



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

ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

Διδάσκων:

Κωνσταντίνος Λουπασάκης, Καθηγητής ΕΜΠ

Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών

ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΡΓΑ



ΟΡΙΣΜΟΣ

Κατολισθήσεις ή Αστοχίες Πραγών (Landslides or Slope Failures)

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

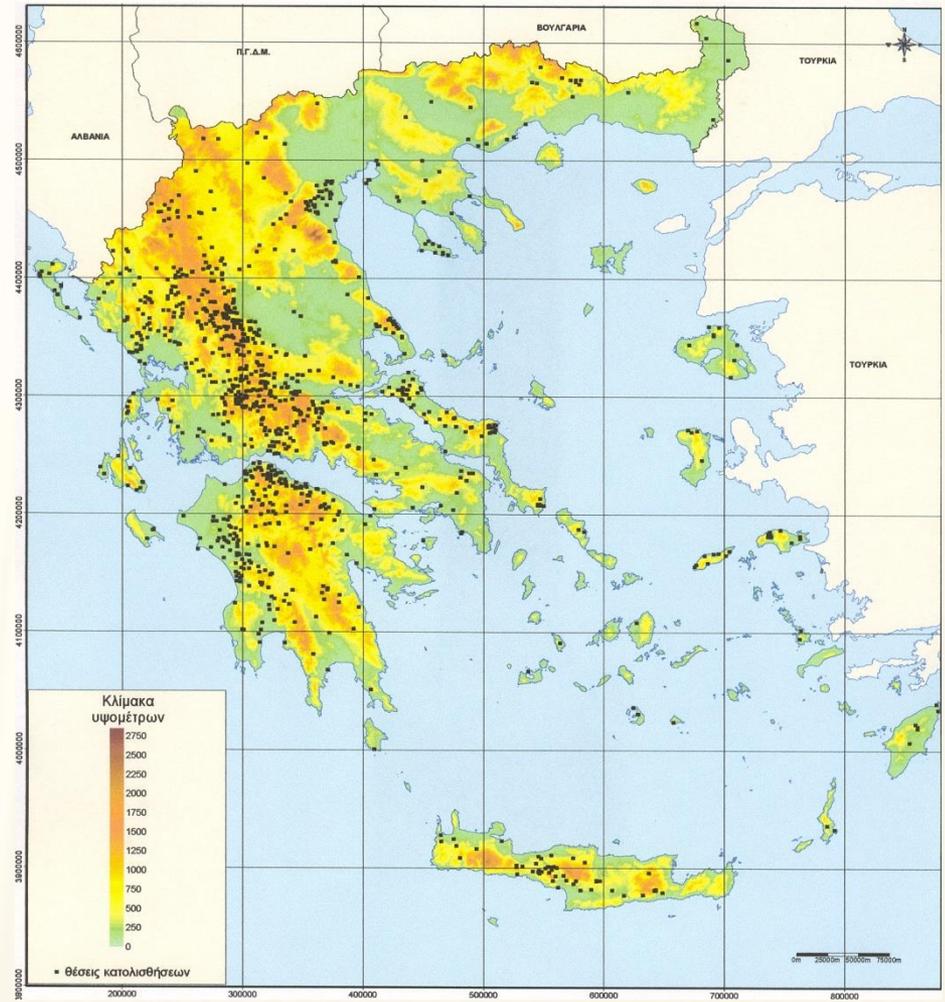
Ο όρος κατολίσθηση δεν περιγράφει πλήρως το γενικότερο φαινόμενο καθώς εκτός από ολισθήσεις αναφέρεται σε καταπτώσεις, ανατροπές, ροές, ερπυσμούς κ.α.

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

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

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

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



ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

Οι ταξινομήσεις βασίζονται σε παραμέτρους όπως:

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

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ ERSKINE (1973)

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

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

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ ZARUBA – MENCL (1967, 1970)

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

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

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

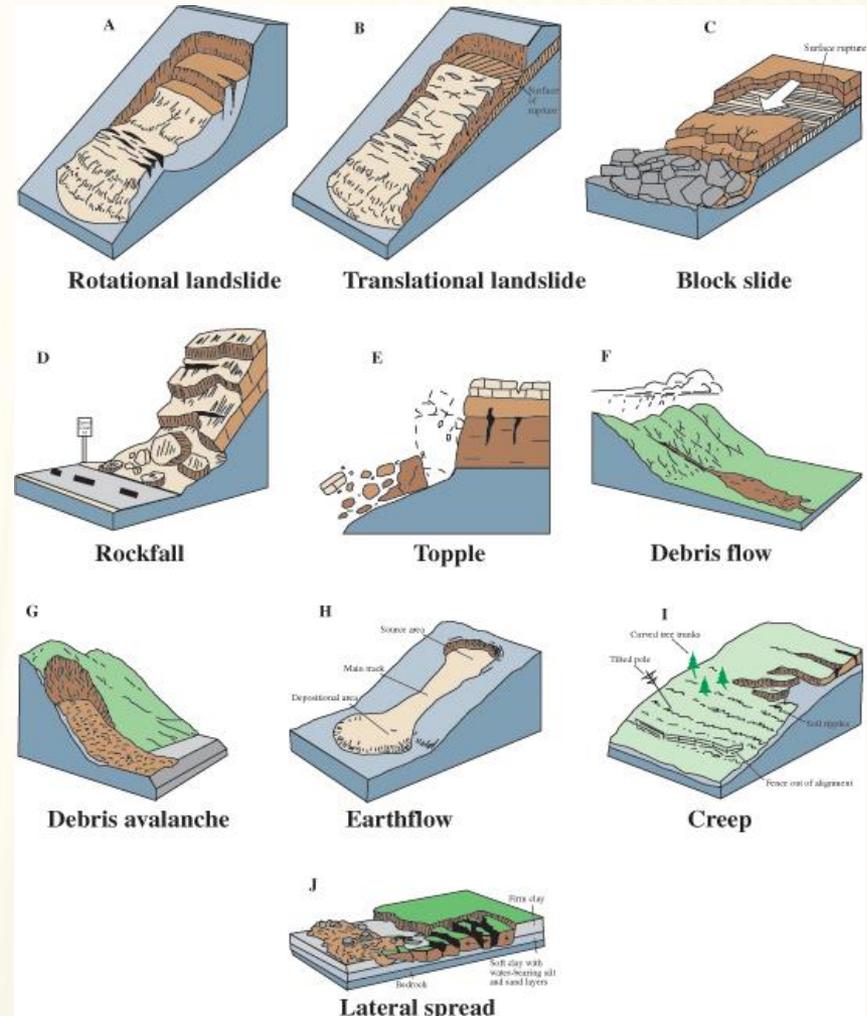
Κατηγορία	Είδος
Μετακινήσεις επιφανειακών αποθέσεων	Ερπυσμός κορημάτων και κάμψη της κεφαλής των στρωμάτων
	Ολισθήσεις κορημάτων και μανδύα αποσάθρωσης
	Ροές γαιών
Μετακινήσεις στα αργιλικά εδάφη και πετρώματα	Ολισθήσεις κατά μήκος κυλινδρικών επιφανειών ολίσθησης
	Ολισθήσεις κατά μήκος σύνθετων επιφανειών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

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ VARNES (1978)

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

Τα βασικά κριτήρια για την ταξινόμηση είναι:

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



Ανάλογα με τον τύπο της κίνησης διακρίνονται σε:

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

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

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

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

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

Τα εδάφη διακρίνονται περαιτέρω σε:

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

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

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

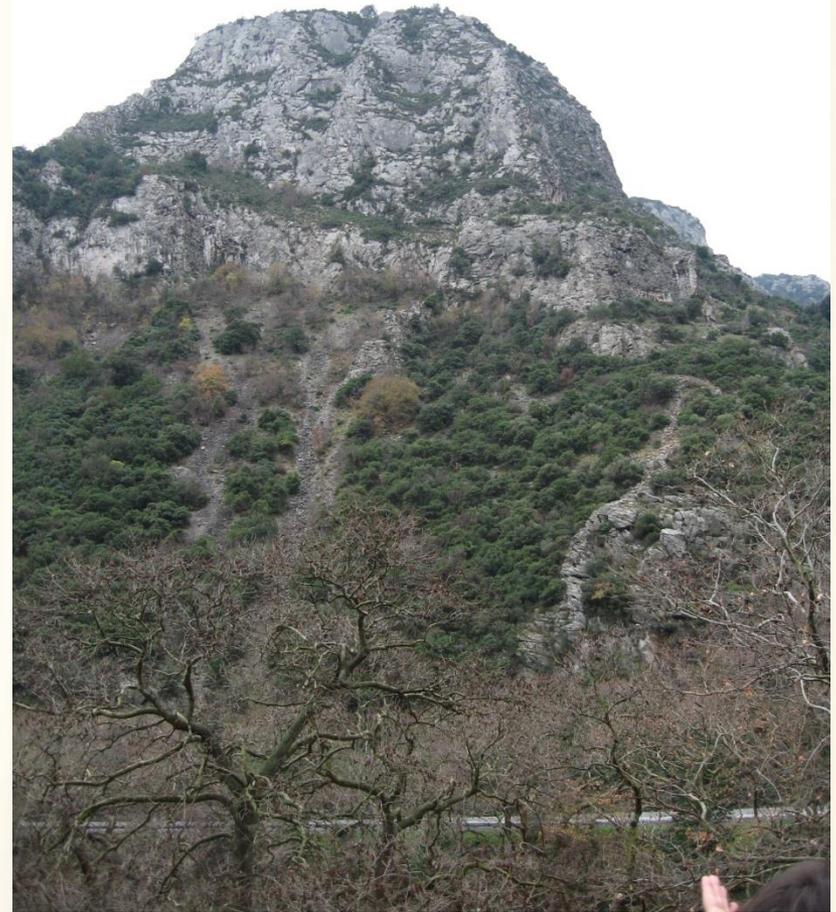
Τύπος Κίνησης		Τύπος μετακινούμενου υλικού		
		Βραχώδης υπόβαθρο	Μηχανικά εδάφη	
			Χονδρόκοκκα	Λεπτόκοκκα
Κατάπτωση		Κατάπτωση βράχων	Κατάπτωση κορημάτων	Κατάπτωση γαιών
Ανατροπή		Ανατροπή βράχων	Ανατροπή κορημάτων	Ανατροπή γαιών
Ολίσθηση	Περιστροφική	Περιστροφική ολίσθηση βραχώδους υποβάθρου	Περιστροφική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

ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΙΣ (FALLS)

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

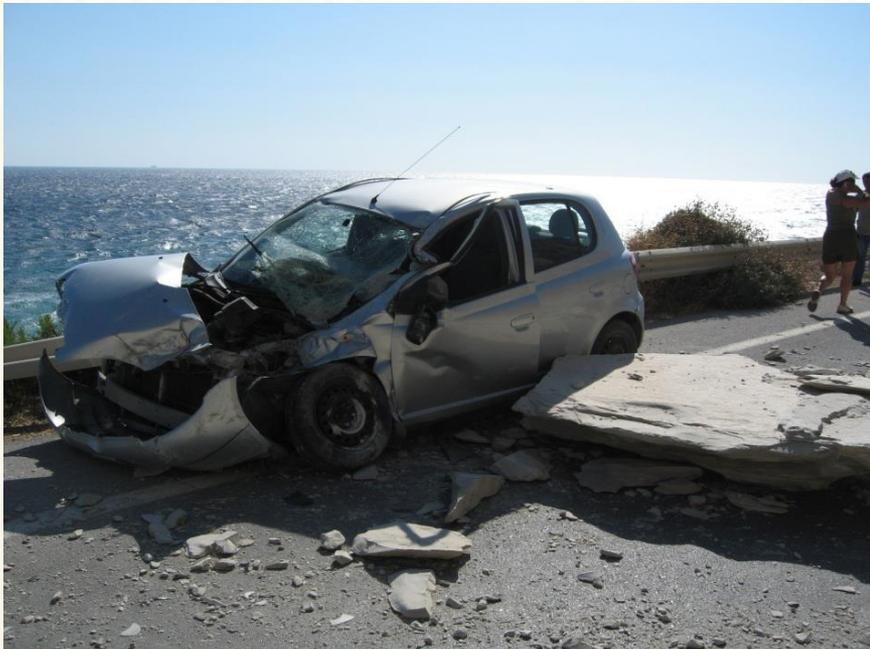
Η μετακίνηση είναι από **πολύ μέχρι εξαιρετικά γρήγορη** και είναι δυνατό να έχουν προηγηθεί αυτής μικρότερες μετακινήσεις που οδήγησαν στον προοδευτικό αποχωρισμό της μετακινούμενης μάζας από το μητρικό πέτρωμα.

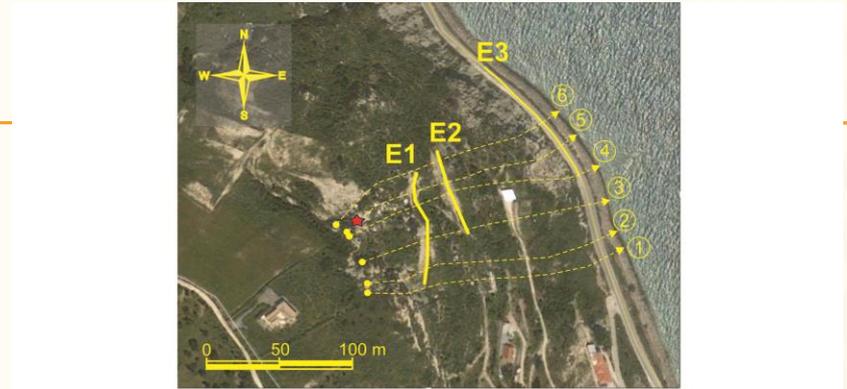
Καταπτώσεις βράχων στα Τέμπη,
17^η Δεκεμβρίου 2009





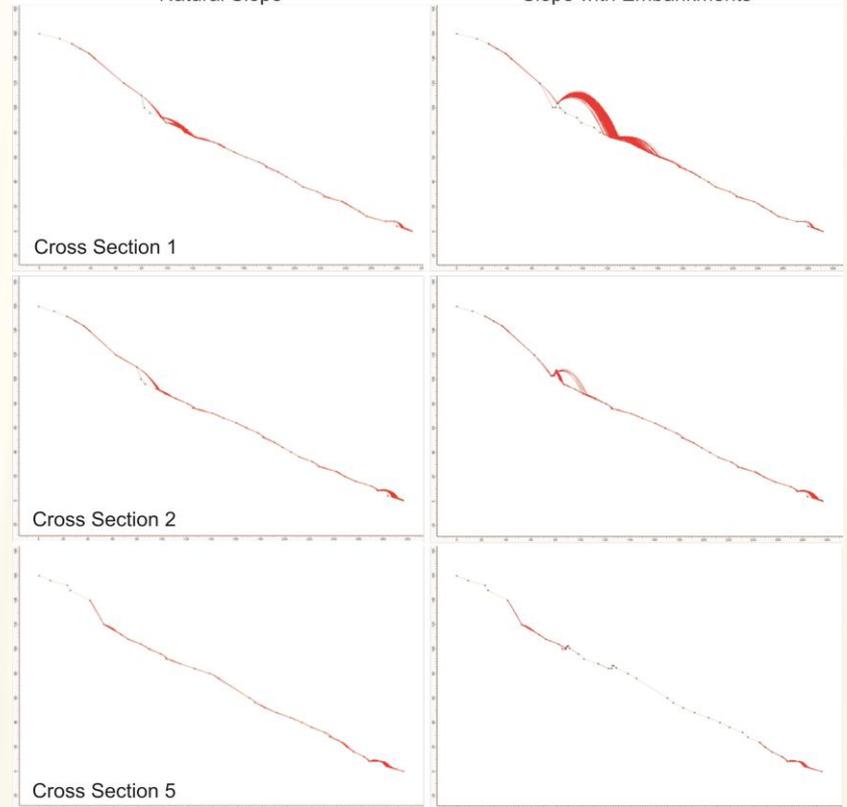
Καταπτώσεις βράχων στην περιοχή
της Κύμης,
13^η Αυγούστου 2008





Natural Slope

Slope with Embankments



ΑΝΑΤΡΟΠΕΣ (TOPPLING)

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

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

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

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

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΝΑΤΡΟΠΩΝ

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

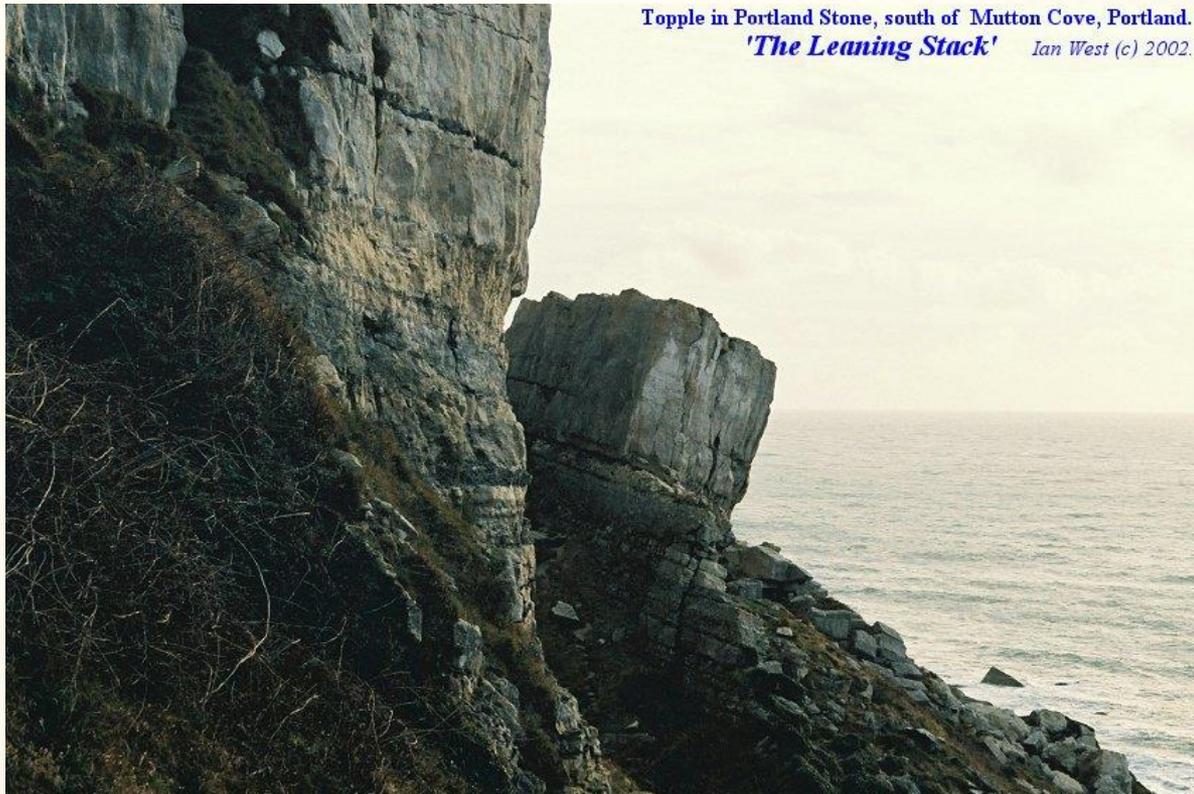
- **Ανατροπή λόγω κάμψης (flexural toppling).** Το πέτρωμα αποχωρίζεται σε κολώνες- πλάκες, λόγω της ύπαρξης ενός καλά αναπτυγμένου υποκατακόρυφου συστήματος ασυνεχειών, το ανώτερο τμήμα των οποίων αστοχεί από κάμψη.



- **Ανατροπή τεμαχίων (block toppling).** Περίπτωση ανάλογη με την προηγούμενη με τη διαφορά ότι η θραύση και ανατροπή γίνεται λόγω της παρουσίας ενός δεύτερου συστήματος ασυνεχειών, σχεδόν κάθετου στο κύριο.
- **Ανατροπή τεμαχίων λόγω κάμψης (block - flexural toppling).** Σε απότομα βραχώδη πρανή, που αποτελούνται κυρίως από λεπτοστρωματώδη κερματισμένα πετρώματα ή σχιστόλιθους, μπορεί να παρατηρηθεί σημαντική κάμψη των στρωμάτων κατά μήκος μιας καλά διαμορφωμένης επιφάνειας η οποία στη συνέχεια είναι δυνατό να αποτελεί μία επιφάνεια ολίσθησης του βραχώδους πρανούς.



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



ΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ (SLIDES)

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

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

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

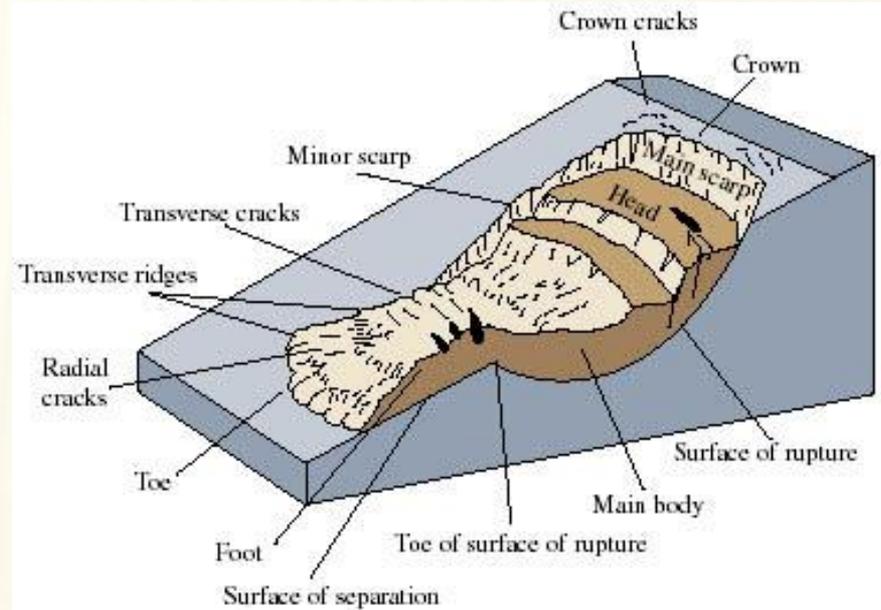
Η μετακινούμενη μάζα μπορεί να παραμείνει **ενιαία** κατά την ολίσθηση ή να διαχωριστεί σε **μικρότερες ανεξάρτητα κινούμενες μάζες**.

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

ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΕΣ ΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ (ROTATIONAL SLIDES or SLUMPS)

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

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



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

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



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



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



Κατολίσθηση στα Άλωνα Φλώρινας (2006),
σε αρενιτοποιημένους γρανίτες.



ΜΕΤΑΘΕΤΙΚΕΣ ΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ (TRANSLATIONAL SLIDES)

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

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

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

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

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

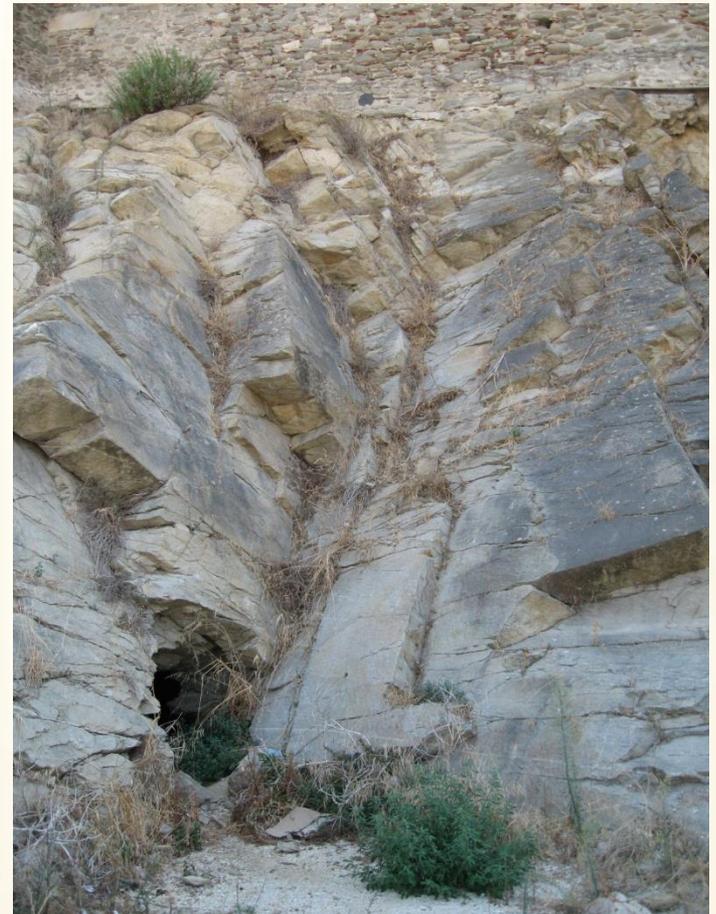
Στους βραχώδεις σχηματισμούς ολισθήσεις κατά μήκος μίας ασυνέχειας ονομάζονται **ολισθήσεις τεμάχους** (block slides) κατά Panet (1969) ή **επίπεδες ολισθήσεις** (planar slides) κατά Hoek & Bray (1977). Ενώ ολίσθηση πάνω σε δύο τεμνόμενες επιφάνειες ασυνεχειών καλείται **σφηνοειδής ολίσθηση** (wedge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

Χαροκόπι Ιωαννίνων
Μεταθετική ολίσθηση σε σχηματισμούς
Φλύσχη.





Δυτικό Πήλιο, επίπεδη ολίσθηση σε λεπτοπλακώδη ασβεστόλιθο.



Χερσόνησος Παναγίας, Κάστρο Καβάλας,
σφηνοειδής ολίσθηση σε γνεύσιο.

ΠΛΕΥΡΙΚΕΣ ΕΞΑΠΛΩΣΕΙΣ (LATERAL SPREADS)

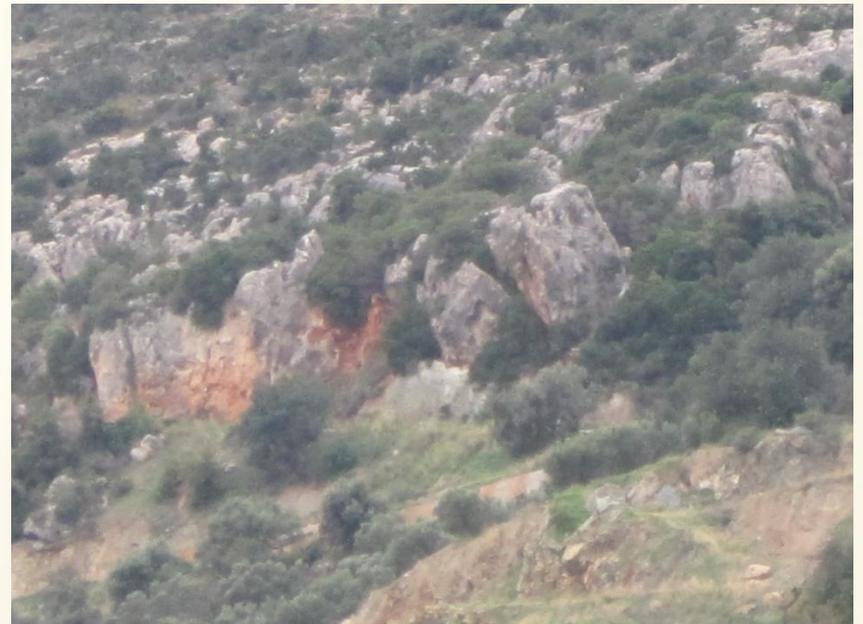
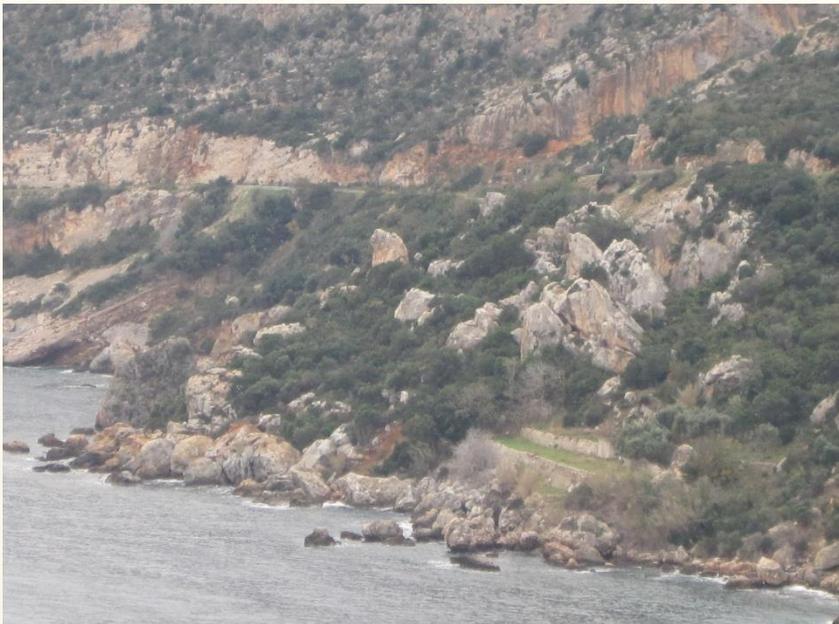
Υποοριζόντιες μετακινήσεις πάνω σε στρώσεις υλικών με ασθενή μηχανικά υλικά. Οι μετακινήσεις διευκολύνονται από την παρουσία διατμητικών και εφελκυστικών ρωγμών.

Διακρίνονται οι ακόλουθοι τύποι μετακινήσεων:

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



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



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

ΕΥΑΙΣΘΗΤΑ ΑΡΓΙΛΙΚΑ ΕΔΑΦΗ

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

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

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

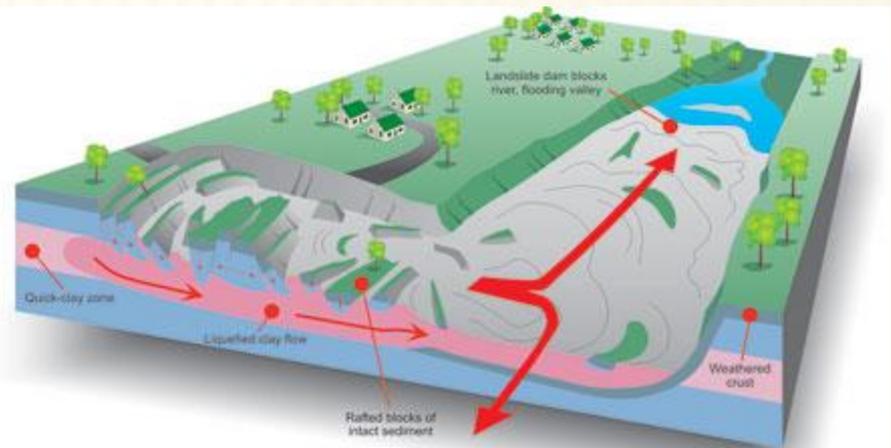
Παράγοντες που επηρεάζουν την ευαισθησία των αργίλων είναι: η έκπλυση των αλάτων, η χημική σύσταση και το επίπεδο του pH στο νερό των πόρων, η παρουσία παραγόντων διασποράς κ.α. τα οποία αλλοιώνουν τη σύσταση των αργίλων και μειώνουν τις δυνάμεις συνοχής μεταξύ των σωματιδίων της αργίλου.

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



Lemieux Landslide, June 20, 1993

S.G. Evans (GSC 1993-296)



Anatomy of a landslide

ΡΟΕΣ (FLOWS)

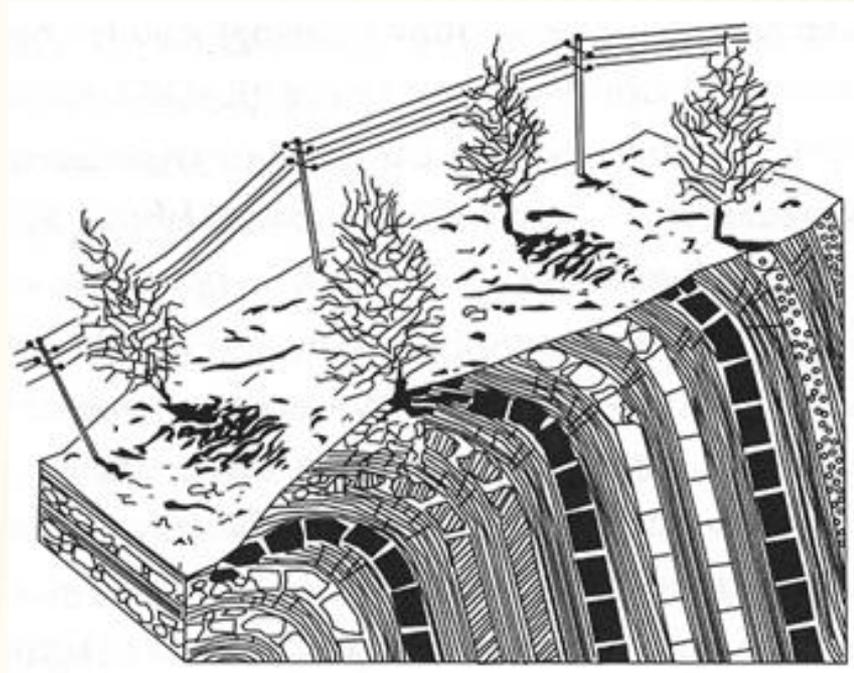
Εκδηλώνονται κυρίως σε χαλαρά υλικά αλλά και σε βραχώδεις σχηματισμούς.

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

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

ΡΟΕΣ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

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



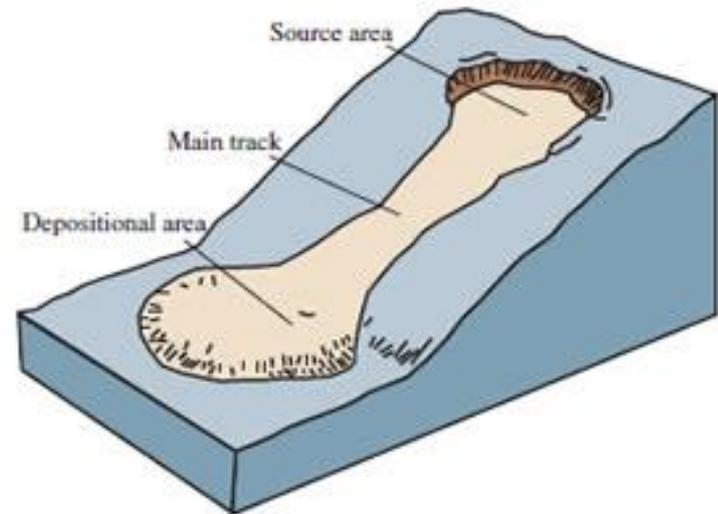
Κάμψη κεφαλών στρωμάτων,
(Desio, 1959)

ΡΟΕΣ ΚΟΡΗΜΑΤΩΝ (DEBRIS FLOW)

Μετακινήσεις ξηρών έως υγρών εδαφικών αδρομερών υλικών.

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

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

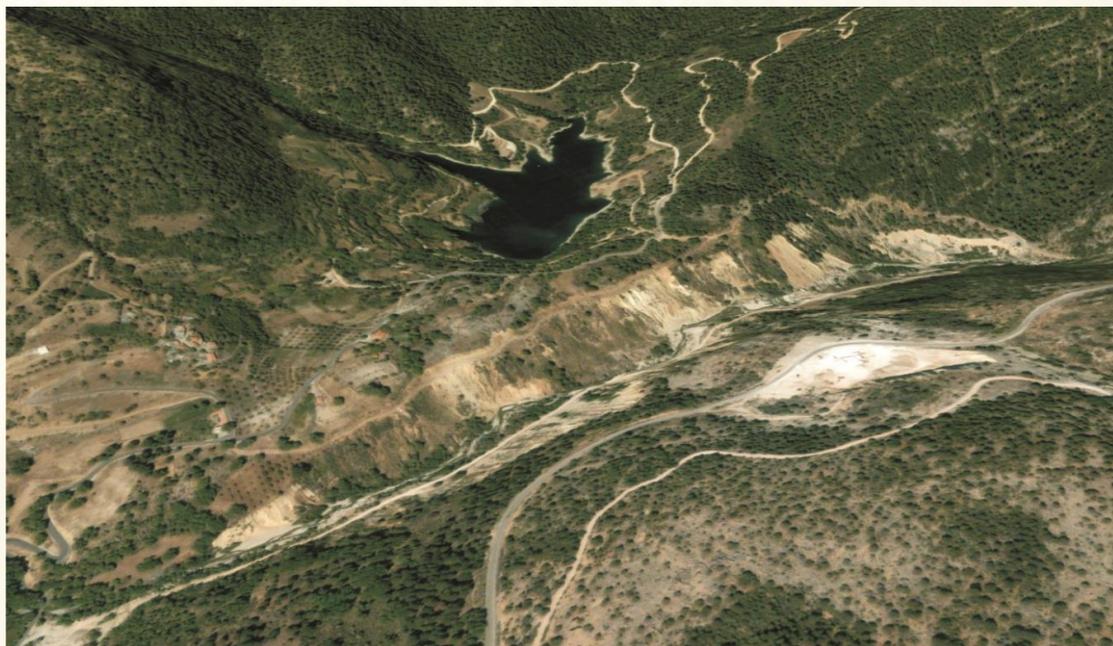
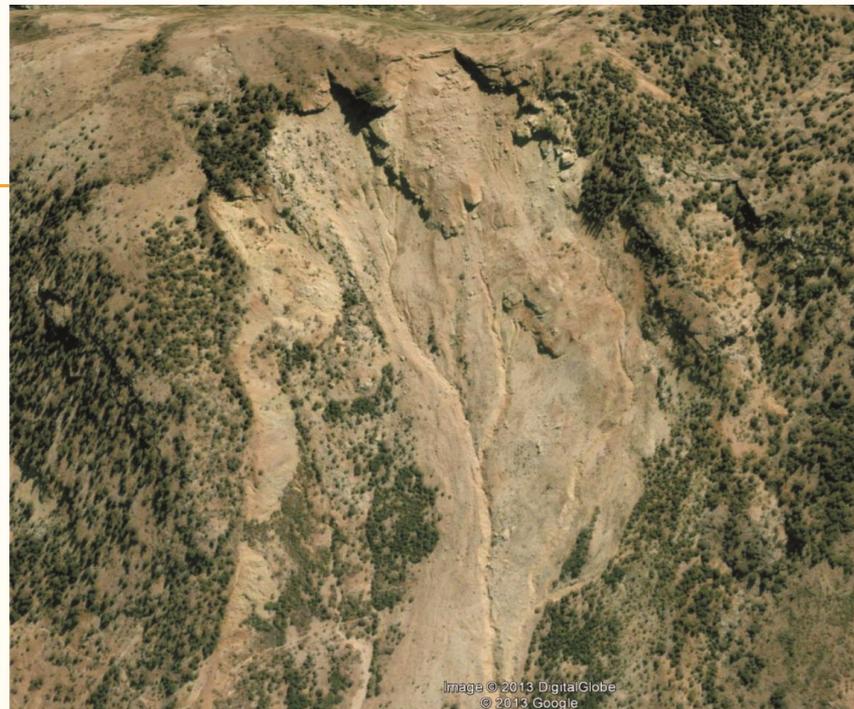


Ξηρή ροή κορημάτων. Ροή, χωρίς την παρουσία νερού, σε πρανή με απότομες κλίσεις και με τη δράση των δυνάμεων βαρύτητας. Έναυσμα της κίνησης μπορεί να αποτελεί μια υποσκαφή στη βάση του πρανούς, σεισμική δράση κ.α.

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



Κατολίσθηση
Τσιβλού,
Ροή Κορημάτων
Μήκους 3,5 km



ΡΟΕΣ ΓΑΙΩΝ (EARTH FLOW – MUD FLOW)

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

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

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

ΕΡΠΥΣΜΟΙ (CREEP)

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

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

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



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

ΣΥΝΘΕΤΕΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ ΠΡΑΝΩΝ (COMPOSITE OR COMPLEX SLIDES)

Πρόκειται για μετακινήσεις που αποτελούνται από συνδυασμό μετακινήσεων .

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

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



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





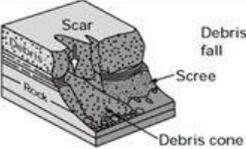
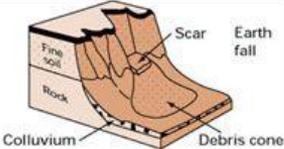
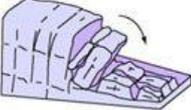
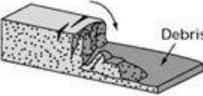
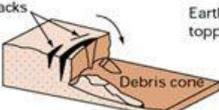
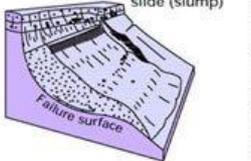
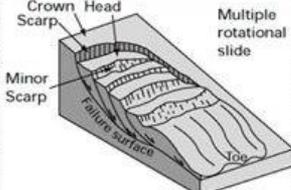
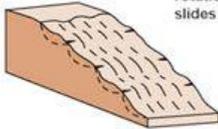
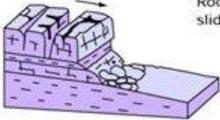
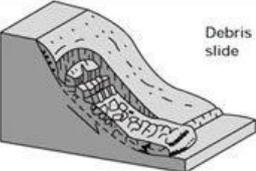
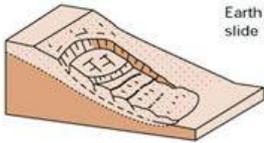
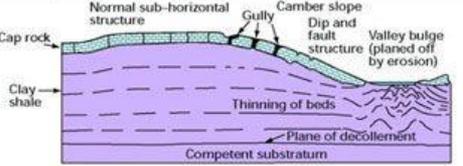
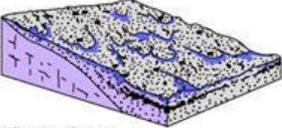
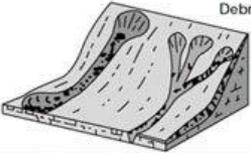
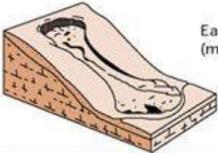
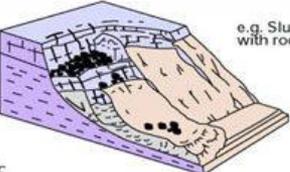
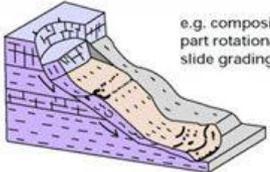
Κατολίσθηση στο Δεξί
αντέρεισμα του φράγματος του
Θησαυρού, στο Νέστο Ποταμό
10^η Φεβρουαρίου 2008

Το δεξί αντέρεισμα δομείται από γνεύσιους και γρανοδιορίτες εντός των οποίων παρεμβάλλονται μαρμαρυγιακοί και αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι. Το πρανές διατέμνεται από συστήματα ασυνεχειών και ζώνες διάτμησης.





Η αστοχία, όγκου 330.000m^3 , έλαβε χώρα στις 10/2/2008. Πρόκειται για μία σύνθετη αστοχία η οποία έθεσε εκτός λειτουργίας τους υπερχειλιστές του φράγματος.

Material		ROCK	DEBRIS	EARTH
Movement type				
FALLS		 <p>Scar Rock fall Rock Fall Debris</p>	 <p>Scar Debris fall Scree Debris cone</p>	 <p>Fine soil Scar Earth fall Colluvium Debris cone</p>
		 <p>Rock topple</p>	 <p>Debris topple Debris cone</p>	 <p>Cracks Earth topple Debris cone</p>
SLIDES	Rotational	 <p>Single rotational slide (slump) Failure surface</p>	 <p>Crown Head Scarp Minor Scarp Failure surface Multiple rotational slide</p>	 <p>Successive rotational slides</p>
	Translational (Planar)	 <p>Rock slide</p>	 <p>Debris slide</p>	 <p>Earth slide</p>
SPREADS	 <p>Cap rock Clay shale Normal sub-horizontal structure Gully Camber slope Dip and fault structure Valley bulge (planed off by erosion) Thinning of beds Plane of decollement Competent substratum</p> <p>e.g. cambering and valley bulging</p>			 <p>Earth spread</p>
FLOWS	 <p>Solifluction flows (Periglacial debris flows)</p>	 <p>Debris flow</p>	 <p>Earth flow (mud flow)</p>	
COMPLEX	 <p>e.g. Slump-earthflow with rockfall debris</p>		 <p>e.g. composite, non-circular part rotational/part translational slide grading to earthflow at toe</p>	

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΙΝΗΣΗΣ

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

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

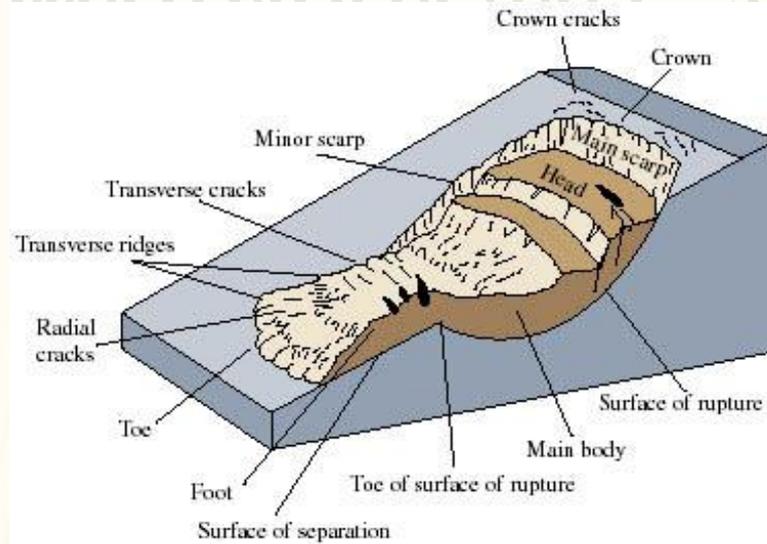
Οι κατολισθήσεις ταξινομούνται κατά WP/WLP(1994) ανάλογα με την ταχύτητά τους σε:

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

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΝΕΡΓΟΤΗΤΑ

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

ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ (ΙΑΕΓ, 1990)



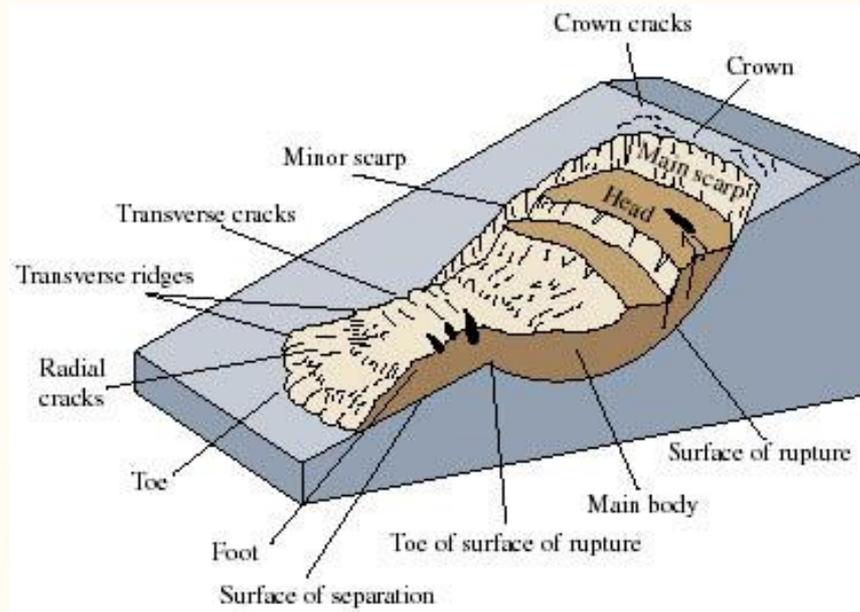
- **Αρχική επιφάνεια του εδάφους (Original ground surface).** Η μορφολογία της επιφάνειας του εδάφους πριν την εκδήλωση της κατολίσθησης.
- **Στέψη (Crown).** Το ανώτερο σταθερό τμήμα του φυσικού εδάφους, το πλησιέστερο προς την κύρια κατακρήμνιση.
- **Κύρια κατακρήμνιση (Main scarp).** Η απότομη επιφάνεια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

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



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





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



Κατολίσθηση Μαλακάσας,
18^η Φεβρουαρίου 1995

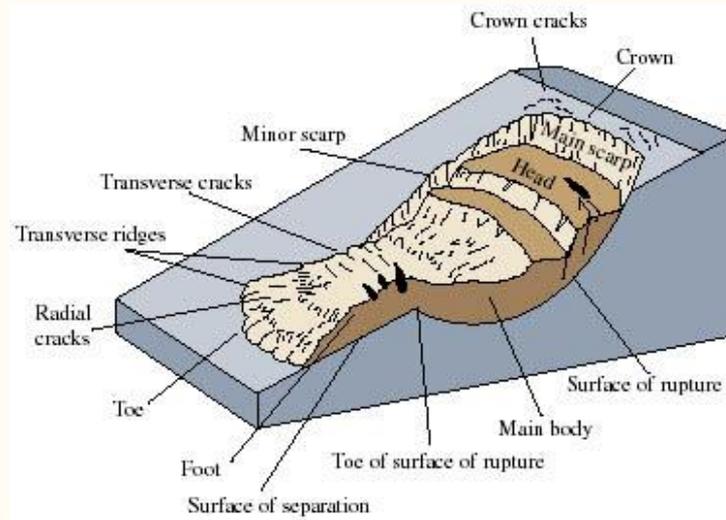




Άποψη ανάντη τμήματος κατολίσθησης όπου διακρίνονται η στέψη, η κύρια κατακρήμνιση, η κεφαλή και η δευτερεύουσα κατακρήμνιση.

Κύριο σώμα μετακινούμενης εδαφικής μάζας.





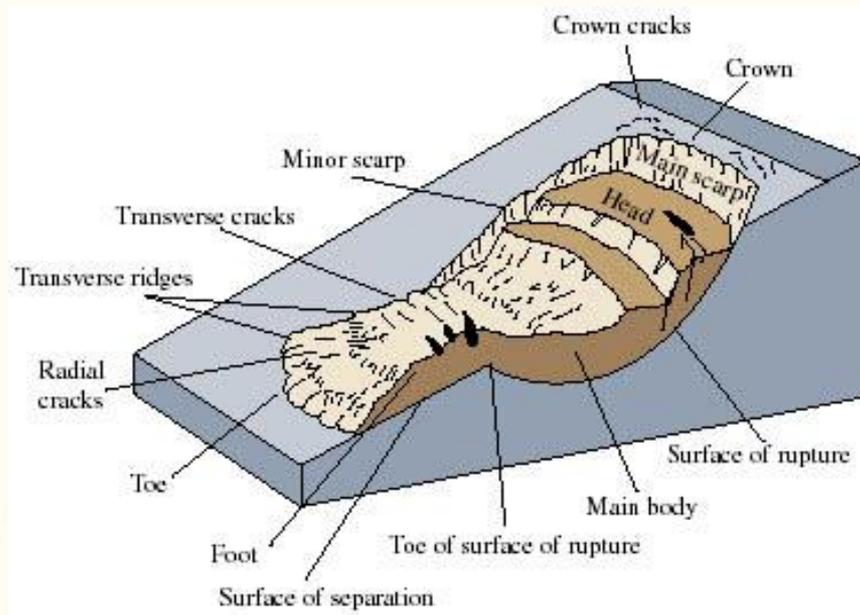
- **Δάκτυλος ποδός (Toe).** Το κατώτερο, συνήθως κυρτό όριο του ποδός, (έχει τη μεγαλύτερη απόσταση από τη στέψη της κατολίσθησης).
- **Πλευρά (Flank).** Η δεξιά ή αριστερή πλευρά της κατολίσθησης, όπως καθορίζεται κοιτώντας από τη στέψη προς τη μάζα της κατολίσθησης.
- **Ζώνη απομείωσης (Zone of depletion).**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



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



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



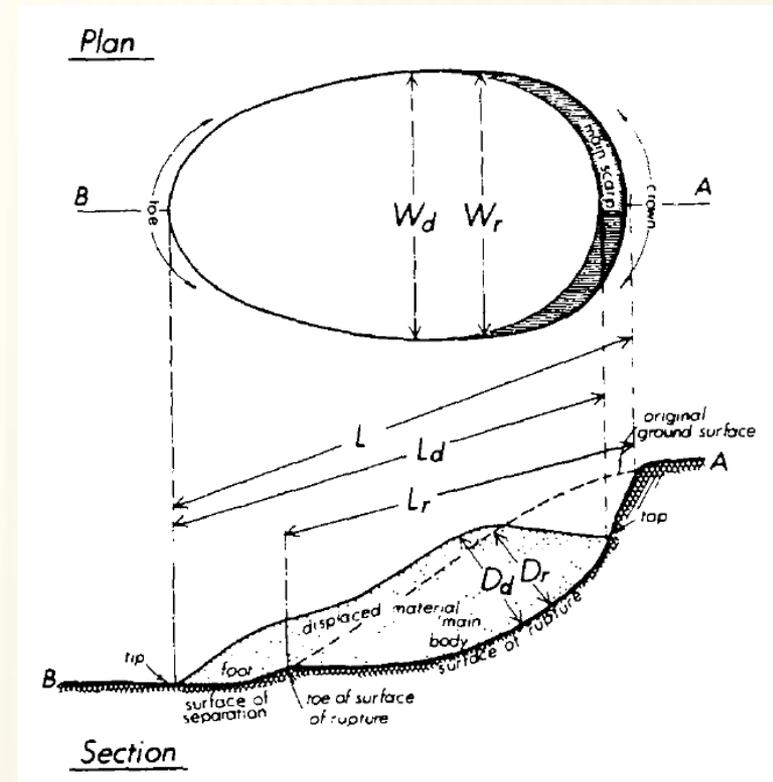
- **Εγκάρσιες ρωγμές (Transverse cracks).** Ρωγματώσεις εγκάρσια στην κύρια διεύθυνση της κίνησης, μεταξύ κύριου σώματος και ποδός.
- **Ακτινωτές ρωγμές (Radial cracks).** Ρωγματώσεις που σημειώνονται στον πόδα της κατολίσθησης.
- **Εγκάρσιες διογκώσεις (Transverse ridges).** Διογκώσεις στα υλικά του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

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

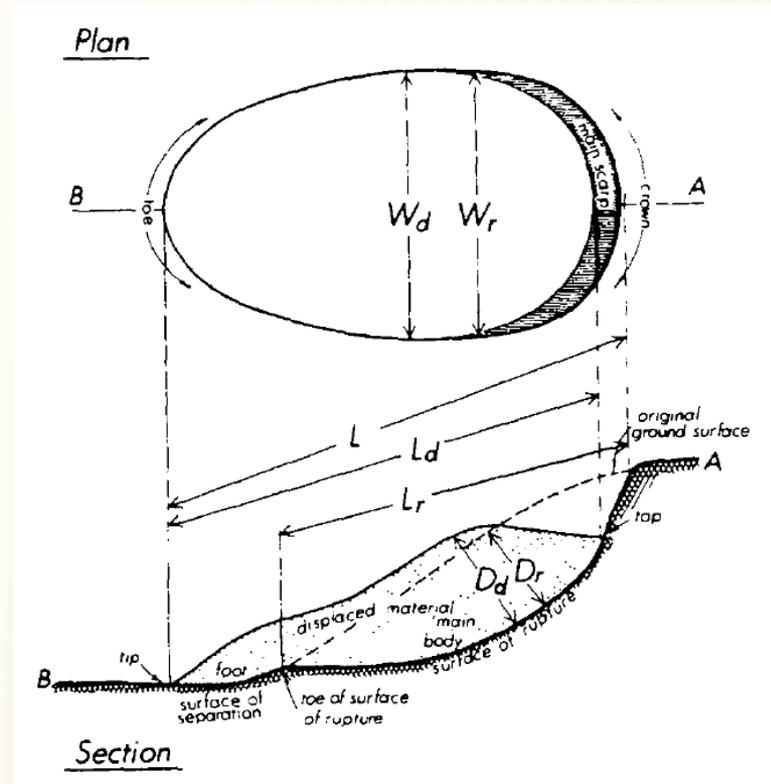
ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

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

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



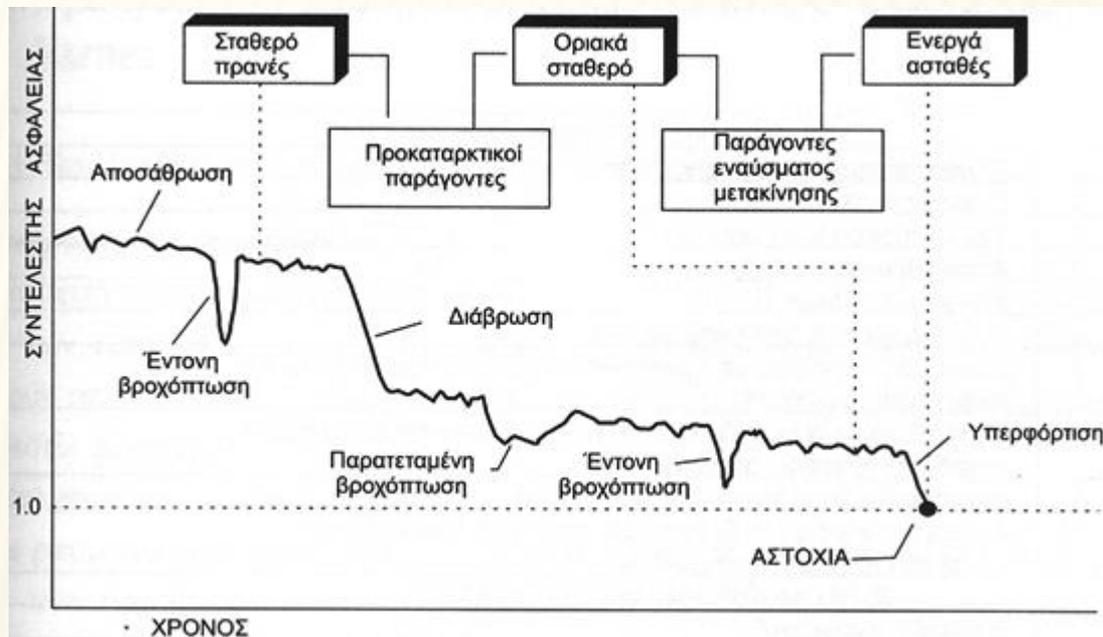
- **Βάθος της ολισθαίνουσας μάζας (D_d).** Το μέγιστο βάθος της μάζας που έχει ολισθήσει, μετρημένο κάθετα στο επίπεδο που ορίζουν τα W_d και L_d .
- **Βάθος της επιφάνειας ολίσθησης (D_r).** Το μέγιστο βάθος της επιφάνειας ολίσθησης από την αρχική επιφάνεια του εδάφους μετρημένο κάθετα στο επίπεδο που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



ΑΙΤΙΑ ΠΡΟΚΛΗΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

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

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



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

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

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

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

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ (WP/WLI 1994)

1. Γεωλογικοί παράγοντες

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

2. Γεωμορφολογικές διεργασίες

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

3. Φυσικές διεργασίες

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

4. Ανθρωπογενείς διεργασίες

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

A SUGGESTED METHOD FOR REPORTING LANDSLIDE CAUSES

PROPOSITION D'UNE MÉTHODE POUR RENDRE COMPTE DES CAUSES DES GLISSEMENTS
DE TERRAIN

M.E. POPESCU*

Summary

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

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

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

Table 1 : A brief list of landslide causal factors.

1. GROUND CONDITIONS

- 1) Plastic weak material
- 2) Sensitive material
- 3) Collapsible material
- 4) Weathered material
- 5) Sheared material
- 6) Jointed or fissured material
- 7) Adversely oriented mass discontinuities (including bedding, schistosity, cleavage)
- 8) Adversely oriented mass discontinuities (including faults, unconformities, flexural shears, sedimentary contacts)
- 9) Contrast in permeability and its effects on ground water
- 10) Contrast in stiffness (stiff, dense material over plastic materials)

2. GEOMORPHOLOGICAL PROCESSES

- 1) Tectonic uplift
- 2) Volcanic uplift
- 3) Glacial rebound
- 4) Fluvial erosion of the slope toe
- 5) Wave erosion of the slope toe
- 6) Glacial erosion of the slope toe
- 7) Erosion of the lateral margins
- 8) Subterranean erosion (solution, piping)
- 9) Deposition loading the slope crest
- 10) Vegetation removal (by erosion, forest fire, drought)

3. PHYSICAL PROCESSES

- 1) Intense, short period, rainfall
- 2) Rapid melt of deep snow
- 3) Prolonged high precipitation
- 4) Rapid drawdown following floods, high tides or breaching of natural dams
- 5) Earthquake
- 6) Volcanic eruption
- 7) Breaching of crater lakes
- 8) Thawing of permafrost
- 9) Freeze and thaw weathering
- 10) Shrink and swell weathering of expansive soils

4. MAN-MADE PROCESSES

- 1) Excavation of the slope or at its toe
- 2) Loading of the slope or at its crest
- 3) Drawdown (of reservoirs)
- 4) Irrigation
- 5) Defective maintenance of drainage system
- 6) Water leakage from services (water supplies sewers, stormwater drains)
- 7) Vegetation removal (deforestation)
- 8) Mining and quarrying (open pits or underground galleries)
- 9) Creation of dumps of very loose waste
- 10) Artificial vibration (including traffic, pile driving, heavy machinery)

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

Τα συνήθη στάδια διερεύνησης των κατολισθητικών φαινομένων είναι:

- Βιβλιογραφική αναζήτηση (γενικότερες γεωλογικές – γεωτεχνικές συνθήκες των σχηματισμών της περιοχής, αναζήτηση πληροφοριών για παλαιότερα φαινόμενα στην υπό διερεύνηση ή σε παρακείμενη θέση)
- Τηλεπισκόπηση της υπό διερεύνηση περιοχής (αεροφωτογραφίες, δορυφορικές εικόνες)
- Αυτοψία - επιτόπου αναγνώριση του φαινομένου
- Ενόργανη παρακολούθηση της κατολίσθησης (τοπογραφικές μετρήσεις, GPS, αποκλισιόμετρα, τεχνικές συμβολομετρίας - PSI (Persistent Scatterer Interferometry) κ.α.)
- Τεχνικογεωλογικές – γεωτεχνικές εργασίες πεδίου (αποτυπώσεις, χαρτογραφήσεις, γεωτεχνικές γεωτρήσεις, γεωφυσικές διασκοπήσεις κ.α.)
- Ανάλυση ευστάθειας – διαστασιολόγηση των μέτρων υποστήριξης
- Εφαρμογή – εγκατάσταση μέτρων υποστήριξης

ΕΝΟΡΓΑΝΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ

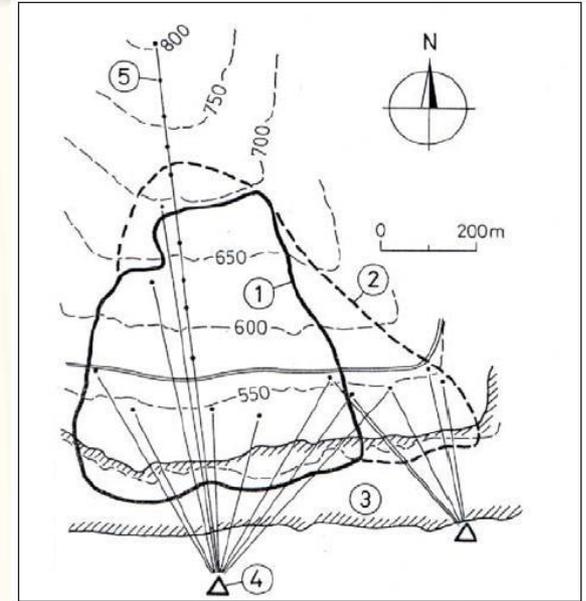
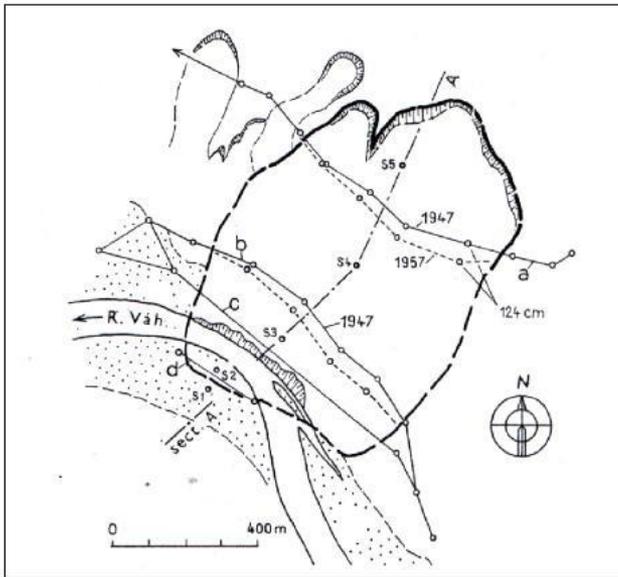
Για την ενόργανη παρακολούθηση των κατολισθήσεων χρησιμοποιούνται:

- Τοπογραφικά όργανα (κλασικά και GPS)
- Κλισιόμετρα ή αποκλισιόμετρα
- Μόνιμα αποκλισιόμετρα
- Επιμηκυνσιόμετρα
- Ρωγμόμετρα
- Radar

ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ (ΚΛΑΣΙΚΑ ΚΑΙ GPS)

Γεωδαιτικές
οδεύσεις ελέγχου
μετακινήσεων

Έλεγχος μετακινήσεων με
μετρήσεις τριγωνομετρικού
δικτύου και επιλεγμένων
σημείων παρακολούθηση



Σταθμός βάσης
GPS

ΚΛΙΣΙΟΜΕΤΡΑ Η ΑΠΟΚΛΙΣΙΟΜΕΤΡΑ (INCLINOMETERS)



CEP1-1-85 85mm O.D.
INCLINOMETER CASING

CEP1-1-70 70mm O.D.
INCLINOMETER CASING

CEP1-1-60 60mm O.D.
INCLINOMETER CASING



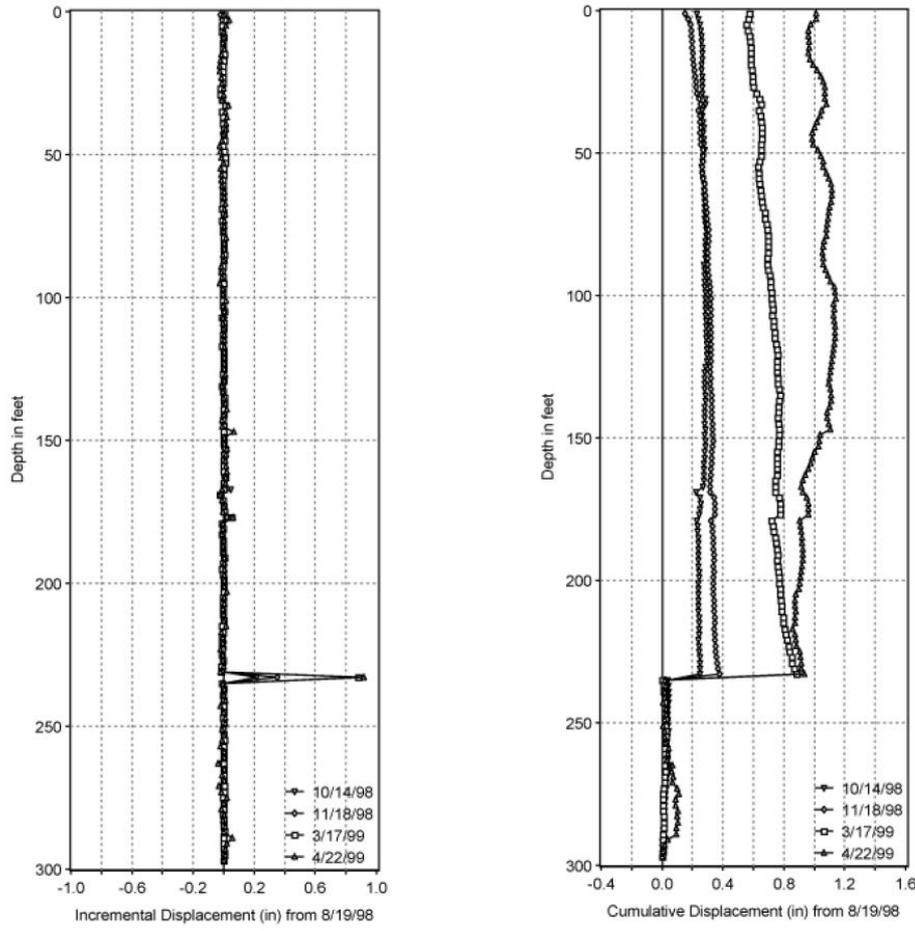
Τα αποκλισιόμετρα επιτρέπουν:

- Τον εντοπισμό του βάθους της επιφάνειας ή των επιφανειών ολίσθησης
- Τον ακριβή υπολογισμό της ταχύτητας και της διεύθυνσης της ολίσθησης

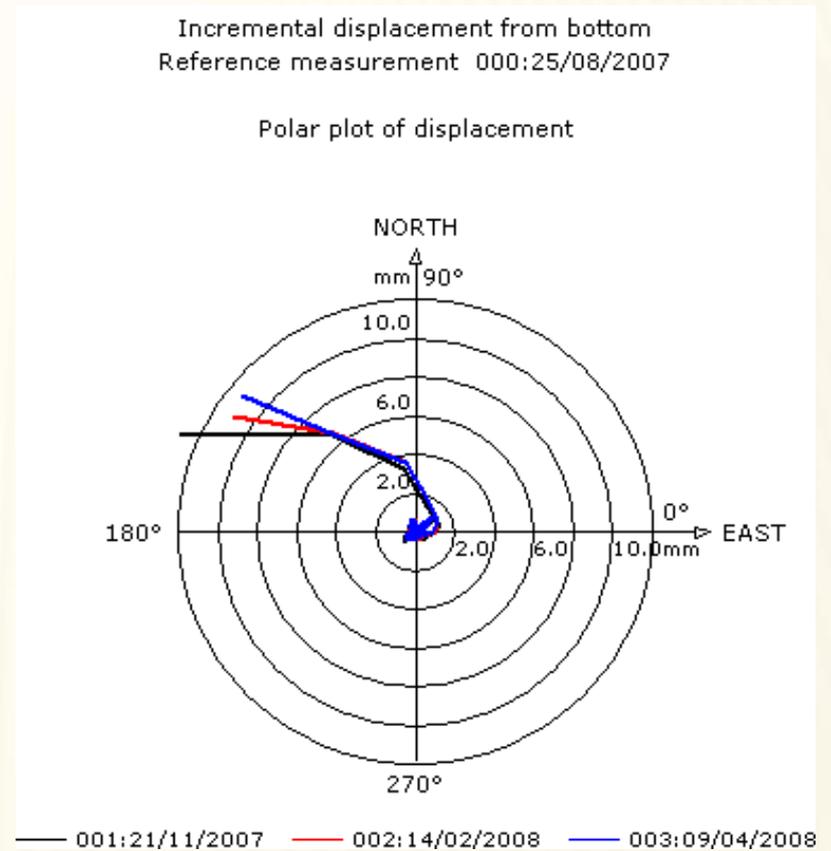
Διαδικασία εγκατάστασης και εκτέλεσης μετρήσεων:

- Μετά την ολοκλήρωση της δειγματοληπτικής γεώτρησης τοποθετούνται οι αποκλισιομετρικοί σωλήνες. Οι αρμοί των σωλήνων σφραγίζονται για την εξασφάλιση στεγανότητας.
- Ο χώρος μεταξύ του διατρήματος και του σωλήνα πληρώνεται με υδαρές ένεμα που αποτελείται από μείγμα μπετονίτη με μικρή ποσότητα τσιμέντου και νερό. Οι σωλήνες πρέπει να «πακτώνονται» κάτω από την επιφάνεια ολίσθησης.
- Μετά το πέρας 5 ημερών για την πήξη του ενέματος πραγματοποιείται η πρώτη μέτρηση αναφοράς. Ο σωλήνας μπορεί να πληρωθεί με νερό για την απόσβεση ταλαντώσεων του οργάνου.
- Σε τακτά χρονικά διαστήματα, ανάλογα με την ταχύτητα της μετακίνησης πραγματοποιούνται οι υπόλοιπες μετρήσεις. Σε κάθε μέτρηση οι μετρήσεις των αποκλίσεων πραγματοποιούνται ανά μισό μέτρο βάθους της γεώτρησης.

Διαγράμματα διαφορικής και Αθροιστικής μετατόπισης



Πολικό διαγράμμα διαφορικής μετατόπισης



Εντοπισμός βάθους επιφάνειας αστοχίας

Εντοπισμός διεύθυνσης μετακίνησης

ΜΟΝΙΜΑ ΑΠΟΚΛΙΣΙΟΜΕΤΡΑ (IN-PLACE INCLINOMETERS)



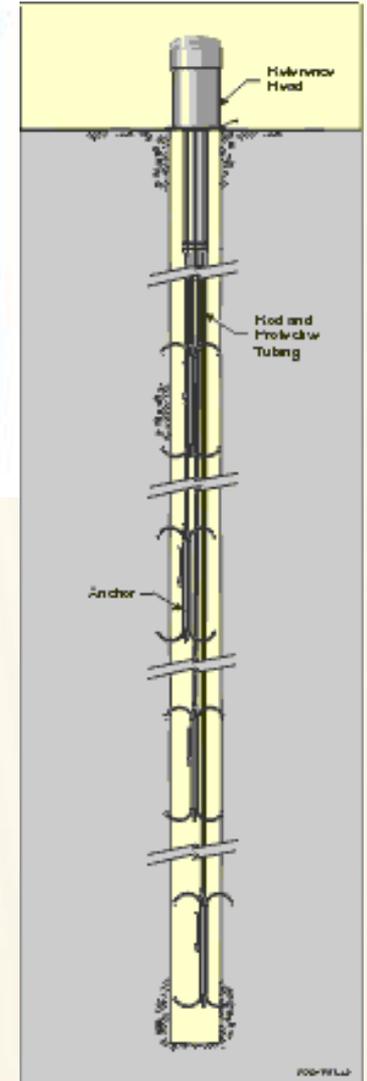
Sensors are installed with the fixed wheel pointing to the expected direction of movement.

Inclinometer casing controls the orientation of the sensors.

With serial sensors, signal cable runs from one sensor to the next, easing installation and simplifying connection to the data logger.

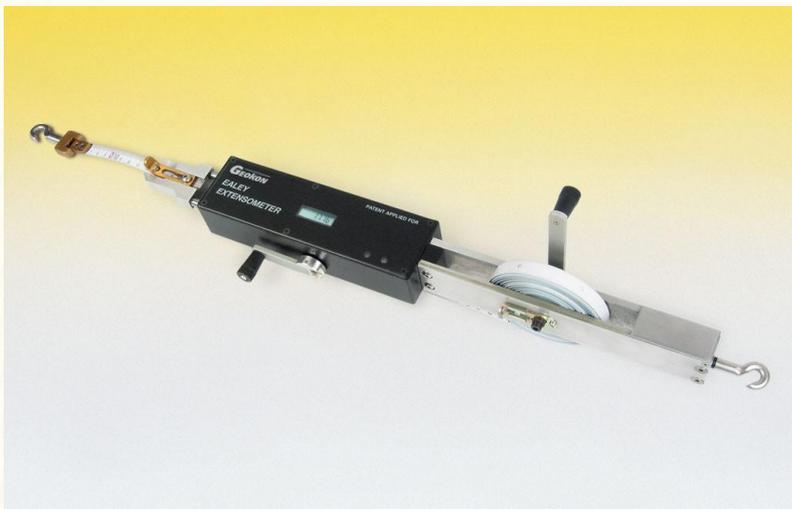
The gauge length of each sensor is the distance between fixed wheels.

ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΙΟΜΕΤΡΑ (EXTENSOMETERS)



Επιμηκυνσιόμετρα
με ράβδους
(Rod Extensometer)

Μαγνητικά επιμηκυνσιόμετρα
(Magnet Extensometer)

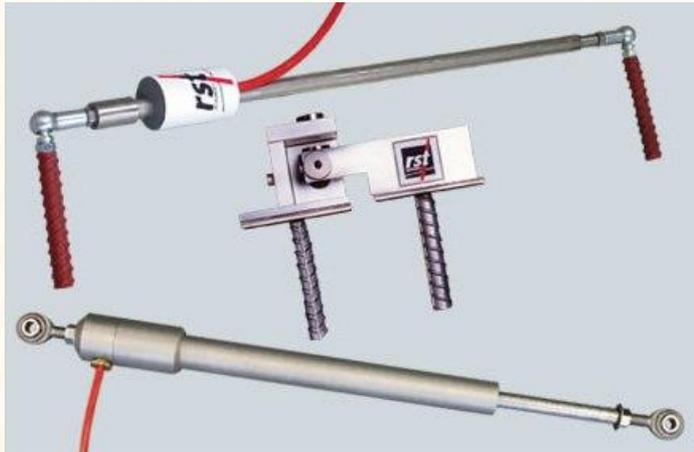


Επιμηκυνσιόμετρα ταινίας
(Tape Extensometer)

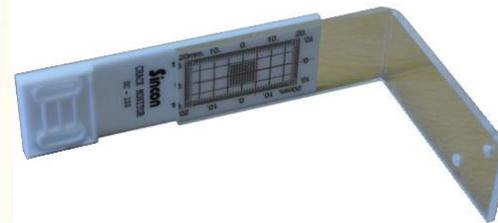
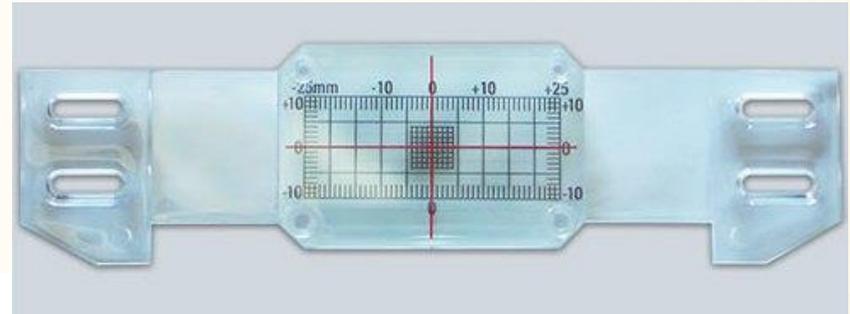


Επιμηκυνσιόμετρα Laser
(Laser Extensometer)

ΡΩΓΜΟΜΕΤΡΑ (CRACK METERS, TELL-TAILS)



Ηλεκτρονικά ρωγμόμετρα

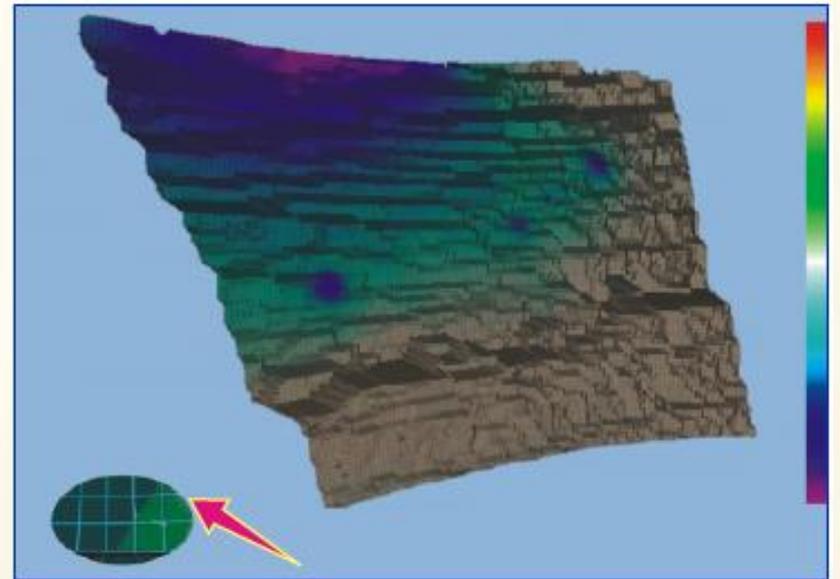


Ρωγμόμετρα
Tell-tails



RADAR ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΩΝ (MOVEMENT AND SURVEYING RADAR)





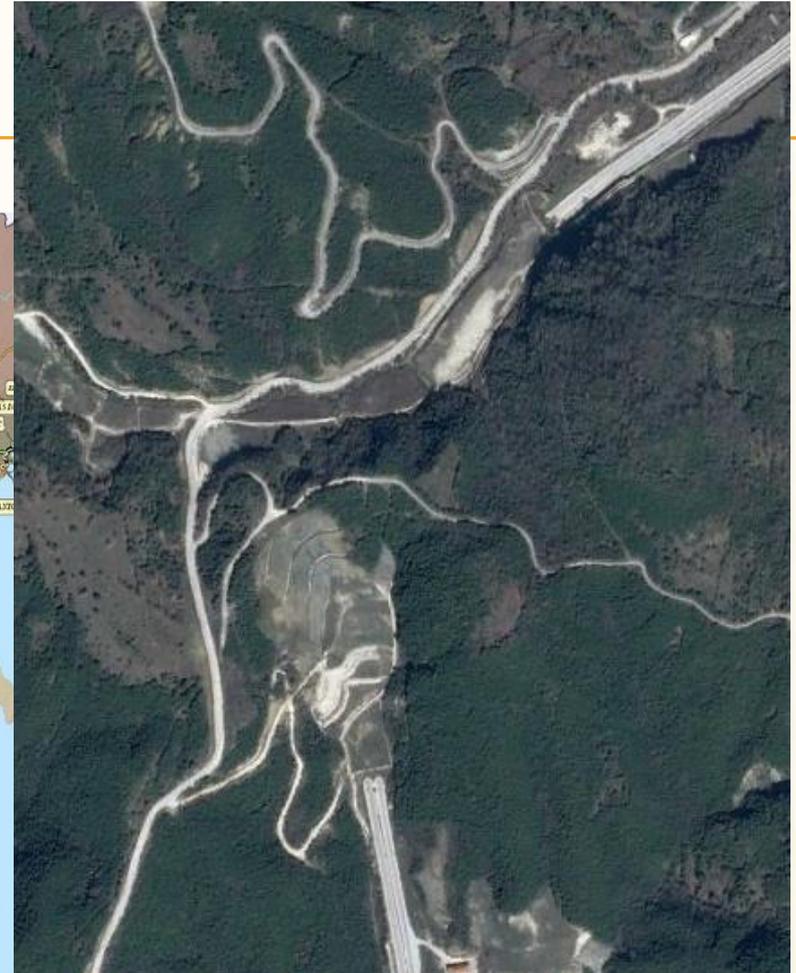
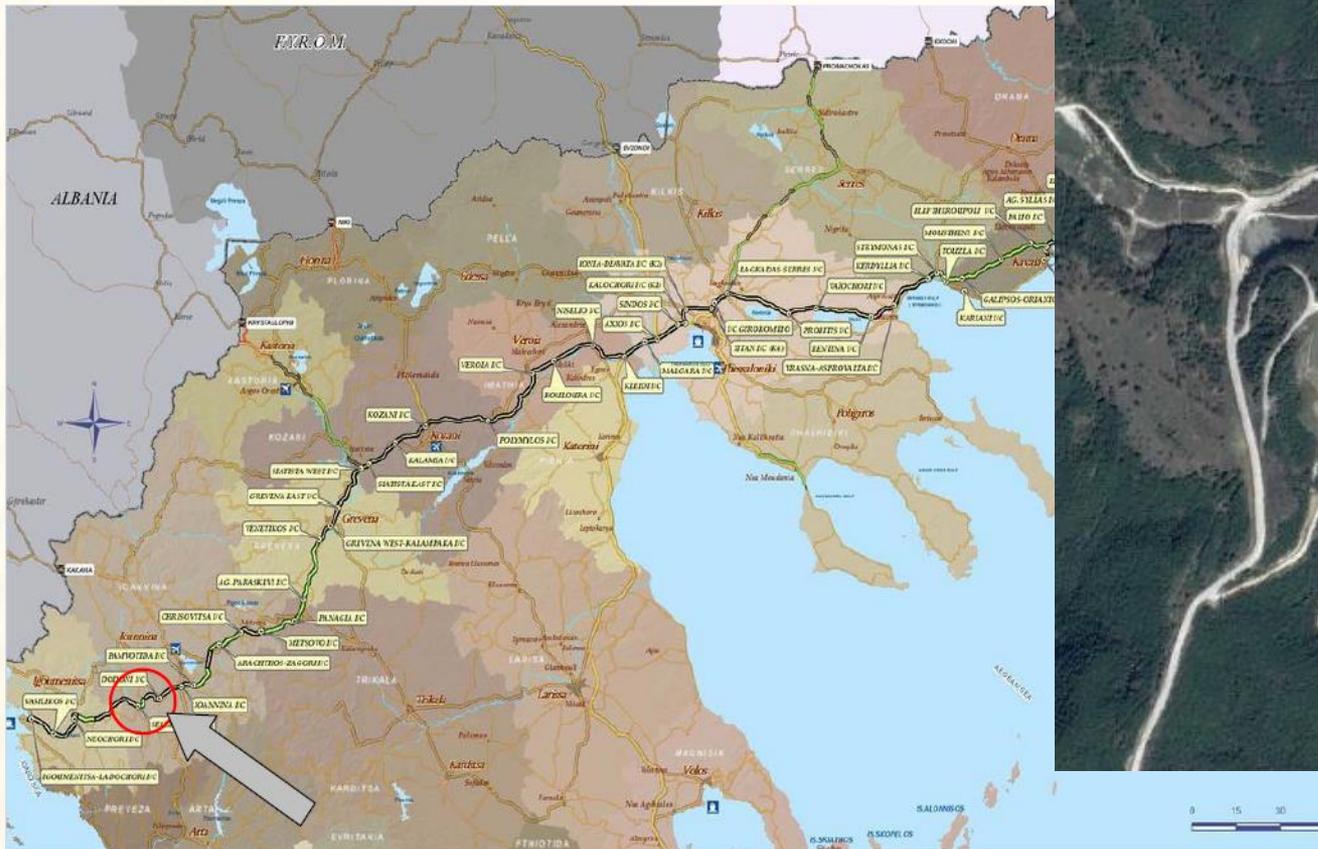
Ενδεικτικά Τεχνικά χαρακτηριστικά

- Απόσταση στόχευσης από 600 έως και 2500m.
- Κάνναβος μετρήσεων < 10 cm.
- Γρήγορη ανάπτυξη – εγκατάσταση <30min.
- Λειτουργεί σε συνθήκες έντονης σκόνης.
- Θερμοκρασίες λειτουργίας -10 έως +55.
- Άνεμος <80km/h.
- Βροχή <60mm/h.



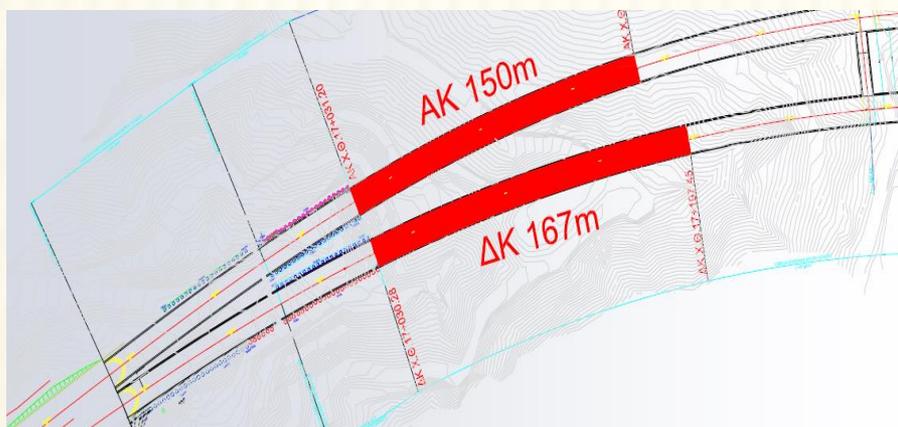
**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ ΠΟΥ
ΠΛΗΤΤΟΝΤΑΙ – ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ
ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ**

ΣΗΡΑΓΓΑ Σ2, ΤΜΗΜΑΤΟΣ 1.2.3 (ΚΟΥΜΑΡΙΑ - ΑΓ. ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ) ΤΗΣ ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ (μεταξύ Τύριας - Ιωαννίνων)

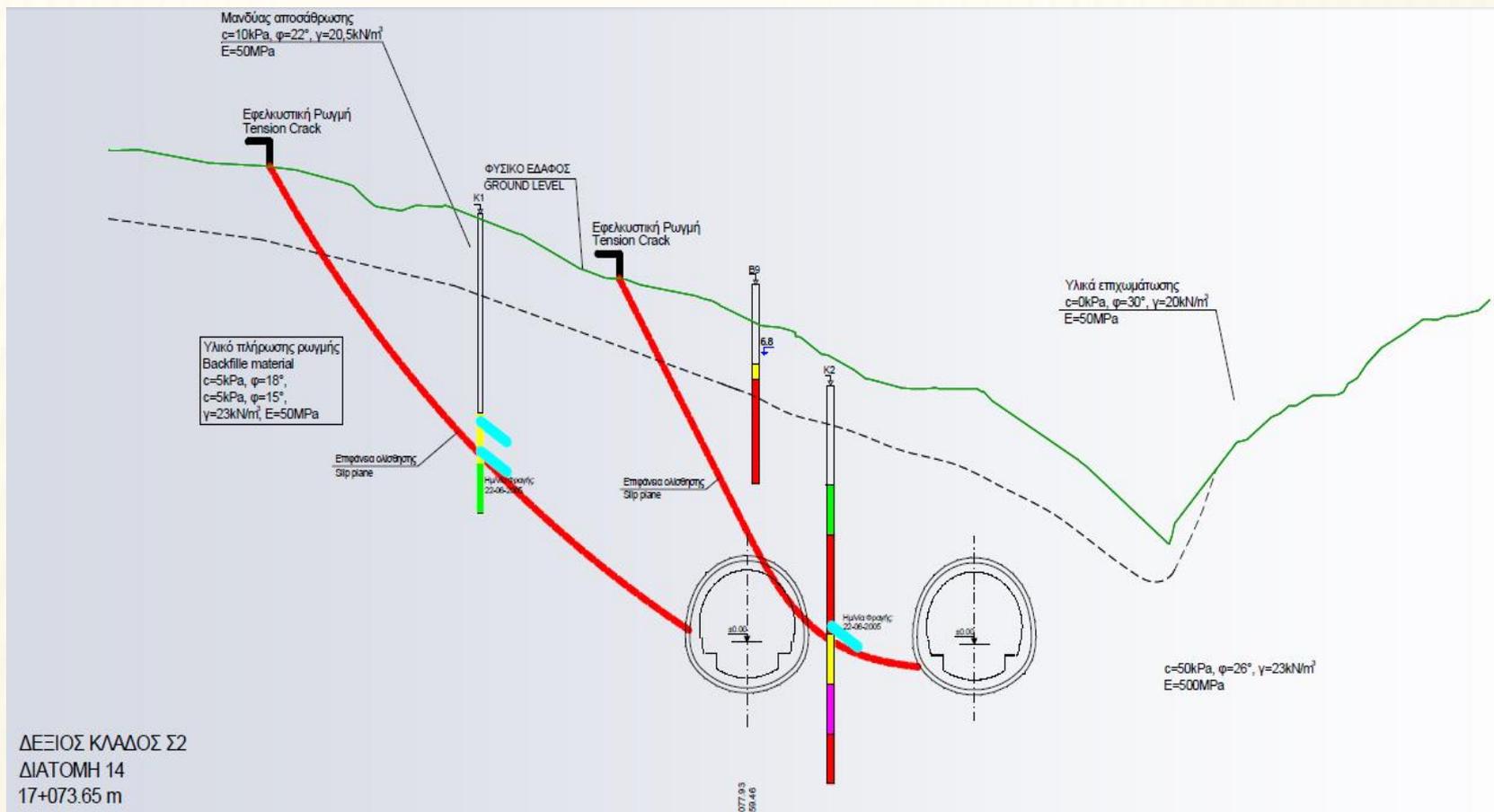


- Διπλή οδική σήραγγα μήκους 858 m πεταλοειδούς διατομής με ωφέλιμο πλάτος 10,7 m
- Τα 473 m κατασκευάστηκαν με υπόγεια διάνοιξη και τα υπόλοιπα με τη μέθοδο Cut & Cover
- Σήραγγα εντός διατμημένου ασθενούς ιλυολιθικού φλύσχη της Ιονίου Ζώνης

- Σήραγγα με ιδιαίτερα βεβαρημένο ιστορικό αστοχιών, οι περισσότερες εκ των οποίων συνέβησαν στο νότιο στόμιο και στα πρώτα 150 m (από το νότιο στόμιο) της υπόγειας διάνοιξης και των δύο κλάδων.
- Κατά τη διάρκεια της αρχικής διάνοιξης παρουσιάστηκαν μια σειρά προβλημάτων της προσωρινής υποστήριξης με αποτέλεσμα αυτά να επανεπιχωθούν, υπό το φόβο συνολικής κατάρρευσης.
- Το υπόλοιπο τμήμα της σήραγγας κατασκευάστηκε κανονικά χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα.



- Εκδήλωση κατολίσθησης τον Ιανουάριο του 1998 κατά τη διάρκεια της εκσκαφής του νοτίου στομίου. Η κατολίσθηση πραγματοποιήθηκε στο μανδύα αποσάθρωσης της φλυσικής βραχομάζας.
- Ο μηχανισμός αστοχίας περιελάμβανε την εμφάνιση βαθιών ολισθήσεων στην αριστερή πλευρά των δύο σηράγγων, οι οποίες ενεργοποιήθηκαν από την εκσκαφή τους.
- Οι ωθήσεις των γαιών προκάλεσαν την υπερφόρτιση στην προσωρινή υποστήριξη και την μετέπειτα ολοκληρωτική της αστοχία.





Παραμορφώσεις στην αριστερή παρειά και μερική αστοχία της προσωρινής υποστήριξης στον αριστερό κλάδο της σήραγγας.



Παραμορφώσεις στην αριστερή παρειά και μερική αστοχία της προσωρινής υποστήριξης στον δεξιό κλάδο της σήραγγας.

ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΜΕΛΕΤΩΝ

- Η Εγνατία Οδός εκπονεί νέα προκαταρκτική μελέτη το 2000.
- Το 2003 η Εγνατία Οδός εκπονεί νέα οριστική μελέτη.
- Βάσει της οριστικής μελέτης , στα 2003 – 2005 κατασκευάζεται ολόκληρο το έργο εκτός των πρώτων 150 m.
- Τον Απρίλιο του 2005 κατά την επισκευή των προβληματικών τμημάτων των σηράγγων εμφανίζονται και πάλι ανάλογες ρωγματώσεις και μεγάλες παραμορφώσεις και αποφασίζεται εκ νέου η διακοπή των εργασιών.
- Εκπόνηση νέας μελέτης και νέα δημοπράτηση με επιλογή νέου αναδόχου.



- Στο προβληματικό τους τμήμα, οι σήραγγες διέρχονται από φλυσικούς σχηματισμούς με εναλλαγές ψαμμιτών και ιλυολίθων της Ιονίου ζώνης.
- Η βραχομάζα είναι πτυχωμένη, με τους άξονες των πτυχώσεων να είναι περίπου παράλληλοι στους άξονες των σηράγγων, ενώ συναντώνται και επιφάνειες διάτμησης κατά μήκος ασθενεστέρων επιπέδων που δημιουργήθηκαν λόγω πτύχωσης.
- Η τεκτονική καταπόνηση έχει δημιουργήσει πολυάριθμες ζώνες διάτμησης, οι οποίες έχουν χαρακτήρα προστερεοποιημένης ιλυώδους αργίλου μέσης πλαστικότητας, με θραύσματα ψαμμίτη. Οι ζώνες αυτές οφείλονται αποκλειστικά σε τεκτονισμό. Συνιστούν την αδύναμη συνιστώσα της βραχομάζας και αυξάνουν σημαντικά την παραμορφωσιμότητά της, καθώς αποτελούν περί το 30% του συνολικού της όγκου.



Η νέα μελέτη αποκατάστασης περιλαμβάνει τα εξής μέτρα:

- Χωματοургικές εργασίες αποφόρτισης της ενεργής κατολίσθησης και επίχωση της μισογάγγειας.
- Ενεματώσεις πλήρωσης των δημιουργούμενων κενών.
- Διαμόρφωση ασφαλών δαπέδων εργασίας στην επιφάνεια του πρανούς με επιχώματα και τοίχους από συρματοκιβώτια.
- Ενίσχυση της περιβάλλουσας βραχομάζας των σηράγγων με τη μέθοδο του Jet Grouting.
- Κατασκευή διατμητικών κλειδιών (Μπαρέτες).



ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΑ ΚΛΕΙΔΙΑ (ΜΠΑΡΕΤΕΣ)

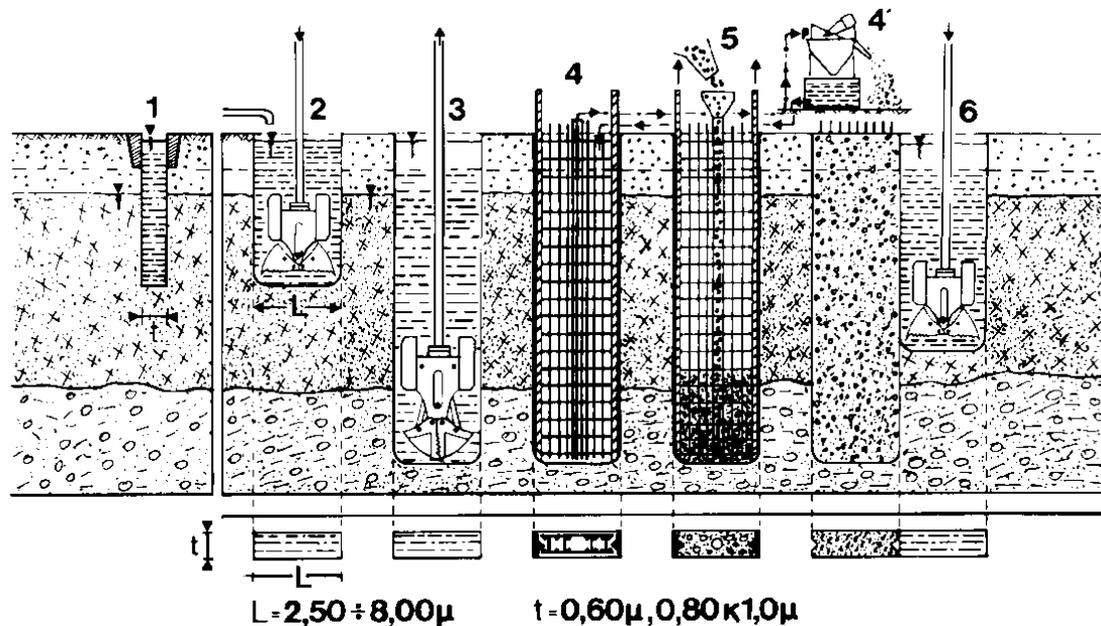
- Κατασκευάστηκαν για την ανάληψη των αντίστοιχων μονόπλευρων τεκτονικών ωθήσεων.
- Τα διατμητικά κλειδιά (Μπαρέτες) είναι τοιχεία ορθογωνικής διατομής διαστάσεων 7 m επί 1 m και βάθους 45 m.
- Κατασκευάστηκαν στο εσωτερικό του εδάφους με την τεχνική των διαφραγμάτων και τη χρήση βαριάς υδροφρέζας – υδρόμηλου.
- Τοποθετήθηκαν δυτικά των σηράγγων ώστε να παρεμβάλλονται μεταξύ αυτών και των πτυχώσεων μειώνοντας με την ακαμψία τους τις παραμορφώσεις λόγω εκτόνωσης των τάσεων και των μετακινήσεων της πλαγιάς.
- Επιλέχθηκαν έναντι των φρεατοπασσάλων λόγω της πολύ μεγαλύτερης ακαμψίας και φέρουσας ικανότητάς τους, αλλά και γιατί η διάτρηση των ψαμμιτών θα ήταν δυσκολότερη από ότι στη χρησιμοποίηση της βαριάς υδροφρέζας.
- Κατά την κατασκευή, εφαρμόστηκε προπορεία των μπαρετών με πλήρη ανάληψη της αντοχής του σκυροδέματος σε σχέση με τα μέτωπα των σηράγγων κατά 10 m τουλάχιστον, ώστε να εξασφαλίζεται προϋποστήριξη έναντι των τεκτονικών ωθήσεων.



ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ PANEL (PANEL METHODS)

- Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή κατασκευάζονται κατά μήκος ενός οδηγού εναλλασσόμενες εκσκαφές οι οποίες σκυροδετούνται εναλλάξ, με οπλισμό, μέχρι την ολοκλήρωση του διαφράγματος.
- Για την προσωρινή στήριξη της εκσκαφής χρησιμοποιείται πολφός.
- Για την εκσκαφή των τάφρων χρησιμοποιούνται Μηχανικές ή Υδραυλικές Αρπάγες (clums), Συστοιχίες από Αρίδες καθώς και Ειδικοί Μύλοι (Hydromills).
- Τα συγκεκριμένα μηχανικά μέσα επιτρέπουν την εκσκαφή σε μεγάλα βάθη.
- Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί σε ασταθείς σχηματισμούς καθώς και όταν κοντά στην τάφρο υπάρχουν κατασκευές που επιβάλλουν φορτίσεις.

ΦΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΕΓΧΥΤΩΝ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ PANELS



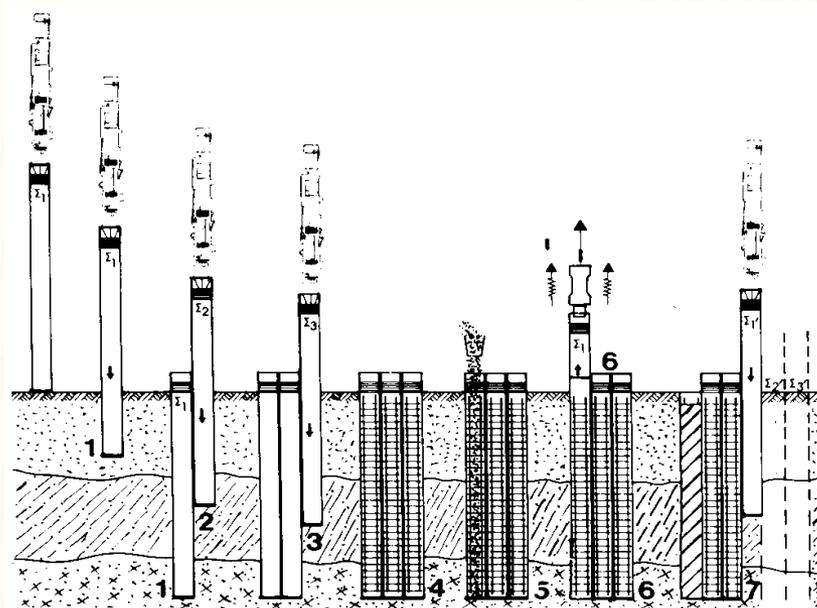
Φάσεις κατασκευής: (1) Κατασκευή οδηγών από οπλισμένο σκυρόδεμα κατά μήκος της εκσκαφής. Οι οδηγοί βοηθούν την ευθυγράμμιση της διαφραγματικής εκσκαπτικής αρπάγης και αποτρέπουν τις επιφανειακές διαρροές του μπετονιτικού αιωρήματος. (2) Προοδευτική εκσκαφή στο επιθυμητό βάθος και ταυτόχρονη πλήρωση της εκσκαφής με μπετονιτικό αιώρημα. (3) Ολοκλήρωση της εκσκαφής στο επιθυμητό βάθος. (4) Τοποθέτηση του σιδηρού οπλισμού σε κάθε Panel και των ειδικών αρμών σκυροδέτησης. (5) Σκυροδέτηση του κάθε Panel από τον πυθμένα προς την κορυφή. Υπερχείλιση του μπετονιτικού αιωρήματος, καθαρισμός και διοχέτευση σε παρακείμενο Panel που βρίσκεται στο στάδιο 2. (6) Αφαίρεση των ειδικών αρμών σκυροδέτησης πριν την πήξη του σκυροδέματος. (7) Εκσκαφή νέου Panel.



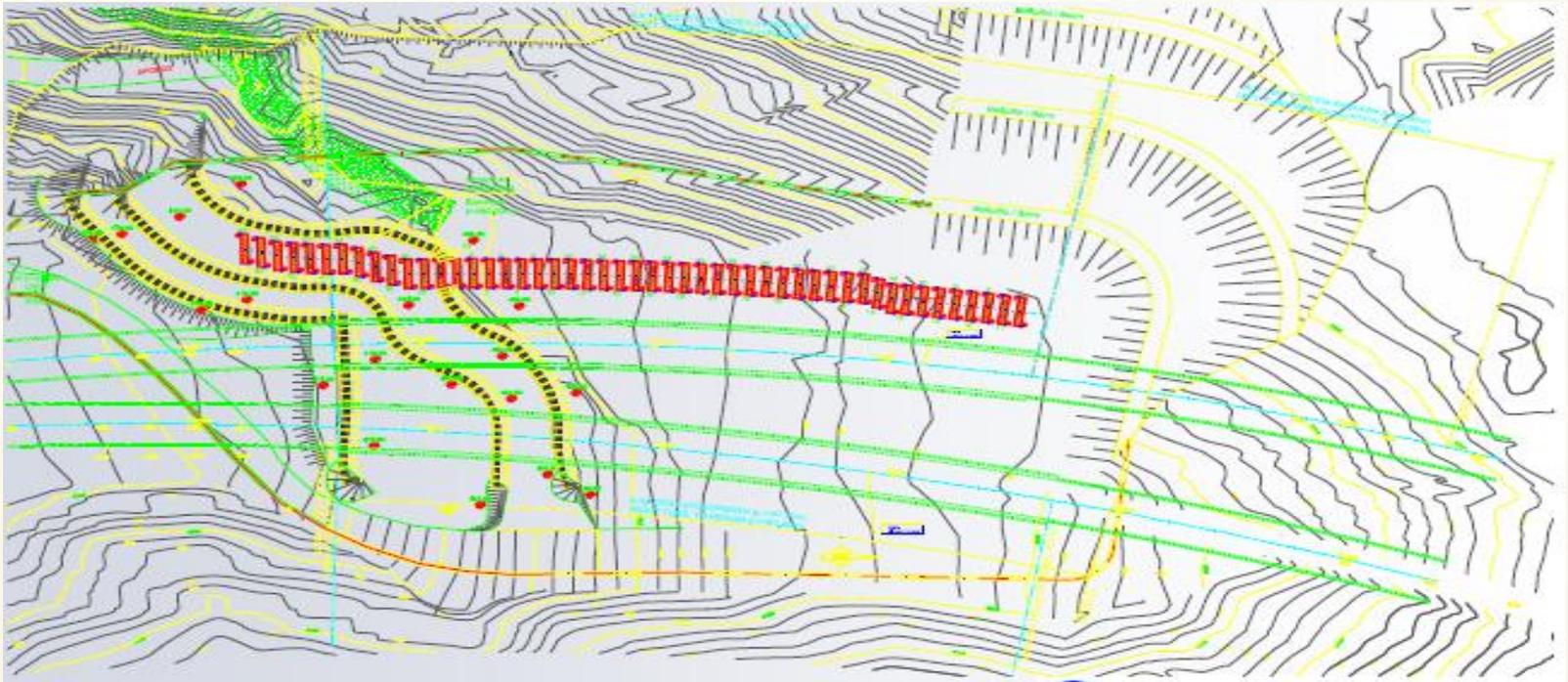


ΕΓΧΥΤΕΣ ΠΑΣΣΑΛΟΣΑΝΙΔΕΣ

Κατασκευές οι οποίες υιοθετούν τεχνικές των πασσαλοσανίδων για την κατασκευή έγχυτων διαφραγμάτων.

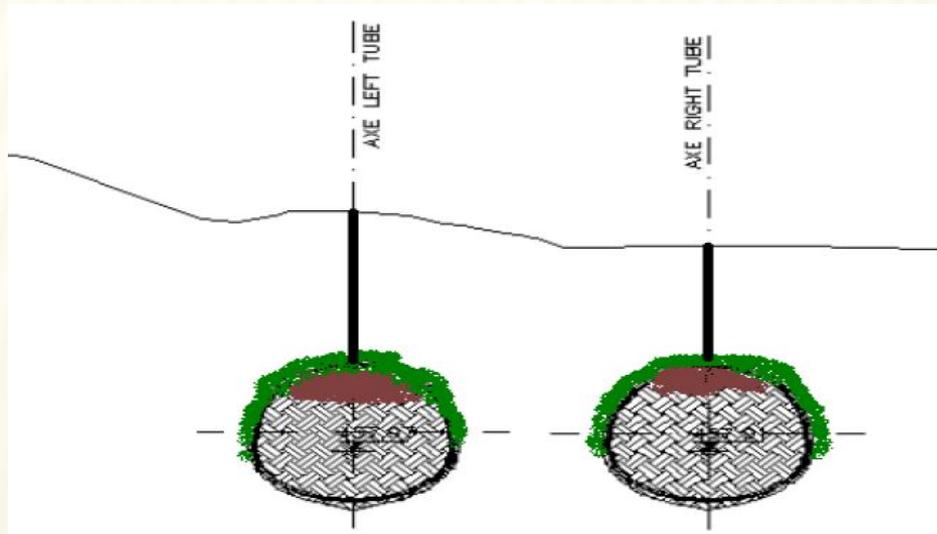


Φάσεις κατασκευής: (1) Έμψηξη του ορθογώνιου σωλήνα Σ1 με ειδικό δονητικό ή κρουστικό μηχανήμα ή με συνδυασμό και των δύο. (2) Έμψηξη του σωλήνα Σ2, θηλυκωμένο στο πρώτο. (3) Έμψηξη του σωλήνα Σ3, θηλυκωμένο στο δεύτερο. (4) Τοποθέτηση του σιδηρού οπλισμού σε όλους τους σωλήνες, Σ1, Σ2, Σ3. (5) Σκυροδέτηση όλων των σωλήνων με πλαστικό σκυρόδεμα. (6) Εξόλκευση του σωλήνα Σ1 με ειδικό δονητικό μηχανήμα και αμέσως μετά έμψηξή του στη θέση Σ1'. (7) Επανάληψη της διαδικασίας και για τους επόμενους δύο σωλήνες.

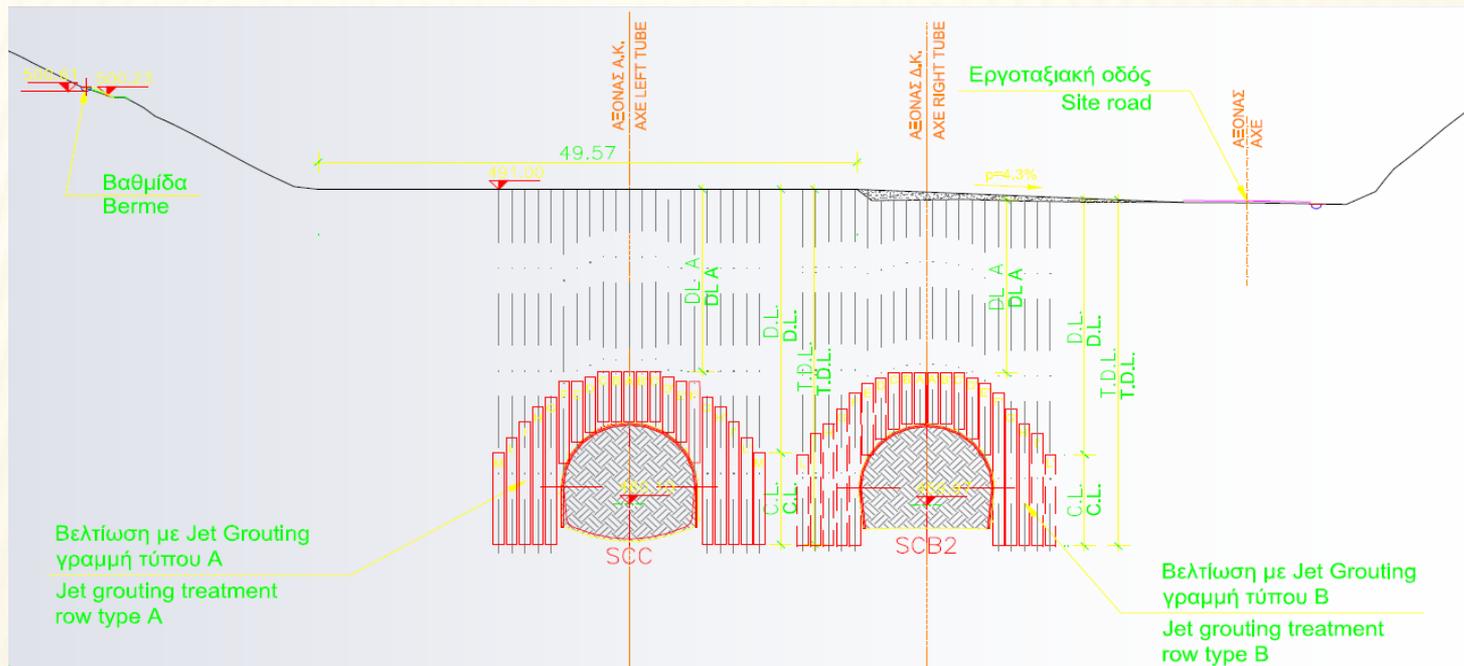


Εργασίες Ενεμάτωσης

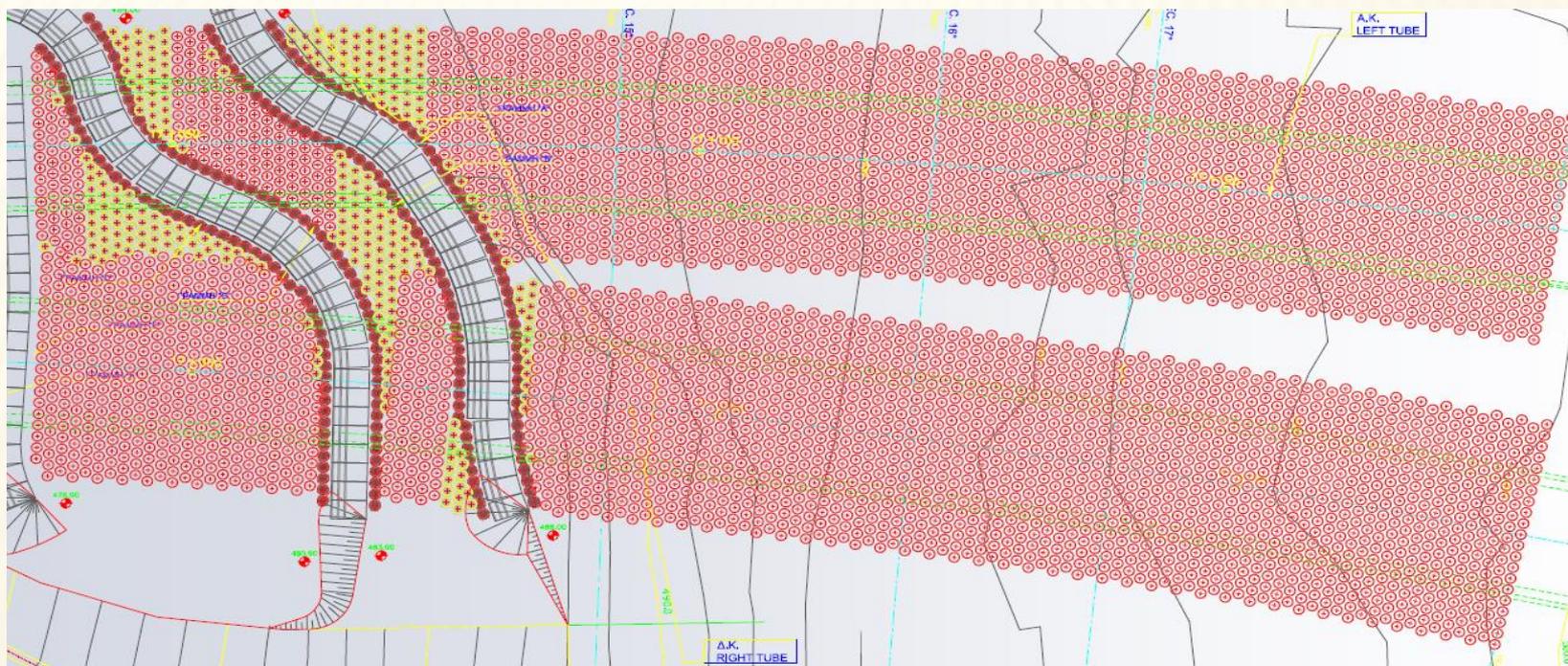
- Τα κενά που δημιουργήθηκαν από τις καταρρεύσεις των σηράγγων πληρώθηκαν πριν την επιδιόρθωσή τους, για την αποφυγή ενδεχόμενης αστοχίας τους κατά τη διάρκεια των εργασιών.
- Στην πρώτη φάση των εργασιών έγινε απλή ρίψη γαρμιλοδέματος (μωβ χρώμα) για την πλήρωση των μεγάλων κενών υπεράνω της επίχωσης των σηράγγων.
- Στη δεύτερη φάση για την πλήρωση των μικρότερων και διάσπαρτων κενών της βραχόμαζας που δημιουργήθηκαν από τις καταρρεύσεις, χρησιμοποιήθηκε τσιμεντένεμα με χρήση αντλίας και παρεμβύσματος.
- Οι εργασίες πλήρωσης έγιναν με οπές που διατρήθηκαν από την επιφάνεια του εδάφους.



- Σε κάθε επιμέρους τμήμα των σηράγγων, μετά την ολοκλήρωση της πλήρωσης κενών και πριν την προχώρηση του μετώπου υπόγειας εκσκαφής, πραγματοποιήθηκε βελτίωση μιας ζώνης πάχους 5 – 6.5 m, γύρω από τις παρειές και την οροφή με την εκτέλεση τσιμεντενέσεων τύπου Jet Grouting.
- Με τη διαδικασία αυτή δημιουργήθηκε ένας πολύ μεγάλης ακαμψίας, ενιαίος στατικός φορέας επένδυσης – βελτιωμένης βραχώμαζας, ικανός να αναλαμβάνει μέρος των τεκτονικών ωθήσεων.
- Η χρήση της μεθόδου Jet Grouting προτιμήθηκε αντί της επιλογής της μεθόδου συμβατικών τσιμεντενέσεων, καθώς η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόζεται σε εδαφικά υλικά.



- Για τη βελτίωση της βραχομάζας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος «Bifluid» εισπίεσης ενέματος και αέρα με πίεση ενέματος 440 Bar.
- Ο κάναβος των οπών στην επιφάνεια του εδάφους από τις οποίες διοχετεύονταν το ένεμα ήταν 1.2x1.2 (m).
- Οι ζώνες διάτμησης του φλύσχη έχουν χαρακτήρα προστερεοποιημένης ιλυώδους αργίλου μέσης πλαστικότητας, με θραύσματα ψαμμίτη. Οι ζώνες αυτές ελέγχουν, κυρίως, την αντοχή του ετερογενούς φλύσχη και, επομένως, η βελτίωσή τους είναι πολύ σημαντικότερη από τη βελτίωση του αδιατάρακτου ψαμμίτη. Ο εδαφικός τους χαρακτήρας καθιστά εφικτή τη βελτίωσή τους με Jet Grouting.



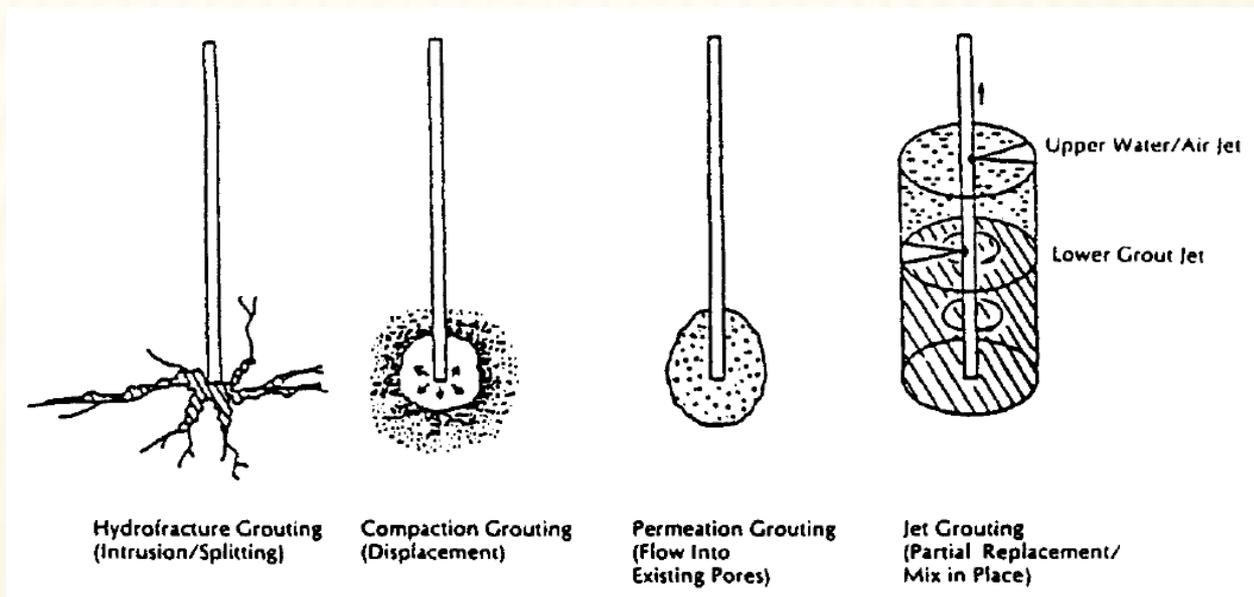
- Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου ελέγχθηκε και τεκμηριώθηκε με επιτόπου μέτρηση του ποσοστού απορρόφησης του ενέμματος και με την εκτέλεση 8 δειγματοληπτικών γεωτρήσεων, με 38 m συνολικό μήκος δειγματοληψίας βελτιωμένου εδάφους.
- Από τις γεωτρήσεις αυτές προέκυψε, ότι το 51% των κρίσιμων για την ευστάθεια ιλυοαργιλικών ζωνών διάτμησης, οι οποίες αρχικά είχαν αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη της τάξης των 0.1 MPa, μετατράπηκαν σε μίγμα εδάφους – τσιμεντενέματος (soilcrete) με μέση αντοχή 3.2 MPa.
- Επιπλέον, αρκετές ασυνέχειες του βραχώδους φλύσχη πληρώθηκαν με ένεμα και το μέσο RQD της βραχόμαζας αυξήθηκε από 22 σε 50.



ΒΑΣΙΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΝΕΜΑΤΩΣΕΩΝ

Βασικές χρήσεις ενεματώσεων στη γεωτεχνική μηχανική είναι:

- Η ενεμάτωση ρωγμών (πλήρωση κενών - στεγανοποίηση - σταθεροποίηση)
- Η ενεμάτωση πόρων (στεγανοποίηση - σταθεροποίηση)
- Η ενεμάτωση συμπύκνωσης (συμπύκνωση)
- Οι ενεματώσεις εκτόπισης (εκτόπιση σχηματισμών - ανύψωση κατασκευών)
- Η ενεμάτωση τύπου Jet Grouting (επιτόπου αντικατάσταση - σταθεροποίηση)
- Η ενεμάτωση τύπου Wet Soil Mixing (επιτόπου αντικατάσταση - σταθεροποίηση)

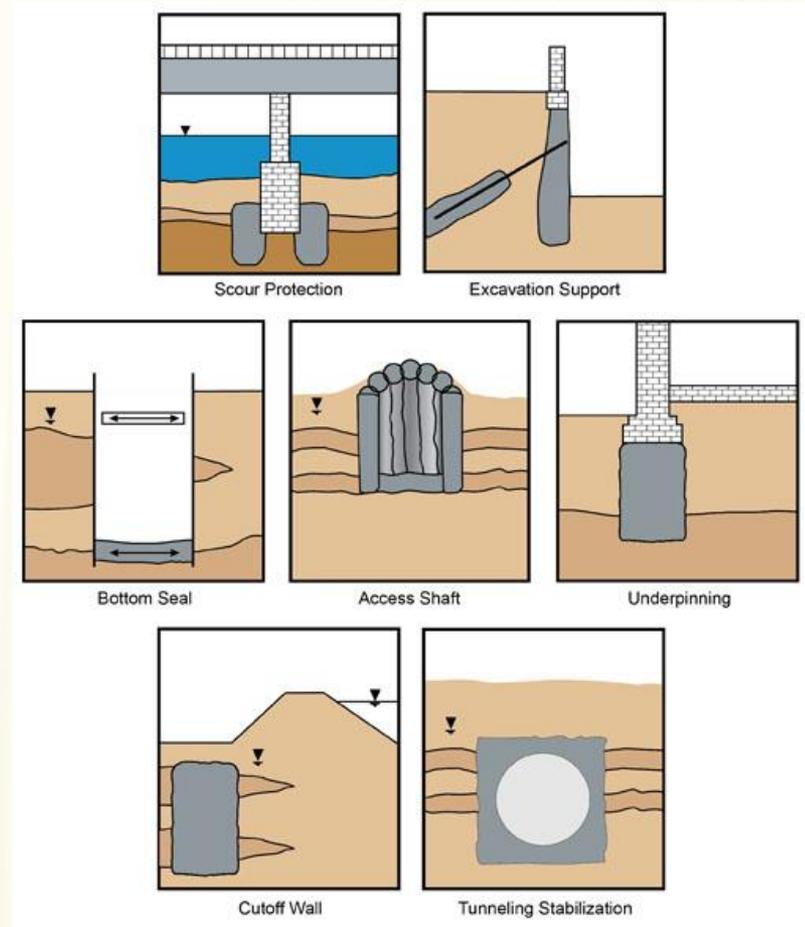


JET GROUTING

Η τεχνική του Jet grouting αποσκοπεί στην επιτόπου δημιουργία δομών από ενεματωμένο έδαφος με τη διοχέτευση ενέματος υπό υψηλές πιέσεις εντός του εδαφικού σχηματισμού. Η διοχέτευση του ενέματος γίνεται από το άκρο του στελέχους διάτρησης κατά τη διάρκεια της ανάσυρσής του από το μέγιστο βάθος διάτρησης. Κατά τη διάρκεια της εφαρμογής ο σχηματισμός διαβρώνεται και αναμιγνύεται με το ένεμα.

Το ενεματωμένο έδαφος παρουσιάζει βελτιωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά αλλά και μειωμένη υδροπερατότητα.

Η συγκεκριμένη τεχνική παρουσιάζει μεγάλο πεδίο εφαρμογών.



ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ JET GROUTING

- Υπάρχουν τρία διαθέσιμα συστήματα Jet Grouting. Συστήματα που χρησιμοποιούν ένα, δύο ή τρία ρευστά.
- Η μέθοδος έχει εφαρμοστεί επιτυχώς σε βάθη έως 50m.
- Δυσκολίες εφαρμογής παρατηρούνται στους σχηματισμούς που περιέχουν μεγάλες κροκάλες ή λατύπες.

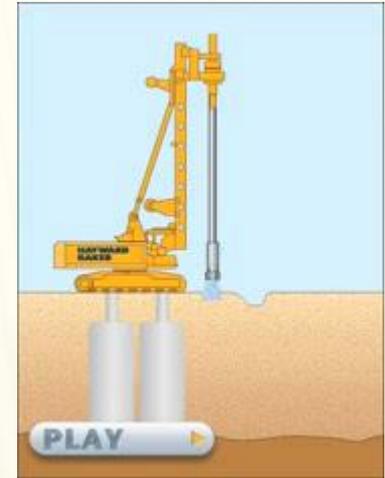
Συστήματα που χρησιμοποιούν ένα ρευστό (monofluid systems)

- Η αντλία που εισπνέζει το ένεμα λειτουργεί με πιέσεις από 410 atm (6000psi).
- Τα ακροφύσια βρίσκονται πάνω από τη διατρητική κεφαλή.
- Το ένεμα (αναλογίας w/c 1-2) εκτοξεύεται με ταχύτητα 180 m/sec.
- Ταχύτητα περιστροφής 10-20rpm.
- Ταχύτητα ανάδυσης 25-50cm/min.
- Ακτίνα δράσης 4,5 – 6m, στα συνεκτικά εδάφη και 6 – 9m, στα κοκκώδη.
- Η θλιπτική αντοχή του βελτιωμένου εδάφους είναι από 1,5 MPa, για οργανικά εδάφη, έως 7MPa για αδρομερή υλικά.
- Το μόνο σύστημα που εφαρμόζεται και με απόκλιση από την κατακόρυφη.



Συστήματα που χρησιμοποιούν δύο ρευστά (two fluid systems)

- Τα ακροφύσια βρίσκονται πάνω από τη διατρητική κεφαλή και περιβάλλονται από ακροφύσια που εκτοξεύουν αέρα.
- Εξασφαλίζουν μεγαλύτερη ακτίνα δράσης από τα συστήματα που χρησιμοποιούν ένα ρευστό .

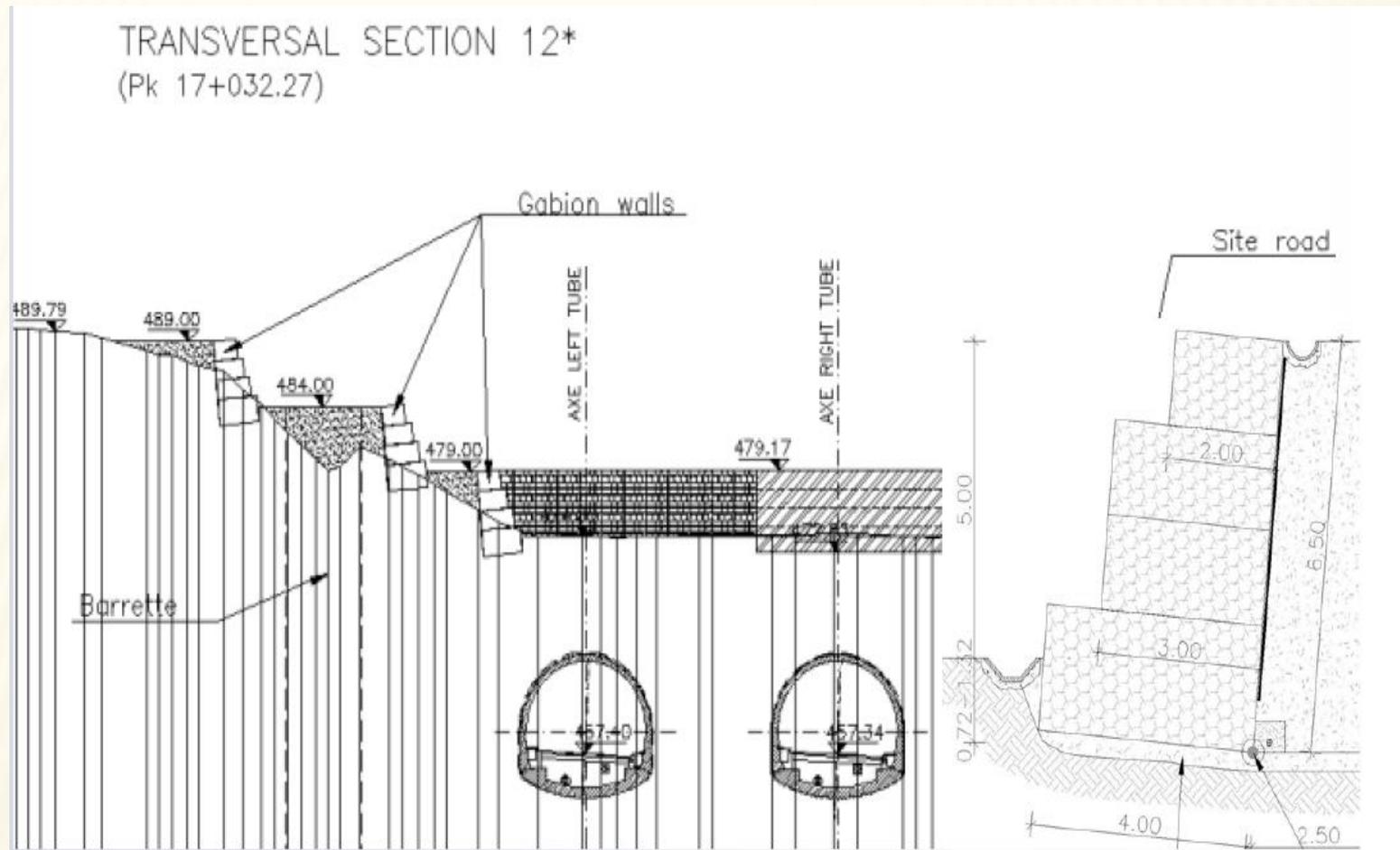


Συστήματα που χρησιμοποιούν τρία ρευστά (three fluid systems)

- Τα ακροφύσια νερού και αέρα βρίσκονται πάνω από τα ακροφύσια του ενέματος.
- Ακτίνα δράσης 4,7 - 6,2m, στα συνεκτικά εδάφη και 6,5 - 10m, στα κοκκώδη.
- Παρέχει πιο ομογενοποιημένο βελτιωμένο υλικό.



- Για την ασφαλή εκτέλεση των επιφανειακών εργασιών στο νότιο τμήμα της περιοχής του έργου, όπου υπήρχαν έντονες μορφολογικές κλίσεις και κατολισθέν έδαφος, διαμορφώθηκαν επίπεδα δάπεδα εργασίας με την κατασκευή τοίχων αντιστήριξης με συρματοκιβώτια .





- Η επιδιόρθωση των σηράγγων έγινε με εκσκαφή σε δύο φάσεις.
- Οι συγκλίσεις, στην τελική φάση αποκατάστασης, δεν ξεπέρασαν τα 2 εκ. Ο μηχανισμός παραμόρφωσης ήταν ο ίδιος με αυτόν που παρατηρήθηκε και κατά τις προηγούμενες διανοίξεις.



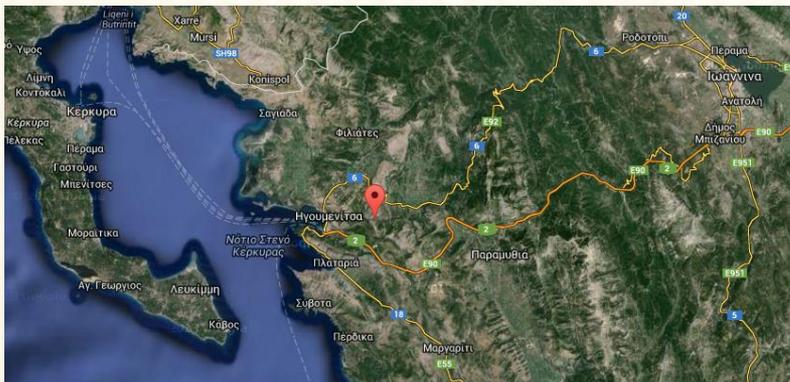
Το τελικό αποτέλεσμα ήταν η επιτυχής ολοκλήρωση του έργου εντός του προβλεφθέντος προϋπολογισμού και χωρίς καμία απολύτως αστοχία στην τελική φάση κατασκευής του. Επίσης επετεύχθη η ολοκλήρωση του έργου εντός του χρονοδιαγράμματος και η έγκαιρη παράδοσή του στην κυκλοφορία.



Αποστραγγιστική σήραγγα στην Κρυσταλλοπηγή Θεσπρωτίας, Δυτικός Τομέας Εγνατίας οδού



Image © 2014 CNES / Astrium
© 2014 Google



Διέλευση του αυτοκινητόδρομου της Εγνατίας οδού από τη βάση πρανούς με Ενεργή κατολίσθηση μεγάλου όγκου (Μήκος 1000m και Μέγιστο βάθος 100m). Η κατολίσθηση χαρακτηρίζεται από Ισχυρές ερπυστικές μετακινήσεις.

Στοιχεία Σήραγγας:

Μήκος 840m, Εξωτ. Διαμέτρος 2,42m / 2,0m

Micro-TBM, PipeJacking

Αποστραγγιστικές γεωτρήσεις μέσα από τη σήραγγα

Φ1: Φρέαρ

Εισόδου

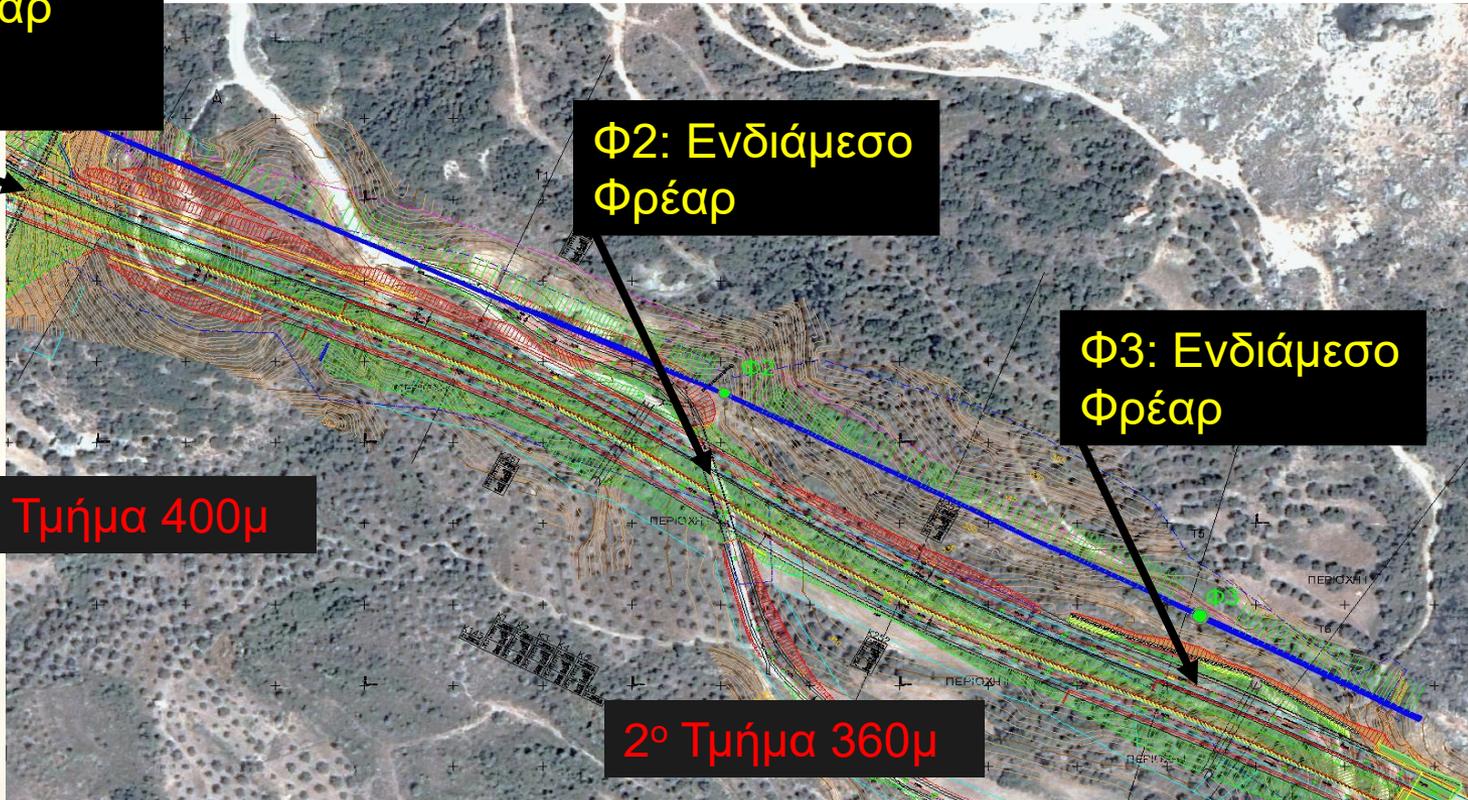
Φ2: Ενδιάμεσο
Φρέαρ

Φ3: Ενδιάμεσο
Φρέαρ

1^ο Τμήμα 400μ

2^ο Τμήμα 360μ

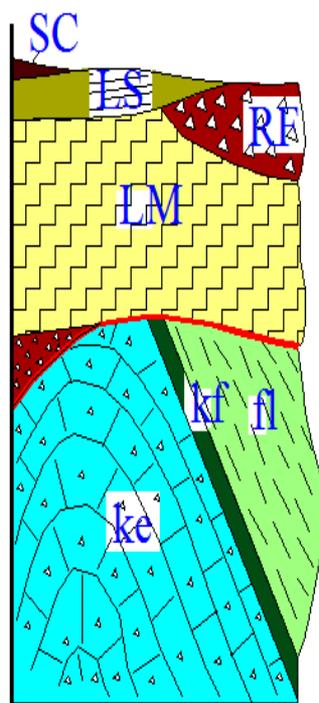
3^ο Τμήμα 80μ



ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ

Σχηματισμοί της
Ιονίου
Γεωτεκτονικής
Ζώνης

ΠΕΡΙΟΧΗ
ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ



SC: ΚΟΡΗΜΑΤΑ

RF: ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ

LS,LM: ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

ΒΚ: ΟΛΙΣΘΗΜΕΝΗ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΗ
ΒΡΑΧΟΜΑΖΑ

fl: ΦΛΥΣΧΗΣ

kf: ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΟΙ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ

ke: ΗΩΚΑΙΝΙΚΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ

kv: ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΒΙΓΛΑΣ

kd: ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΠΙΑΝΤΟΚΡΑΤΟΡΑ

tc: ΚΛΑΣΤΙΚΗ ΣΕΙΡΑ

ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΗΚΟΤΟΜΗ

-  Landslide Materials
-  Recent and older Rockfall Materials in Clayey Materials
-  Fragmented weathered Flysch in the old landslide mass
-  Flysch (alternation Sandstone-Siltstone)
-  Limestone ("thinly bedded"; jointed)
-  Brecciate Limestone in Landslide Material
-  assumed slip surface

Υλικά Κατολίσεσης

Παλαιά και πρόσφατα υλικά ολίσθησης σε άργιλο

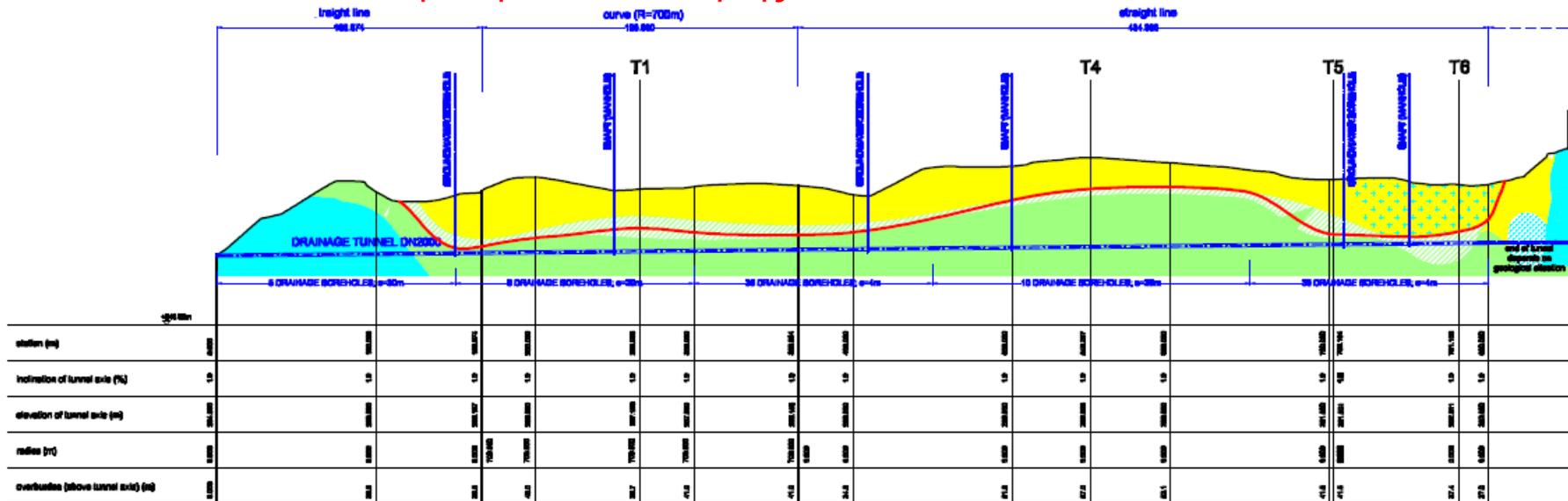
Διατμημένος, αποσαθρωμένος Φλύσχης σε Παλαιά επιφάνεια ολίσθησης

Φλύσχης

Λεπτοπλακώδης Ασβεστόλιθος

Ασβεστολιθικές Λατύπες

Πιθανή επιφάνεια ολίσθησης



ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ - PIPEJACKING

- Μηχανοποιημένη εκσκαφή με ασπίδα ανοιχτού τύπου σημειακής κοπής. Προώθηση της επένδυσης με τη μέθοδο του προωθούμενου σωλήνα (Pipejacking).
- MTBM ισχυρά αγκυρωμένο σε δύο σωλήνες επένδυσης, ωθείται από ένα σύστημα υδραυλικών εμβόλων που βρίσκεται στο φρεάτιο πρόσβασης
- Η ευθυγραμμία της εκσκαφής εξασφαλίζεται από φωτεινή δέσμη ακτίνας laser.



MTBM



ΦΡΕΑΡ ΕΡΓΑΣΙΑΣ



ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΥΛΙΚΩΝ



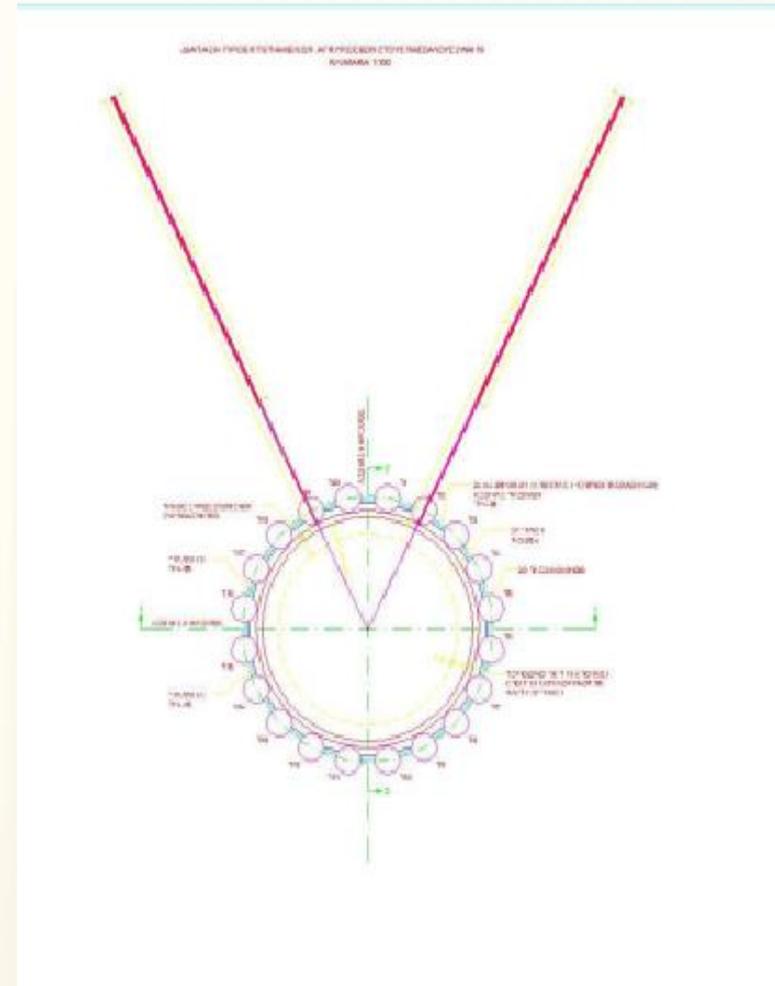
ΟΨΕΙΣ ΜΕΤΩΠΟΥ



ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΡΕΑΤΙΩΝ

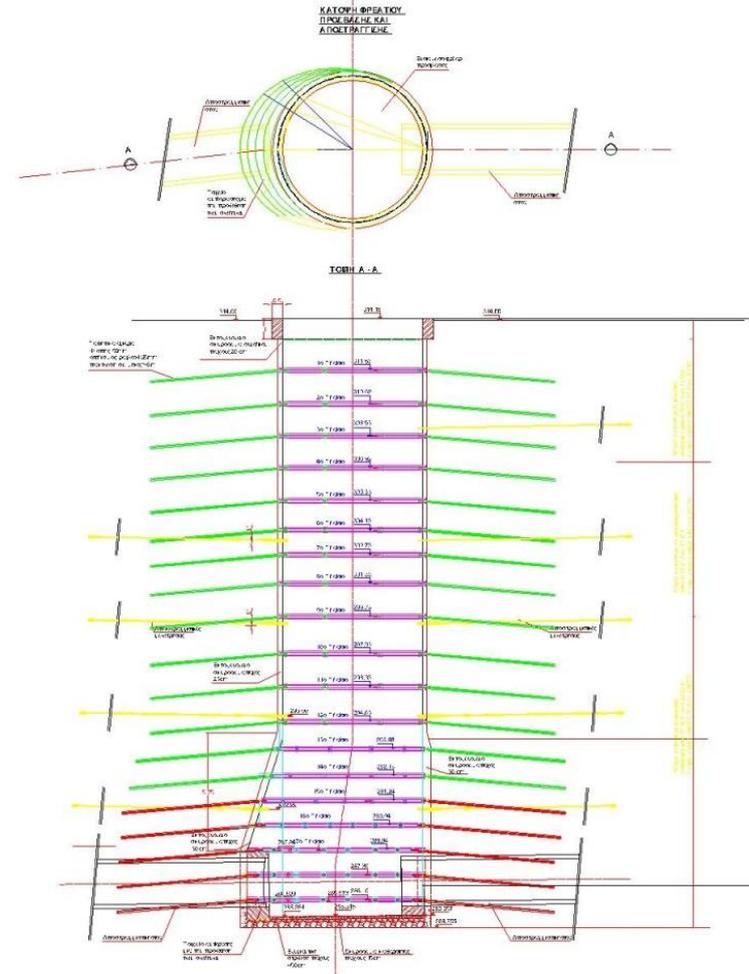
- **Φρέαρ Φ1:** ΧΘ: 0+0m, ήρεμη γεωτεχνικά περιοχή ανοιχτή τάφρος ορθογωνικής διατομής **8m x 6m**
- **Φρέαρ Φ2:** βρίσκεται στη ΧΘ: 0+400m, ολικό βάθος **d=29m**, από την επιφάνεια έως 19m κυκλική διατομή **D=7m**, και από 19m έως 29m ελλειψοειδής με μεγάλη πλευρά **8,5m**, αντιστήριξη παρειών με μεταλλικούς δακτυλίους, gunite 15cm, ηλώσεις μήκους 6m & διάταξης 12/1,5m & αποστραγγιστικές γεωτρήσεις.
- **Φρέαρ Φ3:** βρίσκεται στη ΧΘ: 0+760m, κυκλικό **D=7,8m** και βάθος **d=42m**, αντιστήριξη με 20 πασσάλους **D=1m**, gunite 20cm, 48 προεντεταμένα αγκύρια μήκους **L=17M** & αποστραγγιστικές γεωτρήσεις.

ΤΟΜΗ ΦΡΕΑΤΙΟΥ Φ3



ΦΡΕΑΡ Φ2 / ΤΟΜΗ

Ενδιάμεσο Φρεάτιο:
Φ2 Χ.Θ. 0+394
Βάθος: 29,0 m
Αποστραγγιστικές
γεωτρήσεις:
40X18m=720m





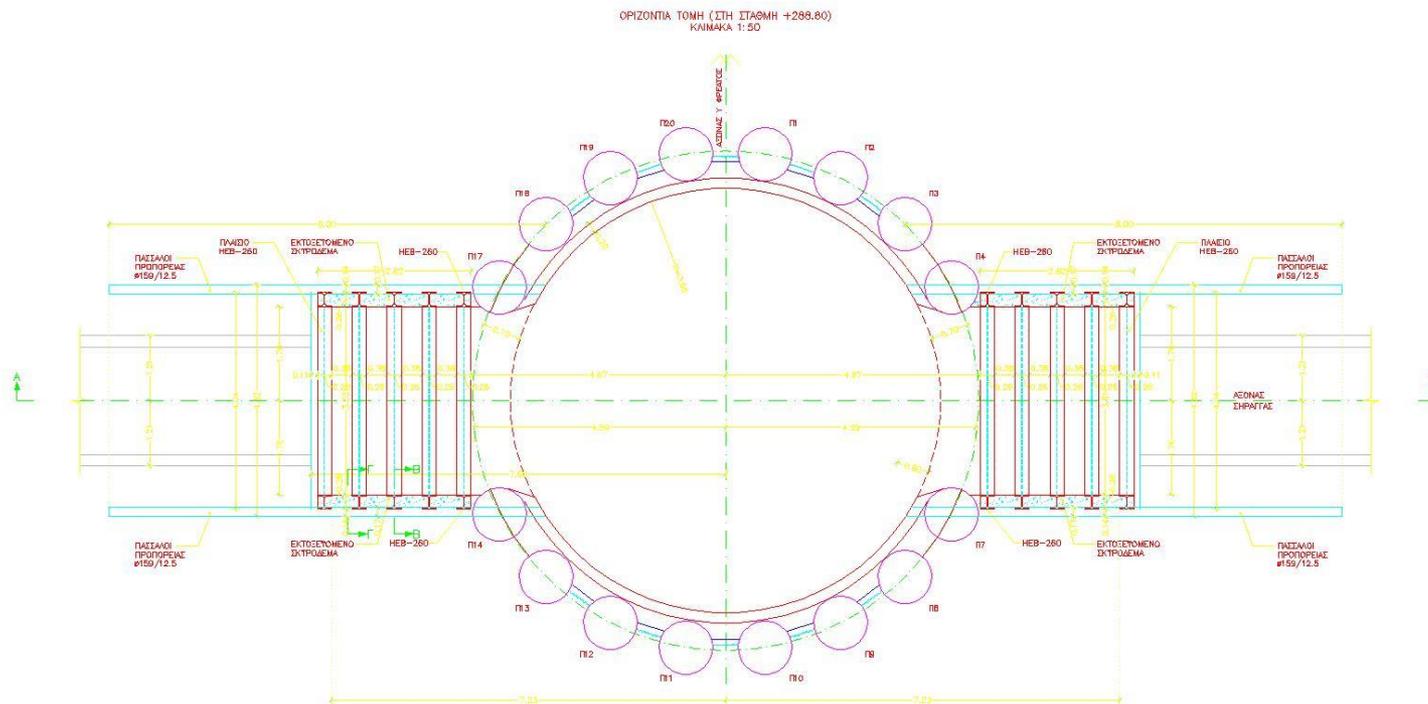
Άποψη εργασιών εντός του
φρέατος Φ2





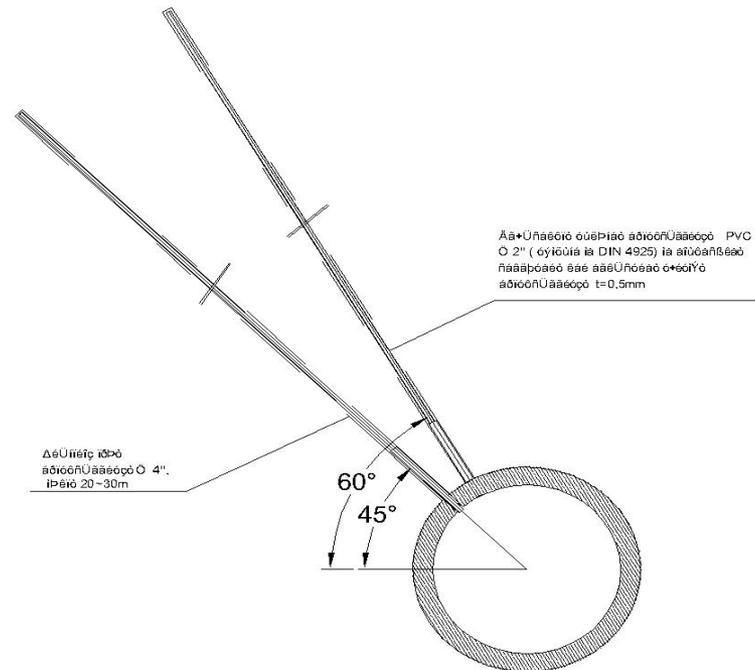
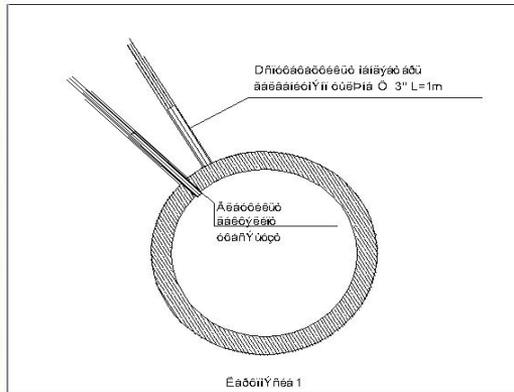
Άποψη εργασιών κατασκευής
φρέατος Φ3 (βάθος 42,0m)





Τομή Φ3 / θάλαμος εισόδου (αριστερά, δεξιά)

Διάταξη αποστραγγιστικών γεωτρήσεων



Σημάτια Ια Κλάδο		Ια Φάση Γεωτρήσεων				
Χ.Μ.	Χ.Μ.	Απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων	Κλίση γεωτρήσεων	Αριθμός γεωτρήσεων	Μέκος γεωτρήσεων	Συνολο μήκος γεωτρήσεων
[m]	[m]	[m]	[°]	[#]	[m]	[m]
5	1,5	3,0	0,5	3	3,0	9,0
1,0	1,5	1,5	0,5	3	1,5	4,5
1,5	2,0	2,5	0,5	3	2,5	7,5
2,0	2,0	1,5	0,5	4	2,0	8,0
2,5	2,5	2	0,5	4	2,5	10,0
		ΣΥΝΟΛΟ		13		34,0

Κατασκευή Αποστραγγιστικών Γεωτρήσεων



➤ Εγκατάσταση στο εσωτερικό της επένδυσης πλαστικού εγχάρακτου σωλήνα **PVC** με εξωτερικές νευρώσεις και εγκάρσιες σχισμές αποστράγγισης πάχους **t=5mm** και μήκους **L=5-6mm**.

➤ Συνολικός αριθμός αποστραγγιστικών γεωτρήσεων: **430**

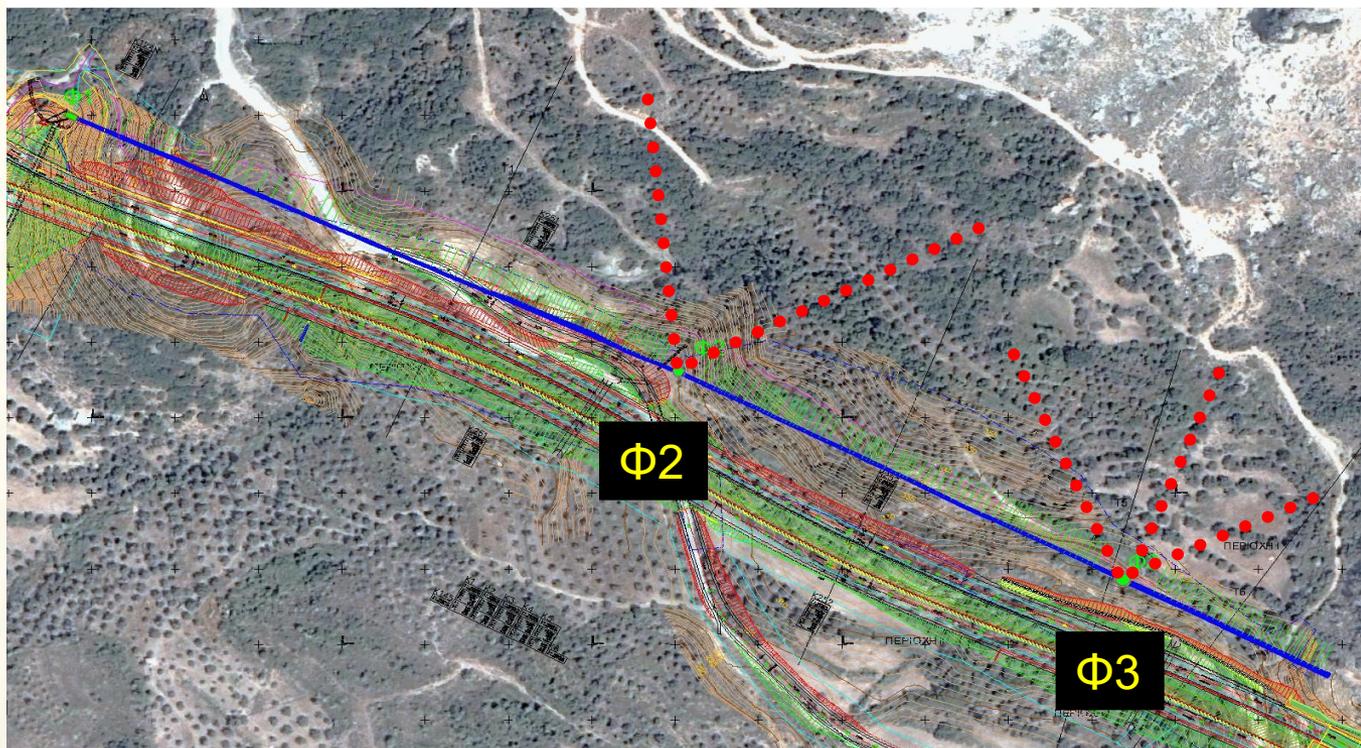
➤ Συνολικό μήκος: **12900m**

➤ Κλίση γεωτρήσεων ως προς την κατακόρυφο: **45° - 60°**



ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ ΕΡΓΑ

Κατασκευή Σηράγγων από τα φρεάτια Φ2 & Φ3
σε διάταξη βεντάλιας
Micro-TBM, PipeJacking και κατασκευή
αποστραγγιστικών γεωτρήσεων μέσα από τις σήραγγες





Άποψη του φρέατος Φ3

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bally Ph. (ed.) (2012), Scientific and Technical Memorandum of The International Forum on Satellite EO and Geohazards, 21-23 May 2012, Santorini Greece. doi:10.5270/esa-geo-hzrd-2012
- GEODATA S.p.A. (2008), “Μελέτη αποκατάστασης οδικής σήραγγας Σ2 τμήματος 1.2.3. Εγνατίας Οδού”. Εγνατία Οδός Α.Ε.
- Hoek, E., Μαρίνος, Π., Καββαδάς, Μ. Και Τσώτσος, Σ. (2005), “Egnatia Panel of Experts (Geotechnical/Tunneling) Report No.23”, Εγνατία Οδός Α.Ε., p. 8
- Kazilis, N., Papadopoulos C., Grasso P (2005), “Case History of the Final Repair Phase of S2 Tunnel (Egnatia Odos Motorway 1.2.3 Segment)”
- Κούκης Γ., Σαμπατακάκης Ν., (2007) Γεωλογία Τεχνικών Έργων, Εκδ. Παπασωτηρίου, σελ.575.
- Λουπασάκης Κ., (2013) Διαφάνειες παρουσιάσεων του μαθήματος Μέθοδοι Βελτίωσης της Γεωτεχνικής Συμπεριφοράς των Γεωλογικών Σχηματισμών, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Λουπασάκης Κ., (2014) Διαφάνειες παρουσιάσεων του μαθήματος Τεχνική Γεωλογία Ι, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Marinos P., Hoek E., “The appropriate use of information in the design and construction of the Egnatia Motorway Tunnels)”
- Ράζος Η. (2012) Κατασκευή αποστραγγιστικής στοάς και αποχετευτικού αγωγού με υπόγεια διάνοιξη, Μεταπτ. Διπλωματική Διατριβή, ΔΠΜΣ Υπόγειων Έργων, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Ρόζος Δ. (2007) Μέθοδοι Βελτίωσης – Αντιστήριξης Εδάφους – Υπεδάφους, Σημειώσεις ΕΜΠ.
- Ρόζος Δ., (2007) Τεχνική Γεωλογία Ι, Διδακτικές σημειώσεις ΕΜΠ, Αθήνα.
- Ρόζος Δ., (2013) Διαφάνειες παρουσιάσεων του μαθήματος Τεχνική Γεωλογία Ι, ΕΜΠ, Αθήνα.