



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

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**« ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΟΥ
ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΑΙΣΥΜΗΣ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΈΒΡΟΥ »**



Χατζή Μαρίνα
Α.Ε.Μ.: 4720

Επιβλέπων: Β. Μαρίνος
Επίκουρος Καθηγητής

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2014

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια των προπτυχιακών σπουδών στον τομέα «Εφαρμοσμένης Γεωλογίας» του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Την επίβλεψη της εργασίας αυτής έχει αναλάβει ο κ. Βασίλειος Μαρίνος.

Το θέμα της διπλωματικής αυτής είναι ο προσδιορισμός των τεχνικογεωλογικών συνθηκών του φράγματος της Αισύμης, τόσο κατά τη φάση μελέτης για την κατασκευή του φράγματος, όσο και στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Γεωλόγο κ. Α. Αδαμίδα, για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε, τις χρήσιμες πληροφορίες που μου παρείχε σχετικά με το έργο του φράγματος της Αισύμης, καθώς και για τη διάθεση του απαραίτητου εξοπλισμού για τις μετρήσεις μου στη θέση του φράγματος.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά την οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και ιδιαιτέρως τον πατέρα μου, ο οποίος με συνόδευσε κατά την επίσκεψή μου στη θέση του φράγματος για τη συλλογή των πληροφοριών και μετρήσεων.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική έχει ως αντικείμενο μελέτης, το φράγμα βαρύτητας από σκυρόδεμα του χωριού της Αισύμης που βρίσκεται στον Νομό Έβρου. Στα κεφάλαια που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι τεχνικογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή μελέτης του φράγματος.

Στο πρώτο μέρος της διπλωματικής γίνεται εκτενής βιβλιογραφική αναφορά στους τύπους των φραγμάτων και τις βασικές έννοιες της τεχνικής γεωλογίας σε σχέση με τα φράγματα.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η γεωλογία και οι υδρολογικές και κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής.

Έπειτα, γίνεται διαχωρισμός των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων της περιοχής μελέτης και προσδιορίζονται τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά του γρανοδιορίτη και η διατμητική αντοχή της βραχώμαζας.

Ακολουθεί ανάλυση της ευστάθειας των πρανών και υπολογισμός του συντελεστή ασφαλείας, και διερευνώνται τα πιθανά τεχνικογεωλογικά προβλήματα σε φάση μελέτης του φράγματος.

Τέλος, προτείνονται μέτρα για τη σταθεροποίηση και τη στεγανοποίηση των βραχωδών πρανών στη θέση του φράγματος.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
1. Εισαγωγή	6
1.1 Αντικείμενο-Σκοπός	6
1.2 Μεθοδολογία- Εργασίες που έγιναν	7
2. Θεωρητικό Υπόβαθρο Φραγμάτων.....	8
2.1 Ορισμός.....	8
2.2 Ταξινόμηση φραγμάτων	8
2.2.1 Ανάλογα με το σκοπό	8
2.2.2 Ανάλογα με τη χρήση	8
2.2.3 Ανάλογα με τη γεωμετρία και τα υλικά κατασκευής	9
2.3 Συναφή-Συνοδά έργα.....	12
2.4 Διατμητική αντοχή βραχώμαζας	14
2.5 Κριτήρια Θραύσης.....	14
2.6 Γεωτεχνικές Ταξινομήσεις Βραχώμαζας.....	17
2.7 Επιτόπου δοκιμές περατότητας Lugeon	20
2.8 Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά πυριγενών πετρωμάτων	20
3. Γεωλογική Επισκόπηση	22
3.1 Γεωγραφική θέση φράγματος	22
3.2 Γεωλογία	23
3.3 Μαγματισμός της λεκάνης Αισύμης-Κίρκης.....	27
3.4 Τεκτονική.....	29
3.5 Στοιχεία Σεισμικότητας	30
3.6 Υδρολογικά στοιχεία	32
3.7 Κλιματολογικά στοιχεία	33
4. Τεχνικογεωλογικές συνθήκες ευρύτερης περιοχής Αισύμης.....	34
4.1 Στρωματογραφία της θέσης φράγματος	34
4.2 Τεχνικογεωλογικές ενότητες.....	36
4.3 Σχηματισμοί της λεκάνη κατάκλισης	37
4.4 Υδρολιθολογική συμπεριφορά σχηματισμών της λεκάνης κατάκλισης.....	39
4.5 Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά γρανοδιόριτη.....	40

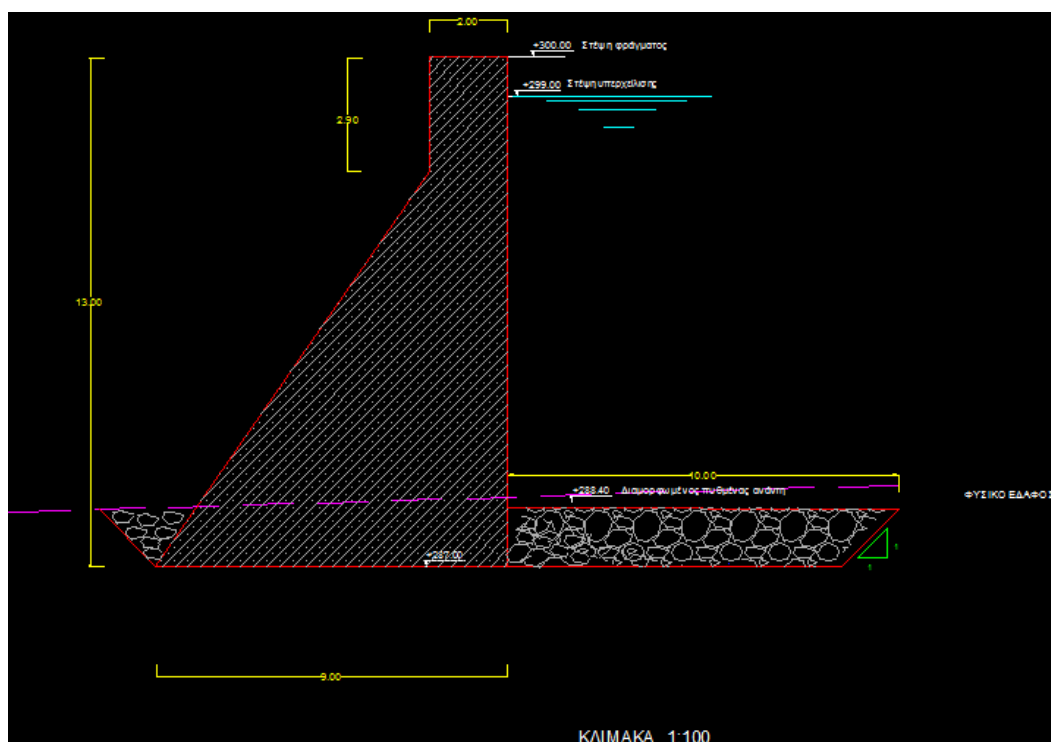
4.5.1 Γενικά.....	40
4.5.2 Υπολογισμός αντοχής βραχόμαζας γεώτρησης Γ1.....	40
4.5.3 Υπολογισμός αντοχής βραχόμαζας γεώτρησης Γ2.....	43
5. Ανάλυση ευστάθειας πρανών	46
5.1 Γενικά.....	46
5.1.1 Αναλύσεις παραμόρφωσης	46
5.1.2 Αναλύσεις οριακής ισορροπίας	47
5.2 Συντελεστής ασφάλειας ενός πρανούς	47
5.3 Προσδιορισμός του τύπου δυνητικής ολίσθησης	48
5.3.1 Ανάλυση ευστάθειας σε επίπεδη ολίσθηση	49
5.3.2 Ανάλυση ευστάθειας σε σφηνοειδή ολίσθηση	50
5.3.2 Ανάλυση ευστάθειας ολίσθησης από ανατροπή.....	51
5.3.3 Ανάλυση ευστάθειας σε περιστροφική ολίσθηση	51
6. Έλεγχος ευστάθειας πρανών της περιοχής μελέτης.....	52
6.1 Γενικά.....	52
6.2 Επεξεργασία τεκτονικών στοιχείων.....	52
6.2.1 Επεξεργασία τεκτονικών στοιχείων μελέτης.....	52
6.2.2 Επεξεργασία τεκτονικών στοιχείων από μετρήσεις υπαίθρου	58
6.3 Υπολογισμός συντελεστή ασφαλείας	63
7. Διατάραξη ποιότητας βραχόμαζας από τη χρήση εκρηκτικών.....	67
7.1 Γενικά.....	67
7.2 Χρήση εκρηκτικών στο φράγμα της Αισύμης.....	68
8. Μέτρα σταθεροποίησης βραχωδών πρανών.....	70
8.1 Γενικά.....	70
8.2 Προτεινόμενα μέτρα αντιστήριξης	70
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	73
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	75
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ	77

1. Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο-Σκοπός

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής είναι ο προσδιορισμός των τεχνικογεωλογικών συνθηκών της περιοχής μελέτης, τόσο κατά τη φάση μελέτης για την κατασκευή του φράγματος, όσο και στα πλαίσια της διπλωματικής.

Το φράγμα με το οποίο θα ασχοληθούμε στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι ένα φράγμα βαρύτητας από σκυρόδεμα ύψους 13 m, το οποίο κατασκευάστηκε για αρδευτικούς κυρίως σκοπούς, καθώς και για την αξιοποίηση του νερού του ταμιευτήρα για την τροφοδότηση πυροσβεστικών ελικοπτέρων σε περίπτωση πυρκαγιάς. Το εν λόγω φράγμα εδράζεται στο ρέμα το οποίο, σύμφωνα με τους κατοίκους του χωριού ονομάζεται «Hot Lac» ή «Αυλή Ντερές».



Σχήμα 1.1. Τομή φράγματος Αισύμης μέσω AutoCAD (Αδαμίδης Α., Απρίλιος 2006)

1.2 Μεθοδολογία- Εργασίες που έγιναν

Για τη σύνταξη της διπλωματικής, αρχικά συγκεντρώθηκε βιβλιογραφικό υλικό, το οποίο σε συνδυασμό με τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν από τη μελέτη κατασκευής του φράγματος, συντέλεσε στη σύνταξη του θεωρητικού υποβάθρου της εργασίας.

Ακόμη, πραγματοποιήθηκε επίσκεψη στο φράγμα, κατά την οποία συλλέχτηκαν στοιχεία όπως ο γεωλογικός δείκτης βραχώμαζας GSI, ο βαθμός αποσάθρωσης του πετρώματος, η κατάσταση των διακλάσεων και η λήψη μετρήσεων (γωνία κλίσης, διεύθυνση κλίσης) του πρανούς και των ασυνεχειών.

Στη συνέχεια, προκειμένου να διερευνηθούν οι τεχνικογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή μελέτης, συλλέχτηκαν δεδομένα από χαρτογραφήσεις, ερευνητικές γεωτρήσεις και εργαστηριακές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν κατά τη μελέτη πριν την κατασκευή του φράγματος και συγκρίθηκαν με τις πληροφορίες και τις μετρήσεις που συλλέχτηκαν από το ύπαιθρο μετά την κατασκευή.

Με βάση τα δεδομένα των γεωτρήσεων, υπολογίστηκε η διατμητική αντοχή της βραχώμαζας με τη βοήθεια του προγράμματος «Roclab».

Μετά τη συλλογή των τεκτονικών στοιχείων από τη θέση του φράγματος, πραγματοποιήθηκε ανάλυση της ευστάθειας των πρανών με την επεξεργασία των τεκτονικών διαγραμμάτων Schmidt με χρήση του προγράμματος «Dips».

Έπειτα, αφού ερευνήθηκαν οι δυνητικές ολισθήσεις στα δύο αντερείσματα του φράγματος, υπολογίστηκαν οι συντελεστές ασφαλείας τους, με τη βοήθεια του προγράμματος «Swedge» για τις σφηνοειδείς ολισθήσεις.

Τέλος, μετά την έκβαση των αποτελεσμάτων από τις αναλύσεις, προτάθηκαν τρόποι στεγανοποίησης καθώς και αντιμετώπιση των πιθανών ολισθήσεων.

2. Θεωρητικό Υπόβαθρο Φραγμάτων

Α' Μέρος: Φράγματα

2.1 Ορισμός

Τα φράγματα είναι υδραυλικά τεχνικά έργα που κατασκευάζονται, σε κοίτες ποταμών και χειμάρρων, κάθετα προς τη διεύθυνση ροής τους, με σκοπό τη συγκέντρωση νερού σε ένα ταμιευτήρα για διάφορες χρήσεις. Πρόκειται για πολύ σημαντικά τεχνικά έργα, καθώς εξυπηρετούν πολλαπλούς σκοπούς, όπως η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η ύδρευση, η άρδευση και η ανάσχεση πλημμυρών.

2.2 Ταξινόμηση φραγμάτων

Τα φράγματα διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με την κατασκευή τους, η οποία εξαρτάται από τις τοπογραφικές και γεωλογικές συνθήκες της περιοχής, και ανάλογα με το σκοπό και τη χρήση τους.

2.2.1 Ανάλογα με το σκοπό

Συγκέντρωσης νερού

Συγκέντρωση νερού σε επιφανειακούς ταμιευτήρες, δηλαδή δημιουργία τεχνητών λιμνών που αποδίδονται και με τον όρο λεκάνη κατάκλισης.

Εκτροπής

Εκτροπή της ροής του νερού είτε για παροχέτευσή του σε προκαθορισμένο χώρο ή για εκτέλεση εργασιών «εν ξηρώ» και διακρίνονται σε: α) Μόνιμα και β) Προσωρινά.

Ανάσχεσης

Ανάσχεση της ταχύτητας ροής, δηλαδή επιβράδυνση αυτής με σκοπό τον τεχνητό εμπλουτισμό υδροφορέων, την αποφυγή ή μείωση της διάβρωσης λόγω εκδήλωσης χειμαρρικών φαινομένων.

Ρύθμισης

Ρυθμιστικά για τον έλεγχο και πρόληψη πλημμυρών, την ελεγχόμενη παροχέτευση νερού κλπ.

2.2.2 Ανάλογα με τη χρήση

Υδροηλεκτρικά (Ενεργειακά)

Αρδευτικά (Άρδευση)

Υδρευτικά (Υδρευση)

Πολλαπλής σκοπιμότητας (Υδροηλεκτρικά + αρδευτικά κτλ.)

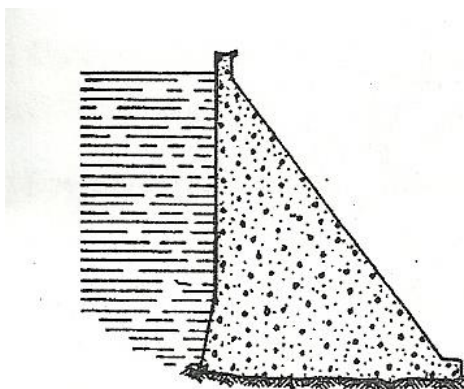
2.2.3 Ανάλογα με τη γεωμετρία και τα υλικά κατασκευής

Φράγματα από σκυρόδεμα (άκαμπτα)

α) Βαρύτητας

Κατασκευάζονται από άοπλο σκυρόδεμα ή και από κυλινδρούμενο σκυρόδεμα. Η λειτουργία των φραγμάτων αυτών στηρίζεται στο βάρος τους με το οποίο αντισταθμίζουν τις υδροστατικές πιέσεις, την άνωση, τις σεισμικές φορτίσεις και τις δυνάμεις ανατροπής. Παράλληλα, με την κατάλληλη επιλογή της διατομής και τον έλεγχο των συνθηκών θεμελίωσης, αποτρέπεται ο κίνδυνος λόγω διαφορικών καθιζήσεων. Ένα φράγμα βαρύτητας είναι μια συμπαγής, μονολιθική κατασκευή που συνήθως είναι ελαφρά καμπύλη και η διατομή του είναι περίπου τραπεζοειδής.

Γενικά, τα φράγματα βαρύτητας μπορεί να ανεχθούν μόνο τις μικρότερες διαφορικές κινήσεις και απαιτούν μεγάλες ποσότητες τσιμέντου, δεδομένου ότι η αντίσταση στη μετατόπιση και γενικότερα η απόκριση σε στατικές και δυναμικές φορτίσεις εξασφαλίζονται από το ίδιο βάρος. Εν τούτοις, φράγματα βαρύτητας έχουν κατασκευασθεί σε έντονα διερρηγμένο και διαφορετικής σύστασης πέτρωμα και ακόμα σε ποτάμιες αποθέσεις, όπου η θεμελίωση απαιτεί εφαρμογή εξειδικευμένων μεθοδολογιών βελτίωσης πριν την κατασκευή. Πλεονεκτική θέση κατασκευής, είναι συνήθως σε στένωμα μιας κοιλάδας, όπου το υγιές πέτρωμα είναι λογικά κοντά στην επιφάνεια τόσο στη θεμελίωση όσο και στα ακρόβαθρα.

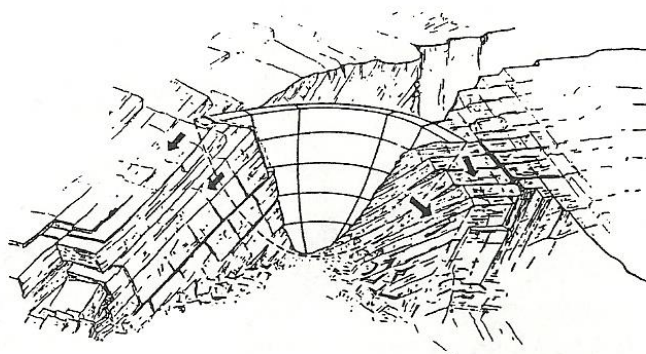


Σχήμα 2.1. Τομή φράγματος βαρύτητας από σκυρόδεμα (WAHLSTROM 1974)

β) Τοξωτά

Κατασκευάζονται από άοπλο σκυρόδεμα υψηλής ποιότητας, αλλά ενίοτε και οπλισμένο, είναι δε καμπύλα στο σχεδιασμό με την κυρτή επιφάνεια προς τα ανάντη. Μεταφέρουν τις υδροστατικές πιέσεις στα αντερείσματα. Σύμφωνα με τον BELL (1993) είναι δυνατόν να αντισταθούν σε μεγάλες παραμορφώσεις των σχηματισμών θεμελίωσης, αρκεί αυτές να είναι ομοιόμορφα διανεμημένες. Μεταφέρουν το μεγαλύτερο μέρος της οριζόντιας ώθησης από το νερό του ταμιευτήρα στα ακρόβαθρα με τη λειτουργία του τόξου και αυτό σε συνδυασμό με την περιορισμένη διατομή τους, σημαίνει ότι επιβάλλουν ισχυρά θλιπτικά φορτία σε στενές ζώνες στη βάση καθώς και στα ακρόβαθρα. Ιδανικές θέσεις για τοξωτά φράγματα είναι σε στενά

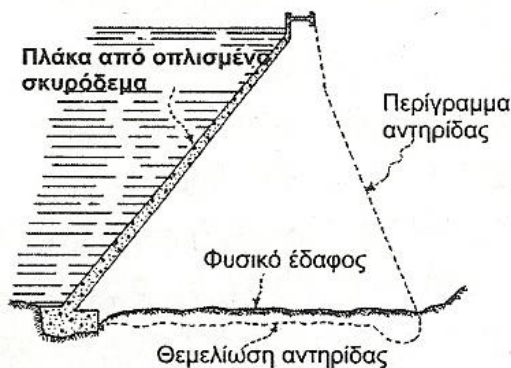
φαράγγια, όπου οι παρειές είναι ικανές να δεχθούν την ώθηση που προκαλείται από τη λειτουργία του τόξου.



Σχήμα 2.2. Τοξωτό φράγμα. Μεταβίβαση των πιέσεων του νερού στα ακρόβαθρα (LETOURNEUR-MICHEL 1972)

γ) Αντηριδωτά

Πρόκειται για πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος η οποία φέρεται σε αντηρίδες μεταβλητού πλάτους. Μεταφέρουν τις υδροστατικές πιέσεις κυρίως στην επιφάνεια θεμελίωσης και λιγότερο στα αντερείσματα, ενώ σε σχέση με τα φράγματα βαρύτητας επιτυγχάνουν οικονομία στον όγκο του απαιτούμενου σκυροδέματος μέχρι και 90%.



Σχήμα 2.3. Τομή αντηριδωτού φράγματος από σκυρόδεμα (WAHLSTROM 1974)

δ) Μικτά

Βαρύτητας-τοξωτά, τοξωτά-αντηριδωτά κλπ.

Χωμάτινα φράγματα (εύκαμπτα)

Πρόκειται για εύκαμπτες κατασκευές που δεν απαιτούν σχηματισμούς θεμελίωσης εξαιρετικής ποιότητας. Διακρίνονται σε:

α) Ομογενή χωμάτινα

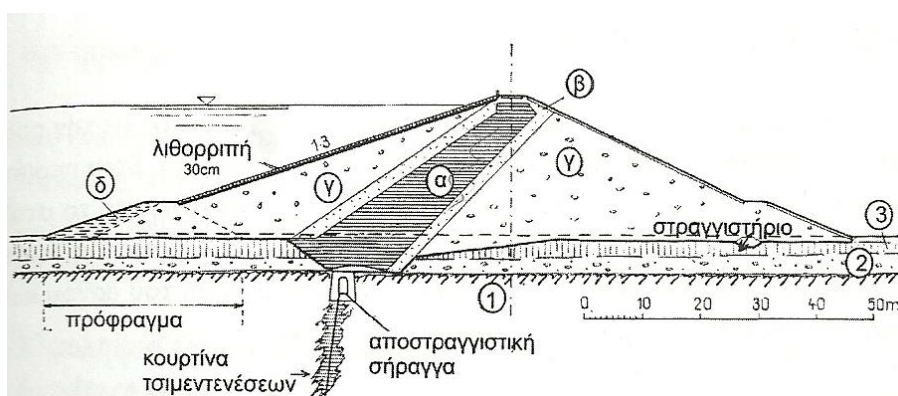
Σχεδόν εξολοκλήρου ομοιόμορφα φυσικά υλικά κατασκευής.



Σχήμα 2.4. Ομογενές χωμάτινο με κατάντη σώμα στήριξης από εδαφικό και βραχώδες υλικό (WAHLSTROM 1974)

β) Ετερογενή χωμάτινα ή λιθορριπτα

Ζωνώδεις κατασκευές με υλικά διαφόρων γεωμηχανικών ιδιοτήτων και σε διαφορετικά ποσοστά.



Σχήμα 2.5. Ζωνώδες χωμάτινο φράγμα θεμελιωμένο σε αδιαπέρατο υπόβαθρο (από ZARUBA-MENCL 1976)

Τα χωμάτινα φράγματα είναι επιχώματα εδαφικών και αδρανών υλικών με αδιαπέρατο πυρήνα για τον έλεγχο της διήθησης-διαφυγής νερού. Ο πυρήνας είναι συνήθως από αργιλικά υλικά. Ο πυρήνας συνήθως εκτείνεται με τη μορφή όνυχας (εκσκαφής- διαφραγματικής τάφρου) εντός των σχηματισμών θεμελίωσης όταν η διήθηση κάτω από το φράγμα πρέπει να ελεγχθεί. Λόγω της μεγάλης βάσης τους τα χωμάτινα φράγματα μεταφέρουν πολύ μικρότερες τάσεις στη θεμελίωση από τα τσιμέντινα.

Μικτά ή σύνθετα φράγματα

Αποτελούν συνδυασμό εύκαμπτων και άκαμπτων (βαρύτητας, χωμάτινα, αντηριδωτά).

2.3 Συναφή-Συνοδά έργα

Η καλή λειτουργία, η πολλαπλή σκοπιμότητα και η ασφάλεια του φράγματος και ταμιευτήρα απαιτούν την κατασκευή μαζί με το σώμα του φράγματος και συνοδών έργων. Μερικά από αυτά τα έργα παρουσιάζονται παρακάτω.

Σήραγγα εκτροπής

Το έργο αυτό διευκολύνει τις εργασίες κατασκευής του φράγματος με την ομαλή παροχέτευση (εκτροπή) των νερών του ποταμού προς τα κατάντη.

Πρόφραγμα

Πρόκειται για προσωρινή κατασκευή με όλα τα χαρακτηριστικά μικρού χωμάτινου φράγματος, ανάντη από ένα φράγμα, για τη συγκέντρωση του νερού και ελεγχόμενη ροή αυτού στο στάδιο της κατασκευής του φράγματος μέσω της σήραγγας εκτροπής.

Υδροληψία (φρεάτιο και αγωγός προσαγωγής)

Πρόκειται για το έργο που θα μεταφέρει το νερό του ταμιευτήρα στην κατάντη περιοχή για διάφορες χρήσεις, π.χ. παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Εκχειλιστής ή Υπερχειλιστής

Στην περίπτωση πλήρωσης του ταμιευτήρα πάνω από την ανώτατη στάθμη λειτουργίας, λόγω πλημμυρικών παροχών ή πλούσιου γενικά σε ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα υδρολογικού έτους, ο εκχειλιστής εξασφαλίζει την ομαλή ροή της περίσσειας νερού ελεγχόμενα προς τα κατάντη μέσω των θυροφραγμάτων που διαθέτει. Στην περίπτωση του υπερχειλιστή το νερό του ταμιευτήρα παροχετεύεται προς τα κατάντη αυτόματα, χωρίς τη μεσολάβηση θυροφραγμάτων όταν η στάθμη υπερβεί τη μέγιστη στάθμη λειτουργίας.

Ο εκχειλιστής τοποθετείται μέσα ή στην κατάντη όψη του φράγματος, έξω από το φράγμα στη μία ή την άλλη πλευρά ή εντός του ταμιευτήρα οπότε είναι με τη μορφή σήραγγας (φρέαρ και σήραγγα ου εξέρχεται κάτω από το φράγμα).

Σήραγγα επίσκεψης

Μερικά από τα χωμάτινα φράγματα συνδυάζονται και με σήραγγα επίσκεψης που είναι κατά μήκος του άξονα του έργου. Μέσα από τη σήραγγα εκτελούνται οι τσιμεντενέσεις στη θεμελίωση ενώ το έργο ανυψώνεται και παράλληλα λειτουργεί ως σήραγγα αποστράγγισης, για την τοποθέτηση οργάνων κτλ.

Σήραγγες τσιμεντενέσεων

Μέσα από τα έργα αυτά εκτελούνται οι τσιμεντενέσεις σε διάφορα ύψη των αντερείσμάτων.

Σήραγγες αποστράγγισης

Αποστραγγίζουν νερά από τα αντερείσματα. Συνήθως οι σήραγγες των τσιμεντενέσεων στα αντερείσματα λειτουργούν και αποστραγγιστικές.

Εκκενωτής πυθμένα

Κατασκευή με σήραγγα που συμβάλει στην ταπείνωση της στάθμης του ταμιευτήρα ή και στην πλήρη εκκένωση αυτού, όταν υπάρχει πρόβλημα στο έργο ή κριθεί απαραίτητη η απόληψη των φερτών υλικών, λόγω της στερεοπαροχής στη λεκάνη κατάκλισης.

Θυροφράγματα

Πρόκειται για πόρτες που τοποθετούνται στις κορυφές των εκχειλιστών για τον έλεγχο της ροής του νερού από αυτούς.

Υδροφράχτες

Κινητά φράγματα (τύπος θυροφραγμάτων) που χρησιμοποιούνται για την ανύψωση ή ταπείνωση της στάθμης κατά μήκος ποταμών ή καναλιών. Εξυπηρετούν τη ναυσιπλοΐα.

Ταμιευτήρες άντλησης – αποθήκευσης νερού

Υπάρχουν περίοδοι κατά τις οποίες η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη από την παραγωγή και άλλες περίοδοι με περίσσειμα ενέργειας. Η μη χρησιμοποιούμενη πλεονασματική ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε δυναμική με μικρό σχετικά κόστος, που θα χρησιμοποιηθεί την περίοδο αιχμής. Ο ταμιευτήρας στον οποίο αποθηκεύεται το αντλούμενο, στις νυχτερινές ιδιαίτερα ώρες, νερό που έχει ήδη χρησιμοποιηθεί από τον υδροηλεκτρικό σταθμό, προκειμένου να παραχθεί ενέργεια στην περίοδο αιχμής ή να εκτραπεί προς άλλες χρήσεις, λέγεται ταμιευτήρας άντλησης- αποθήκευσης.

Λεκάνη ηρεμίας

Δημιουργείται στο κατάντη τμήμα του φράγματος και αποτρέπει τη διάβρωση στον πόδα αυτού από τα νερά της υπερχειλίσης, καθώς και την ομαλή παροχέτευση του νερού στην κατάντη κοίτη του ποταμού.

Β' Μέρος: Βασικές έννοιες

2.4 Διατμητική αντοχή βραχόμαζας

Με τον όρο διατμητική αντοχή της βραχόμαζας εννοούμε την αντοχή της βραχόμαζας έναντι της διατμητικής τάσης που ασκείται εφαπτομενικά σε ένα επίπεδο (τέμαχος) και προκαλεί την αμοιβαία μετατόπιση των τεμαχών του βράχου. Έτσι, σε οποιαδήποτε καταπόνηση ή θραύση, η βραχόμαζα αμύνεται με την αντοχή στη διάτμηση.

Η διατμητική αντοχή μιας βραχόμαζας περιγράφεται και υπολογίζεται με βάση δύο κύριες παραμέτρους:

α) τη συνοχή (c)

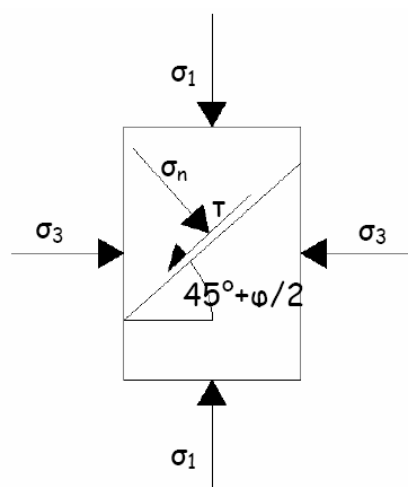
β) τη γωνία εσωτερικής τριβής (φ)

Η συνοχή εκφράζει το δέσιμο των τεμαχών της βραχόμαζας και οφείλεται στις δυνάμεις που συγκρατούν τα τεμάχια μαζί στη βραχόμαζα, ενώ η γωνία εσωτερικής τριβής αντιπροσωπεύει την τριβή που αναπτύσσεται ανάμεσα στα τεμάχια και αντιστέκεται στη διάτμηση.

2.5 Κριτήρια Θραύσης

Κριτήριο θραύσης είναι ένας κρίσιμος συνδυασμός των κύριων τάσεων (σ_1 και σ_3) που δρουν σε ένα πέτρωμα, ο οποίος μπορεί να προκαλέσει τη θραύση του. Γενικά, κριτήριο θραύσης είναι μια αλγεβρική έκφραση των μηχανικών συνθηκών κάτω από τις οποίες ένα υλικό αστοχεί από θραύση ή παραμορφώνεται μέχρι μερικά σαφώς καθορισμένα όρια. Το όριο θραύσης εξαρτάται και από τις κύριες τάσεις που δρουν πάνω στο δοκίμιο του πετρώματος και από τον τύπο της θραύσης.

Παρακάτω θα αναφερθούν δύο από τα κριτήρια θραύσης, το κριτήριο των Mohr-Coulomb και το κριτήριο των Hoek and Brown.



Σχήμα 2.6. Ανάλυση της εντατικής κατάστασης που επικρατεί σε δοκίμιο, υπό την επίδραση των κύριων τάσεων σ_1 και σ_3 .

Mohr- Coulomb

Το πιο απλό κριτήριο θραύσης είναι των Mohr- Coulomb, η γραφική απεικόνιση του οποίου είναι η ευθεία που εφάπτεται σε όλους τους κύκλους του Mohr (περιβάλλουσα). Οι κύκλοι του Mohr αντιπροσωπεύουν κρίσιμους συνδυασμούς των κύριων τάσεων (σ_1 και σ_3), ενώ η εξίσωση του κριτηρίου θραύσης Mohr- Coulomb είναι: $\tau = c + \sigma_n \tan \phi$

όπου:

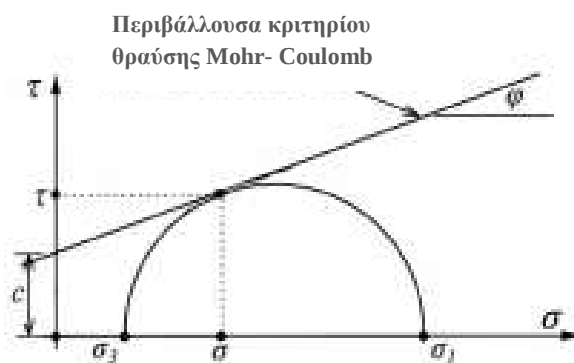
τ : διατμητική αντοχή

c : συνοχή του πετρώματος

σ_n : εφαρμοζόμενη διατμητική τάση

ϕ : γωνία εσωτερικής τριβής του πετρώματος

Έτσι λοιπόν, με την εφαρμογή του κριτηρίου θραύσης Mohr- Coulomb εκτιμώνται οι παράμετροι διατμητικής αντοχής της βραχώμαζας, δηλαδή η συνοχή και η γωνία εσωτερικής τριβής.



Σχήμα 2.7. Κριτήριο αστοχίας Mohr- Coulomb

Hoek and Brown

Ένα ακόμη κριτήριο θραύσης είναι αυτό των Hoek and Brown, οι οποίοι το 1980 δημοσίευσαν ένα εμπειρικό κριτήριο αστοχίας που δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} [m_i (\sigma_3' / \sigma_{ci}) + 1]^{1/2}$$

όπου:

σ_1' , σ_3' : η μέγιστη και η ελάχιστη ενεργή τάση αντίστοιχα κατά τη θραύση

σ_{ci} : η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη του βραχώδους υλικού

m_i : σταθερά του πετρώματος που εξαρτάται από τις ιδιότητες του βραχώδους υλικού

Σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση, η σχέση μεταξύ των κύριων τάσεων (σ_1, σ_3) κατά τη θραύση για ένα συγκεκριμένο πέτρωμα καθορίζεται από δύο κύριους παράγοντες, δηλαδή την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (σ_{ci}) και τη σταθερά m_i . Η σχέση όμως αυτή ισχύει για καλής ποιότητας βράχο. Για το λόγο αυτό λοιπόν, οι Hoek and Brown το 1992 τροποποίησαν το κριτήριό τους, έτσι ώστε να ισχύει και για φτωχής ποιότητας βράχο, όπως φαίνεται στην παρακάτω σχέση:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} [m_b (\sigma_3' / \sigma_{ci}) + s]^a$$

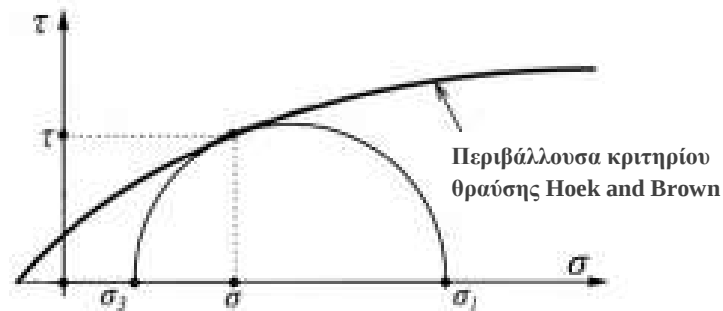
όπου:

σ_1' , σ_3' : η αξονική και πλευρική ενεργή τάση αντίστοιχα

σ_{ci} : η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη του βραχώδους υλικού

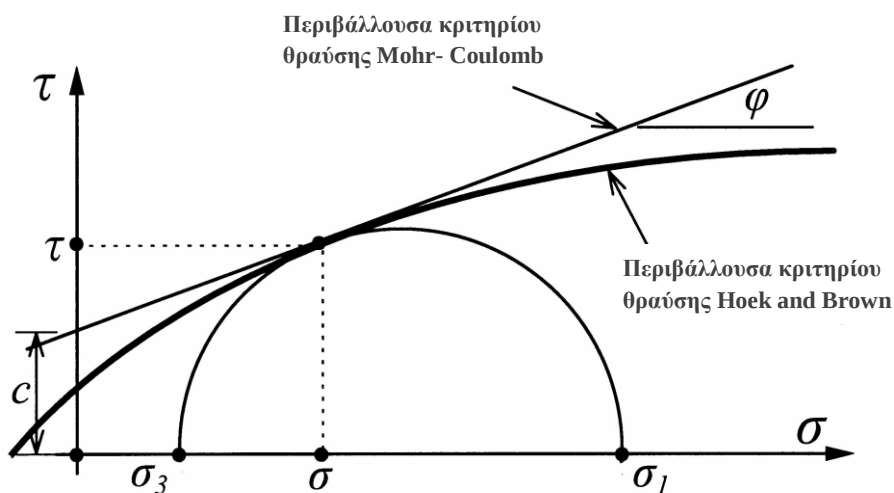
m_b, s, a : σταθερές που εξαρτώνται από τις ιδιότητες του βραχώδους υλικού και από τα χαρακτηριστικά (ασυνέχειες, κερματισμός) της βραχώμαζας.

Η παραπάνω σχέση που εκφράζει την αντοχή της βραχώμαζας, έχει πρακτική σημασία μόνο όταν μπορούν να εκτιμηθούν οι σταθερές m_b , s και a . Έτσι λοιπόν, η εκτίμηση αυτών των σταθερών γίνεται μέσω του πίνακα των Hoek and Marinos (2000), του συστήματος ταξινόμησης RMR (BIENIAWSKI, 1976) καθώς και του δείκτη GSI (Hoek et al., 1998), που θα αναφερθούν στη συνέχεια.



Σχήμα 2.8. Κριτήριο αστοχίας Hoek and Brown

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ότι με τον συνδυασμό των δύο κριτηρίων θραύσης που αναφέρθηκαν παραπάνω, υπολογίζονται οι παράμετροι διατμητικής αντοχής (c και ϕ) του άρρηκτου βράχου. Αυτό πραγματοποιείται μέσω της ταύτισης των δύο καμπυλών θραύσης Hoek and Brown και Mohr- Coulomb για συγκεκριμένη σ_3 .



Σχήμα 2.9. Ταύτιση περιβάλλουσας θραύσης Mohr- Coulomb με την καμπύλη Hoek and Brown.

2.6 Γεωτεχνικές Ταξινομήσεις Βραχώμαζας

Τα συστήματα ταξινόμησης της βραχώμαζας είναι ουσιαστικά εμπειρικές μέθοδοι ποσοτικοποίησης της ποιότητας της βραχώμαζας, με βάση κάποια χαρακτηριστικά της, όπως για παράδειγμα, η δομή, ο κερματισμός της, η αντοχή του άρρηκτου βράχου, η ποιότητα και το πλήθος των ασυνεχειών κλπ.

Με τα συστήματα ταξινόμησης αναλύονται οι παράμετροι αναφοράς, προκύπτει η βαθμονόμηση αυτών και γίνεται η τελική ποιοτική βαθμονόμηση της βραχώμαζας. Έτσι, διευκολύνεται η ομαδοποίηση της βραχώμαζας με βάση ποιοτικά και ποσοτικά δεδομένα, σε ενότητες με παρόμοια γεωμηχανικά χαρακτηριστικά.

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι ταξινόμησης των βραχομαζών, εκ των οποίων οι πιο διαδεδομένες είναι : α) η γεωμηχανική ταξινόμηση RMR κατά Bieniawski (1973), β) ο γεωλογικός δείκτης αντοχής GSI κατά Hoek and Marinos (2000) και γ) η ταξινόμηση κατά Barton et al (1974).

Παρακάτω θα αναφερθούν μόνο οι δύο πρώτες ταξινομήσεις (RMR και GSI).

Γεωμηχανική ταξινόμηση RMR (Rock Mass Rating) κατά Bieniawski (1973)

Για την ταξινόμηση της βραχομάζας με το σύστημα αυτό χρησιμοποιούνται οι εξής έξι παράμετροι:

- Αντοχή του άρρηκτου βράχου σε μονοαξονική θλίψη (σ_{ci}) (R1)
- RQD (δείκτης ποιότητας της βραχώμαζας) (R2)
- Απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών (R3)
- Κατάσταση ασυνεχειών, όπως μήκος, άνοιγμα, υλικό πλήρωσης, τραχύτητα, αποσάθρωση, κλπ (R4)
- Καθεστώς υπόγειου νερού (R5)
- Προσανατολισμός ασυνεχειών (R6)

Έτσι λοιπόν, ο δείκτης RMR μπορεί να δοθεί από την εξής σχέση:

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

Η καθεμία από τις παραπάνω παραμέτρους βαθμονομείται με τη βοήθεια διαφόρων πινάκων και η τελική τιμή του δείκτη RMR προκύπτει ως άθροισμα των επιμέρους δεικτών και κυμαίνεται από 0 έως 100.

Στον παρακάτω πίνακα δίνεται η τελική κατάταξη της ποιότητας της βραχώμαζας ανάλογα με την τελική τιμή του RMR.

Τιμές του δείκτη RMR	Περιγραφή βραχώμαζας
81-100	Πολύ καλή
61-80	Καλή
41-60	Μέτρια
21-40	Φτωχή
0-20	Πολύ φτωχή

Πίνακας 2.1. Κατάταξη ποιότητας βραχώμαζας με βάση τις τιμές του RMR.

Ο δείκτης RQD (Rock Quality Designation) που αναφέρθηκε παραπάνω, δίνει από στοιχεία πυρηνοληπτικών γεωτρήσεων μια ποσοτική εκτίμηση του βαθμού ρωγματούσεως του πετρώματος και κατά συνέπεια μια πιθανή τεχνική συμπεριφορά της μάζας του πετρώματος. Πρόκειται για ένα δείκτη που υπολογίζεται ως εκατοστιαία αναλογία του συνολικού μήκους των μεγαλύτερων από 10 cm υγιών τεμαχίων πυρήνα, προς το συνολικό μήκος της πυρηνοληψίας.

$$RQD(\%) = \frac{\text{άθροισμα των τεμαχίων πυρήνα μεγαλύτερων από 10cm}}{\text{συνολικό μήκος πυρηνοληψίας}} \times 100$$

Στον παρακάτω πίνακα δίνεται η ποιοτική κατάταξη της βραχώμαζας με βάση το RQD.

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

Πίνακας 2.2. Κατάταξη ποιότητας βραχώμαζας με βάση το RQD. (Deere et al,1967)

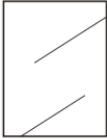
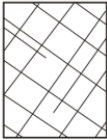
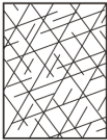
Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής GSI (Geological Strength Index)

Το GSI είναι ένα σύστημα ταξινόμησης με το οποίο βαθμονομείται η ποιότητα της βραχώμαζας και εκφράζει αριθμητικά την απομείωση των σταθερών του υλικού ανάλογα με τη ρωγμάτωση της βραχώμαζας.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το GSI είναι ένα σημαντικό στοιχείο στην επίλυση του κριτηρίου θραύσης Hoek and Brown, καθώς μέσω αυτών των δύο βρίσκουμε την αντοχή (συνοχή c και γωνία τριβής ϕ) και την παραμορφωσιμότητα E .

Ο χαρακτηρισμός της βραχώμαζας βασίζεται στην οπτική εντύπωση της δομής της βραχώμαζας (κερματισμός, συστήματα ασυνεχειών) και την κατάσταση της επιφάνειας των ασυνεχειών από πλευράς αποσάθρωσης, τραχύτητας, υλικού πλήρωσης κλπ. Ο συνδυασμός των δύο αυτών παραμέτρων βοηθά στην περιγραφή μεγάλου εύρους ειδών βραχώμαζας. Όμως το GSI δεν εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου η βραχώμαζα συμπεριφέρεται ανισότροπα, δηλαδή όταν η αστοχία λαμβάνει χώρα σε συγκεκριμένες διευθύνσεις αστοχίας.

Οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται από 10 (εξαιρετικά πτωχής ποιότητας βραχώμαζα) έως 100 (άρρηκτος βράχος).

ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI) (Ε. Hoek, Π. Marinos, 2000) Βασίζομενοι στην περιγραφή της λιθολογικής σύστασης, της δομής και της ποιότητας των ασυνεχειών της βραχόμαζας εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI από τις καμπύλες. Το να επιλέξετε ένα εύρος τιμών από 33 έως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι το GSI = 35. Ο καθορισμός της δομής καθώς και της ποιότητας των ασυνεχειών μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ δύο γειτονικών πεδίων. Τονίζεται ιδιαίτερα ότι το κριτήριο Hoek - Brown δεν εφαρμόζεται σε αστάθεις που ελέγχονται από συγκεκριμένες ασυνέχειες όταν οι ασθενείς επίπεδες επιφάνειες (όπως διατμημένα επίπεδα στρώσης) έχουν δυσμενή προσανατολισμό σε σχέση με την εκσκαφή. Τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχόμαζας. Η αντοχή ορισμένων βραχομαζών μειώνεται από την παρουσία του υπόγειου νερού και αυτό μπορεί να ληφθεί υπόψη με μικρή μετακίνηση προς τα δεξιά στις στήλες της μέτρησης, πτωχής και πολύ πτωχής κατάστασης ασυνεχειών. Η πίεση του νερού δεν μεταβάλλει την τιμή του GSI και λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων στους υπολογισμούς. ΔΟΜΗ	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχείες, υγείες, μη αποσπασθωμένες επιφάνειες ΚΑΛΗ Τραχείες, ελαφρά αποσπασθωμένες και οξειδωμένες επιφάνειες ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσπασθωμένες και εξαλλοιωμένες επιφάνειες ΠΤΩΧΗ Πολύ λείες, κατά περίπτωση ολισθηρές επιφάνειες με συμπαγή επιφλοιώματα ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Πολύ ολισθηρές επιφάνειες ή πολύ αποσπασθωμένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης ή επιφλοιώσης ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →
 ΑΡΡΗΚΤΗ Άρρηκτη βραχώδη τεμάχια ή άστρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση  ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ/ ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ Αδιατάρακτη βραχόμαζα με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών  ΠΟΛΥ ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ Μερικώς διαταραγμένη βραχόμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών  ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ/ΠΤΥΧΩΜΕΝΗ Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας  ΑΠΟΔΙΟΡΓΑΝΩΜΕΝΗ Ισχυρά κερματισμένη βραχόμαζα με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιώδων και αποστραγγυλωμένων τεμαχίων  ΦΥΛΛΩΔΗΣ/ ΔΙΑΤΜΗΜΕΝΗ Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθενής βραχόμαζα. Η φύλλωση επικρατεί έναντι οποιαδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιώδων τεμαχίων (η κλίμακα σε αυτό το εικονίδιο δεν συγκρίνεται με αυτή των άλλων εικονιδίων)	ΜΕΙΟΥΜΕΝΟ ΑΛΛΗΛΟΚΛΕΙΔΩΜΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΤΕΜΑΧΩΝ 90 80 70 60 50 40 30 20 10 N/A N/A

Πίνακας 2.3. Εκτίμηση του γεωλογικού δείκτη αντοχής (GSI), (Hoek and Marinos, 2000)

2.7 Επιτόπου δοκιμές περατότητας Lugeon

Η δοκιμή εισπίεσης νερού Lugeon χρησιμοποιείται βασικά σε βραχώδεις γεωλογικούς σχηματισμούς για να προσδιορισθεί η υδροπερατότητά τους. Κατά τη δοκιμή χρησιμοποιούνται παρεμβύσματα (packers) που φουσκώνουν και φράζουν υδατοστεγώς τη γεώτρηση στο επιθυμητό βάθος. Έπειτα, εισπνέζεται νερό μέσα στη γεώτρηση και γίνεται καταγραφή τόσο της παροχής του νερού όσο και της πίεσης.

Η δοκιμή εκτελείται σε βαθμίδες πίεσεως που εφαρμόζονται αρχικά με αύξουσα σειρά και στη συνέχεια με φθίνουσα, μετρώντας ταυτόχρονα και την απορροφούμενη ποσότητα νερού σε διάρκεια δέκα λεπτών στο εισπνιζόμενο τμήμα, μήκους 3m έως 5m.

Τα αποτελέσματα των απορροφήσεων για κάθε πίεση που αντιστοιχούν σε δεκάλεπτη διάρκεια και σε ένα μήκος L μετατρέπονται σε λίτρα ανά μέτρο και ανά λεπτό. Ως 1 μονάδα Lugeon (U.L.) ορίζεται η απορρόφηση σε λίτρα ανά μέτρο και ανά λεπτό για πίεση 10 kg/cm^2 .

$$1 \text{ Lugeon (U.L.)} = \frac{1 \text{ lit/min} \cdot \text{m}}{10 \text{ kg/cm}^2}$$

Οι επιτρεπτές τιμές περατότητας του υπεδάφους στη θέση θεμελίωσης του φράγματος, έτσι ώστε αυτό να θεωρείται στεγανό είναι όταν από τις επιτόπου δοκιμές προκύψουν οι τιμές διαπερατότητας που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Ύψος φράγματος (m)	Μονάδες Lugeon (U.L.)
<30	<3
>30	<1-2

Πίνακας 2.4. Επιτρεπτές τιμές περατότητας υπεδάφους στη θέση θεμελίωσης του φράγματος.

2.8 Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά πυριγενών πετρωμάτων

Πλουτωνικά (όξινα) πετρώματα

- Γρανίτης
Ο γρανίτης σαν άρρηκτο πέτρωμα έχει υψηλές αντοχές και μεγάλο μέτρο παραμορφωσιμότητας, όμως αποσθρώνονται εύκολα με τελικό προϊόν τη γρανιτική άμμο (αρένα). Ο άστριος μετατρέπεται σε καολίνη, ενώ ο χαλαζίας παραμένει αναλλοίωτος. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται σε περιπτώσεις αποσθρωμένου πετρώματος, καθώς η γεωμετρία μεταξύ αποσθρωμένων και υγιών βραχομαζών είναι ακανόνιστη. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους μειώνονται σε ζώνες έντονης διάρρηξης και καταπόνησης. Είναι γενικά στεγανοί σχηματισμοί με εξαίρεση τις έντονα διαρρηγμένες ζώνες, οι οποίες παρουσιάζουν αυξημένη δευτερογενή περατότητα.
- Γρανοδιорίτης
Ίδια χαρακτηριστικά με τον γρανίτη.

Πλουτωνικά (βασικά-υπερβασικά) πετρώματα

- **Γάββρος**
Ο γάββρος όταν είναι υγιής είναι ένα υψηλών αντοχών και υψηλής παραμορφωσιμότητας πέτρωμα, όταν όμως αποσαθρώνεται και ρωγματώνεται δημιουργείται δευτερογενές πορώδες το οποίο επιτρέπει την κυκλοφορία του νερού. Με την σερπεντινίωση (μετατροπή ολιβίνη σε σερπεντίνη) το πέτρωμα φυλλοποιείται και σχιστοποιείται, καθώς τα ορυκτά που σχηματίζονται είναι φυλλώδη, με αποτέλεσμα το πέτρωμα να σχίζεται και να γίνεται ασθενές.
- **Περιδοτίτης**
Ο περιδοτίτης είναι ένα υψηλών αντοχών και υψηλής παραμορφωσιμότητας πέτρωμα όταν είναι υγιής. Όταν όμως αποσαθρώνεται, μετατρέπεται σε σερπεντινίτη, ο οποίος έχει μικρή αντοχή στη διάτμηση, και σαπωνοειδή υφή. Επίσης, οι ρωγματομένες ζώνες αποτελούν εκλεκτικές ζώνες περατότητας με τοπική υδροφορία.

Ηφαιστειακά πετρώματα

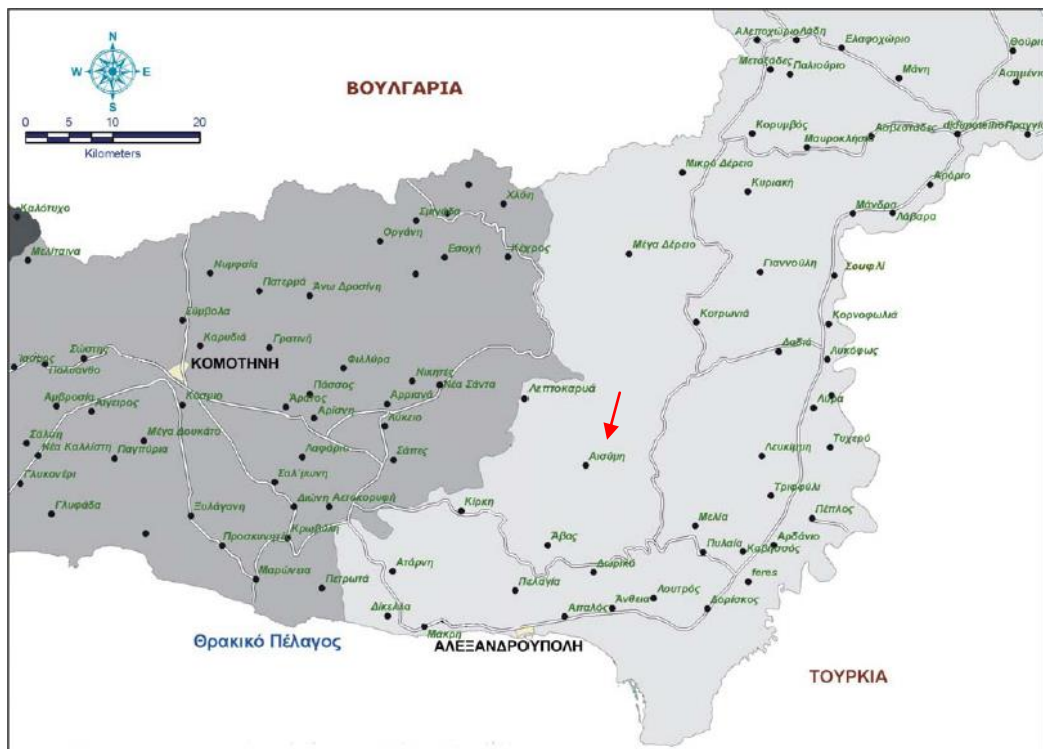
Γενικά τα ηφαιστειακά πετρώματα έχουν υψηλές αντοχές και παρουσιάζουν πρωτογενή κενά που οφείλονται στη διαδικασία ψύξης. Στα πετρώματα αυτά ανήκουν: οι ρυόλιθοι, δακίτες, ανδεσίτες, βασάλτες, δολερίτες κ.α. Έχουν υψηλές αντοχές, όμως οι ασυνέχειες που δημιουργούνται είτε λόγω κρυστάλλωσης του μάγματος, είτε λόγω της τεκτονικής τους καταπόνησης, δημιουργούν ζώνες υψηλής περατότητας, όπου το νερό έχει ευκολότερη πρόσβαση, με αποτέλεσμα να πιέζει τα τοιχώματα των ασυνεχειών και να ανοίγουν περαιτέρω.

Τα ηφαιστειακά πετρώματα είναι γενικά ανομοιογενή και σύνθετα, καθώς μέσα στον ίδιο σχηματισμό μπορεί να εναλλάσσονται υλικά χαμηλών αντοχών ή διαβρώσιμα δημιουργώντας ένα ασταθές σύνολο.

3. Γεωλογική Επισκόπηση

3.1 Γεωγραφική θέση φράγματος

Η Αισύμη είναι ένας ημιορεινός οικισμός (υψόμετρο:325m) του Νομού Έβρου, 20km ΒΑ της Αλεξανδρούπολης και ανήκει στην Περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης.



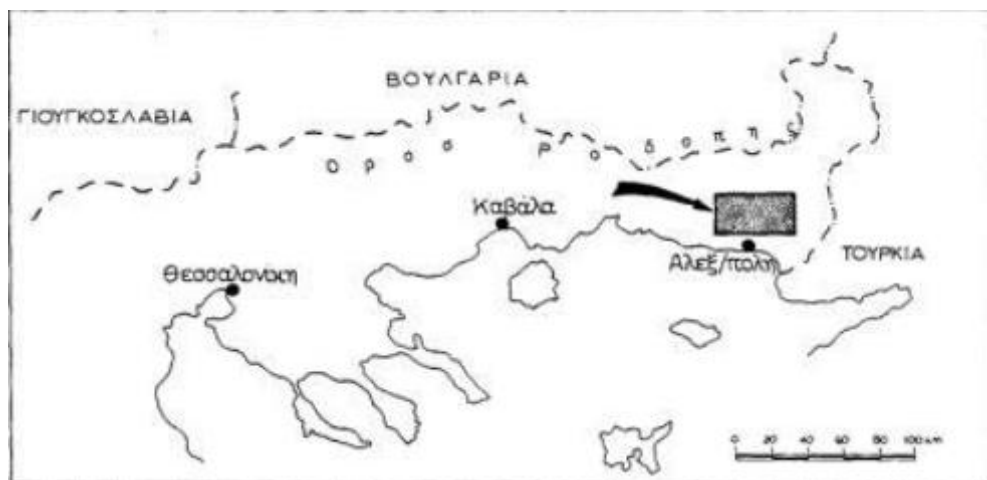
Σχήμα 3.1. Γεωγραφική θέση περιοχής Αισύμης

3.2 Γεωλογία

Α. ΓΕΝΙΚΑ

Η περιοχή της Αισύμης αποτελεί τμήμα της τριτογενούς λεκάνης Αισύμης-Κίρκης και δομείται από ιζηματογενείς και ηφαιστειογενείς σχηματισμούς.

Στη δομή του τεκτονικού βυθίσματος Αισύμης-Κίρκης συμμετέχουν δύο γεωτεκτονικές ενότητες, η μάζα της Ροδόπης και η Περιοδοπική ζώνη, όπως επίσης και ακολουθίες τριτογενών κλαστικών και ηφαιστειακών σχηματισμών. Οι τριτογενείς αυτοί σχηματισμοί βρίσκονται ασύμφωνα τοποθετημένοι πάνω στο υπόβαθρο που αποτελείται από τους σχηματισμούς της μάζας της Ροδόπης και της Περιοδοπικής.



Σχήμα 3.2. Γεωγραφική θέση της τριτογενούς λεκάνης Αισύμης-Κίρκης (Κατιρτζόγλου, 1986)

Β. ΤΑ ΠΡΟΤΡΙΤΟΓΕΝΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΙΣΥΜΗΣ-ΚΙΡΚΗΣ

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, από γεωλογικές εργασίες που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα στην ευρύτερη περιοχή του τεκτονικού βυθίσματος γεωτεκτονικές ενότητες, η μάζα της Ροδόπης και η Περιροδοπική ζώνη.



Σχήμα 3.3. Γεωτεκτονικός χάρτης των Ελληνίδων ζωνών στην περιοχή της βορειοανατολικής Ελλάδας (Παπαδοπούλου, 2003)

Μάζα της Ροδόπης

Η μάζα της Ροδόπης δομείται από μεταμορφωμένα πετρώματα υψηλού μέχρι μέσου βαθμού μεταμόρφωσης, πυριγενή και ιζηματογενή πετρώματα.

Στο χώρο της Αισύμης οι σχηματισμοί της μάζας της Ροδόπης, σύμφωνα με τον Κατιρτζόγλου (1986) εμφανίζονται 3 χιλιόμετρα βόρεια από το χωριό και περιλαμβάνουν μεταμορφωμένους σχηματισμούς όπως απλιτικά, χλωριτοαμφιβολιτικά και γνευσιακά πετρώματα, τα οποία διακόπτονται από τριτογενή πυριγενή πετρώματα.

Ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα της μάζας της Ροδόπης είναι τα μεγάλα ρήγματα που είναι υπεύθυνα για τη δημιουργία των τριτογενών λεκανών. Οι Boccaletti et al (1974) υποστηρίζουν ότι η Ηωκαινική σύγκρουση μεταξύ της ευρωπαϊκής και της αφρικάνικης πλάκας προκάλεσε μια τέτοια τεκτονική που επηρέασε το σύνολο των εσωτερικών ελληνίδων. Απόρροια της σύγκρουσης αυτής ήταν ο σχηματισμός των τριτογενών τεκτονικών βυθισμάτων και η εκδήλωση έντονης ηφαιστειακής δραστηριότητας από το Πριαμπόνιο μέχρι το Ολιγόκαινο (Fytikas et al. 1984).

Περιοδοπική ζώνη

Η Περιοδοπική ζώνη περιλαμβάνει Άνω-Παλαιοζωικούς και Μεσοζωικούς σχηματισμούς που βρίσκονται στα περιθώρια της μάζας της Ροδόπης.

Στην περιοχή της Θράκης, ο Παπαδόπουλος (1980,1982) τη διαιρεί σε δύο ενότητες α) την ενότητα Μάκρης (κατώτερη ενότητα) και β) την ενότητα Δρυμού-Μελίας (ανώτερη ενότητα).

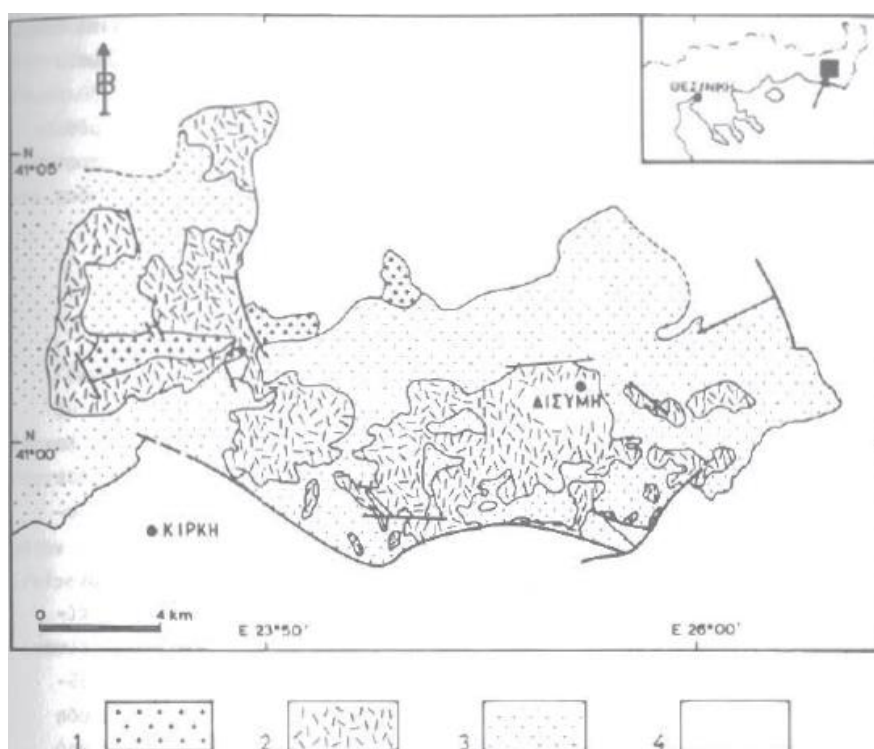
Σύμφωνα με τον Παπαδόπουλο (1982), η ενότητα Μάκρης βρίσκεται σε ασυμφωνία με τη μάζα της Ροδόπης και αποτελείται από δύο σειρές, την υποκείμενη μεταϊζηματογενή σειρά και την υπερκείμενη μετα-ηφαιστειοϊζηματογενή σειρά ή σειρά πρασινοςχιστολίθων. Τα πετρώματα της ενότητας Δρυμού-Μελίας από την άλλη, απαντώνται βόρεια και βορειοανατολικά της Αλεξανδρούπολης και επικάθονται ασύμφωνα στην ενότητα Μάκρης (Παπαδόπουλος, 1982). Η ενότητα αυτή αποτελείται σύμφωνα με τους Κουρή (1980) και Παπαδόπουλο (1982) από γραουβάκες, χαλαζιακούς ψαμμίτες, χαλαζίτες, αργιλικούς σχιστόλιθους και ένα μικρό λατυποπαγές στη βάση.

Γ. ΤΟ ΤΡΙΤΟΓΕΝΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΟΥ ΤΕΚΤΟΝΙΚΟΥ ΒΥΘΙΣΜΑΤΟΣ ΑΙΣΥΜΗΣ-ΚΙΡΚΗΣ

Η ιζηματογένεση του Τριτογενούς αρχίζει κατά το Λουτήσιο και εξελίσσεται μέχρι το Πλειόκαινο. Πρόκειται κυρίως για κλαστική ιζηματογένεση κατά τη διάρκεια της οποίας εκδηλώνεται έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα.

Σύμφωνα με τον Κατιρτζόγλου (1986) η τριτογενής λεκάνη Αισύμης-Κίρκης δομείται από ιζηματογενείς και ηφαιστειοϊζηματογενείς σχηματισμούς. Τα ιζηματογενή πετρώματα συνιστούν οι ψαμμιτοπηλινικές εναλλαγές, τα δε ηφαιστειογενή, τα διεισδυτικά σώματα με τις παράγωγες μορφές τους, οι λάβες και τα πυροκλαστικά.

Αρκετοί από τους τριτογενείς σχηματισμούς καθώς και αυτοί του μεταμορφωμένου συστήματος διακόπτονται στην περιοχή της Αισύμης-Κίρκης από πλουτωνικά και ηφαιστειακά πετρώματα.



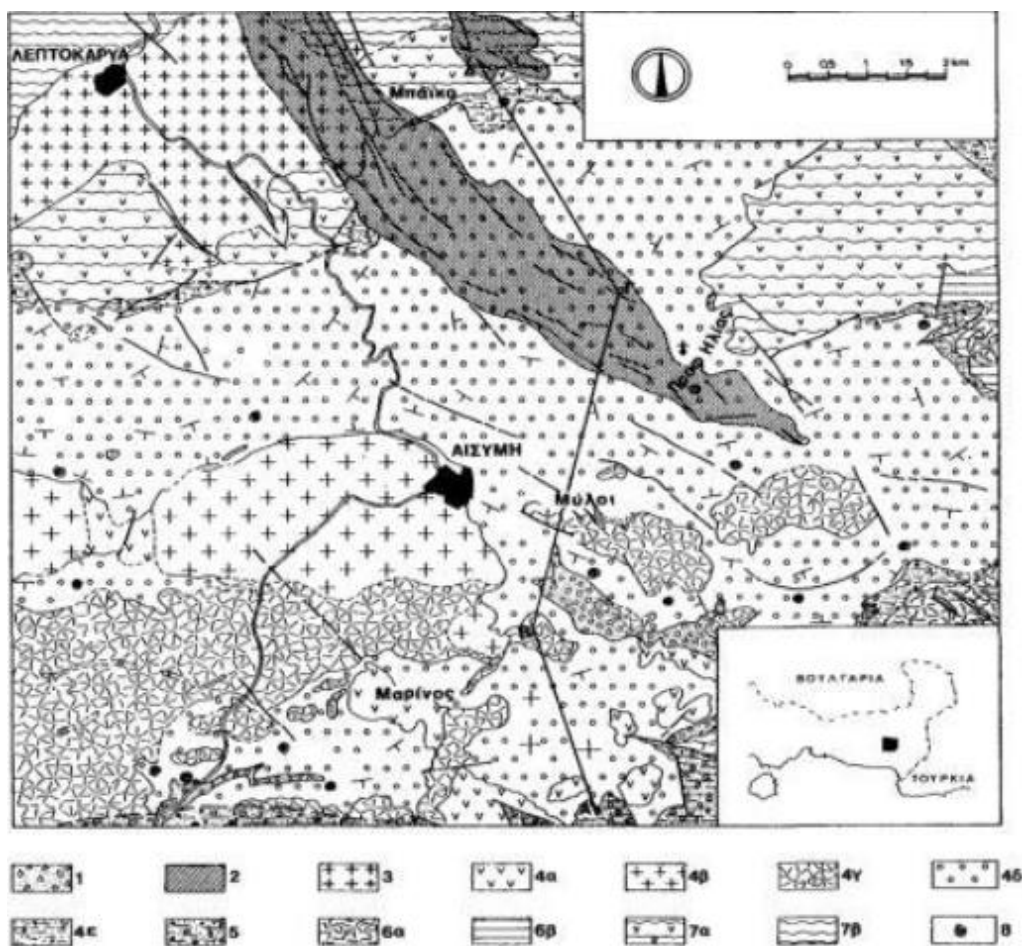
Σχήμα 3.4. Γεωλογικός χάρτης της τριτογενούς ηφαιστειοϊζηματογενούς λεκάνης Αισύμης-Κίρκης (Κατιρτζόγλου, 1986)

1. Πλουτώνια πετρώματα
2. Ηφαιστειογενή πετρώματα
3. Ιζηματογενείς σχηματισμοί του Πριαμπόνιου
4. Προ-Πριαμπόνιοι σχηματισμοί

3.3 Μαγματισμός της λεκάνης Αισύμης-Κίρκης

Τα πετρώματα της Περιοδοπικής ζώνης στη Θράκη αποτελούνται κατά ένα μεγάλο μέρος από μαγματικά πετρώματα, κυρίως ηφαιστειακά. Σύμφωνα με τον Μαγκανά (1988) η μαγματική αυτή δραστηριότητα άρχισε κατά τη διάρκεια του Μεσοζωικού και συνεχίστηκε μέχρι το Τριτογενές.

Ο μαγματισμός στη λεκάνη Αισύμης-Κίρκης εκδηλώνεται με την παρουσία ηφαιστειογενών και πλουτωνικών πετρωμάτων. Τα ηφαιστειογενή πετρώματα εμφανίζονται κυρίως στο νοτιοδυτικό μέρος της λεκάνης με τη μορφή λαβών και πυροκλαστικών, όπως επίσης και φλεβικών πετρωμάτων. Από την άλλη τα πλουτωνικά πετρώματα διαφοροποιούνται από γρανοδιορίτη και μονζονίτη μέχρι και διορίτη.



Σχήμα 3.5. Γεωλογικός χάρτης περιοχής Αισύμης (από γεωλογικό-κοιτασματολογικό χάρτη, κλίμ. 1:25.000, Κατιρτζόγλου, 1986)

1. Αναβαθμίδες και σύγχρονες αποθέσεις.
2. Περιοχή πυκνής ανάπτυξης φλεβών ρυολιθικής-ρυοδακτιτικής σύστασης.
3. Γρανодиρίτης- μονζονίτης.
4. Βαθμίδα Πριαμπονίου. α) Τόφφοι, λάβες και ιζηματογενή πετρώματα
β) Μικρογρανодиρίτης-χαλαζιακός μικροδιωρίτης
γ) Λάβες και διεισδύσεις ανδεσιτο-δακτιτικής σύστασης
δ) Ιζηματογενή πετρώματα
ε) Λατυποκροκαλοπαγές
5. Βαθμίδα Λουτησίου, λατυποκροκαλοπαγές
6. Ενότητα Δρυμού-Μελίας α) Διαβάσεις
β) Σχηματισμοί της ενότητας Δρυμού-Μελίας
7. Μάζα Ροδόπης α) Απλίτες και χλωριτοαμφιβολίτες
β) Γνεύσιοι
8. Απολιθώματα

3.4 Τεκτονική

Τεκτονική της Περιοδοπικής ζώνης στην περιοχή της Θράκης

Η τεκτονική δράση στην Περιοδοπική ζώνη στην περιοχή της Θράκης χαρακτηρίζεται σύμφωνα με τους Μαράτο και Ανδρονόπουλο (1955) από ομαλές πτυχές με άξονα πτύχωσης BA-BBA και ρήγματα κατακόρυφης κλίσης με διεύθυνση BBD-NNA. Διαπιστώθηκε ακόμη η ύπαρξη πτυχών με άξονες πτύχωσης BA-BBA και κλίση A-Δ, καθώς και τρία συστήματα τεκτονικών διαρρήξεων με διευθύνσεις BBD-NNA, BBA-NNΔ και A-Δ (Κωνσταντινίδης κ.ά. 1983).

Οι Kondopoulou & Pavlides (1990) υποστηρίζουν ότι οι κύριες διευθύνσεις των ρηγμάτων στα πετρώματα της Περιοδοπικής ζώνης της Θράκης είναι BBD-NNA, BA-ND και A-Δ.

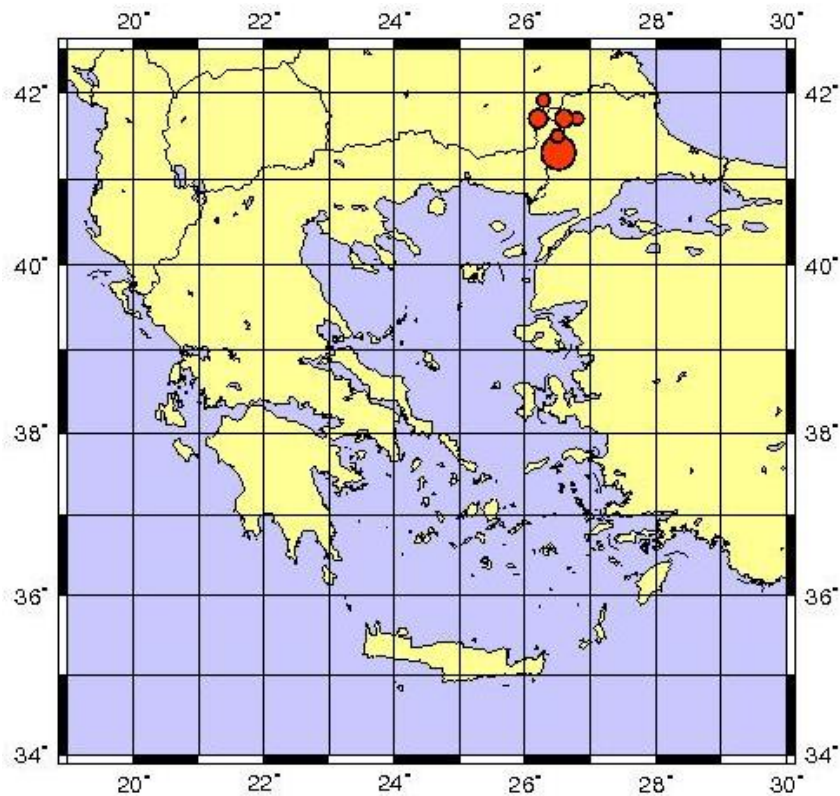
Τριτογενής ρηξιγενής τεκτονική

Στην περιοχή της Θράκης δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια του Τριτογενούς τεκτονικά βύθισμα μέσα στα οποία αποτέθηκαν ηφαιστειοϊζηματογενή πετρώματα.

Στην περιοχή της Αισύμης-Κίρκης υπάρχει ένα τεκτονικό βύθισμα όπου εμφανίζονται ιζηματογενείς σχηματισμοί του Μέσου Ηωκαίνου (Παπαδόπουλος 1980, 1982). Η ακολουθία αποτελείται στο κατώτερο τμήμα της από κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, πηλίτες και νουμμουλιτοφόρους ασβεστόλιθους και στο ανώτερο τμήμα της από ψαμμίτες, μάργες, πυροκλαστικά και κλαστικά ιζήματα του άνω Πριαμπονίου. Η ηφαιστειακή δράση αποτελείται από υποθαλάσσιες εκχύσεις λάβας δακιτικής σύστασης. Η ηφαιστειακή δραστηριότητα συνεχίστηκε μέχρι το Ολιγόκαινο με ανδεσίτες, δακίτες και ρυολιθικά πετρώματα (Eleftheriadis et al. 1989a). Στην περιοχή της Θράκης εμφανίζονται ακόμη Τριτογενή πλουτωνικά πετρώματα που διεισδύουν τόσο στην Περιοδοπική ζώνη όσο και στη μάζα της Ροδόπης.

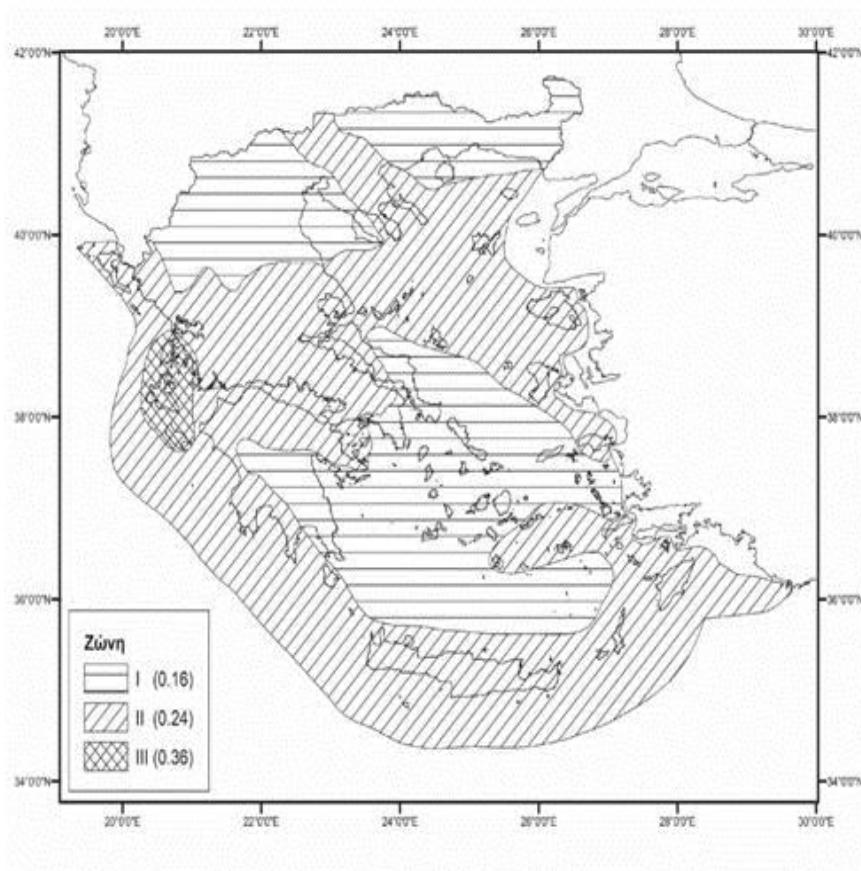
3.5 Στοιχεία Σεισμικότητας

Όπως φαίνεται και στον παρακάτω χάρτη σεισμικότητας, δεν υπάρχει κάποιος αξιοσημείωτος σεισμός στην ευρύτερη περιοχή της Αισύμης.



Σχήμα 3.6. Χάρτης σεισμικότητας με καταγραφές επικέντρων σεισμών από το 550 μέχρι το 2009 με εστιακό βάθος μέχρι 250 km και μέγεθος σεισμικής ροπής 4,5 – 9,0

Σύμφωνα με τον Ε.Α.Κ. η εξεταζόμενη περιοχή εντάσσεται στη ζώνη Ι (κατηγορία χαμηλής σεισμικής επικινδυνότητας), όπως φαίνεται και στον χάρτη ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας (σχήμα 3.7).



Σχήμα 3.7. Χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας

Η σεισμική επικινδυνότητα αντιστοιχεί μια τιμή σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους, η οποία δίνεται από τον τύπο:

$$A = \alpha \cdot g \text{ (g: επιτάχυνση βαρύτητας)}$$

Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας	I	II	III
Σεισμική Επιτάχυνση Εδάφους	0,16	0,24	0,36

Πίνακας 3.1 Τιμές σεισμικών επιταχύνσεων για κάθε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας

3.6 Υδρολογικά στοιχεία

Οι υδρολογικές συνθήκες μιας περιοχής εξαρτώνται από δύο βασικούς παράγοντες, το κλίμα και τη γεωλογική δομή.

Η υδρολογική μελέτη μιας λεκάνης έχει σκοπό τον προσδιορισμό των υδρολογικών παραμέτρων, οι οποίες υπεισέρχονται στην εξίσωση του υδρολογικού ισοζυγίου. Η εξίσωση αυτή έχει τέσσερις βασικές παραμέτρους και εκφράζεται:

$$P=I+E+R$$

όπου:

P = μέση βροχόπτωση της λεκάνης απορροής (%)

I = κατείσδυση (%)

E = εξατμισοδιαπνοή (%)

R = επιφανειακή απορροή (%)

Η ταξινόμηση των γεωλογικών σχηματισμών ως προς την κατηγορία του συντελεστή υδροπερατότητας k έγινε με βάση την ταξινόμηση κατά TERZAGHI and PECK (1967) και οι τιμές παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Συντελεστές υδροπερατότητας (k) cm/sec	Υδροπερατότητα
$10^{-1} \leq k$	Υψηλή
$10^{-1} \leq k < 10^{-3}$	Μέση
$10^{-3} \leq k < 10^{-5}$	Χαμηλή
$10^{-5} \leq k < 10^{-7}$	Πολύ χαμηλή
$k \leq 10^{-7}$	Πρακτικά αδιαπέρατος σχηματισμός

Πίνακας 3.2. Τυπικές τιμές συντελεστών υδροπερατότητας (k)
(TERZAGHI and PECK, 1967)

3.7 Κλιματολογικά στοιχεία

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης. Συγκεκριμένα, τα παρακάτω στοιχεία προέρχονται από τον Μετεωρολογικό Σταθμό Αλεξανδρούπολης, ο οποίος είναι ο πλησιέστερος στην περιοχή μελέτης και καλύπτουν την περίοδο 1950-1995. Η μέση μηνιαία και ετήσια θερμοκρασία αέρα παρουσιάζεται στον πίνακα 3.3.

I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ	ΕΤΟΣ
4,8	6,1	8,2	13,2	17,4	22,6	25,6	25,6	21,2	15,7	11,2	7,3	15,0

Πίνακας 3.3. Μέση μηνιαία και ετήσια θερμοκρασία αέρα (1950 έως 1995)

Με βάση τα στοιχεία του πίνακα προκύπτει ότι η μέση ετήσια τιμή της θερμοκρασίας είναι 15,0 °C. Οι μέσες μέγιστες θερμοκρασίες παρουσιάζονται κατά τους μήνες Ιούλιο (25,6°C), Αύγουστο (25,6°C) και Ιούνιο (22,6°C), ενώ οι ελάχιστες κατά τους μήνες Ιανουάριο (4,8°C), Φεβρουάριο (6,1°C) και Δεκέμβριο (7,3°C).

Το μέσο μηνιαίο και ετήσιο ύψος βροχοπτώσεων παρουσιάζεται στον πίνακα 3.4.

I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ	ΕΤΟΣ
77	60	51	36	40	33	21	13	32	52	86	88	589

Πίνακας 3.4. Μέσο μηνιαίο και ετήσιο ύψος βροχόπτωσης (1950 έως 1995)

Με βάση τα στοιχεία του πίνακα προκύπτει ότι το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης είναι 589,0 mm, το οποίο μπορεί να χαρακτηριστεί ως ικανοποιητικό. Το μέγιστο ύψος βροχόπτωσης παρουσιάζεται κατά τους μήνες Δεκέμβριο (88,0mm) και Νοέμβριο (86,0 mm), ενώ το ελάχιστο κατά τους μήνες Αύγουστο (13,0 mm) και Ιούλιο (21,0 mm)

Συγκεκριμένα για την Αισύμη οι μέσες μηνιαίες και ετήσιες βροχοπτώσεις για την περίοδο 1964 έως 1998 παρουσιάζονται στον πίνακα 3.5.

I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ	Μέση
100,0	98,9	75,2	64,7	66,5	58,8	29,4	21,2	35,3	72,8	127,9	130,0	880,7

Πίνακας 3.5. Μέσο μηνιαίο και ετήσιο ύψος βροχόπτωσης (1964 έως 1998)

4. Τεχνικογεωλογικές συνθήκες ευρύτερης περιοχής Αισύμης

4.1 Στρωματογραφία της θέσης φράγματος

Στο πλαίσιο των γεωτεχνικών εργασιών που πραγματοποιήθηκαν στη θέση του φράγματος συμπεριλήφθηκε και η εκτέλεση δύο (2) δειγματοληπτικών γεωτρήσεων. Παρακάτω παρουσιάζονται οι σχηματισμοί που συναντήθηκαν κατά τη διάτρηση.

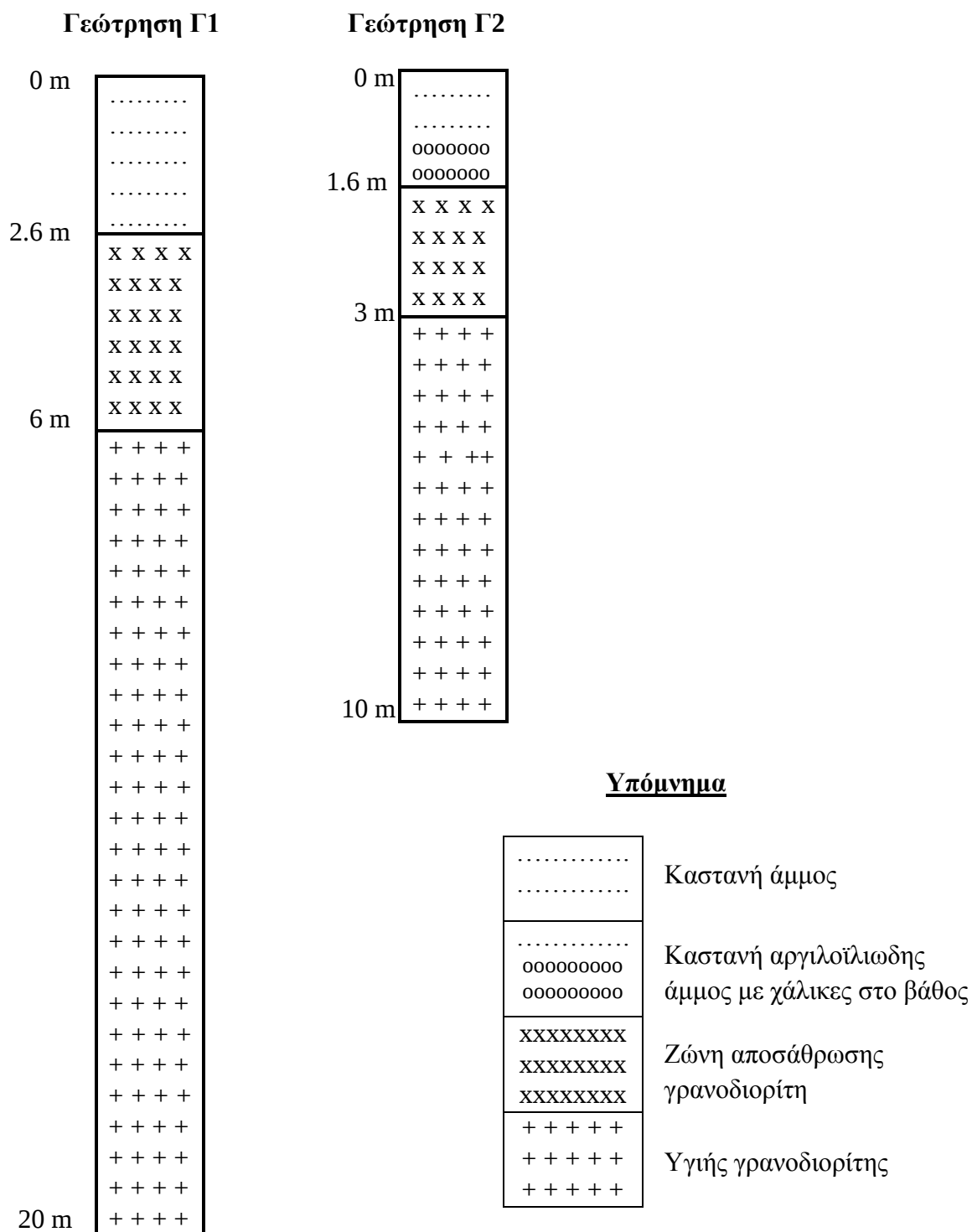
Στη γεώτρηση Γ1 συναντήθηκαν οι εξής σχηματισμοί:

- Βάθος 0 – 2,6 m: Καστανή άμμος
- Βάθος 2,6 – 6 m: Ζώνη αποσάθρωσης γρανοδιορίτη
- Βάθος 6 – 20 m: Υγιής γρανοδιορίτης

Στη γεώτρηση Γ2 συναντήθηκαν οι εξής σχηματισμοί:

- Βάθος 0 – 1,6 m: Καστανή αργιλοϊλυώδης άμμος με χάλικες στο βάθος
- Βάθος 1,6 – 3 m: Ζώνη αποσάθρωσης γρανοδιορίτη
- Βάθος 3 – 10 m: Υγιής γρανοδιορίτης

Παρακάτω παρουσιάζονται οι στρωματογραφικές στήλες που προέκυψαν από τα στοιχεία των γεωτρήσεων (βάθος, λιθολογία).



Σχήμα 4.1 Στρωματογραφικές στήλες γεωτρήσεων στη θέση του φράγματος

4.2 Τεχνικογεωλογικές ενότητες

Σύμφωνα με τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών που απαντώνται τόσο στη στενότερη περιοχή του έργου όσο και στην ευρύτερη, σύμφωνα με γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή του φράγματος συνοψίζονται παρακάτω και διακρίνονται σε τρεις ενότητες.

- Καστανή αργιλοϊλυώδης άμμος με χάλικες στο βάθος (SC-SM): Πρόκειται για άμμο καστανού χρώματος με αργιλοϊλυώδη σύσταση και χάλικες στο βάθος. Σύμφωνα με εργαστηριακές αναλύσεις που έγιναν για τον προσδιορισμό των ορίων Atterberg βρέθηκε ότι το όριο υδαρότητας είναι 23,6, το όριο πλαστικότητας 17,5 και ο δείκτης πλαστικότητας 6,1.

- Ζώνη αποσάθρωσης γρανοδιορίτη: Πρόκειται για μία ζώνη όπου ο γρανοδιορίτης εμφανίζεται πολύ ισχυρά αποσαθρωμένος έως τελείως αποσαθρωμένος, το RQD είναι αρκετά χαμηλό περίπου στο 25%. Η απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών κυμαίνεται από 0,06 έως 0,2m, οι επιφάνειες των διακλάσεων είναι ελαφρά τραχείες με πολύ αποσαθρωμένα τοιχώματα, ενώ ο διαχωρισμός είναι μικρότερος από 1mm.

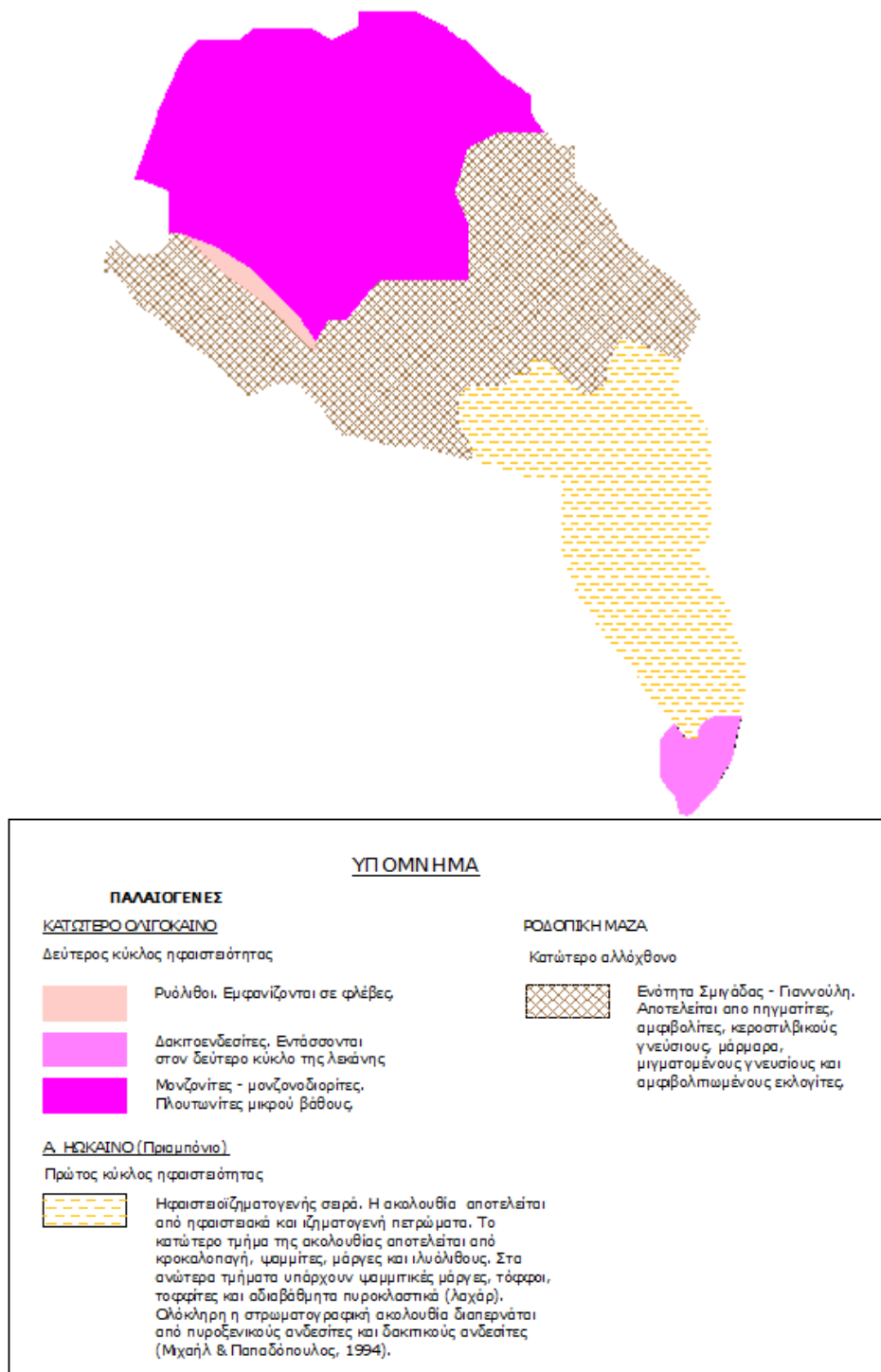
- Γρανοδιορίτης: Πρόκειται για έναν υγρή γρανοδιορίτη που αποτελεί το υπόβαθρο της θέσης του έργου. Το RQD κυμαίνεται στις τιμές 50-75% στα ανώτερα στρώματα, ενώ όσο προχωράμε βαθύτερα η ποιότητα του πετρώματος βελτιώνεται με την τιμή του RQD να κυμαίνεται από 90 έως 100%. Το πέτρωμα είναι ελαφρά αποσαθρωμένο, ενώ σε μεγαλύτερα βάθη είναι υγιές. Η απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών φτάνει μέχρι τα 2m. Οι επιφάνειες των διακλάσεων είναι ολισθηρές με διαχωρισμό <5mm ή ανοιχτές διακλάσεις 1-5mm. Βαθύτερα οι επιφάνειες είναι ελαφρά τραχείες με διαχωρισμό <1mm και πολύ αποσαθρωμένα τοιχώματα. Σύμφωνα με τις τιμές της μονοαξονικής αντοχής και του δείκτη σημειακής φόρτισης το πέτρωμα χαρακτηρίζεται ως πολύ υψηλής αντοχής.

4.3 Σχηματισμοί της λεκάνη κατάκλισης

Οι σχηματισμοί που συναντώνται στη λεκάνη κατάκλισης, σύμφωνα με γεωλογική χαρτογράφηση που έγινε, παρουσιάζονται παρακάτω στις οριζοντιογραφίες που σχεδιάστηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος AutoCAD.



Σχήμα 4.2 Οριζοντιογραφία λεκάνης κατάκλισης μέσω AutoCAD
(Αδαμίδης Α., Απρίλιος 2006)



Σχήμα 4.3 Οριζοντιογραφία λεκάνης κατάκλισης μέσω AutoCAD
(Αδαμίδης Α., Απρίλιος 2006)

4.4 Υδρολιθολογική συμπεριφορά σχηματισμών της λεκάνης κατάκλισης

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζεται η υδρολιθολογική συμπεριφορά των σχηματισμών που συγκροτούν την λεκάνη κατάκλισης. Οι σχηματισμοί που συναντώνται τόσο στη λεκάνη κατάκλισης όσο και στην ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζονται ως πρακτικά αδιαπέρατοι έως ημιπερατοί και υδροστεγανοί. Τα στοιχεία της υδρολιθολογικής συμπεριφοράς των σχηματισμών καταγράφονται στον πίνακα 4.1.

Λιθολογικός Σχηματισμός	Συντελεστής υδροπερατότητας (k) (m/sec)
Όξινοι πλουτωνίτες	$10^{-5}-10^{-8}$
Ηφαιστειακά	$10^{-6}-10^{-9}$
Μεταμορφωμένα	$10^{-6}-10^{-9}$
Ψαμμίτες	$10^{-6}-10^{-5}$
Μάργες	$10^{-6}-10^{-9}$
Κροκαλοπαγή	$10^{-4}-10^{-5}$
Αλλουβιακές αποθέσεις	$10^{-2}-10^{-4}$

Πίνακας 4.1 Τυπικές τιμές συντελεστών υδροπερατότητας (k) των λιθολογικών σχηματισμών της λεκάνης απορροής (TERZAGHI and PECK, 1967)

Η λεκάνη κατάκλισης όπως παρουσιάστηκε στις παραπάνω οριζοντιογραφίες αποτελείται από διάφορους σχηματισμούς. Παρακάτω οι σχηματισμοί θα ταξινομηθούν ανάλογα με τις τιμές του συντελεστή υδροπερατότητας τους.

- Στους σχηματισμούς μέσης έως υψηλής διαπερατότητας ($10^{-2} - 10^{-4}$ m/sec) εντάσσονται οι άμμοι, οι αλλουβιακές αποθέσεις και τα τεκτονικά κορήματα. Πρόκειται για πορώδεις σχηματισμούς στους οποίους η κυκλοφορία του νερού γίνεται μέσω του πρωτογενούς πορώδους τους.
- Ο γρανοδιορίτης και ο μονζονίτης που ανήκουν στους πλουτωνίτες της λεκάνης κατάκλισης έχουν τιμές υδροπερατότητας $10^{-5} - 10^{-8}$ m/sec.
- Οι ρυόλιθοι, οι δακτιοανδεσίτες και τα πυροκλαστικά που ανήκουν στα ηφαιστειακά πετρώματα της λεκάνης κατάκλισης έχουν τιμές υδροπερατότητας $10^{-6} - 10^{-9}$ m/sec.
- Από τους σχηματισμούς της ηφαιστειοϊζηματογενούς σειράς, τα ιζηματογενή πετρώματα συντελούν το κατώτερο τμήμα της ακολουθίας. Πρόκειται για κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, μάργες και ιλύολιθους. Τα κροκαλοπαγή έχουν χαμηλές τιμές υδροπερατότητας $10^{-4} - 10^{-5}$ m/sec, ο ψαμμίτης έχει πολύ χαμηλές τιμές $10^{-6} - 10^{-5}$ m/sec, ενώ οι μάργες έχουν τιμές $10^{-6} - 10^{-9}$ m/sec και οι ιλύολιθοι έως 10^{-9} m/sec, καθώς πρόκειται για αδιαπέρατους σχηματισμούς.
- Τέλος, τα μεταμορφωμένα πετρώματα της λεκάνης κατάκλισης αποτελούν οι αμφιβολίτες, οι γνεύσιοι και τα μάρμαρα. Τα μάρμαρα συγκεκριμένα έχουν χαμηλές τιμές υδροπερατότητας $10^{-2} - 10^{-6}$ m/sec κάτι το οποίο εξαρτάται και από το βαθμό καρστικοποίησής τους. Τα υπόλοιπα μεταμορφωμένα πετρώματα παίρνουν ακόμη πιο χαμηλές τιμές υδροπερατότητας $10^{-6} - 10^{-9}$ m/sec.

4.5 Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά γρανοδιορίτη

4.5.1 Γενικά

Για τον προσδιορισμό των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών του γρανοδιορίτη πραγματοποιήθηκαν κάποιοι υπολογισμοί με τη βοήθεια των δεδομένων που έχουν εξαχθεί από εργαστηριακές δοκιμές και με τη χρήση του προγράμματος «Roclab» της Rocscience. Μέσω του προγράμματος αυτού υπολογίζουμε την αντοχή της βραχώμαζας μέσα από το κριτήριο αστοχίας Hoek and Brown.

Για τους υπολογισμούς δόθηκε μια τιμή GSI για τους διάφορους τύπους γρανοδιορίτη και στη συνέχεια προσδιορίστηκαν οι τιμές $I_s(50)$ και m_i και υπολογίστηκε το σ_{ci} .

Για τον υπολογισμό της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής (σ_{ci}) χρησιμοποιήθηκε η εμπειρική σχέση:

$$\sigma_{ci} = x \cdot I_s(50).$$

Ο συντελεστής x δίνεται βιβλιογραφικά από διάφορους ερευνητές και οι τιμές του ποικίλουν. Στην προκειμένη περίπτωση θα χρησιμοποιηθεί η τιμή που προτείνεται από την Διεθνή Ένωση Βραχομηχανικής ISRM(1985) όπου η τιμή του x κυμαίνεται μεταξύ 20-25. Για τους υπολογισμούς ελήφθη ο μέσος όρος, δηλαδή 22,5.

4.5.2 Υπολογισμός αντοχής βραχώμαζας γεώτρησης Γ1

Γεώτρηση Γ1

Από τα δεδομένα που δόθηκαν από τη γεώτρηση Γ1 έχουμε απευθείας τις τιμές UCS, από τις οποίες παίρνουμε μια μέση τιμή $\sigma_{ci}=115$ MPa.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές του δείκτη σημειακής φορτίσεως $I_s(50)$ (MPa) και η αντοχή του άρρηκτου βράχου σε μονοαξονική θλίψη σ_{ci} (MPa) για την γεώτρηση Γ1.

Υλικό	$I_s(50)$ (MPa)	σ_{ci} (MPa)
Γρανοδιορίτης	6,73	151,43
Γρανοδιορίτης	3,65	82,13
Γρανοδιορίτης	8,43	189,68
Γρανοδιορίτης	9,58	215,55
Γρανοδιορίτης	8,81	198,23

Η μέση τιμή αυτών είναι: $\sigma_{ci}=167$ MPa

Άρα η μέση τιμή που προκύπτει είναι: $\sigma_{ci}=141$ MPa

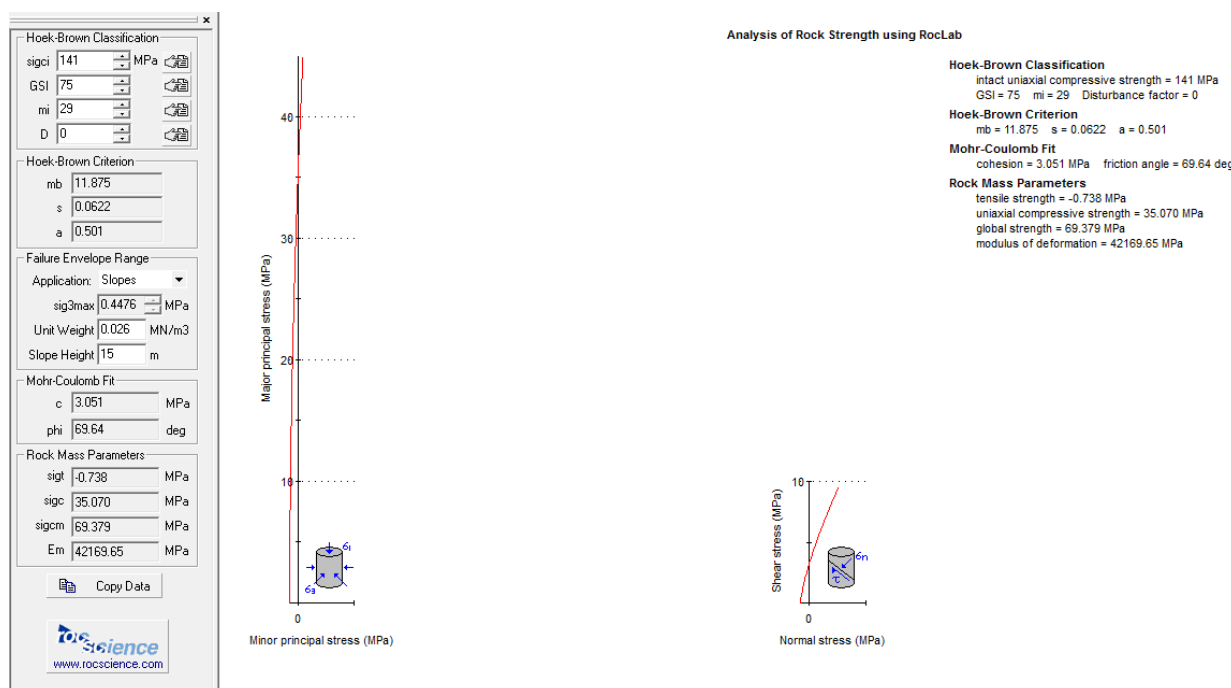
Στη συνέχεια υπολογίζεται εμπειρικά το GSI από το RQD και την κατάσταση των διακλάσεων. Ο γρανοδιορίτης είναι υγιής με ελαφρά τραχείες επιφάνειες διακλάσεων και αποσαθρωμένα τοιχώματα. Άρα το GSI κυμαίνεται από 70 έως 80. Λαμβάνεται μια μέση τιμή 75.

Το m_i του γρανοδιορίτη είναι 29 ± 3

Το ύψος του πρηνούς είναι $\approx 15\text{m}$

Άρα εφαρμόζοντας το κριτήριο αστοχίας Hoek and Brown μέσω του προγράμματος Roclab, για συντελεστή διαταραχής $D=0$, προκύπτουν οι παράμετροι c και ϕ τα αποτελέσματα των οποίων είναι τα εξής:

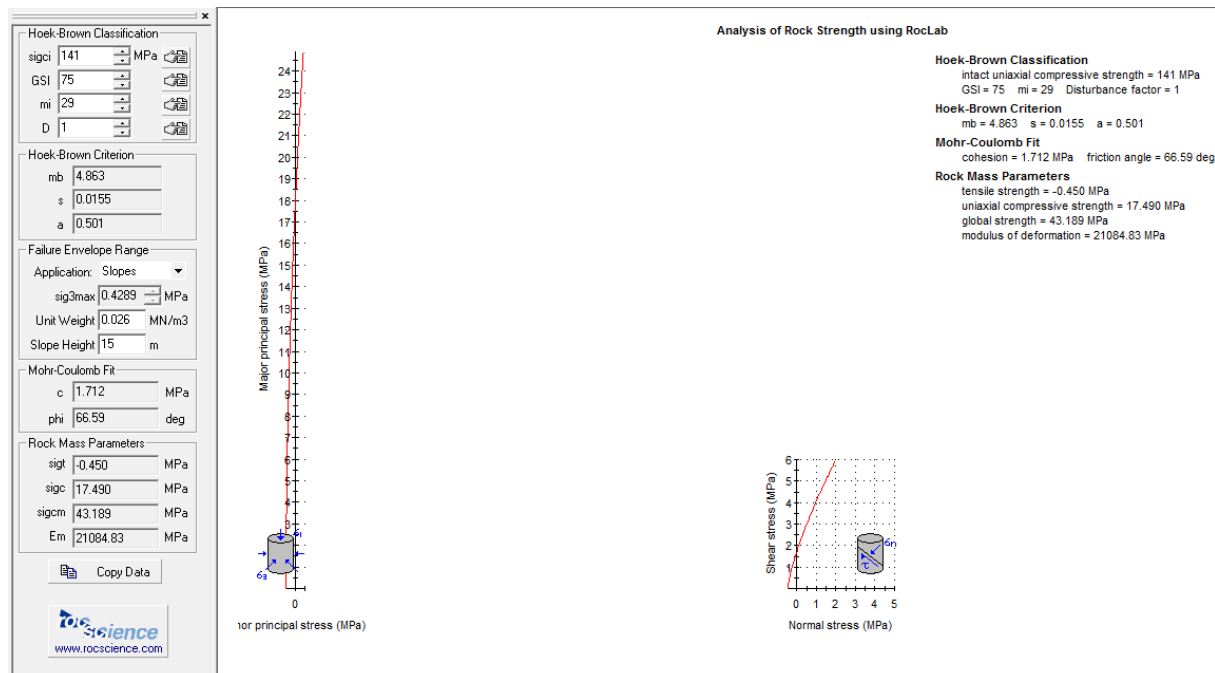
- $c=3.051\text{ MPa}$
- $\phi=69.64^\circ$



Σχήμα 4.4 Χρήση του προγράμματος Roclab της Rocscience ($D=0$)

Εφαρμόζοντας το κριτήριο αστοχίας Hoek and Brown μέσω του προγράμματος Roclab, για συντελεστή διαταραχής $D=1$, παρατηρείται μείωση στις τιμές των παραμέτρων c και ϕ τα αποτελέσματα των οποίων είναι τα εξής:

- $c=1.758 \text{ MPa}$
- $\phi=66.66^\circ$



Σχήμα 4.5 Χρήση του προγράμματος Roclab της Rocscience ($D=1$)

4.5.3 Υπολογισμός αντοχής βραχόμαζας γεώτρησης Γ2

Γεώτρηση Γ2

Από τα δεδομένα που δόθηκαν από τη γεώτρηση Γ2 έχουμε απευθείας τις τιμές UCS, από τις οποίες παίρνουμε μια μέση τιμή $\sigma_{ci}=92$ MPa.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές του δείκτη σημειακής φορτίσεως $I_s(50)$ (MPa) και η αντοχή του άρρηκτου βράχου σε μονοαξονική θλίψη σ_{ci} (MPa) για την γεώτρηση Γ2.

Υλικό	$I_s(50)$ (MPa)	σ_{ci} (MPa)
Γρανοδιορίτης	8,05	181,13
Γρανοδιορίτης	8,24	185,4
Γρανοδιορίτης	8,81	198,23
Γρανοδιορίτης	9,2	207
Γρανοδιορίτης	9,85	215,55

Η μέση τιμή αυτών είναι: $\sigma_{ci}=197$ MPa

Άρα η μέση τιμή που προκύπτει είναι: $\sigma_{ci}=145$ MPa

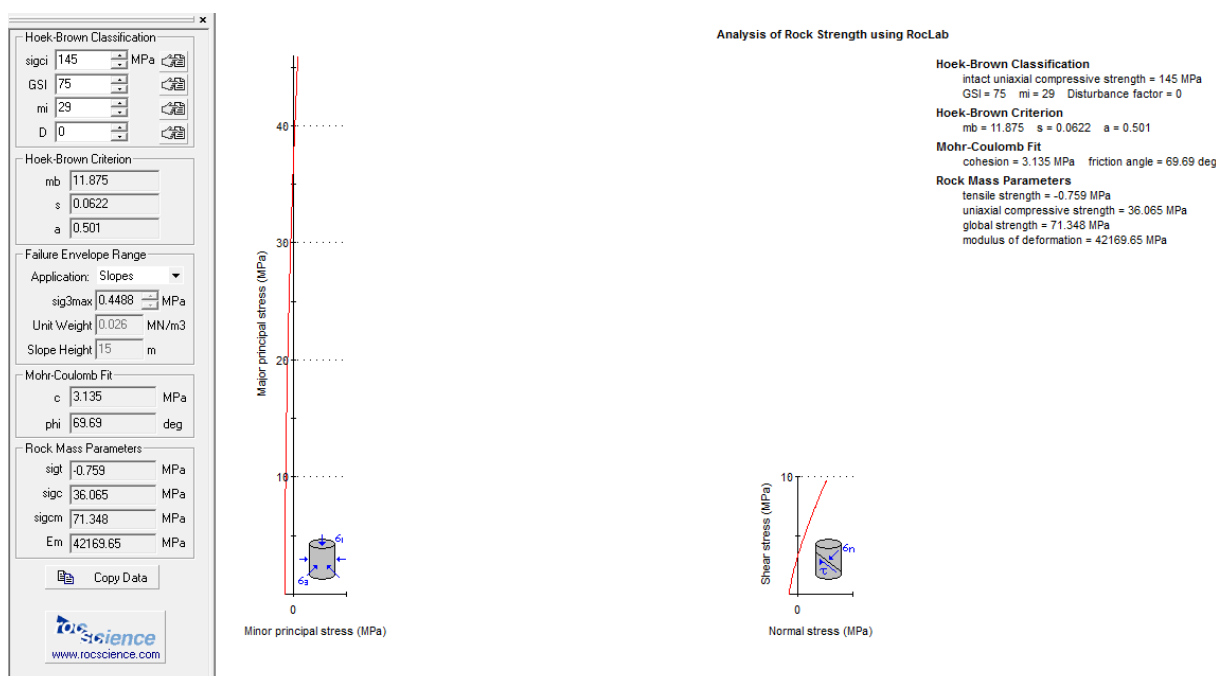
Στη συνέχεια υπολογίζεται εμπειρικά το GSI από το RQD και την κατάσταση των διακλάσεων. Ο γρανοδιορίτης είναι υγής με ελαφρά τραχείες επιφάνειες διακλάσεων και πολύ αποσπασμένα τοιχώματα. Άρα το GSI κυμαίνεται από 70 έως 80. Λαμβάνεται μια μέση τιμή 75.

Το m_i του γρανοδιορίτη είναι 29 ± 3

Το ύψος του πρηνούς είναι $\approx 15\text{m}$

Άρα εφαρμόζοντας το κριτήριο αστοχίας Hoek and Brown μέσω του προγράμματος Roclab, για συντελεστή διαταραχής $D=0$, προκύπτουν οι παράμετροι c και ϕ τα αποτελέσματα των οποίων είναι τα εξής:

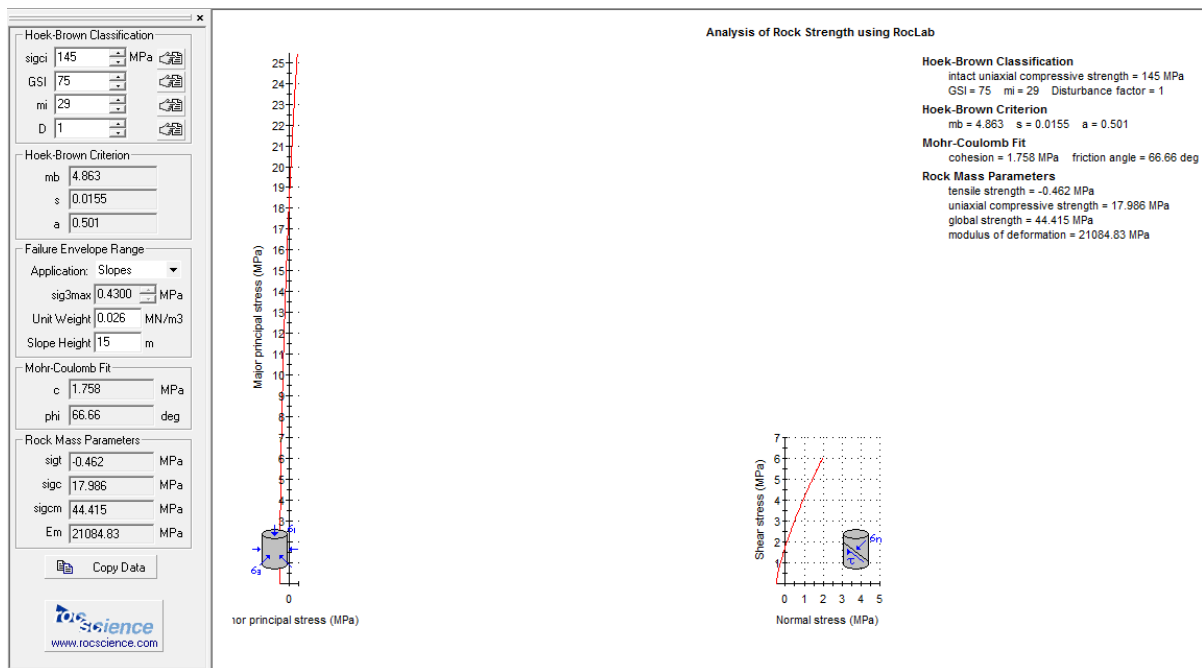
- $c=3.135\text{ MPa}$
- $\phi=69.69^\circ$



Σχήμα 4.6 Χρήση του προγράμματος Roclab της Rocscience (D=0)

Εφαρμόζοντας το κριτήριο αστοχίας Hoek and Brown μέσω του προγράμματος Roclab, για συντελεστή διαταραχής $D=1$, παρατηρείται μείωση στις τιμές των παραμέτρων c και ϕ τα αποτελέσματα των οποίων είναι τα εξής:

- $c=1.712 \text{ MPa}$
- $\phi=66.59^\circ$



Σχήμα 4.7 Χρήση του προγράμματος Roclab της Rocscience ($D=1$)

5. Ανάλυση ευστάθειας πρανών

5.1 Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο θα μελετηθεί η ανάλυση της ευστάθειας των πρανών, η οποία αναφέρεται στους βασικούς μηχανισμούς και στις αρχές που οδηγούν στη δημιουργία μιας πιθανής αστοχίας των πρανών καθώς επίσης και στην επιλογή των αντίστοιχων μέτρων πρόληψης και αντιμετώπισης της προβλεπόμενης αυτής αστοχίας.

Οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ευστάθεια ενός φυσικού πρανού είναι:

- Η βαρύτητα, η οποία δρα ως παράγοντας αστάθειας του πρανού, καθώς τείνει να παρασύρει προς τα κάτω και προς τα έξω ορισμένη μάζα εδάφους.
- Η συνοχή και η εσωτερική τριβή, που τείνουν να διατηρήσουν ενωμένα τα υλικά που συνθέτουν το πρανές και αντιστέκονται σε οποιαδήποτε μετακίνηση, συμβάλλοντας έτσι στην ευστάθειά τους.
- Άλλοι παράγοντες όπως η στρώση και ο κερματισμός του σχηματισμού, η παρουσία και κίνηση του νερού σε συνδυασμό με τις συνθήκες αποστράγγισης του πρανού, η επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών και οι χρονικές μεταβολές των τάσεων και παραμορφώσεων.

Οι κύριες μέθοδοι ανάλυσης της ευστάθειας των πρανών διακρίνονται στις παρακάτω δύο κύριες κατηγορίες:

1. Αναλύσεις οριακής ισορροπίας (Limit Equilibrium Analyses)
2. Αναλύσεις παραμόρφωσης (Deformation Analyses)

5.1.1 Αναλύσεις παραμόρφωσης

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. Λόγω της περιπλοκότητάς τους στην εφαρμογή τους, οι αναλύσεις αυτές απαιτούν ειδική εμπειρία από τον μελετητή και σωστή μοντελοποίηση των εδαφικών παραμέτρων και των μεταβολών τους, ώστε τα αποτελέσματά να είναι αξιόπιστα.

5.1.2 Αναλύσεις οριακής ισορροπίας

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

5.2 Συντελεστής ασφάλειας ενός πρανούς

Ως συντελεστής ασφάλειας (SF ή F) ενός πρανούς ορίζεται ο λόγος των συνολικών δυνάμεων που αντιτίθενται στην ολίσθηση προς τις δυνάμεις που τείνουν να προκαλέσουν ολίσθηση. Εξετάζοντας τις παραπάνω περιπτώσεις, ο συντελεστής ασφάλειας δίνεται από τη σχέση:

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

Όταν ο λόγος είναι μεγαλύτερος από ένα, τότε το πρανές είναι ευσταθές. Όταν ο συντελεστής ισούται με ένα, 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 τάξεως του 1,4 - 1,5.

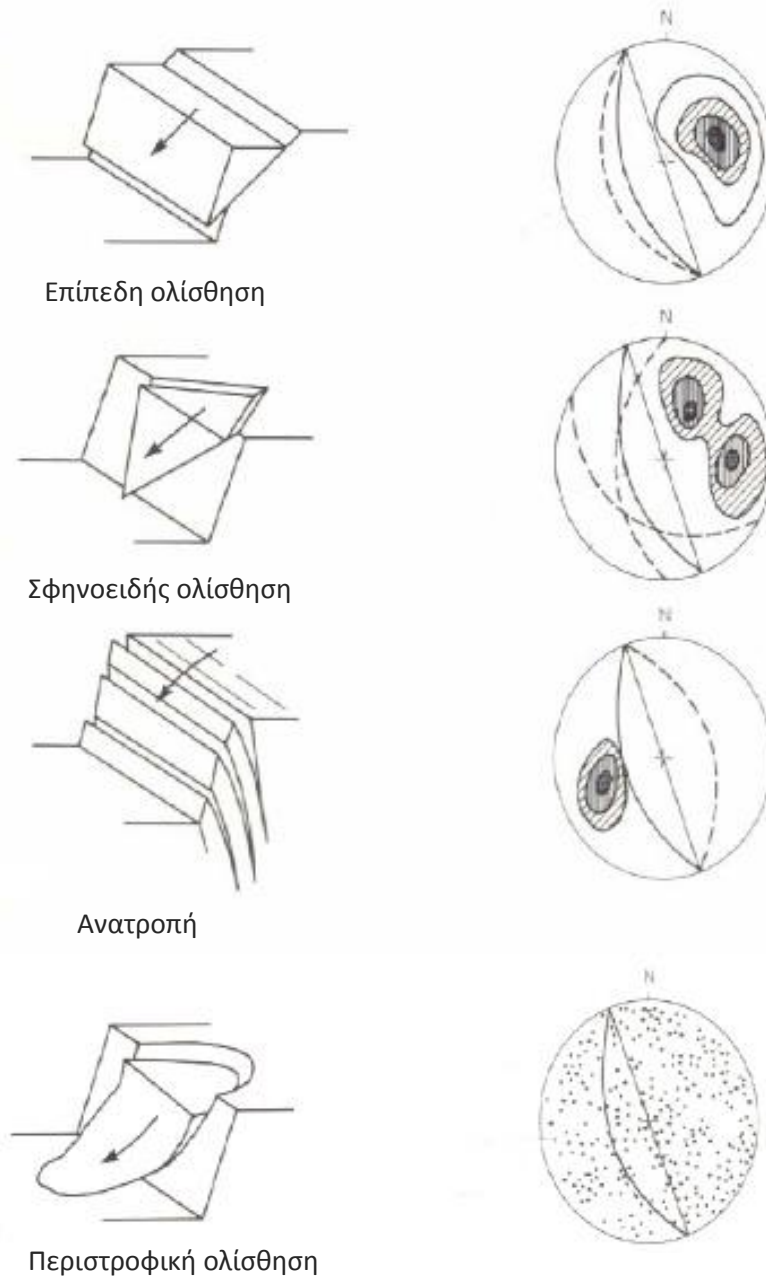
Σύμφωνα με το ΦΕΚ 1221/30-11-98 περί « Ανάλυσης τιμών και λοιπών θεμάτων Γεωτεχνικών ερευνών, Μελετών Γεωτεχνικών Έργων και Γεωτεχνικών Μελετών», οι τιμές των απαιτούμενων συντελεστών ασφαλείας που ορίζονται για εδαφικά πρανή εκσκαφών και επιχωμάτων δίνονται στον πίνακα 5.1.

F=1.4	Για συνθήκες ομαλής φόρτισης και ομαλής λειτουργίας
F=1.3	Για συνθήκες στατικής φόρτισης και πιθανή εκτιμώμενη ακραία περίπτωση ανύψωσης της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα για ζωή έργου 50 χρόνια
F=1.0	Για την περίπτωση σεισμικής φόρτισης

Πίνακας 5.1 Ενδεικτικές τιμές συντελεστών ασφαλείας

5.3 Προσδιορισμός του τύπου δυνητικής ολίσθησης

Για την ανάλυση της ευστάθειας σε βραχώδη πρανή καθίσταται αναγκαίος ο προσδιορισμός του πιθανού τύπου ολίσθησης, καθώς μας πληροφορεί σχετικά με τις δυνατότητες εκδήλωσης κάποιας μορφής αστάθειας στο πρανές. Στο σχήμα 5.1 παρουσιάζονται οι βασικοί τύποι ολισθήσεων βραχωδών πρανών και τα αντίστοιχα διαγράμματα στατιστικής επεξεργασίας πόλων ασυνεχειών.



Σχήμα 5.1. Βασικοί τύποι ολίσθησης βραχωδών πρανών και αντίστοιχα διαγράμματα Schmidt (Hoek and Bray, 1981)

5.3.1 Ανάλυση ευστάθειας σε επίπεδη ολίσθηση

Η επίπεδη ολίσθηση αποτελεί σχετικά σπάνια περίπτωση σε βραχώδη πρανή, καθώς σπάνια πληρούνται όλες οι γεωμετρικές συνθήκες που απαιτούνται για τη δημιουργία μιας τέτοιας αστοχίας.

Για να συμβεί ολίσθηση κατά επίπεδο, πρέπει να ικανοποιούνται οι παρακάτω γεωμετρικές συνθήκες:

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

Η ανάλυση της ευστάθειας λαμβάνει υπόψη δύο περιπτώσεις:

- Πρανές με εφελκυστική ρωγμή (tension crack) στο μέτωπο του πρανούς.
- Πρανές χωρίς εφελκυστική ρωγμή.

Η θέση της εφελκυστικής ρωγμής σε σχέση με τη στέψη του πρανούς εκτιμάται από τη σχέση:

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

όπου: H : το ύψος του πρανούς

Z : το βάθος της εφελκυστικής ρωγμής και

ψ_f και ψ_p : οι γωνίες κλίσης πρανούς και επιπέδου ολίσθησης αντίστοιχα

Σ' αυτή την ανάλυση γίνονται οι παρακάτω παραδοχές:

- 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» στο μέτωπο του πρανούς.
- Οι δυνάμεις W (βάρος του block ολίσθησης), U και V (υδροστατικές πιέσεις στην επιφάνεια ολίσθησης και στη ρωγμή εφελκυσμού) δρουν στο κέντρο της ολισθαίνουσας μάζας.
- 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 απελευθέρωσης είναι παρούσες, έτσι ώστε να μην υπάρχει αντίσταση στην ολίσθηση στα πλευρικά όρια της αστοχίας.

Στη περίπτωση αυτή ο συντελεστής ασφάλειας δίνεται από τη σχέση:

$$F = \frac{c \cdot A + [(W(\cos\psi_p - \alpha \sin\psi_p) - U - V \sin\psi_p)]\tan\phi}{W(\sin\psi_p + \alpha \cos\psi_p) + V \cos\psi_p}$$

όπου:

c και φ : οι παράμετροι διατμητικής αντοχής του επιπέδου ολίσθησης
ψ_f και ψ_p : οι γωνίες κλίσης πρανούς και επιπέδου ολίσθησης αντίστοιχα
H : το ύψος του πρανούς
α : η σεισμική επιτάχυνση

5.3.2 Ανάλυση ευστάθειας σε σφηνοειδή ολίσθηση

Η σφηνοειδής ολίσθηση αναφέρεται στην αστοχία ενός πρανούς όπου η ολίσθηση πραγματοποιείται κατά μήκος της τομής δυο επιφανειών ασυνέχειας.

Ο βασικός μηχανισμός της ολίσθησης είναι πολύ απλός, αλλά λόγω του πλήθους των παραμέτρων που εμπεριέχονται, η μαθηματική του προσέγγιση γίνεται σύνθετη.

Για την εκδήλωση σφηνοειδούς ολίσθησης σε ένα πρανές θα πρέπει να πληρούνται οι εξής προϋποθέσεις:

1. Η γωνία του πρανούς (ψ_f) να είναι μεγαλύτερη από της ακμής (ψ_i) και οι δύο μεγαλύτερες από τη γωνία τριβής της ασυνέχειας (φ), δηλαδή ψ_f > ψ_i > φ.
2. Η τομή των ασυνεχειών να «ξεμυτίζει» στην επιφάνεια του πρανούς.
3. Στην προβολή των ασυνεχειών σε διάγραμμα Schmidt πρέπει η τομή των δύο επιπέδων να βρίσκεται μεταξύ της γωνίας τριβής και του επιπέδου του πρανούς.

Στην περίπτωση που πληρούνται οι παραπάνω προϋποθέσεις και η κατάσταση βρεθεί κρίσιμη για την εκδήλωση μιας σφηνοειδούς ολίσθησης, τότε γίνεται λεπτομερής ανάλυση με βάση τη μεθοδολογία των Hoek and Bray (1977).

Σ' αυτή την ανάλυση έχουν γίνει οι παρακάτω παραδοχές:

- Όπως και στην περίπτωση της ολίσθησης κατά επίπεδο, η συνθήκη ολίσθησης είναι ψ_f > ψ_i > φ, 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.
- 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.

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

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

όπου:

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

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

γ : το φαινόμενο βάρος του πετρώματος

γw : το φαινόμενο βάρος του νερού

H: το ύψος της σφήνας

X, Y, A και B αδιάστατοι συντελεστές που εξαρτώνται από τη γεωμετρία της σφήνας

5.3.2 Ανάλυση ευστάθειας ολίσθησης από ανατροπή

Για να εκδηλωθεί ολίσθηση από ανατροπή θα πρέπει να πληρείται το κριτήριο στο οποίο πρέπει 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°.

5.3.3 Ανάλυση ευστάθειας σε περιστροφική ολίσθηση

Η περιστροφική ολίσθηση εκδηλώνεται σε έντονα κερματισμένες βραχώμαζες, με αποτέλεσμα να συμπεριφέρονται ισότροπα, αφού η αστοχία δεν πραγματοποιείται κατά μήκος συγκεκριμένων επιφανειών ολίσθησης. Παρατηρήσεις σε αστοχίες πρανών έδειξαν ότι η επιφάνεια αυτή γενικά είναι περίπου κυκλικής μορφής.

Η ανάλυση της ευστάθειας των πρανών στην περίπτωση αυτή γίνεται με δύο βασικές μεθοδολογίες ανάλυσης: (α) τη γενικευμένη μέθοδο και (β) τη μέθοδο των λωρίδων.

Οι παραπάνω μεθοδολογίες αναφέρονται σε περιπτώσεις όπου η αστοχία έχει πραγματοποιηθεί σε μια συγκεκριμένη κυκλική επιφάνεια ολίσθησης. Σε κάθε άλλη περίπτωση θα πρέπει να προσδιοριστεί ο κρίσιμος κύκλος ολίσθησης, δηλαδή η κυκλική επιφάνεια που παρουσιάζει τον ελάχιστο συντελεστή ασφαλείας.

6. Έλεγχος ευστάθειας πρανών της περιοχής μελέτης

6.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει ο έλεγχος της ευστάθειας των δύο αντρευσμάτων εκατέρωθεν του φράγματος, με βάση τα στοιχεία των ασυνεχειών που καταγράφηκαν και τοποθετήθηκαν σε δίκτυα Schmidt. Για τη δημιουργία των τεκτονικών διαγραμμάτων που παρουσιάζονται στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα «Dips 5.1» της Rocscience.

6.2 Επεξεργασία τεκτονικών στοιχείων

Στο σημείο αυτό θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των στοιχείων των ασυνεχειών του ανατολικού και του δυτικού αντρείσματος στη θέση του φράγματος κατά τη φάση μελέτης και από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην ύπαιθρο, μέσω του προγράμματος «Dips 5.1».

6.2.1 Επεξεργασία τεκτονικών στοιχείων μελέτης

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τις μετρήσεις των ασυνεχειών (γωνία κλίσης και διεύθυνση κλίσης) που πραγματοποιήθηκαν στα δύο πρανή στα πλαίσια της μελέτης για την κατασκευή του φράγματος.

Ανατολικό Αντέρεισμα

A/A	Διεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης	Διεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
1	352	50	70	40
2	180	60	90	65
3	193	52	290	80
4	210	65	292	85
5	284	85	170	55
6	260	60	160	62
7	187	60	75	50
8	192	60	85	63
9	180	55	90	60
10	195	60	280	75
11	280	80	295	86
12	260	70	296	88
13	200	50	300	85
14	360	55	290	78
15	270	65	256	55
16	285	55	285	84
17	275	55	278	70
18	186	78	175	55
19	280	63	295	85
20	196	77	280	85
21	205	60	295	85
22	340	60	275	66
23	345	86	290	85
24	340	60	296	87
25	356	50	290	75
26	100	80	290	88
27	345	60	295	86
28	350	50	290	85
29	260	85	294	72
30	120	75	0	60
31	340	86	170	65
32	350	55	175	52
33	250	82	154	56
34	350	54	270	45
35	340	62	85	80
36	345	68		
37	340	60		
38	110	70		
39	350	68		
40	260	85		
41	250	42		
42	120	65		
43	80	88		
44	90	78		

Δυτικό Αντέρεισμα

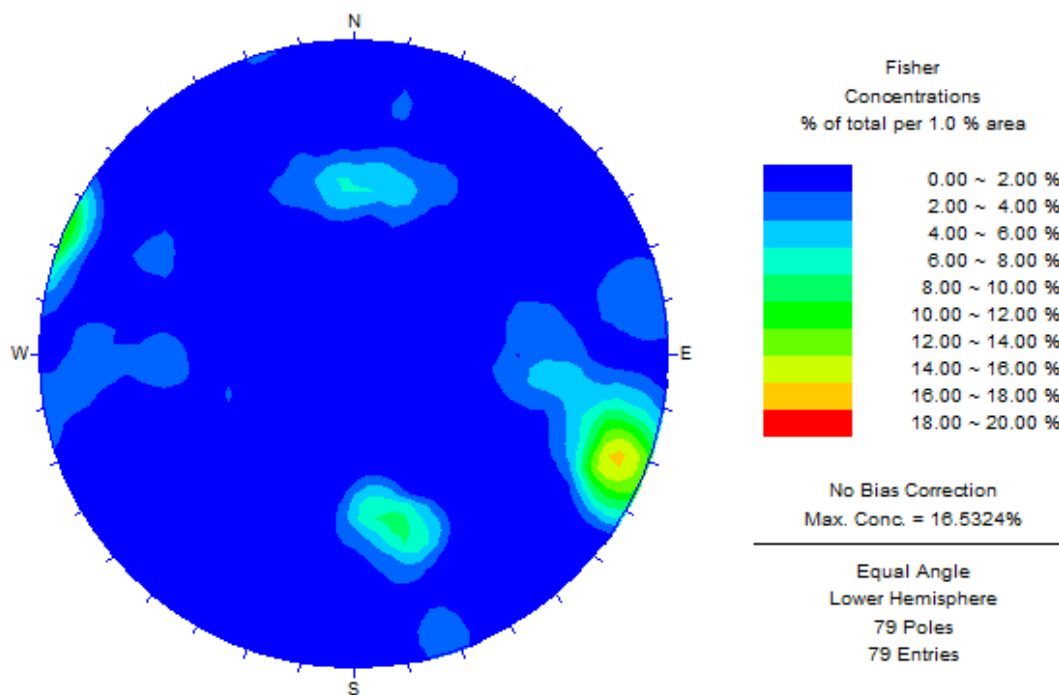
A/A	Διεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
1	180	70
2	0	15
3	280	88
4	0	70
5	150	80
6	130	80
7	60	20
8	200	60
9	210	72
10	180	60
11	290	85
12	285	80
13	290	75
14	350	60
15	285	75
16	280	80
17	290	72
18	270	85
19	278	84
20	290	75
21	285	65
22	280	60
23	300	55
24	0	55
25	10	50
26	300	54
27	285	75
28	296	55
29	282	85
30	270	85
31	290	85

Πίνακας 6.1 Μετρήσεις ασυνεχειών στη φάση μελέτης του φράγματος

Τεκτονικά διαγράμματα

Ανατολικό αντέρεισμα

Με τη χρήση του προγράμματος Dips, στο οποίο δόθηκαν οι μετρήσεις των ασυνεχειών που παρουσιάστηκαν στον πίνακα 6.1, παρατηρούνται δύο κύριες οικογένειες ασυνεχειών για το ανατολικό αντέρεισμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.1.



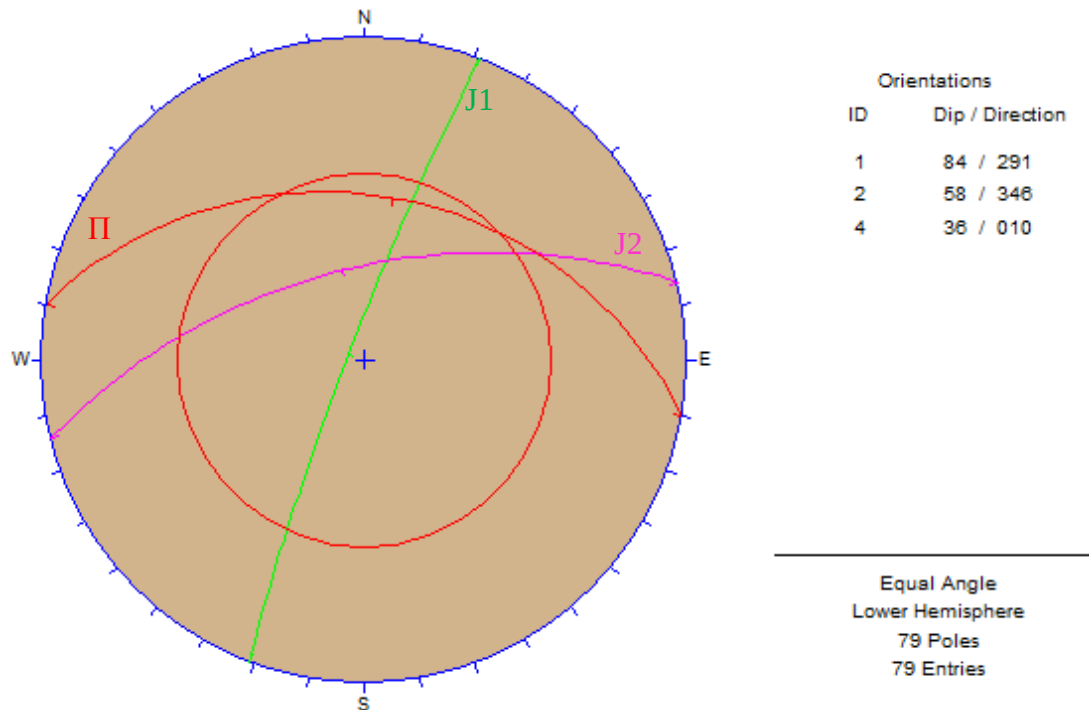
Σχήμα 6.1. Συγκέντρωση πόλων ασυνεχειών ανατολικού αντερείσματος

Τα στοιχεία που προκύπτουν μετά από επεξεργασία των δεδομένων, όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.2, είναι τα εξής:

Το ανατολικό πρηνές του φράγματος έχει στοιχεία: Π: 010/36°

- Ασυνέχεια J1: 291°/84°
- Ασυνέχεια J2: 346°/58°

Παρακάτω παρατίθεται το στερεοδιάγραμμα Schmidt, στο οποίο προστέθηκαν οι οικογένειες των ασυνεχειών που διακρίθηκαν, το ανατολικό πρηνές και ο κύκλος τριβής, ο οποίος θεωρήθηκε 30°.

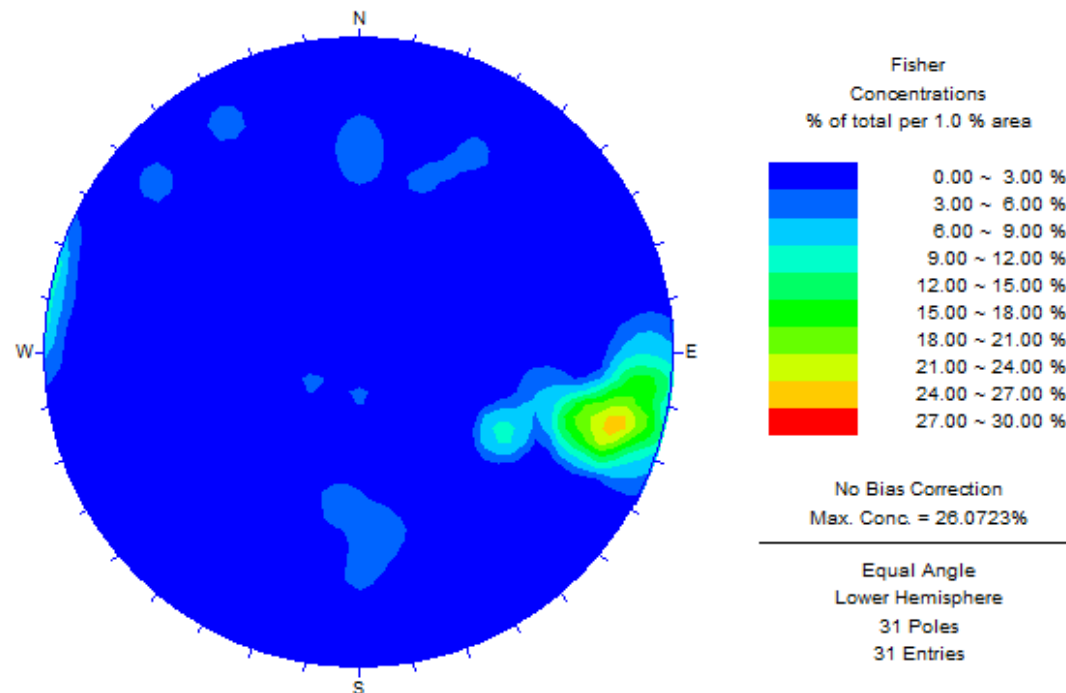


Σχήμα 6.2. Στερεογραφική προβολή δικτύου Schmidt του ανατολικού αντερείσματος

Όπως προκύπτει από το διάγραμμα Schmidt του σχήματος 6.2 δεν υπάρχει κάποια δυνητική ολίσθηση για το ανατολικό αντέρεισμα.

Δυτικό αντέρεισμα

Στο δυτικό αντέρεισμα, όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.3, υπάρχει μόνο μία οικογένεια ασυνεχειών που κυριαρχεί.



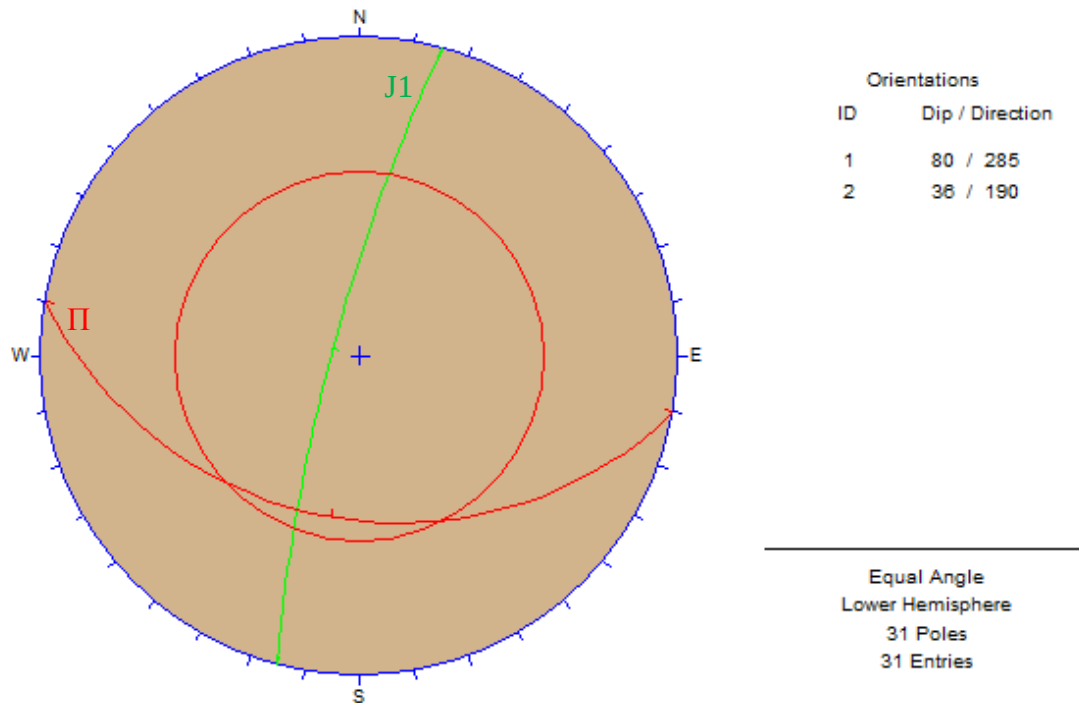
Σχήμα 6.3. Συγκέντρωση πόλων ασυνεχειών δυτικού αντερείσματος

Τα στοιχεία που προκύπτουν μετά από επεξεργασία των δεδομένων, όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.4, είναι τα εξής:

Το δυτικό πρανές του φράγματος έχει στοιχεία: Π: 190/36°

- Ασυνέχεια J1: 285/80°

Παρακάτω παρατίθεται το στερεοδιάγραμμα Schmidt, στο οποίο προστέθηκε η οικογένεια των ασυνεχειών που διακρίθηκε, το δυτικό πρανές και ο κύκλος τριβής, ο οποίος θεωρήθηκε 30°.



Σχήμα 6.4. Στερεογραφική προβολή δικτύου Schmidt του δυτικού αντερείσματος

Σύμφωνα με τις προϋποθέσεις, που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, που απαιτούνται για την εκδήλωση δυνητικών ολισθήσεων και μετά από παρατήρηση των στερεοδιαγραμμάτων Schmidt που παρουσιάστηκαν παραπάνω, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι δεν παρατηρούνται πιθανές αστοχίες στα δύο πρανή.

6.2.2 Επεξεργασία τεκτονικών στοιχείων από μετρήσεις υπαίθρου

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τις μετρήσεις των ασυνεχειών (γωνία κλίσης και διεύθυνση κλίσης) που πραγματοποιήθηκαν στα δύο πρηνή στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Ανατολικό Αντέρρισμα

A/A	Διεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
1	230	35
2	260	45
3	260	85
4	290	70
5	280	85
6	275	85
7	265	90
8	280	90
9	285	90
10	270	85
11	280	90
12	280	90
13	175	65
14	200	60
15	170	70
16	200	60
17	195	60

Δυτικό Αντέρρισμα

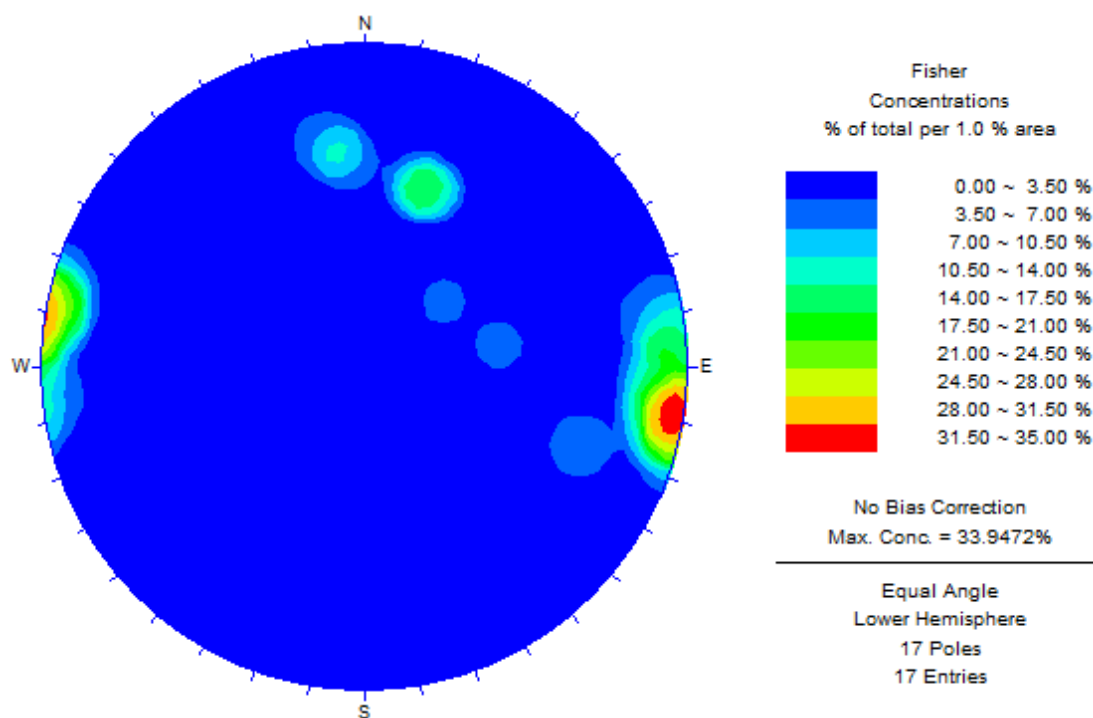
A/A	Διεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης
1	200	65
2	180	70
3	200	70
4	195	75
5	210	70
6	215	85
7	215	70
8	200	85
9	145	85
10	145	80
11	155	80
12	145	80
13	155	85
14	155	80
15	150	75
16	145	75
17	145	80
18	185	65
19	170	60
20	135	85
21	180	60
22	260	30
23	250	35

Πίνακας 6.2 Μετρήσεις ασυνεχειών στα πλαίσια της διπλωματικής

Τεκτονικά διαγράμματα

Ανατολικό αντέρεισμα

Με τη χρήση του προγράμματος Dips, στο οποίο δόθηκαν οι μετρήσεις των ασυνεχειών που παρουσιάστηκαν στον πίνακα 6.2, παρατηρούνται τρεις κύριες οικογένειες ασυνεχειών για το ανατολικό αντέρεισμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 6.5.



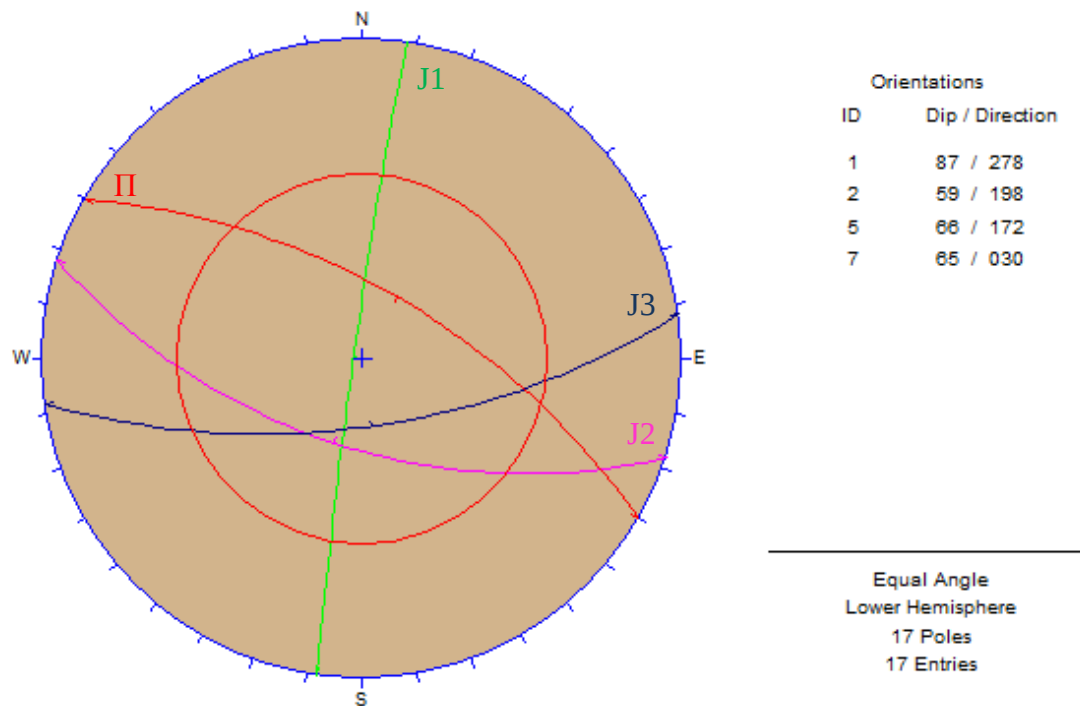
Σχήμα 6.5. Συγκέντρωση πόλων ασυνεχειών ανατολικού αντερείσματος

Τα στοιχεία που προκύπτουν μετά από επεξεργασία των δεδομένων, όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.6, είναι τα εξής:

Το ανατολικό πρανές του φράγματος έχει στοιχεία: Π: 030/65°

- Ασυνέχεια J1: 278/87°
- Ασυνέχεια J2: 198/59°
- Ασυνέχεια J3: 172/66°

Παρακάτω παρατίθεται το στερεοδιάγραμμα Schmidt, στο οποίο προστέθηκαν οι οικογένειες των ασυνεχειών που διακρίθηκαν, το ανατολικό πρηνές και ο κύκλος τριβής, ο οποίος θεωρήθηκε 30°.

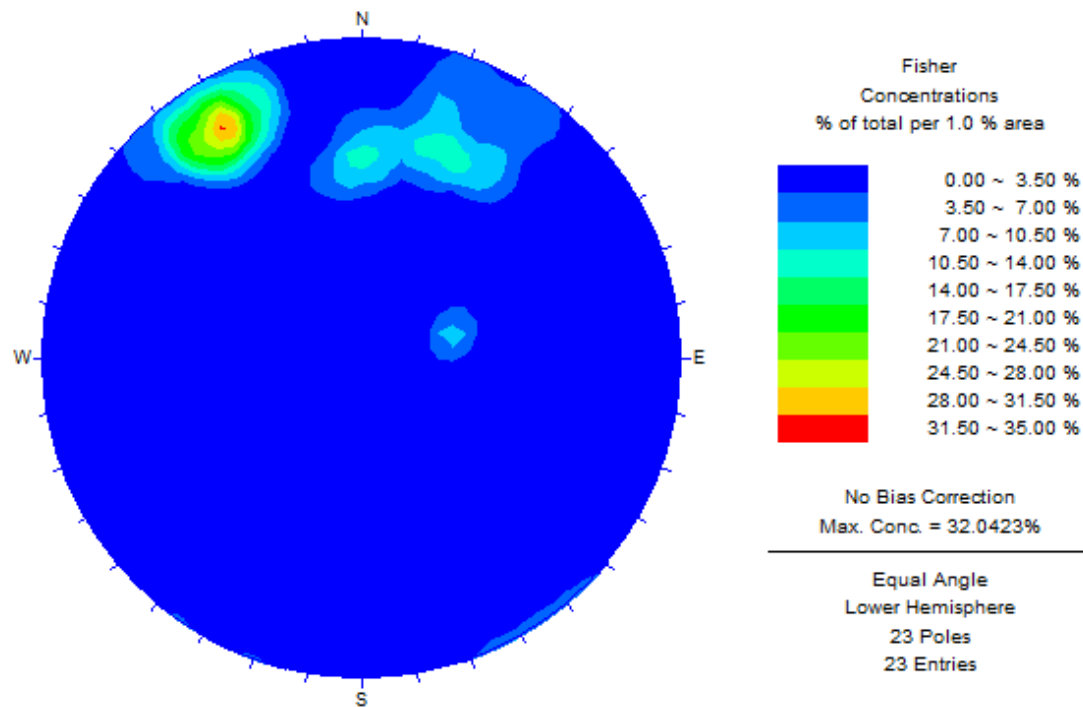


Σχήμα 6.6. Στερεογραφική προβολή δικτύου Schmidt του ανατολικού αντερείσματος

Όπως προκύπτει από το διάγραμμα Schmidt του σχήματος 6.6, δεν υπάρχει κάποια δυνητική ολίσθηση για το ανατολικό αντέρεισμα, καθώς δεν πληρείται κάποια από τις προϋποθέσεις που απαιτούνται για την εκδήλωση ολισθήσεων.

Δυτικό αντέρεισμα

Στο δυτικό αντέρεισμα, όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.7, υπάρχει μόνο μία οικογένεια ασυνεχειών που κυριαρχεί.



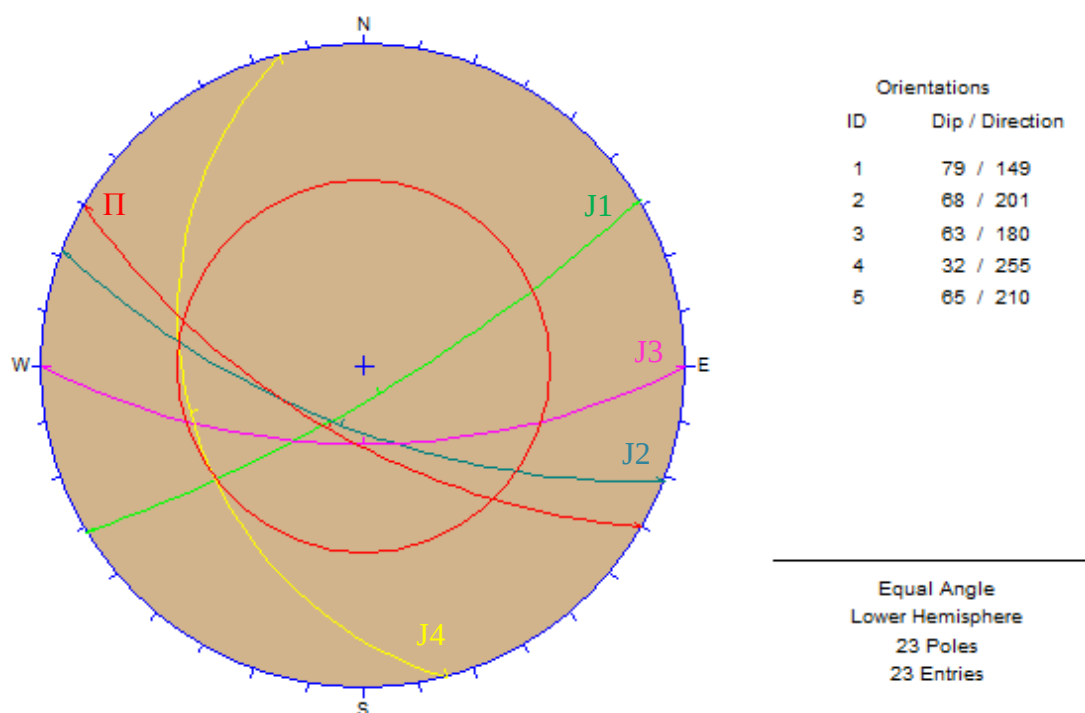
Σχήμα 6.7. Συγκέντρωση πόλων ασυνεχειών δυτικού αντερείσματος

Τα στοιχεία που προκύπτουν μετά από επεξεργασία των δεδομένων, όπως φαίνεται και στο σχήμα 6.8, είναι τα εξής:

Το δυτικό πρανές του φράγματος έχει στοιχεία: Π: 210/65°

- Ασυνέχεια J1: 149/79°
- Ασυνέχεια J2: 201/68°
- Ασυνέχεια J3: 180/63°
- Ασυνέχεια J4: 255/32°

Παρακάτω παρατίθεται το στερεοδιάγραμμα Schmidt, στο οποίο προστέθηκε η οικογένεια των ασυνεχειών που διακρίθηκε, το δυτικό πρανές και ο κύκλος τριβής, ο οποίος θεωρήθηκε 30°.



Σχήμα 6.8. Στερεογραφική προβολή δικτύου Schmidt του δυτικού αντερείσματος

Δυνητικές ολισθήσεις

Όπως προκύπτει από το διάγραμμα Schmidt του σχήματος 6.8 και σύμφωνα με τις προϋποθέσεις που απαιτούνται για την εκδήλωση δυνητικών ολισθήσεων, οι πιθανές αστοχίες που μπορούν να εκδηλωθούν στο δυτικό αντέρεισμα είναι σφηνοειδείς, ενώ δεν παρουσιάζονται επίπεδες και ολισθήσεις από ανατροπή.

➤ Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις

Σύμφωνα με το δίκτυο Schmidt του σχήματος 6.8 υπάρχουν τέσσερις δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις οι οποίες μπορούν να εκδηλωθούν στο δυτικό αντέρεισμα. Αυτό συμβαίνει διότι πληρούνται τα κριτήρια της σφηνοειδούς ολίσθησης, σύμφωνα με τα οποία θα πρέπει η τομή των δύο ασυνεχειών να βρίσκεται μεταξύ της γωνίας τριβής και του επιπέδου του πρανούς και η γωνία του πρανούς (ϕ_p) να είναι μεγαλύτερη από της τομής (ϕ_t) και οι δύο μεγαλύτερες από τη γωνία τριβής της ασυνέχειας (ϕ), δηλαδή $\phi_p > \phi_t > \phi$.

Έτσι λοιπόν οι δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις αφορούν τις εξής ασυνέχειες:

- J1-J3
- J3-J4
- J2-J4 (οριακά)
- J1-J4 (οριακά)

6.3 Υπολογισμός συντελεστή ασφαλείας

Στην παρούσα ενότητα θα υπολογιστεί ο συντελεστής ασφαλείας των δυνητικών ολισθήσεων που είναι πιθανό να εκδηλωθούν, σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των τεκτονικών στοιχείων που ελήφθησαν από την ύπαιθρο στα πλαίσια της παρούσας εργασίας στα δύο αντερείσματα.

Ο υπολογισμός του συντελεστή ασφαλείας για τις σφηνοειδείς ολισθήσεις πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος «Swedge» της Rocscience.

Σφηνοειδείς ολισθήσεις δυτικού αντερείσματος

Για την εύρεση του συντελεστή ασφαλείας των σφηνοειδών ολισθήσεων του δυτικού αντερείσματος, οι οποίες πραγματοποιούνται ανάμεσα στις ασυνέχειες J1-J3, J3-J4 και J1-J4, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα «Swedge» της Rocscience.

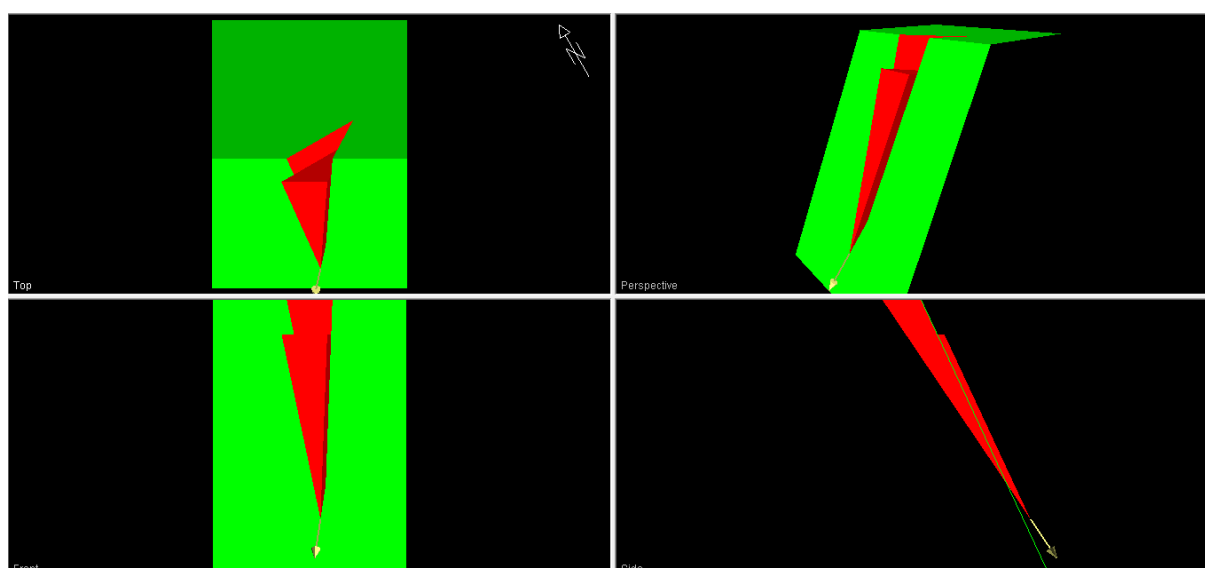
- Συνδυασμός επιπέδων J1-J3

Δεδομένα

	Διεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης	Συνοχή	Γωνία τριβής
Ασυνέχεια J1	149°	79°	0	30°
Ασυνέχεια J3	180°	63°	0	30°

	Διεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης	Ύψος πρανούς (m)	Ειδικό βάρος (t/m ³)
Πρανές	210°	65°	15	2.6

Σεισμικός συντελεστής: 0,08



Σχήμα 6.9. Απεικόνιση σφηνοειδούς ολίσθησης ασυνεχειών J1-J3 από «Swedge» (3D view)

Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης προκύπτει λοιπόν ότι η σφήνα δεν ολισθαίνει, καθώς ο συντελεστής ασφαλείας είναι μεγαλύτερος της μονάδας ($F=1.03$).

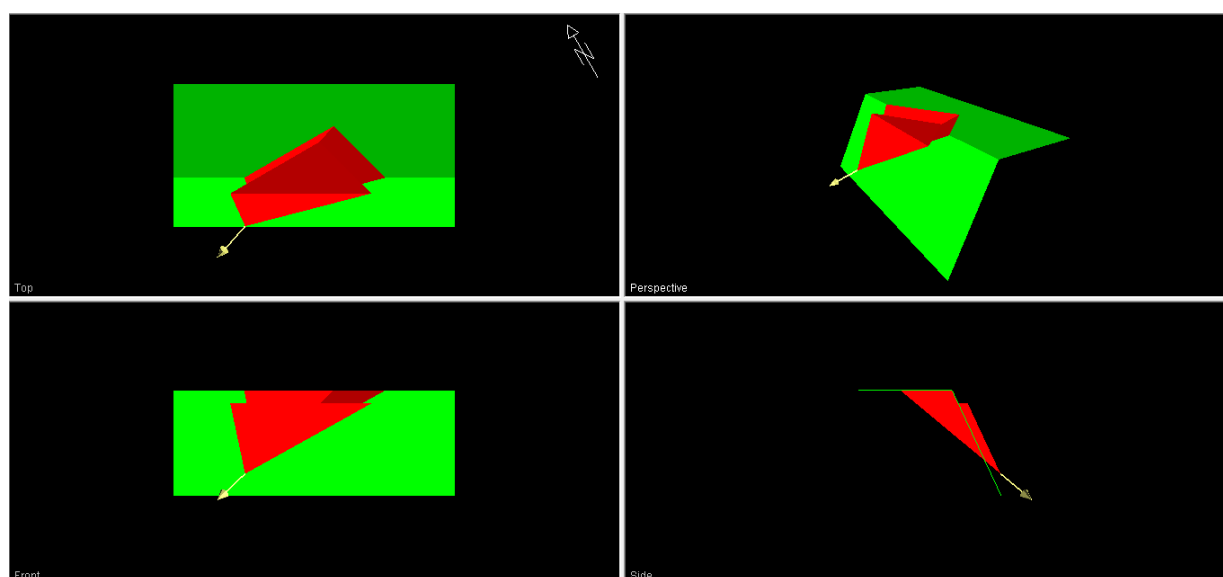
- Συνδυασμός επιπέδων J3-J4

Λεδομένα

	Διεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης	Συνοχή	Γωνία τριβής
Ασυνέχεια J3	180°	63°	0	30°
Ασυνέχεια J4	255°	32°	0	30°

	Διεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης	Ύψος πρανούς (m)	Ειδικό βάρος (t/m ³)
Πρανές	210°	65°	15	2.6

Σεισμικός συντελεστής: 0,08



Σχήμα 6.10. Απεικόνιση σφηνοειδούς ολίσθησης ασυνεχειών J3-J4 από «Swedge» (3D view)

Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης προκύπτει ότι επικρατούν συνθήκες αστάθειας, αφού ο συντελεστής ασφαλείας είναι αρκετά μικρότερος της μονάδας (**F=0.82**).

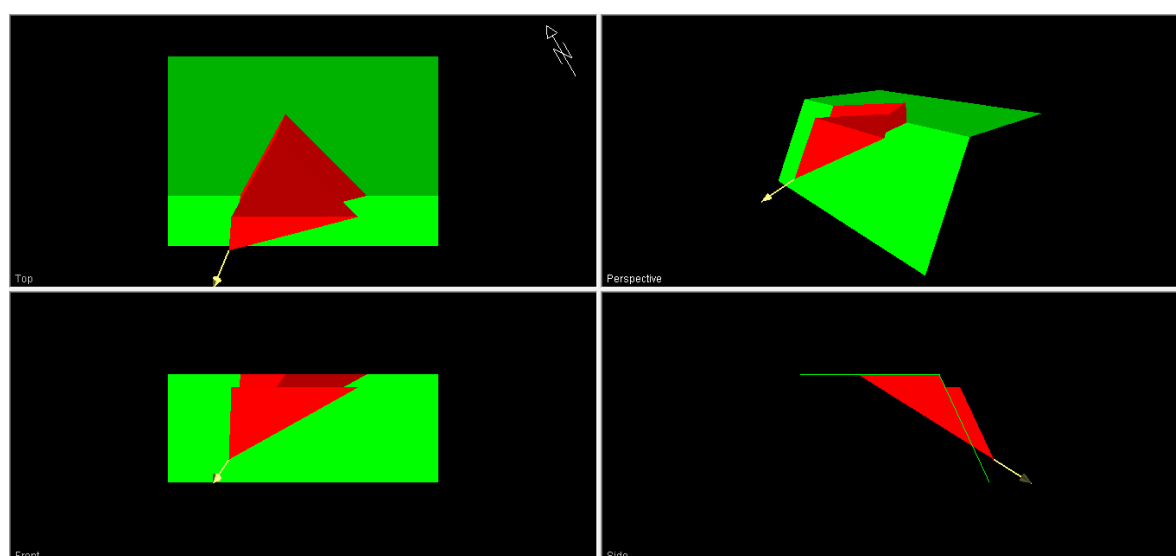
- Συνδυασμός επιπέδων J1-J4

Λεδομένα

	Διεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης	Συνοχή	Γωνία τριβής
Ασυνέχεια J1	149°	79°	0	30'
Ασυνέχεια J4	255°	32°	0	30'

	Διεύθυνση κλίσης	Γωνία κλίσης	Ύψος πρανούς (m)	Ειδικό βάρος (t/m ³)
Πρανές	210°	65°	15	2.6

Σεισμικός συντελεστής: 0,08



Σχήμα 6.11. Απεικόνιση σφηνοειδούς ολίσθησης ασυνεχειών J1-J4 από «Swedge» (3D view)

Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης προκύπτει λοιπόν ότι η σφήνα οριακά δεν ολισθαίνει, καθώς ο συντελεστής ασφαλείας είναι λίγο μεγαλύτερος της μονάδας (**F=1.01**).

Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας με τους αποδεκτούς συντελεστές ασφαλείας βραχιδών πρανών οδοποιίας έναντι θραύσης πρανών μεταξύ οριζόντιων αναβαθμίδων.

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

Πίνακας 6.3. Αποδεκτοί συντελεστές ασφαλείας βραχιδών πρανών

όπου :

Σεισμός

N: Σεισμός σχεδιασμού σύμφωνα με το ΝΕΑΚ, παραγρ. 5.4

O: Όχι σεισμός

Ανώτατη στάθμη υπόγειου ορίζοντα 50-ετίας

N: Προβλεπόμενη ανώτατη στάθμη υπόγειου ορίζοντα 50-ετίας

O: Προβλεπόμενη ετήσια ανώτατη στάθμη υπόγειου ορίζοντα

7. Διατάραξη ποιότητας βραχώδους από τη χρήση εκρηκτικών

7.1 Γενικά

Με τον όρο «εκσκαφές» νοούνται οι εκσκαφές και εξορύξεις γαιών-ημιβράχου και βράχου, σε οποιοδήποτε βάθος και με πλάτος μεγαλύτερο των 3,00 m και οι εκσκαφές και εξορύξεις χαλαρών εδαφών οποιουδήποτε βάθους και πλάτους.

Η εκσκαψιμότητα των πετρωμάτων εξαρτάται από τη σκληρότητα και την αντοχή τους σε μονοαξονική θλίψη, καθώς και το είδος και την πυκνότητα των ασυνεχειών (στρώση, διακλάσεις, ρωγμές κ.α). Το είδος του πετρώματος, ο ιστός του και ο βαθμός αποσάθρωσής του επηρεάζουν σημαντικά την εκσκαψιμότητά του, αφού οι παράγοντες αυτοί έχουν επίδραση τόσο στη σκληρότητα του πετρώματος όσο και στην ανάπτυξη του συστήματος των ασυνεχειών. Με την αύξηση του βαθμού αποσάθρωσης του πετρώματος μειώνονται η σκληρότητα και η αντοχή του, ενώ αυξάνεται ο βαθμός ρηγμάτωσής του, με συνέπεια να διευκολύνεται η εκσκαφή του με μηχανικά μέσα.

Για την εκσκαφή των βραχωδών γεωλογικών σχηματισμών χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι:

- Χρήση εκρηκτικών για τη χαλάρωση των σκληρών πετρωμάτων
- Χρήση υδραυλικού σφυριού
- Εκσκαφή με προωθητή γαιών εφοδιασμένο με αναμοχλευτή (ripper)
- Εκσκαφή με μηχανήματα σημειακής κοπής

Τα γεωϋλικά ανάλογα με τον εξοπλισμό που απαιτείται για την εκσκαφή τους χαρακτηρίζονται ως εξής:

- Χαλαρά εδάφη είναι τα εδάφη τα οποία εκσκάπτονται ευχερώς με συνήθη χωματουργικά μηχανήματα, όπως εκσκαφείς ή προωθητές χωρίς τη χρήση του αναμοχλευτήρα (ripper)
- Γαίες και ημιβράχος, είναι τα γεωϋλικά τα οποία μπορούν να εκσκαφθούν αποτελεσματικά με εκσκαπτικά μηχανήματα και αναμοχλευτήρες (rippers), χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση εκρηκτικών υλών.
- Βράχος είναι κάθε συμπαγές πέτρωμα που δεν μπορεί να εκσκαφθεί εάν δεν χαλαρωθεί με εκρηκτικές ύλες ή κρουστικό εξοπλισμό.

7.2 Χρήση εκρηκτικών στο φράγμα της Αισύμης

Για την εκσκαφή των πρανών για τη θεμελίωση του φράγματος της Αισύμης χρησιμοποιήθηκαν εκρηκτικά. Οι εκρήξεις που πραγματοποιήθηκαν είναι πιθανό να ευθύνονται για κάποιες διαφυγές που παρατηρούνται στα αντερείσματα του φράγματος. Οι διαφυγές αυτές βέβαια είναι πιθανόν να οφείλονται και στο άνοιγμα των ασυνεχειών.

Η πιθανή διαταραχή της αντοχής της βραχώμαζας λόγω των εκρήξεων μπορεί να αξιολογηθεί μέσω του συντελεστή διαταραχής (D). Όπως αναφέρθηκε και στα κεφάλαια 4.5.2 και 4.5.3, όπου εφαρμόστηκε το πρόγραμμα Roclab, ο συντελεστής διαταραχής παίρνει την τιμή μηδέν όταν δεν υπάρχει καμία διατάραξη στο πέτρωμα, ενώ όταν υπάρχει διατάραξη ο συντελεστής είναι ένα.

Σύμφωνα λοιπόν με τα αποτελέσματα που προέκυψαν μέσω του Roclab και στις δύο περιπτώσεις, προκύπτει ο παρακάτω συγκριτικός πίνακας.

Γεώτρηση Γ1

Συντελεστής διαταραχής (D)	Συνοχή (c)	Γωνία τριβής (φ)
D=0	3.051	69.64°
D=1	1.712	66.59°

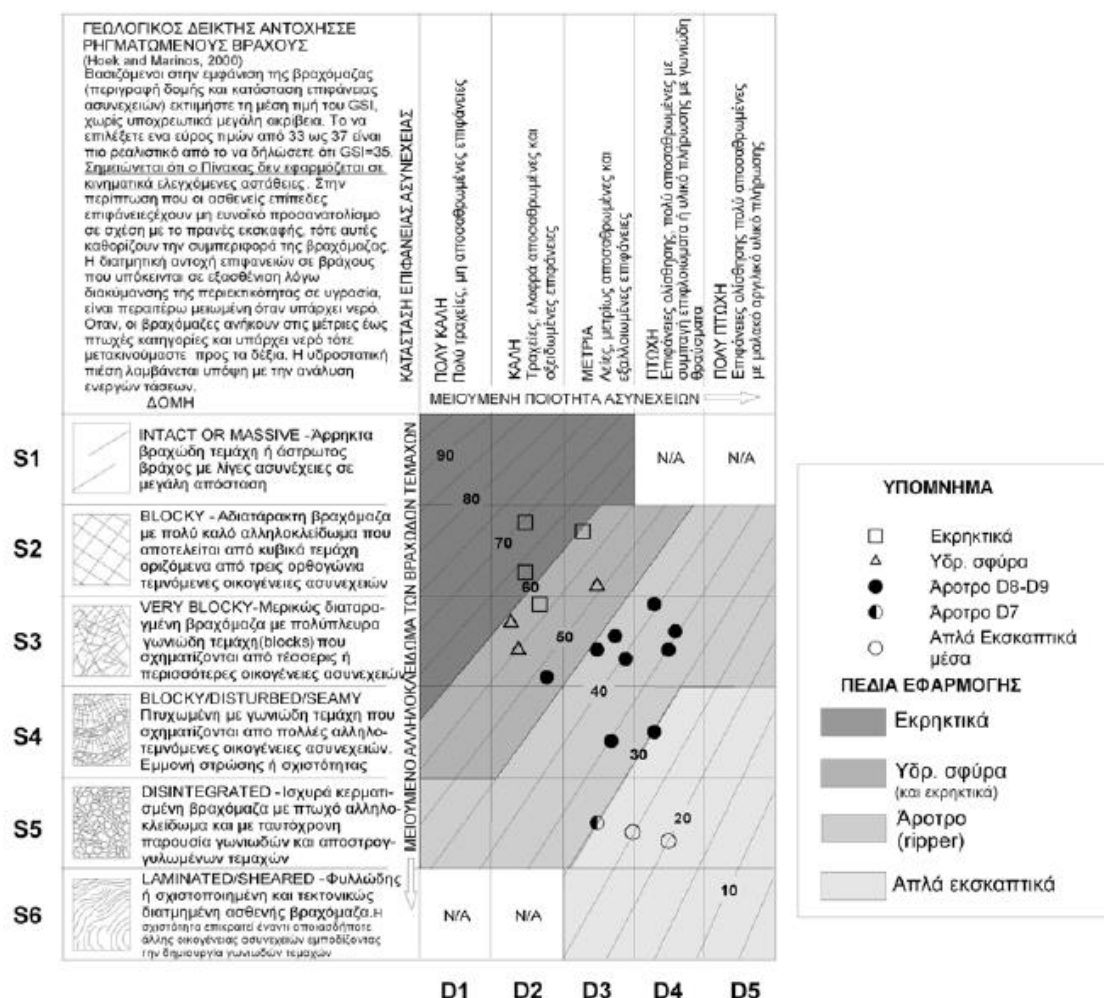
Γεώτρηση Γ2

Συντελεστής διαταραχής (D)	Συνοχή (c)	Γωνία τριβής (φ)
D=0	3.135	69.69°
D=1	1.758	66.66°

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα λοιπόν, παρατηρείται ότι η συνοχή και η γωνία τριβής ελαττώνονται όταν ο συντελεστής διατάραξης είναι ένα (D=1), δηλαδή όταν υπάρχει κάποιου είδους διατάραξη στο πέτρωμα. Μία τέτοιου είδους διατάραξη μπορεί να είναι και η χρήση εκρηκτικών.

Η γνώση των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών καθώς και της συμπεριφοράς των γεωυλικών που πρόκειται να εκσκαφθούν είναι απαραίτητη για την επιλογή της πιο αποτελεσματικής μεθόδου εκσκαφής. Για το λόγο αυτό προτάθηκε από τους Τσιαμπάος Γ., Σαρόγλου Χ. (2010) μια μέθοδος εκτίμησης της εκσκαψιμότητας για βραχομάζες με βάση α) το γεωλογικό δείκτη αντοχής GSI, και β) την αντοχή σε σημειακή φόρτιση.

Στο παρακάτω διάγραμμα GSI (σχήμα 7.1), διακρίνονται οι διαφορετικοί τρόποι εκσκαφής με βάση τον τύπο της βραχομάζας (δομή και κατάσταση ασυνεχειών) και την αντοχή του άρρηκτου πετρώματος.



Σχήμα 7.1. Προτεινόμενη ταξινόμηση εκσκαψιμότητας, για αντοχή πετρώματος $I_{s50} > 3 \text{ MPa}$ (Τσιαμπάος Γ., Σαρόγλου Χ., 2010)

Όπως προκύπτει από το διάγραμμα, η εκσκαφή με εκρηκτικά, απαιτείται για τιμές $GSI > 60$ (τεμαχισμένη και πολύ τεμαχισμένη δομή), ενώ για βραχομάζες με τεμαχισμένη, πολύ τεμαχισμένη και στρωματώδη δομή με τιμές GSI μεταξύ 45 και 60, απαιτείται χρήση υδραυλικής σφύρας για τη χαλάρωση της βραχομάζας, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να απαιτηθεί και χρήση εκρηκτικών σε αυτό το πεδίο.

8. Μέτρα σταθεροποίησης βραχωδών πρανών

8.1 Γενικά

Τα μέτρα προστασίας των βραχωδών πρανών διαχωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με το χρόνο υλοποίησής τους, δηλαδή πριν ή μετά την εκδήλωση του φαινομένου. Διακρίνονται ως εξής:

- Μέτρα αντιστήριξης
 - Παθητικά μέτρα αντιστήριξης: Τα μέτρα αυτά εμποδίζουν τα τεμάχια της βραχώμαζας που έχουν μετακινηθεί από τη θέση τους, να προκαλέσουν καταστροφές.
 - Ενεργητικά μέτρα αντιστήριξης: Τα μέτρα αυτά εφαρμόζονται είτε αυξάνοντας τις δυνάμεις που προκαλούν την ολίσθηση, είτε αυξάνοντας τις δυνάμεις που αντιτίθεται σε αυτήν.
- Μέτρα ενίσχυσης:
 - Με αυτά επιδιώκεται η ενίσχυση της ποιότητας της βραχώμαζας.

8.2 Προτεινόμενα μέτρα αντιστήριξης

Αγκυρώσεις

Οι αγκυρώσεις συμβάλλουν στην αύξηση της διατμητικής αντοχής της βραχώμαζας, κυρίως με την αύξηση των κάθετων δυνάμεων που επενεργούν στις κρίσιμες επιφάνειες αδυναμίας (ασυνέχειες). Το αγκύριο είναι ένας τένοντας που μεταφέρει εφελκυστική δύναμη από την επιφάνεια μέσα στη μάζα του εδαφικού ή βραχώδους σχηματισμού. Από πλευράς στατικής λειτουργίας διακρίνονται στις παρακάτω κύριες κατηγορίες:

- α) ενεργά ή προεντεταμένα, που προτείνονται στην τελική φάση κατασκευής τους και επιβάλλουν μια καινούργια δύναμη που συμβάλλει στη σταθεροποίηση.
- β) παθητικά, που δεν προλαμβάνουν καμία δύναμη με την εγκατάστασή τους, αλλά ενεργοποιούνται όταν αρχίζει η παραμόρφωση.

Τα απαραίτητα μήκη των αγκυρίων προκύπτουν από την έκταση των προσδιορισθέντων κατολισθητικών μηχανισμών, καθώς και από το πάχος του κατατμητικού σώματος. Συνήθως, το μήκος του αγκυρίου ορίζεται ως:

$$I=b/3 \quad \text{ή} \quad I=b/4$$

όπου: b = το πλάτος της στοάς

Ενώ ο αριθμός των απαραίτητων αγκυρίων ορίζεται ως:

$$\eta = \frac{n \cdot I \cdot \gamma}{Q_b}$$

όπου: I = μήκος αγκυρίου

n = συντελεστής ασφαλείας (λαμβάνεται συνήθως $n=2$)

γ = ειδικό βάρος του βράχου σε t/m^3 ($=2,5$)

Q_b = δύναμη αγκυρίου (σε τόνους) για να κρατήσει το ολισθαίνον σώμα

Ο προσδιορισμός της διεύθυνσης τοποθέτησης των αγκυρίων, η έκτασή τους στο εσωτερικό της βραχομάζας και η διαμόρφωσή τους θα πρέπει να βρίσκονται σε στενή σχέση με τις επιφανειακές δομές και τα χαρακτηριστικά τους.

Εκτοξευόμενο σκυροδέμα

Πρόκειται για ένα είδος σκυροδέματος που αποτελείται από μείγμα τσιμέντου, άμμου και λεπτόκοκκου αδρανούς 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. Με τον τρόπο αυτό συμβάλει στην ενίσχυση του πρανούς και στην προστασία του από τους αποσθρευτικούς παράγοντες.

Η χρήση του εκτοξευόμενου σκυροδέματος ενδείκνυται για:

- Συγκράτηση χαλαρών επιφανειακών υλικών
- Μηχανική στήριξη
- Στεγανοποίηση, επιβράδυνση εξαλλοίωσης

Τσιμεντενέσεις

Με το γενικό όρο τσιμεντενέσεις εννοούμε την εισπίεση, μέσα στις ασυνέχειες της βραχομάζας, ειδικών ρευστών, τα οποία στη συνέχεια στερεοποιούνται μέσα στο πέτρωμα και έτσι αυξάνεται η μηχανική αντοχή και η στεγανότητά τους. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως για την σύνθεση του εισπιεζόμενου ενέματος είναι νερό, τσιμέντο, μπετονίτης ή άλλα πρόσθετα. Με την είσοδο τέτοιων υλικών μέσα στα πετρώματα βελτιώνεται η στεγανότητα αλλά και η στερεότητά τους, αφού βελτιώνονται τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους και ελαττώνεται η υδροπερατότητά τους.

Η πλήρωση των κενών του πετρώματος πρέπει να γίνεται δίχως να καταστρέφεται η υπάρχουσα δομή του. Έτσι, για να είναι ικανοποιητικά τα αποτελέσματα των τσιμεντενέσεων θα πρέπει η πίεση που χρησιμοποιείται να είναι αρκετά υψηλή ώστε να ανοίγουν οι ρωγμές. Έτσι, όταν η τσιμεντένεση σταματά, η ρωγμή τείνει να επανέλθει στην αρχική της θέση και συγχρόνως πιέζει το τσιμέντο που έχει εναποτεθεί. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να κλείσει τέλεια η ρωγμή.

Μερικές από τις βασικότερες μεθόδους τσιμεντενέσεων αναφέρονται παρακάτω:

- Τσιμεντένεση με PACKERS
- Τσιμεντένεση με σωλήνες με μανσέτες
- Τσιμεντένεση με ανακυκλούμενο ένεμα
- Τσιμεντένεση μέσω διάτρητου σωλήνα
- Μέθοδος Jet grouting

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής ήταν ο προσδιορισμός των τεχνικογεωλογικών συνθηκών στη θέση του φράγματος της Αισύμης, τόσο κατά τη φάση μελέτης κατασκευής του φράγματος, όσο και στα πλαίσια της διπλωματικής.

Για τη σύνταξη της εργασίας αυτής χρησιμοποιήθηκε εκτενής βιβλιογραφική μελέτη και επεξεργασία των δεδομένων μέσω διαφόρων προγραμμάτων (Roclab, Dips, Swedge). Μέσω αυτών των προγραμμάτων προσδιορίστηκαν πιθανές αστοχίες στα αντερείσματα και προτάθηκαν μέτρα αντιμετώπισής τους.

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής, πραγματοποιήθηκε επίσκεψη στη θέση του φράγματος για συλλογή στοιχείων όπως ο γεωλογικός δείκτης βραχώμαζας GSI, ο βαθμός αποσάθρωσης του πετρώματος, η κατάσταση των διακλάσεων και η λήψη μετρήσεων (γωνία κλίσης, διεύθυνση κλίσης) του πρανούς και των ασυνεχειών, έτσι ώστε να συγκριθούν με τα αντίστοιχα δεδομένα της μελέτης για την κατασκευή του φράγματος.

Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν με τη χρήση των προγραμμάτων που προαναφέρθηκαν για τις δύο περιπτώσεις α) στοιχεία μελέτης και β) στοιχεία που συλλέχτηκαν στα πλαίσια της διπλωματικής, διεξήχθησαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

- Έλεγχος ευστάθειας πρανών:
 - α) Στοιχεία μελέτης για την κατασκευή του φράγματος: Δεν παρατηρούνται δυνητικές ολισθήσεις.
 - β) Στοιχεία που συλλέχτηκαν στα πλαίσια της διπλωματικής: Παρατηρούνται τέσσερις δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις στο δυτικό πρανές, ενώ δεν υπάρχουν δυνητικές ολισθήσεις στο ανατολικό πρανές.
- Υπολογισμός συντελεστή ασφαλείας:

Δυτικό πρανές: Ασυνέχειες J1-J3 $F=1,03$

Ασυνέχειες J3-J4 $F=0,82$

Ασυνέχειες J1-J4 $F=1,01$

Παρατηρείται λοιπόν, ότι ο συντελεστής ασφαλείας των ασυνεχειών J3-J4 είναι πολύ μικρότερος από τη μονάδα ($F<1$) και υπάρχει πιθανότητα εκδήλωσης ολίσθησης στα επίπεδα των ασυνεχειών αυτών. Από την άλλη, οι συντελεστές ασφαλείας των ασυνεχειών J1-J3 και J1-J4 είναι οριακά μεγαλύτεροι από τη μονάδα ($F>1$), πράγμα που σημαίνει ότι επικρατούν συνθήκες ευστάθειας.

Κατά την επίσκεψη στη θέση του φράγματος διαπιστώθηκαν κάποιες διαφυγές και στα δύο αντερείσματα εκατέρωθεν του φράγματος. Οι διαφυγές αυτές είναι πιθανό να οφείλονται είτε στο άνοιγμα των ασυνεχειών είτε στα εκρηκτικά που χρησιμοποιήθηκαν κατά την κατασκευή του φράγματος για την εκσκαφή των πρανών.

Προκύπτει λοιπόν, μετά από τη χρήση του προγράμματος «Roclab», ότι είναι πιθανό η διατάραξη της αντοχής της βραχώμαζας να οφείλεται στη χρήση εκρηκτικών, αφού για συντελεστή διατάραξης ($D=1$) μειώνονται αισθητά οι παράμετροι διατμητικής αντοχής της βραχώμαζας (c και ϕ).

Γεώτρηση Γ1

Συντελεστής διαταραχής (D)	Συνοχή (c)	Γωνία τριβής (ϕ)
D=0	3.051	69.64°
D=1	1.712	66.59°

Γεώτρηση Γ2

Συντελεστής διαταραχής (D)	Συνοχή (c)	Γωνία τριβής (ϕ)
D=0	3.135	69.69°
D=1	1.758	66.66°

Σύμφωνα με το διάγραμμα εκτίμησης της εκσκαψιμότητας της βραχώμαζας με βάση το GSI και την αντοχή σε σημειακή φόρτιση που προτείνουν οι Τσιαμπάος Γ. και Σαρόγλου Χ. (2010), προτείνονται διάφοροι μέθοδοι εκσκαφής. Προτεινόμενη μέθοδος εκσκαφής για την περίπτωση του φράγματος της Αισύμης, είναι η υδραυλική σφύρα.

Μέσω των συστημάτων ασυνεχειών διαφεύγουν ποσότητες νερού, με αποτέλεσμα η πίεση των πόρων που ασκείται, να μειώνει δραστικά τον συντελεστή ασφαλείας. Η απομάκρυνσή του νερού επομένως, αποτελεί σημαντικό μέλημα. Η τοποθέτηση αγκυρώσεων καθώς και οι τσιμεντενέσεις θα αυξήσουν τη μηχανική αντοχή και τη στεγανότητα των πετρωμάτων. Ενώ όσον αφορά τις δυνητικές ολισθήσεις των πρανών, προτείνεται η εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος για τη συγκράτηση των τεμαχίων και τη μηχανική στήριξη του πρανούς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Κατιρτζόγλου Κ. 1986. Μεταλλογένεση της τριτογενούς θειούχου μεταλλοφορίας περιοχής Αισύμης Νομού Έβρου. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος

Μέλφος Β. 1995. Έρευνα των Βασικών και Ευγενών Μετάλλων στην Περιοδοπική Ζώνη της Θράκης. Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ. Τμήμα Γεωλογίας

Θωμαΐδου Ε. 2009. Η Γεωλογική Δομή της Νήσου Λέσβου. Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ. Τμήμα Γεωλογίας

Παπαδοπούλου Α. 2003. Ισορροπία Ορυκτών Φάσεων, Συνθήκες Κρυστάλλωσης και Εξέλιξης του Πλουτωνίτη της Μαρώνειας, Θράκη. Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ. Τμήμα Γεωλογίας

Τριανταφυλλίδης Σ. 2006. Εκτίμηση της Περιβαλλοντικής Ρύπανσης από Μεταλλευτική Δραστηριότητα και Προτάσεις Αποκατάστασης του Περιβάλλοντος στους Νομούς Έβρου και Ροδόπης. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος

Χατζηκύρκος Α. 2003. Μελέτη Θειούχου Μεταλλοφορίας Περιοχής Επταδένδρου και Ράχης στην Ανατολική Ροδόπη. Διδακτορική διατριβή, Α.Π.Θ. Τμήμα Γεωλογίας

Παυλίδης Κ. 2009. Ανάλυση Ευστάθειας Διαμορφωμένων Πρανών στο Τμήμα Ρεντίνας Στρυμόνα της Εγνατίας Οδού. Διατριβή Ειδίκευσης, Α.Π.Θ. Τμήμα Γεωλογίας

Καλλιάρης Χ. Παπαθανασίου Γ. 1996. Τσιμεντενέσεις-Κατασκευή Διαφραγματικής Κουρτίνας στο Φράγμα της Μεσοχώρας. Τόμος Ι. Πτυχιακή Διατριβή. Α.Π.Θ. Τμήμα Γεωλογίας

Λιόνης Χ. 2010. Επικινδυνότητα Καταπτώσεων και Ολισθήσεων Έναντι Αστοχίας Βραχωδών Πρανών σε Κατοικημένες Περιοχές. Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωγραφίας

Ντόκα Ε. 2011. Μονοδιάστατη Αριθμητική Προσομοίωση Διόδευσης Πλημμυρικού Κύματος λόγω Αστοχίας του Φράγματος Αστερίου. Διατριβή Ειδίκευσης. Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Πεταλάς Χ., Πλιάκας Φ., Διαμαντής Ι., Καλλιώρας Α. 2004. Μελέτη της Κατανομής των Βροχοπτώσεων και της Επιφανειακής Απορροής στην Περιφέρεια της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης για την περίοδο 1964-1998. Πρακτικά 10^{ου} Διεθνούς Συνεδρίου 2004, Θεσσαλονίκη

Σιδέρης Κ., Κατιρτζόγλου Κ., Χατζηκύρκου Α. 1990. Πετρολογία και Γεωχημεία Τριτογενών Ηφαιστειακών Πετρωμάτων Αισύμης-Κίρκης, Ανατολική Ροδόπη. Πρακτικά 5^{ου} Επιστημονικού Συνεδρίου 1990, Θεσσαλονίκη

Τσιαμπάος Γ., Σαρόγλου Χ. 2010. Εκτίμηση της Εκσκαψιμότητας της Βραχομάζας με Χρήση του Γεωλογικού Δείκτη Αντοχής GSI. Πρακτικά 6^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου Γεωτεχνικής και Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής 2010, Βόλος

Σιολίδης Ι. 2009. Μελέτη Γεωλογικής Καταλληλότητας Περιοχών Επέκτασης Δήμου Αλεξανδρούπολης Περιοχή Νέας Χιλής, Δήμος Αλεξανδρούπολης

Αντωνίου Α. Τεχνική Γεωλογία Έργων Πολιτικού Μηχανικού. Διαλέξεις 7^ο εξάμηνο, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές ΠΕΤΕΠ 02-02-01-00

Κούκης Γ., Σαμπατακάκης Ν. 2007. Γεωλογία Τεχνικών Έργων. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα

Κούκης Γ., Σαμπατακάκης Ν. 2002. Τεχνική Γεωλογία. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα

Δημόπουλος Γ. 2008. Τεχνική Γεωλογία. Εκδόσεις Κυριακίδη, Αθήνα

Δημόπουλος Γ. 1986. Τεχνική Γεωλογία με Βασικές Έννοιες Βραχομηχανικής και Γεωλογικές Μελέτες Τεχνικών Έργων. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη

Τσουτρέλης Χ. 1985. Στοιχεία Μηχανικής των Πετρωμάτων. Βασικά Θεωρητικά Στοιχεία και Πειραματικές Μέθοδοι 1^η έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα

Βαφειάδης Π. 1999. Η Τεχνική των Ερευνητικών-Δειγματοληπτικών Γεωτρήσεων και Τσιμεντενέσεων. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ



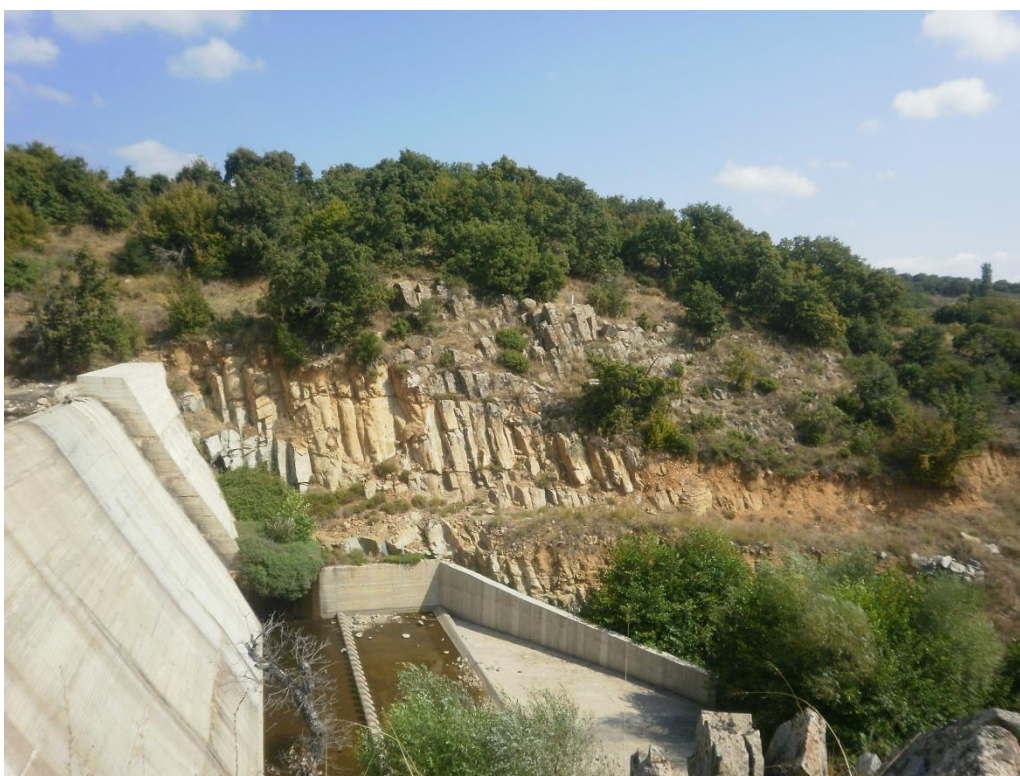
Εικόνα 1: Λεκάνη κατάκλισης φράγματος Αισύμης



Εικόνα 2: Λεκάνη κατάκλισης φράγματος Αισύμης



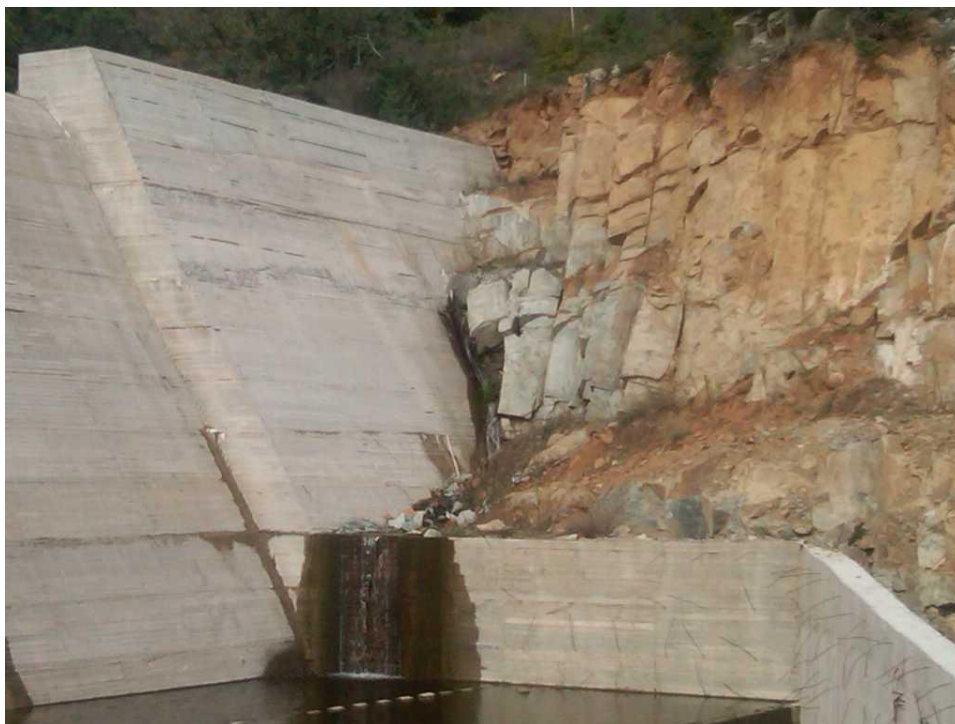
Εικόνα 3: Δυτικό αντέρεισμα



Εικόνα 4: Ανατολικό αντέρεισμα



Εικόνα 5: Διαρροές στο Ανατολικό αντέρεισμα του φράγματος



Εικόνα 6: Διαρροές στο Ανατολικό αντέρεισμα του φράγματος



Εικόνα 7: Διαρροές στο Δυτικό αντέρεισμα του φράγματος



Εικόνα 8: Διαρροές στο Δυτικό αντέρεισμα του φράγματος