

**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Μ.Π.Σ : «ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ»

ΣΤΙΜΑΡΑΤΖΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

**«Διερεύνηση συνθηκών ευστάθειας υψηλού
ανοιχτού ορύγματος κατά μήκος της Εγνατίας
Οδού – Ασπροβάλτα – Μακεδονία»**

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2003

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελ.
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ-ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΠΡΑΝΩΝ	2
2. ΑΙΤΙΑ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ	3
2.1 Γενικά	3
2.2 Παράγοντες που συμβάλλουν στην αύξηση της διατμητικής τάσης	4
2.3 Παράγοντες που συμβάλλουν στη μείωση της διατμητικής αντοχής	7
3.ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ	10
3.1 Ταξινόμηση κατά Hoek & Bray	11
3.2 Ταξινόμηση κατά Varnes	14
4. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ	28
4.1 Υπαίθριες έρευνες	28
4.2 Εργαστηριακές δοκιμές	31
5.ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΩΝ	32
5.1 Παραδοχές των μεθόδων οριακής ισορροπίας	33
5.2 Γενικές αρχές της μεθόδου των φετών	34
5.3 Μέθοδοι κυκλικής επιφάνειας αστοχίας	36
5.4 Μέθοδοι μη κυκλικής επιφάνειας αστοχίας	44
5.5 Μέθοδοι ενέργειας	47
5.6 Μέθοδοι πεπερασμένων στοιχείων και πεπερασμένων διαφορών	47
6. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΡΑΝΟΥΣ	48
6.1 Μέτρα προστασίας πρανών	49
6.2 Ταξινόμηση μέτρων αντιμετώπισης κατολισθητικών φαινομένων	51
6.3 Μέτρα ελέγχου	54
6.4 Μέτρα συγκράτησης	65
7. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΟΥ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ	99
7.1 Γεωλογική – γεωτεχνική έρευνα κατολίσθησης	103
7.2 Γεωλογική δομή περιοχής	104
7.3 Αξιολόγηση δεδομένων δειγματοληπτικών γεωτρήσεων	108
7.4 Ανάλυση ευστάθειας πρανούς με τη χρήση H/Y	113
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	127

8.1 Συστήματα επιφανειακής αποστράγγισης	128
8.2 Συστήματα εδαφικών αγκυρίων – «καρφιών»	129
8.3 Πάσσαλοι φρεατοπάσσαλοι	129
8.4 Γεωπλέγματα	129
8.5 Συρμάτινα πλέγματα	130
8.6 Φυτοκάλυψη	130
8.7 Συνδυασμός μέτρων αποκατάστασης κατολίσθησης	131
8.8 Μέθοδος ανοιχτού ορύγματος – Cut & Cover	131
ΕΠΙΛΟΓΟΣ	132
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	
Χάρτες	
Εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής	
Προφίλ γεωτρήσεων	

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή με θέμα «Διερεύνηση συνθηκών ευστάθειας υψηλού ανοικτού ορύγματος κατά μήκος της Εγνατίας Οδού (Ασπροβάλτα – Μακεδονία)» πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της εκπόνησης της διατριβής ειδίκευσής μου κατά την διάρκεια παρακολούθησης του προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών του τμήματος Γεωλογίας με τίτλο: «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία».

Η ανάθεση του θέματος έγινε από τον επιστημονικό μου υπεύθυνο κ.Β.Χρηστάρα με γνώμονα τα έντονα κατολισθητικά φαινόμενα που έλαβαν και λαμβάνουν χώρα τα τελευταία χρόνια στον Ελλαδικό Χώρο.

Η διατριβή ειδίκευσης περιλαμβάνει το θεωρητικό υπόβαθρο, των κατολισθητικών φαινομένων, των μεθόδων ανάλυσης, των μεθόδων αντιμετώπισης καθώς και την εφαρμογή όλων αυτών στην συγκεκριμένη κατολίσθηση.

Αρχικά γίνεται μια διάκριση των όρων κατολίσθηση και αστοχία πρανούς, γίνεται προσδιορισμός των αιτιών εκδήλωσης των κατολισθητικών φαινομένων, ταξινομούνται τα κατολισθητικά φαινόμενα με βάση ορισμένα κριτήρια, αναφέρονται οι απαιτούμενες γεωλογικές – γεωτεχνικές έρευνες για την προστασία και αποκατάσταση των πρανών καθώς και τα κριτήρια επιλογής της μεθόδου ή των μεθόδων σταθεροποίησης πρανούς. Γίνεται λεπτομερής ανάλυση των μέτρων προστασίας των εδαφικών και βραχωδών πρανών καθώς και η οριοθέτηση των πεδίων εφαρμογής της κάθε μίας.

Το κυρίως πρακτικό μέρος της διατριβής ειδίκευσης αποτελείται από τη διερεύνηση των συνθηκών ευστάθειας του ανοικτού ορύγματος στην περιοχή της Ασπροβάλλτας και περιλαμβάνει:

- Την τοπογραφική αποτύπωση της περιοχής κατολίσθησης και την ψηφιακή τρισδιάστατη απεικόνιση αυτής με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S). – Εφαρμογή λογισμικού Map Info).
- Την επεξεργασία και την ανάλυση των γεωλογικών – πετρολογικών δεδομένων των δειγμάτων των πυρηνοληπτικών γεωτρήσεων.
- Την πραγματοποίηση εργαστηριακών δοκιμών εδαφομηχανικής για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών των εδαφικών υλικών καθώς και την κατάταξή τους σύμφωνα με το Ενιαίο Σύστημα Ταξινόμησης των Εδαφών (ASTM – D 2487).
- Τον προσδιορισμό των αιτιών και των μηχανισμών της κατολίσθησης.
- Την ανάλυση ευστάθειας του πρανούς με την εφαρμογή των κλασσικών μεθόδων της εδαφομηχανικής (Bishop, Janbu,

Morgenstern – Price), με τη χρήση του λογισμικού πακέτου SLOPEW.

- Τον προσδιορισμό των πιθανών μέτρων αντιμετώπισης της κατολίσθησης με βάση όλα τα παραπάνω.

Για την πραγματοποίηση της διατριβής ειδίκευσης συνέβαλε η τριμελής μου επιτροπή που απαρτίζεται από τους Καθηγητές του τμήματος Γεωλογίας κυρίως : Β.Χρηστάρα, Γ.Δημόπουλο και Α.Κίλια τους οποίους και ευχαριστώ για την άψογη συνεργασία και καθοδήγηση.

Επίσης ευχαριστώ την κ. Μ.Χατζηαγγέλου, υποψήφια διδάκτορα του τμήματος Γεωλογίας, για τη συμβολή της στην πραγματοποίηση της διατριβής ειδίκευσής μου, τόσο για την διευκόλυνση στη συλλογή των δεδομένων όσο και για τις σημαντικές τις συμβουλές. Επίσης ευχαριστώ για τη βοήθειά της και τις συμβουλές της την υποψήφια διδάκτορα, του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Α.Π.Θ, Αλεξάνδρα Τσαπάρα. Θερμές ευχαριστίες στον φίλο και συνάδελφο Υφαντή Βασίλη για τη βοήθειά του στην ολοκλήρωση της διατριβής μου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου που με στηρίζουν και με «αντέχουν» τόσα χρόνια.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το ανάγλυφο της γήινης επιφάνειας είναι αποτέλεσμα μακροχρόνιων γεωλογικών διεργασιών και παραμένει γενικά σταθερό. Οι εδαφικές και βραχώδεις μάζες, ύστερα από εξωτερικές ή εσωτερικές μεταβολές, μπορούν να υποστούν διατάραξη της ισορροπίας τους. Σε αυτές τις περιπτώσεις η ευστάθεια τοπικά ανατρέπεται και τότε τα πρηνή φυσικά ή τεχνητά κατολισθαίνουν, συχνά με σοβαρές κοινωνικές και οικονομικές συνέπειες.

Οι καταστροφές από κατολισθητικά φαινόμενα μπορούν να διακριθούν σε:

ΑΜΕΣΕΣ:

- Απώλειες ανθρώπινων ζώων
- Καταστροφές οικιστικών – βιομηχανικών εγκαταστάσεων
- Καταστροφές συγκοινωνιακών και τηλεπικοινωνιακών δικτύων
- Καταστροφές καλλιεργούμενων και δασικών εκτάσεων

ΕΜΜΕΣΕΣ:

- Δημιουργία κοινωνικής αναστάτωσης
- Μείωση της τοπικής βιομηχανικής και αγροτικής παραγωγικότητας
- Γενικότερες οικονομικές επιπτώσεις
- Μελλοντικές πλημμύρες από καταστροφή – απόφραξη των κοιτών των ποταμών
- Πλήρωση λεκανών – ταμιευτήρων
- Αλλοίωση της γεωμορφολογίας του φυσικού περιβάλλοντος

Από τις διάφορες έρευνες που έχουν διεξαχθεί διεθνώς προκύπτει ότι οι εκτιμηθείσες απώλειες από κατολισθητικά φαινόμενα είναι ιδιαίτερα υψηλές. Πρέπει να τονισθεί επίσης ότι οι ζημιές από τα κατολισθητικά φαινόμενα είναι ιδιαίτερα υψηλές συγκρινόμενες ακόμη και με άλλες φυσικές καταστροφές.

Από όλα τα παραπάνω είναι εμφανές το μέγεθος του προβλήματος των κατολισθητικών φαινομένων και των συνθηκών ευστάθειας των πρηνών, και αυτός άλλωστε είναι ο λόγος που διεθνώς διεξάγονται συστηματικές έρευνες, τόσο για την πλήρη κατανόηση των φαινομένων, όσο και για την ανάπτυξη μεθόδων αποτελεσματικής αντιμετώπισής τους.

Ένα σπουδαίο κεφάλαιο της Τεχνικής Γεωλογίας είναι ο προσδιορισμός, η μελέτη, η έρευνα και η αντιμετώπιση των κατολισθητικών φαινομένων.

1. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ – ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΠΡΑΝΩΝ

Ο γενικός όρος «κατολίσθηση» χρησιμοποιείται για να εκφράσει αδιάκριτα κάθε μορφής καταστροφή φυσικού ή τεχνητού πρανούς. Η ευρύτητα του όρου αυτού δεν εξυπηρετεί την ανάγκη για σαφή επιστημονική επικοινωνία και ασφαλώς δεν βοηθά στη συστηματική καταγραφή και μεθοδική αντιμετώπιση των κατολισθητικών φαινομένων.

Στη διεθνή επιστημονική ορολογία – βιβλιογραφία χρησιμοποιούνται οι εξής όροι:

■ Αστοχίες πρανών (Slope failures)

■ Κατολισθήσεις (Landslides)

Οι 2 περιπτώσεις έχουν μεν κοινό χαρακτήρα, εμφανίζουν όμως πολλές και συστηματικές διαφορές.

Αστοχία πρανούς χαρακτηρίζεται η απότομη, μικρής διάρκειας και συνήθως ταχεία ($>10\text{mm}/\text{ημέρα}$) ολίσθηση εδαφικής ή βραχώδους μάζας, με ακόλουθη έντονη διατάραξή τους. Πραγματοποιείται σε πρανή με κλίση $>30^\circ$ και με σχετικά μικρή έκταση.

Κατολίσθηση πρανούς χαρακτηρίζεται η συνεχής, με περιοδικές διακοπές, συνήθως αργή (10^{-3} ως $10\text{ mm}/\text{ημέρα}$) ολίσθηση μιας διακεκριμένης εδαφικής ή βραχώδους μάζας από ένα υψηλότερο επίπεδο σε ένα χαμηλότερο κατά μήκος μιας γεωλογικά, συνήθως, καθορισμένης επιφάνειας. Πραγματοποιείται σε πρανή με κλίση $5^\circ - 20^\circ$ και με μεγάλη έκταση.

Η διάκριση αυτή είναι χρήσιμο να γίνεται σε ευρεία κλίμακα και για λόγους συστηματικής περιγραφής και καταγραφής, αλλά κυρίως επειδή τα 2 φαινόμενα έχουν ουσιαστική διαφορά στη μεθοδολογία αντιμετώπισής τους. Στην περίπτωση των κατολισθήσεων πρέπει να αντιμετωπισθεί ένα περιοδικά εξελισσόμενο φαινόμενο, ενώ στις αστοχίες πρανούς πρέπει ή το φαινόμενο να γίνει αντιληπτό έγκαιρα πριν την έναρξή του ή να γίνει αποκατάσταση των ζημιών και να ανακατασκευασθεί το πρανές μετά την αστοχία του.

2. ΑΙΤΙΑ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

2.1 Γενικά

Η γνώση των παραγόντων που δημιουργούν συνθήκες οριακές για την κατάσταση ισορροπίας στα πρανή και αυτών που προκαλούν το έναυσμα της κινήσεως είναι πρωταρχικής σημασίας, γιατί η ακριβής εκτίμησή τους προσδιορίζει το μέγεθος του κινδύνου και καθιστά δυνατή την λήψη αποτελεσματικών μέτρων προστασίας.

Το φαινόμενο των κατολισθήσεων δεν είναι μονοσήμαντο, αλλά τις περισσότερες φορές ο συνδυασμός περισσότερων από έναν παράγοντα οδηγεί στην εμφάνιση του προβλήματος.

Τρεις κυρίως είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν την ευστάθεια των πρανών (Pasek, 1974; Zaruba & Mencl, 1976; Varnes, 1978, 1984; Καλλέργης & Κούκης, 1985; Κούκης, 1980; Killey et al., 1985; Koukis, 1988):

1) Η λιθολογική σύσταση και η δομή των γεωλογικών σχηματισμών:

- ▶ Η συνεκτικότητα των εδαφών.
- ▶ Η ευκολία αποσάθρωσης και αποσύνθεσης.
- ▶ Το πάχος και η διάταξη των στρωμάτων.
- ▶ Ο προσανατολισμός, ο τύπος και η κατανομή των ασυνεχειών.
- ▶ Η παρουσία ζωνών διάρρηξης.
- ▶ Η παρουσία συστημάτων διακλάσεων.
- ▶ Η σχιστότητα.

2) Τα γεωμετρικά στοιχεία του πρανούς και η μορφολογία της περιοχής:

- ▶ Το μορφολογικό ανάγλυφο.
- ▶ Η κλίση και το ύψος του πρανούς.
- ▶ Το είδος της βλάστησης.
- ▶ Οι κλιματικοί παράγοντες.
- ▶ Οι υδρολογικές συνθήκες.

3) Ανεξάρτητοι εξωτερικοί παράγοντες:

- ▶ Η μεταβολή στη κλίση του πρανούς.
- ▶ Η αύξηση του φορτίου.
- ▶ Ο σεισμοί.
- ▶ Μεταβολή του περιεχόμενου νερού.
- ▶ Επίδραση του υπόγειου – επιφανειακού νερού.
- ▶ Δράση παγετού.
- ▶ Αποσάθρωση.
- ▶ Ανθρώπινες δραστηριότητες.

Το γενικό χαρακτηριστικό όλων των κατολισθητικών φαινομένων είναι η αστοχία του υλικού, λόγω διάτμησης, κατά μήκος μιας επιφάνειας. Οι εξωτερικοί παράγοντες που συντελούν στην αστοχία αυτή μπορούν να διακριθούν στους παράγοντες που αυξάνουν τη διατμητική τάση και σ'εκείνους που μειώνουν τη διατμητική αντοχή της επιφάνειας ολίσθησης (Terzaghi, 1950; Varnes, 1978; Zaruba & Mencl, 1976; ΚΚαλλέργης & Κούκης, 1985).

2.2 Παράγοντες που συμβάλλουν στην αύξηση της διατμητικής τάσης

Παροδικές γήινες τάσεις

- Σεισμοί και τεχνητές δονήσεις. Είναι δυνατόν να διαταράξουν την ισορροπία των πρανών με την προσωρινή μεταβολή των τάσεων και ιδιαίτερα στα βραχώδη με ισχυρές κλίσεις και δυσμενή προσανατολισμό των επιφανειών ασυνέχειας. Στα χαλαρά κοκκώδη υλικά είναι δυνατή η μείωση της συνοχής ή της γωνίας τριβής, ενώ σε κορεσμένες λεπτοκοκκώδεις άμμους και ευαίσθητες αργίλους, μπορεί να οδηγήσει σε ρευστοποίηση. Το ίδιο συμβαίνει και με τις δονήσεις από εκρήξεις σε περιοχές λατομείων, από την κυκλοφορία βαρέων οχημάτων κλπ.
- Λειτουργία βιομηχανικών συγκροτημάτων.
- Θραύση γειτονικών πρανών.
- Σύνθλιψη υποκείμενων πλαστικών σχηματισμών.

Αφαίρεση – μείωση της πλευρικής υποστήριξης του πρανούς

Η αφαίρεση της πλευρικής υποστήριξης είναι ένας από τους συνηθέστερους παράγοντες πρόκλησης κατολισθήσεων. Είναι δυνατόν να γίνει είτε στον «πόδα» της ασταθούς μάζας, είτε πλευρικά και μπορεί να οφείλεται τόσο σε φυσικά αίτια όσο και σε ανθρώπινη παρέμβαση.

Έχουμε:

- Διάβρωση λόγω της δράσης υδατορευμάτων, θαλάσσιων ή παλιρροϊκών κυμάτων, ανέμων, ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, παγώματος του νερού των πόρων, κτλ. που προκαλούν υποσκαφή και αφαίρεση υλικών από τις βάσεις των πρανών.
- Υπόγειες διαβρώσεις λόγω ύπαρξης διαλυτών σχηματισμών ή λόγω απόπλυσης των στρώσεων άμμου που βρίσκεται μέσα σε πιο ανθεκτικά υλικά.
- Δημιουργία νέων ασταθών πρανών από εκδήλωση προηγούμενων καταπτώσεων, ολισθήσεων, καθιζήσεων ή μεγάλης κλίμακας ρηγματώσεων.
- Ανθρώπινες δραστηριότητες όπως υποσκαφή και αφαίρεση υλικών λόγω λατομικών ή μεταλλευτικών δραστηριοτήτων ή για την κατασκευή τεχνικών έργων, αφαίρεση έργων αντιστήριξης, πτώση στάθμης λιμνών ή ταμειωτήρων.

Επιφόρτιση.

Η πρόσθετη φόρτιση είναι σε πολλές περιπτώσεις ένας ικανός παράγοντας για την εκδήλωση ή όχι μιας κατολίσθησης σε μια μάζα με οριακές συνθήκες ισορροπίας. Όσο πιο γρήγορη είναι η επιφόρτιση τόσο πιο επικίνδυνη γίνεται.

Πραγματοποιείται με:

- Αύξηση νερού των πόρων (ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, χιόνι, νερό).
- Μεταφορά και απόθεση υλικών λόγω της βαρύτητας ή της δράσης των επιφανειακών υδάτων, σε επικλινείς μορφολογικά περιοχές, με τη μορφή πλευρικών κορημάτων ή κώνων κορημάτων.
- Ανάπτυξη της βλάστησης ή αναδάσωση μιας περιοχής.
- Ανθρώπινες δραστηριότητες όπως επιχωματώσεις, σκουπιδότοποι, κατασκευή κτιρίων ή μεγάλων τεχνικών έργων, συγκέντρωση λατομικών υλικών και μεταλλευμάτων, βάρος νερού και άλλων υγρών που μεταφέρονται με αγωγούς, κανάλια, αρδεύσεις κλιτύων με μεγάλες κλίσεις κτλ. Η ξαφνική πρόσθετη επιφόρτιση δημιουργεί αύξηση της διατμητικής τάσης και της πίεσης των πόρων του νερού σε συνεκτικά εδάφη και αντίστοιχη μείωση της διατμητικής αντοχής. Η πλέον συνηθισμένη περίπτωση είναι αυτή της θεμελίωσης κτιρίων σε δύο σχηματισμούς που έχουν διαφορετική διατμητική αντοχή. Αρχικά παρατηρούνται ερπυστικές κινήσεις στο σχηματισμό με τη μικρότερη φέρουσα ικανότητα, μικρορωγμές στο έδαφος και στη συνέχεια προκαλείται, με την αλληλεπίδραση και άλλων παραγόντων, η βίαιη θραύση του πρανούς. Ειδικότερα στην οδοποιία οι κατολισθήσεις οφείλονται στην πλημμελή θεμελίωση επιχωμάτων στη ζώνη αποσάθρωσης και όχι στο υγιές υπόβαθρο, στην επιφόρτιση του κατάντη πρανούς με τα υλικά επιχωμάτωσης καθώς και από την έλλειψη των έργων αποστράγγισης με αποτέλεσμα να ευνοούνται οι εσωτερικές διαβρώσεις και υποσκαφές.

Μεταβολή της κλίσης του πρανούς

Η μεταβολή της κλίσης ή του ύψους ενός πρανούς η οποία μπορεί να προκληθεί από φυσικά ή τεχνητά αίτια, επιφέρει τη διατάραξη των συνθηκών ισορροπίας και προκαλεί την αύξηση των διατμητικών τάσεων που προκαλούν τη θραύση και μετατόπιση των μαζών.

Ειδικότερα, η μεταβολή στην κλίση του πρανούς μπορεί να οφείλεται:

- Σε διάβρωση λόγω της δράσης των υδάτων τα οποία προκαλούν συνεχή αλλοίωση της μορφολογίας.
- Σε δράση ανέμου, κυρίως σε περιοχές όπου τα πετρώματα είναι ψαθυρά.
- Σε μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες ή ρήγματα, με αποτέλεσμα ολόκληρες μάζες κοντά στις επιφάνειες να βρεθούν σε αστάθεια.

- Σε εκσκαφή για την κατασκευή τεχνικών έργων ή σε περιοχές λατομείων.
- Έμμεσα, από την αποψίλωση της βλάστησης σ'ένα πρανές, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα την εντονότερη διάβρωση.

Αύξηση της γωνίας κλίσης του πρανούς λόγω τοπικής ανύψωσης

Οφείλεται σε ενδογενείς διεργασίες, οι οποίες τείνουν να μεταβάλλουν την επιφάνεια της γης και συνδέονται με κινήσεις σε τεκτονικά ενεργές περιοχές, με φαινόμενα διαπυρισμού κλπ. Οι ενδογενείς διεργασίες είναι φυσικά πολύ αργές, αλλά παρόλα αυτά είναι δυνατό, σε ορισμένες οριακές περιπτώσεις, να αποτελέσουν το αίτιο για την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων.

Ηφαιστειακή δραστηριότητα

Σε περιοχές ηφαιστείων, η ηφαιστειακή δραστηριότητα είναι δυνατό, κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις, να προκαλέσει αύξηση των διατμητικών τάσεων και στη συνέχεια κατολισθήσεις μέσα στην καλδέρα, στον ηφαιστειακό κώνο αλλά και στην ευρύτερη περιοχή.

Οι διεργασίες που συμβάλλουν στην αύξηση της διατμητικής τάσης, άμεσα ή έμμεσα, είναι η υποχώρηση της υποστήριξης λόγω καταβύθισης της καλδέρας, η επιπρόσθετη φόρτιση από την απόθεση νέων υλικών (λάβας, κίσηρης), οι αλλαγές στη θερμοκρασία καθώς και οι δονήσεις και οι διογκώσεις λόγω της ανόδου του μάγματος.

Ανάπτυξη πλευρικών πιέσεων

Η πλευρική πίεση που μπορεί να ασκηθεί εξαιτίας πολλών παραγόντων, είναι δυνατόν να παίζει καθοριστικό ρόλο στην εκδήλωση μιας κατολίσθησης. Συγκεκριμένα, οι πλευρικές τάσεις, κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις, προστίθενται στις τυχόν διατμητικές τάσεις και μπορεί να αποκτήσουν συνολική τιμή μεγαλύτερη από τη διατμητική αντοχή των σχηματισμών ενός πρανού και να αρχίσει έτσι μετακίνηση της μάζας.

Η πλευρική πίεση είναι δυνατόν να προέρχεται από:

- Την παρουσία νερού στις ρωγμές και στις κοιλότητες των πετρωμάτων. Το νερό της βροχής και του χιονιού εισέρχεται στις κατατμήσεις, όπου δημιουργείται μια υδροστατική πίεση και στα χαλαρά πετρώματα αυξάνεται η υδροστατική πίεση των πόρων με αποτέλεσμα την εξάσκηση ικανών πλευρικών δυνάμεων στα τοιχώματα.
- Πάγωμα του νερού στις ρωγμές. Με τον παγετό μεγαλώνει ο όγκος του υπόγειου νερού μέσα στις κατατμήσεις, με αποτέλεσμα την εξάσκηση ικανών πλευρικών δυνάμεων στα τοιχώματα.
- Διόγκωση αργίλων ή ανυδρίτη λόγω ενυδατώσεώς τους.
- Ενεργοποίηση παραμένουσων τάσεων μέσα στα πετρώματα λόγω τεκτονικών αιτιών.

2.3 Παράγοντες που συμβάλλουν στη μείωση της διατμητικής αντοχής.

Φυσικοχημικές διεργασίες – Αποσάθρωση

Τα πετρώματα είναι δυνατό να υποστούν, κάτω από ορισμένες συνθήκες, ορισμένες φυσικοχημικές διεργασίες οι οποίες μεταβάλλουν ή αλλοιώνουν ή καταστρέφουν την εσωτερική τους δομή, με αποτέλεσμα να μειώνεται δραστικά η διατμητική τους αντοχή. Οι περισσότερες από τις φυσικοχημικές διεργασίες συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με την παρουσία ή την κυκλοφορία του νερού και είναι οι ακόλουθες:

- Η χημική και μηχανική αποσάθρωση ελαττώνουν συνεχώς τη συνοχή του πετρώματος. Σε πολλές κατολισθήσεις πραγματοποιούνται χημικές μεταβολές, όπως ανταλλαγή ιόντων σε αργίλους, με αποτέλεσμα την επίδραση των ιόντων της ανταλλαγής πάνω στις φυσικές ιδιότητες των αργίλων.

- Η φυσική αποσύνθεση των κοκκωδών πετρωμάτων (π.χ. ψαμμίτες), που προκαλείται από τη δράση παγετού ή με θερμική διόγκωση.

- Η μείωση της συνοχής ή η διόγκωση των αργιλικών εδαφών λόγω ενυδατώσεως των αργιλικών ορυκτών.

- Η διάλυση του συνδετικού υλικού ορισμένων πετρωμάτων, λόγω της κυκλοφορίας ή της παρουσίας νερού, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα τη σταδιακή καταστροφή τους.

- Οι κύκλοι ξήρανσης και ύγρανσης. Κατά τη διάρκεια μακροχρόνιων περιόδων ξηρασίας, τα αργιλικά εδάφη συμπυκνώνονται, δημιουργούνται βαθιές ρωγμές, ελαττώνεται η συνοχή τους και διευκολύνεται η κατείσδυση του νερού.

Αργική σύνθεση του υλικού

- Η λιθολογική σύσταση των πετρωμάτων, τα οποία μπορούν να έχουν μικρή διατμητική αντοχή, είτε πρωτογενώς λόγω της σύστασής τους, είτε δευτερογενώς λόγω των μεταβολών που μεσολάβησαν στη σύστασή τους από την επενέργεια εξωτερικών παραγόντων.

- Η υφή των υλικών (διάταξη, πυκνότητα και σφαιρικότητα ή αποστρογγύλωση των κόκκων).

Δομή των υλικών και γεωμετρία του πρσανούς

- Ασυνέχειες (ρήγματα, διακλάσεις, στρώση, σχιστότητα κ.λ.π).

- Κλίση των στρωμάτων.

- Φυλλώδης διάταξη των ορυκτών.

- Ζώνες τεκτονισμού.

- Τεκτονική παραμόρφωση και καταπόνηση που έχουν υποστεί οι γεωλογικοί σχηματισμοί.

- Συμπαγή στρώματα πάνω σε ασθενή πλαστικά υλικά.

- Εναλλαγές διαφόρων πετρωμάτων και ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου εναλλάσσονται ψαθυρά με συμπαγή καθώς και διαπερατά με αδιαπέρατα.
- Προσανατολισμός πρανούς και η κλίση του. Ιδιαίτερη σημασία για τη εκδήλωση των κατολισθήσεων έχει ο προσανατολισμός και γενικότερα η γεωμετρία των ασυνεχειών σε σχέση με τον προσανατολισμό και τη γεωμετρία του πρανούς.

Επιδράσεις του υπόγειου νερού

- Απότομες μεταβολές της στάθμης του υπόγειου νερού (π.χ. φράγματα) αυξάνουν την υδροστατική πίεση των πόρων στα πρανή και αυτό μπορεί να οδηγήσει στη ρευστοποίηση αμμοδών εδαφών.
- Η ροή του υπόγειου νερού μπορεί να αποπλύνει και να συμπαρσύρει το ευδιάλυτο συνδετικό υλικό των πετρωμάτων. Η διαδικασία αυτή ελαττώνει τη συνοχή, διευκολύνει τη χαλάρωση του υλικού και μειώνει την ευστάθεια του πρανούς.
- Αρτεσιανοί ή υδροφόροι ορίζοντες εξασκούν πιέσεις στα υπερκείμενα αδιαπέρατα στρώματα.

Ελάττωση ενεργών τάσεων λόγω περιεκτικότητας νερού στους πόρους

Η παρουσία νερού στους γεωλογικούς σχηματισμούς έχει γενικά αρνητικές επιπτώσεις στη διατμητική αντοχή των πετρωμάτων. Αυτό οφείλεται – πέρα από τις φυσικοχημικές διεργασίες που προκαλεί – στη μείωση των ενεργών τάσεων.

- Βροχή. Η διαπίστωση ότι η συχνότητα των κατολισθητικών φαινομένων είναι μεγάλη σε περιόδους αυξημένων βροχοπτώσεων και παρατεταμένων χιονοπτώσεων, δικαιολογείται με τη δημιουργία υδροστατικών πιέσεων στα πετρώματα, από το κατερχόμενο νερό μέσα από ρωγμές και από την αύξηση στα εδάφη της πίεσης των πόρων.
- Παγετός, λιώσιμο χιονιού. Η δημιουργία πάγου και η μεταβολή αυτού σε νερό στις ρωγμές των πετρωμάτων προκαλεί περιοδικά την άσκηση θλιπτικών και εφελκυστικών τάσεων με αποτέλεσμα τη χαλάρωσή τους. Στις αργίλους και στα αργιλοαμμώδη εδάφη, η τήξη των πάγων δημιουργεί αύξηση του νερού στην επιφάνεια, η πήξη του οποίου εμποδίζει την αποστράγγιση του πρανούς με συνέπεια την ανύψωση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και τη διαταραχή της ισορροπίας.
- Η παρουσία υπόγειου νερού ελαττώνει την ενεργό τάση μεταξύ των κόκκων και μειώνει τη διατμητική αντοχή, επομένως η ευστάθεια πρανών με παρουσία νερού είναι μικρή. Σύμφωνα με ένα γενικό κανόνα που ισχύει, κυρίως σε μη συνεκτικά εδάφη, ο συντελεστής ασφάλειας ενός πρανούς με υδροφόρο ορίζοντα είναι ίσος με το 1/2 του συντελεστή για εδαφικό πρανές χωρίς υδροφόρο ορίζοντα.
- Εκτροπή υδρορευμάτων, αρδεύσεις.
- Δημιουργία τεχνητών λιμνών και ταμιευτήρων.

- Μεταβολή της βλάστησης. Είναι γνωστό ότι η μηχανική δράση του ριζικού συστήματος των δέντρων, συμβάλει στη σταθεροποίηση των πρανών. Το σύστημα αυτό συμβάλει στην αποστράγγιση μέρους του νερού και περιορίζει τη διαβρωτική δράση των επιφανειακών νερών. Σε περιοχές όπου παρατηρείται μεταβολή της βλάστησης των πρανών (πυρκαγιές, εκχερσώσεις) προκαλείται ελάττωση της συνοχής των πρανών.
- Παρεμπόδιση αποστράγγισης.

Μεταβολές στη δομή των πετρωμάτων

Τέτοιες μεταβολές μπορεί να προκληθούν από ρωγμάτωση των σχιστόλιθων και προστερεοποιημένων αργίλων, καθώς και από χαλάρωση των πετρωμάτων σε πρανή λόγω της απελευθέρωσής τους από κατακόρυφους ή πλευρικούς περιορισμούς.

Προοδευτικός ερπυσμός

Ο προοδευτικός ερπυσμός σε ένα πρανές έχει ως αποτέλεσμα τη σταδιακή μείωση της διατμητικής αντοχής των πετρωμάτων, λόγω της σταδιακής επίσης καταστροφής της αρχικής κατάστασης των πετρωμάτων.

Δράση γλωρίδας – πανίδας

Είναι δυνατό να συμβάλλουν κατά πολύ στη μείωση της διατμητικής αντοχής των πετρωμάτων. Πιο συγκεκριμένα, ορισμένα είδη φυτών προκαλούν με τη δράση του ριζικού τους συστήματος τη σημαντική μείωση της διατμητικής αντοχής των πετρωμάτων και πολλές φορές την καταστροφή τους και τη μετατροπή τους σε έδαφος τόσο μηχανικά με τη διατήρηση και τη διόγκωση των ριζών, όσο και χημικά με την έκκριση χημικών ουσιών. Επίσης σε απότομα πρανή από ημισυνεκτικά ή και συνεκτικά πετρώματα με έντονη και δυσμενή διάρρηξη, διευκολύνεται η απολέπιση αυτών με τη δημιουργία από το ριζικό σύστημα εφελκυστικών τάσεων κατά μήκος των επιφανειών ασυνέχειας.

Επίσης ορισμένοι οργανισμοί μπορούν να προκαλέσουν και αυτοί μείωση της διατμητικής αντοχής των πετρωμάτων, εξαιτίας του πυκνού υπόγειου συστήματος οπών που διανοίγουν ή εξαιτίας της χημικής διάβρωσης.

3.ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Επειδή οι μορφές και τα χαρακτηριστικά των κατολισθήσεων παρουσιάζουν πολύ μεγάλη ποικιλία και ο μηχανισμός ανάπτυξής τους είναι σύνθετος και κατά περίπτωση διαφορετικός, έχει προταθεί η διάκρισή τους με διάφορα κριτήρια σε κατηγορίες. Για κάθε συγκεκριμένη περίπτωση, η αναγνώριση και η κατάταξή της είναι χρήσιμη στην κατανόηση του μηχανισμού του κατολισθητικού φαινομένου και στη συνέχεια στην εκτίμηση της πιθανής εξέλιξής του και στη μελέτη των έργων σταθεροποίησης.

Διάφορα συστήματα ταξινόμησης των κατολισθητικών φαινομένων έχουν προταθεί τα οποία βασίζονται κυρίως στις παρακάτω παραμέτρους:

- **Τύπος υλικού κατολισθητικού φαινομένου**
- **Περιεχόμενη υγρασία**
- **Τύπος κίνησης**
- **Ταχύτητα κίνησης**
- **Αίτιο κίνησης (σεισμός, πίεση νερού, ανθρώπινος παράγοντας)**
- **Σχέση ολίσθησης και επιφάνειας ολίσθησης**
- **Τοποθεσία κατολισθητικού φαινομένου**
- **Γεωμετρία και μορφολογία**
- **Περιβαλλοντικό καθεστώς**
- **Μέγεθος και επιπτώσεις**
- **Μηχανισμός ολίσθησης**
- **Κλιματικές συνθήκες**

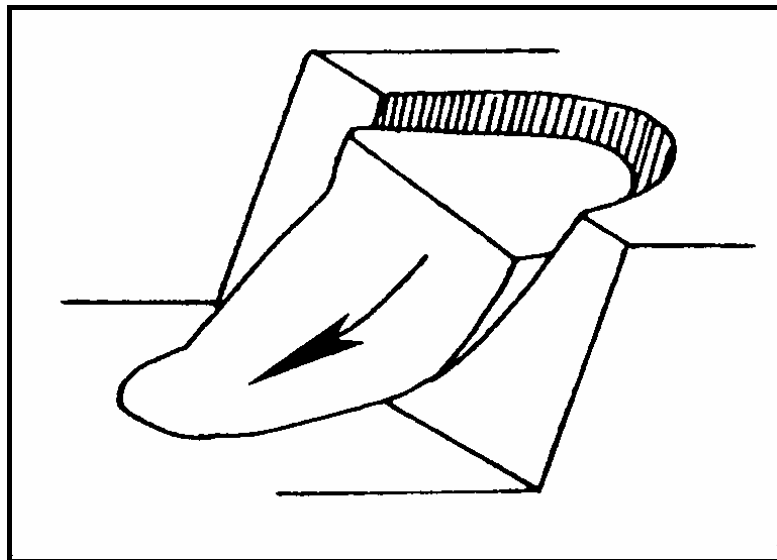
Οι πληρέστερες ταξινομήσεις είναι αυτές, οι οποίες περιλαμβάνουν όσο το δυνατό περισσότερους παράγοντες και γι'αυτό το λόγο έχουν διατηρηθεί και επικρατήσει τόσο στη διεθνή βιβλιογραφία όσο και στην καθημερινή ζωή.

3.1 Ταξινόμηση κατά Hoek & Bray

Η ταξινόμηση των Hoek & Bray (1981) αφορά κατολισθητικά φαινόμενα αποκλειστικά σε βραχώδεις μάζες, τα οποία διακρίνονται σε:

1) Κυκλική αστοχία (Circular failure)

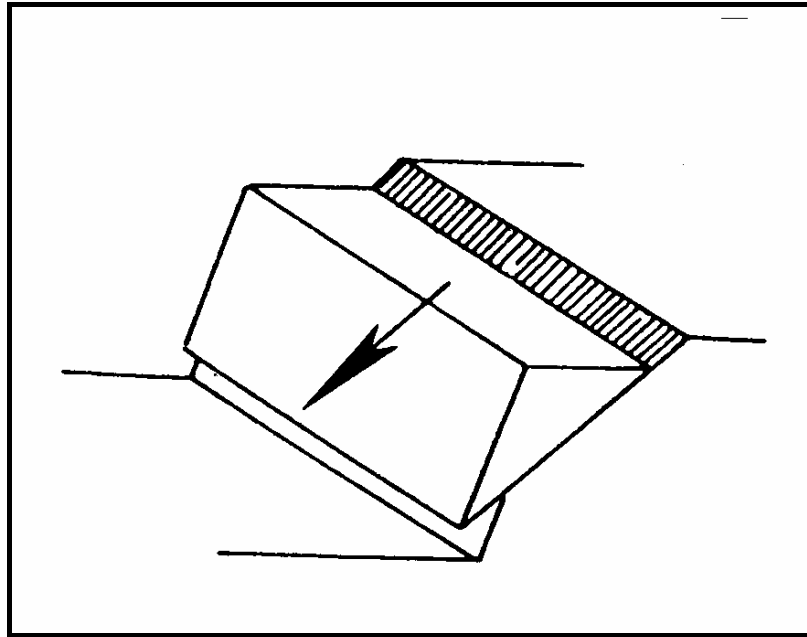
Λαμβάνει χώρα σε έντονα ρηγματωμένες και κατακερματισμένες μάζες. Το υλικό σε αυτήν τη περίπτωση μπορεί να θεωρηθεί ισότροπο. Αστοχεί κατά μήκος «κυλινδρικής» ή «σφαιρικής» επιφάνειας. Ο έλεγχος ευστάθειας του πρανούς γίνεται με τις κλασσικές μεθόδους της Εδαφομηχανικής.



Σχήμα 3.1. Κυκλική αστοχία (Hoek, Bray, 1981)

2) Επίπεδη αστοχία (Plane failure)

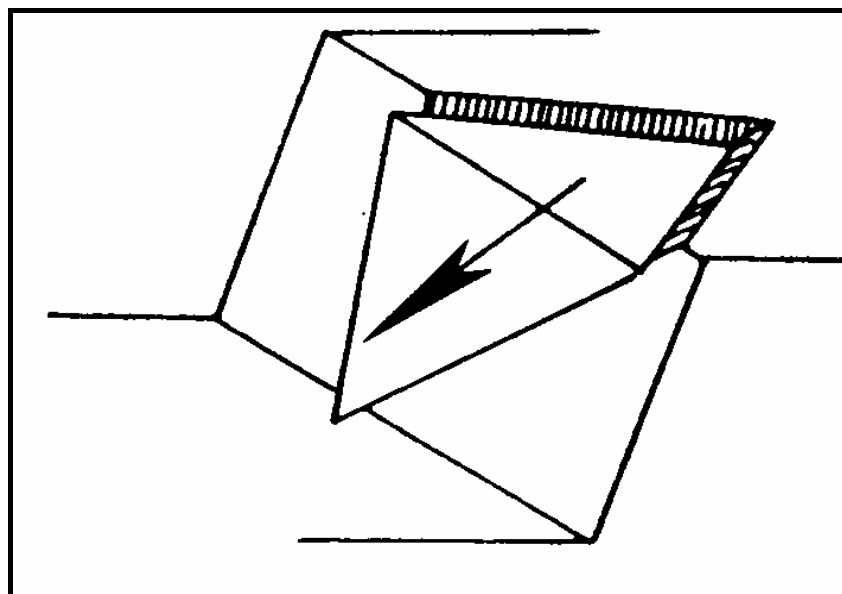
Ο βράχος χαρακτηρίζεται από μια μεγάλη ασυνέχεια. Αυτή μαζί με τις δύο επιφάνειες του πρανούς, την όψη του πρανούς (ελεύθερη επιφάνεια) και τη στέψη (πάνω επιφάνειά) του σχηματίζουν μεγάλους πρισματικούς όγκους που μπορούν να ολισθήσουν μεμονωμένα προς την ελεύθερη επιφάνειά του. Η γεωλογική ασυνέχεια έχει διεύθυνση ομόρροπη προς το πρανές και η γωνία κλίσης είναι μεγαλύτερη από τη γωνία τριβής. Η διεύθυνση και η επιφάνεια της ολίσθησης μπορούν να προσδιοριστούν. Η ανάλυση της ευστάθειας του πρανούς βασίζεται σε μηχανικές σχέσεις που εφαρμόζονται για ολίσθηση στερεού σώματος πάνω σ'ένα κεκλιμένο επίπεδο.



Σχήμα 3.2. Επίπεδη αστοχία (Hoek, Bray, 1981)

3) Αστοχία σφήνας (Wedge failure)

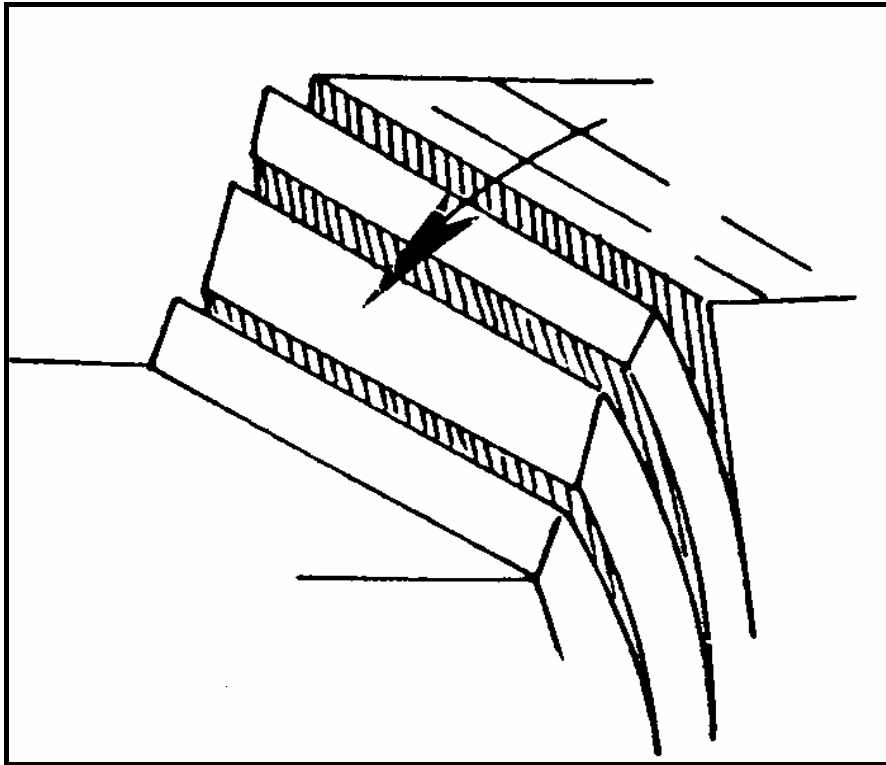
Βραχοσφήνες σχηματίζονται όταν δύο τουλάχιστον αλληλοτεμνόμενες δέσμες διακλάσεων κλίνουν προς το πρανές, τέμνουν λοξά την όψη του και η γραμμή αλληλοτομής τους (intersection line) προβάλλει στην όψη του πρανούς. Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται για να ελεγχθεί η ευστάθεια βραχοσφηνών μπορεί να είναι από απλές έως αρκετά σύνθετες ανάλογα με τον αριθμό των παραμέτρων που επηρεάζουν την ευστάθεια. Αναγκαία προϋπόθεση σε αυτήν την περίπτωση είναι η κλίση της γραμμής αλληλοτομής τους να είναι μεγαλύτερη από τη γωνία τριβής.



Σχήμα 3.3. Αστοχία σφήνας (Hoek, Bray, 1981)

4) Αστοχία με ανατροπή (Toppling failure)

Ο βράχος χαρακτηρίζεται από δέσμη πολύ απότομων έως κατακόρυφων, πολύ μεγάλων διακλάσεων (ή αρμών στρώσεων). Σχηματίζουν υψίκορμα, συμπαγή στοιχεία κατάτμησης τα οποία αστοχούν με ανατροπή. Η ανάλυση της ευστάθειας του πρανούς βασίζεται σε ειδικές αναλύσεις οι οποίες προσαρμόζονται στην τεκτονική δομή και στα αίτια που προκαλούν την ανατροπή.



Σχήμα 3.4. Αστοχία με ανατροπή. (Hoek, Bray, 1981)

3.2 Ταξινόμηση κατά Varnes

Η πλέον συστηματική, ολοκληρωμένη και ευρύτερα αποδεκτή ταξινόμηση των κατολισθητικών φαινομένων είναι αυτή που προτάθηκε από τον Varnes (1978), ο οποίος πρότεινε ένα σύστημα ταξινόμησης όλων των κινήσεων που θα μπορούσαν να παρατηρηθούν σε πρανή εκτός των καθιζήσεων, και όχι μόνο των κατολισθήσεων με τη στενή σημασία.

Η ταξινόμηση στηρίζεται σε 2 κύρια κριτήρια:

1) Τον τύπο κίνησης

2) Τον τύπο του υλικού που μετακινείται

Ανάλογα με τον τύπο κίνησης, διακρίνουμε:

→Καταπτώσεις (Falls)

→Ανατροπές (Topples)

→Ολισθήσεις: Περιστροφικές, Μεταθετικές

→ (Slides: Rotational, Translational)

→Πλευρικές εξαπλώσεις (Lateral spreads)

→Ροές (Flows)

→Σύνθετες κινήσεις (Complex movements)

Ανάλογα με το υλικό που μετακινείται διακρίνονται:

Κινήσεις στο βραχώδες υπόβαθρο (bedrock)

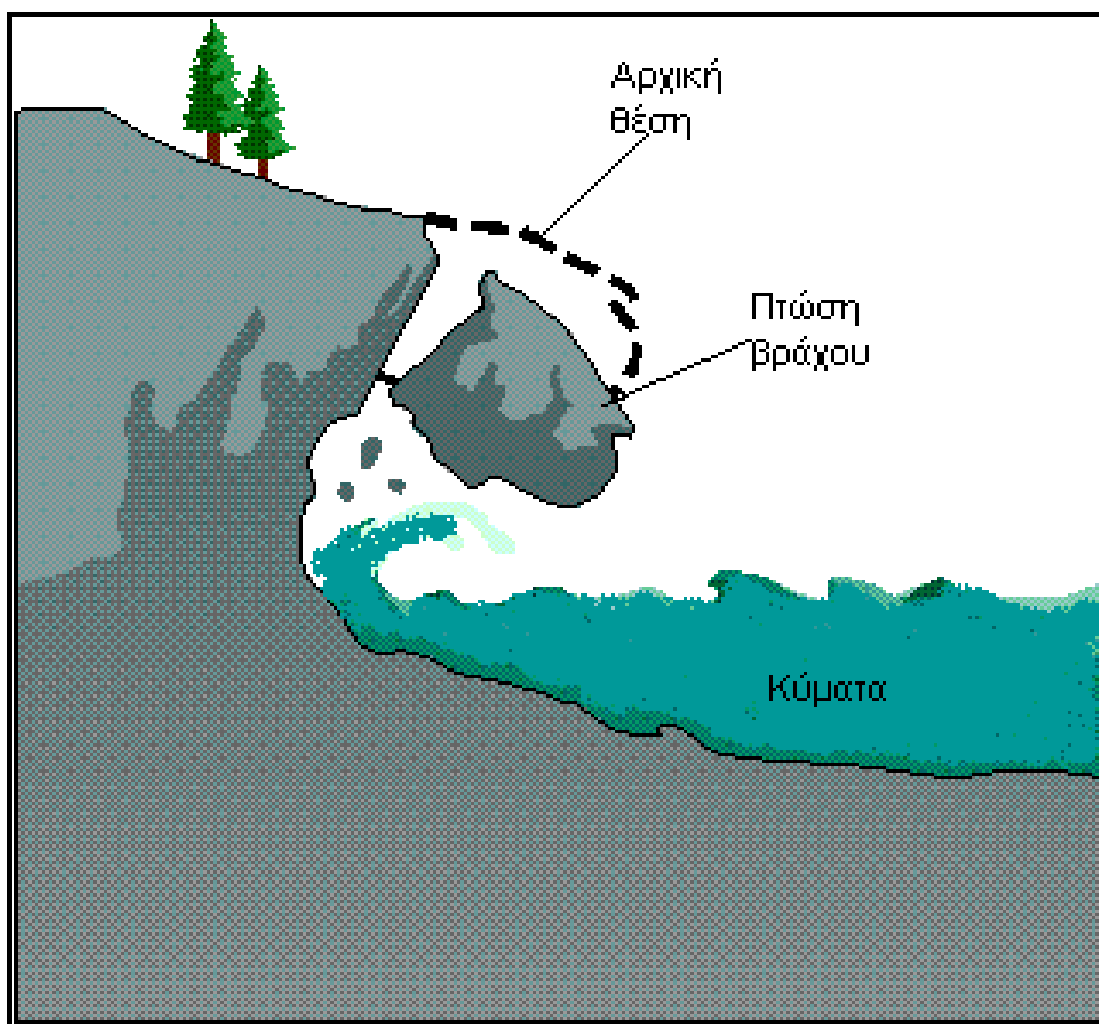
Κινήσεις στα μηχανικά εδάφη (engineering soils) που χωρίζονται στα:

i) κορήματα (debris) που αποτελούνται από χονδρόκοκκα υλικά.

ii) γαιές (earth) που αποτελούνται από λεπτόκοκκα υλικά.

Καταπτώσεις (Falls)

Όταν μια μάζα οποιουδήποτε μεγέθους αποκολλάται απότομα από πρανή με μεγάλη κλίση κατά μήκος μιας επιφάνειας στην οποία δεν εκδηλώνεται σημαντική διατμητική κίνηση και στη συνέχεια μετακινείται λόγω βαρύτητας με τη μορφή ελεύθερης πτώσης, κύλισης ή αναπήδησης του τεμάχους, η κίνηση αυτή καλείται κατάπτωση. Η κίνηση είναι γρήγορη έως πολύ γρήγορη και συνήθως αυξάνει προς τα κάτω λόγω της επιτάχυνσης της βαρύτητας. Διακρίνονται ανάλογα με το είδος της μάζας που πέφτει, σε πτώσεις βράχων, πτώσεις κορημάτων και σε πτώσεις γαιών (εδάφους).



Σχήμα 3.5. Πτώση βράχων

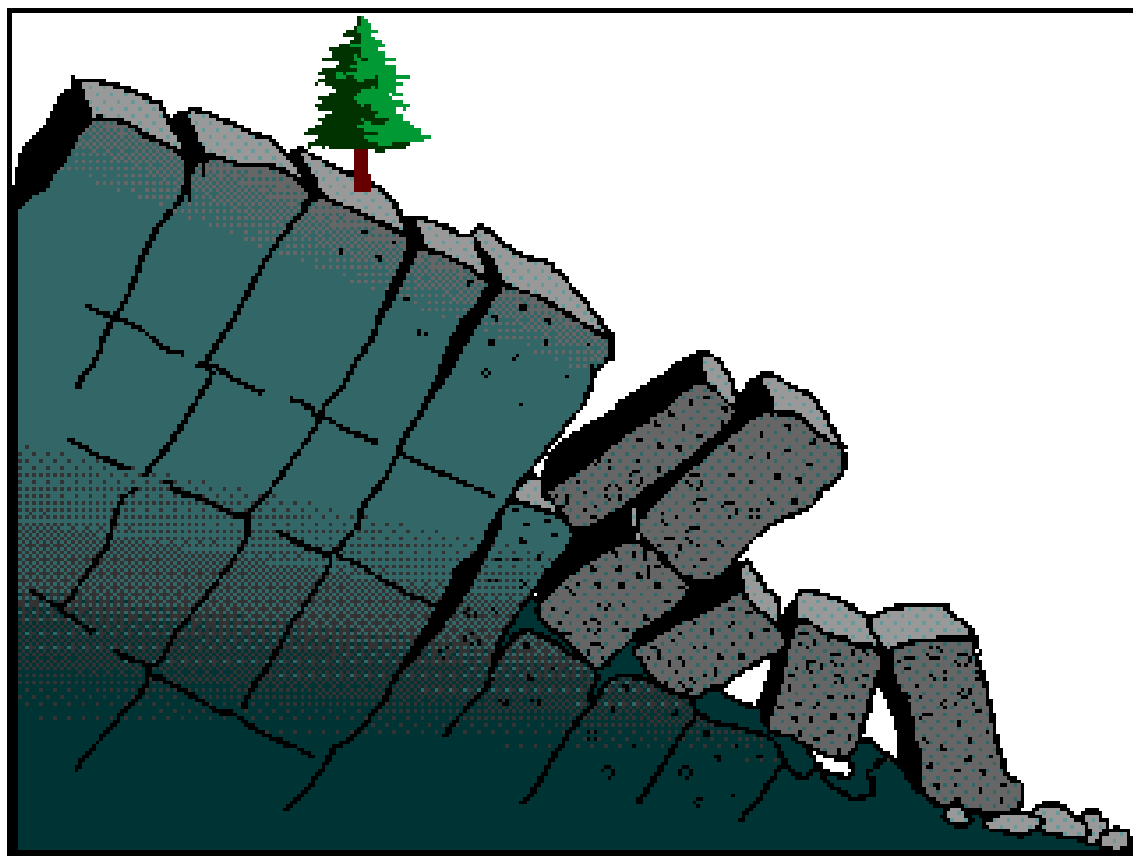
Είναι συνήθη φαινόμενα σε απότομα βραχώδη πρανή και ακτές. Επίσης εκδηλώνονται συχνά σε περιοχές όπου υπάρχει φλύσχη, όταν η κλίση του είναι ομόρροπη προς το πρανές. Οι αιτίες που προκαλούν καταπτώσεις είναι διάφορες, όπως η είσοδος νερού στις ρωγμές και η ανάπτυξη πιέσεων, η υποσκαφή, η μείωση της αντοχής από θερμοκρασιακές μεταβολές, από παγετό ή από άλλα αίτια διάβρωσης. Σε εδαφικά πρανή, καταπτώσεις παρατηρούνται σε περιπτώσεις όπου μια

στρώση υψηλής διαβρωσιμότητας υπόκειται και στηρίζει ανθεκτικότερα εδάφη ή σε πρανή υπερστερεοποιημένων αργίλων με υψηλές κλίσεις, στο «φρύδι» των οποίων έχουν αναπτυχθεί βαθιές κατακόρυφες ρωγμές, που μετά από βροχοπτώσεις γεμίζουν με νερό και τότε δέχονται επιπρόσθετα ισχυρές υδροστατικές πιέσεις.

Ανατροπές (Topples)

Πρόκειται για πτώσεις μαζών, στις οποίες η αρχική κίνηση περιλαμβάνει μια ανατροπή, δηλαδή ουσιαστικά μια περιστροφή του αποσπώμενου τεμάχους κάτω από τη δράση της βαρύτητας γύρω από έναν άξονα, ο οποίος βρίσκεται κάτω ή στο κάτω μέρος της μάζας. Πρόκειται για κάμψη και ανατροπή χωρίς κατάρρευση.

Προκαλούνται συνήθως από υποσκαφές σ'ένα τμήμα της βάσης, οπότε υπάρχει απώλεια στήριξης ή από πλευρικές ωθήσεις όπως είναι η υδροστατική πίεση μέσα στις ρωγμές αποχωρισμού του τεμάχους.

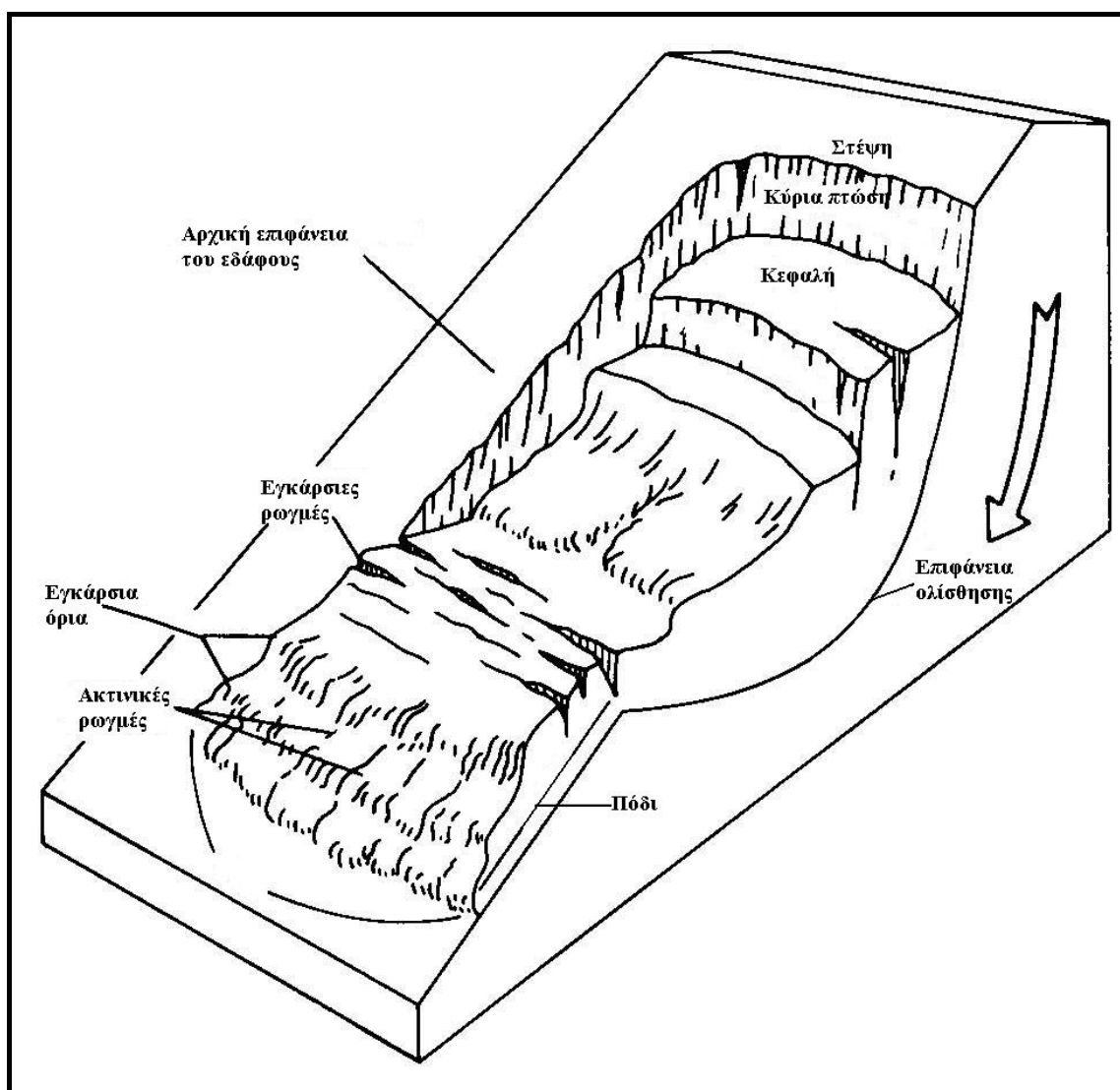


Σχήμα 3.6. Ανατροπή βράχων σε κερματισμένα συμπαγή πετρώματα.

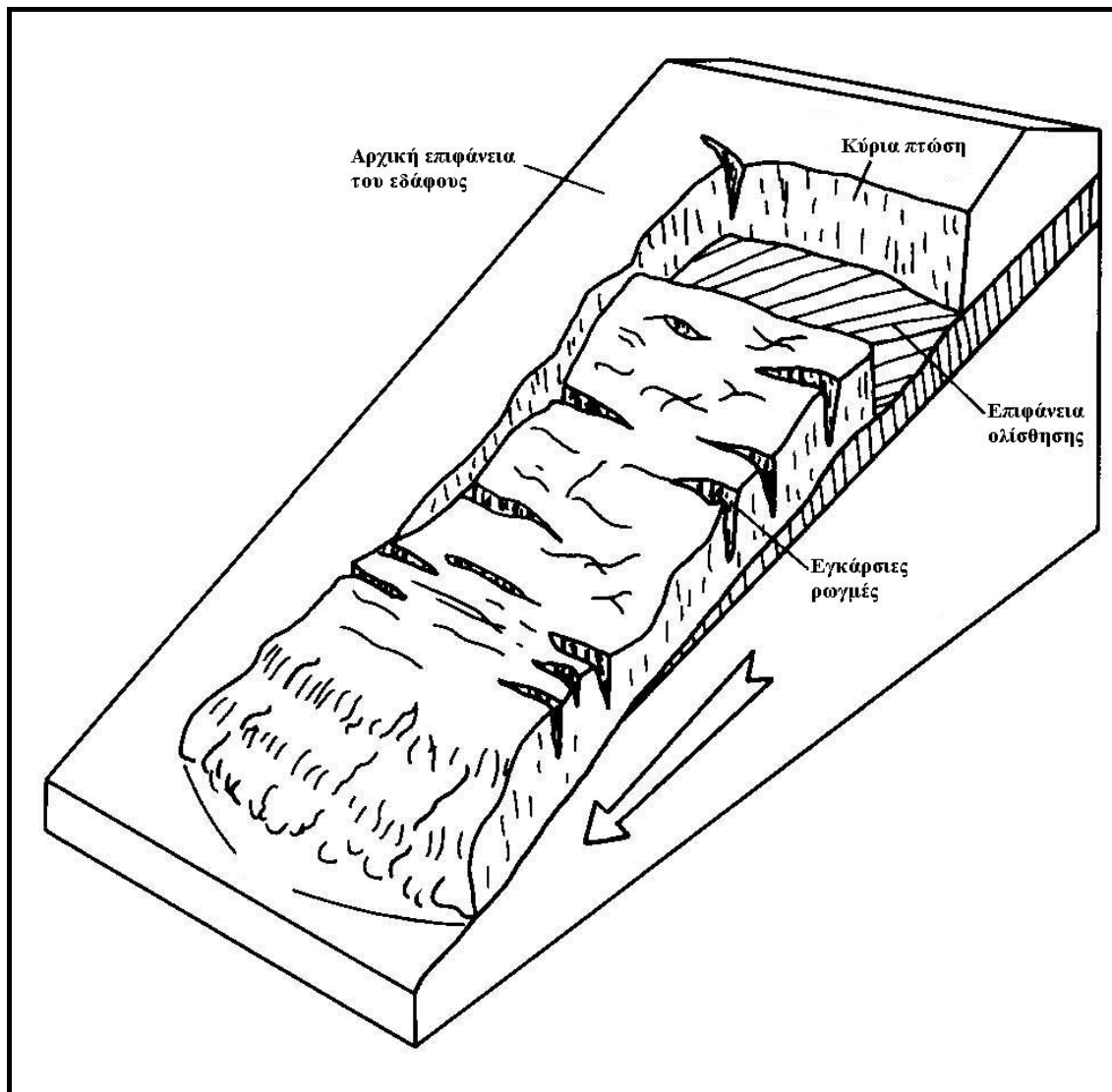
Ολισθήσεις (Slides)

Στις ολισθήσεις η κίνηση συνίσταται από διατμητική παραμόρφωση και μετακίνηση κατά μήκος μιας ή περισσότερων επιφανειών. Η κίνηση μπορεί να είναι προοδευτική, δηλαδή η διατμητική θραύση μπορεί να μην αρχίζει ταυτόχρονα σ' όλη την επιφάνεια ολίσθησης, αλλά να προχωρεί προοδευτικά από μια αρχική εστία ή εστίες ολίσθησης.

Οι ολισθήσεις χωρίζονται στις περιστροφικές (rotational) και στις μεταθετικές – επίπεδες (translational) μετακινήσεις. Στις μεν πρώτες υπάρχει μια περιστροφική κίνηση της μάζας γύρω από ένα νοητό άξονα, ενώ στις δεύτερες υπάρχει μια μετάθεση της μάζας χωρίς να ακολουθεί κάποιο συγκεκριμένο τόξο.



Σχήμα 3.7. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά σημεία μιας σύνθετης, περιστροφικής μορφής, κατολίσθησης. (Varnes, 1978).



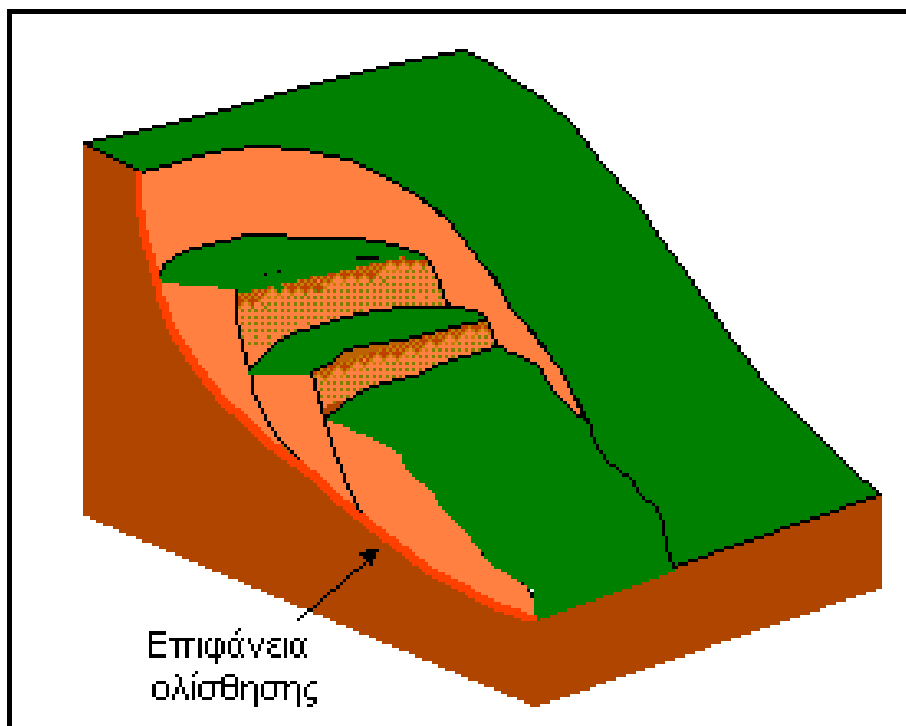
Σχήμα 3.8. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά σημεία μιας σύνθετης, μεταθετικής μορφής, κατολίσθησης. (Varnes, 1978).

ι) Περιστροφικές ολισθήσεις.

Η ολίσθηση λαμβάνει χώρα πάνω σε κυλινδρικές επιφάνειες, με μικρή παραμόρφωση του τεμάχους που ολισθαίνει. Πιο συνηθισμένη μορφή τους είναι η μορφή της «κάθισης» (slump) και παρατηρούνται τόσο σε ομογενή όσο και σε ετερογενή υλικά. Η «κάθιση» είναι ολίσθηση κατά μήκος μιας επιφάνειας θραύσης που είναι κοίλη προς τα πάνω. Αποτελούν τον πιο κοινό τύπο κατολισθήσεων. Η κίνηση στις «καθίσεις» γίνεται μόνο κατά μήκος εσωτερικών επιφανειών ολίσθησης. Σε πολλές «καθίσεις» η υποκείμενη επιφάνεια θραύσης έχει τη μορφή κουταλιού.

Η κατολίσθηση θα συμβεί όταν η διατμητική αντοχή του υλικού κατά μήκος της επιφάνειας διάρρηξης που θα δημιουργηθεί, υπερνικηθεί από τη διατμητική τάση η οποία εξασκείται από το βάρος της μάζας που πρόκειται να κατολισθήσει.

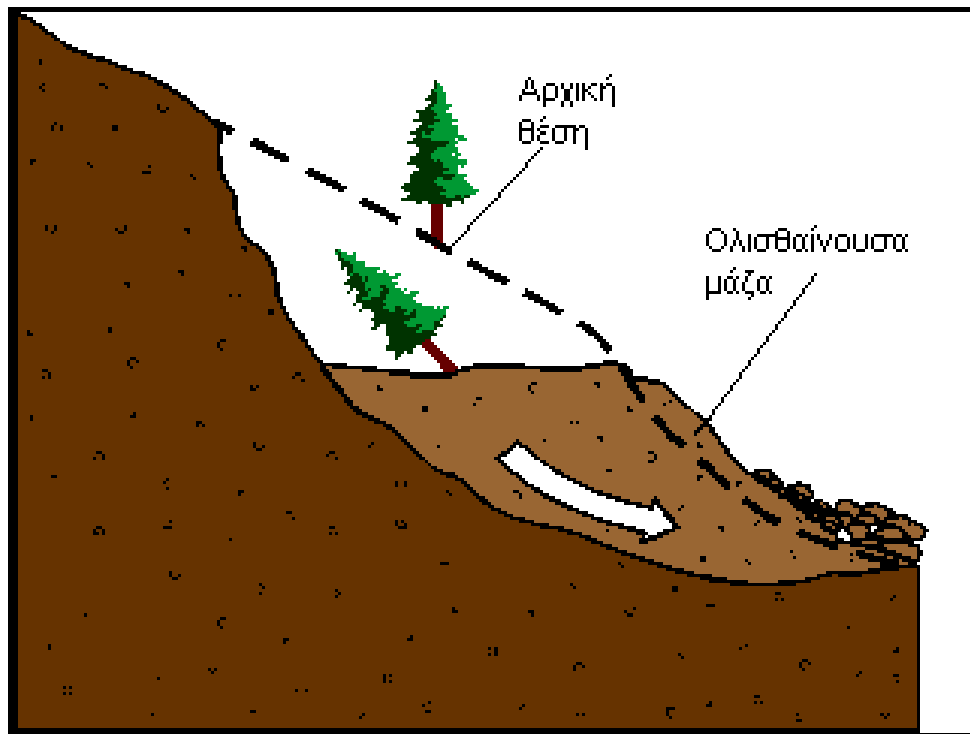
Εκδηλώνονται σε σχηματισμούς χαλαρούς έως μέτρια συνεκτικούς και είναι σημαντικού βάθους κατά κανόνα. Συχνά η επιφάνεια ολίσθησης δεν είναι κυκλική σε τομή, αλλά ακολουθεί προϋπάρχουσες γεωλογικές επιφάνειες.



Σχήμα 3.9. Περιστροφική ολίσθηση μορφής «κάθισης» (slump).

Οι τυπικές κατολισθήσεις που προσβάλλουν εδάφη ή πολύ πυκνοδιαρρηγμένα πετρώματα, που η συμπεριφορά τους μοιάζει πολύ με εκείνη των ασύνδετων αδρομερών υλικών, παρουσιάζουν ορισμένα χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα πριν την εκδήλωση της κατολίσθησης εμφανίζονται εφελκυστικές ρωγμές στο πάνω μέρος του πρανούς που πρόκειται να κατολισθήσει. Κατά τη διάρκεια της κατολίσθησης το πάνω τμήμα της μετακινούμενης μάζας υποχωρεί, σε σχέση με την αρχική επιφάνεια του πρανούς, ενώ το κάτω διογκώνεται πάνω από την αρχική επιφάνεια.

Όσον αφορά τις ρωγμές, στη στέψη παρατηρούνται τοξοειδείς ρωγμές εφελκυσμού, στο κύριο σώμα τοξοειδείς ρωγμές και δευτερεύουσες κατακρημνίσεις, στην ανώτερη ζώνη του «πόδα» εγκάρσιες ρωγμές εφελκυσμού και κάμψης, ενώ στην κάτω ζώνη του «πόδα» και μέχρι την άκρη των «δακτύλων» παρατηρούνται ακτινωτές ρωγμές και εγκάρσιες ράχεις.



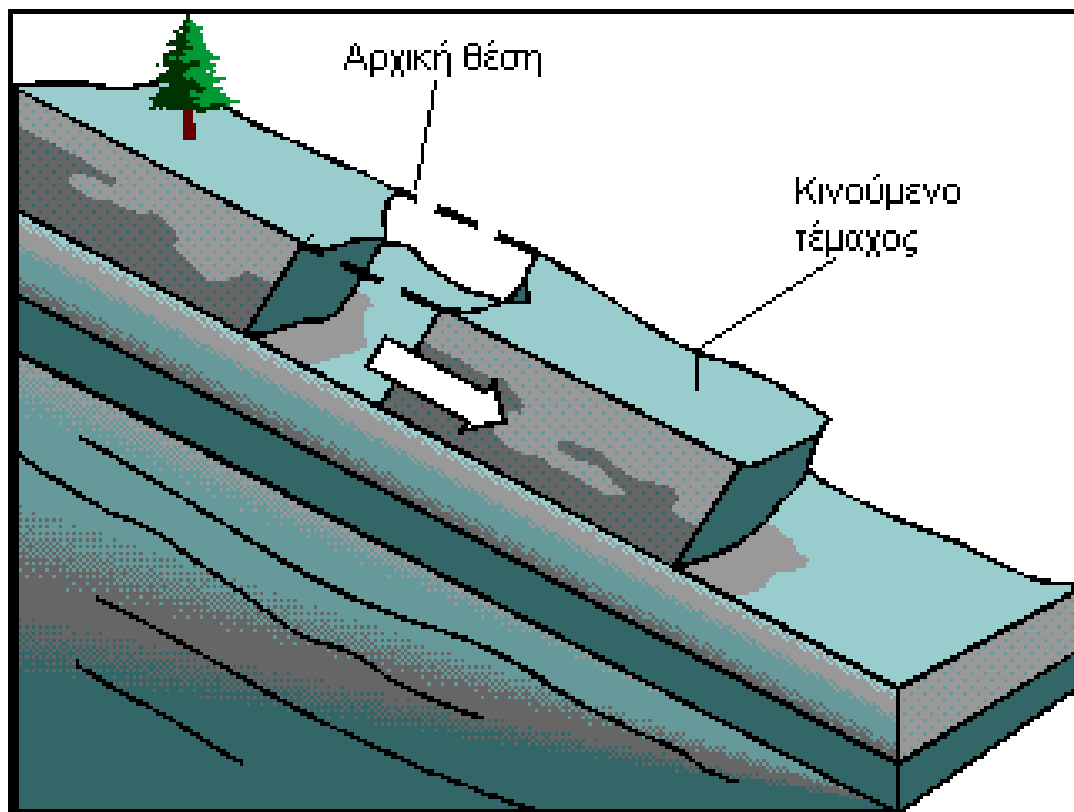
Σχήμα 3.10. Περιστροφική ολίσθηση (κυλινδρικής μορφής).

Τα αίτια των κατολισθήσεων είναι η αποφόρτιση στον «πόδα» λόγω υποσκαφής σε συνδυασμό με την ελάττωση της διατμητικής αντοχής από τη δράση του υπόγειου νερού. Το φαινόμενο αυτό έχει αλυσιδωτό χαρακτήρα με διαδοχικές ανάντη θραύσεις που σταματούν όταν αποστραγγιστεί η περιοχή ή όταν φτάσουν σε στερεό, ανθεκτικό σχηματισμό.

Συνήθως στον «πόδα» της κατολίσθησης το είδος της κίνησης μετατρέπεται σε ροή των υλικών που έχουν ολισθήσει, όταν οι μάζες που συσσωρεύονται λόγω διάβρωσης διαβραχούν τόσο πολύ με νερό, που κινούνται, προς τα κατάντη, υπό μορφή ροής, σε μεγάλη συνήθως απόσταση.

ii) Μεταθετικές – επίπεδες ολισθήσεις.

Στο είδος αυτών των κινήσεων η μάζα κινείται προς τα έξω ή προς τα κάτω και έξω, κατά μήκος μιας επίπεδης ή σχεδόν επίπεδης επιφάνειας ή τομής επιφανειών (plane or wedge failure). Η κίνηση δεν περιλαμβάνει σημαντική στροφή ή προς τα πίσω κλίση της «κεφαλής» και έτσι διακρίνεται εύκολα από την περιστροφική ολίσθηση. Η κίνηση αυτή ελέγχεται κυρίως από την ύπαρξη γεωλογικών δομών. Συνήθως εκδηλώνονται κατά μήκος προχαραγμένων επιφανειών ασυνέχειας (στρώση, σχιστότητα, ρήγματα κ.τ.λ.), όταν οι επιφάνειες αυτές κλίνουν ομόρροπα προς το πρηνές.



Σχήμα 3.11. Μεταθετική – επίπεδη ολίσθηση βράχου.

Σε ιζηματογενή πετρώματα με σαφώς διακριτή στρώση, η κλίση των στρωμάτων αποτελεί συνήθως τη μέγιστη κλίση που το πρανές είναι σταθερό. Εάν όμως τα στρώματα διαταραχθούν στον «πόδα» λόγω υποσκαφής ή διάβρωσης, τότε αυτά συγκρατούνται μόνο από την τριβή. Ο συντελεστής τριβής αυξάνει με την τραχύτητα και τις ανωμαλίες των επιπέδων στρώσης, γενικά δε η τριβή μπορεί να μειωθεί από κλιματικούς παράγοντες ή λόγω της υδροστατικής πίεσης του νερού στις ρωγμές. Ολισθήσεις βράχων σε επίπεδα στρώσης ή άλλες επιφάνειες ασυνέχειας μπορεί να είναι καταστροφικές σε απότομες ορεινές περιοχές.

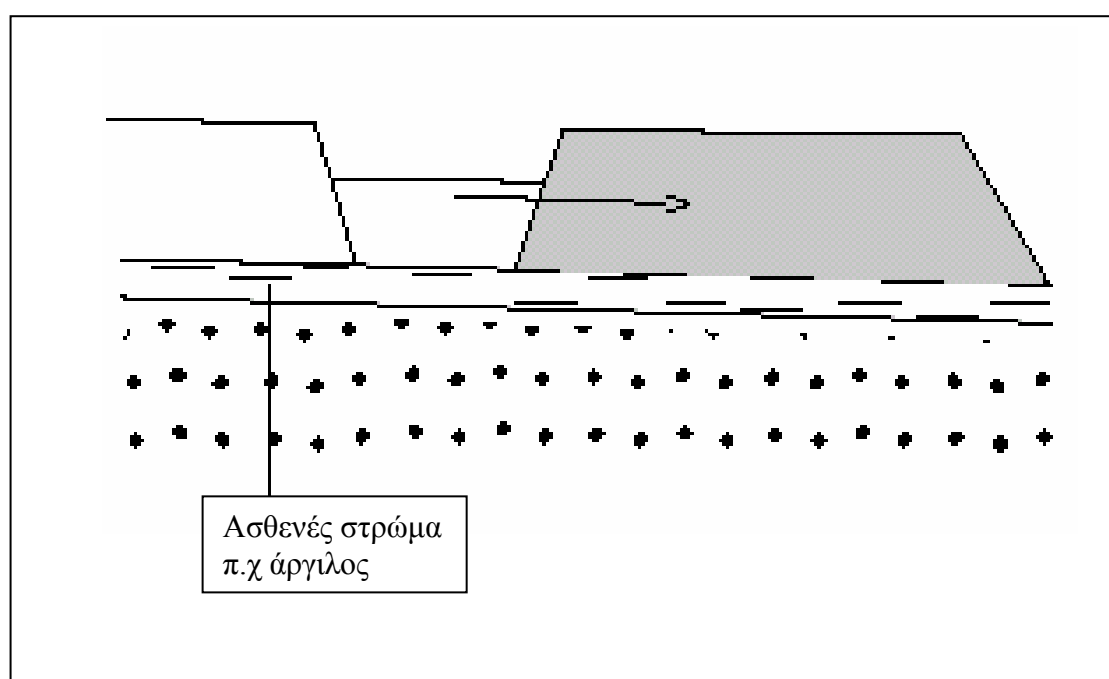
Η ύπαρξη πυκνού δικτύου αλληλοτεμνόμενων διαρρήξεων σε ένα βραχώδη σχηματισμό, σε συνδυασμό με τη δράση της αποσάθρωσης, επηρεάζει σημαντικά τη μηχανική αντοχή του πετρώματος. Σαν αποτέλεσμα, ανεξάρτητα από ευνοϊκή ή δυσμενή κλίση των στρωμάτων, έχουμε τη θραύση των πρανών και ολίσθηση τμήματος αυτών, έπειτα από μια οποιαδήποτε αιτία διαταραχής (αποφόρτιση στον «πόδα», υπερφόρτιση στην «κεφαλή», ραγδαίες βροχοπτώσεις, αύξηση της κλίσης του πρανούς, ισχυρές σεισμικές δονήσεις). Ένας άλλος παράγοντας που καθορίζει τη διαδρομή της επιφάνειας ολίσθησης είναι η ανομοιογένεια στη λιθολογική σύσταση των στρωμάτων και οι ιδιάζουσες υδρογεωλογικές συνθήκες.

Πλευρικές εξαπλώσεις

Στις πλευρικές εξαπλώσεις η κίνηση που κυριαρχεί είναι η πλευρική επέκταση με συνοδεία διατμητικών και εφελκυστικών ρωγμών.

Διακρίνονται δύο τύποι τέτοιων πλευρικών εκτάσεων:

- (i) Η κίνηση μπορεί να είναι μια επέκταση προς κάθε κατεύθυνση μιας μάζας που ολισθαίνει, χωρίς όμως να μπορεί να καθοριστεί με ακρίβεια το επίπεδο ολίσθησης ή η ζώνη πλαστικής ροής.
- (ii) Πλευρικές εξαπλώσεις μπορεί να παρατηρηθούν με την ολίσθηση βραχωδών σχηματισμών ή συνεκτικών εδαφών πάνω σε πλαστικές αργίλους που ρέουν ή λεπτόκοκκων άμμων και ιλύων που ρευστοποιούνται.



Σχήμα 3.12 Πλευρική εξάπλωση

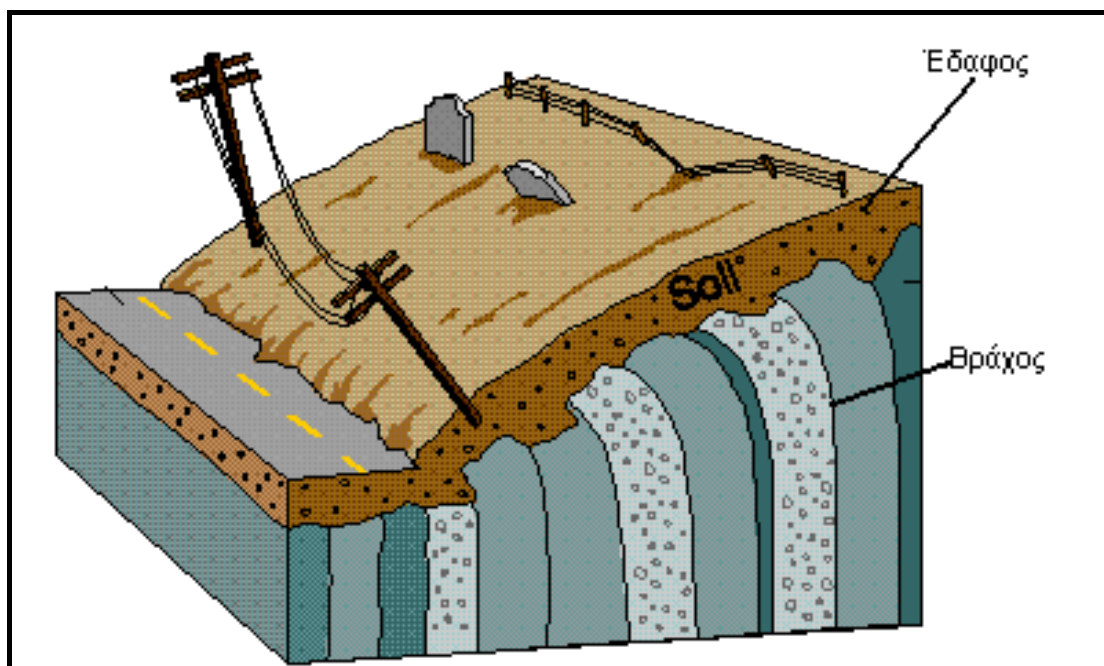
Ο συνεκτικός σχηματισμός διαμελίζεται σε μεγάλα τεμάχια που κινούνται προς όλες τις διευθύνσεις, περιστρέφονται, βυθίζονται ή θρυμματίζονται και μεταβάλλουν συνήθως την κίνησή τους σε ροή γαιών.

Η ταχύτητα μετακινήσεως των πλευρικών εκτάσεων είναι εξαιρετικά μικρή αλλά η επιφάνειά τους είναι κατά κανόνα πολύ μεγάλη. Μερικά από τα πιο καταστροφικά φαινόμενα κατολισθήσεων σε απώλειες ζωής και περιουσιών είναι του τύπου των πλευρικών εκτάσεων. Σε μερικές περιπτώσεις οι μετακινήσεις αυτού του τύπου πραγματοποιούνται μετά από σεισμικές δονήσεις.

Ροές

Η λέξη ροή δεν αναφέρεται σε κίνηση μιας καθορισμένης μάζας πάνω σε κάποιο σταθερό υπόβαθρο, αλλά μάλλον στη συνεχή σχετική κίνηση των ιδίων σωματιδίων που αποτελούν την κινούμενη μάζα πάνω σε μια άλλη σταθερή. Πρόκειται για γρήγορες ή αργές μετακινήσεις χαλαρών υλικών με ή χωρίς παρουσία υγρής φάσης.

Η κινούμενη εδαφική μάζα παρουσιάζει την εικόνα ενός πυκνού ιξώδους ρευστού που υφίσταται ροή και είναι χαρακτηριστική η απουσία ρωγμών στην επιφάνεια. Η κίνηση αυτή πολλές φορές έχει ονομασθεί «ΕΡΠΥΣΜΟΣ» (creep), αλλά ο μηχανισμός αυτός που υπακούει σε φυσικούς νόμους και που παρατηρείται στη μηχανική των υλικών δεν περιορίζεται μόνο στις ροές. Ο ερπυσμός αποτελεί βραδύτατη κίνηση του μανδύα αποσάθρωσης εδαφικών σχηματισμών, δεν οφείλεται σε διατμητική θραύση και δεν δημιουργεί επιφάνεια ολίσθησης και δύναται να εξελιχθεί προοδευτικά σε κατολίσθηση. Ερπυστικές κινήσεις είναι συνηθισμένες σε εδαφικά καλύμματα φλύσχη, μαργών και γενικά αργιλοψαμμιτικής συστάσεως πετρώματα.



Σχήμα 3.13. Ερπυσμός

Ο ερπυσμός διαφέρει από την εξέλιξη μιας κατολίσθησης στο ότι:

1) η κατολίσθηση έχει ένα καθορισμένο (διακριτό) επίπεδο αποχωρισμού και 2) οι κατολισθήσεις συνήθως κινούνται με γρηγορότερο ρυθμό, από 1m/day μέχρι 300 km/hr σε ειδικές περιπτώσεις (Sharpe, 1938; Eckel, 1958; Hubbert and Rubey, 1959; Kern, 1963). Για παράδειγμα, οι Swanston & Swanson (1976) βρήκαν ερπυστικές κινήσεις με ταχύτητα μόνο 1 cm/yr.

Οι αποθέσεις των ερπυσμών ονομάζονται κολλούβια (colluviums), Sharpe and Desch, 1942; Hartshorn, 1958; Lattman, 1960. Τα κολλούβια

είναι γενικά μη διαβαθμισμένα και μη στρωσιγενή και περιέχουν γωνιώδη τεμάχια πετρώματος σε αργιλικό υλικό.

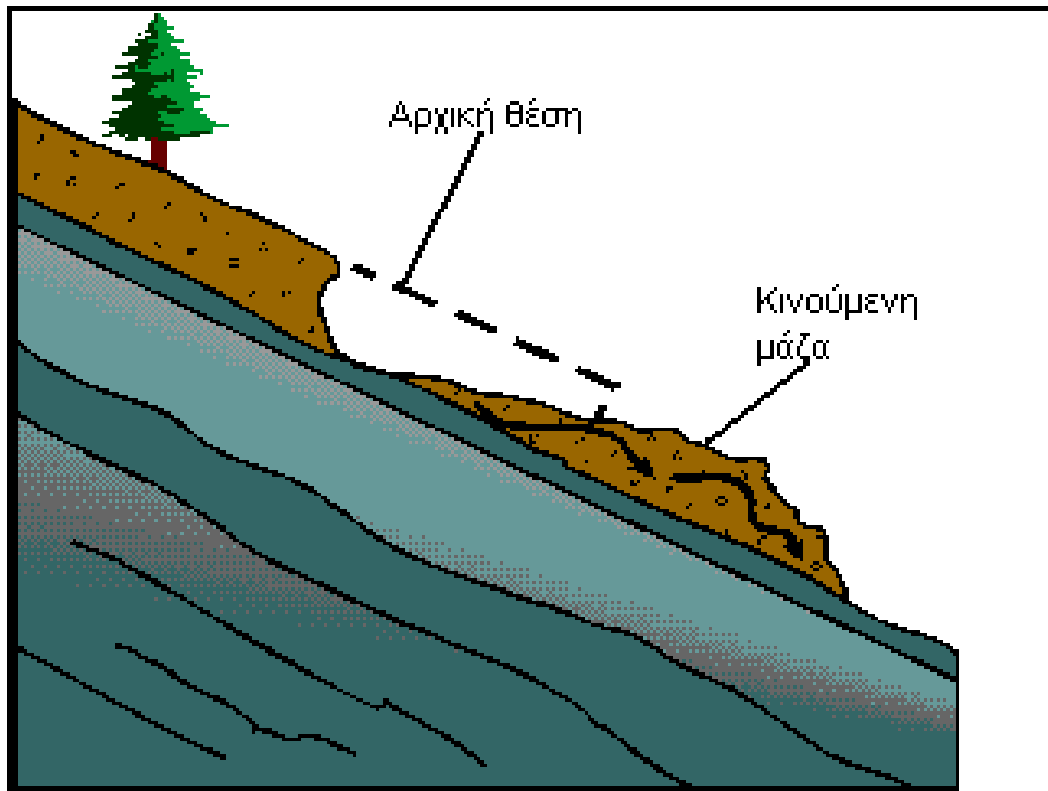
Ροές του υποβάθρου

Η ροή στους βραχώδεις σχηματισμούς που είναι κερματισμένοι, φυλλώδεις ή λεπτοστρωματώδεις μπορεί να εκδηλωθεί με την μετακίνηση των ανώτερων επιφανειακών στρωμάτων χωρίς η ζώνη ροής να μπορεί να εντοπισθεί εύκολα. Η ταχύτητα κίνησης είναι εξαιρετικά μικρή. Τέτοιες μετακινήσεις προέρχονται από πτυχώσεις, κάμψεις (κάμψεις κεφαλών στρωμάτων) διογκώσεις ή άλλες εκδηλώσεις πλαστικής συμπεριφοράς. Αυτό το είδος των μετακινήσεων παρατηρείται συχνότερα σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο. Ένας άλλος τύπος ροής του υποβάθρου είναι το φαινόμενο της κάμψης της κεφαλής των στρωμάτων το οποίο προκαλεί μετακινήσεις των επιφανειακών στρωμάτων των πρηνών του τύπου ροής με όλα τα χαρακτηριστικά όμως του ερπυσμού. Η κάμψη της κεφαλής των στρωμάτων που θα πρέπει να θεωρείται και να αντιμετωπίζεται σαν βαρυτικός ερπυσμός οφείλει τη δημιουργία του στο γεγονός ότι όταν τα στρώματα των πετρωμάτων είναι κατακόρυφα ή κλίνουν με πολύ μεγάλες κλίσεις αντίθετα προς την τοπογραφική επιφάνεια, οι κεφαλές τους γέρνουν προς τη μεριά της τοπογραφικής κλίσης, πάνω στην οποία έρπουν. Ανάλογα με την αντοχή σε διάτμηση δημιουργούνται στις κεφαλές των στρωμάτων θραύσεις που τελικά οδηγούν σε γενική μετατόπιση του επιφανειακού στρώματος του πρηνούς.

Αντίθετα, στους εδαφικούς σχηματισμούς, η ροή μπορεί να εντοπισθεί πολύ πιο εύκολα.

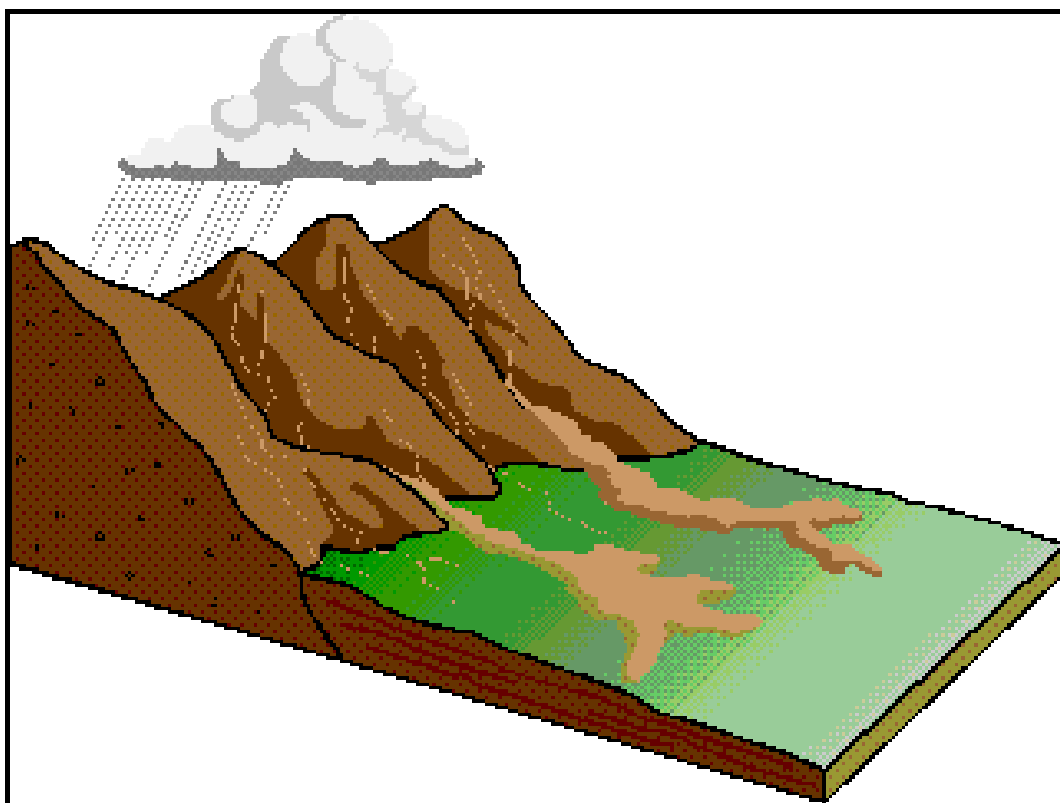
Ροή γαιών μπορεί να γίνει κάτω από διάφορες συνθήκες περιεχόμενης υγρασίας και με ταχύτητα από εξαιρετικά μεγάλη μέχρι εξαιρετικά μικρή. Οι ροές προκαλούνται από τον κορεσμό των εδαφικών υλικών, γεγονός που έχει σαν συνέπεια την αύξηση του φορτίου και τη μείωση της διατμητικής αντοχής. Ανάλογα με το υλικό και τη συνεκτικότητα αυτού διακρίνουμε ροές εδάφους, **ροές λάσπης** (mudflows), **ροές κορημάτων** (debris flows). Το σχήμα τους είναι συνήθως γλωσσοειδούς μορφής. Ροές σε ορεινές περιοχές είναι ιδιαίτερα επικίνδυνες για τα συγκοινωνιακά έργα.

Η **ροή κορημάτων** (debris flows, debris avalanche) αντιπροσωπεύει ταχεία κίνηση πλευρικών κορημάτων που προκαλείται π.χ. από καταρρακτώδεις βροχές και πλημμύρες. Θεωρείται περισσότερο σαν μεταφορά και όχι κίνηση μάζας, πολλές φορές δε έχει καταστρεπτικά αποτελέσματα. Η ροή κορημάτων είναι μια χονδρόκοκκη ροή αδρομερών υλικών και οι αποθέσεις της έχουν το 50% των στερεών της είναι μεγαλύτερα από άμμο, ενώ η **λασπορροή** είναι μια λεπτόκοκκη ροή γαιών και οι αποθέσεις της περιέχουν κυρίως άμμο και λεπτότερα συστατικά.



Σχήμα 3.14. Ροή κορημάτων

Οι ροές λάσπης συνήθως δημιουργούνται από ασυνήθιστα ισχυρή βροχόπτωση ή από το λιώσιμο του χιονιού. Η ροή λάσπης συχνά δημιουργείται από χειμαρρικά φαινόμενα και ευνοείται από την παρουσία εδάφους σε απότομες κλιθείς από τις οποίες έχει εξαφανιστεί η φυτοκάλυψη λόγω πυρκαγιών ή ανθρώπινων παρεμβάσεων. Οι αποθέσεις της ροής κορημάτων έχουν πυκνότητες $2-2.5 \text{ gr/cm}^3$. Οι ροές κορημάτων έχουν τη συνοχή ενός υγρού μετόν και ταχύτητες που φτάνουν τα 10 m/sec . Οι αποθέσεις της είναι αδιαβάθμητες και προσομοιάζουν τους τιλλίτες (glacial till). Αποτελούνται από αργιλικό υλικό που περιέχει μεγάλες γωνιώδεις κροκάλες και χάλικες. Η εξαιρετικά γρήγορη ροή κορημάτων αναφέρεται και ως «χιονοστιβάδα» κορημάτων (debris avalanche).



Σχήμα 3.15. Λασπορροή

Η **ρευστοποίηση της άμμου** (liquefaction of sand) προκαλείται από δυνάμεις δημιουργούμενες με τη ροή νερού στην άμμο, π.χ. απότομη υποβίβαση της στάθμης ενός ταμιευτήρα, διάτρηση του στεγανού καλύμματος αμμούχων υδροφόρων. Χαλαροί, κορεσμένοι, μη συνεκτικοί αμμόδεις σχηματισμοί μπορεί να υγροποιηθούν ακόμη όταν υπόκεινται σε δυναμική φόρτιση (σεισμοί) που προκαλούν αναδιάταξη των κόκκων της άμμου. Το πορώδες της μάζας ελαττώνεται ενώ αυξάνεται η πυκνότητά της, το νερό των πόρων αποβάλλεται κατά τρόπο που αυξάνεται η πίεση του νερού των πόρων, ελαττώνοντας έτσι την τριβή μεταξύ των κόκκων και σε μικρό χρονικό διάστημα το έδαφος γίνεται υγρό. Το φαινόμενο μπορεί να συμβεί σε παράκτιες ή παραλίμνιες περιοχές, επιχώματα, ταμιευτήρες, φράγματα κλπ., γι' αυτό χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στη συμπίκνωση της άμμου στα διάφορα τεχνικά έργα.

Η **απόπλυση της άμμου** (outwashing of sand) είναι δυνατό να προκληθεί στην περίπτωση κατά την οποία σ' ένα πρηνές διανοιχθεί όρυγμα μέχρι της οροφής στρώματος άμμου, που παρεμβάλλεται μεταξύ αδιαπέρατων στρωμάτων, με αποτέλεσμα τη ροή αυτής προς τα κατόντη και τη θραύση του πρανούς.

Η **εδαφική ροή** (solifluction) αναφέρεται σε μια ειδική περίπτωση ολίσθησης και ροής των επιφανειακών στρωμάτων που παρατηρείται κυρίως σε ορεινές περιοχές. Κατά τη χειμερινή περίοδο το νερό παγώνει στο μανδύα σε αρκετό βάθος. Η τήξη του πάγου και το ατμοσφαιρικό

νερό κοραίνουν το έδαφος, το οποίο κινείται σαν πυκνή λάσπη, ακόμα και σε πρανή με μικρή κλίση, πάνω στο παγωμένο ακόμα τμήμα του μανδύα. Η εδαφική ροή μπορεί να εμφανιστεί ακόμη και σε θερμότερα κλίματα, σε υψηλά υψόμετρα, ιδιαίτερα κατά τη μετάβαση από το όριο πλαστικότητας προς το όριο υδαρότητας. Το φαινόμενο αυτού του τύπου εξελίσσεται μέχρι βάθους 0,5 m.

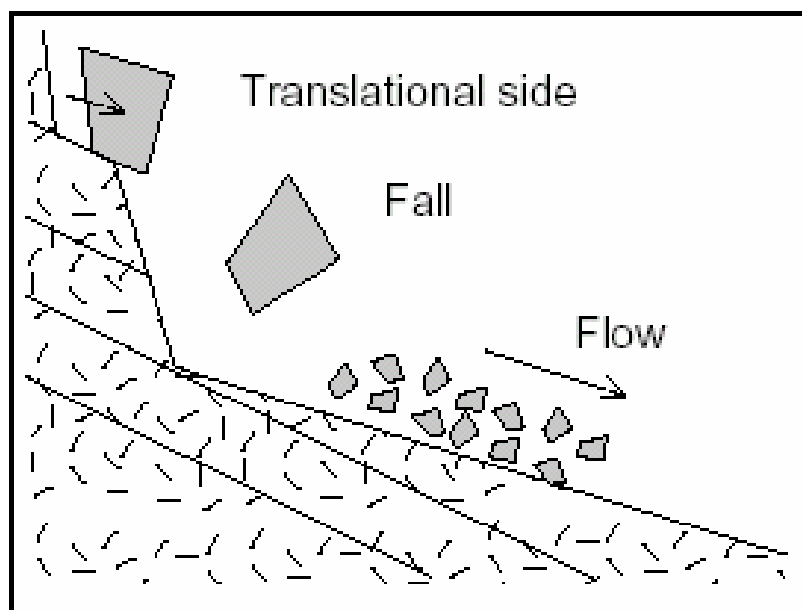
Ρεύματα τεμαχών (block streams) είναι γλώσσες κορημάτων βράχων σε απότομα πρανή, που κινούνται εξαιρετικά αργά και που συχνά τροφοδοτούνται από πλευρικά κορήματα ή κώνους στην κεφαλή του ρεύματος.

Ξηρές ροές άμμου είναι πολύ συνηθισμένες κατά μήκος των ακτών ή των επιχωμάτων όπου τα επιφανειακά κοκκώδη υλικά είναι στεγνά.

Ροές αιολικής γης (ασβεστούχου πηλού) που κινητοποιήθηκαν από σεισμικές δονήσεις είναι από τις πιο καταστροφικές. Η σεισμική δόνηση καταστρέφει την ασθενή εσωτερική υφή του πορώδους πηλού, οπότε ο πηλός γίνεται ένα ρευστό αιώρημα ιλύος στον αέρα που ρέει με μεγάλη ταχύτητα και ορμή προς το χαμηλότερο ανάγλυφο.

Σύνθετες κινήσεις

Είναι συνδυασμός περισσότερων κύριων τύπων μετακινήσεων απ' αυτούς που περιγράφηκαν παραπάνω, είτε στα διάφορα τμήματα της μετακινούμενης μάζας είτε στα διάφορα στάδια της εξέλιξης της μετακίνησης. Ιδιαίτερα επικίνδυνες είναι οι εξαιρετικά γρήγορες πτώσεις βράχων – ροές κορημάτων (rock fall avalanche). Οι μετακινήσεις του τύπου ολίσθησης βράχων – ροής κορημάτων είναι πολύ συνηθισμένες στις ανώμαλες ορεινές περιοχές.



Σχήμα 3.16. Σύνθετες κινήσεις

4. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

Η γεωτεχνική μελέτη μιας κατολίσθησης συνίσταται στη συνεκτίμηση της γεωλογικής δομής της ευρύτερης περιοχής και των αποτελεσμάτων από τις ερευνητικές εργασίες σχετικά με την κατολισθαίνουσα μάζα.

Η αναγνώριση μιας κατολίσθησης καθώς και ο προσδιορισμός του τύπου και των αιτιών της παίζουν πρωταρχικό ρόλο στη λήψη των κατάλληλων μέτρων για την αποφυγή ή τον έλεγχο αυτής. Η έρευνα των κατολισθήσεων περιλαμβάνει:

4.1 Υπαίθριες έρευνες.

Γενικά, οι ερευνητικές εργασίες υπαίθρου που απαιτούνται για την επιτυχή αντιμετώπιση μιας κατολίσθησης, ή μιας περιοχής που είναι επιρρεπής προς κατολίσθηση μπορούν να ιεραρχηθούν ως εξής:

1) Συγκέντρωση και ανάλυση υπαρχόντων στοιχείων:

Τοπογραφικοί χάρτες, γεωλογικοί χάρτες, εκθέσεις κτλ.

2) Αναγνώριση πεδίου – Τοπογραφική αποτύπωση:

Καθορίζεται πρωταρχικά η έκταση και ο τύπος της κατολίσθησης και γίνεται η τοπογραφική αποτύπωσή της σε χάρτη κλίμακας 1:5000 ή μεγαλύτερη. Επίσης θα πρέπει να γίνουν τομές από τον «πόδα» μέχρι την «κεφαλή» της κατολίσθησης που να καλύπτουν και μέρος της αδιατάρακτης περιοχής.

3) Εξέταση αεροφωτογραφιών:

Με βάση της αεροφωτογραφίες μπορούν να καθοριστούν επακριβώς τα όρια της κατολίσθησης, η εξέλιξή της και το μέγεθος της κινήσεώς της. Χρήσιμες είναι οι αεροφωτογραφίες στις οποίες φαίνεται η κατάσταση της περιοχής πριν την εκδήλωση της κατολίσθησης για να συγκριθούν με αυτές που λήφθηκαν μετά την εκδήλωση.

4) Γεωλογική αναγνώριση και χαρτογράφηση:

Απεικονίζονται με λεπτομέρεια το σχήμα της επιφάνειας θραύσης, οι ρωγμές και οι κατακρημνίσεις της κατολίσθησης, τα όρια των γεωλογικών σχηματισμών, οι τεκτονικές δομές, οι θέσεις των ερευνητικών εργασιών, οι θέσεις συγκέντρωσης νερού και οι πηγές σε χάρτη μεγάλης κλίμακας. Ιδιαίτερα πρέπει να μετρηθεί το βάθος και η κλίση των επιφανειών ολίσθησης και να καθοριστεί το σχήμα της κατολίσθησης σε εγκάρσια τομή. Επίσης ειδική σημασία για την αναγνώριση του χαρακτήρα της κίνησης έχει η εξέταση των ρωγμών.

Για τη σχεδίαση των μέτρων αποτελεσματικής αποκατάστασης, είναι απαραίτητο να καθορισθεί εάν η κατολίσθηση είναι ενεργή, αδρανής ή

σταθεροποιημένη. Επομένως είναι απαραίτητος ο διαχωρισμός των κατολισθήσεων σύμφωνα με την ηλικία και το στάδιο εξέλιξής τους.

Η ηλικία καθορίζεται με βάση τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά, τη σχέση της κατολισθαίνουσας μάζας προς τους επιφανειακούς σχηματισμούς γνωστής ηλικίας (π.χ ποτάμια αναβαθμίδες ή αιολικές αποθέσεις) και την κατάσταση της βλάστησης. Επίσης η ηλικία των κατολισθήσεων μπορεί να καθοριστεί με βάση παλαιοντολογικά ή αρχαιολογικά κριτήρια. Γενικά η ενεργός κατολίσθηση χαρακτηρίζεται από νωπή εμφάνιση, όπου η επιφάνεια θραύσης είναι απότομη και χωρίς βλάστηση, οι ρωγμές είναι ανοιχτές, οι ρίζες των δέντρων τεταμένες και οι δρόμοι ή τα σπίτια έχουν καταστραφεί. Η κατάσταση της ανάπτυξης των δέντρων είναι ενδεικτική για την ηλικία πρόσφατων ολισθητικών κινήσεων.

5) Γεωφυσική έρευνα :

Για γρήγορη και οικονομική προκαταρκτική αναγνώριση υπεδαφικών συνθηκών, σημαντική είναι η προσφορά των γεωφυσικών μεθόδων. Οι γεωφυσικές μέθοδοι που έχουν σήμερα μεγάλη εφαρμογή είναι της ηλεκτρικής αντίστασης και της σεισμικής διαθλάσεως.

Δίνουν μία κατά προσέγγιση εκτίμηση της γεωλογικής δομής σε βάθος και του βάθους μέχρι του οποίου θα πρέπει να γίνουν τα μέτρα προστασίας, για να αναχαιτισθεί και να τεθεί υπό έλεγχο η κατολίσθηση. Όταν μάλιστα χρησιμοποιούνται περισσότερες γεωφυσικές μέθοδοι σε συνδυασμό με λεπτομερή γεωλογική χαρτογράφηση, τότε η βοήθεια είναι πλέον αποτελεσματική, όσον αφορά την παροχή περισσότερων υπεδαφικών στοιχείων και την επιλογή θέσεων για τη διάνομιξη γεωτρήσεων.

6) Υδρογεωλογική έρευνα:

Η σχεδίαση των μέτρων αντιμετώπισης μιας κατολίσθησης απαιτεί την πλήρη γνώση των υδρογεωλογικών συνθηκών στην περιοχή της. Το πρώτο θέμα είναι ο καθορισμός του βάθους του υδροφόρου ορίζοντα και οι διακυμάνσεις αυτού, η χαρτογράφηση των ρευμάτων που ρέουν στη μάζα, των πηγών, υδροπερατών ρωγμών και στρωμάτων κτλ.

Οι αλλαγές του αναγλύφου του πρανούς, προκαλούμενες από την ολίσθηση, αλλάζουν τις συνθήκες αποστράγγισης των επιφανειακών υδάτων και το καθεστώς του υπόγειου νερού. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στους αρτεσιανούς ορίζοντες λόγω των πιέσεων που ασκούν στα υπερκείμενα στρώματα.

Η πίεση των πόρων στα αργιλικά εδάφη έχει την ίδια επίδραση στην ευστάθεια του πρανούς όσο και η υδροστατική πίεση του υπόγειου νερού. Η πίεση αυτή καθορίζεται με την εγκατάσταση πιεζόμετρων. Οι πιεζομετρικές παρατηρήσεις πρέπει να καλύπτουν ολόκληρη την περίοδο της έρευνας και ιδιαίτερα κατά τις υγρές περιόδους.

7) Καθορισμός του σχήματος της επιφάνειας ολίσθησης:

Ο προσανατολισμός και το σχήμα της επιφάνειας ολίσθησης ρυθμίζουν το βάθος της κατολίσθησης. Έτσι αυτή διακρίνεται σε επιφανειακή (<1,5 m), αβαθή (1,5-5 m), βαθιά (5-20 m) και πολύ βαθιά (>20 m). Το βάθος μιας κατολίσθησης συνήθως μετράται κάθετα προς τη επιφάνεια ολίσθησης. Η ολίσθηση μπορεί να συμβεί σε μία ή περισσότερες επάλληλες επιφάνειες.

Για τον καθορισμό της πορείας της επιφάνειας ολίσθησης και του βάθους της κατολίσθησης διανοίγονται ερευνητικά ορύγματα (φρεάτια) ή τάφροι για την απ'ευθείας εξέταση των πετρωμάτων και τη λήψη αδιατάρακτων δειγμάτων για εργαστηριακή έρευνα, όπως και για να λειτουργήσουν συγχρόνως ως στραγγιστήρια.

Σε πολλές περιπτώσεις είναι εφικτές μόνο γεωτρήσεις οι οποίες πρέπει όμως να γίνουν με μεγάλη προσοχή για να δώσουν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η εκτέλεση των γεωτρήσεων γίνεται για τον προσδιορισμό της φύσης και δομής των γεωλογικών σχηματισμών, την επιβεβαίωση των γεωλογικών και γεωφυσικών στοιχείων, τη λήψη προσανατολισμένων δειγμάτων, την παρακολούθηση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και την εγκατάσταση οργάνων ελέγχου μετακίνησης ή την εκτέλεση γεωφυσικών διασκοπήσεων.

8) Παρακολούθηση της ολισθαίνουσας μάζας:

Για τη συστηματική παρακολούθηση μιας κατολίσθησης τοποθετούνται σειρά σημείων μέτρησης στην περιοχή της (ράβδοι, πάσσαλοι), τα οποία συνδέονται με σημεία αναφοράς στην σταθερή γειτονική περιοχή. Με βάση τις μετρήσεις αυτές μπορεί να κατασκευασθεί χάρτης διανυσμάτων μετακίνησης, όπου τονίζονται το περίγραμμα της ολίσθησης, τα σημεία αναφοράς και η ανυσματική μετακίνηση. Επίσης έχουν επινοηθεί νέες μέθοδοι, που συνίστανται στην τοποθέτηση ειδικών οργάνων (κλισιομέτρων) σε διάφορα βάθη εντός γεώτρησης μεγάλης διαμέτρου για τον σχεδιασμό ενός συνεχούς προφίλ σε όλο το μήκος της γεώτρησης και τον καθορισμό του επιπέδου ή των επιπέδων ολίσθησης.

9) Μέτρηση των παραμενουσών οριζόντιων τάσεων:

Οι περισσότερες από τις υπάρχουσες μεθόδους αναφέρονται στην τεχνική «αφαίρεσης υλικού», η οποία βασίζεται στο γεγονός ότι το πεδίο των τάσεων ενός παραμορφωμένου σώματος αλλάζει όταν απομακρύνεται μέρος του σώματος αυτού. Αυτό εισάγει μια μετρούμενη παραμόρφωση του σώματος, από την τιμή της οποίας και τις παραμέτρους παραμορφώσεως του υλικού, μπορεί να υπολογιστεί το αρχικό πεδίο τάσεων.

10) Επιτόπου δοκιμές:

Προκειμένου να διαπιστωθεί ο βαθμός ευστάθειας ενός πρανού απαιτείται να μετρηθούν οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των σχηματισμών. Οι μετρήσεις αυτές γίνονται με τη βοήθεια επιτόπιων δοκιμών, οι πιο συνηθισμένες από τις οποίες είναι:

- ♦ Πρότυπη δοκιμή διείσδυσης S.P.T.
- ♦ Δοκιμή διάτμησης πτερυγίου (Vane test)
- ♦ Δοκιμή διείσδυσης – Πενετρόμετρο
- ♦ Δοκιμή φόρτισης και άμεσης διάτμησης
- ♦ Δειγματοληπτικές γεωτρήσεις
- ♦ Γεωφυσικές μετρήσεις

4.2 Εργαστηριακές δοκιμές.

Δοκιμές φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών:

Για τη σύνθεση της γεωλογικής δομής του πρανού είναι απαραίτητη η εξέταση των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων και εδαφών που μετέχουν σ' αυτή.

1) Δοκιμές βραχωδών δειγμάτων:

Αντοχή σε θλίψη, σε διάτμηση, σε κάμψη, ιδιότητες παραμόρφωσης, εργαστηριακές δοκιμές στο υλικό πλήρωσης των ασυνεχειών.

2) Εδαφικοί σχηματισμοί:

Χαλαρά εδάφη

Στα εδάφη αυτά προσδιορίζονται το ειδικό βάρος, η κοκκομετρική διαβάθμιση, το ποσοστό του λεπτόκοκκου υλικού, η γωνία τριβής κ.α.

Συνεκτικά εδάφη

Στα εδάφη αυτά οι παράγοντες που πρέπει να μελετηθούν είναι η ορυκτολογική σύσταση των εδαφών, η εξαλλοίωση των αργιλικών εδαφών, οι παράμετροι αντοχής, τα όρια Atterberg, το μέτρο παραμόρφωσης, ο ρυθμός στερεοποίησης.

Στη γεωλογική μελέτη των κατολισθήσεων αξιολογούνται όλα τα αποτελέσματα των ερευνητικών εργασιών για την πληρέστερη σύνταξη των γεωλογικών χαρτών και τομών, καθώς και για τον προσδιορισμό του τύπου, του βάθους και της ταχύτητας κίνησης της κατολίσθησης και των πιθανών αιτιών που την προκάλεσαν. Τα στοιχεία αυτά είναι απαραίτητα για τον καθορισμό των κατάλληλων μέτρων προστασίας της περιοχής που κατολισθαίνει.

5. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΩΝ

Η ευστάθεια των πρανών (εδαφικών ή βραχωδών με εδαφική συμπεριφορά) μελετάται συνήθως με τη χρήση μεθόδων οριακής ισορροπίας (Limit Equilibrium Methods). Σκοπός και αποτέλεσμα της εφαρμογής των μεθόδων είναι ο προσδιορισμός της τιμής του συντελεστή ασφάλειας, F.S (Factor of Safety), για τη δυσμενέστερη περίπτωση επιφάνειας ολίσθησης.

Η τιμή του συντελεστή ασφάλειας αποτελεί έκφραση και μέτρο συνολικής ασφάλειας, που παρουσιάζει το πρανές. Επειδή το πρόβλημα γενικά είναι υπερστατικό, ήταν αναγκαίο κατά την ανάλυση να γίνουν διάφορες απλοποιητικές υποθέσεις, έτσι ώστε η θεώρηση όλων ή ορισμένων συνθηκών ισορροπίας να οδηγήσει σε λύση.

Μέχρι σήμερα έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι, οι οποίες διαφέρουν ως προς τον αριθμό και τον τύπο των υποθέσεων. Ο διαχωρισμός των μεθόδων οριακής ισορροπίας σε κατηγορίες βασίζεται :

- Στη γραμμική ή μη γραμμική συνάρτηση του συντελεστή ασφάλειας
- Στο κυκλικό ή μη κυκλικό σχήμα της επιφάνειας ολίσθησης
- Στην κατακόρυφη ή κεκλιμένη θέση των επιφανειών των επιπέδων των φετών
- Στο εάν η μέθοδος ικανοποιεί ισορροπία Δυνάμεων ή ισορροπία Ροπών ή και τις δύο μαζί.

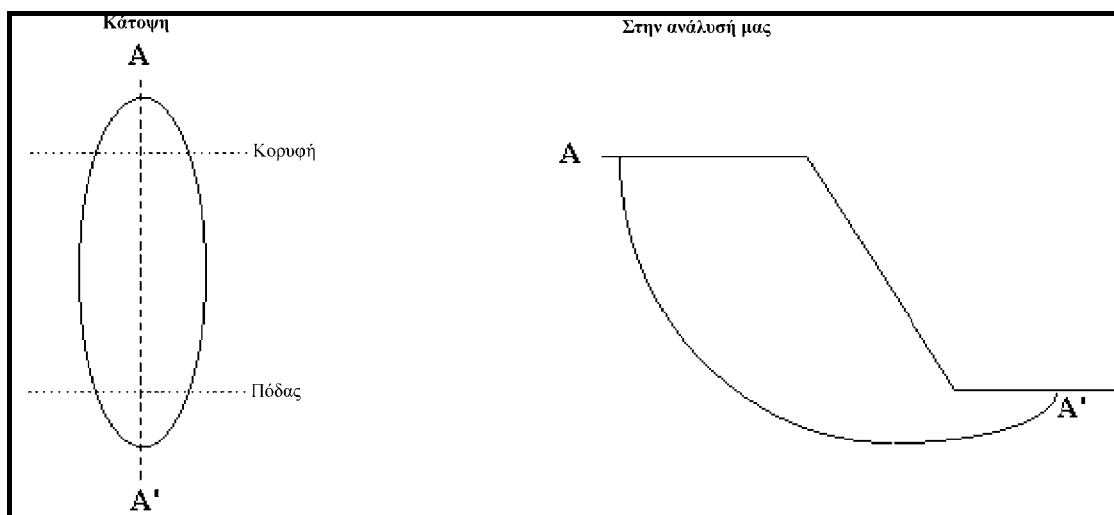
Εκτός από τις μεθόδους οριακής ισορροπίας, έχουν προταθεί και χρησιμοποιούνται ιδίως τα τελευταία χρόνια και άλλες μέθοδοι όπως αυτές των πεπερασμένων στοιχείων, πεπερασμένων διαφορών καθώς και η μέθοδος ενέργειας. Οι μέθοδοι αυτές είναι γενικά πολύ σύνθετες.

Παρακάτω γίνεται μια ιστορική αναδρομή και ταυτόχρονα μια συνοπτική – συγκριτική παρουσίαση των μεθόδων ανάλυσης ευστάθειας σε περιορισμένου μήκους πρανή.

5.1 Παραδοχές των μεθόδων οριακής ισορροπίας

Για την χρήση των μεθόδων οριακής ισορροπίας στην ανάλυση ευστάθειας των πρανών απαιτούνται ορισμένες παραδοχές – υποθέσεις:

- Υποθέτουμε έναν μηχανισμό αστοχίας : Υποθέτουμε το σχήμα και τη θέση της επιφάνειας αστοχίας παρά τα υπολογίζουμε από την ανάλυση.
- Υποθέτουμε επίπεδη παραμόρφωση (2D) : Αγνοούμε τα αποτελέσματα της τρισδιάστατης (3D) ανάλυσης (είναι φυσικά γνωστό ότι στην πραγματικότητα τα πρανή έχουν τρεις διαστάσεις. Γινόμαστε συντηρητικοί μη λαμβάνοντας υπόψη τις συνέπειες της τρισδιάστατης ανάλυσης. Θα επιτυγχάναμε μεγαλύτερο συντελεστή ασφάλειας λαμβάνοντας υπόψη την τρισδιάστατη ανάλυση.



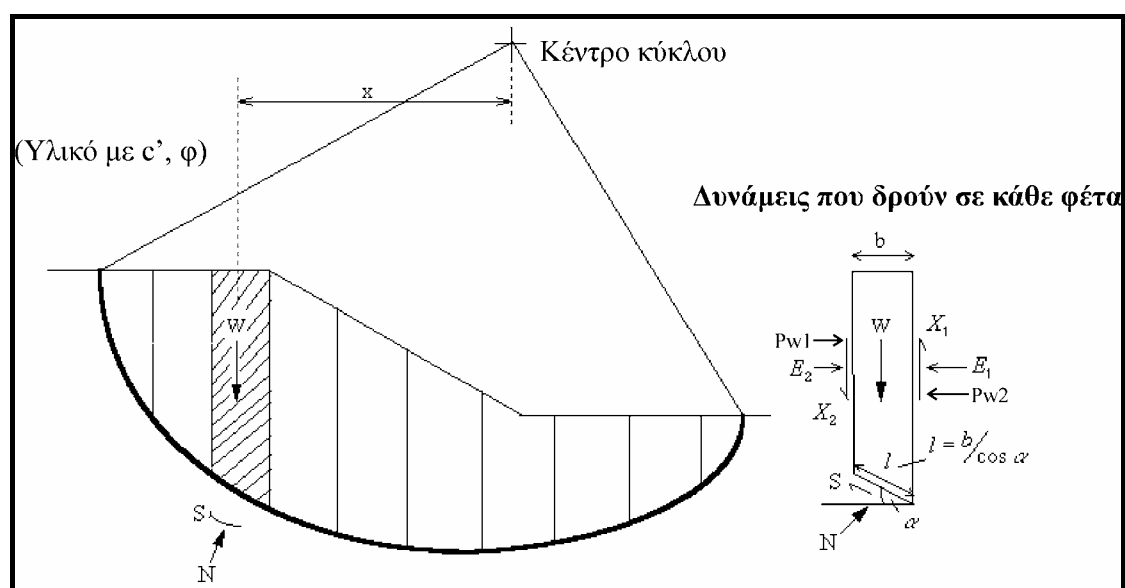
Σχήμα 5.1

- Υποθέτουμε ενιαία κίνηση του μπλοκ: Δεχόμαστε ότι η εδαφική μάζα μετακινείται σαν ένα ενιαίο μπλοκ, όπου η κίνηση λαμβάνει χώρα μόνο πάνω στην επιφάνεια αστοχίας.
- Υποθέτουμε ομοιόμορφη τοποθέτηση – εφαρμογή των διατμητικών τάσεων : π.χ σε μία προοδευτική αστοχία οι διατμητικές τάσεις δεν είναι ομοιόμορφα μετακινούμενες σε όλο το μήκος της επιφάνειας αστοχίας. Για την ανάλυσή μας θεωρούμε ότι είναι.

5.2 Γενικές αρχές της μεθόδου των φετών

Οι μέθοδοι που βασίζονται στην τεχνική του χωρισμού του πρανούς σε φέτες επιτρέπουν να μελετηθεί εύκολα η ευστάθεια ανομοιογενών πρανών αποτελούμενων από πολλές εδαφικές στρώσεις. Επιπλέον με κατάλληλη προσαρμογή της υπολογιστικής διαδικασίας παρέχουν τη δυνατότητα να εξετασθούν πιο σύνθετες επιφάνειες ολίσθησης.

Κατά την εφαρμογή της τεχνικής των φετών, το κατολισθαίνον τμήμα χωρίζεται με ιδεατά συνήθως κατακόρυφα επίπεδα σε ένα εύλογο αριθμό n τμημάτων (Σχήμα 5.2).



Σχήμα 5.2. Τυπική φέτα και αντίστοιχο δυναμοπολύγωνο

Σε κάθε φέτα εφαρμόζονται γενικά οι δυνάμεις που φαίνονται στο σχήμα (5.2).

E_1 , E_2 = ολικές κάθετες δυνάμεις που δρουν στις πλευρικές επιφάνειες της φέτας

X_1 , X_2 = διατμητικές δυνάμεις που δρουν μεταξύ των φετών

N = ολική κάθετη δύναμη

S = δύναμη διάτμησης – κίνησης στη βάση της φέτας

W = ολικό βάρος φέτας

l = μήκος βάσης της φέτας

P_w = πίεση του νερού

u = η μέση πίεση του νερού των πόρων στη βάση της φέτας

Όπως αναλύεται στον Πίνακα 5.1 ο συνολικός αριθμός των αγνώστων σε ολόκληρη τη διάταξη είναι ίσος με $6n - 2$.

Πίνακας 5.1.

Άγνωστοι	Αριθμός
Ορθές ενεργές δυνάμεις στη βάση κάθε φέτας	n
Διατμητικές δυνάμεις στη βάση κάθε φέτας	n
Θέσεις του άξονα εφαρμογής των ορθών δυνάμεων	n
Πλευρικές ορθές δυνάμεις	$n-1$
Πλευρικές διατμητικές δυνάμεις	$n-1$
Θέσεις του άξονα εφαρμογής των πλευρικών ορθών δυνάμεων	$n-1$
Συντελεστής ασφάλειας, FS	1
Σύνολο	$6n-2$

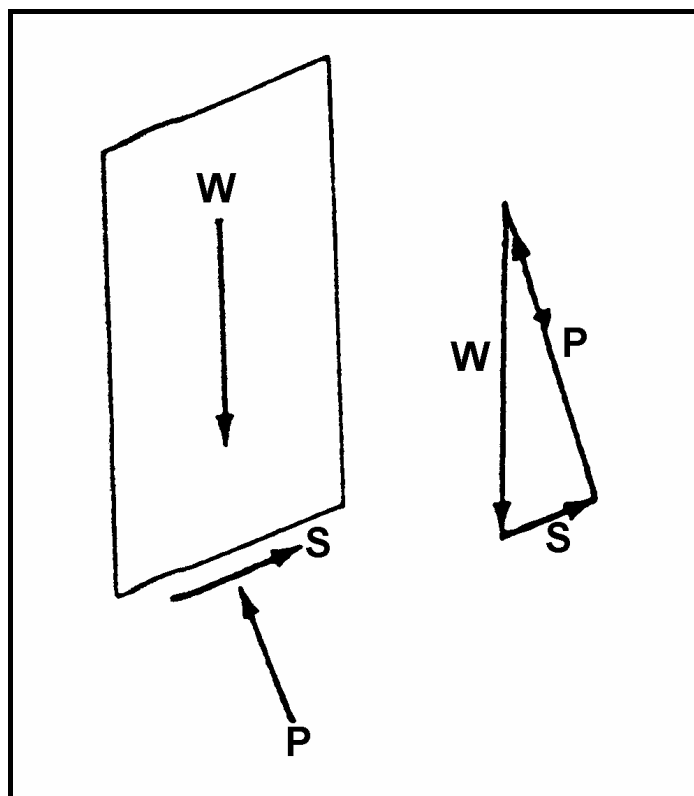
Για κάθε φέτα μπορούν να διατυπωθούν 4 εξισώσεις, δηλαδή οι 3 εξισώσεις ισορροπίας και μία ακόμη εξίσωση μεταξύ των δυνάμεων N και S και των μηχανικών χαρακτηριστικών ϕ , c , η οποία προκύπτει με εφαρμογή της σχέσης του Coulomb στη βάση της φέτας : δηλαδή συνολικά στο σύστημα των n φετών προκύπτουν $4n$ εξισώσεις. Το διαμορφωμένο μαθηματικό πια πρόβλημα έχει λύση μόνο για $n=1$, ενώ για κάθε άλλη μεγαλύτερη τιμή του n , όπως βέβαια είναι επιθυμητό ($n=10$, $n=15$), είναι αόριστο και δεν έχει αυστηρή και ακριβή λύση.

Υπό την πίεση της ανάγκης να αντιμετωπισθεί το πραγματικό πρόβλημα, έχουν προταθεί από αρκετούς μελετητές, διάφορες μέθοδοι οι οποίες ξεπερνούν το μαθηματικό αδιέξοδο, με απλοποιητικές προσεγγιστικές υποθέσεις.

5.3 Μέθοδοι κυκλικής επιφάνειας αστοχίας

Μέθοδοι ανάλυσης:

- Οι πρώτες τεχνικές αναπτύχθηκαν από τον **Collin** το **1846**.
- Η Σουηδική Κυκλική Μέθοδος που αναπτύχθηκε από τον **Petterson** το **1916** με την χρήση φετών. Με λανθασμένες αρχικές υποθέσεις, η μέθοδος υποεκτιμά την τιμή του συντελεστή ασφάλειας σε ποσοστό 60 %.
- Η μέθοδος του **Fellenious (1928)**, η οποία όμως συναντάται στη βιβλιογραφία και με άλλα ονόματα, όπως κανονική, συμβατική κ.α. Κατά τη μέθοδο αυτή, η επιφάνεια ολίσθησης αποτελεί τόξο κύκλου και οι πλευρικές δυνάμεις στις φέτες θεωρούνται μηδενικές και αγνοούνται στην πολύ απλουστευμένη υπολογιστική διαδικασία. Η υπόθεση αυτή σύμφωνα με τον πίνακα (5.1) μειώνει τον αριθμό των αγνώστων κατά $3n - 3$, κυρίως όμως επειδή, όπως φαίνεται στο σχήμα (5.3), όλες οι δυνάμεις ενεργούν ή μεταφέρονται στην επιφάνεια ολίσθησης. Ο υπολογισμός του συντελεστή ασφάλειας γίνεται άμεσα, χωρίς την ανάγκη επίλυσης συστήματος ή επαναλήψεων.



Σχήμα 5.3. Παρουσίαση των δυνάμεων που γίνεται δεκτό ότι ενεργούν σε τυπική εσωτερική φέτα και τα αντίστοιχα δυναμοπολύγωνα σύμφωνα με τη μέθοδο του Fellenius(1928).

Ως συντελεστής ασφάλειας ορίζεται ο λόγος της ροπής ως προς το κέντρο του κυκλικού τόξου των δυνάμεων που αντιστέκονται στην ολίσθηση, προς την ροπή ανατροπής –ολίσθησης.

$$F.S = \text{Ροπές συγκράτησης} / \text{Ροπές ολίσθησης}$$

Θεωρούμε ότι $E_1 = E_2 = X_1 = X_2 = 0$ οπότε έχουμε :

$$N = W \cos \alpha$$

$$S = \frac{1}{F} [c'l + (W \cos \alpha - ul) \tan \phi]$$

Εφαρμόζοντας την ισορροπία των ροπών έχουμε :

$$\sum Wx = \sum SR$$

$$\sum WR \sin \alpha = \sum SR$$

$$\sum W \sin \alpha = \sum S$$

άρα από την προηγούμενη σχέση =>

$$\sum W \sin \alpha = \sum \frac{1}{F} [c'l + (W \cos \alpha - ul) \tan \phi]$$

οπότε ο συντελεστής ασφάλειας που προκύπτει από την εφαρμογή της μεθόδου Fellenius είναι :

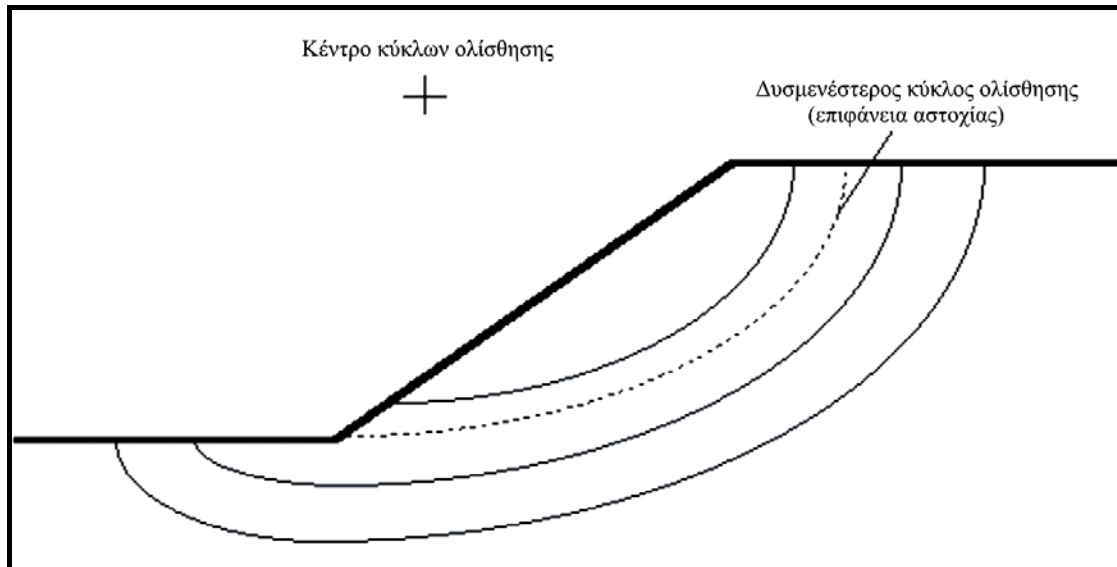
$$F = \frac{\sum [c'l + (W \cos \alpha - ul) \tan \phi]}{\sum W \sin \alpha}$$

Δύο παρατηρήσεις, που αξίζει να αναφερθούν και να σχολιασθούν είναι οι εξής :

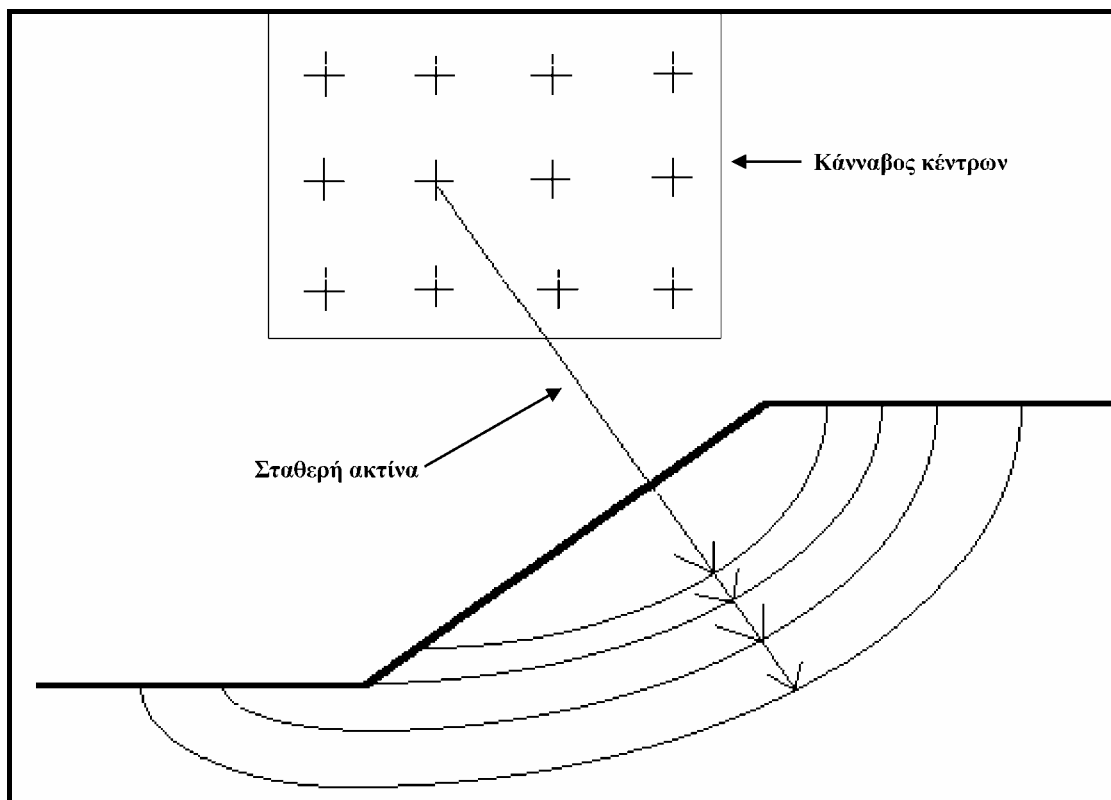
α) Η μέθοδος αγνοεί τις συνθήκες ισορροπίας των δυνάμεων στο γενικό σύστημα.

β) Η μέθοδος δεν έχει τεχνική άμεσου και εξαρχής προσδιορισμού του δυσμενέστερου κύκλου. Έτσι ο υπολογιζόμενος από την παραπάνω σχέση συντελεστής ασφάλειας δεν είναι τελικός, καθώς ο κύκλος είναι τυχαίος. Το θέμα αντιμετωπίζεται με τη συστηματική δοκιμή ικανού αριθμού κύκλων (με διαφορετικές ακτίνες και διαφορετικά κέντρα) και

την επισήμανση του δυσμενέστερου και κρίσιμου. Στα σχήματα (5.4, 5.5) εικονίζεται σχηματικά η σχετική υπολογιστική τεχνική, η οποία γίνεται σε σύντομο χρονικό διάστημα με την χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών.



Σχήμα 5.4. Σχηματική παρουσίαση της υπολογιστικής τεχνικής που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του κρίσιμου – δυσμενέστερου κύκλου ολίσθησης. Δοκιμάζεται ικανός αριθμός κύκλων ολίσθησης με σταθερό κέντρο και μεταβαλλόμενη ακτίνα. Προσδιορίζεται η κρίσιμη ακτίνα του δυσμενέστερου κύκλου ολίσθησης.

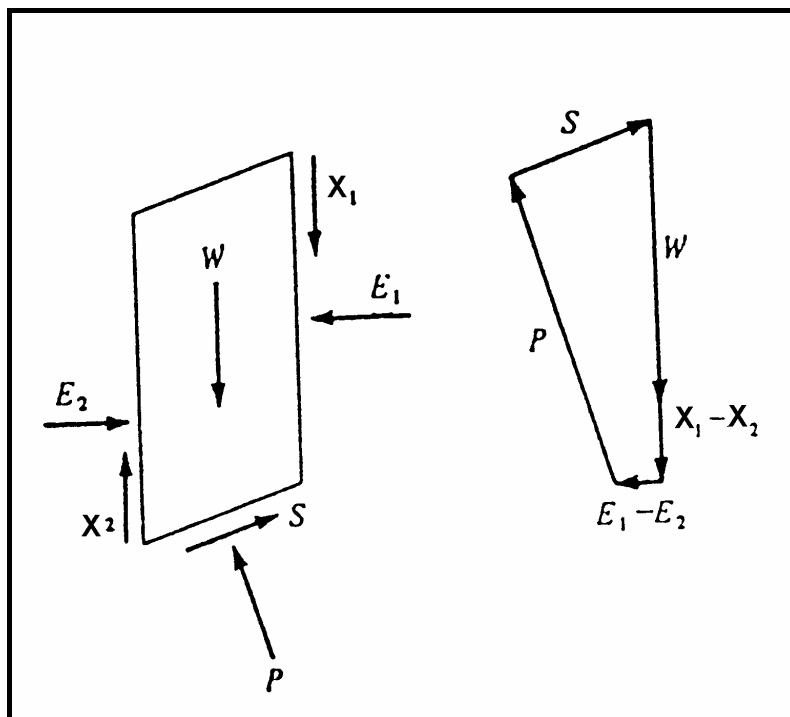


Σχήμα 5.5. Σχηματική παρουσίαση της υπολογιστικής τεχνικής που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του κρίσιμου – δυσμενέστερου κύκλου ολίσθησης. Δοκιμάζεται ικανός αριθμός κύκλων ολίσθησης με μεταβαλλόμενο κέντρο (κάνναβος) και σταθερή ακτίνα. Προσδιορίζεται το κρίσιμο κέντρο του δυσμενέστερου κύκλου ολίσθησης.

Η μέθοδος του Fellenius, σύμφωνα με τον Bromhead (1986), υποεκτιμά τη τιμή του συντελεστή ασφάλειας, από 5 έως 20 % σε σχέση με άλλες πιο «αυστηρές» μεθόδους, ειδικά όταν ο κύκλος ολίσθησης είναι βαθύς ή όταν η πίεση του νερού των πόρων είναι υψηλή. Πάρά τούτο, η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε και χρησιμοποιείται ακόμη συχνά, ειδικά όταν δεν υπάρχει η δυνατότητα χρήσης κάποιου έγκυρου και σίγουρου προγράμματος ηλεκτρονικού υπολογιστή. Τούτο είναι πολύ εύλογο, καθώς η ποιότητα της όλης μελέτης εξαρτάται πολύ περισσότερο από το γενικό σχεδιασμό, αλλά και πιο συγκεκριμένα, η ακρίβεια στον υπολογιστή του συντελεστή ασφάλειας εξαρτάται κυρίως από τη στρωματογραφία και τις τιμές των μηχανικών χαρακτηριστικών που έγιναν δεκτές.

► Η «ακριβής» μέθοδος του Bishop (1955) ικανοποιεί τόσο την ισορροπία των δυνάμεων όσο και των ροπών δεχόμενη τις ροπές στο κέντρο του κύκλου ολίσθησης. Η λύση για την τιμή του συντελεστή ασφάλειας λαμβάνονταν από την ισορροπία δυνάμεων σε κάθε κατακόρυφη φέτα και από την ολική ισορροπία ροπών.

► Η «απλοποιημένη» μέθοδος του Bishop (Simplified Method) (1955) έκανε μια παραδοχή όπου δέχθηκε πως η διαφορά των διατμητικών δυνάμεων που δρουν ανάμεσα στις κατακόρυφες φέτες είναι μηδέν. (Π.χ $X_1 = X_2 = 0$). Με αυτή την παραδοχή – απλοποίηση είναι πιο εύκολος ο προσδιορισμός της τιμής του συντελεστή ασφάλειας.



Σχήμα 5.6. Παρουσίαση των δυνάμεων που γίνεται δεκτό ότι ενεργούν σε τυπική εσωτερική φέτα και τα αντίστοιχα δυναμοπολύγωνα σύμφωνα με τη μέθοδο του Bishop (1955).

Η ανάλυση ικανοποιεί ολική ισορροπία ροπών αλλά όχι για κάθε φέτα.
 Η επίλυση της «απλοποιημένης» μεθόδου του Bishop γίνεται ως εξής :

Επιλύνοντας κάθετα έχουμε :

$$N \cos \alpha = W + \Delta X - S \sin \alpha$$

$$N = \frac{W + \Delta X - S \sin \alpha}{\cos \alpha}$$

Από τη μέθοδο των φετών γνωρίζουμε ότι :

$$S = \frac{1}{F} [c'l + (W \cos \alpha - ul) \tan \phi]$$

αντικαθιστούμε το N και έχουμε την παρακάτω σχέση :

$$S = \frac{1}{F} \frac{[c'l \cos \alpha + (W + \Delta X - S \sin \alpha - ul \cos \alpha) \tan \phi]}{\cos \alpha}$$

b= πλάτος φέτας = l*cosα, επομένως έχουμε :

$$S = \frac{1}{F} \left[\frac{c'b + (W + \Delta X - ub) \tan \phi}{\cos \alpha} - S \tan \alpha \tan \phi \right]$$

$$S = \left[1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi}{F} \right] = \frac{1}{F} \frac{[c'b + (W + \Delta X - ub) \tan \phi]}{\cos \alpha}$$

$$S = \frac{1}{F} \left[\frac{c'b + (W + \Delta X - ub) \tan \phi}{\cos \alpha} \right] \left[\frac{1}{1 + \left(\tan \alpha \tan \phi / F \right)} \right]$$

από την ισορροπία ροπών έχουμε :

$$\sum W \sin \alpha = \sum S$$

άρα έχουμε :

$$F = \frac{\sum [c' b + (W + \Delta X - ub) \tan \phi] \left[\frac{\sec \alpha}{1 + \tan \alpha \tan \phi} \right] / F}{\sum W \sin \alpha}$$

Για την επίλυση της παραπάνω εξίσωσης ακολουθείται η εξής διαδικασία:

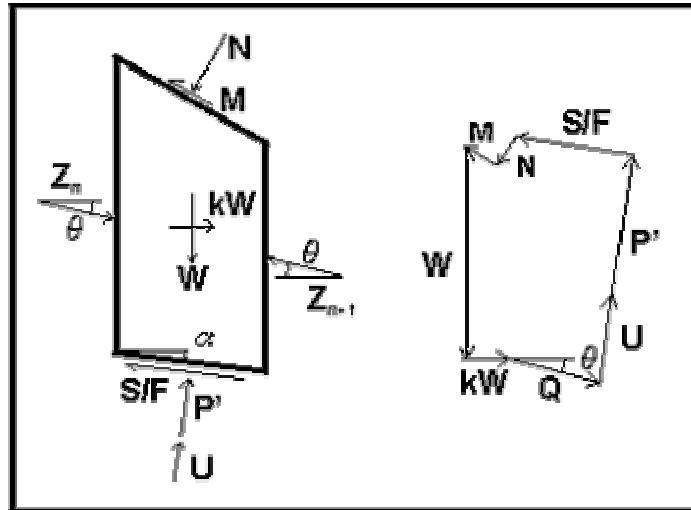
α) Θεωρούμε ότι $X_1 = X_2 = 0$ άρα η διαφορά των διατμητικών δυνάμεων που δρουν ανάμεσα στις κατακόρυφες φέτες είναι μηδέν $\Delta X = 0$

β) Καθώς ο συντελεστής ασφάλειας F βρίσκεται και στις δύο μεριές τις εξίσωσης, αυτή πρέπει να επιλυθεί με επαναλήψεις. Παίρνουμε μία αρχική τιμή του συντελεστή ασφάλειας F , εφαρμόζοντας τη μέθοδο του Fellenius, και την πολλαπλασιάζουμε με το 1.2. Η τιμή αυτή εισάγεται στο δεξί μέρος της εξίσωσης και έτσι υπολογίζεται ο συντελεστής ασφάλειας F στο αριστερό μέρος της εξίσωσης. Αυτή η νέα τιμή, έπειτα εισάγετε στο δεξί μέρος της εξίσωσης και η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου έχουμε ίδια τιμή και στις δύο μεριές της εξίσωσης.

Η «απλοποιημένη» μέθοδος των φετών του Bishop, αποτελεί την πιο ευρύτατα χρησιμοποιούμενη μέθοδο από τους γεωτεχνικούς λόγω της «απλότητάς» της και ταυτόχρονα διατηρεί επαρκή ακρίβεια για πρακτικούς λόγους, όπου η επιφάνεια αστοχίας είναι κυκλική. Η «απλοποιημένη» μέθοδος των φετών του Bishop συνεπάγεται ένα μικρό επιπρόσθετο σφάλμα της τάξεως του 0.01 (1%).

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι και στην «απλοποιημένη» μέθοδο του Bishop γίνεται δεκτή κυκλική επιφάνεια ολίσθησης και ότι όπως και στη μέθοδο Fellenius είναι απαραίτητο να αναζητηθεί και να προσδιορισθεί ο δυσμενέστερος κύκλος ολίσθησης.

► Ο **Spencer (1967,1973)** ανέπτυξε μία μέθοδο σύμφωνα με την οποία οι δυνάμεις μεταξύ των φετών είναι κεκλιμένες με μια γωνία θ που είναι σταθερή σε όλο το πραινές. Σύμφωνα με τη θεωρία του Spencer οι δυνάμεις μεταξύ των φετών είναι παράλληλες μεταξύ τους. Μια τυπική φέτα και το αντίστοιχο δυναμοπολύγωνο φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 5.7. Τυπική φέτα και δυναμοπολύγωνο σύμφωνα με τη θεωρία του Spencer (1967,1973)

Οι δυνάμεις που δρουν πάνω στην φέτα είναι :

W = βάρος φέτας

kW = η ψευδοστατική δύναμη kW , όπου k είναι ο σεισμικός συντελεστής

$U = u \cdot l$ = η πίεση του νερού των πόρων

P' = η ενεργή ολική κάθετη δύναμη στη βάση της φέτας

Η δύναμη διάτμησης – κίνησης στη βάση της φέτας

$$\frac{S}{F} \left(= \frac{c' l + P' \tan \phi'}{F} \right)$$

N και M αντίστοιχα, τα αποτελέσματα των κάθετων και παράλληλων, οριακών, προς την κορυφή της φέτας δυνάμεων

Q = το αποτέλεσμα των παράλληλων δυνάμεων

Η ψευδοστατική δύναμη kW και αποτελέσματα των κάθετων και παράλληλων, οριακών, προς την κορυφή της φέτας δυνάμεων N , M δεν περιλαμβάνονται στην παρακάτω επίλυση.

Το άθροισμα των δυνάμεων, κάθετων και εφαπτόμενων, στη βάση κάθε φέτας δίνει δύο εξισώσεις ισορροπίας δυνάμεων και δύο αγνώστους τους P' και Q :

$$P' + U - W \cos \alpha + Q \sin(\alpha - \theta) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{c' l}{F} + \frac{P' \tan \phi'}{F} - W \sin \alpha - Q \cos(\alpha - \theta) = 0 \quad (2)$$

Λύνοντας την σχέση (1) ως προς P' και αντικαθιστώντας την παράσταση στη σχέση (2) και λύνοντας την σχέση ως προς Q έχουμε :

$$Q = \frac{\frac{c'l}{F} + \frac{\tan \phi'}{F}(W \cos \alpha - U) - W \sin \alpha}{\cos(\alpha - \theta) \left(1 + \frac{\tan \phi' \tan(\alpha - \theta)}{F}\right)} \quad (3)$$

Εάν οι εξωτερικές δυνάμεις στο πρανές είναι σε ισορροπία, το διανυσματικό άθροισμα των δυνάμεων μεταξύ των φετών πρέπει να είναι μηδέν ώστε να διασφαλίζει γενική ισορροπία δυνάμεων. Εφόσον οι δυνάμεις μεταξύ των φετών είναι όλες παράλληλες μεταξύ τους, αυτή η απαίτηση ανάγεται στην εξής :

$$\sum Q = 0 \quad (4)$$

Τελικά, η κάθετη δύναμη και το βάρος κάθε φέτας, θεωρούνται τυχαίες σε κάθε σημείο της επιφάνειας ολίσθησης με την ίδια X συντεταγμένη με το κέντρο βαρύτητας της φέτας. Για κάθε φέτα που βρίσκεται σε ισορροπία ροπών το αποτέλεσμα Q των δυνάμεων μεταξύ των φετών πρέπει να δρα παράλληλα με τις παραμένουσες δυνάμεις που δρουν στη φέτα. Δηλαδή το Q πρέπει να ενεργεί στο σημείο στη βάση κάθε φέτας όπου η κάθετη δύναμή και το βάρος δρουν.

Εάν το άθροισμα των ροπών των εξωτερικών δυνάμεων γύρω από ένα τυχαίο σημείο, είναι μηδέν, τότε άθροισμα των ροπών των δυνάμεων μεταξύ των φετών πρέπει επίσης να είναι μηδέν.

$$\sum Q(y \cos \theta + x \sin \theta) = 0 \quad (5)$$

x, y είναι οι συντεταγμένες του σημείου στη βάση της φέτας όπου ενεργούν οι δυνάμεις.

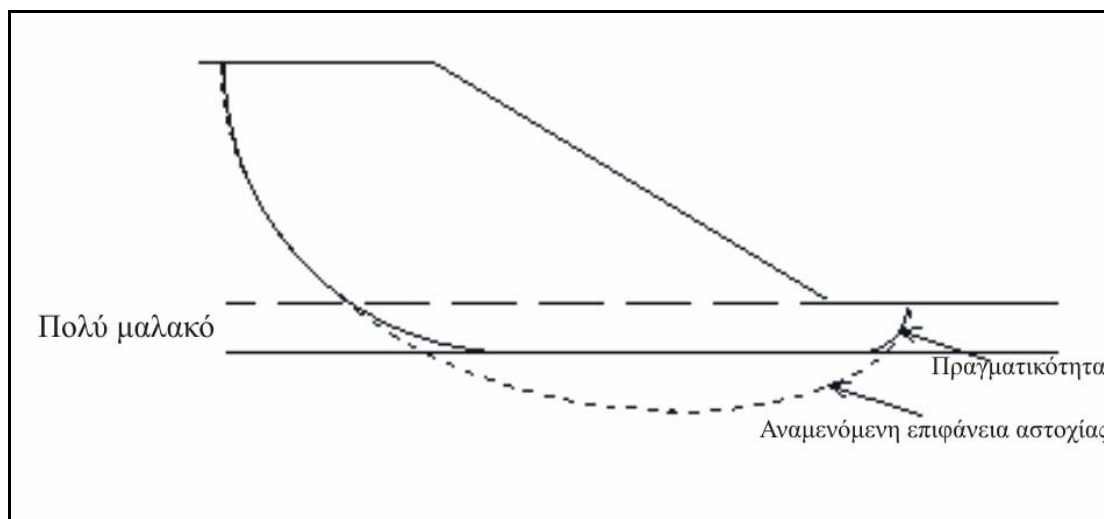
Η επαλήθευση των εξισώσεων (4), (5) επιβεβαιώνει ότι η ισορροπία ικανοποιείται πλήρως για κάθε φέτα. Χρησιμοποιώντας ένα εύρος τιμών για την γωνία κλίσης θ , ο συντελεστής ασφάλειας υπολογίζεται τόσο για ισορροπία δυνάμεων όσο και για ισορροπία ροπών και εκφράζεται με δύο καμπύλες. Η τομή των δύο αυτών καμπυλών εκφράζει το συντελεστή ασφάλειας όπου τόσο η ισορροπία δυνάμεων όσο και η ισορροπία ροπών ικανοποιούνται.

5.4 Μέθοδοι μη κυκλικής επιφάνειας αστοχίας

Όταν στην περιοχή της βάσης ενός πρανούς υπάρχει ένα ή περισσότερα στρώματα μικρής αντοχής, τότε η ολίσθηση αναπτύσσεται μέσα σ' αυτά, και το σχήμα της επιφάνειας ολίσθησης απομακρύνεται από το κυκλικό. Για την μελέτη αυτών των περιπτώσεων έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι, στις οποίες είναι δυνατή η παραδοχή οποιουδήποτε σχήματος για την επιφάνεια ολίσθησης. Η μεγάλη πρόσθετη δυσκολία που παρουσιάζουν αυτές οι μέθοδοι οφείλεται στο ότι διαφοροποιούνται οι τόσο ευνοϊκές συνθήκες που ίσχυαν κατά την εφαρμογή της συνθήκης ισορροπίας των ροπών, η οποία γίνεται εξαιρετικά δύσκολη. Γι' αυτό οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούν συνήθως τις συνθήκες ισορροπίας των δυνάμεων κατά τη διεύθυνση την παράλληλη και την κάθετη προς την επιφάνεια ολίσθησης – αστοχίας.

Μέθοδοι ανάλυσης:

► Μέθοδος **Janbu (1973)**. Στην μέθοδο που παρουσίασε ολοκληρωμένα ο Janbu το 1973, μετά από διαδοχικές δημοσιεύσεις, χρησιμοποίησε συνθήκες ισορροπίας δυνάμεων κατά τη διεύθυνση την παράλληλη και την κάθετη προς την επιφάνεια ολίσθησης – αστοχίας.



Σχήμα 5.8. Σχηματική απεικόνιση της θεώρησης του Janbu για μη κυκλική επιφάνεια ολίσθησης.

Πρότείνει μια ανάλογη προς την «απλοποιημένη» (Simplified) μέθοδο του Bishop, επαναληπτική υπολογιστική (επίλυση συστήματος) πορεία. Η βασική εξίσωση της μεθόδου του Janbu, η οποία ουσιαστικά προκύπτει από την κύρια συνθήκη ισορροπίας δυνάμεων είναι :

$$F = \frac{\sum [c'b + (W + \Delta X - ub) \tan \phi] \left(\frac{\sec^2 \alpha}{1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi}{F}} \right)}{\sum W \tan \alpha}$$

♦ Η εξίσωση λύνεται με επαναληπτική υπολογιστική πορεία (επίλυση συστήματος) χρησιμοποιώντας την ίδια μέθοδο που εφαρμόστηκε και στη μέθοδο του Bishop.

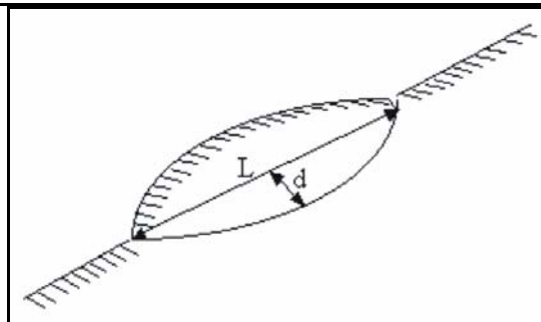
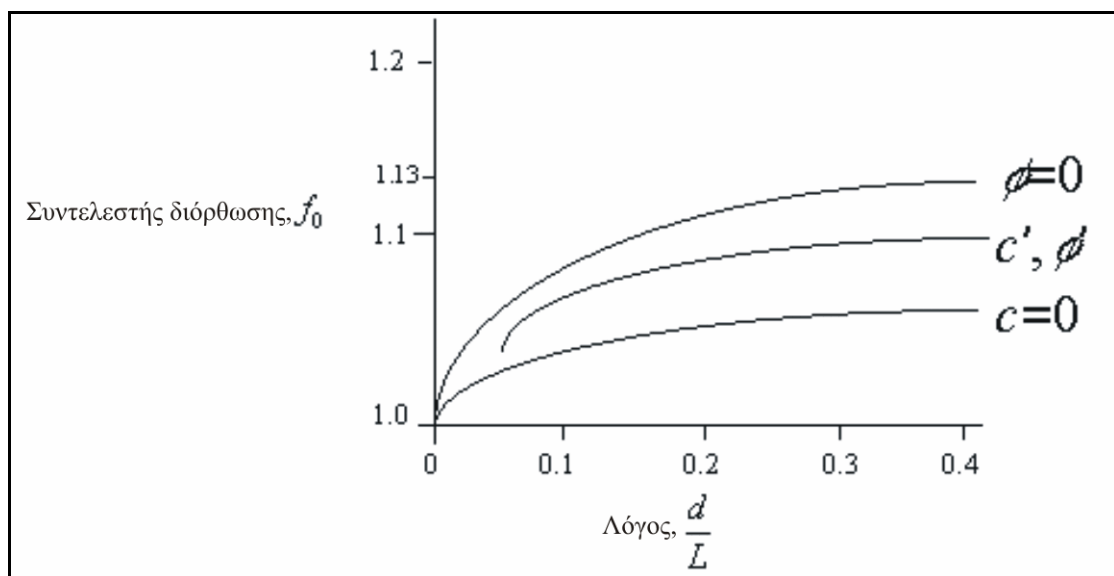
♦ Ο Janbu, αφού ανακάλυψε μια, ιδιαίτερης σημασίας, ανακρίβεια σ' αυτήν την εξίσωση, εισήγαγε ένα συντελεστή διόρθωσης, f_o , ο οποίος θα εφαρμόζονταν μετά την επαναληπτική υπολογιστική πορεία.

Άρα

$$F \cdot S_{\text{Διορθωμένος}} = f_o \times F \cdot S_{\text{Αρχικός}}$$

♦ Η μέθοδος του Janbu απαιτεί χρήση λεπτών φετών για την εφαρμογή της

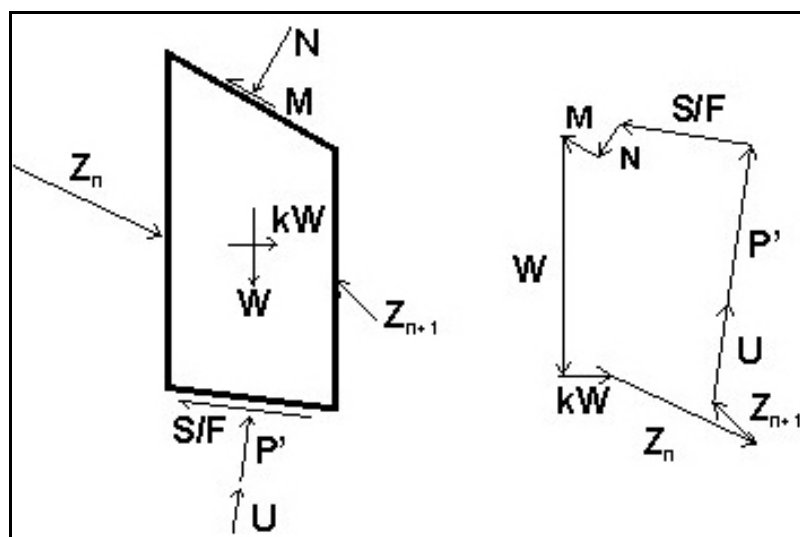
♦ Η τιμή του συντελεστή διόρθωσης, f_o , προκύπτει από το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 5.9. α,β. Διάγραμμα υπολογισμού του συντελεστή διόρθωσης, f_o . Σχέση L-d.

► Η μέθοδος του **Spencer** έχει τη δυνατότητα να επιλύσει προβλήματα ευστάθειας πρανών με μη κυκλική επιφάνεια ολίσθησης – αστοχίας. Προϋποθέτει ότι η προέλευση των κύριων εξισώσεων της μεθόδου βασίζεται στην ροπή που εφαρμόζεται στο μέσο κάθε φέτας. Όπως περιγράφηκε προηγουμένως, ένα εύρος γωνιών κλίσης μεταξύ των φετών αξιολογείται, και έτσι υπολογίζεται ο συντελεστής ασφάλειας βασισμένος σε συνθήκη ισορροπίας, τόσο δυνάμεων όσο και ροπών. Η τομή των δύο καμπυλών, που προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθόδου, εκφράζει το συντελεστή ασφάλειας.

► Οι **Morgenstern & Price (1965)** ανέπτυξαν μία μέθοδο που βασίζονταν σε συνθήκες ισορροπίας, τόσο δυνάμεων όσο και ροπών, για κάθε φέτα, με την παραδοχή ότι η γωνία κλίσης των δυνάμεων μεταξύ των φετών έπαιρνε – λάμβανε μια «λειτουργική» τιμή. Με σταθερή τιμή, με ημιτονοειδή, με παραβολική και τραπεζοειδή, υπάρχουν λειτουργικές σχέσεις γι' αυτή τη μέθοδο.



Σχήμα 5.10. Τυπική φέτα και δυναμοπολύγωνο σύμφωνα με τη θεωρία των Morgenstern & Price (1965).

► Η μέθοδος του **Sarma (1979)** χρησιμοποιεί μια εντελώς διαφορετική προσέγγιση για τον προσδιορισμό – υπολογισμό του συντελεστή ασφάλειας. Είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιεί μη κάθετες φέτες και συμπεριλαμβάνει στην ανάλυσή της, την αντοχή του υλικού που βρίσκεται στα «μέτωπα» μεταξύ των φετών. Η μέθοδος βασίζεται στην εφαρμογή ενός ομοιογενούς οριζόντιου συντελεστή επιτάχυνσης. Αυτός ο συντελεστής είναι ένα κλάσμα του βάρους κάθε φέτας που παράγει μία δύναμη πάνω σε κάθε σφήνα. Ο οριακός – κρίσιμος συντελεστής επιτάχυνσης που προκαλεί αστάθεια σε ένα πρανές μπορεί να υπολογισθεί εύκολα και άμεσα. Εάν ο συντελεστής επιτάχυνσης μηδενισθεί μία φορά, τότε ο συντελεστής ασφάλειας του πρανούς μπορεί να υπολογισθεί εύκολα.

► Η «γενικευμένη» μέθοδος σφήνας (Generalized Wedge Method) των **Donald & Giam (1989)** μοιάζει αρκετά με τη μέθοδο του Sarma. Η μέθοδος αυτή δεν χρησιμοποιεί τον οριζόντιο συντελεστή επιτάχυνσης για να υπολογίσει το συντελεστή ασφάλειας. Ο συντελεστής ασφάλειας προκύπτει από τη συνθήκη ισορροπίας δυνάμεων σε κάθε σφήνα, με μια διαδικασία επαναλήψεων (επίλυση συστήματος). Επίσης ελέγχεται και η συνθήκη ισορροπίας ροπών.

5.5 Μέθοδοι ενέργειας

Αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούν την Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας λαμβάνοντας υπόψη την κινηματική της κατολισθαίνουσας μάζας.

Μέθοδοι ανάλυσης :

Η μέθοδος ανώτερης ενέργειας (Energy Method Upper) των **Giam & Donald (1989)** είναι μια τέτοια μέθοδος που βασίζεται στο θεώρημα του ανώτερου ορίου (upper bound) της κλασικής θεωρίας της πλαστικότητας. Εφαρμόζει ένα μηχανισμό αστοχίας πολλαπλών σφηνών όπου η απώλεια ενέργειας κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης και οι αλληλεπιδράσεις περιλαμβάνονται στην ανάλυση.

Οι **Donald & Chen (1995)** τροποποίησαν τη μέθοδο ώστε να προσαρμόσουν καμπύλες επιφάνειες ολίσθησης και τις σχετικές κινήσεις μεταξύ δύο «γειτονικών» σφηνών.

5.6 Μέθοδοι Πεπερασμένων Στοιχείων και Πεπερασμένων Διαφορών

Οι μέθοδοι πεπερασμένων στοιχείων και πεπερασμένων διαφορών έχουν τη δυνατότητα να προσομοιώνουν την παραμόρφωση ενός πρανούς και τις τάσεις σε όλη την έκταση της κατολίσθησης – αστοχίας. Υπάρχουν κάποια προγράμματα υπολογιστών, βασισμένα σε αυτές τις μεθόδους, τα οποία μπορούν να επιλύσουν τέτοια προβλήματα. Πάντως αυτές οι μέθοδοι ακόμη απαιτούν μια ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης και δεν χρησιμοποιούνται ευρέως για τη γενική ανάλυση ευστάθειας πρανών. Πάντως αυτές οι μέθοδοι με το πλεονέκτημα της χρήσης των ηλεκτρονικών υπολογιστών και την εικονική απεικόνιση των αποτελεσμάτων τέτοιων αναλύσεων, κατέχουν μια σημαντική θέση στις μεθόδους ανάλυσης ευστάθειας πρανών.

6. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΡΑΝΟΥΣ

Η επιλογή της μεθόδου ή των μεθόδων σταθεροποίησης ενός πρανούς, βασίζεται σ'έναν αριθμό παραγόντων που περιλαμβάνουν:

- Το είδος των υλικών που αποτελούν το πρανές, τον αριθμό και τον προσανατολισμό των ασυνεχειών.
- Τη δραστηριότητα του πρανούς.
- Το είδος της μελλοντικής κατασκευής. (τεχνητό πρανές ή τεχνητό ανάχωμα)
- Το σχήμα και το μέγεθος της εν δυνάμει ή της μελλοντικής αστοχίας.
- Το διαθέσιμο χρόνο αποκατάστασης της αστοχίας του πρανούς με βάση την δραστηριότητα του πρανούς, την ταχύτητα κίνησής του, την επιτάχυνση του και τις υπάρχουσες και μελλοντικές καιρικές συνθήκες.
- Το βαθμό επικινδυνότητας.
- Την αναγκαιότητα μείωσης ή εξάλειψης του κινδύνου.

6.1 Μέτρα προστασίας πρανών

Τα κυριότερα μέτρα προστασία των πρανών είναι τα εξής:

- Η αλλαγή της γεωμετρίας του πρανούς.
- Αποστραγγιστικά έργα για την εκτόνωση των υδροστατικών πιέσεων.
- Συστηματικές αγκυρώσεις για τη στερέωση πιθανών σωμάτων ολίσθησης.
- Υποστυλώσεις με στοιχεία από μπετόν για την υποστήριξη απότομων όγκων.
- Τοίχοι αντιστήριξης όταν παρουσιάζονται ερπυστικά φαινόμενα,
- Προστατευτικές επενδύσεις με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, με προκατασκευασμένα στοιχεία ή με λιθορροπές για να αντιμετωπιστούν διαβρωτικές επιδράσεις και φαινόμενα προοδευτικής χαλάρωσης.
- Μεταλλικά πλέγματα για προστασία από καταπτώσεις λίθων ή συρματόσχοινα για τη στερέωση μεγαλύτερων όγκων.
- Συνδυασμός των παραπάνω μέτρων.

Θα πρέπει να τονισθεί ότι κάθε είδος αστάθειας, απαιτεί και ένα ειδικό σύστημα προστασίας, το οποίο αποτελείται είτε από μία μέθοδο προστασίας είτε από συνδυασμό περισσοτέρων.

Επίσης οι μέθοδοι προστασίας που εφαρμόζονται στα πρανή δεν είναι παντού οι ίδιες. Το είδος του πρανού, εδαφικό ή βραχώδες, παίζει ουσιαστικό ρόλο στη διαλογή του μέτρου που πρόκειται να εφαρμόσουμε.

Στον πίνακα (6.1) που ακολουθεί περιγράφονται περιληπτικά τα μέτρα πρόληψης και αποκατάστασης που αντιστοιχούν σε κάθε είδος κατολισθητικού φαινομένου τόσο κατά τη διάρκεια κατασκευής ενός έργου όσο και μετά την αποπεράτωσή του.

ΤΥΠΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ	ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΜΕΤΡΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
Καταπτώσεις βράχων	Προστασία από διάβρωση. Ελεγχόμενη εκσκαφή με εκρηκτικά. Τοποθέτηση αγκυρίων, σκυροδέματος, συρματοπλεγμάτων. Απομάκρυνση χαλαρών τεμαχίων.	Μετά την κατάπτωση καθαρισμός του δρόμου. Απομάκρυνση χαλαρών τεμαχίων. Αγκυρώσεις. Τοίχοι ανάσχεσης.
Εδαφικές καταπτώσεις	Προστασία από διάβρωση.	Συστήματα αντιστήριξης.
Επίπεδη – Μεταθετική Βραχώδης ολίσθηση	Μικρού όγκου: απομάκρυνση ή αγκύρωση. Μεσαίου όγκου: αλλαγή της κλίσης ή τοποθέτηση αγκυρίων. Μεγάλου όγκου: εγκατάσταση εσωτερικού συστήματος αποστράγγισης.	Μετά την κατάπτωση καθαρισμός του δρόμου. Δημιουργία σταθερής κλίσης. Αγκυρώσεις. Εγκατάσταση εσωτερικού συστήματος αποστράγγισης.
Περιστροφική Βραχώδης ολίσθηση	Δημιουργία σταθερής κλίσης. Εγκατάσταση επιφανειακού και υπόγειου συστήματος αποστράγγισης.	Δημιουργία σταθερής κλίσης. Εγκατάσταση επιφανειακού και υπόγειου συστήματος αποστράγγισης.
Επίπεδες ολισθήσεις Κορημάτων	Δημιουργία σταθερής κλίσης. Αντιστήριξη για μικρούς ή μεσαίους όγκους. Μεγάλοι όγκοι: Αποφυγή και επαναπροσδιορισμός θέσης κατασκευής.	Μετά την κατάπτωση καθαρισμός του δρόμου. Χρήση των προληπτικών μέτρων.
Περιστροφικές Εδαφικές ολισθήσεις	Δημιουργία σταθερής κλίσης. Εγκατάσταση επιφανειακού συστήματος αποστράγγισης. Αντιστήριξη.	Μετά την κατάπτωση καθαρισμός του δρόμου. Δημιουργία σταθερής κλίσης. Συστήματα αντιστήριξης. Εγκατάσταση επιφανειακού συστήματος αποστράγγισης. Κεκλιμένοι αγωγοί αποστράγγισης για μεγάλους όγκους.
Αστοχία με πλευρική Εξάπλωση	Μικρή κλίμακα: αντιστήριξη. Μεγάλη κλίμακα: δύσκολη πρόληψη. Αποφυγή και επαναπροσδιορισμός θέσης κατασκευής.	Μικρή κλίμακα: αντιστήριξη. Μεγάλη κλίμακα: Αποφυγή και επαναπροσδιορισμός θέσης κατασκευής.
Ροές	Δύσκολη η πρόγνωση και η πρόληψη. Αποφυγή επικίνδυνων περιοχών.	Μικρή κλίμακα: απομάκρυνση υλικών. Μεγάλη κλίμακα: Αποφυγή και επαναπροσδιορισμός θέσης κατασκευής.

Πίνακας 6.1 Μέτρα προστασίας κατολισθητικών φαινομένων. (Hunt, 1984).

6.2 Ταξινόμηση μέτρων αντιμετώπισης κατολισθητικών φαινομένων.

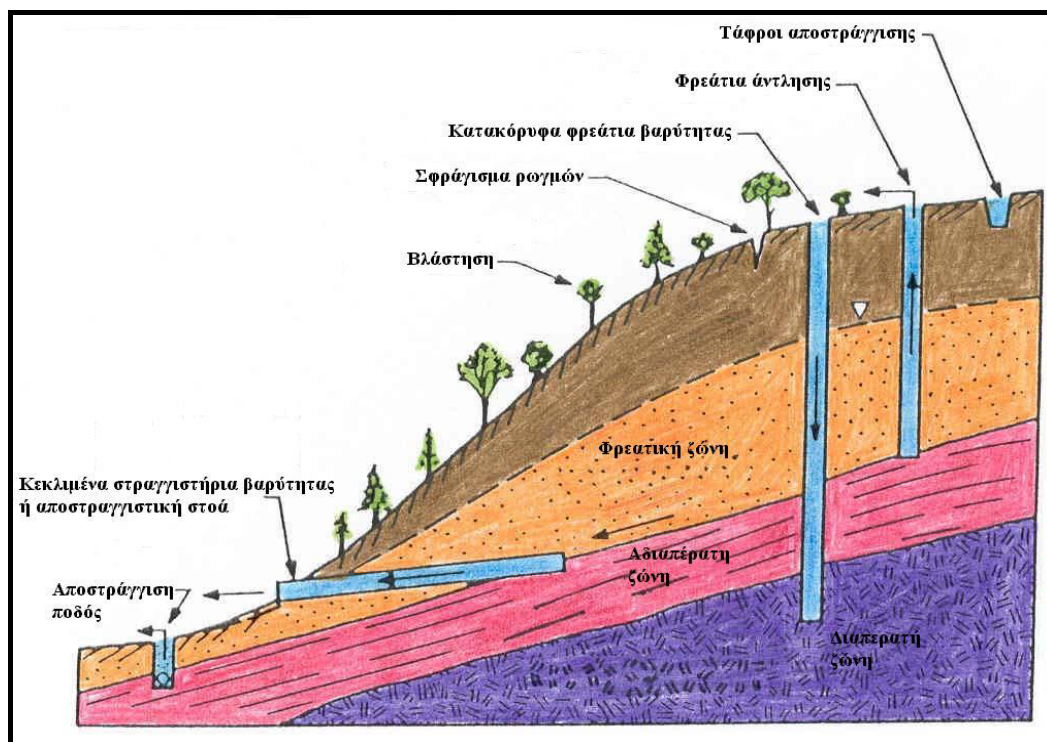
Τα κατολισθητικά φαινόμενα είναι συχνά μεγάλης κλίμακας και η αντιμετώπισή τους είναι ασύμφορη ή ακόμη και τεχνικά αδύνατη. Όμως σε αρκετές περιπτώσεις το πρόβλημα πρέπει και είναι δυνατόν να αντιμετωπισθεί με την κατασκευή κατάλληλων έργων.

Μεγάλος αριθμός από μέτρα ή συνδυασμών από μέτρα έχουν προταθεί για την αντιμετώπιση των κατολισθητικών φαινομένων με μικρή ή μεγάλη αποτελεσματικότητα. Η αποτελεσματικότητα και η αποδοτικότητα κάθε έργου εξαρτάται από το κατά πόσο ο τρόπος δράσης του αντιμετωπίζει σωστά το αίτιο του κατολισθητικού φαινομένου.

Τα μέτρα αντιμετώπισης των κατολισθητικών φαινομένων έχουν ως στόχο την σταθεροποίηση της ολισθαίνουσας μάζας. Ανάλογα με τον τρόπο που προσπαθούν να επιτύχουν τη σταθεροποίηση, τα μέτρα αυτά μπορούν να ταξινομηθούν σε :

ΜΕΤΡΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

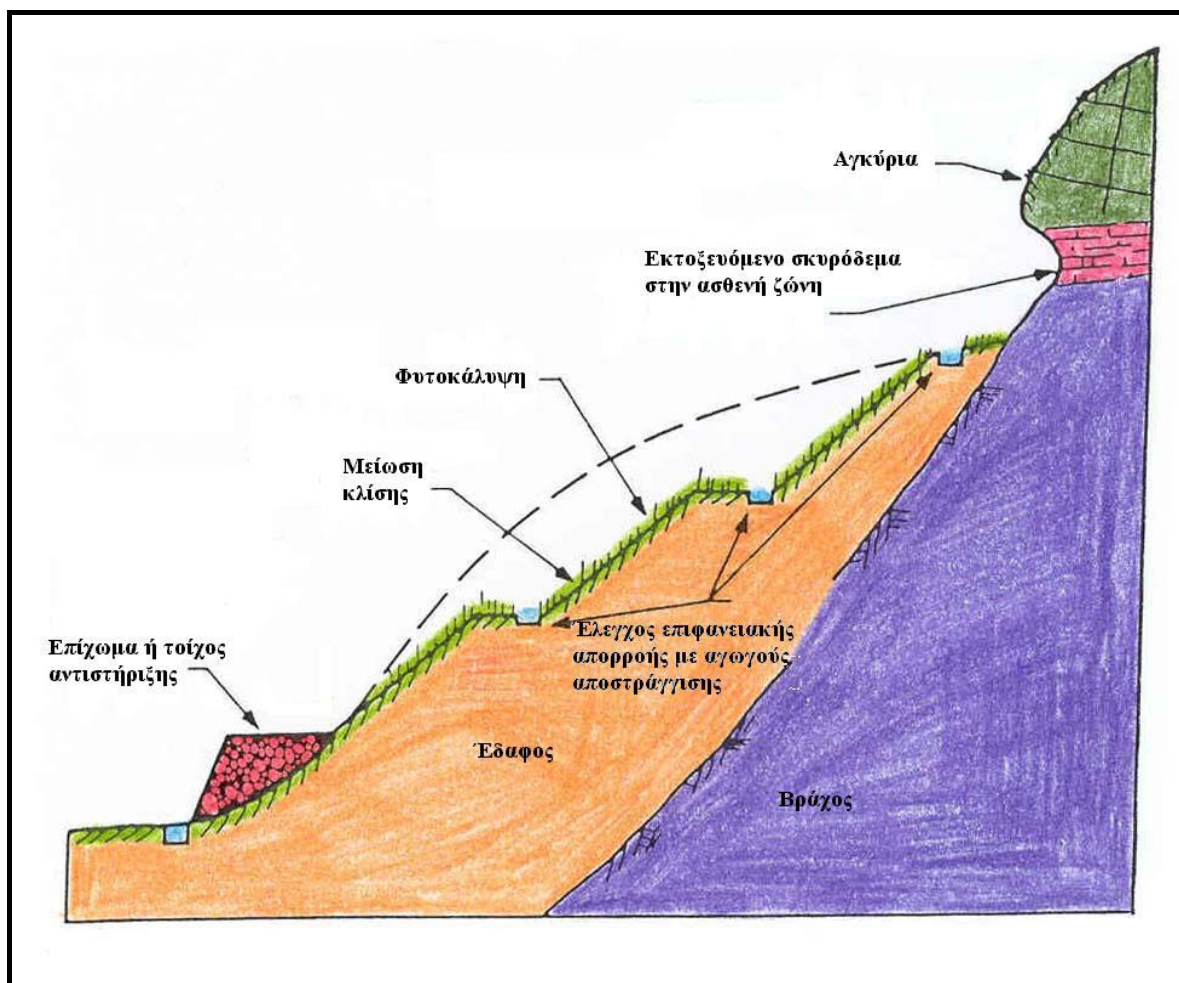
Ως μέτρα ελέγχου χαρακτηρίζονται εκείνα που σχεδιάζονται για να σταθεροποιήσουν μια κατολίσθηση ελέγχοντας (μειώνοντας) τις δυνάμεις που την επιτείνουν. Έχουν δηλαδή ως στόχο να ελέγξουν ή και να άρουν τα αίτια της κατολίσθησης αλλάζοντας συντελεστές του προβλήματος όπως το υπόγειο νερό, τις τοπογραφικές συνθήκες κλπ.



Σχήμα 6.1. Μέθοδοι ελέγχου των δυνάμεων διήθησης

ΜΕΤΡΑ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ

Ως μέτρα συγκράτησης χαρακτηρίζονται εκείνα που σχεδιάζονται για να σταθεροποιήσουν μια κατολίσθηση ενισχύοντας τις δυνάμεις που ανθίστανται στην ολίσθηση. Έχουν ως στόχο, με τη δημιουργία διαφόρων ισχυρών κατασκευών, να συνεισφέρουν με την ευεργετική αναχαιτιστική τους δύναμη.



Σχήμα 6.2. Μέθοδοι μείωσης των δυνάμεων ολίσθησης και αύξησης των δυνάμεων αντίστασης.

ΜΕΤΡΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

Έργα επιφανειακής αποστράγγισης:

- ▶ Επιφανειακοί αγωγοί απομάκρυνσης νερού.
- ▶ Σφραγίσεις ρωγμών.
- ▶ Εξομάλυνση επιφάνειας πρανούς.

Έργα ρηχής αποστράγγισης:

- ▶ Υπόγειοι οχετοί.
- ▶ Στραγγιστήρια.
- ▶ Συνδυασμοί οχετών – στραγγιστηρίων.
- ▶ «Εξωτερικά» στραγγιστήρια.
- ▶ Οριζόντιες αποστραγγιστικές γεωτρήσεις.

Έργα βαθιάς αποστράγγισης:

- ▶ Κατακόρυφα στραγγιστήρια.
- ▶ Οριζόντιες αποστραγγιστικές γεωτρήσεις.
- ▶ Φρεάτια αποστράγγισης μεγάλης διαμέτρου.
- ▶ Σήραγγες αποστράγγισης.

Εκσκαφές:

- ▶ Αφαίρεση υλικών από την κορυφή του πρανούς.
- ▶ Μείωση της κλίσης του πρανούς.
- ▶ Διαμόρφωση πρανούς με αναβαθμίδες.
- ▶ Ολική αφαίρεση της ασταθούς μάζας.

Αντίβαρα «ποδός» - Πρίσματα αντιστήριξης.

Σταθεροποίηση με φυτοκάλυψη.

Σταθεροποίηση εδαφών:

- ▶ Αποστράγγιση με ηλεκροόσμωση.
- ▶ Θερμική επεξεργασία.
- ▶ Χημική επεξεργασία.

Έργα σταθεροποίησης οχθών – κοίτης.

ΜΕΤΡΑ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ

Τοίχοι αντιστήριξης.

Πρίσματα αντιστήριξης.

Αγκυρώσεις – Ηλώσεις.

Τσιμεντενέσεις.

Συρματοκιβώτια.

Πάσσαλοι – Φρεατοπάσσαλοι.

Αντηρίδες.

Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

Πίνακας 6.2. Μέτρα σταθεροποίησης κατολισθητικών φαινομένων.
Κατάταξή τους σε κατηγορίες . (Αναγνωστόπουλος, 1988 & Hunt, 1984).

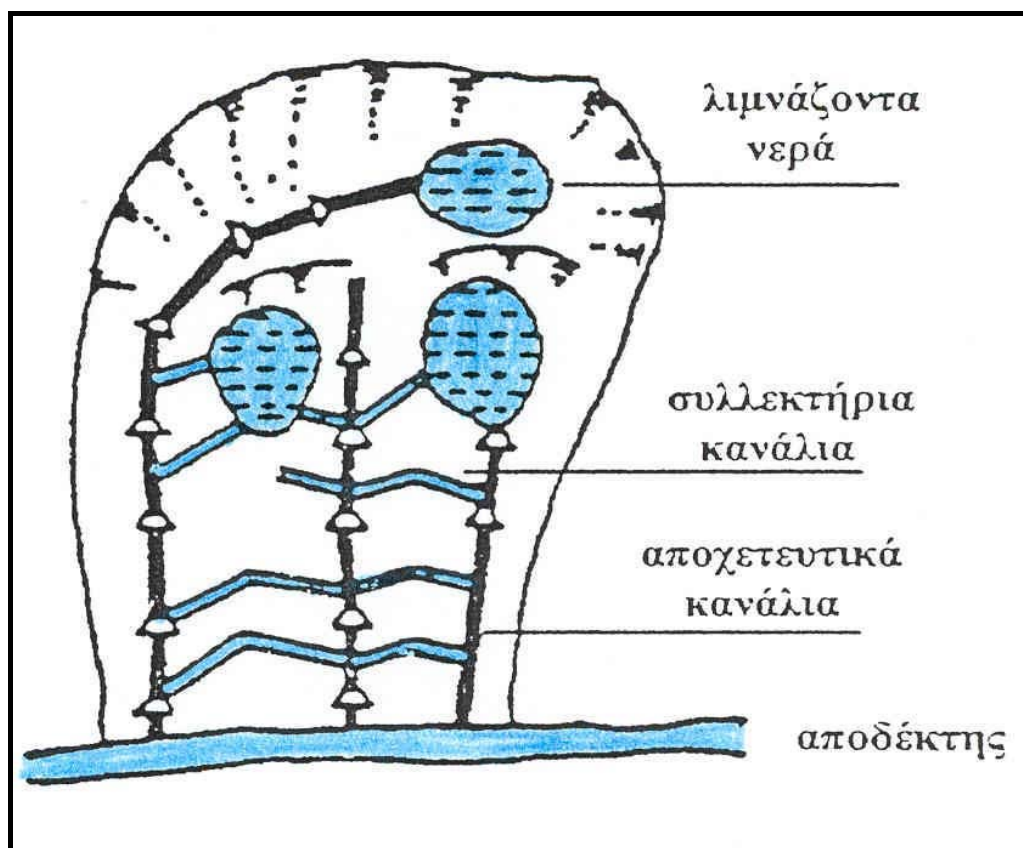
6.3 Μέτρα ελέγχου

Έργα επιφανειακής αποστράγγισης

Ο στόχος των μέτρων αυτών συνίσταται αφ' ενός μεν στην παρεμπόδιση του επιφανειακού νερού (από βροχόπτωση, λιώσιμο χιονιού, μικρές λίμνες, παρακείμενες πηγές, διαρροές σε έργα συγκέντρωσης και μεταφοράς νερού) να κατεισδύσει στο έδαφος, αφετέρου δε στην ταχεία απομάκρυνσή του από το χώρο της κατολίσθησης.

Τα έργα για την επιφανειακή αποστράγγιση συνήθως περιλαμβάνουν:

- Κατασκευή περιφερειακής στεγανής **τάφρου συλλογής** των υδάτων σε μόνιμη βάση στην «κεφαλή» της κατολίσθησης, με τέτοια κλίση, ώστε να μην πληρώνεται εύκολα από τα υλικά των σχηματισμών της περιοχής.
- Κατασκευή ενός δικτύου **υδατοστεγανών τάφρων – αυλακών** απορροής του επιφανειακού νερού, έξω από την επικίνδυνη περιοχή, που αποτελείται από συλλεκτήρια και αποχετευτικά κανάλια.



Σχήμα 6.3. Δίκτυο αποστράγγισης επιφανειακού ύδατος.

Η διάταξη των τάφρων – αυλακών, το είδος της κατασκευής και γενικότερα η εφαρμογή της όλης μεθόδου εξαρτάται από τη έκταση, τη μορφολογία, την κλίση και τις ιδιαιτερότητες του κάθε φαινομένου. Συνηθέστερη διάταξη των τάφρων – αυλακών είναι η διάταξη τύπου «ψαροκόκαλου», όπου υπάρχει μία κεντρική τάφρος με συλλεκτήρια κανάλια εκατέρωθεν ή ακόμα σε ορισμένες περιπτώσεις, διπλού «ψαροκόκαλου», όπου υπάρχουν δύο ή ακόμα και

περισσότερα κανάλια. Η κατασκευή αυλακών γίνεται κυρίως από προκατασκευασμένα κανάλια από μπετόν με τραπεζοειδή διατομή, τα οποία τοποθετούνται έτσι ώστε να αλληλοκαλύπτονται και να μην επιτρέπουν απώλεια ύδατος στις συνδέσεις τους.



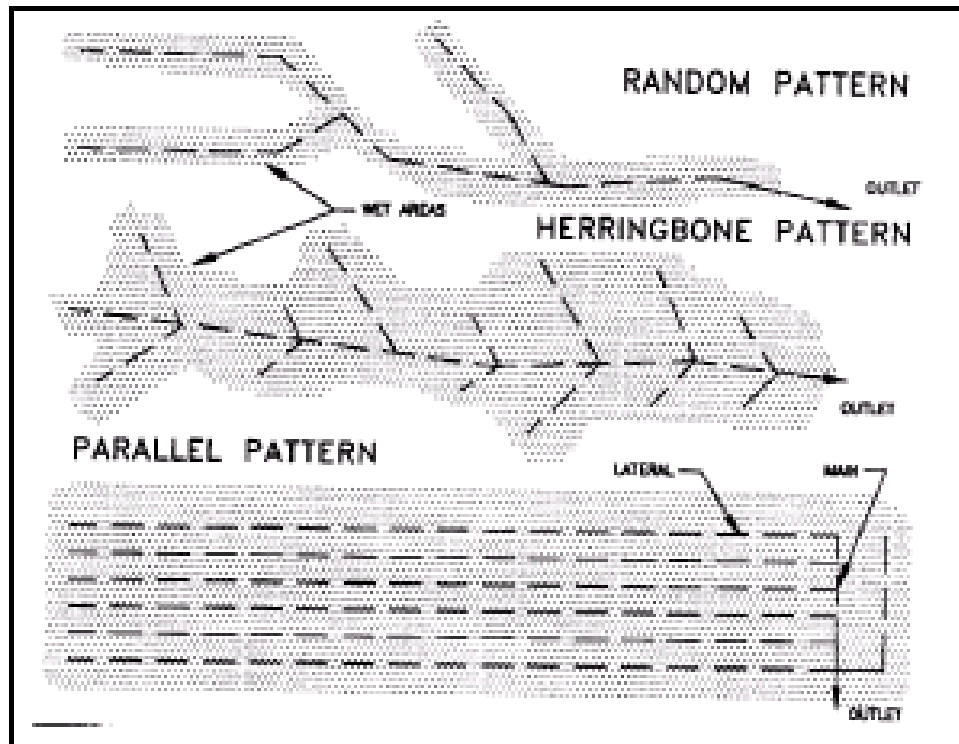
Σχήμα 6.4. Τάφροι επιφανειακής αποστράγγισης.

Τα προκατασκευασμένα κανάλια είναι προτιμότερα από τις άκαμπτες κατασκευές, οι οποίες σπάνε κατά τις μετακινήσεις των μαζών, που είναι συχνές στις περιοχές κατολισθήσεων. Τελευταία γίνεται χρήση πλαστικών καναλέτων ή σωλήνων, τα οποία έχουν μικρότερο κόστος, είναι ελαφρύτερα και ανθεκτικότερα στις παραμορφώσεις.

- Η **εξομάλυνση της επιφάνειας** της κατολισθαίνουσας μάζας και της περιβάλλουσας περιοχής, αποτρέπει την ύπαρξη εδαφικών κοιλοτήτων, που συνήθως αποτελούν περιοχές συγκέντρωσης λιμναζόντων νερών και έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης των πόρων και τη μείωση της διατμητικής αντοχής της εδαφικής μάζας.

- **Σφράγισμα όλων των εφελκυστικών ρωγμών** που δημιουργούνται συνήθως κατά τη διάρκεια μιας κατολίσθησης στο πάνω τμήμα της και **στεγανοποίηση των εστιών συγκέντρωσης νερού**, με στόχο την παρεμπόδιση της ροής του νερού προς το εσωτερικό και τη συγκράτηση των εκατέρωθεν τεμαχίων.

- **Απαγόρευση της καλλιέργειας** στην κατολισθαίνουσα περιοχή, με στόχο να μειωθούν οι ποσότητες νερού που συγκεντρώνονται από πιθανές αρδεύσεις ή από τη συγκράτηση του μετεωρικού νερού.



Σχήμα 6.5. Διάφορες διατάξεις συστημάτων επιφανειακής αποστράγγισης.

- **Κάλυψη** της κατολισθαίνουσας μάζας με αδιάβροχα ή ασφαλτικά υλικά. Το μέτρο εφαρμόζεται μόνο σε ορισμένες περιπτώσεις και αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση των ποσοτήτων του νερού που πρόκειται να κατεισδύσει, το οποίο οδηγείται έξω από την επικίνδυνη περιοχή.

Τα έργα για την επιφανειακή αποστράγγιση εφαρμόζονται πιο συχνά σε κατολισθήσεις εδαφικών μαζών και σπανιότερα σε κατολισθήσεις βραχωδών πρανών. Η επιφανειακή αποστράγγιση, σαν μέτρο, λαμβάνεται σε πολλές περιπτώσεις, διότι δεν απαιτείται μεγάλο κόστος και είναι εύκολη η εφαρμογή της, αλλά δεν είναι όμως ικανή μόνη της να σταθεροποιήσει το πρανές, παρά μόνο να συμβάλλει ουσιαστικά στην αποστράγγιση αυτού και επομένως στον έλεγχο της κατολίσθησης.

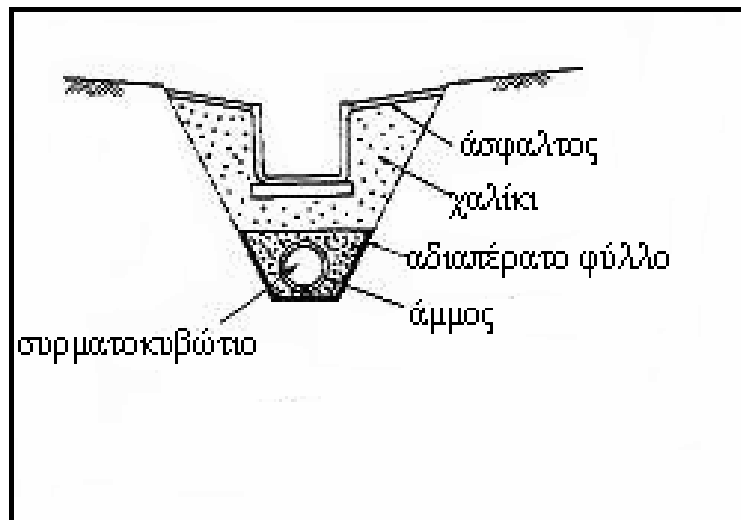
Έργα ρηχής αποστράγγισης

Στα έργα ρηχής αποστράγγισης περιλαμβάνονται:

-**Υπόγειοι οχετοί (conduits).**

-**Στραγγιστήρια (interceptor drains).**

-**Συνδυασμός επιφανειακών καναλιών, οχετών και στραγγιστηριών.** Τα στραγγιστικά αυτά κανάλια συνδέονται μεταξύ τους σε δίκτυο που καταλήγει σε ασφαλή θέση απορροής του ύδατος. Χρησιμοποιούνται όταν το βάθος του υπόγειου ορίζοντα είναι μέχρι 3 m.



Σχήμα 6.6. Τυπική διατομή συνδυασμού επιφανειακού καναλιού με στραγγιστήριο και υπόγειο οχετό.

- Εξωτερικά της κατολίσθησης **συνεχή στραγγιστήρια**. Αυτά έχουν την ίδια διατομή με τα απλά στραγγιστήρια με τη διαφορά ότι κατέρχονται μέχρι βάθους 5 m και κατασκευάζονται εξωτερικά της κατολίσθησης για να συγκεντρώνουν και να απομακρύνουν το νερό που προσεγγίζει.

- **Οριζόντιες αποστραγγιστικές γεωτρήσεις** (horizontal drainage borings). Όταν η στάθμη του υπόγειου νερού είναι κάτω από τα 5 m, η εκσκαφή αποστραγγιστικών καναλιών γίνεται επικίνδυνη και ακριβή. Γι'αυτό στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιούνται για την αποστράγγιση ελαφρά προς τα άνω κεκλιμένες (περίπου 5°) αποστραγγιστικές γεωτρήσεις, μήκους 40–50 m και διαμέτρου 70 – 100 mm. Εσωτερικά στη γεώτρηση τοποθετείται διάτρητος σωλήνας, από χάλυβα ή σκληρό PVC, επενδυμένος με φίλτρο. Η έξοδος του σωλήνα πρέπει να προστατεύεται από τη διάβρωση.



Σχήμα 6.7. Εργασίες κατασκευής οριζόντιων αποστραγγιστικών γεωτρήσεων.

Έργα υπόγειας αποστράγγισης

Δεδομένου ότι το υπόγειο νερό είναι ένας από τους κύριους παράγοντες αστάθειας πρανών, η υπόγεια αποστράγγιση αποτελεί ένα από τα πλέον αποτελεσματικά μέτρα πρόληψης και αποκατάστασης αυτών. Με την υπόγεια αποστράγγιση επιδιώκεται η μείωση της ποσότητας των υπόγειων υδάτων που κυκλοφορούν ή υπάρχουν, είτε μέσα στην κατολισθαίνουσα μάζα, είτε κατά μήκος των επιφανειών ολίσθησης, με στόχο να ελαχιστοποιηθούν οι αρνητικές επιδράσεις από την παρουσία τους, όπως η μείωση της τριβής, η μείωση της αντοχής, η εσωτερική διάβρωση, κλπ.

Το μειονέκτημα της υπόγειας αποστράγγισης είναι ότι ο σχεδιασμός των αποστραγγιστικών έργων απαιτεί την πλήρη γνώση των γεωλογικών, υδρογεωλογικών και υδρολογικών συνθηκών της κατολισθαίνουσας μάζας αλλά και της ευρύτερης περιοχής.

Συγκεκριμένα μπορεί να επιτευχθεί με:

- **Άντληση ποσοτήτων νερού** για υποβιβασμό της στάθμης του από παλιές γεωτρήσεις, πηγάδια και φρεάτια που μπορεί να υπάρχουν στην περιοχή της κατολίσθησης. Η άντληση πρέπει να γίνεται με πιο εντατικό ρυθμό κατά τις περιόδους μεγάλων βροχοπτώσεων.

- **Κατακόρυφα φρεάτια – στραγγιστήρια** (vertical wells). Έχουν διάμετρο 0.30 – 1.50 m και φτάνουν σε βάθος ως 40 m.

- **Κεκλιμένα στραγγιστήρια**. Πρόκειται για σχετικά μεγάλης διαμέτρου πλαστικούς ή σιδερένιους διάτρητους σωλήνες, οι οποίοι προωθούνται μέσα στο έδαφος προκειμένου να διευκολύνεται η έξοδος του υπόγειου νερού. Η έμπηξη στο έδαφος γίνεται με μηχανικά μέσα, με την εφαρμογή πίεσης. Για τη διευκόλυνση της έμπηξης, εφαρμόζεται στο άκρο των σωλήνων ένας κώνος, που μειώνει την αντίσταση διάτρησης και εμποδίζει τα υλικά να εισέλθουν στο εσωτερικό.

- **Οριζόντιες ή κεκλιμένες αποστραγγιστικές γεωτρήσεις**. Αποτελεί ένα σχετικά απλό τεχνικό έργο, το οποίο έχει ως στόχο τη διευκόλυνση της εξόδου του νερού χωρίς άντληση, με ελεύθερη ροή από την κατολισθαίνουσα μάζα. Η απομάκρυνση του νερού κατά μήκος της γεώτρησης γίνεται με οπές, που υπάρχουν στα στελέχη της γεώτρησης. Το μήκος τους φτάνει μέχρι τα 100 m και διαπερνούν την επιφάνεια ολίσθησης κατά 10 m περίπου για να συλλέξουν έγκαιρα το υπόγειο νερό. Οι αποστραγγιστικές γεωτρήσεις είναι πιο φθηνές από τα στραγγιστήρια πηγάδια, τα οποία έχουν περιορισμένο βάθος και μικρή διάρκεια ζωής. Οι οριζόντιες γεωτρήσεις είναι πολύ φθηνότερες από τις σήραγγες, έχουν όμως δύο μειονεκτήματα. Πρώτον δεν είναι βέβαιο ότι θα διατρήσουν το υδροφόρο στρώμα και δεύτερο δεν μπορούν να ερευνηθούν σε βάθος μεγαλύτερο από 200 m.

- **Φρεάτια αποστράγγισης μεγάλης διαμέτρου (drainage wells).** Έχουν συνήθως διάμετρο 3.50 – 4.00m και φτάνουν σε βάθος 20 – 30m. Η εκσκαφή γίνεται συνήθως χειρονακτικά και το σκάμμα επενδύεται με προκατασκευασμένα τμήματα από σκυρόδεμα ή μεταλλικές, καμπύλες, πλάκες.

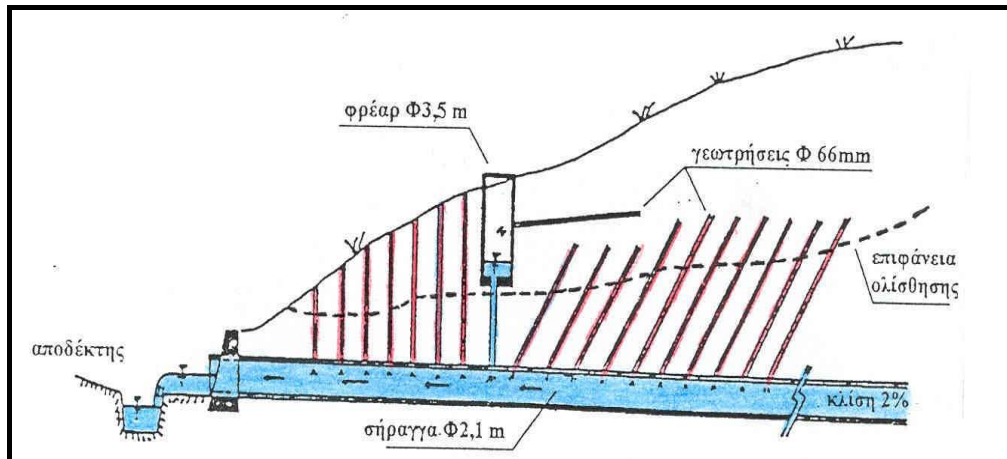


Σχήμα 6.8.
Εσωτερικό φρεατίου αποστράγγισης μεγάλης διαμέτρου.

Από το εσωτερικό του φρεατίου εκτελούνται ελαφρά κεκλιμένες οριζόντιες γεωτρήσεις για την υδρομάστευση των υδροφόρων στρωμάτων. Τα φρεάτια τοποθετούνται συνήθως στην «κεφαλή» της κατολίσθησης ώστε να συλλέξουν το υπόγειο νερό πριν αυτό εισέλθει στην ζώνη κατολίσθησης. Ο πυθμένας τους πρέπει να είναι υδατοστεγής.

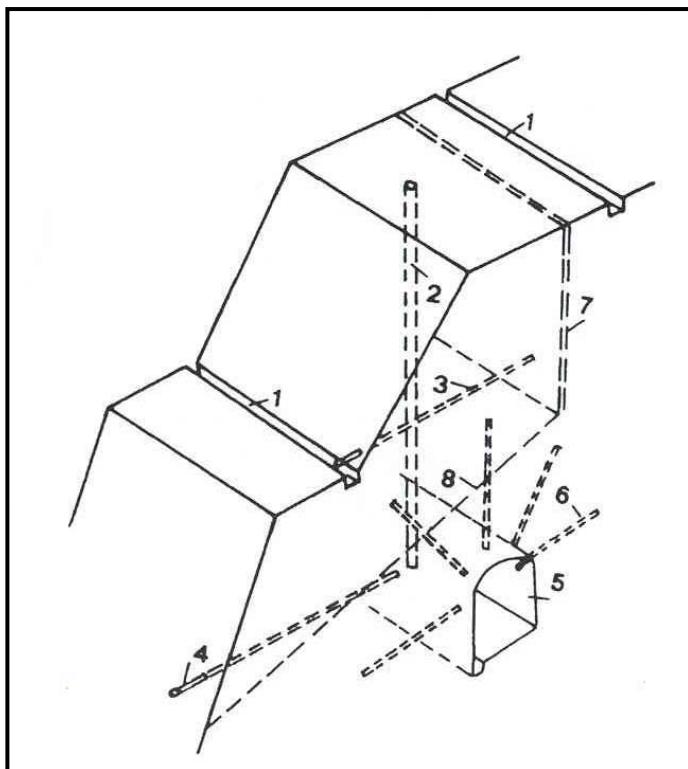
Σήμερα έχουν παραχωρήσει τη θέση τους στις οριζόντιες γεωτρήσεις και σήραγγες, μια και η αποτελεσματικότητά τους είναι ασήμαντη σε σχέση με το κόστος κατασκευής και συντήρησης. Αντίθετα ενδείκνυται η χρησιμοποίησή τους για συλλογή των νερών από τα άλλα στραγγιστικά έργα καθώς και των νερών της επιφανειακής απορροής.

- **Σήραγγες αποστράγγισης (drainage tunnels).** Οι σήραγγες παρά το μειονέκτημα του υψηλού κόστους, είναι πολλές φορές απαραίτητες, όταν πρόκειται για βαθιές γεωτρήσεις, όπου το μήκος είναι μεγαλύτερο από 200 m και κυρίως όταν πρόκειται να προστατευθούν μεγάλα τεχνικά έργα. Οι σήραγγες έχουν, συνήθως, μέτρια διατομή και φθάνουν μέχρι την επιφάνεια ολίσθησης. Για την καλύτερη αποδοτικότητα της σήραγγας διανοίγονται στο εσωτερικό της κατακόρυφες ή κεκλιμένες αποστραγγιστικές γεωτρήσεις που υδρομαστεύουν την ολισθαίνουσα μάζα.



Σχήμα 6.9. Λειτουργία σήραγγας αποστράγγισης.

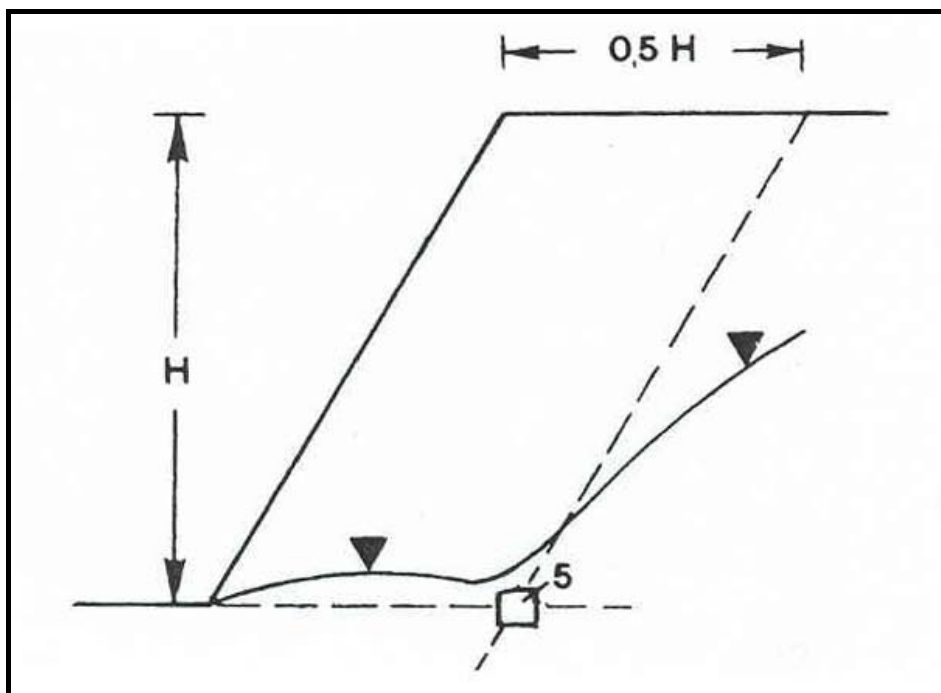
Το νερό που συγκεντρώνεται, απομακρύνεται εκμεταλλευόμενο την κατά μήκος κλίση της σήραγγας. Πολλές φορές τα φρεάτια αποστράγγισης συνδέονται με τη σήραγγα για το σχηματισμό ενός τρισδιάστατου αποστραγγιστικού συστήματος.



Σχήμα 6.10. Μέτρα διευθέτησης της επιφανειακής απορροής και μέτρα εκτόνωσης των υδροστατικών πιέσεων. (Hoek, Bray, 1981).

- 1=συλλεκτήριος αύλακα για την αποστράγγιση της επιφανειακής απορροής.
- 2=κατακόρυφη γεώτρηση.
- 3=οριζόντια γεώτρηση για την αποστράγγιση του εφελκυστικού ρήγματος.
- 4=οριζόντια γεώτρηση για τη αποστράγγιση της επιφάνειας ολίσθησης.
- 5=αποστραγγιστική στοά.
- 6=γεωτρήσεις αποστράγγισης.
- 7=εφελκυστικό ρήγμα.
- 8=επιφάνεια ολίσθησης.

Η πιο κατάλληλη θέση κατασκευής της στοάς αποστράγγισης φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 6.11. Θέση αποστραγγιστικής στοάς (Hoek, Bray, 1981).



Σχήμα 6.12. Εσωτερικό αποστραγγιστικής στοάς.

Τα μέτρα για την υπόγεια αποστράγγιση είναι γενικά πιο δαπανηρά από αυτά που λαμβάνονται για την επιφανειακή αποστράγγιση. Καλό είναι σε περιπτώσεις κατασκευής τεχνικών έργων, να σχεδιάζονται και να ενσωματώνονται στο αρχικό έργο, γιατί τότε η δαπάνη κατασκευής τους είναι πολύ μικρή, ενώ αντίθετα η εκ των υστέρων κατασκευή τους κοστίζει σημαντικά.

Αλλαγή γεωμετρίας πρανούς–Έργα εκσκαφών (Excavation works)

Πρόκειται για μια σειρά μέτρων, τα οποία έχουν σαν στόχο την ελάττωση της κλίσης του πρανούς. Στα μέτρα αυτά συμπεριλαμβάνεται η απομάκρυνση ενός τμήματος της μάζας που μετακινήθηκε ή πρόκειται να μετακινηθεί και η δημιουργία αναβαθμίδων και αντηρίδων. Ο όγκος και η θέση του εκσκαπτόμενου τμήματος πρέπει να καθορίζονται με τη βοήθεια αναλύσεων ευστάθειας και το αποκαλυπτόμενο τμήμα να προστατεύεται από τη διάβρωση και διαβροχή. Η φύτευσή του συνίσταται ιδιαίτερα.

Η **αποφόρτιση της κεφαλής** είναι συνήθως η πλέον αποτελεσματική μέθοδος και το κόστος της εξαρτάται από τη δυνατότητα προσβάσεως στο πρανές. Εφαρμόζεται σε μικρές εδαφικές κατολισθήσεις και όχι σε ροές. Μια ελάττωση των μαζών που πρόκειται να κατολισθήσουν κατά 4% από την «κεφαλή» προς τον «πόδα» του πρανούς, προκαλεί μια αύξηση της σταθερότητας κατά 10% περίπου. Όταν μάλιστα τα υλικά είναι δυνατόν να ρίχνονται κατάντη και να τοποθετούνται στον «πόδα» της ίδιας της κατολίσθησης, τότε η μέθοδος γίνεται ακόμη πιο πρόσφορη. Γενικά όμως, αφαιρώντας υλικά από την «κεφαλή», θα πρέπει να μη διαταραχθεί η ισορροπία του πρανούς στο τμήμα αυτό, γεγονός το οποίο μπορεί να οδηγήσει στη μεγέθυνση του φαινομένου.

Για τα μεγάλης κλίσεως πρανή και όταν ο «πόδας» έχει αποκοπεί, κρίνεται απαραίτητη η **κατασκευή αναβαθμίδων** οριζόντιων ή με κλίση στην επιφάνεια του πρανούς. Η διαμόρφωση του πρανούς με τη δημιουργία αναβαθμίδων θα πρέπει να συνδυάζεται απαραίτητα, όταν πρόκειται για κατολισθήσεις σε εδάφη, και με άλλα έργα, διότι η παρουσία τους μπορεί να έχει και αρνητικά αποτελέσματα. Συγκεκριμένα θα πρέπει στα οριζόντια τμήματα των αναβαθμίδων να κατασκευάζονται παράλληλα και συλλεκτήριοι τάφροι επιφανειακών υδάτων, ενώ τα κεκλιμένα ή κατακόρυφα τμήματα των αναβαθμίδων θα πρέπει να υποστηρίζονται από πλέγματα οριζόντιων και κατακόρυφων πασσάλων.

Η έκταση, το ύψος, η μείωση της κλίσης και ο λόγος του πλάτους των οριζόντιων και των κεκλιμένων ή κατακόρυφων τμημάτων των αναβαθμίδων καθορίζεται, στην κάθε περίπτωση, κυρίως από το είδος του εδαφικού ή του βραχώδους υλικού που κατολισθαίνει ή πρόκειται να κατολισθήσει και την κλίση του πρανούς.

Οι κλίσεις τις οποίες δίνουμε συνήθως στα πρανή ανάλογα με τους σχηματισμούς ορίζονται ως εξής: (Hunt, 1984).

Χαρακτηριστικές κλίσεις τεχνητών πρανών:

Εδαφικά πρανή:

- Λεπτό εδαφικό κάλυμμα πάνω στο βράχο: Το χώμα πρέπει να αφαιρεθεί ή να αντιστηριχτεί καθώς η κατάσταση είναι ασταθής.

- Πρανή που χαρακτηρίζονται από μεταβατική κατάσταση εδάφους-βράχου (ισχυρά υπολειμματικά εδάφη σε αποσαθρωμένο βράχο) εκσκάπτονται συχνά με κλίσεις μεταξύ 1H:2V ως 1H:1V (63° έως 45°) αν και η πιθανή αστοχία κατά μήκος των υπολειμματικών ασυνεχειών πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

- Οι περισσότεροι εδαφικοί σχηματισμοί αποκόπτονται συνήθως με μια μέση κλίση 2H:1V (26°) αλλά προσοχή πρέπει να δοθεί στις δυνάμεις διήθησης και σε άλλους φυσικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες για να καθοριστεί εάν απαιτείται αντιστήριξη. Τα πρανή μεταξύ αναβαθμίδων είναι συνήθως πιο απότομα.

Βραχώδη πρανή:

- Σκληρές μάζες πυριγενών ή μεταμορφωμένων πετρωμάτων, με έντονες διακλάσεις, αποκόπτονται συνήθως με κλίση 1H:4V[76°].

- Σκληρές μάζες με διακλάσεις, διατμήσεις ή στρωμάτωση που αντιπροσωπεύει κύριες ασυνέχειες εκσκάπτονται κατά μήκος της κλίσης της ασυνέχειας, αν και όλα τα υλικά θα πρέπει να απομακρυνθούν έως ότου να αποκαλυφθεί ο καθρέπτης του ρήγματος. Εάν η κλίση είναι πολύ μικρή και αντιοικονομική για εκσκαφή, τα τεμάχια μπορούν να συγκρατηθούν με αγκύρια.

- Σκληρά ιζηματογενή πετρώματα με κλίση στρωμάτων, κάθετη και κατακόρυφη προς το μέτωπο, ή με κλίση προς το μέτωπο, ή οριζόντια διαστρωματωμένοι σκληροί ψαμμίτες και σχιστοί άργιλοι συνήθως εκσκάπτονται με κλίση 1H:4V, αλλά σε αυτήν την περίπτωση, οι σχιστοί άργιλοι πρέπει να προστατεύονται από την αποσάθρωση με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα ή «gunite», εάν έχουν εκτεταμένες εμφανίσεις.

- Οι αργιλικόι σχιστόλιθοι συνήθως εκσκάπτονται με κλίση 6H:1V [9.5°], εκτός εάν είναι διαστρωματωμένοι με ψαμμίτες.

- Οι αποσαθρωμένοι ή έντονα διαρηγμένοι σχηματισμοί εκσκάπτονται με κλίση 1H:2V ή 1H:1V (63°-45°) ανάλογα με τις συνθήκες της περιοχής.

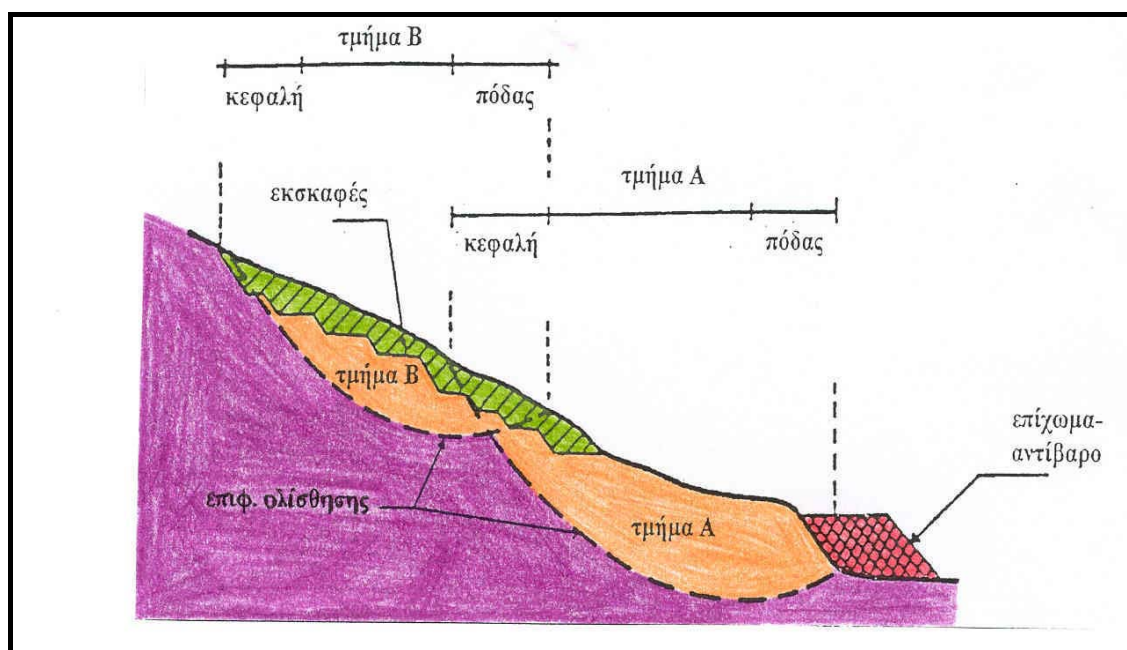
Κατασκευή αντίβαρων – Πρίσματα αντιστήριξης (Counterweight fill works).

Η κατασκευή επιχωμάτων – αντίβαρων στον «πόδα» μιας κατολίσθησης αποσκοπεί στη σταθεροποίησή της με την εξισορροπιστική δράση του φορτίου που εισάγει. Το μέγεθος του αντίβαρου υπολογίζεται με τη χρήση αναλύσεων ευστάθειας. Συγκεκριμένα, στον «πόδα» της κατολισθαίνουσας μάζας τοποθετούνται μεγάλοι ογκόλιθοι, πιο συχνά συρματοκυβώτια με τεμάχια πετρωμάτων, τα οποία λόγω του βάρους τους εμποδίζουν τη μετακίνηση των μαζών. Πολλές φορές τα υλικά φόρτισης του «πόδα» της κατολίσθησης προέρχονται από την αφαίρεση των υλικών από την «κεφαλή» της ίδιας της κατολίσθησης, ενώ η τοποθέτηση αδρομερών υλικών στον «πόδα» της κατολισθαίνουσας μάζας έχει σα στόχο και την ευκολότερη διαφυγή

του υπόγειου νερού από τη μάζα, πρόκειται για μια συνήθη μέθοδο με μικρό κόστος που εφαρμόζεται κυρίως σε μικρές κατολισθήσεις, οι οποίες αναπτύσσονται κατά μήκος οδικών αρτηριών.

Στην κατασκευή απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή διότι η ζώνη του «ποδός» των κατολισθήσεων είναι πολύ συχνά έντονα κορεσμένη, διαταραγμένη και μαλακή.

Έτσι η ενδεχόμενη θραύση του εδάφους ή η γένεση πρόσθετων πιέσεων πόρων είναι δυνατών να δημιουργήσουν προβλήματα ευστάθειας στην ολισθαίνουσα μάζα. Τελευταία αυτή η μέθοδος προτιμάται, αφού δύσκολες επεμβάσεις με λιθοδομές ή τσιμεντοδομές αποφεύγονται.



Σχήμα 6.13. Διάταξη συνδυασμένων έργων εκσκαφών και κατασκευής αντίβαρων.

Γενικά η φόρτιση του «πόδα» αποδεικνύεται αποτελεσματική όταν η κλίση του επιπέδου ολίσθησης στην «κεφαλή» όπου θα αφαιρεθεί το υλικό είναι μικρότερη από 40° και όταν τα στρώματα στα οποία εναποτίθεται το υλικό αποστραγγίζονται, διαφορετικά και το νέο αυτό υλικό θα αποτελέσει τμήμα της κατολίσθησης και θα συμβάλλει στην περαιτέρω ενεργοποίησή της.

Έργα σταθεροποίησης κοίτης – οχθών ποταμών.

Τα έργα αυτά έχουν σαν σκοπό να εμποδίσουν τη διάβρωση του «ποδός» ενός πρανούς από τα υδάτινα ρεύματα. Εδώ ανήκουν τα γνωστά «σαρζανέτια», η προστασία κοίτης με επένδυση, η πιθανή αλλαγή κοίτης και τα φράγματα ελέγχου διάβρωσης.

6.4 Μέτρα συγκράτησης

Τοίχοι αντιστήριξης.

Οι τοίχοι αντιστήριξης (retaining walls) είναι ένα σύνηθες μέτρο το οποίο λαμβάνεται κυρίως κατά μήκος του οδικού δικτύου και έχει σαν στόχο τη στήριξη και τη συγκράτηση επιφανειακών βραχωδών και εδαφικών μαζών. Αν και εντάσσονται στα μέτρα συγκράτησης, οι τοίχοι αντιστήριξης δεν χρησιμοποιούνται παρά μόνο σε ελάχιστες περιπτώσεις πολύ μικρών κατολισθήσεων ή στην περίπτωση που δεν είναι δυνατόν να ληφθούν άλλα μέτρα. Πιο συχνά χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με συστήματα αγκυρώσεων. Είναι γενικά ισχυρές κατασκευές που δέχονται μεγάλα φορτία, γι' αυτό κρίνονται αντισοικονομικές και με συζητήσιμα αποτελέσματα.

Οι διαστάσεις των τοίχων αντιστήριξης, ο τρόπος και τα υλικά κατασκευής και γενικότερα η αντοχή τους έχει άμεση σχέση με τον όγκο, τη φύση και τη μορφολογία των μαζών που επιδιώκεται να υποστηριχθούν. Η θεμελίωση των τοίχων αντιστήριξης θα πρέπει να γίνεται οπωσδήποτε στο υγιές υπόβαθρο, ενώ θα πρέπει να λαμβάνονται μέτρα για την αποστράγγιση των ανάντη μαζών μέσα από πυκνό δίκτυο οπών. Οι υψηλοί και μεγάλοι τοίχοι αντιστήριξης είναι δαπανηροί και επομένως η στατική αυτών απαιτεί ειδική προσοχή. Οι τοίχοι αυτοί υποβάλλονται σε μεγάλες οριζόντιες δυνάμεις, για να επιτευχθεί η αύξηση της ευστάθειας του πρανούς ή για να αναχαιτισθούν και σταθεροποιηθούν μεγάλες κατολισθαίνουσες μάζες.

Οι τοίχοι αντιστήριξης μπορούν να διαχωριστούν σε 4 κατηγορίες, με συμμετοχή ορισμένων τύπων σε περισσότερες από μία κατηγορία. Αυτές οι κατηγορίες είναι οι εξής (Hunt, 1984):

- 1. Τοίχοι βαρύτητας**
- 2. Τοίχοι μη βαρύτητας**
- 3. Άκαμπτοι τοίχοι**
- 4. Εύκαμπτοι τοίχοι**

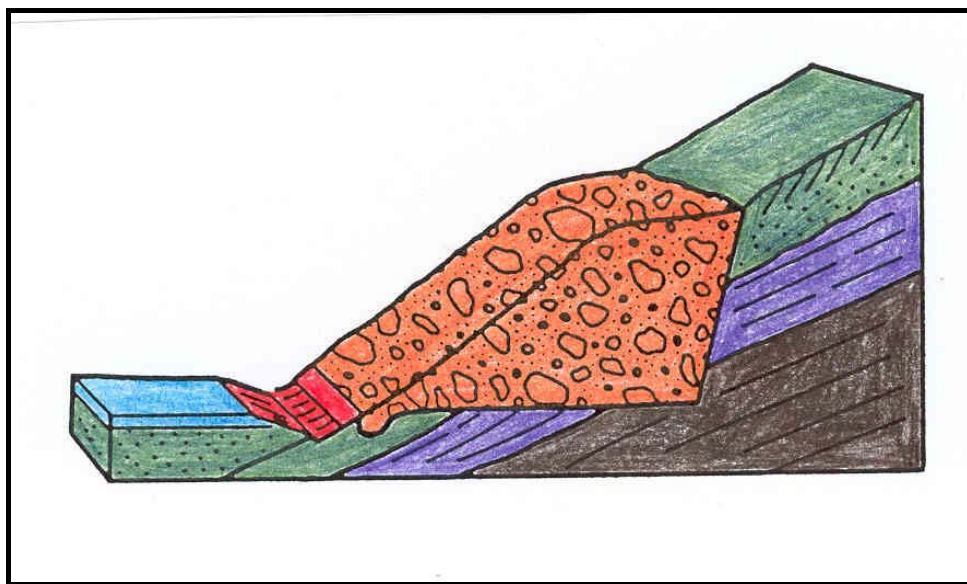
Οι τοιχοί βαρύτητας συμμετέχουν στη αντιστήριξη του πρανούς με την επίδραση του ίδιου του βάρους τους. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι τοίχοι με βραχώδες επίχωμα αντιστήριξης, οι τοίχοι με σαρζανέτια, οι τοίχοι που αποτελούνται από μια επαλληλία υποστηριγμάτων με ενδιάμεσες στρώσεις σκυροδέματος, οι ενισχυμένοι τοίχοι, οι τοίχοι από σκυρόδεμα, οι τοίχοι με πασσαλοσανίδες και οι τοίχοι με αντηρίδες.

Οι τοιχοί μη βαρύτητας συγκρατούνται στην κορυφή και δεν έχουν τη δυνατότητα μετακίνησης. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι υπόγειοι τοίχοι, τα ακρόβαθρα γεφυρών και οι τοίχοι αγκύρωσης με σκυρόδεμα. Αυτοί οι τοίχοι αντιστήριξης χρησιμοποιούνται για μεγάλα ύψη και έχουν μεγάλη δυνατότητα αντιστήριξης. Αποτελούνται από αναβαθμίδες στις οποίες κατασκευάζεται ένας τοίχος υποστηριζόμενος από αγκύρια. Κατά την κατασκευή ενός τέτοιου συστήματος αντιστήριξης, μπορούμε να προσαρμόσουμε τα μέτρα ανάλογα με τις συνθήκες οι οποίες παρουσιάζονται στην πορεία. Αυτό το γεγονός αποτελεί και το πλεονέκτημα της συγκεκριμένης κατηγορίας τοίχων, οι οποίοι προσαρμόζονται απόλυτα στις απαιτήσεις του πρανούς.

Οι άκαμπτοι τοίχοι συμπεριλαμβάνουν τους τοίχους με σκυρόδεμα, οι οποίοι μπορεί να είναι βαρύτητας, ημιβαρύτητας, τοίχοι με πασσαλοσανίδες και τοίχοι με αντηρίδες. Οι τοίχοι αγκύρωσης με σκυρόδεμα θεωρούνται ως τοίχοι ημιάκαμπτοι.

Οι εύκαμπτοι τοίχοι συμπεριλαμβάνουν τους τοίχους με βραχώδες επίχωμα, τους τοίχους με σαρζανέτια, τους τοίχους με επαλληλία υποστηριγμάτων με ενδιάμεσες στρώσεις σκυροδέματος, τους ενισχυμένους τοίχους και τους τοίχους αγκύρωσης με κουρτίνα πασσάλων.

Τύποι τοίχων αντιστήριξης – Χαρακτηριστικά.



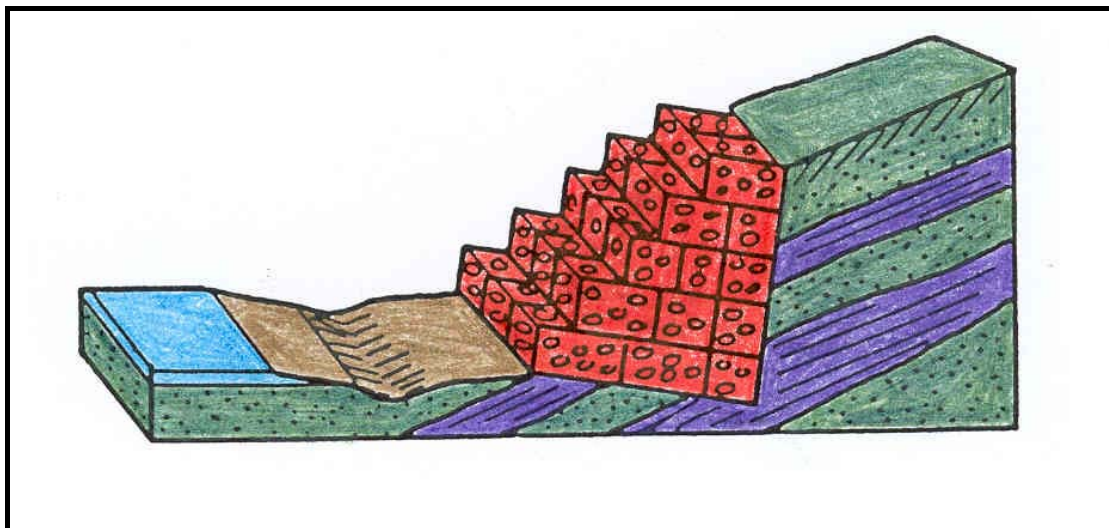
Σχήμα 6.14. Rock – filled buttress (Hunt, 1984).

♦ Οι τοίχοι αντιστήριξης με βραχώδες επίχωμα (σχ.6.14.) κατασκευάζονται από βραχώδη υλικά, με διάμετρο 30 – 100 cm σε ποσοστό τουλάχιστον 50% και το ποσοστό των υλικών που διαπερνά το κόσκινο των 2-in να μη ξεπερνά το 10%. Η διαβάθμιση των υλικών διατηρεί την ελεύθερη αποστράγγιση τους πρανούς και την υψηλή γωνία τριβής, η οποία με τη βοήθεια του βάρους συμμετέχουν στην υποστήριξη του πρανούς. Θα πρέπει να τονίσουμε ότι αυτό το είδος αντιστήριξης απαιτεί και αρκετό χώρο για την κατασκευή του.



Σχήμα 6.15. Rock – filled buttress (Hunt, 1984).

♦ Οι τοίχοι με σαρζανέτια (σχ.6.16.) αποτελούνται από συρμάτινα κιβώτια (σχ. 6.17.), με διαστάσεις 50x50 cm, που είναι γεμισμένα με βραχώδη υλικά.



Σχήμα 6.16. Gabion wall (Hunt, 1984).

Στη συνέχεια τοποθετούνται το ένα κιβώτιο δίπλα στο άλλο. Επιτρέπουν την ελεύθερη αποστράγγιση του εδάφους.

Η συγκράτηση του πρανούς επιτυγχάνεται από το βάρος των υλικών και από τη μεγάλη αντοχή τριβής. Αυτοί οι τοίχοι έχουν ύψος 5 – 6 m.

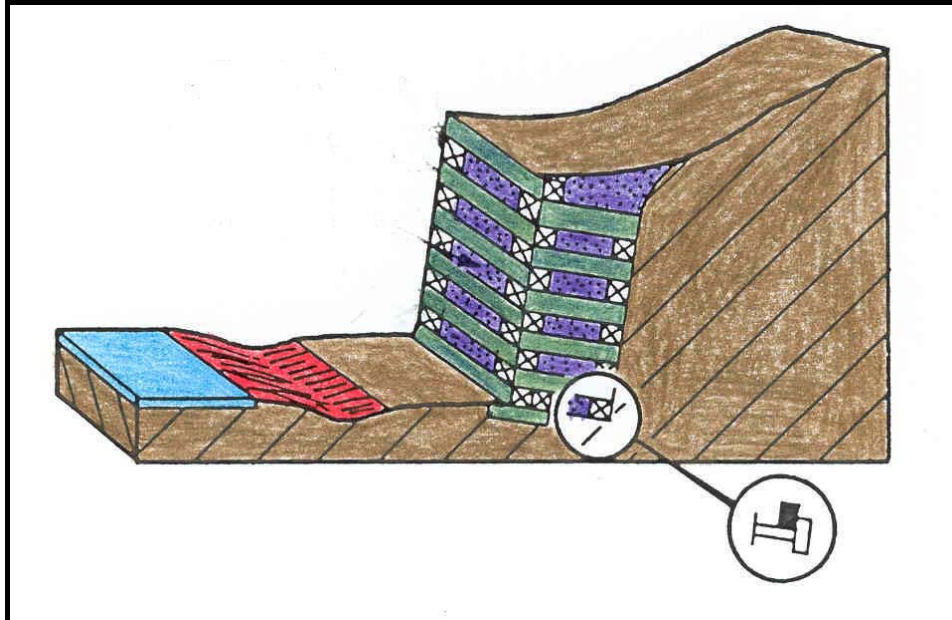


Σχήμα 6.17. Τοίχος αντιστήριξης από σαρζανέτια.



Σχήμα 6.18. Τοίχος αντιστήριξης από σαρζανέτια.

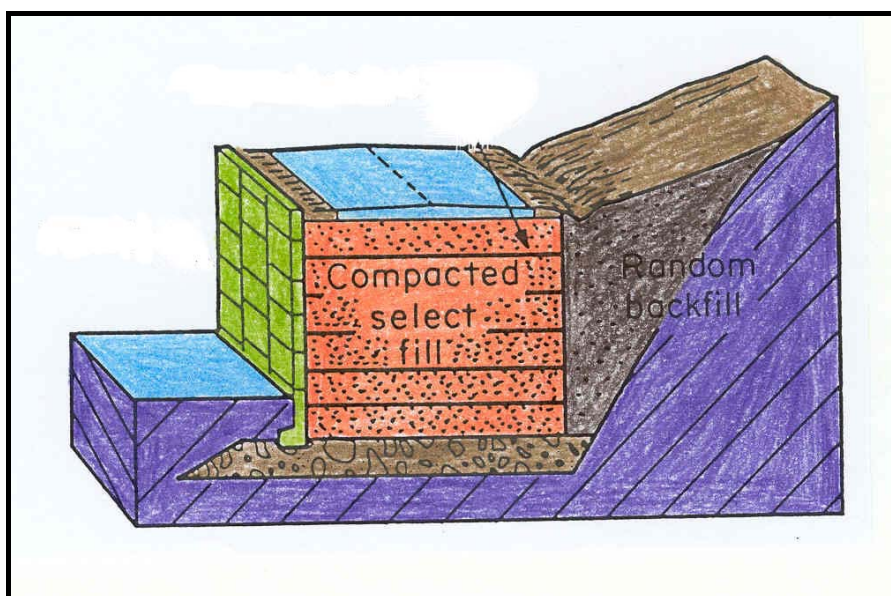
♦ Crib walls (σχ.6.19.). Οι τοίχοι αυτοί αποτελούνται από συναρμογή ξύλινων κιβωτίων, ενισχυμένων με σκυρόδεμα ή μεταλλικά στοιχεία, πληρωμένων με θρυμματισμένο βράχο ή αδρόκοκκο υλικό τα οποία επιτρέπουν την ελεύθερη αποστράγγιση του πρανούς.



Σχήμα 6.19.Crib wall (Hunt, 1984).

Το ύψος του τοίχου είναι διπλάσιο του μήκους του κάθε τμήματος της συναρμογής (συνήθως είναι 2 m). Οι τοίχοι με μεγάλο ύψος είναι επιρρεπείς στην εγκάρσια διαφορική καθίζηση.

♦ Οι τοίχοι με ενισχυμένο επίχωμα (σχ.6.20.) αποτελούνται από συμπυκνωμένο επίχωμα, πληρωμένο από ειδικά υλικά. Μέσα στο επίχωμα είναι τοποθετημένοι μεταλλικοί δοκοί σε παράλληλη διάταξη.

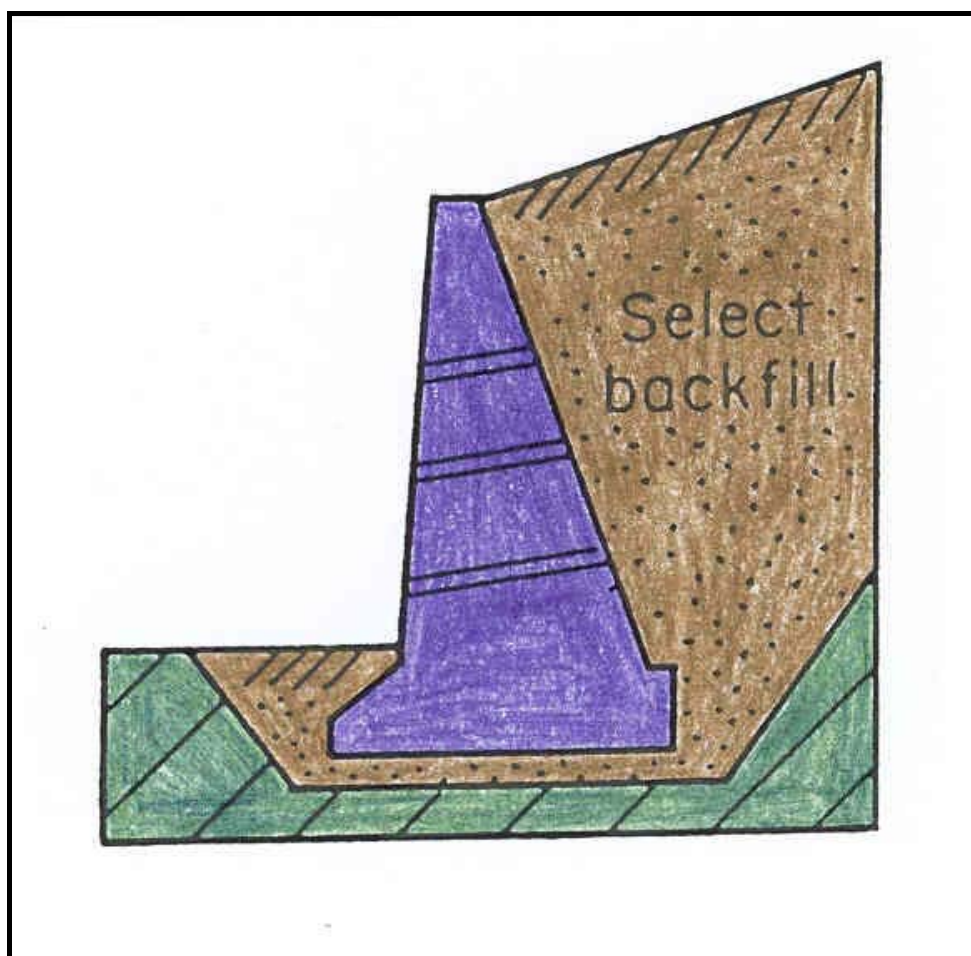


Σχήμα 6.20. Reinforced earth wall (Hunt, 1984).

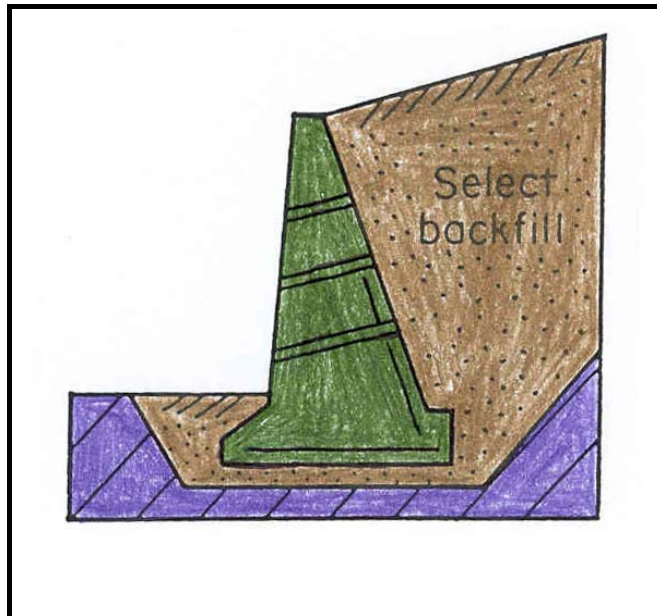
Το σύστημα, επίχωμα – μεταλλικοί δοκοί, προστατεύει το πρανές από εφελκυστικές δυνάμεις. Οι μεταλλικοί δοκοί είναι προσαρμοσμένοι σε μια πλάκα από προκατασκευασμένο σκυρόδεμα. Η ύπαρξη ελεύθερης αποστράγγισης καθώς και η ανοχή σε διαφορικές καθιζήσεις δημιουργούν μεγάλη ικανότητα αντιστήριξης. Οι τοίχοι αυτοί έχουν ύψος τουλάχιστον 18 m και απαιτούν μεγάλο χώρο για την κατασκευή τους.

♦ Οι τοίχοι βαρύτητας με σκυρόδεμα (σχ.6.21.) (concrete gravity wall) αποτελούνται εξ'ολοκλήρου από σκυρόδεμα. Χρειάζεται να γίνουν αποστραγγιστικές οπές για την αποστράγγιση τόσο του πρανούς όσο και της επίχωσης. Απαιτούν μεγάλο χώρο για την κατασκευή τους και είναι αντισυμβατικοί για μεγάλα ύψη.

♦ Οι τοίχοι ημιβαρύτητας με σκυρόδεμα (σχ.6.22.) (semigravity concrete wall) περιέχουν οπλισμένο με ίνες σκυρόδεμα για να αυξηθεί η ικανότητα του τοίχου και να χρησιμοποιηθεί για μεγαλύτερα ύψη. Απαιτούνται αποστραγγιστικές οπές για την αποστράγγιση τόσο του πρανούς όσο και της επίχωσης. Χρειάζονται μεγάλο χώρο για την κατασκευή τους και κατασκευάζονται σε ύψος μέχρι και 32 m.

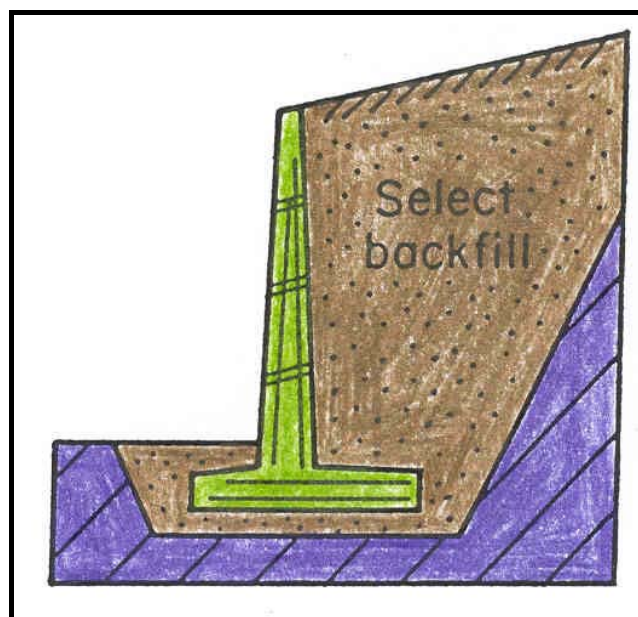


Σχήμα 6.21. Concrete gravity wall (Hunt, 1984).



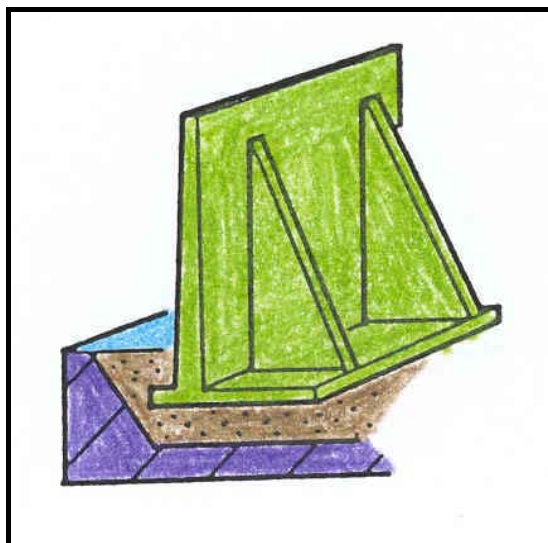
Σχήμα 6.22. Semigravity concrete wall (Hunt, 1984).

♦ Οι τοίχοι με πασσαλοσανίδες (σχ.6.23.) (Cantilever walls) αποτελούνται από ενισχυμένο σκυρόδεμα με τον κορμό του τοίχου να ενώνεται με τη βάση. Το βάρος του εδάφους στα ανάντη του τοίχου προστίθεται στο βάρος του ίδιου του τοίχου αυξάνοντας τις συνθήκες αντιστήριξης. Απαιτείται η δημιουργία οπών για αποστράγγιση. Χρειάζονται μικρότερο χώρο κατασκευής από τους τοίχους βαρύτητας αλλά έχουν και μικρότερο ύψος (μέχρι 8 m) εξαιτίας της αδυναμίας στην ένωση κορμού – βάσης.



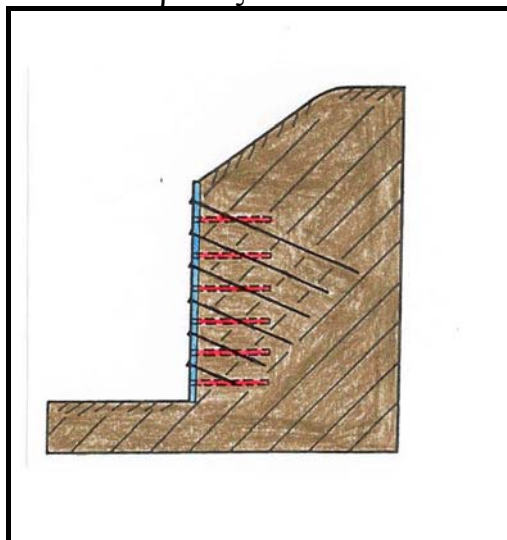
Σχήμα 6.23. Cantilever wall (Hunt, 1984).

♦ Οι τοίχοι με αντηρίδες (σχ.6.24.) (Counterfort walls) έχουν την ίδια δομή με τους Cantilever walls, με τη διαφορά ότι σε αυτήν την κατηγορία υπάρχουν και αντηρίδες οι οποίες βοηθούν στην αντιστήριξη. Έχουν ύψος μεγαλύτερο από 6 m.



Σχήμα 6.24. Counterfort wall (Hunt, 1984).

♦ Οι τοίχοι αγκύρωσης με οπλισμένο σκυρόδεμα (σχ.6.25.) (anchored reinforced concrete curtain walls), αποτελούνται, από μία επιφάνεια όπου υπάρχει τοποθετημένο οπλισμένο σκυρόδεμα, την οποία διαπερνούν αγκύρια τα οποία εισχωρούν στο πρανές και δημιουργούν ένα ενιαίο σύστημα αντιστήριξης πρανούς – σκυροδέματος. Κατασκευάζονται σταδιακά, κατά τη διάρκεια εκσκαφής του πρανούς, για να παρέχουν συνεχή προστασία του πρανούς. Η ικανότητα αντιστήριξης είναι πολύ μεγάλη και χρησιμοποιούνται για τη συγκράτηση ορυγμάτων σε αργιλικά εδάφη με ύψος πάνω από 25 m. Οι αποστραγγιστικές οπές που είναι απαραίτητες για την αποστράγγιση του πρανούς, διαπερνούν τον τοίχο και τοποθετούνται μέσα στο πρανές.

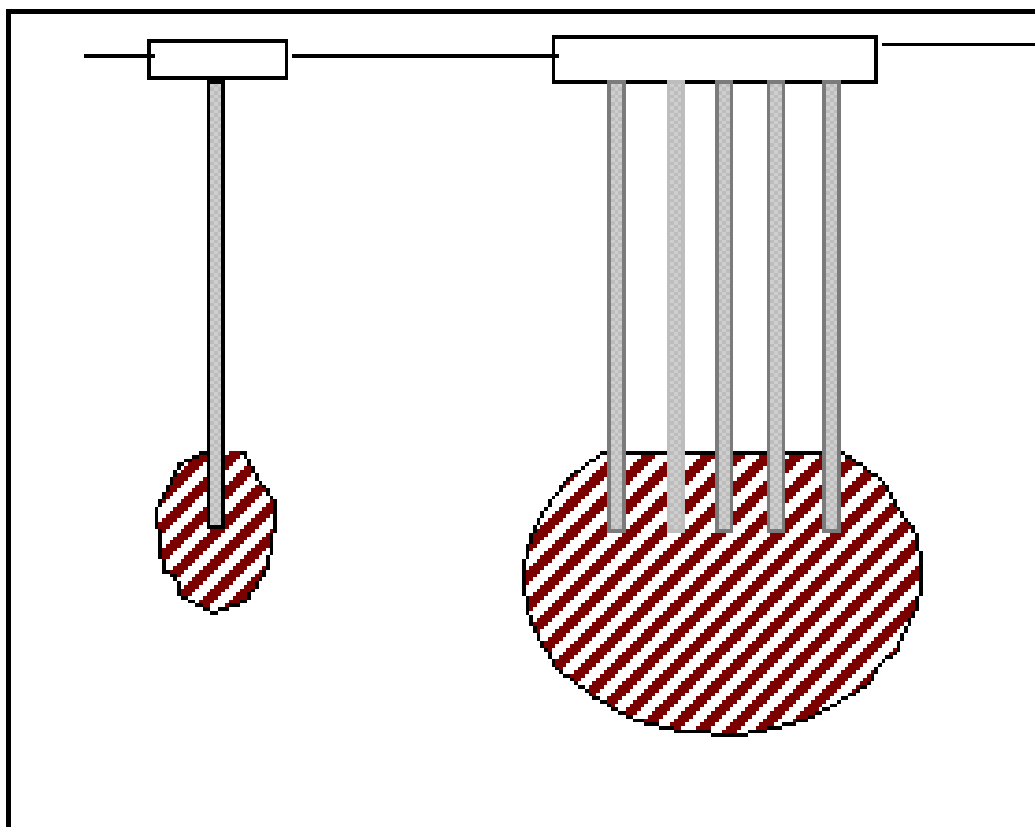


Σχήμα 6.25. Anchored reinforced concrete curtain wall (Hunt, 1984).

Πάσσαλοι – Φρεατοπάσσαλοι

Η πασσάλωση είναι μια απλή μέθοδος αντιμετώπισης μετακινούμενων εδαφών και συνίσταται στην έμπηξη μέσα στο έδαφος κατακόρυφων πασσάλων σε μικρή απόσταση. Για καλύτερα αποτελέσματα η έμπηξη γίνεται σε όσο το δυνατό μεγαλύτερα βάθη, προκειμένου να στερεοποιηθούν στο σταθερό πέτρωμα κάτω από την επιφάνεια ολίσθησης, ενώ για τη συγκράτηση μεγαλύτερων ποσοτήτων εδαφών στερεώνονται πάνω στους πασσάλους οριζόντιοι δοκοί, οι οποίοι καλύπτουν τη μεταξύ τους απόσταση. Γενικά πρόκειται για ένα μέτρο το οποίο μπορεί να αναχαιτίσει τη μετακίνηση των επιφανειακών μαζών και όχι για μέτρο συνολικής αντιμετώπισης του προβλήματος. Εφαρμόζεται κυρίως κατά μήκος οδικών αξόνων, όταν υπάρχει έλλειψη χώρου για την κατασκευή άλλων έργων αντιστήριξης.

Με την εξαίρεση των αβαθών κατολισθήσεων, οι δυνάμεις που ενεργοποιούν το πραινές είναι πολύ μεγάλες και δεν είναι δυνατόν να αναχαιτισθούν από μια σειρά πασσάλων, καθώς παρατηρούνται κινήσεις του εδάφους ανάμεσα και γύρω από τους πασσάλους, ενώ συχνά αναπτύσσονται νέες επιφάνειες θραύσης κάτω από τον πυθμένα τους. Οι αβαθείς κατολισθήσεις, μπορεί να ελεγχθούν με πασσάλους, υπό την προϋπόθεση ότι θα έχουν αρκετά μεγάλη διάμετρο και θα οδηγηθούν αυτοί σε ικανοποιητικό βάθος για αρκετή ασφάλεια.



Σχήμα 6.26. Πάσσαλος – Σύστημα πασσάλων.

Η τοποθέτηση πασσάλων για την αναχαίτιση των κατολισθήσεων είναι μια μέθοδος ενίσχυσης των δυνάμεων που ανθίστανται στη ολίσθηση. Η βασική ιδέα της μεθόδου αυτής είναι απλή:

Οι πάσσαλοι διαπερνούν την μάζα της κατολίσθησης και πακτώνονται στο σταθερό υπόβαθρο, κάτω από την επιφάνεια ολίσθησης. Η πολλαπλά μεγαλύτερη, σε σχέση με το έδαφος, ακαμψία τους και η σαφώς μεγαλύτερη αντοχή τους βοηθούν τους πασσάλους να εκδηλώσουν την ευεργετική τους επίδραση στην ολισθαίνουσα μάζα. Αυτή η ευεργετική επίδραση εκδηλώνεται είτε με τη μορφή ωθήσεων που ασκεί ο πάσσαλος στην εδαφική μάζα που τον ωθεί, είτε με την μορφή αυξημένης τοπικά διατμητικής αντοχής κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης λόγω της ύπαρξης του υλικού του πασσάλου (φαινόμενο ήλωσης *dowelling effect*), είτε, το συνηθέστερο, με το συνδυασμό των δύο μορφών. Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι ο τρόπος λειτουργίας των πασσάλων, και κατά συνέπεια η αποτελεσματικότητά τους, εξαρτάται άμεσα από τη θέση του πασσάλου στην ολισθαίνουσα μάζα, ακριβέστερα μάλιστα, από την κινηματική και εντατική κατάσταση της ζώνης εγκατάστασής τους.

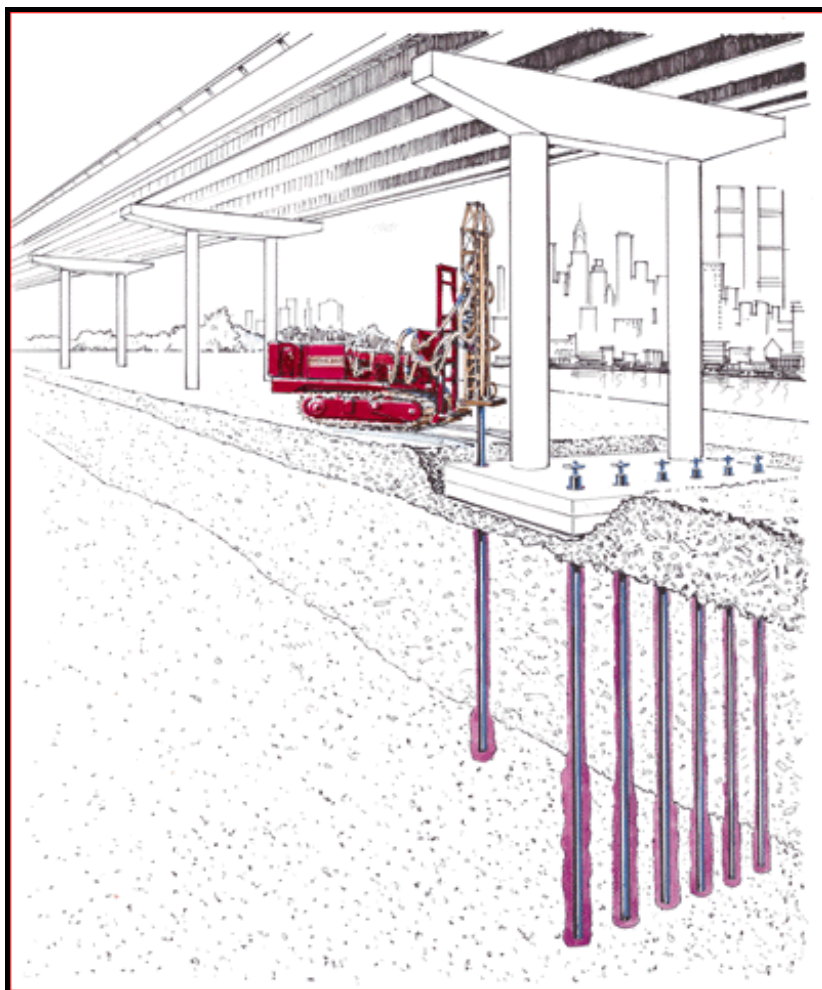
Ταξινόμηση πασσάλων

Η ταξινόμηση των πασσάλων (Αναγνωστόπουλος, 1994) σε κατηγορίες μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Ως κριτήριο ταξινόμησης χρησιμοποιείται η καταπόνηση που προκαλείται στο έδαφος κατά την κατασκευή τους (πάσσαλοι εκτόπισης και πάσσαλοι χωρίς εκτόπιση). Αυτός ο τρόπος ταξινόμησης έχει καθιερωθεί διότι ανταποκρίνεται καλύτερα στη μηχανική συμπεριφορά των πασσάλων.

▪ **Πάσσαλοι εκτόπισης** ονομάζονται εκείνοι οι πάσσαλοι, οι οποίοι κατά την τοποθέτησή τους εκτοπίζουν πλευρικά το έδαφος και καταλαμβάνουν το δημιουργούμενο κενό με αποτέλεσμα να υπάρχει σημαντική αύξηση των πλευρικών τάσεων που ασκεί το έδαφος στον πάσσαλο. Οι πάσσαλοι εκτόπισης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες :

i) Τους *προκατασκευασμένους πασσάλους έμπηξης*, οι οποίοι συνήθως τοποθετούνται στο έδαφος κρουστικά με τη βοήθεια σφύρας. Το υλικό κατασκευής τους είναι χάλυβας και οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι χαλύβδινοι πάσσαλοι κατασκευάζονται κυρίως από χαλυβδοσωλήνα μεγάλης διαμέτρου και πάχους 12.5 – 75 mm.

ii) Τους *πασσάλους έμπηξης – επιτόπου σκυροδέτησης*. Η κατασκευή των πασσάλων αυτών περιλαμβάνει την έμπηξη ενός χαλύβδινου σωλήνα με φραγμένη αιχμή και στη συνέχεια τη σκυροδέτηση του εσωτερικού κενού με οπλισμένο ή άοπλο σκυρόδεμα. Συνήθως ο σωλήνας που χρησιμοποιείται για τη διάνοιξη της οπής αφαιρείται μετά την έγχυση του σκυροδέματος, αλλά μπορεί και να παραμείνει στο έδαφος ως τμήμα του πασσάλου.



Σχήμα 6.27. Διαδικασία έμψηξης πασσάλων από μηχάνημα.

▪ **Πάσσαλοι χωρίς εκτόπιση** είναι οι φρεατοπάσσαλοι διαμέτρου 0.8 έως 2.2 mm. Για την κατασκευή τους διανοίγεται στο έδαφος με τη βοήθεια ειδικών γεωτρύπανων μια οπή με διάμετρο ίση προς την επιθυμητή διάμετρο του πασσάλου. Στο εσωτερικό τοποθετείται ο οπλισμός και ακολουθεί η σκυροδέτηση. Αυτού του είδους οι πάσσαλοι χρησιμοποιούνται κυρίως γιατί:

Είναι δυνατή η κατασκευή πασσάλων μεγάλης διαμέτρου και μεγάλου μήκους σε κάθε τύπο εδάφους, ακόμη και όταν παρεμβάλλονται σκληρές στρώσεις οι οποίες θα παρεμπόδιζαν την έμψηξη πασσάλων άλλου τύπου. Αποτέλεσμα αυτού είναι η δυνατότητα παραλαβής μεγάλων φορτίων.

Σε αντίθεση με τους πασσάλους έμψηξης δεν δημιουργούνται δονήσεις κατά την κατασκευή τους. Συχνά χρησιμοποιούνται για την κατασκευή διαφραγματικών τοίχων.

Η εμπειρία των τελευταίων χρόνων στην κατασκευή φρεατοπασσάλων και η εξέλιξη των γεωτρητικών μηχανημάτων, είχαν σαν αποτέλεσμα τη βελτίωση της ποιότητας και τον περιορισμό του κόστους κατασκευής που παλαιότερα αποτελούσαν τα κυριότερα μειονεκτήματα του τύπου αυτού.

Προστατευτικά συρμάτινα πλέγματα

Τα προστατευτικά συρμάτινα πλέγματα τοποθετούνται κυρίως σε απότομα βραχώδη φυσικά ή τεχνητά πρανή και κατά μήκος οδικών αρτηριών. Τα πλέγματα αυτά κατασκευάζονται από μεγάλης αντοχής σύρματα, έχουν ρομβοειδή πλέξη και στερεώνονται με χαλύβδινα καρφιά και οριζόντιους σωλήνες.

Η τοποθέτηση συρμάτινων πλεγμάτων έχει ως στόχο την εμπόδιση μεγάλων κατολισθήσεων στα βραχώδη πρανή, αλλά κυρίως τη συγκράτηση μικροτεμαχών τα οποία είναι δυνατό να καταπέσουν και να προκαλέσουν οδικά ατυχήματα. Το μέτρο συνδυάζεται με την κατασκευή τάφρων και τοίχων παγίδευσης καθώς και τοίχων ανάσχεσης.



Σχήμα 6.28. Συνδυασμός συρμάτινων πλεγμάτων και συστήματος αγκυρώσεων.

Αν το συρμάτινο πλέγμα απειλείται από πτώση μεγάλων βράχων οι τελευταίοι πρέπει να κοχλιώνονται. Η αγκύρωση του πλέγματος γίνεται στο φρύδι του πρανούς με δοκούς που τσιμεντώνεται στο πρανές σε τρύπες. Στα συμπαγή πρανή χρησιμοποιούνται ενέματα για την τοποθέτηση των κοχλιών ή καρφιών. Η στερέωση του πλέγματος γίνεται με πρόσδεση σε καλώδια που ξεκινούν από τις αγκυρώσεις.



Σχήμα 6.29. Προστασία δρόμου από καταπτώσεις βραχωδών τεμαχίων με χρήση συρμάτων πλεγμάτων.



Σχήμα 6.30. Συνδυασμός συρμάτων δικτύων και συστήματος αγκυρώσεων για την προστασία βραχώδους πρανούς.

Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

Πρόκειται για μέτρο που λαμβάνεται σε απότομα βραχώδη πρανή για τη συγκράτηση μικροτεμαχών που πρόκειται να αποσπαστούν και να καταπέσουν. Εκτός από τη συγκράτηση, η εκτόξευση σκυροδέματος (guniting – shotcrete) έχει ως στόχο επίσης και την προφύλαξη των πετρωμάτων του πρανούς από τη δράση του μετεωρικού νερού το οποίο διεισδύει στη μάζα τους.

Υπάρχουν δύο είδη εκτοξευόμενου σκυροδέματος : το υγρό μίγμα και το ξηρό. Το ξηρό μίγμα, είναι ένα ξηρό προϊόν όπου το νερό προστίθεται μέσα στον αναδευτήρα, ενώ στο υγρό μίγμα το νερό εισέρχεται μαζί με το προϊόν στη μηχανή. Στο ξηρό μίγμα ο επιταχυντής εισέρχεται στη μηχανή ταυτόχρονα με το μίγμα, ενώ στο υγρό ο επιταχυντής προστίθεται λίγο πριν την εκτόξευση του μίγματος.

Η πορεία για το σχηματισμό των δύο μιγμάτων είναι περίπου ίδια αλλά υπάρχουν ορισμένες διαφορές σε λεπτομέρειες. Γενικά η δημιουργία ενός μίγματος πρέπει να ικανοποιεί ορισμένες προδιαγραφές. Αυτές οι προδιαγραφές είναι οι ακόλουθες:

→**Σταθερότητα:** Το μίγμα πρέπει να έχει τη δυνατότητα τοποθέτησης σε οποιοδήποτε σημείο (οροφή) με τις λιγότερες απώλειες (πτώση τμημάτων σκυροδέματος).

→**Πρώιμη αντοχή:** Να εξασφαλίζει υποστήριξη στο βράχο σε χρονικό διάστημα λιγότερο από 4 – 8 ώρες.

→**Μακράς διάρκειας αντοχή.**

→**Διάρκεια:** Μεγάλης χρονικής διάρκειας αντίσταση στις επιδράσεις του περιβάλλοντος.

→**Οικονομία:** Χαμηλό κόστος υλικών και όσο το δυνατόν μικρότερες απώλειες.

Τα απαραίτητα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ενός μίγματος είναι τα εξής:

○ **Τσιμέντο PORTLAND – Τύπος I:** Αυτός ο τύπος τσιμέντου είναι ο πιο διαδεδομένος στις χρήσεις εκτοξευόμενου σκυροδέματος αφού είναι ο πιο γρήγορα διαθέσιμος τύπος και ικανοποιεί τις προϋποθέσεις που αναφέραμε προηγουμένως.

○ **Τσιμέντο PORTLAND – Τύπος II:** Χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις εκείνες όπου ο βράχος ή το νερό που χρησιμοποιούμε στο μίγμα, περιέχουν θειικό άλας. Ο ρυθμός αύξησης της ισχύος – πήξεως του τσιμέντου είναι πολύ αργός.

○ **Τσιμέντο PORTLAND – Τύπος III:** Αυτός ο τύπος εξαιτίας της σύνθεσής του παρουσιάζει μια ιδιομορφία. Έχει υψηλή ισχύ – πήξη από τις πρώτες ώρες τοποθέτησής του χωρίς την παρουσία επιταχυντή. Μετά από μια μέρα περίπου, ο ρυθμός αύξησης της ισχύος αυξάνει και οι ιδιότητές του μοιάζουν με αυτές του τύπου I.

Συνοψίζοντας θα λέγαμε ότι το τσιμέντο τύπου Ι χρησιμοποιείται από κοινού με καταλύτη εξαιτίας της διαθεσιμότητας των υλικών του και λόγω των ποικίλων μορφών μίγματος που δημιουργούνται από μικρές μεταβολές κατά τον σχεδιασμό του.

Η περιεκτικότητα του μίγματος σε αμμοχάλικο αυξάνει όταν το σκυρόδεμα τοποθετηθεί πάνω από θρυμματισμένες επιφάνειες. Εάν δεν συμβαίνει κάτι τέτοιο η ποσότητα του αμμοχάλικου παραμένει σταθερή.

Τα αμμοχάλικα πρέπει να είναι γερά, καθαρά και ανθεκτικά. Το ποσοστό του αμμοχάλικου που περνά από το κόσκινο N_o 200 (0,075 mm) δεν πρέπει να ξεπερνάει το 2%. Επιπλέον κόκκοι μαρμαρυγία, άμμου και οργανικού υλικού πρέπει να καθαρίζονται. Κόκκοι που αντιδρούν σε αλκαλικό περιβάλλον πρέπει να αποφεύγονται. Γενικά το μέγιστο μέγεθος κόκκων είναι 19 mm. Η διαβάθμιση του αμμοχάλικου είναι σημαντική για τη δημιουργία του μίγματος, για τη ροή του μέσα από τις μάνικες, για την υδροληψία στη μηχανή ανακίνησης, για την προσκόλληση στην περιοχή που ψεκάζουμε και τέλος για την οικονομία του προϊόντος.

Αύξηση στο ποσοστό των αδρόκοκκων υλικών θα έχει ως αποτέλεσμα μια καλύτερη συμπαγοποίηση, αύξηση της πυκνότητας, μικρότερες απαιτήσεις νερού και μικρότερη συρρίκνωση. Μια τέτοια αύξηση θα επιφέρει όμως και δυσκολία στην άντληση και θα μεγαλώσει το ποσοστό των τμημάτων του σκυροδέματος που δεν θα προσκολληθούν στην επιφάνεια.

Το νερό που χρησιμοποιείται για το σκυρόδεμα πρέπει να έχει τις ίδιες ιδιότητες με το νερό ενός μίγματος τσιμέντου. Επίσης θα πρέπει να έχει καθαριστεί από ποσότητες αλάτων, οργανικού υλικού και γράσου.

Όταν χρειαζόμαστε γρήγορη αύξηση της πρώιμης αντοχής για να έχουμε άμεση υποστήριξη της επιφάνειας, τότε τοποθετούμε στο μίγμα επιταχυντές. Επιταχυντές τοποθετούμε στο μίγμα και όταν θέλουμε να ελαττώσουμε τις απώλειες (πτώσεις τμημάτων) από την κάλυψη με σκυρόδεμα μιας επιφάνειας.

Ένας μεγάλος αριθμός από επιταχυντές χρησιμοποιείται σήμερα. Αυτοί περιέχουν συνήθως ανθρακικό νάτριο και υδροξείδιο του ασβεστίου. Η αναλογία των ουσιών αυτών κυμαίνεται από δείγμα σε δείγμα και εξαρτάται από τις απαιτήσεις του μηχανικού και τις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Οι επιταχυντές υπάρχουν σε υγρή μορφή αλλά και σκόνη. Η χρήση τους πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή λόγω της καυστικότητάς τους. Χρησιμοποιούνται συνήθως για εργασίες οροφής ή σε κατακόρυφους τοίχους όπου η λεπτότητα του σκυροδέματος είναι αισθητή.

Ένα τυπικό μίγμα σκυροδέματος περιέχει τα εξής ξηρά υλικά:

- Τσιμέντο 15 – 20 %
- Αδρόκοκκο υλικό 30 – 40 %
- Λεπτόκοκκο υλικό 40 – 50 %

Η αναλογία νερού προς τσιμέντο για ξηρό μίγμα κυμαίνεται σε 0.3 – 0.5, ενώ για υγρό μίγμα σε 0.4 – 0.6.

Η ποιότητα λοιπόν ενός τοποθετημένου σκυροδέματος εξαρτάται:

- ✦ Από τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του μίγματος.
- ✦ Από τη μέθοδο με την οποία προετοιμάζεται η επιφάνεια του βράχου.
- ✦ Από την αναλογία νερού / τσιμέντου.
- ✦ Από την ικανότητα του χειριστή και του εκτοξευτήρα.



Σχήμα 6.31. Προστασία πρανούς με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε συνδυασμό με τοποθέτηση συρμάτων πλεγμάτων συγκράτησης.

Το μέτρο εφαρμόζεται μετά την απολέπιση και το φρεζάρισμα και συνδυάζεται ταυτόχρονα με την τοποθέτηση συρμάτων πλεγμάτων συγκράτησης, με αγκυρώσεις και ηλώσεις.

Αγκύρια (Rock bolts)

Οι αγκυρώσεις γίνονται εκεί όπου πρόκειται να συγκρατηθούν μεγάλου όγκου βραχώδεις μάζες. Πραγματοποιούνται συνήθως σε συνδυασμό με άλλα μέτρα αντιστήριξης. Η αγκύρωση πρέπει να γίνεται στο υγιές και σχετικά σταθερό πέτρωμα πέρα από την επιφάνεια θραύσης, ενώ πολλές φορές γίνεται παράλληλα και χρήση ενέματος, το οποίο δίνει καλύτερα αποτελέσματα λόγω του «δεσίματος» του αγκυρίου με το περιβάλλον πέτρωμα. Με την αγκύρωση επιχειρείται η αύξηση της θλιπτικής ορθής τάσης πάνω στην επιφάνεια θραύσης, με στόχο την αύξηση της αντίστασης τριβής της και κατά συνέπεια τη μείωση των κινδύνων μετακίνησης και κατολίσθησης.



Σχήμα 6.32. Διαδικασία αγκύρωσης απότομου πρανούς.



Σχήμα 6.33. Σύστημα αντιστήριξης με αγκύρια, πλέγμα και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (αρχικό στάδιο).



Σχήμα 6.34. Σύστημα αντιστήριξης με αγκύρια, πλέγμα και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (τελικό στάδιο).

Υπάρχουν πολλοί τύποι αγκυρίων, από τους οποίους πολλοί παρουσιάζουν ελάχιστες διαφορές στο σχεδιασμό τους. Ταξινομούνται σε 4 κατηγορίες αγκυρίων με βάση τις διαφορετικές τεχνικές αγκύρωσης. Αυτές οι κατηγορίες είναι:

1. Αγκύρια διαστελλόμενης κεφαλής
2. Αγκύρια πάκτωσης
3. Πακτωμένα αγκύρια καλωδίου
4. Αγκύρια τριβής

Αγκύρια διαστελλόμενης κεφαλής (μηχανικά αγκύρια)

Τα αγκύρια αυτά αποτελούν τον πιο κοινό τύπο μηχανικής αγκύρωσης γι' αυτό και έχουν μεγάλες εφαρμογές. Έχουν σχεδιαστεί για χρήση σε μέτρια σκληρά ως σκληρά πετρώματα. Όχι όμως σε πολύ σκληρά πετρώματα, αφού αυτά τα πετρώματα θα εμποδίσουν τη διαστελλόμενη κεφαλή του αγκυρίου να αγκυρωθεί στο πέτρωμα και συνεπώς το αγκύριο θα γλιστρήσει κάτω από την επίδραση του φορτίου. Το κενό που υπάρχει μεταξύ του αγκυρίου και του διατρήματος της οπής μπορεί να πακτωθεί.



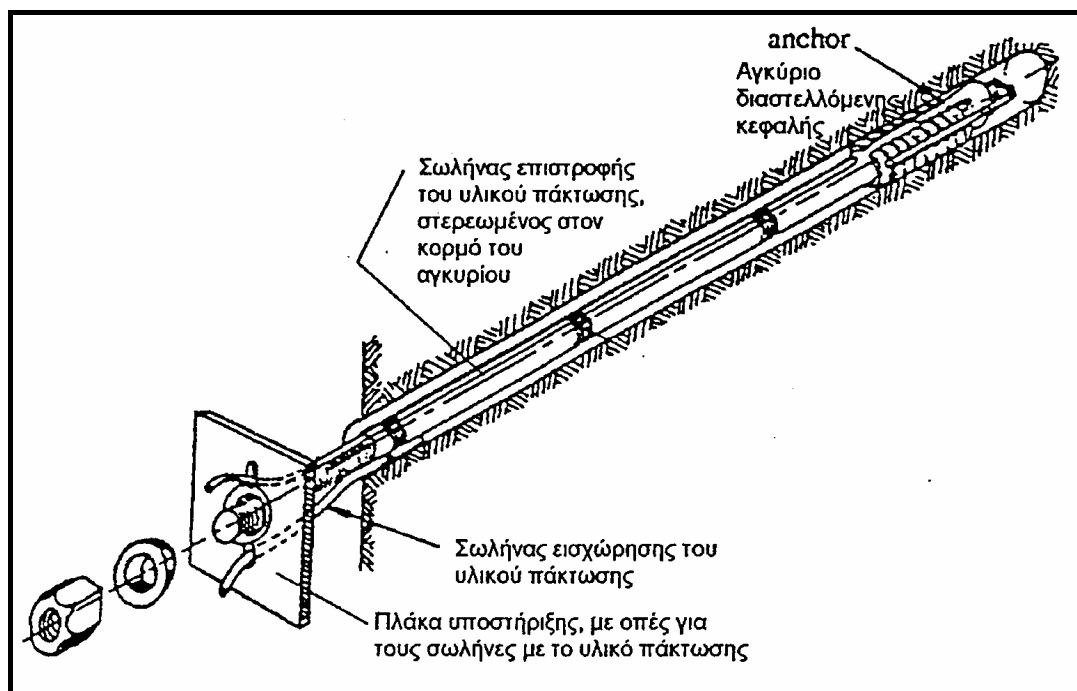
Σχήμα 6.35. Αγκύρια διαστελλόμενης κεφαλής.

Η μέγιστη ικανότητα φόρτισης επιτυγχάνεται όταν:

- i) Υπάρχει κατάλληλος συνδυασμός μεταξύ της διαμέτρου της διαστελλόμενης κεφαλής και της διαμέτρου του διατρήματος.
- ii) Υπάρχουν γύρω από την περιοχή αγκύρωσης σκληρά και χωρίς ρωγμές πετρώματα.
- iii) Υπάρχει πλευρικά ικανό πάχος πετρώματος και ικανό μήκος διάτρησης (οπής).

Τα αγκύρια αυτού του τύπου παρουσιάζουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Η τιμή τους είναι σχετικά χαμηλή.
- Παρέχουν γρήγορη υποστήριξη μετά την εγκατάσταση.
- Περιστρέφοντας το αγκύριο κατά την εγκατάσταση εφαρμόζεται στην κεφαλή μια ροπή στρέψης συσσωρεύοντας έτσι ένταση, ενώ πακτώνοντάς το στη συνέχεια επιτυγχάνεται μόνιμη ενίσχυση της βραχομάζας και προστατεύεται από διάβρωση και δευτερογενή στρέβλωση.
- Χρησιμοποιείται ακόμη και σε υδροφέρουσα βραχομάζα.



Σχήμα 6.36. Αγκύρια διαστελλόμενης κεφαλής – Μηχανικά αγκύρια.

Τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν είναι:

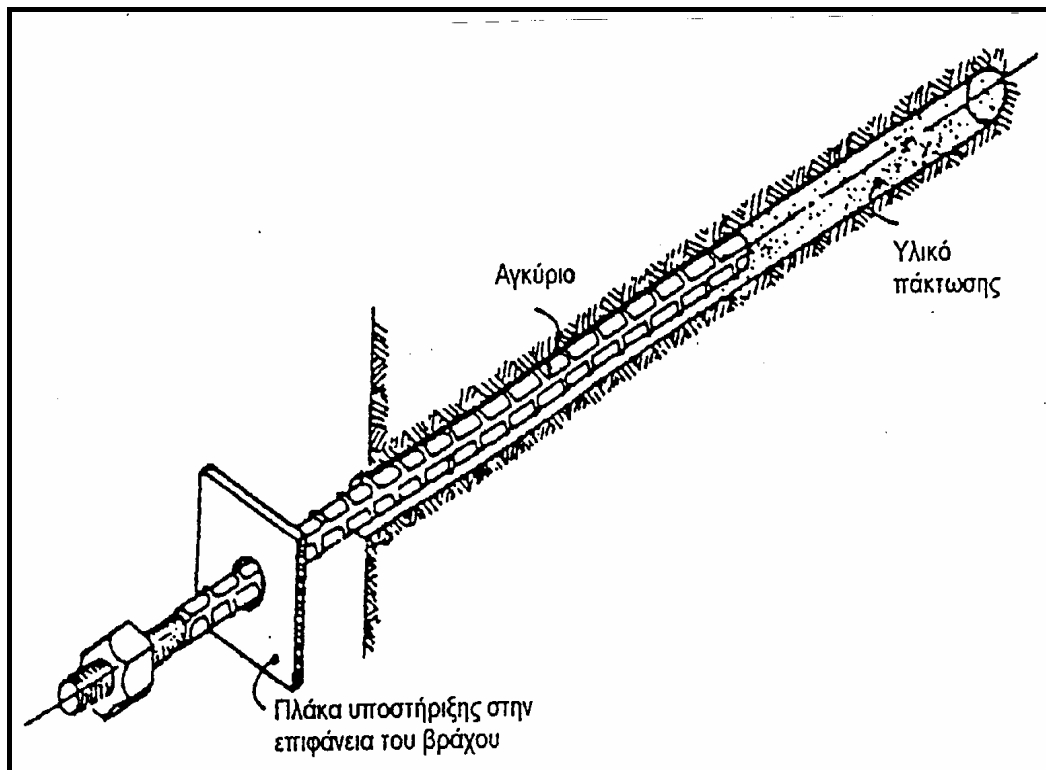
- Παρουσιάζουν δυσκολία στην εγκατάσταση.
- Τοπικά σπασίματα ή ραγίσματα μπορούν να οδηγήσουν στην ολίσθηση του αγκυρίου.
- Δεν χρησιμοποιούνται σε χαλαρά ή καρστικοποιημένα πετρώματα.
- Υπάρχει πιθανότητα δημιουργίας προβλημάτων με το σωλήνα επιστροφής του υλικού πάκτωσης κατά την τοποθέτηση του αγκυρίου.

Πίνακας 6.3

Τεχνικά χαρακτηριστικά μηχανικών αγκυρίων - διαστελλόμενης κεφαλής		
Ποιότητα χάλυβα	700 N/mm ²	70 Kp/mm ²
Διάμετρος χάλυβα	16 mm	16 mm
Αποδιδόμενο φορτίο χάλυβα	140 KN	14 tons
Πραγματικό φορτίο χάλυβα	180 KN	18 tons
Τελική αξονική τάση χάλυβα	14%	14%
Βάρος αγκυρίου	2 Kg/m	2 Kg/m
Μήκος αγκυρίου	Οποιοδήποτε μήκος απαιτείται	
Διάμετρος οπής	35 - 38 mm	35 - 38 mm

Αγκύρια πάκτωσης

Ο περισσότερος χρησιμοποιούμενος τύπος αγκυρίου αυτής της κατηγορίας είναι η πλήρως πακτωμένη χαλύβδινη ράβδος του αγκυρίου. Ως υλικό πάκτωσης χρησιμοποιείται κονίαμα τσιμέντου ή ρητίνης. Το σύστημα Rebar που χρησιμοποιεί ρητίνη χρησιμοποιούνται ευρύτατα όταν υπάρχει ανάγκη για προεντεταμένα αγκύρια. Το σύστημα Threadbar που πακτώνεται με κονίαμα τσιμέντου χρησιμοποιείται όταν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν προεντεταμένα αγκύρια. Τα δύο συστήματα χρησιμοποιούνται τόσο για μόνιμες όσο και για περιστασιακές υποστηρίξεις βραχομαζών κάτω από ποικίλες καταστάσεις πετρωμάτων. Χρησιμοποιούνται συνήθως για την υποστήριξη βράχων με μικρό βάρος.



Σχήμα 6.37. Αγκύριο πάκτωσης με υλικό πάκτωσης κονίαμα τσιμέντου.

Τα πλεονεκτήματα αυτού του τύπου αγκυρίου είναι:

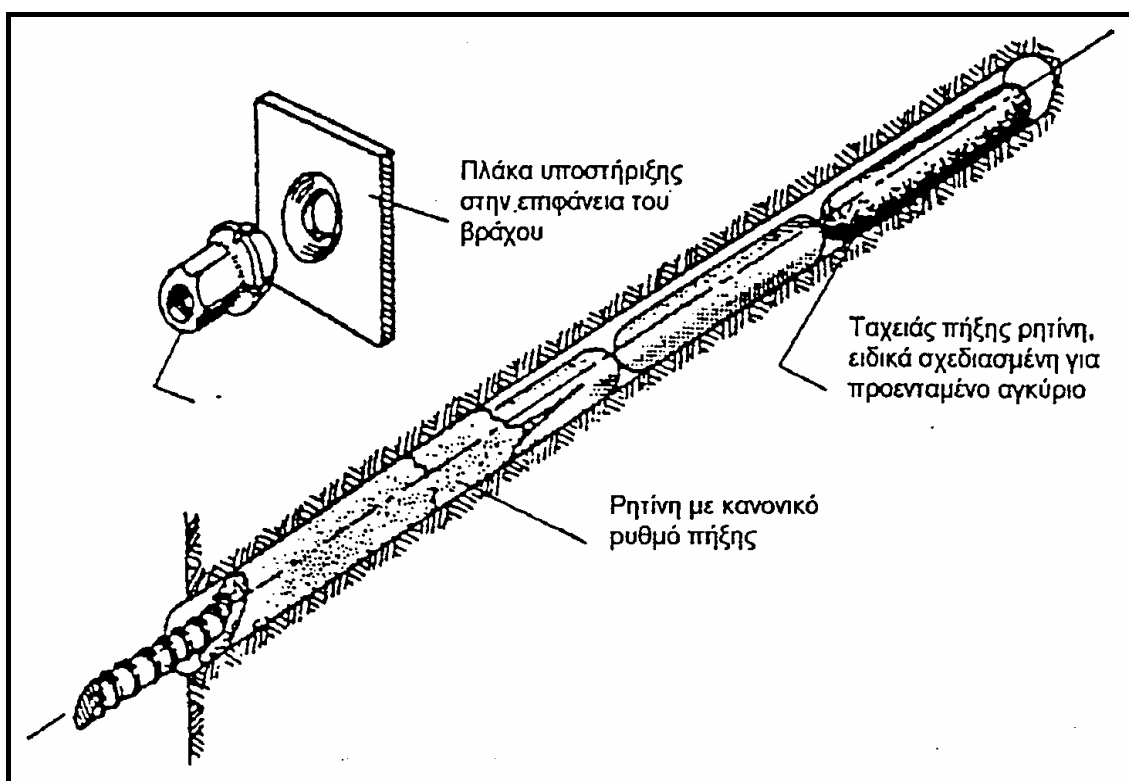
- Δίνει γρήγορη υποστήριξη αμέσως μετά την εγκατάσταση.
- Αν χρησιμοποιηθεί υλικό πάκτωσης ρητίνη το αγκύριο μετατρέπεται σε εντεταμένο αγκύριο.
- Διαθέτει υψηλή αντοχή στη διάβρωση.

Τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν είναι:

- Εμφανίζονται δυσκολίες με τα φυσίγγια ρητίνης, ιδιαίτερα σε υπόγεια περιβάλλοντα, έτσι ώστε να επηρεάζεται η αξιοπιστία της εγκατάστασης.
- Η ρητίνη είναι δύσκολη στο χειρισμό, είναι δαπανηρή και έχει περιορισμένη διάρκεια ζωής.



Σχήμα 6.38. Αγκύρια πάκτωσης



Σχήμα 6.39. Αγκύριο πάκτωσης με υλικό πάκτωσης φυσίγγια ρητίνης.

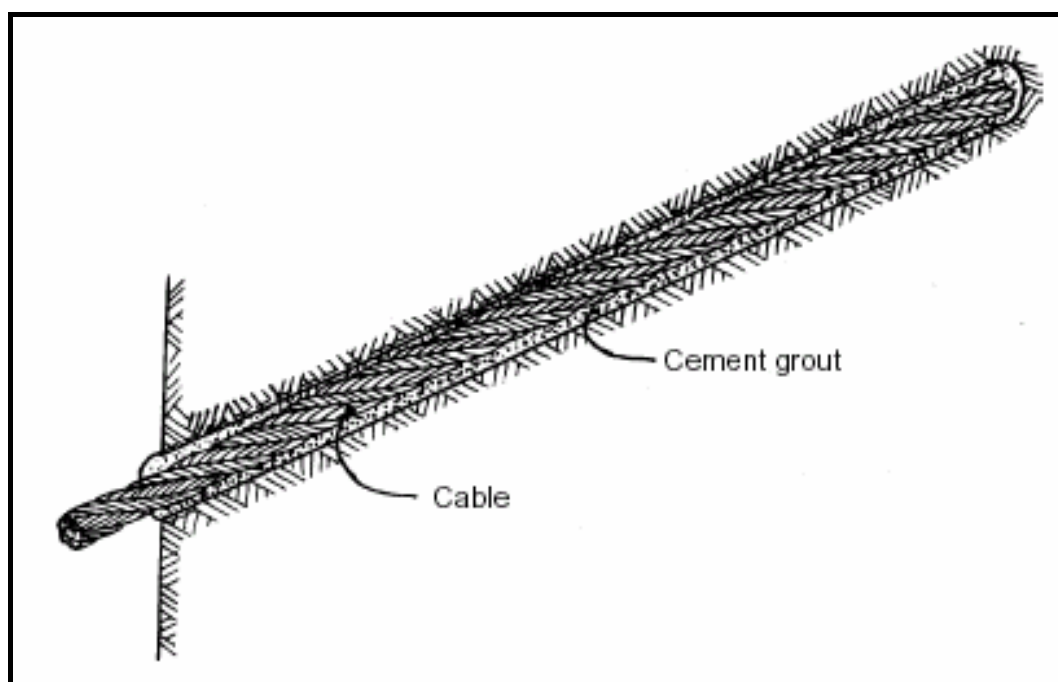
Πίνακας 6.4

Τεχνικά χαρακτηριστικά αγκυρίων πάκτωσης		
	Rebar	Threadbar
Ποιότητα χάλυβα	570 N/mm ²	1080 Kp/mm ²
Διάμετρος χάλυβα	20 mm	20 mm
Αποδιδόμενο φορτίο χάλυβα	120 KN (12 tons)	283 KN (28 tons)
Πραγματικό φορτίο χάλυβα	180 KN (18 tons)	339 KN (34 tons)
Τελική αξονική τάση χάλυβα	15%	9.5%
Βάρος αγκυρίου	2,6 Kg/m	2,6 Kg/m
Μήκος αγκυρίου	Οποιοδήποτε μήκος απαιτείται	
Διάμετρος οπής	30-40 mm	30-40 mm

Πακτωμένα αγκύρια καλωδίου

Ο πιο κοινός τύπος καλωδίου σ' αυτήν την κατηγορία είναι ένα ατσάλινο συρματόσχοινο με διάμετρο 15.2 – 15.7 mm εγκατεστημένο συνήθως εις διπλούν και σχεδιασμένο για συμπαγή υλικά. Χρησιμοποιείται και για τη στήριξη μεγάλων όγκων πετρωμάτων και για πιο εύκαμπτες αντιστηρίξεις.

Το αγκύριο καλωδίου μπορεί να εγκατασταθεί σε οποιοδήποτε μήκος κρίνεται απαραίτητο χωρίς μεγάλα έξοδα και πακτώνεται με κονίαμα τσιμέντου. Ακόμη παρέχει μεγάλη ικανότητα συγκράτησης φορτίων, δεν είναι ακριβό, έχει μεγάλη διάρκεια ζωής και αντέχει στη διάβρωση.



Σχήμα 6.40. Αγκύριο καλωδίου με υλικό πάκτωσης κονίαμα τσιμέντου.



Σχήμα 6.41. Μηχάνημα εγκατάστασης αγκυρίων καλωδίου μήκους 40 m.



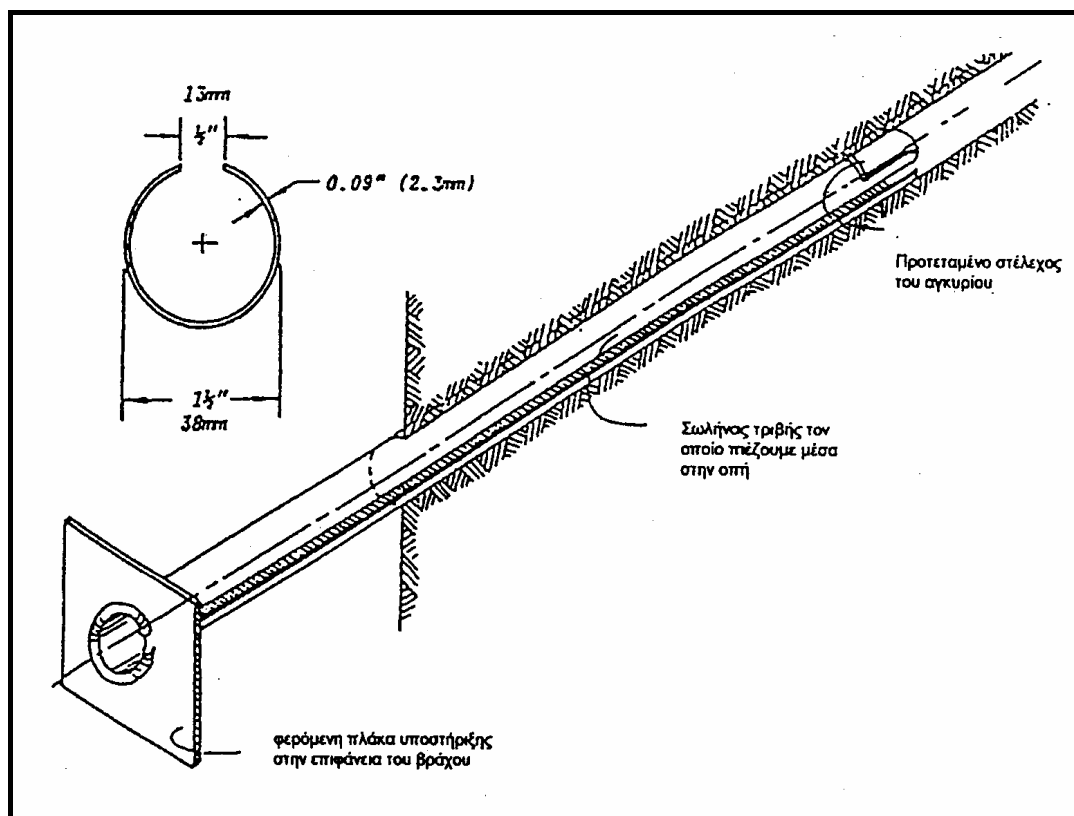
Σχήμα 6.42. Προετοιμασία εγκατάστασης αγκυρίων καλωδίου μήκους 40 m και ικανότητας 200 tons το καθένα, σε εκσκαφή φράγματος.

Αγκύρια τριβής

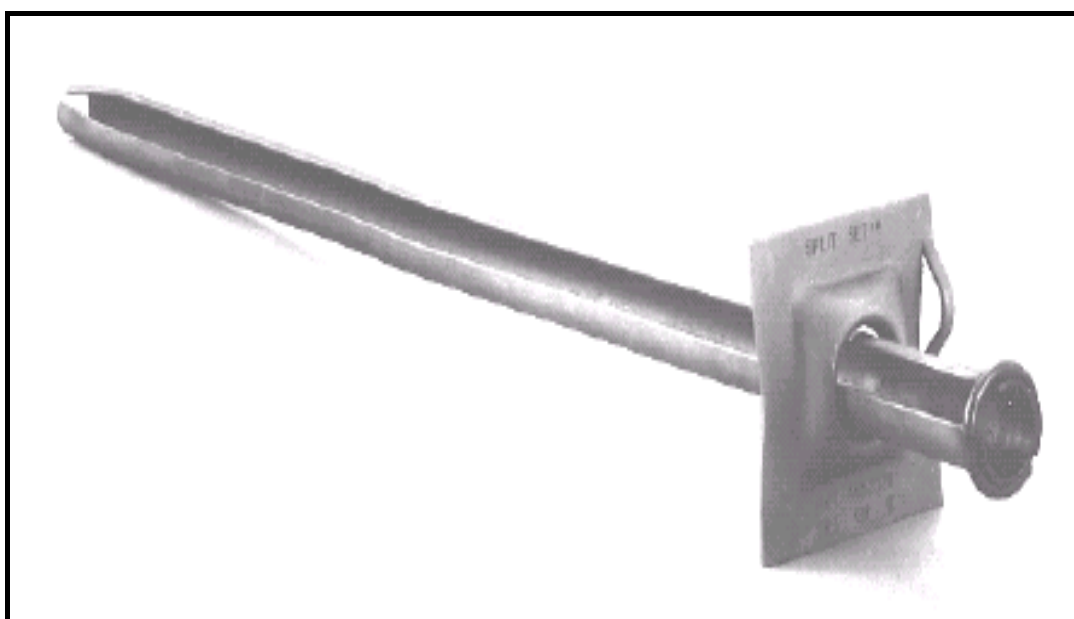
Τα αγκύρια αυτά αντιπροσωπεύουν την τελευταία πρόοδο της τεχνολογίας στην υποστήριξη βραχομάζας.

Διατίθενται δύο τύποι: Split set και Swellex.

α) Split set



Σχήμα 6.43. Αγκύρια τριβής τύπου Split set.

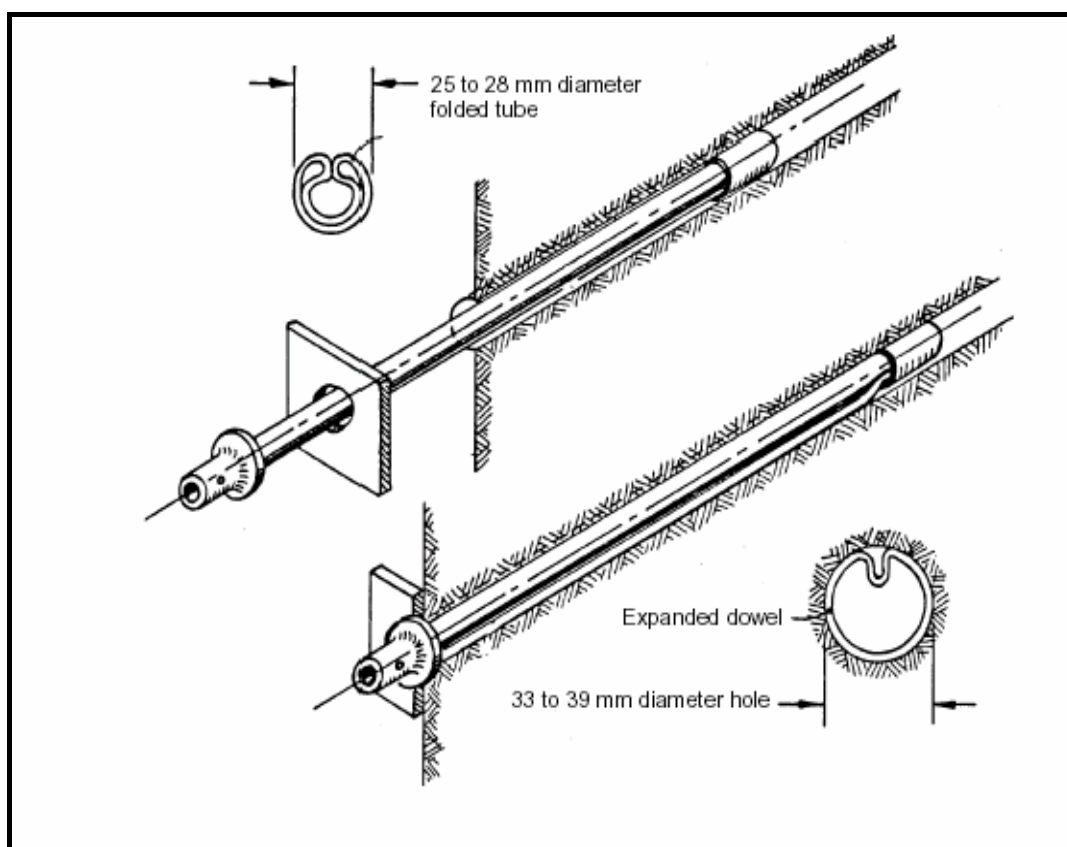


Σχήμα 6.44. Αγκύρια τριβής τύπου Split set (Ingersol-Rand Company).

Ο μηχανισμός αγκύρωσης του split set προκύπτει από δυνάμεις τριβής σ' ένα φορτίο που πλησιάζει την τελική ικανότητα φόρτισης του αγκυρίου όταν αυτό θα ολισθήσει. Το αγκύριο τότε μπορεί να συγκρατήσει μεγάλες μετατοπίσεις βραχομάζας χωρίς να αστοχήσει.

Το χαρακτηριστικό αυτών των αγκυρίων είναι ότι η διάμετρος της οπής είναι 35 mm, ενώ η διάμετρος του αγκυρίου είναι 38 mm. Το αγκύριο πιέζεται για να εισχωρήσει μέσα στην οπή, με αποτέλεσμα την παραγωγή μιας αντίστασης τριβής στην ολίσθηση του βράχου.

β) Swellex



Σχήμα 6.45. Αγκύρια τριβής τύπου Swellex.

Ο μηχανισμός αγκύρωσης του Swellex εξαρτάται από δυνάμεις τριβής σε συνδυασμό με μηχανισμό αλληλοσύνδεσης. Η αγκύρωση του Swellex παράγεται από δυνάμεις τριβής σ' ένα φορτίο που πλησιάζει την τελική ικανότητα συγκράτησης φορτίου του αγκυρίου. Η μηχανική αλληλοσύνδεση αγκυρίου – πετρώματος εμποδίζει το αγκύριο να ολισθήσει. Μ' αυτόν τον τρόπο αξιοποιείται ολόκληρη η δύναμη του αγκυρίου έτσι ώστε αποκτάται η μέγιστη τριβή.

Και για τα δύο συστήματα αγκύρωσης η αντίσταση τριβής στην ολίσθηση του πετρώματος πάνω στο χάλυβα παράγεται από μια ακτινωτή δύναμη ως προς τα τοιχώματα της οπής και κατά μήκος του στελέχους του αγκυρίου.



Σχήμα 6.46. Σωλήνες για αγκύρια τριβής τύπου Swellex (Atlas Company).

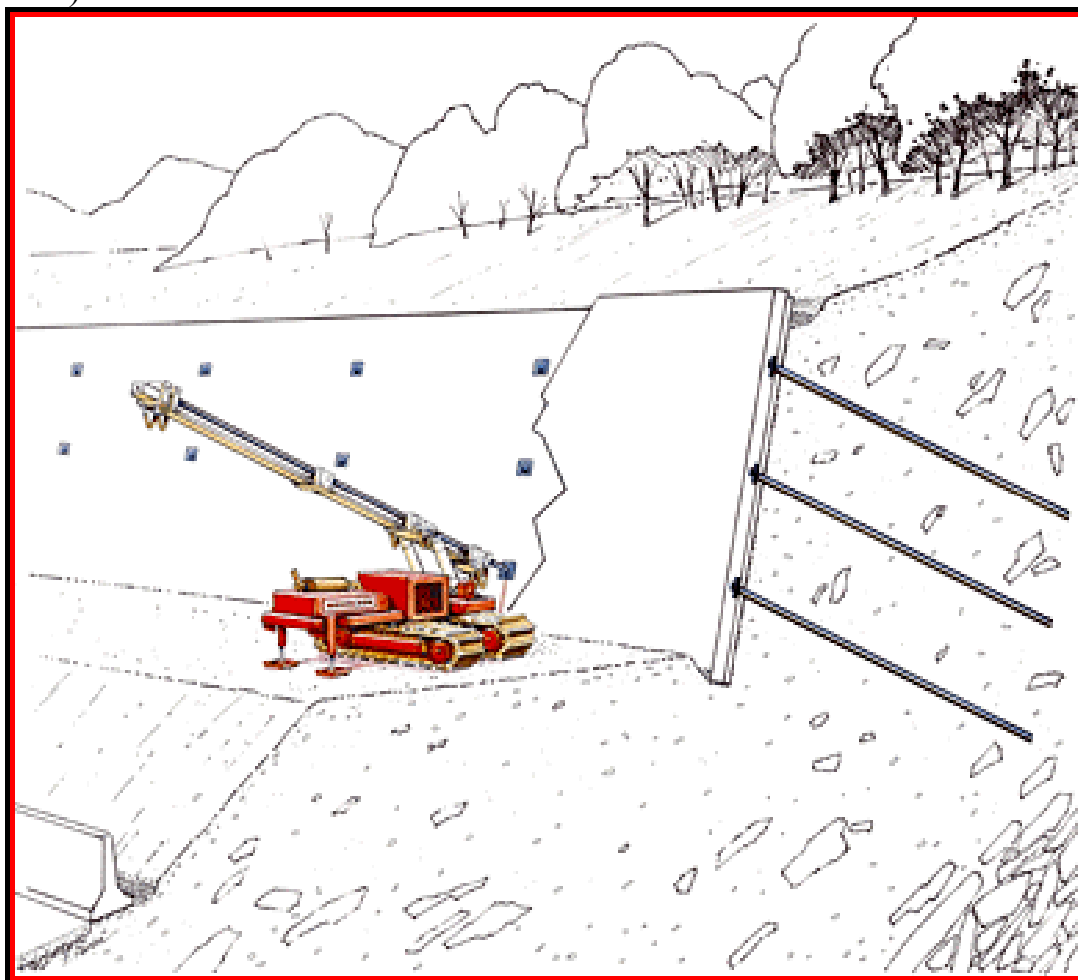
Πίνακας 6.5

Τεχνικά χαρακτηριστικά αγκυρίων τριβής		
	Split set SS-39	Swellex
Διάμετρος σωλήνα (ατσάλινος)	39 mm	25-28 mm
Μήκος σωλήνα	0,9 - 3 m	όσο απαιτείται
Αποδιδόμενο φορτίο	90 KN (9 tons)	130 KN (13 tons)
Πραγματικό φορτίο	110 KN (11 tons)	130 KN (13 tons)
Τελική αξονική τάση	16%	10%
Βάρος αγκυρίου	1,8 Kg/m	2 Kg/m
Διάμετρος οπής	35-38 mm	33-39 mm

Εδαφικά «καρφιά» – Soil nailing

Τα «εδαφικά» καρφιά είναι μια τεχνική ενίσχυσης του εδάφους. Εφαρμόζεται με την τοποθέτηση, σε μικρή απόσταση, μεταλλικών ράβδων στο έδαφος αυξάνοντας έτσι την αντοχή της εδαφικής μάζας.

Τα εδαφικά «καρφιά» εγκαθίστανται είτε σε προδιατρημένες οπές και πακτώνονται με ένεμα, είτε εγκαθίστανται απ'ευθείας στο έδαφος. Τα εδαφικά «καρφιά» συνήθως συνδέονται με «μέτωπο» από μπετόν που βρίσκεται στην επιφάνεια της κατασκευής. Ο ρόλος του μπετόν είναι περισσότερο να προστατέψει τα εδαφικά «καρφιά» από τη διάβρωση, παρά να λειτουργήσει σαν κατασκευή αντιστήριξης (Broms and Wong, 1991).



Σχήμα 6.47. Διαδικασία σταθεροποίησης πρανούς με εδαφικά «καρφιά».

Η μέθοδος των εδαφικών «καρφιών» χρησιμοποιείται για τον έλεγχο «ρηχών» κατολισθήσεων. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η ολίσθηση ελέγχεται με την έμπηξη ράβδων, διαμέτρου 15 – 30 mm, σε προδιατρημένες οπές, σε απόσταση ανά 2 m, οι οποίες τελικά πακτώνονται με ένεμα. Οι ράβδοι πρέπει να εκτείνονται πέρα από την επιφάνεια θραύσης, να εισέρχονται στο υγιές πέτρωμα. Τα εδαφικά «καρφιά» έχουν συνήθως μήκος 3 – 10 m.

Σταθεροποίηση εδαφών

Η σταθεροποίηση των εδαφών επιτυγχάνεται με μεθόδους που είναι γνωστές ως «σκλήρυνση» εδαφών.

Σε αυτές τις μεθόδους περιλαμβάνονται:

- Η *αποστράγγιση με ηλεκτροόσμωση* έχει το ίδιο αποτέλεσμα με την υπόγεια αποστράγγιση, αλλά διαφέρει διότι το νερό δεν αποστραγγίζεται λόγω της βαρύτητας, αλλά υπό την επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου. Ειδικότερα τοποθετούνται δύο ηλεκτρόδια στο έδαφος με τάση και το περιεχόμενο νερό κινείται από την άνοδο προς την κάθοδο, η οποία είναι δυνατό να είναι ένα διάτρητο στέλεχος γεώτρησης, απ' όπου αντλείται και στη συνέχεια απομακρύνεται. Η μέθοδος δίνει καλύτερα αποτελέσματα σε ιλυώδη εδάφη με κοκκομετρία από 0.005 ως 0.0005 mm, ενώ σε λεπτόκοκκες άμμους δεν μπορεί να εφαρμοστεί, διότι σ' αυτήν την περίπτωση οι δυνάμεις της βαρύτητας είναι πολύ πιο μεγάλες από τις δυνάμεις του ηλεκτρικού πεδίου, με αποτέλεσμα το νερό να κινείται προς τα κάτω και όχι προς τα ηλεκτρόδια. Η μέθοδος της ηλεκτρικής όσμωσης απαιτεί μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας, εφαρμόζεται μόνο σε ορισμένες περιπτώσεις και απαιτεί ειδικευμένο προσωπικό και συνεχή παρακολούθηση (Gedney & Weber, 1978).
- *Θέρμανση – Ψύξη*: Τόσο η θέρμανση όσο και η ψύξη είναι μέτρα που έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία σε εξαιρετικές περιπτώσεις για την αντιμετώπιση των κατολισθητικών φαινομένων σε εδάφη. Η θερμική αντιμετώπιση εφαρμόζεται μερικές φορές για τη στερεοποίηση αργιλικών εδαφών και συνίσταται στην εισπίεση θερμού αέρα, θερμοκρασίας περίπου 1000°C, μέσα σε γεωτρήσεις με τη χρήση ενός αεροσυμπιεστή και ενός καυστήρα. Ο αέρας διέρχεται δια μέσου των πόρων του εδάφους, το οποίο θερμαίνεται και μεταβάλλεται σε σκληρό σχηματισμό. Η ακτίνα δράσεως είναι 2 – 3 m.
Με τη ψύξη επιτυγχάνεται σε ειδικές περιπτώσεις η στερεοποίηση εδαφών, τα οποία περιέχουν μεγάλες ποσότητες νερού και βρίσκονται σε ρευστή ή ημίρρευστη κατάσταση. Η ψύξη διαρκεί για μικρό χρονικό διάστημα, όσο συνήθως απαιτείται για να γίνει εκσκαφή και θεμελίωση, και επιτυγχάνεται είτε με ψυκτικά μηχανήματα είτε με τη χρήση υγρού αζώτου.
Και οι δύο μέθοδοι εφαρμόζονται μόνο σε ελάχιστες περιπτώσεις, απαιτούν ειδικευμένο προσωπικό και έχουν υψηλό κόστος.

Σταθεροποίηση με φυτοκάλυψη

Κατά το τελευταίο στάδιο προστασίας ενός πρανούς γίνεται η φυτοκάλυψή του, η οποία αποτελεί αποτελεσματική μέθοδο, κυρίως όταν πρόκειται για επιφανειακές στρωματοειδείς ολισθήσεις. Η φυτοκάλυψη είναι ένα μέτρο, το οποίο εφαρμόζεται για τη σταθεροποίηση και την προστασία των επιφανειακών μαζών και των έργων που έχουν κατασκευαστεί και όχι για την αποκατάσταση ολόκληρου του κατολισθητικού φαινομένου. (Prandini et al., 1977). Η φυτοκάλυψη έχει δύο βασικούς στόχους, να μειώσει αφενός τις ποσότητες νερού που κατεισδύουν και αφετέρου να σταθεροποιήσει τα εδάφη δια μέσου του ριζικού συστήματος. Βαθιές κατολισθήσεις δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν με τη φυτοκάλυψη, μπορεί όμως να ελαττώσει την κατεισδυση του επιφανειακού νερού στο πρανές και επομένως να συμβάλλει έμμεσα στην σταθεροποίησή του.



Σχήμα 6.48. Σταθεροποίηση πρανούς με φύτευση χλοοτάπητα (grass mat).

Η μείωση των ποσοτήτων νερού που κατεισδύουν, επιτυγχάνεται με τη διαπνοή που γίνεται από τα φυλλώδη τμήματα των φυτών και γι' αυτό το λόγο προτείνονται τα φυτά τα οποία είναι φυλλοβόλα και βαθύρριζα και όχι κωνοφόρα. Η σταθεροποίηση των εδαφών επιτυγχάνεται με την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος το οποίο βέβαια μπορεί να συγκρατήσει μόνο τις επιφανειακές μάζες, διότι δε φθάνει σε μεγάλο βάθος. Επίσης ορισμένα είδη φυτών που αναπτύσσονται γρήγορα και φτάνουν σε μεγάλα ύψη και έχουν τελείως επιφανειακό ριζικό σύστημα είναι δυνατό να έχουν αρνητικές συνέπειες στην κατολισθαίνουσα μάζα, διότι μεταφέρουν σ' αυτή δια μέσου του κορμού τους όλες τις τάσεις που δέχονται λόγω των ανέμων και του βάρους τους. Πάντως σε γενικές γραμμές συνίσταται πρώτα η φύτευση χλοοτάπητα (grass mat) και θάμνων και στη συνέχεια η ανάπτυξη της φυτοκάλυψης με μικρά ποώδη δέντρα.

Θραύση της επιφάνειας ολίσθησης με εκρηκτικά

Μια αμφισβητούμενης αποτελεσματικότητας μέθοδος είναι η θραύση της επιφάνειας ολίσθησης με εκρηκτικά. Συχνά όμως αναφέρονται ότι οι εκρήξεις αντί να βελτιώνουν χειροτερεύουν τις συνθήκες ευστάθειας. Η μέθοδος χρησιμοποιείται σε μερικές μόνο περιπτώσεις, κυρίως σε ολισθήσεις κατά μήκος επιπέδων με υποκείμενα σκληρά πετρώματα, πλην όμως τα αποτελέσματά της είναι προσωρινά. Αναμένεται η παραπέρα χαλάρωση των υλικών ενώ το θετικό αποτέλεσμα αναμένεται να προέλθει από τον υποβιβασμό της στάθμης του υδροφόρου και την ανάμιξη των τεμαχών της επίπεδης επιφάνειας θραύσης με το υπερκείμενο αργιλικό, οπότε θα αυξηθεί η αντίσταση στην τριβή.

Τσιμεντενέσεις

Οι τσιμεντενέσεις είναι ένα μέτρο το οποίο συμβάλλει στην στερεοποίηση και στεγανοποίηση των σχηματισμών. Με την εφαρμογή των τσιμεντενέσεων αυξάνουμε σημαντικά τη διατμητική αντοχή των σχηματισμών και μειώνουμε τις ποσότητες του υπόγειου νερού που κυκλοφορούν στην μάζα τους.

Από τις προηγούμενες αναπτύξεις των κυριοτέρων μέτρων προστασίας διαφαίνεται ότι ανάλογα με τη φύση του πρανούς (εδαφικό ή βραχώδες) αντιστοιχούν και τα ανάλογα μέτρα.

Στα εδαφικά πρανή κατασκευάζονται κυρίως τοίχοι αντιστήριξης σε αντίθεση με τα βραχώδη όπου η τοποθέτηση αγκυρίων είναι πιο διαδεδομένη. Όσον αφορά τις άλλες μεθόδους, όπως αλλαγή γεωμετρίας πρανούς, κατασκευή αποστραγγιστικών οπών, έλεγχος της επιφανειακής απορροής, συμπεραίνουμε ότι τόσο στα εδαφικά όσο και στα βραχώδη πρανή εφαρμόζονται εξίσου. Βέβαια ορισμένα μέτρα (π.χ φυτοκάλυψη) χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σε μία από τις δύο κατηγορίες πρανών.

Στον παρακάτω πίνακα (6.6) παρουσιάζονται συνοπτικά τα μέτρα προστασίας ανάλογα με το είδος του πρανούς. (Hunt, 1984).

ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΟΥΣ		
Μέθοδος	Συνθήκες	Γενικός σκοπός (πρόληψη ή αποκατάσταση)
ΑΛΛΑΓΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ		
Μείωση ύψους	Περιστροφικές ολισθήσεις	Πρόληψη/αποκατάσταση στα αρχικά στάδια
Μείωση κλίσης	Εδαφικά/Βραχώδη πρανή	Πρόληψη/αποκατάσταση στα αρχικά στάδια
Προσθήκη βάρους στη βάση του πρανούς	Εδαφικά πρανή	Αποκατάσταση στα αρχικά στάδια
ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ		
Φυτοκάλυψη	Εδαφικά πρανή	Πρόληψη
Πλήρωση ρωγμών	Εδαφικά/Βραχώδη πρανή	Πρόληψη/αποκατάσταση στα αρχικά στάδια
Συστήματα Αποστράγγισης	Εδαφικά πρανή Βράχος σε αποσύνθεση	Πρόληψη/αποκατάσταση στα αρχικά στάδια
ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ		
Βαθιά φρεάτια (Deep wells)	Βραχώδεις μάζες	Προσωρινή αποκατάσταση
Κάθετα στραγγιστήρια βαρύτητας (Vertical gravity drains)	Εδαφικά/Βραχώδη πρανή	Πρόληψη/αποκατάσταση στα αρχικά στάδια
Υποοριζόντια στραγγιστήρια (Subhorizontal drains)	Εδαφικά/Βραχώδη πρανή	Προστασία/αποκατάσταση στα αρχικά έως τα μέσα στάδια
Στοές (Galleries)	Βράχος / Σκληρά εδάφη	Πρόληψη/αποκατάσταση στα αρχικά στάδια
Φρεάτια εκτόνωσης (Relief wells)	Εδαφικά πρανή	Αποκατάσταση στα αρχικά στάδια
Τάφροι στον πόδα (Toe trenches)	Εδαφικά πρανή	Αποκατάσταση στα αρχικά στάδια
Στραγγιστήρια ανάσχεσης (Interceptor trench drains)	Εδαφικά πρανή	Πρόληψη/αποκατάσταση στα αρχικά στάδια
Στραγγιστήρια επικάλυψης (Blanket drains)	Εδαφικά πρανή	Προστασία
Ηλεκτροώσμωση	Εδαφικά πρανή (Ιλύες)	Προσωρινή Πρόληψη/αποκατάσταση στα αρχικά στάδια
Χημικά	Εδαφικά (Αργίλους)	Πρόληψη/αποκατάσταση στα αρχικά στάδια

ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗ		
Βάθρα από μπετόν (Concrete pedestals)	Κρεμάμενοι βράχοι	Πρόληψη
Αγκύρια (Rock bolts)		
Αγκύρια καλωδίου (Cable anchors)	Διακλασμένα ή Διατμημένα βραχώδη πρανή	Πρόληψη Σταθεροποίηση των ολισθαινόντων τεμαχών
Συρματοπλέγματα (Wire meshes)	Κεκλιμένα βραχώδη στρώματα	Πρόληψη Αποκατάσταση στα αρχικά στάδια
Τοίχοι ανάσχεσης από μπετόν (Concrete impact walls)	Απόκρημνα βραχώδη πρανή	Πρόληψη Περιορισμός των καταπτώσεων
Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (Shotcrete)	Μέτρια πρανή	Περιορισμός της ολίσθησης και των καταπτώσεων
Αντιστήριξη με βραχώδη υλικά (Rock-filled buttress)	Μαλακά ή διακλασμένα βραχώδη πρανή	Πρόληψη
(Gabion wall)	Σκληρά εδαφικά/μαλακά βραχώδη πρανή	Πρόληψη / αποκατάσταση στα αρχικά στάδια
(Crib wall)	Μέτρια / σκληρά εδαφικά πρανή	Πρόληψη / αποκατάσταση στα αρχικά στάδια
Ενισχυμένος γήινος τοίχος (Reinforced earth wall)	Εδαφικά/Βραχώδη πρανή σε αποσύνθεση	Πρόληψη
Τοίχοι βαρύτητας από μπετόν (Concrete gravity walls)	Εδαφικά / βραχώδη πρανή	Πρόληψη
Αγκυρωμένοι τοίχοι από μπετόν τύπου κουρτίνας (Anchored concrete curtain wall)	Εδαφικά/Βραχώδη πρανή σε αποσύνθεση	Πρόληψη / αποκατάσταση Αρχικά έως ενδιάμεσα στάδια
Διάτρηση ή έμψη πασσάλων (Bored or root piles)	Εδαφικά/Βραχώδη πρανή σε αποσύνθεση	Πρόληψη / αποκατάσταση στα αρχικά στάδια

Πίνακας 6.6 (Συνοπτική παρουσίαση μεθόδων αποκατάστασης πρανούς, Hunt 1984).

7. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΟΥ – ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

Το έργο αναφέρεται στην κατασκευή υψηλού ανοικτού ορύγματος για την εξυπηρέτηση των δύο κλάδων κυκλοφορίας του αυτοκινητοδρόμου Θεσ/νίκη – Στρυμόνας της Εγνατίας Οδού, στο υποτμήμα Βόρεια Παράκαμψη Ασπροβάλτας, Τμήμα Ρεντίνα – Στρυμόνας.

Κατά τη διαδικασία πραγματοποίησης των χωματουργικών εργασιών για την κατασκευή αναβαθμίδων για την δημιουργία του οδικού δικτύου (Μάρτιος 2002), μετά από μια έντονη περίοδο βροχοπτώσεων, έγινε κατολίσθηση των ανώτερων αναβαθμίδων του ορύγματος που βρίσκεται στη Χ.Θ 9800 – 9900 του αυτοκινητοδρόμου Θεσ/νίκη – Στρυμόνας.



Εικόνα 7.1. Κατολίσθηση αναβαθμίδων το Μάρτιο του 2002



Εικόνα 7.2. Κατολίσθηση αναβαθμίδων το Μάρτιο του 2002



Εικόνα 7.3. Κατολίσθηση αναβαθμίδων το Μάρτιο του 2002

Μετά την κατολίσθηση άρχισε να γίνεται σταδιακά η αποκομιδή των υλικών της κατολίσθησης με χωματουργικά μηχανήματα.

Το κατολισθητικό φαινόμενο όμως συνέχισε με συνέπεια την ολοκληρωτική κατάρρευση των αναβαθμίδων και την πλευρική εξάπλωση της κατολίσθησης.



Εικόνα 7.4. Ολική κατάρρευση των αναβαθμίδων. Σημερινή κατάσταση (Σεπτέμβριος 2003)



Εικόνα 7.5. Ολική κατάρρευση των αναβαθμίδων. Σημερινή κατάσταση (Σεπτέμβριος 2003)



Εικόνα 7.6. Εμφανής η απεικόνιση της στέψης και της κύριας πτώσης της κατολίσθησης.



Εικόνα 7.7. Εφελκυστικές ρωγμές πάνω στις αναβαθμίδες.

7.1 Γεωλογική – Γεωτεχνική Έρευνα Κατολίσθησης

Η Γεωτεχνική μελέτη μιας κατολίσθησης συνίσταται στη συνεκτίμηση της γεωλογικής δομής της ευρύτερης περιοχής και των αποτελεσμάτων από τις ερευνητικές εργασίες σχετικά με την κατολισθαίνουσα μάζα.

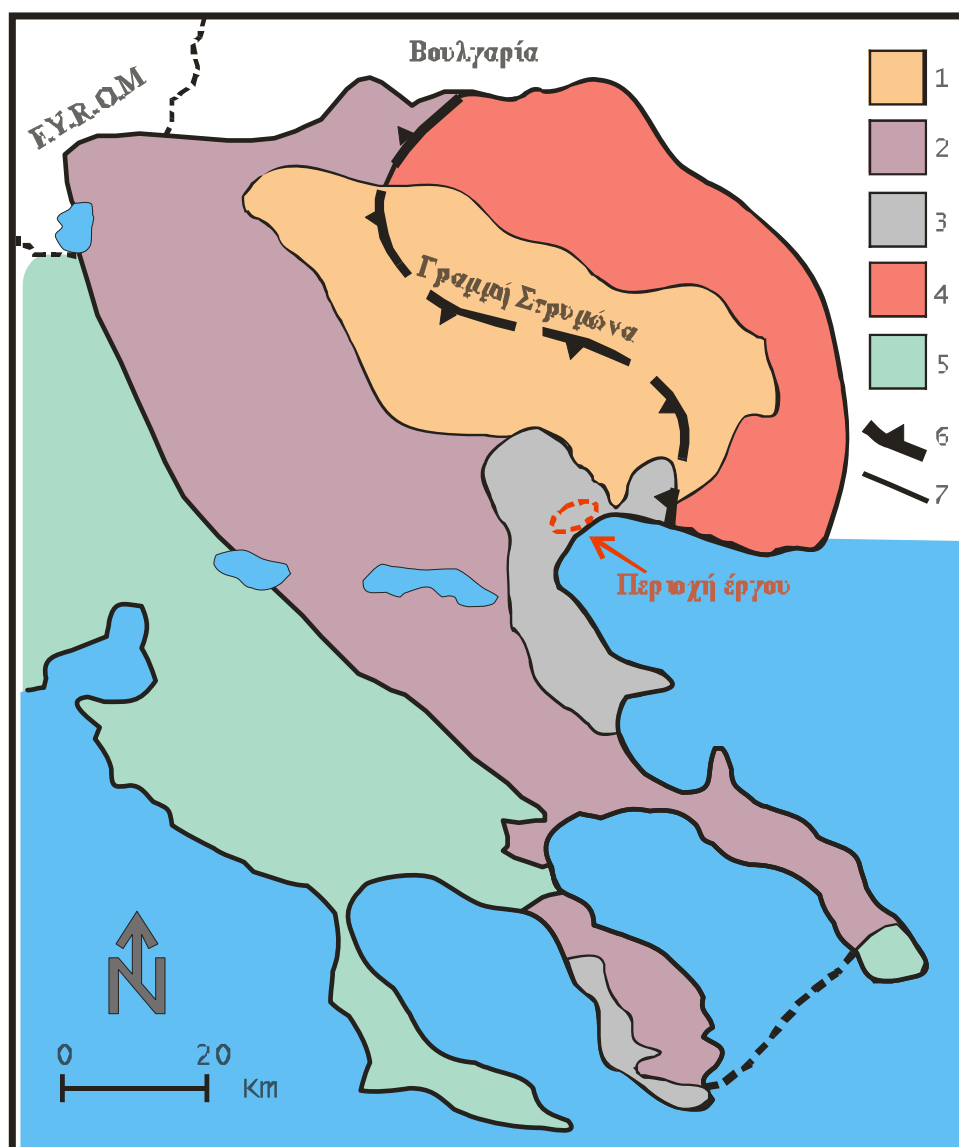
Η αναγνώριση μιας κατολίσθησης καθώς και ο προσδιορισμός του τύπου και των αιτιών της παίζουν πρωταρχικό ρόλο στη λήψη των κατάλληλων μέτρων για τον έλεγχο και την αποκατάσταση αυτής.

Η έρευνα της κατολίσθησης που αποτελεί το κυρίως μέρος της διατριβής ειδικεύεται περιλαμβάνει :

- Την τοπογραφική αποτύπωση της περιοχής κατολίσθησης και την ψηφιακή τρισδιάστατη απεικόνιση αυτής με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S). – Εφαρμογή λογισμικού Map Info).
- Την επεξεργασία και την ανάλυση των γεωλογικών – πετρολογικών δεδομένων των δειγμάτων των πυρηνοληπτικών γεωτρήσεων.
- Την πραγματοποίηση εργαστηριακών δοκιμών εδαφομηχανικής για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών των εδαφικών υλικών καθώς και την κατάταξή τους σύμφωνα με το Ενιαίο Σύστημα Ταξινόμησης των Εδαφών (ASTM – D 2487).
- Τον προσδιορισμό των αιτιών και των μηχανισμών της κατολίσθησης.
- Την ανάλυση ευστάθειας του πρανούς με την εφαρμογή των κλασσικών μεθόδων της εδαφομηχανικής (Bishop, Janbu, Morgenstern – Price), με τη χρήση του λογισμικού πακέτου SLOPEW.
- Τον προσδιορισμό των πιθανών μέτρων αντιμετώπισης της κατολίσθησης με βάση όλα τα παραπάνω.

7.2 Γεωλογική δομή περιοχής

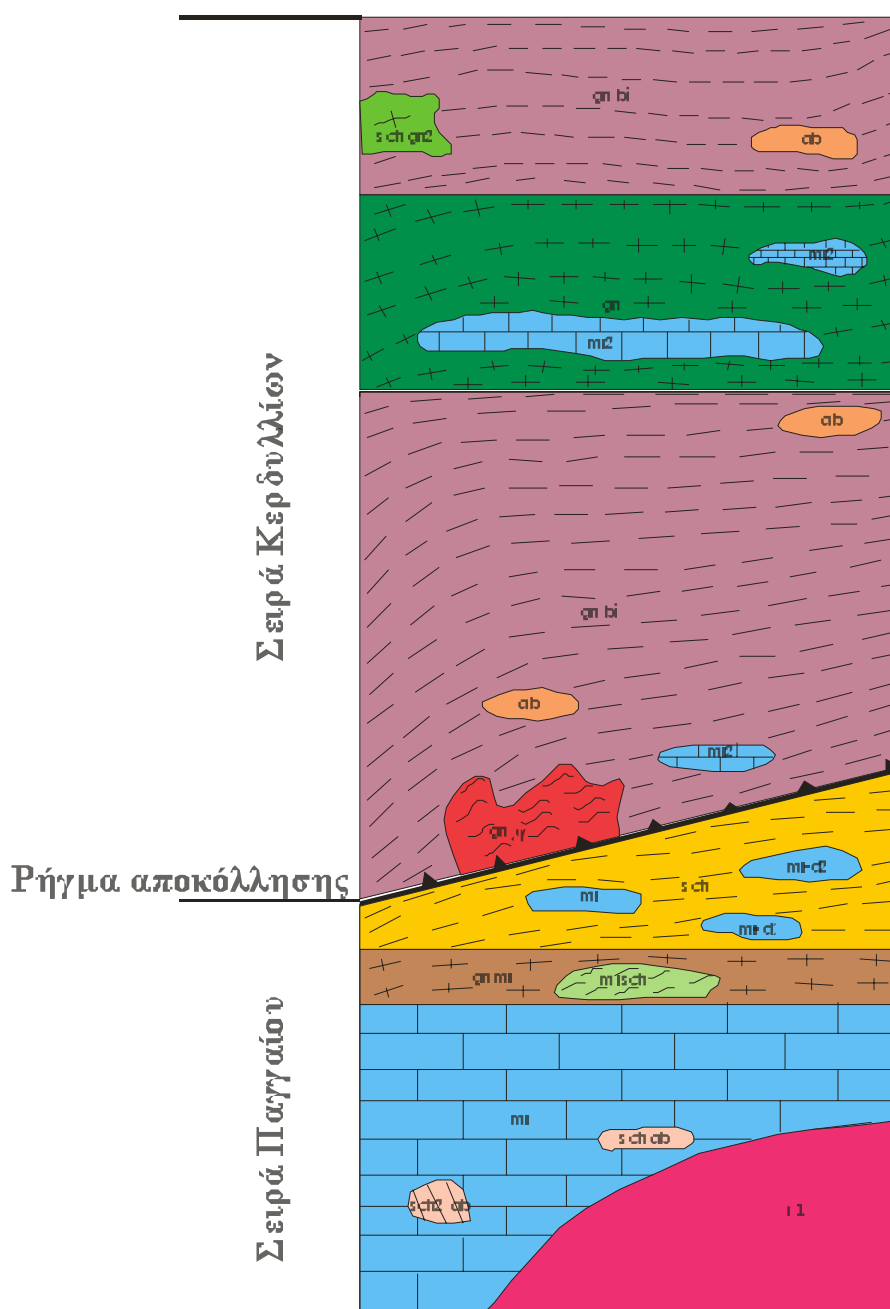
Η ευρύτερη περιοχή του έργου ανήκει γεωλογικά στην Σερβομακεδονική μάζα. Η Σερβομακεδονική μάζα αποτελεί τη νοτιότερη συνέχιση των μεταμορφωμένων πετρωμάτων που προεξέχουν στη νοτιοδυτική Βουλγαρία και νοτιοανατολική πρώην Γιουγκοσλαβία. Ανήκει στην Ελληνική ενδοχώρα και έχει πολύπλοκη τεκτονική δομή με ετερογενή ανάμειξη μεταμορφικών λιθολογικών μονάδων του Παλαιοζωικού ή παλαιότερης ηλικίας, στην οποία εισβάλλουν Μεσοζωικά και Καινοζωικά γρανιτοειδή. (Dimitrijevic & Ciric 1996; Kockel et al. 1971, 1977; Jaconshagen et al. 1978; Sakellariou 1989; Chatzidimitriadis et al. 1985; De Wet et al. 1989; Sidiropoulos 1991; Kourou 1991).



Σχήμα 7.1. Τεκτονικό σκαρίφημα της Σερβομακεδονικής μάζας. 1: μεταλικά ιζήματα της κοιλάδας του Στρυμώνα, 2: σειρά Βερτίσκου, 3: σειρά Κερδυλλίων, 4: μάζα Ροδόπης, 5: Περιοδοπική ζώνη, 6: ανατολικό όριο Σερβομακεδονικής (Γραμμή Στρυμώνα), 7: δυτικό όριο Σερβομακεδονικής

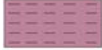
Στα δυτικά, η Σερβομακεδονική μάζα συνορεύει τεκτονικά κυρίως με Μεσοζωικά μεταλπηκά ιζήματα και μαγματικά πετρώματα της Περιοδοπικής ζώνης. (Kauffman et al. 1976; Kockel et al. 1977). Ακόμη πιο δυτικά, οφειολιθικά πετρώματα της ζώνης Αξιού προεκτείνονται κατά μήκος των δυτικών συνόρων της Περιοδοπικής ζώνης, σχηματίζοντας επωθημένα κατάλοιπα της ωκεάνιας ζώνης του Αξιού ηλικίας Ιουρασικού. (Mercier 1968; Mercier et al. 1975; Jacobshagen et al. 1978; Vergely 1984).

Στα ανατολικά η Σεβομακεδονική μάζα επικάθεται τεκτονικά, με ένα κανονικό ρήγμα αποκόλλησης, πάνω στην ενότητα Παγγαίου της κρυσταλλικής μάζας της Ροδόπης.



Σχήμα 7.2. Στρωματογραφική στήλη Σερβομακεδονικής Περιοδοπικής.

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

-  **Βιοτιτικοί γνεύσιοι gn,bi**, αδροκρυσταλλικοί, σε στρώσεις πάχους 1-2 m. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα η αφθονία πηγματιτικών ή πηματοειδών φλεβών. Συνολικό πάχος περίπου 1100 μ.
-  **Μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι εναλλασσόμενοι με μαρμαρυγακούς γνεύσιους sch,gn2** με παρεμβολές αδροκρυσταλλικών χαλαζιακών αμφιβολιτών και επιδοτιτικών ακτινολιθικών σχιστολίθων
-  **Γνεύσιοι gn**, τεφροί, αδροκρυσταλλικοί, συμπαγείς, λευκοκρατικοί, πλούσιοι σε μικροκλινή και φτωχοί σε μαρμαρυγίες. Πάχος περίπου 350 m.
-  **Μάρμαρα Κερδυλλίων mr2**, γκρίζα, μικρο-αδροκρυσταλλικά, συνήθως σε πάγκους, σπανιότερα πλακοειδή, κατακερματισμένα. Πάχος περίπου 80 m.
-  **Αμφιβολίτες Κερδυλλίων ab**, με χρώμα σκούρο πράσινο, συνήθως μικροκρυσταλλικοί σε στρώσεις πολύ λεπτές.
-  **Μιγματιτικοί γνεύσιοι gn,mg** με χρώμα ανοικτό μέχρι σκούρο γκρίζο, μεσοκρυσταλλικοί, με χαρακτηριστικές ακανόνιστες εναλλαγές μεταξύ στρώσεων πλούσιων σε χαλαζία και άστριους και άλλων πλούσιων σε φεμικά ορυκτά.
-  **Μάρμαρα βιτουμεινούχα mr3** σκούρα τεφρά μέχρι μαύρα, μικροκρυσταλλικά, πλακάωδη και ελαφρά τεκτονισμένα.
-  **Μάρμαρα Παγγαίου mr** τεφρά μέχρι υπόλευκα, λεπτοκρυσταλλικά μέχρι αδροκρυσταλλικά, συνήθως στρωσιγενή, σπανιότερα άστρωτα, κατά θέσεις πλακάωδη ή με λατυποπαγοειδή ιστό, πολύ σπάνια με βιοτίτη και κεροστίλβη. Πάχος περίπου 800 m.
-  **Μάρμαρα Δολομιτικά mr-d2** συνήθως λευκα, σπάνια με κίτρινη χροιά ζαχαρώδη, μικροκρυσταλλικά, λεπτοστρωματώδη, έντονα κατακερματισμένα.
-  **Μάρμαρα Δολομιτικά και αγκεριτωμένα mr-d1** κιτρινόφαια, λεπτοκρυσταλλικά, συμπαγή, εμποτισμένα από λειμωνίτη, με πολλές φλέβες ασβεστίτη και σπάνιες βαρύτη. Απαντούν κοντά στο γρανοδιορίτη.
-  **Μάρμαρα Παγγαίου με παρεμβολές σχιστολίθων ή παραγνεύσιων mr,sch.**
-  **Σχιστόλιθοι και γνευσιοσχιστόλιθοι sch** χρώμα κυρίως τεφρό, κατά θέσεις καστανό ή πράσινο, μικροκρυσταλλικοί μέχρι μεσοκρυσταλλικοί, σε εναλλαγές στρώσεων πάχους 1-2 m.
-  **Παραγνεύσιοι με ενστρώσεις μαρμάρων gn,mg** τεφροί μέχρι κιτρινοκαστανοί, αδροκρυσταλλικοί με κύρια ορυκτά Κ-άστριους χαλαζία, μοσχοβίτη ή και βιοτίτη.
-  **Πρασινοσχιστόλιθοι και αμφιβολίτες με παρεμβολές μαρμάρων sch2,ab** οι πρασινοσχιστόλιθοι είναι πράσινοι-βαθυπράσινοι μεσοκρυσταλλικοί και μεσοστρωματώδεις. Χαρακτηριστικές εναλλαγές ζωνών πάχους 1m.
-  **Σχιστόλιθοι με παρεμβολές πρασινοσχιστολίθων και αμφιβολιτών sch,ab** οι αμφιβολίτες είναι βαθυπράσινοι, μικρο έως μεσοκρυσταλλικοί με ευκρινή σχιστότητα και με έντονες εναλλαγές μεταξύ ζωνών πλούσιων σε λευκοκρατικά ορυκτά.
-  **Γρανοδιορίτης έως χαλαζιακός Μονζονίτης Γ** χρώμα γκρίζο έως κοκκινωπό, συμπαγής, αδροκρυσταλλικός. Στην περιφέρειά του παρουσιάζει γνευσιοειδή ιστό λόγω τεκτονισμού. Κύρια ορυκτά : άστριοι, χαλαζίας, βιοτίτης, μοσχοβίτης, πράσινη κεροστίλβη.

Το κρυσταλλοσχιστώδες της Σερβομακεδονικής μάζας διαιρείται σε δύο μεγάλες σειρές πετρωμάτων : την κατώτερη και αρχαιότερη σειρά των Κερδυλλίων και την ανώτερη σειρά του Βερτίσκου. Μεταξύ των δύο σειρών, σύμφωνα με τους ερευνητές που έκαναν την αρχική διαίρεση (Kockel & Walter 1968), υπάρχει συμφωνία και ομαλή μετάβαση της κατώτερης σειράς προς την ανώτερη. Φαίνεται όμως πιο πιθανό ότι ανάμεσα στις δύο σειρές – ενότητες υπάρχει τεκτονική επαφή, η φύση

και η σημασία της οποίας δεν έχουν διευκρινισθεί. Η περιοχή της Ασπροβάλτας ανήκει στη σειρά των Κερδυλλίων.

Η σειρά των Κερδυλλίων καταλαμβάνει την Ανατολική Χαλκιδική μεταξύ των εκβολών του Στρυμόνα και του Στρατωνίου. Το συνολικό της πάχος είναι περίπου 3000 μέτρα και τα πετρώματά της συνιστούν τους βαθύτερους ορίζοντες πετρωμάτων σ' όλη την Ελλάδα.

Οι λιθολογικές φάσεις της σειράς Κερδυλλίων από τους ανώτερους ορίζοντες προς τους κατώτερους είναι οι εξής :

1. **Ανώτερο μάρμαρο**, πάχους 30 – 100 μέτρων, με παρεμβολές βιοτιτικών γνευσίων, βιοτιτικών – κεροστιλβικών γνευσίων, μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων, επιδοτιτικών – ακτινολιθικών σχιστόλιθων και αμφιβολιτών.
2. **Βιοτιτικός γνεύσιος**, πάχους 700 – 1000 μέτρων, με παρεμβολές βιοτιτικών – κεροστιλβικών γνευσίων, αμφιβολιτών και λεπτών ενστρώσεων μαρμάρων.
3. **Ενδιάμεσο μάρμαρο**, πάχους περίπου 10 – 200 μέτρων, με παρεμβολές αμφιβολιτών και γνευσίων.
4. **Βιοτιτικός γνεύσιος**, πάχους περίπου 1000 μέτρων, με παρεμβολές αμφιβολιτών και ασβεστοπυριτικών πετρωμάτων.
5. **Κατώτερο μάρμαρο**, πάχους μέχρι 150 μέτρων.
6. **Βιοτιτικός γνεύσιος**, πάχους περίπου 700 μέτρων.

Κατά το Δημητριάδη (1974), που μελέτησε τους ορίζοντες 4 – 6 της σειράς Κερδυλλίων, η γενική μεταμόρφωση των πετρωμάτων αυτών έγινε σε συνθήκες κορδιεριτικής – αμφιβολιτικής φάσης. Ειδικότερα οι βαθύτεροι ορίζοντες μεταμορφώθηκαν σε συνθήκες σιλλιμανιτικής – κορδιεριτικής – καλιοαστριούχου – αλμανδινικής υπόφασης, που είναι η υψηλότερη υπόφαση της αμφιβολιτικής φάσης με συνθήκες θερμοκρασίας 670° – 680° και πίεσης 3,5 Kbars. Στους ίδιους ορίζοντες διαπιστώθηκαν επίσης φαινόμενα ανάτηξης με σχηματισμό μιγματιτικών πετρωμάτων. Ένα επίσης χαρακτηριστικό της σειράς Κερδυλλίων είναι η παρουσία σωμάτων γρανιτοειδών (Πηγματίτες) που διεισδύουν στη Σερβομακεδονική Μάζα. Οι Borsi et al, (1965) χρονολόγησαν τα σώματα πηγματίτη ως διεισδύσεις ηλικίας Κατώτερου Παλαιοζωικού (316 – 275 Ma μέθοδος Rb – Sr).

7.3 Αξιολόγηση Δεδομένων Δειγματοληπτικών Γεωτρήσεων

Στα πλαίσια των απαιτούμενων γεωλογικών – γεωτεχνικών ερευνών για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της κατολίσθησης πραγματοποιήθηκαν 5 ερευνητικές δειγματοληπτικές γεωτρήσεις κατά μήκος, του άξονα περίπου, της κατολίσθησης. Οι συντεταγμένες των γεωτρήσεων αναφέρονται στο παρακάτω πίνακα. Στον τοπογραφικό χάρτη γίνεται απεικόνιση των σημείων όπου εκτελέστηκαν οι γεωτρήσεις.

Πίνακας 7.1. Συντεταγμένες ερευνητικών – δειγματοληπτικών γεωτρήσεων

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	X	Y	Z
ΓΣ5	477125,360	4511615,410	72,730
ΓΣ4	477093,790	4511633,360	79,930
ΓΣ3	477059,670	4511675,440	92,780
ΓΣ6	477016,230	4511718,350	120,581
ΓΣ1	476987,870	4511767,470	149,020

Πραγματοποιήθηκε αναγνώριση και περιγραφή των εδαφικών και βραχωδών υλικών καθώς και εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής για την ακριβή ονοματολογία των εδαφικών υλικών (προϊόντα από την αποσάθρωση των γνευσιακών πετρωμάτων.).

Από την επεξεργασία των δεδομένων των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα για τους τύπους των πετρωμάτων το βαθμό αποσάθρωσης τη μικροτεκτονική και την στρωματογραφία της περιοχής.

Επιφανειακά υπάρχει ένα ομοιογενές εδαφικό υλικό με πάχος 3 – 6 m που προέρχεται από την πλήρη εξαλλοίωση των γνευσιακών πετρωμάτων και περιγράφεται (από κοκκομετρίες) ως ιλυώδης άμμος με χάλικες και μεγαλύτερα εγκλείσματα αποσαθρωμένου γνευσίου.

Βαθύτερα ξεκινάει η εμφάνιση των πετρωμάτων του υποβάθρου, βιοτιτικός γνεύσιος, ο οποίος χαρακτηρίζεται από ποικίλους βαθμούς αποσάθρωσης και εμφανίζεται σε εναλλαγές με άλλα γνευσιακά πετρώματα όπως : Λευκοκρατικός γνεύσιος, Μιγματιτικός γνεύσιος, Διμαρμαρυγιακός γνεύσιος, Στη γνευσιακή μάζα εμφανίζονται επίσης και ενστρώσεις μαρμάρων, αμφιβολιτών και κυρίως πηγματιτών σε ποσοστό 20–25%.

Ζώνες επιφανειακών αποσαθρωμένων γνευσίων συναντώνται σε βαθύτερες ζώνες, υποκείμενοι βιοτιτικών γνευσίων, που αποτελούν το

γενικό υπόβαθρο της περιοχής. Η στρωματογραφική ανακολουθία αποδίδεται σε αναστροφή πτυχώσεων κατά τη διάρκεια περιόδων ισχυρών τεκτονικών δράσεων στην ευρύτερη περιοχή, που είχαν ως αποτέλεσμα τις μετακινήσεις των αποσαθρωμένων γνευσιακών υλικών από την επιφάνεια σε μεγαλύτερα βάθη.

Ως χαρακτηριστικό λοιπόν της γεωλογικής συγκρότησης στην περιοχή του έργου φέρεται η απουσία στρωματογραφικής διάταξης των γνευσίων.

Η αποσάθρωση των γνευσιακών πετρωμάτων είναι ολοκληρωτική επιφανειακά και το υλικό χαρακτηρίζεται ως έδαφος (R.S : Residual soil κατά την British Geological Society, 1970). Από τα στοιχεία των γεωτρήσεων φαίνεται ότι με την αύξηση του βάθους παρατηρείται και βελτίωση της ποιότητας των γνευσιακών πετρωμάτων και η βραχομάζα χαρακτηρίζεται λίγο (S.W) έως ελάχιστα (F.W) αποσαθρωμένη. Επίσης από τις γεωτρήσεις προκύπτει η εμφάνιση ζωνών αυξημένης αποσάθρωσης μεταξύ τμημάτων υγιέστερης βραχομάζας, που οφείλεται στην έλλειψη στρωματογραφικής ακολουθίας που αναφέρθηκε παραπάνω.

Πίνακας 7.2 Κατηγορίες πετρωμάτων με βάση το βαθμό αποσάθρωσης, British Geological Society

Κατηγορία πετρώματος	Περιγραφή
Υγιές (F)	Χωρίς ίχνη αποσάθρωσης
Ελάχιστα αποσαθρωμένο (F.W)	Η αποσάθρωση περιορίζεται στις επιφάνειες των ασυνεχειών
Λίγο αποσαθρωμένο (S.W)	Έντονη αποσάθρωση στις επιφάνειες των ασυνεχειών και ελαφρά αποσάθρωση στη μάζα του υλικού
Μέτρια αποσαθρωμένο (M.W)	Εκτεταμένη αποσάθρωση στη μάζα του υλικού, χωρίς το υλικό να παρουσιάζει ευθρυπτότητα
Έντονα αποσαθρωμένο (H.W)	Εκτεταμένη αποσάθρωση στη μάζα του υλικού, με τοπική ευθρυπτότητα του υλικού
Πλήρως αποσαθρωμένο (C.W)	Πλήρης αποσάθρωση και μεγάλη ευθρυπτότητα του υλικού, με διατήρηση της υφής και της δομής
Έδαφος (R.S)	Η υφή και δομή του υλικού έχει καταστραφεί και το υλικό μπορεί να χαρακτηριστεί ως έδαφος (υπολειμματικός σχηματισμός)

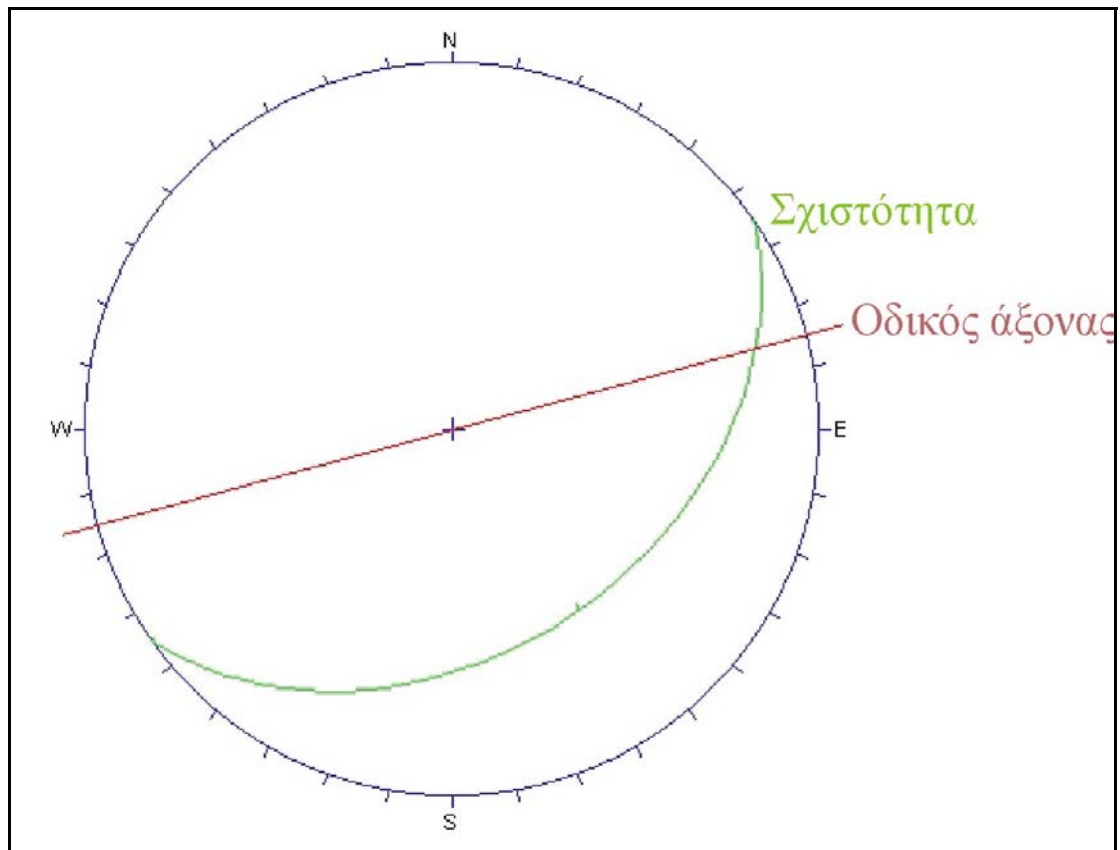
Γενικά, ο ποικίλων βαθμός αποσάθρωσης και το μεταβλητό βάθος διεύθυνσης της αποσάθρωσης αποτελούν ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των πετρωμάτων στη θέση του έργου.



Εικόνα 7.8. Εδαφικό υλικό πάχους (προϊόν αποσάθρωσης) 5m σε βάθος 25m. Γεώτρηση ΓΣ4

Κατά την εκτέλεση των ερευνητικών γεωτρήσεων δεν βρέθηκε υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας. Η παρουσία μαρμάρων είναι πιθανό να προκαλεί τοπικές και εποχιακές συγκεντρώσεις νερού προκαλώντας έτσι ισχυρότερη αποσάθρωση στα υποκείμενα της βάσης των μαρμάρων γνευσιακά πετρώματα. Επίσης στα ανώτερα εδαφικά υλικά θεωρείται πιθανή η ανάπτυξη χαμηλών – μέτριων πιέσεων νερού λόγω διαποτισμού.

Η ευρύτερη περιοχή έχει υποστεί σημαντικές και εκτεταμένες τεκτονικές δράσεις, που προκάλεσαν πτυχώσεις, πλαστικές παραμορφώσεις και περιστροφή των πτυχώσεων. Τα πετρώματα διατέμνονται από πολύ πυκνό δίκτυο διακλάσεων και ανοικτών επιπέδων σχιστότητας. Η σχιστότητα, με στοιχεία $130^{\circ} - 160^{\circ} / 30^{\circ} - 50^{\circ}$, έχει γενικά δυσμενή προσανατολισμό σε σχέση με τον αυτοκινητόδρομο, καθώς η διεύθυνση κλίσεως είναι σχεδόν κάθετη προς τον άξονα του οδικού δικτύου. Η ασυνεχής αυτή δομή (κατακερματισμός) αποτελεί κύριο χαρακτηριστικό της βραχομάζας τόσο επιφανειακά αλλά και σε βαθύτερες της επιφανειακής ζώνες. Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά της βραχομάζας αλλά και η μορφή της ίδιας της κατολίσθησης οδηγούν στο συμπέρασμα της «εδαφικής» συμπεριφοράς της βραχομάζας.

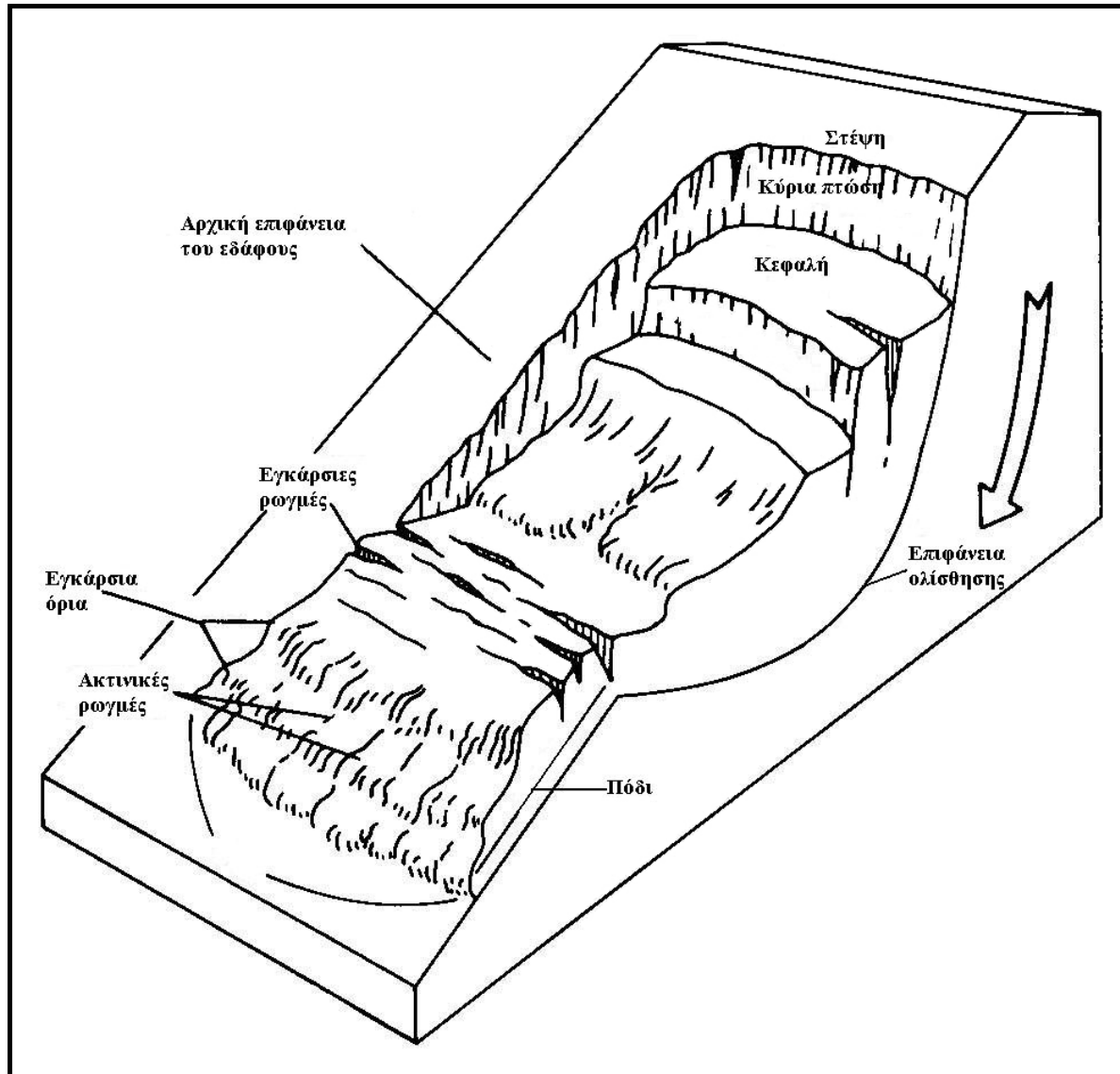


Σχήμα 7.2. Απεικόνιση σε δίκτυο Schmidt του δυσμενούς προσανατολισμού της σχιστότητας σε σχέση με τον οδικό άξονα.



Εικόνα 7.9. Εμφανής κατακερματισμός της βραχομάζας σε βάθος 22-24 m. Γεώτρηση ΓΣ 1.

Από όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά της κατολίσθησης θα μπορούσαμε να την κατατάξουμε ως μια σύνθετη περιστροφική ολίσθηση με τα χαρακτηριστικά αυτής.



Σχήμα 7.3. Σύνθετη περιστροφική ολίσθηση και κύρια χαρακτηριστικά της.

7.4 Ανάλυση Ευστάθειας Πρανούς με την Χρήση H/Y

Η ανάλυση της ευστάθειας του πρανούς έγινε με την χρήση του λογισμικού SLOPEW της εταιρίας GEO-SLOPE. Το πρόγραμμα αναλύει την ευστάθεια πρανούς με τις κλασσικές μεθόδους οριακής ισορροπίας της εδαφομηχανικής (η βραχομάζα συμπεριφέρεται εδαφικά) όπως: Bishop, Janbu, Morgenstern – Price) αναλυτική περιγραφή των οποίων έγινε σε προηγούμενα κεφάλαια.

Από τις ανάδρομες αναλύσεις ευστάθειας πρανούς που έγιναν από την μελετητική εταιρία του έργου προέκυψαν οι τιμές των μηχανικών χαρακτηριστικών της βραχομάζας. Με δεδομένο συντελεστή ασφάλειας 1.1 – 1.3, ενός γειτνιάζοντος πρανούς με κλίση 2:1, προέκυψαν οι παρακάτω τιμές για τη συνοχή και τη γωνία τριβής της βραχομάζας.

Συνοχή $c = 15 - 45 \text{ kPa}$, Γωνία τριβής $\phi = 30^\circ - 35^\circ$

Από εργαστηριακές μετρήσεις της μελετητικής εταιρίας υπολογίστηκε το μοναδιαίο βάρος της βραχομάζας τόσο σε στεγνές όσο και σε υγρές συνθήκες. $\gamma_{\text{στεγνό}} = 25 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_{\text{υγρό}} = 27 \text{ kN/m}^3$

Επίσης πραγματοποιήθηκε ανάδρομη ανάλυση του ίδιου του πρανούς και εκτεταμένη βιβλιογραφική αναζήτηση για τον προσδιορισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών, πολύ αποσαθρωμένης και έντονα κατακερματισμένης βραχομάζας.

Αρχικά έγινε ανάλυση της ευστάθειας του πρανούς με βάση την αρχική του διαμόρφωση. Η αρχική διαμόρφωση του πρανούς αποτελούνταν από 4 αναβαθμίδες με κλίση $V:H = 2:1 = 63^\circ$, $V=10\text{m}$, $H=5\text{m}$ και πλάτος αναβαθμίδων 5m . Έγινε ανάλυση της ευστάθειας του πρανούς τόσο σε στεγνές συνθήκες όσο και σε υγρές. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν έδωσαν τους παρακάτω συντελεστές ασφάλειας.

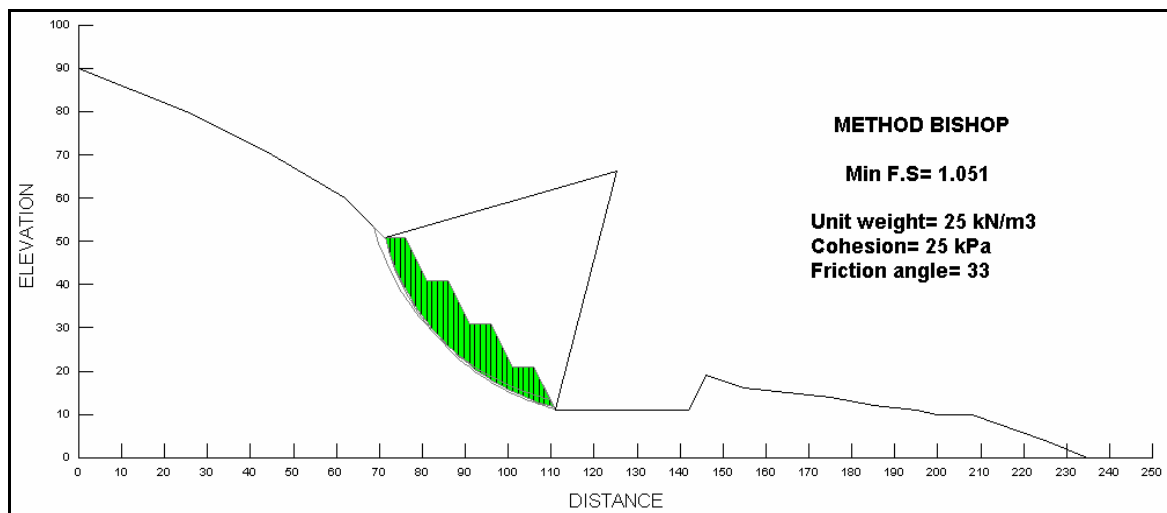
Πίνακας 7.3

ΜΕΘΟΔΟΣ	ΞΗΡΗ	ΥΓΡΗ
BISHOP	1.190	1.036
JANBU	1.106	0.954
MORGENSTERN PRICE	1.181	1.025

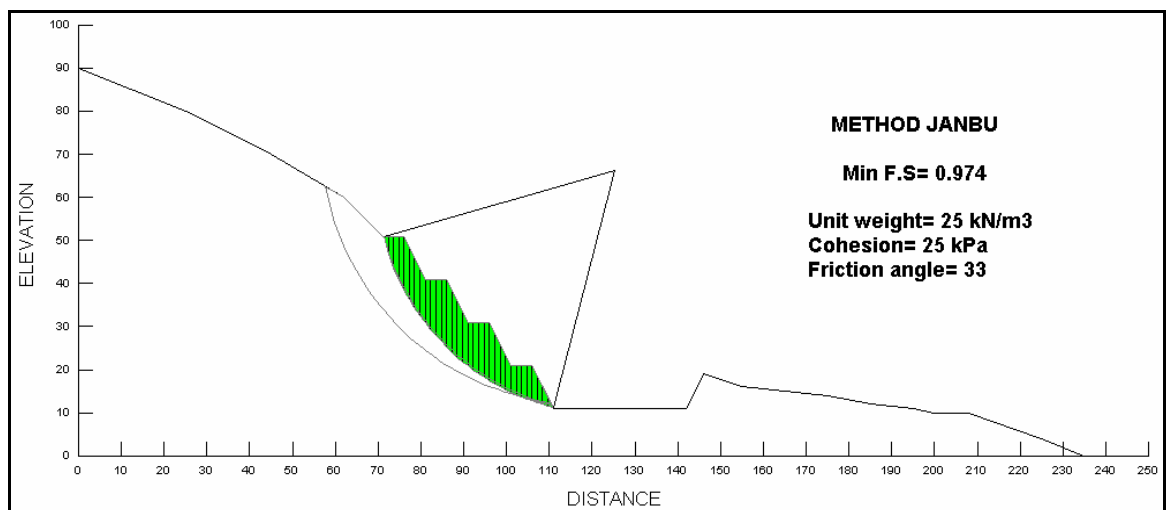
Από τους συντελεστές ασφάλειας που υπολογίστηκαν συμπεραίνουμε πως η κατάσταση του πρανούς ήταν οριακή σε ξηρή κατάσταση και η μεταβολή του συντελεστή ασφάλειας (μεταβολή των μηχανικών χαρακτηριστικών της βραχομάζας), λόγω των έντονων βροχοπτώσεων, προκάλεσε – επιτάχυνε την αστοχία του πρανούς.

Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται οι δυσμενέστεροι κύκλοι ολίσθησης που υπολογίσθηκαν με τις τρεις μεθόδους της οριακής ισορροπίας.

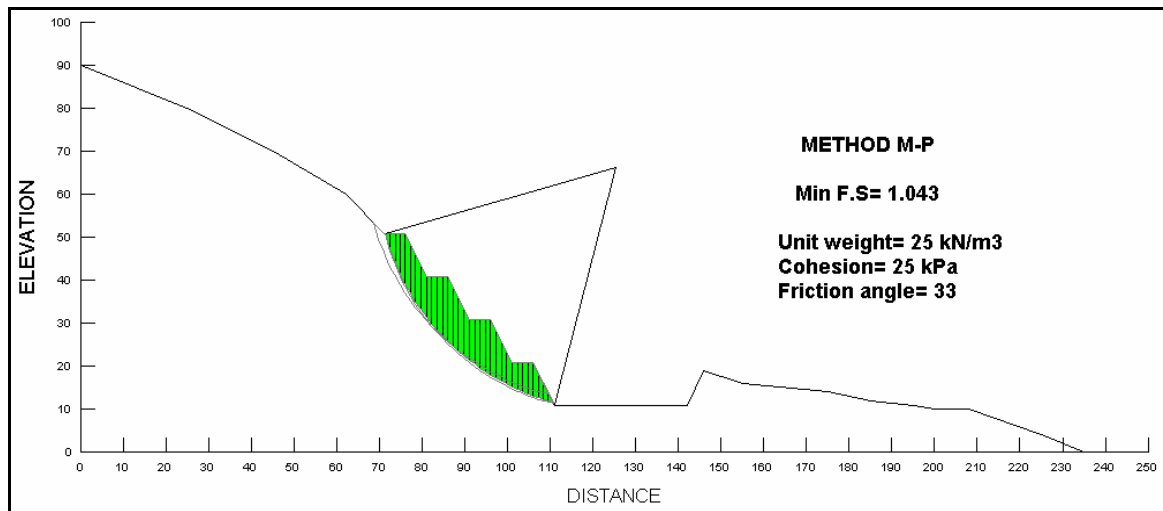
Υπολογισμός κρίσιμου κύκλου ολίσθησης – ελάχιστου συντελεστή ασφάλειας σε υγρές συνθήκες .



Σχήμα 7.4. Μέθοδος BISHOP (υγρές συνθήκες)

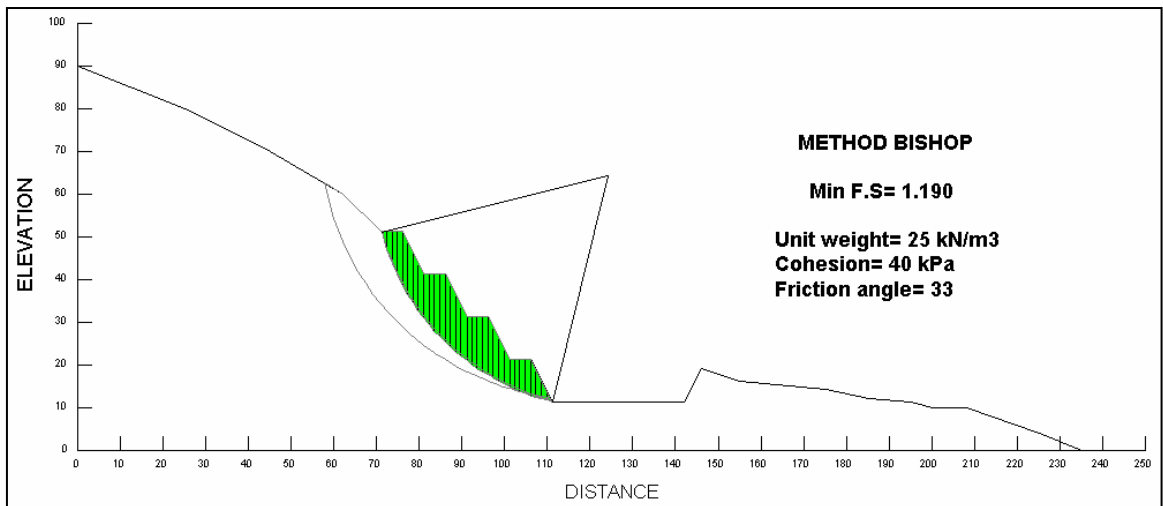


Σχήμα 7.5. Μέθοδος JANBU (υγρές συνθήκες)

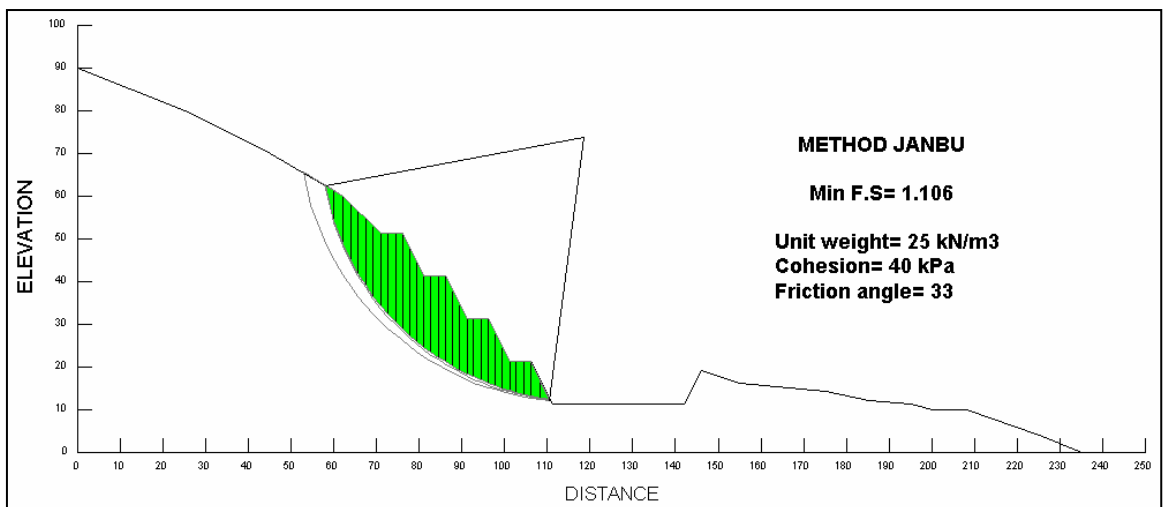


Σχήμα 7.6. Μέθοδος MORGENTERN-PRICE (υγρές συνθήκες)

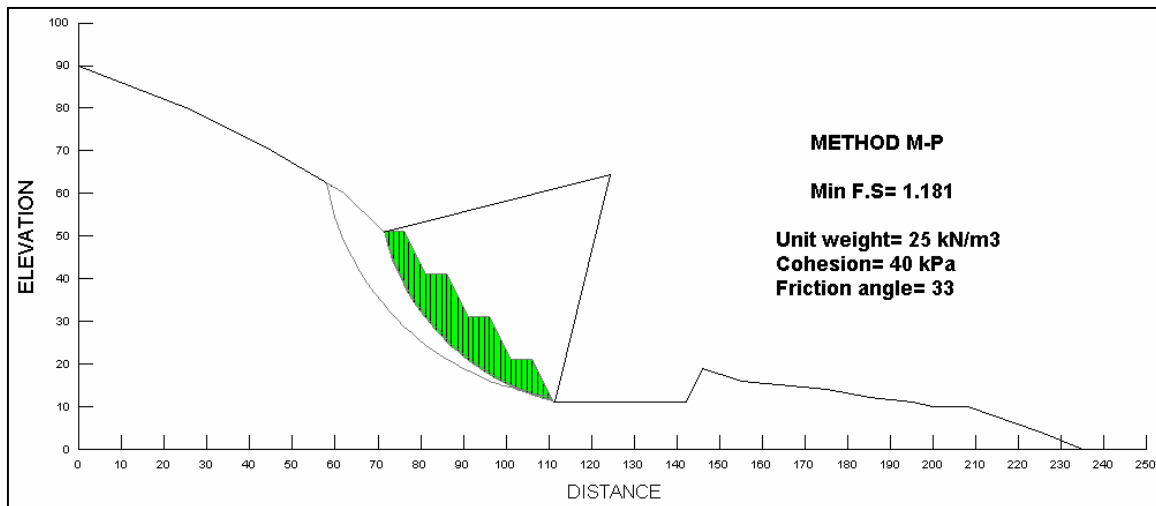
Υπολογισμός κρίσιμου κύκλου ολίσθησης – ελάχιστου συντελεστή ασφαλείας σε ξηρές συνθήκες .



Σχήμα 7.7. Μέθοδος BISHOP (ξηρές συνθήκες)



Σχήμα 7.8. Μέθοδος JANBU (ξηρές συνθήκες)



Σχήμα 7.9. Μέθοδος MORGENSTERN-PRICE (ξηρές συνθήκες)

Έπειτα έγιναν πολλαπλές επαναληπτικές αναλύσεις ευστάθειας για τον προσδιορισμό της καταλληλότερης διαμόρφωσης του πρανούς με νέες αναβαθμίδες. Ο υπολογισμός του συντελεστή ασφάλειας γινόταν κάθε φορά με διαφορετικές μορφολογικές – γεωμετρικές παραμέτρους των αναβαθμίδων.

Αυτές οι παράμετροι ήταν :

- Η γωνία κλίσης των αναβαθμίδων
- Το Ύψος των αναβαθμίδων
- Η Βάση των αναβαθμίδων
- Το Πλάτος των αναβαθμίδων

Σε αυτήν τη διαδικασία υπήρχαν 2 περιοριστικοί παράγοντες στην τελική επιλογή της καταλληλότερης διαμόρφωσης των αναβαθμίδων.

1. Ο εκτιμώμενος συντελεστής ασφάλειας να μην είναι μικρότερος από 1.25 σε οποιαδήποτε από τις μεθόδους.
2. Η διαμόρφωση των αναβαθμίδων να είναι τέτοια ώστε να μην απαιτείται εκσκαφή και ταπείνωση του μέγιστου αναγλύφου του πρανούς.

Ως ελάχιστος συντελεστής ασφάλειας θεωρήθηκε το 1.25 που αποτελεί μια ικανοποιητική τιμή για ασφάλεια πρανών σε αποκατάσταση κατολίσθησης. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι ο εκτιμώμενος συντελεστής ασφάλειας που προκύπτει από τις αναλύσεις υπολογίζεται για υγρές συνθήκες.

Στους παρακάτω πίνακες παρατίθενται τα αποτελέσματα των αναλύσεων. Επίσης γίνεται γραφική απεικόνιση της μεταβολής του συντελεστή ασφάλειας του πρανούς σε σχέση με τη μεταβολή του πλάτους των αναβαθμίδων διατηρώντας σταθερό τον λόγο V:H για διάφορες τιμές των H και V, με εφαρμογή και των 3 μεθόδων.

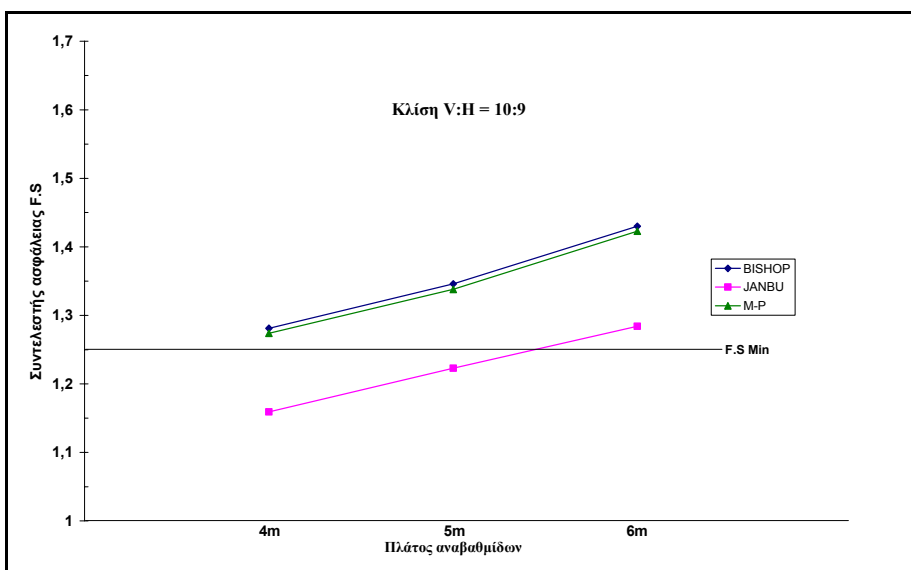
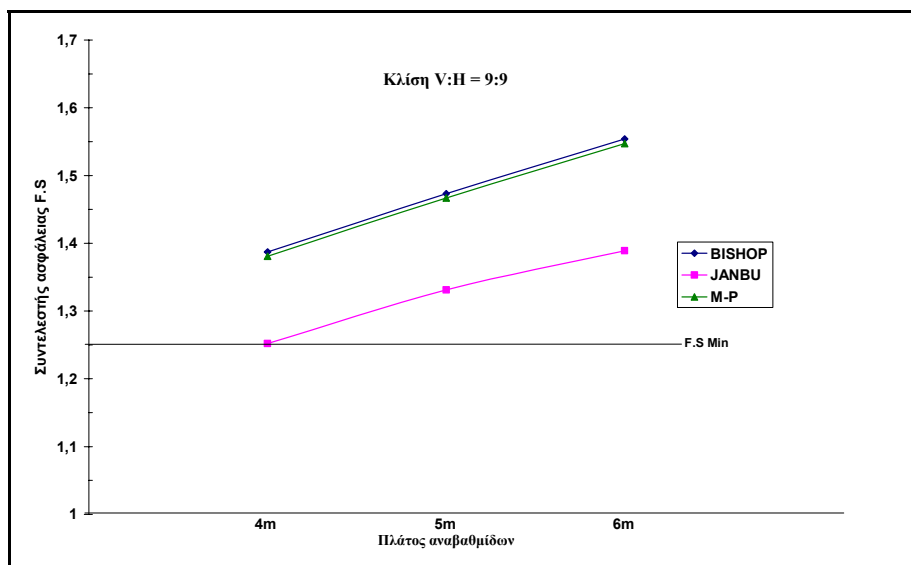
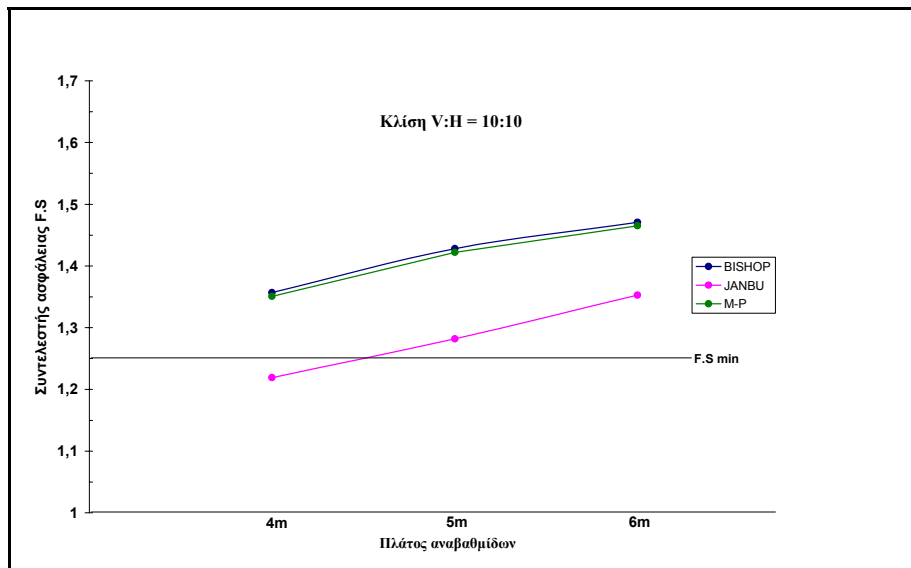
Από τους πίνακες και τα διαγράμματα προκύπτει πως οι μοναδικοί συνδυασμοί γεωμετρικών – μορφολογικών χαρακτηριστικών των αναβαθμίδων που πληρούν του περιοριστικούς όρους τους οποίους αρχικά θέσαμε είναι οι εξής :

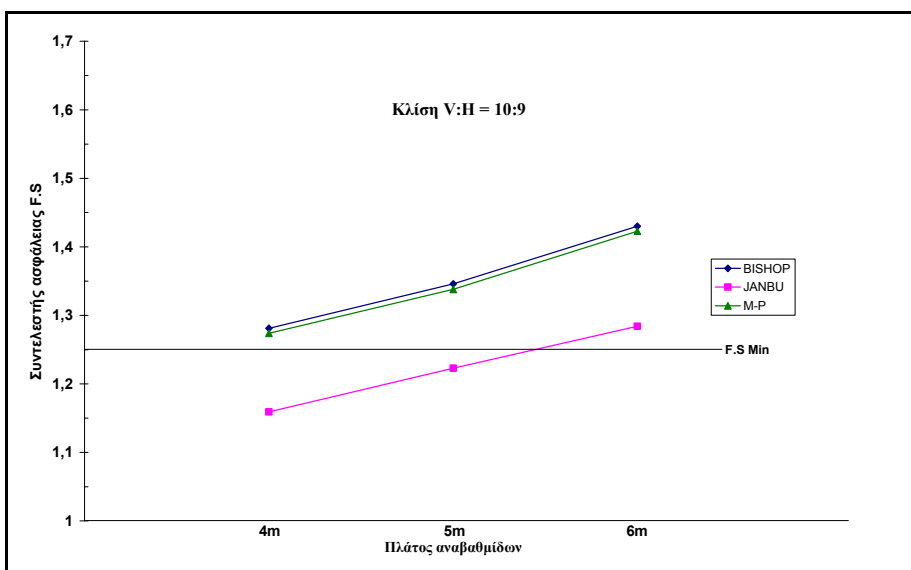
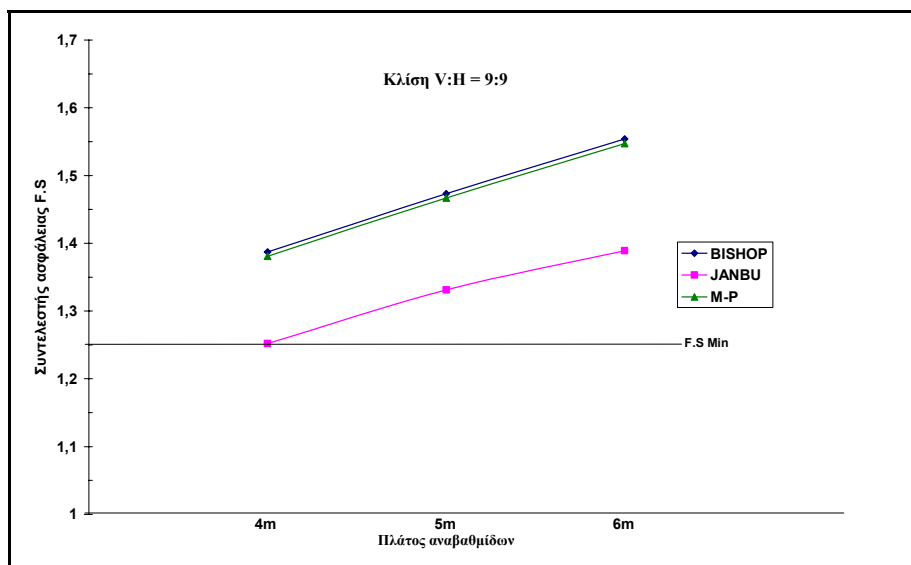
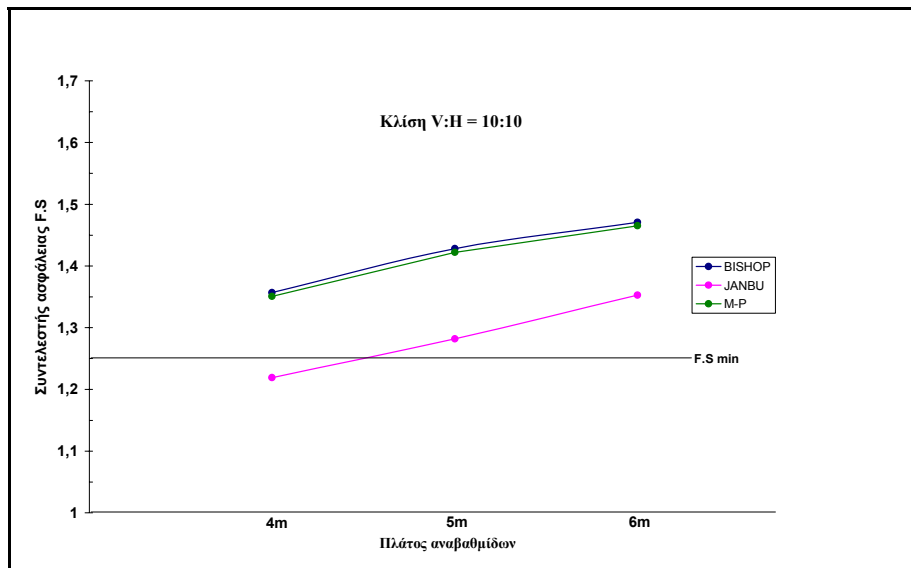
Πίνακας 7.4. Αναφορά των ευνοϊκών συνδυασμών γεωμετρίας αναβαθμίδων –συντελεστή ασφάλειας.

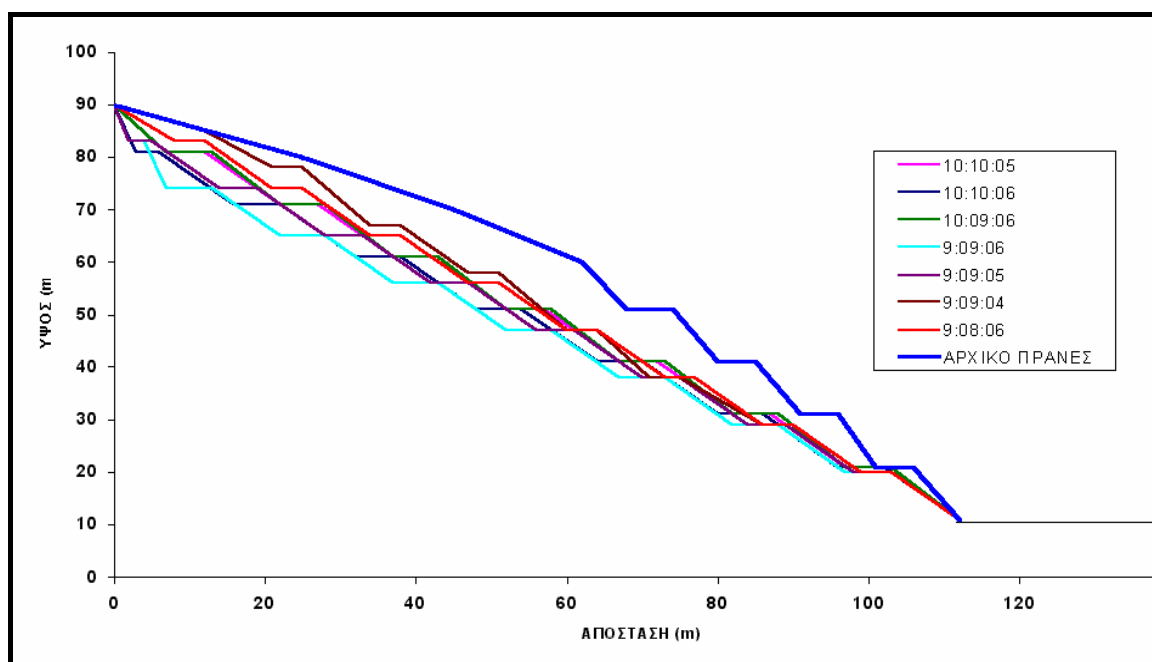
Κλίση	V:H	Πλάτος (m)	Bishop	Janbu	Morgenstern - Price
45°	10:10	6	1.471	1.353	1.465
45°	10:10	5	1.428	1.282	1.422
45°	9:9	6	1.554	1.389	1.547
45°	9:9	5	1.473	1.331	1.467
45°	9:9	4	1.387	1.252	1.381
48°	10:9	6	1.430	1.284	1.423
48°	9:8	6	1.448	1.297	1.442

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΑΒΑΘΜΙΔΩΝ			ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ F.S			ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ (%)		
Κλίση	V:H	Πλάτος (m)	Bishop	Janbu	Morgenstern - Price	Bishop (%)	Janbu (%)	Morgenstern - Price (%)
45°	10:10	6	1,471	1,353	1,465	3,01	5,54	3,02
45°	10:10	5	1,428	1,282	1,422	5,23	5,17	5,26
45°	10:10	4	1,357	1,219	1,351	-----	-----	-----
45°	9:9	6	1,554	1,389	1,547	5,50	4,36	5,45
45°	9:9	5	1,473	1,331	1,467	6,20	6,31	6,23
45°	9:9	4	1,387	1,252	1,381	-----	-----	-----
48°	10:9	6	1,43	1,284	1,423	6,24	4,99	6,35
48°	10:9	5	1,346	1,223	1,338	5,07	5,52	5,02
48°	10:9	4	1,281	1,159	1,274	-----	-----	-----

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΑΒΑΘΜΙΔΩΝ			ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ F.S			ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ (%)		
Κλίση	V:H	Πλάτος (m)	Bishop	Janbu	Morgenstern - Price	Bishop (%)	Janbu (%)	Morgenstern - Price (%)
51°	10:8	6	1,322	1,208	1,315	5,84	5,96	5,88
51°	10:8	5	1,249	1,14	1,242	4,96	5,75	5,08
51°	10:8	4	1,19	1,078	1,182	-----	-----	-----
48°	9:8	6	1,448	1,297	1,442	6,24	4,85	6,26
48°	9:8	5	1,363	1,237	1,357	5,91	6,36	6,02
48°	9:8	4	1,287	1,163	1,28	-----	-----	-----
52°	9:7	6	1,357	1,234	1,351	5,60	6,38	5,71
52°	9:7	5	1,285	1,16	1,278	6,73	6,72	6,86
52°	9:7	4	1,204	1,087	1,196	-----	-----	-----



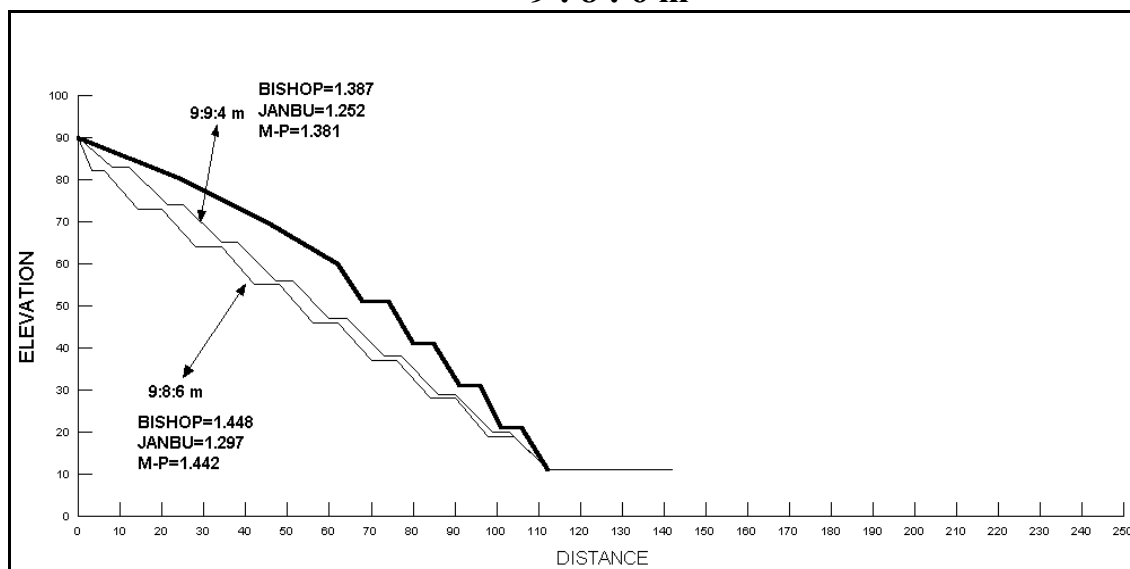




Από όλους αυτούς τους συνδυασμούς έπρεπε να επιλέξουμε εκείνον με τον μέγιστο συντελεστή ασφάλειας μα ταυτόχρονα με την μικρότερη δυνατή εκσκαφή. Γι' αυτό το λόγο σχεδιάστηκαν σε ένα διάγραμμα όλες οι καινούριες ευνοϊκές μορφολογίες με βάση την γεωμετρία των αναβαθμίδων.

Από το διάγραμμα προκύπτει πως οι καλύτεροι συνδυασμοί συντελεστή ασφάλειας – μικρής εκσκαφής προκύπτουν για τις παρακάτω σχέσεις αναβαθμίδων:

- **9 : 9 : 4 m**
- **9 : 8 : 6 m**



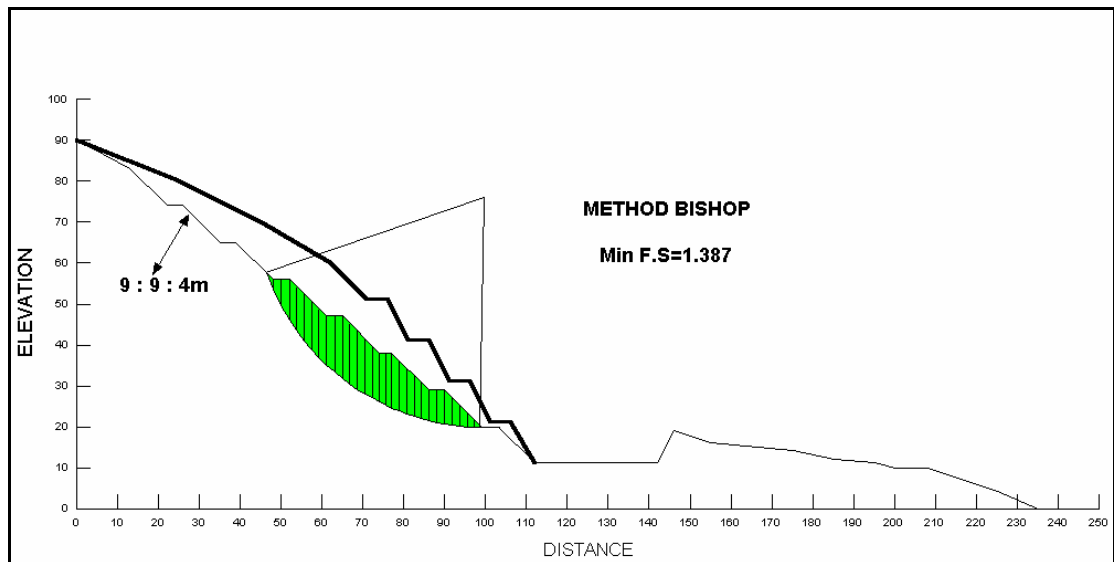
Σχήμα (7.9) Σύγκριση εκσκαφής χωματουργικών με τον αντίστοιχο συντελεστή ασφάλειας.

Έγινε υπολογισμός του κόστους των εκσκαφών για τις παραπάνω σχέσεις γεωμετρίας – μορφολογίας του πρανούς. Η σχέση **9 : 8 : 6 m** απαιτεί κόστος εκσκαφής και μεταφοράς περίπου **410000 Euro**. Η σχέση **9 : 9 : 4 m** απαιτεί κόστος εκσκαφής και μεταφοράς περίπου **285000 Euro**. (Οι υπολογισμοί των χωματουργικών έγιναν με βάση τις τιμές ανά m^3 εκσκαφής που είχαν δοθεί από την κοινοπραξία κατασκευής του έργου).

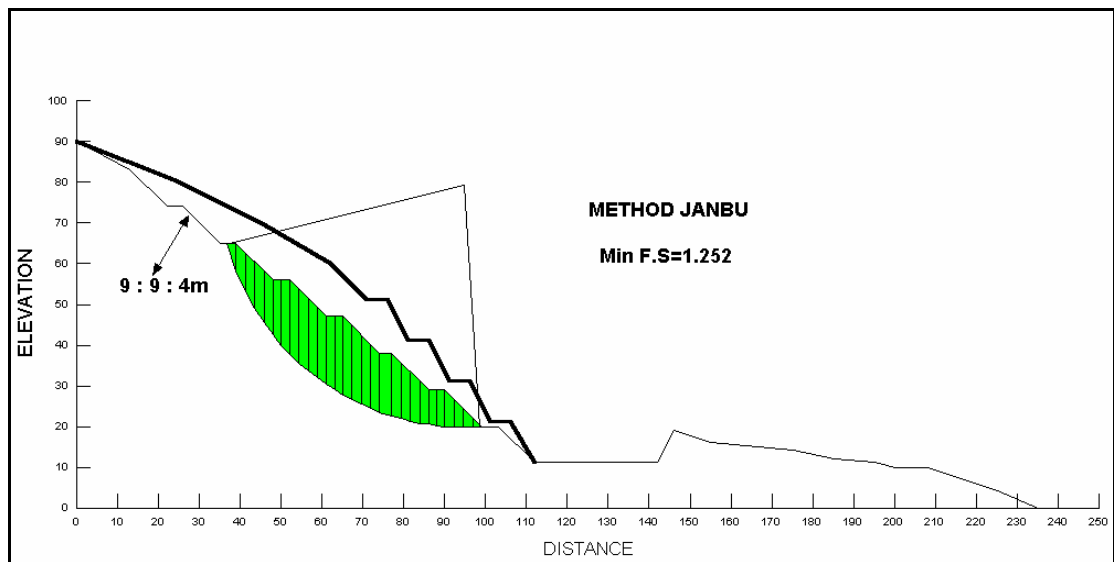
Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η σχέση **9 : 8 : 6 m** δίνει μεγαλύτερη τιμή συντελεστή ασφάλειας (αύξηση συντελεστή ασφάλειας κατά 5%) όμως ταυτόχρονα απαιτεί μεγάλο όγκο χωματουργικών εργασιών (αύξηση κόστους εκσκαφής κατά 44%).

Γι' αυτό το λόγο προτιμάται η λύση **9 : 9 : 4 m** σε συνδυασμό με άλλα συνοδευτικά έργα ενίσχυσης της ασφάλειας του πρανούς.

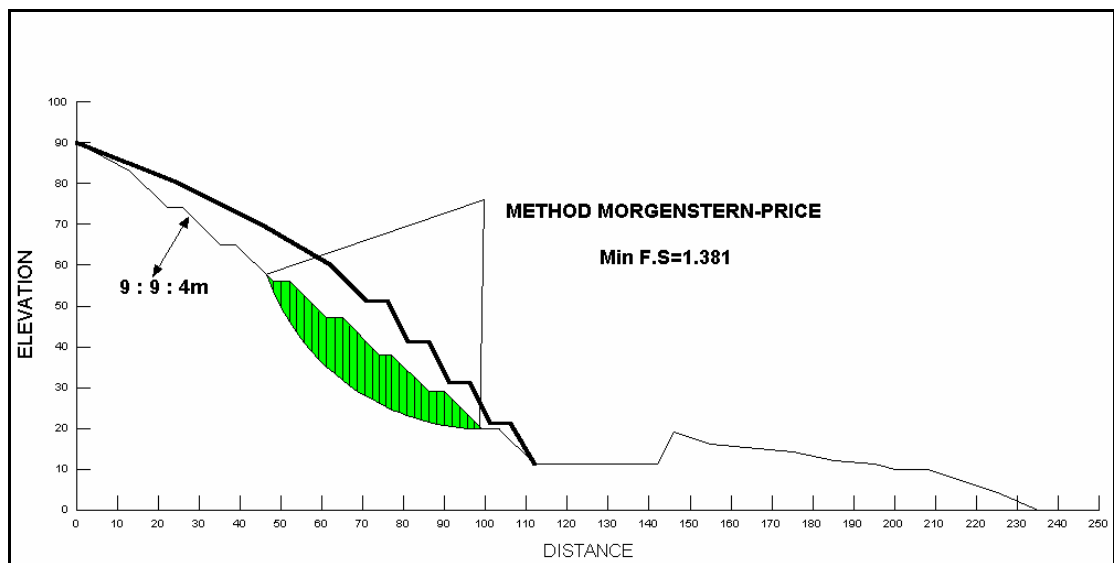
Στα παρακάτω σχήματα φαίνεται η ανάλυση ευστάθειας τους πρανούς με γεωμετρία αναβαθμίδων **9:9:4m** (σε ξηρές και υγρές συνθήκες). Παρουσιάζονται ο δυσμενέστερος πιθανός κύκλος ολίσθησης και ο μικρότερος πιθανός συντελεστής ασφάλειας. Η έντονη μαύρη γραμμή απεικονίζει την αρχική διαμόρφωση του πρανούς που κατολίσθησε.



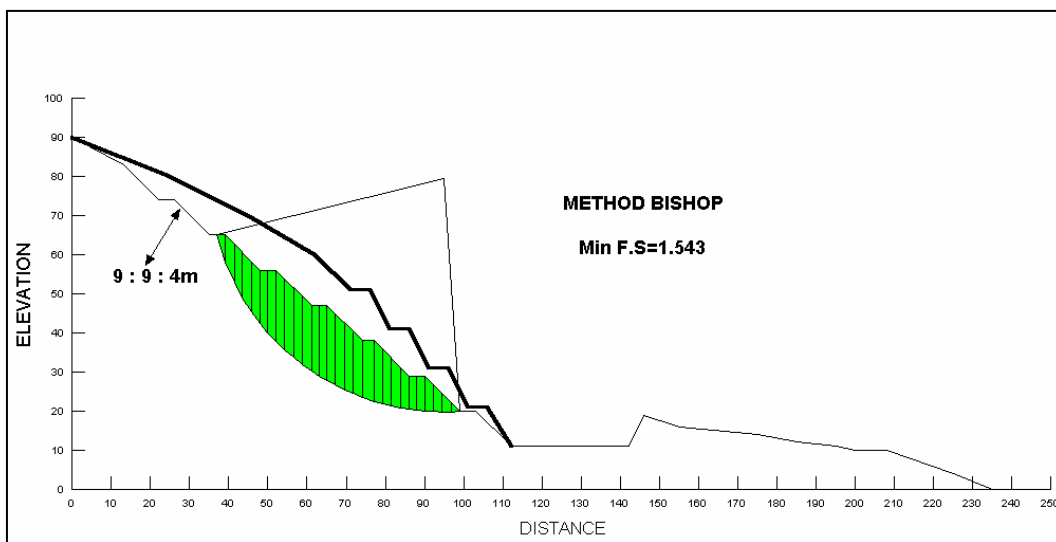
Σχήμα 7.10. Μέθοδος BISHOP (υγρές συνθήκες)



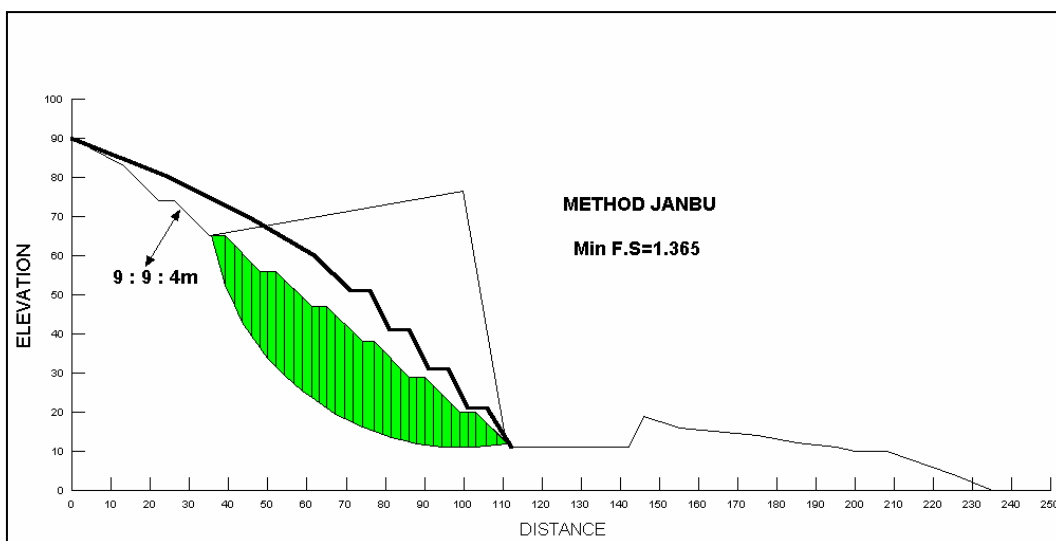
Σχήμα 7.11. Μέθοδος JANBU (υγρές συνθήκες)



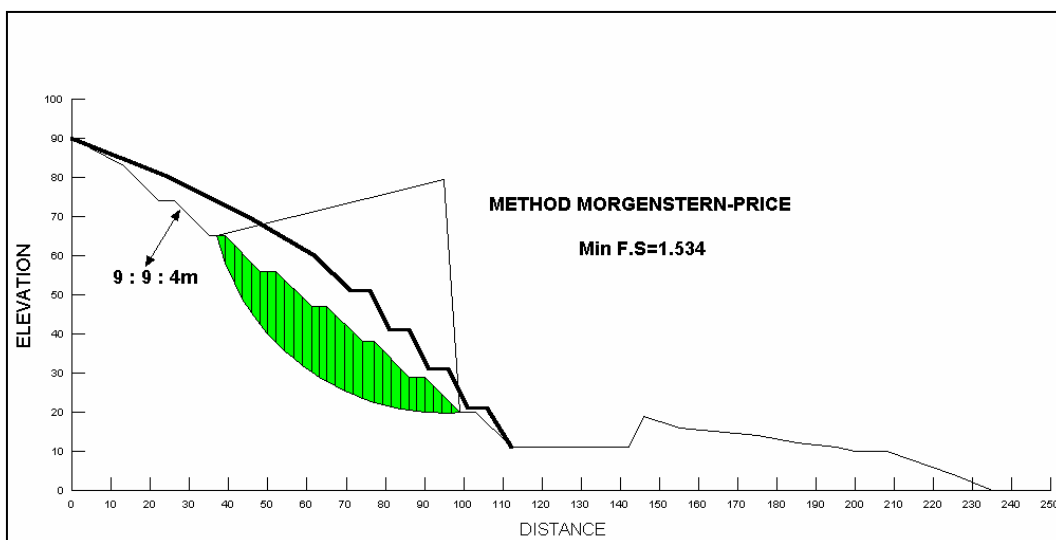
Σχήμα 7.12. Μέθοδος MORGENSTERN-PRICE (υγρές συνθήκες)



Σχήμα (7.13) Μέθοδος BISHOP (ξηρές συνθήκες)



Σχήμα 7.14. Μέθοδος JANBU (ξηρές συνθήκες)



Σχήμα 7.15. Μέθοδος MORGENTERN-PRICE (ξηρές συνθήκες)

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Για την προστασία του πρανούς προτείνεται η παραπάνω λύση με νέα γεωμετρία – διαμόρφωση των αναβαθμίδων.

Ως επιπλέον – πιθανά μέτρα ενίσχυσης της ασφάλειας του πρανούς έναντι αστοχίας προτείνεται να ληφθούν τα εξής :

- 1) Αλλαγή γεωμετρίας πρανούς (Ηπιότερες κλίσεις – μείωση του ύψους) (προτεινόμενη).
- 2) Συστήματα επιφανειακής αποστράγγισης τόσο στην στέψη του πρανούς όσο και στις αναβαθμίδες.
- 3) Κατασκευή αντίβαρων – Πρισμάτων αντιστήριξης στον πόδα του πρανούς.
- 4) Τοίχοι αντιστήριξης με ενισχυμένο επίχωμα. (υπό προϋποθέσεις)
- 5) Πάσσαλοι – Φρεατοπάσσαλοι. (υπό προϋποθέσεις).
- 6) Κατασκευή διαφραγματικών τοίχων. (υπό προϋποθέσεις)
- 7) Εδαφικά αγκύρια. (Soil anchors) (υπό προϋποθέσεις).
- 8) Εδαφικά «καρφιά» (Soil nailing) (υπό προϋποθέσεις).
- 9) Τοίχοι ανάσχεσης.
- 10) Εφαρμογή συρμάτινων πλεγμάτων.
- 11) Χρησιμοποίηση γεωπλεγμάτων (geogrids).
- 12) Φυτοκάλυψη του πρανούς (grass mat)

Εναλλακτική λύση : Κατασκευή του δρόμου με τη μέθοδο ανοικτού ορύγματος (Cut and Cover)

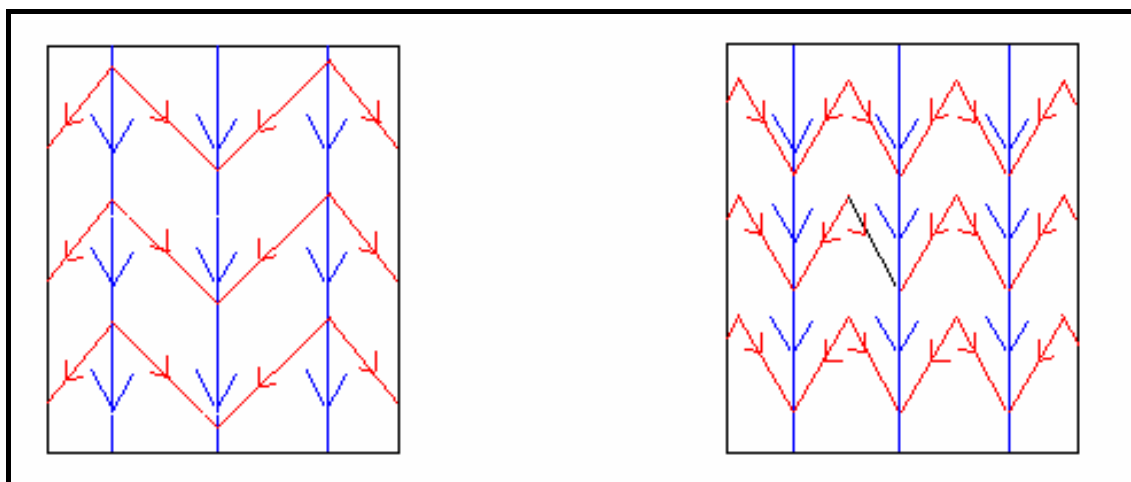
Οι προϋποθέσεις που απαιτούνται για την εφαρμογή κάποιων από τις παραπάνω μεθόδους είναι :

- Πραγματοποίηση νέων δειγματοληπτικών γεωτρήσεων για τον προσδιορισμό του βάθους στο οποίο βρίσκεται η υγιής βραχομάζα.
- Προσδιορισμός του μήκους των εδαφικών αγκυρίων – «καρφιών».
- Προσδιορισμός βάθους έδρασης των τοίχων αντιστήριξης.
- Προσδιορισμός ωθήσεων των τοίχων αντιστήριξης.
- Προσδιορισμός βάθους και διαμέτρου των πασσάλων.

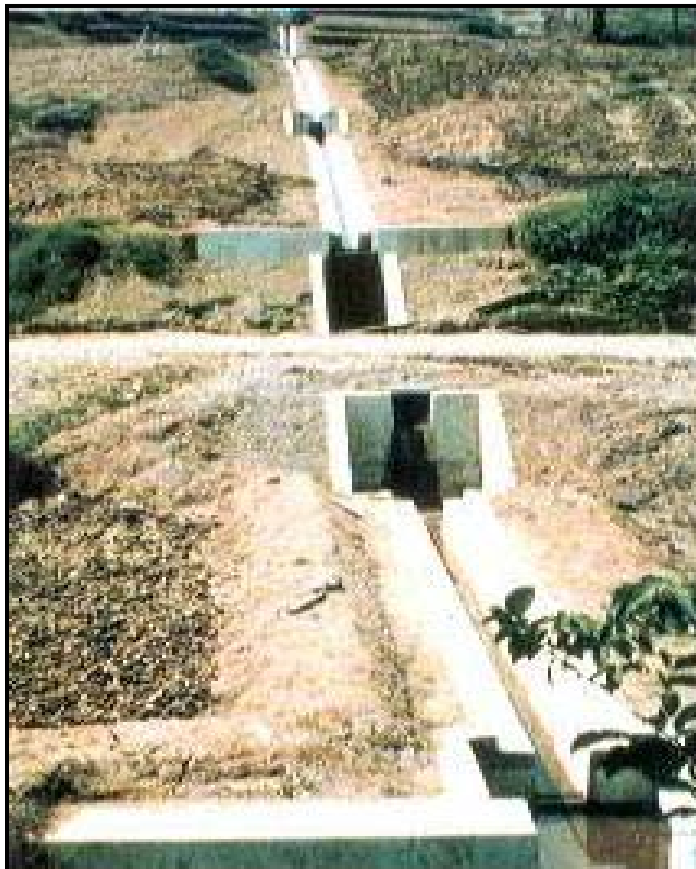
8.1 Συστήματα επιφανειακής αποστράγγισης

Στόχος τους είναι η αποφυγή της διείσδυσης των κατακρημνισμάτων στην βραχομάζα η οποία ευνοεί την αποσάθρωση και αυξάνει την πίεση του νερού των πόρων. Η απομάκρυνση του νερού των κατακρημνισμάτων θα γίνεται με σωλήνες ή τάφρους αποστράγγισης.

Στο παρακάτω σχήμα (8.1) απεικονίζονται δύο από τις πιο αποτελεσματικές διατάξεις επιφανειακής αποστράγγισης πρανών.



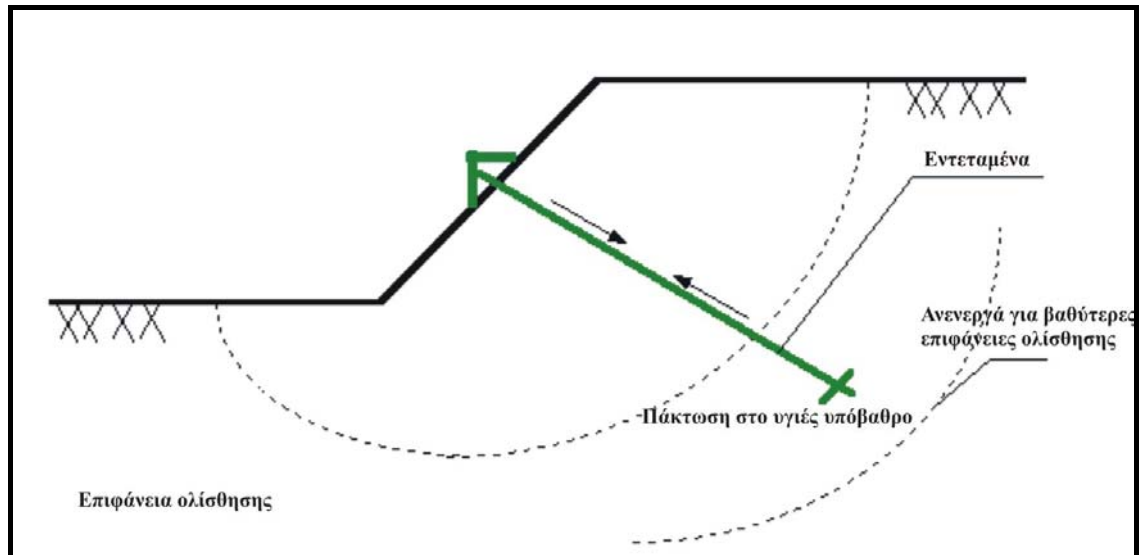
Σχήμα 8.1. Διατάξεις επιφανειακής αποστράγγισης τύπου: Herringbone, Chevron



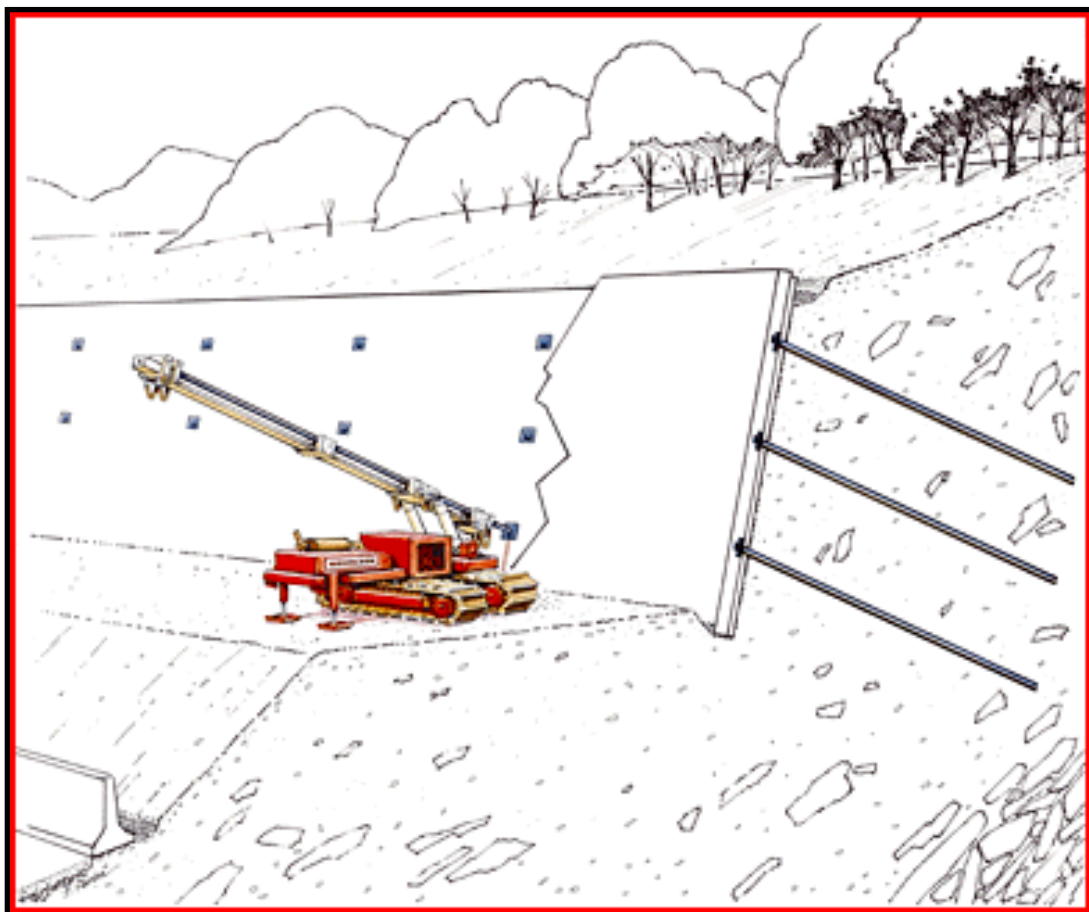
Σχήμα 8.2. Τάφροι επιφανειακής αποστράγγισης

8.2 Συστήματα εδαφικών αγκυρίων – «καρφιών»

Εφαρμογή εδαφικών αγκυρίων, τα οποία πρέπει να έχουν κατάλληλο μήκος ώστε να διαπερνούν τον κύκλο ολίσθησης και να αγκυρώνονται στο υγιές υπόβαθρο. Διαφορετικά, για βαθύτερους κύκλους ολίσθησης καθίστανται ανενεργά.



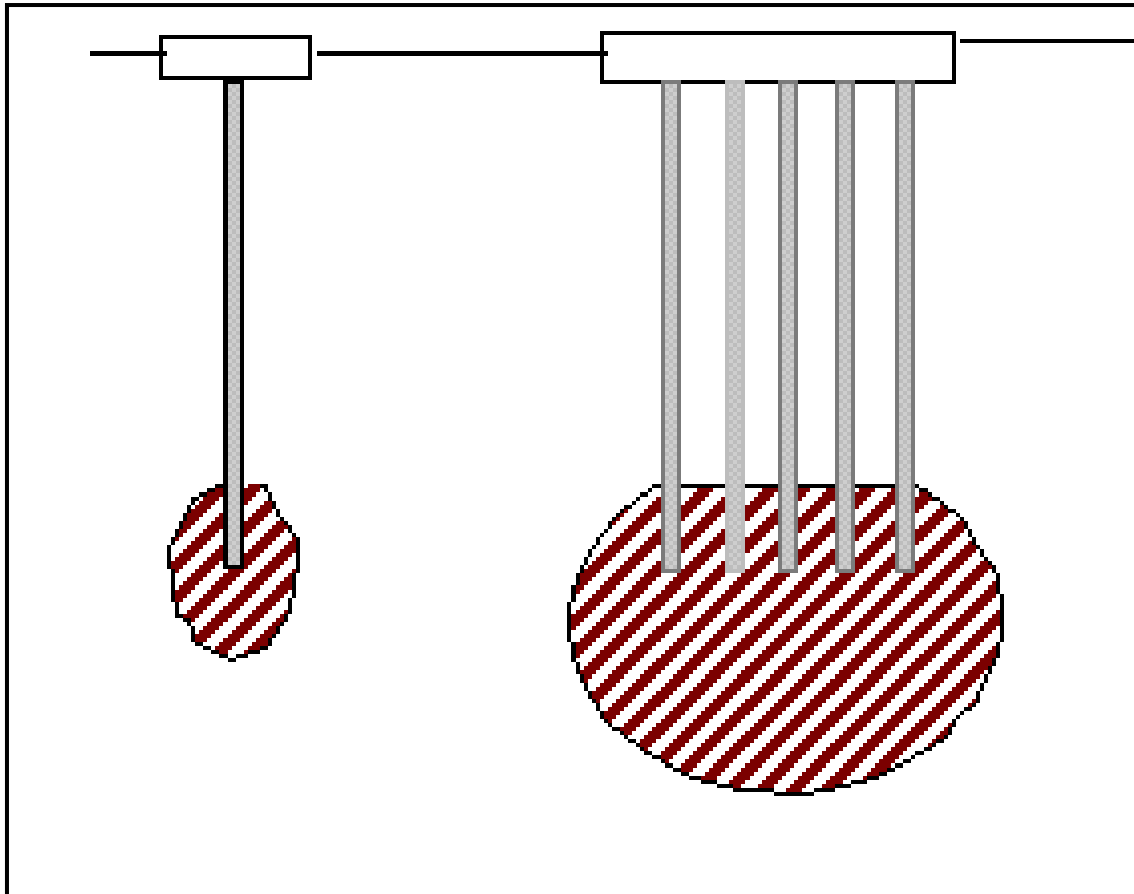
Σχήμα 8.3. Εδαφικά αγκύρια



Σχήμα 8.4. Εδαφικά «καρφιά» - Soil Nailing

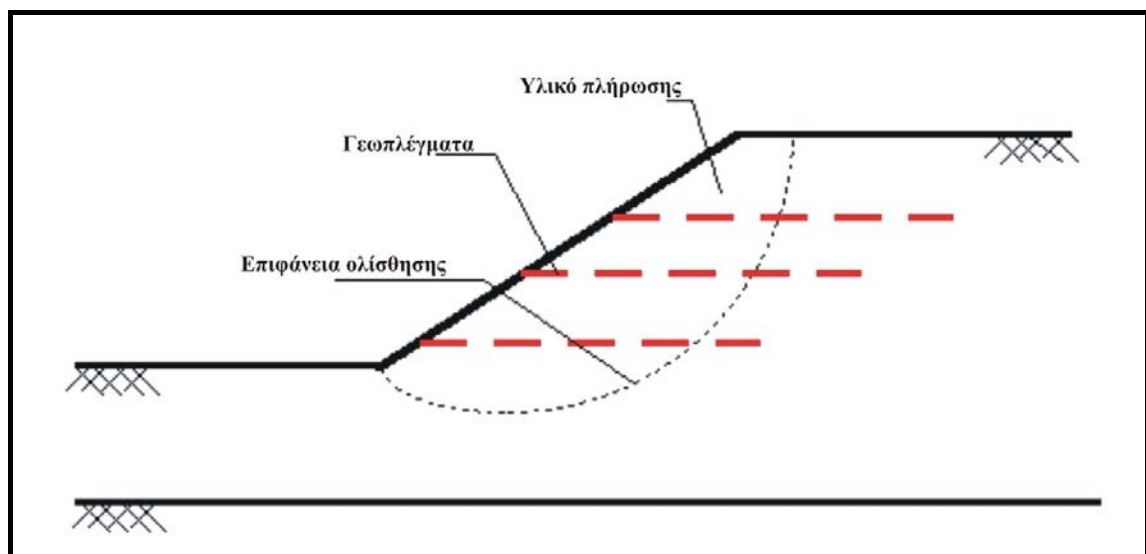
8.3 Πάσσαλοι – Φρεατοπάσσαλοι

Εφαρμογή πασσάλων – φρεατοπασσάλων με κατάλληλο βάθος και διάμετρο.



Σχήμα 8.5. Σύστημα πασσάλων.

8.4 Γεωπλέγματα



Σχήμα 8.6. Εφαρμογή συστήματος γεωπλεγμάτων για την αποκατάσταση κατολίσθησης.

8.5 Συρμάτινα πλέγματα

Κάλυψη όλων των κλιτύων με εύκαμπτο πλέγμα και τοποθέτηση αγκυρίων συγκράτησης αυτού ή εφαρμογή κατακόρυφων πλεγμάτων κατά μήκος οδικού άξονα ώστε να αποτραπεί η κατάπτωση σχετικά μεγάλων τεμαχών αποσαθρωμένης – κατακερματισμένης βραχομάζας.



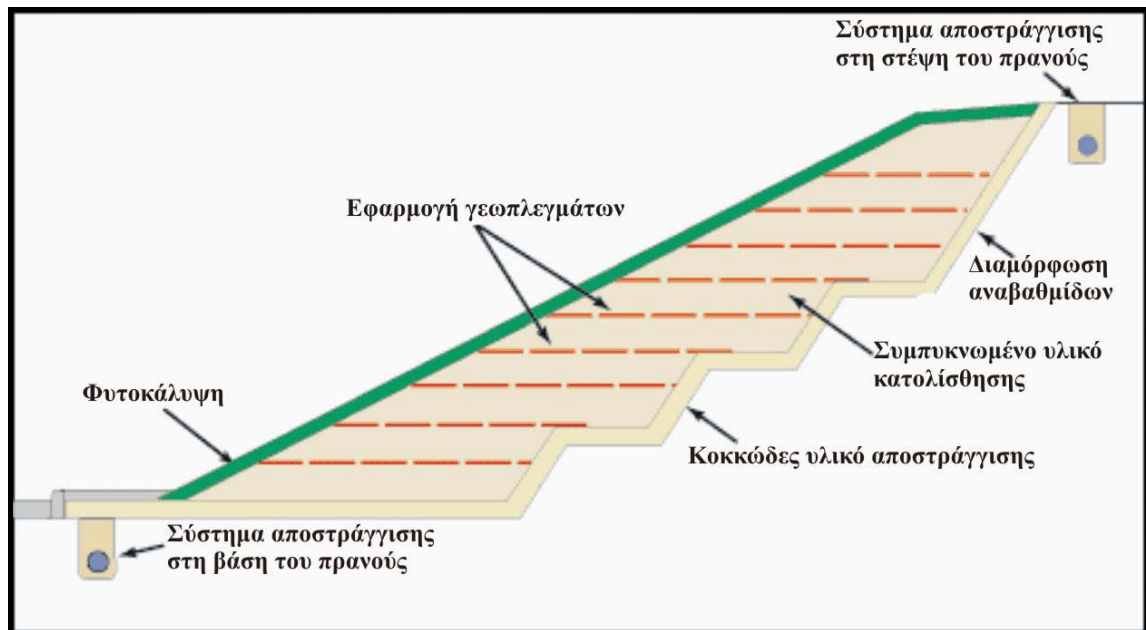
Σχήμα 8.7. Εφαρμογή συστήματος συρμάτινων πλεγμάτων για την προστασία από καταπτώσεις βραχωδών τεμαχών.

8.6 Φυτοκάλυψη



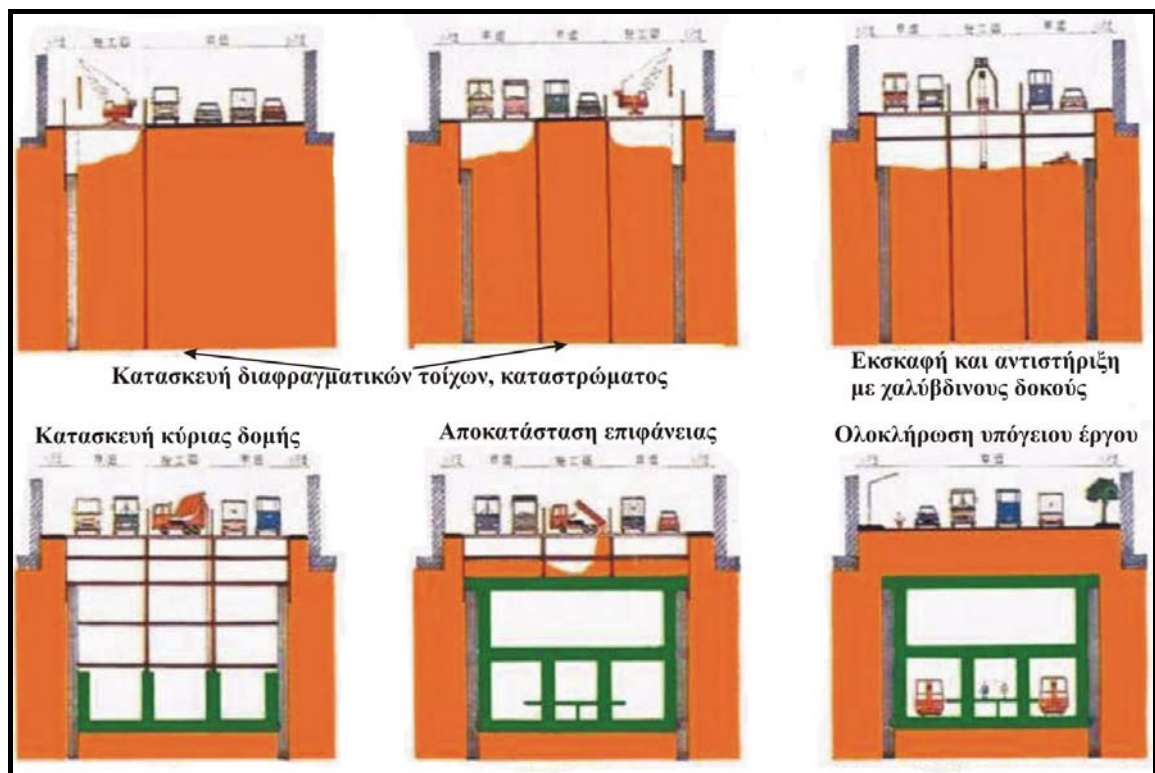
Σχήμα 8.8. Φυτοκάλυψη και σύστημα αποστράγγισης πρανούς

8.7 Συνδυασμός μέτρων αποκατάστασης κατολίσθησης



Σχήμα 8.9. Συνδυασμός μέτρων αποκατάστασης πρανούς πρανούς

8.8 Μέθοδος ανοιχτού ορύγματος – Cut & Cover



Σχήμα 8.10. Σχηματική απεικόνιση κατασκευής με τη μέθοδο ανοιχτού ορύγματος – Cut & Cover

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η πρόοδος της επιστήμης και της τεχνολογίας έχει δώσει πάρα πολλές λύσεις για την αντιμετώπιση των κατολισθήσεων και την προστασία των πρανών.

Ο ρόλος του γεωλόγου – γεωτεχνικού είναι:

- 1) Να διαπιστώσει τις αιτίες του φαινομένου
- 2) Να προσδιορίσει την έκταση του
- 3) Να αναλύσει τις συνθήκες ευστάθειας
- 4) Να επιλέξει το καταλληλότερο μέτρο αντιμετώπισης – αποκατάστασης, το οικονομικότερο και πάντα το ΑΣΦΑΛΕΣΤΕΡΟ γιατί η «συμφωνία» με τη φύση δεν είναι παντοτινή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Γραμματικόπουλος Ι., Μάνου-Ανδρεάδη Ν., Χατζηγώγος Θ.,** (1993): «Εδαφομηχανική – Ασκήσεις και Προβλήματα», Θεσ/νίκη.
- Δημιτριάδης Σ.,** (1988): «Εισαγωγή στην Πετρολογία των Μεταμορφωμένων Πετρωμάτων», Θεσ/νίκη.
- Δημόπουλος Γ.,** (2000): «Εδαφικά και Βραχώδη Πρανή», Θεσ/νίκη.
- Δημόπουλος Γ.,** (1986): «Τεχνική Γεωλογία», Θεσ/νίκη.
- Καββαδάς Μ.,** (2000): «Στοιχεία Εδαφομηχανικής», Αθήνα.
- Καββαδάς Μ.,** (2000): «Σχεδιασμός Υπόγειων Έργων», Αθήνα.
- Καλλέργης Γ., Κούκης Γ.,** (1985): «Τεχνική Γεωλογία», Πάτρα.
- Κίλιας Α.,** (1998): «Εισαγωγή στην Τεκτονική Γεωλογία», Θεσ/νίκη.
- Μαραγκός Χ.,** (1999): «Τεχνικά Έργα Υποδομής», Θεσ/νίκη.
- Μουντράκης Δ.,** (1985): «Γεωλογία της Ελλάδας», Θεσ/νίκη.
- Παπαχαρίσης Ν., Μάνου-Ανδρεάδη Ν., Γραμματικόπουλος Ι.,** (1999): «Γεωτεχνική Μηχανική», Θεσ/νίκη.
- Τσότσος Σ.,** (1991): «Εδαφομηχανική: Θεωρία-Μέθοδοι-Εφαρμογές», Θεσ/νίκη.
- Χρηστάρας Β.,** (1998): «Εργαστηριακές & επί τόπου δοκιμές Εδαφομηχανικής», Θεσ/νίκη.
- Bromhead E.N.,** (1987): «The Stability of Slopes», London.
- Hoek E., Bray J.W.,** (1981): «Rock Slope Engineering», London.
- Hoek E.,** (2000): «Rock Engineering (course notes)» Vancouver.
- Hunt R.,** (1984): «Geotechnical Engineering Investigation Manual» London.

Rogers D.J., (1998): «Recent Developments in Landslide Mitigation Techniques», California.

Simon N., Menzie B., Matthew M., (2001): «Soil and Rock Slope Engineering», London.

ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Kilias A., Falalakis G., Mountrakis D., (1999): «Cretaceous – Tertiary structures and kinematics of the Serbomacedonian metamorphic rocks and their relation to the exhumation of the Hellenic hinterland (Macedonia, Greece).

Zaki A., (1999): «Slope Stability Analysis Overview», Toronto.

Στιμάρατζης Θ., (2002): «Μέτρα Προστασίας Βραχωδών και Εδαφικών Πρανών», Θεσ/νίκη.

ΒΑΣΙΣ ΣΥΣΜ Α.Ε (2002): Σύμβουλος Μελέτης «Οριστική μελέτη σήραγγας 2 Ασπροβάλτας – Τεχνική Έκθεση» για την Εγνατία Οδό.

Γεωλογικός Χάρτης Ι.Γ.Μ.Ε. «Φύλλο Σιτοχώριον» 1:50000

INTERNET

www.king.ac.uk

www.schnabel.com

www.steeledalescs.co.za

www.tuat.ac.jp

www.williamsform.com

www.usgs.gov

www.geolith.com

www.nicholson-rodio.com

www.em.gov.bc.ca

www.dur.co.uk