



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
«ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΩΝ ΚΑΤΑ
ΜΗΚΟΣ ΕΘΝΙΚΟΥ ΔΡΟΜΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ – ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ
ΣΤΗΝ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΚΑΡΔΙΑΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΜΙΚΡΑΣ»

ΖΟΥΡΟΠΟΥΛΟΣ ΟΔΥΣΣΕΑΣ Α.Ε.Μ. 3554
ΚΟΤΗΛΗ ΕΛΕΝΗ Α.Ε.Μ. 3568

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

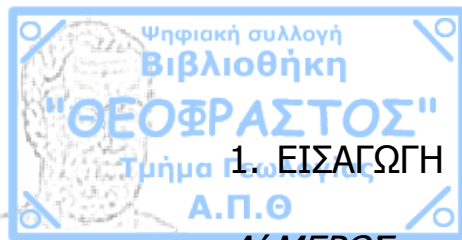
ΙΟΥΝΙΟΣ 2008



Η εργασία αυτή με θέμα «διερεύνηση συνθηκών ευστάθειας πρανών κατά μήκος εθνικού δρόμου Θεσσαλονίκης - Χαλκιδικής στη κοινότητα της Καρδιάς του δήμου Μίκρας.», πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας των φοιτητών Ζουρόπουλο Οδυσσέα και Κοτήλη Ελένη.

Η ανάθεση του θέματος έγινε από τον καθηγητή κ. Β.Χρηστάρα με γνώμονα τα έντονα κατολισθητικά φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στον ελλαδικό χώρο.

Η διπλωματική εργασία περιλαμβάνει το θεωρητικό υπόβαθρο των πρανών και των κατολισθητικών φαινομένων, της μεθόδου ανάλυσης Fellenious, των μεθόδων αντιμετώπισης και την εφαρμογή όλων αυτών στη συγκεκριμένη περιοχή.



1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Α΄ ΜΕΡΟΣ

2. ΠΡΑΝΗ

3. ΚΛΙΣΕΙΣ ΠΡΑΝΩΝ ΣΕ ΧΑΛΑΡΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

4. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ - ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΠΡΑΝΩΝ

5. ΑΙΤΙΑ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

6. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΣΥΜΒΑΛΟΥΝ ΣΤΗΝ ΑΥΞΗΣΗ ΚΑΙ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ

7. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

8. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ VARNES

9. ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΕΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

10. Η ΓΕΝΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΚΑΤΑ FELLENIUS

Β΄ ΜΕΡΟΣ

11. ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

12. ΕΙΔΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΣΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ

13. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Γ΄ ΜΕΡΟΣ

14. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

15. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

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:

Άμεσες:

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

Έμμεσες:

- 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 τονιστεί επίσης ότι η ζημιές από τα κατολισθητικά φαινόμενα είναι ιδιαίτερα υψηλές συγκρινόμενες ακόμη και με άλλες φυσικές καταστροφές.

Από όλα τα παραπάνω είναι εμφανέστατο 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 αντιμετώπισης τους.

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

Σε κάθε πρανές εξαιτίας ορισμένων επιφορτίσεων που παρουσιάζονται είτε από το καθαυτό δικό του βάρος είτε από άλλα εξωτερικά βάρη, δημιουργούνται διατμητικές τάσεις, που όταν αυτές υπερβούν τη διατμητική αντοχή του εδάφους, τότε οδηγούν σε σπάσιμο του πρανού και σε κατολίσθηση.

Η κλίση και η σταθερότητα ενός πρανού εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από τη μορφολογία, τη γεωλογική δομή και την κατάσταση του νερού στη θέση αυτή. Γενικά εξετάζονται οι παρακάτω παράγοντες:

- Στρώση, κατατμητικότητα (ιδιαίτερα οι μεγάλες κατατμήσεις)
- Διατμητική αντοχή (ϕ , c)
- Αποστράγγιση στο πρανές
- Κατάσταση του πρανού (είδος υλικού σταθεροποίησης) και βλάστηση
- Επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών στην επιφάνεια του πρανού (διάβρωση, παγετός, αποσάθρωση)
- Χρονικές μεταβολές των τάσεων και των παραμορφώσεων.

Οι κλίσεις των πρανών καθορίζονται στην πράξη αρχικά σύμφωνα με τους κανόνες και σύμφωνα με τις εμπειρίες. Για πρανή μεγαλύτερα από 45° κλίση δεν μπορούν να δοθούν πάντα επακριβώς κλίσεις πρανών και μορφές χωρίς προηγούμενη προσεχτική παρατήρηση. Ως εκ τούτου είναι σκόπιμο κατά τη διάρκεια της κατασκευής να γίνεται μια συνεχής παρακολούθηση, οπότε πρέπει να υπολογιστούν με βάση τις τοπικές αποκλίσεις διάφορες μεταβολές από τα θεωρητικά δεδομένα. Στις περιπτώσεις αυτές εξετάζονται ιδιαίτερα η δομή των ασυνεχειών και η υδροφορία στο πρανές.

Στα ψηλά πρανή ή σε περιπτώσεις που τα αποτελέσματα της έρευνας το απαιτούν, προσδιορίζεται υπολογιστικά, η σταθερότητα του πρανού. Ως ψηλά πρανή σύμφωνα με τον Floss (1979) είναι:

Σε χαλαρές άμμους και ελαφρά μέχρι μεσοπλαστικά εδάφη ύψος πάνω από 15 μέτρα.

Σε οργανικά εδάφη, κορεσμένοι ιλυώδεις άμμοι και πλαστικές μέχρι επικίνδυνες για κατολίσθηση άργιλοι ύψη πάνω από 5 μέτρα.

Σε ημιπερατά εδάφη πάνω από 20 μέτρα.

Οι τιμές αυτές φαίνονται βέβαια πολύ υψηλές και θα Πρέπει να μην λαμβάνονται αυστηρά σαν οριακές τιμές. Σε συνεκτικά εδάφη

υπολογισμοί σταθερότητας πρανών απαιτούνται να γίνονται για ύψη πάνω από 5 μέτρα ή τουλάχιστον από 8 ως 10 μέτρα.

ΚΛΙΣΕΙΣ ΠΡΑΝΩΝ ΣΕ ΧΑΛΑΡΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τον Floss τα πρανή με ύψους πάνω από 2 μέτρα θα πρέπει να έχουν κλίση 1: 1,5. Όταν αυτή η κλίση εξαιτίας γεωλογικών και στατικών αιτιών δε μπορεί να επιτευχθεί, τότε μπορούμε να δεχθούμε τις παρακάτω κλίσεις σε σχέση πάντα με τον τύπο του εδάφους και τον τύπο του πρανούς.

Α. Χονδρόκοκκα εδάφη

Στα χονδρόκοκκα εδάφη η κλίση (β) του πρανούς προσδιορίζεται κατά κύριο λόγο από τη γωνία εσωτερικής τριβής (ϕ) η οποία πάλι εξαρτάται από την κατανομή των κόκκων, τη μορφή τους και από την πυκνότητα απόθεσής τους. Για το συνηθισμένο βαθμό ασφαλείας $n = 1,3$ έχουμε:

$$\epsilon\phi\beta = \epsilon\phi\phi / 1,3$$

Ο Floss για χονδρόκοκκα εδάφη και για ύψη πρανών $h > 10m$ δίνει κλίσεις πρανών που κυμαίνονται από 1:1,5 – 1:1,2 , ενώ για $h < 10m$ δίνει κλίσεις 1:1,5 – 1: 1,8 και για λεπτή άμμο 1:1,8 μέχρι 1:1,2.

Για όλες τις παραπάνω τιμές προϋποτίθενται ότι τα πρανή θα Πρέπει να είναι ελεύθερα από υδροσκοπικό νερό και να μην περιέχουν κανένα ενδιάμεσο συνδετικό υλικό, που θα μπορούσε να ενεργήσει ως υλικό ολίσθησης. Ιδιαίτερα λεπτοί άμμοι τριτογενούς ηλικίας έχουν συχνά ιλυώδεις ή αργιλώδεις ενδιάμεσες στρώσεις, οι οποίες και σε μικρές ακόμα κλίσεις των στρωμάτων μπορούν να οδηγήσουν σε σπάσιμο του πρανούς. Στις περιπτώσεις αυτές συνιστάται να ομαλοποιηθούν τα πρανή σύμφωνα με τις παραπάνω κλίσεις ή να ληφθούν διάφορα μέτρα προστασίας.

Β. Λεπτόκοκκα εδάφη

Στα συνεκτικά εδάφη, όπου η διατμητική αντοχή τους τ προσδιορίζεται με βάση την εξίσωση των Coulomb – Mohr: $\tau = c + \sigma^* \tan \varphi$ από τη γωνία εσωτερικής τριβής φ , τη συνοχή c και την κάθετη τάση σ , η επιτρεπόμενη κλίση του πρανού εξαρτάται πάρα πολύ από το ύψος του πρανού (Floss (1979)).

Για πρανή με $h < 3\text{m}$ δίνεται κλίση 1:1,25

Για πρανή με $3 < h < 10\text{m}$ δίνεται κλίση 1:1,25 μέχρι 1,5

Για πρανή με $8 < h < 15\text{m}$ δίνεται κλίση 1:1,5 μέχρι 1,8

Οι παραπάνω τιμές ισχύουν για ομογενή συνεκτικά εδάφη σε κατάσταση πλαστική, χωρίς ευνοϊκή κλίση στρώσης ή κατατμήσεων και χωρίς υδροφορία. Σαν τέτοια μπορούν να είναι ενδιάμεσες λεπτοαμμώδεις μέχρι ιλυώδεις στρώσεις μέσα ή παραπάνω από αργιλικά στρώματα.

Οι συνηθέστεροι συντελεστές ασφαλείας που δίνονται είναι $n = 1,3$ και σημασία έχει η αντοχή c . Σε αργιλικά εδάφη που είτε έχουν καταπονηθεί τεκτονικά, είτε έχουν διαταραχτεί από φαινόμενα διάβρωσης παρατηρείτε μια ισχυρή ελάττωση της συνοχής.

Σε τέτοια εδάφη οι κλίσεις των πρανών δε θα Πρέπει να ξεπερνούν τις τιμές 1:2,5 μέχρι 1:3,0.

Σε εδάφη που παρουσιάζουν διάφορες προσμίξεις, ο Floss δίνει:

Για $h < 3\text{m}$ 1:1,25 μέχρι 1,5

Για $3 < h < 10\text{m}$ 1:1,5 μέχρι 1,8

Για $8 < h < 15\text{m}$ 1:1,8 μέχρι 2,0

Στα εδάφη αυτά θα Πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη σημασία στις περιπτώσεις που παρουσιάζονται υδροφόρα στρώματα ή κατατμήμενες επιφάνειες.

ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ - ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΠΡΑΝΩΝ

Ο γενικός όρος «κατολίσθηση» χρησιμοποιείτε για να εκφράσει αδιάκριτα κάθε μορφής καταστροφή φυσικού ή τεχνητού πρανούς. Η ευρύτητα του ορού 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 (10mm/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 mm/ημέρα) ολίσθηση μιας διακεκριμένης εδαφικής ή βραχώδους μάζας από ένα υψηλότερο επίπεδο σε ένα χαμηλότερο κατά μήκος μιας γεωλογικά, συνήθως, καθορισμένης επιφανείας. 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 λογούς 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 έναρξη του ή να γίνει αποκατάσταση των ζημιών και να ανακατασκευασθεί το πρανές μετά την αστοχία του.

ΑΙΤΙΑ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

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 εκτίμηση 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:

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
- Οι σεισμοί
- Μεταβολή του περιεχομένου νερού
- Επίδραση του υπογείου – 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 σε εκείνους που μειώνουν τη διατμητική αντοχή της επιφανείας ολίσθησης.

Παράγοντες που συμβάλουν 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 υποκειμένων 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 ταμιευτήρων.

Επιφόρτιση

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

Αύξηση νερού των πόρων (ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, χιόνι, νερό).

Μεταφορά και απόθεση υλικών λόγω της βαρύτητας ή της δράσης των επιφανειακών υδάτων, 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 δυο 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, οποία έχει σαν αποτέλεσμα την εντονότερη διάβρωση.

Αύξηση της γωνιάς 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, κίσειρης), οι αλλαγές στη θερμοκρασία καθώς κι 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 παίξει καθοριστικό ρολό 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 πρηνούς 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 υπογείου νερού μέσα στις κατατμήσεις, με αποτέλεσμα την εξάσκηση ικανών πλευρικών δυνάμεων στα τοιχώματα.
- Διόγκωση αργίλων ή ανυδρίτη λόγω ενυδατώσεως τους.
- Ενεργοποίηση παραμενουσών τάσεων μέσα στα πετρώματα λόγω τεκτονικών αιτιών.

Παράγοντες που συμβάλουν 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.

Αρχική 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 πρηνούς

- Ασυνέχειες (ρήγματα, διαθλάσεις, στρώση, σχιστότητα κλπ.)
- 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 διαφορών πετρωμάτων και ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου εναλλάσσονται ψαθυρά με συμπαγή καθώς και διαπερατά με αδιαπέραστα.
- Προσανατολισμός πρηνούς και η κλίση του. Ιδιαίτερη σημασία για την εκδήλωση των κατολισθήσεων έχει ο προσανατολισμός και γενικότερα η γεωμετρία των ασυνεχειών σε σχέση με τον προσανατολισμό και τη γεωμετρία.

Επιδράσεις του υπογείου νερού

- Απότομες μεταβολές της στάθμης του υπογείου νερού (π.χ. φράγματα) αυξάνουν την υδροστατική πίεση των πόρων στα πρανή και αυτό μπορεί να οδηγήσει στη ρευστοποίηση αμμωδών εδαφών.
- Η ροή του υπογείου νερού μπορεί να αποπλύνει και να συμπαρασύρει 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 την 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 συνεπεία την ανύψωση του υπογείου υδροφόρου ορίζοντα και τη διαταραχή της ισορροπίας.
- Η παρουσία υπογείου νερού ελαττώνει την ενεργό τάση μεταξύ των κόκκων και μειώνει τη διατμητική αντοχή, επομένως η ευστάθεια πρανών με παρουσία νερού είναι μικρή. Συμφωνά με ένα γενικό κανόνα που ισχύει, κυρίως σε μη συνεκτικά εδάφη, ο συντελεστής ασφαλείας ενός πρανούς με υδροφόρο ορίζοντα είναι ίσος με το $\frac{1}{2}$ του συντελεστή για το εδαφικό πρανές χωρίς υδροφόρο ορίζοντα.
- Εκτροπή υδρορευμάτων, αρδεύσεις.
- Δημιουργία τεχνητών λιμνών και ταμιευτηρίων.
- Παρεμπόδιση αποστράγγισης.

- 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 διαθρωτική δράση των επιφανειακών νερών. Σε περιοχές όπου παρατηρείται μεταβολή της βλάστησης των πρανών (πυρκαγιές, εκχερσώσεις) προκαλείται Ελάττωση της συνοχής των πρανών.

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 χλωρίδας – 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 διάτρηση και τη διόγκωση των ριζών, όσο και χημικά με την έκκριση χημικών ουσιών. Επίσης σε απότομα πρανή από ημισυνεκτικά ή και συνεκτικά πετρώματα με έντονα 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 υπογείου συστήματος οπών που διανοίγουν ή εξαιτίας της χημικής διάβρωσης.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

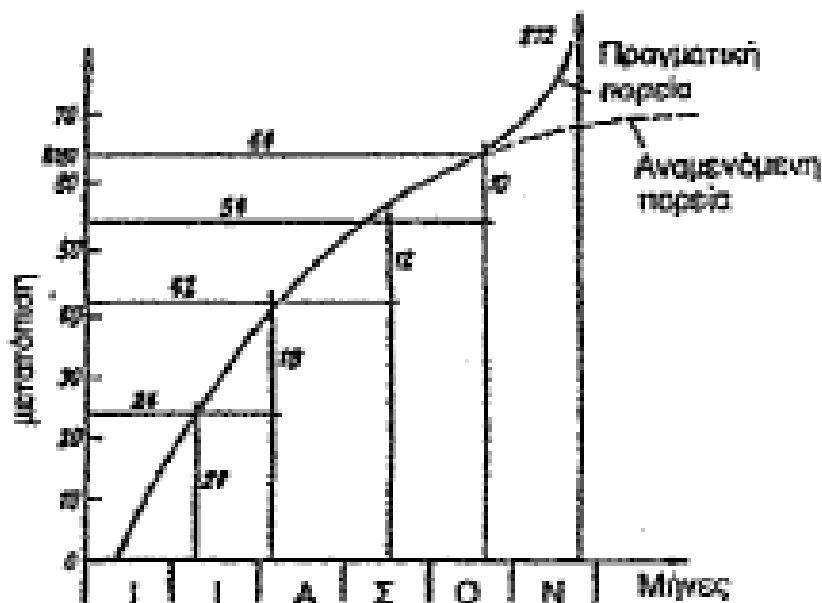
Τα χαρακτηριστικά των κατολισθήσεων, που χρησιμοποιούνται ως βάση για τη διάγνωση τους και την ταξινόμηση τους, είναι τα παρακάτω:

- 1) Εξετάζει προπαντός η θέση της κατολίσθησης σε σχέση με το ανάγλυφο και με το επίπεδο της ροής του νερού. Μια κατολίσθηση μπορεί να δημιουργηθεί τόσο στην κορυφή, όσο και στην βάση, ακόμη και στη μέση μιας κλιτύς. Μπορεί επίσης να καταλαμβάνει ολόκληρο το πρηνές. Σε σχέση με τη στάθμη ποταμού μπορεί μια κατολίσθηση να δημιουργηθεί πάνω από τη στάθμη, όσο και κάτω από τη στάθμη του νερού.
- 2) Η κατολίσθηση μπορεί να δημιουργηθεί, ανάλογα με τον τύπο της, σε ημικυκλική μορφή εγκάρσια προς το πρηνές.
- 3) Ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα είναι η μορφή του ανάγλυφου του πρηνούς που πρόκειται να κατολισθήσει σε επιμήκη τομή. Η δημιουργούμενη από τη διάβρωση και σκεπασμένη με κορήματα κατωφέρεια συνδέεται με την κοιλάδα με μια κανονική βαθμιαία κατερχόμενη καμπύλη.
- 4) Από τις μετατοπίσεις δρόμων, χωραφιών, σειρές δένδρων, δασικών ορίων κλπ, μπορεί να υπολογιστεί το μέγεθος της, κίνησης, εφόσον στη γειτονική απείραχτη κλιτύ βρίσκεται η συνέχεια του μετατοπισθέντος αυτού αντικειμένου.
- 5) Η επιφάνεια του ολισθέντος τμήματος αναπτύσσεται είτε σε μορφή επιπέδου, κυματοειδή κατά κλίμακες ή αναβαθμίδες.
- 6) Η εμφανιζόμενη κλίση στο κατώτερο τμήμα του κορμού των δέντρων της περιοχής, ιδιαίτερα η μορφή της θέσης τους, προσφέρουν επίσης στοιχεία για την πορεία της κατολίσθησης.
- 7) Το βάθος της κατολίσθησης, συνήθως είναι διαφορετικό. Ως επιφανειακές κατολισθήσεις χαρακτηρίζονται εκείνες κατά τις οποίες το κατερχόμενο στρώμα δεν έχει πάχος μεγαλύτερο από 1,5 μέτρο. Ως αβαθείς κατολισθήσεις χαρακτηρίζονται αυτές με κατολισθαίνουσα επιφάνεια βάθους 5 – 10 μέτρων, ως βαθιές κατολισθήσεις αυτές με βάθος 10- 20 μετρά και ως πολύ βαθιές χαρακτηρίζονται αυτές με βάθος μεγαλύτερο από 20 μετρά. Το βάθος της κατολίσθησης μετρείται κάθετα προς την επιφάνεια του πρηνούς.
- 8) Το πλήθος των επιφανειών ολίσθησης. Υπάρχουν κατολισθήσεις με μόνο μια επιφάνεια ολίσθησης, παρουσιάζονται όμως και με κατολισθήσεις με δυο ή περισσότερες επιφάνειες ολίσθησης ή μια κατόπιν της άλλης.
- 9) Ανάλογα με την κλίση της επιφάνειας, οι κατολισθήσεις χαρακτηρίζονται ως πολύ ομαλές, όταν η κλίση της επιφάνειας

αυτή είναι μέχρι 5° , ως ομαλές όταν αυτή είναι $5^\circ - 30^\circ$ και με κλίση πάνω από 30° χαρακτηρίζονται ως απόκρημνες.

- 10) Ανάλογα με την ταχύτητα και το χαρακτήρα της κίνησης διακρίνουμε γρήγορες και αργές κινήσεις πρανών και επιπλέον αν πρόκειται για μια μοναδική κίνηση, ή για περιοδικά επαναληπτικές ή αδιάλειπες κινήσεις.
- 11) Παρατηρήσεις σχετικά με την κατάσταση του νερού στη βραχομάζα, το ύψος της στάθμης του υπογείου νερού και οι μεταβολές της, η θέση των πηγών, υγρές θέσεις και υδροφόρες ρωγμές.
- 12) Ανάλογα με το στάδιο εξέλιξής τους οι κατολισθήσεις διακρίνονται σε πρόσφατες κατολισθήσεις, όταν αυτές ακόμα βρίσκονται σε κίνηση, σε εφησυχασμένες και απολιθωμένες κατολισθήσεις, που έγιναν κάτω από άλλες μορφολογικές και κλιματικές συνθήκες.

Πριν από το σπάσιμο η ταχύτητα της κίνησης αυξάνεται αρχικά σταθερά και λίγο πριν το σπάσιμο επιταχύνεται περισσότερο, πιθανόν εξαιτίας άλλων επιδράσεων και κυρίως των αυξημένων κατακρημνισμάτων. Από την απεικόνιση των τιμών της μετακίνησης σε σχέση με το χρόνο (σχήμα 1) προκύπτει ένα λιγότερο ή περισσότερο ευκρινές σημείο καμψής.



Μετρήσεις κίνησης της κατολίσθησης στον πόδα της (Franke 1976)

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

Γενικά

Για την ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ των κατολισθήσεων, έχουν γίνει από πολλούς ερευνητές -κατά καιρούς- διάφορες προτάσεις, οι οποίες θεωρήθηκε ότι ήταν απαραίτητες στην περιγραφή, στην έρευνα και στην αντιμετώπιση των φαινομένων, αλλά και γενικότερα στην ευχερέστερη επικοινωνία μεταξύ των ασχολούμενων με το αντικείμενο. Σε κάθε μια περίπτωση ταξινόμησης, δίνετε ιδιαίτερη σημασία και έμφαση σε κάποιον ή κάποιους από τους παράγοντες της κατολίσθησης, όπως στον τύπο, την ταχύτητα, την ηλικία και τους λόγους μετακίνησης, στο είδος των υλικών, στη γεωμορφολογία του φαινομένου σε σχέση ή όχι με τη γεωλογική δομή και τη μορφολογία. Όπως είναι φυσικό, οι πληρέστερες ταξινομήσεις είναι αυτές, οι οποίες περιλαμβάνουν όσο το δυνατό περισσότερους παράγοντες και γι' αυτό το λόγω έχουν διατηρηθεί και επικρατήσει τόσο στη διεθνή βιβλιογραφία όσο και στη καθημερινή πρακτική. Στη συνέχεια αναφέρονται ορισμένες από τις ταξινομήσεις οι οποίες θεωρούνται οι πληρέστερες καθώς επίσης και ορισμένες οι οποίες έχουν καθαρά ιστορική αξία. Τέτοιες είναι:

Ταξινόμηση κατά HEIM

- 1) Απλοί τύποι:
 - Κατολισθήσεις λεπτής φέτας που είναι γρήγορες για απότομα πρανή και αργές για πρανή με μέτρια κλίση
 - Κατολισθήσεις με αποκοπή
 - Κατολισθήσεις – ολισθήσεις κατά τη διεύθυνση της στρώσης
 - Κατολισθήσεις με περιστροφή
 - Καταπτώσεις
- 2) Συνθέτη τύποι
- 3) Πολύπλοκες Κατολισθήσεις

Ταξινόμηση κατά PENTA

- 1) Κατολισθήσεις γαιών, βραχωδών πετρωμάτων και κλαστικών υλικών
- 2) Κατακρημνίσεις επιφανειακές και μεγάλων μαζών
- 3) Καταρρεύσεις
- 4) Καθιζήσεις
- 5) Μικτές και πολύπλοκοι τύποι κατολισθήσεων

Ταξινόμηση κατά DESIO

- 1) Κατολισθήσεις με κατάρρευση
- 2) Κατολισθήσεις με ολίσθηση
- 3) Κατολισθήσεις με θραύση
- 4) Κατολισθήσεις με κατακρήμνιση
- 5) Κατολισθήσεις πολύπλοκες

Ταξινόμηση κατά HOEK – BRAY

- 1) Απλές θραύσεις
 - Επίπεδη θραύση
 - Σφηνοειδής θραύση
 - Κυκλική θραύση
 - Σέρρες πρανών
 - Θραύσεις με ανατροπή
- 2) Συνθέτες θραύσεις
 - Θραύση σε 2 επιφάνειες
 - Θραύσεις από διόγκωση
 - Ολίσθηση και ανατροπή
 - Θραύση από επαγωγικές τάσεις
 - Προοδευτική θραύση
- 3) Εκτόξευση βράχων

Ταξινόμηση κατά ZARUBA – MENCL

- 1) Μετακινήσεις επιφανειακών αποθέσεων:
 - Ερπυσμός κορωμάτων και κάμψεις κεφαλών στρωμάτων
 - Ολισθήσεις του επιφανειακού μανδύα αποσάθρωσης
 - Ροές γαιών
 - Ροές κορωμάτων
- 2) Μετακινήσεις σε αργιλικά πετρώματα:
 - Ολισθήσεις κατά μήκος κυλινδρικών επιφανειών ολίσθησης
 - Ολισθήσεις κατά μήκος συνθετών επιφανειών
 - Μετακίνηση πάνω σε πλαστικά πετρώματα
- 3) Ολισθήσεις συμπαγών πετρωμάτων:
 - Ολισθήσεις κατά μήκος των υφισταμένων ασυνεπειών
 - Ολισθήσεις βαρύτητας
 - Πτώσεις βράχων
- 4) Ειδικές περιπτώσεις μετακινήσεων:
 - Εδαφική ροή
 - Ροή αργίλων
 - Ημιυγρή ολίσθηση

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 πρηνή εκτός των καθιζήσεων, και όχι μόνο των κατολισθήσεων με τη στενή σημασία.

Η ταξινόμηση στηρίζεται σε 2 κυρία 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. Γαίες (earth) που αποτελούνται από λεπτόκοκκα υλικά

Στα μέτρα - έργα αντιμετώπισης περιλαμβάνονται:

- **Επιφανειακή αποστράγγιση:** Σκοπεύει στην αποφυγή συγκέντρωσης νερού στην επικίνδυνη περιοχή. Επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους, όπως με περιφερειακή τάφρο, εξομάλυνση της επιφάνειας του πρανούς, κλείσιμο των ρωγμών, απαγόρευση της καλλιέργειας στην επικίνδυνη περιοχή, επιφανειακές τάφροι - αύλακες συλλογής υδάτων, κλπ.
- **Υπόγεια αποστράγγιση:** Τρόπος πιο δαπανηρός από τον προηγούμενο, που αποσκοπεί κυρίως στην αποφυγή της μείωσης των τριβών σε δυνητικές επιφάνειες ολίσθησης. Επιτυγχάνεται με άντληση, κατασκευή στραγγιστικών γεωτρήσεων και πηγαδιών, ηλεκτρική όσμωση, κ.α.
- **Διαμόρφωση της επιφάνειας του πρανούς,** συνήθως σε αναβαθμούς. Πρόκειται για ευρέως διαδεδομένο μέτρο, το οποίο όμως πρέπει να συνοδεύεται και από άλλα (π.χ. συλλεκτήριες τάφροι), ενώ η έκταση και γενικά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των αναβαθμίδων ποικίλουν κατά περίπτωση.
- **Τσιμεντενέσεις - χημικά ενέματα:** Με την εισπίεση τσιμέντου ή άλλων μιγμάτων γίνεται προσπάθεια αύξησης της διατμητικής αντοχής εδαφικών κυρίως μαζών.
- **Τοίχοι αντιστήριξης:** Άλλο ένα μέτρο που συνήθως εφαρμόζεται κατά μήκος των οδικών αρτηριών. Οι τοίχοι αντιστήριξης κατασκευάζονται από σκυρόδεμα, λιθοδομή ή να αποτελούνται από συρματοκιβώτια. Πρέπει οπωσδήποτε να εδράζονται στο υγιές υπόβαθρο και να παρέχουν ικανοποιητική αποστράγγιση.
- **Εκτόξευση σκυροδέματος (gunite):** Το μέτρο αυτό λαμβάνεται σε απότομα βραχώδη πρανή και πρέπει να έχει προηγηθεί απολέπιση - φρεζάρισμα της επιφάνειας, ενώ συνοδεύεται και από κατάλληλο δίκτυο αποστραγγιστικών σωλήνων.
- **Τάφροι, τοίχοι ή φράχτες παγίδευσης:** Κατασκευάζονται κυρίως κατά μήκος συγκοινωνιακών αξόνων με σκοπό την ανάσχεση και παγίδευση μικρών βραχωδών τεμαχίων (μικρότερων των 2 μ.) που αποσπώνται και πέφτουν από το πρανές.

- Σκέπαστρα: Και αυτά κατασκευάζονται κατά μήκος συγκοινωνιακών αξόνων, στις περιπτώσεις που άλλο μέτρο προστασίας δεν αποδίδει. Είναι αρκετά δαπανηρές κατασκευές.

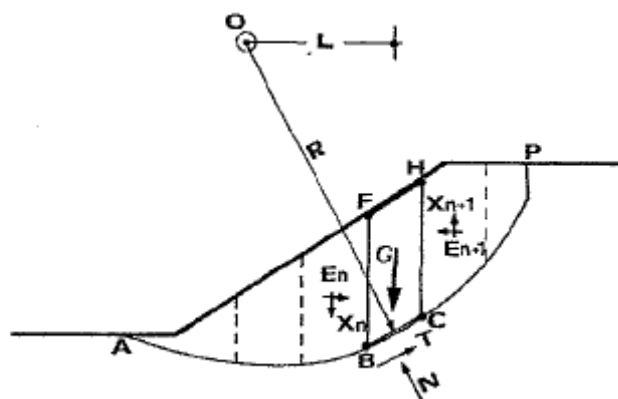
Η ΓΕΝΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΚΑΤΑ FELLENIUS

Με τη βοήθεια της καθόδου αυτής γίνεται ο έλεγχος της ευστάθειας πρανούς με οποιοδήποτε προφίλ, ομοιογενούς ή ανομοιογενούς, με γωνιά εσωτερικής τριβής και συνοχή, με εξωτερική φόρτιση ή όχι και με την παρουσία υπογείου ορίζοντα.

Η μέθοδος αρχικά κάνει την παραδοχή της κυλινδρικής επιφανείας ολίσθησης που σε ένα προφίλ πρανούς εμφανίζεται σαν τόξο κύκλου.

Για να εξακριβωθεί ποιος είναι ο πιο επικίνδυνος κύκλος ολίσθησης ενός πρανούς, δηλαδή ποιος είναι ο κύκλος με το μικρότερο συντελεστή ασφαλείας, πρέπει να εξεταστεί η ισορροπία του πρανούς για διάφορους κύκλους ολίσθησης που εκλέγονται τυχαία.

Συμφωνά με τη μέθοδο χαράζεται κάθε φορά ένας κύκλος ολίσθησης και αποχωρίζεται από το υπόλοιπο έδαφος το τμήμα που θεωρείται ότι κατολισθαίνει. Για να μελετηθεί η ισορροπία αυτού του τμήματος το χωρίζουμε σε κατακόρυφες φέτες και υπολογίζουμε τις δυνάμεις που ασκούνται σε κάθε φέτα.



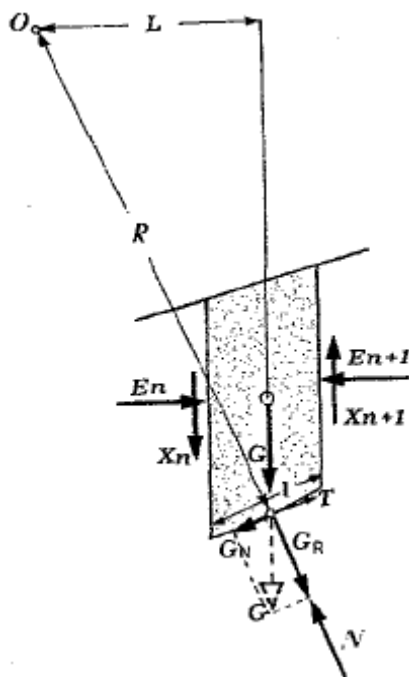
Σχήμα 12

Οι δυνάμεις αυτές διακρίνονται σε δυνάμεις ευστάθειας και δυνάμεις ανατροπής. Συγκεκριμένα σε κάθε φέτα ασκούνται οι παρακάτω δυνάμεις (Σχήμα 12):

- Το βάρος της φέτας G με σημείο εφαρμογής το κέντρο βάρους της φέτας.
- Οι δυνάμεις των ωθήσεων που ασκούνται με τυχαία κλίση στις κατακόρυφες παρειές. Παίρνουμε τις οριζόντιες και κατακόρυφες συνιστώσες τους, δηλαδή E_n , E_{n+1} και X_n , X_{n+1} αντίστοιχα
- Η αντίδραση του εδάφους κάτω από την επιφάνεια ολίσθησης, που έχει και αυτή τυχαία κλίση.

Οι δυνάμεις των ωθήσεων δεν είναι γνωστές εφόσον το έδαφος αριστερά βρίσκεται σε κατάσταση παθητικής ισορροπίας και δεξιά κατάσταση ενεργού ισορροπίας.

Η δύναμη G μπορεί να θεωρηθεί, για συνθήκη ροπών, σαν ολισθαίνουν διάνυσμα και για απλοποίηση των υπολογισμών αναλύεται στη βάση της φέτας σε δυο συνιστώσες: την G_R κατά τη διεύθυνση της ακτίνας και την G_N κατά την εφαπτομένη (Σχήμα 13).



Σχήμα 13

Η εντατική κατάσταση διαμορφώνεται ως εξής: η G_R δίνει μηδενική ροπή ως προς το κέντρο O του κύκλου ολίσθησης, και παραλαμβάνεται από το έδαφος με μια δύναμη ίση και αντίθετη, τη δύναμη N . Η G_R ενεργοποιεί την τριβή T που αναπτύσσει το έδαφος κατά μήκος της επιφανείας ολίσθησης. Πράγματι η μέγιστη τριβής που μπορεί να αναπτύξει το έδαφος είναι:

Οπού φ η γωνιά εσωτερικής τριβής του εδάφους.
Είναι όμως $G_R = N$, άρα

$$T = N \cdot \operatorname{tg} \cdot \varphi$$

Η άλλη συνιστώσα του βάρους δίνει ροπή ανατροπής ως προς το κέντρο του κύκλου ολίσθησης.

Ο Fellenius ορίζει το συντελεστή ασφαλείας F του πρανούς από τη σχέση

$$F = \frac{\text{Ροπή ευστάθειας}}{\text{Ροπή ανατροπής}}$$

Στον αριθμητή παίρνουμε τις ροπές των δυνάμεων ευστάθειας ως προς το κέντρο του κύκλου ολίσθησης, και στον παρονομαστή τις ροπές των δυνάμεων ανατροπής ως προς το ίδιο κέντρο.

Ο τύπος παίρνει την παρακάτω μορφή:

$$F = \frac{[\sum c \cdot l + \sum N \cdot \operatorname{tg} \cdot \varphi] \cdot R}{\sum G_N \cdot R}$$

όπου: c : η συνοχή του εδάφους,
 l : το μήκος της φέτας που εξετάζεται

$N \cdot \operatorname{tg} \cdot \varphi$: η τριβή

G_N : η συνιστώσα του βάρους που προκαλεί την κατολίσθηση.

Σχηματίζουμε τα αθροίσματα των ροπών για όλες τις φέτες και προκύπτει

$$F = \frac{\sum c \cdot l + \sum N \cdot \operatorname{tg} \cdot \varphi}{\sum G_N}$$

Η παρουσία του νερού ευνοεί τις κατολισθήσεις. Στην πιο απλή περίπτωση που το νερό δεν βρίσκεται σε κίνηση, αναπτύσσεται μια

πίεση πόρων u που έχει σαν συνεπεία τη μείωση των δυνάμεων τριβής που προέρχονται μόνο από ενεργούς τάσεις. Δηλαδή αν $u /$ είναι η δύναμη που αναπτύσσεται στο νερό κάθε φέτας, η τριβή T προκύπτει μόνο από τη δύναμη $(N - u /)$ που αντιστοιχεί στο στερεό μέρος του εδάφους. Δηλαδή

$$T = (N - u /) \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Μια άλλη επιβαρυντική συνεπεία της παρουσίας του νερού είναι ότι αυξάνεται το ίδιο βάρος της φέτας και επομένως και οι συνιστώσες G_N που είναι δυνάμεις κατολισθήσεων.

Ο συντελεστής ασφαλείας γράφεται με τη μορφή:

$$F = \frac{\sum c \cdot l + \sum (N - u /) \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\sum G_N}$$

Όλη η παραπάνω διαδικασία πρέπει να επαναληφθεί για τριπλή απειρία κύκλων, εφόσον δεν υπερέχει κριτήριο που να μας επιτρέπει στη γενική περίπτωση να ξέρουμε που βρίσκεται το κέντρο του κρίσιμου κύκλου και ποια είναι η ακτίνα του. Οι διαδοχικές δοκιμές γίνονται μόνο με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή.

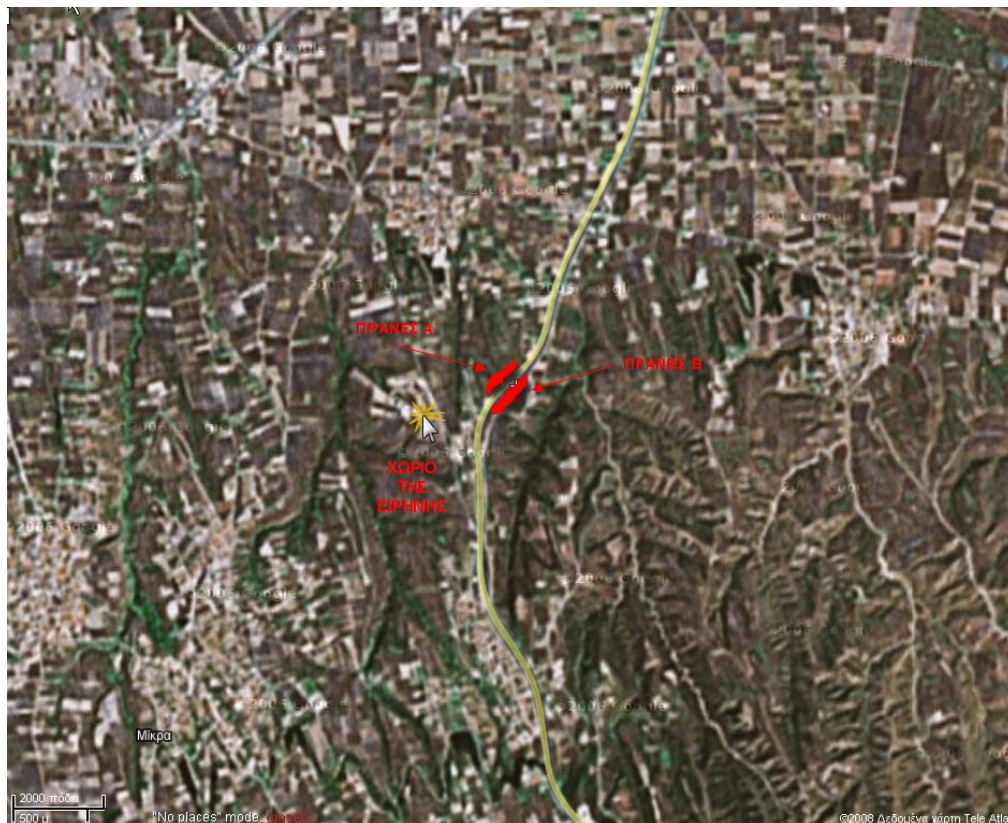
Η ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ

Η Καρδία βρίσκεται νότια της πόλης της Θεσσαλονίκης, σε απόσταση 20km από το κέντρο της. Η οδική πρόσβαση είναι άνετη, μέσω της Εθνικής Οδού Θεσσαλονίκης - Νέων Μουδανιών.

Ανήκει στο Δήμο Μίκρας του Νομού Θεσσαλονίκης, που αποτελείται από τα Δημοτικά Διαμερίσματα Καρδίας, Τριλόφου, Πλαγιαρίου, Άνω και Κάτω Σχολαρίου. Η ευρύτερη περιοχή έχει ελαφρά κλίση προς τα βόρεια-βορειοανατολικά. Πλήθος ρεμάτων με βαθιές κοίτες και υπολείμματα άγριας βλάστησης στις όχθες τους αυλακώνουν και διασπούν σε επιμέρους χωρικές ενότητες το κατά τα άλλα ομοιογενώς ανάγλυφο τοπίο, καταλήγοντας στον Θερμαϊκό Κόλπο. Διάσπαρτοι στις άλλοτε αποκλειστικώς γεωργικές εκτάσεις, που είχαν διανεμηθεί σε καλλιεργητές από το Δημόσιο, υπάρχουν λίγοι οικιστικοί πυρήνες. Αυτοί τα τελευταία χρόνια άρχισαν να επεκτείνονται και να μεταλλάσσονται σε απόμακρα προάστια της Θεσσαλονίκης. Οι αγροί μετατρέπονται μάλλον ανεξέλεγκτα σε οικόπεδα εκτός σχεδίου για οικιστικές και άλλες χρήσεις, με αποτέλεσμα τη σταδιακή δημιουργία μιας διάχυτης πόλης σε ολόκληρη την έκταση από τα προάστια της Θεσσαλονίκης μέχρι τους λόφους της περιοχής της Καρδίας, που διαθέτουν εξαιρετική θέα προς τον Θερμαϊκό Κόλπο και ολόκληρο το πολεοδομικό συγκρότημα της πρώτης.



Η περιοχή που μελετάμε βρίσκεται γεωλογικά ανάμεσα στις ζώνες Περιροδοπικής και Αξιού. Γεωγραφικά βρίσκεται ΝΑ της Θεσσαλονίκης, στη κοινότητα της Καρδίας στο Δήμο Μίκρας, και συγκεκριμένα μελετάμε την ευστάθεια πρανών και αντιπρανών στο δρόμο Θεσσαλονίκης – Χαλκιδικής στο ύψους του χωριού της Ειρήνης. Τα ΠΡΑΝΗ Α' και Β' εμφανιστήκαν λόγω διάνοιξης του δρόμου Θεσσαλονίκης – Χαλκιδικής και τη διευκόλυνση της οδικής κυκλοφορίας κατοίκων και επισκεπτών.



Τα πετρώματα της περιοχής μελέτης τα οποία και καλύπτουν το υπόβαθρο με έκταση πολύ μεγαλύτερη από αυτή που καταλαμβάνουν τα μεταμορφωμένα πετρώματα είναι τα Άνω Μειοκαινικά – Κάτω Πλειοκαινικά ιζήματα τα οποία αποτελούνται από ψαμμιτομαργαϊκή σειρά βαθύτερα και από τη σειρά των ερυθρών αργίλων στα ανώτερα στρώματα. Ακολουθούν οι πλειστοκαινικές σειρές αναβαθμίδων στην περιοχή του Ανθεμούντα και τα ολιγοκαινικά ιζήματα (άμμοι, άργιλλοι, ιλύες, χαλαρές αποθέσεις, αλλουβιακά και ιστορικά ιζήματα στο κέντρο της Θεσσαλονίκης), κατά μήκος των αναβαθμίδων παρατηρείτε σειρά κώνων κορημάτων χειμάρρων και πλευρικών ριπιδιών.

Συγκεκριμένα τα πετρώματα που μελετάμε είναι χερσοποτάμιας και λιμναίας φάσης. Στο λιμναίο περιβάλλον έχουμε απόθεση μάργων και ψαμμιτών τα οποία βρίσκονται σε συμπαγή μορφή με εμφάνιση *rhelix* απολιθώματα, ενώ στο χερσοποτάμιο περιβάλλον βρίσκεται άργιλο – ιλύς με ασβεστοίτικα και σε όλο των όγκο του κροκάλες.

Συγκεκριμένα:

Από τη σύνθεση των δεδομένων που προέκυψαν από την επί τόπου έρευνα, την επισήμανση των ιδιαίτερων γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών, τη γεωλογική αναγνώριση των εδαφικών δειγμάτων της ερευνητικής γεώτρησης, τις τιμές της πρότυπης δοκιμής διείσδυσης (N_{SPT}), τις τιμές των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν και τις βιβλιογραφικές πηγές που χρησιμοποιήθηκαν, προκύπτουν οι παρακάτω παράμετροι σχεδιασμού για καθένα από τα στρώματα που εμφανίζονται στη θέση μελέτης:

Στρώμα 1: Αποτελείται από αργιλώδη άμμο και κατατάσσεται γεωτεχνικά κατά USCS ως SC. Εμφανίζεται επιφανειακά με πάχος 1.00m. Χαρακτηρίζεται από μέση ως υψηλή πυκνότητα, με μέσες έως υψηλές τιμές N_{SPT} 20÷23. Από τις δοκιμές πεδίου και τις βιβλιογραφικές αναφορές, προκύπτουν οι παρακάτω τιμές φυσικών και μηχανικών παραμέτρων σχεδιασμού: κορεσμένο φαινόμενο βάρος $\gamma=20.00 \text{ kN/m}^3$, γωνία εσωτερικής τριβής $\phi=29^\circ$, συνοχή $c=25 \text{ kPa}$ και μέτρο ελαστικότητας $E_s=6500 \text{ kPa}$ (Mares).

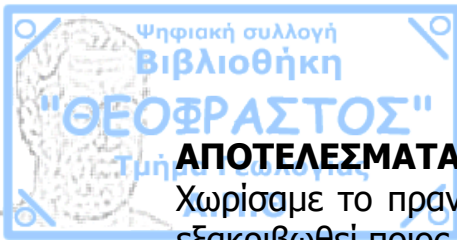
Στρώμα 2: Αποτελείται από αμώδη αργιλοϊλύ και κατατάσσεται γεωτεχνικά κατά USCS ως CL. Εμφανίζεται κάτω από το Στρώμα 1 με πάχος 1.00m και χαρακτηρίζεται από μέση στιφρότητα, με μέσες τιμές N_{SPT} 11÷25. Από τις δοκιμές πεδίου, τις βιβλιογραφικές αναφορές που ισχύουν και τις εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής που

εκπονήθηκαν, προκύπτουν οι παρακάτω τιμές φυσικών και μηχανικών παραμέτρων σχεδιασμού: κορεσμένο φαινόμενο βάρος $\gamma=20.10 \text{ kN/m}^3$, γωνία εσωτερικής τριβής $\phi=19^\circ$, συνοχή $c=32 \text{ kPa}$ και μέτρο ελαστικότητας $E_s=5800 \text{ kPa}$ (Mares).

Στρώμα 3: Αποτελείται από εναλλαγές αργιλώδους άμμου και κατατάσσεται γεωτεχνικά κατά USCS ως SC/SM. Εμφανίζεται σε βάθος 2.00m έως 5.00m και χαρακτηρίζεται από μέση ως υψηλή πυκνότητα, με μέσες έως υψηλές τιμές $N_{SPT} \ 25 \div 50$. Από τις βιβλιογραφικές αναφορές και τις εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής που εκπονήθηκαν, προκύπτουν οι παρακάτω τιμές φυσικών και μηχανικών παραμέτρων σχεδιασμού: κορεσμένο φαινόμενο βάρος $\gamma=20.00 \text{ kN/m}^3$, γωνία εσωτερικής τριβής $\phi=22^\circ$, συνοχή $c=48 \text{ kPa}$ και μέτρο ελαστικότητας $E_s=7100 \text{ kPa}$ (Mares).

Στρώμα 4: Αποτελείται από αργιλοϊλυώδη έως αμμώδη αργιλοϊλυώδη μάργα και κατατάσσεται γεωτεχνικά κατά USCS ως CL. Εμφανίζεται σε βάθος 5.00m έως 15.00m (τουλάχιστον). Χαρακτηρίζεται από υψηλή στιφρότητα, με υψηλές τιμές $N_{SPT} \approx 50$. Από τις βιβλιογραφικές αναφορές και τις εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής που εκπονήθηκαν, προκύπτουν οι παρακάτω τιμές φυσικών και μηχανικών παραμέτρων σχεδιασμού: κορεσμένο φαινόμενο βάρος $\gamma=20.50 \text{ kN/m}^3$, γωνία εσωτερικής τριβής $\phi=12^\circ$, συνοχή $c=100 \text{ kPa}$ και μέτρο ελαστικότητας $E_s=8900 \text{ kPa}$ (Mares).

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Οι τιμές των παραπάνω στρωμάτων πάρθηκαν εμπειρικά από γεωτρήσεις στη γύρω περιοχή.



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΕΣ

Χωρίσαμε το πρανές σε τέσσερις κατακόρυφες φέτες έτσι ώστε για να εξακριβωθεί ποιος είναι ο πιο επικίνδυνος κύκλος ολίσθησης.

Βάσει του τύπου του Fellenius:

$$F = \frac{\sum c \cdot l + \sum N \cdot \operatorname{tg} \cdot \varphi}{\sum G_N}$$

Τα αποτελέσματα των συντελεστών ασφαλείας είναι:

Κατακόρυφη φέτα 1: $n_1=1.32$

Κατακόρυφη φέτα 2: $n_2=1.44$

Κατακόρυφη φέτα 3: $n_3=1.53$

Κατακόρυφη φέτα 4: $n_4=1.68$

ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Τεκτονικά στη περιοχή έχουμε ρήγμα το οποίο έχει διεύθυνση Α-Δ και τέμνει τη περιοχή μελέτης, καθώς επίσης και σημειακές καθιζήσεις μικρού μήκους στα ανώτερα στρωματά. Το ρήγμα αυτό είναι νοτιά του ρήγματος του Ανθεμούντα, με το οποίο δεν έχει καμιά σχέση άσχετα με το ότι έχει ίδια διεύθυνση και είναι και αυτό κανονικό.



ΕΙΔΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΣΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ

Στο σημείο αυτό δεν παρατηρήθηκαν προβλήματα καθιζήσεων και κατολισθήσεων τόσο στις μελέτες που έγιναν , ούτε από διαφορές μαρτυρίες κατοίκων. Υπάρχουν φυσικά κάποιες μικροκαταπτώσεις, οι οποίες όμως είναι σε επιφανειακό επίπεδο και οφείλονται σε μετεωρικό νερό το οποίο παρέσυρε τα μαλακά εδάφη. Σε τεχνικό επίπεδο ο συντελεστής ασφαλείας των πρανών, από την τεχνική εταιρία που έγινε ο δρόμος, βρέθηκε περίπου $n \sim 1,7$, οπότε τα πρανά είναι ασφαλή.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σημαντικό είναι οι κλίσεις των τεχνικών πρανών που δόθηκαν έτσι ώστε να αποσοβήσουν τέτοιες περιπτώσεις. Παρόλα αυτά ως μέτρο πρόληψης της εταιρίας που κατασκεύασε τον δρόμο είναι κάποιοι τάφροι που διανοίχτηκαν κατά μήκος των συγκοινωνιακών αξόνων με σκοπό την ανάσχεση και παγίδευση μικρών βραχωδών τεμαχίων (μικρότερων των 2 μ.) που αποσπώνται και πέφτουν από το πρανές. Άλλη μια πρόληψη είναι η δένδροφύτευση η οποία έγινε για απορρόφηση των υπογείων υδάτων και του μετεωρικού νερού και κατ' επέκταση συγκράτηση των σαθρών εδαφών.

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ















ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστούμε θερμά τον κ. Χρηστάρα Βασίλειο, καθηγητή, του τομέα Γεωλογίας, του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ, για τις πληροφορίες, τις γνώσεις και το χρόνο που μας διέθεσε. Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την μεταπτυχιακό φοιτήτρια Γεωλογίας Πιπερά Κυριακή για την πολύτιμη βοήθεια και στήριξη του στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Γραμματικόπουλος Ι., Μάνου-Ανδρεάδη Ν., Χατζηγώγος Θ.,
(1993): «Εδαφομηχανική – Ασκήσεις και Προβλήματα», Θεσ/νίκη

Δημόπουλος Γ., (1986): «Τεχνική Γεωλογία», Θεσ/νίκη

Δημόπουλος Γ., (2000): «Εδαφικά και Βραχώδη Πρανή»,
Θεσ/νίκη

Κίλιας Α., (1998): «Εισαγωγή στην Τεκτονική Γεωλογία»,
Θεσ/νίκη

Καμβαδάς Μ., (2000): «Στοιχεία Εδαφομηχανικής», Αθήνα

Μουντράκης Δ., (1985): «Γεωλογία της Ελλάδας», Θεσ/νίκη

Χρηστάρας Β., (1998): «Εργαστηριακές & επί τόπου δοκιμές
Εδαφομηχανικής», Θεσ/νίκη