

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



Διπλωματική Εργασία
«Τεχνικογεωλογική μελέτη ευστάθειας πρανούς
στα Πεύκα Θεσσαλονίκης, Στροφή Φιλύρου»



ΒΟΥΓΙΟΥΚΑΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ
ΑΕΜ: 4402
Επιβλέπων Καθηγητής: Χρηστάρας Βασίλειος

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2013

Ευχαριστίες

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία θα ήταν αδύνατο να πραγματοποιηθεί χωρίς την συμβολή και την βοήθεια του επιβλέποντα καθηγητή κ. Βασίλη Χρηστάρα, ο οποίος με υποστήριξε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας, όχι μόνο επιστημονικά αλλά και ηθικά.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους γονείς και τους φίλους μου για την πραγματική και ειλικρινή βοήθεια και υποστήριξη στα δύσκολα χρόνια της φοιτητικής μου ζωής.

Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	5
1.1 ΟΡΙΣΜΟΙ	5
1.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ	6
1.2.1 ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΙΣ	9
1.3 ΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ	9
1.3.1 ΜΕΤΑΘΕΤΙΚΕΣ ΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ	10
1.4 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ	11
1.4.1 ΓΩΝΙΑ ΤΡΙΒΗΣ, ΣΥΝΟΧΗ	11
1.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ	11
1.5.1 ΑΣΤΟΧΙΑ ΣΦΗΝΑΣ	12
1.5.2 ΑΣΤΟΧΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟΥ	13
1.5.3 ΑΝΑΤΡΟΠΕΣ	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	18
ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΩΝ	18
2.1 ΓΕΝΙΚΑ	18
2.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΠΡΑΝΟΥΣ	19
2.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ	19
2.3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	20
2.3.2 ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	20
2.3.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	21
2.3.4 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΤΩΝ ΠΡΑΝΩΝ	22
2.3.5 ΑΣΤΟΧΙΑ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	24
2.3.6 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	24

2.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ	29
2.4.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΗ ΟΛΙΣΘΗΣΗ	29
2.4.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΣΕ ΣΦΗΝΟΕΙΔΗ ΟΛΙΣΘΗΣΗ	32
2.5 ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΕ ΒΡΑΧΩΔΗ ΠΡΑΝΗ	34
2.5.1 ΓΕΝΙΚΑ	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	38
3.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	38
3.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	39
3.2.1 ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗ ΖΩΝΗ	39
3.2.2 ΠΕΡΙΡΟΔΟΠΙΚΗ ΖΩΝΗ	39
3.3 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	43
3.4 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΣΤΡΟΦΗ ΦΙΛΥΡΟΥ)	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	50
ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΟΥΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	50
4.1 ΓΕΝΙΚΑ	50
4.1.1 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ « DIPS »	50
4.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΔΟΜΩΝ	50
4.2.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ DIPS ΚΑΙ ROCLAB	53
4.2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ	59
ΣΥΝΟΨΗ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	64
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	68
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	73

Εισαγωγή

Η ευστάθεια βραχωδών πρανών έχει απασχολήσει τον άνθρωπο κυρίως στον τεχνικό τομέα. Αποτελεί ένα φαινόμενο το οποίο μπορεί να προκαλέσει προβλήματα, όπως σε οδικό δίκτυο. Γι' αυτό το λόγο μπόρεσε και αύξησε την τεχνογνωσία του, γεωλογικά και τεχνικογεωλογικά. Η μελέτη τους ήταν επιτακτική ανάγκη, καθώς είχε άμεσες επιπτώσεις στην ζωή του ανθρώπου.

Η παρούσα εργασία θα ασχοληθεί με την μελέτη ευστάθειας πρανούς στην περιοχή του Ρετζικίου - Πεύκα Θεσσαλονίκης στη στροφή Φιλύρου σε περιβάλλον που αποτελείται από σχιστόλιθο. Οι σχιστόλιθοι ανήκουν στην κατηγορία των ιζηματογενών και των κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων. Προκύπτουν από ιζηματογενή πετρώματα, κυρίως αργιλικά, και από πυριγενή, κυρίως περιδοτίτες.

Η εργασία χωρίζεται σε 4 τμήματα:

- Το θεωρητικό κομμάτι, το οποίο είναι χρήσιμο για την κατανόηση όρων: ορισμός πρανούς, τεχνητό - φυσικό πρανές, μορφές αστοχίας πρανών, κατολίσθηση. Τέλος γίνεται και αναφορά στα μέτρα προστασίας και αντιστήριξης των πρανών από καταπτώσεις βράχων.
- Το δεύτερο μέρος, το οποίο ασχολείται με τη θεωρία ευστάθειας και αναλύσεις ευστάθειας βραχωδών πρανών.
- Το τρίτο μέρος, το οποίο αφορά την γεωλογία της περιοχής άμεσου ενδιαφέροντος, στο Ρετζίκι – Πεύκα.
- Το τέταρτο μέρος αναφέρεται στην επεξεργασία δεδομένων σε γεωλογικά προγράμματα, καθώς και την ανάλυση ευστάθειας του πρανούς σύμφωνα με τα αποτελέσματα και τα χαρακτηριστικά που προκύπτουν απ' αυτά, καθώς και την εξαγωγή συμπερασμάτων για την ευστάθεια του πρανούς στη στροφή Φιλύρου.

Κεφάλαιο 1

1.1 Ορισμοί

Ως **πρανή** ορίζονται οι κεκλιμένες φυσικές ή τεχνητες επιφάνειες εδάφους ή βράχου. Σε κάθε πρανές οι κλίσεις που το χαρακτηρίζουν έχουν την τάση να δημιουργούν δυνάμεις βαρύτητας οι οποίες, σε συνδυασμό με τις δυνάμεις που αναπτύσσονται από τη πιθανή παρουσία νερού στο έδαφος, δημιουργούν διατμητικές τάσεις στο εσωτερικό του πρανούς. Στις διατμητικές αυτές τάσεις, οι οποίες τείνουν να μετακινήσουν τη μάζα του πρανούς αντιτίθεται η διατμητική αντοχή του εδάφους, και στην περίπτωση που αυτές την υπερβούν, τότε οδηγούν σε αστοχία του πρανούς και σε κατολίσθηση (Turner & Schuster 1996).

Τα **τεχνητά πρανή** διαμορφώνονται με την κατασκευή τεχνικών έργων. Διακρίνονται σε πρανή ορυγμάτων που δημιουργούνται από την εκσκαφή του φυσικού εδάφους και σε πρανή επιχωμάτων που δημιουργούνται από την εναπόθεση εδαφικού υλικού.

Αστοχία πρανούς είναι η υπέρβαση της αντοχής με συνέπεια την κατάρρευση μάζας της επιφάνειας του. Αστοχία μπορεί να προκληθεί λόγω επέμβασης του ανθρώπου στη φύση με την κατασκευή τεχνικών έργων (εκσκαφές ορυγμάτων, υποσκαφές, επιφορτίσεις κ.α.) τα οποία διαταράσσουν την υφιστάμενη ισορροπία στο έδαφος. Μπορεί να προκληθεί επίσης από την επίδραση φυσικών παραγόντων όπως την αποσάθρωση, τη διάβρωση, τον παγετό, τη μεταβολή του υδροφόρου ορίζοντα και τους σεισμούς (Turner & Schuster 1996).

Κατολίσθηση είναι κάθε αλλαγή της επιφάνειας μιας κλιτύος, συνοδευόμενη από μετακίνηση υλικού, με ρήξη ή όχι της συνέχειας της, αργή ή ξαφνική που προέρχεται από δυνάμεις βαρύτητας και οφείλεται σε φυσικά ή τεχνητά αίτια. Η κατολίσθηση εκφράζει το αποτέλεσμα αναζήτησης μιας νέας κατάστασης ισορροπίας του εδάφους και είναι δυνατή η ανθρώπινη επέμβαση για την πληρη παύση ή την επιβράδυνση του φαινομένου.

Αρχή οριακής ισορροπίας αποσκοπεί στην εξέταση των συνθηκών που επικρατούν σε ένα πρανές υπό συνθήκες οριακής ισορροπίας ($SF=1$).

1.2 Ταξινόμηση κατολισθήσεων

Ο VARNES (1978) πρότεινε ένα σύστημα ταξινόμησης κατολισθήσεων, όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 1.1, που περιλαμβάνει όλες τις εδαφικές μετακινήσεις που μπορούν να παρατηρηθούν σε πρανή εκτός των καθιζήσεων. Τα βασικά κριτήρια ταξινόμησης είναι:

1. Ο τύπος της μετακίνησης
2. Το είδος του μετακινούμενου υλικού

Ανάλογα με τον τύπο της μετακίνησης διακρίνονται:

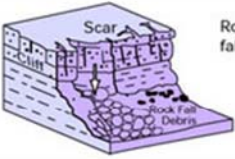
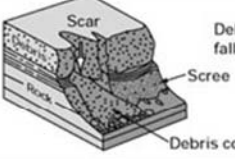
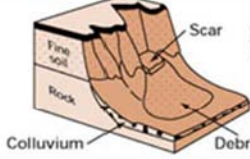
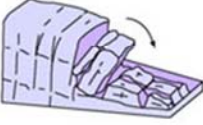
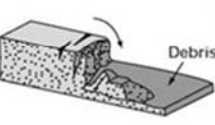
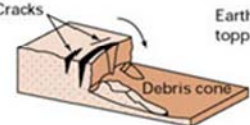
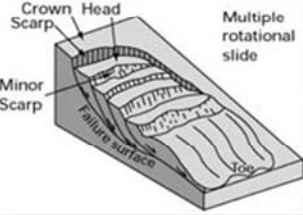
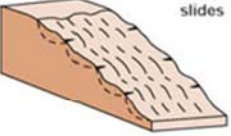
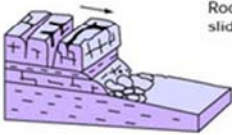
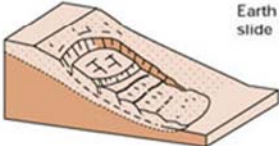
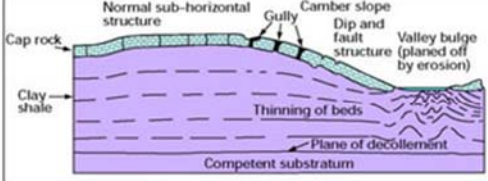
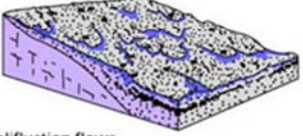
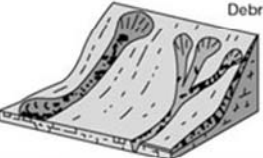
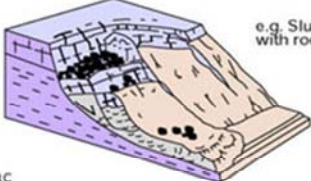
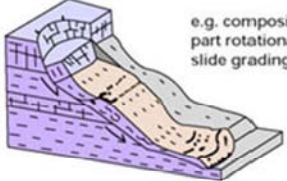
- Καταπτώσεις
- Ανατροπές
- Ολισθήσεις
- Πλεύριες εξαπλώσεις
- Ροές
- Σύνθετες μορφές

Ανάλογα με το είδος του γεωλογικού υλικού που μετακινείται διακρίνονται κινήσεις οι οποίες εκδηλώνονται:

- Στο βραχώδες υπόβαθρο
- Στους εδαφικούς σχηματισμούς (κορήματα, γαίες)

Πίνακας 1.1 Ταξινόμηση κατολισθήσεων κατά Varnes (Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2005)

ΤΥΠΟΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ		ΤΥΠΟΣ ΥΛΙΚΟΥ, ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ		
		ΥΠΟΒΑΘΡΟ	ΕΛΑΦΟΣ	
			ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΝ ΤΑ ΛΑΓΡΟΜΕΡΗ ΥΛΙΚΑ	ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΝ ΤΑ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ ΥΛΙΚΑ
Πτώσεις		Πτώσεις βράχων	Πτώσεις κορημάτων	Πτώσεις γαιών
Ανατροπές		Ανατροπές βράχων	Ανατροπές κορημάτων	Ανατροπές γαιών
Ολισθήσεις	Περιστροφικές	Κάθιση βράχων	Κάθιση κορημάτων	Κάθιση γαιών
	Μεταθετικές	Ολίσθηση τεμάχους Ολίσθηση βράχων	Ολίσθηση τεμάχους	Ολίσθηση τεμάχους γαιών Ολίσθηση γαιών
Πλευρικές εκτάσεις		Έκταση βράχων	Έκταση κορημάτων	Έκταση γαιών
Ροές		Ροή βράχων, βαθύς ερπυσμός	Ροή κορημάτων	Ροή γαιών
Σύνθετες		Συνδυασμός δύο ή περισσότερων τύπων μετακίνησης		

Material		ROCK	DEBRIS	EARTH
Movement type				
FALLS		 Rock fall	 Debris fall Scree Debris cone	 Earth fall Colluvium Debris cone
		 Rock topple	 Debris topple Debris cone	 Earth topple Debris cone
SLIDES	Rotational	 Single rotational slide (slump) Failure surface	 Multiple rotational slide Crown Head Scarp Minor Scarp Failure surface Toe	 Successive rotational slides
	Translational (Planar)	 Rock slide	 Debris slide	 Earth slide
SPREADS		 e.g. cambering and valley bulging		 Earth spread
FLOWS		 Solifluction flows (Periglacial debris flows)	 Debris flow	 Earth flow (mud flow)
COMPLEX		 e.g. Slump-earthflow with rockfall debris	 e.g. composite, non-circular part rotational/part translational slide grading to earthflow at toe	

Σχήμα 1.1 Ταξινόμηση μετακίνησης πρανών κατά Varnes.

1.2.1 Καταπτώσεις (Πτώσεις)

Στις καταπτώσεις, μία μάζα (κυρίως πετρώματος αλλά και συνεκτικού εδάφους) οποιουδήποτε μεγέθους, αποσπάται από ένα απότομο εδαφικό ή βραχώδες πρανές, κατά μήκος μιας επιφάνειας και πτώση, η οποία γίνεται κυρίως ελεύθερα με αναπήδηση ή κύλιση στην επιφάνεια του πρανούς. Η μετακίνηση αυτή γίνεται με αρκετά γρήγορο ρυθμό και είναι δυνατό να έχουν προηγηθεί αυτής μικρότερες μετακινήσεις που οδήγησαν στον προοδευτικό αποχωρισμό της μετακινούμενης μάζας από το μητρικό πέτρωμα. Αυτό το φαινόμενο των καταπτώσεων είναι συνηθισμένο στα απότομα πρανή πολύ συνεκτικών εδαφών ή βράχων τα οποία υποσκάπτονται από το ρεύμα των ποταμών ή από την ενέργεια των θαλάσσιων κυμάτων ή επιπλέον από την ανθρώπινη παρέμβαση (πχ. διάνοιξη δρόμων).

Στην περίπτωση **των καταπτώσεων βράχων** η μάζα που μετακινείται είναι η μάζα βράχων που αποσπάστηκαν από μία περιοχή του υποβάθρου. Οι πιο συχνές περιπτώσεις αναφέρονται σε :

- 1) Εναλλαγές συμπαγών και λιγότερο συμπαγών πετρωμάτων**
- 2) Συμπαγή πετρώματα με δυσμενή γεωμετρία ασυνεχειών**

Στην περίπτωση **καταπτώσεων κορημάτων** η μάζα που αποκολλάται είναι κορήματα, τα οποία αποτελούνται από θραύσματα που δημιουργήθηκαν πριν από την εμφάνιση του φαινομένου της μετακίνησης.

Η **κατάπτωση γαιών (ή εδάφους)** αποτελεί σπάνιο φαινόμενο καθώς τα υλικά κατά κανόνα υπόκεινται στους άλλους τύπους μετακίνησης.

1.3 Ολισθήσεις

Στις ολισθήσεις, η μετακίνηση προϋποθέτει κυρίως διατμητική αστοχία λόγω του υλικού κατά μήκος μιας ή περισσότερων επιφανειών που μπορεί να είναι ορατές ή όχι και να εκδηλώνονται μέσα σε μία σχετικά στενή ζώνη. Η μετακίνηση μπορεί να είναι προοδευτική, δηλαδή η διατμητική θραύση να μην γίνεται ταυτόχρονα σε όλη την επιφάνεια, αλλά επεκτείνεται διαδοχικά πέρα από την αρχική περιοχή τοπικής θραύσης. Η μάζα που θα μετακινηθεί μπορεί να ολισθήσει προς τα κατάντη απομακρυνόμενη από την αρχική επιφάνεια θραύσης.

Σε βραχώδεις σχηματισμούς η ολίσθηση μπορεί να αποτελείται από μετακίνηση επάνω σε καλά διαμορφωμένες επιφάνειες ασυνεχειών (στρώση, διάκλαση, σχιστότητα κ.λπ.), χωρίς να παρατηρείται πρωτογενής θραύση του υλικού οπότε και η επιφάνεια ολίσθησης να είναι σαφώς καθορισμένη. Έτσι, είναι δυνατό η ολισθαίνουσα μάζα να κινηθεί πάνω στην επιφάνεια ολίσθησης, η οποία και αποτελεί πλέον μία επιφάνεια διαχωρισμού για τη μετακινούμενη μάζα. Η μετατοπισμένη μάζα μπορεί να παραμείνει ενιαία κατά την ολίσθηση ή να διαχωριστεί σε μικρότερες ανεξάρτητα κινούμενες μάζες.

Οι ολισθήσεις, ανάλογα με την μορφή της επιφάνειας ολίσθησης καθώς και το μηχανισμό μετακίνησης διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- 1) **Περιστροφικές ολισθήσεις**
- 2) **Μεταθετικές ολισθήσεις (επίπεδη αστοχία)**

Στη παρούσα εργασία θα μας απασχολήσουν ιδιαίτερα οι μεταθετικές ολισθήσεις, οι οποίες θα αναλυθούν αμέσως παρακάτω.

1.3.1 Μεταθετικές ολισθήσεις (επίπεδη αστοχία)

Αρχικά για την αντιμετώπιση του προβλήματος η διάκριση της περιστροφικής από την μεταθετική ολίσθηση είναι βασικής σημασίας. Στις μεταθετικές ολισθήσεις η μάζα που αποσπάται από τα πρηνές μετακινείται προς τα έξω ή προς τα κάτω και έξω, κατά μήκος μιας κατά προσέγγιση επίπεδης ή ομαλής – κυματοειδούς επιφάνειας. Συνήθως, η μετακινούμενη μάζα ολισθαίνει και μετακινείται παράλληλα πάνω στην επιφάνεια ολίσθησης. Στην περιστροφική ολίσθηση, όπου η επιφάνεια ολίσθησης στην περιοχή του πόδα κλίνει προς το πρηνές, υπάρχει η «εγγενής» τάση αποκατάστασης της ισορροπίας στην ασταθή μάζα.

Σε μια μεταθετική ολίσθηση η μετατόπιση μπορεί να συμβαίνει απεριόριστα, όταν η επιφάνεια ολίσθησης έχει σημαντική κλίση και εφόσον η διατμητική αντίσταση κατά μήκος της επιφάνειας αυτής παραμένει μικρότερη από τη σταθερή δύναμη που προκαλεί την κίνηση.

Μεταθετικές ολισθήσεις κατά μήκος συγκεκριμένης ασυνέχειας σε ασυνεχείς βραχώμαζες ονομάζονται επίπεδες ολισθήσεις κατά Hoek and Bray (1977).

Στην περίπτωση όπου η ολίσθηση γίνεται πάνω σε δύο τεμνόμενες επιφάνειες ασυνεχειών και κατά μήκος της τομής τους, καλείται σφηνοειδής ολίσθηση.

1.4 Ευστάθεια βραχωδών πρανών

Οι παράγοντες που καθορίζουν την ευστάθεια ενός φυσικού πρανούς είναι:

- Η βαρύτητα η οποία τείνει να παρασύρει προς τα κάτω και προς τα έξω ορισμένη μάζα εδάφους.
- Η συνοχή (c) και η γωνία τριβής (φ), που τείνουν να διατηρήσουν ενωμένα τα υλικά που συνθέτουν το πρανές και αντιστέκονται σε οποιαδήποτε μετακίνηση, συμβάλλοντας έτσι στην ευστάθεια τους.
- Άλλοι παράγοντες όπως η στρώση και ο κερματισμός του πετρώματος, η παρουσία και η κίνηση νερού σε αυτό, οι ατμοσφαιρικές συνθήκες και οι σεισμικές παράμετροι.

1.4.1 Γωνία Τριβής (φ), Συνοχή (c)

- Γωνία τριβής (φ): Εκφράζει την τριβή ανάμεσα στα ορυκτά ή στα τεμάχια που αντιστέκεται στη διάτμηση.
- Συνοχή (c): Εκφράζει τη συγκόλληση των κόκκων (στον άρρηκτο) ή τεμαχίων (στη βραχώμαζα).

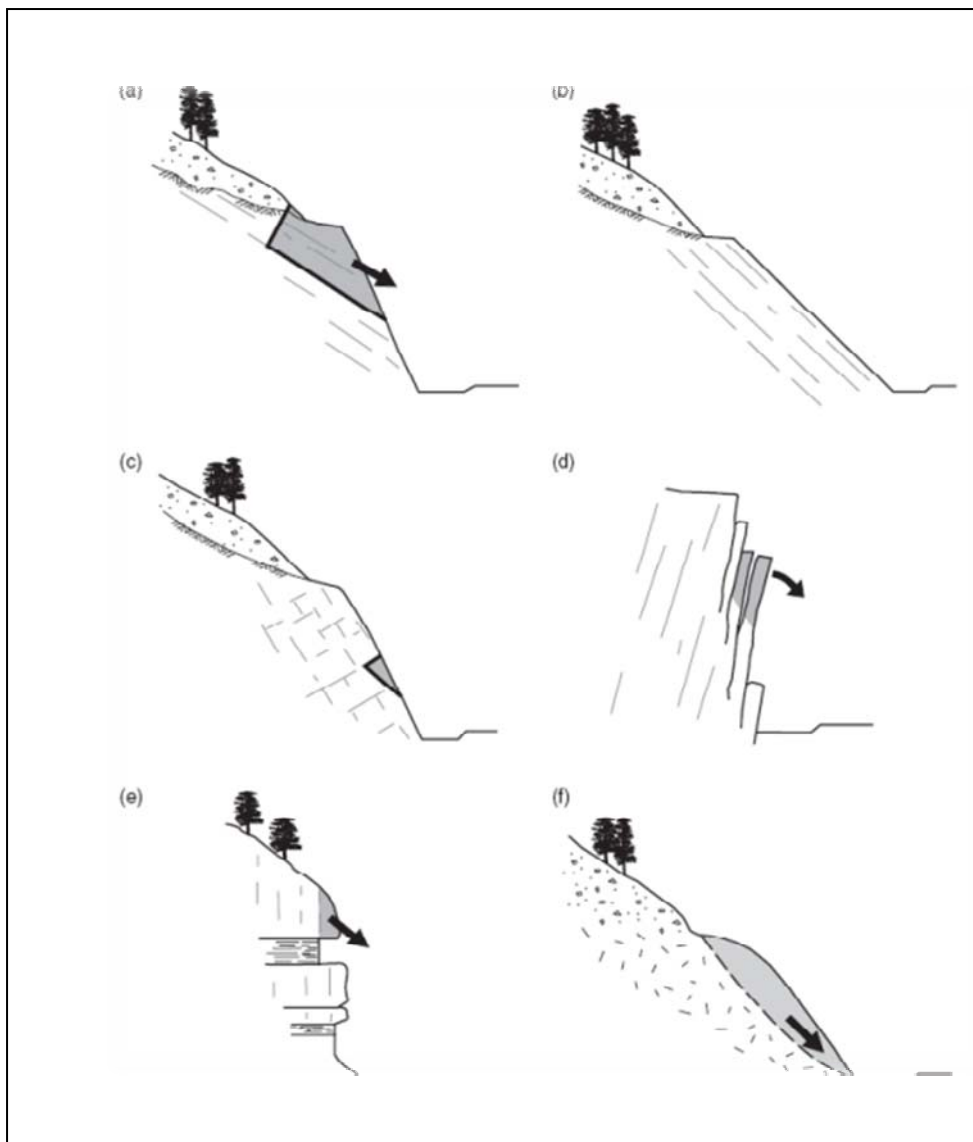
1.5 Ανάλυση ευστάθειας βραχωδών πρανών

Τα βραχώδη πρανή αστοχούν με μηχανισμούς ανάλογους του βαθμού κατακερματισμού αλλά και του βαθμού αποσάθρωσής τους καθώς η στρώση ή η σχιστότητα έχουν αντίρροπη κλίση προς το πρανές. Σημαντικός παράγοντας είναι το καθεστώς διάρρηξης της βραχώμαζας αλλά και η ανομοιογένεια στη λιθολογική σύσταση των στρωμάτων.

Οι μηχανισμοί εκδήλωσης αστοχιών διακρίνονται σε :

1. Σφηνοειδείς ολισθήσεις
2. Επίπεδες ολισθήσεις
3. Ανατροπές

Στους υγιείς αλλά κερματισμένους βραχώδεις σχηματισμούς, οι αστοχίες που προκαλούνται λόγω των συστημάτων ασυνεχειών της βραχώμαζας είναι οι αστοχίες σφήνας και επιπέδου.

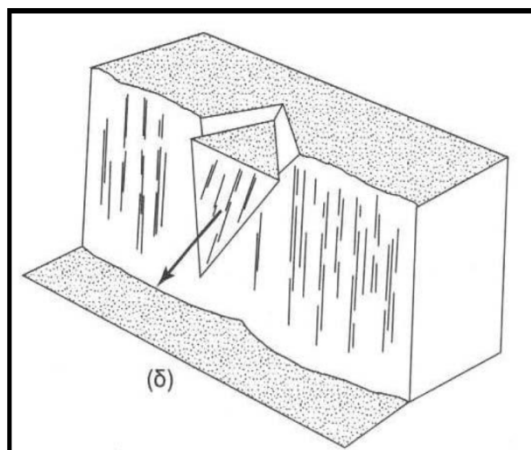


Σχήμα 1.2 Σκαριφηματικές τομές πρανών στα οποία εκδηλώνονται αστοχίες

1.5.1 Αστοχία σφήνας

Σε αυτή τη περίπτωση δύο επίπεδα τέμνουν την επιφάνεια του πρανού αλλά και αλληλοτέμνονται δίνοντας μια γραμμή διατομής εσωτερικά της επιφάνειας του πρανού. Για να εκδηλωθεί αυτού του είδους η αστοχία, πρέπει :

1. Η διεύθυνση του πρανού και της σφήνας να είναι ομόρροπες.
2. Τα δύο επίπεδα να τέμνουν την επιφάνεια του πρανού και να αλληλοτέμνονται.
3. Η γραμμή διατομής των επιπέδων να σχηματίζει γωνία με το οριζόντιο επίπεδο που να είναι μεγαλύτερη της γωνίας τριβής της βραχώμαζας, αλλά μικρότερη της γωνίας του επιπέδου του πρανού.

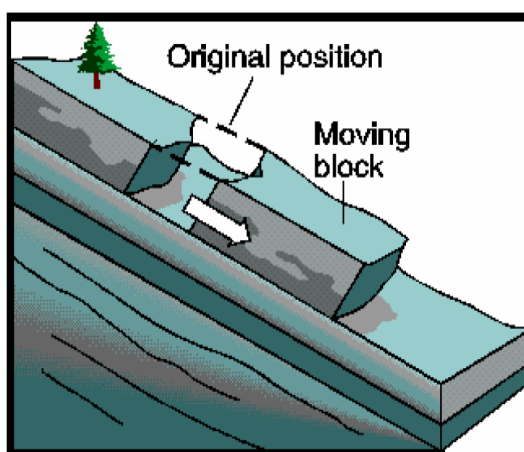


Σχήμα 1.3.1 Σφηνοειδής ολίσθηση

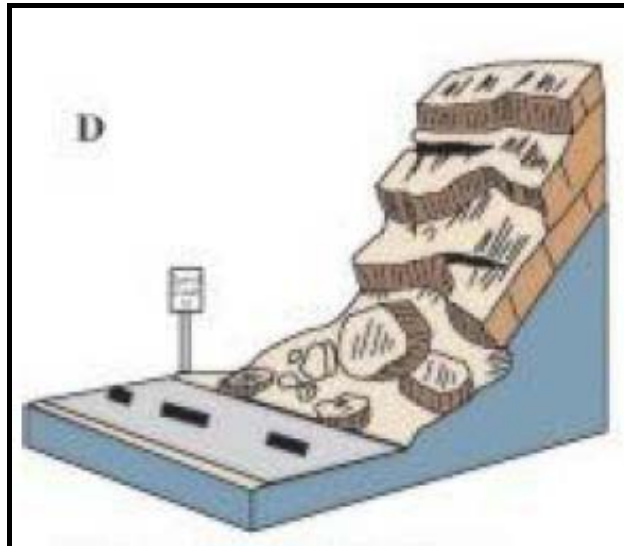
1.5.2 Αστοχία επιπέδου

Ειδική περίπτωση αστοχίας σφήνας, για να συμβεί πρέπει :

1. Η περιοχή αστοχίας να οριοθετείται από εγκάρσιες στο πρηνές ασυνέχειες.
2. Το επίπεδο ολίσθησης και το επίπεδο πρηνούς έχουν περίπου παράλληλη παράταξη ($\pm 20^\circ$).
3. Να ισχύει η σχέση $\phi_f > \phi_p > \phi$ (η γωνία του πρηνούς να είναι μεγαλύτερη αυτής του επιπέδου και εκείνη με τη σειρά της μεγαλύτερη αυτής της γωνίας τριβής).



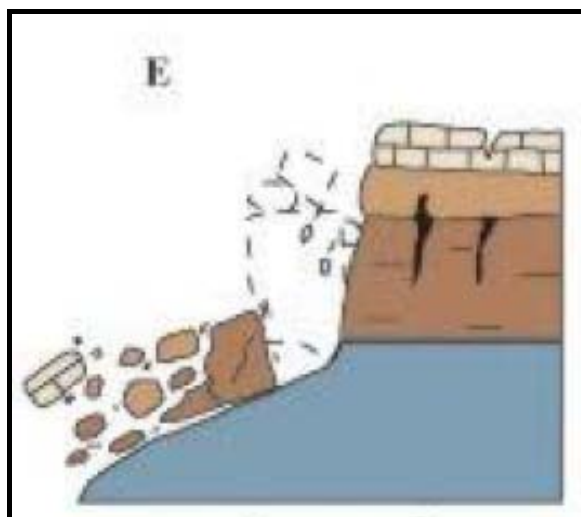
Σχήμα 1.3.2 Ολίσθηση τεμάχους (από Κούκη Σαμπατακάκη, 2007)



Σχήμα 1.3.3 Καταπτώσεις βράχων
(από Κ. Λουπασάκη, 2011).

1.5.3 Ανατροπές

Ανατροπές εκδηλώνονται στα πρανή όπου οι επιφάνειες των ασυνεχειών (επιφάνειες σχιστότητας ή στρώσεις, διακλάσεις, ρήγματα) ορίζουν ανορθωμένα τεμάχια βράχου, κατακόρυφα ή με ελαφρώς αντίρροπη κλίση, τα οποία δύναται να ανατραπούν προς το πρανές. Στις ανατροπές η κίνηση είναι μία προς τα έξω περιστροφή της αποσπώμενης μάζας από ένα βραχώδες κυρίως πρανές, γύρω από ένα σημείο ή άξονα περιστροφής που βρίσκεται χαμηλότερα από ένα κέντρο βάρους της μετακινούμενης μάζας.



Σχήμα 1.3.4 Ανατροπή βράχων
(από Κ. Λουπασάκη, 2011)

Οι GOODMAN and BRAY (1976) και στη συνέχεια οι HOEK and BRAY(1977) με βάση τους μηχανισμούς που συμβάλλουν στην εκδήλωση των ανατροπών στους βραχώδεις κυρίως σχηματισμούς πρότειναν την παρακάτω ταξινόμηση:

- Ανατροπή λόγω κάμψης (το σκληρό πέτρωμα αποχωρίζεται σε στήλες λόγω της ύπαρξης ενός καλά αναπτυγμένου συστήματος ασυνεχειών)
- Ανατροπή τεμαχών (ανάλογη περίπτωση με την προηγούμενη με την διαφορά ότι η θραύση και η ανατροπή έρχεται λόγω της παρουσίας ενός δεύτερου συστήματος ασυνεχειών.
- Δευτερογενείς ανατροπές (στην κατηγορία αυτή εντάσσονται περιπτώσεις που προκαλούνται κυρίως από υποσκαφή της βάσης του πρηνούς λόγω φυσικών διεργασιών.

Το **σχήμα 1.6** παριστάνει τους τέσσερις κύριους τύπους αστοχίας (Hoek & Bray, 1974).

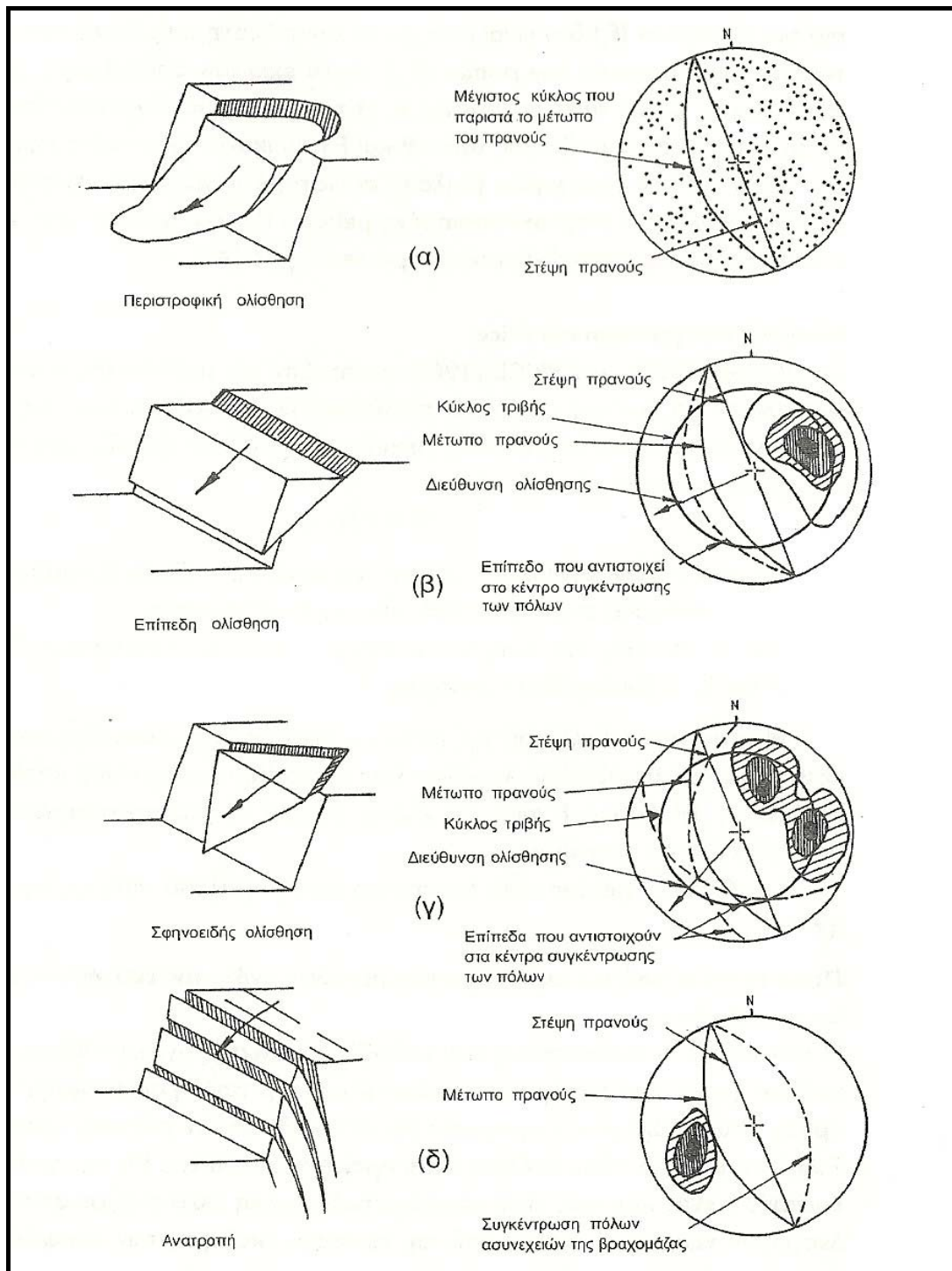
- a) Κυκλική ή περιστροφική ολίσθηση σε διαταραγμένα εδάφη ή έντονα κερματισμένο βράχο χωρίς διακριτά συστήματα ασυνεχειών.
- b) Ολίσθηση κατά επίπεδο σε πέτρωμα με καθορισμένη δομή.
- c) Αποχωρισμός σφήνας από δύο τεμνόμενες ασυνέχειες.
- d) Ανατροπή σε σκληρό βράχο που μπορεί να σχηματίσει στηλοειδή δομή διαχωριζόμενη από ασυνέχειες με απότομη κλίση.

Η αποτύπωση των επιπέδων, πρηνούς και ασυνεχειών, γίνεται ως γνωστόν στο στερεοδιάγραμμα Schmidt. Στο στερεοδιάγραμμα επίσης αποτυπώνεται ο κύκλος τριβής των ασυνεχειών, δηλαδή ο κύκλος που αντιπροσωπεύει τη γωνία τριβής των ασυνεχειών (συνήθως τη βασική γωνία τριβής ϕ_b). Ο κύκλος αυτός είναι ομόκεντρος του μέγιστου κύκλου με κλίση μετρούμενη από την περιφέρεια προς το κέντρο.

Είναι χρήσιμο να μπορεί κανείς να αναγνωρίσει αυτές που αντιπροσωπεύουν πιθανά επίπεδα διάρρηξης και να αποκλείσει αυτές που αντιπροσωπεύουν δομές που είναι απίθανο να εμπλακούν σε αστοχίες πρηνών.

Δυνατές περιπτώσεις που μπορούν να εκτιμηθούν με βάση το στερεοδιάγραμμα είναι:

- Έντονη διασπορά των πόλων των ασυνεχειών, χωρίς την ύπαρξη συγκεκριμένων συστημάτων, πιστοποιεί έντονα διακλασμένη και τεκτονισμένη βραχώμαζα. Δυνατότητα ολίσθησης κατά μήκος μια μεικτής επιφάνειας ολίσθησης κατά προσέγγιση **κυκλικής μορφής** (Σχήμα 1.4 α)
- Ύπαρξη συστήματος ασυνεχειών (δηλαδή συγκέντρωση πόλων) με προσανατολισμό ίδιο με του πρανούς, συνεπάγεται δυνατότητα εκδήλωσης **επίπεδης ολίσθησης** κατά μήκος του συγκεκριμένου επιπέδου ασυνεχειών (Σχήμα 1.4 β)
- Ύπαρξη δύο συστημάτων ασυνεχειών που το σημείο τομής τους εμπίπτει στη ζώνη μεταξύ του πρανούς και του κύκλου τριβής των ασυνεχειών. Στην περίπτωση αυτή δημιουργούνται συνθήκες εκδήλωσης **σφηνοειδούς ολίσθησης** κατά μήκος της τομής των δύο επιπέδων (Σχήμα 1.4 γ)
- Ύπαρξη συστήματος ασυνεχειών με διεύθυνση περίπου ίδια με αυτήν του πρανούς αλλά με αντίθετη φορά κλίσης που δημιουργεί συνθήκες εκδήλωσης **ανατροπών** (Σχήμα 1.4 δ)



Σχήμα 1.4 Κύριοι τύποι αποχωρισμού πρανών και στερεοδιαγράμματα τεκτονικών δομών (Hoek & Bray, 1974).

Κεφάλαιο 2

Ευστάθεια και αναλύσεις ευστάθειας πρανών

2.1 Γενικά

Η ευστάθεια των πρανών αποτελεί σημαντικό κομμάτι της βραχομηχανικής και εδαφομηχανικής. Όταν το έδαφος είναι υπό κλίση τότε υπάρχει συνιστώσα βάρους που έχει την τάση να κινήσει την εδαφική μάζα προς τα κάτω. Η αντίσταση που παρουσιάζει το έδαφος είναι η διατμητική του αντοχή. Αυτό το μοντέλο αποτελεί την βάση για την κατανόηση του θέματος της ευστάθειας πρανών. Το ερώτημα που τίθεται κατά την εξέταση ευστάθειας ενός πρανούς είναι το ύψος και η γωνία κλίσης.

Η ανάλυση της ευστάθειας των πρανών αναφέρεται στους βασικούς μηχανισμούς και στις αρχές που οδηγούν στη δημιουργία μιας πιθανής αστοχίας (θραύσης) των πρανών καθώς επίσης και στην ανάπτυξη και εφαρμογή των αντίστοιχων μεθοδολογιών επίλυσης έναντι της προβλεπόμενης αυτής αστοχίας. Η μεθοδολογία ανάλυσης (έλεγχος ευστάθειας) αναφέρεται τόσο σε φυσικά πρανή για ενδεχόμενη κατολίσθηση, όσο και σε τεχνητά πρανή εκσκαφών (ορύγματα) καθώς και πρανή επιχωμάτων.

Κύριες μέθοδοι ανάλυσης της ευστάθειας των πρανών μπορούν να διακριθούν στις παρακάτω δύο κατηγορίες:

- **Αναλύσεις οριακής ισοροπίας**
- **Αναλύσεις παραμόρφωσης**

Οι αναλύσεις **οριακής ισοροπίας** είναι οι συνηθισμένες αναλύσεις ευστάθειας πρανών που βασίζονται στην εξέταση της ισοροπίας των δυνάμεων εκείνων που τείνουν να προκαλέσουν ολίσθηση του πρανούς (δυνάμεις βαρύτητας, πιέσεις πόρων κ.λπ.) κατά μήκος μια συγκεκριμένης επιφάνειας ολίσθησης και των δυνάμεων εκείνων που ασκούνται κατά μήκος της επιφάνειας αυτής και αντιτίθενται στην ολίσθηση (π.χ. διατμητική αντοχή του εδάφους).

Οι **αναλύσεις παραμόρφωσης** επιλύονται συνήθως με αριθμητικές μεθόδους ανάλυσης. Για τις επιλύσεις αυτές απαιτείται καλή γνώση της σχέσης τάσεων – παραμορφώσεων των εδαφών καθώς επίσης και των διατμητικών αντοχών τους. Αν και οι αναλύσεις αυτές συνεπάγονται

προσδιορισμό των μετακινήσεων και της κατανομής των τάσεων στο πρανές, δεν οδηγούν σε απευθείας μέτρηση της ευστάθειας.

2.2 Συντελεστής ασφαλείας πρανούς (SF ή F)

Συντελεστής ασφαλείας (SF ή F) ενός πρανούς ορίζεται ως ο λόγος του αθροίσματος των δυνάμεων ή των συνιστωσών συγκράτησης προς αυτές που συμβάλουν στην ολίσθηση. Εξετάζοντας τις παραπάνω περιπτώσεις, ο συντελεστής ασφαλείας δίνεται από τη σχέση:

$$F = \frac{\text{Δυνάμεις ή Ροπές Συγκράτησης}}{\text{Δυνάμεις ή Ροπές Ολίσθησης}}$$

Ο συντελεστής ασφαλείας πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσος με την μονάδα. (F=1, αποδεκτός συντελεστής ασφαλείας). Στην περίπτωση που F=1 τότε το πρανές βρίσκεται σε κατάσταση επικείμενης αστοχίας ή σε οριακή κατάσταση ευστάθειας. Οι τιμές του αποδεκτού συντελεστή ασφαλείας για την ευστάθεια των πρανών είναι της τάξης του 1,4 - 1,5.

Πίνακας 2.1 Ενδεικτικές τιμές συντελεστών ασφαλείας (από Κότση Ιωάννα, 2008)

$0 \leq FS \leq 1$	Το πρανές αστοχεί. Για FS=1 βρίσκεται σε οριακή ισορροπία
$1 \leq FS \leq 1,25$	Το πρανές κινδυνεύει από κυκλική ή επίπεδη αστοχία σε μικρότερο όμως βαθμό απ' ότι στην προηγούμενη περίπτωση.
$1,25 \leq FS \leq 1,5$	Το πρανές δεν θα αστοχήσει στην περίπτωση που υπάρχει στατική ή υδρολογική φόρτιση. Κινδυνεύει όμως σε περίπτωση σεισμικής φόρτισης.
$FS > 1,5$	Το πρανές ευσταθεί και δεν κινδυνεύει να αστοχήσει.

2.3 Χαρακτηριστικά βραχώμαζας για την επίλυση ευστάθειας βραχωδών πρανών

Αρχικά, πριν προχωρήσουμε στις αναλύσεις ευστάθειας βραχωδων πρανών θα αναφέρουμε κάποια θεωρητικά σημεία για την κατανόηση εννοιών της βραχώμαζας, τον ρόλο των ασυνεχειών, το είδος αστοχίας, το κριτήριο αστοχίας Mohr - Coulomb και Hoek and Brown

καθώς και τις γεωτεχνικές παραμέτρους αυτής οι οποίοι θα μας χρειαστούν ιδιαίτερα στο τεχνικογεωλογικό μέρος.

2.3.1 Ορισμός βραχόμαζας

Η βραχόμαζα είναι μία μάζα βραχώδους υλικού διατεμνόμενη από δομικές ασυνέχειες, διατεταγμένες ανά συστήματα κατά μία ή περισσότερες διευθύνσεις. Η μάζα των πετρωμάτων σπάνια είναι ομοιογενής, ισότροπη και συνεχής. Αρκετά συχνά διασχίζεται από ποικίλες επιφάνειες, είναι ανομοιόμορφα αποσαθρωμένη ή ασθενείς και η απόκρισή της σε φορτίσεις εξαρτάται από τη διεύθυνση καταπόνησης.

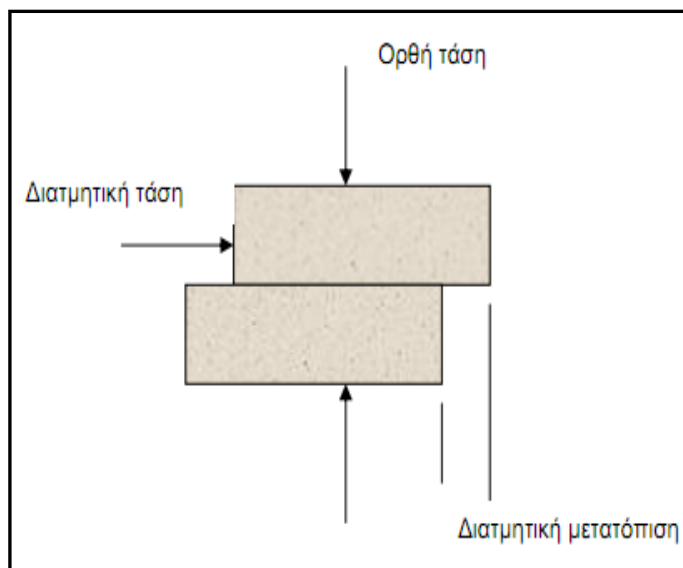
Ο όρος της βραχόμαζας δόθηκε για την διάκριση της σε σχέση με το άρρηκτο ομοιογενές πέτρωμα.

Τα τεχνικά έργα σχεδόν κατά κανόνα κατασκευάζονται επί ή εντός κερματισμένου – διαταραγμένου βραχώδους υλικού (βραχόμαζας) και όχι σε άρρηκτο βράχο.

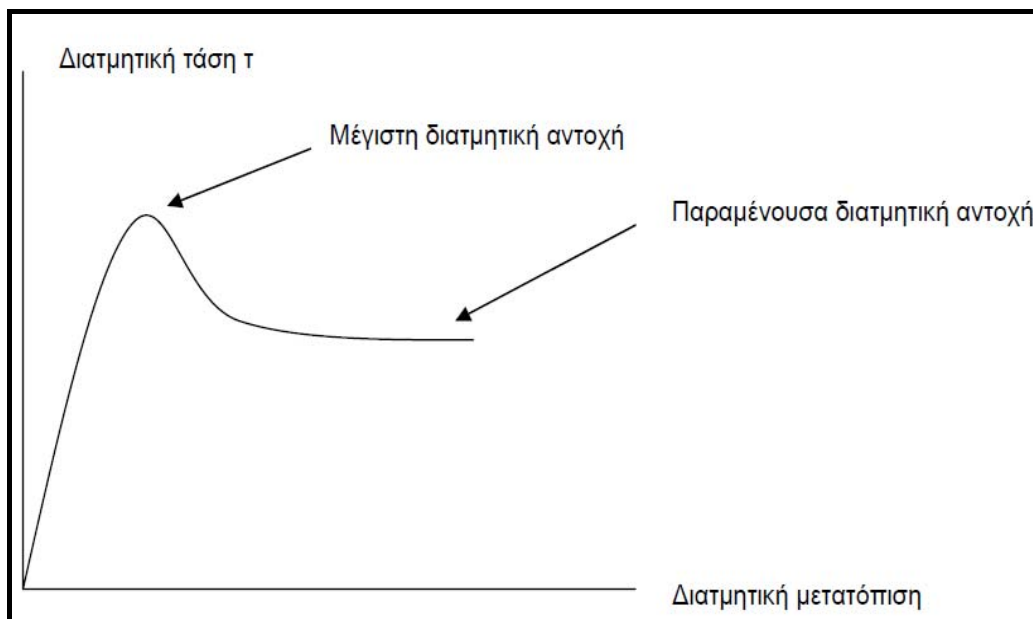
2.3.2 Διατμητική αντοχή βραχόμαζας

Η διατμητική αντοχή είναι η τάση που πρέπει να εφαρμοσθεί ώστε να προκληθεί η θραύση και μετατόπιση των κόκκων ή τεμαχών βράχου. Εκφράζεται από:

- Συνοχή c (KPa)
- Γωνία τριβής $\varphi(^{\circ})$



Σχήμα 2.1 Διατμητική τάση - μετατόπιση



Σχήμα 2.2. Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται πως για μικρές μετατοπίσεις σε μια επιφάνεια διάρρηξης η βραχύμαζα συμπεριφέρεται ελαστικά και η διατμητική τάση τ αυξάνει γραμμικά με την μετατόπιση. Καθώς οι δυνάμεις αντίστασης υπερνικούνται παύει η γραμμικότητα και η τ λαμβάνει τη μέγιστη τιμή T_f (διατμητική αντοχή θραύσης). Τέλος η διατμητική τάση μειώνεται μέχρι που σταθεροποιείται σε μία σταθερή τιμή που καλείται παραμένουσα διατμητική αντοχή T_r .

2.3.3 Χαρακτηριστικά ασυνεχειών

Οι ασυνέχειες συνήθως ομαδοποιούνται σε συστήματα, τα μέλη των οποίων έχουν λίγο πολύ κοινό προσανατολισμό, ενώ η συμπεριφορά τους σχετίζεται και με μια σειρά άλλων παραμέτρων, όπως η συνέχεια (το μήκος), η απόσταση, το άνοιγμα, το υλικό πλήρωσης, η αντοχή, η τραχύτητα των τοιχωμάτων, καθώς και οι συνθήκες του νερού. Συνεπώς είναι αναγκαία η γνώση τόσο των γεωμετρικών στοιχείων όσο και των παραμέτρων αυτών.

Οι κυριότερες κατηγορίες ασυνεχειών, που μπορεί να απαντούν στα πετρώματα είναι :

- ✓ Στρώση
- ✓ Σχιστότητα - Φύλλωση
- ✓ Διαρρήξεις - διακλάσεις
- ✓ Ρήγματα
- ✓ Σχισμός

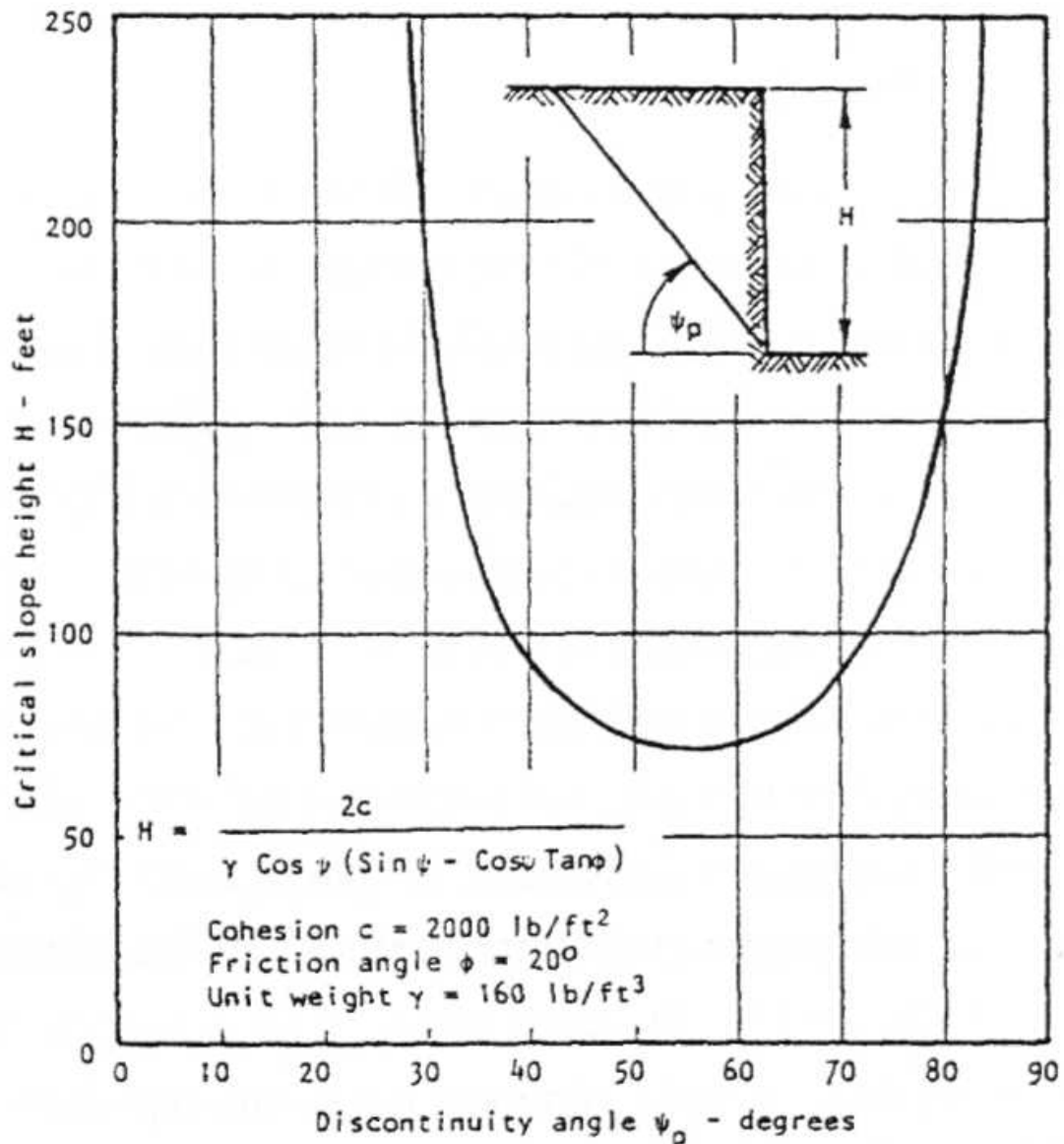
Παράμετροι περιγραφής ασυνεχειών

Η συμπεριφορά των ασυνεχειών σχετίζεται με μια σειρά παραμέτρων, η γνώση των οποίων είναι αναγκαία για την πλήρη κατανόηση της γεωμηχανικής συμπεριφοράς της βραχώμαζας. Οι παράμετροι αυτές δίνονται στη παρακάτω :

- 1. Προσανατολισμός**
- 2. Απόσταση**
- 3. Συνέχεια**
- 4. Άνοιγμα**
- 5. Τραχύτητα**
- 6. Υλικό πλήρωσης**
- 7. Αντοχή τοιχωμάτων**
- 8. Συνθήκες νερού**

2.3.4 Ο ρόλος των ασυνεχειών στην ευστάθεια των πρανών

Το σχήμα 2.3 δείχνει ότι ενώ πολλά πρανή με μεγάλες γωνίες κλίσης και μεγάλα ύψη είναι σταθερά, άλλα με μικρές γωνίες κλίσης αστοχούν έχοντας ύψος μόλις λίγων μέτρων. Η διαφορά αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι η ευστάθεια των βραχωδών πρανών διαφέρει ανάλογα με τη κλίση των επιφανειών ασυνέχειας μέσα στη βραχώμαζα.



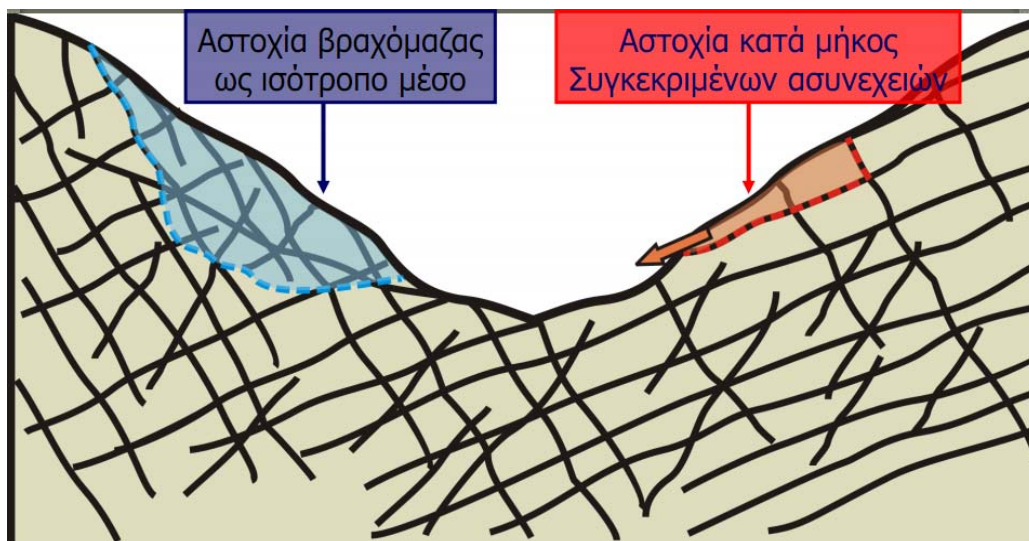
Σχήμα 2.3 Οριακό ύψος ενός αποστραγγισμένου κατακόρυφου πρανού που περιέχει μία επίπεδη ασυνέχεια σε σχέση με τη γωνία κλίσης της ασυνέχειας ψ_p (από Παυλίδη Κωνσταντίνο, 2009)

Η επίδραση της κλίσης μιας επιφάνειας αστοχίας στην ευστάθεια ενός πρανού φαίνεται στο σχήμα 2.3, στο οποίο προβάλλεται το κρίσιμο ύψος ενός ξηρού βραχώδους πρανού σε σχέση με τη γωνία κλίσης της ασυνέχειας. Θεωρείται ότι μόνο ένα σύστημα ασυνεχειών παρουσιάζεται σε μία πολύ σκληρή βράχομάζα και ότι μία από αυτές «ανατέλλει» στον πόδα του πρανού. Φαίνεται καθαρά ότι η παρουσία ή η απουσία των ασυνεχειών έχει σημαντική επίδραση στην ευστάθεια των πρανών και η αναζήτηση τέτοιων γεωλογικών χαρακτηριστικών είναι ένα από τα πιο κρίσιμα μέρη μιας μελέτης.

2.3.5 Αστογία βραχόμαζας

Οι διατμητικές τάσεις μπορεί να προκαλέσουν:

- ❖ Στη βραχόμαζα: θραύση κατά μήκος σύνθετης επιφάνειας που εμπλέκει μια σειρά από διάφορες ασυνέχειες αλλά και διάρρηξη των γεφυρών του άρρηκτου βράχου μεταξύ των ασυνεχειών αυτών (**Ισότροπη συμπεριφορά**).
- ❖ Στις ασυνέχειες: θραύση κατά μήκος μίας ή δύο συγκεκριμένων ασυνεχειών (επίπεδες ολισθήσεις, σφηνοειδής ολισθήσεις) (**Ανισότροπη συμπεριφορά**).
- ❖ Σε άρρηκτο πέτρωμα: ψαθυρή θραύση υπό πολύ υψηλές πιέσεις.



Σχήμα 2.8. Μορφές αστοχίας βραχόμαζας
(από Β. Μαρίνος, 2011)

2.3.6 Ιδιότητες βραχόμαζας

Οι κυριότερες ιδιότητες της βραχόμαζας είναι:

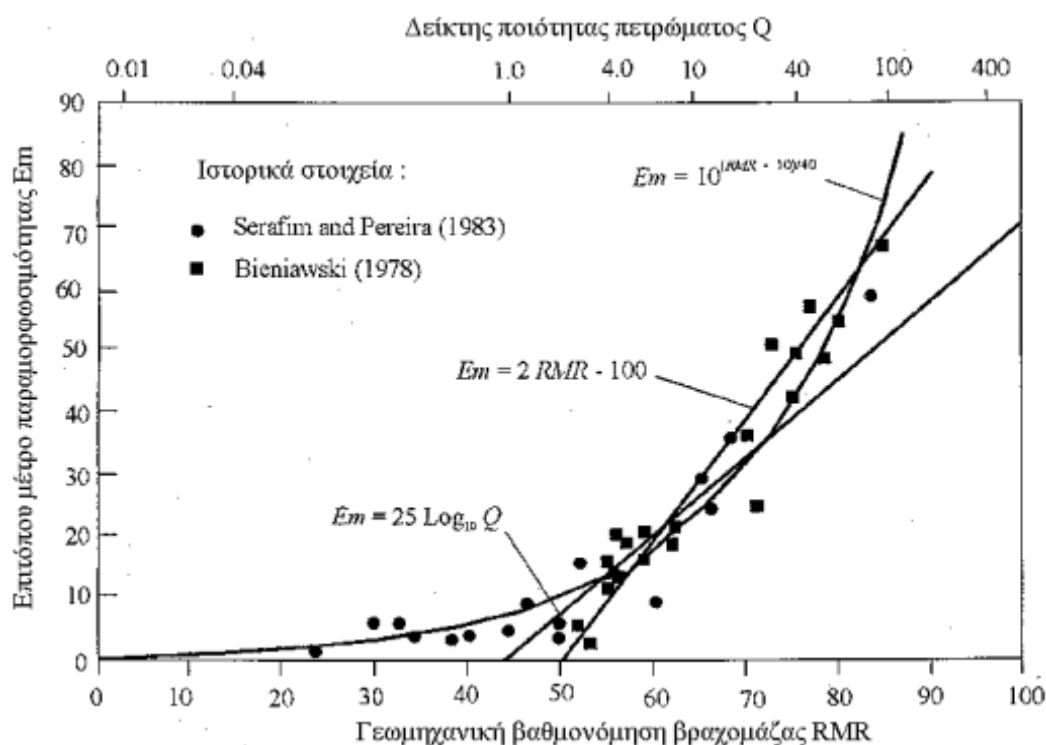
- Συνοχή c
- Γωνία τριβής ϕ
- Μέτρα παραμορφωσιμότητας E_m
- Μονοαξονική θλιπτική αντοχή σ_{ci}
- Αντοχή βραχόμαζας σ_{cm}
- Δείκτης Γεωλογικής Αντοχής (GSI)
- Σταθερά άρρηκτου υλικού m_i
- Συντελεστής διαταραχής D

1) Μέτρο παραμορφωσιμότητας Em

Η παραμορφωσιμότητα του πετρώματος, πριν από τη διαρροή του, χαρακτηρίζεται από το μέτρο παραμορφωσιμότητας Em. Τούτο δίνεται από τους Serafim and Pereira (1983) και Hoek and Brown (1997) αντίστοιχα, από τις σχέσεις:

$$\sigma_{ci} \geq 100 \text{ MPa} \Rightarrow E_m [\text{GPa}] = 10^{((GSI-10)/40)}$$

$$\sigma_{ci} < 100 \text{ MPa} \Rightarrow E_m [\text{GPa}] = \sqrt{\frac{\sigma_{ci} [\text{MPa}]}{100}} \cdot 10^{((GSI-10)/40)}$$



Σχήμα 2.10 Γεωμηχανική βαθμονόμηση βραχομάζας RMR

Γεωμηχανική ταξινόμηση βραχομάζας (RMR)

Το σύστημα ταξινόμησης RMR (Rock Mass Rating) που αναπτύχθηκε από τον Bieniawski, έχει υποστεί διαδοχικές τροποποιήσεις στις βαθμονομήσεις των διαφόρων παραμέτρων μέχρι σήμερα. Για την ταξινόμηση της βραχομάζας με το σύστημα αυτό χρησιμοποιούνται έξι παράμετροι, δηλαδή:

- Αντοχή
- RQD
- Απόσταση των ασυνεχειών

- Κατάσταση ασυνεχειών, όπως συνέχεια, άνοιγμα, πλήρωση, τραχύτητα, αποσάθρωση
- Καθεστώς υπόγειου νερού
- Προσανατολισμός ασυνεχειών

2) Δείκτης γεωλογικής αντοχής (GSI)

Ο δείκτης αυτός συνδυάζει τη δομή της βραχόμαζας (κερματισμός, συστήματα ασυνεχειών) με την κατάσταση των ασυνεχειών από πλευράς αποσάθρωσης, τραχύτητας, υλικού πλήρωσης κλπ., δίνοντας μια βαθμονόμηση από 10 έως 100. Εκφράζει, δηλαδή, αριθμητικά την απομείωση των σταθερών υλικού, ανάλογα με την ρωγμάτωση της βραχόμαζας. Αποτελεί σημαντικό στοιχείο στην επίλυση του κριτηρίου θραύσης Hoek and Brown και προσφέρει λύσεις στο πρόβλημα του προσδιορισμού των πλέον αντιπροσωπευτικών τιμών των παραμέτρων σχεδιασμού των τεχνικών έργων σε περιβάλλον ρωγματομένων βράχων.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΡΗΓΜΑΤΩΜΕΝΟΥΣ ΒΡΑΧΟΥΣ (Hoek and Marinos, 2000) Βασίζονται στην εμφάνιση της βραχόμαζας (περιγραφή δομής και κατάσταση επιφανείας ασυνεχειών) εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI, χωρίς υποχρεωτικά μεγάλη ακρίβεια. Το να επιλέξετε ένα εύρος τιμών από 33 ως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι GSI=35. <u>Σημειώνεται ότι ο Πίνακας δεν εφαρμόζεται σε κινηματικά ελεγχόμενες αστάθειες.</u> Στην περίπτωση που οι ασθενείς επίπεδες επιφάνειες έχουν μη ευνοϊκό προσανατολισμό σε σχέση με το πρανές εκσκαφής, τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχόμαζας. Η διατμητική αντοχή επιφανειών σε βράχους που υπόκεινται σε εξασθένηση λόγω διακύμανσης της περιεκτικότητας σε υγρασία, είναι περαιτέρω μειωμένη όταν υπάρχει νερό. Όταν, οι βραχόμαζες ανήκουν στις μέτριες έως πτωχές κατηγορίες και υπάρχει νερό τότε μετακινούμαστε προς τα δεξιά. Η υδροστατική πίεση λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων. ΔΟΜΗ		ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχείες, μη αποσπασθωμένες επιφάνειες ΚΑΛΗ Τραχείες, ελαφρά αποσπασθωμένες και οξειδωμένες επιφάνειες ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσπασθωμένες και εξηλωμένες επιφάνειες ΠΤΩΧΗ Επιφάνειες ολίσθησης, πολύ αποσπασθωμένες με συμπαγή επιφλοιώματα ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Επιφάνειες ολίσθησης πολύ αποσπασθωμένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης				
		ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ				
		ΜΕΙΟΥΜΕΝΟ ΑΝΗΛΟΚΛΕΙΔΩΜΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΤΕΜΑΧΩΝ				
	INTACT OR MASSIVE - Άρρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άστρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση	90				N/A
	BLOCKY - Αδιατάρακτη βραχόμαζα με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών	80	70			
	VERY BLOCKY- Μερικώς διαταραγμένη βραχόμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών		60			
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας			50		
	DISINTEGRATED - Ισχυρά κερματισμένη βραχόμαζα με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιωδών και αποστρογγυλωμένων τεμαχίων			40		
	LAMINATED/SHEARED - Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθενής βραχόμαζα. Η σχιστότητα επικρατεί έναντι οποιασδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιωδών τεμαχίων				30	
					20	
						10
		N/A	N/A			

Σχήμα 2.9 Το βασικό διάγραμμα του Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής GSI (Marinos and Hoek 2000)

3) Δείκτης κερματισμού της βραχόμαζας (RQD)

Ο δείκτης κερματισμού της βραχόμαζας (Rock Quality Designation - RQD) αποτελεί ποσοτική εκτίμηση του κερματισμού της βραχόμαζας με βάση τους πυρήνες γεωτρήσεων. Ο δείκτης RQD ορίζεται ως το ποσοστό (επί τοις εκατό) των τεμαχίων μήκους άνω των 100 mm σε κάποιο μήκος της γεώτρησης, δηλαδή:

$$RQD = \frac{\sum (\text{μήκους τεμαχίων μήκους} > 10 \text{ cm})}{\text{Ολικό μήκος του πυρήνα}} \times 100\%$$

1	Δείκτης ποιότητας RQD	RQD
A	Πολύ πτωχή	0-24
B	Πτωχή	25-49
C	Μέτρια	50-74
D	Καλή	75-89
E	Άριστη	90-99

Ο δείκτης RQD αποτελεί έναν από τους συνηθέστερα χρησιμοποιούμενους δείκτες περιγραφής της βραχώμαζας αν και παρουσιάζει τα εξής μειονεκτήματα:

1. Είναι πολύ ευαίσθητος σε μικρές μεταβολές του μήκους των πυρήνων. Για παράδειγμα ένας πυρήνας μήκους 101mm αυξάνει τον δείκτη RQD κατά 10% ενώ ένας πυρήνας μήκους 99mm δεν προκαλεί καμία αύξηση του δείκτη RQD.
2. Είναι πολύ ευαίσθητος στον τρόπο της δειγματοληψίας (είδος και διάμετρος του δειγματολήπτη) αλλά και σε "λεπτομέρειες" της γεώτρησης, όπως η ταχύτητα περιστροφής, η πίεση στην κοπτική κεφαλή, το είδος της κοπτικής κεφαλής κλπ. Όλοι οι παραπάνω παράγοντες επηρεάζουν το βαθμό της πυρηνοληψίας και μπορούν να προκαλέσουν δευτερογενή κερματισμό του επιτόπου πετρώματος.
3. Εξαρτάται από το σχετικό προσανατολισμό της γεώτρησης ως προς τις ασυνέχειες της βραχώμαζας. Για παράδειγμα, ο δείκτης RQD μιας γεώτρησης με άξονα παράλληλο προς τις ασυνέχειες δίνει πολύ υψηλότερο δείκτη RQD απ' ό τι μια γεώτρηση κάθετα στις ασυνέχειες.

4) Συντελεστής διαταραχής D

Ο συντελεστής διαταραχής αποτελεί παράμετρο βαθμονόμησης και παίρνει τιμές μεταξύ 0-1.

0 → Αδιατάρακτο για την εκσκαφή πέτρωμα

1 → Πολύ διαταραγμένο πέτρωμα

Ο συντελεστής αυτός περιγράφει την διατάραξη της βραχώμαζας κατά την κατασκευή.

Επίσης για να προσδιοριστεί η αντοχή της βραχώμαζας απαιτείται εκτός από τους παράγοντες απομείωσης της αντοχής του άρρηκτου βράχου (γεωτρήσεις, επιτόπου παρατήρηση) η χρήση του GSI και του συντελεστή διαταραχής D και την αντοχή του άρρηκτου βράχου (εργαστηριακές δοκιμές). Αρκεί να υπολογιστούν:

- Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή σ_{ci}
- Η σταθερά υλικού m_i

Η μηχανική αντοχή του άρρηκτου πετρώματος από το οποίο δομείται η βραχώμαζα εκφράζεται μέσω της αντοχής σ_{ci} , που προκύπτει κατά τη δοκιμή μονοαξονικής θλίψης σε κυλινδρικά δοκίμια του συμπαγούς πετρώματος.

Με βάση την αντοχή σ_{ci} τα πετρώματα μπορούν να καταταγούν στις εξής κατηγορίες

Πίνακας 2.1 Κατηγορίες πετρωμάτων με βάση την αντοχή. (κατά ISRM, 1981)

Αντοχή σ_{ci} (MPa)	Κατηγορία πετρώματος	Περιγραφή
> 250	Εξαιρετικά ισχυρό	Δεν θραύεται με γεωλογικό σφυρί
100-250	Πολύ ισχυρό	Θραύεται μετά από αρκετούς κτύπους με γεωλογικό σφυρί
50-100	Ισχυρό	Θραύεται με περισσότερους από ένα κτύπους με γεωλογικό σφυρί
25-50	Μετρίως ισχυρό	Δεν χαράσσεται με μαχαίρι
5-25	Ασθενές	Δύσκολα χαράσσεται με μαχαίρι
1-5	Πολύ ασθενές	Χαράσσεται εύκολα με μαχαίρι. Δεν χαράσσεται με το νύχι
0.25-1	Εξαιρετικά ασθενές	Χαράσσεται με το νύχι

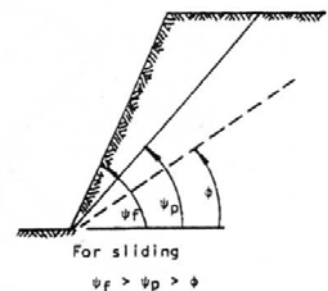
2.4 Μέθοδοι ανάλυσης ευστάθειας βραχωδών πρανών

2.4.1 Ανάλυση ευστάθειας σε επίπεδη ολίσθηση

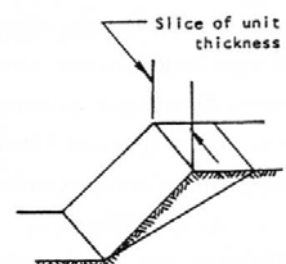
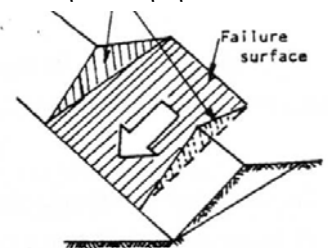
Αποτελεί σχετικά σπάνια περίπτωση σε βραχώδη πρανή, και αυτό επειδή σπάνια όλες οι γεωμετρικές συνθήκες που απαιτούνται για τη δημιουργία μιας τέτοιας αστοχίας μπορούν να υπάρχουν σ' ένα πρανές.

Για να έχουμε επίπεδη ολίσθηση πρέπει να ισχύουν οι παρακάτω γεωμετρικές συνθήκες :

1. Η διεύθυνση κλίσης του επιπέδου ολίσθησης πρέπει να είναι σχεδόν παράλληλη ($\pm 20^\circ$) με τη διεύθυνση κλίσης του πρανούς.
1. Το επίπεδο ολίσθησης πρέπει να "ανατέλλει" στο μέτωπο του πρανούς, δηλαδή $\psi_f > \psi_p$.
2. Η γωνία κλίσης του επιπέδου πρέπει να είναι



Σχήμα 2.10 Βασικές συνθήκες για επίπεδη ολίσθηση



μεγαλύτερη από τη γωνία εσωτερικής τριβής του πετρώματος, $\psi_p > \phi$.

3. Η παρουσία πλευρικών επιφανειών αποκόλλησης που προβάλλουν ασήμαντη αντίσταση στην ολίσθηση και να καθορίζουν τα πλευρικά όρια της ολίσθησης.

Στη ανάλυση προβλημάτων δισδιάστατων πρανών είναι σύνηθες να θεωρούμε τέμαχος απειροελάχιστου πάχους με πλευρές κάθετες ως προς την επιφάνεια του πρανούς.

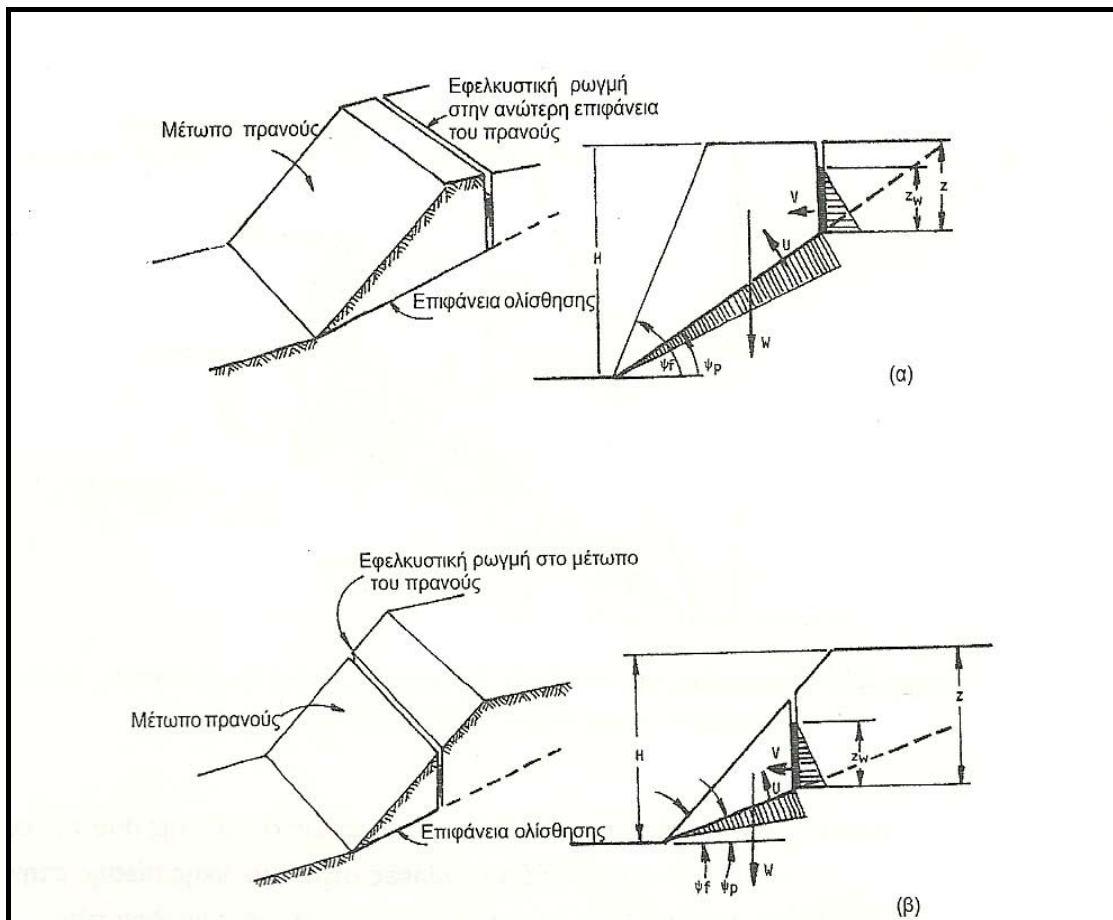
Η γεωμετρία του πρανούς που εξετάζεται σε αυτή την περίπτωση δίνεται στο σχήμα 1.4 . Δύο περιπτώσεις θεωρούνται :

- ❖ Πρανές με ρωγμή εφελκυσμού στην άνω οριζόντια επιφάνεια του.
- ❖ Πρανές με ρωγμή εφελκυσμού που βρίσκεται στο μέτωπο του.

Η μετάβαση από τη μία περίπτωση στην άλλη συμβαίνει όταν η ρωγμή εφελκυσμού συμπίπτει με την κορυφή του πρανούς, δηλαδή όταν : $z/H = (1 - \cot \psi_f \cdot \tan \psi_p)$ (1)

Οι παρακάτω παραδοχές γίνονται σ' αυτή την ανάλυση:

- Η επιφάνεια ολίσθησης και η ρωγμή εφελκυσμού είναι παράλληλες με την επιφάνεια του πρανούς.
- Η ρωγμή εφελκυσμού είναι κατακόρυφη και πληρωμένη με νερό έως ένα βάθος Z_w .
- Το νερό διεισδύει από τη βάση της ρωγμής κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης, διαφεύγοντας στην ατμοσφαιρική πίεση στο σημείο που η επιφάνεια ολίσθησης “ανατέλλει” μέτωπο του πρανούς. Η κατανομή της πίεσης στη ρωγμή εφελκυσμού και κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης φαίνεται στο σχήμα 1.4



Σχήμα 2.11. Γεωμετρία του πρανούς με ρωγμή εφελκυσμού στο μέτωπο
(από Κούκη Σαμπατακάκη, 2007)

- Οι δυνάμεις W (βάρος του block ολίσθησης), U και V (υδροστατικές πιέσεις στην επιφάνεια ολίσθησης και στη ρωγμή εφελκυσμού) δρούν στο κέντρο της ολισθαίνουσας μάζας. Έτσι, θεωρείται ότι δεν υπάρχουν ροπές που θα προκαλέσουν περιστροφή του τεμάχους (block) και ως εκ τούτου η αστοχία γίνεται μόνο με ολίσθηση. Τα σφάλματα που προκύπτουν από αυτή την παραδοχή είναι πολύ μικρά στην πράξη.
- Η διατμητική αντοχή της επιφάνειας ολίσθησης σχετίζεται με τη γωνία εσωτερικής τριβής και τη συνοχή με τη σχέση : $\tau = c + \sigma \cdot \tan \phi$.
- Θεωρείται μία φέτα μοναδιαίου πάχους και υποτίθεται ότι επιφάνειες απελευθερώσεως είναι παρούσες, έτσι ώστε να μην υπάρχει αντίσταση στην ολίσθηση στα πλευρικά όρια της αστοχίας.

Σε αυτή τη περίπτωση ο συντελεστής ασφαλείας δίνεται από τη σχέση :

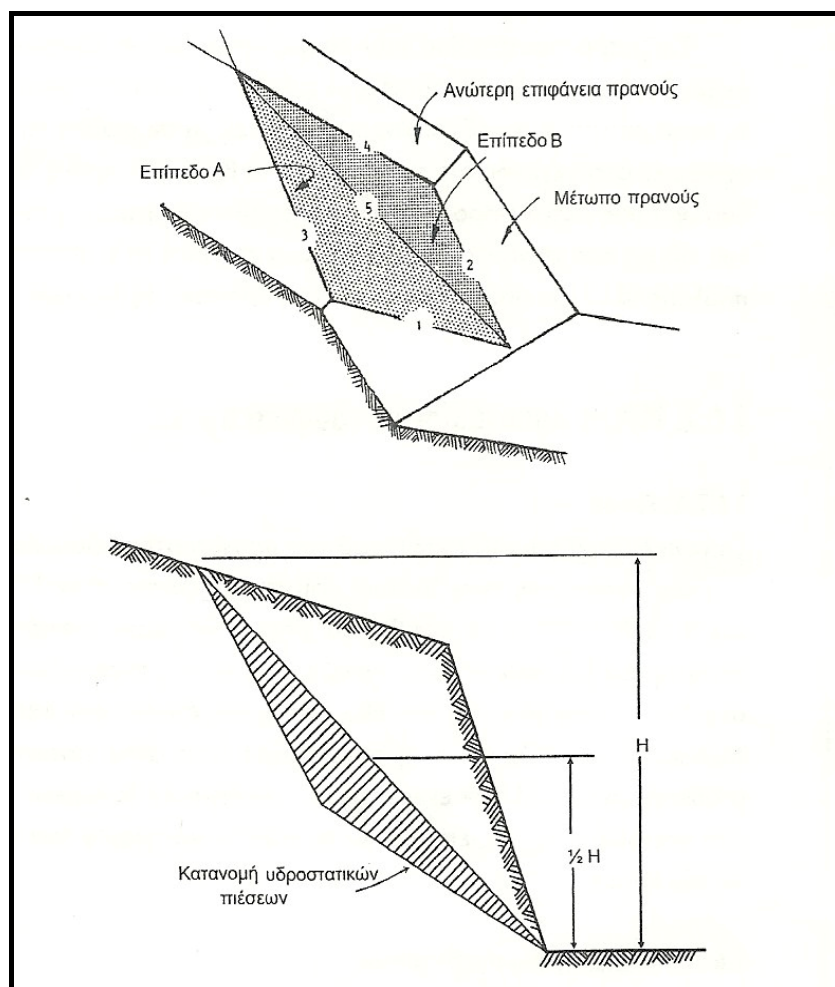
$$F = \frac{c \cdot A + (W \cdot \cos \psi_p - U - V \cdot \sin \psi_p) \cdot \tan \varphi}{W \cdot \sin \psi_p + V \cdot \cos \psi_p} \quad (2)$$

2.4.2 Ανάλυση ευστάθειας σε σφηνοειδή ολίσθηση

Το κεφάλαιο αυτό πραγματεύεται με την αστοχία ενός πρανούς όπου η ολίσθηση γίνεται κατά μήκος της τομής δύο επιφανειών ασυνέχειας. Ο βασικός μηχανισμός της ολίσθησης είναι πολύ απλός, αλλά λόγω του πλήθους των παραμέτρων που εμπεριέχονται, η μαθηματική του προσέγγιση γίνεται σύνθετη. Οι απλές επίσης εξισώσεις έχουν περιορισμένο πεδίο εφαρμογής, πάντως είναι χρήσιμες για τον αρχικό έλεγχο της ευστάθειας του πρανούς.

Η γεωμετρία της σφήνας, για το σκοπό της ανάλυσης του βασικού μηχανισμού ολίσθησης δίνεται στο σχήμα 2.11. Σ' αυτή την ανάλυση έχουν γίνει οι παρακάτω παραδοχές:

- Όπως και στην περίπτωση της ολίσθησης κατά επίπεδο, η συνθήκη ολίσθησης είναι $\psi_f > \psi_i > \varphi$, όπου ψ_f είναι η γωνία κλίσης του πρανούς και ψ_i η γωνία κλίσης της γραμμής τομής των δύο επιπέδων ως προς την οριζόντια. Η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ αυτών ορίζεται ως γωνία ξ . Η γωνία που σχηματίζεται από τη διάμεσο της γωνίας ξ και το οριζόντιο επίπεδο που περνάει από τον πόδα της σφήνας είναι η γωνία β .
- Αν θεωρήσουμε A και B τα επίπεδα δύο μεγάλων επιφανειών ασυνέχειας, ως B καλείται αυτό με τη μεγαλύτερη γωνία κλίσης.
- Η αστοχία σφήνας συμβαίνει μόνο με ολίσθηση και ελέγχεται μόνο από τη τριβή.
- Η γωνία εσωτερικής τριβής φ είναι ίδια και για τα δύο επίπεδα.



Σχήμα 2.12 Γεωμετρία σφήνας σε συνθήκες ολίσθησης
(από Κούκη, Σαμπατακάκη 2007)

Με την προϋπόθεση ότι η ολίσθηση της σφήνας θα γίνει κατά μήκος της τομής των δύο επιπέδων, ο συντελεστής ασφαλείας δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$F = \frac{3}{\gamma \cdot H} \cdot (c_A X + c_B Y) + \left(A - \frac{\gamma_w}{2\gamma} \cdot X \right) \cdot \tan \varphi_A + \left(B - \frac{\gamma_w}{2\gamma} \cdot Y \right) \cdot \tan \varphi_B \quad (1)$$

Όπου:

C_A, C_B : η συνοχή στα επίπεδα A και B

Φ_A, Φ_B : η γωνία εσωτερικής τριβής στα επίπεδα

A και B

γ : το φαινόμενο βάρος του πετρώματος

γ_w : το φαινόμενο βάρος του νερού

$$X = \frac{\sin \theta_{24}}{\sin \theta_{45} \cdot \cos \theta_{2na}} \quad (2)$$

$$Y = \frac{\sin \theta_{13}}{\sin \theta_{35} \cdot \cos \theta_{lnb}} \quad (3)$$

$$A = \frac{\cos \psi_a - \cos \psi_b \cdot \cos \theta_{na-nb}}{\sin \psi_s \cdot \sin^2 \theta_{na-nb}} \quad (4)$$

$$B = \frac{\cos \psi_b - \cos \psi_a \cdot \cos \theta_{na-nb}}{\sin \psi_s \cdot \sin^2 \theta_{na-nb}} \quad (5)$$

2.5 Μέτρα προστασίας σε βραχώδη πρανή

2.5.1 Γενικά

Ο βασικός διαχωρισμός των μέτρων προστασίας στα βραχώδη πρανή έχει σχέση, με το χρονικό παράγοντα που αυτά υλοποιούνται δηλαδή πριν ή μετά την εκδήλωση του φαινομένου. Έτσι διακρίνονται σε:

- Μέτρα αντιστήριξης (support)
 - Παθητικά μέτρα αντιστήριξης: Αυτές οι μέθοδοι εμποδίζουν τα τεμάχια της βραχώμαζας που έχουν μετακινηθεί από τη θέση τους να προκαλέσουν καταστροφές.
 - Ενεργητικά μέτρα αντιστήριξης: Μειώνοντας τις δυνάμεις που προκαλούν την ολίσθηση, και άλλοτε αυξάνοντας τις δυνάμεις που αντιτίθεται σ' αυτήν.
- Μέτρα ενίσχυσης (reinforcement)
 - Επιδιώκεται η ενίσχυση της ποιότητας της βραχώμαζας.

Μέτρα αντιστήριξης πρανών

Αγκυρία

Γενικά συμβάλλουν στην αύξηση της διατμητικής αντοχής της βραχώμαζας κυρίως με την αύξηση των κάθετων δυνάμεων που επενεργούν στις κρίσιμες επιφάνειες αδυναμίας (ασυνέχειες). Χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση τόσο βραχωδών όσο και εδαφικών πρανών και διέπονται από τις ίδιες βασικές αρχές λειτουργίας τους.

Τα αγκύρια έχουν μήκος 5-50m και μεταβιβάζουν δυνάμεις από 150 -2500 kN, που σε εξαιρετικές περιπτώσεις μπορεί να φτάσουν μέχρι 10000 kN.

Από πλευράς στατικής λειτουργίας διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Ενεργά, που προεντείνονται στην τελική φάση κατασκευής τους και επιβάλλουν μία καινούργια δύναμη που συμβάλλει στην σταθεροποίηση.
- Παθητικά, που δεν παραλαμβάνουν καμία δύναμη με την εγκατάστασή τους αλλά ενεργοποιούνται όταν αρχίσει η παραμόρφωση.

Τέλος τα αγκύρια στα εδαφικά πρανή είναι ενεργά και συνήθως εφαρμόζονται με την ενίσχυση τοίχων αντιστήριξης ενώ στα βραχώδη πρανή μπορεί να είναι παθητικά ή ενεργά ή ακόμα και κοχλίες.



Σχήμα 2.13. Αγκύριο βράχου
(από Ε. Αλέξη 2010)

Τοίχοι

Οι τοίχοι αυτοί είναι συνήθως οπλισμένοι φέρουν οπές αποστράγγισης και συχνά ενισχύονται με προεντεταμένες αγκυρώσεις. Με τον τρόπο αυτό επέρχεται καλύτερη κατανομή των εφελκυστικών τάσεων των αγκυρώσεων μέσω του τοίχου στην χαμηλής ποιότητας βραχώμαζα.

Εκτοξευμένο σκυρόδεμα

Είναι ένα είδος σκυροδέματος που αποτελείται από μείγμα τσιμέντου, άμμου και λεπτόκοκκου υλικού με νερό, που εκτοξεύεται από ειδική αντλία με μεγάλη ταχύτητα και υπό πίεση και με τον τρόπο αυτό εφαρμόζεται και προσκολλάται στο βραχώδες πρανές. Συμβάλει στην ενίσχυση του πρανούς και στην προστασία του από τους αποσθρωτικούς παράγοντες.

Αποστράγγιση

Περιλαμβάνονται γενικά τα αντίστοιχα έργα που απαιτούνται στην περίπτωση εδαφικών πρανών και αναφέρονται στην επιφανειακή και υπόγεια αποστράγγιση.

Αλλαγή κλίσης – αποφόρτισης

Είναι ακριβώς οι ίδιες εργασίες που αναφέρονται και στα εδαφικά πρανή (εκσκαφή – διαμόρφωση). Η βασική διαφοροποίηση είναι ότι στα σχετικά υψηλά βραχώδη πρανή, είναι συνηθισμένη η διαμόρφωση αναβαθμών ανά 10m περίπου ύψους πρανούς. Το πλάτος των αναβαθμών είναι τουλάχιστον 5m. Οι αναβαθμοί έχουν συνήθως ελαφριά κλίση προς το εσωτερικό του πρανούς και στην άκρη φέρουν τάφρο παροχέυτευσης.

Ξεσκάρωμα βράχων

Γίνεται απομάκρυνση των επικίνδυνων για κατάπτωση βράχων από το μέτωπο του πρανούς. Το ξεσκάρωμα μπορεί να γίνει:

- Με χειρονακτικά – μηχανικά μέσα
- Με ελεγχόμενη χρήση εκρηκτικών

Τοίχοι αναχαίτισης

Είναι άκαμπτες κατασκευές από σκυρόδεμα οι οποίες έχουν σαν βασικό σκοπό τη συγκράτηση των καταπτώσεων. Κατασκευάζονται στα άκρα των πλατυσμάτων – τάφρων αναχαίτισης και το ύψος τους είναι της τάξης 1,50-2,00m ενώ αυτό το ύψος μπορεί να αυξηθεί στην περίπτωση απότομων πρανών.

Πλέγματα συγκράτησης

Η τοποθέτηση του στο μέτωπο του βραχώδους πρανούς, αποτελεί έναν τρόπο συγκράτησης των περιορισμένου όγκου βραχωδών τεμαχών και παρεμπόδισης τους από κατάπτωση επί του τεχνικού έργου (π.χ. δρόμου). Το πλέγμα στο ανάντη άκρο του προσδένεται κατάλληλα με περιμετρικό συρματόσχοινο το οποίο πακτώνεται πίσω από το μέτωπο του πρανούς με την τοποθέτηση αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης.



Σχήμα 2.14. Μέτρα προστασίας έναντι καταπτώσεων (Hoek 2000)
(από Β. Μαρίνος 2011)

Μέτρα ενίσχυσης

Ενεμάτωση με τσιμέντο κατά μήκος των ασυνεχειών

Φθινό υλικό με βασικό μειονέκτημα τη μεγάλη χρονική διάρκεια απόκτησης κατάλληλων ιδιοτήτων από πλευράς αντοχής. Για μείωση του χρόνου χρησιμοποιείται τσιμέντο τύπου Portland (τσιμέντο πολύ πλούσιο σε οξείδιο του αργιλίου).

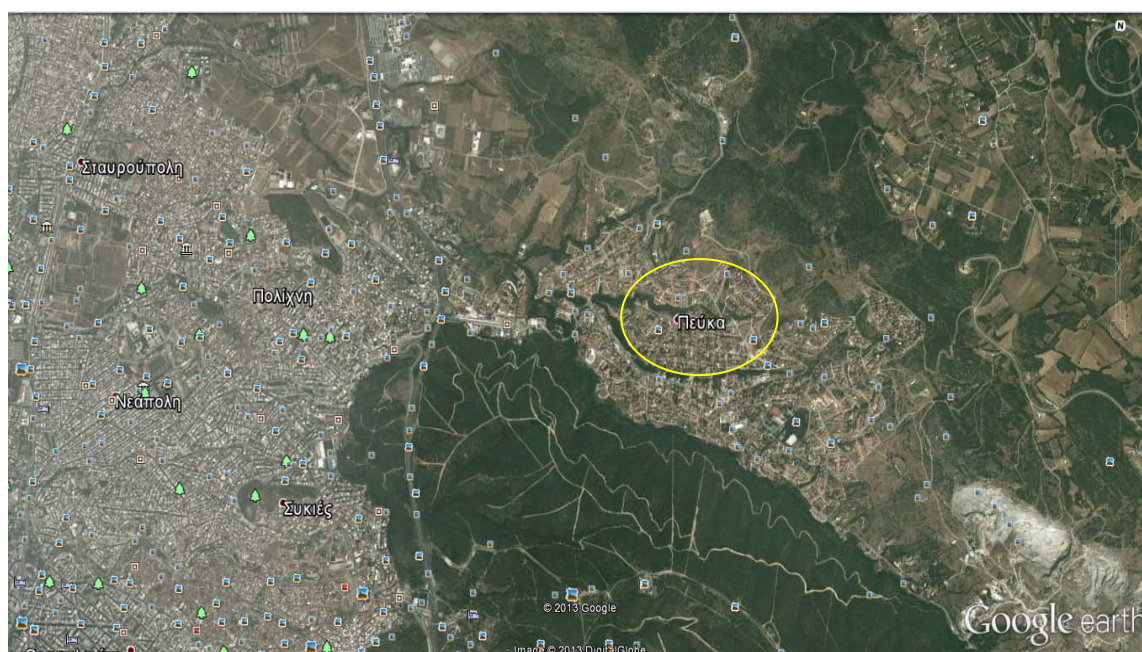
Κεφάλαιο 3

3.1 Γεωγραφική θέση περιοχής μελέτης

Τα Πεύκα (επίσημα, αναφέρεται συχνά και ως Ρετζίκι), αποτελούν προάστιο της Θεσσαλονίκης και δημοτική ενότητα του Δήμου Νεαπόλεως και Συκεών και εντάσσεται στο πολεοδομικό συγκρότημα Θεσσαλονίκης. Απέχει από το κέντρο της Θεσσαλονίκης μόλις 6 χλμ. Βρίσκεται σε υψόμετρο 280 μέτρων και έχει έκταση 1800 χλμ².



Εικόνα 3.1 Γεωγραφική θέση Πεύκων - Ρετζικίου



Εικόνα 3.2 Γεωγραφική θέση Πεύκων - Ρετζικίου (Google earth)

3.2 Γεωλογία ευρύτερης περιοχής

Η πόλη της Θεσσαλονίκης ανήκει γεωλογικά στις γεωτεκτονικές ζώνες Περιοδοπική κατά κύριο λόγο και Σερβομακεδονική. Πιο συγκεκριμένα για την Περιοδοπική εμφανίζονται οι ενότητες Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη και Μελισσοχωρίου – Χολομώντα. Από τη Σερβομακεδονική εμφανίζεται η σειρά Βερτίσκου. Το υπόβαθρο καλύπτουν νεογενείς και τεταρτογενείς αποθέσεις. Η διάταξη των ζωνών και των πετρωμάτων υποβάθρου ακολουθεί την ΒΔ – ΝΑ διεύθυνση.

3.2.1 Σερβομακεδονική Ζώνη

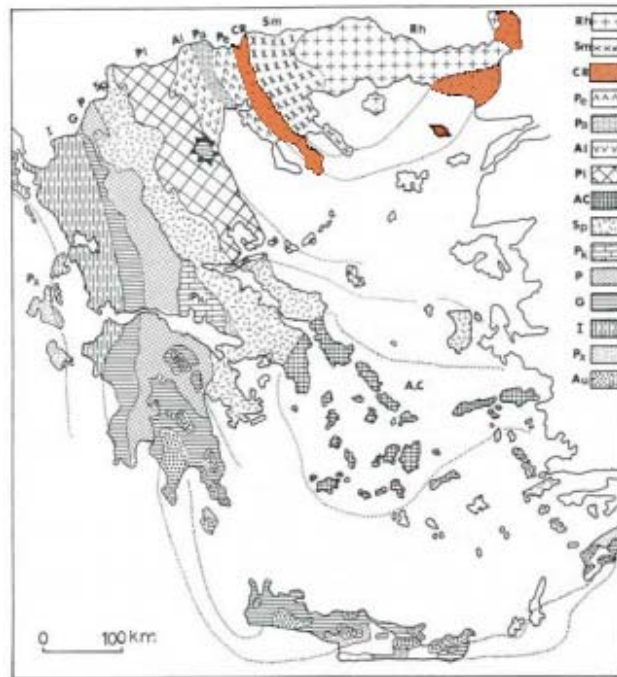
Ανήκει στην Ελληνική Ενδοχώρα και αποτελούσε ηπειρωτική μάζα με πιθανή προέλευση από τη λιθοσφαιρική πλάκα της Λαυρασίας. Στην περιοχή της Θεσσαλονίκης εμφανίζεται η σειρά Βερτίσκου με γνευσίους, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους και λεπτές ενστρώσεις μαρμάρων. Στο ανώτερο τμήμα συναντώνται μεταγάββροι, μεταδιαβάσες και αμφιβολίτες. Η ηλικία των αρχικών ιζημάτων – πετρωμάτων της ενότητας είναι Προπερμική, ενώ η μεταμόρφωση των ανώτερων μελών της ενότητας από ραδιοχρονολογήσεις φαίνεται να αντιστοιχεί στο Λιθανθρακοφόρο.

- Ειδικότερα ο σχηματισμός Βερτίσκου εμφανίζεται Βόρεια του Δήμου Ευκαρπίας και Πεύκων (Ρετζικίκου) καθώς και των κοινοτήτων Ασβεστοχωρίου και Εξοχής. Έχει ηλικία Παλαιοζωική και αποτελείται από διμαρμαρυγιακούς γνευσίους, διμαρμαρυγιακούς και μοσχοβιτικούς σχιστόλιθους και αμφιβολίτες.
- Δίπλα και ανάμεσα στα προηγούμενα πετρώματα εμφανίζεται και ο πλαγιокλαστικός – μικροκλινικός γνεύσιος, με ηλικία Παλαιοζωική ή παλαιότερη.

Από γεωτεχνικής πλευράς οι δύο παραπάνω σχηματισμοί αναφέρονται ως βραχώδεις σχηματισμοί, έντονα σχιστοποιημένοι και ισχυρά κατακερματισμένοι. Καλύπτονται από μανδύα αποσάθρωσης μικρού σχετικά πάχους που δεν ξεπερνάει το 1μ., ενώ ο έντονος κερματισμός έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία κορημάτων, τα οποία σε συνδυασμό με τον μανδύα φτάνουν και τα 5μ. πάχος. Δεν παρουσιάζουν αστοχίες πρανάων και έχουν καλή γεωτεχνική συμπεριφορά.

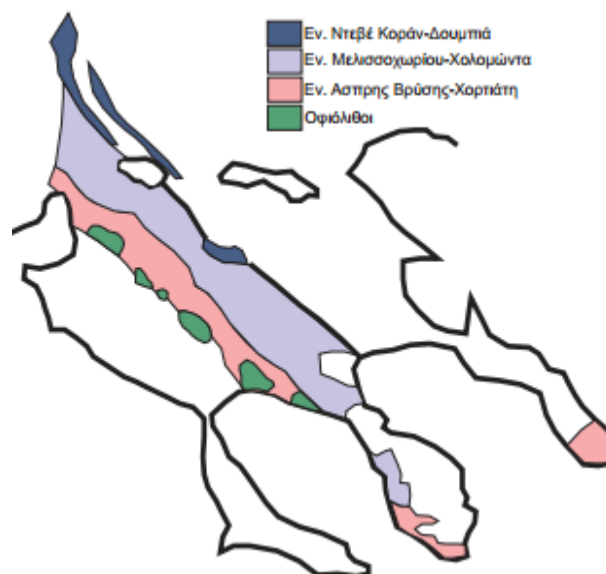
3.2.2 Περιοδοπική Ζώνη

Ανήκει στις Εσωτερικές Ελληνίδες και ατά τη διάρκεια του Ιουρασικού αποτελούσε την ηπειρωτική κατωφέρεια της ηπειρωτικής Ελληνικής ενδοχώρας προς τον ωκεανό της Τηθύος. Η κατωφέρεια κατέληγε σε μια βαθειά αύλακα περιφερειακή της ηπειρωτικής μάζας η οποία αποτέλεσε τη θέση βύθισης της ωκεάνιας περιοχής της ζώνης Αξιού κάτω από τη Ευρωπαϊκή ηπειρωτική πλάκα, το περιθώριο της οποίας συγκροτούσαν οι μάζες Ροδόπης και Σερβομακεδονικής.



Εικόνα 3.3: Περιοδοπτική ζώνη

Η ανάδυση της ζώνης έγινε κατά το Κατώτερο – Μέσο Ιουρασικό. Οι ενότητες που εμφανίζονται στην περιοχή της Θεσσαλονίκης είναι από την νεότερη προς την παλαιότερη οι: Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη και Μελισσοχωρίου – Χολομώντα.

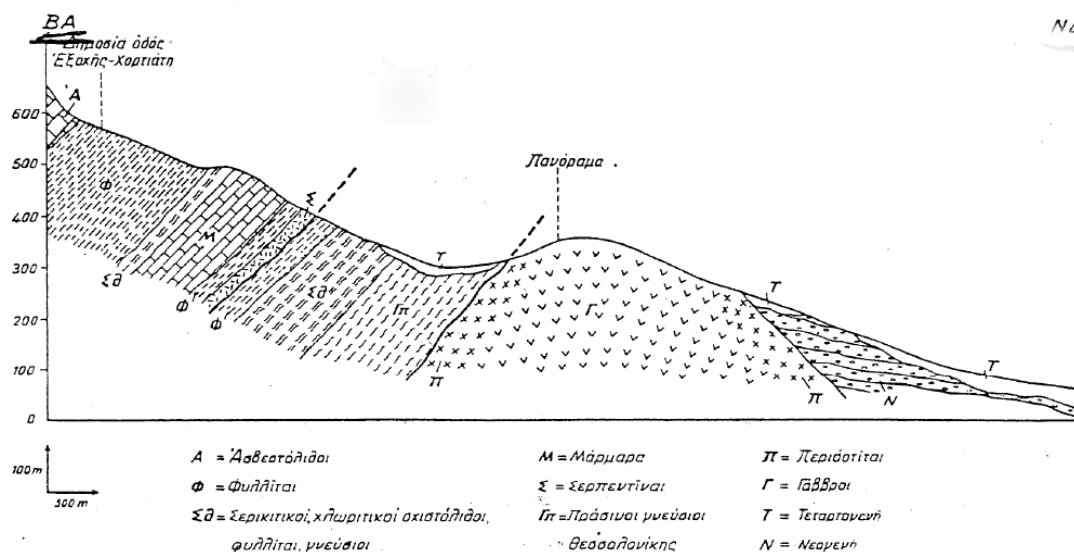


Εικόνα 3.4: Υποζώνες Περιοδοπτικής

- **Άσπρη Βρύση – Χορτιάτη:** Έχει πλάτος 4-8 χλμ. και αποτελείται από εναλλασσόμενα στρώματα μαρμάρων και μετακλαστικών ιζημάτων Περμοτριάδικής ηλικίας και γραφιτικούς φυλλίτες, χλωριτικούς – επιδοιτικούς και σερικιτικούς σχιστόλιθους με φακοειδείς ενστρώσεις μαρμάρων. Μέσα στο τμήμα αυτό παρεμβάλλονται και τα οφειολιθικά σώματα, Στη σειρά αυτή απαντώνται και μεταμορφωμένα πετρώματα όξινης μαγματικής προέλευσης. Ειδικότερα εμφανίζονται:

- Αμμούχοι αργιλικόι σχιστόλιθοι στην περιοχή της Ευκαρπίας και βορειότερα των Ασβεστοχωρίου και Εξοχής. Ο σχηματισμός βρίσκεται σε τεκτονική επαφή με τον σχηματισμό Βερτίσκου. Ηλικία: Κατώτερο – Μέσο Ιουρασικό. Αποτελούνται από λαδοπράσινους, λεπτόκκοκους, λεπτοστρωματώδεις ψαμμίτες και βαθυκόκκινους αργιλικούς σχιστόλιθους, με ενστρώσεις από μαύρους, λεπτοστρωματώδεις παχείς ορίζοντες πυριτολίθων και φακούς και στρώματα σερικιτιωμένου και χλωριτιωμένου δολερίτη.

Από γεωτεχνικής πλευράς αποτελούν βραχώδεις σχηματισμούς, μέτρια κατακερματισμένους. Έχουν ικανοποιητική γεωτεχνική συμπεριφορά (σε πρηνή με ομόρροπη κλίση λόγω σχιστότητας μπορούν να δώσουν αστοχίες μικρής έκτασης). Είναι πρακτικά στεγανοί σχηματισμοί αλλά μπορούν να παρουσιάσουν μικροπηγές, εποχιακής συνήθως παροχής, στην επαφή του μανδύα αποσάθρωσης ή και της ζώνης κατακερματισμού, με το υγιές πέτρωμα.



Εικόνα 3.5: Γεωλογική τομή της ανατολικής περιοχής της Θεσσαλονίκης (Σαπουντζή 1969)

- **Μελισσοχωρίου – Χολομώντα:** Έχει πλάτος 5-15 χλμ. και χαρακτηρίζεται από σχιστόλιθους, ασβεστόλιθους, ασβεστιτικούς φυλλίτες και ψαμμίτες που περνούν προς τα πάνω σε έναν τυπικό φλύσχη με ολισθόλιθους. Αναλυτικά: το κατώτερο τμήμα της αποτελούν μάρμαρα και ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι με παρεμβολλές φυλλιτών και σερικιτικών σχιστόλιθων ηλικίας Μέσο – Άνω Τριαδικής. Προς τα πάνω ο ορίζοντας αυτός γίνεται καθαρά φυλλιτικός. Το ανώτερο τμήμα ηλικίας Κάτω – Μέσο Ιουρασικού, αποτελείται από τον φλύσχη με τουρβιδικές εναλλαγές μετα – ιζημάτων (ψαμμίτες, μάργες, ασβεστόλιθοι) μέσα στα οποία παρατηρούνται μεγάλοι ολισθόλιθοι τριαδικών μαρμάρων. Ο φλύσχος αυτός αναφέρεται με το όνομα Φλύσχος Σβούλας. Ειδικότερα για την περιοχή της Θεσσαλονίκης εμφανίζεται η Ομάδα της Σβούλας με ηλικία Τριαδικό – Μέσο Ιουρασικό, η οποία αποτελείται από:

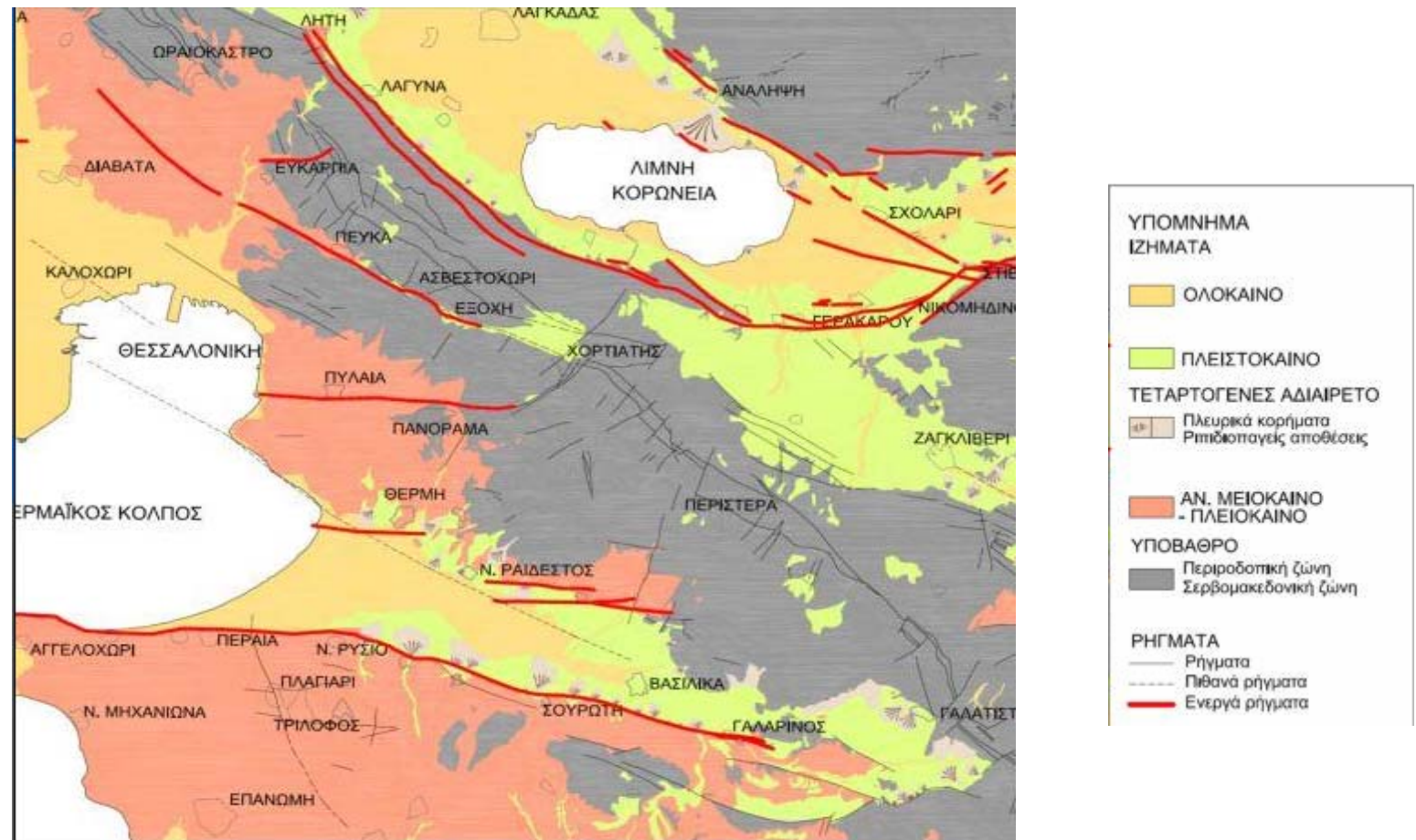
- Χαλαζίτες: Εμφανίζονται κοκκινοκάστανοι, λεπτο – έως μεσόκοκκοι, λεπτοστρωματώδεις, σιδηρούχοι και σκοτεινότεφροι, ασβεστιτικοί χαλαζιτικοί ψαμμίτες με ενστρώσεις από σκοτεινότεφρους φυλλίτες, τοπικά γραφιτικούς σχιστόλιθους και σκοτεινότεφρες ταινίες από ψαμμιτικούς ασβεστόλιθους. Εμφανίζονται νότια των φυλλιτών και βορειότερα του πολεοδομικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης.
- Φυλλίτες: Είναι σκοτεινότεφροι έως μαύροι, μερικώς γρανατούχοι, γραφιτικοί, με μικρές ενστρώσεις χαλαζιτών ή ασβεστιτικών ψαμμιτών. Εμφανίζονται νότια των κοινοτήτων Πεύκων (Ρετζικίου), Ασβεστοχωρίου και Εξοχής. Από γεωτεχνικής πλευράς αποτελούν πολυπτυχωμένους και έντονα σχιστοποιημένους σχηματισμούς με μέτρια γεωμηχανική συμπεριφορά. Σε πρανή μεγάλων κλίσεων είναι δυνατόν να παρατηρηθούν αστοχίες, κυρίως κατά μήκος της σχιστότητας. Τοπικά καλύπτονται από μανδύα αποσάθρωσης, πάχους έως και 1μ.
- Ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους: Είναι λευκοί ή γαλαζωποί, παχυστρωματώδεις έως λεπτοστρωματώδεις, με χαλαζιακά – σερικιτικά μάρμαρα και ασβεστιτικούς σχιστόλιθους με ενστρώσεις μαύρων φυλλιτών. Εμφανίζονται ΒΑ του πολεοδομικού, μέσα στους χαλαζίτες και νοτιότερα των φυλλιτών. Από γεωτεχνικής πλευράς ο σχηματισμός αυτός συμπεριφέρεται όπως και οι ασβεστόλιθοι της ενότητας Ασπρης Βρύσης – Χορτιάτη.

3.3 Τεκτονική εξέλιξη περιοχής

Η ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης ανήκει γεωτεκτονικά στις ζώνες Σερβομακεδονική και κυρίως την Περιοδοπική. Οι δύο ζώνες έχουν διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ και η Σερβομακεδονική κρυσταλλοσχιστώδης μάζα επιπεύει κατά την διάρκεια του Τριτογενούς τεκτονισμού τα νεότερα Περμοτριάδικα ιζήματα της Περιοδοπικής ζώνης (Mercier 1968, Μουντράκης 1985). Η αλπική περίοδος τελειώνει κατά το Ολόκαινο. Κατά το νεοτεκτονικό στάδιο που ξεκινάει το Νεογενές δημιουργήθηκαν τα μεγάλα τεκτονικά βυθίσματα και οι λεκάνες Αξιού, Ανθεμούντα, Μυγδονίας, αποτέλεσμα εφελκυστικού πεδίου. Η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από ένα εκτεταμένο εφελκυστικό πεδίο με την δημιουργία κανονικών και πλαγιοκανονικών ρηγμάτων κυρίως μέσα στις ιζηματογενείς αποθέσεις. Παράλληλα προκαλείται επαναδραστηριοποίηση πολλών παλαιότερων τεκτονικών γραμμών, τόσο μέσα στα ιζήματα όσο και στα πετρώματα του υποβάθρου, οι οποίες και επαναλειτουργούν ως κανονικά πλαγιοκανονικά ρήγματα (Μουντράκης et al., 1995, 1993).

Τα περισσότερα ρήγματα της περιοχής ανήκουν στο σύστημα ΒΔ – ΝΑ και ΒΑ – ΝΔ.

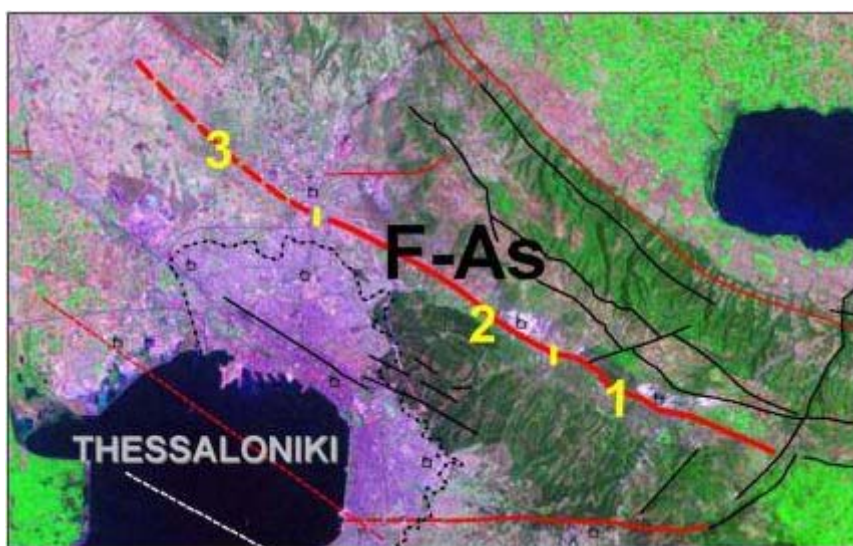
Παρακάτω δίνεται γεωλογικός χάρτης όπου διακρίνεται η περιοχή των Πεύκων – Ρετζικίου η οποία βρίσκεται κατά μήκος του πιθανού ενεργού ρήγματος Ασβεστοχωρίου.



Εικόνα 3.6 Συνοπτικός γεωλογικός χάρτης εγγύτερης περιοχής Θεσσαλονίκης. Γκρι χρώμα: Βραχώδες υπόβαθρο, Κόκκινο χρώμα: Νεογενείς σχηματισμοί, Μαύρο Χρώμα: Μη ενεργά ρήγματα, Έντονο κόκκινο χρώμα: Ενεργά υπό μελέτη ρήγματα (Κλίμακα 1:5000, Ζερβοπούλου Άννα 2009).

Ρήγμα Ασβεστοχωρίου

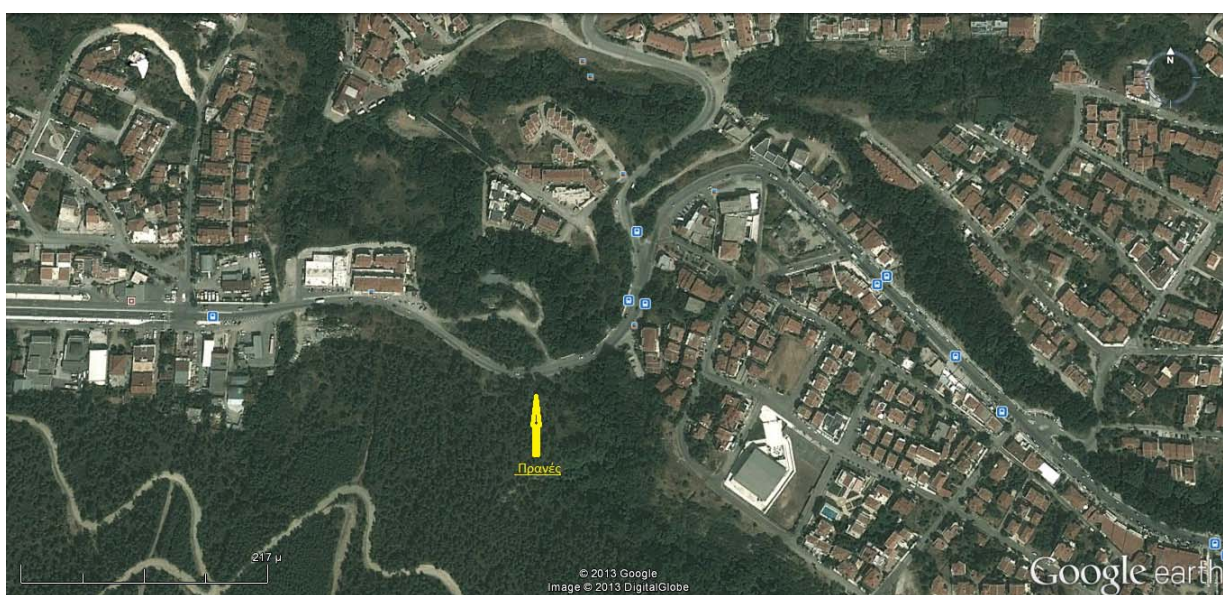
Βρίσκεται βόρεια και βορειοανατολικά και απέχει από την πόλη της Θεσσαλονίκης 6 χλμ. Η διεύθυνση του είναι ANA – ΔΒΔ με παράταξη B98 – 120°, κλίση 55 – 80 και μετάπτωση προς BBA. Είναι κανονικό ρήγμα με αριστερόστροφη συνιστώσα κίνησης και θεωρείται πιθανά ενεργό. Το συνολικό του μήκος είναι 10 χλμ., ενώ πιστεύεται ότι επεκτείνεται και μέσα στα νεότερα ιζήματα της Ευκαρπίας για άλλα 7 χλμ. Χωρίζεται σε τρία τμήματα λόγω αλλαγής της διεύθυνσης του.



Εικόνα 3.7 Τμήμα δορυφορικής εικόνας, με πορτοκαλί χρώμα το πιθανό ενεργό ρήγμα του Ασβεστοχωρίου, με κίτρινο χρώμα τα τμήματα του (Ζερβοπούλου Άννα 2009).

3.4 Γεωλογία πρανούς μελέτης (Στροφή Φιλύρου)

Αρχικά η περιοχή των Πεύκων, όπως φαίνεται και από τον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ (Παράρτημα, Εικόνα 1), ανήκει στη ενότητα Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη, μία από τις τρεις ενότητες που συγκροτούν την Περιοδοπική ζώνη (F. Kockel et al., 1971, 1972, 1977 και G. Kauffmann et al, 1976), στον σχηματισμό Αμμούχοι αργιλικόι σχιστόλιθοι όπως αναφέρεται στον χάρτη. Τα κατώτερα τμήματα της ενότητας είναι Περμο – Τριαδικής ηλικίας μετακλαστικά και νηριτικά ανθρακικά ιζήματα. Ο ανώτερος ορίζοντας αποτελείται από ιζήματα βαθιάς θάλασσας όπως μαύροι κερατόλιθοι, κόκκινοι αργιλικόι σχιστόλιθοι, μαύροι γραφιτικοί σχιστόλιθοι, μάργες και χαλαζιακοί σχιστόλιθοι. Επίσης μέσα σ' αυτή την ιζηματογενή σειρά παρεμβάλλονται και πετρώματα μεταμορφωμένα όξινης μαγματικής προέλευσης. Η ενότητα Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη συνοδεύεται, από μεγάλες οφιολιθικές μάζες (P. Vergely, 1984), οι οποίες βρίσκονται στη βάση της ενότητας, σε τεκτονική επαφή με αυτή και στο σύνολό τους αποτελούν ένα σύστημα λεπίων. Τέλος, το ανώτερο τμήμα των οφιολιθικών αυτών μαζών αποτελείται από επιμεταμορφωμένα σχιστοποιημένα και με έντονη κατάκλαση πετρώματα



Εικόνα 3.8 Γεωγραφική θέση πρανούς στροφή Φιλύρου (Google earth)

Κατά την υπαίθρια εξέταση της άμεσης ενδιαφέροντος περιοχής, παρατηρήθηκε ότι το πρανές αποτελείται από **γραφιτικό σχιστόλιθο**, ο οποίος προέρχεται από τη μεταμόρφωση ανθρακούχων ιζημάτων, η ηλικία του βρίσκεται στο Κατώτερο και Μέσο Ιουρασικό (από χάρτη ΙΓΜΕ). Παρουσιάζεται μέτρια αποσαθρωμένος και έντονα σχιστοποιημένος, όπως φαίνεται και

στην παρακάτω φωτογραφία από το σημείο μελέτης. Το κόκκινο χρώμα σε ορισμένα σημεία του σχιστολίθου οφείλεται στα οξειδία του σιδήρου λόγω αντίδρασης των χημικών στοιχείων του πετρώματος με το οξυγόνο. Παράλληλα παρατηρείται η ύπαρξη υλικού πλήρωσης (άργιλος), το οποίο λειτουργεί σαν λιπαντικό μεταξύ δύο τεμαχών, ευνοώντας την αστοχία – ολίσθηση, ιδιαίτερα με την παρουσία νερού. Στη βραχώμαζα του πρανούς στη στροφή Φιλύρου παρατηρείται έντονη σχιστότητα και δύο οικογένειες ασυνεχειών, οι οποίες συνέβαλαν στον κερματισμό του πετρώματος. Ο γραφитικός σχιστόλιθος σε αυτό το σημείο παρουσιάζεται ελαφρά πτυχωμένος.

Υδρογεωλογικό καθεστώς

Από την υπαίθρια μελέτη της περιοχής δεν παρατηρήθηκαν επιφανειακές εμφανίσεις υδάτων.

Γενικά ο γραφитικός σχιστόλιθος εξαιτίας και της παρουσίας αργιλικού υλικού πλήρωσης παρουσιάζει χαμηλό συντελεστή υδροπερατότητας κ. Η συμπεριφορά του πρανούς επηρεάζεται αποκλειστικά από τα κατακρημνίσματα.



Εικόνα 3.9 Γραφитικός σχιστόλιθος ηλικίας Κ. – Μ. Ιουρασικό (φωτογραφία από το σημείο μελέτης)

Γενικά, σήμερα θεωρείται, ως πιθανότερο, ότι οι σχιστόλιθοι σχηματίστηκαν κάτω από την επίδραση ενός συνδυασμού γεωλογικών διεργασιών. Ο σχηματισμός του γίνεται συνήθως στις μέσες θερμοκρασίες (μεσοζώνη), αλλά και στις μεγάλες (καταζώνη), ενώ στην επιζώνη (χαμηλές θερμοκρασίες) σχηματίζονται κύρια φυλλίτες κι ο σερικιτικός σχιστόλιθος.

Εξαιτίας της μεγάλης ποικιλίας τους είναι δύσκολη η συστηματική τους κατάταξη. Η διάκρισή τους από τα άλλα κρυσταλλοσχιτώδη πετρώματα είναι επίσης δύσκολη γιατί πάντα υπάρχουν κι ενδιάμεσοι τύποι. Στην Ελλάδα οι σχιστόλιθοι είναι διαδεδομένοι σε ευρεία κλίμακα.



Εικόνα 3.10 Γραφικός σχιστόλιθος, διακρίνεται η σχιστότητα και το υλικό πλήρωσης, (Κ. – Μ. Ιουρασικό, φωτογραφία από το σημείο μελέτης)



Εικόνα 3.11: Γραφιτικός σχιστόλιθος , (Κ. – Μ. Ιουρασικό, φωτογραφία από το σημείο μελέτης), παρατηρείται η έντονη σχιστότητα καθώς και η πτύχωση.

Κεφάλαιο 4

Έλεγχος ευστάθειας πρανούς της περιοχής μελέτης

4.1 Γενικά

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει η ανάλυση της ευστάθειας του πρανούς με τοποθέτηση των στοιχείων των ασυνεχειών που καταγράφηκαν, ύστερα από λεπτομερή μελέτη στο ύπαιθρο, σε δίκτυα Schmidt. Για τη δημιουργία των τεκτονικών διαγραμμάτων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα « **Dips 5.1** ».

4.1.1 Πρόγραμμα « Dips »

Το πρόγραμμα **Dips** είναι μία εμπορική εφαρμογή που αναπτύχθηκε από την εταιρεία ROCSCIENCE, έχει σχεδιαστεί για την διαδραστική ανάλυση του προσανατολισμού με βάση κάποια γεωλογικά δεδομένα.

4.2 Επεξεργασία τεκτονικών δομών

Στο σημείο αυτό θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των στοιχείων των ασυνεχειών και των επιφανειών σχιστότητας για το πρανές με το πρόγραμμα «Dips 5.1».

Αρχικά παρακάτω παρατίθεται ένας πίνακας, ο οποίος παρουσιάζει τις ασυνέχειες με τις ιδιότητες τους καθώς και οι μετρήσεις (γωνία κλίσης και διεύθυνση κλίσης) που πραγματοποιήθηκαν στην ύπαιθρο στο σημείο του πρανούς:

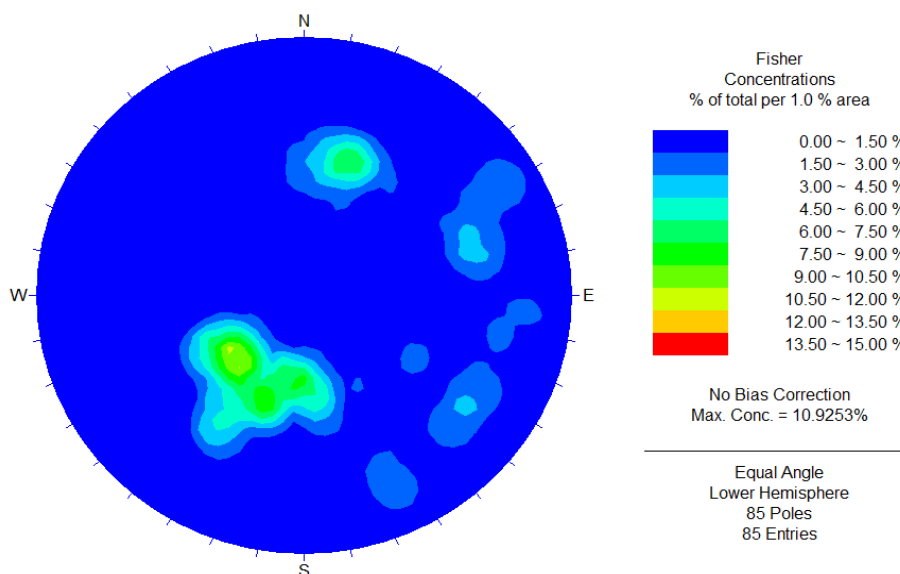
A/A	Είδος Ασουνέχειας	Γωνία κλίσης	Διεύθυνση κλίσης	Απόσταση (cm)	Άνοιγμα	Τραχύτητα	Υλικό Πλήρωσης	Αποσάθρωση
1	B	30	004	4	1B	R-SR	Άργιλος	SW-MW
2	B	24	342	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
3	B	32	009	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
4	B	54	017	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
5	B	49	022	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
6	B	38	042	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
7	B	25	054	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
8	B	50	014	4	1B	R-SR	Άργιλος	SW-MW
9	B	43	043	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
10	B	41	048	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
11	B	45	015	4	1B	R-SR	Άργιλος	SW-MW
12	B	44	354	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
13	B	47	018	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
14	B	37	044	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
15	B	47	023	4	2A	R-SR	OXI	SW-MW
16	B	51	353	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
17	B	51	350	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
18	B	47	301	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
19	B	48	323	4	1B	R-SR	Άργιλος	SW-MW
20	B	32	025	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
21	B	35	012	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
22	B	37	002	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
23	B	40	338	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
24	B	40	356	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
25	B	34	048	4	1B	R-SR	Άργιλος	SW-MW
26	B	40	031	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
27	B	36	061	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
28	B	43	035	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
29	B	36	353	4	2A	R-SR	OXI	SW-MW
30	B	49	026	4	1B	R-SR	Άργιλος	SW-MW
31	B	30	059	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
32	B	40	045	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
33	B	36	009	4	1B	R-SR	Άργιλος	SW-MW
34	B	42	357	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
35	B	43	017	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
36	B	29	027	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
37	B	60	034	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
38	B	60	036	4	2A	R-SR	OXI	SW-MW
39	B	45	060	4	2A	R-SR	OXI	SW-MW
40	B	64	029	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
41	B	64	030	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
42	B	47	059	4	2A	R-SR	OXI	SW-MW

43	B	51	050	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
44	B	37	043	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
45	B	35	049	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
46	B	52	035	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
47	B	38	065	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
48	B	48	064	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
49	B	39	065	4	2A	R-SR	Άργιλος	SW-MW
50	J1	49	042	40-50	2A	R-SR	Άργιλος	MW
51	J1	26	189	40-50	2A	R-SR	Άργιλος	MW
52	J1	55	210	40-50	2A	R-SR	Άργιλος	MW
53	J1	53	197	40-50	2A	R-SR	OXI	MW
54	J1	54	199	40-50	2A	R-SR	Άργιλος	MW
55	J1	58	200	40-50	2A	R-SR	Άργιλος	MW
56	J1	60	193	40-50	2A	R-SR	Άργιλος	MW
57	J1	60	197	40-50	2A	R-SR	OXI	MW
58	J1	45	194	40-50	2A	R-SR	Άργιλος	MW
59	J1	59	225	40-50	2A	R-SR	Άργιλος	MW
60	J1	06	139	40-50	2A	R-SR	Άργιλος	MW
61	J1	37	209	40-50	2A	R-SR	OXI	MW
62	J1	48	182	40-50	2A	R-SR	Άργιλος	MW
63	J1	61	205	40-50	2A	R-SR	Άργιλος	MW
64	J1	52	177	40-50	2A	R-SR	Άργιλος	MW
65	J1	58	191	40-50	2A	R-SR	Άργιλος	MW
66	J1	62	180	40-50	2A	R-SR	Άργιλος	MW
67	J1	75	103	40-50	2A	R-SR	Άργιλος	MW
68	J1	66	339	40-50	2A	R-SR	Άργιλος	MW
69	J1	68	284	40-50	2A	R-SR	Άργιλος	MW
70	J1	70	252	40-50	2A	R-SR	Άργιλος	MW
71	J2	76	333	50-100	2A	R-SR	Άργιλος	MW
72	J2	83	239	50-100	2A	R-SR	Άργιλος	MW
73	J2	78	240	50-100	2A	R-SR	OXI	MW
74	J2	68	255	50-100	2A	R-SR	Άργιλος	MW
75	J2	72	300	50-100	2A	R-SR	Άργιλος	MW
76	J2	55	300	50-100	2A	R-SR	Άργιλος	MW
77	J2	65	261	50-100	2A	R-SR	Άργιλος	MW
78	J2	60	248	50-100	2A	R-SR	Άργιλος	MW
79	J2	72	310	50-100	2A	R-SR	Άργιλος	MW
80	J2	80	338	50-100	2A	R-SR	Άργιλος	MW
81	J2	74	315	50-100	2A	R-SR	Άργιλος	MW
82	J2	80	269	50-100	2A	R-SR	Άργιλος	MW
83	J2	68	241	50-100	2A	R-SR	Άργιλος	MW
84	J2	74	300	50-100	2A	R-SR	Άργιλος	MW
85	J2	78	280	50-100	2A	R-SR	Άργιλος	MW

Υπόμνημα	
Είδος	
Ασυνέχειας:	B: Στρώση, F: Ρήγμα, J: Διάκλαση, S= Σχιστότητα, Z: Ζώνη Διάτμησης
Απόσταση:	Απόσταση από επόμενη ασυνέχεια ίδιου συστήματος
Μήκος:	A: <1m, B: 1-3m, C: 3-10m, D:10-20m, E:>20m
Άνοιγμα:	0: Καθόλου, 1A: <0,1mm, 1B: 0,1-1mm, 2A: 1-5mm, 2B: >5mm
Τραχύτητα:	VR: Πολύ τραχεία, R: Τραχεία, SR: Ελαφρά τραχεία, SM: Ομαλή, SL: Ολίσθηση
Υλικό	0: Κανένα, H1: Στιφρό-d<5mm, H2: Στιφρό-d>5mm, S1: Μαλακό-d<5mm, S2: Μαλακό-d>5mm
πλήρωσης:	
Αποσάθρωση:	UW: Χωρίς, SW: Μικρή, MW: Μέτρια, HW: Έντονη, D: Πλήρως αποσαθρωμένο

4.2.1 Αποτελέσματα από τη χρήση των Dips και RocLab

Με τη χρήση του προγράμματος, στο οποίο αρχικά δόθηκαν οι μετρήσεις (γωνία κλίσης, διεύθυνση κλίσης), παρατηρούνται τρεις ομάδες ασυνεχειών, όπως φαίνεται και στο παρακάτω **Σχήμα 4.1**.



Εικόνα 4.1 Συγκέντρωση ασυνεχειών

Το πρηνές το οποίο εξετάζεται έχει τα εξής στοιχεία: **Π 210/58**

- Ασυνέχεια **J1 305/63**
- Ασυνέχεια **J2 090/22**
- Σχιστότητα **B 218/51**

Από βιβλιογραφία (Χ. Σαρόγλου, Π. Μαρίνος, Γ. Τσιαμπάος) σε εργαστηριακή δοκιμή βραχομηχανικής σε γραφιτικό σχιστόλιθο δίνεται μέση τιμή για το $\sigma_{ci}=20$ MPa (μονοαξονική θλιπτική αντοχή).

Για την εύρεση της γωνίας τριβής ϕ και της συνοχής c του γραφιτικού σχιστόλιθου από το οποίο αποτελείται το πρανές χρησιμοποιείται το πρόγραμμα RocLab.

Από μελέτη στο ύπαιθρο στο χώρο του πρανούς δίνεται:

GSI γραφιτικού σχιστόλιθου =50.

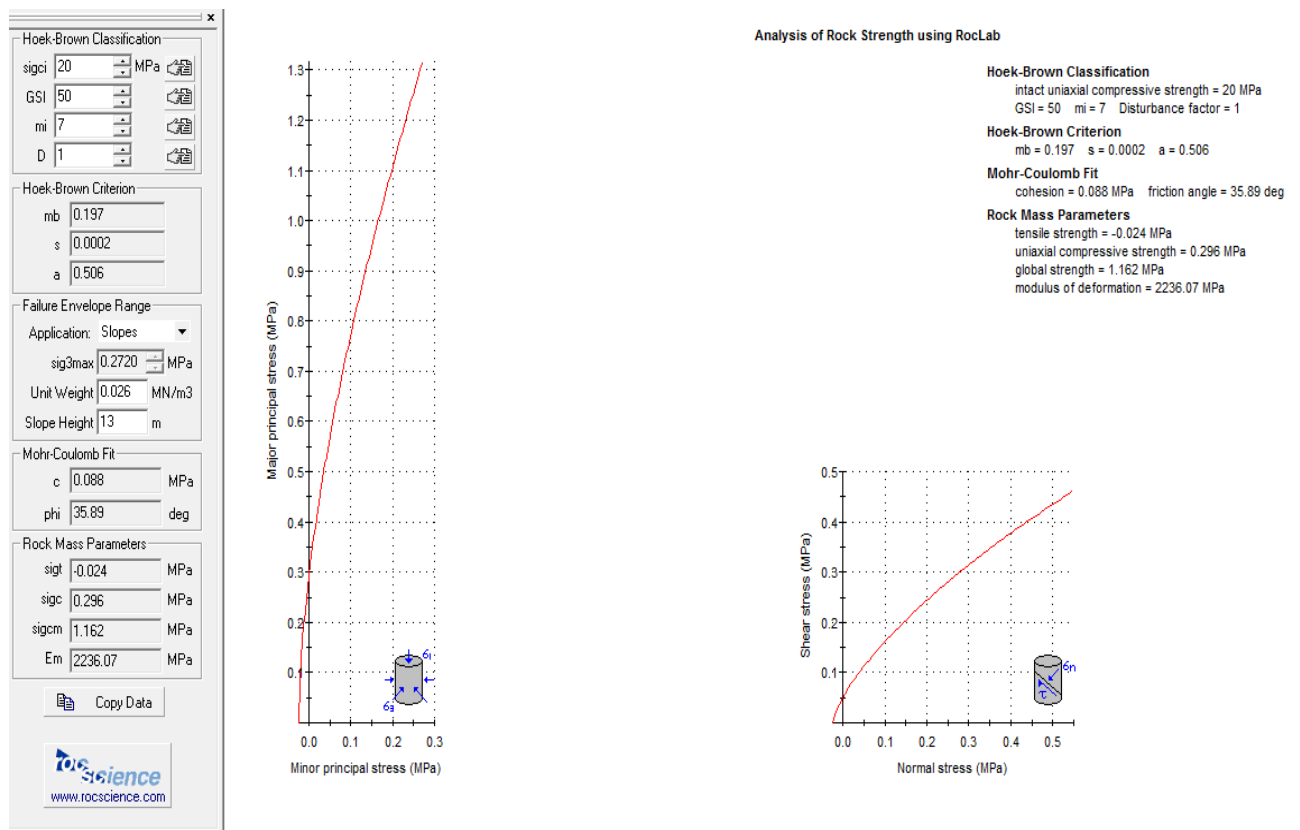
ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΡΗΓΜΑΤΩΜΕΝΟΥΣ ΒΡΑΧΟΥΣ (Hoek and Marinos, 2000) Βασίζομενοι στην εμφάνιση της βραχόμαζας (περιγραφή δομής και κατάσταση επιφανείας ασυνεχειών) εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI, χωρίς υποχρεωτικά μεγάλη ακρίβεια. Το να επιλέξετε ένα εύρος τιμών από 33 ως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι GSI=35. <u>Σημειώνεται ότι ο Πίνακας δεν εφαρμόζεται σε κινηματικά ελεγχόμενες αστάθειες.</u> Στην περίπτωση που οι ασθενείς επίπεδες επιφάνειες έχουν μη ευνοϊκό προσανατολισμό σε σχέση με το πρανές εκσκαφής, τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχόμαζας. Η διατμητική αντοχή επιφανειών σε βράχους που υπόκεινται σε εξασθένηση λόγω διακύμανσης της περιεκτικότητας σε υγρασία, είναι περαιτέρω μειωμένη όταν υπάρχει νερό. Όταν, οι βραχόμαζες ανήκουν στις μέτριες έως πτωχές κατηγορίες και υπάρχει νερό τότε μετακινούμαστε προς τα δεξιά. Η υδροστατική πίεση λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων. ΔΟΜΗ		ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ				
		ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχείες, μη αποσπασθωμένες επιφάνειες	ΚΑΛΗ Τραχείες, ελαφρά αποσπασθωμένες και οξείδωμένες επιφάνειες	ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσπασθωμένες και εξαλλοιωμένες επιφάνειες	ΠΤΩΧΗ Επιφάνειες ολίσθησης, πολύ αποσπασθωμένες με σημαντική επιφλοιομιά ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα	ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Επιφάνειες ολίσθησης πολύ αποσπασθωμένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης
		ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →				
ΜΕΙΟΥΜΕΝΟ ΑΛΛΗΛΟΚΛΕΙΔΩΜΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΤΕΜΑΧΩΝ ↓	 INTACT OR MASSIVE - Άρρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άστρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση	90			N/A	N/A
	 BLOCKY - Αδιατάρακτη βραχόμαζα με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών	80	70			
	 VERY BLOCKY- Μερικώς διαταραγμένη βραχόμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών		60			
	 BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας			50		
	 DISINTEGRATED - Ισχυρά κερματισμένη βραχόμαζα με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιωδών και αποσπασθωμένων τεμαχίων			40		
	 LAMINATED/SHEARED - Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθενής βραχόμαζα. Η σχιστότητα επικρατεί έναντι οποιασδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιωδών τεμαχίων				30	
					20	
		N/A	N/A			10

Εικόνα 4.2 Πίνακας GSI

Τύπος		Ομάδα	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ			
			Χονδρή	Μέση	Λεπτή	Πολύ λεπτή
ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ	Κλαστικό		Κροκαλοπαγή • Λατυποπαγή •	Ψαμμίτες 17 ± 4	Ιλυόλιθοι 7 ± 2 Γραουβάκες (18 ± 3)	Αργιλόλιθοι 4 ± 2 Αργ.σχιστόλιθοι (6 ± 2) Μάργες (7 ± 2)
		Μη κλαστικό	Ανθρακικά	Κρυσταλλικοί Ασβεστόλιθοι (12 ± 3)	Σπαρτικοί Ασβεστόλιθοι (10 ± 2)	Μικριτικοί Ασβεστόλιθοι (9 ± 2)
	Εβαπορίτες			Γύψος 8 ± 2	Ανυδρίτης 12 ± 2	
	Οργανικά					Κρητίς 7 ± 2
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΑ	Μη πτυχωμένα		Μάρμαρο 9 ± 3	Κερατόλιθοι (19 ± 4) Μεταψαμμίτες (19 ± 3)	Χαλαζίτες 20 ± 3	
	Ελαφρά πτυχωμένα		Μιγματίτες (29 ± 3)	Αμφιβολίτες 26 ± 6	Γνεύσιοι 28 ± 5	
	Πτυχωμένα**			Σχιστόλιθοι 12 ± 3	Φυλλίτες (7 ± 3)	Σχίστες 7 ± 4
Τύπος		Ομάδα	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ			
			Χονδρή	Μέση	Λεπτή	Πολύ λεπτή
ΠΥΡΙΓΕΝΗ	Πλουτώνια	Ανοικτό- χρωμα	Γρανίτης 32 ± 3 Γρανодиוריτης (29 ± 3)	Διορίτης 25 ± 5		
		Σκοτεινό- χρωμα	Γάββρος 27 ± 3 Νορίτης 20 ± 5	Δολερίτης (16 ± 5)		
	Υποαβυσσικά		Πορφύρης (20 ± 5)		Διαβάσης (15 ± 5)	Περιδοίτης (25 ± 5)
	Ηφαιστειακά	Λάβα		Ρυόλιθος (25 ± 5) Ανδεσίτης 25 ± 5	Δακίτης (25 ± 3) Βασάλτης (25 ± 5)	
		Πυροκλαστικά	Κροκαλοπαγή (19 ± 3)	Ηφ.Λατυποπαγή (19 ± 5)	Τόφφοι (13 ± 5)	

Εικόνα 4.3 Παρουσίαση σταθερών τιμών άρρηκτου βράχου (m_i), Hoek and Marinos (2000)

- $m_i=7$

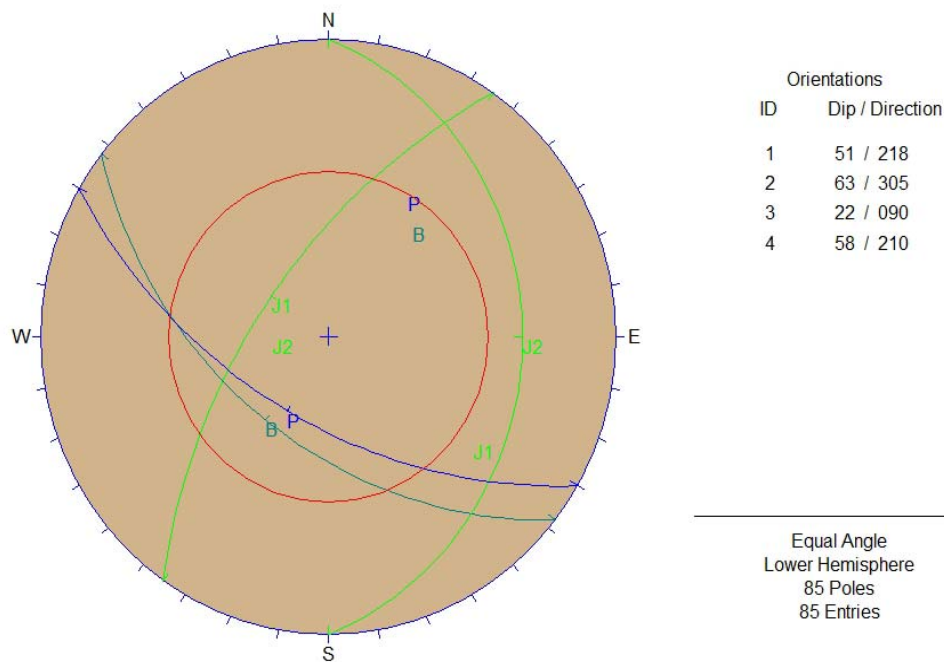


Εικόνα 4.3 Χρήση RocLab

Από χρήση RocLab δίνονται τα αποτελέσματα:

- **c=0.888MPa**
- **φ=35.89°**

Παρακάτω παρατίθεται η εικόνα με το δίκτυο Schimdt, στο οποίο προστέθηκαν σε κοινό στερεοδιάγραμμα οι οικογένειες των ασυνεχειών που διακρίθηκαν, καθώς και το πρανές και ο κύκλος τριβής.



Εικόνα 4.4 Στερεογραφική προβολή δικτύου Schmidt της περιοχής μελέτης. Οι γενικοί του προσανατολισμοί είναι: Πρανές P 58/210, Σχιστότητα B 51/218, Ασυνέχεια J1 63/305, Ασυνέχεια J2 22/090.

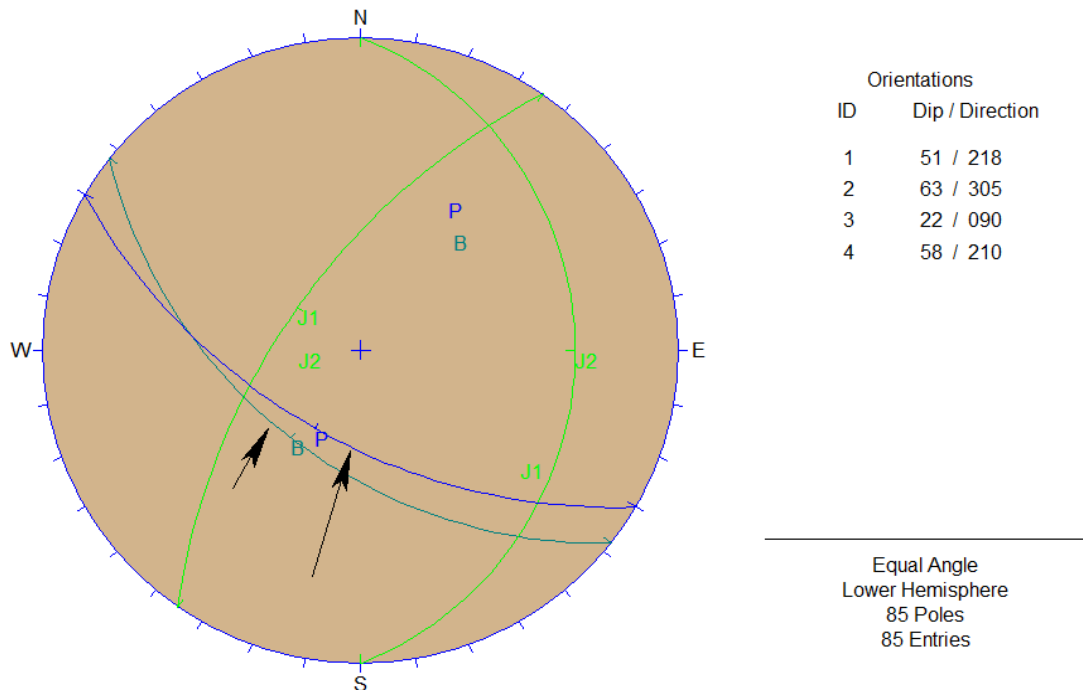
Πιθανές δυνητικές ολισθήσεις

✓ Δυνητικές επίπεδες ολισθήσεις:

Από την παραπάνω εικόνα, η επίπεδη δυνητική ολίσθηση που μπορεί να εκδηλωθεί για το πρανές Π είναι της σχιστότητας B. Αυτό γιατί πληρούνται τα κριτήρια της επίπεδης ολίσθησης τα οποία είναι:

Η διεύθυνση κλίσης της σχιστότητας να είναι σχεδόν παράλληλη με την διεύθυνση κλίσης του πρανούς. Διεύθυνση κλίσης σχιστότητας 218° διεύθυνση κλίσης πρανούς 210° .

Η γωνία κλίσης του πρανούς να είναι μεγαλύτερη από τη γωνία κλίσης της σχιστότητας μεγαλύτερη από τη γωνία τριβής. $\Phi_p > \Phi_a > \Phi_t$ $58 > 51 > 35.89$.

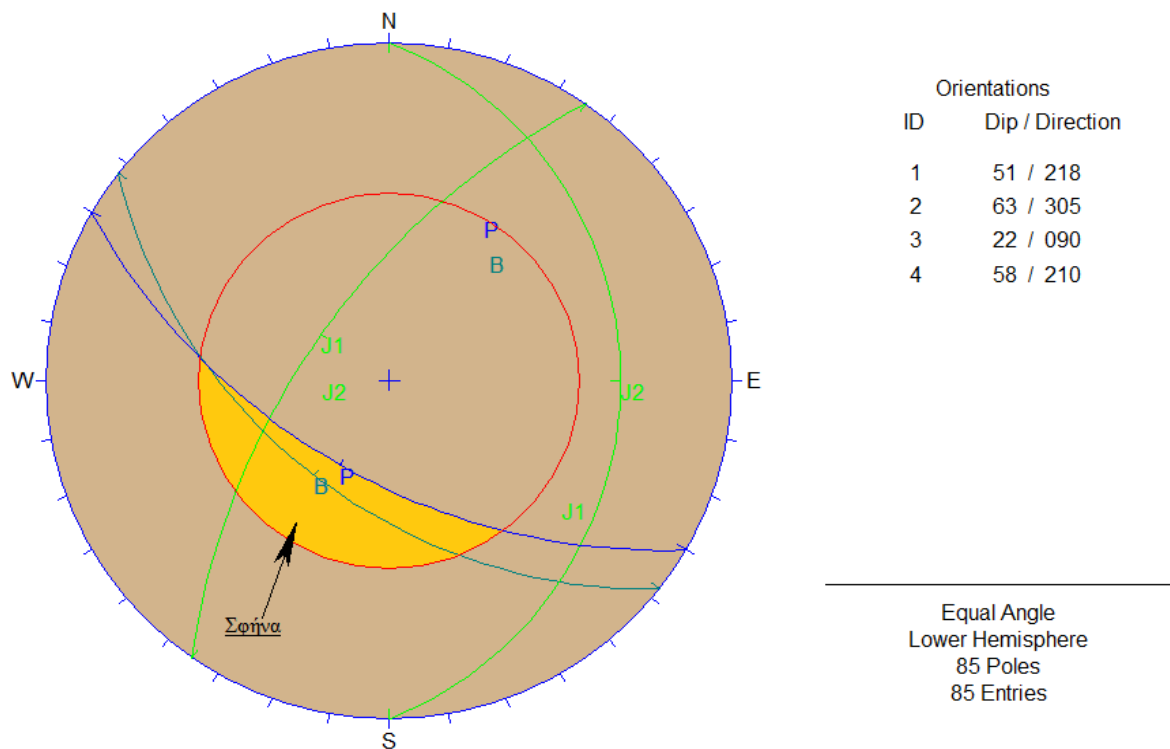


Εικόνα 4.5 Στερεογραφική προβολή δικτύου Schmidt, επίπεδη ολίσθηση μεταξύ P-B

✓ **Δυνητικές σφηνοειδής ολισθήσεις:**

Από την παρατήρηση του δικτύου Schmidt διακρίνεται ότι μπορεί να συμβεί σφηνοειδή ολίσθηση μεταξύ της σχιστότητας B, της ασυνέχειας J1 και του πρανού Π.

Αυτό γιατί ισχύουν τα κριτήρια της σφηνοειδούς ολίσθησης που είναι σχεδόν ίδια με της επίπεδης ολίσθησης με την διαφορά όμως ότι τώρα αναφέρεται για την τομή των ασυνεχειών και όχι απλά για την ασυνέχεια. Κάνοντας *test Hocking* παρατηρείται ότι μεταξύ της διεύθυνσης κλίσης του πρανού και της διεύθυνσης κλίσης της τομής των ασυνεχειών παρατηρείται η στρώση B.



Εικόνα 4.6 Στερεογραφική προβολή δικτύου Schmidt, σφηνοειδής ολίσθηση

✓ Δυνητικές ολισθήσεις από ανατροπή:

Δεν υπάρχουν, καθώς δεν πληρείται το κριτήριο η φορά κλίσης της ασυνέχειας να είναι αντίρροπη από τη φορά κλίσης του πρανούς με σχεδόν παράλληλη διεύθυνση κλίσης και η γωνία κλίσης της ασυνέχειας να είναι μεγαλύτερη από 70° .

4.2.2 Υπολογισμός συντελεστή ασφαλείας

Για τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας για την **επίπεδη ολίσθηση** χρησιμοποιείτε το πρόγραμμα Rockplane της Rockscience.

Στα δεδομένα εισάγεται:

1. Το ύψος του πρανού 13m καθώς και η κλίση του 58° ,
2. Η γωνία κλίσης της σχιστότητας B
3. Η εφελκυστική ρωγμή, η οποία δεν υπάρχει όπως προέκυψε από τη μελέτη στην ύπαιθρο.

4. Η συνοχή του σχιστολίθου είναι $8.9 \text{ (t/m}^2\text{)}$, η γωνία τριβής 35.89° και το ειδικό βάρος $\gamma=2,7 \text{ t/m}^3$.

Για την συμμετοχή του νερού στο πρανές επιλέγονται τρεις διαφορετικές καταστάσεις:

- Πλήρης αποστράγγιση
- Μερική αποστράγγιση
- Καθόλου αποστράγγιση

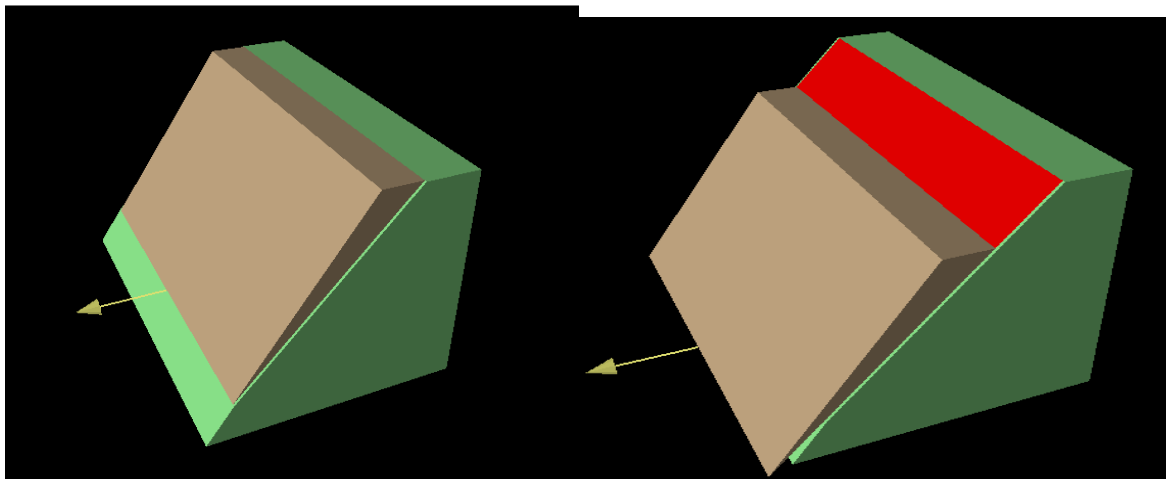
Λαμβάνεται υπόψη και την περίπτωση του σεισμού μόνο όταν υπάρχει μερική και καθόλου αποστράγγιση. Η σεισμική επιτάχυνση που επιλέχτηκε είναι $0,16 \text{ m/s}^2$ σύμφωνα με τον ΝΕ.Α.Κ.



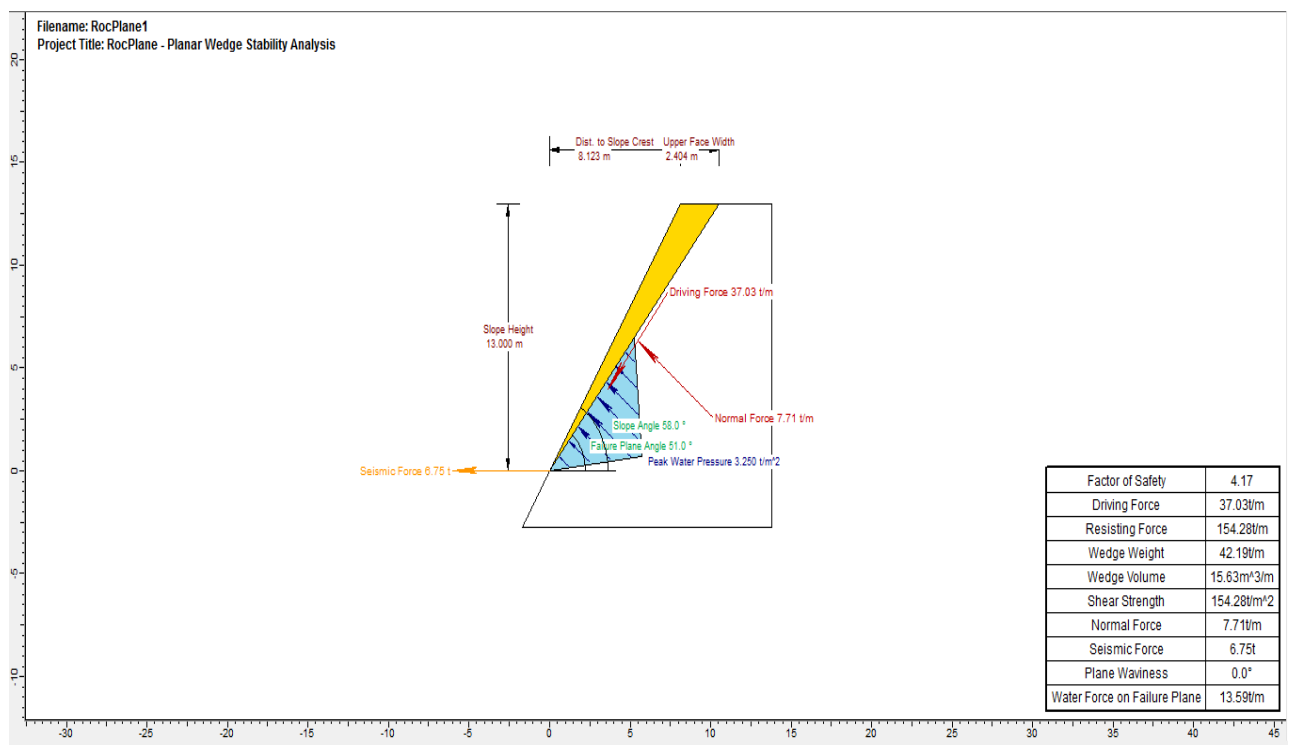
ΕΙΚΟΝΑ 4.5 Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας

Με βάση όλα τα παραπάνω προκύπτουν 3 συντελεστές ασφαλείας για επίπεδη ολίσθηση:

- ✓ **F1=0** (καθόλου αποστράγγιση και σεισμική επιτάχυνση $A=0,16 \text{ m/s}^2$)
- ✓ **F2=4.17** (μερική αποστράγγιση και σεισμική επιτάχυνση $A=0,16 \text{ m/s}^2$)
- ✓ **F3=4.42** (πλήρη αποστράγγιση και σεισμική επιτάχυνση $A=0,16 \text{ m/s}^2$)



Εικόνα 4.6 Τυπική απεικόνιση επίπεδης ολίσθησης



Εικόνα 4.7 Επίπεδη ολίσθηση με μερική (50%) αποστράγγιση ($F=4.17$)

Παρατηρείται ότι στις δύο τελευταίες περιπτώσεις υπάρχει ευστάθεια στο πρανές ($F>1$).

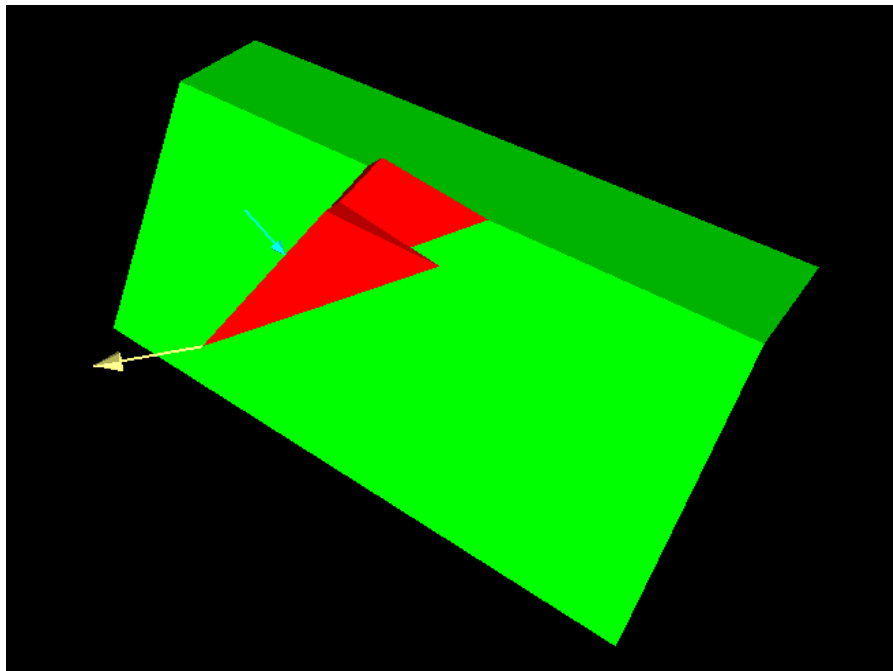
Για τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας για **σφηνοειδή ολίσθηση** χρησιμοποιείται το πρόγραμμα Swedge της Rockscience.

Εκτελείται ομοίως η παραπάνω διαδικασία στην εισαγωγή δεδομένων, με την διαφορά ότι εισάγονται τώρα οι γωνίες κλίσεις και διευθύνσεις κλίσεων της σχιστότητας B και της ασυνέχειας J1, και σαν συνοχή των ασυνεχειών αυτών 0 t/m².

Στην σφηνοειδή ολίσθηση λήφθηκε υπόψη 3 περιπτώσεις συμμετοχής νερού καθώς και η σεισμική επιτάχυνση όπως παραπάνω.

Οι συντελεστές ασφαλείας που προκύπτουν για σφηνοειδή ολίσθηση είναι οι εξής:

- ✓ **F1=0** (καθόλου αποστράγγιση και σεισμική επιτάχυνση $A=0,16 \text{ m/s}^2$)
- ✓ **F2=0.20** (μερική αποστράγγιση και σεισμική επιτάχυνση $A=0,16 \text{ m/s}^2$)
- ✓ **F3=0.43** (πλήρη αποστράγγιση και σεισμική επιτάχυνση $A=0,16 \text{ m/s}^2$)



Εικόνα 4.8 Τυπική απεικόνιση σφηνοειδούς ολίσθησης

Παρατηρείται ότι και στις τρεις περιπτώσεις ο συντελεστής ασφαλείας είναι αρκετά μικρότερος της μονάδας ($F < 1$), το οποίο μεταφράζεται σε αστοχία. Σε αυτό το αποτέλεσμα συμβάλει, όπως αναφέρθηκε, η έντονη σχιστότητα του πετρώματος και η ασυνέχεια J1. Αυτή η αστοχία παρατηρείται και στην ύπαιθρο στο σημείο του πρανούς.

Παρακάτω δίνεται ένας πίνακας με βάση τους αποδεκτούς συντελεστές ασφαλείας.

Πίνακας 4.1 Αποδεκτοί συντελεστές ασφαλείας βραχωδών πρανών.

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ - ΠΡΑΝΗ ΜΕΤΑΞΥ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΒΑΘΜΙΔΩΝ				
α/α Συνδυασμού	1	2	3	4
Σεισμός	N	N	O	O
Ανώτατη στάθμη υπόγειου ορίζοντα 50-ετίας	N	O	N	O
Απαιτούμενος συντελεστής ασφαλείας	-	-	1,1	1,2

όπου :

Σεισμός
N Σεισμός σχεδιασμού σύμφωνα με το ΝΕΑΚ, παραγρ. 5.4
O Όχι σεισμός

Ανώτατη στάθμη υπογείου ορίζοντα 50-ετίας
N Προβλεπόμενη ανώτατη στάθμη υπόγειου ορίζοντα 50-ετίας
O Προβλεπόμενη ετήσια ανώτατη στάθμη υπόγειου ορίζοντα

Σύνοψη - Συμπεράσματα

Ως επίλογο, θα αναφερθούν ορισμένα βασικά στοιχεία της παρούσας εργασίας και στη συνέχεια θα προβούμε στην εξαγωγή των συμπερασμάτων.

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν η μελέτη ευστάθειας του βραχώδους πρανούς στην περιοχή του Ρετζικίου – Πεύκων στο σημείο της στροφής Φιλύρου.

Για την εκπόνηση της εργασίας ακολουθήθηκε μια σειρά βημάτων:

1. Αναφορά από θεωρητική άποψη, σε ότι έχει σχέση με ολισθήσεις - είδη ολισθήσεων βραχώδων πρανών.
2. Περιγραφή αναλύσεων ευστάθειας πρανών, χαρακτηριστικά – αστοχία βραχώμαζας καθώς και γεωτεχνικές ιδιότητες αυτής.
3. Αναφορά και περιγραφή μέτρων προστασίας σε βραχώδη πρανή, μέτρα αντιστήριξης.
4. Γεωγραφική θέση της περιοχής του Ρετζικίου καθώς και ανάλυση της γεωλογίας της περιοχής.
5. Έλεγχος ευστάθειας βραχώδους πρανούς στην περιοχή του Ρετζικίου, με τη χρήση προγραμμάτων για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Για την κατανόηση της περιοχής ενδιαφέροντος πραγματοποιήθηκαν αρκετές επισκέψεις στο ύπαιθρο και κυρίως στην περιοχή της στροφής Φιλύρου όπου βρίσκεται το πρανές, το οποίο και εξετάστηκε.

Στη διάρκεια αυτών των επισκέψεων πάρθηκαν συμπεράσματα αρχικά για το πρανές (ύψος) και στη συνέχεια για τη βραχώμαζα του πρανούς, όπως ο Δείκτης Γεωλογικής Αντοχής GSI, η αποσάθρωσή του, ο τεκτονισμός του, το υδρογεωλογικό καθεστώς του, ο αριθμός των ασυνεχειών που παρατηρούνται καθώς και η λήψη μετρήσεων (γωνία κλίσης, διεύθυνση κλίσης) του πρανούς και των ασυνεχειών.

Με τη βοήθεια των προγραμμάτων προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Κατά την εξέταση της επίπεδης ολίσθησης οι συντελεστές ασφαλείας που προέκυψαν, ανάλογα με την αποστράγγιση και τη σεισμικότητα, είναι:

F1=0 (καθόλου αποστράγγιση και σεισμική επιτάχυνση $A=0,16 \text{ m/s}^2$)

F2=4.16 (μερική αποστράγγιση και σεισμική επιτάχυνση $A=0,16 \text{ m/s}^2$)

F3=4.42 (πλήρη αποστράγγιση και σεισμική επιτάχυνση $A=0,16 \text{ m/s}^2$)

- Κατά την εξέταση της σφηνοειδούς ολίσθησης οι συντελεστές ασφαλείας που προέκυψαν, ανάλογα με την αποστράγγιση και τη σεισμικότητα, είναι:

F1=0 (καθόλου αποστράγγιση και σεισμική επιτάχυνση $A=0,16 \text{ m/s}^2$)

F2=0.20 (μερική αποστράγγιση και σεισμική επιτάχυνση $A=0,16 \text{ m/s}^2$)

F3=0.43 (πλήρη αποστράγγιση και σεισμική επιτάχυνση $A=0,16 \text{ m/s}^2$)

Παρατηρείται πως οι συντελεστές ασφαλείας κατά την επίπεδη ολίσθηση είναι κατά πολύ μεγαλύτεροι του ένα ($F \gg 1$) σε σχέση με αυτούς της σφηνοειδούς ολίσθησης οι οποίοι είναι μικρότεροι από το ένα ($F < 1$) και αστοχούν και στις τρεις περιπτώσεις αποστράγγισης. Αυτό το συμπέρασμα επιβεβαιώνεται και στην ύπαιθρο στο σημείο του πρανούς όπου και παρατηρούνται μικρά τεμάχια – blocks τα οποία αποκολλήθηκαν από την υπόλοιπη βραχώμαζα, λόγω της συμβολής της σχιστότητας B και της ασυνέχειας J1 καθώς και της αποσάθρωσης που λαμβάνει χώρα σε όλο το πρανές.

Για την περίπτωση της σφηνοειδούς ολίσθησης, όπου σημειώνεται αστοχία με $F < 1$, θα πρέπει να ληφθούν μέτρα προστασίας τα οποία θα συμβάλλουν στην ασφάλεια του δρόμου.



Εικόνα 4.9 Αποκολλήσεις μικρών τεμαχών – blocks στο πρανές

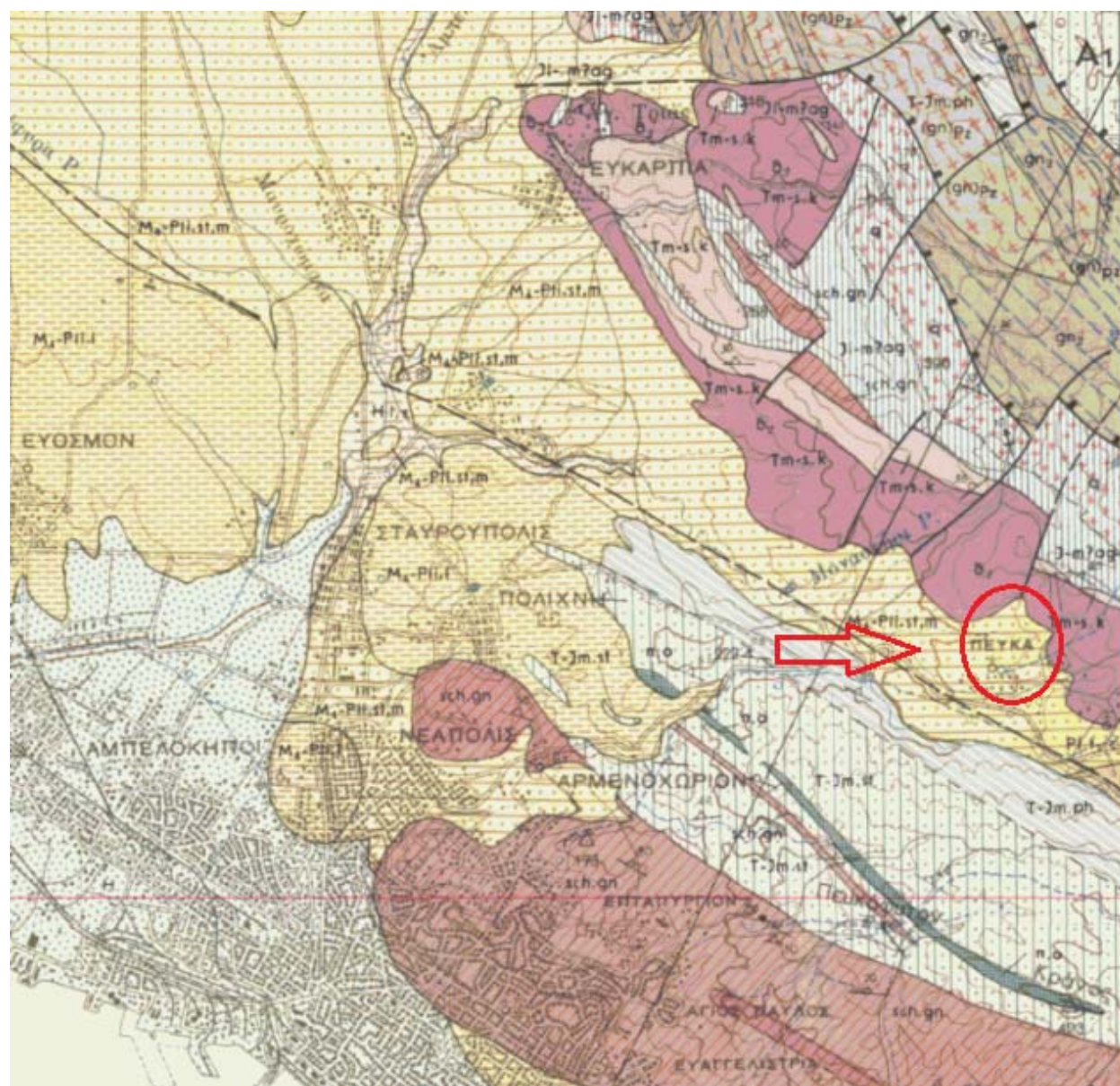
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, λόγω αποκόλλησης μικρών blocks στο πρανές, θα υπήρχε η δυνατότητα δημιουργίας βραχοπαγίδας η οποία θα εξασφαλίσει την ασφάλεια του δρόμου “παγιδεύοντας” αυτές τις μικρές αποκολλήσεις καθώς και η τοποθέτηση πλέγματος κατά μήκος και ύψος του πρανούς λειτουργώντας παθητικά στην σφηνοειδή αστοχία η οποία μέσω της μελέτης δίνει μικρούς συντελεστές ασφαλείας.

Αν και η παρουσία νερού, όπως προέκυψε από την υπαίθρια μελέτη – παρατήρηση, περιορίζεται μόνο στα κατακρημνίσματα, θα ήταν δυνατό, με προληπτικό όφελος, να ληφθούν βελτιωτικά μέτρα, τα οποία θα ήταν κυρίως μέτρα εκτόνωσης του νερού. Η πίεση των πόρων του νερού είναι αυτή που μειώνει δραστικά τον συντελεστή ασφαλείας και οδηγεί σε αστοχία, όπως φαίνεται και στην περίπτωση της καθόλου αποστράγγισης. Η απομάκρυνση του επομένως, αποτελεί σημαντικό μέλημα. Η χρήση αποστραγγιστικών οπών στο πρανές συμβάλει στην διαφυγή του νερού, γεγονός που θα εκτονώσει τις πιέσεις του νερού και θα μειώσει σημαντικά την πιθανότητα αστοχίας.



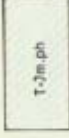
Εικόνα 4.10 Αποκόλληση τεμάχους – block στο πρανές, διακρίνεται με πορτοκαλί χρώμα (οξείδια Fe) η συμμετοχή της αποσάθρωσης στην αστοχία.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



Εικόνα 1: Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη της περιοχής (ΙΓΜΕ, Φυλλο Θεσσαλονίκης, κλίμακας 1:50.000).

Σε τρία έρυθρων άργιλων : έρυθρές έως κερμαύχρωμες , λιωδείς άργιλοι, με μαρμαρυγία και άσβεστικά συγκρίματα. Ο F. Stephanovic (1962) βρήκε BA τού χωριού Θέρμη, θραύσματα όστών μαστοφόρων που άνηκουν στην Πικερμική πανίδα :		Red clay series : red to brick red, silty clays, with mica and calcareous concretionary bodies. F. Stephanovic (1962) found NW of Thermi village, fragments of Mammal bones belonging to the Pliocene fauna :
<i>Hippurion mediterraneum</i>, <i>Mastodon</i> sp. and <i>Gazella</i> cf. <i>deperditi</i> Ο Γ. Μαρίνος (1964) παραδέχεται, βάσει προσδιορισμών Όστρεοκόβδων από τόν Δρ. G. Lütke , ότι οι παραπάνω σχηματισμοί άνήκουν στο Άνω-τερο Πλειόκαινο (ώση Άστίνου). ΗS. Gillet (στον O. Monod, 1965) βάσει των απολιθωμάτων που βρέθηκαν :	<i>Hippurion mediterraneum</i>, <i>Mastodon</i> sp. and <i>Gazella</i> cf. <i>deperditi</i>	G. Marinos (1964) based on the determination of Ostrocods by Dr. G. Lütke accepts that the above formations belong to Upper Pliocene (Asian facies). S. Gillet (in O. Monod, 1965) based on the found fossils :
<i>Paralacina abichi</i> (ANDRUS), <i>Parvinemus wilhelmii</i> (BRZ) and <i>Dreissensiliidae</i> δέχεται ότι πρόκειται για σχηματισμούς τού Κάτω Ποντίου. Πρέπει να σημειωθεί, ότι γιό τó διαχωρισμό των παραπάνω πλειοκαινικών σχηματισμών λήφθηκε υπόψη ή στρωματογραφική διαίρεση τού φύλλου α' Έσπανωμήν.	<i>Paralacina abichi</i> (ANDRUS), <i>Parvinemus wilhelmii</i> (BRZ) and <i>Dreissensiliidae</i>	accepts that the age of the above formations is Lower Pontian. It must be mentioned that for the separation of the above Pliocene formations it was taken into consideration the stratigraphy of the "Epanomi" sheet.
ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΑΙΟΝΙΑΣ ΑΝΩΤΕΡΟ ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ — ΚΑΤΩΤΕΡΟ ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ :	PEONIA UNIT	UPPER JURASSIC — LOWER CRETACEOUS ?
Φυλλιτικοί σχιστόλιθοι : μαύροι έως γαφύρωμοι, άμμοζοι, άργιλοκοί σχιστόλιθοι και τεφροπράσινοι, άσβεστικοί σχιστόλιθοι, με παραβόλές μαύρων έως σκουρότεφων, λεπτοστρωμένων κλαστικών άσβεστολίθων και μικροκροκαλοπαγών, με θραύσματα Κοράλλινων ήλικίας Άνω-τερου Ίουραστικού (J. Mercier, 1966).		Phyllitic schists : black to grey-black, sandy shales, and grey-greenish calc-schists with intercalations of black to dark grey, thin-bedded, detritic limestone and microconglomerates, with fragments of Corals of Upper Jurassic age (J. Mercier, 1966).
ΑΝΩΤΕΡΟ ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ (ΤΙΘΟΝΙΟ)	UPPER JURASSIC (TITHONIAN)	UPPER JURASSIC (TITHONIAN)
Κροκαλοπαγή: (βόρεια της Νεοχωροβάς), άδοκονκα με κροκάλες από καστανότοφρο, κλαστικό, άσβεστόλιθο και από καστανόκίτρινο, έρω-λογική άσβεστόλιθο. Φακοί και στρώματα από μαύρους έως σκουρόκί-κίτρινους ιφολογενείς άσβεστόλιθους και συγγενετικά, ιφολογενή λατικο-πιγή :		Conglomerate:(north of Neochorouda), coarse-grained with pebbles of brown-grey, detrital limestone and dark blue reef limestone. Lenses and layers of black to dark blue reef limestone and syngenetic reef breccia :
Nerineae, <i>Cladocarpus</i> sp.	Nerineae, <i>Cladocarpus</i> sp.	<i>Pseudocyclonema</i> sp. (J. Mercier, 1966)
ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΣΠΡΗΣ ΒΡΥΣΗΣ - ΧΟΡΤΙΑΤΗ ΚΑΤΩΤΕΡΟ ΚΑΙ ΜΕΣΟ ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ ()	ASPRI VRISSI - CHORTIATIS UNIT	LOWER AND MIDDLE JURASSIC (?)
Άμμοχοι άργιλοκοί σχιστόλιθοι : λιωδοπράσινοι, λεπτόκοκοι, λεπτο-στρωματώδεις ψαμίτες και βαθύκοκοι άργιλοκοί σχιστόλιθοι, με έντονη στρώση από μαύρους, λεπτοστρωματώδεις, παχείς όριζόντιες πυριτιλι-θων και φακούς και στρώματα σιμικτωμένου και χλωριτωμένου δολομίτη. Προς τα ΝΑ ή δυναμομεταμόρφωση αύξεται. Η σειρά είναι μεταμορ-φωμένη σε χλωριτικό χαλαζίτη, επιδοτικό χαλαζίτη, χαλαζακο-στερικ-τικό σχιστόλιθο, μετα-άροκόζες. Χλωριτικούς σχιστόλιθους, καστανόρω-σινους φύλλιτες, μαύρα στρώματα κροκαλλίου και οφθαλμιώματα και χλω-ριτωμένα βασικά έκρηξιγενή πετρώματα.		Sandy shales : olive green, fine-grained, thin-bedded sandstones and dark red shales, with intercalations of black, thin-bedded, thick chert horizons, and lenses and layers of sericitized and chloritized dolerite. Dynamometamorphism increases towards SE. The sequence is metamorphosed into chlorite quartzite, epidote quartzite, quartz-sericite schists, meta-arkoses, chlorite schists, brownish-green phyllites, black chert layers and unaltered and chloritized basic intrusive rocks.

ΜΕΣΟ ΚΑΙ ΑΝΩΤΕΡΟ ΤΡΙΑΔΙΚΟ		MIDDLE AND UPPER TRIASSIC	
α. Ώβεστούλιθοι : μαύροι, μικροί, λεπτοστρωματώδεις με άνω-κρυσταλλωμένα υπολείμματα τρηματοφόρων:			a. Limestone : black, thin-bedded, micritic, with recrystallized remnants of Foraminifera:
β. Κρυσταλλικοί άβεστούλιθοι : γυαζωποί ή άσπροι, συμπαγείς ή παχυστρωματώδεις που μεταβαίνουν προς ΝΑ σε μάραθα, τερροίτες, λεπτοστρωματώδεις άβεστούλιθους και κίτρινους, πλατυκονδυλώδεις (flaser) άβεστούλιθους.			b. Crystalline limestone : bluish or white, massive or thick-bedded, grading towards SE, into marble, grey, thin-bedded limestone and yellow flaser limestone.
Ηλικία: Άνωτερο Τριαδικό, πιθανό Ρατιό.			Age: Upper Triassic, probably Rhatian.
ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΕΛΙΣΣΟΧΩΡΙΟΥ - ΧΟΛΟΜΩΝΤΑ (ΤΡΙΑΔΙΚΟ-ΜΕΣΟ ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ)		MELISSOCHORI - CHOLOMON UNIT (TRIASSIC TO MIDDLE JURASSIC)	
Όμιδα Σβούλας			Svoulas group
Ώβεστούλικός φλόσχης: έναλλαξέ κλαστικών ή ψαμμιτικών άβεστούλιθων ή κστανοτόφων, σιδηροχρω άβεστούλικών ψαμμιτών, με κίτρινους έως μπινούς άργιλικούς σχιστούλιθους, περιθροβιλλανταόλιθους, από άνωκτώτερο, στρωματώδη, συμπαγή, καθαρό άβεστούλιθο, λεπτοσπαγή άβεστούλιθο, και θραυστά άβεστούλιθων με Φυκή και πυρίτιδες. Με αύξανόμενη μεταμόρφωση, η σειρά προς τα ΝΑ μεταπίπτει σε μάραθα φύλλιτες και άβεστούλικούς χαλαζίτες. Οι ολισθόλιθοι περιέχουν πανίδα τρηματοφόρων και Φυκών, ήλικίας Μέσου - Άνωτερου Τριαδικού (φύλλο «Κυλίσ»). Φυλλίτες: μαύροι, με σκοραδικές, παραβολές ψαμμιτικών άβεστούλιθων ή άβεστούλικών ψαμμιτών.			Phyllites: black, with occasional intercalations of psammitic limestone or calcareous sandstone.
ΜΕΤΑΪΣΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗ ΜΑΖΑ ΠΑΛΑΙΟΖΩΙΚΟ (ή παλαιότερο)		METASEDIMENTARY ROCKS SERBO-MACEDONIAN MASSIF PALEOZOIC (or older)	
Σχηματισμός Βερτίσκου			Vertiskos formation
Διμαρμαρυγακόι γνεύσιοι, διμαρμαρυγακόι και μοσχοδιτικοί σιστούλιθοι και άμφιόλιθες: συχνά πυγματώδη, τοπική άπομεταμόρφωση σε χλωριτικούς σχιστούλιθους με υπολείμματα πλαγιόκλαστων. Παρίστανται κοίτες και φλέβες ούραλιτιωμένου δολομίτη και άποφωστίτη γαββρού (B ₂) είναι συχνές. Μικροί φακοί σερπεντινίτη μη διαχωρισμένοι.			Two-mica gneiss, two-mica and muscovite schists and amphibolites: pegmatoids are frequent; locally diaphoritic alteration into chlorite schists with relict plagioclase. Sills and dykes of uraltized dolerite and gabbro (B ₂) apophyses are common. Small lenses of serpentinite have not been separated.

Πολλές χαλσις: πολύ άφθονος, που διατέμνουν τα μεταλλήματα κατά τόπους άποκλών το 50 % των πετρωμάτων.	ΕΚΡΗΓΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΧΩΡΙ ΣΧΙΣΤΟΤΗΤΑ ΑΝΩΤΕΡΟ ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ Γάββρος: τέλειος ολιγοκρυστός και συστηματομενόμενος πυρήνωνος βελονοειδούς σε βιοτίτη και ακτινοειδή κροκίτη, επιδορίτη, ελατιοκλάστη, βιοτίτη, ελατοκλάστη και ελατοειδή ορυκτά. Επίσης υπάρχουν λεπτοκρυσταλλοειδείς και λεπτοκρυσταλλοειδείς ορυκτά, όπως γάββρος χωρίς όλη τη σχιστότητα. Ηλικία: παλαιότερη των έπιδοκρινικών του Τιβανίου.
Quartz veins: very abundant, intersecting the metasediments; forming, in places, more than 50 % of the rocks.	IGNEOUS ROCKS NON SCHISTOSE UPPER JURASSIC Gabbro: coarse-grained, completely unaltered and saussuritized (diopside pyroxene altered into biotite and actinolite hornblende, plagioclase, biotite, epidote and accessories). Also fine-grained dolerites and strongly altered breccia-like gabbros without visible schistosity. Age: older than the transgressive Tithonian.
Leucocratic albite-sericite microcline gneiss: (albite, microcline, muscovite and accessories) with gneissic or foliar structure, intercalated within the metasediments parallel to a plane.	METAMORPHIC AND SCHISTOSE MESOZOIC Chortaliis magmatic suite Leucocratic albite-sericite microcline gneiss: (albite, microcline, muscovite and accessories) with gneissic or foliar structure, intercalated within the metasediments parallel to a plane. Epigneiss: light brown or greenish, well-bedded, homogeneous, with gneissic or foliar structure and contorted green chlorite layers, actinolite-epidote-chlorite epigneiss, sericite-chlorite epigneiss, hornblende-biotite-muscovite epigneiss, muscovite-chlorite-epidote epigneiss (relics plagioclase transformed into albite, and newly formed chlorite, sericite, actinolite). Greenschists: dark green and brownish, fine-grained, sericite-chlorite schists, chlorite-muscovite-biotite schists, muscovite -chlorite-almadine schists, muscovite-chlorite-epidote-almadine schists, epidote- and actinolite-chlorite schists and fine-grained chlorite-epidote-sericite-albite gneiss. Age: younger than Upper Triassic and older than the granulite of Sithonia type.
Plagioclase-microcline gneiss: blastogramic (plagioclase, perthitic K-feldspar, microcline, ± muscovite and accessories).	Chortaliis magmatic series: E of Thessaloniki; it is unaltered, saussuritized and partly altered into talc-schists. Ultramafic rocks: completely serpentinized, with talc layers and veins of chrysotile asbestos. Age: older than the Chortaliis magmatic suite.
Chortaliis magmatic series: E of Thessaloniki; it is unaltered, saussuritized and partly altered into talc-schists.	Chortaliis magmatic series: E of Thessaloniki; it is unaltered, saussuritized and partly altered into talc-schists.
Ultramafic rocks: completely serpentinized, with talc layers and veins of chrysotile asbestos.	Ultramafic rocks: completely serpentinized, with talc layers and veins of chrysotile asbestos.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Δημόπουλος Γ. (2008), Τεχνική Γεωλογία
- Β. Χρηστάρας, Β. Μαρίνος Τεχνική Γεωλογία (www.geo.auth.gr)
- Κούκης, Σαμπατάκης, (2007) Γεωλογία Τεχνικών έργων
- Μουντράκης Δημοσθένης, (2010) Γεωλογία και Γεωτεχνική εξέλιξη της Ελλάδας
- Κατσικά Πηνελόπη, (2013) ευστάθεια υψηλών πρανών σε ασβεστολιθική βραχώμαζα εφαρμογή σε περιοχές υψηλού κινδύνου της Ε.Ο. Πατρών - Τριπόλεως.
- Παυλίδης Κωνσταντίνος, (2009) Μεταπτυχιακή εργασία ανάλυση ευστάθειας πρανών στο τμήμα Ρεντίνας Στρυμώνα της Εγνατίας Οδου.
- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ηλεκτρονικές σημειώσεις, Εργαστήριο τεχνικής γεωλογίας και υδρογεωλογίας, Τεχνική Γεωλογία 1
- Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Διατμητική αντοχή ασυνέχειας – βραχώμαζας, Κινηματική αστοχία πρανών
- Μαρίνος Β. Μαρίνος Π. Hoek E. (2004), Γεωλογικός δείκτης αντοχής GSI. Εφαρμογή, συστάσεις, περιορισμοί και πεδία μεταβολών ανάλογα με τον τύπο του πετρώματος.
- Μπίρος Δημήτριος (2012, ΑΠΘ), Τεχνικογεωλογικές παράμετροι και αναλύσεις ευστάθειας βραχωδών πρανών σε περιβάλλον μολάσας.
- Ζερβοπούλου Άννα, (2010, ΑΠΘ), Νεοτεκτονικά ρήγματα της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης σε σχέση με τα εδάφη θεμελίωσης.
- Κότση Ιωάννα, (2008, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο), Διερεύνηση του φαινομένου της διάβρωσης των ακτών. Εφαρμογή σε ακτή της Ρόδου.
- Β. Μαρίνος, Γεωλογικές – περιβαλλοντικές μελέτες τεχνικών έργων (ΑΠΘ), Ηλεκτρονικές σημειώσεις.
- Χ. Σαρόγλου, Π. Μαρίνος, Γ. Τσιαμπάος (2004, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο), Γεωλογικοί παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή του πετρώματος. Η επίδραση της ανισοτροπίας.

