

**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ :

**ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ-ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΧΟΡΤΙΑΤΗ
ΣΤΟ ΥΨΟΣ ΤΩΝ ΛΙΜΝΩΝ ΚΟΡΩΝΕΙΑ & ΒΟΛΒΗ**



**ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΟΣ ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΝΙΚΟΛΑΙΔΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ :ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ**

Θεσσαλονίκη 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	2
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
1.1 Γενικά	3
1.2 Αντικείμενο – Σκοπός	3
1.3 Υφιστάμενα και διαθέσιμα στοιχεία	4
2. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	5
2.1 Γεωγραφικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής του έργου	7
2.2 Γεωμορφολογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής του έργου	7
2.3 Γεωλογία και τεκτονική της ευρύτερης περιοχής του έργου	8
3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ	10
3.1 Γενικά στοιχεία	10
3.2 Γεωλογία – Πετρογραφία – Λιθολογία	10
3.3 Τεκτονική – Στρωματογραφία	15
4. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ	19
5. ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	20
6. ΥΠΑΙΘΡΙΑ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ	22
7. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	23
7.1 Γενικά – Μεθοδολογία	23
7.2 Γάββρος	30
7.3 Γνεύσιος Χορτιάτη	30
7.4 Υπερβασικά	31
7.5 Ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος	32
7.6 Αργιλικοί σχιστόλιθοι – Μεταπηλίτες – Κερατόλιθοι	33
7.7.Γνεύσιος Σερβομακεδονικής	33
7.8 Χαλαζίτες – Φυλλίτες	34
8. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	36
8.1 Γενικά – Μεθοδολογία	36
8.2 Συστήματα Ασυνεχειών	38
8.3 Δίκτυο Schmidt – Τεκτονικά Διαγράμματα	40
8.4 Τεκτονικές Συνθήκες – Κινηματική Ανάλυση	45
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	46
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	48

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή συντάχθηκε από τον προπτυχιακό φοιτητή Γεωλογίας Νικολαΐδη Αναστάσιο στο πλαίσιο του μαθήματος “Διπλωματική Εργασία” του Η’ εξαμήνου του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών.

Επιβλέπων καθηγητής ήταν ο κος Χρηστάρας Βασίλειος τον οποίο και ευχαριστώ θερμά για την ευκαιρία που μου έδωσε μέσω αυτής της εργασίας να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον αντικείμενο και παράλληλα ένα πολύ σημαντικό έργο που αφορά στην πόλη της Θεσσαλονίκης. Να τον ευχαριστήσω ακόμα για την ουσιαστική καθοδήγηση του όποτε χρειάστηκε, καθ’ όλη τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της μελέτης.

Θέλω επίσης να ευχαριστήσω τον φίλο και συνάδελφο μεταπτυχιακό φοιτητή του τμήματος Γεωλογίας Παναγιώτη Κρινή για την παραχώρηση στοιχείων και μετρήσεων υπαίθρου από παλαιότερες παρατηρήσεις στην ευρύτερη περιοχή του έργου, όπως επίσης και για τις πολύ χρήσιμες υποδείξεις του στο πλαίσιο αυτής της εργασίας.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Η παρούσα εργασία αποτελεί μια προκαταρκτική γεωλογική μελέτη για την μελλοντική κατασκευή σήραγγας στην ευρύτερη περιοχή του ορεινού όγκου του Χορτιάτη.

Η σήραγγα αυτή θα αποτελεί τμήμα ενός δρόμου ταχείας κυκλοφορίας που θα κατασκευαστεί μελλοντικά και θα ενώνει το αεροδρόμιο με την Εγνατία ανάμεσα στις λίμνες.

Η παρουσία του αεροδρομίου, η πιθανή μελλοντική μεταφορά τμήματος του λιμένα Θεσσαλονίκης στα Μουδανιά, η ολοκλήρωση της Εγνατία και η ολοένα αυξανόμενη κίνηση στο κέντρο της Θεσσαλονίκης αλλά και στον περιφερειακό καθιστά επιτακτική και σημαντική τη δημιουργία του δρόμου αυτού στο μέλλον.

1.2 Αντικείμενο – Σκοπός

Αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι η διερεύνηση και καταγραφή των γεωμορφολογικών, γεωλογικών, τεκτονικών συνθηκών της περιοχής και των γεωτεχνικών και τεχνικογεωλογικών συνθηκών της βραχόμαζας. Από βιβλιογραφικές πηγές και χάρτες πραγματοποιήθηκε μια παρουσίαση της γενικής γεωλογικής και τεκτονικής δομής (γεωλογικό μοντέλο) στην περιοχή που πρόκειται να κατασκευαστεί η σήραγγα. Επίσης, πραγματοποιήθηκε παρουσίαση και αξιολόγηση γεωλογικών και τεκτονικών στοιχείων που ελήφθησαν από παλαιότερη υπαίθρια έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος.

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η αρχική, και κατ' εκτίμηση χάραξη του μελλοντικού δρόμου και της σήραγγας του Χορτιάτη και πιο συγκεκριμένα στον άξονα «Αεροδρόμιο – Λίμνες» , κατόπιν αξιολόγησης των γεωμορφολογικών, γεωλογικών, τεκτονικών και τεχνικογεωλογικών συνθηκών της περιοχής αυτής.

1.3 Υφιστάμενα και διαθέσιμα στοιχεία

Τα υφιστάμενα και διαθέσιμα στοιχεία για την εργασία αυτή είναι:

- το φύλλο Θέρμη του γεωλογικού χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε σε κλίμακα 1:50000,
- το φύλλο Θέρμη του τοπογραφικού χάρτη της Γ.Υ.Σ σε κλίμακα 1:50000 και
- το φύλλο Λαγκαδάς του Νεοτεκτονικού χάρτη (Μουντράκης, κ.α ΟΑΣΠ, 1996) σε κλίμακα 1:100000.
- Επίσης, στοιχεία βιβλιογραφικά χρησιμοποιήθηκαν από τις σημειώσεις του μου Π. Μαρίνου για το μάθημα με τίτλο «Σχεδιασμός Σηράγγων», αλλά και από άλλα βιβλία.
- Στοιχεία και μετρήσεις υπαίθρου από παλαιότερη έρευνα στην περιοχή ενδιαφέροντος.

2. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει γενική και συνοπτική αναφορά στα γεωγραφικά, γεωμορφολογικά, γεωλογικά, τεκτονικά και σεισμοτεκτονικά στοιχεία της περιοχής αλλά και της ευρύτερης περιοχής που θα περάσει ο δρόμος και η σήραγγα.



Σχήμα 1 : Γεωγραφικός χάρτης της Ελλάδας. Στο ορθογώνιο πλαίσιο περικλείεται η περιοχή ενδιαφέροντος



Σχήμα 2 : Απόσπασμα του τοπογραφικού χάρτη της ΓΥΣ της περιοχής ενδιαφέροντος (φύλλο Θέρμη) όπου απεικονίζονται γεωγραφικά και γεωμορφολογικά στοιχεία της περιοχής.

2.1 Γεωγραφικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής του έργου

Η περιοχή ενδιαφέροντος, δηλαδή η περιοχή από την οποία θα περνάει ο μελλοντικός δρόμος και η μελλοντική σήραγγα και η ευρύτερη περιοχή, είναι όπως προαναφέρθηκε η περιοχή από το αεροδρόμιο Μακεδονία Θεσσαλονίκης μέχρι την περιοχή ανάμεσα στις λίμνες Κορώνεια(Αγίου Βασιλείου Λαγκαδά) και Βόλβη. Η οριζόντια απόσταση ανάμεσα στα δύο σημεία είναι περίπου 30 km. Το μήκος της τομής που θα περνάει ο δρόμος (μαζί και η σήραγγα) θα είναι φυσικά μεγαλύτερο λόγω μορφολογίας.

Ο δρόμος θα ξεκινάει λίγο έξω από το αεροδρόμιο θα περνάει λίγο έξω από τη Θέρμη και το Τριάδι, θα διασχίζει έπειτα όλο τον ορεινό όγκο του Χορτιάτη και μάλιστα υπό μορφή σήραγγας στο μεγαλύτερο τμήμα του, χωρίς να υπάρχει κάποιο χωριό σε κοντινή απόσταση, κατεβαίνοντας από τον ορεινό όγκο του Χορτιάτη θα περνάει ανάμεσα και πολύ κοντά από τα χωριά Βασιλούδι και Γερακαρού, εν συνεχεία θα εισέρχεται ανάμεσα στις λίμνες όπου θα περνάει πρώτα κοντά από το Σχολάρι και μετά ανάμεσα από τα χωριά Προφήτης και Νυμφόπετρα όπου λίγο πέρα από εκεί θα καταλήγει και θα συναντάει την Εγνατία.

2.2 Γεωμορφολογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής του έργου

Το αρχικό σημείο του μελλοντικού δρόμου στην περιοχή κοντά στο αεροδρόμιο βρίσκεται σε απόλυτο υψόμετρο +18 m. Το σημείο στο οποίο θα καταλήγει ο δρόμος λίγο πιο μακριά από το ενδιάμεσο των χωριών Προφήτης και Νυμφόπετρα στην Εγνατία έχει απόλυτο υψόμετρο περίπου 100 m. Γενικά η μορφολογική τομή ξεκινά από υψόμετρο +18 m το οποίο αυξάνεται συνεχώς μέχρι να φτάσει στη μέγιστη τιμή του στα +1050 m κοντά στην κορυφή του Χορτιάτη έπειτα μειώνεται συνεχώς μέχρι να φτάσει σε μια ελάχιστη τιμή στα +60 m κοντά στο χωριό Προφήτης.

Οι κλίσεις του αναγλύφου στο μήκος της τομής του μελλοντικού δρόμου ποικίλουν από περιοχή σε περιοχή. Στα πρώτα 5 km της τομής μέχρι το ύψος της Θέρμης η περιοχή είναι πεδινή με τελείως ομαλό και επίπεδο ανάγλυφο με κλίση 0 έως 2% (1° - $1,5^{\circ}$). Στα επόμενα 5 km από το ύψος του

Τριαδίου μέχρι το απόλυτο υψόμετρο των +500 m η κλίση (ημιορεινό τμήμα) αυξάνεται σε περίπου 10% (6°) και στη συνέχεια μέχρι την κορυφή της τομής (ορεινό τμήμα μήκους περίπου 4 km) η κλίση είναι αρκετά έντονη με μέγεθος περίπου 20% (11,5°). Στο επόμενο τμήμα (ορεινό και ημιορεινό) μήκους 4 περίπου km όπου ελαττώνεται το υψόμετρο οι κλίσεις του αναγλύφου είναι πάλι αρκετά έντονες της τάξης του 18% (10,5°). Στο πεδινό τμήμα έπειτα το ανάγλυφο είναι ομαλό, οι κλίσεις μειώνονται αρκετά και είναι περίπου 3%-4% (2°) στα πρώτα 6 km και σχεδόν μηδενίζεται στο υπόλοιπο τμήμα της τομής ανάμεσα στις λίμνες. Όλα τα παραπάνω φαίνονται καθαρά και στη μορφολογική τομή.

Έτσι λοιπόν καταδεικνύεται το συμπέρασμα βάσει της μορφολογίας ότι μέχρι το απόλυτο υψόμετρο των +500 m μπορεί να υπάρχει δρόμος ταχείας κυκλοφορίας, όμως πάνω από το υψόμετρο αυτό η έντονη κλίση του αναγλύφου επιτάσσει τη δημιουργία της σήραγγας. Το που ακριβώς θα γίνει και σε ποιο απόλυτο υψόμετρο θα είναι η είσοδος και η έξοδος, θα το καθορίσουν και οι γεωολογικοί, τεκτονικοί και τεχνικογεωολογικοί παράγοντες της βραχόμαζας.

2.3 Γεωλογία και τεκτονική της ευρύτερης περιοχής του έργου

Στο πεδινό και ημιορεινό τμήμα της ευρύτερης περιοχής στις περιοχές Αεροδρόμιο-Τριάδι και εγγύς και ανάμεσα στις λίμνες συναντώνται μεταλλικά ιζήματα. Αυτά είναι:

- I. ολοκαινικές αποθέσεις, προσχώσεις κοιλάδων και πεδιάδων, αμμούχες και ερυθρές άργιλοι
- II. τρία συστήματα αναβαθμίδων με άμμους, πηλούς, αμμούχες αργίλους, χαλίκια, ψηφίδες και κροκάλες ηλικίας πλειστοκαίνου και
- III. μία σειρά ερυθρών αργίλων ηλικίας Ανωτέρου Μειοκαίνου.

Στο ημιορεινό και ορεινό τμήμα στην ευρύτερη περιοχή του Χορτιάτη συναντώνται αλπικοί σχηματισμοί. Πρόκειται κατά σειρά για :

α) μεταμορφωμένα και σχιστώδη πετρώματα της μαγματικής σειράς Χορτιάτη Μεσοζωικής ηλικίας που συνίσταται από μια οφειολιθική ακολουθία (γάββροι, δουνίτες και περιδοτίτες) και γνευσίους – επιγνευσίους – πρασινοσχιστόλιθους,

β) μεταϊζηματογενή πετρώματα της Περιοδοπικής ζώνης που συνίσταται από σχιστοκερατόλιθους κάτω-μέσο Ιουρασικής ηλικίας και ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους ηλικίας Ανωτέρου Τριαδικού της ενότητας Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη και το σχηματισμό φυλλιτών – χαλαζιτών της Σβούλας ηλικίας Τριαδικού – Μέσου Ιουρασικού της ενότητας Μελισσοχωρίου – Χολομώντα και

γ) το σχηματισμό Βερτίσκου της Σερβομακεδονικής ζώνης που συνίσταται από διμαρμαρυγιακό σχιστογενέσιο παλαιοζωικής ηλικίας.

Η ευρύτερη περιοχή έχει υποστεί μεταμόρφωση πρασινοσχιστολιθικής φάσης στο Ανώτερο Ιουρασικό – Κάτω Κρητιδικό και δύο φάσεις πτυχώσεων (συμπιεστική τεκτονική), μία σύγχρονη με τη μεταμόρφωση και μία στο τριτογενές, ενώ μετά το ολιγόκαινο η περιοχή επηρεάζεται έντονα από εφελκυστική τεκτονική. Αυτό έχει ως αποτελέσματα οι σχηματισμοί να εμφανίζονται ελαφρά μεταμορφωμένοι και πτυχωμένοι (όχι τόσο έντονα στην περιοχή της μελέτης μας) αλλά και έντονα τεκτονισμένοι. Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης υφίστανται πάρα πολλά ρήγματα, λιγότερο ανάστροφα (επιπτεύσεις) ΒΔ – ΝΑ διεύθυνσης, και περισσότερο κανονικά (μερικά και με οριζόντια συνιστώσα) ρήγματα με διευθύνσεις κυρίως Α-Δ και ΒΑ-ΝΔ πολλά εκ των οποίων μεγάλου μήκους, ενεργά και σεισμικά. Το σημαντικότερο όλων είναι το μεγάλο σεισμικό ρήγμα της Γερακαρούς που έδωσε και το σεισμό του 1978 μεγέθους 6.5. Επίσης, υπάρχουν και άλλα ενεργά και σεισμικά ρήγματα στην περιοχή ανάμεσα στις λίμνες.

3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούν, θα αναπτυχθούν και θα αξιολογηθούν γενικά, γεωλογικά και τεκτονικά στοιχεία στην περιοχή που πρόκειται να κατασκευαστεί η μελλοντική σήραγγα.

3.1 Γενικά στοιχεία

Εκτιμώντας τα γεωμορφολογικά, γεωλογικά και τεκτονικά στοιχεία της περιοχής η σήραγγα θα έχει αρχικά τα εξής χαρακτηριστικά :

- Σημείο εισόδου περίπου 3 km ΒΑ του Τριαδίου σε απόλυτο υψόμετρο περίπου + 400 m
- Σημείο εξόδου περίπου 2 km ΒΔ του χωριού Αρδαμέρι σε απόλυτο υψόμετρο περίπου + 400 m
- Μήκος περίπου 8,5 – 9 km
- Διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ (60° - 240°)
- Είναι περίπου ευθεία με μικρές αποκλίσεις

Πιο αναλυτική γεωλογική, γεωτεχνική και τεχνικογεωλογική έρευνα στο ύπαιθρο, με πλήρες γεωτρητικό πρόγραμμα και τις απαραίτητες εργαστηριακές δοκιμές μπορεί να αλλάξει τα δεδομένα όσον αφορά την τοποθέτηση της σήραγγας και την εκσκαφής της.

3.2 Γεωλογία – Πετρογραφία – Λιθολογία

Η καταγραφή των γεωλογικών, πετρογραφικών, στρωματογραφικών και τεκτονικών στοιχείων που αφορά τη μελετηθείσα περιοχή προήλθε κυρίως από το γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ (φύλλο Θέρμη) σε κλίμακα 1:50000 και κατασκευάστηκε και η αντίστοιχη γεωλογική τομή που απεικονίζει τη γεωλογία και στρωματογραφία της περιοχής.



Σχήμα 3 : Απόσπασμα του γεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ (φύλλο Θέρμη) σε κλίμακα 1:50000 όπου απεικονίζεται κατά προσέγγιση η θέση του άξονα της μελλοντικής σήραγγας η αντίστοιχη γεωλογική τομή Α-Α' στην περιοχή.

Οι γεωολογικοί σχηματισμοί, οι οποίοι είναι όλοι αλπικοί, που υφίστανται στην περιοχή μελέτης όπως καταγράφονται από τον υποκείμενο προς τον υπερκείμενο είναι οι εξής :

- **Γάββρος (Θ₂)**: Γαββρική σειρά Λαναριού (βασική), μέλος της εκτενούς οφειολιθικής ακολουθίας της μαγματικής σειράς του Χορτιάτη ηλικίας Ανωτέρου Τριαδικού – Μεσοζωικού. Πρόκειται κυρίως για γάββρο που περιέχει διαλλαγή, βρονζίτη, υπρεσθενή, πλαγιόκλαστα με ανορθίτη 55 – 80 %, αδιαφανή ορυκτά, ολιβίνη, δευτερογενή κεροστίλβη, ζωϊσίτη, επίδοτο και ακτινόλιθο, καθώς και ολιβινικό γάββρο, υπερσθενικό γάββρο, αυγιτικό νορίτη και κεροστιλβικό γάββρο.
- **Δουνίτες και περιδοτίτες (π.ο)** : Υπερβασική σειρά, μέλος της εκτενούς οφειολιθικής ακολουθίας της μαγματικής σειράς του Χορτιάτη ηλικίας Μεσοζωϊκού. Πρόκειται κυρίως για δουνίτες, περιδοτίτες, βερλίτη, μερικώς λερζόλιθο (ολιβίνης, διαλλαγής και βρονζίτης) και επουσιώδη μεταπεριδοτίτη. Παρατηρούνται φακοί και ταινίες χρωμίτη κυρίως μέσα στους δουνίτες, παρουσιάζουν πολύ εξαπλωμένη εξαλλοίωση σε περιοχές μεταλλοφορίας προς λευκόλιθο. Μέσα στα σχιστώδη σώματα παρατηρείται σχηματισμός αντιγοριτικού σχιστόλιθου, τάλκη και αμιάντου.
- **Γνεύσιοι, επιγνεύσιοι και πρασινοσχιστόλιθοι (Sch-gn)** : Σχηματισμός μεταμορφωμένος και σχιστώδης μέλος της μαγματικής σειράς του Χορτιάτη με μεγάλης έκτασης εμφάνιση (τη μεγαλύτερη από όλους τους σχηματισμούς) στην περιοχή μελέτης ηλικίας Μεσοζωϊκού. Εμφανίζεται με τρεις κύριες λιθολογικές μορφές οι οποίες είναι οι εξής :
 - α) Λευκοκρατικός αλβιτικός-σερικιτικός-μικροκλινικός γνεύσιος που περιέχει αλβίτη, μικροκλινή, μοσχοβίτη και επουσιώδη, ορυκτά, με γνευσιακό η οφθαλμοειδή ιστό, παράλληλα προς το s- επίπεδο, στρωμένος μέσα στα μεταιζήματα.
 - β) Επιγνεύσιοι ανοιχτοκάστανοι ή πράσινοι, στρωματώδεις με γνευσιακό ιστό και πράσινα στρεβλωμένα χλωριτικά στρώματα, ακτινολιθικοί-επιδοτιτικοί-

χλωριτικοί επιγνεύσιοι, σερικιτικοί-χλωριτικοί επιγνεύσιοι, κεροστιλβικοί-βιοτιτικοί-μοσχοβιτικοί επιγνεύσιοι και μοσχοβιτικοί-χλωριτικοί-αλμανδινικοί επιγνεύσιοι.

γ) Λεπτόκοκκοι σκοτεινοπράσινοι και καστανωποί πρασινοσχιστόλιθοι, σερικιτικοί-χλωριτικοί σχιστόλιθοι, χλωριτικοί-μοσχοβιτικοί-βιοτιτικοί σχιστόλιθοι, μοσχοβιτικοί-χλωριτικοί-αλμανδινικοί σχιστόλιθοι, επιδοτιτικοί-ακτινολιθικοί-χλωριτικοί σχιστόλιθοι και λεπτόκοκκοι χλωριτικοί-επιδοτιτικοί-σερικιτικοί-αλβιτικοί γνεύσιοι.

- **Ασβεστόλιθοι ανακρυσταλλωμένοι (Tm-s?k)** : Μεταϊζηματογενές πέτρωμα που ανήκει στην ενότητα Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη της Περιοδοπικής ζώνης ηλικίας Ανωτέρου Τριαδικού. Είναι τεφρογάλανοι ή λευκοί, συμπαγείς και παχυστρωματώδεις και στην περιοχή μελέτης εμφανίζονται και υπό μορφή τεκτονικών φακών μέσα στη μαγματική σειρά του Χορτιάτη στους μεταμορφωμένους και σχιστώδεις γνευσίους – επιγνευσίους.
- **Αργιλικοί σχιστόλιθοι – Μεταπηλίτες – Κερατόλιθοι (Ji-m?Ag)** : Μεταϊζηματογενές πέτρωμα που ανήκει στην ενότητα Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη της Περιοδοπικής ζώνης ηλικίας Κάτω – Μέσο Ιουρασικού. Πρόκειται για παχείς ορίζοντες από σκούρους μπλε και μαύρους λεπτοστρωματώδεις κερατόλιθους, κόκκινους καστανούς αργιλικούς σχιστόλιθους, πράσινοι τεφροί αμμούχοι αργιλικοί σχιστόλιθοι με παρεμβολές καστανών έως μαύρων λεπτόκοκκων γραφιτικών και πράσινων αμμούχων φυλλιτών και φακούς και στρώματα σερικιτωμένου, χλωριτωμένου, σωσσυριτωμένου μαύρου δολερίτη.
- **Διμαρμαρυγιακός γνεύσιος (gn₂)** : Πρόκειται για σχηματισμό της σειράς του Βερτίσκου της Σερβομακεδονικής ζώνης ηλικίας Παλαιοζωικού. Εμφανίζεται σκοτεινότεφρος ή καστανός, λεπτόκοκκος έως μεσόκοκκος, μονότονος με μεταβάσεις προς οφθαλμογνευσίους. Περιέχει πλαγιόκλαστα

με ανορθίτη 25 – 30 %, χαλαζία, μοσχοβίτη, βιοτίτη, περθιτικούς καλιούχους αστρίους, επίδοτο και επουσιώδη. Συχνά εμφανίζονται πηγματητοειδείς φλέβες, παρείσακτες κοίτες με ελαφρή φυλλοδομή και λεπτόκοκκες απλιτικές γρανιτικές σχιστώδεις κοίτες.

- **Φυλλίτες και χαλαζίτες (T-Jm-st)** : Πρόκειται για το σύστημα φυλλιτών – χαλαζιτών της ομάδας της Σβούλας. Είναι μεταϊζηματογένες πέτρωμα που ανήκει στην ενότητα Μελισσοχωρίου – Χολομώντα της Περιοδοπικής ζώνης ηλικίας Τριαδικού – Μέσου Ιουρασικού. Εμφανίζονται ως α) χαλαζίτες κοκκινοκάστανοι, λεπτό-μεσόκοκκοι, λεπτοστρωματώδεις, σιδηρούχοι, και σκοτεινότεφροι, ασβεστιτικοί, β) χαλαζιτικοί ψαμμίτες με ενστρώσεις σκοτεινότεφρων φυλλιτών, γ) γραφιτικοί σχιστόλιθοι με σκοτεινότεφρες ταινίες από ψαμμιτικούς ασβεστολίθους, δ) φυλλίτες σκοτεινότεφροι έως μαύροι, μερικώς γρανατούχοι, γραφιτικοί με μικρές ενστρώσεις χαλαζιτών.

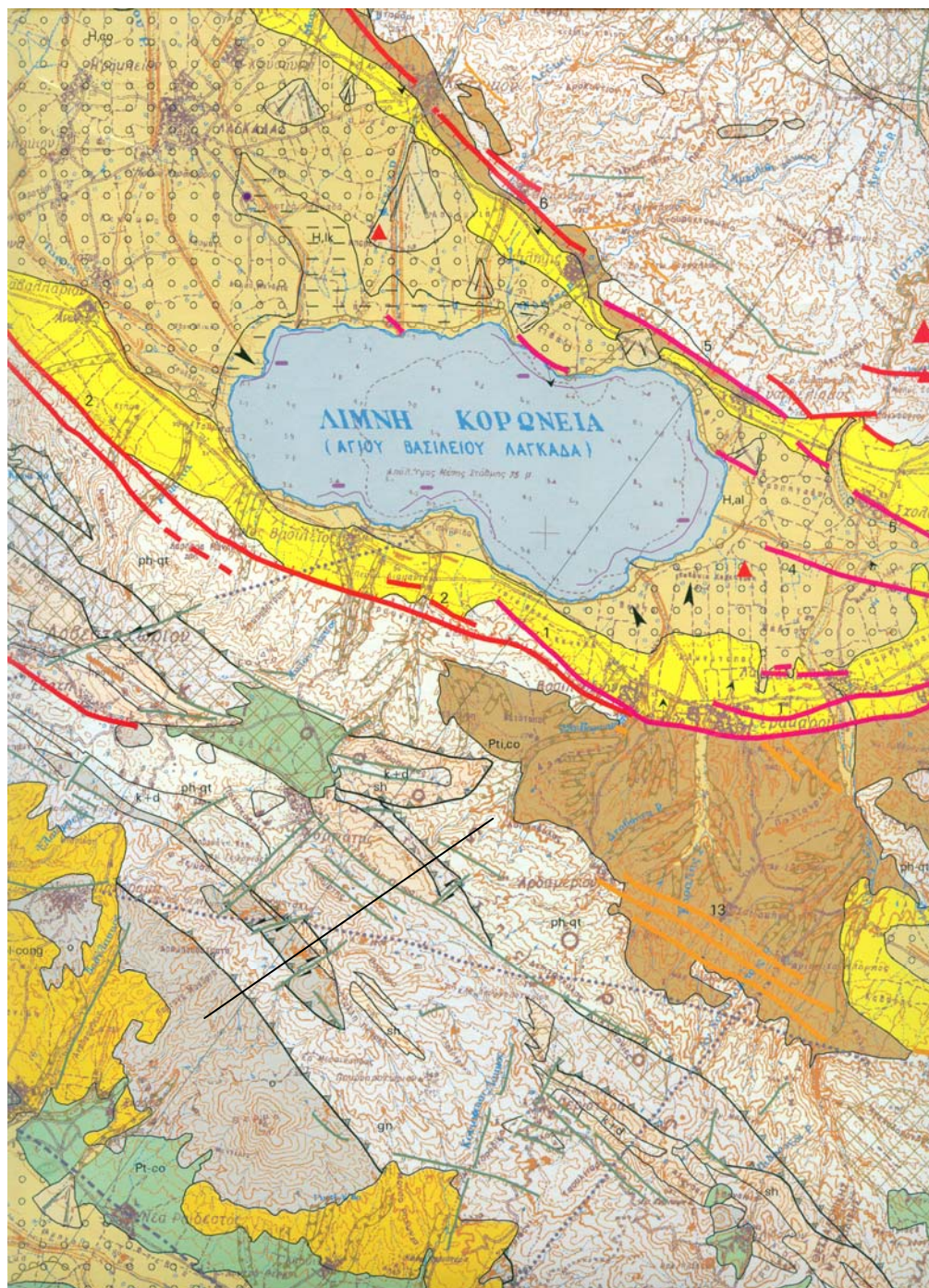
3.3 Τεκτονική – Στρωματογραφία

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που υπάρχουν στην περιοχή δεν εμφανίζονται πτυχωμένοι με εξαίρεση το σύστημα φυλλιτών – χαλαζιτών. Η στρωματογραφική κλίση των όλων των σχηματισμών (σχιστότητα S- στην προκειμένη περίπτωση αφού πρόκειται για μεταμορφωμένα πετρώματα) και των αντίστοιχων ορίων τους είναι περίπου όμοια και έχει γενικά παράταξη ΒΔ-ΝΑ με διεύθυνση κλίσης προς και ΒΑ και γωνίες κλίσεις σχετικά μεγάλες που κυμαίνονται 50°-80°.

Όσον αφορά τα ρήγματα τα οποία πρόκειται να τμήσει η μελλοντική σήραγγα, σύμφωνα με γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ (φύλλο Θέρμη) το νεοτεκτονικό χάρτη (φύλλο Λαγκαδάς) είναι τρία ανάστροφα και τέσσερα κανονικά.

Τα κανονικά ρήγματα είναι τρία μικρού μήκους (2-3 km), τα δύο κοντά στην κορυφή του Χορτιάτη στο γνεύσιο και το άλλο ανατολικά του Αρδαμερίου στους φυλλίτες-χαλαζίτες και το τέταρτο είναι μεγάλου μήκους

(8-9 km) στο όριο γνευσίου-ασβεστολίθου (πιθανόν να είναι και το ίδιο το όριο). Και τα τέσσερα ρήγματα έχουν ίδια στοιχεία και παρόμοια με την κλίση των σχηματισμών και τη σχιστότητα, παράταξη ΒΔ-ΝΑ, διεύθυνση κλίσης ΒΑ και πολύ μεγάλη γωνία κλίσης (σχεδόν κατακόρυφα).



Σχήμα 4 : Απόσπασμα του νεοτεκτονικού χάρτη χωρίς κλίμακα (φύλλο Λαγκαδάς). Ο άξονας απεικονίζει κατά προσέγγιση της θέσης της μελλοντικής σήραγγας. (Μουντράκης κ.α., ΟΑΣΠ, 1996)

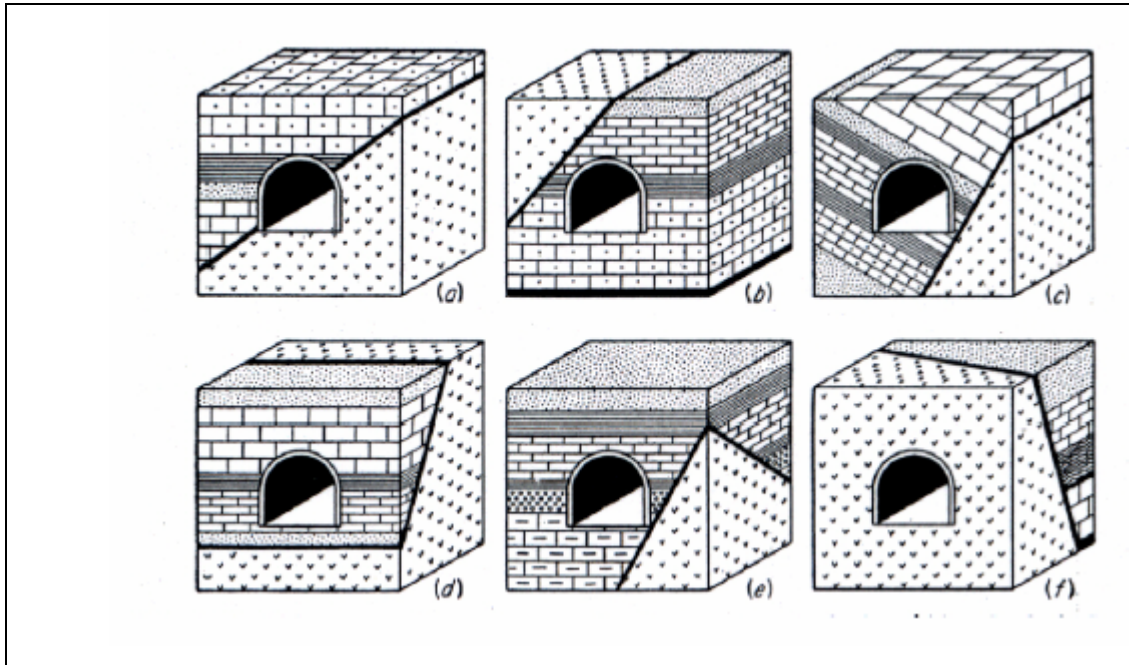
Οι τρεις επιπεύσεις είναι τα δύο όρια του γνευσίου της Σερβομακεδονικής με τους χαλαζίτες-φυλλίτες και τους αργιλικούς σχιστολίθους και το όριο του γάββρου με το γνεύσιο του Χορτιάτη. Οι τρεις αυτές επιπεύσεις από τη στιγμή που αποτελούν όρια σχηματισμών έχουν παράταξη και διεύθυνση όμοια με αυτή της κλίσης, της σχιστότητας όπου υπάρχει, αλλά και των παραπάνω κανονικών ρηγμάτων. Η γωνία κλίσης των επιπεύσεων είναι σχετικά μεγάλη περίπου 50° - 60° .

Σε όλες τις περιπτώσεις είτε των κανονικών είτε των ανάστροφων ρηγμάτων δημιουργούνται ζώνες είτε κατακλαστίτη είτε μυλωνίτη αντίστοιχα που μπορούν να προκαλέσουν έντονο πρόβλημα στην εκσκαφή της μελλοντικής σήραγγας. Μία ζώνη μυλωνιτίωσης μπορεί να χαρακτηρίζεται με έντονα φυλλώδη δομή, με το σχηματισμό να είναι εύθρυπτος, έντονα αποσαθρωμένος και τεκτονισμένος με γεωτεχνικά πολύ χαμηλή ποιότητα ως υλικό.

Έτσι, έχοντας ως σημείο αναφοράς την παράταξη και τη διεύθυνση κλίσης των γεωλογικών ορίων, της κλίσης και σχιστότητας (όπου υφίσταται) των σχηματισμών και των ρηγμάτων, αναμένονται και τα τεκτονικά στοιχεία (παράταξη, διεύθυνση και γωνία κλίσης) των ασυνεχειών (σχιστότητα S-, διακλάσεις J και ρήγματα F) της βραχώμαζας.

Η διέλευση σήραγγας μέσα από ζώνες διάρρηξης απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή, αφού οι ζώνες αυτές χαρακτηρίζονται ως ζώνες μικρής αντοχής σε διάτμηση. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε βαριάς μορφής υποστήριξη της διατομής της σήραγγας στις θέσεις αυτές, ενώ αν οι ζώνες παρουσιάζονται πληρωμένες με αργιλικά υλικά ενδεχομένως υπάρχουν πιθανά προβλήματα διογκώσεων. Ο γεωλόγος οφείλει να βρει στοιχεία που θα οδηγήσουν στο χαρακτηρισμό των ρηγμάτων αυτών ως “ενεργά” ή “μη ενεργά” γιατί και ο τρόπος υποστήριξης είναι διαφορετικός (εύκαμπτη ή δύσκαμπτη αντίστοιχα). Επιπλέον αν η ζώνη διάτμησης δεν έχει αργιλικό υλικό είναι ζώνη με έντονη κυκλοφορία του υπόγειου νερού. Σε περιπτώσεις που συναντάται ρήγμα κατά

τη χάραξη του άξονα της σήραγγας συνήθως γίνεται προσπάθεια να περάσει ο άξονας σχεδόν κάθετα το ρήγμα, γιατί μόνο τότε η επιρροή του στην επένδυση της σήραγγας είναι η ελάχιστη δυνατή.



Εικόνα 5.

Επικρατούσες συνθήκες διάνοιξης σηράγγων σε ρηξιγενείς ζώνες.

(από Desio, ‘‘Geologia Applicata all’ Ingegneria’’, Hoepli, Milan, Italy)

4. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

Όπως προαναφέρθηκε οι λιθολογικοί σχηματισμοί της περιοχής είναι οφειόλιθοι, γνεύσιοι, αργίλικοί σχιστόλιθοι, ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι και χαλαζίτες-φυλλίτες. Με εξαίρεση τους ασβεστολίθους οι οποίοι εφόσον είναι ρηγματωμένοι και καρστικοποιημένοι είναι περατοί, οι υπόλοιποι σύμφωνα με τη βιβλιογραφία είναι αδιαπέρατοι. Παρακάτω παρουσιάζεται ένας συνοπτικός πίνακας με τις διαπερατότητες των παραπάνω σχηματισμών σύμφωνα με το Σούλιο (1986).

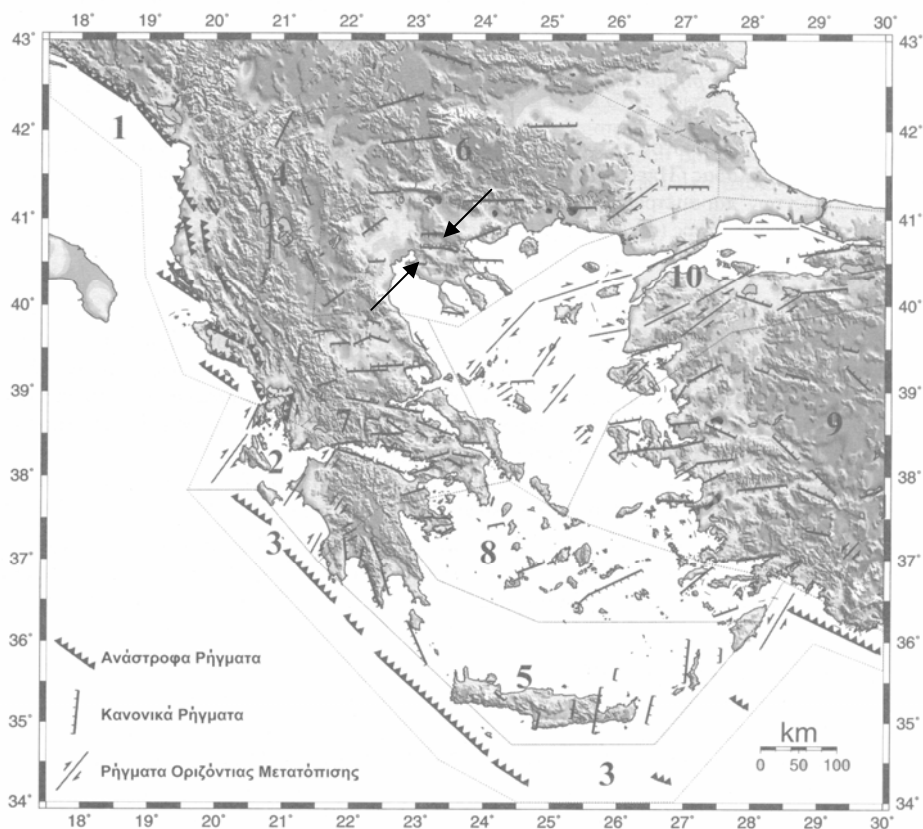
Πίνακας 1 : Τιμές της διαπερατότητας των σχηματισμών της περιοχής

Λιθολογικός σχηματισμός	Διαπερατότητα (m/sec ²)
Οφειόλιθοι	$10^{-5} - 10^{-8}$
Γνεύσιος	$10^{-6} - 10^{-9}$
Ανακρυσταλλωμένος Ασβεστόλιθος	$10^{-2} - 10^{-5}$
Αργίλικοί Σχιστόλιθοι	$10^{-6} - 10^{-9}$
Χαλαζίτες – Φυλλίτες	$10^{-6} - 10^{-8}$

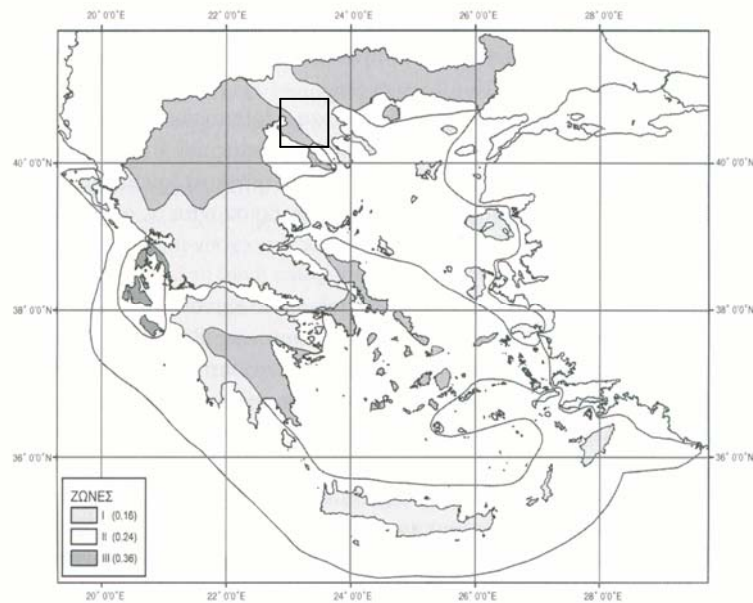
Όσον αφορά την πιεζομετρία της περιοχής δε βρέθηκαν καθόλου στοιχεία από γεωτρήσεις ή πηγές, αλλά ούτε και από τη βιβλιογραφία από κάποιες εργασίες ή μελέτες. Έτσι, για την πιεζομετρική κατάσταση της περιοχής μπορεί να γίνει μια πολύ πρόχειρη εκτίμηση και υπόθεση με βάση στοιχεία από τις λεκάνες της Μυγδονίας και του Ανθεμούντα. Η υπόθεση αυτή είναι ότι το απόλυτο υψόμετρο της πιεζομετρικής επιφάνειας του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα είναι χαμηλότερο από το απόλυτο υψόμετρο της σήραγγας. Έτσι, αναμένονται καθόλου ή πολύ μικρές ροές νερού ή υγρασία διαμέσου των τεκτονικών ασυνεχειών (δευτερογενές πορώδες).

5. ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται από μέτρια έως ελαφρώς έντονη σεισμική δραστηριότητα. Στο τμήμα που θα περάσει η σήραγγα δεν υφίσταται κάποιο σεισμικό ρήγμα. Εγγύς όμως της περιοχής της σήραγγας υφίστανται δύο σημαντικά ενεργά σεισμικά ρήγματα που προκαλούν ενδιαφέρον. Το ένα είναι το ρήγμα της Γερακαρούς που έδωσε το σεισμό του 1978 με μέγεθος 6.5 και το άλλο είναι των Βασιλικών που έδωσε δύο σημαντικούς σεισμούς το 1759 και το 1677 με μεγέθη 6.2 και 6.4 αντίστοιχα.



Σχήμα 5 : Κύρια ρήγματα των επιφανειακών σεισμών του Ελληνικού χώρου από το 480 π.χ. έως το 2001. Με τα βελάκια καταδεικνύονται τα δύο σημαντικά ενεργά σεισμικά ρήγματα της περιοχής. (Παπαζάχος κ.α., 2001)



Σχήμα 6 : Ο νέος τροποποιημένος χάρτης του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΕΑΚ-2004) με τις τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας. Η περιοχή ενδιαφέροντος περικλείεται στο ορθογώνιο πλαίσιο. (από Παυλίδη, 2003)

Η περιοχή μελέτης σύμφωνα με την τροποποίηση του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΕΑΚ-2004) ανήκει σε δύο ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας. Το νοτιοδυτικό τμήμα ανήκει στη ζώνη I με την εδαφική επιτάχυνση να είναι $\alpha = 0,16$ και το βορειοανατολικό τμήμα ανήκει στη ζώνη II με την εδαφική επιτάχυνση να είναι $\alpha = 0,24$.

6. ΥΠΑΙΘΡΙΑ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται στοιχεία και μετρήσεις έτσι όπως καταγράφηκαν σε επιλεγμένες θέσεις της βραχόμαζας των σχηματισμών, σε προγενέστερη παρατήρηση(από Κρινής), στην ευρύτερη περιοχή μελέτης.. Η καταγραφή αυτή πραγματοποιήθηκε σε μεγάλες ανοιχτές εκσκαφές και πρηνή παράπλευρα των δρόμων.

Έπειτα έγινε προσπάθεια να αξιολογηθούν τα στοιχεία αυτά και για αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι ταξινόμησης της βραχόμαζας, μία κατά κατά RMR(Beniawski, 1989) και μία κατά GSI(Tallon, 1982).

Σκοπός της περιγραφής της βραχόμαζας είναι η εκτίμηση των ποιοτικών και μηχανικών χαρακτηριστικών της και της ταξινόμησης της με βάση αυτά τα χαρακτηριστικά, ώστε να είναι εφικτή η ορθή εκτίμηση των μέτρων υποστήριξης που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για να ενισχύσουν την βραχόμαζα και να υποστηρίξουν την κατασκευή.(Χρηστάρας 2003)

7. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

7.1 Γενικά – Μεθοδολογία

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούν τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά που καταγράφηκαν και αξιολογήθηκαν ανά σχηματισμό.

Για να γίνει η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκαν δύο γεωτεχνικές ταξινομήσεις της βραχόμαζας, μία κατά RMR (Bieniawski, 1989) και μία κατά GSI (Hoek & Marinos, 2000 & 2001).

Κατά την ταξινόμηση RMR έγιναν τα εξής:

- ❖ Εκτίμηση της μονοαξονικής αντοχής από το τι σχηματισμός είναι βιβλιογραφικά και από τα χτυπήματα με το γεωλογικό σφυρί στο πεδίο (πίνακας 5).
- ❖ Εκτίμηση της ποιότητας της βραχόμαζας με εκτίμηση του δείκτη κερματισμού RQD, ο οποίος υπολογίστηκε εμπειρικά από τον τύπο του Palmstrom (1982) $RQD = 115 - 3,3 J_v$ όπου J_v είναι ο συνολικός αριθμός των διακλάσεων ανά m^3 βραχόμαζας, όπως αυτός εκτιμήθηκε κατά προσέγγιση στο πεδίο.
- ❖ Εκτίμηση της μέσης απόστασης όλων των ασυνεχειών (κατά προσέγγιση στο πεδίο).
- ❖ Καταγραφή της ορατής ανάπτυξης (μήκους) των ασυνεχειών στο πεδίο.
- ❖ Γενική και συνολική εκτίμηση κατόπιν καταγραφής του διαχωρισμού των ασυνεχειών, δηλαδή το κατά πόσο κλειστές ή ανοιχτές είναι οι ασυνέχειες.
- ❖ Καταγραφή συνολικά του βαθμού τραχύτητας των επιφανειών των ασυνεχειών.
- ❖ Καταγραφή γενικά και συνολικά του ανοίγματος των ασυνεχειών (>5 mm ή <5 mm) σε συνδυασμό με το είδος του υλικού πλήρωσης (σκληρό ή μαλακό).
- ❖ Καταγραφή του βαθμού αποσάθρωσης του πετρώματος στις παρειές των ασυνεχειών.

- ❖ Υπόθεση λόγω έλλειψης στοιχείων για τις γενικές συνθήκες του υπογείου νερού. Η υπόθεση αυτή προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο για τις υδρογεωλογικές συνθήκες.
- ❖ Γενική εκτίμηση της επίδρασης του προσανατολισμού όλων των συστημάτων των ασυνεχειών συνολικά ανάλογα και με το ποσοστό εμφάνισης και καταγραφής του κάθε συστήματος (πίνακας 4).
- ❖ Κατόπιν, πραγματοποιήθηκε βαθμονόμηση των παραπάνω παραμέτρων (πίνακας 2) και στο τέλος εκτιμήθηκε σε ένα εύρος τιμών ο βαθμός RMR (πίνακας 3)

Κατά την ταξινόμηση GSI έγιναν τα εξής :

- ❖ Καταγραφή της κατάστασης της ποιότητας της επιφάνειας των ασυνεχειών συνολικά και της δομής της βραχόμαζας στο πεδίο.
- ❖ Εκτίμηση του γεωλογικού δείκτη αντοχής GSI από το διάγραμμα του σχήματος 9 για το σύστημα φυλλιτών – χαλαζιτών και τους αργιλικούς σχιστολίθους και από το διάγραμμα του σχήματος 10 για τους υπόλοιπους σχηματισμούς.
- ❖ Υπολογισμός από τη βιβλιογραφία της σταθεράς m_i ανάλογα με το σχηματισμό (πίνακας 6).
- ❖ Εκτίμηση της γωνίας εσωτερικής τριβής ϕ από το διάγραμμα σχέσης γωνίας εσωτερικής τριβής ϕ , της σταθεράς m_i και του δείκτη GSI (σχήμα 8).
- ❖ Εκτίμηση του λόγου c/σ_{ci} από το διάγραμμα σχέσης της συνοχής c , της σταθεράς m_i και του δείκτη GSI (σχήμα 7) και κατόπιν εφόσον είναι γνωστή η μονοαξονική αντοχή σ_{ci} εκτιμάται η συνοχή c των σχηματισμών.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ουσιαστικά η ταξινόμηση και η περιγραφή της βραχόμαζας που πραγματοποιήθηκε στους σχηματισμούς είναι σχεδόν σημειακή, επιφανειακή, αφορά μικρή έκταση και δεν μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτική για όλη την έκταση της βραχόμαζας ή το κάθε σημείο της ξεχωριστά, μπορεί όμως να δώσει μια γενική ιδέα για τη συνολική και γενική κατάσταση της βραχόμαζας χωρίς βέβαια λεπτομέρειες.

Πίνακας 2 : Γεωτεχνική ταξινόμηση κατά RMR (Bieniawski, 1989, Κούκης και Σαμπατακάκης, 2002). (από Χρηστάρα και Χατζηαγγέλου, 2003)

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ BENIAWSKI						
ΑΝΤΟΧΗ ΑΚΕΡΑΙΟΥ ΒΡΑΧΟΥ						
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ	ΑΝΤΟΧΗ	ΔΕΙΚΤΗΣ				ΒΑΘΜΟΙ RMR
Πολύ υψηλή	>250	>10	□			15
Υψηλή	100-250	4-10	□			12
Μέση	50-100	2-4	□			7
Μέτρια	25-50	1-2	□			4
Μικρή	5-25	<1	□			2
Πολύ μικρή	1-5		□			1
	<1		□			0
RQD						
Εξαιρετική	90-100%	□				20
Καλή	75-90%	□				17
Μέτρια	50-75%	□				13
Πτωχή	25-50%	□				8
Πολύ πτωχή	<25%	□				3
ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ 1 ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ 2 ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ 3 ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑ 4						
ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ						
Πολύ αραιή	>2m	□	□	□	□	20
Αραιή	0,6-2,0m	□	□	□	□	15
Μέτρια	200-600mm	□	□	□	□	10
Πυκνή	60-200mm	□	□	□	□	8
Πολύ πυκνή	<60mm	□	□	□	□	5
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ						
Πολύ λίγη	<1m	□	□	□	□	6
Λίγη	1-3m	□	□	□	□	4
Μέση	3-10m	□	□	□	□	2
Υψηλή	10-20m	□	□	□	□	1
Πολύ υψηλή	>20m	□	□	□	□	0
ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ						
Πολύ κλειστές		□	□	□	□	6
Κλειστές	<0,1mm	□	□	□	□	5
Μέτριες Ανοικτές	0,1-1,0mm	□	□	□	□	4
Ανοικτές διακλάσεις	1-5mm	□	□	□	□	1
Πολύ ανοικτές	>5mm	□	□	□	□	0
ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ						
Πολύ τραχείες		□	□	□	□	6
Τραχείες		□	□	□	□	5
Ελαφρώς τραχείες		□	□	□	□	3
Λείες		□	□	□	□	1
Διατηρημένες		□	□	□	□	0
ΥΛΙΚΟ ΠΛΗΡΩΣΗΣ						
Πολύ κλειστές		□	□	□	□	6
<5mm-Σκληρό υλικό		□	□	□	□	4
>5mm-Σκληρό υλικό		□	□	□	□	2
<5mm-Μαλακό υλικό		□	□	□	□	2
>5mm-Μαλακό υλικό		□	□	□	□	0
ΠΕΤΡΩΜΑ ΣΤΙΣ ΠΑΡΕΙΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ						
Υγιείς		□	□	□	□	6
Ελαφρώς αποσπασθρομένο		□	□	□	□	5
Μετρίου αποσπασθρομένο		□	□	□	□	3
Πολύ αποσπασθρομένο		□	□	□	□	1
Πλήρως αποσπασθρομένο		□	□	□	□	0
ΥΠΟΓΕΙΟ ΝΕΡΟ						
Εισροές ανά 10m μήκους σήραγγας lit/hr						
Πίεση νερού						
ΓΕΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ						
Τελείως ξηρές	□					15
Υφυγρη	□					10
Υγρή	□					7
Στάγδην	□					4
ΡΟΗ						
Χαμηλή πίεση	□					0
Μέση πίεση	□					0
Υψηλή πίεση	□					0
ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ ΚΑΙ ΚΛΙΣΗΣ						
Οικογένεια 1						
Οικογένεια 2						
Οικογένεια 3						
Οικογένεια 4						
ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ						
Πολύ ευμενής	□					0
Ευμενής	□					-2
Μέτριας	□					-5
Ανευμενής	□					-10
Πολύ δυσμενής	□					-12
ΒΑΘΜΟΣ RMR	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ		ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ		ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	

Πίνακας 3 : Ποιότητα βραχομάζας σύμφωνα με τη γεωτεχνική ταξινόμηση κατά RMR (Bieniawski, 1976). (από Χρηστάρα και Χατζηαγγέλου, 2003)

Τάξη βραχομάζας	Ποιότητα βραχομάζας	RMR
I	Πολύ καλή	80-100
II	Καλή	61/80
III	Μέτρια	41-60
IV	Φτωχή	21-40
V	Πολύ φτωχή	0-20

Πίνακας 4 : Επίδραση του προσανατολισμού των ασυνεχειών στην ευστάθεια σηράγγων (Wickham et.al., 1972). (από Χρηστάρα και Χατζηαγγέλου, 2003)

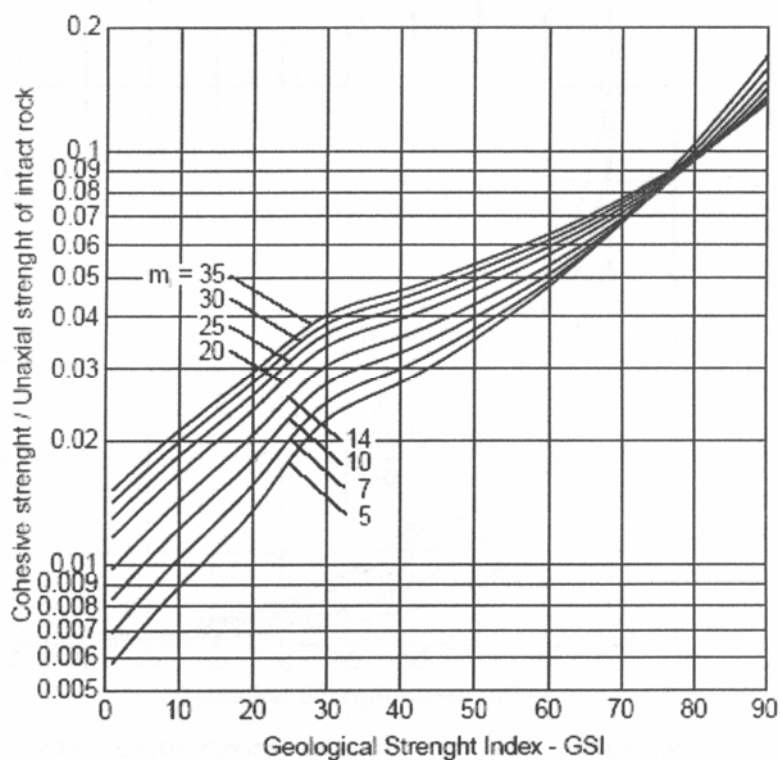
Ανεξάρτητα από παράταξη	
Γωνία κλίσης	Εκτίμηση
0-20°	Δυσμενής
Παράταξη παράλληλη στον άξονα της σήραγγας	
Γωνία κλίσης	Εκτίμηση
45-90°	Πολύ δυσμενής
20-45°	Μέτρια
Παράταξη κάθετη στον άξονα της σήραγγας	
Διάνοιξη σύμφωνα με την κατεύθυνση βύθισης	
Γωνία κλίσης	Εκτίμηση
45-90°	Πολύ ευνοϊκή
20-45°	Ευνοϊκή
Διάνοιξη αντίθετα με την κατεύθυνση βύθισης	
Γωνία κλίσης	Εκτίμηση
45-90°	Μέτρια
20-45°	Δυσμενής

Πίνακας 5 : Εκτίμηση της μονοαξονικής αντοχής ακέραιου πετρώματος στο πεδίο (ISRM, Brown, 1981) (από Χρηστάρα και Χατζηαγγέλου, 2003)

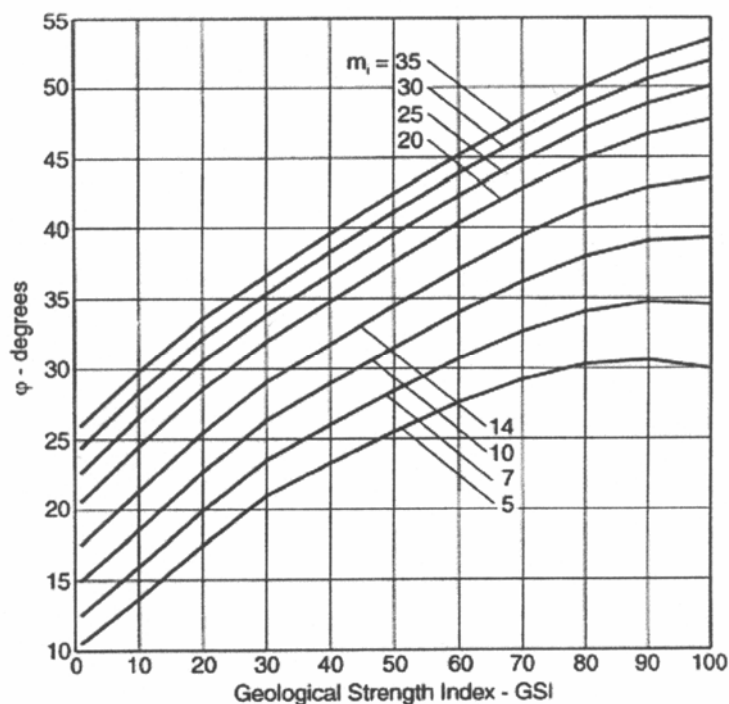
Βαθμός	Χαρακτηρισμός	Μονοαξονική αντοχή(MPa)	Δείκτης Σημειακής φόρτισης(MPa)	Εκτίμηση αντοχής στο πεδίο	Παραδείγματα
R6	Εξαιρετικά σκληρό	1 250	1 10	Τα δείγματα μονο επιφανειακά χαράσσονται με το γεωλογικό σφυρί	Υγιής βασάλτης, διαβάσης, γνεύσιος, γρανίτης, χαλαζίτης
R5	Πολύ σκληρό	100-250	4-10	Χρειάζονται αρκετά κτυπήματα με το γεωλογικό σφυρί για να σπάσουν τα δείγματα	Αμφιβολίτης, ψαμμίτης, βασάλτης, γάββρος, γνεύσιος, γρανοδιორίτης, ασβεστόλιθος, μάρμαρο, ρυόλιθος, υφαιστειακός τόφος
R4	Σκληρό	50-100	2-4	Χρειάζονται πολλά περισσότερα κτυπήματα με το γεωλογικό σφυρί για να σπάσουν τα δείγματα	Ασβεστόλιθος, μάρμαρο, φυλλίτης, ψαμμίτης, σχιστόλιθος
R3	Μέσης σκληρότητας	25-50	1-2	Το δείγμα δεν μπορεί να απολεπηθεί με μαχαίριδιο τσέπης, μπορεί όμως να σπάσει με μια σφυριά.	Αργιλικός σχηματισμός, ιλύολιθος, λιγνίτης, σκυρόδεμα, αργιλικός σχιστόλιθος
R2	Μαλακό	5-25	^b	Μπορεί να απολεπηθεί, δύσκολα, με μαχαίριδιο τσέπης. Σημάδι μικρού βάθους με σταθερό κτύπημα με την αιχμηρή πλευρά του γεωλογικού σφυριού	Κιμωλία, ορυκτό άλας.
R1	Πολύ μαλακό	1-5	^b	Τσαλάκωμα, με σταθερό κτύπημα με το γεωλογικό σφυρί. Μπορεί να απολεπηθεί με μαχαίριδιο τσέπης.	Πολύ αποσπασμένα και διαβρωμένα πετρώματα
R0	Εξαιρετικά μαλακό	0.25-1	^b	Χαράσσεται με τον αντίχειρα	Βαθύ αυλάκι με σκαρπέλο

Πίνακας 6 : Τιμές της σταθεράς m_i ακέραιου πετρώματος κατά κατηγορία πετρωμάτων. Οι τιμές στις παρενθέσεις είναι κατ' εκτίμηση (Hoek, 1983).
(από Χρηστάρα και Χατζηαγγέλου, 2003)

Πέτρολογικός τύπος	Κατηγορία	Ομάδα	Υφή	Μεσόκοκκα	Λεπτόκοκκα	Πολύ λεπτόκοκκα
Ιζηματογενή	Κλαστικά		Κροκαλοπαγή (22)	Ψαμμίτες-19 Γραουβάκης (18)	Πιλόλιθος-19	Συνεκτική άργιλος-4
	Μη κλαστικά οργανικά			Κιμωλία - 7 Άνθρακας (8-21)		
	Ανθρακικά		Τεκτονικό λατυποπαγές (20)	Σπαρτικός ασβεστόλιθος (10)	Μικριτικός ασβεστόλιθος-8	
	Χημικά			Γύψος - 16	Ανυδρίτης -13	
Μεταμορφωμένα	Μη φυλλόμορφα		Μάρμαρο - 9	Κερατόλιθος (19)	Χαλαζίτης - 24	
	Ελαφρά φυλλόμορφα		Μιγματίτης (30)	Αμφιβολίτης 25-31	Μυλονίτης (6)	
	Φυλλόμορφα		Γνείσιος - 33	Σχιστίλιθος 4-8	Ρυόλιθος (10)	Αργιλ. σχιστ. 9
Πυρηγενή	Ανοιχτόχρωμα		Γρανίτης - 33		Ρυόλιθος (16)	Οφιδιανός(19)
			Γρανодиוריτης (30)		Dacite (17)	
			Διορίτης (28)		Ανδεσίτης (19)	
	Σκουρόχρωμα		Γάββρος -27	Dolerite (19)	Basalt (17)	
	Πυροκλαστικοί τύποι		Λατυποπαγές (20)	Τεκτ. Λατυποπ. (18)	Ηφ. Τόφος (15)	



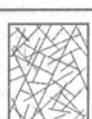
Σχήμα 7 : Διάγραμμα σχέσης συνοχής, σταθεράς m_i και GSI (Hoek and Marinos, 2000). (από Χρηστάρα και Χατζηαγγέλου, 2003)



Σχήμα 8 : Διάγραμμα σχέσης γωνίας εσωτερικής τριβής ϕ , σταθεράς m_i και GSI (Hoek and Marinos, 2000). (από Χρηστάρα και Χατζηαγγέλου, 2003)

GSI ΣΕ ΕΤΕΡΕΓΟΝΕΙΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΕΣ ΟΠΩΣ ΦΛΥΣΧΗΣ (Marinos & Hoek, 2001) Βασίζόμενοι στην περιγραφή της λιθολογικής σύστασης, της δομής και της κατάστασης των ασυνεχειών (κυρίως της στρώσης) της βραχώμαζας επιλέγεται το κατάλληλο πεδίο του πίνακα. Επιλέγεται την θέση στο πεδίο που περιγράφει τις συνθήκες και εκτιμάται τη μέση τιμή του GSI από τις καμπύλες. Το να επιλέξετε ένα εύρος τιμών από 33 ως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι GSI=35. Τονίζεται ιδιαίτερα ότι το κριτήριο Hoek-Brown δεν εφαρμόζεται σε αστάθεις που ελέγχονται από συγκεκριμένες ασυνέχειες και όταν οι ασυνέχειες επιπέδες επιφάνειες (όπως επίπεδα στρώσης) έχουν δυσμενή προσανατολισμό σε σχέση με την εκσκαφή. Τότε οι ασυνέχειες αυτόκαθορίζουν την συμπεριφορά της βραχώμαζας. Σε περίπτωση που υπάρχει νερό μία ελαφριά μετακίνηση προς τα δεξιά συνίσταται, λόγω υποβάθμισης της συνστάσεως των ασυνεχειών με ιλυολιθικό-αργιλικό υλικό. Η υδροστατική πίεση λαμβάνεται υπ' όψη με την ανάλυση των ενεργών τάσεων.		ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ (κυρίως επίπεδα στρώσης)		ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ (κυρίως επίπεδα στρώσης)		ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ (κυρίως επίπεδα στρώσης)		ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ (κυρίως επίπεδα στρώσης)		ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ (κυρίως επίπεδα στρώσης)	
ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΔΟΜΗ		ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχείες, μη αποσβεσμένες επιφάνειες		ΚΑΛΗ Τραχείες, ελαφρά αποσβεσμένες επιφάνειες		ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσβεσμένες και εγγεγραμμένες επιφάνειες		ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Πολύ λείες, ενίοτε επιφανείες ολίσθησης με συμπαγή επιφύλαξη ή υλικό πλήρωσης με γενική θραύση		ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Πολύ λείες επιφανείες ολίσθησης, πολύ αποσβεσμένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης	
ΤΥΠΟΣ Α. Παχυστρωματώδης, μερικώς διαταραγμένος ψαμμίτης. Η επιρροή πολύ λεπτών πηλίκων ενστρώσεων είναι περιορισμένη. Σε βαθύς σήραγγες ή πρηνή αν ο μηχανισμός αστάθειας λόγω ελλειψής πλευρικού παραμορφισμού (χαλαρή δομή) έχει κινηματικό χαρακτήρα που ελέγχεται από τα επίπεδα στρώσης και τότε δεν εφαρμόζεται ο δείκτης GSI.		ΤΥΠΟΣ Β. Ψαμμίτης με λεπτές ενστρώσεις ιλυολίθου		ΤΥΠΟΣ Γ. Ψαμμίτης και ιλυόλιθος σε κανονική αναλογία		ΤΥΠΟΣ Δ. Ιλυόλιθος ή ιλυολιθικός σχιστόλιθος με στρώσεων του ψαμμίτη		ΤΥΠΟΣ Ε. Ασθενής ιλυόλιθος ή αργιλικός σχιστόλιθος με στρώσεις ψαμμίτη		ΤΥΠΟΣ ΣΤ. Τεκτονικώς παραμορφωμένος, διατηρημένος αργ. σχιστόλιθος ή ιλυόλιθος με κερματισμένα και παραμορφωμένα στρώματα ψαμμίτη σε χαοτική δομή	
ΤΥΠΟΣ Ζ. Πρακτικά αδιατάρακτος ιλυολιθικός ή αργιλικός σχιστόλιθος με ή χωρίς την παρουσία πολύ λεπτών ενστρώσεων ψαμμίτη		ΤΥΠΟΣ Η. Τεκτονικώς διατηρημένος αργιλικός σχιστόλιθος σε χαοτική δομή με θύλακες αργίλου. Λεπτά στρώματα έχουν μετατραπεί σε πολύ μικρά βραχώδη τεμάχια		ΤΥΠΟΣ Θ. Τεκτονικώς διατηρημένος αργιλικός σχιστόλιθος σε χαοτική δομή με θύλακες αργίλου. Λεπτά στρώματα έχουν μετατραπεί σε πολύ μικρά βραχώδη τεμάχια		ΤΥΠΟΣ Ι. Τεκτονικώς διατηρημένος αργιλικός σχιστόλιθος σε χαοτική δομή με θύλακες αργίλου. Λεπτά στρώματα έχουν μετατραπεί σε πολύ μικρά βραχώδη τεμάχια		ΤΥΠΟΣ Κ. Τεκτονικώς διατηρημένος αργιλικός σχιστόλιθος σε χαοτική δομή με θύλακες αργίλου. Λεπτά στρώματα έχουν μετατραπεί σε πολύ μικρά βραχώδη τεμάχια		ΤΥΠΟΣ Λ. Τεκτονικώς διατηρημένος αργιλικός σχιστόλιθος σε χαοτική δομή με θύλακες αργίλου. Λεπτά στρώματα έχουν μετατραπεί σε πολύ μικρά βραχώδη τεμάχια	

Σχήμα 9 : Εκτίμηση του Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής (GSI) για ετερογενείς βραχώμαζες όπως φλύσχης, αλλά και φυλλίτες – χαλαζίτες, αργιλικούς σχιστολίθους (Marinos & Hoek, 2001).

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

Σχήμα 10 : Βασικό διάγραμμα του Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής GSI (Hoek and Marinos, 2000).

Παρακάτω παρουσιάζονται τα στοιχεία της βραχώμαζας που καταγράφηκαν και αξιολογήθηκαν βάσει των στοιχείων υπαίθρου που βρέθηκαν και αφορούν την περιοχή, της βιβλιογραφίας συνοπτικά και από τις δύο ταξινομήσεις ανά σχηματισμό.

7.2 Γάββρος

- ◆ Υψηλή μονοαξονική αντοχή $\sigma_{ci} = 100-250 \text{ Mpa}$
- ◆ Περίπου 10-15 ασυνέχειες ανά m^3 μέτριο-καλό RQD = 65-82 %
- ◆ Μέτρια απόσταση ασυνεχειών 20-35 cm
- ◆ Μέση ορατή ανάπτυξη των ασυνεχειών 3-5 m
- ◆ Κλειστές έως ανοιχτές ασυνέχειες $< 0,1-5 \text{ mm}$ (κυρίως όμως μέτρια ανοιχτές 0,1-1,0 mm)
- ◆ Ελαφρώς τραχείες επιφάνειες των ασυνεχειών
- ◆ Ασυνέχειες $< 5 \text{ mm}$ με σκληρό ή χωρίς υλικό πλήρωσης
- ◆ Ελαφρώς αποσθρωμένο πέτρωμα στις παρειές των ασυνεχειών
- ◆ Υπόθεση για στεγνή – ύφυγρη κατάσταση των ασυνεχειών
- ◆ Προσανατολισμός ασυνεχειών γενικά σύμφωνα με την κατανομή δυσμενής
- ◆ Εκτίμηση βαθμού RMR 45-69
- ◆ Μέτρια κυρίως έως ελαφρώς καλή ποιότητα της βραχώμαζας
- ◆ Καλή ποιότητα της επιφάνειας των ασυνεχειών
- ◆ Blocky δομή
- ◆ Εκτίμηση GSI = 60 – 70
- ◆ $m_i = 27$ (γάββρος)
- ◆ γωνία εσωτερικής τριβής $\varphi = 43^\circ-45^\circ$
- ◆ συνοχή $c = 5-15 \text{ MPa}$

7.3 Γνεύσιος Χορτιάτη

- ◆ Υψηλή μονοαξονική αντοχή $\sigma_{ci} = 100-250 \text{ Mpa}$

- ◆ Περίπου 6-16 ασυνέχειες ανά m^3 μέτριο αλλά κυρίως καλό RQD = 60-90 %
- ◆ Μέτρια έως πυκνή η μέση απόσταση των ασυνεχειών 50 cm (30-200 cm)
- ◆ Λίγη έως μέτρια η ορατή ανάπτυξη των ασυνεχειών (1-10 m)
- ◆ Κλειστές έως ανοιχτές ασυνέχειες <0,1-5 mm (κυρίως όμως μέτρια ανοιχτές 0,1-1,0 mm)
- ◆ Ελαφρώς τραχείες έως τραχείες οι επιφάνειες των ασυνεχειών
- ◆ Ασυνέχειες < 5 mm με σκληρό ή χωρίς υλικό πλήρωσης
- ◆ Ελαφρώς αποσαθρωμένο πέτρωμα στις παρειές των ασυνεχειών
- ◆ Υπόθεση για στεγνή – ύφυγη κατάσταση των ασυνεχειών
- ◆ Προσανατολισμός ασυνεχειών γενικά σύμφωνα με την κατανομή μέτριος
- ◆ Καλή έως μέτρια η ποιότητα της επιφάνειας των ασυνεχειών
- ◆ Εκτίμηση βαθμού RMR 49-73
- ◆ Μέτρια έως καλή η ποιότητα της βραχόμαζας
- ◆ Blocky έως Very Blocky δομή
- ◆ Εκτίμηση GSI = 50 – 70
- ◆ $m_i = 33$ (γνεύσιος)
- ◆ γωνία εσωτερικής τριβής $\phi = 41^\circ$ - 47°
- ◆ συνοχή $c = 5,3$ -18 MPa

7.4 Υπερβασικά

Στο σχηματισμό αυτό η βραχόμαζα παρουσιάζεται γενικά αρκετά υγιής. Σε δύο σημεία όπου παρατηρήθηκαν και καταγράφηκαν δύο ρήγματα F με διεύθυνση και γωνία κλίσης $100^\circ/45^\circ$ και $345^\circ/40^\circ$. Επίσης σε μία άλλη μεγάλη εμφάνιση του σχηματισμού παρατηρήθηκε και καταγράφηκε βραχόμαζα με πτωχή ποιότητα (20-25 ασυνέχειες ανά m^3 με χαμηλό RQD = 30-50 %) και μεγάλες διακλάσεις J και ρήγματα F. Τα στοιχεία γενικά που καταγράφηκαν είναι :

- ◆ Υψηλή μονοαξονική αντοχή $\sigma_{ci} = 100$ -250 Mpa

- ♦ Περίπου 10-15 ασυνέχειες ανά m^3 με μέτριο-καλό RQD = 65-82 % στα σημεία υγιούς βραχόμαζας και περίπου 20-25 ασυνέχειες ανά m^3 με χαμηλό RQD = 35-50 % στα σημεία έντονα ρηγματωμένης βραχόμαζας
- ♦ Μέτρια η μέση απόσταση των ασυνεχειών στα σημεία της υγιούς βραχόμαζας (30-50 cm) και πυκνή έως πολύ πυκνή στα σημεία έντονα ρηγματωμένης βραχόμαζας (<15 cm)
- ♦ Μέτρια ανοιχτές έως ανοιχτές οι ασυνέχειες (0,1-5 mm)
- ♦ Ασυνέχειες < 5 mm με σκληρό ή χωρίς υλικό πλήρωσης
- ♦ Ελαφρώς τραχείες-τραχείες οι επιφάνειες των ασυνεχειών
- ♦ Ελαφρώς αποσαθρωμένο πέτρωμα στις παρειές των ασυνεχειών
- ♦ Υπόθεση για στεγνή – ύφυγρη κατάσταση των ασυνεχειών
- ♦ Προσανατολισμός ασυνεχειών γενικά σύμφωνα με την κατανομή μέτριος
- ♦ Εκτίμηση βαθμού RMR 50-60 στα υγιή τμήματα και 35-45 στα ρηγματωμένα
- ♦ Γενικώς μέτρια η ποιότητα της βραχόμαζας έως ελαφρώς πτωχή σε μερικά σημεία
- ♦ Καλή έως μέτρια η ποιότητα της επιφάνειας των ασυνεχειών
- ♦ Blocky έως Very Blocky δομή στα σημεία υγιούς βραχόμαζας και Very Blocky έως Disturbed στα σημεία έντονης ρηγμάτωσης
- ♦ Εκτίμηση GSI = 55 – 56 στα υγιή και 38 – 45 στα έντονα ρηγματωμένα σημεία
- ♦ $m_i = 27$ (όπως στο γάββρο)
- ♦ γωνία εσωτερικής τριβής $\phi = 41^\circ$ - 45° στα υγιή και 36° - 40° στα έντονα ρηγματωμένα
- ♦ συνοχή $c = 5,5$ -17 Mpa

7.5 Ανακρυσταλλωμένος ασβεστόλιθος

Στο σχηματισμό αυτό δεν κατέστη δυνατό λόγω του δύσβατου της περιοχής να καταγραφούν και να αξιολογηθούν γεωτεχνικά στοιχεία για τη βραχόμαζά του. Η βιβλιογραφία αναφέρει για συμπαγή μαζώδη ασβεστόλιθο,

όμως μπορεί σε κάποια σημεία να εμφανίζεται καρστικοποιημένος. Αυτό συνεπάγεται και πτωχή ποιότητα βραχόμαζας και σημαντική παρουσία υπόγειου νερού και ροών. Το μόνο που είναι δυνατό να γίνει είναι εκτίμηση δυνητικών ολισθήσεων και καταπτώσεων λαμβάνοντας υπόψη τη συνολική τεκτονική της περιοχής.

7.6 Αργιλικοί σχιστόλιθοι – μεταπηλίτες –κερατόλιθοι

- ◆ Μέση μονοαξονική αντοχή $\sigma_{ci} = 50-100 \text{ Mpa}$
- ◆ Περίπου 10-20 ασυνέχειες ανά m^3 με μέτριο κατά βάση RQD = 50-80 %
- ◆ Πυκνή μέση απόσταση των ασυνεχειών (μ.ο 15 cm)
- ◆ Λίγη η ορατή ανάπτυξη των ασυνεχειών (1-3 m)
- ◆ Μέτρια ανοιχτές έως ανοιχτές οι ασυνέχειες (0,1-5 mm)
- ◆ Ελαφρώς τραχείες οι επιφάνειες των ασυνεχειών
- ◆ Ασυνέχειες $< 5 \text{ mm}$ με σκληρό ή χωρίς υλικό πλήρωσης
- ◆ Μέτρια αποσθρωμένο πέτρωμα στις παρειές των ασυνεχειών
- ◆ Υπόθεση για στεγνή – ύφυγρη κατάσταση των ασυνεχειών
- ◆ Προσανατολισμός ασυνεχειών γενικά σύμφωνα με την κατανομή δυσμενής
- ◆ Εκτίμηση βαθμού RMR 40-45
- ◆ Μέτρια η ποιότητα της βραχόμαζας
- ◆ Ο GSI όπως προέκυψε από το διάγραμμα για ετερογενείς βραχόμαζες εκτιμήθηκε 20 – 25
- ◆ $m_i = 9$ (αργιλικός σχιστόλιθος)
- ◆ γωνία εσωτερικής τριβής $\varphi = 22^\circ-23^\circ$
- ◆ συνοχή $c = 0,9-2,2 \text{ MPa}$

7.7 Γνεύσιος Σερβομακεδονικής

- ◆ Υψηλή μονοαξονική αντοχή $\sigma_{ci} = 100-250 \text{ Mpa}$
- ◆ Περίπου 5-10 ασυνέχειες ανά m^3 με καλό RDD = 80-90 %
- ◆ Μέτρια η μέση απόσταση των ασυνεχειών (30-50 cm)

- ◆ Ασυνέχειες κλειστές έως μέτρια ανοιχτές ($<0,1-1,0$ mm)
- ◆ Λίγη έως μέση η ορατή ανάπτυξη των ασυνεχειών (1-5 m)
- ◆ Τραχείες οι επιφάνειες των ασυνεχειών
- ◆ Ασυνέχειες < 5 mm με σκληρό ή χωρίς υλικό πλήρωσης
- ◆ Ελαφρώς αποσαθρωμένο πέτρωμα στις παρειές των ασυνεχειών
- ◆ Υπόθεση για στεγνή – ύφυγρη κατάσταση των ασυνεχειών
- ◆ Προσανατολισμός ασυνεχειών γενικά σύμφωνα με την κατανομή δυσμενής
- ◆ Εκτίμηση βαθμού RMR 55-65
- ◆ Μέτρια έως καλή η ποιότητα της βραχόμαζας
- ◆ Καλή η ποιότητα της επιφάνειας των ασυνεχειών
- ◆ Blocky έως ελαφρώς very blocky η δομή
- ◆ Εκτίμηση GSI = 55 – 65
- ◆ $m_i = 33$ (γνεύσιος)
- ◆ Γωνία εσωτερικής τριβής $\phi = 43^\circ-46^\circ$
- ◆ Συνοχή $c = 5,6 - 17,5$ Mpa

7.8 Χαλαζίτες – Φυλλίτες

- ◆ Μέση μονοαξονική αντοχή $\sigma_{ci} = 50-100$ Mpa
- ◆ Περίπου 7-20 ασυνέχειες ανά m^3 με μέτριο έως καλό RQD = 50-90 %
- ◆ Μέτρια έως πυκνή η απόσταση των διακλάσεων (5-50 cm)
- ◆ Λίγη έως μέση η ορατή ανάπτυξη των ασυνεχειών (1-5 m)
- ◆ Κλειστές έως ανοιχτές ασυνέχειες $<0,1-5$ mm (κυρίως όμως μέτρια ανοιχτές 0,1-1,0 mm)
- ◆ Ελαφρώς τραχείες οι επιφάνειες των ασυνεχειών
- ◆ Ασυνέχειες < 5 mm με σκληρό ή χωρίς υλικό πλήρωσης
- ◆ Ελαφρώς έως μέτρια αποσαθρωμένο πέτρωμα στις παρειές των ασυνεχειών
- ◆ Υπόθεση για στεγνή – ύφυγρη κατάσταση των ασυνεχειών

- ◆ Προσανατολισμός ασυνεχειών γενικά σύμφωνα με την κατανομή δυσμενής
- ◆ Εκτίμηση βαθμού RMR 41-59
- ◆ Μέτρια ποιότητα της βραχόμαζας
- ◆ Ο GSI όπως προέκυψε από το διάγραμμα για ετερογενείς βραχόμαζες εκτιμήθηκε 30 – 40
- ◆ $m_i = 24$ (χαλαζίτης)
- ◆ Γωνία εσωτερικής τριβής $\phi = 33^\circ$ - 36°
- ◆ Συνοχή $c = 1,8 - 4,2$ Mpa

Από τα παραπάνω καταγεγραμμένα και αξιολογημένα στοιχεία προκύπτει γενικά το συμπέρασμα ότι η ποιότητα της βραχόμαζας είναι μέτρια στα περισσότερα σημεία και καλή ή πτωχή σε κάποια.

Ιδιαίτερη αναφορά οφείλει να γίνει σε δύο περιοχές. Η πρώτη είναι η περιοχή του ορίου (το οποίο είναι εφίπνευση) του γάββρου με το γνεύσιο του Χορτιάτη. Πρόκειται για μια περιοχή μικρής έκτασης πάχους ορατού περίπου 20 – 30 m όπου το πέτρωμα (μάλλον πρόκειται για γνεύσιο ή πολύ πιθανό ζώνη μυλωνίτη) είναι θρυμματισμένο, πολύ αποσαθρωμένο στην επιφάνεια, με πολύ έντονη φυλλώδη δομή με πολύ πτωχή ποιότητα.

Η δεύτερη είναι σχεδόν το σύνολο των υπερβασικών. Η περιοχή βρίσκεται εγγύς δύο σχετικά μεγάλων κανονικών ρηγμάτων καταγεγραμμένων και χαρτογραφημένων και στο γεωλογικό και στο νεοτεκτονικό χάρτη. Οπότε πρόκειται πιθανόν για μια ζώνη έντονα ρηγματωμένη, πιθανόν και κατακλαστίτη, όπως θα ήταν λογικό να αναμένεται, όπου η βραχόμαζα είναι κερματισμένη με πτωχή ποιότητα.

Και οι δύο περιοχές χρήζουν μεγάλης προσοχής και διαχείρισης και κατά την πιο λεπτομερή οριστική και τελική μελέτη και πιθανόν κατά την εκσκαφή.

8. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

8.1 Γενικά – Μεθοδολογία

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει προσπάθεια να εντοπιστούν και να παρουσιαστούν τα κύρια συστήματα ασυνεχειών που επηρεάζουν και επιβαρύνουν τεκτονικά την περιοχή μελέτης. Επίσης θα πραγματοποιηθεί κινηματική ανάλυση στο δίκτυο Schmidt βάση των συστημάτων των ασυνεχειών που εντοπίστηκαν και η οποία θα αξιολογηθεί ως προς τις συνθήκες ευστάθειας των πρανών (δυνητικές επίπεδες ή σφηνοειδείς ολισθήσεις και ανατροπές) στα σημεία εισόδου και εξόδου της σήραγγας.

Ο απώτερος σκοπός είναι να δοθεί μία πρώτη άποψη ως και να διαμορφωθεί μία πρώτη αλλά σαφής εικόνα ως προς την γενικότερη κινηματική κατάσταση της βραχώμαζας. Μία αναλυτική συλλογή τεκτονικών μετρήσεων στο ύπαιθρο δεν κατέστη δυνατό να πραγματοποιηθεί, της οποίας η επεξεργασία και αξιολόγηση θα επέτρεπε μία πιο ολοκληρωμένη και λεπτομερή αποτύπωση της κινηματικής κατάστασης της βραχώμαζας και εντοπισμό συγκεκριμένων θέσεων αστάθειας του πρανού.

Σύμφωνα με τη θεωρία οι δυνητικές καταπτώσεις βράχων από την οροφή της σήραγγας αναμένονται όταν υπάρχουν τρία ή και περισσότερα συστήματα ασυνεχειών. Στην περίπτωση αυτή όταν το κέντρο του κύκλου Schmidt (κατακόρυφος άξονας κάθετος στο δάπεδο της σήραγγας) βρίσκεται εντός του πεδίου που δημιουργείται και περικλείεται από αυτά τα συστήματα ασυνεχειών τότε αναμένεται κατάπτωση βραχοσφήνας από την οροφή.

Όσον αφορά τα κάθετα-κατακόρυφα τοιχώματα της σήραγγας εκεί η μεθοδολογία δυνητικών ολισθήσεων είναι όπως και στα πρνή, μόνο που εδώ πρόκειται για κατακόρυφο πρνή. Έτσι, κατασκευάζεται κώνος τριβής με κέντρο το κέντρο του κύκλου Schmidt και άνοιγμα γωνίας θ ίση με τη συμπληρωματική της γωνίας εσωτερικής τριβής ϕ ($\theta = 90 - \phi$) ο οποίος

αποτελεί ουσιαστικά και το αντίστοιχο πεδίο ολίσθησης είτε επίπεδης είτε σφηνοειδούς. Να σημειωθεί ότι η γωνία εσωτερικής τριβής(ϕ) που χρησιμοποιήθηκε στα διαγράμματα και την κινηματική ανάλυση είναι η μέση τιμή των τιμών που εκτιμήθηκαν ανά σχηματισμό στο παραπάνω κεφάλαιο κατά τις γεωτεχνικές ταξινομήσεις βραχώμαζας. Οπότε όταν οι πόλοι των επιπέδων των συστημάτων ασυνεχειών (για επίπεδες ολισθήσεις) και οι τομές των επιπέδων των συστημάτων ασυνεχειών (για σφηνοειδείς ολισθήσεις) βρίσκονται εντός του κώνου (πεδίου ολίσθησης) τότε αναμένεται ολίσθηση είτε κατά επίπεδο είτε στην τομή των επιπέδων ως βραχοσφήνα.

8.2 Συστήματα Ασυνεχειών

Έπειτα από σχολαστική παρατήρηση, μελέτη και αξιολόγηση του φύλλου Θέρμη του Γεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ σε κλίμακα 1:50000 όπως επίσης και του νεοτεκτονικού χάρτη του φύλλου Λαγκαδά σε κλίμακα 1:100000, εντοπίστηκαν τρία κύρια συστήματα ασυνεχειών τα οποία αφορούν και επηρεάζουν την ευρύτερη περιοχή που αναμένεται να περνάει η μελλοντική σήραγγα.

Συγκεκριμένα το πρώτο σύστημα ασυνεχειών στην περιοχή ακολουθεί την σχιστότητα που παρατηρείται στους σχηματισμούς γι αυτό και θα ονομάσουμε S. Εμφανίζεται με στοιχεία διεύθυνση κλίσης και γωνία κλίσης κατά προσέγγιση 40/50 αντίστοιχα.

Η σχιστότητα παρουσιάζεται με τις ίδιες διευθύνσεις και γωνίες κλίσεως χωρίς αξιοσημείωτες αποκλίσεις σε όλους τους σχηματισμούς πετρωμάτων (γενέσιους, σχιστόλιθους, υπερβασικά πετρώματα), για αυτό και λαμβάνουμε κατά μέσο όρο τις ίδιες τιμές για όλη την περιοχή ενδιαφέροντος.

Το δεύτερο σύστημα ασυνεχειών εμφανίζεται παράλληλα με την πρώτη κύρια ομάδα κανονικών ρηγμάτων στην περιοχή και την ονομάζουμε J₁. Παρουσιάζεται με στοιχεία διεύθυνση και γωνία κλίσης κατά προσέγγιση 325/70 αντίστοιχα. Η γωνία κλίσης όπως βλέπουμε έχει μεγάλη τιμή, πράγμα αναμενόμενο για κανονικό ρήγμα.

Το τρίτο σύστημα ασυνεχειών ονομάζουμε J₂ και συμπίπτει με την δεύτερη ομάδα κανονικών ρηγμάτων στην περιοχή. Εμφανίζεται με στοιχεία διεύθυνση και γωνία κλίσης προσεγγιστικά 145/70 αντίστοιχα, επίσης με μεγάλη γωνία κλίσης (κανονικά ρήματα).

Επίσης θα πρέπει να σημειωθεί ότι εντοπίστηκε και μία τέταρτη ομάδα ασυνεχειών που συμπίπτει με την τρίτη ομάδα κανονικών ρηγμάτων που εμφανίζεται στην περιοχή, διεύθυνσης B-N η οποία όμως θεωρήθηκε δευτερεύουσας σημασίας σε σχέση με τις κύριες ομάδες ασυνεχειών S, J₁, J₂, γι αυτό και δεν λαμβάνεται υπ' όψιν.

Τέλος είναι καλό να αναφερθεί η παρουσία ανάστροφων ρηγμάτων κατά μήκος του άξονα χάραξης της σήραγγας και συγκεκριμένα εφφιπεύσεις με διεύθυνση κλίσης ΒΑ. Τα ανάστροφα ρήγματα συνήθως συνοδεύονται από ζώνες μυλωνίτη στα όρια των σχηματισμών και κατά μήκος αυτών των ρηγμάτων. Τέτοιες ζώνες παρουσιάζουν μεγάλη αστάθεια κατά την εκσκαφή αλλά και μετά λόγω του έντονου κατακερματισμού της βραχώμαζας στα σημεία αυτά. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν μέθοδοι ώστε να επιτευχθεί σταθεροποίηση όπως εκτόξευση σκυροδέματος, τοποθέτηση διατάξεων υποστήριξης κ.ά.

Συνοψίζοντας, τα τρία κύρια συστήματα ασυνεχειών εμφανίζονται, το ένα με διεύθυνση κλίσης προς τα ΒΑ (σχιστότητα) και τα άλλα δύο έχοντας την ίδια σχεδόν παράταξη και αντίθετες διευθύνσεις, η μία προς τα ΒΔ και άλλη προς τα ΝΑ με μεγάλες γωνίες κλίσης και τα δύο.

8.3 Δίκτυο Schmidt – Τεκτονικά Διαγράμματα

Γενικά

Οι περιπτώσεις αστάθειας που προκύπτουν σε τεχνητά πρανή που διανοίγονται σε βραχώδες υπόβαθρο σχετίζονται, σχεδόν αποκλειστικά, με τεκτονικά ελεγχόμενες αστοχίες (αστοχίες λόγω της παρουσίας ασυνεχειών στη βραχώμαζα) και πρέπει να εξετάζονται στα πλαίσια κάθε τεχνικογεωλογικής – γεωτεχνικής μελέτης πριν από την κατασκευή του έργου. Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζονται αστοχίες που προκύπτουν με τη μορφή ολίσθησης βραχωδών τεμαχίων και αφορούν α) επίπεδη αστοχία (ολίσθηση κατά μήκος μιας επιφάνειας ασυνέχειας που ‘‘ανατέλλει’’ στην επιφάνεια του τεχνητού πρανούς) β) αστοχία βραχώδους σφήνας ή βραχοσφήνας (ολίσθηση κατά μήκος της τομής δύο επιφανειών ασυνέχειας που ‘‘ανατέλλει’’ στην επιφάνεια του τεχνητού πρανούς) γ) συνδυασμός ή παραλλαγές των δύο παραπάνω κυρίων περιπτώσεων.

Για την επίλυση των προβλημάτων αυτών λαμβάνονται υπόψη τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της βραχώμαζας (είδος πετρώματος, κατάσταση αποσάθρωσης κ.ά.) και των ασυνεχειών (είδος, μορφή και προσανατολισμός στο χώρο), καθώς και οι παράμετροι που καθορίζουν τη μηχανική τους συμπεριφορά (φυσικές ιδιότητες συνοχή c , γωνία τριβής ϕ , αντοχή, παρουσία νερού κ.ά.).

Όλα τα θέματα που αφορούν την ευστάθεια βραχωδών πρανών λύνονται παρακάτω γραφικά με τοποθέτηση επιπέδων στο δίκτυο Schmidt.

Έχουμε λοιπόν τρία κύρια συστήματα ασυνεχειών:

- ο Το S με στοιχεία 40/50
- ο Το J₁ με στοιχεία 325/70 και
- ο Το J₂ με στοιχεία 145/70.

Θεωρώ ότι τα τρία αυτά συστήματα εμφανίζονται σε κάθε σχηματισμό με τις ίδιες τιμές παρουσιάζοντας πολύ μικρές αποκλίσεις οπότε μπορώ να τις

χρησιμοποιήσω ενιαία για όλη την περιοχή μελέτης και κάθε σχηματισμό γενικεύοντας τα συμπεράσματα στο τέλος.

Επίσης θα χρησιμοποιήσω τρεις διαφορετικές τιμές για την γωνία εσωτερικής τριβής ϕ οι οποίες είναι οι μέσες τιμές των τιμών που εκτιμήθηκαν ανά σχηματισμό στο κεφάλαιο κατά τις γεωτεχνικές ταξινομήσεις βραχώμαζας.

Είναι:

- $\phi_1=24^0$ για τους σχιστόλιθους , αργιλικούς μεταπηλίτες , κερατολίθους,
- $\phi_2=34^0$ για τους χαλαζίτες , φυλλίτες , υπερβασικά(έντονα ρηγματωμένα),
- $\phi_3=44^0$ για τους γάββρους , γνεύσιους του Χορτιάτη, γνεύσιους της Σερβομακεδονικής, υπερβασικά(υγιή).

Θα κατασκευάσω έτσι τρία διαγράμματα στο δίκτυο Schmidt, περνώντας στο κάθε ένα τα κύρια συστήματα ασυνεχειών ενώ θα λάβω υπόψη κάθε φορά αντίστοιχα τις γωνίες εσωτερικής τριβής ϕ_1 , ϕ_2 , ϕ_3 .

Σχήμα 11. Διάγραμμα Schmidt συστημάτων ασυνεχειών S , J_1 , J_2 με γωνία εσωτερικής τριβής $\phi_1=24^\circ$.

Όπου: $S\pi$ ο πόλος του επιπέδου S , $J_1\pi$ ο πόλος του επιπέδου J_1 , $J_2\pi$ ο πόλος του επιπέδου J_2 , Isj_1 η τομή των επιπέδων S & J_1 , Isj_2 η τομή των επιπέδων S & J_2 .

Σχήμα 12. Διάγραμμα Schmidt συστημάτων ασυνεχειών S , J_1 , J_2 με γωνία εσωτερικής τριβής $\varphi_2=34^\circ$.

Όπου: S π ο πόλος του επιπέδου S , J_1 π ο πόλος του επιπέδου J_1 , J_2 π ο πόλος του επιπέδου J_2 , Isj_1 η τομή των επιπέδων S & J_1 , Isj_2 η τομή των επιπέδων S & J_2 .

Σχήμα 13. Διάγραμμα Schmidt συστημάτων ασυνεχειών S , J_1 , J_2 με γωνία εσωτερικής τριβής $\varphi_3=44^\circ$.

Όπου: S π ο πόλος του επιπέδου S , J_1 π ο πόλος του επιπέδου J_1 , J_2 π ο πόλος του επιπέδου J_2 , Isj_1 η τομή των επιπέδων S & J_1 , Isj_2 η τομή των επιπέδων S & J_2 .

8.4 Τεκτονικές Συνθήκες - Κινηματική ανάλυση

Συμπερασματικά, σχεδόν σε όλους τους σχηματισμούς εμφανίζονται τρία κύρια συστήματα ασυνεχειών. Αυτά είναι η σχιστότητα με διεύθυνση ΒΑ και σχετικά μεγάλη γωνία κλίσης (10° - 50° / 40° - 80°) και τα δύο συστήματα διακλάσεων με διεύθυνση ΒΔ (290° - 330° / 50° - 85°) και ΝΑ (110° - 150° / 50° / 85°) και σχετικά μεγάλες γωνίες κλίσης. Έτσι, όπως διαπιστώνουμε και από την ανάλυση στο δίκτυο Schmidt, εξαιτίας των τριών παραπάνω συστημάτων, αναμένονται σημαντικές δυνητικές καταπτώσεις από την οροφή βραχοσφηνών, ενώ στα τοιχώματα αναμένονται λίγες σχετικά δυνητικές επίπεδες ολισθήσεις μόνο κατά τα S- επίπεδα όταν η γωνία κλίσης τους είναι σχετικά μικρή. Η σχιστότητα με κάθε ένα από τα δύο συστήματα διακλάσεων ξεχωριστά αναμένεται να προκαλέσει δυνητική ολίσθηση βραχοσφηνών. Κάποιες επιπλέον δυνητικές καταπτώσεις ή ολισθήσεις αναμένονται στα υπερβασικά λόγω της παρουσίας περισσότερες κύριων συστημάτων.

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Γενικεύοντας τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα παραπάνω είναι τα εξής :

- ▶ Οι κλίση του αναγλύφου είναι πολύ ομαλή εγγύς του αεροδρομίου μέχρι το Τριάδι και στην περιοχή των λιμνών (1% - 5%). Η κλίση είναι έντονη από το Τριάδι, στο Χορτιάτη και μέχρι το Αρδαμέρι (8% - 20%).
- ▶ Σύμφωνα με τη γεωμορφολογία, τη γεωλογία και την τεκτονική της ευρύτερης περιοχής η μελλοντική σήραγγα θα ξεκινάει 3 km ΒΑ του Τριαδίου και θα καταλήγει 2 km ΒΔ του Αρδαμερίου σε απόλυτο υψόμετρο περίπου 400 m και στα δύο σημεία.
- ▶ Η μελλοντική σήραγγα αναμένεται να έχει μήκος 8,5 – 9 km και διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ (60°-240°).
- ▶ Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που υφίστανται στην περιοχή της σήραγγας είναι οφειόλιθοι της σειράς Λαναρίου (γάββροι, δουνίτες και περιδοτίτες), σχιστώδεις γνεύσιοι, επιγνεύσιοι και πρασινοσχιστόλιθοι της μαγματικής σειράς του Χορτιάτη, αργιλικοί σχιστόλιθοι – μεταπηλίτες – κερατόλιθοι, ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι και φυλλίτες – χαλαζίτες της Περιοδοπικής και τέλος ο διμαρμαρυγιακός γνεύσιος της σειράς Βερτίσκου της Σερβομακεδονικής.
- ▶ Στην περιοχή υπάρχουν και ανάστροφα ρήγματα – εφιπτεύσεις που αποτελούν και όρια των σχηματισμών με διεύθυνση κλίσης προς τα ΒΑ και μέτριες γωνίες κλίσεις (50°) και κανονικά με διευθύνσεις ΒΑ, ΒΔ και ΝΑ με μεγάλες γωνίες κλίσης (60°-85°).
- ▶ Η κλίση γενικά των σχηματισμών και η σχιστότητα όπου υπάρχει έχει διεύθυνση προς τα ΒΑ με γωνίες κλίσης 45°-80°.
- ▶ Οι σχηματισμοί είναι βραχώδεις, ρωγμώδεις, με χαμηλή έως πολύ χαμηλή διαπερατότητα $\kappa = 10^{-5} - 10^{-9}$.

► Έγινε υπόθεση ότι δεν αναμένεται υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας πάνω από το απόλυτο υψόμετρο των +400 m και αναμένονται μόνο μικρές ροές εάν υπάρχουν διαμέσου των ασυνεχειών από το νερό των βροχοπτώσεων.

► Η περιοχή θεωρείται μέτρια σεισμική με δύο μεγάλα σεισμικά ρήγματα που μπορεί να δώσουν μεγάλους σεισμούς με μέγεθος $M > 6.0$, της Γερακαρούς και των Βασιλικών.

► Σύμφωνα με τις ταξινομήσεις βραχόμαζας κατά RMR και κατά GSI η ποιότητα της βραχόμαζας εκτιμάται κυρίως ως μέτρια. Σε δύο περιοχές παρατηρείται έντονα ρηγματωμένα και κερματισμένα βραχόμαζα με πτωχή ποιότητα, η μία είναι το όριο γάββρου-γνευσίου Χορτιάτη (εφίππευση) και η άλλη είναι σχεδόν όλη η περιοχή (μάζα) του σχηματισμού των υπερβασικών.

► Σχεδόν σε όλους τους σχηματισμούς εμφανίζονται τρία κύρια συστήματα ασυνεχειών. Αυτά είναι η σχιστότητα με διεύθυνση ΒΑ και σχετικά μεγάλη γωνία κλίσης (10° - 50° / 40° - 80°) και τα δύο συστήματα διακλάσεων με διεύθυνση ΒΔ (290° - 330° / 50° - 85°) και ΝΑ (110° - 150° / 50° / 85°) και σχετικά μεγάλες γωνίες κλίσης. Έτσι, εξαιτίας των τριών παραπάνω συστημάτων, αναμένονται σημαντικές δυνητικές καταπτώσεις από της οροφή βραχοσφηνών, ενώ στα τοιχώματα αναμένονται λίγες σχετικά δυνητικές επίπεδες ολισθήσεις μόνο κατά τα S- επίπεδα όταν η γωνία κλίσης τους είναι σχετικά μικρή. Η σχιστότητα με κάθε ένα από τα δύο συστήματα διακλάσεων ξεχωριστά αναμένεται να προκαλέσει δυνητική ολίσθηση βραχοσφηνών. Κάποιες επιπλέον δυνητικές καταπτώσεις ή ολισθήσεις αναμένονται στα υπερβασικά λόγω της παρουσίας περισσότερες κύριων συστημάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΓΓΜΕ (1978). Γεωλογικός χάρτης σε κλίμακα 1:50000, φύλλο : Θέρμη

Μαρίνος Β., Μαρίνος Π., Hoek E. (2004). Γεωλογικός δείκτης αντοχής GSI. Εφαρμογή, συστάσεις, περιορισμοί και πεδία μεταβολών ανάλογα με τον τύπο του πετρώματος. Πρακτικά 10^{ου} Διεθνούς Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, σελ. 1767-1772.

Μαρίνος Π. (2002). Σημειώσεις από τις παραδόσεις του μαθήματος «Σχεδιασμός Σηράγγων». Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, «Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων», Αθήνα.

Μουντράκης Δ. (1985). Γεωλογία Ελλάδος. σελ. 56. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Παπαζάχος Β., Παπαζάχου Κ. (2002). Σεισμοί της Ελλάδας. σελ. 81, 157. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.

Παυλίδης Σ. (2003). Γεωλογία των Σεισμών. σελ. 334. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Σούλιος Γ. (1996). Γενική υδρογεωλογία. Τόμος Α'. σελ. 216. Εκδόσεις University studio press. Θεσσαλονίκη.

Χρηστάρας Β., Χατζηαγγέλου Μ. (2003). Περιγραφή και ταξινόμηση βραχώμαζας. Θεσσαλονίκη.

Πτυχιακή Εργασία
Νικολαΐδης Αναστάσιος

Τμήμα Γεωλογίας – Α.Π.Θ
Τομέας Τεχνικής Γεωλογίας

Δημόπουλος Γ. , Θ. Μακεδών (2008) Προβλήματα Τεχνικής Γεωλογίας ,
εκδόσεις Τζιόλα , Θεσσαλονίκη

Από το διαδίκτυο: www.civ.uth.gr/lessons/52%5Ckephalaio_9.pdf