slow	5×10^{-7}	15 mm/year	Some permanent structures undamaged by movement
	Extremely SLOW			Imperceptible without instruments; construction POSSIBLE WITH PRECAUTIONS

Πίνακας 1.3: Ταξινόμηση της ταχύτητας μετακίνησης κατά τους Cruden και Varnes (1996) και την Αυστραλιανή Κοινότητα Γεωμηχανικών (2002)

Οι ίδιοι παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα που θα αναπτυχθεί, ελέγχουν και την απόσταση που θα διανύσει η μάζα της κατολίσθησης, συνεπώς και την περιοχή που θα επηρεαστεί από την κατολίσθηση. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι ο υπολογισμός της απόστασης αυτής είναι ζωτικής σημασίας στις αναλύσεις ευστάθειας. Εάν μάλιστα συνδυαστεί και με ιστορικά δεδομένα ή έρευνες που μπορούν να δώσουν μια εικόνα για την συχνότητα εμφάνισης κατολισθητικών φαινομένων στην υπό μελέτη περιοχή, οι ζώνες δράσης της κατολίσθησης μπορούν να μετατραπούν σε ζώνες επικινδυνότητας. Ο υπολογισμός της οριζόντιας απόστασης που θα διανυθεί στην βάση της πλαγιάς μπορεί να υπολογιστεί με πολλαπλά μοντέλα παλινδρόμησης βασισμένα στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της πλαγιάς και την γεωμετρία της αστοχίας.

Η έρευνα για την τρωτότητα των κατολισθήσεων απαιτεί αρχικά μια συνοπτική σύλληψη της έννοιας του κινδύνου. Η λιθολογία, η κλίση και το κλίμα προδιαθέτουν τις περιοχές για την δραστηριοποίηση των κατολισθήσεων. Οι πιο αδύνατες λιθολογίες, όπως τα ασταθή αμμώδη εδάφη, δεν αποτελούν πλαγιές που ενέχουν υψηλό κίνδυνο κατολισθήσεων, αλλά η συνοχή, η συμπαγοποίηση ή η διαμεσολάβηση ενδιάμεσων στρωμάτων υλικών με τις ιδιαίτερα ποικίλες δεισδυτικές ικανότητες μπορούν να οδηγήσουν σε εμφάνιση υψηλού βαθμού θραύσης, διακλάσεων ή διάβρωσης. Εν ολίγοις, η φύση πρέπει να δημιουργήσει μεγάλες πλαγιές που είναι απότομες σε σχέση με τις συνθήκες αντοχής των λιθολογιών στις οποίες αυτές κόβονται (Cruden και Varnes, 1996).

Σε πεδία με σκληρά πετρώματα, το κλίμα δεν είναι τόσο θεμελιώδης παράγοντας, αλλά σε όλες τις άλλες λιθολογίες είναι συνήθως καθοριστικός, μέσα από την διαδικασία της εισροής του νερού στα συστήματα των πρανών (Enokietal., 1999). Η ευρεία κατολίσθηση συνήθως διεγείρεται από υψηλές υποπίεσεις των πόρων ως αποτέλεσμα της έντονης ή παρατεταμένης βροχόπτωσης, του πάγου που κρυσταλλοποιείται σε ρωγμές ή κατά μήκος των πιθανών επιπέδων διατμήσεως, και των θερμικών δυνάμεων διαστολής-συστολής. Από αυτή την άποψη, η τρωτότητα είναι ένα χρονικό φαινόμενο δεδομένου ότι η επικινδυνότητα ποικίλλει ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες - με τρόπους που μόλις τώρα γίνονται γνωστοί μέσω λεπτομερούς έρευνας.

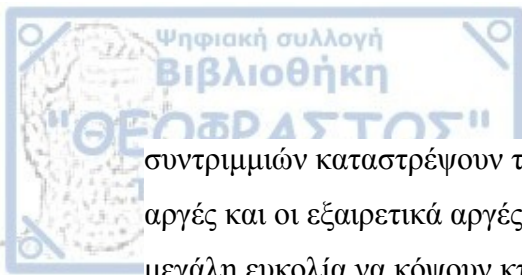
Κατά τους Clague και Stead**τρωτότητα** είναι η επιδεκτικότητα ενός στοιχείου σε ένα επικίνδυνο συμβάν και θεωρείται συχνά ότι έχει τόσο τεχνολογική όσο και ανθρωπιστική διάσταση. Η τεχνολογική πτυχή περιλαμβάνει καταστροφές και απώλεια ζωής, τα οποία υπόκεινται στον τομέα ερευνών των μηχανικών και των γεωεπιστημόνων. Η ανθρωπιστική διάσταση συσχετίζεται με ένα ευρύ φάσμα κοινωνικών θεμάτων, στα οποία περιλαμβάνονται εκτός από την απώλεια ζωής, τόσο ψυχολογικές όσο και περιβαλλοντικές επιπτώσεις που δημιουργούνται από κάποιο συμβάν που εγκλείει κίνδυνο. Για την ποσοτικοποίηση της τρωτότητας, ο Varnes, 1984 πρότεινε να εκφράζεται ο βαθμός απώλειας συγκριτικά σε μια κλίμακα από 0, καμία βλάβη, μέχρι 1, ολική απώλεια.

Ο τρόπος με τον οποίο όμως υπολογίζεται η τρωτότητα του κάθε στοιχείου σε κίνδυνο, διαφέρει σημαντικά ανάλογα με το αν αναφερόμαστε σε κάποιο κτήριο ή σε ανθρώπινες ζωές. Επίσης δεν υπάρχει σαφής και απλός τρόπος πρόβλεψης του τρόπου με τον οποίο θα έρθει σε επαφή η κατολίσθηση με τα στοιχεία υπό κίνδυνο κάτι το οποίο θα μπορούσε να δώσει σημαντικά δεδομένα για τον υπολογισμό της τρωτότητας. Ακόμα, οι προβλέψεις αυτές

βασίζονται σε μοντέλα που χρησιμοποιούν δεδομένα από ιστορικά αρχεία καταγραφής κατολισθήσεων των οποίων η διαθεσιμότητα για την υπό μελέτη περιοχή δεν μπορεί να θεωρηθεί εγγυημένη, συνεπώς αν δεν υπάρχουν θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν στοιχεία από παρόμοιες γεωλογικά περιοχές, και θα πρέπει να αξιολογηθούν και να μεταφραστούν από εξαιρετικά έμπειρους επιστήμονες για την καλύτερη δυνατή αξιοποίησή τους. Γίνεται λοιπόν φανερό ότι ο υπολογισμός της τρωτότητας είναι εξαιρετικά δύσκολος και εμπεριέχει σημαντική πιθανότητα λάθους και αβεβαιότητας και οι συγκρίσεις, όπου υπάρχουν δεδομένα, θα πρέπει να γίνονται με προσοχή ακόμα και σήμερα.

Στην πράξη, είναι συχνά δύσκολο να διαχωριστεί η τρωτότητα από την επικινδυνότητα και τον κίνδυνο, καθώς οι έννοιές τους είναι συννυφασμένες με πολύπλοκους τρόπους. Ως εκ τούτου, είναι δύσκολο να σχεδιαστεί μια τυποποιημένη μέθοδος για την εκτίμηση της τρωτότητας των κοινωνιών και των δομών σε κατολισθήσεις. Ένα ιδιαίτερο πρόβλημα που περιπλέκει την αξιολόγηση της τρωτότητας όσον αφορά τις κατολισθήσεις είναι η επανενεργοποίηση των προϋπάρχοντων μαζικών μετακινήσεων. Εξετάζοντας την περίπτωση της μικρής πόλης Campomaggiore, στα νότια Απένινα όρη της Ιταλίας, η οποία ιδρύθηκε στους κλασσικούς χρόνους ως ρωμαϊκό οχυρό, το 1885 καταστράφηκε εντελώς από μια μεγάλη κατολίσθηση τύπου βραχύπτωσης από τους γειτονικούς ασβεστόλιθους. Οι επιζώντες μετέφεραν ολόκληρη την πόλη σε μια ασφαλέστερη τοποθεσία περίπου 3 χλμ από την αρχική περιοχή. Δυστυχώς, η νέα τοποθεσία αποδείχθηκε πως βρισκόταν πάνω σε μια καλυμμένη προυπάρχουσα κατολίσθηση πλειοπλειστοκαινικής αργίλου και οι διεργασίες αναδόμησης την ενεργοποίησαν ξανά. Η ζημιά ήταν πιο αργή αυτή τη φορά, αλλά όχι λιγότερο ουσιαστική. Οι επανενεργοποιήσεις των καθιζήσεων εδάφους είναι τόσο συχνές που οι περισσότεροι χάρτες επικινδυνότητας κατολισθήσεων είναι βασισμένοι στην υπόθεση ότι όπου έχουν εμφανιστεί οι μαζικές μετακινήσεις στο παρελθόν, θα συμβούν πάλι στο μέλλον. Εντούτοις, δεν μπορεί να υποτεθεί ότι η επανενεργοποίηση είναι μια λειτουργία της τρωτότητας, αλλά μόνο ότι αυτή θα προσθέσει ένα περαιτέρω στρώμα περιπλοκότητας στον καθορισμό της επικινδυνότητας των κατολισθήσεων.

Παρά τις περιπλοκές αυτές, υπάρχει μια σαφής διάκριση της τρωτότητας λόγω κατολισθήσεων ανάλογα αν είναι γρήγορες και αργές κατολισθήσεις. Εκείνα τα γεγονότα που εμπίπτουν στη "εξαιρετικά γρήγορη" κατηγορία ταξινόμησης του Varnes (Cruden και Varnes, 1996) μπορούν να απειλήσουν τη ζωή, δεδομένου ότι υπάρχει λίγος χρόνος για να αντιδράσει κάποιος σε αυτές. Τα συστήματα προειδοποίησης κατολισθήσεων (Angelietal, 1994, Wieczoreketal., 1990) μπορούν να βοηθήσουν τις ευάλωτες οικογένειες και τις κοινότητες για να εκκενώσουν ή να πάρουν άλλες προφυλάξεις προτού οι κατολισθήσεις ή οι ροές



συντριμμίων καταστρέψουν τα κτήρια, αλλά δεν είναι καθόλου διαδεδομένα Αντίθετα, οι αργές και οι εξαιρετικά αργές κατολισθήσεις σπάνια απειλούν τη ζωή αλλά μπορούν με μεγάλη ευκολία να κόψουν κτήρια στην μέση. Δεν είναι συνήθως ότι η καταστροφή δεν μπορεί να απομειωθεί ή να αποτραπεί, αλλά ότι το οικονομικό κόστος της σωστής εγκατάστασης είναι υπέρογκο. Έτσι, από τη στιγμή που μεγάλες κατολισθήσεις έχουν αρχίσει να αποσταθεροποιούν τα θεμέλια μιας δομής, μπορεί αναπόφευκτα να είναι ευάλωτα σε ακόμη μεγαλύτερη ζημιά Αυτό μπορεί να μετρηθεί και να ταξινομηθεί χρησιμοποιώντας τις κλίμακες έντασης ζημιάς κατολισθήσεων.

ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επικινδυνότητα είναι η πιθανότητα ότι ο κίνδυνος θα πραγματοποιηθεί. Ένας φυσικός κίνδυνος είναι ο κίνδυνος που εγκυμονεί ένα δυνητικά επιβλαβές φυσικό γεγονός ή μια διεργασία, όπως σεισμός, πλημμύρα, έκρηξη ηφαιστείου, χιονοστιβάδα χιόνι, τυφώνας, υποχώρηση του εδάφους ή μαζική μετακίνηση. Η επικινδυνότητα κατολισθήσεων αναφέρεται στην πιθανότητα εμφάνισης μιας καταστρεπτικής αστοχίας της κλίσης της πλαγιάς σε μία δεδομένη περιοχή και σε μια δεδομένη χρονική περίοδο. Για να οριστεί σωστά η επικινδυνότητα των κατολισθήσεων, πρέπει επίσης να ποσοτικοποιηθούν, αιτιοκρατικά ή με όρους πιθανοτήτων το μέγεθος και η διάσταση της αναμενόμενης αστοχίας, επειδή το «μέγεθος» της εκδήλωσης συνδέεται με την καταστροφική δύναμη του. Η επικινδυνότητα απεικονίζεται σε χάρτες. Ένας χάρτης επικινδυνότητας κατολισθήσεων χωρίζει μια περιοχή με βάση τα διαφορετικά επίπεδα επικινδυνότητας (ζωνοποίηση επικινδυνότητας κατολισθήσεων). Ωστόσο, η δημιουργία ενός ενιαίου χάρτη επικινδυνότητας κατολισθήσεων είναι προβληματική, καθώς πρέπει να εμφανίζονται διαφορετικές καταστάσεις (ή πιθανότητες) επικινδυνότητας στον ίδιο χάρτη.

2.2 ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Όλοι οι συγγραφείς συμφωνούν στο γεγονός ότι το πρώτο βήμα για την σωστή αξιολόγηση της κατολισθητικής επικινδυνότητας είναι η ολοκληρωμένη γνώση των παρελθόντων γεγονότων, είτε μέσω άμεσης παρατήρησης, είτε έμμεσα από κείμενα και ιστορικά γεγονότα.

Ακολουθώντας τον επίσημο ορισμό που δόθηκε από τους Varnes και IAEG (1984), η **επικινδυνότητα** μπορεί να οριστεί ως η αναμενόμενη πιθανότητα μιας μαζικής μετακίνησης δοσμένης έντασης να συμβεί σε συγκεκριμένη περιοχή μέσα σε ένα ορισμένο χρονικό πλαίσιο. Αυτό ουσιαστικά σημαίνει ότι, η αξιολόγηση των διαδικασιών της επικινδυνότητας κατολισθήσεων, θα πρέπει να λάβει υπόψη τόσο την χωρική όσο και την χρονική πρόβλεψη. Προβλέψεις που βασίζονται αποκλειστικά στην χωρική πιθανότητα εκδήλωσης, όμως, είναι πολύ συνήθεις κυρίως επειδή είναι αρκετά πιο εύκολες να πραγματοποιηθούν. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο όρος κατολισθητική επιδεκτικότητα' θεωρείται πιο κατάλληλος.

Ο ορισμός που προτείνεται από τους Varnes και της Επιτροπής IAEG σχετικά με τις κατολισθήσεις παραμένει ο πλέον ευρέως αποδεκτός ορισμός για τους φυσικούς κινδύνους. Ο ορισμός ενσωματώνει - περισσότερο ή λιγότερο ρητά - τις έννοιες: (i) του μεγέθους, (ii) τη γεωγραφική θέση, και (iii) το χρόνο υποτροπής. Η πρώτη έννοια αναφέρεται στο «μέγεθος» ή την «ένταση» του φυσικού φαινομένου που ρυθμίζει την συμπεριφορά και την καταστροφική δύναμη του φαινομένου. Η δεύτερη υπονοεί τη δυνατότητα να προσδιοριστεί η θέση "όπου" το φαινόμενο θα εμφανιστεί ή μπορεί να αναπτυχθεί. Η τρίτη αναφέρεται στην χρονική συχνότητα της εκδήλωσης, δηλαδή, την ικανότητα να προβλέψει το «πότε» ή το πόσο συχνά η αναμενόμενη εκδήλωση θα συμβεί (Guzzettietal., 1999a).

2.3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ

Κατά την αξιολόγηση της πιθανότητας εμφάνισης κατολισθήσεων εντός συγκεκριμένης χρονικής περιόδου και μέσα σε μια δεδομένη περιοχή, είναι πρωταρχικής σημασίας η αναγνώριση των συνθηκών που προκάλεσαν αστάθεια στη πλαγιά καθώς και οι διεργασίες που προκάλεσαν την κίνηση.

Διάφορες τεχνικές ή εργαλεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζί με διαφορετικές προσεγγίσεις για να καθοριστούν οι πιθανά ασταθείς περιοχές ή να αξιολογηθεί η επιδεκτικότητά τους σε κατολισθήσεις. Αυτές οι τεχνικές μπορούν με γενική αποδοχή να διαχωριστούν σε τέσσερις ομάδες:

- εμπειρική αξιολόγηση
- στατιστικές μέθοδοι
- μη-αιτιοκρατικό μοντέλο και
- μηχανική προσέγγιση

Η εμπειρική αξιολόγηση είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη προσέγγιση για την εκτίμηση της κατολισθητικής επικινδυνότητας (Nash, 1987; Evanset al., 1997 κτλ). Η εμπειρική αξιολόγηση μπορεί να περιλαμβάνει δεδομένα κατολισθήσεων από χαρτογραφικούς καταλόγους ή/και ευρετικές προσεγγίσεις. Τα δεδομένα χαρτογραφημένων κατολισθήσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν μια στοιχειώδης μορφή χάρτη επιδεκτικότητας επειδή δίνουν έμφαση στην θέση και στις διαστάσεις των καταγεγραμμένων κατολισθήσεων (Dai και Lee, 2001; Daietal., 2002). Στις ευρετικές μεθόδους, για τον υπολογισμό ή/και την ταξινόμηση της επικινδυνότητας για κατολισθήσεις, χρησιμοποιείται η προσωπική γνώμη με βάση τις οιονεί-στατικές μεταβλητές όμως μόνο (Fall, 2000; Dai και Lee, 2001). Ο κύριος

λόγος που έχει επικριθεί η μεθοδολογία της εμπειρικής αξιολόγησης είναι η υποκειμενικότητα στην λήψη των αποφάσεων, επειδή οι χάρτες επικινδυνότητας από διαφορετικούς ερευνητές μπορούν να είναι πολύ διαφορετικοί, σύμφωνα με την εμπειρική αξιολόγηση. Παρόλα αυτά είναι εμφανές ότι η προσέγγιση που βασίζεται στην εμπειρική αξιολόγηση θα συνεχίσει να είναι η πιο δημοφιλής και πολλαπλών χρήσεων αλλά χρήζει βελτίωσης. Αυτό σημαίνει ότι είναι απαραίτητο να καταφύγει κανείς σε πιο εξελιγμένες τεχνικές για εκτίμηση είτε της επιδεκτικότητας σε κατολισθήσεις, είτε της επικινδυνότητας (λ.χ. στατιστικές μεθόδους, μηχανικές μεθόδους, κτλ)

Οι στατιστικές μέθοδοι αναπτύχθηκαν για να ξεπεραστεί το σχετικά υψηλό επίπεδο υποκειμενικότητας που εμπεριέχει η εμπειρική αξιολόγηση. Περιλαμβάνουν τον στατιστικό προσδιορισμό των συνδυασμών των μεταβλητών που προκάλεσαν προηγούμενα επεισόδια αστάθειας (Dai και Lee, 2001). Στην συνέχεια εφαρμόστηκαν σε περιοχές που δεν έχουν επηρεαστεί από κατολισθήσεις, αλλά παρουσιάζουν τις ίδιες συνθήκες, ποσοτικοί ή ημι-ποσοτικοί υπολογισμοί (Dai και Lee, 2001). Σε πολλές εργασίες έχουν εφαρμοστεί τόσο απλές όσο και πολλαπλών-μεταβλητών στατιστικές μέθοδοι για την επιτυχημένη εκτίμηση της κατολισθητικής επικινδυνότητας (Carrara και Guzzetti, 1995; Dieu et al., 2011 κτλ). Γενικά, οι στατιστικές μέθοδοι θεωρούνται η πιο κατάλληλη προσέγγιση για τη χαρτογράφηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας σε μεσαίες κλίμακες 1: 10.000 - 1: 50.000, διότι σε αυτή την κλίμακα είναι δυνατόν να χαρτογραφηθούν με λεπτομέρεια οι κατολισθήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο παρελθόν και να συγκεντρωθούν επαρκείς πληροφορίες σχετικά με τις μεταβλητές που θεωρούνται ότι σχετίζονται με την εμφάνισή τους.

Για δοσμένες πλαγιές στο πεδίο, ως πιθανότητα αστοχίας θεωρείται συνήθως η πιθανότητα ο συντελεστής ασφάλειας να είναι μικρότερος από τη μονάδα. Η εξίσωση απόδοσης των πρυνών, που συμβολίζεται με $G(X)$, όπου το X είναι η συλλογή τυχαίων παραμέτρων εισόδου, είναι μια εξίσωση που καθορίζει την κατάσταση αστοχίας ή ασφάλειας της πλαγιάς. Η συνάρτηση ορίζεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε αστοχία νοείται όταν $G(X) < 0$ ενώ ασφάλεια όταν $G(X) > 0$. Το όριο που καθορίζεται από το $G(X) = 0$ και διαχωρίζει τις ασφαλείς περιοχές από τις πιθανές να δώσουν αστοχία καλείται *όριο οριακής κατάστασης*.

Η συνάρτηση απόδοσης για μία πλαγιά συνήθως λαμβάνεται από μια από τις ακόλουθες μορφές

$$G(X) = R(X) - S(X) \quad (1)$$

ή

$$G(X) = F(X) - 1 \quad (2)$$

όπου $R(X)$ είναι η αντίσταση και $S(X)$ είναι η δράση, και $F(X)$ είναι ο συντελεστής ασφάλειας. Η μορφή της Εξ. (2) είναι πιο κοινή επειδή η ασφάλεια των πρανών χαρακτηρίζεται παραδοσιακά από τον συντελεστή ασφαλείας. Η μορφή της Εξ. (1), όμως, είναι προτιμότερη, επειδή έχει χαμηλότερο βαθμό μη γραμμικότητας (Mostyn και Fell, 1997).

Μόλις οριστεί η συνάρτηση απόδοσης, η πιθανότητα αστοχίας μιας πλαγιάς μπορεί να εκτιμηθεί με τις ακόλουθες μεθόδους:

1. Η μέθοδος first-order-second-moment (FOSM). Η μέθοδος αυτή χαρακτηρίζει την κατανομή συχνότητας του συντελεστή ασφάλειας F σε όρους μέσης τιμής μ_F και την τυπική απόκλιση σ_F . Ο δείκτης αξιοπιστίας β είναι δυνατόν να υπολογιστεί από τον τύπο $b = (\mu_F - 1.0) / \sigma_F$. Ο δείκτης β μπορεί να θεωρηθεί ως ένας δείκτης του βαθμού αβεβαιότητας και μπορεί να σχετίζεται με την πιθανότητα της αστοχίας, αν η κατανομή συχνοτήτων είναι γνωστή.
2. Η προσομοίωση Monte Carlo. Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει μια αυτοματοποιημένη διαδικασία δειγματοληψίας που χρησιμοποιείται για την προσέγγιση της κατανομής της πιθανότητας του συντελεστή ασφαλείας επαναλαμβάνοντας την ανάλυση πολλές φορές. Παράγεται έτσι ένα σύνολο τυχαίων αριθμών σύμφωνα με τις επιλεγμένες κατανομές συχνότητας των παραμέτρων εισόδου, για τις τυχαίες μεταβλητές.

Παρόλα αυτά, το πιο σοβαρό μειονέκτημα της χρήσης των στατιστικών μεθόδων είναι η συλλογή δεδομένων από περιοχές μεγάλης έκτασης και μερικές φορές για μεγάλα χρονικά διαστήματα σχετικά με την κατανομή των κατολισθήσεων και των παραγόντων. Μπορεί να γίνει αρκετά δύσκολη η διαδικασία της συλλογής αυτών των δεδομένων κάτω από αποδεκτό κόστος. Μια ακόμα πιθανή πηγή λάθους, η οποία είναι συχνή σε όλες τις στατιστικές μεθόδους, είναι η ποιότητα καθώς και η λεπτομέρεια της συχνότητας των κατολισθήσεων ή των δεδομένων των παραγόντων πάνω στους οποίους βασίζονται οι συσχετίσεις. Έτσι, τα αποτελέσματα εξαρτώνται έντονα από την ποιότητα των δεδομένων.

Προσανατολισμένα προς την πολυπλοκότητα των κατολισθήσεων πολλά μη-αιτιοκρατικά μοντέλα εφαρμόστηκαν, όπως το Μοντέλο Ύλης-Στοιχείου (Wu και Tang, 2003), ένα ασαφές σύνολο μεθόδων (Chietal., 2002; Metternicht και Gonzalez, 2005; κτλ.), το μοντέλο Τεχνητής Νοημοσύνης γνωστό και ως Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο (ΤΝΔ) ή Artificial Neural Network (ANN) (Aroraetal., 2004; Wu, 2005; κτλ.), και τα ασαφή νευρωνικά μοντέλα (Elias και Bandis, 2000; Leeetal., 2013; κτλ.). Ως Τεχνητή Νοημοσύνη (ΤΝ) θεωρείται μια προσπάθεια για την κατανόηση των διαδικασιών της αντίληψης και της εκλογίκευσης που συνιστούν στην επιτυχή επίλυση του προβλήματος καθώς και μια προσπάθεια ενσωμάτωσης των αποτελεσμάτων σε αποδοτικά προγράμματα υπολογιστών. Πολλές από τις εξελίξεις αυτές στην Τεχνητή Νοημοσύνη είναι κατά κανόνα γενικά εφαρμόσιμες σε περιβάλλον GIS. Τα τελευταία 10 χρόνια παρατηρείται αξιοσημείωτη αύξηση

στην εφαρμογή της Τεχνητής Νοημοσύνης σε πολλά πρακτικά προβλήματα. Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα είναι δίκτυα υψηλά διασυνδεδεμένων νευρωνικών υπολογιστικών στοιχείων τα οποία έχουν την δυνατότητα να αποκρίνονται στα ερεθίσματα που εισάγονται και να μαθαίνουν να προσαρμόζονται στο αντίστοιχο περιβάλλον. Το ΤΝΔ εγκαθιδρύει κανόνες κατά την διάρκεια της φάσης εκμάθησης και χρησιμοποιεί τον κανόνα για να προβλέψει το εξαγωγικό αποτέλεσμα κατά την ανάκληση. Αν και τα ΤΝΔ είναι κατάλληλα στην εγκαθίδρυση κανόνων μεταξύ εισαγωγής και εξαγωγής, δεν επεξηγούν καθόλου το πως πάρθηκαν αυτές οι αποφάσεις.

Στην *μηχανική προσέγγιση* χρησιμοποιούνται αιτιοκρατικές (ή για μερικούς συγγραφείς ντετερμινιστικές) μέθοδοι (π.χ. μέθοδος οριακής ισορροπίας) ή/και αριθμητικές μέθοδοι (π.χ. συνεχές ή διακεκομμένο μοντέλο) για την εκτίμηση και ανάλυση της σταθερότητας του πρανούς. Αιτιοκρατικά ή αριθμητικά μοντέλα ευστάθειας πρανούς έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς εδώ και πολλά χρόνια για την για την εκτίμηση της επικινδυνότητας για κατολισθήσεις (Wardetal., 1981; Fall και Azzam 2001; κτλ). Το πλεονέκτημα της εφαρμογής των μηχανικών μοντέλων (αιτιοκρατικά ή αριθμητικά μοντέλα) στην εκτίμηση της επικινδυνότητας κατολισθήσεων είναι ότι αυτά τα μοντέλα είναι αξιόπιστα και σταθερά. Με αυτά τα μοντέλα είναι εφικτό να ποσοτικοποιήσεις την ευστάθεια των πρανών με έναν συντελεστή ασφαλείας (Western Vanetal., 1997). Επιπροσθέτως, σήμερα, η ανάπτυξη διαφόρων ιδιοσυστατικών μοντέλων για γεωυλικά και αριθμητικούς κώδικες, σε συνδυασμό με τις αυξανόμενες επιδόσεις των υπολογιστών, μας επιτρέπει να προβλέψουμε, να προσομοιώσουμε και να εκτιμήσουμε την συμπεριφορά ή την ευστάθεια οποιουδήποτε πρανούς μας ενδιαφέρει αναφορικά με διαφορετικούς παράγοντες αστάθειας με σχετικά μεγάλη ακρίβεια. Τα αποτελέσματα που παράγονται από την ανάλυση ευστάθειας με μηχανικά μοντέλα, μπορούν ακόμα να χρησιμοποιηθούν άμεσα από τους μηχανικούς στο σχεδιασμό των κατασκευαστικών ή εξυγιαντικών εργασιών. Ωστόσο, λόγω της υψηλής χωρικής διαφοροποίησης των γεωτεχνικών παραμέτρων (δεδομένα εισόδου των μηχανικών μοντέλων) και των εργαστηριακών μεθόδων που εμπλέκονται για την απόκτηση αυτών των δεδομένων, μια αποδεκτή προσέγγιση αυτών των τιμών είναι πρακτικά εφικτή μόνο στο επίπεδο της επιτόπου παρατήρησης, κάτι που κάνει πρακτικά αδύνατη την εκτίμηση της κατολισθητικής επικινδυνότητας σε περιοχές μεγάλης κλίμακας λόγω υψηλού κόστους σε σχέση με το όφελος. Ως εκ τούτου, για τον υπολογισμό της κατολισθητικής επιδεκτικότητας ή επικινδυνότητας σε εκτενείς περιοχές, οι μηχανικές μέθοδοι θα πρέπει να εφαρμόζονται μόνο για την μελέτη της ευστάθειας συγκεκριμένων πρανών, τα οποία δεν μπορούν να προσδιοριστούν με

ικανοποιητική ακρίβεια από τις άλλες μεθόδους εκτίμησης της κατολισθητικής επικινδυνότητας.

Η ανασκόπηση των διαφορετικών μεθόδων εκτίμησης της κατολισθητικής επικινδυνότητας και της ευστάθειας του πρηνούς που αναφέρθηκαν παραπάνω, δείχνει ότι όλες οι προσεγγίσεις για τον υπολογισμό της επιδεκτικότητας ή της επικινδυνότητας κατολισθήσεων παρουσιάζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η πετυχημένη χρήση της μιας μεθόδου ή της άλλης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η κλίμακα της υπό μελέτη περιοχής, την ακρίβεια των αναμενόμενων αποτελεσμάτων, την διαθεσιμότητα των δεδομένων, κτλ. Επιπλέον, η χρήση μόνο μιας μεθόδου από τις αναφερθείσες, για την μελέτη της ευστάθειας των φυσικών πρηνών ή για την εκτίμηση της κατολισθητικής επικινδυνότητας, αδυνατεί να αποδώσει επαρκώς από την άποψη της σχέσης κόστους-αποδοτικότητας. Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη την πολυπλοκότητα του προβλήματος αλλά και τον οικονομικό παράγοντα, μόνο μία πολλαπλών-μεθόδων προσέγγιση αξιολόγησης των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα μπορεί να επιφέρει ικανοποιητικά αποτελέσματα στην μελέτη της ανάλυσης ευστάθειας αλλά και της επικινδυνότητας. Επιπροσθέτως, εφόσον ο όγκος των δεδομένων που πρέπει επεξεργαστούν και να μεταφραστούν είναι μεγάλος, η χρήση των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (geographical informations system (GIS) έχει συμβάλει σημαντικά στην βελτίωση της ποιότητας των αποτελεσμάτων αυτής της διαδικασίας (Carrara και Guzzetti, 1995; Devkotaetal., 2013; κτλ).

2.4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.4.1 Αιτιοκρατικό μοντέλο

Στην παράγραφο αυτή θα γίνει μια προσπάθεια να αναλυθεί η μεθοδολογία εκτίμησης της επικινδυνότητας με χρήση της μηχανικής προσέγγισης, και πιο συγκεκριμένα με χρήση του αιτιοκρατικού μοντέλου. Τα αιτιοκρατικά μοντέλα συνήθως βασίζονται στην εφαρμογή απλών μοντέλων που συνδυάζουν την ύπαρξη υπόγειας ροής νερού και την ανάλυση ευστάθειας πλαγιάς "*απείρου*" μήκους σε μια διάσταση, για να εκτιμήσουν το δυναμικό ή την σχετική αστάθεια των πρηνών σε μια ευρεία περιοχή έρευνας (Montgomery και Dietrich, 1994; Terlienetal., 1995; Wu και Sidle, 1995; Borgaetal., 1998; Baumetal., 2002; Casadeiatal., 2003; Savageetal., 2003; Salciarinietal., 2006, Harpetal., 2006, Godtetal., 2008).

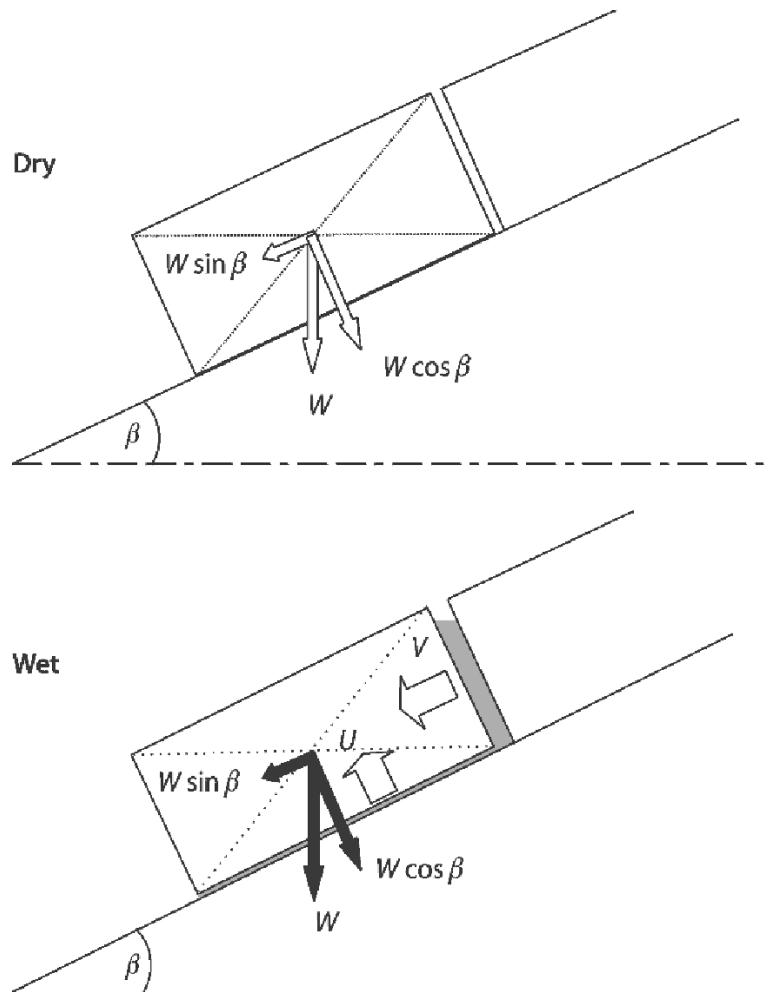
Σε πολλές μεγάλες κατολισθήσεις, η κύρια ποσότητα της ολισθαίνουσας μάζας κινείται κατά προσέγγιση παράλληλα με την επιφάνεια του εδάφους. Η φύση της ολίσθησης καθορίζεται από τα γεωλογικά χαρακτηριστικά όπως για παράδειγμα το είδος του πετρώματος και του χαμηλής συνοχής υλικού πλήρωσης (όπως ιλύς, άργιλος κτλ) που γεμίζει τις ασυνέχειες. Όταν αναφερόμαστε σε πλαγιά "απείρου" μήκους εννοούμε ότι το μήκος της είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από το πάχος του δυνητικά ασταθούς υλικού. Επίσης εννοούμε ότι είναι αρκετά μεγάλη σε μήκος έτσι ώστε οι συνθήκες στην βάση και στην κορυφή της πλαγιάς, καθότι είναι αρκετά απομακρυσμένες, να επηρεάζουν ελάχιστα την σταθερότητα της ολισθαίνουσας επιφάνειας. Αυτές οι προϋποθέσεις συνήθως συναντώνται όταν το δυνητικά ασταθές στρώμα είναι σχετικά λεπτό και υπέρκειται ενός αρκετά σκληρότερου υλικού και το μοντέλο αυτό βρίσκει πρακτικά εφαρμογή στην μελέτη ολισθήσεων πάνω σε ορισμένο επίπεδο. Ένας απλός τρόπος για να εκτιμηθεί η ευστάθεια ενός πρανού "απείρου" μήκους κάτω από ορισμένες συνθήκες είναι με τον υπολογισμό του *Συντελεστή Ασφαλείας* (*Factor of Safety*). Ο Συντελεστής Ασφαλείας εκφράζει τον λόγο των δυνάμεων που δρουν στο υπό ολίσθηση τέμαχος και πιο συγκεκριμένα είναι ο λόγος:

$$F_s = \frac{\text{Δυνάμεις που συγκρατούν έναντι ολίσθησης}}{\text{Δυνάμεις που ωθούν προς ολίσθηση}}$$

Από το παραπάνω πηλίκο είναι εμφανές ότι όταν ο ΣΑ είναι πάνω από 1 έχουμε κατάσταση ευστάθειας στο υπό εξέταση πρανές στις συγκεκριμένες συνθήκες, ενώ όταν είναι κάτω από 1 το πρανές είναι ασταθές. Συντελεστής ασφαλείας ίσος με την μονάδα σημαίνει οριακή ευστάθεια. Σε έρευνες ευστάθειας πρανούς για τεχνικές κατασκευές όπως στην οδοποιία, όμως η οριακή ευστάθεια δεν είναι αρκετή. Συνεπώς γίνεται προσπάθεια ο ΣΑ να βγάζει αποτέλεσμα μεγαλύτερο από 1,5 για να προχωρήσει η εταιρία σε έναρξη της κατασκευής.

Στο παρακάτω σχήμα θεωρούμε ένα απλό παράδειγμα επίπεδης αστοχίας στο οποίο έχουμε ορισμένο τέμαχος βράχου να στέκεται ή μάλλον να ολισθαίνει, πάνω σε μια ασυνέχεια υπό κλίση. Η ανάλυση αυτής της κατάστασης είναι η βάση όλων των υπολογισμών για κάθε τύπο αστοχίας σε προβλήματα ευστάθειας πρανού. Οι παράγοντες που συνεισφέρουν στην ευστάθεια του πρανού σε στεγνές συνθήκες είναι:

- η συνοχή του υλικού (c),
- η γωνία εσωτερικής τριβής (φ),
- η γωνία της πλαγιάς (β),
- η επιφάνεια στην βάση του τεμάχους (Α) και
- το βάρος του τεμάχους (W).



Σχήμα 2: Ανάλυση δυνάμεων σε μπλοκ υπό ολίσθηση

Κάτω από τις παραπάνω στεγανές συνθήκες επομένως ο Συντελεστής Ασφαλείας υπολογίζεται ως:

$$F_s = \frac{cA + (W \cos \beta) \tan \phi}{W \sin \beta}$$

Εάν οι ανοιχτές ρωγμές όμως πίσω από το τέμαχος υπό ολίσθηση πληρωθούν με νερό το οποίο στην συνέχεια αρχίζει να ρέει κάτω από την επιφάνεια στην βάση του μπλοκ, δημιουργούνται δύο επιπρόσθετες δυνάμεις που ωθούν το μπλοκ προς ολίσθηση.

- Η δύναμη V, η οποία είναι η υδροστατική πίεση που αναπτύσσεται μέσα στην ρωγμή ανάμεσα στο υπό ολίσθηση κομμάτι και το υπερκείμενο σταθερό πρανές και
- η δύναμη U, η οποία είναι δύναμη άνωσης η οποία ουσιαστικά ελαττώνει σημαντικά την δύναμη της τριβής μεταξύ του μπλοκ και του υποκείμενου στερεού υποβάθρου στην επιφάνεια του οποίου γίνεται η ολίσθηση.

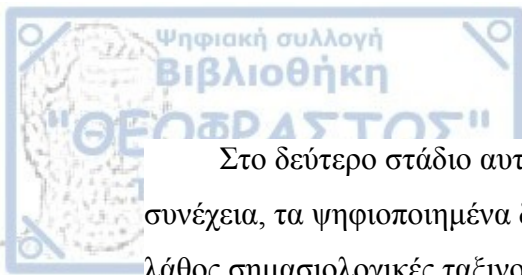
Γίνεται φανερό ότι το μέγεθος των παραπάνω δυνάμεων εξαρτάται από δύο παράγοντες. Πρώτον, από την ένταση και την διάρκεια της βροχόπτωσης και δεύτερον από το κατά πόσο είναι δυνατόν να στραγγίζεται αυτό το νερό ή αντιθέτως να συσσωρεύεται στα κενά που δημιουργούνται από τις διακλάσεις, δηλαδή από την περατότητα του υποκείμενου πετρώματος και των συνθηκών περατότητας στην απόληξη του υπό ολίσθηση μπλοκ. Κάτω από υγρές συνθήκες επομένως ο Συντελεστής Ασφαλείας μπορεί να υπολογισθεί από τον ακόλουθο τύπο:

$$FS = \frac{cA + (W \cos \beta - U) \tan \phi}{(W \sin \beta) + V}$$

2.4.2 Μια προσέγγιση με χρήση πολλαπλών μεθόδων

Το διάγραμμα 2.1 δείχνει μια μεθοδολογία αξιολόγησης της ευστάθειας και της επιδεκτικότητας κατολισθήσεων μιας φυσικής πλαγιάς, η οποία είναι βασισμένη σε πολλαπλές μεθόδους (αιτιοκρατικό μοντέλο και αριθμητική μέθοδο) καθώς και τη σχέση μεταξύ των διαφόρων σταδίων εργασιών των ερευνών που διενεργήθηκαν. (Fall, Azzam, & Noubacter, 2006). Η μέθοδος που παρουσιάζεται περιλαμβάνει τέσσερα βασικά στάδια.

Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει έρευνες πεδίου και εργαστηριακές. Ενώ οι έρευνες πεδίου ασχολήθηκαν με τη μελέτη των γεωλογικών και γεωτεχνικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης, οι εργαστηριακές έρευνες, έχουν ως στόχο να μελετήσουν την γεωτεχνική συμπεριφορά των εδαφών και πετρωμάτων που υπάρχουν στο πεδίο όσον αφορά τη σταθερότητα του πρανούς. Η διεξαγωγή των εκτεταμένων ερευνών πεδίου και εργαστηρίου επιτρέπει τη συλλογή ενός ευρέος φάσματος δεδομένων και πληροφοριών σχετικά με τη γεωλογία, την υδρογεωλογία, και την τεχνική γεωλογία της υπό μελέτη περιοχής, τη μηχανική συμπεριφορά των εδαφών / πετρωμάτων καθώς την σταθερότητα των πρανών. Η ανάλυση αυτών των δεδομένων έχει δημιουργήσει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τους παράγοντες αστάθειας. Στη συνέχεια τα αποτελέσματα των εργαστηριακών και υπαίθριων μελετών απεικονίζονται σε τοπογραφικούς χάρτες μεγάλης κλίμακας (1/500, 1/1000) για την δημιουργία αναλογικών γεωτεχνικών, υδρογεωλογικών και δομικών χαρτών κατολισθήσεων για την υπό μελέτη περιοχή. Όλα τα δεδομένα που λαμβάνονται από αυτό το πρώτο στάδιο χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου για την εκτίμηση του GIS (δηλαδή το δεύτερο στάδιο).

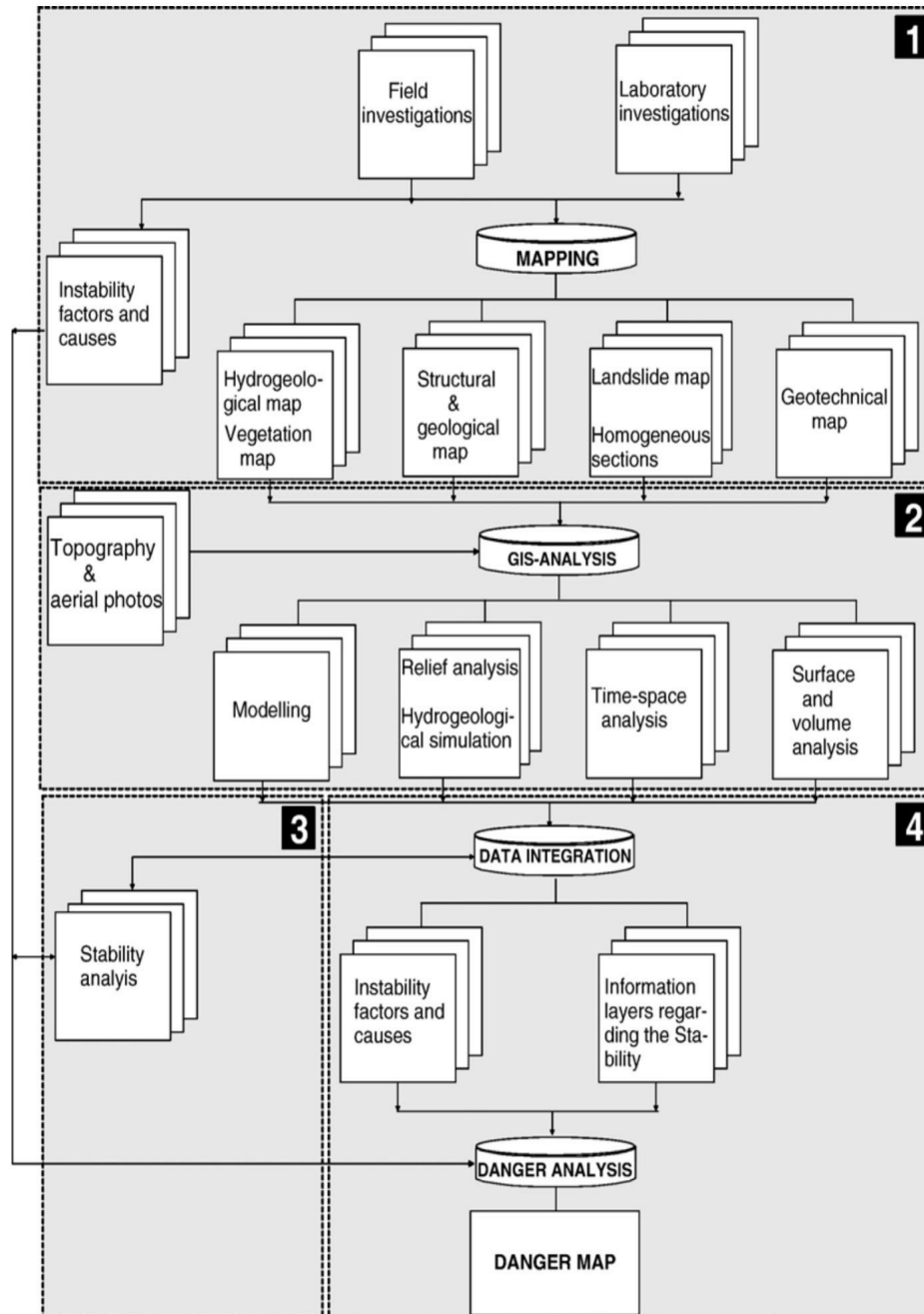


Στο δεύτερο στάδιο αυτής της μελέτης, οι ανεπτυγμένοι χάρτες ψηφιοποιούνται. Στη συνέχεια, τα ψηφιοποιημένα δεδομένα ελέγχονται για τυχόν γεωμετρική ανακρίβεια και για λάθος σημασιολογικές ταξινομήσεις, καθώς επίσης και για την πληρότητα τους, πριν από την εφαρμογή τους. Αυτές οι πληροφορίες σε συνδυασμό με τα υψομετρικά δεδομένα από τους ψηφιοποιημένους τοπογραφικούς χάρτες και τις αεροφωτογραφίες μεγάλης κλίμακας (1/500, 1/1000) και διαφορετικών ετών (1953, 1961, 1981), αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων GIS. Για να διευκολυνθεί η επεξεργασία των δεδομένων και σε συγκεκριμένες λειτουργίες επικάλυψης χαρτών, όλα τα δεδομένα, αποθηκεύονται ως αρχεία ARC / INFO, αφού πρώτα μετατραπούν από δομή vector σε δομή raster και στη συνέχεια μεταφερθούν σε ένα GIS raster-based (ArcView) για μεταγενέστερη ανάλυση. Έτσι, η ενσωμάτωση και ο συνδυασμός των υψομετρικών δεδομένων με τα δεδομένα από το πεδίο και τις εργαστηριακές έρευνες έχει επιτευχθεί. Η χρήση μεθόδων GIS επιτρέπει την αξιολόγηση και ανάλυση τόσο των υψομετρικών και χωρικών δεδομένων, όσο και τα αποτελέσματα των υπαίθριων και εργαστηριακών ερευνών. Τα χρήσιμα αποτελέσματα που λαμβάνονται, σχετίζονται με παράγοντες αστάθειας, προσομοίωση της αστοχίας των πρανών, διάβρωση ακτών, χωρική ανάπτυξη των ασταθών περιοχών, και των μηχανισμών κατολίσθησης. Η χρήση του GIS έχει επίσης καταστήσει δυνατή την αναγνώριση όλων των ενεργών ή παλιών ζωνών κατολισθήσεων με ένα οικονομικό και αποτελεσματικό τρόπο.

Στην τρίτη φάση της μελέτης, πραγματοποιήθηκε μηχανική (γεωτεχνική) ανάλυση της ευστάθειας των φυσικών πρανών, στα οποία η σταθερότητα ή η αστάθεια δεν θα μπορούσε να αποδειχθεί από την ανάλυση GIS. Αυτή η ανάλυση ευστάθειας βασίστηκε στις ντετερμινιστικές μεθόδους ή/και την αριθμητική μοντελοποίηση. Ο υπολογισμός της ευστάθειας της γεωτεχνικής κλίσης ή η ανάλυση της ευστάθειας διεξήχθη εκτός περιβάλλοντος GIS με τα υφιστάμενα υδρολογικά μοντέλα σταθερότητας. Τα στοιχεία εξάγονται από το GIS σε εξωτερικά λογισμικά. Η χρήση των ντετερμινιστικών και αριθμητικών μεθόδων μας επέτρεψε την ποσοτικοποίηση των παραγόντων ευστάθειας ή την κατάσταση αυτών των πρανών. Επιπλέον μας έδωσε τη δυνατότητα να κατανοήσουμε σε βάθος το ρόλο τόσο των γεωτεχνικών συνθηκών (εδάφη και πετρώματα ιδιότητες, κλίση γεωμετρικά χαρακτηριστικά, κλπ) όσο και των συνθηκών του υπόγειου νερού στην σταθερότητα των φυσικών πρανών που υπάρχουν στην περιοχή μελέτης. Στη συνέχεια τα αποτελέσματα της ανάλυσης της γεωτεχνικής ευστάθειας εισάγονται και πάλι στο σύστημα GIS για ενσωματωθούν μέσα σε αυτό.

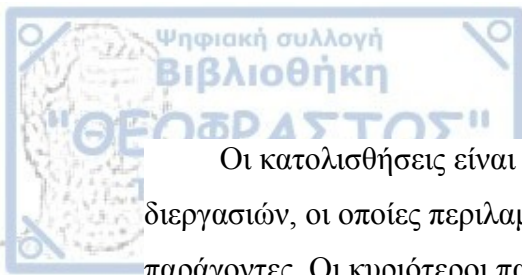
Τέλος, στο τελευταίο στάδιο της μελέτης, όλα τα δεδομένα που προκύπτουν

από το πεδίο και τις εργαστηριακές έρευνες, από την ανάλυση του GIS, και την μηχανική ανάλυση ευστάθειας ενσωματώνονται και αναλύονται. Αυτό οδηγεί στην ανάπτυξη ενός χάρτη επιδεκτικότητας κατολισθήσεων για την συγκεκριμένη περιοχή.



Διάγραμμα 2.1: Μεθοδολογία για την αξιολόγηση της ευστάθειας. 1, 2, 3, 4: διαφορετικά στάδια της μελέτης.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ



Οι κατολισθήσεις είναι αποτέλεσμα μιας ευρείας ποικιλίας γεω-περιβαλλοντικών διεργασιών, οι οποίες περιλαμβάνουν γεωλογικούς, μετεωρολογικούς και ανθρώπινους παράγοντες. Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τις κατολισθήσεις συζητήθηκαν από τους Varnes (1984) και Hutchinson (1995). Οι σημαντικότεροι, ωστόσο, εγγενείς παράγοντες είναι η γεωλογία (λιθολογία, δομή, βαθμός της διάβρωσης), η γεωμορφολογία (κλίση, πτυχή), το έδαφος (βάθος, δομή, διαπερατότητα και το πόσο αραιή είναι η ύλη) καθώς και οι συνθήκες που αφορούν την παρουσία νερού στο έδαφος. Επίσης, οι κατολισθήσεις προκαλούνται από πολλούς εξωγενείς παράγοντες όπως οι ανατινάξεις, οι γεωτρήσεις αλλά και τα κατακρημνίσματα.

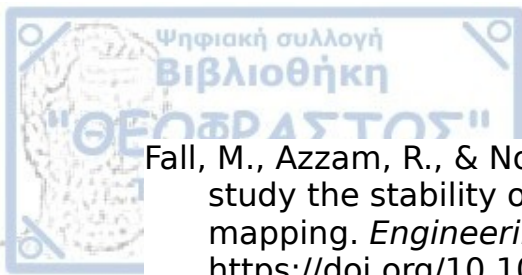
Οι παραπάνω εγγενείς παράγοντες επιτρέπουν την αξιολόγηση της επικινδυνότητας των κατολισθήσεων, δηλαδή την αναμενόμενη πιθανότητα μιας μαζικής μετακίνησης δοσμένης έντασης σε συγκεκριμένο χώρο και χρόνο. Αυτό ουσιαστικά σημαίνει ότι, η αξιολόγηση των διαδικασιών της επικινδυνότητας κατολισθήσεων, θα πρέπει να λάβει υπόψη τόσο την χωρική όσο και την χρονική πρόβλεψη. Η χωρική κατανομή των κινδύνων παρουσιάζεται σε χάρτες επικινδυνότητας κατολισθήσεων που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση του πιθανού κινδύνου κατολισθήσεων, τη λήψη καταλλήλων μέτρων πρόληψης, την προστασία για την αποφυγή κινδύνων κατολισθήσεων και τη μείωση μελλοντικών ζημιών και απώλειας ζωών.

Γενικά, ο καθορισμός της επικινδυνότητας των κατολισθήσεων αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο στρατηγικού σχεδιασμού που μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στη λήψη ορθολογικών αποφάσεων, στην επισήμανση των πλέον επικίνδυνων θέσεων εμφάνισης κατολισθήσεων και στη δημιουργία κουλτούρας πρόληψης σε διατομεακό επίπεδο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

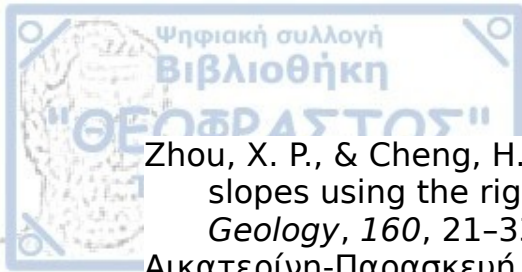
A spatial decision support system for extracting the core factors and thresholds for landslide susceptibility map - 1-s2.0-S0013795209001689-main.pdf. (n.d.). Retrieved May 15, 2015, from <http://ac.els-cdn.com/S0013795209001689/1-s2.0->

- S0013795209001689-main.pdf?_tid=ad4807b0-fb2a-11e4-beaa-00000aabb0f02&acdnt=1431712324_6cadbbb6f138766164ccc62287066ad0
- Anbalagan, R., Kumar, R., Lakshmanan, K., Parida, S., & Neethu, S. (2015). Landslide hazard zonation mapping using frequency ratio and fuzzy logic approach, a case study of Lachung Valley, Sikkim. *Geoenvironmental Disasters*, 2. <https://doi.org/10.1186/s40677-014-0009-y>
- Balance, A., & Assessment, R. (n.d.). Landslide Hazards in BC. *Prevention*.
- Bolt Horn, M. S. (n.d.). *Geological Hazards* (Revised, 2). Springer - Verlag.
- Cascini, L. (2008). Applicability of landslide susceptibility and hazard zoning at different scales. *Engineering Geology*, 102(3-4), 164-177. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.016>
- Cascini, L., Bonnard, C., Corominas, J., Jibson, R., & Montero-Olarte, J. (2005). Landslide hazard and risk zoning for urban planning and development. *Proceeding of the International Conference on Landslide Risk Management, Vancouver, Canada*. A.A. Balkema Publishers, Taylor & Francis Group, London, 199-235. Retrieved from <http://infoscience.epfl.ch/record/94600>
- Catani, F., Casagli, N., Ermini, L., Righini, G., & Menduni, G. (2005). Landslide hazard and risk mapping at catchment scale in the Arno River basin. *Landslides*, 2(4), 329-342. <https://doi.org/10.1007/s10346-005-0021-0>
- Columbia, B., & Kong, H. (n.d.). *Landslides Types, Mechanisms and Modeling*. (J. J. C. and D. Stead, Ed.). Cambridge.
- Comparison of the implementation of rock engineering system and analytic hierarchy process methods, upon landslide susceptibility mapping, using GIS: a case study from the Eastern Achaia County of Peloponnesus, Greece1007%2Fs12665-010-0687-z.pdf. (n.d.). Retrieved May 15, 2015, from http://download-v2.springer.com/static/pdf/62/art%253A10.1007%252Fs12665-010-0687-z.pdf?token2=exp=1431712216~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F62%2Fart%25253A10.1007%25252Fs12665-010-0687-z.pdf*~hmac=dcd7fe2c92430235efb9c637638857d800796f77f3c6529ff2dd74eb9a5e98ae
- Cornforth-, D. (n.d.). Landslides in practice _ investigation, analysis, and remedial_preventive options in soils-J. Wiley (2005).pdf.
- Corominas, J., Copons, R., Vilaplana, J. M., Altimir, J., & Amigó, J. (2003). Integrated landslide susceptibility analysis and hazard assessment in the principality of Andorra. *Natural Hazards*, 30(3), 421-435. <https://doi.org/10.1023/B:NHAZ.0000007094.74878.d3>
- Dai, F. ., Lee, C. ., & Ngai, Y. . (2002). Landslide risk assessment and management: an overview. *Engineering Geology*, 64(1), 65-87. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(01\)00093-X](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(01)00093-X)
- Das, I., Stein, A., Kerle, N., & Dadhwal, V. K. (2011). Probabilistic landslide hazard assessment using homogeneous susceptible units (HSU) along a national highway corridor in the northern Himalayas, India. *Landslides*, 8(3), 293-308. <https://doi.org/10.1007/s10346-011-0257-9>



- Fall, M., Azzam, R., & Noubactep, C. (2006). A multi-method approach to study the stability of natural slopes and landslide susceptibility mapping. *Engineering Geology*, 82(4), 241-263. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.11.007>
- Godt, J. W., Baum, R. L., Savage, W. Z., Salciarini, D., Schulz, W. H., & Harp, E. L. (2008). Transient deterministic shallow landslide modeling: Requirements for susceptibility and hazard assessments in a GIS framework. *Engineering Geology*, 102(3-4), 214-226. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.019>
- Guzzetti, F. (2005). Landslide hazard and risk assessment, (November), 373.
- Highland, L. M., & Bobrowsky, P. (2008). The Landslide Handbook — A Guide to Understanding Landslides. *Landslides*, 129. <https://doi.org/Circular 1325>
- Jelínek, R., & Wagner, P. (2007). Landslide hazard zonation by deterministic analysis (Veľká Čausa landslide area, Slovakia). *Landslides*, 4(4), 339-350. <https://doi.org/10.1007/s10346-007-0089-9>
- JUVENTINE, E. J. (2012). Landslide Hazards: Household Vulnerability, Resilience and Coping in Bududa District, Eastern Uganda.
- Kumari M. Weerasinghe, Anuradha Malalasekara, Evangeline Ekanayake, S. J. P. (2008). Learning to live with Land Slides. Natural Hazards and Disasters. *Asian Disaster Preparedness Centre, Thailand*.
- Lainas, N. S. • G. K. • E. V. • S. (2012). Landslide susceptibility zonation in Greece. Retrieved May 15, 2015, from http://download-v2.springer.com/static/pdf/904/art%25253A10.1007%25252Fs11069-012-0381-4.pdf?token2=exp=1431712773~acl=%252Fstatic%252Fpdf%252F904%252Fart%2525253A10.1007%2525252Fs11069-012-0381-4.pdf*~hmac=580bdd1f79ec1f83104bcfe710839e3601f3fe6594b3acc2
- Landslide_Terms_dlg. (n.d.). Retrieved from <http://www.eoearth.org/edit/article/51cbee517896bb431f696f13/landslide-diagram>.
- (n.d.). Retrieved from <http://www.wsgs.wyo.gov/Research/hazards/Landslides.aspx>
- landslides' velocity classification. (n.d.). Retrieved from <http://www.australiangeomechanics.org/LRM.pdf>
- Mathewson, C. C. (1981). *Engineering Geology*.
- mw_slopestability. (n.d.). Retrieved from http://w3.salemstate.edu/~lhanson/gls210/gls210_mw.htm
- Neaupane, K. M., & Piantanakulchai, M. (2006). Analytic network process model for landslide hazard zonation. *Engineering Geology*, 85(3-4), 281-294. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2006.02.003>
- Park, H., Lee, J., Kim, K., & Um, J. (2015). Assessment of rock slope stability using GIS-based probabilistic kinematic analysis. *Engineering Geology*. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2015.08.021>
- Persen, L. N., Dynamics, R., & Exploration, G. (1980). *Landslides And Their Control*. (Q. and ZÂRUBA & V. MENCL, Eds.) (2nd ed.). ELSEVIER SCIENTIFIC PUBLISHING COMPANY.
- River impound. (n.d.). Retrieved from <http://pubs.usgs.gov/of/2001/ofr-01-0276/>

- Rotational. (n.d.). Retrieved from <http://www.wsgs.wyo.gov/Research/hazards/Landslides.aspx>
- Rozos, D., Bathrellos, G. D., & Skillodimou, H. D. (2011). Comparison of the implementation of rock engineering system and analytic hierarchy process methods, upon landslide susceptibility mapping, using GIS: A case study from the Eastern Achaia County of Peloponnesus, GREECE. *Environmental Earth Sciences*, 63(1), 49–63. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0687-z>
- Singh, B., Former Professor of Civil Engineering Indian Institute of Technology, & Goel, R. K. (n.d.). *Engineering Rock Mass Classification. Tunneling, Foundations, and Landslides*.
- Symposium, G., & Francisco, S. (2013). Quantification of the Geological Strength Index Chart This paper was prepared for presentation at the 47 th US Rock Mechanics / Quantification of the Geological Strength Index chart.
- Thomas Glade, Malcolm G. Anderson, M. J. C. (2005). *Landslide Hazard and Risk*. (M. J. C. Thomas Glade, Malcolm G. Anderson, Ed.). Wiley.
- Trista L. Thornberry-Ehrlich, modified from V. (1978). Landslides: analysis and control. Colorado State University: Trista L. Thornberry-Ehrlich, Colorado State University modified from Varnes, D. J. 1978. Landslides: analysis and control. Retrieved from http://www.nature.nps.gov/geology/education/education_graphics.cfm
- USGS. (2004). Landslide Types and Processes. *Highway Research Board Special Report*, (July), 1–4. <https://doi.org/Fact Sheet 2004-3072>
- van Westen, C. J., Castellanos, E., & Kuriakose, S. L. (2008). Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. *Engineering Geology*, 102(3–4), 112–131. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.010>
- Vasiliades, E. A. (2010). Ζωνοποίηση της επικινδυνότητας των κατολισθητικών φαινομένων στον ελληνικό χώρο. δημιουργία και εφαρμογή μοντελών με γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών.
- Veder, C. (n.d.). *Landslides and Their Stabilization*. Springer - Verlag.
- Vieira, B. C., Fernandes, N. F., Malamud, B. D., Turcotte, D. L., Guzzetti, F., Reichenbach, P., ... Baum, R. L. (2008). Extension of the Griffith's fracture criteria to saturated clays. *Earth Surface Processes and Landforms*, 33(27 April 2007), 1261–1271. <https://doi.org/10.1002/esp>
- Wan, S. (2009). A spatial decision support system for extracting the core factors and thresholds for landslide susceptibility map. *Engineering Geology*, 108(3–4), 237–251. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.06.014>
- Wang, K. S. H. F. W. G. (n.d.). *Landslides Risk Analysis and Sustainable Disaster Management*. Springer.
- Werner, E. D., & Friedman, H. P. (2010). *Landslides: Causes, types and effects*. New York.
- world_biggest_landslides_2. (n.d.).
- Zhang, S., Zhang, L. M., & Glade, T. (2014). Characteristics of earthquake- and rain-induced landslides near the epicenter of Wenchuan earthquake. *Engineering Geology*, 175(May 2008), 58–73. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2014.03.012>



Zhou, X. P., & Cheng, H. (2013). Analysis of stability of three-dimensional slopes using the rigorous limit equilibrium method. *Engineering Geology*, 160, 21–33. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.03.027>

Αικατερίνη-Παρασκευή, Κ. (2013). « ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΝΟΜΟ ΑΧΑΪΑΣ : ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ».