



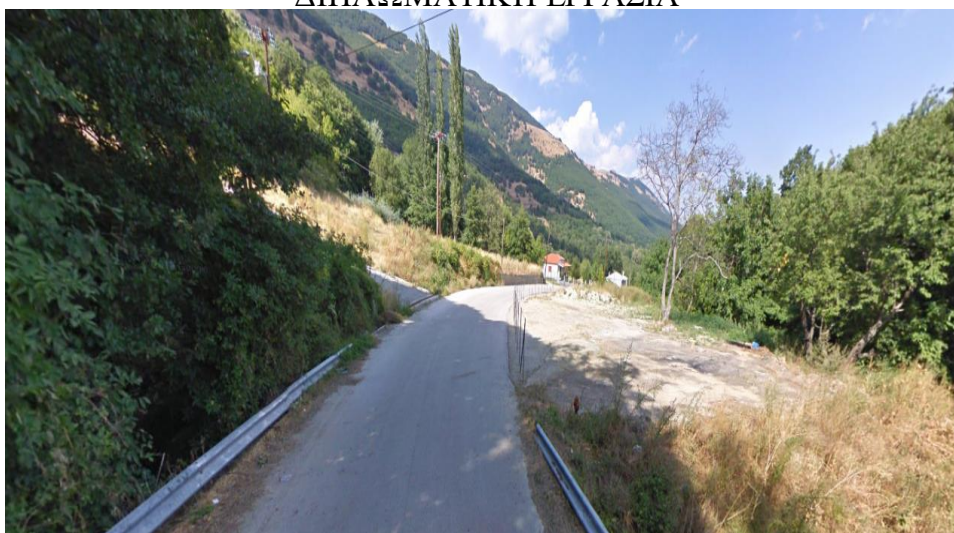
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΧΡΗΣΤΟΣ ΛΙΑΝΟΣ

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ
ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΟΡΥΓΜΑΤΩΝ ΣΤΟΝ ΟΔΙΚΟ
ΑΞΟΝΑ ΑΣΠΡΟΓΕΙΑ – ΠΕΡΙΚΟΠΗ, Ν.ΦΛΩΡΙΝΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2021





ΧΡΗΣΤΟΣ ΛΙΑΝΟΣ
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5003

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ
ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΟΡΥΓΜΑΤΩΝ ΣΤΟΝ ΟΔΙΚΟ
ΑΞΟΝΑ ΑΣΠΡΟΓΕΙΑ – ΠΕΡΙΚΟΠΗ, Ν.ΦΛΩΡΙΝΑΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωλογίας ,
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας

Επιβλέπων

Β.Μαρίνος, Καθηγητής

Συνεπιβλέπων

Β.Χρηστάρας, Καθηγητής

© Χρήστος Λιάνος, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωλογίας,
2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ
ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΟΡΥΓΜΑΤΩΝ ΣΤΟΝ ΟΔΙΚΟ
ΑΞΟΝΑ ΑΣΠΡΟΓΕΙΑ – ΠΕΡΙΚΟΠΗ, Ν.ΦΛΩΡΙΝΑΣ – Διπλωματική
Εργασία

© Christos Lianos, School of Geology, Dept. of Applied Geology, 2021
All rights reserved.

ENGINEERING GEOLOGICAL ASSESSMENT AND KINEMATIC
ANALYSIS ALONG ROAD CUTS OF ASPROGEIA-PERIKOPI,
FLORINA AREA – *Bachelor Thesis*



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

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



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ – ABSTRACT.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ.....	9
2.1 Βραχομάζα.....	9
2.2 Ασυνέχειες.....	9
2.3Ταξινόμηση Βραχομάζας.....	12
2.3.1Ταξινόμηση με βάση το RQD.....	14
2.3.2 Ταξινόμηση με βάση το RMR.....	14
2.3.3 Ταξινόμηση με βάση το Q.....	16
2.3.4 Ταξινόμηση με βάση το GSI.....	19
2.4 Διατμητική Αντοχή Ασυνεχειών.....	20
2.5 Κριτήριο Barton.....	23
2.6 Ευστάθεια Πρανών.....	26
2.7 Μέτρα Προστασίας Πρανών.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ.....	33
3.1 Πελαγονική Ζώνη.....	34
3.2 Περιοχή Μελέτης.....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΩΝ.....	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	54



Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Βασίλειο Μαρίνο, Επίκουρο Καθηγητή του τμήματος Γεωλογίας και Περιβαλλοντικής Υδρογεωλογίας που παρά το φορτωμένο του πρόγραμμα, το ευμεγέθη χρονικό διάστημα που χρειάστηκε για να ολοκληρωθεί η εργασία και τις δυσμενείς συνθήκες που επικρατούν το τελευταίο καιρό βρήκε χρόνο και διάθεση να με βοηθήσει και να με καθοδηγήσει καθόλη τη διάρκεια. Χωρίς την επίσκεψη του έργου στην ύπαιθρο μαζί του και το υλικό είτε που προμήθευσε ο ίδος είτε που υπέδειξε πως να αναζητήσω, η ολοκλήρωση της εργασίας θα ήταν αδύνατη.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρία Αναπτυξιακή Δυτικής Μακεδονίας Α.Ε. και τον κύριο Νικολαΐδη για την παροχή του θέματος της εργασίας καθώς και το υλικό που παρείχαν.

Τέλος, απαραίτητο είναι και ένα μεγάλο εγκάρδιο ευχαριστώ στον Μιχάλη Ράβναλη, Υποψήφιο Διδάκτορα του τμήματος Γεωλογίας, τομέα Γεωφυσικής του ΑΠΘ για την ψυχολογική υποστήριξη, παροχή ιδεών και χρήσιμων προγραμμάτων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ – ABSTRACT

Η εργασία αυτή αφορά τη βελτίωση του οδικού δικτύου μεταξύ των οικισμών Ασπρόγειας - Περικοπής. Μελετώντας και αντλώντας στοιχεία και πληροφορίες από παλαιότερες εργασίες στον ευρύτερο χώρο καθώς και διεκπεραιώνοντας μια σειρά από μετρήσεις και εργαστηριακές εργασίες, γίνεται μια προσπάθεια αναγνώρισης του τεχνικογεωλογικού προσομοιώματος και πραγματοποιείται μια ανάλυση ευστάθειας σε ορισμένες θέσεις. Γίνεται αναφορά στο απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο όπως οι όροι βραχομάζα, ασυνέχειες, ταξινόμηση βραχομάζας, αντοχή ασυνεχειών και ευστάθεια πρανών. Παρουσιάζονται οι τεχνικογεωλογικές ενότητες που εκτείνονται στη περιοχή ενδιαφέροντος και μετά από τις μετρήσεις τεκτονικού διαγράμματος που πραγματοποιήθηκαν επιτόπου σε σχέση με τη γεωμετρία των ασυνεχειών και την ποιότητά τους εκτελέστηκαν κινηματικές αναλύσεις ευστάθειας. Τέλος, ομαδοποιούνται οι βραχομάζες στην ακτίνα του έργου και υπολογίζονται οι τρόποι αστοχίας τους.

This paper concerns the improvement of the road network between the settlements of Asprogia – Perikopi. By examining studies that took place in the past in the general area, as well as doing a battery of field and lab tests, an effort has been made to understand the geotechnical environment in order to calculate slope stability in certain spots. In order to clarify the technical terms and keywords the appropriate background has been offered, such as rock mass, discontinuities, rock mass classification system, shear discontinuity strength and slope stability. Also, there is a presentation of the geotechnical units that structure the point of interest. Furthermore, slope stability kinematics have been calculated by combining tectonic diagram measurements that took place in site along with the quality and geometry of the discontinuities. Last but not least, the rock masses in range of the study are being classified in a way that will enable the identification of possible ways they might fail.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αστυφιλία είναι ένα φαινόμενο που πλήττει σε μεγάλο βαθμό την Ελλάδα του 21^{ου} αιώνα, συνέπειές της είναι η ερήμωση της υπαίθρου και ο μαρασμός των χωριών. Ένα από τα αναρίθμητα παραδείγματα είναι τα χωριά της Ασπρόγειας και της Περικοπής. Σήμερα η οδός που ενώνει τους δύο οικισμούς είναι ένας δασικός δρόμος σε κακή κατάσταση που δεν πληροί τις βασικές προδιαγραφές για την μετακίνηση των κατοίκων. Πρόκειται για ένα δρόμο σε ορεινή περιοχή που διασχίζει πυκνό δάσος με ιδιαίτερες γεωμορφολογικές συνθήκες μέσα σε πληθώρα υδρορεμάτων και μεγάλο ύψος κατακρημνισμάτων.

Σκοπός της μελέτης είναι ο προσδιορισμός του τεχνικογεωλογικού προσομοιώματος με την πλήρη διερεύνηση των γεωλογικών, γεωμορφολογικών, τεκτονικών, υδρογεωλογικών και τεχνικογεωλογικών συνθηκών στην περιοχή του έργου.

Για τη διεκπεραίωση της μελέτης συγκεντρώθηκαν προϋπάρχουσες πληροφορίες και στοιχεία που αφορούν την περιοχή ενδιαφέροντος αλλά και την ευρύτερη περιοχή από γεωλογικής, τεχνικογεωλογικής, υδρογεωλογικής και σεισμολογικής άποψης, ταυτόχρονα μετά από επιτόπου επισκέψεις συλλέχθηκαν νέα δεδομένα κάνοντας χρήση της γεωλογικής πιξύδας και της σφύρας Schmidt.

Η εργασία χωρίζεται σε τρία μέρη, αρχικά στο πρώτο μέρος θα παρουσιαστούν οι θεωρητικές γνώσεις που απαιτούνται για την έρευνα, όπως οι ορισμός της βραχομάζας και της ασυνέχειας και της διατμητικής αντοχής. Στο δεύτερο μέρος θα χαρακτηριστεί το γεωτεχνικό περιβάλλον στο οποίο λαμβάνει χώρα η μελέτη, δηλαδή θα περιγραφούν οι τύποι της βραχομάζας που συναντώνται και οι μηχανικές τους ιδιότητες και συμπεριφορές. Στο τρίτο μέρος θα δοθούν τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα από την επί τόπου μελέτη και εργασία και τις εργαστηριακές δοκιμές, ενώ παράλληλα θα γίνει και η ανάλυση ευστάθειας.

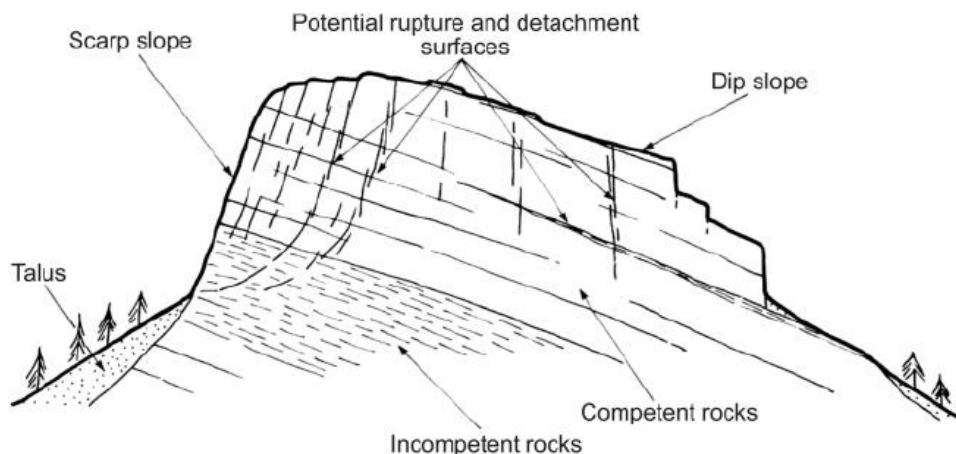
Τέλος, η έρευνα θα κλείσει με συνοψισμό των βασικών σημείων και την εξαγωγή συμπερασμάτων και προτάσεων .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1 Πέτρωμα – Βραχομάζα

Πέτρωμα είναι το ενιαίο πετρογραφικό σύστημα, που χαρακτηρίζεται από μια χαρακτηριστική για το κάθε πέτρωμα ομάδα ορυκτών. Οι ιδιότητες του πετρώματος εξαρτώνται από τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των ορυκτών που το συνιστούν καθώς και τη φύση και το τύπο των μεταξύ τους δεσμών.

Βραχομάζα (βράχος) είναι το σύστημα περισσότερων πετρογραφικών σωμάτων, το οποίο παρουσιάζεται στη φύση είτε με τη μορφή ενός πετρώματος με χαρακτηριστικές επιφάνειες αποχωρισμού, είτε με τη μορφή μιας σειράς διαφορετικών πετρωμάτων. Επί το πλείστον είναι ρηγματωμένη, διασχίζεται από ποικίλα συστήματα ασυνεχειών, παρουσιάζει μεταβλητό βαθμό αποσάθρωσης και εξαλλοίωσης και έχει ανισότροπη συμπεριφορά.



Εικόνα 1 Χαρακτηριστικά πρανούς (Eisbacher et al., 1984)

2.2 Ασυνέχειες

Ασυνέχεια είναι οι επιφάνειες αποχωρισμού, που διασπούν τον ενωτικό δεσμό του πετρώματος. Τέτοιες επιφάνειες είναι: Επιφάνειες κατατμήσεων, στρώσης, σχιστότητας και επιφάνειες ρηγμάτων. Επιπλέον ορίζεται ως η κάθε τεκτονική, ιζηματογενής ή άλλης προελεύσεως δομή που διακόπτει κατά τμήματα ή εξ' ολοκλήρου τη συνέχεια ενός πετρώματος και έχει μηδενική εφελκυστική αντοχή.

Χωρίζονται σε ρήγματα, διακλάσεις, επιφάνειες στρώσης, επιφάνειες σχιστότητας και διαλυσηγενείς ασυνέχειες. Ρήγμα στη γεωλογία ονομάζεται κάθε ρηξη-

νής δομή εκατέρωθεν της οποίας παρατηρούνται μετακινήσεις των επί μέρους τμημάτων του γεωλογικού σχηματισμού που παραμορφώνεται. Οι μετατοπίσεις αυτές έχουν μεγέθη από 1 cm έως και 1 km . Ανάλογα με τον τρόπο κίνησης των επί μέρους τεμάχων του γεωλογικού σχηματισμού εκατέρωθεν του ρήγματος , χωρίζονται σε αν-άστροφα, κανονικά και οριζόντιας μετατόπισης .



Εικόνα 2 Ρήγμα San Antonio (Michael R Perry, 2014)

Field CodeChanged

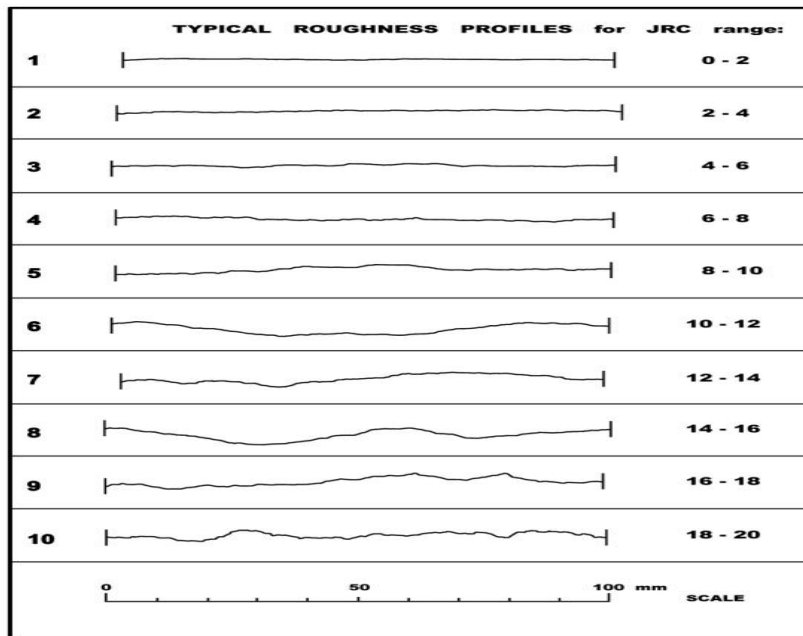
Διακλάσεις είναι οι ρηξιγενής τεκτονική δομή εκατέρωθεν της οποίας δεν παρατηρούνται σημαντικές μετατοπίσεις των τεμάχων του γεωλογικού σχηματισμού. Επιφάνειες στρώσης είναι οι επιφάνειες με τις οποίες διαχωρίζονται τα επιμέρους στρώματα ενός πετρώματος. Επιφάνειες σχιστότητας δημιουργούνται στα μεταμορφωμένα πετρώματα εξαιτίας της παράλληλης τοποθέτησης των φυλλωδών και ινωδών ορυκτών των πετρωμάτων. Διαλυσηγενείς ασυνέχειες σχηματίζονται με τη διάλυση των πετρωμάτων.

Προσανατολισμός ασυνεχειών ορίζεται ως το σύνολο των γεωμετρικών τους στοιχείων. Τα γεωμετρικά αυτά στοιχεία είναι η παράταξη, η διεύθυνση κλίσης και το μέτρο της κλίσης .

Πυκνότητα των ασυνεχειών είναι η απόσταση μεταξύ διαδοχικών ασυνεχειών. Ταξινομεί τη βραχομάζα από πολύ αραιά διαρρηγμένη όταν η απόσταση των διακλάσεων είναι μεγαλύτερη των δύο μέτρων μέχρι πολύ πυκνά διαρρηγμένη όταν η απόσταση είναι μικρότερη από έξι εκατοστά του μέτρου .

Εμμονή ασυνεχειών είναι η ανάπτυξή τους στο χώρο. Προσδιορίζεται από τη μέτρηση των ιχνών των ασυνεχειών στις δύο διαστάσεις. Παίρνει τιμές από ένα μέτρο για μια πολύ μικρή ασυνέχεια μέχρι πάνω από είκοσι μέτρα για μια πολύ υψηλή ασυνέχεια.

Τραχύτητα ασυνεχειών είναι οι οδοντώσεις, εξάρσεις, βυθίσματα και κυματοειδή μορφές που εμφανίζονται στα τοιχώματά τους. Ανάλογα με τη μορφή που παρουσιάζουν ομαδοποιούνται σε επίπεδες, κυματοειδείς και κλιμακωτές. Παίρνουν τιμές σε σχέση με το συντελεστή τραχύτητας ασυνέχειας (JRC) των Barton & Choubey (1977) .



Εικόνα 3 Προφίλ τραχύτητας (Barton, Choubey, 1977)

Αντοχή τοιχώματος είναι η ισοδύναμη θλιπτική αντοχή του πετρώματος των γειτονικών τοιχωμάτων της ασυνέχειας και επηρεάζει τη διατμητική αντοχή τραχείων επιφανειών. Η εκτίμηση της αντοχής γίνεται με βάση τα αποτελέσματα είτε των χτυπημάτων με γεωλογικό σφυρί είτε με την αναπήδηση της σφύρας Schmidt.

Άνοιγμα ασυνεχειών είναι η κάθετη απόσταση μεταξύ των γειτονικών τοιχωμάτων της ασυνέχειας. Ο χώρος αυτός είναι πληρωμένος με αέρα ή νερό, στη περίπτωση που υπάρχει υλικό πλήρωσης το άνοιγμα αυτό ονομάζεται πλάτος της ασυνέχειας .

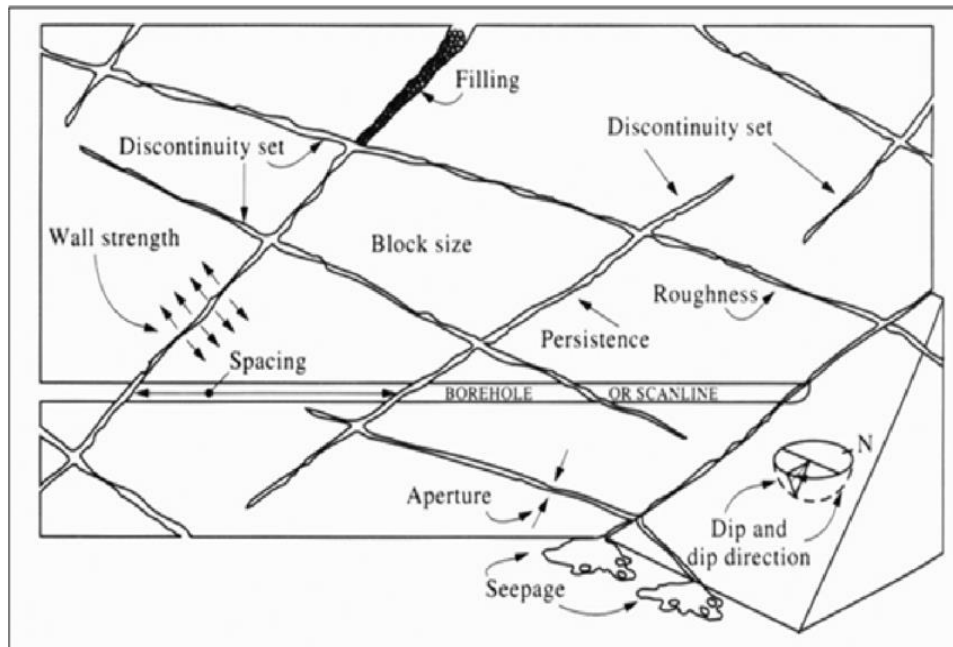
Πλήρωση ασυνεχειών είναι το γέμισμα της ασυνέχειας από κάποιο υλικό . Για να περιγραφεί το υλικό πλήρωσης της ασυνέχειας πρέπει να εξεταστεί η ορυκτολογία, η γεωμετρία, η υγρασία και η αντοχή του υλικού, συνήθως είναι ασθενέστερο από το μητρικό πέτρωμα.

Αποσάθρωση ασυνεχειών είναι η μείωση της αντοχής του βράχου εξαιτίας της αποσάθρωσης και έχει σαν αποτέλεσμα την ελάττωση της διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών.

Δήθηση είναι η ροή νερού και η γενικότερη ύπαρξη υγρασίας στις ασυνέχειες και στο σύνολο της βραχομάζας .

Σύστημα ασυνεχειών είναι ο αριθμός του συνόλου των παράλληλων ασυνεχειών της βραχομάζας.

Γεωμετρία τεμάχους είναι το μέγεθος και το σχήμα του τεμάχους που οριοθετείται από την απόσταση, την εμμονή και το σύστημα των ασυνεχειών.



Εικόνα 4 Χαρακτηριστικά ασυνεχειών (Hudson, 1989)

2.3 Ταξινόμηση Βραχομάζας

Η ταξινόμηση βραχομάζας είναι μια διαδικασία κατά την οποία όγκος της βραχομάζας κατηγοριοποιείται σε ομάδες και κλάσεις σύμφωνα με τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά του (Bieniawski, 1989) . Τα διάφορα συστήματα ταξινόμησης της βραχομάζας λειτουργούν σαν καθοδηγήτριες γραμμές και δεν είναι ικανά να

αντικαταστήσουν τη λεπτομερή εξέταση της βραχομάζας στο πεδίο (Bieniawski, 1993). Τα συστήματα αυτά αποτελούν σημαντικό μέρος της προεργασίας του μελετητή κάνοντας χρήση εμπειρικών και αριθμητικών μοντέλων. Χρησιμοποιούνται σε συνεργασία με επιτόπου δοκιμές και εργαστηριακές μετρήσεις για την πλήρη αναγνώριση της βραχομάζας (Hoek, 2007) .

Σκοπός της ταξινόμησης είναι η αναγνώριση των σημαντικότερων παραμέτρων που επηρεάζουν τη συμπεριφορά της βραχομάζας, τη τοποθέτηση της βραχομάζας σε κατηγορίες με γνωστά χαρακτηριστικά, τη κατανόηση των χαρακτηριστικών της κάθε κατηγορίας, η παραγωγή ποσοτικών δεδομένων για το μηχανικό σχεδιασμό που θα μπορούν να αναγνωριστούν από το γεωλόγο και το μηχανικό και τη συσχέτιση της κατάστασης της βραχομάζας ενός έργου με την κατάσταση που επικρατεί στη βραχομάζα ενός άλλου (Bieniawski, 1993) .

Παράμετροι που χρησιμοποιούνται για τη ταξινόμηση είναι η διατμητική αντοχή του άρρηκτου βράχου, η ποιότητά του με βάση το κριτήριο (RQD), οι παράμετροι των ασυνεχειών της βραχομάζας όπως προσανατολισμός, απόσταση και κατάσταση που βρίσκονται, υπόγεια ροή νερού και οι πιέσεις που ασκεί οι τάσεις που αναπτύσσονται, οι διάφορες κύριες γεωλογικές δομές όπως ρήγματα και πτυχές (Bieniawski, 1993).

Τα συστήματα ταξινόμησης βραχομάζας πρωτοεμφανίστηκαν το 1879 όταν ο Ritter σχεδίασε μια εμπειρική προσέγγιση για τον υπολογισμό της υποστήριξης που θα χρειαζόταν μια σήραγγα κατά την διάνοιξή της. Κάποια από τα πιο δημοφιλή παρουσιάζονται παρακάτω , σε αυτή τη μελέτη θα γίνει λόγος για τα συστήματα RQD, RMR, GSI και Q.

Rock Mass Classification System	Originator	Country of Origin	Application Areas
Rock Load	Terzaghi, 1946	USA	Tunnels with steel Support
Stand-up time	Lauffer, 1958	Australia	Tunneling
New Austrian Tunneling Method (NATM)	Pacher et al., 1964	Austria	Tunneling
Rock Quality Designation (RQD)	Deere et al., 1967	USA	Core logging, tunneling
Rock Structure Rating (RSR)	Wickham et al., 1972	USA	Tunneling
Rock Mass Rating (RMR)	Bieniawski, 1973 (last modification 1989-USA)	South Africa	Tunnels, mines, (slopes, foundations)
Modified Rock Mass Rating (M-RMR)	Ünal and Özkan, 1990	Turkey	Mining
Rock Mass Quality (Q)	Barton et al., 1974 (last modification 2002)	Norway	Tunnels, mines, foundations
Strength-Block size	Franklin, 1975	Canada	Tunneling
Basic Geotechnical Classification	ISRM, 1981	International	General
Rock Mass Strength (RMS)	Stille et al., 1982	Sweden	Metal mining
Unified Rock Mass Classification System (URCS)	Williamson, 1984	USA	General
Communication Weakening Coefficient System (WCS)	Singh, 1986	India	Coal mining
Rock Mass Index (RMI)	Palmström, 1996	Sweden	Tunneling
Geological Strength Index (GSI)	Hoek and Brown, 1997	Canada	All underground excavations

Εικόνα 5 Συστήματα ταξινόμησης βραχομάζας (Cosar, 2004)

2.3.1 Ταξινόμηση με βάση το RQD

Ο όρος RQD ή Rock Quality Designation είναι δείκτης ποιότητας βράχου. Δίνει τη δυνατότητα ποσοτικοποίησης του βαθμού ρωγμάτωσης της βραχομάζας (Deere, 1964) και ισούται με το ποσοστό των αδιατάρακτων πυρήνων της πυρηνοληψίας με μέγεθος πάνω από δέκα εκατοστά του μέτρου προς το συνολικό μήκος της πυρηνοληψίας. Με βάση το RQD η βραχομάζα διακρίνεται στις παρακάτω κατηγορίες.

Πίνακας 1. Χαρακτηρισμός Βραχομάζας με βάση το RQD

RQD (%)	Χαρακτηρισμός Ποιότητας Βραχομάζας
100-90	Άριστη
90-75	Καλή
75-50	Μέτρια
50-25	Κακή
25-0	Πολύ κακή

2.3.2 Ταξινόμηση με βάση το RMR

Το γεωμηχανικό σύστημα RMR ή Rock Mass Rating χρησιμοποιείται για τη σύνδεση της ποιότητας της βραχομάζας με τα μέτρα υποστήριξης του έργου (Bieniawski, 1973). Το πλεονέκτημα αυτού του συστήματος είναι οι ποσοτικοί παράμετροι μπορούν να υπολογιστούν επί τόπου. Οι παράμετροι που απαιτούνται είναι : R1 η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη του συμπαγούς πετρώματος, R2 ο δείκτης ποιότητας της βραχομάζας RQD, R3 η απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών, R4 η κατάσταση των επιφανειών των ασυνεχειών όπως εμμόνη , άνοιγμα και βαθμός αποσάθρωσης, R5 η επίδραση που έχει πάνω στη βραχομάζα το υπόγειο νερό και τέλος R6 ο προσανατολισμός των ασυνεχειών. Η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη του συμπαγούς πετρώματος υπολογίζεται με τη χρήση φορητής συσκευής σημειακής φόρτισης. Σύμφωνα με το σύστημα αυτό η βραχομάζα ταξινομείται σε πέντε κατηγορίες. Η κατάταξη του βράχου σε μία από τις κατηγορίες γίνεται με τη βαθμολόγηση κάθε μιας παραμέτρου χωριστά. Οι βαθμοί των έξι παραμέτρων αθροίζονται και το άθροισμά τους είναι η τιμή RMR η οποία καθορίζει τη κατηγορία στην οποία ανήκει η βραχομάζα που μελετάται. Αργότερα, το 1985 από τους Romana et al. αναπτύχθηκε μια επέκταση του συστήματος RMR το SMR ή Slope Mass Rating το οποίο χρησιμοποιήθηκε στη μηχανική των βραχωδών πρανών. Το σύστημα RMR υπολογίζεται ως :

$$RMR = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R6$$

Πίνακας 2.Τιμή δείκτη R1

Αντοχή (MPa)	Βαθμολογία R1
>250	15
100-250	12-15
50-100	7-12
25-50	4-7
5-25	2-4
1-5	1-2
<1	0

Πίνακας 3.Τιμή δείκτη R2

RQD (%)	Βαθμολογία R2
>90	20
75-90	17-20
50-75	13-17
25-50	8-13
<25	3

Πίνακας 4.Τιμή δείκτη R3

Απόσταση (m)	Βαθμολογία R3
>2	20
0.6-2	15-20
0.2-0.6	10-15
0.06-0.2	8-10
<0.06	5

Πίνακας 5.Τιμή δείκτη R4

Κατάσταση επιφανειών ασυνεχειών	Βαθμολογία R4
Πολυ τραχείες , χωρίς εξαλλοίωση	30
Ελαφρώς τραχείες , ελαφρά εξαλλοιωμένες , υλικό πλήρωσης <1mm	25
Ελαφρώς τραχείες , πολύ εξαλλοιωμένες , υλικό πλήρωσης <1mm	20
Λείες ή γυαλιστερές , υλικό πλήρωσης 1-5mm	10
Υλικό πλήρωσης πάχους άνω των 5mm	0

Πίνακας 6.Τιμή δείκτη R5

Παρουσία υπόγειου νερού	Βαθμολογία R5
Καθόλου νερό	15
Παρουσία υγρασίας	10
Υγρές επιφάνειες	7
Στάγδην	4
Με ροή	0

Πίνακας 7.Τελική κατάταξη ποιότητας βραχομάζας ανάλογα με την τελική τιμή του RMR σε κατηγορίες

Περιγραφή Βραχομάζας	Κατηγορία Βραχομάζας	Τιμές δείκτη RMR
Πολύ καλή	I	81-100
Καλή	II	61-80
Μέτρια	III	41-60
Φτωχή	IV	21-40
Πολύ φτωχή	V	0-20

2.3.3 Ταξινόμηση με βάση το Q

Το σύστημα ταξινόμησης Q προτάθηκε από τους Barton et al. (1974) με σκοπό την εκτίμηση των χαρακτηριστικών της βραχομάζας και των μέτρων άμεσης υποστήριξης κατά τη διάνοιξη σπηραγγών. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται στο

σύστημα Q είναι οι εξής : RQD ο δείκτης ποιότητας βραχομάζας , Jn συντελεστής που εξαρτάται από το πλήθος των συστημάτων των ασυνεχειών και κυμαίνεται από 0.5-20, Jr συντελεστής τραχύτητας των ασυνεχειών και παίρνει τιμές από 1-4, Ja συντελεστής αποσάθρωσης των ασυνεχειών ή του υλικού πλήρωσής τους και υπολογίζεται από 0.75-20, Jw συντελεστής παρουσίας νερού στις ασυνέχειες με τιμές από 0.005 μέχρι 1, SRF συντελεστής αναγωγής της τασικής κατάστασης και κυμαίνεται από 0.5-1.5. Η τιμή του δείκτη Q προσδιορίζεται από της σχέση :

$$Q = \frac{RQD * Jr * Jw}{Jn * Ja * SRF}$$

και παίρνει τιμές από 0.001 μέχρι 1000 . Ο πρώτος όρος του γινομένου RQD/Jn αντιπροσωπεύει τη δομή της βραχομάζας και συγκεκριμένα το μέγεθος των τεμαχίων, ο δεύτερος όρος Jr/Ja την ποιότητα των επιφανειών των ασυνεχειών και ο τρίτος όρος Jw/SRF το τασικό πεδίο που κατανέμεται γύρω από την υπό μελέτη περιοχή .

Πίνακας 8. Δείκτης Ποιότητας Βράχου - RQD

Ποιότητα Βράχου	RQD (%)
Πολύ φτωχή	0-25
Φτωχή	25-50
Μέτρια	50-75
Καλή	75-90
Άριστη	90-100

Πίνακας 9. Συντελεστής Συστημάτων Διακλάσεων - Jn

Συμπαγής βράχος με λίγες ή χωρίς διακλάσεις	0.5-1
Ένα σύστημα διακλάσεων	2
Ένα σύστημα διακλάσεων και επιπλέον τυχαίες διακλάσεις	3
Δύο συστήματα διακλάσεων	4
Δύο συστήματα διακλάσεων και επιπλέον τυχαίες διακλάσεις	6
Τρία συστήματα διακλάσεων	9
Τρία συστήματα διακλάσεων και	12

επιπλέον τυχαίες διακλάσεις	
Τέσσερα ή περισσότερα συστήματα διακλάσεων τυχαίου προσανατολισμού, ισχυρά διακλασμένο	15
Κονιορτοποιημένο πέτρωμα με μορφή εδαφικού σχηματισμού	20

Πίνακας 10. Συντελεστής Τραχύτητας Διακλάσεων – Jr

Ασυνεχείς διακλάσεις	4
Τραχείες ή ακανόνιστες κυματοειδείς διακλάσεις	3
Λείες, κυματοειδείς διακλάσεις	2
Ολισθηρές, κυματοειδείς διακλάσεις	1.5
Τραχείες ή ακανόνιστες επίπεδες διακλάσεις	1.5
Λείες, επίπεδες διακλάσεις	1
Ολισθηρές, επίπεδες διακλάσεις	0.5

Πίνακας 11. Συντελεστής Αποσάθρωσης Ασυνεχειών – Ja

Υλικό πλήρωσης σκληρό και αδιαπέρατο, σε ασυνέχειες ερμητικά κλειστές	0.75
Λεκιασμένα τοιχώματα χωρίς ουσιαστική αποσάθρωση των ασυνεχειών	1
Ελαφρά αποσαθρωμένα τοιχώματα διακλάσεων. Απουσία ενστρώσεων από μαλακά ορυκτά	2
Ιλυώδεις ή αμμώδεις, ενστρώσεις αργίλου, με μικρό κλάσμα αργίλου	3
Μαλακές με μικρή γωνία τριβής ενστρώσεις αργλικών και άλλων ορυκτών και μικρές ποσότητες από διογκωμένες αργίλους	4

Πίνακας 12. Συντελεστής Παρουσίας Νερού – Πίεση Νερού (MPa) - Jw

Στεγνή επιφάνεια ή τοπικά μικρή εισροή	<0	1
--	----	---

Μέση εισροή ή μέση πίεση	0.1-0.25	0.66
Μεγάλη εισροή ή υψηλή πίεση, χωρίς υλικά πλήρωσης	0.25-1	0.5
Μεγάλη εισροή ή υψηλή πίεση με έκπλυση του υλικού πλήρωσης	0.25-1	0.33
Εξαιρετικά μεγάλη εισροή ή πίεση με ανατίναξη	>1	0.2-0.1
Εξαιρετικά μεγάλη εισροή ή πίεση που παραμένει σταθερή	>1	0.1-0.05

Πίνακας 13. Συντελεστής Τασικής Κατανομής – SRF

Ζώνες ασθενούς αντοχής . μπορούν να προκαλέσουν χαλάρωση	-
Πολλαπλές ασθενείς ζώνες που περιέχουν αργιλικό υλικό ή χημικώς εξαλλοιωμένο πέτρωμα	10
Μεμονομένες ασθενείς ζώνες που περιέχουν άργιλο ή αποσαθρωμένο πέτρωμα σε βάθος <50mm	5
Μεμονομένες ασθενείς ζώνες που περιέχουν άργιλο ή αποσαθρωμένο πέτρωμα σε βάθος >50mm	2.5
Πολλαπλές διατμημένες ζώνες σε συμπαγές πέτρωμα , χαλαρή περιβάλλουσα βραχομάζα	7.5
Μεμονομένες διατμημένες ζώνες σε συμπαγές πέτρωμα σε βάθος <50m	5
Μεμονομένες διατμημένες ζώνες σε συμπαγές πέτρωμα σε βάθος >50m	2.5
Χαλαρές , ανοικτές διακλάσεις , έντονη κατάτμηση του βράχου σε μικρά κυβικά στροχεία κατάτμησης	5

Πίνακας 14. Κατηγορίες βραχομάζας με βάση το δείκτη ποιότητας Q

Χαρακτηρισμός Βραχομάζας	Δείκτης Ποιότητας Q	Πίεση ασκούμενη στην οροφή (MPa)
Εξαιρετικά φτωχή	0.001-0.01	1.2
Πάρα πολύ φτωχή	0.01-0.1	0.6
Πολύ φτωχή	0.1-1	0.3
Φτωχή	1-4	0.15

Μέτρια	4-10	0.1
Καλή	10-40	0.05
Πολύ καλή	40-100	0.025
Πάρα πολύ καλή	100-400	0.005
Εξαιρετικά καλή	400-1000	0.001

2.3.4 Ταξινόμηση με βάση το GSI

Το σύστημα GSI ή Geological Strength Index είναι γεωλογικός δείκτης αντοχής και δίνει τη δυνατότητα εκτίμησης των ιδιοτήτων και των παραμέτρων σχεδιασμού της βραχομάζας εκεί όπου έχει εφαρμογή το κριτήριο αστοχίας Hoek – Brown (Hoek, 1994). Υπολογίζεται ως η συσχέτιση της κατάστασης της βραχομάζας και των επιφανειών των ασυνεχειών. Προτιμάται η χρήση εύρους τιμών και όχι μοναδική λύση. Είναι ένα απλό, γρήγορο και αξιόπιστο μέσο ποσοτικοποίησης της αντοχής της βραχομάζας. Εκτιμάται με αξιολόγηση της λιθολογίας, της δομής και της κατάστασης των ασυνεχειών της βραχομάζας. Δεν απαιτείται μεγάλη ακρίβεια στον προσδιορισμό τους. Στη περίπτωση ύπαρξης νερού στη βραχομάζα αναγκαία είναι η συντηρητικότερη εκτίμηση της τιμής του GSI. Για να ισχύσει το κριτήριο GSI θα πρέπει να θεωρηθεί ότι η βραχομάζα είναι ισότροπη.

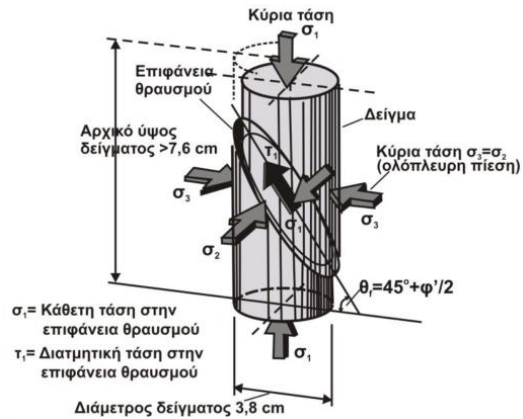
ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI) (E. Hoek, P. Marinos, 2000)		ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ				
ΔΟΜΗ		ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ				
		ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχιές, υγρές, μη αποσπασθόμενες επιφάνειες	ΚΑΛΗ Τραχιές, ελαφρά αποσπασθόμενες και αβρώμενες επιφάνειες	ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσπασθόμενες και εξαλλοιωμένες επιφάνειες	ΠΤΩΧΗ Πολύ λείες, κατά περίπτωση ολισθηρές επιφάνειες με συμπαγή επιφλοιώματα ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα	ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Πολύ ολισθηρές επιφάνειες ή πολύ αποσπασθόμενες με μαλακό οργάνικο υλικό πλήρωσης ή επιφλοιώσης
	ΑΡΡΗΚΤΗ Άρρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άσπρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση	90			N/A	N/A
	ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ/ ΔΙΑΤΑΡΑΚΤΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ Αδιατάρακτη βραχομάζα με πολύ καλά αλληλοκλειδωμά που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών	80	70			
	ΠΟΛΥ ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ Μερικώς διαταραγμένη βραχομάζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών		60	50		
	ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ/ΠΤΥΧΩΜΕΝΗ Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμανή στρώσης ή σχιστότητας			40	30	
	ΑΠΟΔΙΟΡΓΑΝΩΜΕΝΗ Ισχυρά κερματισμένη βραχομάζα με πτωχά αλληλοκλειδωμά και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιώδων και αποστραγγυλωμένων τεμαχίων				20	
	ΦΥΛΛΩΔΗΣ/ ΔΙΑΤΗΜΗΜΕΝΗ Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατημημένη ασθενής βραχομάζα. Η φυλλώση επικρατεί έναντι οποιασδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιώδων τεμαχίων (η κλίμακα σε αυτό το εκανίδιο δεν συγκρίνεται με αυτή των άλλων εκανιδίων)	N/A	N/A			10

Εικόνα 6 Δείκτης γεωλογικής αντοχής (GSI)(E.Hoek, P. Marinos, 2000)

2.4 Διατμητική αντοχή ασυνεχειών

Σε αντίθεση με την ισότροπη βραχομάζα που αστοχεί δια μέσου του ακέραιου βράχου, η ανισότροπη αστοχεί κατά μήκος των ασυνεχειών που αναπτύσσονται σε αυτή. Έτσι η γεωμετρία των ασυνεχειών της βραχομάζας σε σχέση με τις ελεύθερες

επιφάνειες καθορίζουν τους δυνητικούς μηχανισμούς αστάθειας. Οι μηχανισμοί εκδηλώνονται με σχετικές μετακινήσεις των τεμαχίων της βραχομάζας δια μέσου μηχανισμών εφελκυστικής αποκόλλησης διατμητικής ή περιστροφικής ολίσθησης. Εφόσον η εφελκυστική αντοχή των ασυνεχειών είναι πρακτικά μηδενική, η κύρια συνιστώσα αντοχής είναι η διατμητική.

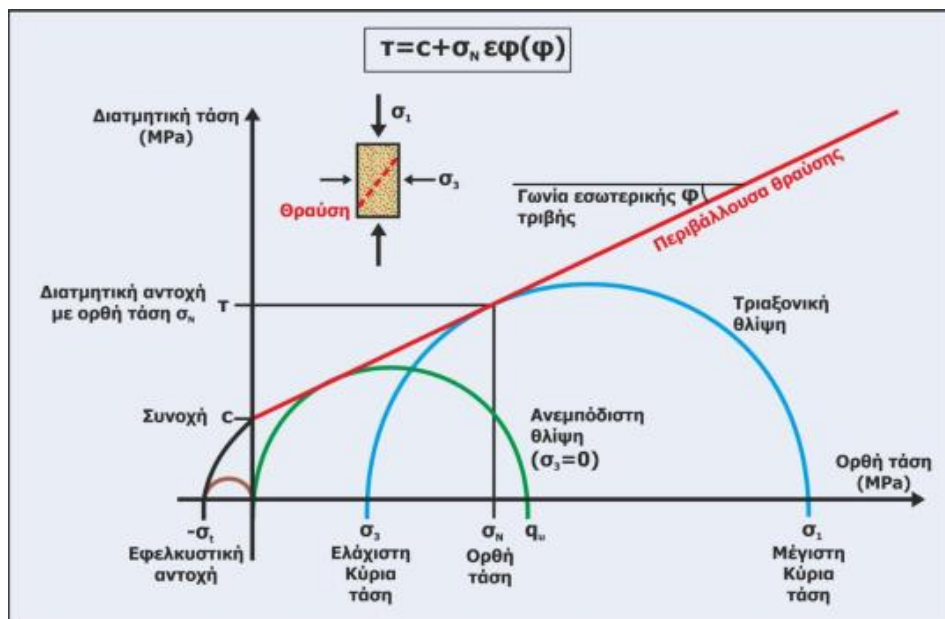


Εικόνα 2 Τάσεις (Γ. Δημοπουλος)

Διατμητική αντοχή ορίζεται ως η διατμητική τάση (τ) που δύναται να παραλάβει μια ασυνέχεια, υπό δεδομένες συνθήκες κάθετης φόρτισης (σ) και σχετικής μετατόπισης (u). Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαθέσιμη διατμητική αντοχή είναι το μέγεθος της ορθής τάσης (σ), η διατμητική μετατόπιση (u) και τα φυσικά χαρακτηριστικά της ασυνέχειας. Φυσικά χαρακτηριστικά της ασυνέχειας είναι το μήκος, η τραχύτητα της επιφάνειας, το πάχος και τα χαρακτηριστικά τυχόν υλικού πλήρωσης καθώς και η επίδραση του νερού στις ιδιότητες της πλήρωσης. Σε ένα βραχώδες πρηνές η διατμητική αντοχή της επιφάνειας εκφράζεται με τους όρους της συνοχής c (cohesion) και της γωνίας τριβής (ϕ).

Έστω ότι έχουν συλλεχθεί ένα πλήθος δοκιμών ενός τεμάχους βράχου που περιέχει μια ήπια και επίπεδη ασυνέχεια. Η ασυνέχεια αυτή περιέχει συγκολλημένο υλικό πλήρωσης έτσι ώστε είναι απαραίτητη η χρήση ελκτικής δύναμης στα δύο μισά του δείγματος για το διαχωρισμό τους. Ασκείται σε κάθε δοκιμή μια δύναμη κάθετη στην επιφάνεια της ασυνέχειας που ονομάζεται ορθή τάση σ και μία δύναμη παράλληλη στην ασυνέχεια που ονομάζεται διατμητική τάση τ και υπολογίζεται η διατμητική μετατόπιση δ . Σε μικρές μετατοπίσεις το δοκίμιο συμπεριφέρεται ελαστικά και η διατμητική τάση αυξάνεται γραμμικά ταυτόχρονα με την μετατόπιση. Όταν η αντίσταση στη δύναμη υπερνικηθεί τότε σχηματίζεται καμπύλη. Το μέγιστο σημείο της καμπύλης αποτελεί τη διατμητική αντοχή της ασυνέχειας που εξετάζεται. Από το σημείο εκείνο η διατμητική τάση ελαττώνεται και φτάνει σε μία σταθερή τιμή, την παραμένουσα διατμητική αντοχή. Συνεχίζοντας τη διαδικασία και σε άλλα δοκίμια από το ίδιο πέτρωμα με διαφορετική ορθή τάση σ και παρουσιάζοντας τα

αποτελέσματα της ορθής και μέγιστης τάσης προκύπτει το διάγραμμα του Mohr. Η γωνία που σχηματίζει εφαπτομένη των κύκλων με διάμετρο το ζεύγος των διάφορων τιμών ορθής και μέγιστης τάσης με τον άξονα των τετμημένων είναι η μέγιστη γωνία τριβής, ενώ το σημείο που συναντά τον άξονα των τεταγμένων είναι η μεταβλητή c της συνοχής που παρουσιάζουν τα τοιχώματα της ασυνέχειας ή το υλικό πλήρωσής της. Η συνοχή είναι ανεξάρτητη της ορθής τάσης, ενώ η τριβή αυξάνει με την ορθή τάση. Η μέγιστη διατμητική αντοχή της βραχομάζας δίνεται από τη σχέση : $\tau = c + \sigma_n \tan \phi$. Σε συνθήκες παραμένουσας αντοχής, η συνοχή που εμφανιζόταν στα τοιχώματα της ασυνέχειας μηδενίζεται αφού η μετατόπιση διαταράσσει το υλικό με αποτέλεσμα σε ένα διάγραμμα Mohr η εφαπτομένη να διέρχεται από την αρχή των αξόνων. Επιπλέον, η παραμένουσα γωνία τριβής είναι μικρότερη της μέγιστης καθώς η επιφάνεια της ασυνέχειας έχει λειανθεί και έτσι σχηματίζεται μία ομαλότερη με μικρότερη τριβή επιφάνεια. Σε μια επίπεδη χωρίς υλικό πλήρωσης ασυνέχεια η συνοχή θα ισούται με το μηδέν με αποτέλεσμα η διατμητική αντοχή να εξαρτάται εξ' ολοκλήρου από τη γωνία τριβής.



Εικόνα 8 Διάγραμμα Mohr (B. Χρησταρας, B. Μαρινος, 2018)

Η γωνία τριβής του βραχώδους υλικού εξαρτάται από το μέγεθος και το σχήμα των κόκκων αποκαλύπτονται στην διαταραγμένη επιφάνεια. Στο παρακάτω πίνακα δίνονται τιμές γωνίας τριβής για διάφορα πετρώματα (Barton, 1974)

Rock	Description	Peak c' (MPa)	Peak ϕ°	Residual c' (MPa)	Residual ϕ°
Basalt	Clayey basaltic breccia, wide variation from clay to basalt content	0.24	42		
Bentonite	Bentonite seam in chalk Thin layers Triaxial tests	0.015 0.09-0.12 0.06-0.1	7.5 12-17 9-13		
Bentonitic shale	Triaxial tests Direct shear tests	0-0.27	8.5-29	0.03	8.5
Clays	Over-consolidated, slips, joints and minor shears	0-0.18	12-18.5	0-0.003	10.5-16
Clay shale	Triaxial tests Stratification surfaces	0.06	32	0	19-25
Coal measure rocks	Clay mylonite seams, 10 to 25 mm	0.012	16	0	11-11.5
Dolomite	Altered shale bed, $\pm$ 150 mm thick	0.04	1(5)	0.02	17
Diorite, granodiorite and porphyry	Clay gouge (2% clay, PI = 17%)	0	26.5		
Granite	Clay filled faults Sandy loam fault filling Tectonic shear zone, schistose and broken granites, disintegrated rock and gouge	0-0.1 0.05 0.24	24-45 40 42		
Greywacke	1-2 mm clay in bedding planes			0	21
Limestone	6 mm clay layer 10-20 mm clay fillings <1 mm clay filling	0.1 0.05-0.2	13-14 17-21	0	13
Limestone, marl and lignites	Interbedded lignite layers Lignite/marl contact	0.08 0.1	38 10		
Limestone	Marlaceous joints, 20 mm thick	0	25	0	15-24
Lignite	Layer between lignite and clay	0.014-0.03	15-17.5		
Montmorillonite Bentonite clay	80 mm seams of bentonite (montmorillonite) clay in chalk	0.36 0.016-0.02	14 7.5-11.5	0.08	11
Schists, quartzites and siliceous schists	100-15- mm thick clay filling Stratification with thin clay Stratification with thick clay	0.03-0.08 0.61-0.74 0.38	32 41 31		
Slates	Finely laminated and altered	0.05	33		
Quartz / kaolin / pyrolusite	Remoulded triaxial tests	0.042-0.09	36-38		

Εικόνα 9 Γωνίες τριβής πετρωμάτων (Barton, 1974)

2.5 Το κριτήριο Barton – Bandis

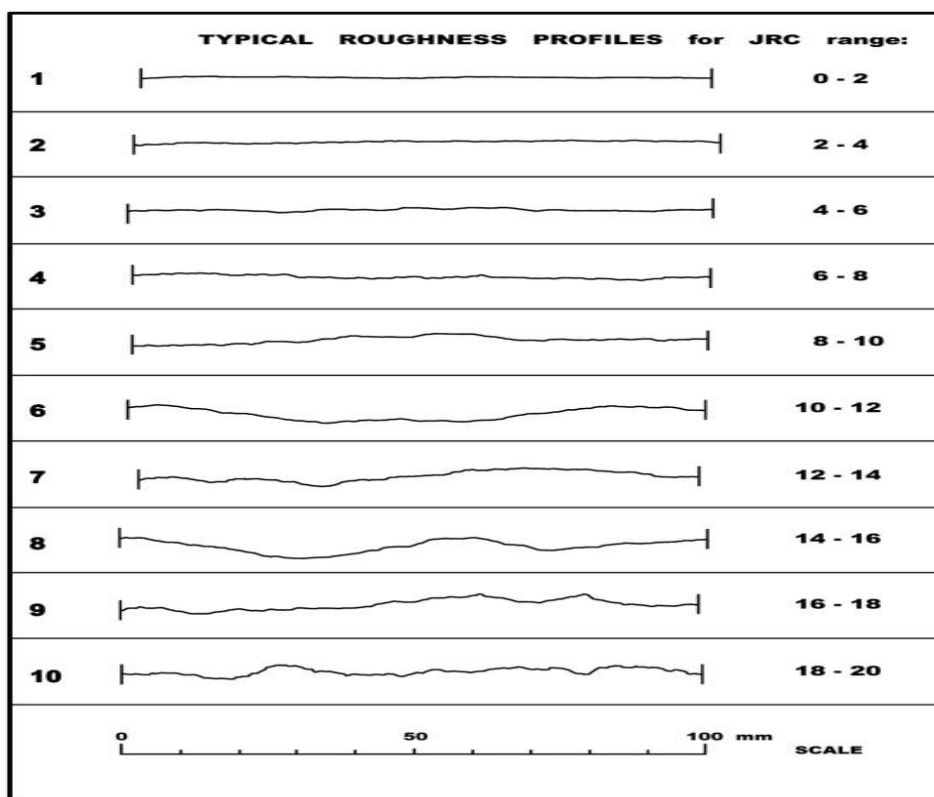
Ο Barton (1973, 1976) διατύπωσε ένα μη-γραμμικό κριτήριο για τη μέγιστη διατμητική αντοχή των ασυνεχειών του πετρώματος, συμπεριλαμβάνοντας με

ξεκάθαρο τρόπο την επίδραση της τραχύτητας της επιφάνειας της ασυνέχειας και της μεταβολής της με την ορθή τάση. Το κριτήριο διατυπώθηκε αρχικά για μη αποσαθρωμένες επιφάνειες ασυνεχειών (Barton, 1976) ως :

$$\tau = \sigma_n * \tan(\log \frac{JCS}{\sigma_n} + \varphi_b)$$

όπου φ_b είναι η βασική γωνία τριβής του πετρώματος, JRC ο συντελεστής τραχύτητας και JCS είναι η θλιπτική αντοχή των τοιχωμάτων της ασυνέχειας. Η βασική γωνία τριβής μπορεί να μετρηθεί από δοκιμές άμεσης διάτμησης σε επίπεδες και υγείς επιφάνειες του πετρώματος αφού έχει ήδη λάβει χώρα διατμητική ολίσθηση.

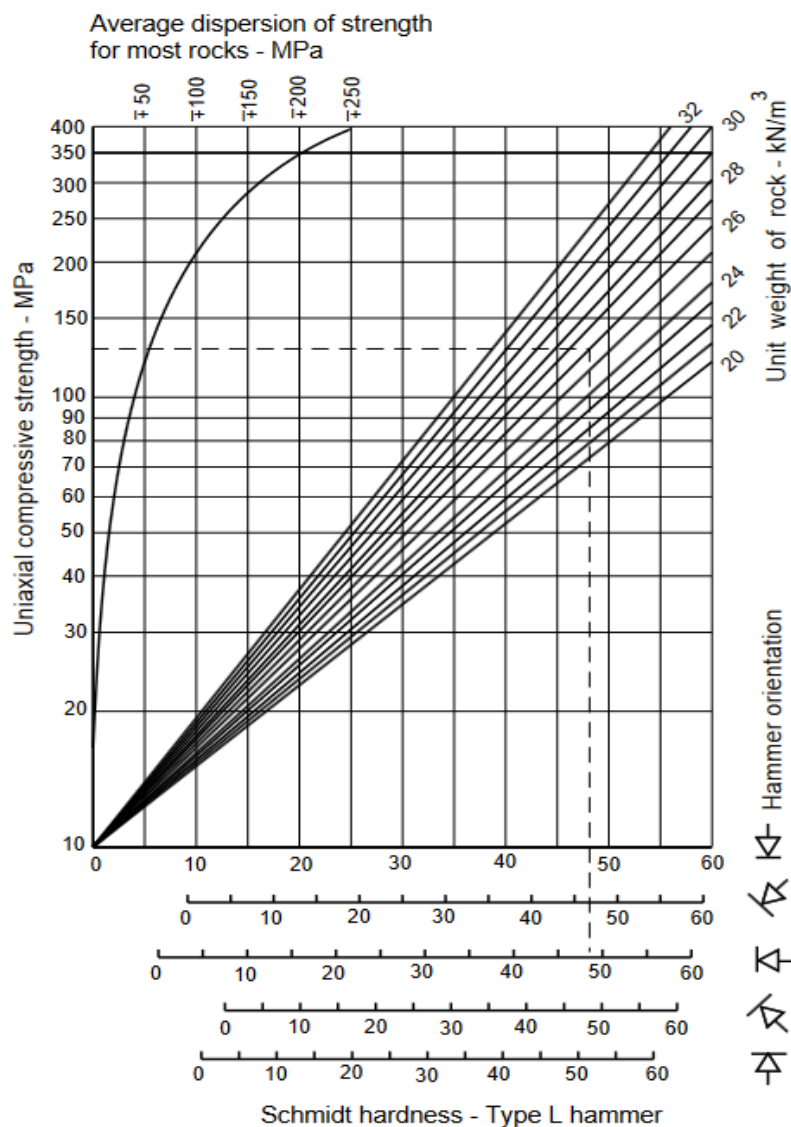
Ο συντελεστής τραχύτητας JRC είναι αριθμός που μπορεί να εκτιμηθεί συγκρίνοντας την επιφάνεια της ασυνέχειας με καθιερωμένα προφίλ τραχύτητας που δημοσιεύτηκαν από Barton et al. (1976). Η επιφάνεια της ασυνέχειας συγκρίνεται ποιοτικά με τα διάφορα προφίλ για να βρεθεί ποιο ταιριάζει καλύτερα, το κάθε προφίλ έχει και τη δική του τιμή του συντελεστή JRC.



Εικόνα 10 Προφίλ τραχύτητας(Barton et al. 1976)

Ο συντελεστής JCS που αφορά τη θλιπτική αντοχή των τοιχωμάτων της ασυνέχειας υπολογίζεται με τη χρήση της σφύρας Schmidt. Η σχετική τιμή μπορεί να εκτιμηθεί με τη δοκιμή κρουσιμέτρησης απευθείας πάνω στις εκτεθειμένες επιφάνειες

της ασυνέχειας σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα. Ο πίνακας αυτός συσχετίζει την αναπήδηση της σφύρας τύπου L με την αντοχή των τοιχωμάτων της ασυνέχειας και το μοναδιαίο βάρος του πετρώματος. Για τη χρήση του διαγράμματος από ένα δεδομένο σύνολο χτυπημάτων κρουσίμετρου τύπου L χαράσσεται κατακόρυφη ευθεία μέχρι την επαφή με την καμπύλη του μοναδιαίου βάρους του πετρώματος και από εκεί σχεδιάζεται ευθεία κάθετη στον άξονα των τεταγμένων



Εικόνα 11 Πίνακας υπολογισμού πολυαξονικής συμπίεστικής τάσης με βάση τους χτύπους σφύρας Schmidt (Deere, Miller 1966)

2.6 Ευστάθεια πρανών

Η εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων εξαιτίας της αστάθειας των πρανών αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά γεωλογικά φαινόμενα. Μια γεωτεχνικά ασταθής περιοχή δεν προβλέπεται για τη κατασκευή έργων, οικισμών ή άλλων τεχνικών έργων. Κάθε αστοχία της βραχομάζας έχει αξιοσημείωτες επιπτώσεις στην κοινωνία και στην οικονομία της ευρύτερης περιοχής .

Η βραχομάζα συναντάται στη φύση ως ένα μη συνεχές μέσο και η συμπεριφορά της επηρεάζεται από την παρουσία διαφόρων παραγόντων. Οι παράγοντες αυτοί είναι :

- Ασυνέχειες, σε μεγάλο βαθμό καθορίζουν τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες της βραχομάζας, εξαρτώνται από τη γεωμετρία, τις σχέσεις μεταξύ τους, το μέγεθός τους και των παραμέτρων αντοχής τους.
- Υπόγειο και επιφανειακό νερό, κύριος παράγοντας στην ευστάθεια ενός πρανού καθώς ασκεί πίεση και διαβρώνει υπόγεια, συνθήκη που ελαττώνει την διατμητική αντοχή των διαφόρων επιφανειών ολίσθησης και κατά επέκταση την ευστάθεια του πρανού, υψηλές τιμές υγρασίας βαραίνουν την βραχομάζα και επιταχύνουν το ρυθμό αποσάθρωσης.
- Καιρικές συνθήκες, έντονες αυξομειώσεις της θερμοκρασίας που αλλάζουν τη φυσική κατάσταση του νερού από υγρή σε στερεή χαλαρώνουν τη βραχομάζα, έντονες βροχοπτώσεις, χιόνι, παγετό και απόψυξη των πάγων οδηγούν σε ολισθήσεις πρανών με αποτέλεσμα τη μείωση της ευστάθειάς του.
- Ορυκτολογία, η αντοχή της βραχομάζας εξαρτάται από την αντοχή των ορυκτών που την απαρτίζουν, έτσι μια μεγάλη ποικιλία λιθολογικών συστάσεων των πετρωμάτων σε συνδυασμό με το υλικό πλήρωσης των ασυνεχειών οδηγεί σε πολύπλοκα συστήματα διαφορετικών συνθηκών ευστάθειας.
- Αποσάθρωση , η διεργασία αυτή με τα αποτελέσματά της προκαλεί αλλαγές στις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των υλικών που συνωστίζονται το πέτρωμα και κατά συνέπεια ολόκληρη τη βραχομάζα.
- Σεισμός, η σεισμική δραστηριότητα ελαχιστοποιεί τη διατμητική αντοχή της βραχομάζας.
- Σύστημα τάσεων , το πρανές βρίσκεται σε μια κατάσταση ισορροπίας , με τη παρέμβαση του ανθρώπου είτε κατά την εκσκαφή του έργου είτε κατά τη δημιουργία κάποιου άλλου στη γειτονική περιοχή η κατανομή των τάσεων διαταράσσεται.

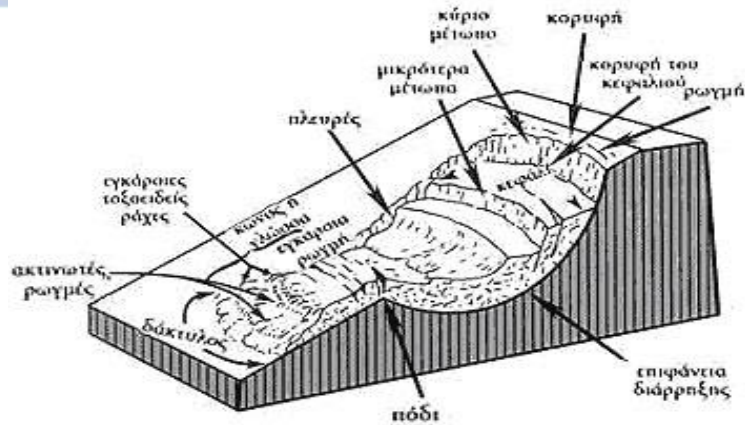
Ο όρος της κατολίσθησης περιλαμβάνει την έννοια της ολίσθησης , της πτώσης, της ανατροπής και της ροής. Το φαινόμενο της κατολίσθησης μπορεί να παρατηρηθεί τόσο στη ξηρά όσο και μέσα σε θάλασσες , λίμνες και ταμιευτήρες (Μπλιώνα, 2008). Σύμφωνα με τον Terzaghi (1950) κατολίσθηση είναι μια γρήγορη κίνηση μάζας πετρώματος, υπολειμματικού εδάφους ή ιζήματος ενός πρανού, της

οποίας το κέντρο βάρους μετακινείται προς τα κάτω και προς τα έξω. Στη συνέχεια, οι Zaruba & Mencl (1969) ορίζουν ως κατολίσθηση μία γρήγορη κίνηση πετρωμάτων που οφείλεται στην ολίσθηση ενός τμήματος πρσανούς, το οποίο διαχωρίζεται από το υπόλοιπο σταθερό τμήμα με μία καλά καθορισμένη επιφάνεια.

Κύριοι παράγοντες αστάθειας είναι η κλίση της επιφάνειας του εδάφους και η εσωτερική γεωμετρία του υλικού, η παρουσία υλικού αργλικής συμπεριφοράς, η παρουσία νερού, υπόγειου και επιφανειακού, η ανθρώπινη παρέμβαση και ο σεισμός.

Μια κατολίσθηση χαρακτηρίζεται από τα παρακάτω τμήματα :

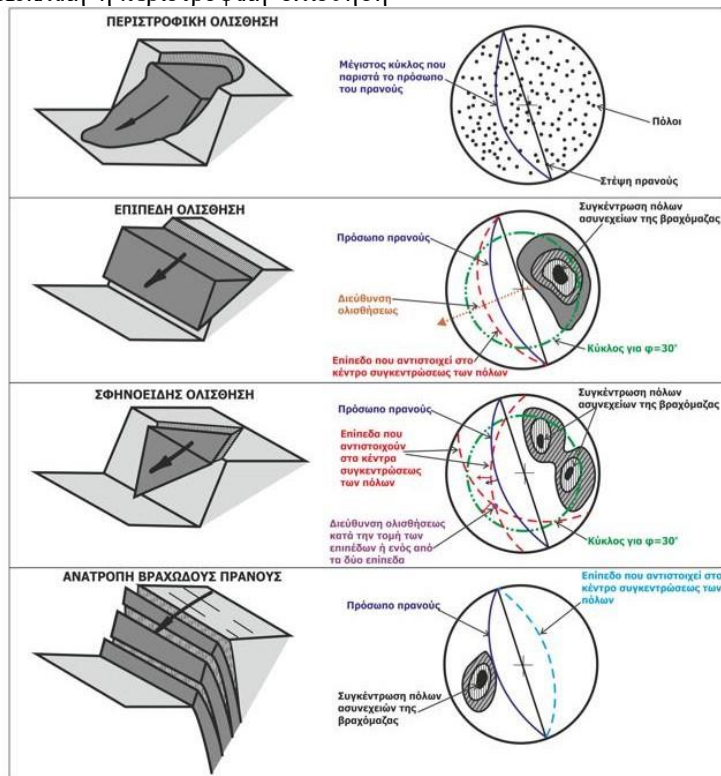
- Επιφάνεια θραύσης ή διάρρηξης : είναι η επιφάνεια αποχωρισμού των υλικών που κατολισθαίνουν από το σταθερό υπόβαθρο
- Μέτωπο ή κύρια ουλή : είναι η απότομη επιφάνεια που δημιουργείται στο αδιατάρακτο έδαφος που περιβάλλει την κατολίσθηση .
- Στέψη : είναι το αδιατάρακτο υλικό που εξακολουθεί να βρίσκεται στη θέση του στα υψηλότερα σημεία του μετώπου
- Μικρότερο μέτωπο : είναι η απότομη επιφάνεια εντός του διαταραγμένου υλικού της κατολίσθησης . Μπορεί να υπάρχουν περισσότερα από ένα .
- Κεφαλή : βρίσκεται στη κορυφή της κατολίσθησης και αποτελείται από τα ανώτερα τμήματα των υλικών που κατολίσθησαν
- Πόδας : το τμήμα του μετατοπισθέντος υλικού που βρίσκεται μεταξύ του κατώτερου τμήματος της επιφάνειας θραύσης και της αρχικής επιφάνειας του εδάφους .
- Δάκτυλος : το περιθώριο του πιο απομακρυσμένου από την κύρια ουλή υλικού
- Κύριο σώμα : το τμήμα του υλικού που μετατοπίστηκε και υπέρκειται της επιφάνειας θραύσης στη περιοχή ανάμεσα στο μέτωπο και το δάκτυλο
- Γλώσσα : το τμήμα των υλικών που έχουν ξεπεράσει την επιφάνεια θραύσης και έχουν ολισθήσει στην αρχική επιφάνεια του πρσανούς .
- Επιφάνεια ολίσθησης : είναι η επιφάνεια πάνω στην οποία γίνεται η κύρια μετατόπιση της μάζας που κατολισθαίνει.



Εικόνα 12 Τα μέρη της κατολίθησης(Λέκκας, 2000)

Σε ένα βραχώδες πρανές είναι δυνατό να σχηματιστούν τεσσάρων ειδών ολισθήσεις :

- Επίπεδη ολίσθηση
- Σφηνοειδείς ολίσθηση
- Ανατροπή
- Κυκλική ή περιστροφική ολίσθηση



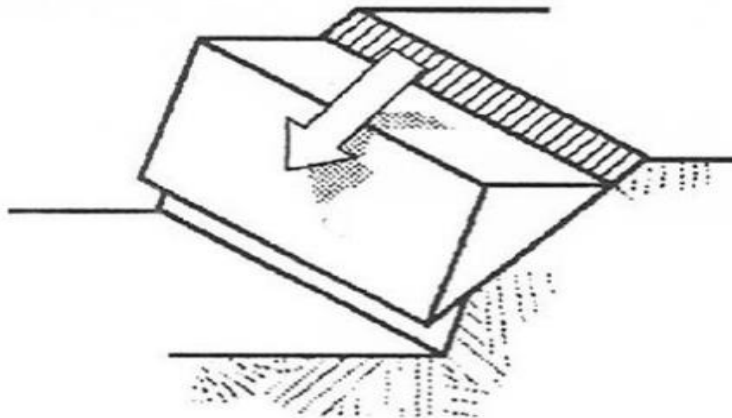
Εικόνα 13 Τύποι Αστοχίας Βραχώδων πρανών(Muller 1963, Hoek & Bray 1981)

Επίπεδες και σφηνοειδείς ολισθήσεις δημιουργούνται από τα προϋπάρχοντα συστήματα ασυνεχειών της βραχομάζας. Ανατροπές λαμβάνουν χώρα στα πρηνή όπου οι επιφάνειες των ασυνεχειών ορίζουν ανορθωμένα τεμάχια βράχου, κατακόρυφα με ελαφρώς αντίρροπη κλίση. Κυκλικές ολισθήσεις παρουσιάζονται επι το πλείστον σε εδαφικά υλικά, για να σχηματιστούν και σε βράχο θα πρέπει να έχει υποβαθμιστεί σε τέτοιο βαθμό που πρακτικά θα συμπεριφέρεται σαν εδαφικό υλικό. Αυτό επιτυγχάνεται ύστερα από μακροχρόνια και έντονη τεκτονική καταπόνηση καθώς και ισχυρή αποσάθρωση.

Η γενική συνθήκη ισορροπίας που ισχύει για όλες τις περιπτώσεις ευστάθειας είναι ότι οι δυνάμεις συγκράτησης που αντιστέκονται στην ολίσθηση και οφείλονται στη διατμητική αντοχή του εδάφους θα πρέπει να υπερτερούν των δυνάμεων που προωθούν την ολίσθηση. Έτσι συντελεστής ασφαλείας (SF) ορίζεται ως ο λόγος του αθροίσματος των δυνάμεων ή των συνιστωσών συγκράτησης προς αυτές που συμβάλλουν στην ολίσθηση. Σύμφωνα με την αρχή της οριακής ισορροπίας όταν ο συντελεστής ασφαλείας $SF = 1$ τότε το πρηνές βρίσκεται σε κατάσταση οριακής ισορροπίας .

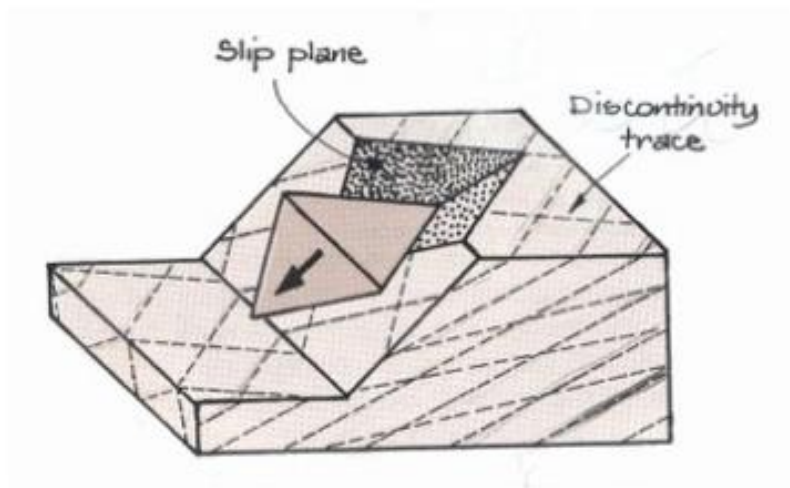
$$SF = \frac{\text{Δυνάμεις Συγκράτησης}}{\text{Δυνάμεις Ολίσθησης}}$$

Η επίπεδη ολίσθηση σχηματίζεται από υπάρχοντα συστήματα ασυνεχειών. Για να προκύψει θα πρέπει να ικανοποιηθούν οι εξής γεωμετρικές συνθήκες : Η παράταξη της επιφάνειας ολίσθησης να είναι σχεδόν παράλληλη , με διαφορά είκοσι μοίρες, με την παράταξη επιφάνειας του πρηνούς. Η γωνία κλίσης της επιφάνειας ολίσθησης θα πρέπει να είναι μικρότερη από την κλίση του πρηνούς και μεγαλύτερη της γωνίας τριβής της επιφάνειας. Τέλος, θα πρέπει να υπάρχουν επιφάνειες εγκάρσιας εκτόνωσης που θα οδηγήσουν τη βραχομάζα να ολισθήσει έξω από το κύριο όγκο.



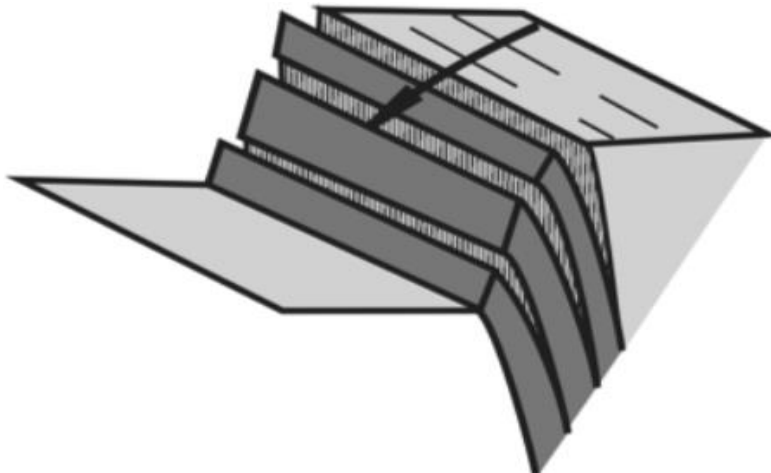
Εικόνα 14 Επίπεδη ολίσθηση (Muller 1963, Hoek & Bray 1981)

Όπως και στην επίπεδη έτσι και η σφηνοειδής ολίσθησης δημιουργείται από ένα σύστημα ασυνεχειών. Συγκεκριμένα προκύπτει όταν η κατεύθυνση του ίχνους της τομής των δύο ασυνεχειών είναι παραπλήσια με τη διεύθυνση κλίσης του πρανού, η βύθισή του είναι μικρότερη της κλίσης του πρανού και όταν η κλίση του υπερβαίνει τη γωνία εσωτερικής τριβής των επιφανειών της ασυνέχειας.



Εικόνα 15 Σφηνοειδής ολίσθηση (Muller 1963, Hoek & Bray 1981)

Όσον αφορά την ολίσθηση από ανατροπή θα πρέπει η φορά κλίσης της ασυνέχειας να είναι αντίρροπη της φοράς κλίσης του πρανού, με διεύθυνση να κυμαίνεται στα όρια των ± 20 μοιρών. Βασική προϋπόθεση είναι η κλίση της ασυνέχειας να είναι πάνω από 70 μοίρες.



Εικόνα 16 Ολίσθηση από ανατροπή (Muller 1963, Hoek & Bray 1981)

Σε αντίθεση με τις παραπάνω περιπτώσεις σε μια περιστροφική ολίσθηση η βραχομάζα αστοχεί ως ισότροπο μέσο. Πραγματοποιούνται κατά μήκος κοιλών προς τα πάνω επιφανειών με μικρή παραμόρφωση στο σώμα της μετακινούμενης μάζας. Δηλαδή η ολίσθηση γίνεται πάνω σε μία κυλινδρική επιφάνεια ο άξονας της οποίας θεωρείται παράλληλος προς την περιστροφή της κατολίσθησης. Εκδηλώνονται κυρίως σε ομοιογενή εδαφικά υλικά και σε έντονα κατακερματισμένες βραχομάζες. Δηλαδή σε πρηνή που λόγω του έντονου κατακερματισμού της βραχομάζας είναι σαν να δομούνται από αδρομερή εδαφικά υλικά.



Εικόνα 17 Περιστροφική ολίσθηση (Muller 1963, Hoek & Bray 1981)

2.7 Μέτρα Προστασίας

Η τροποποίηση των γωνιών κλίσης του εδάφους πέρα από τη φυσική τους γωνία ηρεμίας μπορεί να οδηγήσει σε αστάθεια τους. Αυτή η κατάσταση ενδέχεται να προκύψει όταν γίνεται περικοπή πρηνών για εγκατάσταση ενός νέου οδικού δικτύου ή για τη δημιουργία οικοδομήσιμης γης σε επικλινές οικόπεδο. Έτσι απαραίτητη είναι η προσφορά μιας σειράς από λύσεις προστασίας του πρηνών από τις διάφορες δυνάμεις ολίσθησης που ασκούνται πάνω τους.

Παθητικά μέτρα προστασίας αποκαλούνται οι μέθοδοι που περιορίζουν τα τεμάχια της βραχομάζας που έχουν μετακινηθεί από τη θέση τους να προκαλέσουν καταστροφές αυξάνοντας έτσι την ευστάθεια των πρηνών και μπορούν να συνδυαστούν με προειδοποιητικά μέτρα για αποφυγή μελλοντικών διαταραχών.

Ενεργά μέτρα προστασίας είναι οι απαντήσεις στο πρόβλημα καθώς είτε μειώνουν τις δυνάμεις ολίσθησης είτε αυξάνουν τις δυνάμεις συγκράτησης.

Τέλος υπάρχουν και τα μέτρα βελτίωσης της ποιότητας της βραχομάζας που στοχεύουν στην ενίσχυση της προβληματικής βραχομάζας τονώνοντας την ανθεκτικότητα, την αντοχή και τις ιδιότητές της.

Τα μέτρα προστασίας που αρμόζουν στην περιοχή ενδιαφέροντος είναι κυρίως αλλαγή της γεωμετρίας και του όγκου των πρηνών. Αφαιρώντας ποσότητα βραχομάζας από τη κορυφή ή αλλάζοντας την κλίση των πρηνών επιτυγχάνεται η αύξηση της ευστάθειάς τους. Οι μέθοδοι που προτείνεται να ακολουθηθούν είναι η καθαίρεση διαφόρων ελεύθερων κομματιών βραχομάζας, η εκσκαφή των πρηνών για



να αλλάξει η κλίση τους και να αποφορτιστούν, ο σχηματισμός αναβαθμίδων σε συνδυασμό με την επικάλυψη του πρανούς με γεωπλέγματα και φράχτες αναχαίτισης.

Στη συνέχεια , προσθήκη βλάστησης για την προστασία των εκτεθειμένων περιοχών του πρανούς που είναι ευάλωτες στη διάβρωση. Επιπλέον το άνοιγμα τάφρων στον πόδα του πρανούς και η κατασκευή βραχοπαγίδων για την συγκράτηση των βραχών που απελευθερώνονται. Τέλος η εγκατάσταση τοίχου ενίσχυσης από σκυρόδεμα που θα καλύψει περιοχές με πολύ υψηλό δείκτη κερματισμού, σε συνδυασμό με τη χρήση προεντεταμένων αγκυρών πάνω στην πλάκα αυτή, έτσι ώστε ο τοίχος να δράσει σαν προστασία της κερματισμένης βραχομάζας ενώ ταυτόχρονα θα διαμερίζει τα φορτία αγκύρωσης στο βράχο. Ταυτόχρονα απαραίτητος είναι ο σχεδιασμός αποστραγγιστικών οπών για την αποφυγή συγκέντρωσης νερού πίσω από το τοίχο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.Γεωλογική Τοποθέτηση – Πετρογραφία

ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ
ΑΠΟΣΠΑΣΜΑ ΧΑΡΤΗ Γ.Υ.Σ. " ΦΥΛΛΟ: ΚΑΣΤΟΡΙΑ"
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50.000



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

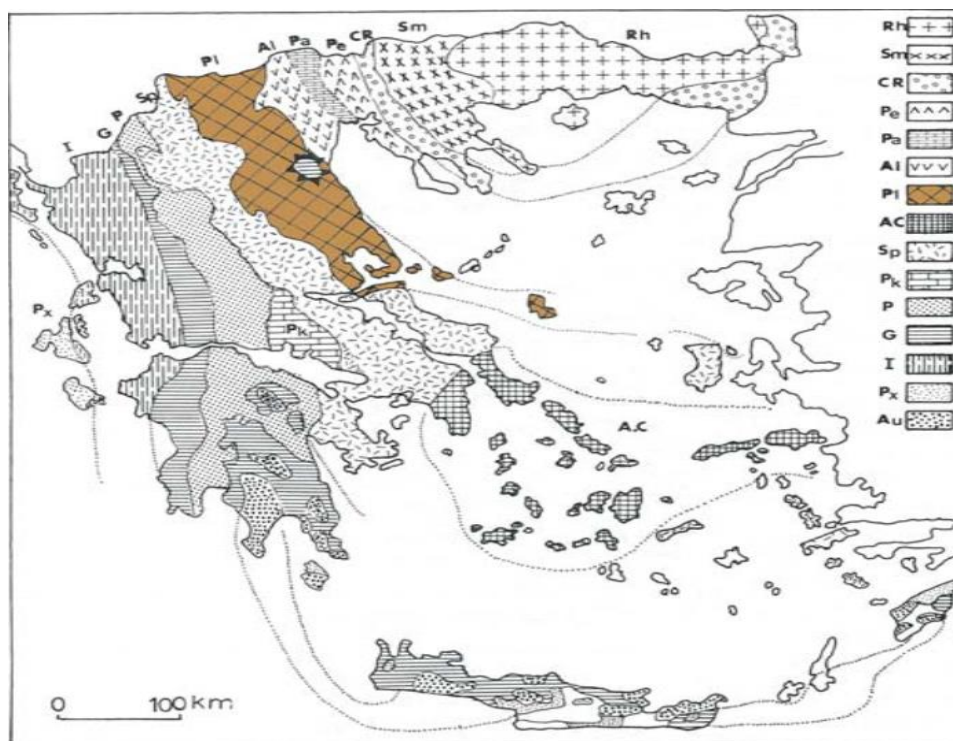
— Οδικό τμήμα προς βελτίωση "Ασπρόγεια - Περικοπή"

AIKKO
Αριθ. Σχεδίου ΖΡ,ΤΡ01
Έκδοση 1η
Ημερομηνία : 15/11/2011

Η κατασκευή του δρόμου , συνολικού μήκους 11.5 χιλιομέτρων , έχει ως σκοπό την ένωση των οικισμών Ασπρόγεια – Περικοπή . Οι οικισμοί αυτοί βρίσκονται στο όρος Βέρνον, στο νότιο τμήμα του νομού Φλώρινας , στα διοικητικά όρια με το νομό Καστοριάς. Το όρος Βέρνον τοποθετείται στη κεντροδυτική Μακεδονία σχηματίζοντας μαζί με το όρος Καϊμακτσαλάν τα Πιέρια όρη. Σε μεγαλύτερη κλίμακα, προσθέτοντας και το βουνό Όλυμπος , αποτελούν ένα μέρος των εσωτερικών Ελληνίδων οροσειρών.

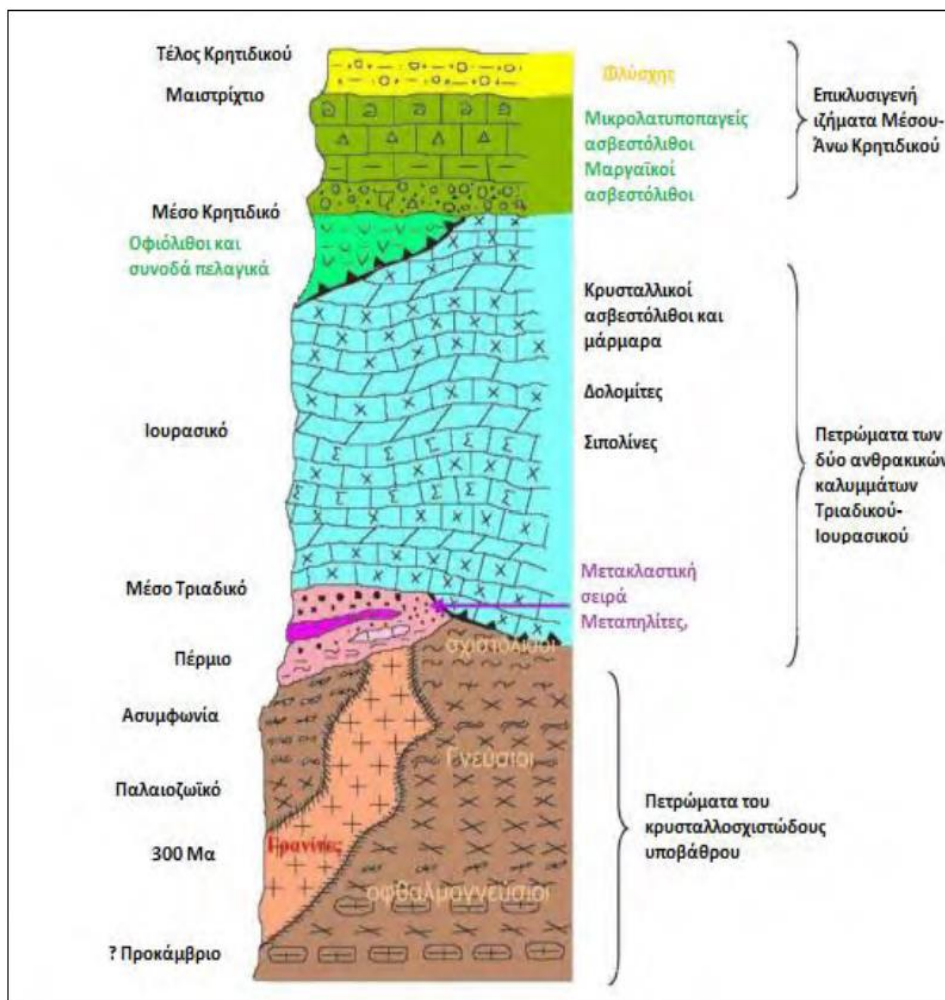
3.1 Πελαγονική Ζώνη

Η όλη περιοχή ανήκει στη Πελαγονική Ζώνη η οποία θεωρείται ένα Μεσοζωικό ηπειρωτικό κομμάτι της παλιάς Κιμμερικής ηπείρου που συνιστάται, ξεκινώντας από κάτω , από ένα κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο γνευσίων, μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων και αμφιβολιτών Παλαιozoικής ηλικίας που διακόπηκαν από γρανιτοειδή πετρώματα του Λιθανθρακοφόρου. Το υπερκείμενο στρώμα περιέχει μετα-ηφαιστιακά ιζήματα ηλικίας Περμίου – Κάτω Τριαδικού .



Εικόνα 18: Γεωτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας . (Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιοδοπική ζώνη, (Pe: Ζώνη Παιονίας, Pa: Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας), Al: Ζώνη Αξίου, PI: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικοκυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη ή ζώνη Ανατολικής Ελλάδας, Pk: Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, P: Ζώνη Ωλονού- Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου- Τριπόλεως, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια (<http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg871y/ch3.htm>)

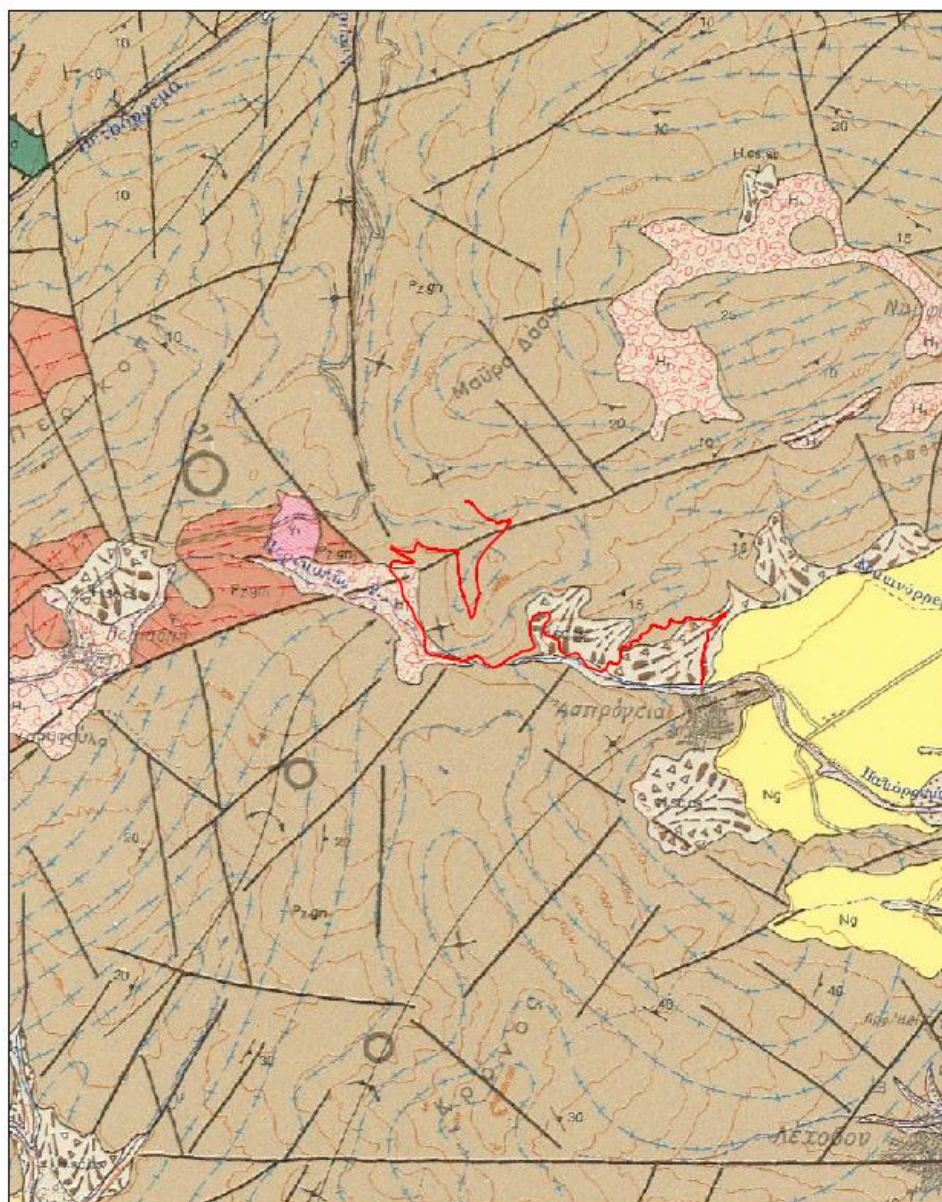
Ακριβώς από πάνω υπάρχει ένα παχύ ανθρακικό κάλυμμα Τριαδικής – Ιουρασικής ηλικίας νηριτικής φάσης που αποτέθηκε στα ηπειρωτικά περιθώρια της ζώνης, πάνω στο οποίο έχει επωθηθεί ένα μέρος του ωκεάνιου φλοιού, προερχόμενο από τις εκατέρωθεν λεκάνες της Τηθύος, που συνιστάται από οφιολίθους. Το ανώτερο στρώμα σχηματίστηκε στο Άνω Κρητιδικό, είναι ένα στρώμα επικλυσισγενών ανθρακικών, κλαστικών ιζημάτων και φλύχης. Τέλος, δύο μεταμορφώσεις έχουν επηρεάσει τα πετρώματα της Πελαγονικής. Πρώτη η Ερκύνια μεταμόρφωση που ήταν αμφιβολιτικής φάσης στο κρυσταλλοσχιτώδες υπόβαθρο. Δεύτερη ήταν πρασινοσχιστολιθικής φάσης, ηλικίας Ιουρασικού – Κρητιδικού στα πετρώματα Άνω Παλαιοζωικού – Ιουρασικού. Στο Α. Κρητιδικό – Ηώκαινο λαμβάνει χώρα η οριστική ανάδυση της Ζώνης.



Εικόνα 19 : Συνοπτική λιθοστρωματογραφική – τεκτονική στήλη της Πελαγονικής Ζώνης στη δυτική Μακεδονία (Μουντράκης 1986, τροποποιημένη από Ξανθοπούλου 2006)

Ο ορεινός όγκος του όρους Βέρνον αποτελείται επί το πλείστον από πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα της Πελαγονικής, ενώ στα δυτικά συμμετέχει και μια ημιμεταμορφωμένη κλαστική διάπλαση με τους επικείμενους κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους . Η γεωλογική δομή του Βέρνου συγκροτείται από αλληπάλληλες σειρές κρυσταλλικών πετρωμάτων που εφίπτευουν η μία την άλλη από τα ανατολικά προς τα δυτικά . Η σειρά είναι ως εξής : Βίτσι – Νυμφαίου , Κλεισούρας , ο γνευσιακός πλουτωνίτης της Καστοριάς, Σιδηροχωρίου και τέλος η Απόσκεπου. Συγκεκριμένα η μεγάλη μάζα του πλουτωνίτη χρονολογείται στα 302 εκατομμύρια χρόνια, κατέχει την κεντρικό όγκο της οροσειράς του Βέρνου, η εμφάνιση του είναι στενή και επιμήκη ενώ η διεύθυνσή του βορειοδυτική. Ο πλουτωνίτης έχει πτυχωθεί παράλληλα με τα μεταμορφωμένα πετρώματα της σειράς Κλεισούρας . Τα πετρώματα που απαρτίζουν των πλουτωνίτη είναι μια σειρά βιοτιτικών – κεροστυλβικών πορφυροειδών γρανιτών έως και γρανοδιοριτών. Μακροσκοπικά έχουν πράσινο χρώμα και περιλαμβάνουν μεγακρυστάλλους καλιούχων αστρίων, ρόδινης απόχρωσης, από τους οποίους δημιουργείται και ο έντονος πορφυροειδής ιστός. Αναλυτικότερα τα πρωτογενή ορυκτά συστατικά τους είναι: χαλαζίας, καλιούχοι άστριοι, πλαγιόκλαστα, βιοτίτης, κεροστυλβη, τιτανίτης, απατίτης, ζirkόνιο, μαγνητίτης, αλλανίτης. Στη σειρά των δευτερογενών ανήκουν το επίδοτο, ο ακτινόλιθος , ο χλωρίτης και ο σερίκίτης. Τα γρανιτικά πετρώματα συχνά περιέχουν μονζοδιοριτικής σύστασης λεπτόκοκκα εγκλείσματα με σκούρο πράσινο χρώμα . Στα εγκλείσματα υπάρχει πολύ περισσότερη συμμετοχή των φεμικών συστατικών, ενώ απουσιάζει ο χαλαζίας. Οι επιφάνειες επαφής τους με τα πετρώματα ξενιστές είναι σαφής, δίνοντας έτσι την εντύπωση ότι διεισδύει το ένα μέσα στο άλλο.

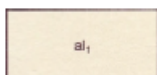
**ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ
ΑΠΟΣΠΑΣΜΑ ΧΑΡΤΗ Ι.Γ.Μ.Ε. ΦΥΛΛΟ: ΚΑΣΤΟΡΙΑ - ΚΛΙΜΑΚΑ 1:50.000**



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ

ΟΛΟΚΑΙΝΟ



Αποθέσεις στις κοίτες ποταμών και χειμάρρων

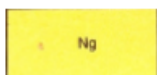


Προσχώσεις μικρών κλειστών λεκανών
με υλικά από τα περιβάλλοντα πετρώματα



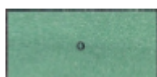
Πλευρικά κορήματα και κώνοι κορημάτων

ΝΕΟΓΕΝΕΣ



Άργιλοι, άμμοι, κροκαλοπαγή, μαργαίκοι ασβεστόλιθοι,
μάργες, λιγνίτες, ξυλίτες

ΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ

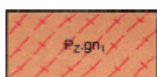


Οφιόλιθοι

ΠΑΛΑΙΟΖΩΪΚΟ

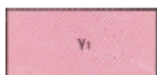


Κατώτερος ορίζοντας έντονα μεταμορφωμένου συστήματος:
γενεύσιοι με παρεμβολές σχιστολίθων και αμφιβολιτών



Γρανιτογενεύσιοι Δυτικής Μακεδονίας

ΠΛΟΥΤΩΝΙΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ



Αμφιβολιτικός και/ή βιοτιτικός γρανίτης - γρανοδιορίτης,
μονζογρανίτης, διορίτης



Οδικό τμήμα προς βελτίωση "Ασπρόγεια - Περικοπή"



Αριθ. Σχεδίου: ZPLXF01

Έκδοση : 1η

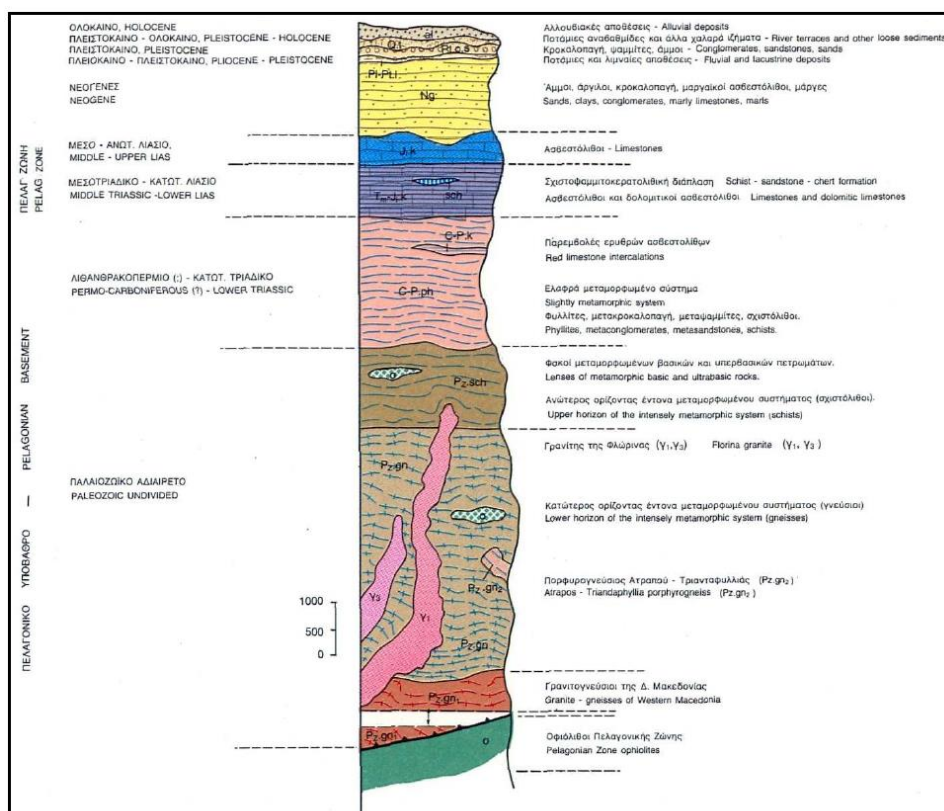
Ημερομηνία : 15/11/2011

3.2 Περιοχή Μελέτης

Συγκλίνοντας στη περιοχή ενδιαφέροντος, δηλαδή στο τμήμα της Ασπρόγειας – Περικοπής οι σχηματισμοί που συναντήθηκαν, με χρονολογική σειρά, είναι οι παρακάτω. Τα παλαιότερα ευρήματα ανήκουν στον Παλαιοζωικό και είναι ενότητες χλωριτικών – σερίτικων σχιστολίθων, που έχουν υποστεί έντονο τεκτονισμό και αποσάθρωση, αμφιβολιτών, γενευσίων, που έχουν κερματιστεί και αποσαθρωθεί κατά κόρον, ενώ υπάρχουν και μάζες γενευσίων αδιάρρηκτες που είναι αρκετά πιο συμπαγείς. Εξετάζοντας τη κάθε ενότητα ανακαλύπτει κανείς ότι οι σχιστόλιθοι έχουν φαιοπράσινη απόχρωση, ενώ διαπερνούνται από συνηθισμένες διεισδύσεις.

Συνεχίζοντας, οι αμφιβολίτες έχουν μια παρόμοια τεφροπράσινη χροιά, τέμνονται από τις ίδιες διεισδύσεις, ενώ ο βαθμός αποσάθρωσης διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Οι ενότητες των γενεσίων εμφανίζεται με χρώματα που ταλαντεύονται ανάμεσα στο τεφρόλευκο και τεφροπράσινο, είναι επι το πλείστον όρθογενέσιοι που αντιστοιχούν στην κατηγορία βραχομάζας εδαφικού τύπου (υπολειμματικά εδάφη).

Εξαιτίας της ιδιαίτερης διαφοροποίησης στους γενεσίους είναι δυνατή η κατηγοριοποίηση τους σε 3 ομάδες. Η πρώτη αποτελείται από τους αρκετά συμπαγείς με ατελή σχιστότητα και πορφυρο – λεπιδόβλαστικό ιστό. Τα υλικά της είναι υγρή ή ελαφρώς αποσαθρωμένα. Στη δεύτερη συγκαταλέγονται οι σημαντικά κερματισμένοι γενεσίους που ενώ διατηρούν μακροσκοπικά τη δομή τους, έχουν χάσει μέρος της αρχικής αντοχής τους. Στη τρίτη και τελευταία η βραχομάζα έχει χάσει όλα τα στοιχεία του βράχου καθώς πλέον συμπεριφέρεται σαν έδαφος, πλήρως κερματισμένη και αποσαθρωμένη.



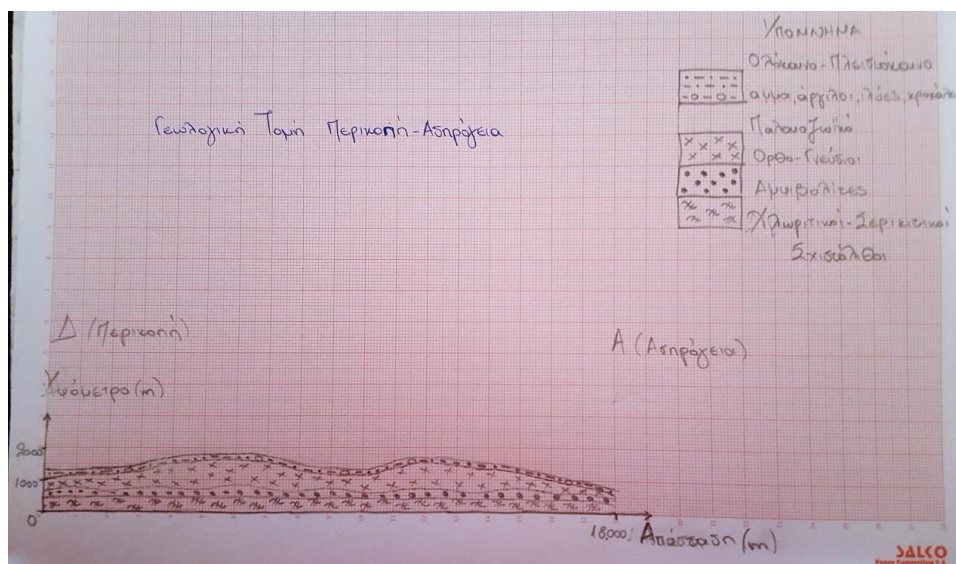
Σχ.4: Συνθετική στρωματογραφική στήλη ευρύτερης περιοχής Καστοριάς

(Πηγή: Ι.Γ.Μ.Ε. – γεωλογικό φύλλο Καστοριά)

Ακολουθούν οι ενότητες των πλευρικών και κωνικών κορημάτων που χρονολογούνται στο Ολόκαινο – Πλειστόκαινο. Όσον αφορά τα πλευρικά κορήματα επεκτείνονται σε μεγάλο κομμάτι της περιοχής ενδιαφέροντος, πρακτικά αποτελούν ένα χαλαρό επικάλυμμα μεταβαλλόμενου πάχους, στο οποίο περιλαμβάνονται και

αποσαθρώματα, καστανέρυθρης έως καστανόεφφρης απόχρωσης. Αποτελούνται από αμμοιίλνες με κυμαινόμενο ποσοστό αργίλου και γωνιώδη θραύσματα γενευσιακής προέλευσης ποικίλου μεγέθους. Το πάχος του στρώματος αυτού βαθμολογείται από κάποιες δεκάδες εκατοστά μέχρι και 1 με 4 μέτρα. Οι κώνοι κορημάτων καλύπτουν περιοχές με ομαλή σχετικά μορφολογία. Συγκροτούνται επίσης από αμμοιίλνες με λιγοστό ποσοστό αργίλου ενώ επιμέρους εμφανίζονται γενευσιακοί ολισθόλιθοι μεγέθους, έως 2 κυβικά μέτρα, που έχουν απελευθερωθεί από τα ανάντη στρώματα.

Τα νεότερα υλικά έχουν ηλικίες Ολοκαίνου και προέρχονται από τον ελουβιακό μανδύα, διάφορες αποθέσεις κοίτης, ενώ ακόμα και από μικρές κλειστές λεκάνες. Οι αποθέσεις συγκροτούνται από ασύνδετα υλικά όπως αργίλους, ιλύες, άμμους, κροκάλες και ψηφίδες. Εμφανίζονται είτε στις μισγάγγειες κατά μήκος της υπό μελέτη οδού είτε σε χώρους που διευκολύνουν τη μεταφορά αυτών των υλικών καθώς μερικώς είναι παράγωγα διάβρωσης και εξαλλοίωσης των γειτονικών πετρωμάτων. Όπως τα κορήματα έτσι και ο μανδύας αποτελείται από αμμοιίλνες με μεταβαλλόμενο ποσοστό αργίλου και θραύσματα γενευσίων. Το πάχος του δε ξεπερνά το ένα μέτρο και χαρακτηρίζεται από πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά.



Εικόνα 20 : Γεωλογική Τομή του τμήματος Περικοπής – Ασπρόγειας (Λιάνος, 2019)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΩΝ



Εικόνα 21 Χάρτης δειγμάτων μελέτης (Λιάνος, 2020)
(<https://www.google.com/maps/@40.6159069,21.4505012,1147m/data=!3m1!1e3>)

Βραχομάζα 1



- **Λιθολογία :** Γνεύσιος
- **Κλίση Πρανούς :** 80° μοίρες
- **Αποσάθρωση :** Μέτρια
- **Κερματισμός :** Μέτριος
- **Ασυνέχειες :** 62/65
56/295
25/200
30/198
80/300
- **Μετρήσεις σφύρας Schmidt :** 18 - 20 - 22 - 23 - 25 κρούσεις
- **GSI :** 30- 35 (Πολύ Τεμαχώδης)
- **Αντοχή βραχομάζας :** Μέση
- **Τρόπος Αστοχίας :** Ανισότροπη Κατολίσθηση (Επίπεδη/Σφηνοειδής ολίσθηση)
- **Μέτρα Αντιστήριξης :** Αλλαγή γεωμετρίας πρανούς.

Βραχομάζα 2



- **Λιθολογία** : Αμφίβολος
- **Κλίση Πρανούς** : 70° μοίρες
- **Αποσάθρωση** : Επιφανειακή
- **Κερματισμός** : Μικρός
- **Ασυνέχειες** : 60/185 29/73
 40/270 49/166
 34/173
 40/105
 85/260
 68/175
- **Μετρήσεις σφύρας Schmidt** : 55 - 50 - 60 - 65 - 45
- **GSI** : 50 - 60 (Τεμαχώδης)
- **Αντοχή Βραχομάζας** : Υψηλή
- **Τρόπος Αστοχίας**: Ανισότροπη Κατολίσθηση (Επίπεδη/Σφηνοειδής ολίσθηση)
- **Μέτρα Αντιστήριξης**: Αφαίρεση επιφανειακής αποσαθρωμένης βραχομάζας.

Βραχομάζα 3



- **Λιθολογία :** Σηηνιτής
- **Κλίση Πρανούς :** 55° μοίρες
- **Αποσάθρωση :** Υψηλή
- **Κερματισμός :** Μέτριος
- **Ασυνέχειες :** 85/20 80/45 80/30
60/35 60/50
80/285
70/30
80/40
- **Μετρήσεις σφύρας Schmidt :** 32 – 28 – 38 – 28 – 35 – 55
- **GSI :** 35 - 45 (Πολύ Τεμαχώδες)
- **Αντοχή Βραχομάζας :** Μικρή
- **Τρόπος Αστοχίας :** Ανισότροπη Κατολίσθηση (Επίπεδη/Σφηνοειδής ολίσθηση)
- **Μέτρα Αντιστήριξης:** Αλλαγή κλίσης πρανούς, δημιουργία αναβαθμών, προσθήκη βραχοπαγίδας, γεωπλέγμα, αφαίρεση ελεύθερης βραχομάζας.

Βραχομάζα 4



- **Λιθολογία :** Μαρμαρυγιακός Σχιστόλιθος
- **Κλίση Πρανούς :** 60° μοίρες
- **Αποσάθρωση :** Έντονη
- **Κερματισμός :** Έντονος
- **Μετρήσεις σφύρας Schmidt :** 28 – 35 – 31 – 45
- **GSI :** 20 – 30 (Αποδιοργανωμένη)
- **Αντοχή Βραχομάζας :** Μικρή
- **Τρόπος Αστοχίας :** Ισότροπη Κατολίσθηση (Περιστροφική ολίσθηση)
- **Μέτρα Αντιστήριξης :** Αφαίρεση κορυφής, μείωση κλίσης, δημιουργία αναβαθμών, προσθήκη βλάστησης και τάφρου.

Βραχομάζα 5



- **Λιθολογία** : Γνεύσιος
- **Κλίση Πρανούς** : 65° μοίρες
- **Αποσάθρωση** : Πολύ Υψηλή
- **Κερματισμός** : Πολύ Ισχυρός
- **GSI** : 10 – 20 (Αποδιοργανωμένη)
- **Αντοχή Βραχομάζας** : Πολύ Μικρή
- **Τρόπος Αστοχίας** : Ισότροπη Κατολίσθηση (Περιστροφική ολίσθηση)
- **Μέτρα Αντιστήριξης** : Αφαίρεση ογκου, ελάττωση κλίσης, τοίχος αντίδρασης και αγκύρωση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Κινηματική Ανάλυση

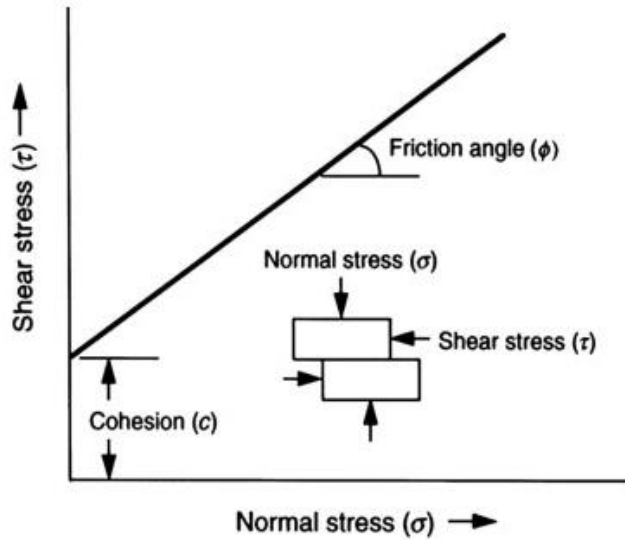
Η κινηματική ανάλυση είναι μια καθαρά γεωμετρική μέθοδος με σκοπό τον υπολογισμό των διαφόρων τρόπων που μπορεί να αστοχήσει το πρανές. Λειτουργεί συσχετίζοντας τα συστήματα ασυνεχειών με τις επιφάνειες ολίσθησης και τη γωνία εσωτερικής τριβής της βραχομάζας που εξετάζεται.

Σε αυτή την έρευνα εφαρμόζεται σε 3 δείγματα βραχομαζών που συλλέχθηκαν στην περιοχή ενδιαφέροντος και παρουσιάζονται παρακάτω κάνοντας χρήση του προγράμματος Dips. Αρχικά, γίνεται η αναγνώριση της λιθολογίας της βραχομάζας έτσι ώστε εμπειρικά να οριστεί η γωνία ϕ_b , η βασική γωνία τριβής του άρρηκτου βράχου που μελετάται και της παρουσίας συστημάτων ασυνεχειών. Επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός του ύψους και της κλίσης πρώτα του πρανούς και σε δεύτερη φάση των ασυνεχειών που των διαπερνούν, επιτυγχάνεται με τη χρήση γεωλογικής πυξίδας η οποία παρέχει τη διεύθυνση και γωνία κλίσης των ασυνεχειών. Στη συνέχεια εξετάζεται ο βαθμός κερματισμού της βραχομάζας και ο δείκτης αποσάθρωσης των ασυνεχειών. Επιπλέον κάνοντας χρήση των τυποποιημένων προφίλ τραχύτητας υπολογίζεται ο συντελεστής τραχύτητας JRC. Ακολουθεί η εύρεση της αντοχής των τοιχωμάτων των ασυνεχειών σε μονοαξονική θλίψη, συντελεστής JCS, υπολογίζεται ποσοτικά από τις δοκιμές σκληρομέτρησης με τη βοήθεια ενός ειδικού οργάνου, τη σφύρα Schmidt.

Οι παραπάνω υπολογισμοί έγιναν για την επίλυση του κριτηρίου Barton-Bandis.

$$\tau = \sigma_n \cdot \lg \left[\phi_b + JRC \cdot \lg_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right]$$

Γνωρίζοντας τη βασική γωνία τριβής του εκάστοτε άρρηκτου βράχου ϕ_b , το συντελεστή τραχύτητας JRC και το συντελεστή αντοχής JCS κάνοντας χρήση του κριτηρίου Barton υπολογίζεται η εσωτερική γωνία τριβής ϕ . Για να υπολογιστεί η διατμητική τάση (τ) σχηματίζεται διάγραμμα διατμητικής τάσης – ορθής τάσης. Η ορθή τάση σ_n υπολογίζεται από τη τύπο $\sigma_n = \gamma \cdot h$, όπου $\gamma = 0.025 \text{ MN/m}^3$ και h το ύψους του πρανούς. Λύνοντας για διάφορες τιμές του σ_n το κριτήριο του Barton υπολογίζεται η διατμητική τάση (τ). Τέλος σχηματίζεται διάγραμμα ορθής – διατμητικής τάσης με τις τιμές που βρέθηκαν, Η γωνία που θα σχηματίσει η καμπύλη του διαγράμματος με τον οριζόντιο άξονα είναι η εσωτερική γωνία ϕ .

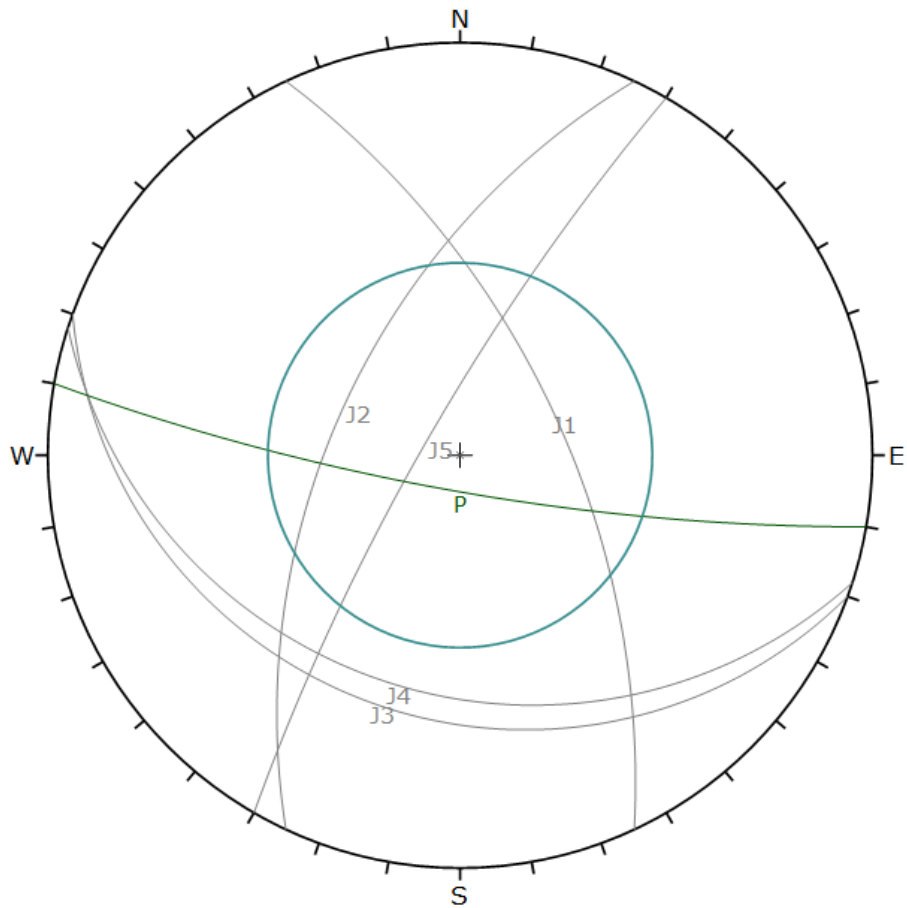


Εικόνα 18 Διάγραμμα διατμητικών-ορθών τάσεων, Αστοχία Mohr-Coulomb (Lambe, Whitman 1979)

Γνωρίζοντας την εσωτερική γωνία τριβής της βραχομάζας που μελετάται και την κλίση των ασυνεχειών που τη διαπερνούν σχηματίζεται δίκτυο Schmidt. Για να δημιουργηθεί μια επίπεδη ολίσθηση θα πρέπει η ασυνέχεια να έχει σχεδόν παράλληλη διεύθυνση και φορά με το πραινές, απόκλιση 20 μοιρών και η γωνία του πραινούς θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από της ασυνέχειας ενώ παράλληλα και οι δύο θα πρέπει να ξεπερνούν τη γωνία της εσωτερικής τριβής της ασυνέχειας. Για να δημιουργηθεί σφηνοειδής ολίσθηση αναγκαία προϋπόθεση είναι ο σχηματισμός δίδρου από το συνδιασμό δύο ασυνεχειών το οποίο θα ολισθαίνει κατά την ακμή του. Η τομή των επιφανειών να εμφανίζεται στην επιφάνεια του πραινούς και η γωνία του πραινούς να είναι μεγαλύτερη από της ακμής ενώ ταυτόχρονα και οι δύο να υπερέχουν τη γωνία τριβής της ασυνέχειας. Στην περίπτωση της ολίσθησης από ανατροπή θα πρέπει η φορά κλίσης της ασυνέχειας να είναι αντίρροπη της φοράς κλίσης του πραινούς, με διεύθυνση να κυμαίνεται στα όρια των ± 20 μοιρών. Βασική προϋπόθεση είναι η κλίση της ασυνέχειας να είναι πάνω από 70 μοίρες.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι κινηματικές αναλύσεις ευστάθειας που έγιναν σε τρία δείγματα βραχομάζας με το πρόγραμμα Dips. Με γκρι χρώμα παρουσιάζονται οι ασυνέχειες, με πράσινο τα πραινά και ο ομόκεντρος κύκλος απεικονίζει τη γωνία εσωτερικής τριβής.

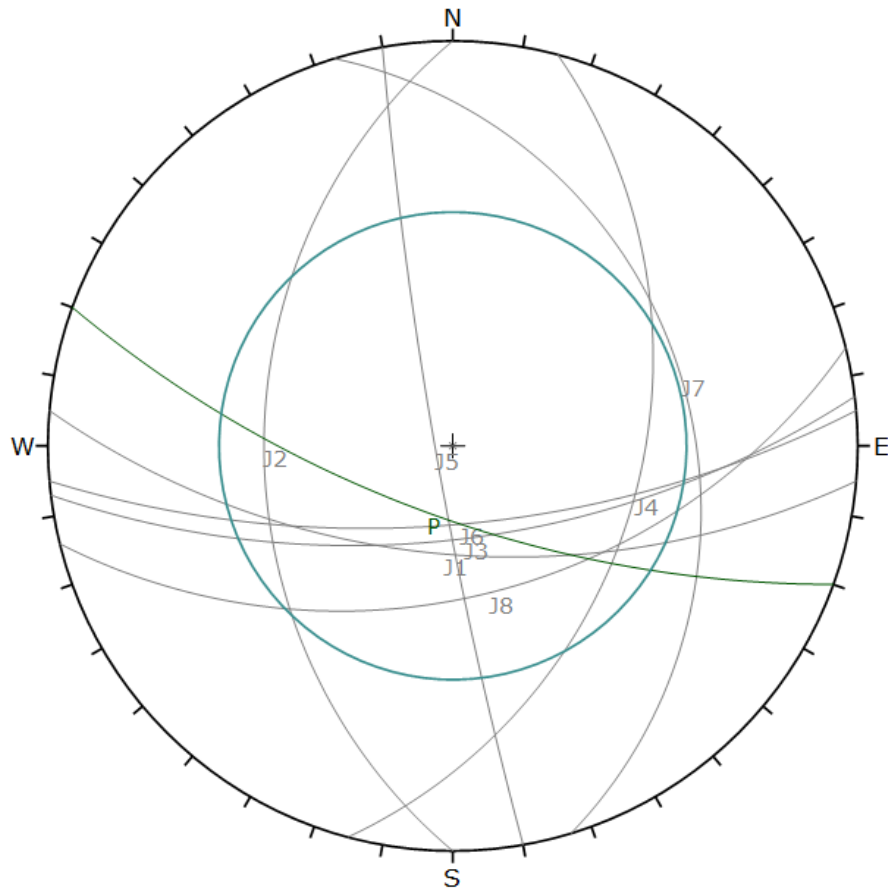
Βραχομάζα 1



Δυναμικές Ολισθήσεις

- Επίπεδες ολισθήσεις : J1 , J2 , J5
- Σφηνοειδείς αποκολλήσεις : J1 – J5
- Ανατροπές : Δεν παρουσιάζονται επιφάνειες που έχουν τη δυνατότητα να σχηματίσουν μια ανατροπή

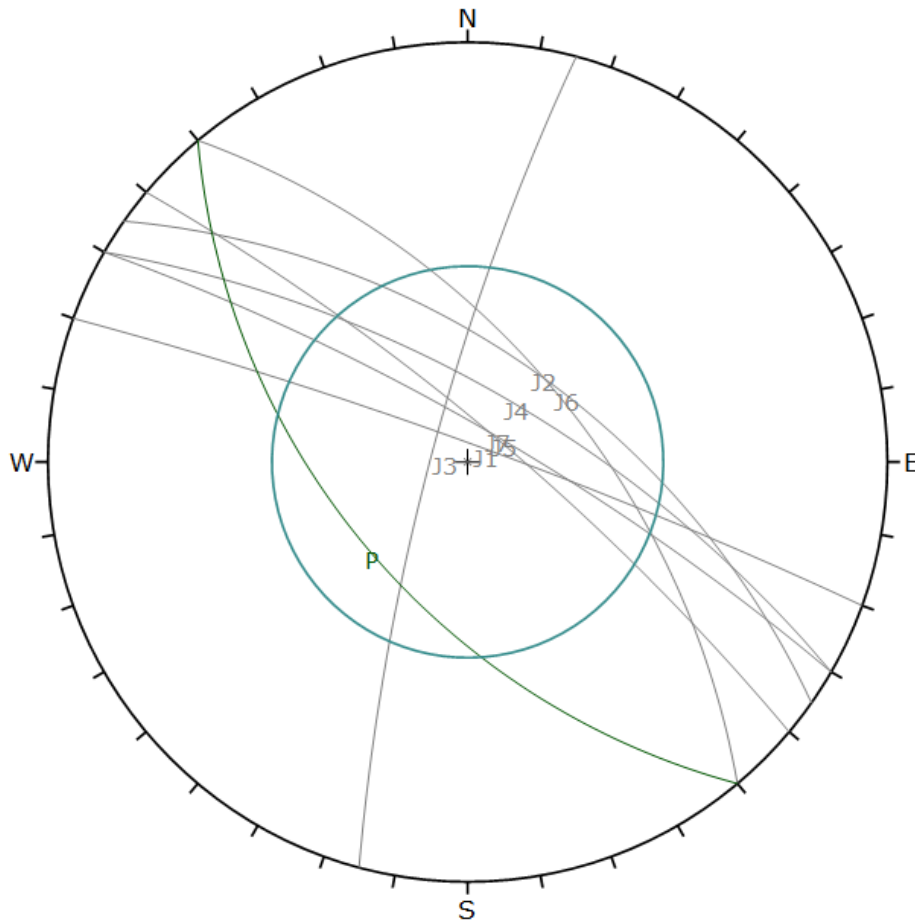
Βραχομάζα 2



Δυνητικές Ολισθήσεις

- Επίπεδες ολισθήσεις : J1 , J2 , J3 , J4 , J5 , J6 , J7
- Σφηνοειδείς αποκολλήσεις : J2 – J3 , J2 – J6 , J2 – J1 , J2 – J8 , J4 – J3 , J4 – J6 , J4 – J1 , J4 – J8 , J1 – J3 , J1 – J6 , J1 – J8
- Ανατροπές : Δεν παρουσιάζονται επιφάνειες που έχουν τη δυνατότητα να σχηματίσουν μια ανατροπή

Βραχομάζα 3



Δυναμικές Ολισθήσεις

- Επίπεδες ολισθήσεις: Δεν παρουσιάζονται επιφάνειες που έχουν τη δυνατότητα να σχηματίσουν μια επίπεδη ολίσθηση .
- Σφηνοειδείς αποκολλήσεις: Δεν παρουσιάζονται επιφάνειες που έχουν τη δυνατότητα να σχηματίσουν μια σφηνοειδή αποκόλληση
- Ανατροπές : J1 , J5 , J7

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το οδικό δίκτυο που ενώνει τους οικισμούς Ασπρόγειας και Περικοπής στην περιοχή του νομού Φλώρινας είναι ένας δασικός δρόμος σε κακή κατάσταση που δεν πληροί τις βασικές προδιαγραφές για την μετακίνηση των κατοίκων. Πρώτο βήμα για την εκπόνηση της έρευνας ήταν η αναζήτηση πληροφοριών για την περιοχή ενδιαφέροντως σε χάρτες και μελέτες τρίτων ερευνητών. Στη συνέχεια ακολούθησε επίσκεψη στην περιοχή όπου και έγινε συλλογή πρωτογενών δεδομένων. Κατά τη παραμονή στο χώρο αναγνωρίστηκε η λιθολογία των βραχομαζών που την απαρτίζουν και τα συστήματα των ασυνεχειών τους, μετρήθηκαν τα ύψη των πρανών καθώς και οι κλίσεις τους ενώ με τη γεωλογική πυξίδα υπολογίστηκαν οι κλίσεις των ασυνεχειών. Επιπλέον πάρθηκαν μετρήσεις με τη σφύρα Schmidt,ταξινομήθηκαν οι βραχομάζες με βάση το σύστημα GSI, χαρακτηρίστηκε ο δείκτης κερματισμού και ο βαθμός αποσάθρωσης. Τέλος με τα στοιχεία που συλλέχθηκαν λύθηκε το κριτήριο Barton για τον υπολογισμό της εσωτερικής γωνία φ. Γνωρίζοντας τη κλίση και τη διεύθυνση των πρανών και των ασυνεχειών τους καθώς και την εσωτερική γωνία των βραχομαζών σχεδιάστηκαν διαγράμματα Schmidt όπου αναγνωρίστηκαν πιθανοί τρόποι αστοχίας. Λαμβάνοντας υπό όψην τους μηχανισμούς αστοχίας τις κάθε βραχομάζας προτάθηκαν μέτρα προστασίας και αντιστηρίξης των πρανών.

Η πρώτη βραχομάζα που συναντήθηκε αναγνωρίστηκε ως ένας γνεύσιος με απότομη κλίση και μέτριο δείκτη αποσάθρωσης και κερματισμού. Χρησιμοποιώντας ως γνώμονα το σύστημα ταξινόμησης GSI χαρακτηρίστηκε ως πολύ τεμαχώδης με μία μέση αντοχή. Ο τρόπος αστοχίας που υπολογίστηκε είναι μια είτε επίπεδη είτε σφηνοειδής ολίσθηση . Για την αποφυγή της πιθανής αστοχίας λαμβάνοντας υπόψην τα δεδομένα προτάθηκε αλλαγή κλίσης του πρανούς.

Η δεύτερη βραχομάζα είναι μια αμφίβολος με μέτρια προς έντονη κλίση και μικρό δείκτη αποσάθρωσης και κερματισμού. Με βάση το σύστημα GSI κατηγοριοποιήθηκε ως τεμαχώδης με υψηλή αντοχή. Πιθανοί τρόποι αστοχίας είναι επίπεδη και σφηνοειδής ολίσθηση. Δεδομένης της κατάστασης της βραχομάζας προτάθηκε η αφαίρεση της επιφανειακής αποσαθρωμένης βραχομάζας.

Η τρίτη στη σειρά που αναγνωρίστηκε είναι ένας συηνίτης, με μέτρια κλίση και μέτριο προς υψηλό δείκτη αποσάθρωσης και κερματισμού. Κάνοντας χρήση του συστήματος ταξινόμησης GSI χαρακτηρίστηκε ως πολύ τεμαχώδης. Αναμένεται να αστοχίσει ανισότροπα χωρίς όμως να παρουσιάζει σύστημα ασυνεχειών ικανό να παράξει μια ανατροπή. Αφαιρώντας τα ελεύθερα μέρη της βραχομάζας , δημιουργώντας αναβαθμίδες, καλύπτοντας με γεωπλέγμα και τοποθετώντας βραχοπαγίδα στο πόδα του πρανούς υπολογίζεται ότι είναι απαραίτητα για τη προστασία του έργου.



Στη συνέχεια της έκτασης του έργου βρίσκεται μια ζώνη μαρμαρυγιακού σχιστολίθου έντονα αποσαθρωμένη και κερματισμένη με μέση κλίση 60 μοιρών. Αναγάγοντας τα στοιχεία σε αριθμούς στο σύστημα GSI χαρακτηρίζεται ως αποδιοργανωμένη με μικρή αντοχή. Πιθανός τρόπος αστοχίας είναι η περιστροφική ολίσθηση. Αναγκαία είναι η αφαίρεση όγκου, η μείωση της κλίσης του πρανούς, η προσθήκη βλάστησης, άνοιγμα τάφρου καθώς και ο σχηματισμός αναβαθμίδων.

Τέλος το έργο διασχίζει ένα σχηματισμό γνευσίου με μέση κλίση 65 μοιρών που έχει υποστεί πολύ υψηλή αποσάθρωση και πολύ έντονο κερματισμό. Χρησιμοποιώντας το σύστημα ταξινόμησης GSI σαν κριτήριο αναμένεται αποδιοργανωμένη βραχομάζα πολύ μικρής αντοχής. Αναμένεται να κατολισθήσει ισότροπα, για αυτό προτείνεται διαμόρφωση και αποφόρτιση του πρανούς αφαιρώντας όγκο βραχομάζας, μειώνοντας δραστικά την κλίση και εγκαθιστώντας τοίχο ενίσχυσης από σκυρόδεμα για να προστατέψει τη βραχομάζα ενώ ταυτόχρονα θα δρα σαν πλάκα αγκύρωσης.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία

1. Μουντράκης, Δ. (2010) Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδας
2. Τρανός, Μ. (2011) Γεωλογικές Χαρτογραφίες
3. Χρηστάρας, Β., Χατζηαγγέλου, Μ. (2011) Απλά βήματα στην Εδαφομηχανική
4. Κίλιας, Α. (2009) Εισαγωγή στην Τεκτονική Γεωλογία
5. Δημόπουλος, Γ. (2008) Τεχνική Γεωλογία
6. Παυλίδης, Σ. (1985) Νεοτεκτονική Εξέλιξη της λεκάνης Φλώρινας-Βεγορίτιδας-Πτολεμαΐδας (Δ.Μακεδονία)

Επιστημονικά άρθρα

1. Αναπτυξιακή Δυτικής Μακεδονίας Α.Ε. (2011) Βελτίωση οδικού τμήματος Ασπρόγεια-Περικοπή.
2. Μάνδρος, Κ. (2011) Ανάλυση Ευστάθειας και Μέτρα Αντιστήριξης βραχωδών πρανών σε Γενευσιακό Περιβάλλον
3. Γρηγοριάδου, Α., Κορωναίος, Α., Ελευθεριάδης, Γ. (2003) Ορυκτολογία του πλουτωνίτη της Καστοριάς.
4. Ambas, V.Ch., Katsaros, E.E., Alexoudi, M.N., Olsoglou, E.M., Tsapanos, T.M., Koravos, G.N., Drakatos, G.N., Tzamos, E.I. (2016) Landslides in Vitsi (Florina) Territory
5. Τσαμπα, Α. (2013) Φυσικές και Μηχανικές Ιδιότητες Γρανιτών περιοχής Φλώρινας.
6. Azami, A., Yacoub, T., Curran, J., Wai, D. A Constitutive Model for Joined Rock Mass
7. Hoek, E. Practical Rock Engineering
8. Bieniawski, Z. (1989) Geomechanics Classification of the Rock Mass Rating (RMR) system
9. Norwegian Geotechnical Institute (NGI), (1974) Q-system
10. Marrett, R., Allmendinger, R. (1990) Kinematic analysis of fault-slip data
11. Chaulya, S.K., Prasad, G.M. (2016) Slope Failure Mechanism and Monitoring Techniques

-Ιστοσελίδες

1. www.rocscience.com
2. https://issuu.com/enggeoauth/docs/texniki_geologia_7o_mathima_eystatheia_pranwn_vrax
3. <https://engeolab.gr/>
4. <https://www.metal.ntua.gr/>

Field CodeChanged