Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ, ΙΣΤΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΑΡΗΓΙΑΝΝΙΔΗΣ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΑΞΟΝΑ ΜΕΤΣΟΒΟ - ΑΝΗΛΙΟ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΙΟΥ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2024

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΙΟΥ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΑΡΗΓΙΑΝΝΙΔΗΣ
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5753

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΑΞΟΝΑ ΜΕΤΣΟΒΟ - ΑΝΗΛΙΟ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, Τομέα Τεκτονικής, Ιστορικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας

© Γεώργιος Σαρηγιαννίδης, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Γεωφυσικής, 2023
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΑΞΟΝΑ ΜΕΤΣΟΒΟ – ΑΝΗΛΙΟ – *Διπλωματική Εργασία*

© Georgios Sarigiannidis, School of Geology, Dept. of Structural, Historical & Applied Geology 2023
All rights reserved.
EVALUATION OF ROCK SLOPE STABILITY ALONG THE METSOVO – ANILIO ROAD – *Bachelor Thesis*

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

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

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

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική με τίτλο «Αξιολόγηση ευστάθειας βραχωδών πρανών κατά μήκος του οδικού άξονα Μέτσοβο – Ανήλιο» εκπονήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Γεωλογίας στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης του έτους 2023 – 2024.

Το θέμα της παρούσας διπλωματικής μου έδωσε την δυνατότητα να αναπτύξω τις γνώσεις μου στο κομμάτι της τεχνικής γεωλογίας. Τόσο για την ανάθεση της διπλωματικής όσο και για την καθοδήγηση, τον χρόνο που αφιέρωσε και την συνεχή υποστήριξη κατά την συγγραφή της, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αναπληρωτή καθηγητή Γεώργιο Παπαθανασίου.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που σε όλο αυτό το όμορφο ταξίδι που αποτέλεσε η φοίτηση μου στο τμήμα Γεωλογίας, με στήριξαν έμπρακτα και μου πρόσφεραν όλα τα εφόδια που θα χρειαστώ στην συνέχεια της ζωής μου.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Πίνακας περιεχομένων

1 Εισαγωγή 8
1.1 Σκοπός της διπλωματικής 8
2 Κατολισθήσεις – Βραχοκαταπτώσεις 9
2.1 Εισαγωγή 9
2.2 Κατολισθήσεις στον ελληνικό χώρο 11
2.3 Τύποι αστοχιών σε βραχώδη πρανή 15
2.3.1 Ανάλυση ευστάθειας βραχωδών πρανών 17
2.3.1.1 Επίπεδη ολίσθηση 18
2.3.1.2 Σφηνοειδής ολίσθηση 24
2.4 Μέτρα προστασίας βραχωδών πρανών 29
2.4.1 Ενεργητικά μέτρα 31
2.4.1.1 Μέτρα ενίσχυσης 31
2.4.1.2 Αποστράγγιση 34
2.4.1.3 Μέτρα εκσκαφής 34
2.4.2 Παθητικά μέτρα 35
2.4.2.1 Προληπτικά μέτρα 35
2.5 Μελέτη ευστάθειας με τη χρήση σύγχρονων τεχνολογιών UAV 40
3 Περιοχή μελέτης 41
3.1 Γεωλογία – Γεωμορφολογία 41
3.2 Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών στην περιοχή μελέτης 47
3.2.1 Σύστημα GSI 47
3.3 Εργασίες πεδίου 50
3.4 Ανάλυση και επεξεργασία μετρήσεων με τις κλασικές μεθόδους 58
3.4.1 Κινηματική ανάλυση 58
3.5 Προτεινόμενα μέτρα προστασίας 65

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

4 Συμπεράσματα 66

5 Βιβλιογραφία 68

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

1 Εισαγωγή

1.1 Σκοπός της διπλωματικής

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στην μελέτη ευστάθειας βραχώδους πρανούς κατά μήκος της επαρχιακής οδού Μετσόβου – Ανηλίου. Τα κατολισθητικά φαινόμενα στον ελληνικό χώρο αποτελούν μείζον πρόβλημα ως προς την οδική ασφάλεια. Συγκεκριμένα στον χώρο της Πίνδου όπου και εντοπίζεται η θέση μελέτης, συμβαίνουν οι περισσότερες βραχοκαταπτώσεις στον ελληνικό χώρο (Koukis 2005), πιθανότατα λόγω των ιδιαίτερων γεωλογικών και τοπογραφικών συνθηκών. Το πρανές λιθολογικά αποτελείται από φλύσχη, γεω-υλικό το οποίο είναι γνωστό, ότι συνηθίζει να προκαλεί δυσκολίες στον σχεδιασμό τεχνικών έργων. Μέσα από εργασίες πεδίου, καθώς και την χρήση εξειδικευμένων λογισμικών, θα ελεγχθεί το πρανές ως προς την ευστάθεια του, θα υπολογιστεί ο τύπος των αστοχιών, σε περίπτωση που μπορούν να προκύψουν και μετά την διαστασιολόγηση, θα προταθούν μέτρα ασφαλείας ώστε να αντιμετωπιστούν οι εν δυνάμει αστοχίες. Η διπλωματική αποτελείται από 5 κύριες ενότητες. Στην 1^{η} ενότητα γίνεται η εισαγωγή στο θέμα που πραγματεύεται η εργασία. Κατά την 2^{η} αναλύονται οι κατολισθήσεις και βραχοκαταπτώσεις, πως επηρεάζουν τον ελληνικό χώρο και τους μηχανισμούς με τους οποίους ενεργοποιούνται. Επίσης γίνεται αναφορά σε μέτρα προστασίας, καθώς και νέες τεχνολογίες ανίχνευσης και μελέτης του φαινομένου. Το 3^{ο} κεφάλαιο εστιάζει στην περιοχή που μελετήθηκε αναλύοντας μεταξύ άλλων την γεωλογία – γεωμορφολογία του τόπου, τις εργασίες πεδίου που πραγματοποιήθηκαν αλλά και την χρήση των δεδομένων πεδίου για την ανάλυση του προβλήματος και πρόταση λύσεων. Το 4^{ο} κεφάλαιο αναφέρεται στα συμπεράσματα, συνοψίζοντας την μελέτη που πραγματοποιήθηκε για την εκπόνηση της διπλωματικής. Το κεφάλαιο 5^{ο} αποτελεί την βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε κατά την συγγραφή της διπλωματικής.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

2 Κατολισθήσεις – Βραχοκαταπτώσεις

2.1 Εισαγωγή

Ο όρος «κατολίσθηση» προέρχεται από την αγγλική λέξη «Landslide» και χαρακτηρίζεται ως οποιαδήποτε ολίσθηση εδαφικού υλικού. Με τον όρο «κατολίσθηση» περιγράφονται επιπλέον οι πτώσεις, ανατροπές και ροές. Ακόμη το περιβάλλον γένεσης του φαινομένου μπορεί να διαφέρει σε κάθε περίπτωση. Κατολισθήσεις συμβαίνουν στην ξηρά, θάλασσα, λίμνες και ταμιευτήρες (Κούκης & Σαμπατακάκης 2022). Διάφοροι επιστήμονες προσπάθησαν να ορίσουν τον όρο «κατολίσθηση» όπως:

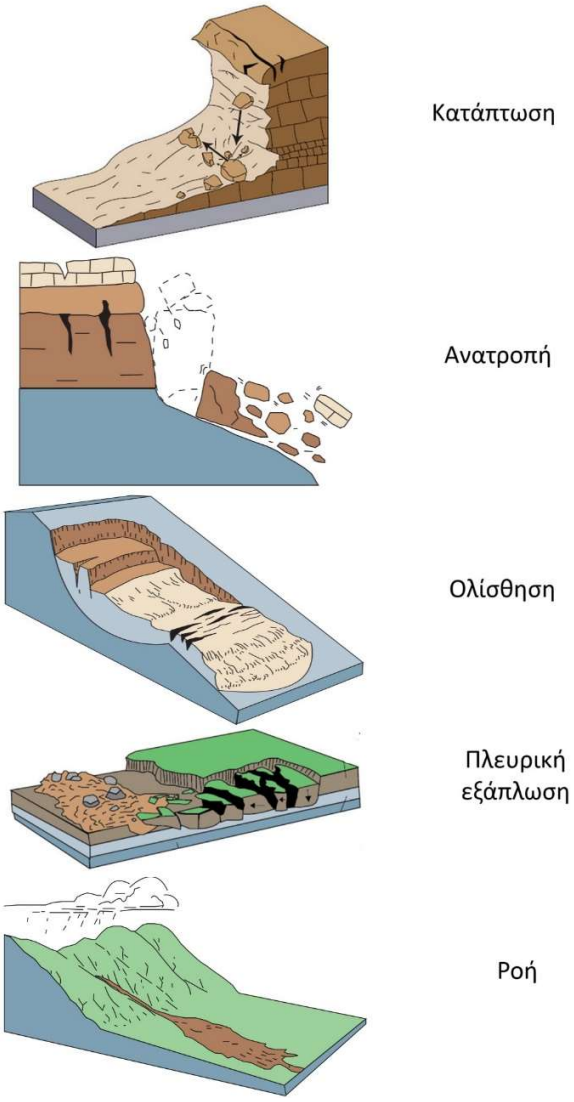
- Ο Terzaghi (1950) ο οποίος όρισε την κατολίσθηση ως «μια γρήγορη κίνηση μάζας πετρώματος, υπολειμματικού εδάφους ή ιζήματος ενός πρανούς, της οποίας το κέντρο βάρους μετακινείται προς τα κάτω και προς τα έξω».
- Οι Zaruba και Mencl (1969) που όρισαν την κατολίσθηση ως «μία γρήγορα κίνηση πετρωμάτων που οφείλεται στην ολίσθηση ενός τμήματος πρανούς που διαχωρίζεται από το υπόλοιπο σταθερό τμήμα με μία καλά καθορισμένη επιφάνεια».
- Ο Varnes (1978), του οποίου η ταξινόμηση χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα, αντικαθιστά τον όρο «κατολίσθηση» με τον όρο «μετακίνηση μαζών», περιγράφοντας με αυτόν τον τρόπο κάθε μετακίνηση τμήματος πρανούς, που μπορεί να οφείλεται σε ολίσθηση, κατάπτωση, ανατροπή, ροή και πλευρική εξάπλωση (Σχ.2.1).

Ο Varnes ανέπτυξε ένα σύστημα ταξινόμησης κατολισθήσεων που εμφανίζονται σε πρανή. Η ταξινόμηση βασίζεται σε 2 βασικά κριτήρια, (α) τον τύπο της μετακίνησης και (β) το είδος του μετακινούμενου υλικού. Ανάλογα με τον τύπο της μετακίνησης η κατολίσθηση κατηγοριοποιείται ως: κατάπτωση, ανατροπή, ολίσθηση, πλευρική εξάπλωση, ροή, ή σύνθετη (συνδυασμός των παραπάνω). Ανάλογα το είδος του μετακινούμενου υλικού, η κατολίσθηση μπορεί να εκδηλωθεί σε, (α) βραχώδες υπόβαθρο και (β) εδαφικούς σχηματισμούς, οι οποίοι με την σειρά τους διακρίνονται σε κορήματα και γαίες (Πινακας 2.1). Η

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

ταξινόμηση κατά Varnes (1978) είναι αναγνωρισμένη και χρησιμοποιείται διεθνώς, ενώ παράλληλα τροποποιείτε και ενημερώνεται με νέα δεδομένα (Κούκης & Σαμπατακάκης 2022).



Σχ.2.1. Τύποι μετακίνησης πρανών κατά Varnes (Highland and Bobrowsky 2008).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

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

Πινακας 2.1. Ταξινόμηση μετακίνησης πρανών κατά Varnes (Κούκης & Σαμπατακάκης 2022).

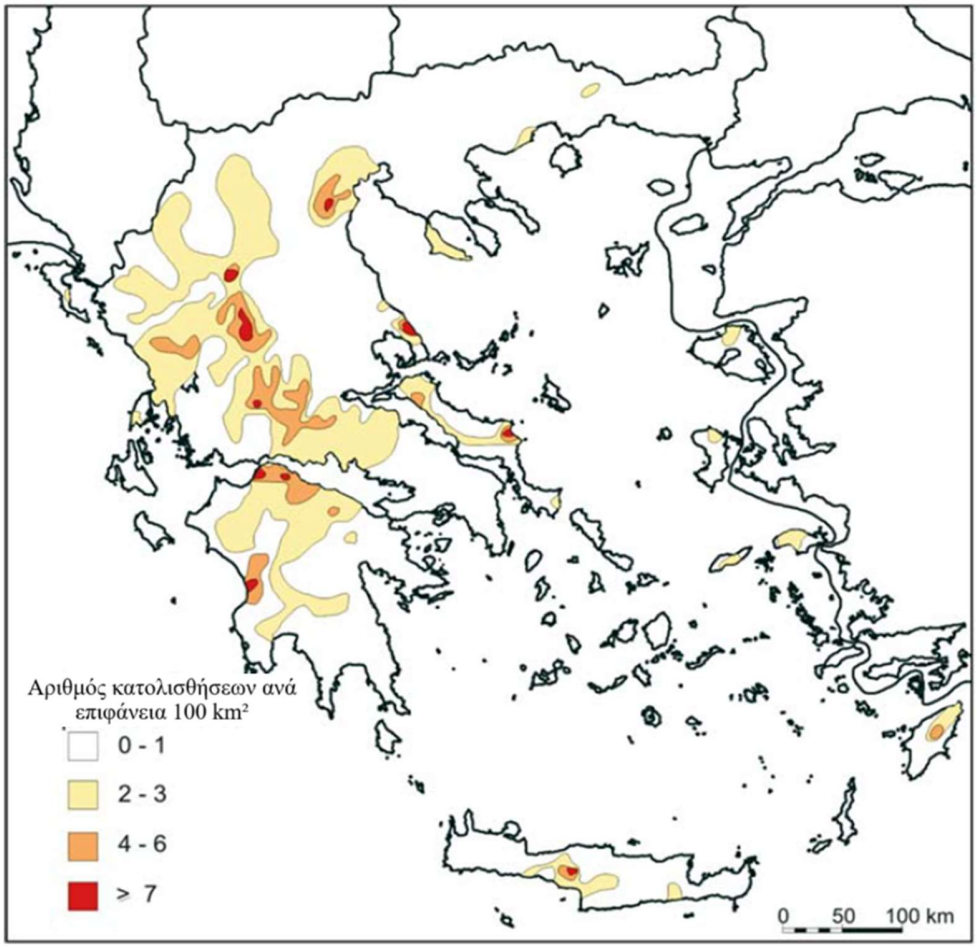
2.2 Κατολισθήσεις στον ελληνικό χώρο

Ο ελληνικός χώρος χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα γεωλογικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά. Το πλήθος βραχωδών σχηματισμών, η ύπαρξη μεγάλων ενεργών ρηγμάτων, έντονα τεκτονικά διαταραγμένες βραχομάζες, υψηλή σεισμικότητα, απότομη τοπογραφία και ισχυρές βροχοπτώσεις, αποτελούν παράγοντες πρόκλησης κατολισθήσεων. Μάλιστα οι κατολισθήσεις και βραχοκαταπτώσεις στον ελληνικό χώρο αποτελούν το 56 % του συνόλου των αστοχιών που συμβαίνουν σε βραχομάζες (Litoseliti et al. 2014).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

Η γεωτεκτονική ζώνη Πίνδου αποτελεί μία από τις περιοχές που πραγματοποιούνται οι περισσότερες κατολισθήσεις στην Ελλάδα (Σχ. 2.2). Συγκεκριμένα στην ζώνη Πίνδου παρατηρείται η πιο υψηλή συχνότητα κατολισθήσεων (41 %) (Πίνακας 2.2) σε σχέση με τον υπόλοιπο ελληνικό χώρο (Koukis et al. 2005). Το συγκεκριμένο φαινόμενο λαμβάνει αυτή τη διάσταση στην περιοχή εξαιτίας ενός συνδυασμού αιτιών.



Σχ. 2.2. Χάρτης της Ελλάδας με τον αριθμό κατολισθήσεων ανά 100 km^2. (Koukis et al. 2005).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Γεωτεκτονική Ζώνη	Συχνότητα Κατολισθήσεων (%)
Ροδόπης	3
Σερβομακεδονικής	0.5
Περιροδοπικής	0
Αξιού	2
Πελαγονική	39
Παρνασσού	4
Πίνδου	41
Γαβρόβου	4
Ιονίου	4.5
Παξών	2

Πίνακας 2.2. Συχνότητες κατολισθήσεων ανά Γεωτεκτονική Ζώνη. (Koukis et al. 2005).

Οι τρεις κύριοι λόγοι, που στην Πίνδο παρατηρείται αυξημένο ποσοστό κατολισθήσεων είναι η γεωλογία, τοπογραφία και οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Η γεωλογία των Εξωτερικών Ελληνίδων διαφέρει σημαντικά από αυτή των Εσωτερικών. Στις εσωτερικές συναντάμε πετρώματα ηλικίας από το Παλαιοζωικό με πλήθος μεταμορφωμένων και πυριγενών πετρωμάτων. Αντίθετα στις Εξωτερικές Ελληνίδες τα πετρώματα είναι νεότερα ηλικιακά, διαφέρουν και λιθολογικά ενώ συνήθως βρίσκονται έντονα τεκτονισμένα, λόγω των διαφόρων τεκτονικών φάσεων που έχουν υποστεί κατά την αλπική ορογένεση. Ο φλύσχης, ως γεωυλικό με ποικίλα μηχανικά χαρακτηριστικά, που θα αναλυθούν στα ακόλουθα κεφάλαια, τείνει να προκαλεί δυσκολίες στον γεωτεχνικό σχεδιασμό. Στον Πίνακα 2.3 το πέτρωμα που εμφανίζει υψηλότερη σχετική συχνότητα στις κατολισθήσεις είναι ο φλύσχης με ποσοστό ~ 35 %.

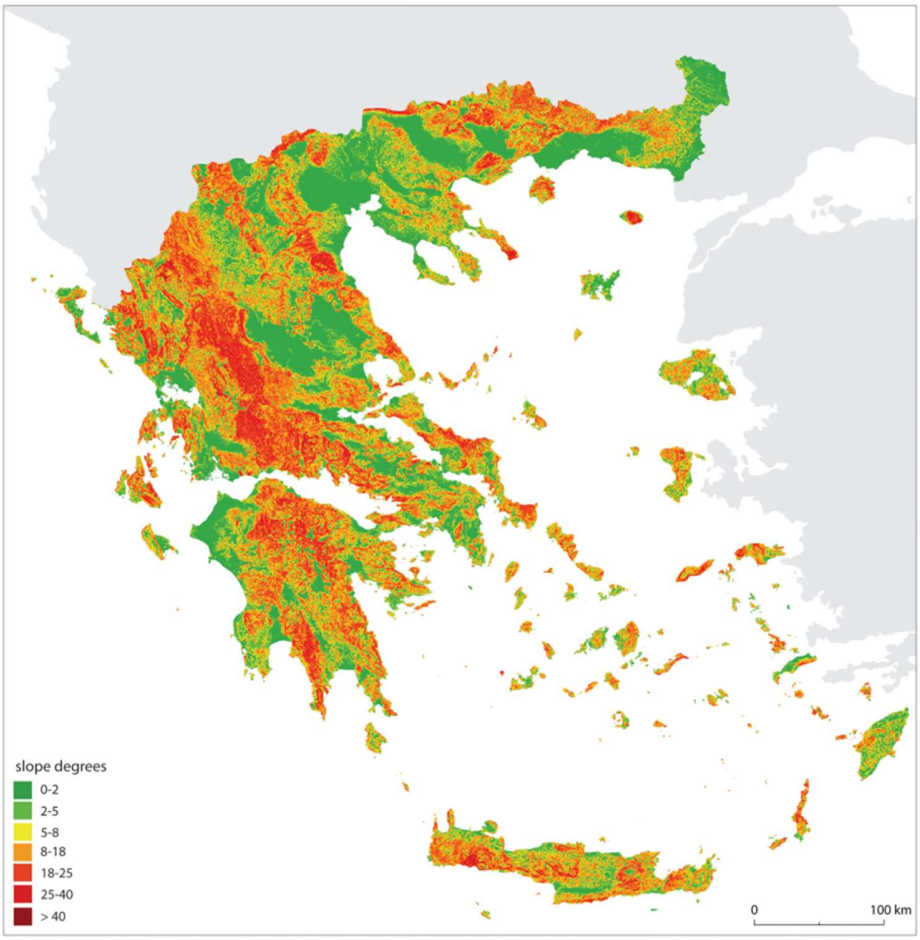
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Λιθολογικός τύπος	Συχνότητα Κατολισθήσεων (%)	Επιφάνεια (%)	Σχετική Συχνότητα Κατολισθήσεων (%)
Χαλαρές Τεταρτογενείς αποθέσεις	20.65	15.87	12.99
Νεογενοί	28.2	24	11.74
Φλύσχης	30.35	8.48	35.75
Σχιστο-κερατόλιθοι	3.62	1.22	29.64
Ασβεστόλιθοι, Μάρμαρα	4.85	19.5	2.48
Μεταμορφομένα	9.32	18.35	5.07
Ηφαιστειακά	3	12.58	2.32

Πίνακας 2.3. Συχνότητα και σχετική συχνότητα κατολισθήσεων ανά λιθολογικό τυπό. (Κούκης et al. 2005).

Η Πίνδος τοπογραφικά χαρακτηρίζεται από ορεινό ανάγλυφο με απότομες κλίσεις. Στον χάρτη του Σχ. 2.4 απεικονίζονται οι κλίσεις των πρανών στον ελληνικό χώρο με τις υψηλότερες να παρατηρούνται κατά μήκος της Πίνδου (>25°).



Σχ. 2.4. Χάρτης κλίσεων πρανών στον ελληνικό χώρο (Tourloukis et. al 2012).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

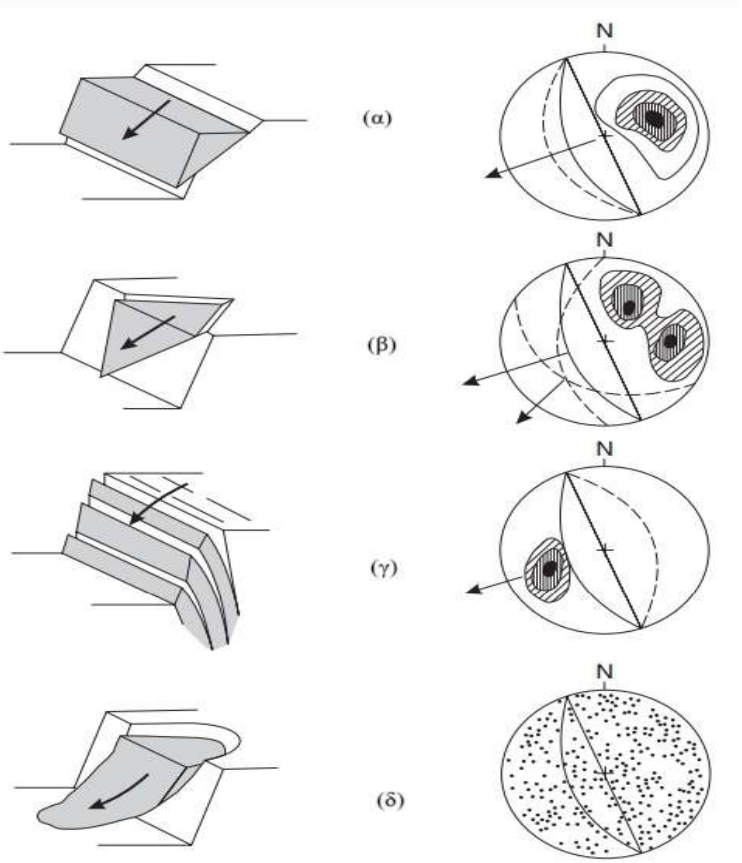
Κλιματολογικά η δυτική Ελλάδα γενικότερα χαρακτηρίζεται από υψηλές βροχοπτώσεις, όπως αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο. Οι έντονες και διαρκείς βροχοπτώσεις συμβάλουν στην εκδήλωση βραχοκαταπτώσεων, για αυτό και παρατηρείται αυτή η σημαντική συγκέντρωση κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή της Πίνδου όπως φαίνεται στο Σχ. 2.2.

2.3 Τύποι αστοχιών σε βραχώδη πρανή

Κατά την αστοχία, μια βραχομάζα μπορεί να συμπεριφερθεί ισότροπα ή ανισότροπα. Η βραχομάζα συμπεριφέρεται ισότροπα, όταν δεν υπάρχει κάποιο κύριο σύστημα ασυνεχειών κατά μήκος του οποίου θα μπορεί να συμβεί η ολίσθηση. Αυτό μπορεί να συμβαίνει, γιατί το υλικό είναι έντονα αποσαθρωμένο, η βραχομάζα είναι σημαντικά τεκτονικά διαταραγμένη ή ακόμη και ο συνδυασμός των παραπάνω. Σε αυτήν την περίπτωση αντιμετωπίζουμε περιστροφικές αστοχίες (circular failures). Στην περίπτωση που η βραχομάζα συμπεριφέρεται ανισότροπα, τότε η επιφάνεια της αστοχίας οριοθετείτε από ένα ή παραπάνω συστήματα ασυνεχειών. Οι βασικές κατηγορίες αστοχιών είναι η επίπεδη ολίσθηση, σφηνοειδής ολίσθηση, η ανατροπή και η περιστροφική ολίσθηση (Σχ. 2.5). Η παρούσα διπλωματική εστιάζει στις ανισότροπες αστοχίες, οι οποίες περιλαμβάνουν την επίπεδη ολίσθηση, σφηνοειδή ολίσθηση και την ανατροπή.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ



Σχ. 2.5. Τύποι Ολίσθησης σε βραχώδη πρανή με τα αντίστοιχα διαγράμματα πόλων ασυνεχειών – αποτύπωσης κυρίων επιπέδων. (α) Επίπεδη ολίσθηση, (β) Σφηνοειδής ολίσθηση, (γ) Ανατροπή, (δ) Περιστροφική Ολίσθηση. (Hoek and Bray 2005).

Οι τύποι ολίσθησης του Σχ. 2.3. αποτελούν τις βασικές περιπτώσεις, που δύναται να παρατηρηθούν στο πεδίο. Μέσω της κινηματικής ανάλυσης μπορεί να εξακριβωθεί με ποιο από τους παραπάνω τύπους ολίσθησης έχει αστοχήσει το εκάστοτε πρανές. Ωστόσο υπάρχουν επιμέρους παράμετροι, που είναι αναγκαίο να διερευνηθούν μέσω της ανάλυσης οριακής ισορροπίας ώστε να αποτυπωθεί η πραγματική εικόνα της αστοχίας. Ανάλογα τον τύπο ολίσθησης υπάρχουν οι ακόλουθες περιπτώσεις οριακής ισορροπίας (Hoek and Londe 1974):

- Ξηρό πρανές χωρίς εφελκυστική ρωγμή.
- Ξηρό πρανές με εφελκυστική ρωγμή.
- Πρανές με την παρουσία εφελκυστικής ρωγμής και παρουσία νερού.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

- Πρανές με την παρουσία εφελκυστικής ρωγμής και παρουσία νερού και υδροστατικής πίεσης κατά μήκος της επιφάνειας αστοχίας.

2.3.1 Ανάλυση ευστάθειας βραχωδών πρανών

Η ανάλυση ευστάθειας βραχωδών πρανών διακρίνεται από δύο φάσεις, την κινηματική ανάλυση και την ανάλυση οριακής ισορροπίας. Η κινηματική ανάλυση είναι αναγκαία για τον προσδιορισμό αφενός της ύπαρξης αστοχίας και αφετέρου του τύπου της αστοχίας. Η ανάλυση οριακής ισορροπίας έρχεται μετά την κινηματική ανάλυση και αποσκοπεί, με την χρήση των παρακάτω δεδομένων τον υπολογισμό των παραμέτρων που οδηγούν σε αστοχία, ώστε να μπορούν να προταθούν μέτρα προστασίας (C. Wyllie, C. Mah 2005).

- Γεωλογικά δεδομένα κυρίως, που αντιπροσωπεύουν τα μηχανικά χαρακτηριστικά των ασυνεχειών (προσανατολισμός, απόσταση εμμονή, αντοχή τοιχωμάτων, τραχύτητα, άνοιγμα, το υλικό πλήρωσης).
- Η διατμητική αντοχή της επιφάνειας των ασυνεχειών.
- Συνθήκες υπόγειου νερού

Για την αξιολόγηση ευστάθειας του πρανούς, ακολουθούμε την μεθοδολογία που προκύπτει για την ανάλυση οριακής ισσοροπίας όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Η ανάλυση οριακής ισορροπίας εστιάζει στον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας (safety factor Fs) χρησιμοποιώντας διαφορετική μεθοδολογία για κάθε τύπο αστοχίας (επίπεδη, σφηνοειδή, περιστροφική, ανατροπή). Οι τύποι της αστοχίας προκύπτουν από τη γεωλογία του εκάστοτε σχηματισμού και την τεκτονική διαταραχή που έχει υποβληθεί (Κούκης & Σαμπατακάκης 2022).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

2.3.1.1 Επίπεδη ολίσθηση

Ο τύπος της αστοχίας χαρακτηρίζεται ως επίπεδη ολίσθηση όταν πραγματοποιείται κατά μήκος μίας μόνο διακριτής επιφάνειας ολίσθησης. Η περίπτωση αυτή προϋποθέτει ότι στο πρανές υπάρχει ένα πολύ καλά ανεπτυγμένο σύστημα ασυνεχειών το οποίο μπορεί να αποτελεί επίπεδο στρώσης, διάκλασης ή σχιστότητας. Για την εκδήλωση της αστοχίας είναι αναγκαίο να ισχύουν οι παρακάτω παράγοντες (C. Wyllie, C. Mah 2005):

- Το επίπεδο ολίσθησης πρέπει να έχει διεύθυνση σχεδόν παράλληλη προς το επίπεδο του πρανούς (μέγιστη διαφορά κλίσης μεταξύ των επιπέδων ±20°).
- Η κλίση του πρανούς ψ_f να είναι μεγαλύτερη από την κλίση του επιπέδου ολίσθησης ψ_p, που με την σειρά της να είναι μεγαλύτερη της γωνίας τριβής φ του επιπέδου ολίσθησης, ώστε $\psi_f > \psi_p > \varphi$.
- Το άνω τμήμα της ολισθαίνουσας επιφάνειας πρέπει να τέμνει το άνω επίπεδο του πρανούς ή να τερματίζει σε μία εφελκυστική ρωγμή.
- Επιφάνειες εκτόνωσης με αμελητέα αντίσταση σε ολίσθηση, πρέπει να τμηματοποιούν τη βραχομάζα, ώστε να οριστούν τα πλευρικά όρια.

Η ανάλυση ευστάθειας σε επίπεδη ολίσθηση διακρίνεται σε δύο περιπτώσεις:

- Πρανές με τη δημιουργία εφελκυστικής ρωγμής στο μέτωπο ή πάνω στο φρύδι του πρανούς.
- Πρανές χωρίς τη δημιουργία εφελκυστικής ρωγμής.

<u>Επίπεδη ολίσθηση με τη δημιουργία εφελκυστικής ρωγμής</u>

Κατά την αστοχία του πρανούς με επίπεδη ολίσθηση, παρουσίας εφελκυστικής ρωγμής, διακρίνονται δύο υποπεριπτώσεις, ανάλογα με την θέση της εφελκυστικής ρωγμής (Σχ. 2.6). Επιπλέον γίνονται οι εξής παραδοχές για την ανάλυση της ευστάθειας του πρανούς (C. Wyllie, C. Mah 2005):

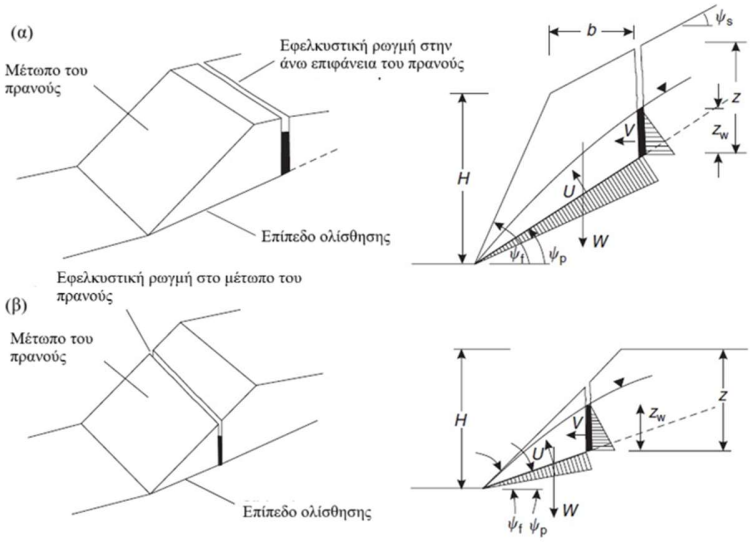
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

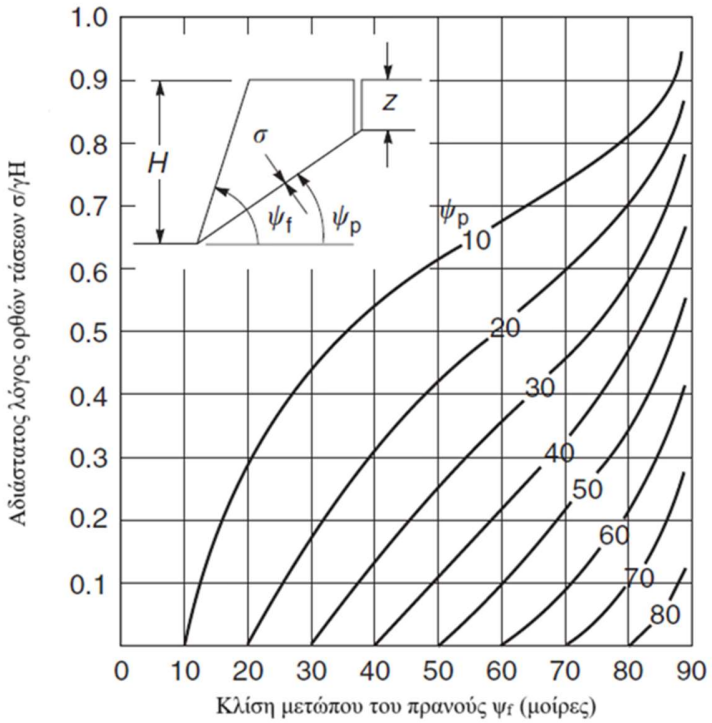
- Η επιφάνεια ολίσθησης και η εφελκυστική ρωγμή έχουν διεύθυνση παράλληλη στο μέτωπο του πρανούς
- Η εφελκυστική ρωγμή είναι κατακόρυφη και περιέχει νερό με βάθος ίσο με z_w.
- Το νερό εισέρχεται και κινείται κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης μέσω της εφελκυστικής ρωγμής σε συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης
- Οι δυνάμεις W (βάρος ολισθαίνουσας μάζας), U (άνωση λόγω υδροστατικής πίεσης στην επιφάνεια ολίσθησης) και V (δύναμη υδροστατικής πίεσης στην εφελκυστική ρωγμη), ασκούνται στο κέντρο της ολισθαίνουσας μάζας.
- Η διατμητική αντοχή (τ) υπολογίζεται από την σχέση της επιφάνειας ολίσθησης, που ορίζεται από την συνοχή (c) και την γωνίας τριβής (φ) μέσω της εξίσωσης $\tau = c + \sigma \tan \varphi$. Γνωρίζοντας το ύψος και την κλίση του μετώπου του πρανούς, είναι δυνατό να υπολογιστή η ορθή τάση σ_n, μέσω του διαγράμματος στο Σχ. 2.7.
- Δεν υπάρχει αντίσταση κατά την ολίσθηση από τα πλευρικά όρια του ολισθαίνοντος βραχοτεμάχους.
- Καθώς το πρόβλημα αντιμετωπίζεται σε δύο διαστάσεις, υπολογίζεται το πάχος της ολισθαίνουσας από το μήκος του μετώπου του πρανούς και την κατακόρυφη απόσταση από το μέτωπο προς την επιφάνεια ολίσθησης.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ



Σχ. 2.6. Γεωμετρία αστοχίας σε επίπεδη ολίσθηση με εφελκυστική ρωγμή: (α) πάνω από την στέψη και (β) στο μέτωπο του πρανούς (C. Wyllie, C. Mah 2005).



Σχ. 2.7. Διάγραμμα ορθών τάσεων που ασκούνται στο επίπεδο ολίσθησης σε βραχώδη πρανή (C. Wyllie, C. Mah 2005).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Το βάθος και η θέση της εφελκυστικής ρωγμής υπολογίζεται από την σχέση:

$$\frac{Z}{H} = (1 - cot\psi_f tan\psi_p)$$

Ο συντελεστής ασφαλείας υπολογίζεται από την σχέση:

$$F = \frac{cA + \left[W\left(cos\psi_p - \alpha sin\psi_p\right) - U - Vsin\psi_p\right]tan\varphi}{W\left(sin\psi_p + \alpha cos\psi_p\right) + Vcos\psi_p}$$

ψ_f : γωνία κλίσης του πρανούς.

ψ_p : γωνία κλίσης του επιπέδου ολίσθησης.

φ : γωνία τριβής.

c : συνοχή.

$\cot x = \frac{1}{\tan x} = \frac{\cos x}{\sin x}$: συνεφαπτομένη.

$cosec\ x = \frac{1}{\sin x}$: συντέμνουσα.

γ : φαινόμενο βάρος του πετρώματος.

γ_w : φαινόμενο βάρος του νερού.

A : εμβαδόν της επιφάνειας ολίσθησης.

H : ύψος του πρανούς.

U : υδροστατική δύναμη επιφάνειας ολίσθησης.

V : υδροστατική δύναμη εφελκυστικής ρωγμής.

W : βάρος ολισθαίνουσας μάζας.

α : σεισμική επιτάχυνση.

z : βάθος εφελκυστικής ρωγμής.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

z_w : βάθος πλήρωσης με νερό της εφελκυστικής ρωγμής. Σε περίπτωση που η βραχομάζα έχει αυξημένη διαπερατότητα, σε συνθήκες έντονης και διαρκούς βροχόπτωσης το βάθος $z_w = z$.

Για τον υπολογισμό των παραπάνω παραμέτρων χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες σχέσεις (C. Wyllie, C. Mah 2005):

$$z = H(1 - \sqrt{cot\psi_f tan\psi_p}$$

$$A = (H - z)cosec\psi_p$$

$$W = \frac{1}{2}\gamma H^2[\left(1 - \left(\frac{z}{H}\right)^2\right)cot\psi_p - cot\psi_f]$$

$$U = \frac{1}{2}\gamma_w z_w A$$

$$V = \frac{1}{2}\gamma_w {z_w}^2$$

<u>Επίπεδη ολίσθηση χωρίς τη δημιουργία εφελκυστικής ρωγμής</u>

Η περίπτωση αυτή είναι πιο συνηθισμένη και απλή λόγω της γεωμετρίας της αστοχίας (Σχ. 2.8), ενώ επίσης αποτελεί έναν από τους τύπους αστοχιών που συναντάται στην θέση μελέτης. Ο συντελεστής ασφαλείας στην περίπτωση αυτή υπολογίζεται από την σχέση (C. Wyllie, C. Mah 2005):

$$F = \frac{cA + \left[W\left(cos\psi_p - \alpha sin\psi_p\right) - U\right]tan\varphi}{W(sin\psi_p + \alpha cos\psi_p)}$$

ψ_f : γωνία κλίσης του πρανούς.

ψ_p : γωνία κλίσης του επιπέδου ολίσθησης.

φ : γωνία τριβής.

c : συνοχή.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

$\cot x = \frac{1}{\tan x} = \frac{\cos x}{\sin x}$: συνεφαπτομένη.

$cosec\ x = \frac{1}{\sin x}$: συντέμνουσα.

A : εμβαδόν της επιφάνειας ολίσθησης.

W : βάρος ολισθαίνουσας μάζας.

H : ύψος του πρανούς.

U : υδροστατική δύναμη επιφάνειας ολίσθησης.

α : σεισμική επιτάχυνση.

γ : φαινόμενο βάρος του πετρώματος.

γ_w : φαινόμενο βάρος του νερού.

H_w = το υδροστατικό φορτίο λόγω ύπαρξης νερού στις ασυνέχειες

Για τον υπολογισμό των παραπάνω παραμέτρων χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες σχέσεις:

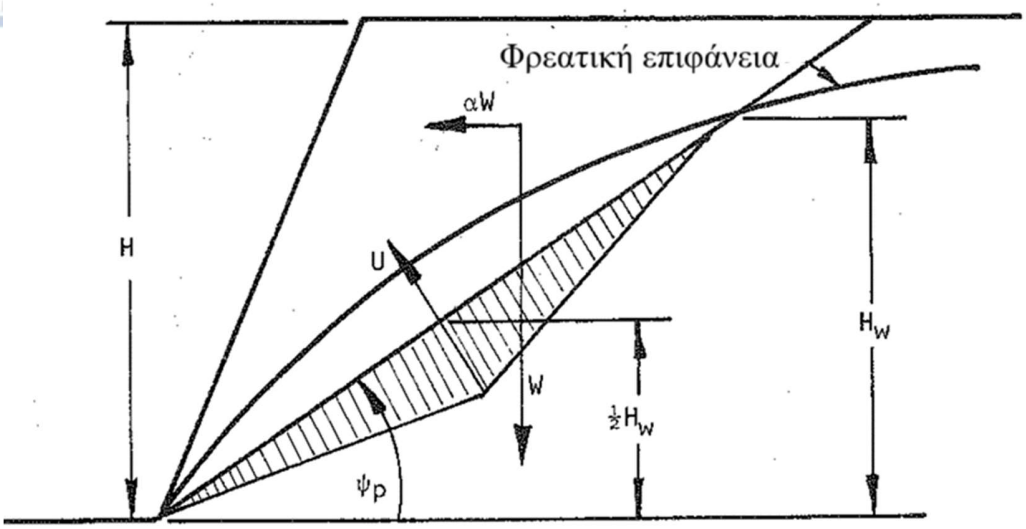
$$A = Hcosec\psi_f$$

$$W = \frac{1}{2}\gamma H^2[cot\psi_p - cot\psi_f]$$

$$U = \frac{1}{4}\gamma_w H_w^2 cosec\psi_p$$

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας



Σχ. 2.8. Γεωμετρία αστοχίας βραχώδους πρανούς σε επίπεδη ολίσθηση χωρίς τη δημιουργία εφελκυστικής ρωγμής (C. Wyllie, C. Mah 2005).

2.3.1.2 Σφηνοειδής ολίσθηση

Ως σφηνοειδής ορίζεται η ολίσθηση που πραγματοποιείται μεταξύ δύο επιπέδων ασυνεχειών, κατά μήκος της τομής τους (Σχ. 2.9). Ο κύριος παράγοντας που μπορεί να οδηγήσει στην εκδήλωση σφηνοειδούς ολίσθησης σε ένα πρανές είναι ο προσανατολισμός των επιπέδων ασυνεχειών. Αν πληρούνται οι προϋποθέσεις εκδήλωσης της αστοχίας, τότε πραγματοποιείται μία προκαταρκτική ανάλυση ευστάθειας, η οποία στηρίζεται αποκλειστικά στην τριβή των επιπέδων ασυνεχειών σε ξηρές συνθήκες. Αν η ανάλυση δείξει πως το πρανές δύναται να αστοχήσει, ακολουθεί πιο λεπτομερής ανάλυση ευστάθειας ακολουθώντας την μεθοδολογία των Hoek and Bray (1977). Αρχικά ελέγχεται μέσω του τεστ Markland (1972), αν δύναται να εκδηλωθεί η αστοχία. Το τεστ περιλαμβάνει δύο προϋποθέσεις οι οποίες πρέπει να ισχύουν ώστε να ακολουθήσει η επόμενη φάση της ανάλυσης (C. Wyllie, C. Mah 2005):

- Η γωνία του πρανούς ψ_f να είναι μεγαλύτερη της γωνίας της τομής ψ_i και με την σειρά τους, οι δύο να μεγαλύτερες από τη γωνία τριβής της ασυνέχειας φ, όπου $\psi_f > \psi_i > \varphi$.
- Η τομή των ασυνεχειών να εμφανίζεται στην επιφάνεια του πρανούς.

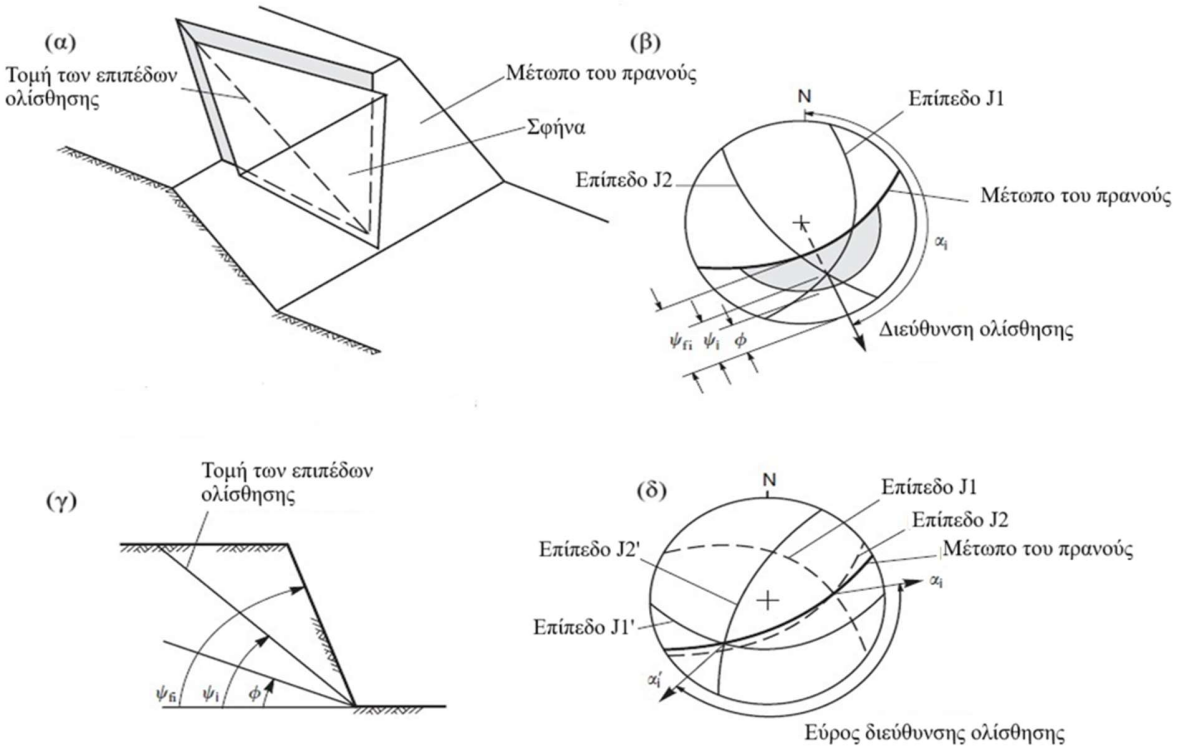
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

Ο υπολογισμός του συντελεστή ασφαλείας F προκύπτει από την σχέση:

$$F = Atan\varphi_A + \mathrm{B}\tan\varphi_B$$

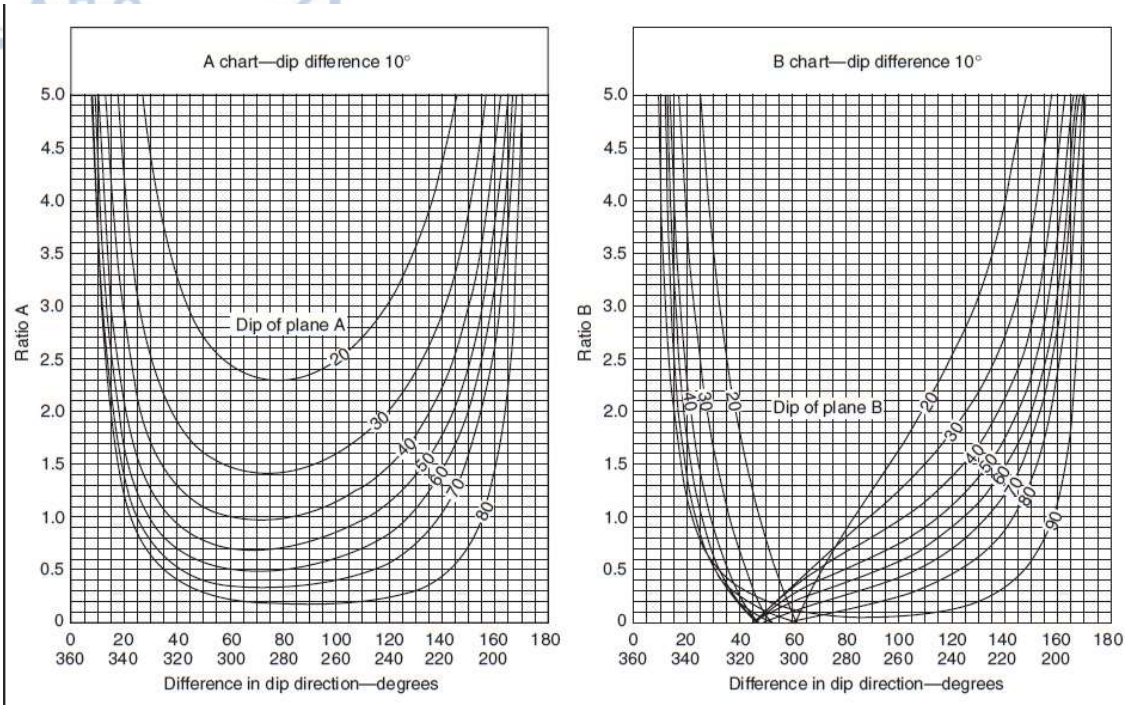
Όπου φ_A και φ_B γωνίες τριβής των επιπέδων ασυνεχειών J1 και J2. Τα A και B αποτελούν αδιάστατους συντελεστές, των οποίων οι τιμές εξαρτώνται από τη κλίση και την φορά μέγιστης κλίσης των επιπέδων ασυνεχειών. Οι τιμές προκύπτουν από διαγράμματα ανάλογα με την διαφορά κλίσης μεταξύ των επιπέδων (ενδεικτικά στο Σχ. 2.10). Αν ο συντελεστής ασφαλείας υπολογιστεί μεγαλύτερος του 2 τότε θεωρείται ότι το πρανές δεν δύναται να αστοχήσει με σφηνοειδή ολίσθηση. Στην περίπτωση που ο συντελεστής ασφαλείας είναι μικρότερος του 2, πραγματοποιείται λεπτομερής ανάλυση (C. Wyllie, C. Mah 2005).



Σχ. 2.9. (α) Γεωμετρική αναπαράσταση σφηνοειδούς ολίσθησης, (β) Στερεοδιάγραμμα απεικόνισης της ευθείας τομής των επιπέδων και την διεύθυνση ολίσθησης, (γ) δεξιά τομή του πρανούς, (δ) Στερεδιάγραμμα που απεικονίζει τον προσανατολισμό της ευθείας τομής των επιπέδων (C. Wyllie, C. Mah 2005).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας



Σχ. 2.10. Ενδεικτικά διαγράμματα εκτίμησης αστάθειας σε σφηνοειδή ολίσθηση με βάση την τριβή των επιπέδων ασυνεχειών (C. Wyllie, C. Mah 2005).

Σε μία λεπτομερή ανάλυση ευστάθειας σε σφηνοειδή ολίσθηση, όπου λαμβάνονται υπόψη οι υδροστατικές πιέσεις και η διατμητική αντοχή των ασυνεχειών όπως απεικονίζονται στο Σχ. 2.11. ο συντελεστής ασφαλείας υπολογίζεται από τη σχέση(C. Wyllie, C. Mah 2005):

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

Όπου:

c_A και c_B : η συνοχή των επιπέδων ασυνεχειών A και B.

φ_A και φ_B : η γωνία τριβής των επιπέδων ασυνεχειών A και B.

γ : φαινόμενο βάρος βραχώδους υλικού.

γ_w : φαινόμενο βάρος του νερού (=10kN/m^3).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

Η : συνολικό ύψος σφήνας.

Χ, Υ, Α και Β : αδιάστατοι συντελεστές που εξαρτώνται από την γεωμετρία της σφήνας (Σχ. 2.12).

$$X = \frac{sin\theta_{24}}{sin\theta_{45}cos\Theta_{2n}}$$

$$Y = \frac{sin\theta_{13}}{sin\theta_{35}cos\theta_{1nb}}$$

$$A = \frac{cos\psi_a - cos\psi_b cos\theta_{na.nb}}{sin\psi_5 sin^2\Theta_{na.nb}}$$

$$B = \frac{cos\psi_b - cos\psi_a cos\theta_{na.nb}}{sin\psi_5 sin^2\Theta_{na.nb}}$$

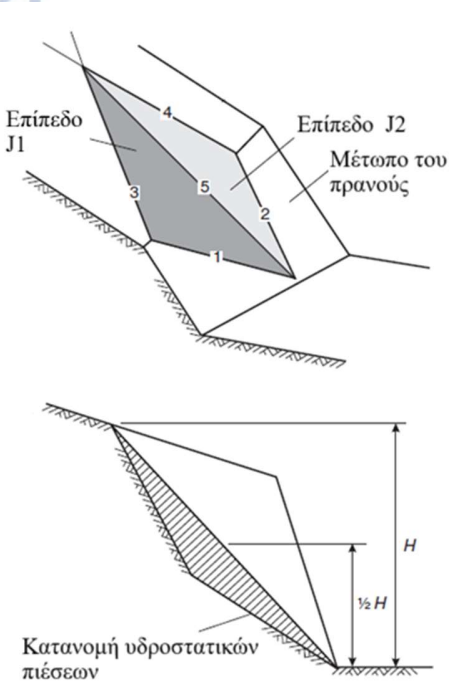
ψ_a και ψ_b : κλίσεις των επιπέδων Α και Β αντίστοιχα.

Ψ_5 : κλίση της ευθείας τομής των επιπέδων Α και Β. (της 5 στο Σχ. 2.11).

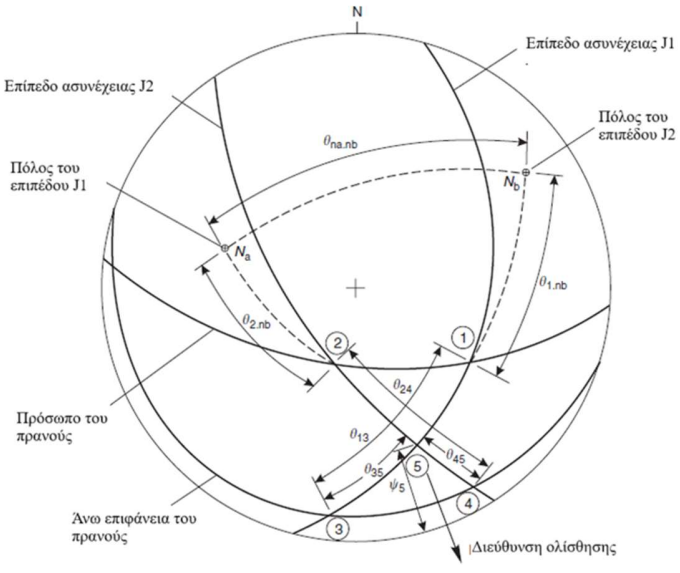
Οι υπόλοιπες γωνίες που απαιτούνται για την επίλυση των παραπάνω εξισώσεων υπολογίζονται από τον στερεοδιάγραμμα, που απεικονίζεται η γεωμετρία της σφήνας και του πρανούς (Σχ. 2.12).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ



Σχ. 2.11. Γεωμετρία σφηνοειδούς ολίσθησης με την παράμετρο της υδροστατικής πίεσης (C. Wyllie, C. Mah 2005).



Σχ. 2.12. Στερεοδιάγραμμα με τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται κατά την λεπτομερή ανάλυση ευστάθειας (C. Wyllie, C. Mah 2005).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

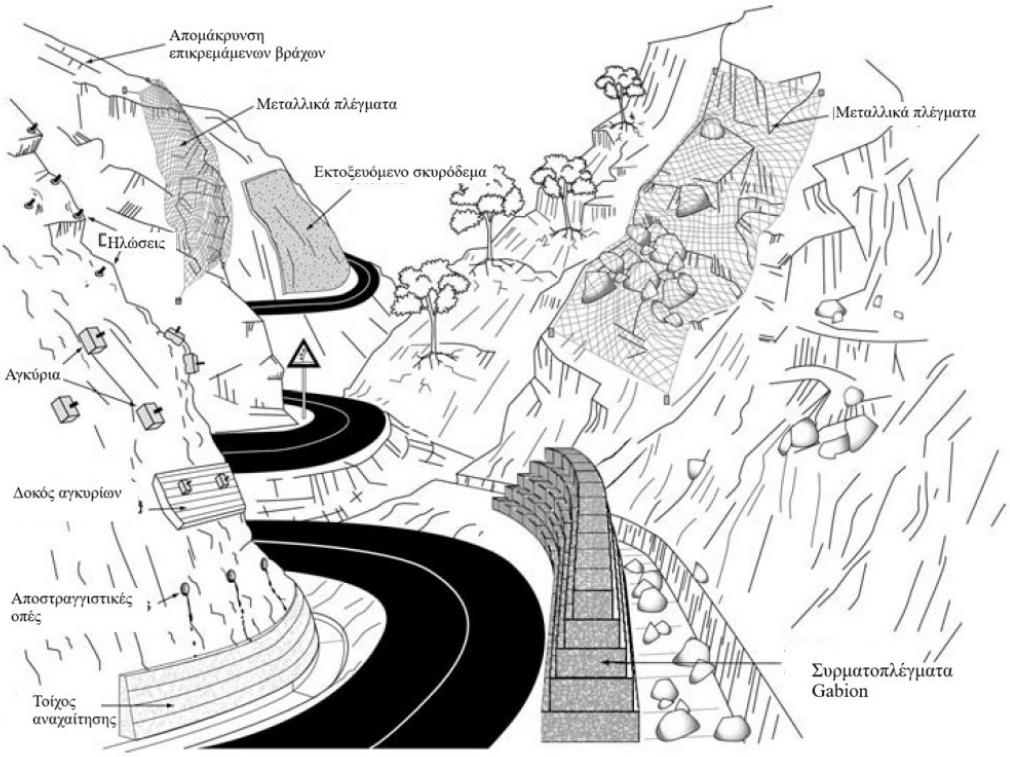
2.4 Μέτρα προστασίας βραχωδών πρανών

Το επόμενο βήμα μετά την ανάλυση ευστάθειας ενός πρανούς, είναι η πρόταση μέτρων προστασίας. Τα μέτρα προστασίας μπορούν να διαφέρουν από θέση σε θέση καθώς και από έργο σε έργο. Η επιλογή του κατάλληλου μέτρου απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή, διότι δεν λαμβάνονται υπόψη μόνο τεχνικογεωλογικά κριτήρια κατά την επιλογή των κατάλληλων μέτρων αλλά οικονομικά, όπως και περιβαλλοντικά. Η υπερδιαστασιολόγηση μπορεί να αποτελέσει σημαντικό λάθος στον σχεδιασμό, καθώς υπάρχει πιθανότητα να αποτρέψει ακόμη και την διεκπεραίωση του έργου. Ωστόσο σε πολλές περιπτώσεις λόγω ανθρωπογενών ή περιβαλλοντικών παραγόντων μπορεί να αυξηθεί το κόστος αλλά και η δυσκολία του έργου. Στην περίπτωση σχεδιασμού οδικού δικτύου, μέσα στις παραμέτρους σχεδιασμού συμπεριλαμβάνονται: η επικινδυνότητα σε κατολισθητικά φαινόμενα, η γεωλογία του πρανούς (εδαφικός ή βραχώδης σχηματισμός), οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής και το μέγεθος των τεμαχών που δύναται να αστοχήσουν. Πρακτικά υπάρχουν δύο κατηγορίες μέτρων προστασίας, τα προληπτικά και τα μέτρα αποκατάστασης. Η βασική διαφορά τους είναι ο χρόνος υλοποίησης τους. Τα προληπτικά εφαρμόζονται πριν την εκδήλωση της αστοχίας, ενώ τα αποκατάστασης μετά. Σε ιδανικές συνθήκες τα προληπτικά μέτρα πρέπει να εφαρμόζονται σε κάθε περίπτωση για την αποφυγή οποιασδήποτε αστοχίας στο τεχνικό έργο (Κούκης & Σαμπατακάκης 2022). Ακόμα και αν αστοχήσει μόνο ένα μικρό τμήμα πρανούς σε ένα οδικό δίκτυο, υπάρχει πιθανότητα να προκληθεί σοβαρός τραυματισμός ή ακόμη και θάνατος. Η αποφυγή λήψης των αναγκαίων μέτρων προστασίας προκαλεί παραπάνω έξοδα πέραν της επισκευής του σε περίπτωση αστοχίας, καθώς η επισκευή ενός σημαντικού δρόμου μπορεί να διαρκέσει μερικές μέρες, εμποδίζοντας πιθανώς την εκτέλεση σημαντικών μεταφορών προϊόντων (C. Wyllie, C. Mah 2005). Ανάλογα το έργο και τους εκάστοτε παράγοντες, ο μελετητής έχει στην ευχέρεια του ένα πλήθος μέτρων προστασίας, από τα οποία καλείται να επιλέξει. Μία από τις επιλογές, είναι η αποφυγή της θέσης της κατολίσθησης. Η συγκεκριμένη λύση συνήθως δεν συνιστάται μετά τον σχεδιασμό του έργο, λόγω του απαγορευτικού κόστους αλλά και χρόνου που απαιτεί (Παπαθανασίου 2022). Συγκεκριμένα κάθε αλλαγή στην χάραξη οδικού δικτύου, σημαίνει ότι πρέπει να βρεθεί διαφορετική θέση από την οποία θα περνάει ο δρόμος. Ωστόσο αυτό δεν είναι πάντα εφικτό

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

σε περιοχές με απότομο ανάγλυφο. Σε ένα βραχώδες τα μέτρα προστασίας που μπορούν να ληφθούν εντάσσονται σε δύο κατηγορίες, τα **ενεργητικά** και τα **παθητικά** μέτρα προστασίας (Σχ. 2.13). Τα ενεργητικά αποσκοπούν στην αύξηση του συντελεστή ασφαλείας, ενισχύοντας την αντοχή αποτρέποντας την πραγματοποίηση της αστοχίας και χαρακτηρίζονται από τα μέτρα ενίσχυσης, αποστράγγισης και εκσκαφής. Τα παθητικά επιτρέπουν την εκδήλωση της αστοχίας προστατεύοντας το έργο και χαρακτηρίζονται από τα προληπτικά μέτρα (G.J. Hearn 2011).



Σχ. 2.13. Αναπαράσταση διαφόρων μέτρων προστασίας σε βραχώδη πρανή κατά μήκος οδικού δικτύου (G.J. Hearn 2011).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

2.4.1 Ενεργητικά μέτρα

2.4.1.1 Μέτρα ενίσχυσης

Ηλώσεις

Οι ηλώσεις πρόκειται για μεταλλικά καρφιά τα οποία τοποθετούνται σε οπές, που έχουν διατρηθεί στο κέντρο του βράχου. Χρησιμοποιούνται όταν χρειάζεται να αγκυρωθούν μικρού μεγέθους βράχοι 1-2 m^3 με την διαμετρό τους να ανέρχεται στα 16-32 mm, ενώ το μήκος τους μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 3 m. Αποφεύγεται η τοποθέτηση πολλαπλών ηλώσεων σε ένα τέμαχος, με τα χαρακτηριστικά της βραχομάζας να διαδραματίζουν, τον βασικό ρόλο στην τοποθέτηση τους (G.J. Hearn 2011).

Αγκύρια

Τα αγκύρια λειτουργούν (Σχ. 2.14) με παρόμοιο τρόπο με τις ηλώσεις. Χρησιμοποιούνται ώστε να σταθεροποιήσουν μεγάλα τεμάχη βράχου με το μήκος τους να ενδέχεται να φτάσει τα 30 m. Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα προεντεταμένα και τα παθητικά. Στα προεντεταμένα η τάση με την οποία θα συγκρατείται το τέμαχος, τίθεται στο τελικό στάδιο της τοποθέτησης τους, ενώ τα παθητικά παραλαμβάνουν τάσεις με την αύξηση της παραμόρφωσης. Λόγω των μεγάλων τάσεων που παραλαμβάνουν στις θέσεις που τοποθετούνται, απαιτείται μεγάλη προσοχή κατά τον σχεδιασμό τους, με διαρκής παρακολούθηση και συντήρηση (G.J. Hearn 2011).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Σχ. 2.14. Συνδυασμός αγκύριων με μεταλλικό πλέγμα σε πρανές κατά μήκος της οδού 25E στο Tenessee (James St. John 2017).

Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (Σχ. 2.15) προστατεύει την βραχομάζα στην επιφάνεια του πρανούς από το φαινόμενο της αποσάθρωσης, προσδίδοντας της ένα επιπλέον επίπεδο προστασίας. Η τεχνική αυτή, εφαρμόζεται συνήθως σε συνδυασμό με τις ηλώσεις και τα αγκύρια. Υποχρεωτική είναι η τοποθέτηση αποστραγγιστικών οπών σε διάφορες θέσεις του σκυροδέματος ώστε να αποφορτίζονται τυχών υδροστατικές πιέσεις που δύναται να δημιουργηθούν κατά μήκος των ασυνεχειών του πετρώματος (G.J. Hearn 2011).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Σχ. 2.15. Εκτοξευμένο σκυρόδεμα σε πρανές με οπές αποστράγγισης στο κατώτερο τμήμα (Washington State Dept. of Transportation 2016).

Μεταλλικά πλέγματα

Ο ρόλος των μεταλλικών πλεγμάτων (Σχ. 2.14) είναι η αποτροπή της αποκόλλησης και αναπήδησης βραχοτεμάχων στο οδικό δίκτυο. Τοποθετούνται με την χρήση ηλώσεων και αγκύριων πολύ κοντά στην βραχομάζα αποτρέποντας οποιαδήποτε κίνηση. Έχουν την δυνατότητα να συγκρατούν τεμάχη μέχρι 1.5 m^3. Αναγκαία παραμένει η συντήρηση τους, ώστε να διατηρηθεί η ομαλή λειτουργία τους (G.J. Hearn 2011).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

2.4.1.2 Αποστράγγιση

Τα αποστραγγιστικά μέτρα αποσκοπούν στην μείωση των υδροστατικών πιέσεων που δημιουργούνται κατά μήκος των ασυνεχειών της βραχομάζας. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο η υδροστατική πίεση μπορεί να οδηγήσει σε αστοχία, με αποτέλεσμα η αποστράγγιση να αποτελεί βασικό μέτρο προστασίας. Η λιθολογία και τεκτονική κατάσταση της βραχομάζας αποτελεί κύριο παράγοντα στην εφαρμογή του μέτρου (G.J. Hearn 2011). Ενδέχεται σε βραχομάζες, στις οποίες η αποστράγγιση γίνεται με φυσικό τρόπο να μην είναι αναγκαία η εφαρμογή του μέτρου.

2.4.1.3 Μέτρα εκσκαφής

Η συγκεκριμένη τεχνική έχει ως στόχο την απομάκρυνση βραχοτεμαχών που μπορούν να οδηγήσουν σε αστοχία. Χρησιμοποιείται σε θέσεις που δεν είναι εύκολα προσβάσιμες ώστε να εφαρμοστούν άλλα μέτρα, ή όταν ολόκληρη η βραχομάζα είναι σε μεγάλο βαθμό τεκτονικά καταπονημένη ή αποσαθρωμένη, κάνοντας την εφαρμογή άλλων μέτρων προστασίας πρακτικά αδύνατη. Απομακρύνοντας τα βραχοτεμάχη εμφανίζονται «υγιές» θέσεις στην βραχομάζα, πάνω στις οποίες μπορούν να εφαρμοστούν άλλα μέτρα προστασίας αν κριθεί αναγκαίο. Η συγκεκριμένη κατηγορία περιλαμβάνει την απομάκρυνση τεμαχών (Σχ. 2.16) που πρόκειται να αστοχήσουν και την αλλαγή της κλίσης του πρανούς (G.J. Hearn 2011).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Σχ.2.16. Απομάκρυνση βραχοτεμαχών από εξειδικευμένους αναρριχητές στον Καναδά (B.C. Ministry of Transportation and Infrastructure 2010).

2.4.2 Παθητικά μέτρα

2.4.2.1 Προληπτικά μέτρα

Τάφροι αναχαίτησης

Εντοπίζονται κατά μήκος του δρόμου, παραλαμβάνοντας τα βραχοτεμάχη που έχουν αποκολληθεί από το πρανές, αποτρέποντας τα, από το να ολισθήσουν στον δρόμο (G.J. Hearn 2011).

Πλέγματα συγκράτησης

Είναι παρόμοια με τα μεταλλικά πλέγματα, ωστόσο ο ρόλος τους δεν είναι να αποτρέψουν την αποκόλληση των βραχοτεμαχών, αλλά την αναπήδηση τους

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

εντός του οδικού δικτύου (Σχ. 2.17). Συνήθως συνδυάζονται με τις τάφρους αναχαίτησης, οι οποίες παραλαμβάνουν το υλικό φορτίο (G.J. Hearn 2011).

Σχ. 2.17. Πλέγμα συγκράτησης σε πρανές κατά μήκος οδικού δικτύου (G.J. Hearn 2011).

Τοίχοι αναχαίτησης

Πρόκειται για άκαμπτες κατασκευές από σκυρόδεμα, οι οποίες έχουν την δυνατότητα να παραλαμβάνουν αρκετά μεγάλα βραχοτεμάχη (Σχ. 2.18). Ο σκοπός του τοίχου αναχαίτησης είναι να συγκρατήσει τα τεμάχη από το να βρεθούν στο οδικό δίκτυο. Το ύψος του τοίχου εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους όπως από το ύψος του πρανούς και την μέγιστη δυναμική ενέργεια των βραχοτεμάχων. Είναι αναγκαίο να υπάρχει διαθέσιμος χώρος πίσω από την τοίχο ώστε να συγκρατούνται τα τεμάχη. Επιπλέον η απομάκρυνση των τεμαχών που έχουν αστοχήσει είναι υποχρεωτική για την ορθή λειτουργία του μέτρου (G.J. Hearn 2011).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Σχ. 2.18. Τοίχος αναχαίτησης για την προστασία σιδηροδρομικού δικτύου (Washington State Dept. of Transportation 2016).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Συρματοκιβώτια (Gabion)

Ο ρόλος τους είναι ίδιος με των τοίχων αναχαίτησης. Πρόκειται για συρματοκιβώτια που περιέχουν αδρανή υλικά (Σχ. 2.19). Σε σχέση με τους τοίχους αναχαίτησης, προκαλούν λιγότερη οπτική όχληση, έχουν μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα και μικρότερο κόστος συντήρησης (G.J. Hearn 2011).

Σχ. 2.19. Χρήση συρματοκυβώτιων ως μέτρο προστασίας σε πρανές (MTA Constraction 2012).

Σκέπαστρα και σήραγγες

Σε πολύ λίγες περιπτώσεις όπου ο όγκος των κατολισθέντων υλικών, το μέγεθος και η συχνότητα της κατολίσθησης δεν μπορεί να διαχειριστεί με τον συνδυασμό κάποιων από των παραπάνω μέτρων προστασίας, μπορεί να προταθεί η κατασκευή σήραγγας ή σκέπαστρου (Σχ. 2.20) ώστε να προστατευθεί το οδικό δίκτυο σε εκείνη την θέση. Το συγκεκριμένο μέτρο έχει πολύ υψηλό κόστος οικονομικό και χρονικό. Το εγχείρημα προϋποθέτει πολλαπλές μελέτες ενώ θα

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

χρειαστεί να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο κομμάτι της θεμελίωσης, ώστε να αποφευχθεί κάθε είδος αστοχίας (G.J. Hearn 2011).

Σχ. 2.20. Σκέπαστρο για την προστασία του δικτύου από υλικά της κατολίσθησης (G.J. Hearn 2011).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

2.5 Μελέτη ευστάθειας με τη χρήση σύγχρονων τεχνολογιών UAV

Η τεχνολογία UAV έχει συμβάλει σημαντικά στην μελέτη ευστάθειας πρανών. Αποτελεί μια καινοτόμα και οικονομική λύση στις μελέτες, που γίνονται σε θέσεις οι οποίες δεν είναι προσβάσιμες με τις συμβατικές μεθόδους. Ιδιαίτερα σε πρανή με πολύ απότομη κλίση η χρήση Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμΕΑ), δίνει την δυνατότητα στον μελετητή να συλλέξει δεδομένα που άλλοτε θα ήταν αδύνατο να ληφθούν, βελτιώνοντας την ποιότητα της μελέτης και κατ' επέκταση του ίδιου του έργου. Η κύρια τεχνική που χρησιμοποιείται με τη χρήση ΣμΕΑ είναι η φωτογραμμετρία. Στην φωτογραμμετρία το ΣμΕΑ λαμβάνει ένα πλήθος εικόνων πολύ κοντά μεταξύ τους από όλη την επιφάνεια του πρανούς, δημιουργώντας ένα τρισδιάστατο μοντέλο. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω τεχνολογίας LiDAR, με την οποία είναι εξοπλισμένο το ΣμΕΑ. Έχοντας το τρισδιάστατο μοντέλο στο περιβάλλον του υπολογιστή με την χρήση εξειδικευμένων εφαρμογών μπορούν να απεικονιστούν τα κύρια στοιχεία που χρειάζεται ο μελετητής για να πραγματοποιήσει την μελέτη. Το μοντέλο μπορεί να αναγνωρίσει και να κατηγοριοποιήσει τα διαφορετικά συστήματα ασυνεχειών του πρανούς, καθώς και τις παραμέτρους που τα χαρακτηρίζουν όπως η απόσταση, εμμονή, ο προσανατολισμός και το μήκος τους. Τα ΣμΕΑ χρησιμοποιούνται συμπληρωματικά με τις συμβατικές μεθόδους ώστε να ληφθεί μεγαλύτερο πλήθος δεδομένων. Τα ΣμΕΑ αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο για τον γεωλόγο, όμως όπως κάθε εργαλείο, η χρήση τους δεν είναι πάντα εύκολη. Σε πρανή με μεγάλη φυτοκάληψη, τα αποτελέσματα των μετρήσεων δεν θα είναι αντιπροσωπευτικά καθώς δεν είναι ορατές όλες οι ασυνέχειες. Ακόμα οι καιρικές συνθήκες μπορούν να αποτρέψουν την πτήση του ΣμΕΑ.

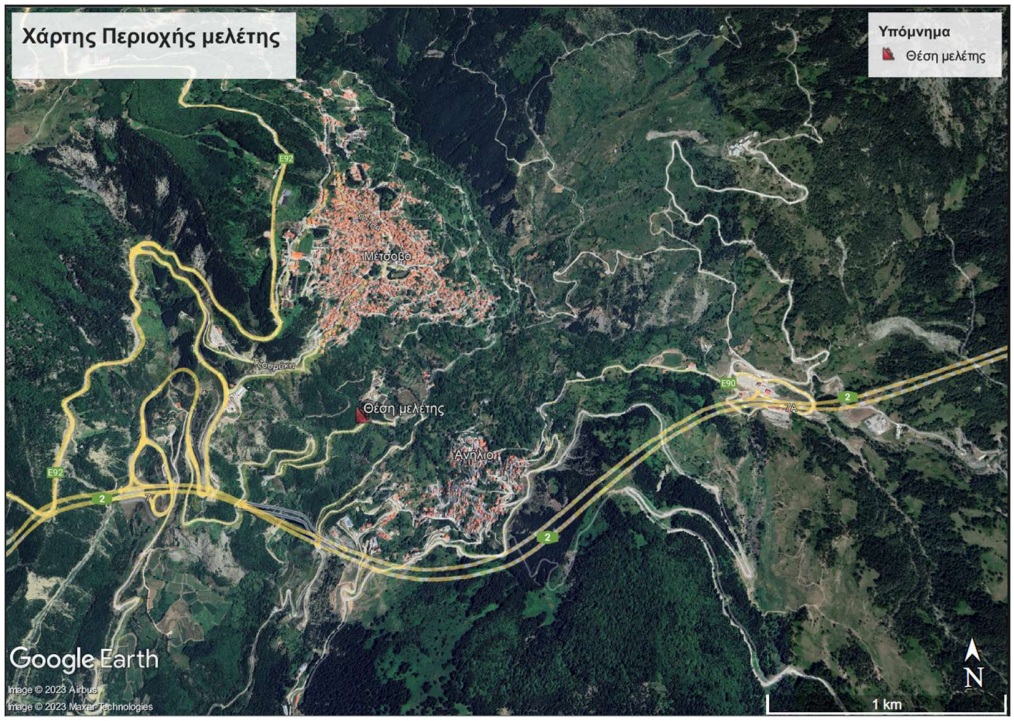
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

3 Περιοχή μελέτης

3.1 Γεωλογία – Γεωμορφολογία

Η θέση της περιοχή περιοχής μελέτης εντοπίζεται κατά μήκος της επαρχιακής οδού Μετσόβου – Ανηλίου (Σχ. 3.1) με συντεταγμένες 39°45'45.88"Β και 21°10'53.03"Α και υψόμετρο 940 m. Η θέση ανήκει στην ευρύτερη γεωτεκτονική ζώνη της Πίνδου. Το ανάγλυφο της περιοχής της περιοχής είναι ορεινό με απότομες κλίσεις. Ένας λόγος που το ανάγλυφο εμφανίζει τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι οι έντονες ορογενετικές διεργασίες που έχουν λάβει χώρα στην περιοχή. Το πρανές μελέτης έχει πολύ απότομη κλίση ~77° και ύψος ~30 m. Ο σχηματισμός που κυριαρχεί στην περιοχή μελέτης είναι ο φλύσχης.

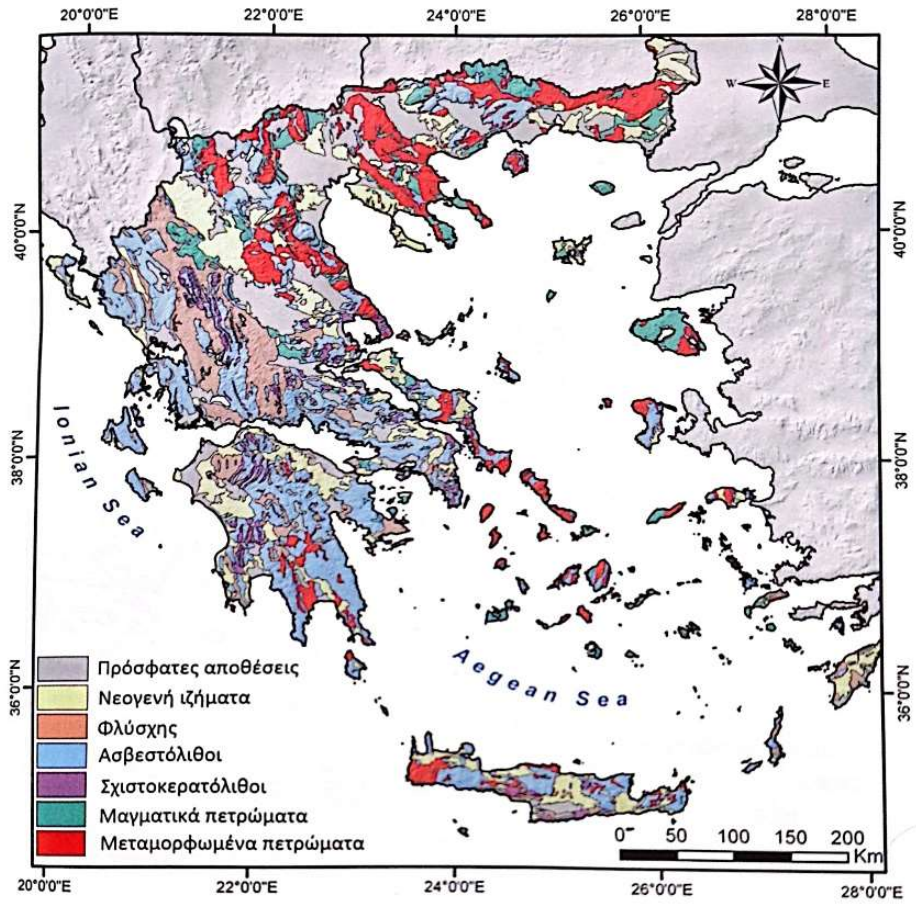


Σχ. 3.1. Δορυφορική εικόνα αναπαράστασης της θέσης μελέτης στην επαρχιακή οδό Μετσόβου – Ανηλίου (Google Earth).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

Η ζώνη Πίνδου αποτελεί την εσωτερικότερη ζώνη των εξωτερικών Ελληνίδων. Στον χάρτη του Σχ. 3.2 διακρίνονται οι περιοχές στις οποίες ο φλύσχης αποτελεί τον κύριο σχηματισμό. Οι σημαντικότερες εμφανίσεις φλύσχη, γίνονται στις ζώνες Πίνδου και Γαρβρόβου-Τρίπολης. Ο φλύσχης της ζώνης Πίνδου και συγκεκριμένα ο Τριτογενής φλύσχης χρίζει ιδιαίτερης προσοχής, καθώς εμφανίζεται έντονα πτυχωμένος και σημαντικά τεκτονικά διαταραγμένος. Ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι συνδυαστικός, διότι στον σχηματισμό του, έπαιξαν ρόλο τόσο οι συνθήκες απόθεσης όσο και η τεκτονική (Μουντράκης 2020).



Σχ. 3.2. Τεχνικογεωλογικός χάρτης της Ελλάδος (Κούκης, 1988)

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

Ο φλύσχης τεχνικογεωλογικά αποτελεί έναν από τους πιο σύνθετους σχηματισμούς στην κατασκευή τεχνικών έργων. Το όνομα φλύσχης προτάθηκε από τον γεωλόγο B. Studer και προέρχεται από την γερμανική λέξη «Fließen» που σημαίνει ροή, πιθανότατα λόγω των τουρβιδιτικών κινήσεων που σχετίζονταν με τον συγκεκριμένο σχηματισμό. Ο σχηματισμός συνδέεται άμεσα με ζώνες σύγκρουσης και υποβίθησης λιθοσφαιρικών πλακών. Στην περιοχή που η ωκεάνια λιθόσφαιρα καταστρέφεται και υποβιθίζεται κάτω από την ηπειρωτική, δημιουργείται μία βαθιά και στενή αύλακα όπου και αποτίθενται τα ιζήματα ποτάμιας και θαλάσσιας προέλευσης (Ψιλοβίκος 2019). Το χαρακτηριστικό του φλύσχη είναι η άμεση σύνδεση του με τις ορογενετικές διαδικασίες. Ο φλύσχης στο τελικό στάδιο της ορογένεσης δέχεται πτυχωσιγενή τεκτονική, αποκτώντας την τελική του μορφή.

Ο κύριος λόγος, ωστόσο που ο συγκεκριμένος σχηματισμός δημιουργεί προβλήματα, είναι ο μεγάλος βαθμός ετερογένειας που παρουσιάζει. Σχηματισμοί που παρουσιάζουν ετερογένεια είναι δύσκολο να περιγράφουν τεχνικογεωλογικά, καθώς μπορούν να διαφέρουν σημαντικά από έργο σε έργο. Ακόμη τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους μπορούν να παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ακόμη και από θέση σε θέση στην ίδια περιοχή. Τεχνικογεωλογικά, ο φλύσχης εμφανίζει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά (P. Marinos & E.Hoek, 2001):

- Εναλλαγές υψηλής αντοχής στρωμάτων (π.χ. ψαμμίτης) με χαμηλής αντοχής στρωμάτων (π.χ. ιλυόλιθος).
- Ποικίλα πάχη στρωμάτων (από λεπτοστρωματώδης έως και παχυστρωματώδης).
- Έντονα τεκτονικά διαταραγμένη βραχομάζα λόγω των ορογενετικών διεργασιών κατά τον σχηματισμό της.
- Ύπαρξη αργιλικών πετρωμάτων.
- Αποσάθρωση των ιλυολιθικών και αργιλικών μελών και η επιδεκτικότητα τους πετρώματος στο φαινόμενο της σχιστοποίησης.
- Η τεκτονική δράση υποβαθμίζει την ποιότητα της βραχομάζας.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

- Η ύπαρξη νερού μπορεί να αποτελέσει σημαντικό παράγοντα στην εμφάνιση αστοχιών λόγω των αργιλικών και ιλυολιθικών μελών τα οποία διαβρώνονται με υψηλό ρυθμό.

Ο φλύσχης της περιοχής μελέτης (Σχ. 3.3) χαρακτηρίζεται από εναλλαγές ψαμμιτικών και ιλυολιθικών στρωμάτων, με τον ψαμμίτη να κυριαρχεί. Στη θέση του πρανούς παρουσιάζεται τεκτονικά διαταραγμένος, με διακριτά συστήματα ασυνεχειών. Συγκεκριμένα ψαμμιτικά τεμάχη που έχουν αστοχήσει παρατηρούνται στην άκρη του δρόμου. Τα ιλυολιθικά τμήματα του πρανούς εμφανίζονται διαβρωμένα. Με βάση το σύστημα GSI θα μπορούσαμε να κατατάξουμε τον φλύσχη του πρανούς ως **Τύπο ΙΙΙ**. Κατά Θεοδωρίδη (2013) ο φλύσχης τύπου ΙΙΙ μπορεί να δώσει τρεις κύριους τύπους αστοχιών. Επίπεδη, σφηνοειδή ολίσθηση και καταπτώσεις. Ο λόγος που οι εν δυνάμει τύποι αστοχιών είναι τρεις, εξαρτάται από την πετρογραφική σύσταση του σχηματισμού και τον βαθμό τεκτονικής διαταραχής. Ο φλύσχης τύπου ΙΙΙ αποτελείται κυρίως από ψαμμίτη και δεδομένου του βαθμού τεκτονικής καταπόνησης που έχει υποστεί, οι αστοχίες που δύναται να εμφανιστούν έχουν ανισότροπη συμπεριφορά.

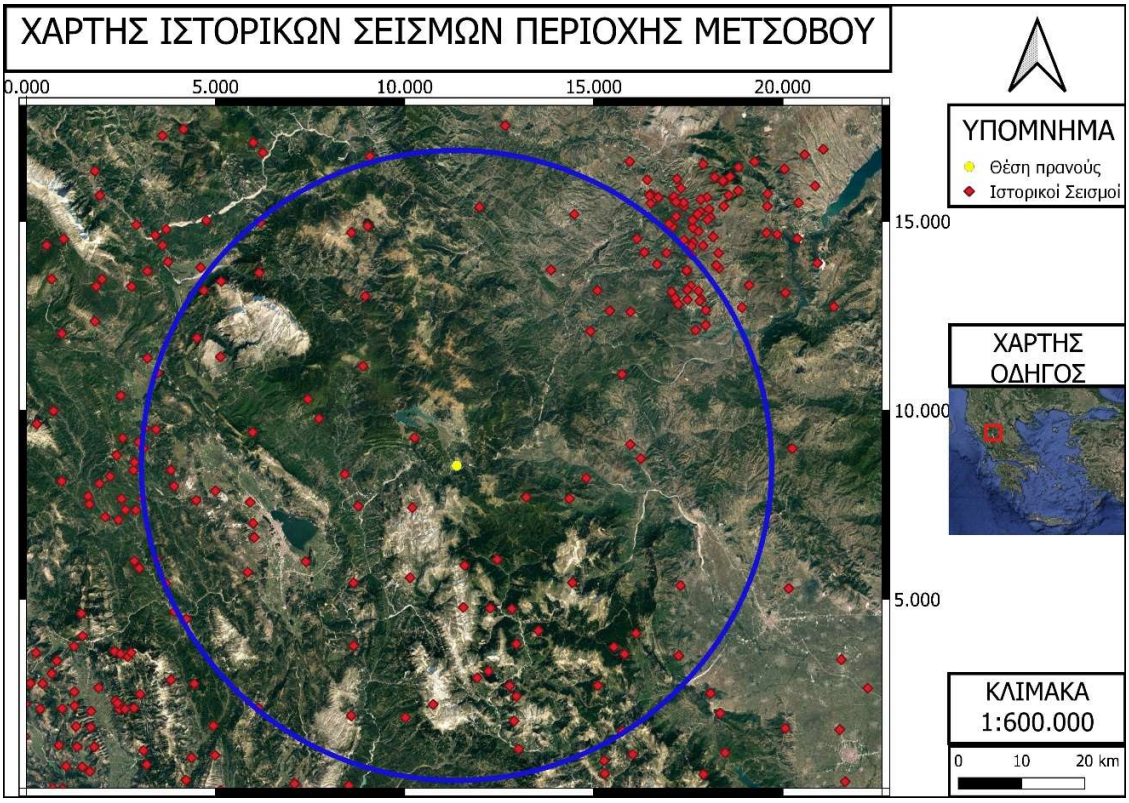
Σχ. 3.3. Εικόνα από φλύσχη του πρανούς μελέτης. Παρατηρούνται εναλλαγές μεταξύ των ψαμμιτικών (σκουρόχρωμα) και των ιλυολιθικών (ανοιχτόχρωμα) στρώσεων.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Σεισμικότητα

Συγκριτικά με την υπόλοιπη Ελλάδα η περιοχή της Πίνδου δεν έχει τόσο υψηλή σεισμικότητα. Ωστόσο στην περιοχή έχουν παρατηρηθεί κάποια σεισμικά φαινόμενα τα τελευταία ~200 χρόνια. Συγκεκριμένα αναλύοντας σεισμολογικά δεδομένα από το 550 π.Χ. – 2010 από όλη την Ελλάδα, για σεισμούς M ≥ 4.5 (Papazachos et al. 2000) (Papazachos et al. 2010) κατασκευάστηκε ο χάρτης του Σχ. 3.4.



Σχ. 3.4. Χαρτης ιστορικών σεισμών περιοχής Μετσόβου (ο μπλε κύκλος αντιπροσωπεύει ακτίνα 50 km γύρω από την θέση μελέτης).

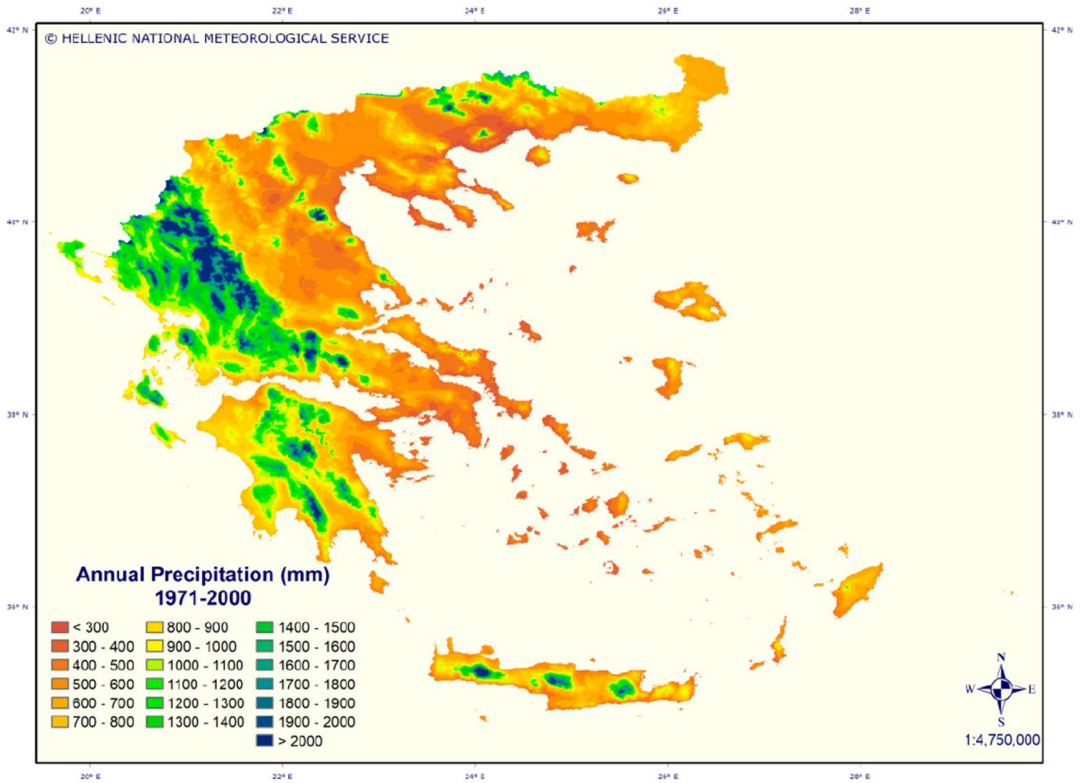
Σε μία ακτίνα 50 km γύρω από την θέση μελέτης, από το 1787 μέχρι το 2010 συνέβησαν 51 σεισμοί μεγέθους M ≥ 4.5.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Βροχόπτωση

Ένας από τους παράγοντες που οδηγεί στην πρόκληση κατολισθήσεων είναι η βροχόπτωση. Μάλιστα το 70 % των κατολισθήσεων συμβαίνει τη χειμερινή περίοδο, εκ των οποίων το 30% παρατηρείτε μετά από ισχυρές βροχοπτώσεις μεγάλης διάρκειας (C. Wyllie, C. Mah 2005). Στον ελληνικό χώρο η μέση ετήσια βροχόπτωση δεν κατανέμετε ομαλά σε όλη την χώρα, αλλά υπάρχει η τάση, να αυξάνεται προς το δυτικό τμήμα. Στον χάρτη του Σχ. 3.5. παρατηρείτε ότι για το διάστημα 1971 – 2000 η μέση ετήσια βροχόπτωση γύρω από την θέση μελέτης κυμαίνεται μεταξύ 1500 – 2000 mm το χρόνο (Gofa et al. 2019). Το πρανές μελέτης εντοπίζεται σε μία από τις περιοχές που δέχονται την περισσότερη βροχόπτωση σε όλη την Ελλάδα, αυξάνοντας σημαντικά την πιθανότητα εκδήλωσης κατολισθήσεων.



Σχ. 3.5. Χάρτης μέσης ετήσιας βροχόπτωσης στην Ελλάδα για το διάστημα 1971 – 2000 (Gofa et al. 2019).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

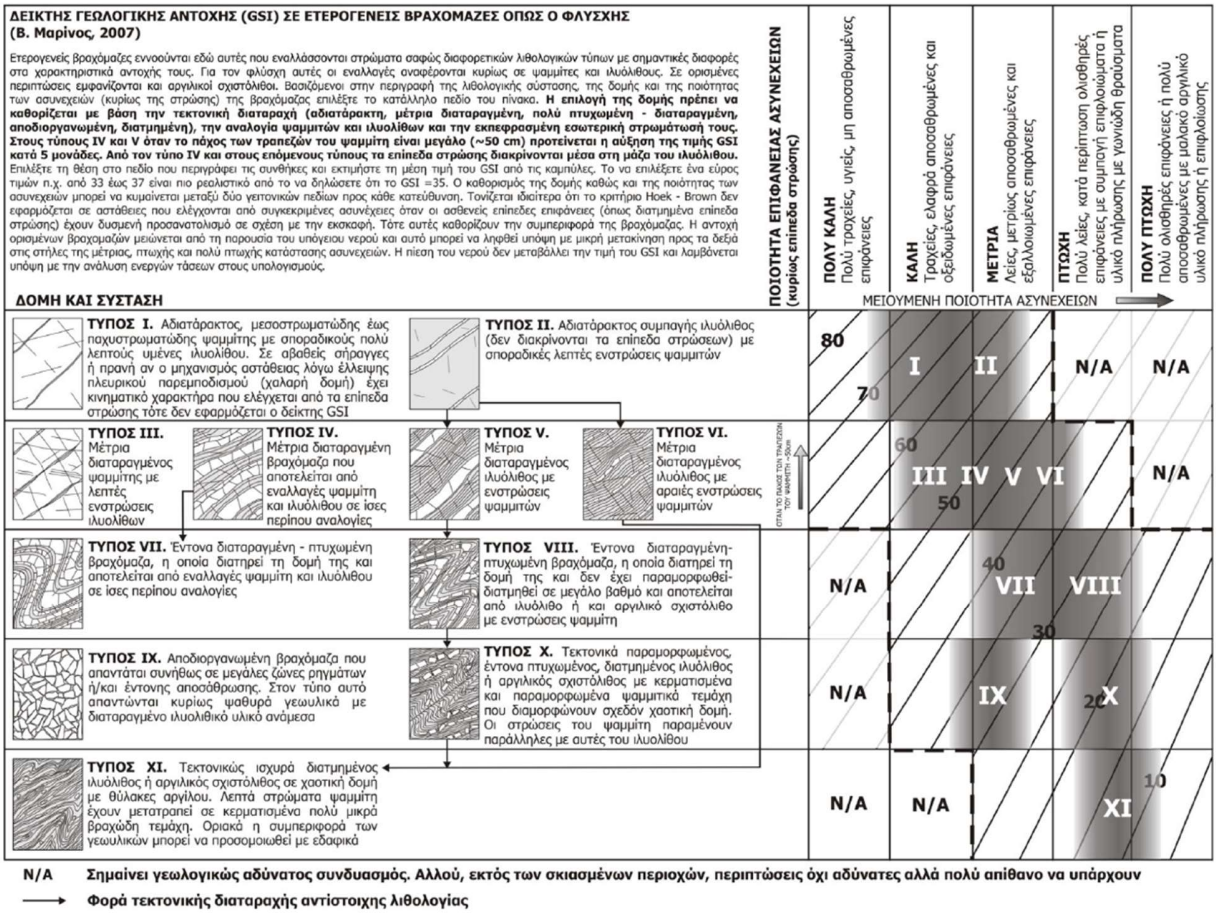
3.2 Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών στην περιοχή μελέτης

3.2.1 Σύστημα GSI

Το σύστημα GSI (Geological Strength Index) αποτελεί ένα από τα πιο χρήσιμα εργαλεία που έχει ο γεωλόγος κατά τις εργασίες πεδίου. Πρόκειται για ένα σύστημα ταξινόμησης βραχομάζας που σχεδιάστηκε από τον E. Hoek και E.T. Brown (1980) και αναπτύχθηκε από τον E. Hoek και P. Marinos (2000). Ο γεωλόγος χρησιμοποιώντας δεδομένα από την παρατήρηση στο πεδίο, μπορεί να λάβει μία γενικότερη εικόνα για την αντοχής της βραχομάζας. Αποτελείται από δύο στήλες, με την πρώτη να απεικονίζει τον βαθμό διαταραχής του σχηματισμού και την δεύτερη την ποιότητα της επιφάνειας των ασυνεχειών. Μέσω των δύο παραπάνω στηλών προκύπτει ένας αριθμός που αποτελεί τον δείκτη GSI. Το σύστημα GSI έχει επικαιροποιηθεί για διάφορες κατηγορίες σχηματισμών. Μέσα σε αυτούς τους σχηματισμούς περιλαμβάνεται και ο φλύσχης (Σχ. 3.6) που αποτελεί τον κύριο σχηματισμό της περιοχής μελέτης.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας



Σχ. 3.6. Πίνακας GSI για ετερογενής βραχομάζες όπως ο φλύσχης (Β. Μαρίνος 2007).

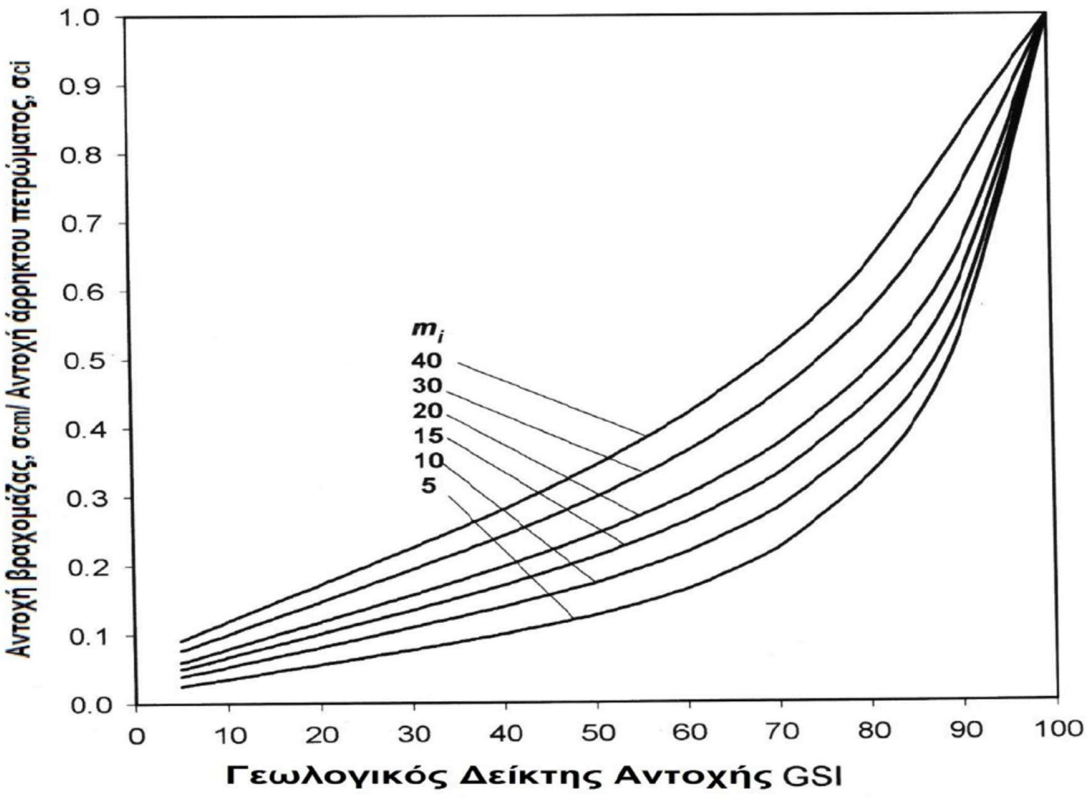
Στο GSI ο φλύσχης ανάλογα τον βαθμό διαταραχής και την ορυκτολογική του σύσταση (αναλογία ψαμμίτη-ιλυόλιθου), κατηγοριοποιείται σε 11 τύπους. Διαβάζοντας τον πίνακα από αριστερά προς δεξιά, παρατηρούμε ότι μεγαλώνει ο βαθμός τεκτονικής διαταραχής σε πετρώματα αντίστοιχης λιθολογίας. Όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα του φλύσχη σε ιλυόλιθο ή άργιλο (πετρώματα χαμηλής αντοχής) τόσο μεγαλύτερος είναι και ο αριθμός του τύπου του. Παρομοίως παρατηρούμε στον πίνακα τιμών ότι, ο κάθε τύπος μπορεί να λάβει ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών από τους συνδυασμούς Δομής – Σύστασης και ποιότητας ασυνεχειών. Αυτό συμβαίνει διότι με την αύξηση του βαθμού διαταραχής και την διαφορά ορυκτολογικής σύστασης η ποιότητα αντοχής της βραχομάζας είναι χαμηλότερη, οπότε ο δείκτης GSI μειώνεται. Κάποιοι συνδυασμοί Δομής – Σύστασης και ποιότητας ασυνεχειών που δεν υφίστανται (N/A), καθώς οι συγκεκριμένοι συνδυασμοί δεν μπορούν να υπάρξουν στην φύση ώστε να δώσουν αυτές τις τιμές GSI. Οι περιοχές που

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

δεν είναι σκιασμένες αλλά ούτε χαρακτηρίζονται από N/A αντιστοιχούν σε περιπτώσεις που δεν έχουν παρατηρηθεί στη φύση αλλά είναι πιθανή η ύπαρξη τους.

Επίσης στην κατασκευή σηράγγων βάθους >30 m, συνδυάζοντας τον δείκτη GSI με τις παραμέτρους σ_{ci} (αντοχή σε μονοαξονική θλίψη) και m_i (σταθερά που εξαρτάται από τα ορυκτολογικά χαρακτηριστικά του πετρώματος), οι οποίες χρησιμοποιούνται από το κριτήριο αστοχίας Hoek & Brown (1977), ο γεωλόγος μπορεί να εκτιμήσει τα μηχανικά χαρακτηριστικά του σχηματισμού (Σχ. 3.7.).



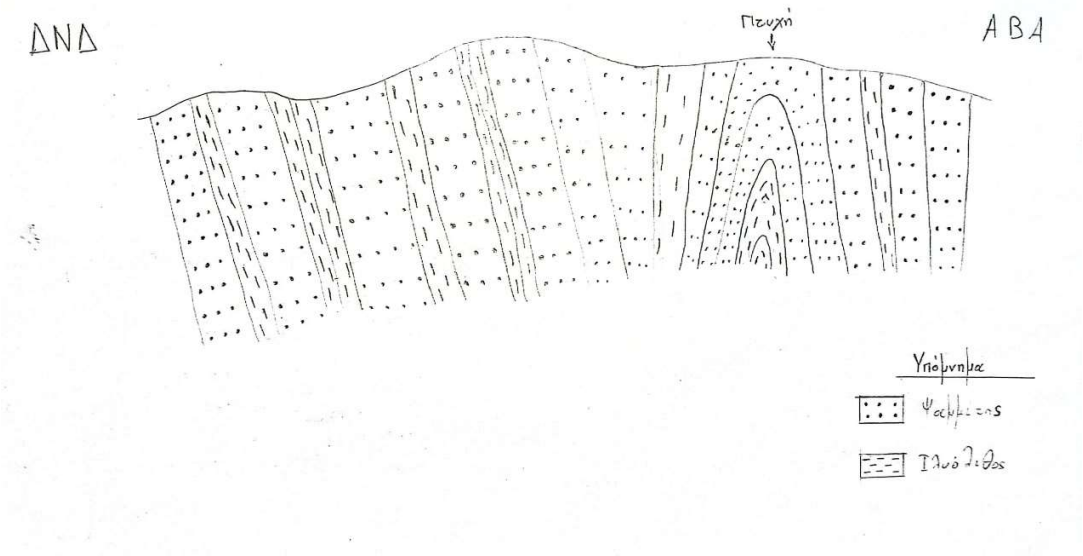
Σχ. 3.7. Διάγραμμα εκτίμησης αντοχής βραχομάζας σ_{cm} με την χρήση GSI (Marinos and Hoek 2000).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

3.3 Εργασίες πεδίου

Οι εργασίες πεδίου αποτελούν το πρώτο στάδιο σε οποιαδήποτε γεωλογική μελέτη. Το πρώτο βήμα είναι η απόκτηση μιας γενικής εικόνας από την θέση μελέτης. Αφού εντοπίσουμε την θέση μας στο χάρτη και καταγράψουμε τις συντεταγμένες, περπατάμε κατά μήκος του οδικού άξονα και σχεδιάζουμε ένα σκίτσο του πρανούς. Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3.1, ο φλύσχης του πρανούς μελέτης λιθολογικά είναι κυρίως ψαμμιτικός με λεπτές ιλυολιθικές ενστρώσεις. Η κινηματική ανάλυση πραγματοποιείται στα ψαμμιτικά τμήματα της βραχομάζας λόγω της ανισότροπης συμπεριφοράς τους κατά την αστοχία. Στο σκίτσο (Σχ. 3.8) καταγράφουμε τους σχηματισμούς που συναντάμε, με τα γεωλογικά χαρακτηριστικά (κλίσεις, ασυνέχειες, πτυχές) που θα συμβάλουν στην εκπόνηση της μελέτης. Παρατηρήθηκε η ύπαρξη πτυχής προς το ανατολικό τμήμα του πρανούς μελέτης. Εκατέρωθεν της πτυχής καταγράφηκε μεταβολή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των ασυνεχειών. Λόγω της διαφοροποίησης είναι αναγκαία ο διαχωρισμός του πρανούς σε επιμέρους τμήματα. Στην παρούσα διπλωματική θα διακριθούν 2 τμήματα, το δυτικό (δυτικά της πτυχής και της ζώνης επιρροής της) και ανατολικό (η πτυχή με το ανατολικό τμήμα) , για την πραγματοποίηση της μελέτης ευστάθειας. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν για την μελέτη ευστάθειας στην παρούσα διπλωματική, αφορούν το δυτικό τμήμα της πτυχής, όπου και εστιάζουμε παρακάτω.



Σχ. 3.8. Σχηματική αναπαράσταση πρανούς κατά μήκος της επαρχιακής οδού Μετσόβου – Ανηλίου.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Από την παρατήρηση εντοπίστηκαν τεμάχη διαφόρων μεγεθών, που είχαν αστοχήσει από την επιφάνεια του πρανούς. Καταγράφουμε όσα περισσότερα μπορούμε, ώστε να έχουμε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα για τον όγκο των τεμαχών (Σχ. 3.9). Μετράμε τις διαστάσεις των τεμαχών (Πίνακας 3.1) με το μεγαλύτερο μέγεθος, διότι πολλά από τα μικρότερα τεμάχη πιθανότατα είναι τμήματα που έσπασαν κατά την πτώση. Παρατηρούμε στο ιστόγραμμα του Σχ. 3.10 ότι το μεγαλύτερο πλήθος των τεμαχών που καταγράφηκαν είχαν μέγεθος μέχρι 0.02 m^3 ενώ ένα μικρό ποσοστό έφτανε τα 0.08 m^3. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ένας λόγος που η κατανομή των βραχοτεμαχών κλίνει προς τα μικρότερα μεγέθη, είναι διότι πολλά τεμάχη σπάνε κατά την πτώση. Για την επιβεβαίωση του μεγέθους των τεμαχών που όντως, έχουν αποκολληθεί από το πρανές, είναι αναγκαία η μέτρηση των όγκων, των θέσεων από τις οποίες είναι φανερό ότι έχουν αποκολληθεί τεμάχη. Καθώς οι θέσεις δεν είναι εύκολα προσβάσιμες και οποιεσδήποτε μετρήσεις από απόσταση δεν θα πλησίαζαν τα πραγματικά δεδομένα, θα ήταν χρήσιμη η δημιουργία μιας τρισδιάστατης απεικόνισης σε περιβάλλον Η/Υ, ώστε να πραγματοποιηθεί η επεξεργασία των δεδομένων με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

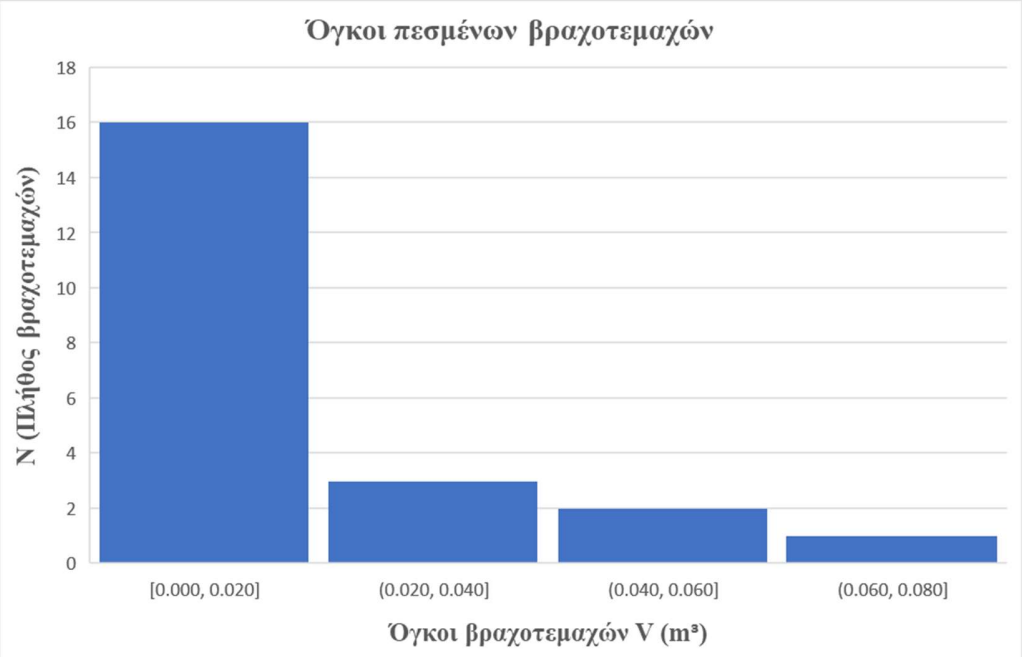
Σχ. 3.9. Καταγραφή διαστάσεων πεσμένων βραχοτεμαχών κατά μήκος του δρόμου στη θέση μελέτης.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

Α/Α	Μήκος Χ (cm)	Πλάτος Υ (cm)	Ύψος Ζ (cm)	Όγκος V (m³)
1	70	30	20	0.042
2	37	12	7	0.003
3	38	30	16	0.018
4	26	24	4	0.002
5	6	4	2.5	0.000
6	10	8	9	0.001
7	23	13	14	0.004
8	53	40	33	0.070
9	14	13	10	0.002
10	30	13	10	0.004
11	50	18	13	0.012
12	22	12	6	0.002
13	30	17	13	0.007
14	43	27	20	0.023
15	52	22	20	0.023
16	45	32	15	0.022
17	44	22	20	0.019
18	56	37	24	0.050
19	55	20	10.5	0.012
20	50	17	23	0.020
21	52	26	12	0.016
22	29.5	20	22	0.013

Πίνακας 3.1. Διαστάσεις βραχοτεμαχών κατά μήκος του δρόμου στη θέση μελέτης.



Σχ. 3.10. Ιστόγραμμα απεικόνισης πλήθος βραχοτεμαχών προς τον αντίστοιχο όγκο τους.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

Ακολουθεί η καταγραφή των ασυνεχειών (Σχ. 3.11) και η συμπλήρωση του φύλλου αναγραφής τους (Πίνακας 3.2). Τα εργαλεία που χρησιμοποιούμε είναι η πυξίδα τύπου Clar (Σχ. 3.12), για την καταγραφή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών και το προφιλόμετρο ώστε να υπολογιστεί η τραχύτητα. Η πυξίδα μας δίνει δύο τιμές, την διεύθυνση βύθισης και την γωνία βύθισης. Επιπλέον καταγράφουμε τις γεωμετρικές ιδιότητες των ασυνεχειών. Συγκεκριμένα την απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών του ίδιου συστήματος, το μήκος, άνοιγμα, υλικό πλήρωσης, την τραχύτητα και τον βαθμό αποσάθρωσης των ασυνεχειών. Στην περίπτωση που η βραχομάζα δεν είναι έντονα τεκτονικά διαταραγμένη μπορεί να γίνει μία αρχική εκτίμηση για τον αριθμό των συστημάτων ασυνεχειών, ωστόσο μόνο μετά την κινηματική ανάλυση, μπορούμε να έχουμε την πραγματική εικόνα.

Σχ. 3.11. Διάταξη ασυνεχειών στο πρανές της θέσης μελέτης. Με μωβ χρώμα απεικονίζεται η στρώση, με μπλε η ασυνέχεια J1 και με κόκκινο η ασυνέχεια J2.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Σχ. 3.12. Καταγραφή ασυνεχειών με την χρήση γεωλογικής πυξίδας τύπου Clar.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

ΦΥΛΛΟ ΑΝΑΓΡΑΦΗΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ									
Α/Α	ΕΙΔΟΣ ΑΣΥΝ.	ΚΛΙΣΗ	ΦΟΡΑ ΒΥΘΙΣΗΣ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (cm)	ΜΗΚΟΣ	ΑΝΟΙΓΜΑ	ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ	ΥΛΙΚΟ ΠΛΗΡ.	ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ
1	B	75	92	0.7*	B	2B	SR	H1	MW
2	B	65	98	0.7*	B	2B	SR	H1	MW
3	B	89	278	0.7*	B	2B	SR	H1	MW
4	B	82	111	0.7*	B	2B	SR	H1	MW
5	B	58	80	0.7*	B	2B	SR	H1	MW
6	B	65	84	0.7*	B	2B	SR	H1	MW
7	B	89	80	0.7*	B	2B	SR	H1	MW
8	B	55	81	0.7*	B	2B	SR	H1	MW
9	B	70	74	0.7*	B	2B	SR	H1	MW
10	B	82	280	0.7*	B	2B	SR	H1	MW
11	B	82	286	0.7*	B	2B	SR	H1	MW
12	B	79	92	0.7*	B	2B	SR	H1	MW
13	B	73	78	0.7*	B	2B	SR	H1	MW
14	J	65	318	1.6*	A	1A	SL	H1	MW - HW
15	J	88	300	1.6*	A	1A	SL	H1	MW - HW
16	J	78	323	1.6*	A	1A	SL	H1	MW - HW
17	J	65	324	1.6*	A	1A	SL	H1	MW - HW
18	J	55	111	0.5*	B	1B	SL	H1	MW - HW
19	J	60	172	0.5*	B	1B	SL	H1	MW - HW
20	J	42	8	0.5*	B	1B	SL	H1	MW - HW
21	J	50	326	1.6*	A	1A	SL	H1	MW - HW
22	J	85	332	1.6*	A	1A	SL	H1	MW - HW
23	J	52	308	1.6*	A	1A	SL	H1	MW - HW
24	J	60	100	0.5*	B	1B	SL	H1	MW - HW
25	J	82	110	0.5*	B	1B	SL	H1	MW - HW
26	J	61	117	0.5*	B	1B	SL	H1	MW - HW
27	J	70	294	1.6*	A	1A	SL	H1	MW - HW

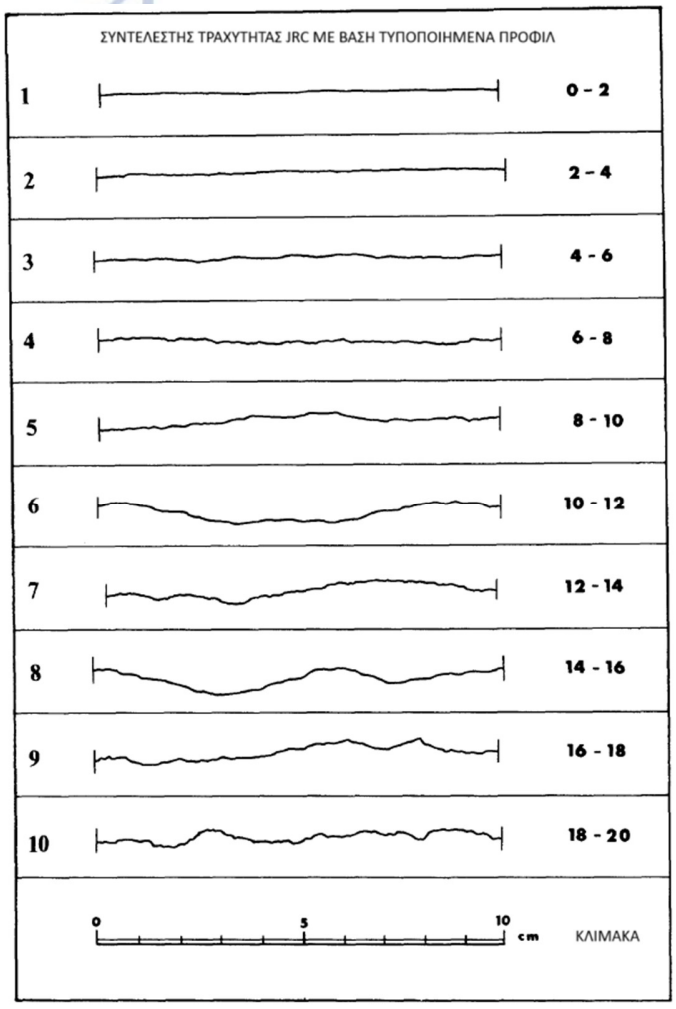
ΕΙΔΟΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ:	B: Στρώση, F: Ρήγμα, J: Διάκλαση, S: Σχιστότητα, Z: Ζώνη διάτμησης
ΑΠΟΣΤΑΣΗ:	Απόσταση από επόμενη ασυνέχεια ίδιου συστήματος (*) Μέσος όρος της απόστασης των ασυνεχειών
ΜΗΚΟΣ:	A: <1m, B: 1-3 m, C: 3-10 m, D: 10-20 m, E: >20 m
ΑΝΟΙΓΜΑ:	0: Καθόλου, 1A: <0.1 mm, 1B: 0.1-1 mm, 2A: 1-5 mm, 2B: >5 mm
ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ:	VR: Πολύ τραχεία, R: Τραχεία, SR: Ελαφρά Τραχεία, SM: Ομαλή, SL: Ολίσθηση
ΥΛΙΚΟ ΠΛΗΡΩΣΗΣ:	0: Κανένα, H1: Στιφρό-d<5mm, H2: Στιφρό-d>5mm, S1: Μαλακό-d<5mm, S2: Μαλακό-d>5mm
ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ:	UW: Χωρίς, SW: Μικρή, MW: Μέτρια, HW: Έντονη, D: Ολική

Πίνακας 3.2. Φύλλο αναγραφής ασυνεχειών.

Για την εκτίμηση της τραχύτητας χρησιμοποιείται το προφιλόμετρο. Εφαρμόζοντας το πάνω στην επιφάνεια της ασυνέχειας λαμβάνουμε το «αποτύπωμα» της επιφάνειας και χρησιμοποιώντας το διάγραμμα του Σχ. 3.13 λαμβάνουμε την τιμή JRC, που αντιπροσωπεύει την ποιότητα της επιφάνειας της ασυνέχειας. Στην συγκεκριμένη μελέτη ευστάθειας, τα προφίλ των ασυνεχειών έδωσαν τιμές JRC μεταξύ 8 – 12. Για τον υπολογισμό της γωνίας εσωτερικής τριβής θα χρησιμοποιηθεί ο μέσος όρος 10.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ



Σχ. 3.13. Τυποποιημένα προφίλ τραχύτητας με το αντίστοιχο εύρος τιμών του συντελεστή JRC για το καθένα (Barton 1978).

Έχοντας λάβει τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, σειρά έχουν τα μηχανικά. Χρησιμοποιώντας την σφύρα Schmidt τύπου L, λήφθηκαν 10 μετρήσεις (Πίνακας 3.3). Η σφύρα Schmidt δίνει τιμές που αντιστοιχούν στην αντοχή των τοιχωμάτων των ασυνεχειών. Από τις 10 μετρήσεις που λήφθηκαν στο πεδίο κρατάμε τις μισές, δηλαδή 5, και υπολογίζουμε τον μέσο όρο. Με την τιμή που έχουμε από τον μέσο όρο των μετρήσεων υπολογίζουμε την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη σ_c της επιφάνειας των ασυνεχειών μέσω του Σχ. 3.14. Ο μέσος όρος των τιμών της σφύρας Schmidt αντιστοιχεί σε 45. Το φαινόμενο βάρος του ψαμμίτη είναι 2.64 gr/cm^3 ή 26.4 KN/m^3 (G. R. Khanlari et. al 2014).

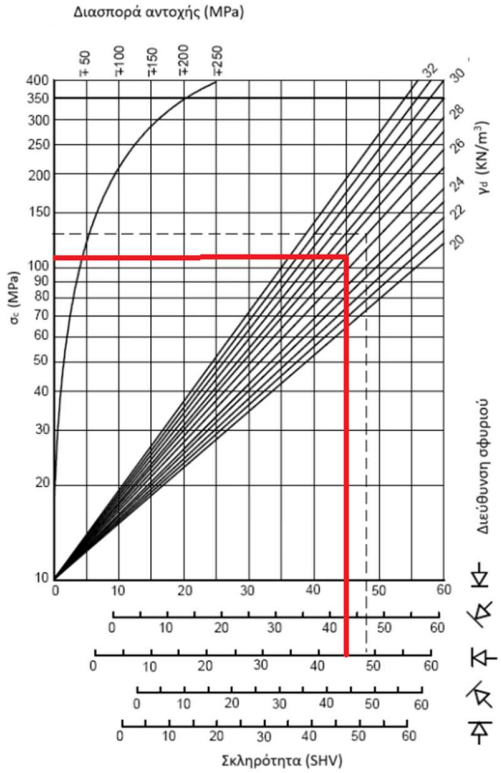
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

Αντιστοιχώντας τις παραπάνω τιμές στο διάγραμμα του Σχ. 3.12, προκύπτει ότι η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη σ_c = 110 MPa.

L-Schmidt	42	46	42	44	32	29	42	42	44	47

Πίνακας 3.3. Τιμές από σφύρα Schmidt τύπου L.



Σχ. 3.14. Διάγραμμα υπολογισμού αντοχής τοιχωμάτων μονοαξονική θλίψη JCS μέσω της συσχέτισης τιμών σφύρας Schmidt, ξηρού φαινόμενου βάρους γ_d και διεύθυνσης του σφυριού (Deere and Miller 1966).

3.4 Ανάλυση και επεξεργασία μετρήσεων με τις κλασικές μεθόδους

3.4.1 Κινηματική ανάλυση

Η ανάλυση και επεξεργασία των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε με την χρήση εξειδικευμένων λογισμικών του πακέτου της Rocscience. Το πρώτο στάδιο της ανάλυσης αποτελείται από την κινηματική ανάλυση. Μέσω της κινηματικής ανάλυσης, όπως

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, υπολογίζεται η δυνατότητα της εκάστοτε βραχομάζας να αστοχήσει. Με την χρήση λογισμικών όπως το Dips, η πιθανότητα αστοχίας ποσοτικοποιείται, δίνοντας μια καλύτερη εικόνα για την έκταση του αστοχίας. Για την πραγματοποίηση των υπολογισμών χρειάζεται αρχικά να υπολογιστεί η γωνία εσωτερικής τριβής (φ). Για τον υπολογισμό της γωνίας εσωτερικής τριβής χρησιμοποιείται ο τύπος από το κριτήριο αστοχίας του Barton (1973):

$\tau = \sigma_n \tan(\varphi_b + JRC \log\frac{JCS}{\sigma_n})$ όπου:

- τ = διατμητική αντοχή
- σ_n = ορθή τάση
- φ_b = Βασική γωνία τριβής.
- JRC = Συντελεστής τραχύτητας.
- JCS = Αντοχή των τοιχωμάτων σε μονοαξονική θλίψη.

Γνωρίζοντας όμως πως κατά Patton (1966) η σχέση μπορεί να μετατραπεί σε:

$\tau = \sigma_n \tan(\varphi_b + \mathrm{i})$, όπου i = γωνία τραχύτητας

$\tau = \sigma_n \tan\varphi$, όπου φ = γωνία εσωτερικής τριβής

Η βασική γωνίας τριβής του ψαμμίτη λαμβάνεται στην παρούσα διπλωματική βιβλιογραφικά, όπου κατά Κούκη & Σαμπατακάκη (2002) προκύπτει ότι φ_b= 32°.

Η ορθή τάση υπολογίζεται από την σχέση:

$\sigma_n = \gamma \times z = 26.4\frac{KN}{m^3} \times 30\ m = 792\frac{KN}{m^2}$ ή $0.792\ MPa$ όπου

- γ = φαινόμενο βάρος του ψαμμίτη
- z = το ύψος του πρανούς

Οπότε για τον υπολογισμό της γωνίας εσωτερικής τριβής φ απομένει να υπολογίσουμε το i το οποίο προκύπτει από τον υπολογισμό της σχέσης:

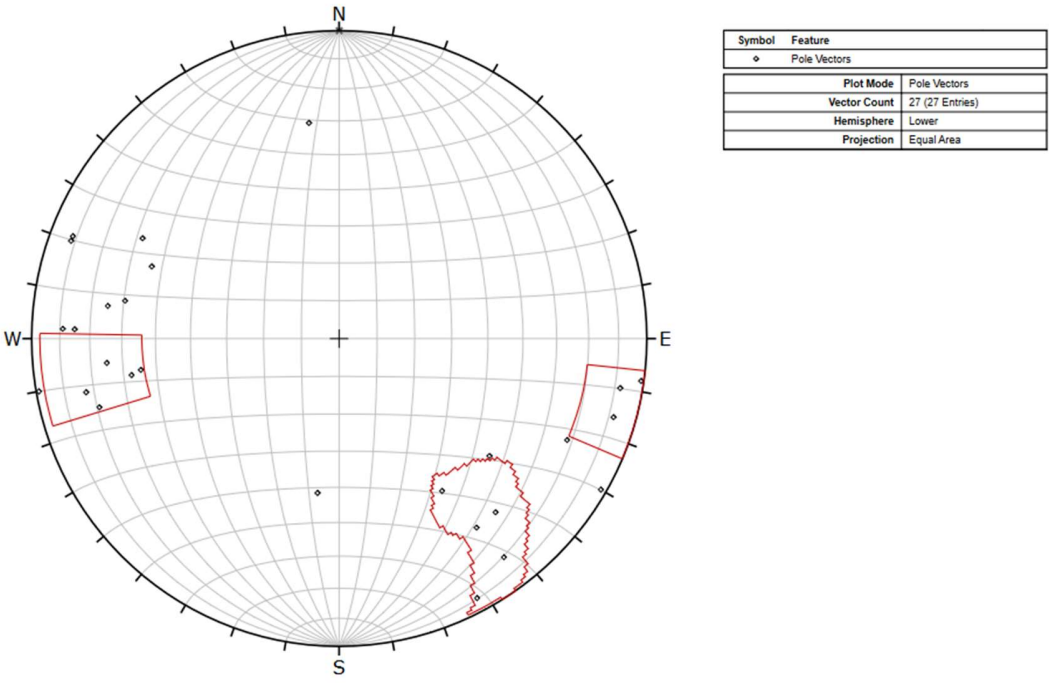
Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

$$i = JRC \log\frac{JCS}{\sigma_n} = 10\log(\frac{110\ MPa}{0.792\ MPa}) = 21.4°$$

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς προκύπτει ότι η γωνία εσωτερικής τριβής των ασυνεχειών: φ = 32° + 21.4° = 53.4°.

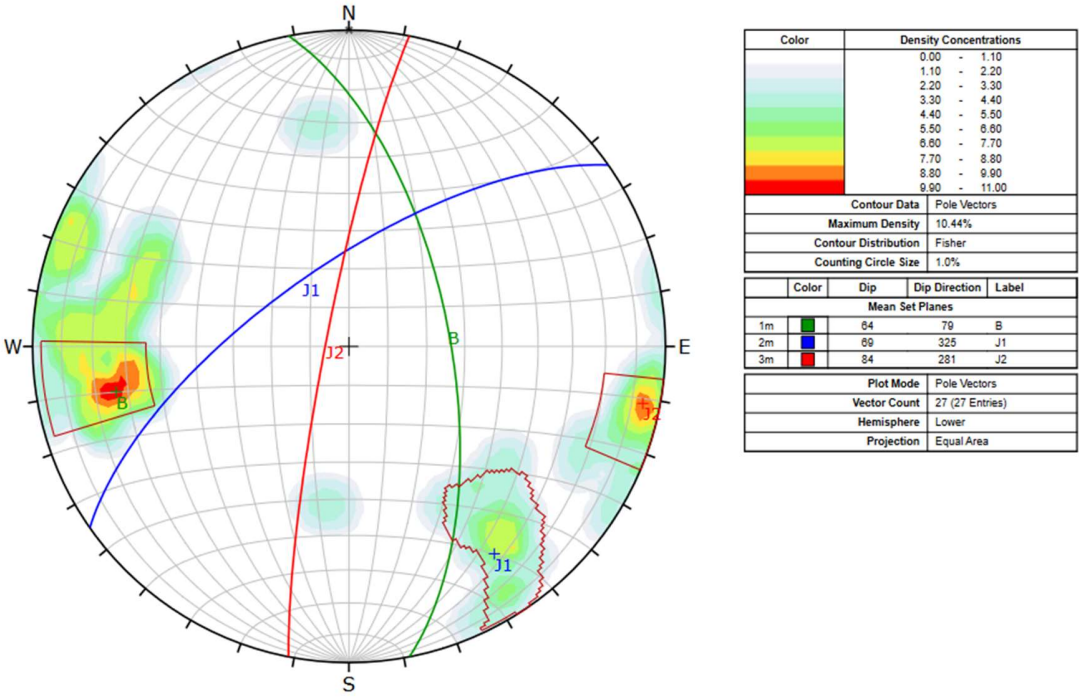
Για πραγματοποίηση της κινηματικής ανάλυσης χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Dips. Εισάγοντας τα δεδομένα στο πρόγραμμα Dips κατασκευάζουμε ένα δίκτυο Schmidt όπου προβάλλονται οι ασυνέχειες (Σχ. 3.15), που έχουν καταγραφεί στο φύλλο αναγραφής ασυνεχειών (Πίνακας 3.2), με την μορφή πόλων ή επιπέδων. Έπειτα ομαδοποιούμε τις ασυνέχειες με βάση τον προσανατολισμό τους, ώστε να σχηματιστούν κύρια επίπεδα ασυνεχειών, με τα οποία θα εργαστούμε. Μέσω της επεξεργασίας των δεδομένων, προκύπτουν 3 κύρια επίπεδα ασυνεχειών, η στρώση **B** με στοιχεία προσανατολισμού **64/079** και τα δύο επίπεδα ασυνεχειών **J1** και **J2** με στοιχεία προσανατολισμού **69/325** και **84/281** αντίστοιχα (Σχ. 3.16).



Σχ. 3.15. Προβολή πόλων ασυνεχειών και ομαδοποίηση τους με βάση τον προσανατολισμό τους στο λογισμικό Dips.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας



Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.10
	1.10 - 2.20
	2.20 - 3.30
	3.30 - 4.40
	4.40 - 5.50
	5.50 - 6.60
	6.60 - 7.70
	7.70 - 8.80
	8.80 - 9.90
	9.90 - 11.00
Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	10.44%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		84	79	B
2m		69	325	J1
3m		84	281	J2

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	27 (27 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Σχ. 3.16. Προβολή κυρίων επιπέδων ασυνεχειών στο λογισμικό Dips.

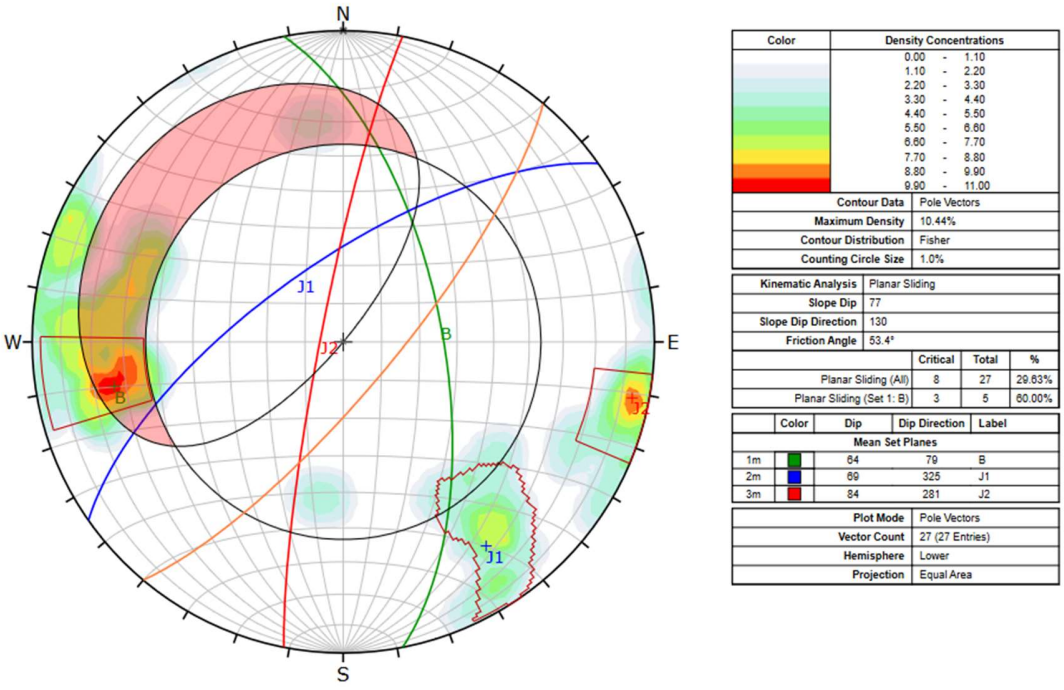
Επίπεδη ολίσθηση

Έχοντας ορίσει τα επίπεδα ασυνεχειών προχωράμε στην κινηματική ανάλυση. Σε αυτό το στάδιο χρειάζονται 2 επιπλέον παράμετροι. Τα γεωμετρικά στοιχεία του πρανούς και η γωνία εσωτερικής τριβής των ασυνεχειών. Τα γεωμετρικά στοιχεία του πρανούς υπολογίστηκαν στο πεδίο και αντιστοιχούν σε 77/130, ενώ η γωνία εσωτερικής τριβής υπολογίστηκε στην αρχή του κεφαλαίου. Εφαρμόζοντας τα δεδομένα στο πρόγραμμα Dips και επιλέγοντας κινηματική ανάλυση προκύπτει το Σχ. 3.17. Παρατηρούμε ότι από το σύνολο των 27 σημαντικών τομών που δημιουργούνται μεταξύ των επιπέδων οι 8 παρουσιάζουν πιθανότητα να δώσουν επίπεδη αστοχία με ποσοστό ~ 30%. Επίσης παρατηρούμε ότι το πρόγραμμα προειδοποιεί πως από τις συνολικές αστοχίες που μπορούν να προκληθούν, τα επίπεδα των ασυνεχειών που δύναται να αστοχήσουν ανήκουν στο σετ ασυνεχειών, της στρώσης B. Οι ασυνέχειες που ανήκουν στο σετ της στρώσης B αστοχούν σε ποσοστό 60%. Ο λόγος που το πρόγραμμα εμφανίζει 27 τομές μεταξύ των ασυνεχειών, είναι διότι κατά την κινηματική ανάλυση, λαμβάνει υπόψη κάθε σετ τιμών που έχει

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

μετρηθεί στο πεδίο όπως έχει καταγραφεί στο φύλλο αναγραφής ασυνεχειών και όχι μόνο τα κύρια επίπεδα ασυνεχειών, όπως εμφανίζονται στο σχήμα. Το συνολικό πλήθος των τομών που μπορούν να υπάρξουν από τις τιμές που έχουν δοθεί φαίνεται με τον μορφή πόλων στο Σχ. 3.18.



Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.10
	1.10 - 2.20
	2.20 - 3.30
	3.30 - 4.40
	4.40 - 5.50
	5.50 - 6.60
	6.60 - 7.70
	7.70 - 8.80
	8.80 - 9.90
	9.90 - 11.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	10.44%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Planar Sliding		
Slope Dip	77		
Slope Dip Direction	130		
Friction Angle	53.4°		
	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	8	27	29.63%
Planar Sliding (Set 1: B)	3	5	60.00%

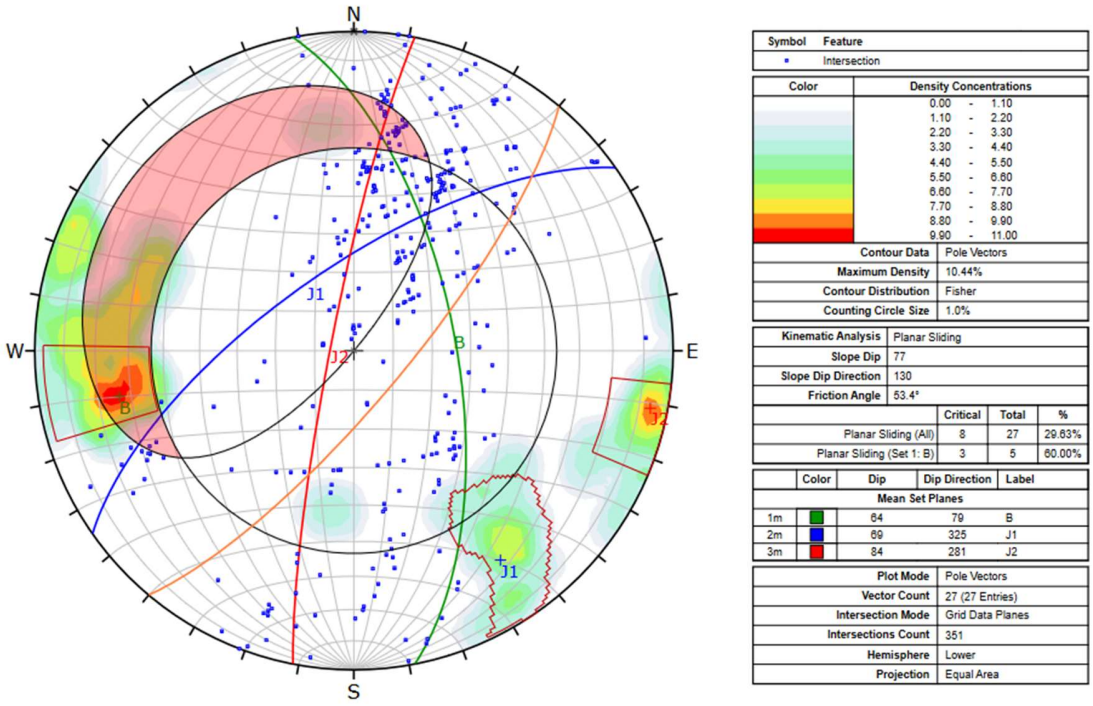
	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		84	79	B
2m		69	325	J1
3m		84	281	J2

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	27 (27 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Σχ. 3.17. Κινηματική ανάλυση για αστοχία σε επίπεδη ολίσθηση με την χρήση του προγράμματος Dips.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας



Symbol	Feature
•	Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.10
	1.10 - 2.20
	2.20 - 3.30
	3.30 - 4.40
	4.40 - 5.50
	5.50 - 6.60
	6.60 - 7.70
	7.70 - 8.80
	8.80 - 9.90
	9.90 - 11.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	10.44%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	77
Slope Dip Direction	130
Friction Angle	53.4°

	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	8	27	29.63%
Planar Sliding (Set 1: B)	3	5	60.00%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		64	79	B
2m		69	325	J1
3m		84	281	J2

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	27 (27 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	351
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

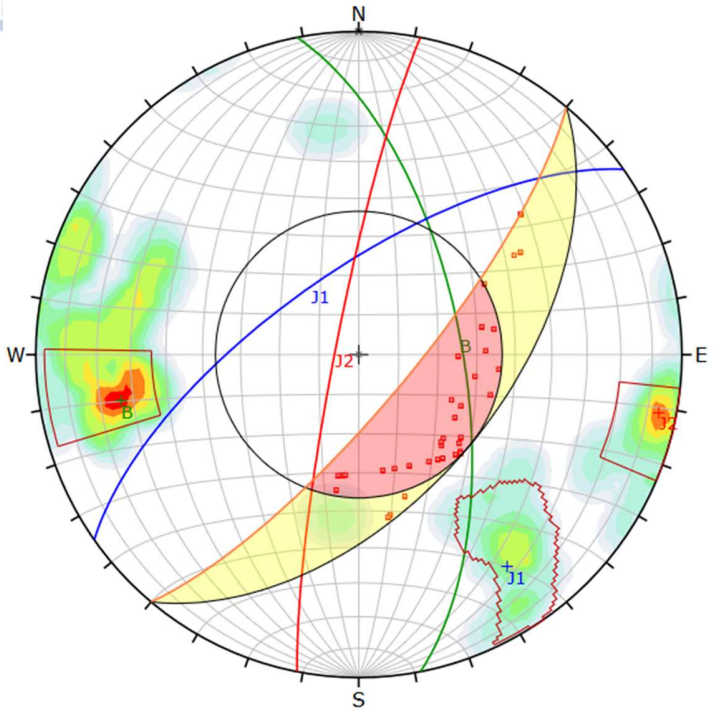
Σχ. 3.18. Κινηματική ανάλυση για αστοχία σε επίπεδη ολίσθηση με την προβολή του συνόλου των τομών των επιπέδων ασυνεχειών με την μορφή πόλων στο πρόγραμμα Dips.

Σφηνοειδή ολίσθηση

Κατά την κινηματική ανάλυση σε σφηνοειδή ολίσθηση παρατηρούμε ότι το πρόγραμμα δεν όρισε κάποια τομή μεταξύ των επιπέδων ασυνεχειών που αστοχεί, ωστόσο εμφανίζει 37 τομές μεταξύ των ασυνεχειών από τις 351 (~10.5%) που δύναται να αστοχήσουν (Σχ. 3.19). Αυτό συμβαίνει διότι όπως αναφέρθηκε παραπάνω μπορεί τα κύρια επίπεδα ασυνεχειών, πρακτικά να μην αστοχούν, αλλά ο συνδυασμός συγκεκριμένων ασυνεχειών με γεωμετρικά χαρακτηριστικά που έχουν βρεθεί στο πεδίο, να πληροί τις παραμέτρους ώστε να προκληθεί σφηνοειδή ολίσθηση.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας



Symbol	Feature
▫	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.10
	1.10 - 2.20
	2.20 - 3.30
	3.30 - 4.40
	4.40 - 5.50
	5.50 - 6.60
	6.60 - 7.70
	7.70 - 8.80
	8.80 - 9.90
	9.90 - 11.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	10.44%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	77
Slope Dip Direction	130
Friction Angle	53.4°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	37	351	10.54%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		64	79	B
2m		69	325	J1
3m		84	281	J2

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	27 (27 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	351
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Σχ. 3.19. Κινηματική ανάλυση για αστοχία σε σφηνοειδή ολίσθηση με τη χρήση του προγράμματος Dips.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

3.5 Προτεινόμενα μέτρα προστασίας

Έχοντας πραγματοποιήσει την κινηματική ανάλυση και έχοντας ποσοτικοποιήσει τα δεδομένα που είχαμε συλλέξει στο πεδίο, η πρόταση μέτρων προστασίας. Σκοπός των προτεινόμενων μέτρων προστασίας όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2.4 είναι η αποτροπή των βραχοτεμαχών που αστοχούν, να φτάσουν στον δρόμο. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με πλήθος μέτρων προστασίας, αλλά κατά την επιλογή κάθε μέτρου προστασίας λαμβάνονται υπόψη πλήθος παραγόντων. Η αλλαγή την κλίσης του πρανούς θα συνέβαλε στην αποτροπή των βραχοκαταπτώσεων, αλλά είναι πρακτικά αδύνατη λόγω του ύψους του πρανούς. Αντίστοιχα το εκτοξευμένο σκυρόδεμα θα συνέβαλε στην ενίσχυση της αντοχής των τοιχωμάτων των ασυνεχειών και θα συνέβαλαν στην μείωση του φαινομένου της διάβρωσης αλλά περιβαλλοντικά είναι απαγορευτικό. Ακόμη η κατασκευή τάφρου ή τοίχου αναχαίτησης, θα αποτελούσε εξαιρετική λύση αλλά λόγω έλλειψης χώρου, καθώς η θέση βρίσκεται σε περιοχή με ορεινό ανάγλυφο, δεν μπορεί να εφαρμοστεί το παραπάνω μέτρο προστασίας. Έχοντας αναλογιστεί τα υπέρ και τα κατά κάθε μέτρου προτείνω την εξής διπλή λύση. Αρχικά είναι αναγκαία η κάλυψη όλου του πρανούς με **μεταλλικό πλέγμα**. Γνωρίζουμε από τον πίνακα 3.1 ότι το μέγιστο μέγεθος βραχοτεμαχών που έχουν καταγραφεί δεν ξεπερνάει το 0.05 m^3 καθιστώντας το πλέγμα το οποίο συγκρατεί τεμάχη μέχρι 1.5 m^3 (G.J. Hearn 2011) ιδανική λύση. Ωστόσο όπως έχει αναφερθεί σε παραπάνω κεφάλαιο το γεγονός ότι τα βραχοτεμάχη που καταγράφηκαν δεν ξεπερνούσαν το 0.05 m^3, δεν σημαίνει απαραίτητα, ότι και το τμήμα του βράχου που αστόχησε, δεν είχε μεγαλύτερο μέγεθος. Επομένως θα πρότεινα στα μεγαλύτερα βραχοτεμάχη που δύναται να αστοχήσουν μελλοντικά να τοποθετηθούν **αγκύρια ή ηλώσεις** (ανάλογα το μέγεθος) στα μεγαλύτερα βραχοτεμάχη που δεν μπορούν να συγκρατηθούν από το μεταλλικό πλέγμα. Ο συνδυασμός των δύο παραπάνω μέτρων προστασίας μπορεί να αποτρέψει την κάθε πτώση βραχοτεμαχών κατά μήκος του οδοστρώματος.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

4 Συμπεράσματα

Ο σκοπός της διπλωματικής ήταν πραγματοποίηση μιας μελέτης ευστάθειας κατά μήκος της επαρχιακής οδού Μετσόβου – Ανηλίου με την χρήση εξειδικευμένων λογισμικών. Κατά την συγγραφή της αποκτήθηκαν γενικότερες γνώσεις σε θέματα ευστάθειας βραχωδών πρανών, καθώς και γενικότερες γεωλογικές γνώσεις για την περιοχή μελέτης. Για την επίτευξη του παραπάνω στόχου πραγματοποιήθηκε αρχικά μία εκτενή βιβλιογραφική έρευνα πάνω στην γεωλογία και τα κατολισθητικά φαινόμενα της περιοχής. Ακολούθησε μία σειρά μετρήσεων και δοκιμών στο πεδίο για την συλλογή δεδομένων. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε πυξίδα τύπου Clar για την καταγραφή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των ασυνεχειών, προφιλόμετρο για την εύρεση του συντελεστή τραχύτητας JRC, σφύρα Schmidt τύπου L για τον υπολογισμό της αντοχής των τοιχωμάτων σε μονοαξονική θλίψη JCS, μέτρο για την καταγραφή των διαστάσεων των βραχοτεμαχών. Έχοντας συλλέξει τα παραπάνω δεδομένα, πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία τους και στη συνέχεια μέσω του προγράμματος Dips της Rocscience έγινε η κινηματική ανάλυση. Χρησιμοποιώντας όλα αυτά τα εργαλεία, προτάθηκαν μέτρα προστασίας και ολοκληρώθηκε η μελέτη ευστάθειας του πρανούς.

Καταληκτικά προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα από την παρούσα διπλωματική:

- Η θέση μελέτης βρισκόταν σε περιοχή με ορεινό ανάγλυφο όπου είχε παρατηρηθεί μεγάλο πλήθος κατολισθήσεων. Το πρανές αποτελούταν από φλύσχη, κυρίως ψαμμιτικό με ιλυολιθικές ενστρώσεις και μέτρια τεκτονικά καταπονημένο, όπου κατά Θεοδωρίδη (2013) κατατάσσεται στον τύπο ΙΙΙ. Ο τύπος ΙΙΙ σημαίνει πως το πέτρωμα μπορεί να αστοχήσει με μόνο με ανισότροπη συμπεριφορά.
- Από την κινηματική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε από το πρόγραμμα Dips, προέκυψαν 3 κύρια συστήματα ασυνεχειών, η στρώση Β με στοιχεία προσανατολισμού 64/079 και δύο επίπεδα ασυνεχειών J1 και J2 με στοιχεία προσανατολισμού 69/325 και 84/281

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

αντίστοιχα. Η ανάλυση οριακής ισορροπίας έδειξε ότι υπάρχει πιθανότητα εκδήλωσης αστοχίας με επίπεδη και σφηνοειδή ολίσθηση.

- Για την αποτροπή εκδήλωσης αστοχίας προτάθηκε η εφαρμογή μέτρων προστασίας. Συγκεκριμένα ο συνδυασμός μεταλλικού πλέγματος κατά μήκος του πρανούς και αγκύριων/ηλώσεων ώστε να σταθεροποιηθούν τα μεγαλύτερα σε μέγεθος βραχοτεμάχη.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ

5 Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία

Δ. Μ. Μουντράκης, 2020. Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδας, Β΄ Έκδοση University Studio Press.19-21. ISBN 978-960-12-2495-4

Γ. Χρ. Κούκης, Ν. Στ. Σαμπατάκης, 2022. Γεωλογία Τεχνικών Έργων, 2η Έκδοση, Εκδώσεις Παπασωτηρίου. 113-119,129-131,144-147,228-230,259-260,563. ISBN 978-960-491-136-3

Γ. Παπαθανασίου, 2022. Τεχνική Γεωλογία και Γεωλογικοί Κίνδυνοι, Ανοικτές ακαδημαϊκές εκδόσεις ΚΑΛΛΙΠΟΣ. 243-247. ISBN 978-618-5667-64-1

Α. Ψιλοβίκος, Α. Ψιλοβίκος, 2019. Ιζηματολογία, 2η εκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα. 254-256. ISBN 978-960-418-374-6

Γ. Χρ. Κούκης, Ν. Στ. Σαμπατάκης, 2002. Τεχνική Γεωλογία, 2η Έκδοση, Εκδώσεις Παπασωτηρίου. ISBN13 9789604911301

Μ. Θεοδωρίδης , 2013. Τεχνικογεωλογική συμπεριφορά βραχομαζών φλύσχη στην ευστάθεια πρανών. 133-134.

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Duncan C. Wyllie, Chris Mah 2005. Rock Slope Engineering Civil and Mining, 4th edition, Taylor & Francis e-Library. 129-175. DOI: 10.1201/9781315274980.

G. J. Hearn, 2011. Slope Engineering for Mountain Roads, The Geological Society of London, Publication No 24. 189-207. ISBN 978-1-86239-331-8. 189-207

A. Laroseliti, I. Koukouvelas, K. Nikolakopoulos, 2014. Hazard due to earthquake-induced rock falls: The use of remote sensing data and field mapping in the case of Skolis Mountain, NW Peloponnese, Bulletin of the Geological Society of Greece vol. XLVIII, 4-26, 2014.

V. Tourloukis, P. Karkanas, 2012. Geoarchaeology in Greece: A Review. Journal of the Virtual Explorer, 42.

K. Sassa, H. Fukuoka, F. Wang, G. Wang, G. Koukis, N. Sabatakakis, N. Nikolau, C. Loupasakis, 2005. Landslide Hazard Zonation in Greece. DOI: 10.1007/3-540-28680-2_37.

L.M. Highland, P. Bobrowsky, 2008, The landslide handbook—A guide to understanding landslides: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129 p.

E. Hoek, J.W. Bray, 1977. Rock Slope Engineering, Revised 2nd edition, Institution of Mining and Metallurgy, ISBN-10 : 0900488360.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

Cruden, D.M., Varnes, D.J., 1996, Landslide Types and Processes, Special Report , Transportation Research Board, National Academy of Sciences, 247:36-75

E. Hoek, P. Londe, 1974. The Design of Rock Slopes and Foundations, General report for Third Congress of the International Society for Rock Mechanics.

J. T. Markland, 1972. A useful technique for estimating the stability of rock slopes when the rigid wedge slide type of failure is expected. Rock Mechanics Research Report No. 19. London: Imperial College.

P. Marinos, E. Hoek, 2001. Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as Flysch. Paper published in *Bull. Engg. Geol. Env.* **60**, 85-92.

P. Marinos, E. Hoek, 2000. GSI-A geologically friendly tool for rock mass strength estimation. Proceedings of the International Conference on Geotechnical and Geological Engineering (GeoEng2000).

P. Marinos, V. Marinos, E. Hoek, 2007. The Geological Strength Index (GSI): A Characterization Tool For Assessing Engineering Properties For Rock Masses. Underground Works under Special Conditions Proceedings of the ISRM Workshop W1, Madrid, Spain, 6-7 July 2007. DOI: 10.1201/NOE0415450287.ch2

B.C. Papazachos, P.E. Comninakis, G.F. Karakaisis, B.G. Karakostas, Ch.A. Papaioannou, C.B. Papazachos, E.M. Scordilis (2000). A catalogue of earthquakes in Greece and surrounding area for the period 550BC-1999, Publ. Geophys. Laboratory, University of Thessaloniki, 1, 333pp.

B.C. Papazachos, P.E. Comninakis, E.M. Scordilis, G.F. Karakaisis, C.B. Papazachos (2010). A catalogue of earthquakes in the Mediterranean and surrounding area for the period 1901 - 2010, Publ. Geophys. Laboratory, University of Thessaloniki.

F. Gofa, A. Mamara, M. Anadranistakis , H. Flocas, 2019. Developing Gridded Climate Data Sets of Precipitation for Greece Based on Homogenized Time Series. *Climate.* 7(5):68. https://doi.org/10.3390/cli7050068

N. Barton, 1978. Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses: International Society for Rock Mechanics. Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr. 15. 319-368.

N. Barton, 1973. Review of a new shear-strength criterion for rock joints, Engineering Geology, Volume 7, Issue 4, Pages 287-332, ISSN 0013-7952, https://doi.org/10.1016/0013-7952(73)90013-6.

D.U. Deere, and R.P. Miller, (1966). Engineering classification and index properties for intact rock. Air Force Weapons Laboratory Technical Report (AFWL-TR).

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
ΑΠΘ

G. Khanlari, R. Behrouz, A. Yasin, 2014. Evaluation of strength anisotropy and failure modes of laminated sandstones. The Arab journal of the geosciences. 10.1007/s12517-014-1411-1.

F.D. Patton, 1966. Multiple modes of shear failure in rock. Proc. 1st congr. Int. Soc. Rock Mech., Lisbon 1, 509-513.

Εικόνες

James St. John, 09/09/2017, Slope stability measures (Rt. 25E northwest of Bean Station, Tennessee, USA). https://www.flickr.com/photos/jsjgeology/36732462500

B.C. Ministry of Transportation and Infrastructure, 01/12/2010, Rock Scaling. https://www.flickr.com/photos/tranbc/5222487030

MTA Capital Construction and Development Company Building, 02/07/2012, Gabion Baskets at GM Bridge Pier 2. https://www.flickr.com/photos/mtacc-esa/6847588893

Washington State department of transportation Rail, 04/02/2016, 2015 Landslide Mitigation mp 1784.5 after. https://www.flickr.com/photos/wsdot/24189874353

Washington State department of transportation Rail, 04/02/2016, Rail -- 2015 Landslide Mitigation mp 26.1 after. https://www.flickr.com/photos/wsdot/24700667202/

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης