

ΦΥΣΙΚΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ - ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

# ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ

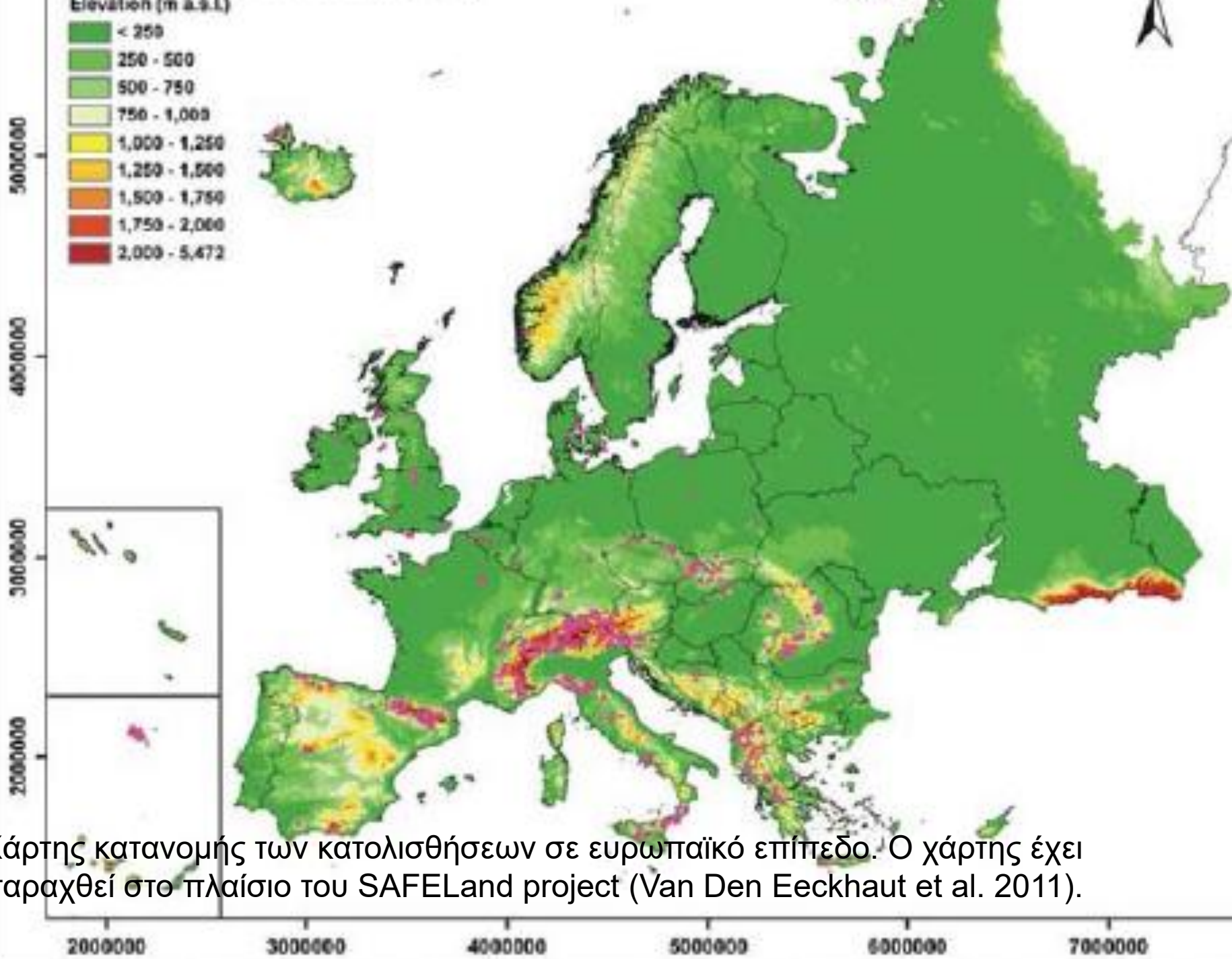
Νικόλαος Ζούρος  
Καθηγητής Φυσικής Γεωγραφίας με έμφαση στη Γεωμορφολογία  
– Γεωτεκτονική και Γεωδυναμική  
Τμήμα Γεωγραφίας  
Πανεπιστήμιο Αιγαίου

# ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ



# ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ

- Κατολίσθηση είναι κάθε αλλαγή, μικρή ή μεγάλη της επιφάνειας μιας βουνοπλαγιάς (κλιτύος), που συνοδεύεται από μετακίνηση υλικού με ρήξη ή όχι της συνέχειας της, αργή ή ξαφνική η οποία προέρχεται από τη δύναμη της βαρύτητας και οφείλεται σε φυσικά ή τεχνητά αίτια.
- Η κατολίσθηση εκφράζει το αποτέλεσμα μιας νέας κατάστασης ισορροπίας του εδάφους και είναι δυνατή η ανθρώπινη επέμβαση για την επιβράδυνση η και παύση του φαινομένου



Χάρτης κατανομής των κατολισθήσεων σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Ο χάρτης έχει παραχθεί στο πλαίσιο του SAFELand project (Van Den Eeckhaut et al. 2011).



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

# Κατολισθήσεις

## Κίνδυνοι

- Ορεινά χωριά ή πεδινές περιοχές
- Οδικό δίκτυο και σήραγγες
- Σιδηροδρομικό δίκτυο
- Δίκτυα κοινής ωφέλειας μεταφοράς ενέργειας, νερού, καυσίμων
- Φράγματα
- Στοές μεταλλείων
- Υποθαλάσσιες κατασκευές



# Καταπτώσεις βράχων



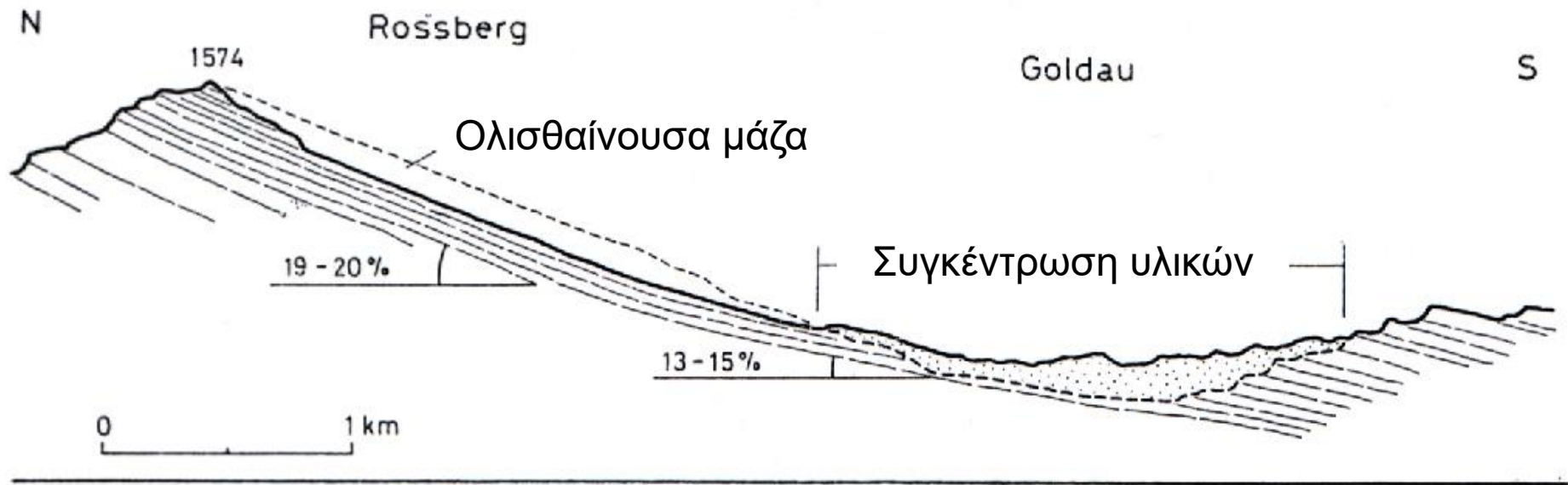




# ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ

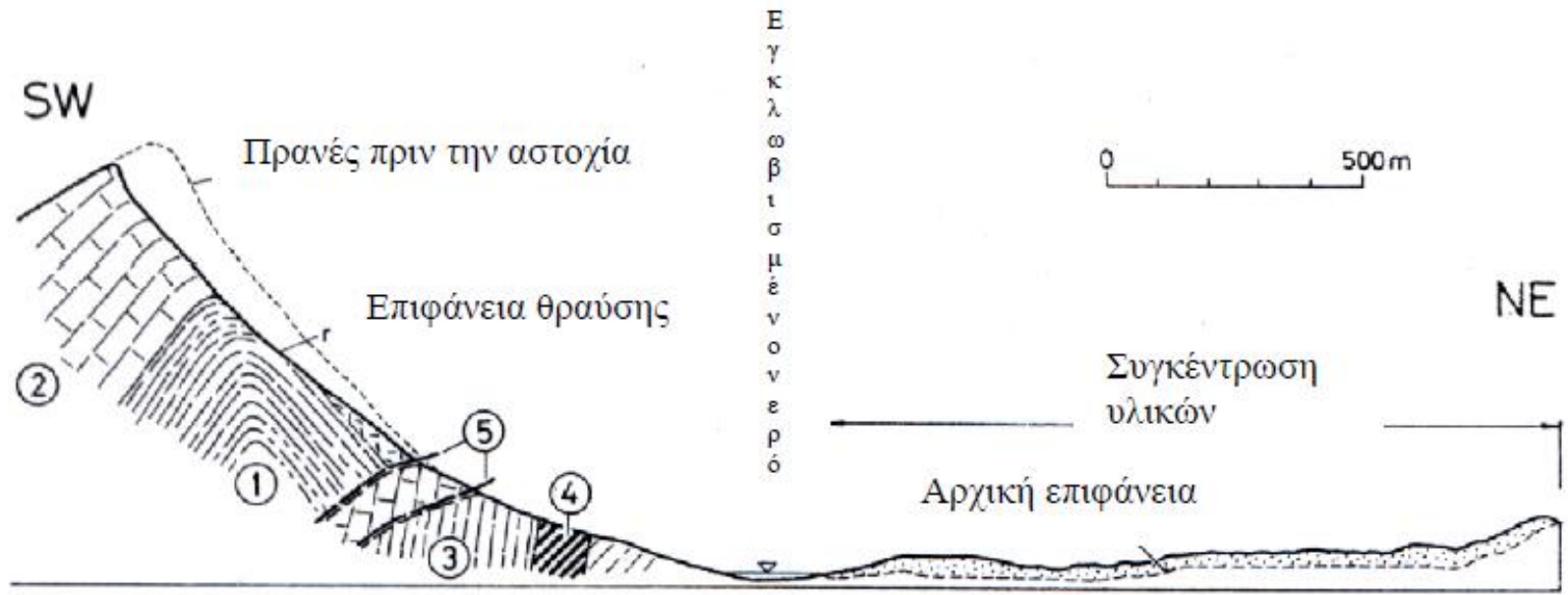
- Η διαδικασία της κατολίσθησης (ολίσθησης γαιών) έχει ως αποτέλεσμα πάνω στο ανάγλυφο :
- τη δημιουργία ενός κοιλώματος στην περιοχή υψηλού ανάγλυφου
- την συσσώρευση θρυμματισμένου υλικού στα κατώτερα σημεία του ανάγλυφου.





Αστοχία πρηνούς κατά μήκος στρώσεων κροκαλοπαγούς που κατέστρεψε την πόλη Goldau στην Ελβετία και στοίχισε τη ζωή 457 ανθρώπων (από Heim, 1919, Zaruba, 1982)





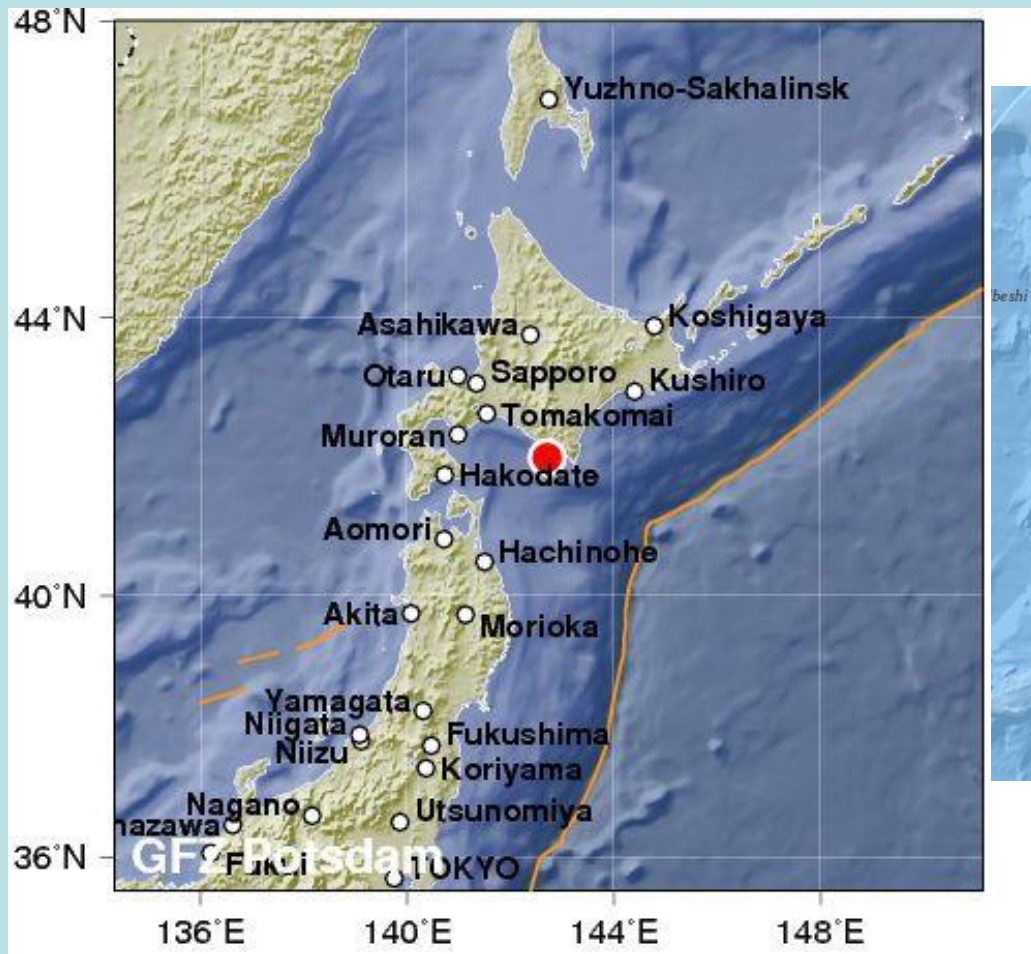
Αστοχία βραχωδών ασβεστολιθικών τμημάτων κατά μήκος της στρώσης τους που ήταν παράλληλη με την επιφάνεια του πρानού στο όρος Turtle, στον Καναδά. 1: ασβεστιτικός σχιστόλιθος, 2: ασβεστόλιθοι και δολομίτες, 3: ψαμμίτες και αργιλικό σχιστόλιθοι, 4: ψαμμίτες και αργιλικό σχιστόλιθοι με φλέβες κάρβουνου, 5: ρηξιγενείς ζώνες (από Cruden et al, 1978, Zaruba, 1982). Η κατολίσθηση έθαψε τμήμα της πόλης Frank στον Καναδά και 70 άνθρωποι σκοτώθηκαν.



# Κατολισθήσεις που συνδέονται με σεισμούς Hokkaido 28-09-2018



# Hokkaido 6,7 R





# Κατολισθήσεις













**NHK WORLD**  
JAPAN





















# Παράγοντες που δημιουργούν κατολισθήσεις

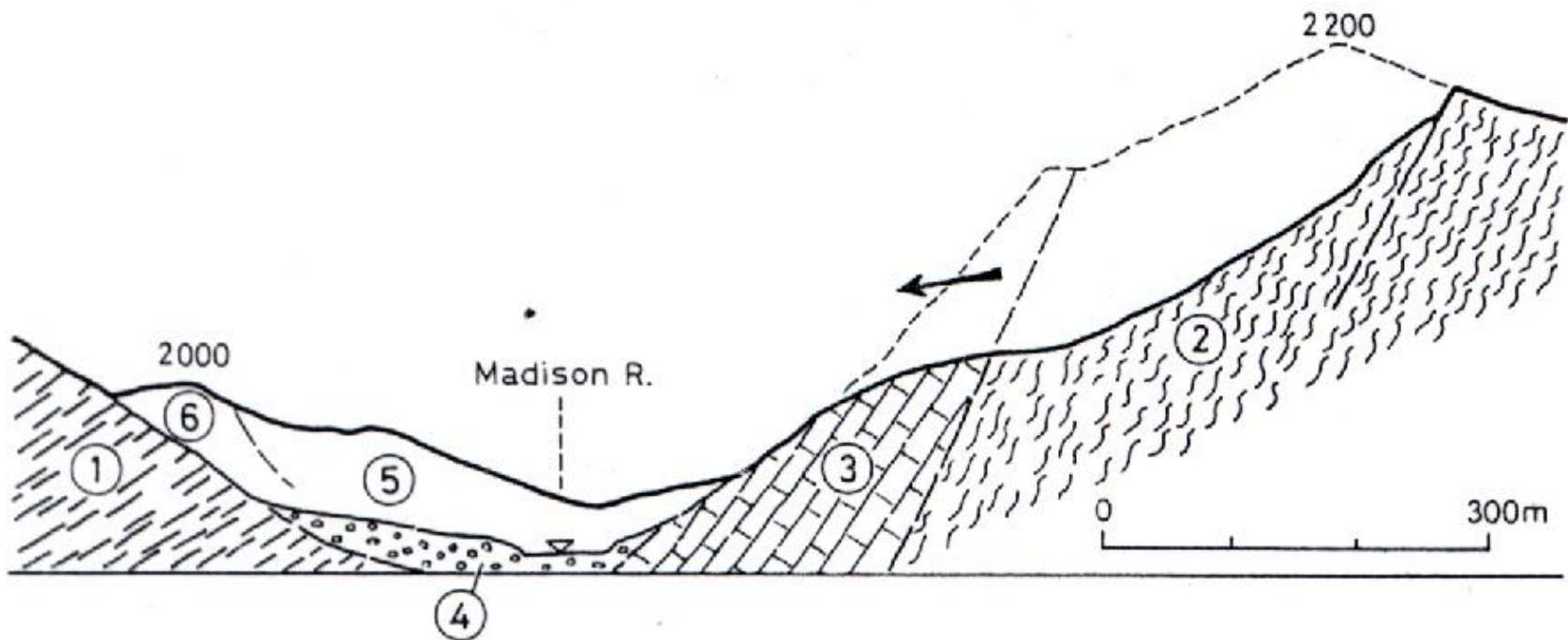
Οι παράγοντες που επηρεάζουν μια κατολίσθηση είναι οι ακόλουθοι:

- Γεωλογικοί (φύση εδάφους ή πετρώματος, δομή και γεωμετρία γεωλογικών σχηματισμών)
  - Τοπογραφικοί – γεωμορφολογικοί
  - Υδρολογικοί, κλιματολογικοί και υδρογεωλογικοί
  - Μηχανικοί
- 
- Οι παράγοντες αστάθειας οφείλονται σε έναν, ή σε συνδυασμούς, από τους ακόλουθους:

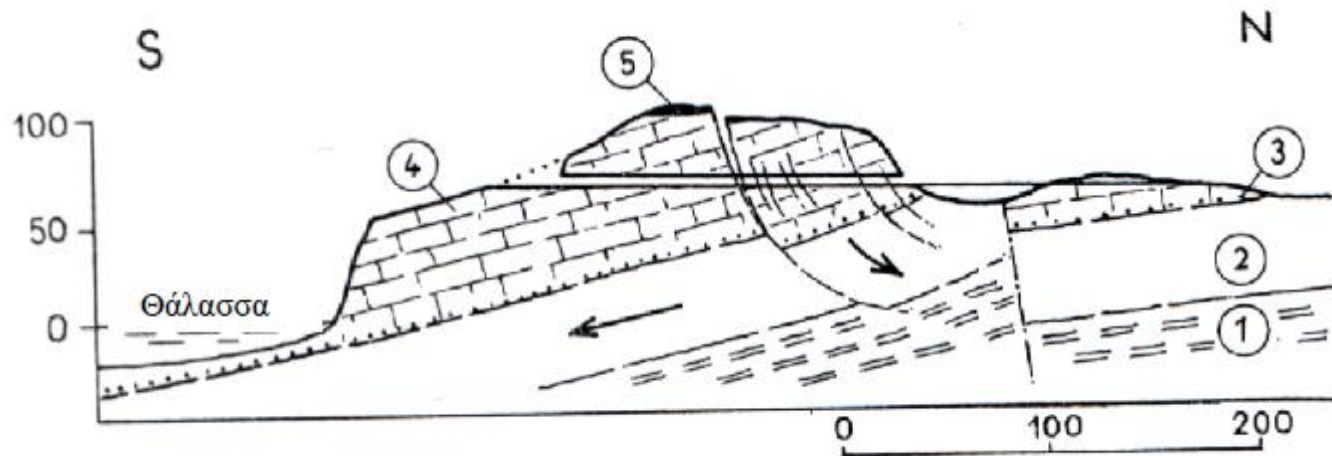


Οι παράγοντες αστάθειας οφείλονται σε έναν,  
ή σε συνδυασμούς, από τους ακόλουθους:

- Αλλαγή της κλίσης της επιφάνειας του εδάφους και εσωτερική γεωμετρία του υλικού.
- Ανθρώπινη επέμβαση μέσω επιβολής φόρτισης στην κορυφή του πρανούς (επιχώματα, κτίρια κλπ).
- Σεισμική φόρτιση.
- Η παρουσία υψηλής στάθμης υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, ή και επιφανειακού νερού.



Η αστοχία στην κοιλάδα Madison, στη Montana κοντά στο Yellowstone Park συνέβη το 1959 και ήταν συνέπεια ενός σεισμού που προκάλεσε πολλές μικρότερες κατολισθήσεις, ρεύματα εδάφους και άνοιγμα ρωγμών στις κορυφογραμμές (Hadley, 1959, Zaruba, 1982). Το μέγεθος του σεισμού ήταν 7.1R και οι μετασεισμοί είχαν μέγεθος μεταξύ 5.5R και 6.5R. Κατά τη διάρκεια του σεισμού υπήρξε καθίζηση της τάξης των 2.5 έως 3m που βοήθησε στην κατολίπηση, ενώ και πολλά κανονικά ρήγματα στην περιοχή ενεργοποιήθηκαν. Σύμφωνα με τον Hadley (1978) η ταχύτητα με την οποία κινήθηκαν τα υλικά έφθασε τα 58m/sec (208km/h). Η ανάλυση του μηχανισμού αστοχίας δείχνει ότι το υπάρχον πραινές στην κοιλάδα ήταν πολύ απότομο, αλλά και αποτελούνταν από ρωγματωμένους και αποσαθρωμένους γνεύσιους και σχιστόλιθους που τους συγκρατούσαν δολομίτες. 1: αμφιβολίτες και γνεύσιοι, 2: γνεύσιοι και σχιστόλιθοι, 3: δολομίτες, 4: αλλούβια, 5: υλικά κατολίπησης, 6: τεμάχη δολομίτη.



Γεωλογική τομή κατά μήκος σιδηροδρομικής σήραγγας στη Νέα Ζηλανδία που καταστράφηκε από κατολίσθηση το 1935 (Benson, 1940, Zaruba, 1982). 1: αργιλόλιθοι Ανω Κρητιδικού, 2: αργιλόλιθοι Τεταρτογενούς, 3: άμμοι, 4: εύθρυπτοι ψαμμίτες, 5: βασάλτης

# ΜΟΡΦΕΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

- Κατάπτωση (πτώση βράχων)
- Ανατροπή (περιστροφή γύρω από άξονα που βρίσκεται κάτω από το κέντρο βάρους της μάζας)
- Ολίσθηση – Περιστροφική (Η βραχομάζα περιστρέφεται περί ενός σημείου που βρίσκεται πάνω από το κέντρο βάρους)
- Ολίσθηση – Επίπεδη (βραχομάζα κινείται κατά μήκος ενός επιπέδου)
- Πλευρική μετατόπιση
- Ροή – σε βραχομάζα (Συνεχείς ερπυστικές μετακινήσεις επιφανειακά και σε βάθος που αφορούν εξαιρετικά αργές και διαφορικές μετατοπίσεις σχετικώς υγιών τεμαχίων)
- Ροή - σε έδαφος (Η μετακινούμενη μάζα προσομοιάζεται με ένα παχύρρευστο υγρό)
- Σύνθετες μορφές (Συνδυασμός δύο ή περισσότερων από τους προαναφερθέντες τύπους αστοχιών)



Ερπυστικά φαινόμενα σε πρανές στη θέση Valia Kalda στον ποταμό Αώο (από Λιάκουρη)







Ρωγμές στο κατάστρωμα οδού εξαιτίας της αστοχίας πρανούς στα κατάντη της περιφερειακής οδού Λουτράκι-Περαχώρα

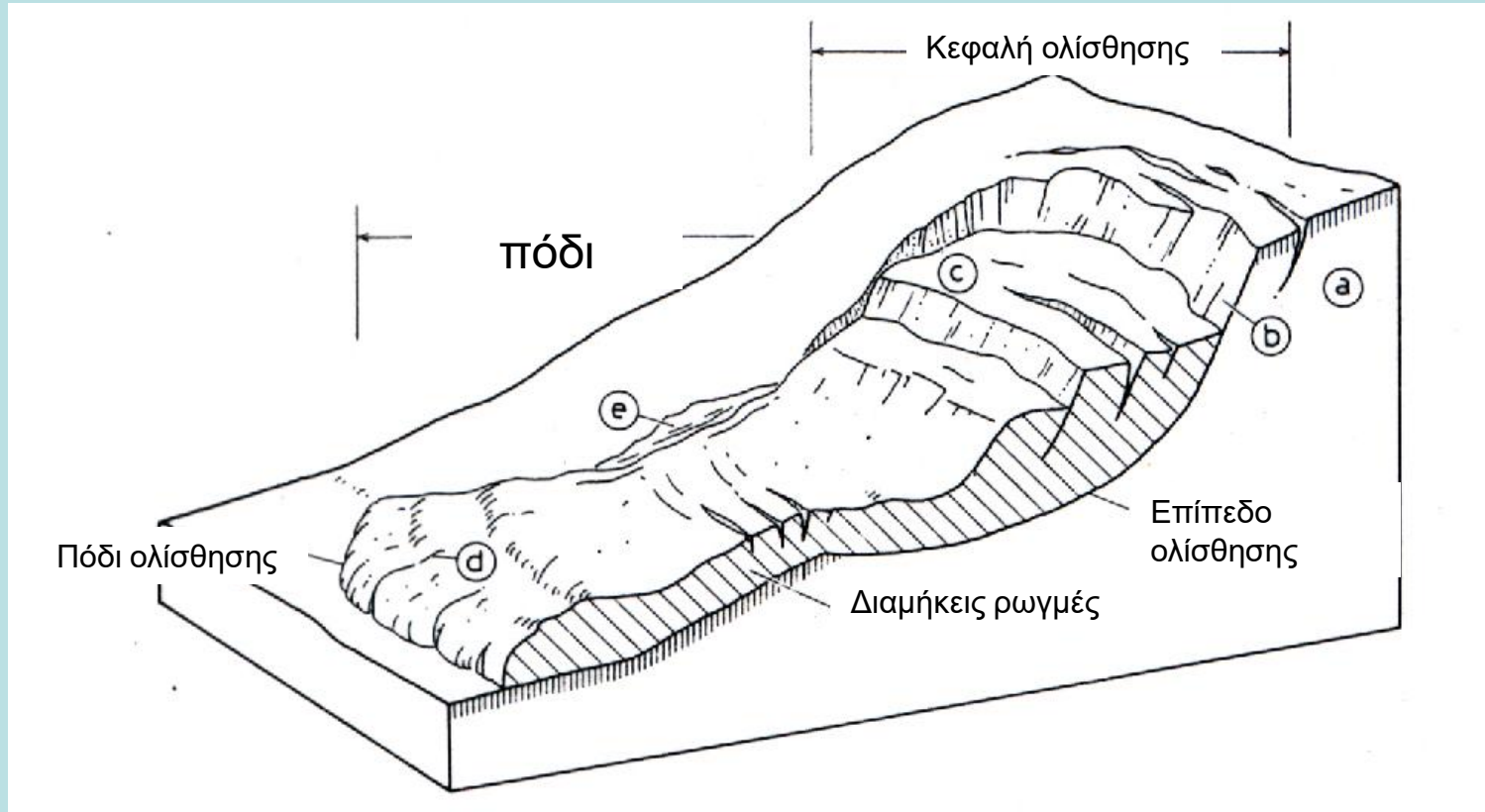




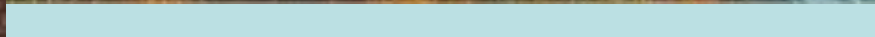
Αστοχία πρανούς της περιφερειακής  
οδού στο Λουτράκι Κορινθίας.  
Χαρακτηριστική η αδυναμία  
αποστράγγισης των υδάτων  
(επιφανειακών και υπόγειων)

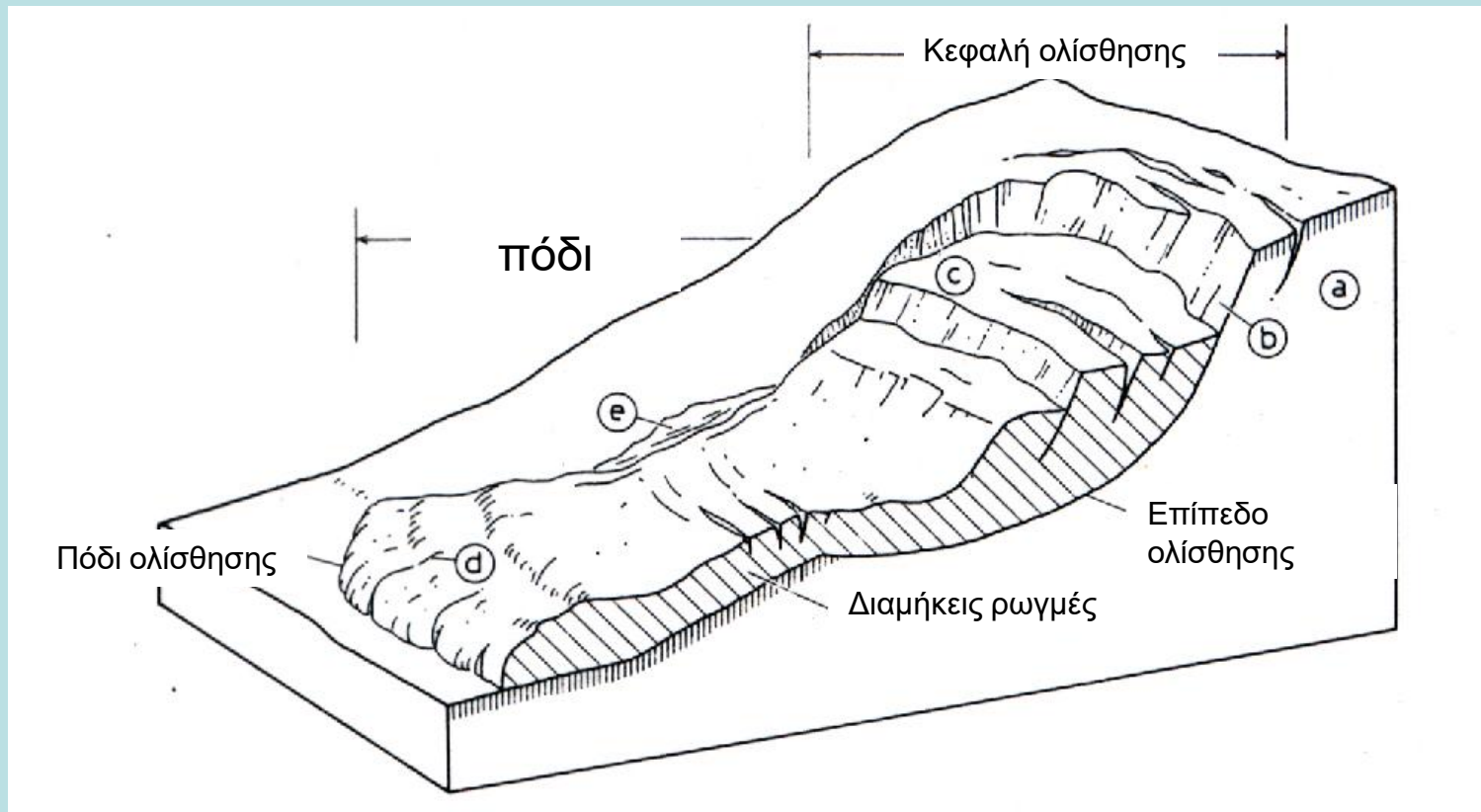


# Περιστροφική ολίσθηση



Κύρια μέρη κυκλικής ολίσθησης (Varnes, Zaruba, 1982). a: εφελκυστικές ρωγμές, b: φρύδι ολίσθησης, c: διαμήκειες ρωγμές, d: ακτινικές ρωγμές, e: πλευρικές εδαφικές ανυψώσεις





Τα επιφανειακά σημάδια εκδήλωσης μιας κατολίσθησης είναι η περιοχή φρυδιού και η περιοχή του πόδα της, ενώ η μορφή της επιφάνειας ολίσθησης καθορίζει την έκτασή της σε βάθος. Όταν η επιφάνεια ολίσθησης βρίσκεται μέχρι και 2m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους τότε η κατολίσθηση ονομάζεται *επιφανειακή*. Όταν το βάθος ολίσθησης δεν υπερβαίνει τα 5m τότε ονομάζεται *μέσου βάθους*, για βάθος μέχρι και 20m ονομάζεται *βαθιά* και τέλος για βάθος πάνω από 20m ονομάζεται *πολύ βαθιά*. Η ολίσθηση μπορεί να συμβεί κατά μήκος ενός μόνο επιπέδου, ή κατά μήκος περισσότερων επιπέδων.



# ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ





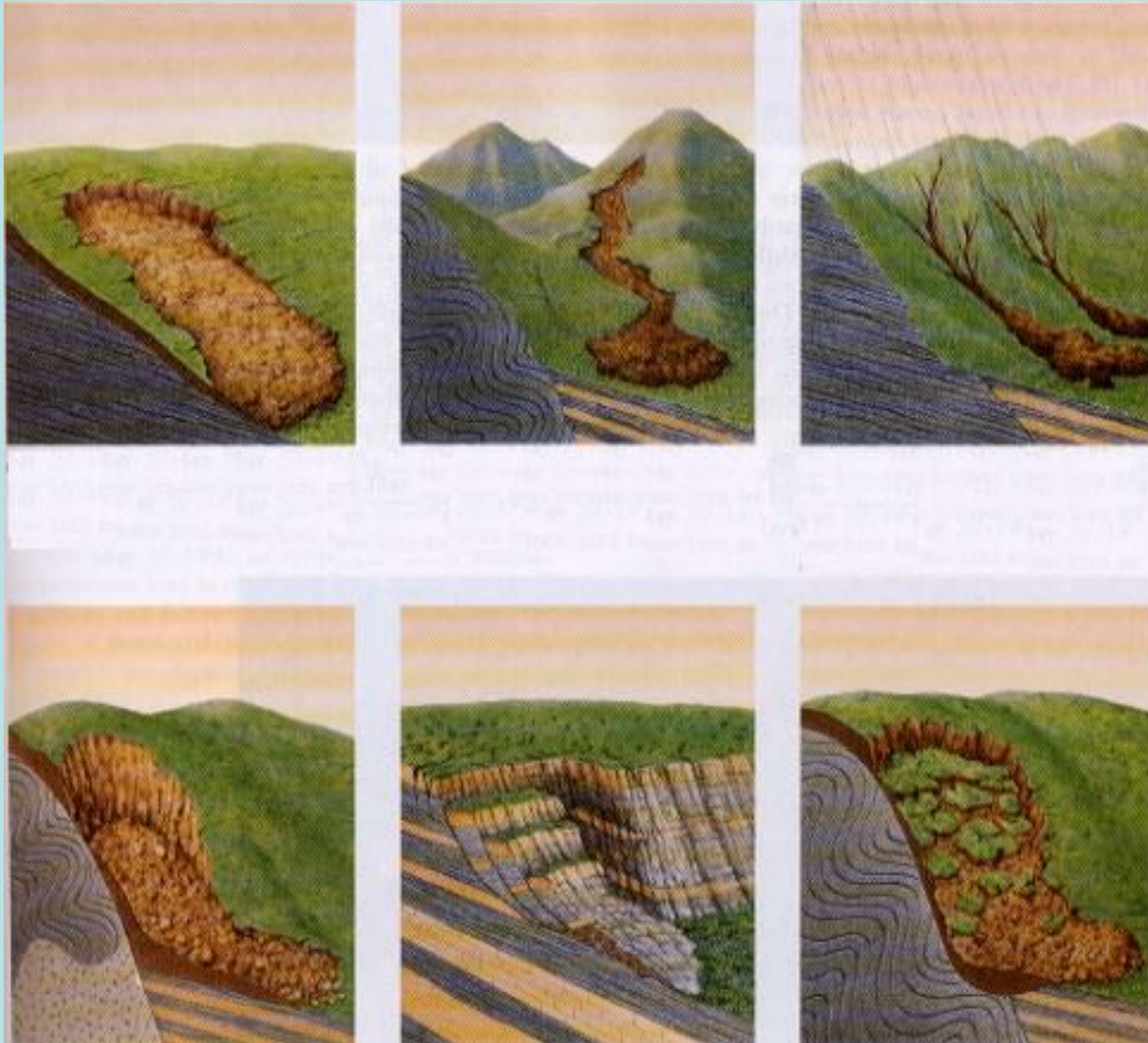








# Τύποι κατολισθήσεων



# Μέθοδοι έρευνας κατολισθήσεων

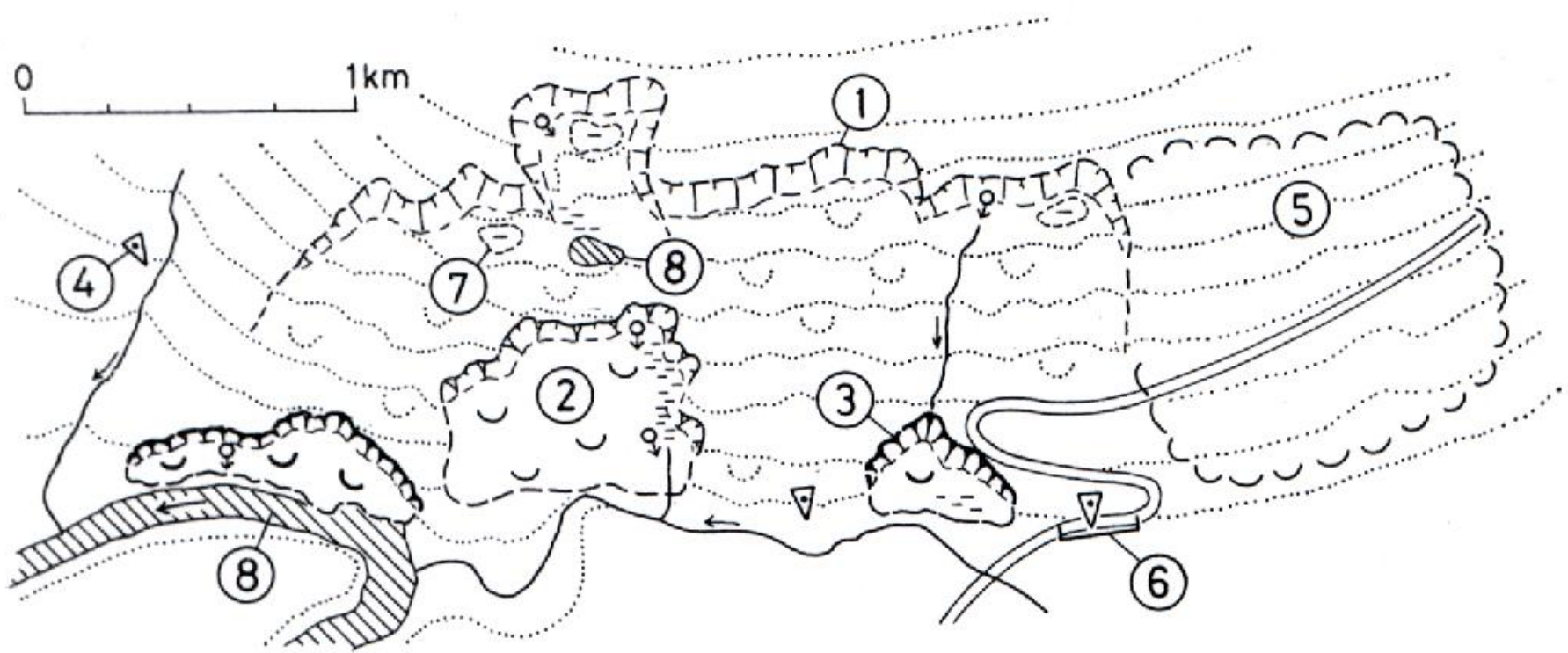
- Αρχική έρευνα προκειμένου να οριοθετηθεί η περιοχή που πρέπει να μελετηθεί και στη συνέχεια να ορισθούν οι θέσεις των γεωτρήσεων, των φρεάτων, ο κάνναβος των γεωφυσικών μετρήσεων, εφόσον απαιτηθεί κλπ.
- Λεπτομερής τοπογραφική αποτύπωση της περιοχής, λεπτομερής γεωλογική χαρτογράφηση, ακόμη και με χρήση αεροφωτογραφιών. Ταυτόχρονα στο εργαστήριο γίνονται οι απαραίτητες δοκιμές εδαφομηχανικής και βραχομηχανικής. Το στάδιο αυτό ολοκληρώνεται με την πλήρη γεωτεχνική μελέτη, καθώς και με τα προτεινόμενα μέτρα αποκατάστασης της αστοχίας.
- Το τρίτο στάδιο αφορά γεωλογικό έλεγχο των προτεινόμενων διορθωτικών εργασιών υπαίθρου.
- Το τελευταίο στάδιο αναφέρεται σε παρακολούθηση με μετρήσεις οργάνων της αποτελεσματικότητας των μέτρων αποκατάστασης.

Η χρήση των αεροφωτογραφιών έχει άμεση εφαρμογή στην έρευνα μιας κατολισθαίνουσας περιοχής, καθώς αποτυπώνει τρισδιάστατα την περιοχή. Επιπλέον δίνει τη δυνατότητα να ορισθούν ακριβώς τα όρια της κατολίσθησης (φρύδι, πρανές μπροστά από το φρύδι, πόδι κατολίσθησης κλπ). Επιπλέον το μέγεθος της μετακίνησης μπορεί να μετρηθεί από τη μετατόπιση γραμμικών χαρακτηριστικών, όπως οδικό ή σιδηροδρομικό δίκτυο, επιφανειακά στραγγιστήρια κλπ.

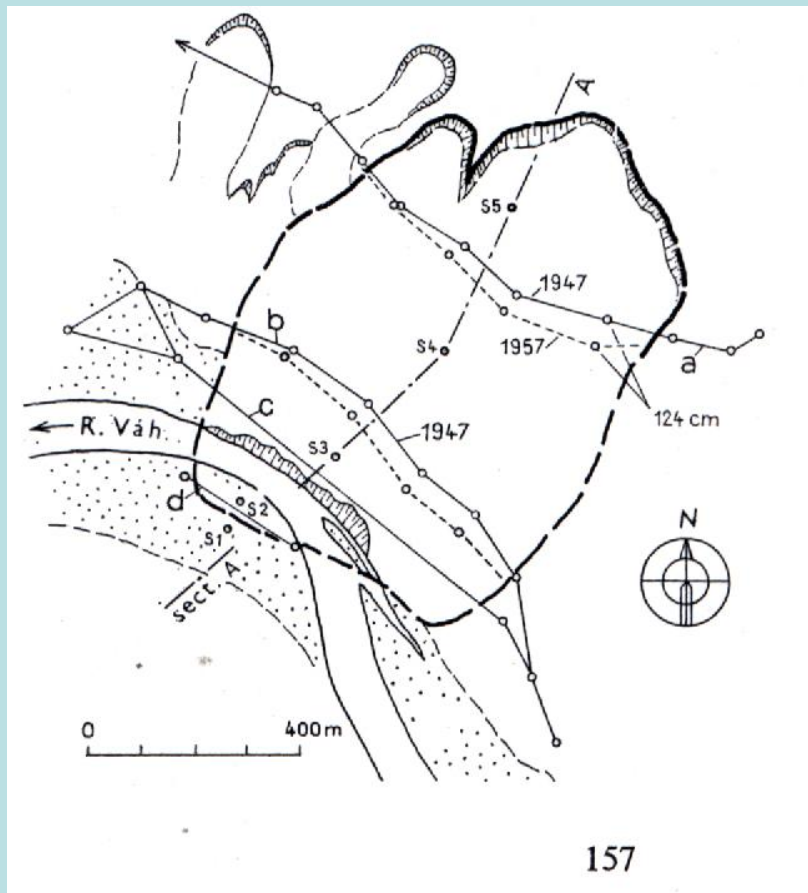


Αποψη κατολίσθησης στην περιοχή Μαλακάσα Αττικής από αεροφωτογραφία. Διακρίνονται οι σχετικές μετακινήσεις γραμμικών στοιχείων (σιδηροδρομική γραμμή και επιφανειακά στραγγιστήρια)

- Η χρήση των διαθέσιμων γεωλογικών χαρτών είναι απαραίτητη. Συνήθως όμως οι χάρτες αυτοί έχουν μεγάλη κλίμακα, δεν αφορούν μόνο την περιοχή ενδιαφέροντος και παρουσιάζουν τα εδαφικά υλικά που υπέρκεινται των βραχωδών σχηματισμών. Συνεπώς είναι απαραίτητο να δημιουργηθεί ένας τεχνικογεωλογικός χάρτης της περιοχής όπου και θα σημειώνονται με κατάλληλους συμβολισμούς όλα τα στοιχεία που υποδηλώνουν τη θέση και την έκταση της κατολισθαίνουσας μάζας, καθώς και συγκεκριμένα φαινόμενα στην επιφάνεια του εδάφους (πχ. μικρές συγκεντρώσεις νερού σε πλαγιές, ισοϋψείς με χαρακτηριστικές μορφές, βυθίσματα, εμφάνιση νερού υπό μορφή πηγών που είναι συνήθως βασικός παράγοντας για την αστοχία ενός πρανού κλπ).



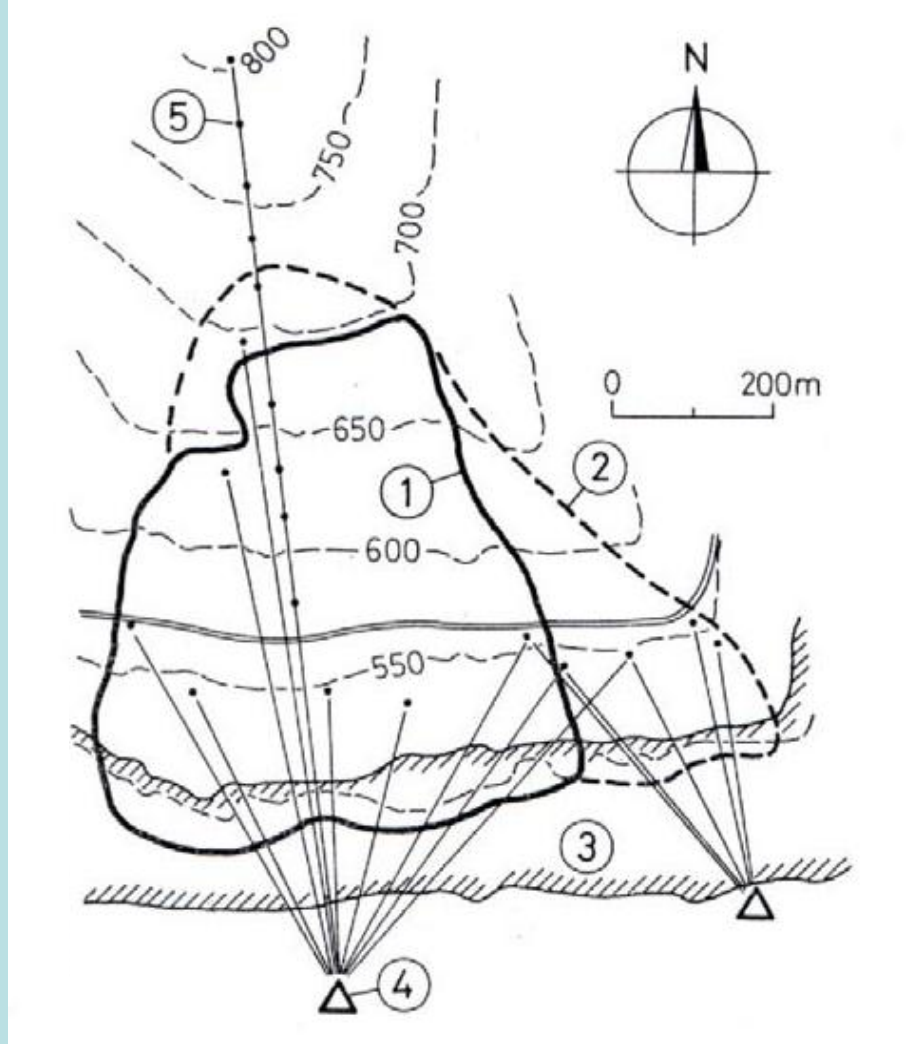
Απόσπασμα τοπογραφικού χάρτη με προσθήκη ειδικών συμβόλων που αφορούν χαρακτηριστικά κατολίσθησης (από Rybar et al., 1965, Zaruba, 1982). 1: φρύδι παλαιάς κατολίσθησης, 2: παλαιά κατολίσθηση που δεν παρουσίασε νέες μετακινήσεις, 3: ενεργή κατολίσθηση, 4: σύμβολο για μικροκατολισθήσεις που δεν απεικονίζονται λόγω κλίμακας χάρτη, 5: περιοχή επιρρεπής σε κατολίσθηση, 6: τεχνικά έργα που κινδυνεύουν από κατολίσθηση, 7: βυθίσματα, 8: μικρές λίμνες και ρέματα.



157

a, b: γεωδαιτικές οδεύσεις ελέγχου μετακινήσεων στην κατολισθαίνουσα μάζα, c,d: τριγωνομετρικές εξαρτήσεις σημείων ελέγχου (από Pertrasek & Zaruba, 1959, Zaruba, 1982)





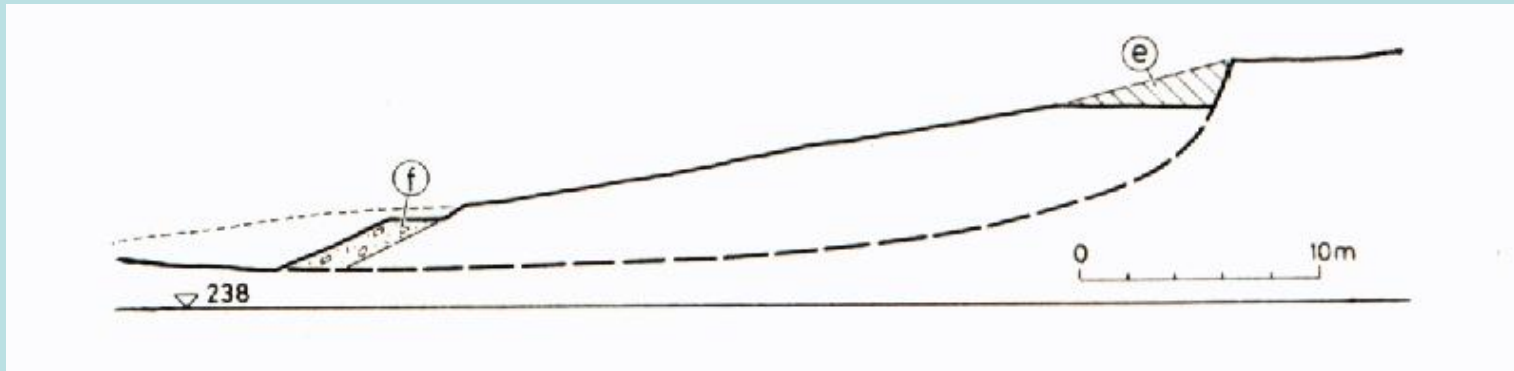
Γεωδαιτικοί έλεγχοι σε κατολίσθηση στην περιοχή Recice (από Novosad, 1977, Zaruba, 1982). 1: όριο παλαιάς κατολίσθησης, 2: οριοθέτηση περιοχής που ενδεχομένως οδηγηθεί σε αστοχία, 3: ταμιευτήρας Sance πάνω στον ποταμό Ostravice, 4: τριγωνομετρικά σημεία στο σταθερό τμήμα του πρανούς, 5: σημεία ελέγχου

# Μέθοδοι αποκατάστασης των κατολισθήσεων

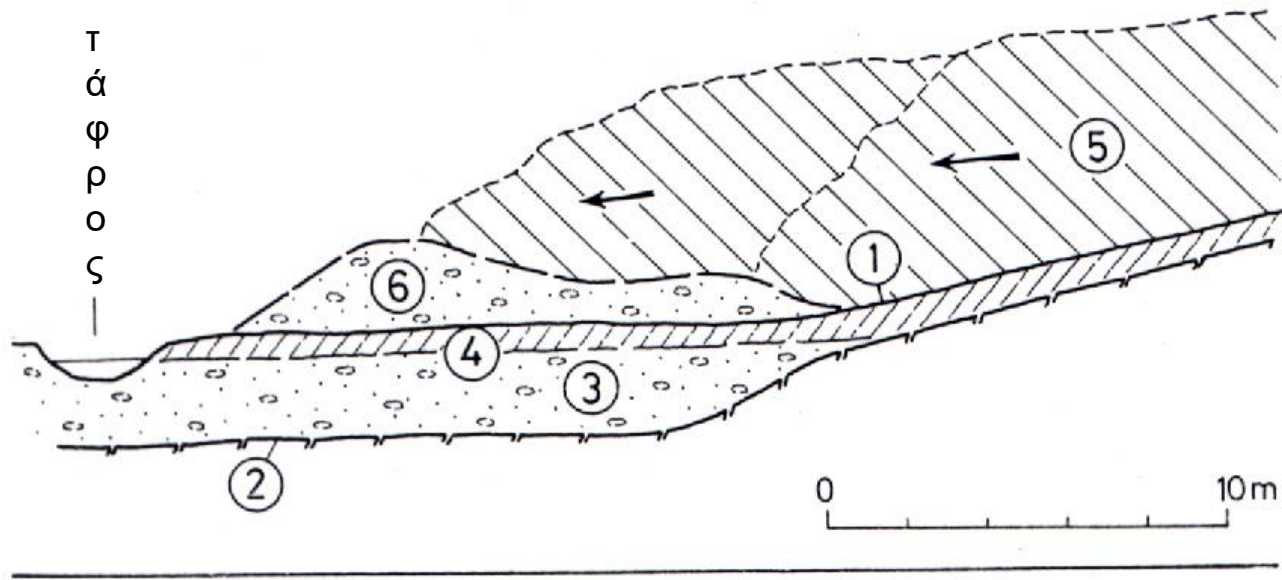
- Τοποθέτηση χωματισμών στη βάση της ολισθαίνουσας μάζας ή αφαίρεση χωματισμών από την κεφαλή της κατολίσθησης.
- Συλλογή και απομάκρυνση όλων των επιφανειακών υδάτων που ρέουν μέσα στην περιοχή που ολίσθησε με χρήση επιφανειακών στραγγιστηρίων που κατασκευάζονται είτε παράλληλα με το φρύδι του πρανούς, είτε πάνω στην ολισθαίνουσα μάζα.
- Διάνοιξη μέσα στην ολισθαίνουσα μάζα συστήματος κύριων και δευτερευουσών αποστραγγιστικών στοών για τη συλλογή των υπόγειων υδάτων (με φυσική ροή).
- Διάνοιξη φρεάτων για άντληση των υπόγειων υδάτων με στόχο την ταπείνωση της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.



Κύρια και δευτερεύουσες αποστραγγιστικές στοές σε μορφή «ψαροκόκκαλου» για την αντιμετώπιση της κατολίσθησης στη Μαλακάσα, Αττικής (Marinos et al, 1998)

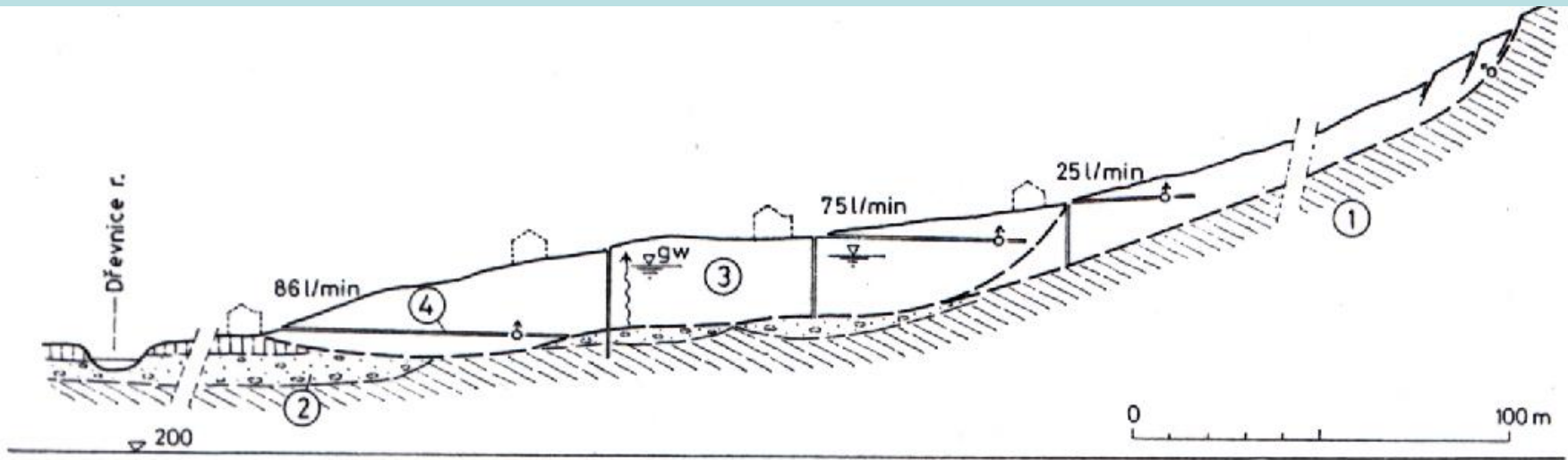


Αστοχία σε πρανές από εκσκαφή στη βάση του για τη διάνοιξη οδού, στην περιοχή Brno, Τσεχία (Zaruba, 1982). Το υλικό του πρανούς ήταν σιφρή άργιλος του Νεογενούς. Η εκσκαφή του όγκου χωματισμών e στο φρύδι του πρανούς και η τοποθέτηση όγκου χωματισμών στη βάση του f, αύξησε το συντελεστή ασφαλείας από 1 σε 1.16. Ο όγκος των χωματισμών που απομακρύνθηκε, ήταν μόλις το 4.5% του συνολικού όγκου. Η παραμένουσα γωνία τριβής φ<sub>r</sub> εκτιμήθηκε σε 11.50.



Σχηματική τομή βάσης ολισθαίνοντος πρανούς με τη προσθήκη χωματισμών και αποστράγγισης (Zaruba, 1982). 1: αρχική επιφάνεια εδάφους, 2: βραχώδες υπόβαθρο, 3: άμμοι και χαλίκια, 4: εδαφικός μανδύας, 5: βάση κατολίσθησης, 6: επίχωμα από διαπερατά υλικά.

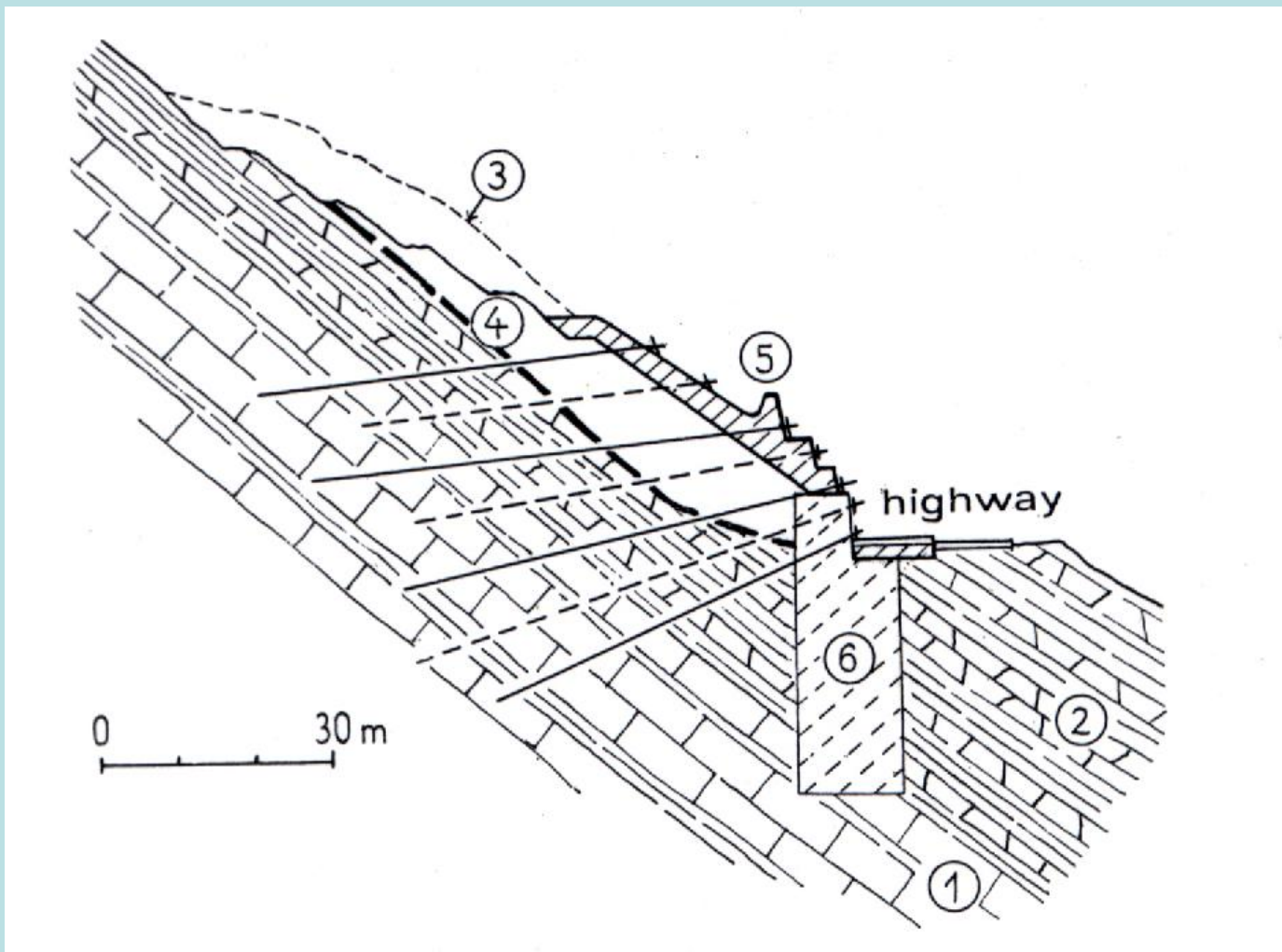
# ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ



Γεωλογική τομή κατολίσθησης στη θέση Priluky στη Μοραβία. (από Zaruba, 1982). Η συνολική μετακίνηση ήταν της τάξης του 1.5m και κατέστρεψε 3 σπίτια. Με τη χρήση τριών οριζόντιων αποστραγγιστικών γεωτρήσεων μειώθηκε η παροχή στις πηγές από 169lt/min σε 105lt/min. 1: φλύσχης (ψαμμίτες και αργιλόλιθοι), 2: άμμοι και χαλίκια, 3: υλικά κατολίσθησης, 4: αποστραγγιστικές γεωτρήσεις.

# Επιπλέον μέτρα που θα μπορούσαν να ληφθούν για την αντιμετώπιση μιας κατολίσθησης είναι και τα ακόλουθα:

- Φυτοκάλυψη του πρανούς με ταυτόχρονη χρήση γεωπλέγματος.
- Κατασκευή τοίχου αντιστήριξης στη βάση του πρανούς. Οι τοίχοι βαρύτητας συνεισφέρουν μόνο με το βάρος τους στη συγκράτηση της ολισθαίνουσας μάζας (αντίσταση στην ολίσθηση), ενώ αντίθετα αν ο τοίχος αντιστήριξης εδράζεται πάνω σε πασσάλους, τότε και αυτοί μπορούν να παραλάβουν οριζόντια φορτία, ενώ επιπλέον προστατεύουν το πρανές και από πιθανές επιφάνειες ολίσθησης που αναπτύσσονται σε μεγαλύτερα βάθη.
- Κατασκευή τοίχου αντιστήριξης στη βάση του πρανούς ή πασσαλότοιχου και ταυτόχρονη χρήση αγκυρίων.
- Μείωση κλίσης του πρανούς (πχ. δημιουργία αναβαθμίδων) ή ολική μείωση της κλίσης
- Αποφυγή εξωτερικών φορτίσεων στη κορυφή αλλά και στο σώμα του πρανούς



Σταθεροποίηση πρανούς αυτοκινητοδρόμου κοντά στο Σαν Ρέμο στην Ιταλία με χρήση αγκυρίων και κατακόρυφων στοιχείων από σκυρόδεμα (από Baldovin and Fattore, 1974, Zaruba, 1982). 1: ψαμμίτες και μάργες, 2: μάργες και ασβεστόλιθοι, 3: αρχική επιφάνεια εδάφους, 4: επιφάνεια ολίσθησης, 5: πλάκα σκυροδέματος, 6: εννέα κατακόρυφα στοιχεία από σκυρόδεμα με βάθος 30m και μεταξύ τους απόσταση 24m. Δύναμη ολίσθησης 6500KN που παραλήφθηκε από 300 αγκύρια μήκους 45 έως 75m.



# ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

21. Κάνετε την διάκριση ανάμεσα στην αποσάθρωση, την απώλεια μάζας και την διάβρωση.
22. Χαρακτηριστικά της μηχανικής αποσάθρωσης. Αίτια.
23. Γιατί η χημική αποσάθρωση είναι περισσότερο αποτελεσματική σε υγρές παρά σε ξηρές περιοχές.
24. Ποια η σχέση μεταξύ βαρύτητας και ολίσθησης γαιών.
25. Ποιος είναι ο ρόλος της αργίλου στην ολίσθηση γαιών.
26. Τι είναι η αποφλοίωση και που οφείλεται;
27. Τύποι κατολισθήσεων