



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

***“ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ
ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΣΕ ΜΟΛΑΣΣΙΚΟΥΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ.
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ”***



ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ

ΠΑΝΤΑΖΟΠΟΥΛΟΥ ΖΩΗ

A.E.M 4855

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Β.Π.ΜΑΡΙΝΟΣ

ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2015

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ –ΣΚΟΠΟΣ	5
1.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	5
1.3 ΔΟΜΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
ΜΟΛΑΣΣΑ	
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
2.2. ΜΟΛΑΣΣΑ.....	7
2.3. ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΟΛΑΣΣΑΣ ΜΕ ΦΛΥΣΧΗ.....	9
2.4. ΛΙΘΟΛΟΓΙΑ	12
2.5. ΜΟΛΑΣΣΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ	14
2.5.1. ΜΟΛΑΣΣΙΚΗ ΑΥΛΑΚΑ ΤΟΥ ΎΒΡΟΥ	15
2.5.2. ΜΟΛΑΣΣΙΚΗ ΑΥΛΑΚΑ ΑΞΙΟΥ	17
2.5.2. ΜΕΣΟΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΥΛΑΚΑ.....	18
2.6 ΜΟΛΑΣΣΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΣΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ.....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
<i>ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΜΟΛΑΣΣΙΚΩΝ ΒΡΑΧΟΜΑΖΩΝ</i> 26	
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	26
3.2 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΛΑΣΣΙΚΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	26
3.3 ΤΥΠΟΙ ΜΟΛΑΣΣΙΚΟΥ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ.....	29
3.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	38
3.4.1 ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ RMR (BIENIAWSKI)	39
3.4.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ Q (BARTON ET AL – ΝΟΡΒΗΓΙΚΟ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ)	43
3.4.3 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GEOLOGICAL STRENGTH INDEX , GSI)	45
3.5 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΟΛΑΣΣΙΚΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ.....	50
3.5.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΟΛΑΣΣΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΕ ΒΑΘΟΣ	50
3.5.2 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΜΟΛΑΣΣΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ	53
3.5.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΝΑ ΤΥΠΟ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 456	
<i>Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΜΟΛΑΣΣΙΚΟΥ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΡΓΑ. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ</i> 56	
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	56

4.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ.....	56
4.2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΟΡΥΓΜΑΤΟΣ.....	56
4.2.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΛΕΙΣΤΗΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ.....	58
4.3 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΣΤΟΧΙΩΝ- ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ.....	70
4.3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	70
4.3.2 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΣΤΟΧΙΩΝ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΧΩΡΙΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ	71
4.3.3 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΜΕΤΡΩΝ ΠΡΟΣΩΡΙΝΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	71
4.4 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΣΤΟΧΙΑΣ - ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΜΟΛΑΣΣΙΚΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	73
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	
<i>ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ</i>	
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	76
5.2 ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	
<i>ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΙΕΡΟΠΗΓΗΣ</i>	
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	86
6.2. ΣΗΡΑΓΓΑ ΙΕΡΟΠΗΓΗΣ	86
6.3. ΣΥΓΡΙΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	87
6.3.1 ΣΥΓΡΙΣΗ GSI ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	87
6.3.2 ΣΥΓΡΙΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΜΕΤΡΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	90
6.3.3 ΣΥΓΡΙΣΗ ΜΙΚΡΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	93
6.3.4 ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΩΝ ΠΙΘΑΝΩΝ ΣΦΗΝΩΝ ΣΤΑ ΠΡΑΝΗ.....	97
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	
<i>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</i>	100
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	103
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	106

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το θέμα που πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική εργασία έχει τίτλο «Τεχνικογεωλογικές συνθήκες κατά μήκος σήραγγας σε μολασσικούς σχηματισμούς. Σύγκριση μελέτης και κατασκευής». Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς του μολασσικού σχηματισμού κατά τη διάνοιξη ενός υπόγειου τεχνικού έργου. Για την επίτευξη αυτού του στόχου έγινε σύγκριση των στοιχείων της μελέτης πριν την έναρξη των εργασιών καθώς και της κατασκευής τα οποία προέκυψαν κατά τη διάνοιξη του έργου της σήραγγας της Ιεροπηγής που αποτελεί τον κάθετο άξονα 45 «Σιάτιστα-Ιεροπηγή-Κρυσταλλοπηγή», το βορειότερο τμήμα του τμήματος 45.4 Κορομηλιά - Ιεροπηγή. Αποτέλεσμα της σύγκρισης ήταν η ανάδειξη της μολάσσας ως ένας σχηματισμός με ιδιαιτερότητες ο οποίος εμφανίζεται στην επιφάνεια έντονα αποσαθρωμένος με φαινόμενα σχάσης στις επαφές των ιλυολιθικών μελών. Αντίθετα, όταν πάψει να επηρεάζεται από τις επιφανειακές συνθήκες περίπου από τα 5-10 m βάθος κι έπειτα χαρακτηρίζεται ως μια συμπαγής βραχώμαζα με μεγάλη τιμή αντοχής.

Η εκπόνηση της εργασίας στηρίχθηκε αρχικά, σε βιβλιογραφικό υλικό για τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά της μολασσικής βραχώμαζας, τη συμπεριφοράς της στις υπόγειες εκσκαφές και τα μέτρα υποστήριξης που μπορούν να εφαρμοστούν στην εκάστοτε περίπτωση. Στη συνέχεια, επεξεργάστηκαν και παρουσιάστηκαν τα στοιχεία της μελέτης πριν την έναρξη των εργασιών και της κατασκευής της σήραγγας της Ιεροπηγής με τη χρήση διαφόρων λογισμικών εργαλείων.

Συνοπτικά η διάρθρωση της εργασίας έχει ως εξής στο Κεφάλαιο 1 αναφέρεται ο σκοπός και το αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας καθώς και η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε. Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται τα γενικά χαρακτηριστικά της μολασσικής βραχώμαζας και οι θέσεις εμφάνισης της στην Ελλάδα και στο εξωτερικό. Στο Κεφάλαιο 3 εξετάζονται τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά της βραχώμαζας ενώ γίνεται και η ταξινόμηση της στα γεωτεχνικά συστήματα ταξινόμησης. Στο Κεφάλαιο 4 προσδιορίζονται τόσο οι μέθοδοι διάνοιξης των υπόγειων έργων όσο και η μηχανική συμπεριφορά της μολασσικής βραχώμαζας. Στο Κεφάλαιο 5 παρατίθενται τα μέτρα υποστήριξης που εφαρμόζονται για να επιτευχθεί η ευστάθεια της σήραγγας. Ενώ στο Κεφάλαιο 6 γίνεται η σύγκριση των στοιχείων μελέτης πριν την έναρξη των εργασιών και της κατασκευής της σήραγγας της Ιεροπηγής καθώς αναφέρονται και οι παρατηρήσεις που προκύπτουν. Τέλος, στο Κεφάλαιο 7 αναφέρονται τα συνολικά συμπεράσματα που εξάγονται από την εργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ – ΣΚΟΠΟΣ

Η διπλωματική εργασία πραγματεύεται την τεχνικογεωλογική συμπεριφορά του μολασσικού σχηματισμού κατά τη διάνοιξη ενός υπόγειου τεχνικού έργου. Η μολάσσα χαρακτηρίζεται ως ένας σχηματισμός με ιδιαιτερότητες για τα τεχνικά έργα. Αντιμετωπίζεται ως ετερογενής όταν συναντάται στην επιφάνεια λόγω του φαινομένου της σχάσης στα ιλυολιθικά μέλη εφόσον είναι ευάλωτα στην επιφανειακή αποσάθρωση και ο διαχωρισμός των ιλυολιθικών και ψαμμιτικών μελών είναι ευδιάκριτη. Από την άλλη από το βάθος 10-15 m χαρακτηρίζεται ως ομοιογενής στο βάθος, με συμπαγή δομή και υψηλή αντοχή ενώ δεν είναι εμφανείς οι εναλλαγές των μελών της.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η ανάλυση και παρουσίαση των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών και της συμπεριφοράς του μολασσικού σχηματισμού κατά τη διάνοιξη ενός υπόγειου τεχνικού έργου. Ο στόχος αυτός θα επιτευχθεί από τη σύγκριση των στοιχείων της μελέτης και της κατασκευής της σήραγγας της Ιεροπηγής που αποτελεί τον κάθετο άξονα 45 «Σιάτιστα-Ιεροπηγή-Κρυσταλλοπηγή», το βορειότερο τμήμα του τμήματος 45.4 Κορομηλιά - Ιεροπηγή. Μέσω αυτών των παρατηρήσεων θα εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τη ποιότητα της μολάσσας στο βάθος και πώς αυτό συμβάλει στην οικονομικότερη κατασκευή του τεχνικού έργου που μελετάται.

1.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την επίτευξη των στόχων της διπλωματικής εργασίας συγκεντρώθηκε αρχικά βιβλιογραφικό υλικό σχετικά με τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά και της συμπεριφοράς στα υπόγεια έργα του υπό μελέτη σχηματισμού. Το υλικό αυτό μελετήθηκε ώστε να είναι εφικτή η κατανόηση της ιδιαιτερότητας του μολασσικού σχηματισμού. Στη συνέχεια, με χρήση γνωστών γεωτεχνικών ταξινομήσεων γίνεται ταξινόμηση των βραχομαζών καθώς και των μέτρων υποστήριξης που εφαρμόζονται για την ευστάθεια της διατομής μιας σήραγγας. Τέλος, συλλέχθηκαν τα στοιχεία του υπόγειου έργου της Ιεροπηγής που αφορούν τόσο τη μελέτη πριν την έναρξη των εργασιών όσο και της κατασκευής. Αυτά τα στοιχεία επεξεργάστηκαν και παρουσιάστηκαν σε διάφορα λογισμικά εργαλεία. Με τη χρήση του AutoCad 2013 παρουσιάστηκαν διάφορα γεωλογικά και τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά κατά μήκος της σήραγγας. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Dips 5.103 με στόχο τον

προσδιορισμό των πιθανών αστοχιών με βάση τα γεωμετρικά στοιχεία των συστημάτων των ασυνεχειών που συναντώνται, ενώ τέλος, χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά Unwedge 3.0 και Swedge με στόχο τον προσδιορισμό των σφηνών τόσο στο υπόγειο τμήμα όσο και επιφανειακά στα πρανή. Τα μέτρα υποστήριξης που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν ώστε να διατηρηθεί η ευστάθεια της διατομής ή των πρανών επίσης σχολιάζονται.

1.3 ΔΟΜΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

Το θέμα της παρούσας διπλωματική εργασία έχει τίτλο «Τεχνικογεωλογικές συνθήκες κατά μήκος σήραγγας σε μολασσικούς σχηματισμούς. Σύγκριση μελέτης και κατασκευής τεχνικού έργου». Η δομή της εργασίας αποτελείται από τα παρακάτω κεφάλαια. Αρχικά, στο Κεφάλαιο 2 αναλύεται γεωλογικά ο μολασσικός σχηματισμός και τα γενικά χαρακτηριστικά του. Επίσης, αναφέρονται οι εμφανίσεις του σχηματισμού τόσο στον ελληνικό χώρο όσο και στο εξωτερικό.

Στη συνέχεια, στο Κεφάλαιο 3 αναφέρονται τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά της μολάσας καθώς γίνεται και ταξινόμηση του σχηματισμού στα συστήματα ταξινόμησης. Στο Κεφάλαιο 4 προσδιορίζονται οι μέθοδοι διάνοιξης ενός υπόγειου έργου και η μηχανική συμπεριφορά της μολασσικής βραχώμαζας κατά τη διάνοιξη του υπόγειου έργου. Στο Κεφάλαιο 5 λαμβάνει χώρα η παράθεση των μέτρων υποστήριξης που στοχεύουν στην επίτευξη της ευστάθειας της διατομής της σήραγγας. Στο Κεφάλαιο 6 γίνεται η σύγκριση των στοιχείων της μελέτης και των στοιχείων που προέκυψαν από την κατασκευή της σήραγγας της Ιεροπηγής με προσδιορισμό στη συνέχεια των παρατηρήσεων που σημειώθηκαν. Τέλος, στο Κεφάλαιο 7 γίνεται αναφορά στα συνολικά συμπεράσματα που εξήχθησαν από την διπλωματική εργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΟΛΑΣΣΑ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

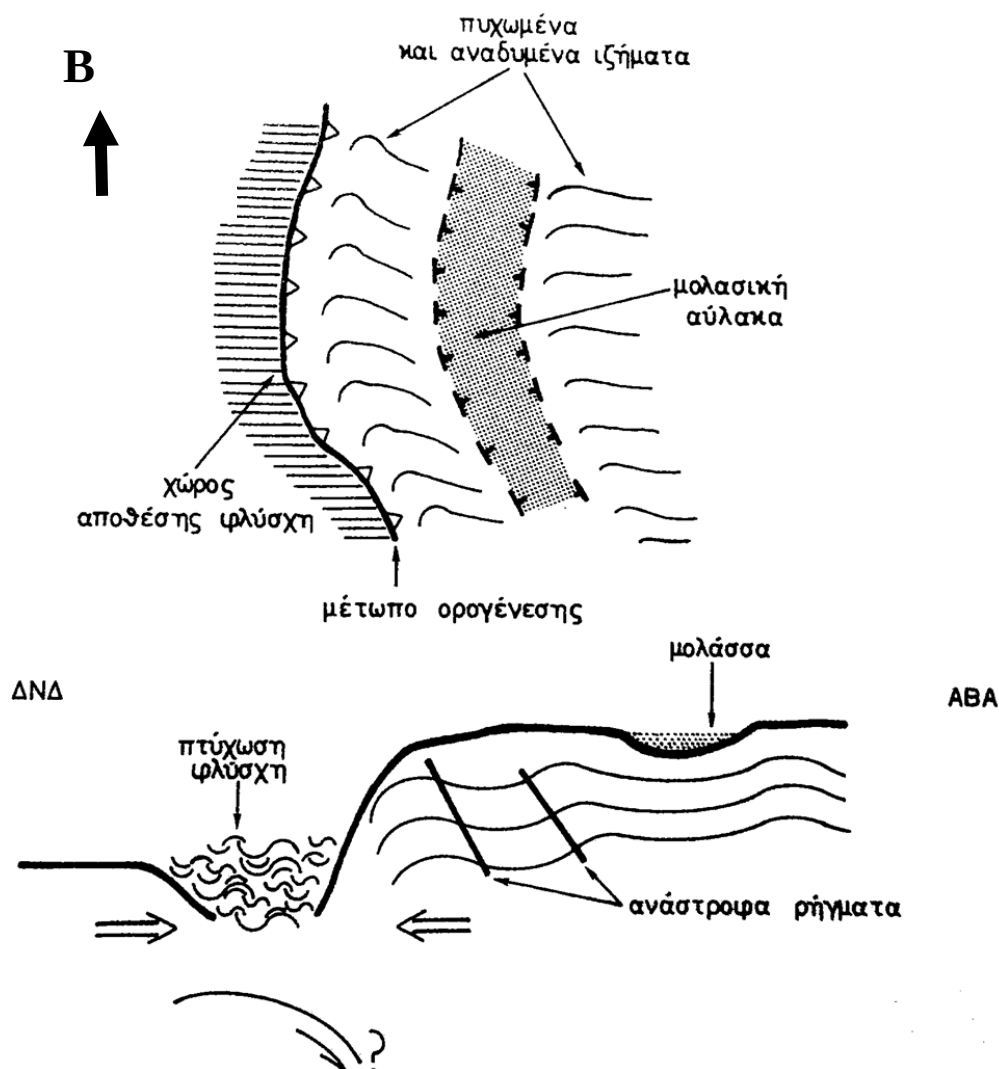
Στο παρόν κεφάλαιο γίνει αρχικά, αναφορά στον σχηματισμό των λεκανών απόθεσης των μολασσικών σχηματισμών καθώς και στα χαρακτηριστικά τους. Σημειώνονται στη συνέχεια, οι διαφορές της μολάσσας με τον φλύσχη. Ενώ το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την αναφορά των θέσεων όπου εντοπίζονται μολασσικοί σχηματισμοί τόσο στον ελληνικό χώρο όσο και σε σημαντικές θέσεις στο εξωτερικό.

2.2. ΜΟΛΑΣΣΑ

Ο όρος *μολάσσα* χρησιμοποιήθηκε αρχικά ως ένα Ελβετικό τοπικό όνομα για να περιγράψει μαλακούς ψαμμίτες σχετιζόμενους με μάργα και κροκαλοπαγή του Τριτογενούς τα οποία είχαν μεγάλη ανάπτυξη στα πεδινά της Ελβετίας. Ο όρος χρησιμοποιείται πλέον για να περιγράψει γενικά σχηματισμούς που αποτελούν υλικά διάβρωσης κατά τη τελική φάση της ορογενετικής διαδικασίας.(Μαρίνος,2007) Η μολάσσα είναι ένας περιγραφικός όρος που δηλώνει *παράλια ιζηματογενή φάση* (θαλάσσιας ως λιμναίας, χερσαίας). Χαρακτηρίζεται από παχιά ακολουθία απολιθωματοφόρων και διασταυρούμενων στρωμάτων. Τα κύρια συστατικά πετρώματά του είναι ψαμμίτες, ιλυόλιθοι, μάργες και κροκαλοπαγή. Τα πετρώματα αυτά μπορεί να εμφανίζονται ως εναλλασσόμενα στρώματα ποικίλων διαστάσεων. Η κοκκομετρική τους ταξινότηση είναι κακή. Εξαιτίας των συνθηκών κατά τις οποίες σχηματίζεται αποτίθεται ασύμφωνα πάνω στον υποκείμενο πτυχωμένο σχηματισμό της. Χαρακτηρίζει ένα ήρεμο τεκτονικά περιβάλλον εφόσον, σχηματίζονται στο πίσω μέρος της ορογενετικής διαδικασίας όπως αναφέρεται στη συνέχεια. (Ψιλοβίκος,2010)

Πιο αναλυτικά η απόθεση του μολασσικού σχηματισμού γίνεται σε λεκάνες με προσανατολισμό παράλληλο ή σχεδόν παράλληλο με τις πτυχωμένες οροσειρές. Ο σχηματισμός τους γίνεται στο πίσω μέρος του ορογενούς στη λεγόμενη *Οπισθοχώρα* (*οπισθολεκάνη*). Καθώς ολοκληρώνεται η σύγκρουση ανάμεσα στην ζώνη ανάδυσης του ορογενούς και της περιοχής που σημειώθηκε η σύγκρουση του ηπειρωτικού φλοιού ή του κράτονα που δέχεται το ορογενές σχηματίζεται μια αυλακοειδής εσωτερική λεκάνη. Στη λεκάνη αυτή παρατηρούνται καθοδικές κινήσεις και διαρρήξεις ενώ συνυπάρχει το θαλάσσιο και το ηπειρωτικό περιβάλλον, όπως αποτυπώνεται στην *Εικόνα 2-1*. Σιγά – σιγά σχηματίζονται δίκτυα μεταφοράς υλικού τόσο από το νεοσχηματισθέν ορογενές όσο και από την ηπειρωτική μάζα. Το ανάγλυφο και στις δυο πλευρές τροφοδοσίας της λεκάνης είναι έντονο. Η απόθεση

των υλικών έχει κυκλικό χαρακτήρα. Λόγω του απότομου ανάγλυφου και της έντονης μεταφοράς των υλικών δεν υπάρχει ούτε ο χώρος ούτε ο χρόνος ωρίμανσης των υλικών του σχηματισμού. Ιστολογικά έχουν καλό βαθμό ωρίμανσης κι σαφώς καλύτερο από τα υλικά του φλύσχη όπως θα αναφερθεί στη συνέχεια.



ΕΙΚΟΝΑ 2-1 Αναπαράσταση χώρου απόθεσης του φλύσχη και της μολάσσης κατά την εξέλιξη του ορογενετικού συστήματος (Μουντράκης, 2010)

Ο όρος *φλύσχη* είναι ένας περιγραφικός όρος που δηλώνει θαλάσσια ιζηματογενή φάση. Σχηματίζεται στη ζώνη σύγκρουσης των δυο λιθοσφαιρικών πλακών, σε λεκάνες δηλαδή μπροστά - στο μέτωπο της ορογενετικής διαδικασίας (*Εμπροσθοχώρα*). Στα όρια αυτής της ζώνης, όπου η ωκεάνια λιθόσφαιρα βυθίζεται και καταστρέφεται κάτω από την ηπειρωτική, δημιουργείται μια βαθιά, στενή με μεγάλη κινητικότητα αύλακα. Η αύλακα αυτή οριοθετείται από την ηπειρωτική κατωφέρεια στη μια πλευρά και από ύψωμα του ωκεάνιου πυθμένα στην άλλη. Λόγω του έντονου ανάγλυφου της ηπειρωτικής λιθόσφαιρας είναι πιο εύκολη η τροφοδοσία της λεκάνης από αυτή τη πλευρά, μέσω των υποθαλάσσιων φαραγγιών της ηπειρωτικής κατωφέρειας, με κλαστικά υλικά. Μέσα στην αύλακα και στη πλευρά του υβώματος του ωκεάνιου πυθμένα η μεταφορά των υλικών είναι πολύ

δύσκολη κι επικρατεί αργή απόθεση ωκεάνιων ιζημάτων (πυριτικά και ανθρακικά). (Ψιλοβίκος, 2010)

Σημειώνεται έτσι μια αντίφαση σε αυτή τη φάση σχηματισμού του φλύσχη. Ενώ πρόκειται για *ωκεάνια λεκάνη κυριαρχεί η ρυθμική απόθεση κλαστικών υλικών με τα ωκεάνια ιζήματα να έχουν δευτερεύοντα ρόλο*. Χαρακτηρίζεται λοιπόν από ρυθμικές εναλλαγές στρωμάτων ψαμμίτη και πηλόλιθου, υλικά που είναι σαφέστατα πιο λεπτομερή από τα υλικά που απαρτίζουν τη μολάσσα. Εσωτερικά στο πυθμένα της αύλακας αποτίθενται τα χονδρόκοκκα υλικά ενώ στα περιθώρια αποτίθενται τα λεπτόκοκα.

Πιο συγκεκριμένα, θεωρείται ένα συν-ορογενετικό ίζημα που αναπτύσσεται στο τελικό στάδιο της ορογένεσης πριν το κλείσιμο της λεκάνης ιζηματογένεσης και την τελική πτύχωση. Καθώς η σύγκρουση συνεχίζεται, η αύλακα στενεύει και τα υλικά τα οποία αποτίθενται αρχίζουν να πτυχώνονται μέχρι τη στιγμή της ανάδυσης τους από τον ωκεανό και το σχηματισμό της οροσειράς. Το πάχος των ιζημάτων του φλύσχη είναι μεγάλο (αρκετά χιλιόμετρα). Τη φάση του φλύσχη διαδέχεται η φάση της μολάσσας, βέβαια σπάνια στη φύση θα συναντηθεί μια συνεχής μετάβαση από το φλύσχη στη μολάσσα.

2.3. ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΟΛΑΣΣΑΣ ΜΕ ΦΛΥΣΧΗ

Σύμφωνα με όσα έχουν αναφερθεί παραπάνω, παρατηρείται πως οι σχηματισμοί του φλύσχη και της μολάσσας συνδέονται άμεσα με τη διαδικασία της ορογένεσης. Η διάκριση των δυο σχηματισμών όμως, σημειώνεται αρχικά στην μακροσκοπική εικόνα που δίνουν δηλαδή ο φλύσχος εφόσον σχηματίζεται στο μέτωπο της ορογενετικής διαδικασίας δέχεται μεγάλη τεκτονική καταπόνηση με τα στρωματά του εμφανίζονται έντονα τεκτονισμένα και συμπιεσμένα. Από την άλλη πλευρά η μολάσσα, η οποία σχηματίζεται κατά το τελικό στάδιο της ορογένεσης στην Οπισθοχώρα, χαρακτηρίζει ένα *ήρεμο τεκτονικά περιβάλλον με μικρές κλίσεις στρωμάτων 10° – 40°*. Στη συνέχεια, παρατηρούμε την ηλικιακή τους διαφορά, ο φλύσχος είναι πάντα παλαιότερης ηλικίας από τη μολάσσα γιατί σχηματίζεται πρώτος. Στη συνέχεια, παρατηρούμε πως λιθολογικά δίνουν την ίδια εικόνα, ιστολογικά όμως η μολάσσα έχει καλύτερο βαθμό ωριμότητας σε αντίθεση με το φλύσχη. Το μέγεθος των κόκκων της μολάσσας σαφώς μεγαλύτερο εφόσον ο φλύσχος αποτελείται από λεπτομερές υλικό. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται στο Πίνακα 2.3.1. συνοπτική αναφορά των διαφορών των δυο σχηματισμών.

ΦΛΥΣΧΗΣ	ΜΟΛΑΣΣΑ
1. Ηλικία παλαιότερη της μολάσσας	1. Ηλικία νεότερη του φλύσχη
2. Απόθεση σε τάφρο στο μέτωπο της ορογένεσης	2. Απόθεση σε αύλακα πίσω από το μέτωπο της ορογένεσης
3. Υφίσταται πτύχωση τα στρώματα του ενώ εμφανίζονται και τεκτονισμένα	3. Δεν υφίσταται πτύχωση ούτε τεκτονισμό (θεωρείται μεταλπικό ίζημα) μόνο τοπικό στα όρια-κράσπεδα της λεκάνης
4. Τουρβιδική απόθεση υλικών με κοκκομετρική διαβάθμιση	4. Δεν εμφανίζει τουρβιδική απόθεση υλικών
5. Θαλάσσιας φάσης σχηματισμός	5. Πολυφασική ιζηματογένεση (θαλάσσια, λιμναία, ποταμοχειμάρια, χερσαία)

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3.1. Συνοπτική παρουσίαση βασικών διαφορών των σχηματισμών της μολάσσας με των φλύσχη



ΕΙΚΟΝΑ 2-2 Μολάσσα διασταύρωση Κοκκινία – Γρεβενά, *Κροκαλοπαγή πολύμικτά* (ασβεστολιθικές κροκάλες, χαλαζιακές με βασικά και υπερβασικά πετρώματα)



ΕΙΚΟΝΑ 2-3 Μολάσσα, Εμφάνιση ψαμμίτη - ιλυολίθου σε ίσες αναλογίες (Μαρίνος,2007)



ΕΙΚΟΝΑ 2-4 Φλύσχης, εναλλαγές ψαμμίτη – ιλυολίθου έντονα τεκτονισμένα στρώματα, περιοχή Ανήλιου



ΕΙΚΟΝΑ 2-5 Φλύσχης, εναλλαγές ψαμμίτη – ιλυολίθου έντονα τεκτονισμένα στρώματα (πιο κοντινή εικόνα στρωμάτων) περιοχή Ανήλιου

2.4. ΛΙΘΟΛΟΓΙΑ

Οι διάφοροι τύποι της μολάσσας αποτελούνται από εναλλαγές ψαμμιτικών και ιλυολιθικών πετρωμάτων με διαφορετική αναλογία και πάχος στρωμάτων. Τα στοιχεία της τεκτονικής, της αποσάθρωσης και περατότητας κάθε τύπου έχουν μικρές διαφορές κι εξαιτίας της ανάγκης για ομαδοποίηση της τεχνικογεωλογικής πληροφορίας και της ταξινόμησης θεωρούνται όμοια. Στη συνέχεια, ακολουθούν τα γεωλογικά χαρακτηριστικά των τύπων της μολάσσας όπως έχουν ορισθεί και ταξινομηθεί.

Ιλυόλιθοι με πολύ σποραδικές ενστρώσεις ψαμμιτών

Ο λιθολογικός αυτός τύπος αποτελείται κυρίως από ιλυολίθους – μαργαϊκούς ιλυολίθους με σπάνιες λεπτές ψαμμιτικές ενστρώσεις. Στους ιλυόλιθους ενδέχεται να εμφανίζονται αργιλικά υλικά. Εκδήλωση αστοχίας του συγκεκριμένου τύπου αναπτύσσεται στη στρώση της βραχύμαζας. Η αντοχή των ιλυολίθων έχει μεγάλη διακύμανση και μπορεί να εμφανίζονται υγιείς ως πλήρως αποσαθρωμένοι. (Μαρίνος, 2007)

Ιλυολίθοι με κατά θέσεις ενστρώσεις ψαμμιτών

Αποτελείται κυρίως από ιλυολίθους - μαργαϊκούς ιλυολίθους στους οποίους παρεμβάλλονται ψαμμιτικά στρώματα ποικίλου πάχους, από λεπτούς ορίζοντες μερικών εκατοστών ως ψαμμιτικούς πάγκους πάχους ως και 5 m. Η ποσοστιαία αναλογία ιλυολιθικής φάσης σε σχέση με τη ψαμμιτική φάση είναι περίπου 70:30 αντίστοιχα. Το επίπεδο αστόχιας είναι η στρώση που αναπτύσσεται μέσα στη βραχώμαζα. (Μαρίνος, 2007)

Εναλλαγές ιλυολίθων και ψαμμιτών

Στο τύπο αυτό αναπτύσσονται συστηματικές εναλλαγές ιλυολίθων – ψαμμιτών με τράπεζες πάχους μερικών εκατοστών ως λίγων μέτρων. Οι αναλογίες των πετρωμάτων είναι περίπου ίσες. Σε βάθος μεγαλύτερα των λίγων μέτρων οι σχηματισμοί είναι μαζώδεις και συνεχείς αντίθετα στην επιφάνεια σχηματίζουν στρώσεις. (Μαρίνος, 2007)

Μεσοστρωματώδεις ως παχυστρωματώδεις ψαμμίτες με κατά θέσεις ενστρώσεις λεπτοστρωματωδών ιλυολίθων

Τα ψαμμιτικά στρώματα έχουν πάχος από 50 cm ως μερικά μέτρα. Τα στρώματα του ψαμμίτη διαχωρίζονται από τις ιλυολιθικές ενστρώσεις οι οποίες σημειώνουν πάχη μερικών εκατοστών ως και 30 cm. Είναι συμπαγείς σχηματισμοί αλλά όταν βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια μπορεί να εμφανίζουν αποχωρισμό παράλληλα στη στρώση. (Μαρίνος, 2007)

Παχυστρωματώδεις ψαμμίτες με σποραδικές λεπτές ενστρώσεις ιλυολίθων

Τα ψαμμιτικά στρώματα είναι μεγάλου πάχους ενώ χωρίζονται από αραιές λεπτές ιλυολιθικές στρώσεις μερικών εκατοστών. Η αντοχή των ψαμμιτών είναι γενικά μεγάλη σημειώνουν όμως μείωση όταν είναι ιλυολιθικοί ή μαργαϊκοί. Είναι συμπαγείς σχηματισμοί και εμφανίζουν αποχωρισμό στη στρώση όταν βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια. (Μαρίνος, 2007)

Κροκαλοπαγείς σχηματισμοί

Ο τύπος αυτός βρίσκεται σε ενστρώσεις μέσα στη μολάσση κι δεν αποτελεί συνήθως ανεξάρτητους ορίζοντες με μεγάλο πάχος. Θεωρούνται μέτρια ως καλά συγκολλημένα κροκαλοπαγή τα οποία διαμορφώνουν μάζες σημαντικού πάχους συχνά ακανόνιστους. Λόγω της εναλλαγής με ψαμμιτικά και ιλυολιθικά στρώματα τα κροκαλοπαγή οριοθετούνται από αυτούς τους σχηματισμούς και δημιουργούν πάγκους. Το συγκολλητικό υλικό αν σχηματίζεται από ιλυοαργιλικά υλικά μπορεί να είναι ασθενές ως μέτριο αντίθετα όταν σχηματίζεται από ασβεστοψαμμιτικό υλικό μπορεί να είναι ιδιαίτερα ισχυρό. Οι κροκάλες επειδή είναι προϊόν πετρωμάτων του αλπικού υποβάθρου έχουν οφειολιθική, ασβεστολιθική ή ακόμα και γνευσιακή σύσταση. (Μαρίνος, 2007)

2.5. ΜΟΛΑΣΣΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΣΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ

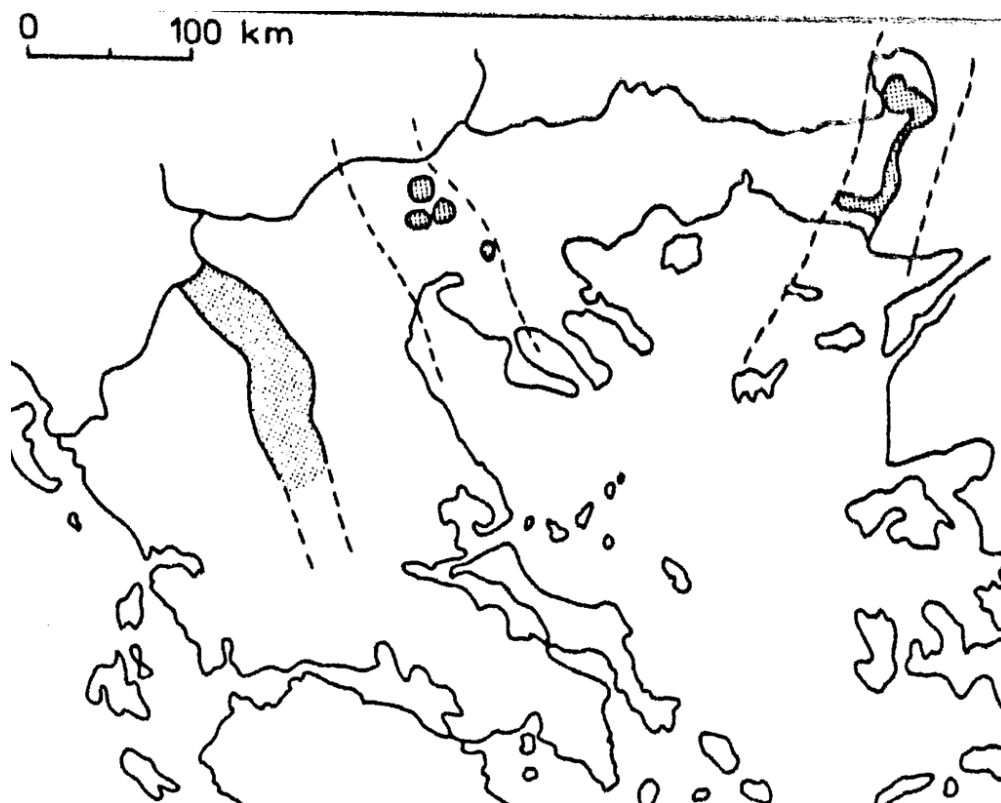
Μετά την ολοκλήρωση της Αλπικής ορογένεσης στο Τριτογενές με διεύθυνση εξέλιξης της από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά και ανάδυση των Ελληνικών ζωνών, αποτέθηκαν στον ελληνικό χώρο τα μεταλπικά ιζήματα. Τα οποία τοποθετήθηκαν ασύμφωνα πάνω στους πτυχωμένους Αλπικούς σχηματισμούς. Η προέλευση τους ήταν είτε χερσαία (ποταμοχειμάρια) και λιμναία είτε θαλάσσια σε κόλπους και ενδοκολπόματα ή παράκτια.

Καθώς ολοκληρώθηκε η πτύχωση των αλπικών σχηματισμών, συμπληρώθηκε ο ορογενετικός τους κύκλος και αποτίθενται στο αναδυμένο τμήμα της οροσειράς που ονομάζεται *οπισθοχώρα*. Η περιοχή υφίστανται πλέον τη νεοτεκτονική δραστηριότητα που εκδηλώνεται ως ρηξιγενής τεκτονική και σχηματίζει τεκτονικά κέρατα και τάφρους όπου αποτίθενται μεταλπικά ιζήματα. Αποτέλεσμα της ρηξιγενούς τεκτονικής δράσης ήταν και η βύθιση της Αιγίδας, ο χώρος δηλαδή του σημερινού Αιγαίου, κατά το Πλειο-Τεταρτογενές.

Στον ελληνικό χώρο συναντώνται δυο κατηγορίες μεταλπικών ιζημάτων. Η διάκριση τους γίνεται με βάση την ηλικία και τη σχέση που εμφανίζουν με τις υπάρχουσες αλπικές δομές :

- I. Τα μολασσικά ιζήματα, η απόθεση των οποίων αρχίζει το Ηώκαινο και λήγει το Μέσο-Άνω Μειόκαινο
- II. Τα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα λεκανών

Στη παρούσα εργασία εξετάζονται μόνο τα μολασσικά ιζήματα που συναντώνται σε μεγάλες αύλακες του ελληνικού χώρου. Κατά το Τριτογενές, καθώς εξελισσόταν η τελική φάση της ορογένεσης, αναπτύχθηκαν στον ελληνικό χώρο τρεις μεγάλες μολασσικές αύλακες από τα Δυτικά προς τα Ανατολικά. ● Η μολασσική αύλακα του Έβρου ● Η μολασσική αύλακα Αξιού ● Η Μεσοελληνική μολασσική αύλακα. Μικρές εμφανίσεις μολασσικών σχηματισμών εντοπίζονται και σε περιοχές πιο νότια όπως για παράδειγμα στην Εύβοια, τη Βοιωτία, την Αττική και τις Κυκλάδες. Αυτές οι εμφανίσεις όμως δε μπορούν να οριοθετηθούν ακόμα σε μια ή περισσότερες μολασσικές αύλακες. (Μουντράκης,2010)

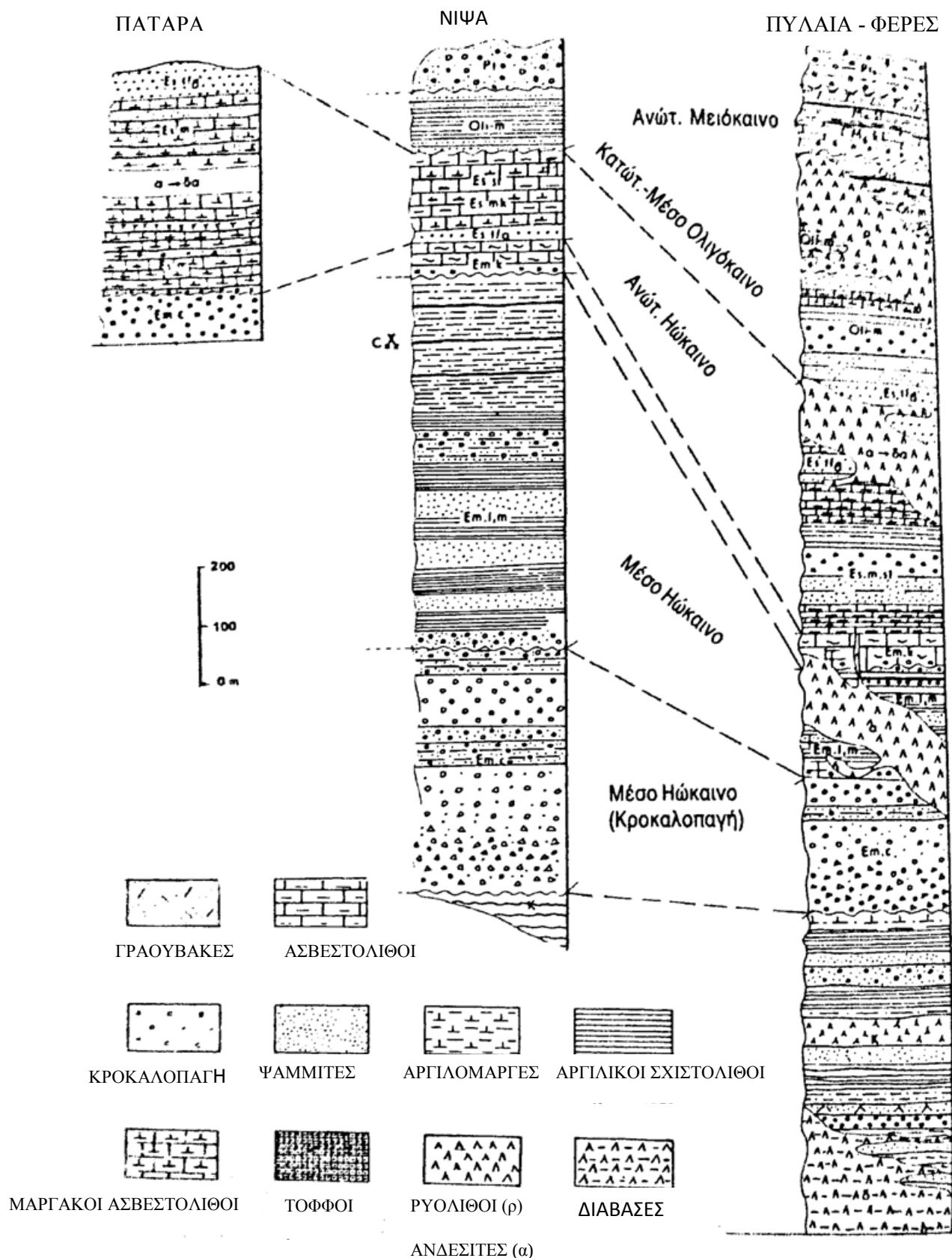


ΕΙΚΟΝΑ 2-6 Στο χάρτη απεικονίζονται οι τρεις μολασικές αύλακες του Ελληνικού χώρου. Εμφανίζονται οι υπάρχουσες εμφανίσεις των μολασικών ιζημάτων ενώ με διακεκομμένες γραμμές είναι τα πιθανά παλιά όρια εξάπλωσης αυτών πριν τη διάβρωση. (Μουντράκης, 2010)

2.5.1. Μολασσική αύλακα του Έβρου

Στο γεωλογικό χώρο της Ροδόπης και της Περιοδοπικής ζώνης αναπτύχθηκε η αύλακα του Έβρου. Η λεκάνη αυτή διαμορφώθηκε πάνω σε μεταμορφωμένους σχηματισμούς των δυο ζωνών. Η έκτασή της δεν είναι γνωστή, πιθανώς να κάλυπτε το μεγαλύτερο χώρο της Ροδόπης αλλά, λόγω της διάβρωσης σήμερα βρίσκεται μόνο σε μικρής έκτασης εμφανίσεις στην περιοχή του Έβρου - Αλεξανδρούπολης. Έχουν εντοπισθεί μολασικές εμφανίσεις και στα νησιά Λέσβο και Λήμνο συνεπώς, γίνεται αντιληπτό ότι μεγάλα τμήματα της μολάσσας ίσως να βρίσκονται βυθισμένα σήμερα στον υποθαλάσσιο χώρο του Βόρειου Αιγαίου.

Αποτελείται από κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, μάργες – αργιλομάργες και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι. Το πάχος των ιζημάτων ξεπερνά τα 2.000 m. Τα παλαιότερα ιζήματα έχουν ηλικία Μέσου Ηωκαίνου ενώ τα νεότερα χρονολογούνται στο Ολιγοκαίνου – Άνω Μειοκαίνου. Επίσης, θεωρούνται αντικείμενο έρευνας πετρελαίου. Μέσα στα μολασσικά ιζήματα παρεισφρύνουν νεότερα ηφαιστειακά πετρώματα, όπως ρυόλιθοι, ανδεσίτες και τόφφοι του Άνω Ηωκαίνου – Ολιγοκαίνου που αντιπροσωπεύουν τη μεταλλική ηφαιστειότητα μέσα στη διαμορφωμένη λεκάνη του Έβρου.



ΕΙΚΟΝΑ 2-7 Οι λιθοστρωματογραφικές στήλες των μολασσικών ιζημάτων και των Τριτογενών διεισδύσεων σε τρεις περιοχές της μολασσικής αύλακας του Έβρου. (Μουντράκης, 2010)

2.5.2. Μολασσική αύλακα Αξιού

Η μολασσική αύλακα του Αξιού κατά το Τριτογενές εκτείνονταν στη περιοχή της σημερινής κοιλάδας του Αξιού ποταμού. Εντοπίζονται οι εμφανίσεις της στο χώρο της υποζώνης Παιονίας, θεωρείται πως η αύλακα έχει μεγαλύτερη έκταση μεταξύ της Σερβομακεδονικής και Πελαγονικής ζώνης. Στην ίδια αύλακα ανήκουν και οι μικρές εμφανίσεις μολάσσας ηλικίας Ολιγοκαίνου που βρίσκονται στη περιοχή του Λαγκαδά πάνω από τη περιοχή της Σερβομακεδονικής μάζας.

Το μεγαλύτερο μέρος της μολάσσας της αύλακας του Αξιού καλύπτεται σήμερα από τις χερσαίες Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις της κοιλάδας του Αξιού και της ευρύτερης πεδιάδας της Θεσσαλονίκης. Η μολασσική ιζηματογένεση της “Τριτογενούς αύλακας Αξιού” ήταν πολυφασική. Χαρακτηρίζεται δηλαδή από θαλάσσια, λιμναία και χερσαία ιζήματα. Αποτελείται από ψαμμίτες, μάργες, κροκαλοπαγή, λατυποπαγή και ασβεστολίθους ηλικίας Άνω Ηωκαίνου – Ολιγοκαίνου – Άνω Μειοκαίνου.

Στη περιοχή του νομού Κιλκίς παρατηρούνται αποκομμένες εμφανίσεις μολασσικών ιζημάτων οι οποίες είναι οι εξής :

- ~ Μεταξύ των χωρίων Χορύγη και Βαφειοχώρι εντοπίζεται μια ασβεστολιθική σειρά από απολιθώματα της οποίας τα απολιθώματα υπολογίστηκαν Ανώτερου Ηωκαίνου
- ~ Στη περιοχή Αρτζάν διαπιστώθηκε ιζηματογενής σειρά Ανώτερου Ηωκαίνου, της οποίας η διαδοχή των στρωμάτων από πάνω προς τα κάτω είναι η εξής :
 - Ψαμμιτοειδής ασβεστόλιθος
 - Ψαμμίτης
 - Μάργα
 - Κροκαλοπαγή με κροκάλες χαλαζιτών, γρανιτών, γνευσίων
 - Σχίστη άργιλο
 - Αργιλικό λατυποπαγές με λατύπες μαρμάρων και γνευσίων
- ~ Στο χωρίο Μεταλλικό διαπιστώθηκε μια σειρά ηφαιστειακών ιζημάτων, η οποία αποτελείται από όξινα ηφαιστειακά πετρώματα και ιζηματογενή στρώματα ηλικίας Άνω Ηωκαίνου – Κάτω Ολιγοκαίνου
- ~ Στο χωρίο Γυναικόκαστρο μια ανάλογη σειρά ηφαιστειακών ιζημάτων αποτελούμενη από ρυολίθους και πυροκλαστικούς ψαμμίτες η ηλικία καθορίστηκε Άνω Ηωκαίνου – Κάτω Ολιγοκαίνου.

Από τη μελέτη των εμφανίσεων που αναφέρθηκαν και από παρατηρήσεις στη περιοχή της Γιουγκοσλαβίας εξήχθησαν τα παρακάτω συμπεράσματα. 1) Κατά το Άνω Ηώκαινο διαφοροποιήθηκε μια μολασσική αύλακα Αξιού ανάμεσα στη Σερβομακεδονική και τη Πελαγονική λόγω νεώτερης επίκλυσης της θάλασσας

σήμερα εντοπίζεται στη περιοχή της Υποζώνης Παιονίας. 2) Κάποια τμήματα της Σερβομακεδονικής, ανατολικής Παιονίας και Πάικου διατηρήθηκαν αναδυμένα και τροφοδότησαν με τα προϊόντα της διάβρωσής τους την Ηωκαινική θάλασσα. 3) Η ιζηματογένεση του ανώτερου Ηωκαίνου ήταν πολυφασική και αποτελούνταν από :

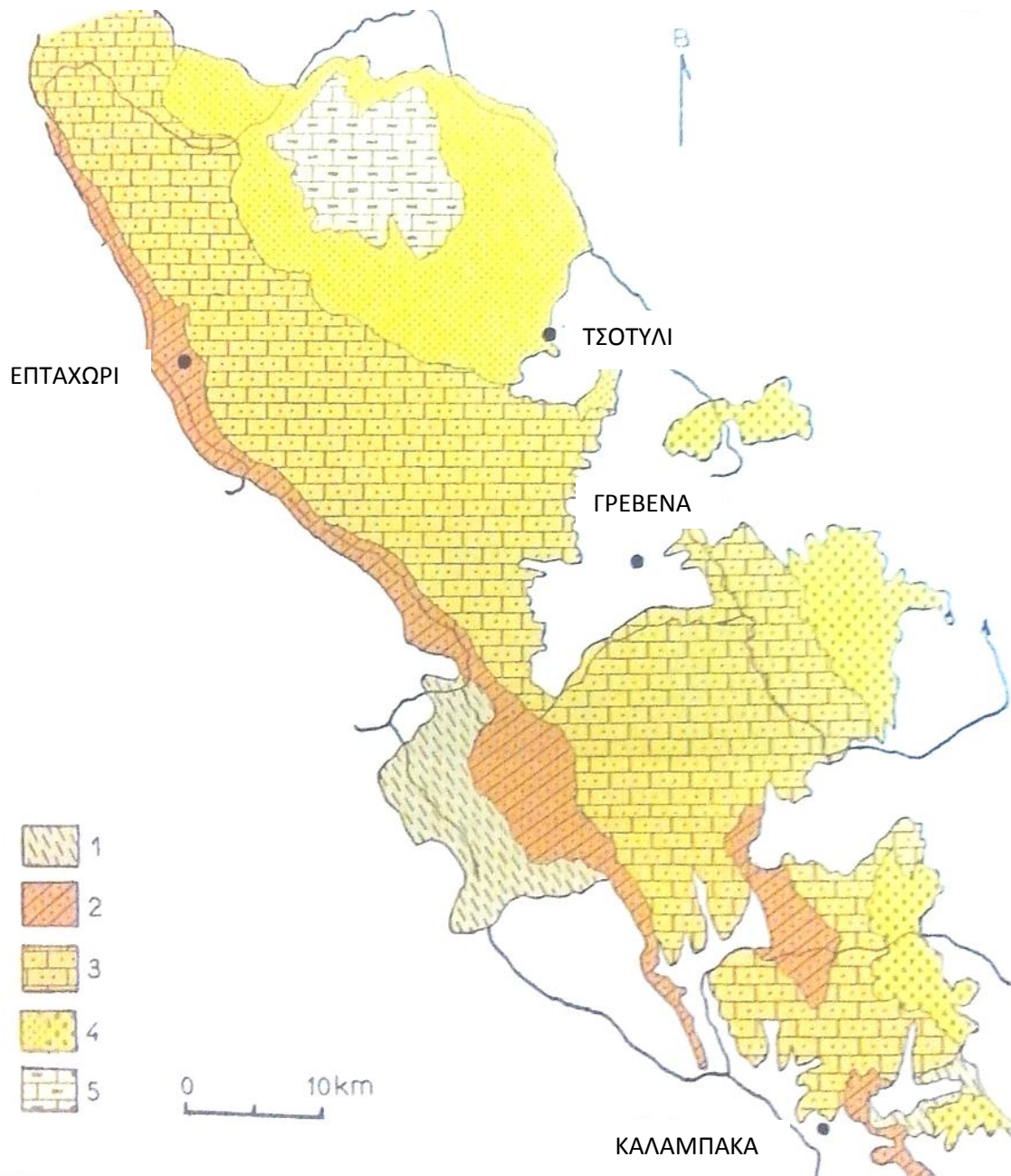
- *Ιζηματογένεση πελαγική* (εμφανίζεται στη Γιουγκοσλαβία με απολιθώματα τρηματοφόρων)
- *Ιζηματογένεση νηριτική* (ψαμμιτοκροκαλοπαγή ιζήματα)
- *Ιζηματογένεση λιμναία* (εμφανίζεται στη Γιουγκοσλαβία με απολιθώματα)
- *Αποθέσεις χερσαίες* (απολιθώματα φυτών)

Αυτοί οι σχηματισμοί έχουν λιθολογικούς και φασικούς χαρακτήρες μολάσσας. Από τις περιοχές του Χορυγίου και Άρτζαν φαίνεται πως αποθέτονται ασύμφωνα πτυχωμένα παλαιότερα στρώματα της Υποζώνης Παιονίας. Οι δύο σχηματισμοί δέχθηκαν την εξελικτική δράση της συμπίεστικής τεκτονικής του Άνω Ηωκαίνου – Ολιγοκαίνου εφόσον στη περιοχή Άρτζαν παρουσιάζονται με κλίση 45° ΒΑ και με μορφές κάμψης. 4) Οι σχηματισμοί των ηφαιστειακών ιζημάτων στα χωρία Μεταλλικό και Γυναικόκαστρο, καθώς και στη περιοχή της Γιουγκοσλαβίας, δείχνουν ότι η όξινη ηφαιστειακή δραστηριότητα λαμβάνει χώρα την ίδια περίοδο στο χώρο της Μολασσικής αύλακας. (Μουντράκης,2010)

2.5.2. Μεσοελληνική αύλακα

Η Μεσοελληνική αύλακα αποτελεί την σαφέστερη μολασσική αύλακα του ελληνικού χώρου και διατηρεί μια ολοκληρωμένη στρωματογραφική δομή εφόσον βρίσκεται κοντά στο νέο ορογενετικό μέτωπο των Ελληνίδων. Έχει μήκος 130 Km και πλάτος που ξεπερνά τα 40 Km. Η διεύθυνση στη οποία εκτείνεται είναι ΒΔ-ΝΑ παράλληλα στο ελληνικό τόξο, στο κορμό του Ελληνικού ηπειρωτικού χώρου. Συγκεκριμένα εκτείνεται από το Ελληνο-Αλβανικά σύνορα προς τα νότια των περιοχών Καστοριάς, Γρεβενών, Καλαμπάκας και τελικά ίσως να βυθίζεται κάτω από τις προσχώσεις της πεδιάδας της Θεσσαλίας. Προς βορρά επεκτείνεται αρκετά μέσα στην Αλβανία. (Μουντράκης,2010)

Η Μεσοελληνική αύλακα αναπτύσσεται στο γεωλογικά χώρο ανάμεσα στην Υποπελαγονική ζώνη και τη ζώνη της Πίνδου και έχει ως αλπικό υπόβαθρο οφειολιθικές μάζες μεγάλου πάχους αλλά και ασβεστόλιθους Μεσοζωικούς. Τα πρώτα ιζήματα της Μεσοελληνικής αύλακας αποτέθηκαν στα δυτικά της λεκάνης, στη περιοχή της Κρανιάς κατά το Άνω Ηώκαινο. Εμφανίζονται πτυχωμένα και με έντονη γωνία κλίσης, χαρακτηρίζεται και ως φλύσσης. Τα υπόλοιπα ιζήματα είναι μολασσικού τύπου που αποτέθηκαν κατά το Ολιγόκαινο και το Μειόκαινο λόγω της ανάδυσης της Πίνδου, της Πελαγονικής και ακόμα από τους οφειολίθους που περιέβαλαν τη λεκάνη Ζυγογιάννη και Σιδηρόπουλος.

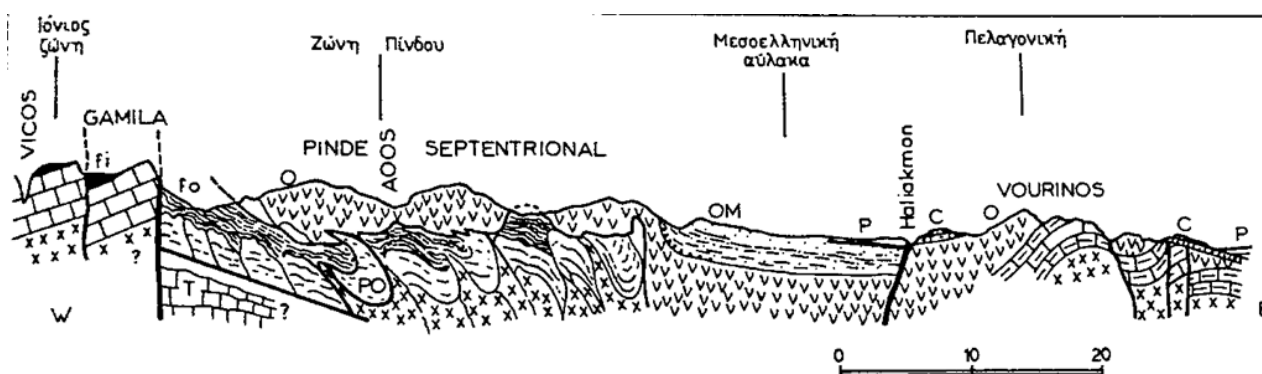


ΕΙΚΟΝΑ 2-8 Χάρτης των μολασσικών σχηματισμών της Μεσοελληνικής αύλακας. 1) άνω Ηώκαινο (σειρά Κραριάς) 2) Ολιγόκαινο (σειρά Επταχωρίου) 3) Ακουιτάνιο (σειρά Πενταλόφου - Μετεώρων) 4) Βουρδιγάλιο (σειρά Τσοτυλίου) 5) Ελβέτιο (σειρά Όντρια) (Μουντράκης,2010)

Η ποικιλία στη ιζηματογένεση οφείλεται στο γεγονός πως εξελισσόταν κοντά στο επίπεδο της θάλασσας συνεπώς, γινόταν απόθεση στην αύλακα άλλοτε θαλάσσια, λιμναία και άλλοτε χερσαία ποταμοχειμάρια. Οι εναλλαγές αυτές στην ιζηματογένεση οφείλονται στη συνεχή βύθιση της αύλακας που έδινε την ευκαιρία στη θάλασσα να εισβάλλει και στη συνέχεια, πλήρωνε την λεκάνη με αποτέλεσμα να

αποφράσσεται και να λειτουργεί σαν κλειστή λιμνοθάλασσα ή λίμνη με αποθέσεις λιμναίες ή ποτομοχειμάρειες.

Το σύνολο των ιζημάτων σε συνεχώς επαναλαμβανόμενους κύκλους αποτελεί την τεκτοφάση της μολάσσης που ακολούθησε τη κύρια παροξυσμική φάση των αλπικών πτυχώσεων. Δεν είναι πτυχωμένα, αλλά παρουσιάζονται με κλίσεις συνήθως προς Ανατολάς λόγω της δράσης μετέπειτα τεκτονικών κινήσεων. Τα μολασσικά ιζήματα της αύλακας καλύπτουν το όριο των ζωνών Ωλονού – Πίνδου και Υποπελαγονικής σε όλο το μήκος του και έχουν πάχος 5000 m.



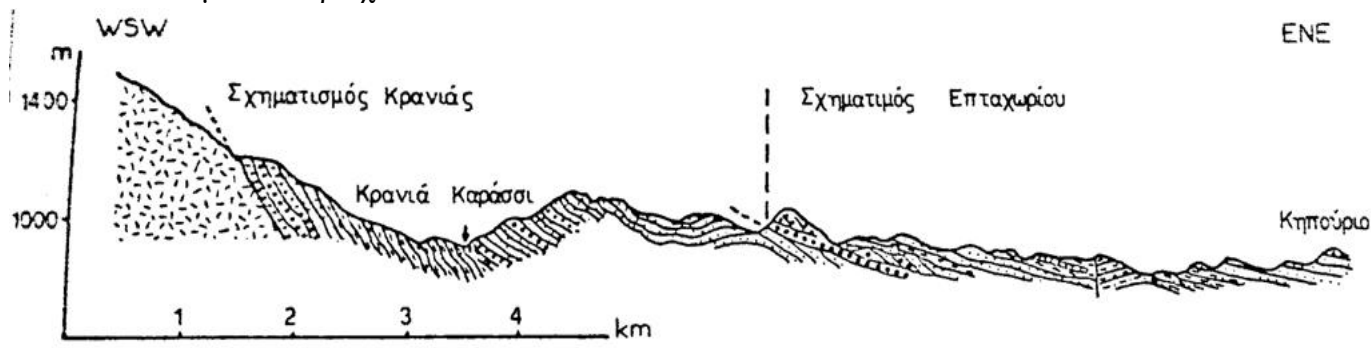
ΕΙΚΟΝΑ 2-9 Σχηματική γεωλογική θέση και ο σχηματισμός της Μεσσελληνικής αύλακας. Συγκεκριμένα γίνεται φανερή η επώθηση των οφειολίθων επί του φλύσχη της Πίνδου. Ο: οφειόλιθοι, ΡΟ: στρώματα της Πίνδου, fo: φλύσχη της Πίνδου, fi: Ιόνιος ζώνη, C: άνω Κρητιδικού επικλυσιογενές, OM: μολασσικά ιζήματα, P: Πλειοκαινο-Τεταρτογενές. (Μουντράκης,2010)

Η στρωματογραφία και οι φάσεις των ιζημάτων της Μεσσελληνικής αύλακας είναι οι εξής :

- ❖ **Σχηματισμός Κρανιάς** : κλαστική σειρά με χαρακτηριστικά φλύσχη, ηλικίας άνω Ηωκαίνου. Το συνολικό πάχος στα δυτικά υπολογίζεται στα 1300 m ενώ προς το νότιο – ανατολικό τμήμα φτάνει τα 300 m. Πρόκειται για επικλυσιογενή ιζήματα (κροκαλοπαγή ως λατυποπαγή), που επίκεινται ασύμφωνα στους οφειολίθους της βόρειας Πίνδου. Στη βάση της σειράς υπάρχει ένα κροκαλοπαγές πάχους περίπου 1000 m με κροκάλες οφειολίθων. Ο σχηματισμός περιορίζεται στη περιοχή της Κρανιάς δημιουργώντας ένα είδος εσοχής στη δομή της οροσειράς της Πίνδου που αντιπροσωπεύει μια παλαιο – ακτή και λόγω της επικλησηγενούς σχέση προς τους οφειολίθους χαρακτηρίζεται “παλαιοκόλπος” της Κρανιάς. Παρόμοιος σχηματισμός εμφανίζεται στα νότια – ανατολικά της Καλαμπάκας, σε μια μικρότερη περιοχή.

- ❖ **Σχηματισμός Επταχωρίου** : εμφανίζεται στο δυτικό περιθώριο της αύλακας. Τοποθετείται ασύμφωνα πάνω στο σχηματισμό της Κρανιας και σε εκείνους της ζώνης του Ωλονού – Πίνδου. Το πάχος της σειράς υπολογίζεται από 700 ως 1000 m. Αποτελείται από εναλλαγές κροκαλοπαγών, ψαμμιτών και μαργών ηλικίας Μέσου – Άνω Ολιγοκαίνου. Στη βάση έχει κροκαλοπαγή με οφειολιθικές κροκάλες που κατά τόπους περιέχουν λατεριτικό συνδετικό υλικό. Τα ανώτερα στρώματα αποτελούν εναλλαγές ψαμμιτών και μαργών ενώ τα κροκαλοπαγή δεν υπάρχουν. Στα στρώματα συναντώνται και λιγνιτικοί ορίζοντες.
- ❖ **Σχηματισμός Πενταλόφου (Σειρά Πενταλόφου – Μετεώρων)** : το πάχος της σειράς είναι περίπου 2,5 Km. Η ηλικία της υπολογίζεται στο κάτω Μειόκαινο – Άνω Ολιγόκαινο. Στη βάση αποτελείται από κροκαλοπαγή που μεταβαίνουν βαθμιαία προς τα πάνω σε εναλλαγές ψαμμιτών, αργίλλων, ψαμμιτοαργίλλων και κροκαλοπαγών. Στη σειρά αυτή εντοπίζονται μικρές εμφανίσεις γαγάτη (άμορφο ορυκτό, δημιουργία από αποσυντεθημένο ξύλο λόγω μεγάλων πιέσεων). Νοτιότερα του ποταμού Ίωνα μεταβαίνει πλευρικά στα κατώτερα κροκαλοπαγή των Μετεώρων, που αποτελούν πιθανόν ένα παλιό υποθαλάσσιο κώνο κορημάτων.
- ❖ **Σχηματισμός Τσοτυλίου** : η επαφή του νότιου και του βόρειου τμήματος του σχηματισμού είναι μια πλευρική μετάβαση, ενώ ολόκληρος ο σχηματισμός βρίσκεται σε ασυμφωνία με τους σχηματισμούς Επταχωρίου και Πενταλόφου. Το πάχος της σειράς είναι περίπου 2 Km, ηλικίας Μειοκαίνου. Γενικά η σειρά αποτελείται από κροκαλοπαγή, ψαμμίτες και μάργες. Συγκεκριμένα στο βόρειο τμήμα, όπου στη βάση της σειράς διαπιστώνονται κροκαλοπαγή με οφειολιθικές κυρίως κροκάλες πάχους 150-200 m, οι οποίες προς τα υπερκείμενα μεταβαίνουν σε εναλλαγές ψαμμιτών, μαργών και ψαμμιτομαργών. Στο νότιο τμήμα, η βάση της σειράς αποτελείται από πολύμικτα κροκαλοπαγή και σπανίως από λατυποπαγή, μεγάλου πάχους, με κροκάλες κυρίως από τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα τα οποία μεταβαίνουν προς τα νεότερα σε μάργες, ψαμμίτες και ψαμμιτομάργες.
- ❖ **Σχηματισμός Όντρια (Σειρά Καστανοχωρίου Καστοριάς)**: περιλαμβάνει ψαμμίτες, ασβεστολίθους, μάργες και ψαμμιτομαργαίλους ασβεστόλιθους, με παρεμβολές λιγνιτών στην υπερκείμενη σειρά. Παρατηρείται σημαντική εμφάνιση με Lithothamnium, Ostrea και άλλα παχύστρακα, απολιθώματα ρηχών νερών εντός των ασβεστόλιθων. Το συνολικό πάχος των ιζημάτων ηλικίας Μέσου – Άνω Μειοκαίνου είναι 50 m. Η σειρά εντοπίζεται στη περιοχή του Άργους – Ορεστικού όπου τα στρώματα είναι οριζόντια. Ίδιας φάσης ασβεστόλιθοι με Lithothamnium συναντώνται και στη νότια περιοχή δηλαδή κατά μήκος του ανατολικού περιθωρίου, τόσο βόρεια των Τρικάλων όσο και βόρεια της όχθης Αλιάκμονα ποταμού στο νότιο Βούρινο.

Θα πρέπει να επισημανθεί πως η παραπάνω λιθοστρωματογραφική διαδοχή δεν είναι σταθερή σε όλη την έκταση της αύλακας αλλά παρουσιάζει σημαντικές διαφορές κατά περιοχές εξαρτώμενη από την πηγή τροφοδοσίας των κοντινών αναδυμένων περιοχών.



ΕΙΚΟΝΑ 2-10 Σχηματική γεωλογική τομή που δείχνει τη γενική διάταξη των στρωμάτων της Μεσοελληνικής αύλακας (Μουντράκης,2010)

➤ **Εμφάνιση Μολασσικού σχηματισμού στην Πάρο**

Η πιο συχνή εμφάνιση του μολασσικού σχηματισμού στο νησί της Πάρου είναι στη περιοχή Νάουσα. Οι οφειόλιθοι βρίσκονται σε τεκτονική επαφή με τα μάρμαρα και τους ορθογνεύσιους του τεκτονικού καλύμματος Μαράθι. Η μολασσικής ακολουθία ξεκινά με μαργαϊκό ασβεστόλιθο πάχους 0,5-1 m ο οποίος υπέρκειται μια σειρά ψαμμιτών και κροκαλοπαγών. Στη συνέχεια, εμφανίζονται ιλυόλιθοι, ασβεστολιθικοί ψαμμίτες και ψαμμίτες. Στα ανώτερα τμήματα συναντώνται μικρά τμήματα με πυριτωμένο τραβερντίνη.

Η λιθολογία του σχηματισμού αποτελείται από μια σειρά ψαμμίτη και κροκαλοπαγών. Τα κροκαλοπαγή χαρακτηρίζονται από κροκάλες άσπρου μαρμάρου και κρυσταλλικού ασβεστόλιθου σε ποσοστό 20-80% ,γρανίτη 5-40%,ψαμμίτη και κροκάλες κόκκινου χρώματος 5-30%, οφειολίθους 5-15%, γνεύσιο και αμφιβολίτη 0-5% τέλος από γκριζωπό ασβεστόλιθο σε ποσοστό 5-10%. Ο σχηματισμός δεν φέρει απολιθώματα πέρα από μια θέση στον ανώτερο σχηματισμό του μαργαϊκού ασβεστόλιθου με μικρή εμφάνιση διατόμων.

↳ Εμφάνιση Μολασσικού σχηματισμού στην Ικαρία

Η γεωλογία της Ικαρίας χωρίζεται γενικά σε δύο σύνθετες τεκτονικές ενότητες, την κατώτερη και την ανώτερη. Η κατώτερη τεκτονική ενότητα αποτελείται από μεταμορφωμένα πετρώματα και γρανίτη που διείσδυσε κατά το Μειόκαινο. Ενώ, η ανώτερη τεκτονική ενότητα η οποία δεν επηρεάστηκε από την Αλπική ορογένεση περιορίζει την εμφάνισή της μόνο στην κεντρική περιοχή του νησιού (Μονάδα Κεφάλα) και στο βορειοανατολικό (περιοχή Φάρου) μέρος του νησιού. Η περιοχή Φάρου αποτελείται από μια ακολουθία ηλικία Ολιγοκαίνου-Μειοκαίνου που χαρακτηρίζεται ως οφειολιθική μολάσσα. Αυτός ο σχηματισμός είναι πλούσιος σε οφειολιθικές κροκάλες. Η τοποθέτηση της ανώτερης ενότητας πάνω από τη κατώτερη γίνεται τεκτονικά περίπου το Μειόκαινο.

2.6. Μολασσικοί σχηματισμοί στο εξωτερικό

Η μολάσσα ως ένα μετα-ορογενετικό ίζημα το οποίο εμφανίζεται στο τέλος της διαδικασίας της ορογένεσης, εντοπίζεται σε όλο τον κόσμο. Παρακάτω αναφέρονται ενδεικτικά κάποιοι ορεινοί όγκοι στους οποίους συναντάται η μολάσσα.

↳ Οροσειρά Άνδεων

Η οροσειρά των Άνδεων έχει μήκος περίπου 9.000 km και εκτείνεται κατά μήκος του δυτικού περιθωρίου της Νότιας Αμερικής. Οι Άνδεις είναι αποτέλεσμα της υποβύθισης της ωκεάνιας πλάκας της Ανταρκτικής και της μικροπλάκας της Ναζκα (Nazca Plate) κάτω από την ηπειρωτική πλάκα της Νότιας Αμερικής. Στη νοτιότερη πλευρά των Άνδεων, όπου βρίσκεται η περιοχή της **Παταγονίας** παρατηρείται η συμφωνία μεταξύ της περιοχής αυτής και της δυτικής εμπροσθο-τόξιας λεκάνης ως προς τη παραμόρφωση και την ανύψωσή τους. Αποτελούνται από συν-ορογενετικές αποθέσεις μολασσικού σχηματισμού ηλικίας Ολιγοκαίνου ως σήμερα. Τα κατώτερα τμήματα αυτών των μολασσικών σχηματισμών άρχισαν την απόθεση από τη περίοδο Ολιγοκαίνου – Μειοκαίνου. Τα υλικά του σχηματισμού είναι κροκάλες ψαμμίτη και σχιστολίθου. Αυτά τα θαλάσσια στρώματα υπέρκεινται ποτάμιες αποθέσεις του Santa Cruz (ηλικίας K-M.Μειόκαινο) τα οποία σχηματίστηκαν μετά τη παραμόρφωση και ανύψωση της Δυτικής Cordillera.

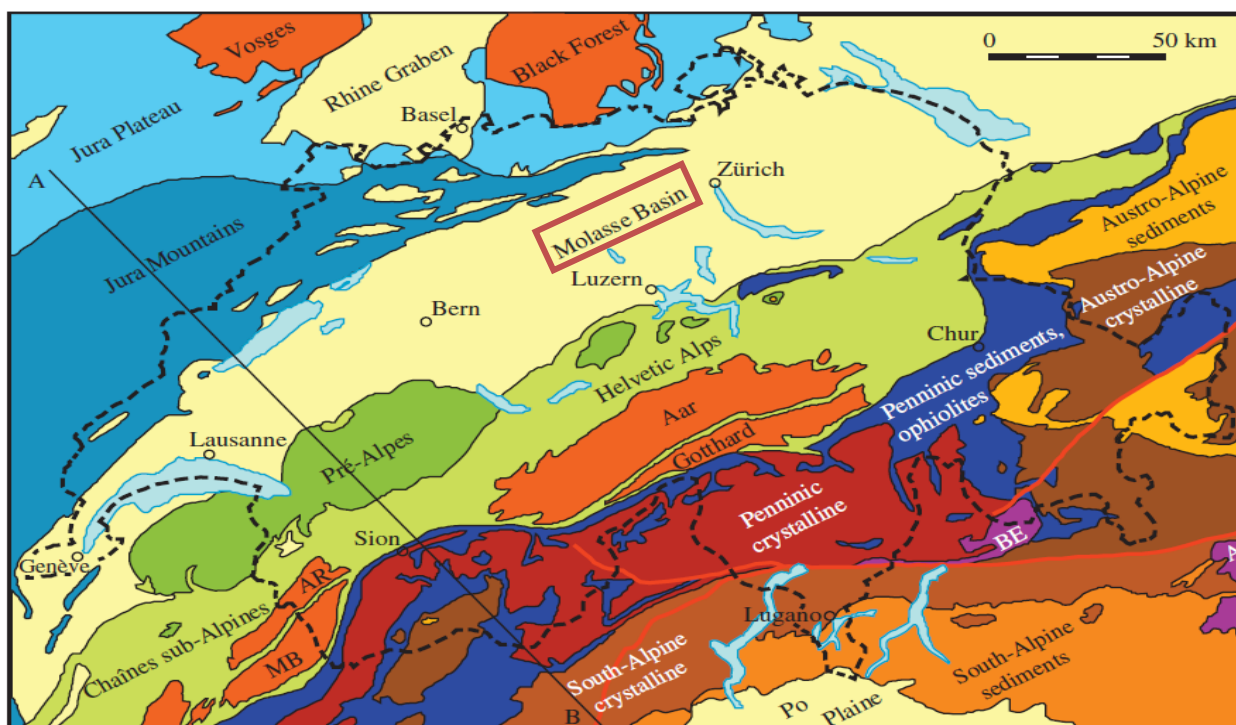
↳ Οροσειρά Άλπεων

Η μολασσική λεκάνη με βάση την ιζηματολογία της έχει διαιρεθεί σε τέσσερις λιθοστρωματογραφικές ενότητες αλλά διακρίνονται σε δυο μεγαδομές. Οι δυο χαρακτηρίζουν ηπειρωτικό περιβάλλον και οι άλλες δυο θαλάσσιο ρηχό περιβάλλον. Τα κατώτερα τμήματα της μολασσικής λεκάνης είναι πτυχωμένα και επωθημένα κατά μήκος του Βορειοανατολικό όριο και σχηματίζει τη *Subalpine molasse*. Το Βορειοδυτικό όριο του σχηματισμού συνορεύει με τη ζώνη πτύχωσης και επώθησης

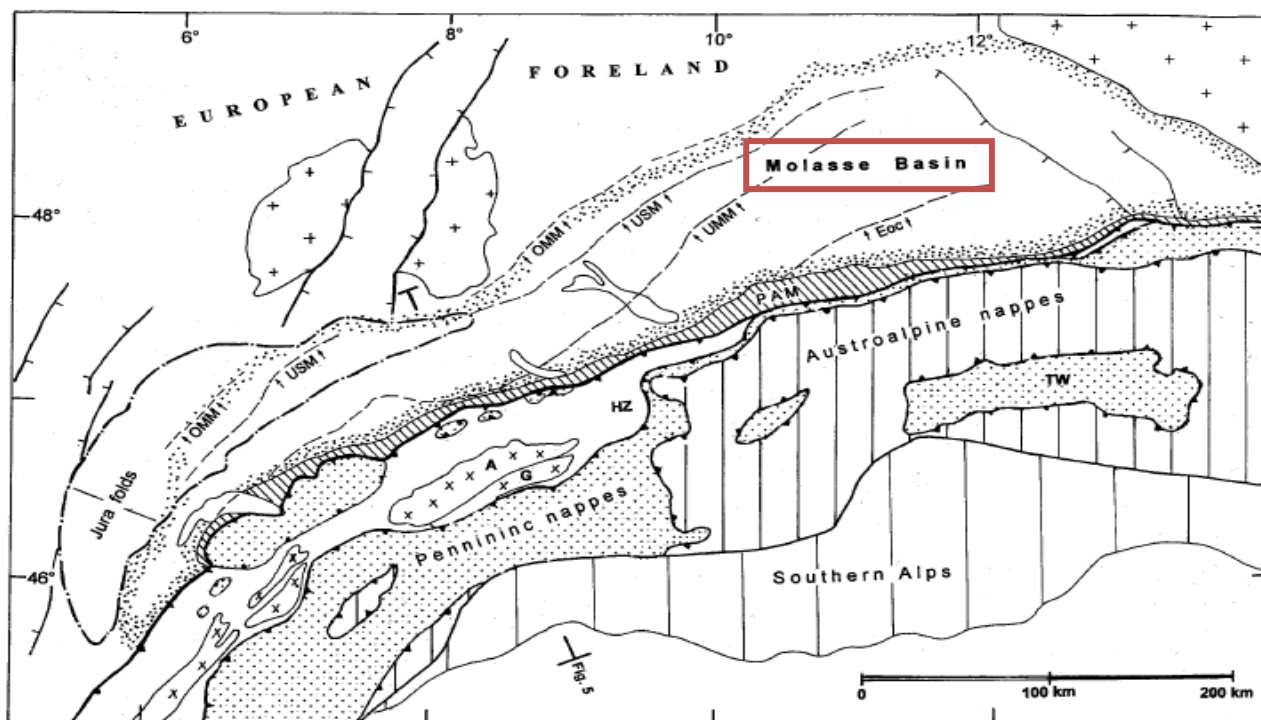
του όρους Ιούρα. Οι μολασσικές αυτές αποθέσεις συγκεντρώθηκαν κατά το κατώτερο Ολιγόκαινο με Μειόκαινο.

Η πρώτη μεγαδομή άρχισε με το σχηματισμό της *Lower marine molasse (UMM)* 35-30 Myr και αντιπροσωπεύει τη μετάβαση από τα παλαιότερα στα νεότερα στάδια εξέλιξης της λεκάνης υποθετικά λόγω της μεγάλης παροχής υλικών από τη διαδικασία της ορογένεσης. Η *Lower marine molasse (UMM)* υπέρκειται ποτάμια υλικά 30-20 Myr που αποτελούν την ενότητα *Lower freshwater molasse (USM)*. Η ενότητα αυτή αποτελείται από αλλουβιακά ριπίδια κροκαλοπαγών αλπικής επώθησης τα οποία ταξινομούνται σε ζώνες ψαμμίτη, ποτάμιες και λιμναίες αποθέσεις.

Η δεύτερη μεγαδομή ξεκινά με θαλάσσιες παρεμβάσεις ηλικίας 20 Myr όταν η ρηχή θάλασσα της ενότητας *Upper marine molasse (OMM)* καταλάμβανε το βασικό άξονα. Κατά την αλπική επώθηση μεγάλα ποτάμια μεταφέρουν υλικά στην *Upper marine molasse (OMM)* και διαμορφώνουν δέλτα με διάμετρο περίπου 10 km. Η ενότητα *Upper marine molasse (OMM)* υπέρκειται την ηπειρωτική ενότητα *Upper freshwater molasse (OSM)* που αποτελείται από λεπτά αλλουβιακά ριπίδια κροκαλοπαγών της επώθησης και εμφανίζουν ζώνες ψαμμίτη σε απομακρυσμένες θέσεις. Η ιζηματογένεση της μολάσσας συνεχίζεται από 5 Ma ή 10 Ma την οποία διαδέχεται η γρήγορη ανύψωση και διάβρωση. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η δημιουργία της εμπροσθο-τόξιας λεκάνης ηλικίας 11 Ma.



ΕΙΚΟΝΑ 2-11 Τεκτονικός χάρτης Ελβετίας, ο όρος *Molasse Basin* αντιστοιχεί στη μολασσική λεκάνη (Karl B.Follmi, Fritz Schlunegger & Helmut Weisset, 2013)



ΕΙΚΟΝΑ 2-12 Μολασσική λεκάνη βόρεια των Άλπεων, παρουσιάζονται οι θέσεις των διαφορετικών ενότητων της μολασσικής λεκάνης (Z. Garfunkel & R.O.Greiling, 2001)

📍 **Μεσοποτάμιο γεωσύγκλινο – Κεντρικό Ιράκ**

Ο σχηματισμός του κατώτερου **Bakhtiari** αποτελεί μια πολύ σημαντική λιθολογική ενότητα στη Μέση Ανατολή, η οποία περιορίζεται μόνο στη περιοχή του κεντρικού Ιρακ. Μετά από έρευνες ιζηματολογικές στο σχηματισμό του Bakhtiari εντόπισαν την απόθεση τυπικού μετα-ορογενετικού σχηματισμού, της μολάσσας. Αποτελείται από τα υλικά λιμναίων και ποτάμιων αποθέσεων που προέκυψαν από τη γρήγορη ανύψωση και διάβρωση του όρους Ζάγκρος. Η κατεύθυνση του σχηματισμού είναι ΝΑ – ΒΔ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΜΟΛΑΣΣΙΚΩΝ ΒΡΑΧΟΜΑΖΩΝ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μολάσσα είναι ένας σχηματισμός με ιδιαιτερότητες του οποίου τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά θα αναπτυχθούν στο παρόν κεφάλαιο. Παρουσιάζονται στη συνέχεια, τα συστήματα ταξινόμησης βραχόμαζας τα οποία έχουν κατασκευαστεί ώστε να αποδίδουν μια αριθμητική τιμή στις ιδιότητες που επηρεάζουν την συμπεριφορά της κατά τη κατασκευή ενός τεχνικού έργου. Τέλος, παρατίθενται τα συστήματα ταξινόμησης που εφαρμόζονται στη κατασκευή ενός τεχνικού έργου σε μολασσικούς σχηματισμούς.

3.2 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΛΑΣΣΙΚΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Η δομή της μολασσικής βραχόμαζας μεταβάλλεται ανάλογα με τη θέση στην οποία βρίσκεται και τα λιθολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει αναφορά στα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά της μολασσικής βραχόμαζας τόσο σε επιφανειακές συνθήκες όσο και στο βάθος. Η ετερογένεια του σχηματισμού, η συμμετοχή και οι εναλλαγές γεωυλικών χαμηλής αντοχής με άλλα μεγαλύτερης αντοχής και η αλλαγή της δομής με το βάθος είναι τα βασικά στοιχεία της ιδιαιτερότητας της μολασσικής βραχόμαζας. Τα ιλυολιθικά – αργιλικά πετρώματα είναι έντονα ευάλωτα στις επιφανειακές συνθήκες και στην παρουσία νερού. Αποτέλεσμα αυτής της τρωτότητας είναι η δημιουργία σχιστοποιημένων στρωμάτων στις επιφανειακές εμφανίσεις καθώς και εμφάνιση του φαινομένου της σχάσης λόγω της αποσάθρωσής του.

Η μολασσική βραχόμαζα λόγω της ιδιαιτερότητάς της διαμορφώνει τόσο ασθενής όσο και σύνθετες βραχόμαζες. Τα χαρακτηριστικά των δυο ειδών βραχόμαζας είναι τα ακόλουθα : (Μαρίνος,2007)

Ασθενής βραχόμαζα :

- ~ Εμφανίζονται ιλυολιθικά πετρώματα
- ~ Έντονη αποσάθρωση των ιλυολιθικών πετρωμάτων λόγω του φαινομένου της σχάσης. Το φαινόμενο αυτό επιδρά στους επιφανειακούς ιλυολιθικούς – αργιλικούς σχηματισμούς με αποτέλεσμα την μείωση της αντοχής της βραχόμαζας και σε πολλές περιπτώσεις τη μετατροπή του υλικού σε έδαφος.

- ~ Η επίδραση του νερού στο ιλυολιθικά μέλη και ‘‘άνοιγμα’’ των ασυνεχειών. Λόγω της μικρής περατότητας του σχηματισμού στα ανώτερα σημεία είναι δύσκολη η αποστράγγιση συνεπώς, μειώνεται η αντοχή της βραχόμαζας.

Σύνθετη βραχόμαζα :

- ~ Εναλλαγές υλικών μεγάλης αντοχής (ψαμμίτης, κροκαλοπαγή) με υλικά χαμηλότερης αντοχής (ιλυολιθικά, αργιλικά)
- ~ Αλλαγή της δομής του σχηματισμού με το βάθος . Επιφανειακά εμφανίζεται ετερογενής σχηματισμός, με εμφανή στρώση των μελών. Αντίθετα, στο βάθος ο σχηματισμός είναι ομοιογενής με συνεχή και συμπαγή δομή.

Όπως έχει αναφερθεί η μολάσσα σχηματίζεται κατά τα τελευταία στάδια της ορογένεσης συνεπώς, δεν έχει υποστεί συμπίεση των στρωμάτων της. Χαρακτηρίζει ένα ήρεμο τεκτονικό περιβάλλον. Τα ρήγματα βαρύτητας που μπορεί να προκύψουν δεν επιδρούν ιδιαίτερα στη ποιότητα της βραχόμαζας. Η στρώση της είναι η βασικά επιφάνεια ασυνέχειας, η οποία εμφανίζεται κυρίως στην επιφάνεια κι χάνεται στο βάθος. Στο *βάθος δηλαδή* η εικόνα που δίνει ο μολασσικός σχηματισμός είναι μιας *συμπαγούς και ομοιόμορφης δομής* σε αντίθεση με τις *επιφανειακές εμφανίσεις που σημειώνει ετερογένεια και είναι στρωσιγενείς*, όπως αναφέρεται στη συνέχεια.

Η μορφή της δομής του σχηματισμού της μολάσσας είναι πολύ διαφορετική όταν συναντάται στην επιφάνεια κι όταν συναντάται στο βάθος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως το ιλυολιθικό μέρος του σχηματισμού είναι πολύ ευαίσθητο στις επιφανειακές συνθήκες κι αλλοιώνεται πολύ γρήγορα εμφανίζοντας το φαινόμενο της σχάσης παράλληλα στη στρώση. Σε αντίθεση με το ψαμμιτικό μέρος, το οποίο δεν επηρεάζεται από τις επιφανειακές συνθήκες.

Η αλλαγή της δομής του σχηματισμού, ανάλογα με τη θέση στην οποία συναντάται μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτή μέσω των πυρήνων μιας γεώτρησης. Σύμφωνα με τις παρακάτω εικόνες, παρατηρούμε ότι αμέσως μετά τη διάτρηση του δείγμα έχει μια *ομοιογενή και συνεχή δομή χωρίς να είναι εύκολος ο διαχωρισμός των στρωμάτων του ψαμμίτη και του ιλυολίθου*. Οι τιμές RQD είναι >50 %. Αν όμως το ίδιο δείγμα *αφεθεί για κάποιο χρονικό διάστημα*, για παράδειγμα κάποιους μήνες, *εκτεθειμένο σε συνθήκες της επιφάνεια* παρατηρείται πως το *ιλυολιθικό μέρος χάνει τη δομή του* κι εμφανίζει το φαινόμενο τα σχάσης. Σε αντίθεση λοιπόν, με τον ψαμμίτη που μένει συμπαγές με τιμές RQD μεγαλύτερες του 50-60 % η δομή του ιλυολίθου χαλαρώνει τείνοντας να αποκτήσει χαρακτηριστικά εδάφους με μηδενικές τιμές RQD.



ΕΙΚΟΝΑ 3-1 Πυρήνας γεώτρησης αμέσως μετά τη διάτρηση, συμπαγής δομή σχηματισμού δύσκολος διαχωρισμός μελών (Μαρίνος, 2007)



ΕΙΚΟΝΑ 3-2 Πυρήνας γεώτρησης μετά περίπου από 6 μήνες, το ιλυολιθικό μέρος έχει χάσει τη δομή του αντίθετα το ψαμμιτικό εμφανίζεται ακόμα συμπαγές (Μαρίνος, 2007)

Κατά τη διάνοιξη ενός υπόγειου έργου – σήραγγας η χαλαρωμένη δομή του μολασσικού σχηματισμού λόγω των ιλυολιθικών μελών είναι δυνατό να συναντηθεί στα στόμια της σήραγγας ή σε τμήματα χαμηλών υπερκείμενων. Η στρώση των μελών είναι η κύρια ασυνέχεια, με μεγάλη εμμόνη και έντονη σχιστότητα. Ο βαθμός κερματισμού είναι μεγάλος με τιμή RQD (δείκτης κερματισμού βραχόμαζας) κυμαίνεται 0-50%. Μετά από περίπου 5 m παρατηρείται πως ο βαθμός αποσάθρωσης και ο κερματισμός της βραχόμαζας μειώνεται. Σε βάθος περίπου 10-15 m η δομή της βραχόμαζας χαρακτηρίζεται ως συμπαγής και συνεχής γενικά παίρνουμε μια ομοιογενή εικόνα. Οι τιμές πλέον RQD ξεπερνούν το 50-%.

Όσον αφορά τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του μολασσικού σχηματισμού σημειώνεται ότι οι ψαμμιτικοί ορίζοντες λόγω των περισσότερων ασυνεχειών είναι πιο ανοιχτές κοντά στην επιφάνεια με υψηλή υδροπερατότητα. Σε αντίθεση με τα ψαμμιτικά μέλη, τα ιλυολιθικά δημιουργούν χαμηλή ως πολύ χαμηλή υδροπερατότητα λόγω του μικρού πορώδους και των κλειστών ασυνεχειών. Οι ορίζοντες των κροκαλοπαγών έχουν τη δυνατότητα δημιουργίας μικρής υδροφορίας αλλά αυτή εξαρτάται από τη σύσταση του συγκολλητικού υλικού τον βαθμό κερματισμού καθώς και το περιβάλλον των πετρωμάτων.

Γενικά οι μολασσικοί σχηματισμοί λόγω των εναλλαγών των στρωμάτων της και των μεταβάσεων από την αδρομερή στη λεπτόκοκκη φάση δεν είναι εύκολη η ανάπτυξη ενός ενιαίου υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Βέβαια ανάμεσα στα στρώματα του ιλυολίθου εξαιτίας του δευτερογενούς πορώδους των ψαμμιτικών πάγκων που επιτρέπουν την ανάπτυξη μικρής υδροφορίας, μπορούν να αναπτύχθούν υπό πίεση υδροφόροι ορίζοντες. Κατά τη διάνοιξη των υπόγειων έργων σε μολασσικούς σχηματισμούς όμως δεν αναμένεται η παρουσία του νερού. Η πιθανότητα εμφάνισης του είναι με τη μορφή υγρασίας ως στάγδην. Πιο σπάνια σημειώνεται χαμηλή ροή συνεχόμενη ή διαλείπουσα στην επαφή ψαμμιτών και ιλυολίθων ή κατά μήκος κάποιας μεγάλης ασυνέχειας.

3.3 ΤΥΠΟΙ ΜΟΛΑΣΣΙΚΟΥ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ

Λόγω των διαφορετικών χαρακτηριστικών του μολασσικού σχηματισμού ανάλογα με τη θέση στην οποία βρίσκεται δηλαδή στην επιφάνεια ή στο βάθος ήταν δύσκολη η διαδικασία αξιολόγησης των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών της. Έτσι, οι διάφοροι τύποι της μολασσικής βραχόμαζας διαφοροποιήθηκαν σε συγκεκριμένους τύπους οι οποίοι αναφέρονται στη συνέχεια.

› *Μεσοστρωματώδης ως παχυστρωματώδης ψαμμίτης με σποραδικές ενστρώσεις ιλυολίθου*

Η βραχόμαζα αποτελείται από μεγάλου πάχους στρώματα ψαμμίτη. Εμφανίζει συμπαγής δομή με σποραδικές εμφανίσεις ιλυολίθου. Στο βάθος θεωρείται άρρηκτη η

βραχώμαζα ενώ επιφανειακά είναι έντονα κερματισμένη. Οι αναμενόμενες τιμές RQD είναι μεγαλύτερες του 60. Τέλος, τα ψαμμιτικά τεμάχια έχουν μεγάλη αντοχή η οποία δεν επηρεάζεται από τις λεπτές ενστρώσεις, χαμηλής αντοχής, ιλυολίθου.



ΕΙΚΟΝΑ 3-3 Εικόνα ψαμμίτη με σποραδικές ενστρώσεις ιλυολίθου στην επιφάνεια (Μαρίνος, 2007)



ΕΙΚΟΝΑ 3-4 Εμφάνιση συμπαγούς ψαμμίτη στο βάθος (Μαρίνος, 2007)

› ***Ψαμμίτης με κατά θέσεις ενστρώσεις ιλυολίθου***

Η βραχώμαζα αποτελείται από μέσο ως παχυστρωματώδη ψαμμίτη πάχους περίπου 2 m με συμπαγή γενικά δομή και ιλυολιτικές ενστρώσεις με πάχος 20-30 cm. Είναι ένας υγιής σχηματισμός στο βάθος ενώ εμφανίζει αποσαθρωμένα στρώματα στην επιφάνεια. Στο τύπο αυτό μπορεί να εντοπιστούν φακοί ή ενστρώσεις κροκαλοπαγών. Ο κερματισμός είναι ελάχιστος και οι αναμενόμενες τιμές RQD ξεπερνούν το 60 %. Η αντοχή των ψαμμιτικών μελών είναι μεγάλη αλλά επηρεάζονται από τις ιλυολιτικές ενστρώσεις που έχουν μικρότερη αντοχή. Η ευστάθεια των ψαμμιτών εξαρτάται από τους ιλυολίθους εφόσον σε κατάλληλες συνθήκες μπορεί να ολισθήσουν.



ΕΙΚΟΝΑ 3-5 Εμφάνιση ψαμμίτη με κατά θέσεις ιλυόλιθο επιφανειακά (Μαρίνος, 2007)



ΕΙΚΟΝΑ 3-6 Εμφάνιση ψαμμίτη με κατά θέσεις ιλυόλιθο στο βάθος (Μαρίνος, 2007)

› Τσες αναλογίες ψαμμίτη-ιλυολίθου

Χαρακτηρίζεται αυτός ο τύπος από λεπτοστρωματώδεις ως μεσοστρωματώδεις εναλλαγές ψαμμιτών κα ιλυολίθων με πάχος στρωμάτων περίπου 10-50 cm. Είναι γενικά ένας υγιής σχηματισμός με ελάχιστη αποσάθρωση σε μεγάλα βάθη. Σε αντίθεση σε επιφανειακές συνθήκες η αποσάθρωση των ιλυολιθικών μελών είναι έντονη. Θεωρείται ένας άρρηκτος σχηματισμός ή με ελάχιστο κερματισμό. Η εικόνα στην επιφάνεια είναι ενός στρωματώδους σχηματισμού που στο βάθος γίνεται συνεχής. Λόγω των μικρών κλίσεων και των πολλών εναλλαγών είναι δυνατή η εμφάνιση παρακατακόρυφων ασυνεχειών εξαιτίας της επίδρασης της βαρύτητας. Ο σχηματισμός μεγάλου πάχους στρωμάτων μπορούν να δώσουν υπερεκσκαφές (δηλαδή επιπλέον εκσκαφή πέραν της συγκεκριμένης διατομής της σήραγγας).



ΕΙΚΟΝΑ 3-7 Επιφανειακή εμφάνιση ψαμμίτη ιλυολίθου σε ίσες αναλογίες (Μαρίνος, 2007)



ΕΙΚΟΝΑ 3-8 Στο βάθος εμφάνιση ιλυολίθου και ψαμμίτη σε ίσες αναλογίες (Μαρίνος,2007)

› ***Ιλυόλιθος με κατά θέσεις ενστρώσεις ψαμμίτη***

Ο τύπος αυτός αποτελείται από ιλυόλιθο με καταθέσεις ενστρώσεις πάχους περίπου 10-20 cm ψαμμίτη. Ο βαθμός της αποσάθρωσης είναι μικρότερος στο βάθος με ελάχιστο κερματισμό και τιμές RQD πάνω από 50-60 % αντίθετα επιφανειακές συνθήκες μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης και κερματισμού με αποτέλεσμα οι τιμές RQD να είναι σχεδόν μηδενικές. Οι πιθανές αστοχίες που μπορούν να προκύψουν λόγω της μεγάλης εμμονής της στρώσης που αποτελεί τη κύρια ασυνέχεια να υπάρξει κίνδυνος ευστάθειας του μετώπου ή των πρανών. Ένας δεύτερος παράγοντας αστοχίας είναι η περίπτωση δυσμενούς προσανατολισμού των ασυνεχειών.



ΕΙΚΟΝΑ 3-9 Επιφανειακή εμφάνιση ιλυολίθου με κατά θέσεις ψαμμίτη (Μαρίνος,2007)



ΕΙΚΟΝΑ 3-10 Εμφάνιση ιλυολίθου με κατά θέσεις ψαμμίτη στο βάθος (Μαρίνος,2007)

› *Ιλυόλιθος με σποραδικές ενστρώσεις ψαμμίτη*

Θεωρείται μαζώδης βραχώμαζα με συμπαγή δομή. Στο βάθος έχει χαμηλό βαθμό αποσάθρωσης με μεγάλες τιμές RQD περίπου 95-100%. Από την άλλη πλευρά στην επιφάνεια εμφανίζεται ένας έντονα αποσθρωμένος σχηματισμός με μηδενικές τιμές RQD. Η εικόνα της επιφανειακής βραχώμαζας είναι σχιστοποιημένη σχεδόν εδαφοποιήμενη με έντονη αποσάθρωση λόγω του φαινομένου της σχάσης. Η αντοχή της άρρηκτης ιλυολιθικής – αργιολιθικής βραχώμαζας είναι μέτρια ως χαμηλή.



ΕΙΚΟΝΑ 3-11 Επιφανειακή εμφάνιση ιλυολίθου με ενστρώσεις ψαμμίτη
(Μαρίνος,2007)

› *Κροκαλοπαγή*

Ο σχηματισμός των κροκαλοπαγών χαρακτηρίζεται από ασαφή όρια ανάπτυξης με τους υπόλοιπους σχηματισμούς που αποτελούν τη μολάσσα. Αυτό οφείλεται στη διαταραγμένη ιζηματογένεση κατά την οποία δημιουργήθηκαν. Είναι ένας συμπαγής σχηματισμός, με μεγάλη αντοχή. Στη περιοχή βέβαια των ασυνεχειών είναι πιθανή η ανάπτυξη τοπικής υδροφορίας. Ενώ σε σημεία χαμηλών υπερκειμένων η βραχώμαζα εμφανίζεται ασθενής, χαλαρωμένη.



ΕΙΚΟΝΑ 3-12 Εμφάνιση κροκαλοπαγών στο βάθος (Μαρίνος,2007)



ΕΙΚΟΝΑ 3-13 Εμφάνιση κροκαλοπαγών στο βάθος, κοντινή εικόνα (Μαρίνος, 2007)



ΕΙΚΟΝΑ 3-14 Εμφάνιση κροκαλοπαγών σε πυρήνα γεώτρησης (Μαρίνος,2007)

3.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Σκοπός της παραγράφου είναι η παρουσίαση των συστημάτων ταξινόμησης βραχόμαζας. Συγκεκριμένα, τα συστήματα ταξινόμησης είναι το Σύστημα ταξινόμησης βραχόμαζας RMR (Bieniawski), το Σύστημα ταξινόμησης βραχόμαζας Q (Barton et al – Νορβηγικό γεωτεχνικό ινστιτούτο) και ο Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής της βραχομάζας, (Geological Strength Index, GSI). Στη συνέχεια, παρατίθεται ο τρόπος ταξινόμησης των μολασσικών σχηματισμών. Τα συστήματα ταξινόμησης της βραχόμαζας κατασκευάστηκαν λόγω της ανάγκης για την απόδοση μιας αριθμητικής τιμής στις ιδιότητες – χαρακτηριστικά της βραχομάζας – υλικού που επηρεάζουν την συμπεριφορά της κατά τη κατασκευή ενός τεχνικού έργου. Η ανάγκη για τη κατασκευή των συστημάτων ταξινόμησης έγινε αντιληπτή από τα μέσα του εικοστού αιώνα που αποδεικνύονταν πως οι εργαστηριακές δοκιμές και οι επί τόπου παρατηρήσεις στο πεδίο δε μπορούσαν να καλύψουν τις απαιτούμενες γεωτεχνικές γνώσεις για το υλικό. Φυσικά, δεν αντικαθιστά αυτές τις δυο διαδικασίες αλλά γίνεται μια προσπάθεια οργάνωσης των επί τόπου παρατηρήσεων.

3.4.1 Σύστημα ταξινόμησης βραχόμαζας RMR (Bieniawski)

Ο Bieniawski το 1973 πρότεινε το σύστημα ταξινόμησης RMR (Rock Mass Rating) το οποίο έλαβε τη τελική του μορφή το 1979 ενώ δεχόταν συνεχώς διαφοροποιήσεις για τα επόμενα δέκα χρόνια. Το σύστημα RMR απαιτεί μια σειρά έξι παραμέτρων για να είναι δυνατή η ποσοτική περιγραφή και ταξινόμηση της βραχόμαζας. Οι έξι παράμετροι είναι οι ακόλουθοι.

1. Αντοχή άρρηκτου – συμπαγούς πετρώματος
2. Δείκτης RQD
3. Η απόσταση των ασυνεχειών
4. Η κατάσταση των επιφανειών των ασυνεχειών
5. Το υπόγειο νερό
6. Ο προσανατολισμός των ασυνεχειών σε σχέση με τη φορά διάνοιξης του έργου

Για την κάθε παράμετρο υπάρχει μια βαθμολογία. Βάση της μετρούμενης τιμής της παραμέτρου το σύστημα δίνει μια τιμή στη κάθε παράμετρο. Ενώ, το άθροισμα όλων των βαθμολογιών είναι η τελική τιμή του δείκτη RMR της βραχόμαζας όπως αναλύεται παρακάτω.

Οι παράμετροι του συστήματος RMR :

1) Η αντοχή του άρρηκτου- συμπαγούς πετρώματος - **R1**

Αναφέρεται στην αντοχή του συμπαγούς πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη. Υπολογίζεται ως ο λόγος του επιβαλλόμενου φορτίου δια της επιφάνειας επιβολής του φορτίου αυτού. Η περιγραφική ταξινόμηση των πετρωμάτων ανάλογα με την αντοχή τους γίνεται σύμφωνα με τους παρακάτω χαρακτηρισμούς:

ΑΝΤΟΧΗ (Mpa)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
> 250	Εξαιρετικά ισχυρό	15
100-250	Πολύ ισχυρό	12-15
50-100	Ισχυρό	7-12
25-50	Μετρίως ισχυρό	4-7
5-25	Ασθενές	2-4
1-5	Πολύ ασθενές	1-2
0,25-1	Εξαιρετικά ασθενές	0

2) Δείκτης RQD - **R2**

Ο δείκτης ποιότητας βραχομάζας ή αλλιώς δείκτης κερματισμού της βραχομάζας RQD, είναι μια ποσοτική εκτίμηση του κερματισμού της βραχομάζας με βάση τους πυρήνες δειγματοληπτικών γεωτρήσεων. Ορίζεται ως ο λόγος του αθροίσματος του συνολικού μήκους των τεμαχίων της γεώτρησης με μήκος μεγαλύτερο των 10 cm, προς το συνολικό μήκος του πυρήνα, εκφρασμένος σε ποσοστό (%).

$$RQD = \frac{\sum \text{Μήκους τεμαχίων του πυρήνα με } > 10 \text{ cm μήκος}}{\text{Ολικό μήκος του πυρήνα}} \times 100$$

Ανάλογα με τη τιμή που λαμβάνει χαρακτηρίζεται :

RQD	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
100-90	Άριστη	20
90-75	Καλή	17-20
75-50	Μέτρια	13-17
50-25	Κακή	8-13
25-0	Πολύ κακή	3

Σε περίπτωση όπου δεν υπάρχουν δειγματοληπτικές γεωτρήσεις στη περιοχή μελέτης και τα μόνα στοιχεία που υπάρχουν για τη βραχομάζα προέρχονται από την επιφάνεια, τότε ο RQD υπολογίζεται απ' τον εμπειρικό τύπο του Palmstrom (1982)
 $RQD = 115 - 3,3 J_v$

(J_v = το σύνολο όλων των διακλάσεων ανά τρέχον μέτρο ευθείας παρατήρησης.)

3) Η απόσταση των ασυνεχειών – **R3**

Αναφέρεται στη μέση κάθετη απόσταση γειτονικών επιφανειών ασυνέχειας, που ανήκουν στην ίδια ομάδα (είδος - διεύθυνση), σύμφωνα με τον ακόλουθο χαρακτηρισμό

ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
> 2 m	Πολύ αραιή	20
0,6-2 m	Αραιή	15-20
0,2-0,6m	Μέτρια	10-15
0,06-0,2 m	Πυκνή	8-10
< 0,06 m	Πολύ πυκνή	5

4) Η κατάσταση των επιφανειών των ασυνεχειών – **R4**

ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΑΣΥΝΝΕΧΕΙΩΝ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
Πολύ τραχείες, χωρίς εξαλλοίωση	30
Ελαφρώς τραχείες, ελαφρά εξαλλοιωμένες, υλικό πλήρωσης < 1mm	25
Ελαφρώς τραχείες, πολύ εξαλλοιωμένες, υλικό πλήρωσης < 1mm	20
Λείες ή γυαλιστερές, υλικό πλήρωσης 1-5 mm	10
Υλικό πλήρωσης πάχους άνω των 5 mm	0

- Ανάπτυξη ασυνεχειών. Αφορά το μήκος του ίχνους της ασυνέχειας στην επιφάνεια του πετρώματος με την εξής κατάταξη:

ΑΝΑΠΤΥΞΗ (m)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
<1	Πολύ λίγη
1-3	Λίγη
3-10	Μέση
10-20	Υψηλή
>20	Πολύ υψηλή

- Διαχωρισμός ασυνεχειών. Η κάθετη απόσταση μεταξύ των τοιχωμάτων της ασυνέχειας.

ΑΝΟΙΓΜΑ (mm)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
< 0,1	Κλειστές
0,1-1,0	Μέτρια ανοιχτές
1-5	Ανοιχτές διακλάσεις
>5	Πολύ ανοιχτές

- Τραχύτητα επιφανειών ασυνεχειών. Είναι η τραχύτητα της επιφάνειας ασυνέχειας η οποία συντελεί στην αύξηση της γωνίας τριβής κατά μήκος της επιφάνειας ασυνέχειας. Η κατάταξη περιλαμβάνει τις κατηγορίες: Πολύ τραχείες, Τραχείες, Ελαφρώς τραχείες, Λείες, Διατμημένες.
- Υλικό πλήρωσης ασυνεχειών. Αναφέρεται στο υλικό που γεμίζει το κενό της ασυνέχειας. Συνήθως το υλικό παρουσιάζει μικρότερη αντοχή από το πέτρωμα. Συνήθη υλικά πλήρωσης είναι άμμος, ιλύς, άργιλος, λατυποπαγή κ.α.
- Πέτρωμα στις παρειές των ασυνεχειών. Αναφέρεται στην αποσάθρωση του πετρώματος στις παρειές των ασυνεχειών. Η κατάταξη περιλαμβάνει τις κατηγορίες: Υγιές, Ελαφρώς αποσαθρωμένο, Μετρίως αποσαθρωμένο, Πολύ αποσαθρωμένο, Πλήρως αποσαθρωμένο.

5) Το υπόγειο νερό - R5

Η παρουσία του υπογείου νερού, επηρεάζει τα μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχώμαζας. Όταν η βραχώμαζα έχει μικρή αντοχή με σημαντική εξαλλοίωση κατά μήκος των ασυνεχειών (αργιλικό υλικό) και σημαντική αποσάθρωση επηρεάζεται σε μεγαλύτερο βαθμό γιατί η παρουσία του νερού προκαλεί διόγκωση των αργιλικών ορυκτών, υποβάθμιση της συνοχής και μείωση της γωνίας εσωτερικής τριβής. Σε βραχώμαζες χωρίς ιδιαίτερη αποσάθρωση η αρνητική επιρροή του νερού είναι μικρή, εκτός αν υπάρχει μεγάλη διαπερατότητα. Οι συνθήκες που εμφανίζονται είναι: Τελείως ξηρές, Ύφυγρη, Υγρή, Στάγδην και όταν υπάρχει ροή, χαρακτηρίζεται ως Χαμηλή, Μέση και Υψηλή.

ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ	ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ
Καθόλου νερό	15
Παρουσία νερού	10
Υγρές επιφάνειες	7
Στάγδην	4
Με ροή	0

6) Ο προσανατολισμός των ασυνεχειών σε σχέση με τη φορά διάνοιξης του έργου – **R6**

Είναι πολύ σημαντική παράμετρος γιατί η ταξινόμηση της βραχώμαζας στοχεύει στην εκτίμηση των μέτρων προσωρινής υποστήριξης που θα εφαρμοστούν κατά τη πρόσχωση και στον τρόπο εκσκαφής. Αναφέρεται στον προσανατολισμό της διεύθυνσης και κλίσης ασυνεχειών και τεκτονικών στοιχείων, ως προς τον άξονα κατασκευής της σήραγγας ώστε να εκτιμηθεί η ευστάθειά της.

<i>Ανεξάρτητα από παράταξη</i>	
<i>Γωνία κλίσης</i>	<i>Εκτίμηση</i>
0° - 20°	Δυσμενής
<i>Παράταξη παράλληλη προς τον άξονα της σήραγγας</i>	
<i>Γωνία κλίσης</i>	<i>Εκτίμηση</i>
45° - 90°	Πολύ δυσμενής
20° - 45°	Μέτρια
0° - 20°	Δυσμενής ανεξάρτητα από διεύθυνση
<i>Παράταξη κάθετη στον άξονα της σήραγγας</i>	
<u>Διάνοιξη σύμφωνα με την κατεύθυνση βύθισης</u>	
<i>Γωνία κλίσης</i>	<i>Εκτίμηση</i>
45° - 90°	Πολύ ευνοϊκή
20° - 45°	Ευνοϊκή
0° - 20°	Δυσμενής ανεξάρτητα από διεύθυνση
<u>Διάνοιξη αντίθετα με την κατεύθυνση βύθισης</u>	
<i>Γωνία κλίσης</i>	<i>Εκτίμηση</i>
45° - 90°	Μέτρια
20° - 45°	Δυσμενής
0° - 20°	Δυσμενής ανεξάρτητα από διεύθυνση

Το σύστημα αυτό είναι μια ημι-εμπειρική μέθοδο που χρησιμοποιείται στα υπόγεια έργα πολλά χρόνια. Είναι σχεδιασμένη για περιπτώσεις που η αστάθεια της οροφής ή των τοιχωμάτων της σήραγγας οφείλεται στη χαλάρωση της βραχώμαζας. Αυτή η μακροχρόνια χρήση του αποδεικνύει ότι η απεικόνιση της πραγματικότητας είναι ικανοποιητική σε αυτές τις συνθήκες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως η μέθοδος Bieniawski βασίζεται κυρίως στο μέγεθος των τεμαχών του πετρώματος δηλαδή στο δείκτη κερματισμού RQD, για τη διαμόρφωση της τελικής τιμής, εις βάρος της αντοχής των ασυνεχειών. Στη περίπτωση διόγκωσης, ερπυστικών φαινομένων του πετρώματος ή του υλικού πλήρωσης των ασυνεχειών ή θραύση από συμπίεση δεν μπορεί να δώσει αποτελέσματα. Πιο συνοπτικά, η εφαρμογή του

ταιριάζει πιο καλά σε ψαθυρή συμπεριφορά – θραύση του πετρώματος παρά στη πλαστική συμπεριφορά.

Η κατάταξη της βραχώμαζας με βάση τη τελική τιμή του RMR :

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	ΤΙΜΕΣ RMR
Πολύ καλή	I	81-100
Καλή	II	61-80
Μέτρια	III	41-60
Φτωχή	IV	21-40
Πολύ φτωχή	V	0-20

Τα βασικά μειονεκτήματα του συστήματος ταξινόμησης βραχώμαζας RMR :

- Ο υπολογισμός του RMR δεν περιλαμβάνει την κατάσταση των τάσεων.
- Έχει περιορισμούς σχετικά με την εκτίμηση της αντοχής και του συντελεστή παραμορφωσιμότητας
- Κατά τη δημιουργία του εξετάστηκαν κυρίως πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα παρά ιζηματογενή. Οι ασυνέχειες δεν είχαν υλικό πλήρωσης ή είχαν αποσαθρωμένα τοιχώματα
- Εφαρμόζεται σε περιπτώσεις που η αστάθεια εκσκαφής προκαλείται από χαλάρωση λόγω ολισθήσεων και περιστροφών μικροτεμάτων.
- Έχει καλύτερη εφαρμογή σε ψαθυρές θραύσης πετρώματα απ' ό,τι σε αυτά που παρουσιάζουν πλαστιμότητα.

3.4.2 Σύστημα ταξινόμησης βραχώμαζας Q (Barton et al – Νορβηγικό γεωτεχνικό ινστιτούτο)

Το 1974 δημοσιεύτηκε για πρώτη φορά από τους N.Barton, R.Lien και J.Lunde του Νορβηγικού Γεωτεχνικού Ινστιτούτου (NGI) το σύστημα ταξινόμησης βραχώμαζας Q. Το σύστημα Q έπαιξε πολύ σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της εφαρμοσμένης μηχανικής πετρωμάτων. Ο αρχικός στόχος αυτού του συστήματος ήταν η ταξινόμηση των βραχομαζών ώστε να αποτελέσει ένα εργαλείο αξιολόγησης των μέτρων υποστήριξης σπηλαίων και υπόγειων θαλάμων. Το σύστημα Q δε διαφέρει πολύ από το σύστημα RMR. Λόγω όμως της χρήσης πολλών παραμέτρων για τη περιγραφή του συστήματος RMR επιλέχθηκαν οι πιο βασικές παράμετροι και όρισαν μια βαθμολογία για κάθε μια.

Το τελικό αποτέλεσμα του δείκτη Q προκύπτει από τον τύπο :

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$$

Οι παράμετροι :

RQD	Δείκτης κερματισμού πετρώματος
J _n	Εκφράζει το συνολικό αριθμό των συστημάτων ασυνεχειών
J _r	Εκφράζει το βαθμό τραχύτητας των επιφανειών των ασυνεχειών
J _a	Εκφράζει το βαθμό εξαλλοίωσης των επιφανειών
J _w	Εκφράζει την επιρροή του υπόγειου νερού.
SRF	Εκφράζει την επίδραση των τάσεων

Οι παράμετροι χωρίζονται σε λόγους :

- $\frac{RQD}{J_n}$ εκφράζει το μέσο μέγεθος των τεμαχών της βραχόμαζας
- $\frac{J_r}{J_a}$ εκφράζει τη διατμητική αντοχή των ασυνεχειών βραχόμαζας
- $\frac{J_w}{SRF}$ εκφράζει τις περιβαλλοντικές συνθήκες στη βραχόμαζα

Με βάση το σύστημα ταξινόμησης Q η βραχόμαζα χαρακτηρίζεται σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα :

Q	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
> 400	Εξαιρετικά καλή
100-400	Πάρα πολύ καλή
40-100	Πολύ καλή
10-40	Καλή
4-10	Μέτρια
1-4	Φτωχή
0,1-1	Πολύ φτωχή
0,01-0,1	Πάρα πολύ φτωχή
< 0,01	Εξαιρετικά φτωχή

Στο συγκεκριμένο σύστημα λαμβάνεται υπόψη η αστάθεια της εκσκαφής της σήραγγας που προκαλείται από χαλάρωση της βραχόμαζας, τη διόγκωση του πετρώματος ή του υλικού πλήρωσης των ασυνεχειών ή θραύσης. Στις προτάσεις για υποστήριξη υπολογίζει και τις πρόσφατες εξελίξεις στα συστήματα υποστήριξης.

Τα αρνητικά σημεία του συστήματος είναι :

- › Η απουσία του προσανατολισμού της σήραγγας, όπου γίνεται αντιληπτό στην ευστάθεια του έργου όταν η βαθμονόμηση συνδέεται με τα μέτρα άμεσης υποστήριξης.
- › Λαμβάνει τιμές από 0,001 ως 1000 και καλύπτει 6 τάξεις μεγέθους, αλλά έχει αποδειχθεί πως δουλεύει καλύτερα για τιμές 0,1-40.
- › Στις κατηγορίες περιλαμβάνει ασθενείς ζώνες αλλά οι περιπτώσεις με παραμορφωμένα– πτωχά πετρώματα δεν επαρκούν.
- › Χρησιμοποιώντας τους δυο πρώτους λόγους μπορεί να γίνει εκτίμηση των ιδιοτήτων της βραχόμαζας για την επίλυση κριτηρίων αστοχίας. Η χρήση αυτής της εφαρμογής είναι περιορισμένη.

3.4.3. Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής (Geological Strength Index , GSI)

Όπως έχει αναφερθεί πιο πάνω τα συστήματα ταξινόμησης RMR & Q βασίζονται στη τιμή του δείκτη κερματισμού της βραχόμαζας, δηλαδή στο δείκτη RQD. Ο δείκτης αυτός όμως παίρνει μηδενικές τιμές για τις ασθενείς βραχόμαζες. Συνεπώς, έπρεπε να κατασκευαστεί ένα σύστημα ταξινόμησης για αυτές τις βραχόμαζες που το RQD δε θα συμπεριλαμβάνεται και η τιμή της κατάταξης του υλικού θα προέκυπτε από τις γεωλογικές παρατηρήσεις (φύση υλικού, δομή κ.τ.λ.). Μέσω αυτής της τιμής θα είναι δυνατός ο υπολογισμός των ιδιοτήτων της βραχόμαζας.

Έτσι, στα μέσα της δεκαετίας του 1990 κατασκευάστηκε ένα νέο σύστημα ταξινόμησης που ονομάστηκε **Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής** της βραχόμαζας, (GSI). Ο δείκτης GSI βασίζεται στην αξιολόγηση της δομής της βραχόμαζας και της κατάστασης των επιφανειών των ασυνεχειών. Η εξέταση αυτών των χαρακτηριστικών της βραχόμαζας γίνεται μακροσκοπικά. Συνδυάζει λοιπόν δυο παραμέτρους τηρώντας τους γεωλογικούς περιορισμούς του σχηματισμού. Οι παράμετροι είναι η τεμαχώδης δομή του σχηματισμού καθώς και οι συνθήκες των ασυνεχειών. Φυσικά θα πρέπει να τονιστεί πως δεν αντικαθιστά τα προηγούμενα συστήματα εφόσον δε δίνει πληροφορίες για τον σχεδιασμό των μέτρων υποστήριξης, αλλά επικεντρώνεται στις ιδιότητες της βραχόμαζας.

ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI)

(E. Hoek, Π. Μαρίνος, 2000)

Βασίζομενοι στην περιγραφή της lithολογικής σύστασης, της δομής και της ποιότητας των ασυνεχειών της βραχώδους 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 αστάθειες 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 βραχώδους. 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 μέτριας, 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

ΑΠΡΗΚΤΗ

Άπρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άστρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση

ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ/ ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ

Αδιατάρακτη βραχώδης με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών

ΠΟΛΥ ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ

Μερικώς διαταραγμένη βραχώδης 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 βραχώδης με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιώδων και αποστραγγυλωμένων τεμαχίων

ΦΥΛΛΩΔΗΣ/ ΔΙΑΤΜΗΜΕΝΗ

Φύλλωδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθενής βραχώδης. 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)

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ

ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ

Πολύ τραχιές, υγρές, μη αποσβρωσμένες επιφάνειες

ΚΑΛΗ

Τραχιές, ελαφρά αποσβρωσμένες και οξείδιωμένες επιφάνειες

ΜΕΤΡΙΑ

Λείες, μετρίου αποσβρωσμένες και εξαλλοιωμένες επιφάνειες

ΠΤΩΧΗ

Πολύ λείες, κατά περίπτωση ολισθηρές επιφάνειες με σημαντική επιρροή ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα

ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ

Πολύ ολισθηρές επιφάνειες ή πολύ αποσβρωσμένες με μαλακό αργιλέο υλικό πλήρωσης ή επιρροής

ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ

ΜΕΙΟΥΜΕΝΟ ΑΛΛΗΛΟΚΛΕΙΔΩΜΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΤΕΜΑΧΩΝ

90

80

70

60

50

40

30

20

10

N/A

N/A

N/A

N/A

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4.1 Γενικό διάγραμμα ταξινόμησης της βραχώδους GSI (Μαρίνος, 2007)

Αρχικά, προσπάθησαν να συσχετίσουν το GSI με το RMR και Q ώστε να προκύψουν στοιχεία που θα βοηθούσαν στην επίλυση του κριτηρίου αστοχίας Hoek – Brown. Για να μπορέσουν να το δουλέψουν αυτό προτάθηκε η παρακάτω σχέση :

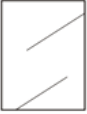
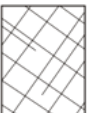
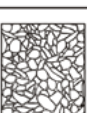
$$GSI = RMR - 5$$

Η σχέση αυτή θα ήταν χρήσιμη και αποτελεσματική σε καλής ποιότητας βραχώμαζες. Σε ασθενείς όμως βραχώμαζες όπως είναι η μολάσσα δε μπορούσαν να εφαρμοστούν τέτοιοι συσχετισμοί. (Μαρίνος, 2007)

Ο δείκτης GSI είναι χρήσιμος σε ασθενείς βραχώμαζες γιατί είναι περίπλοκο να βρεθούν ποσοτικά δεδομένα. Το σύστημα αυτό δεν μπορεί να αντικαταστήσει άλλες μεθόδους εφόσον δεν παρέχει τη δυνατότητα πρόβλεψης των άμεσων μέτρων υποστήριξης της βραχώμαζας. Η μοναδική του λειτουργία είναι η εκτίμηση των ιδιοτήτων της βραχώμαζας. Βέβαια, οι ιδιότητες που θα προκύψουν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως στοιχείο σε κάποιο τύπο αριθμητικής ανάλυσης. Το γεγονός της έλλειψης των αριθμητικών δεδομένων είναι πρόβλημα για τους μηχανικούς. Έγιναν κάποιες προσπάθειες για την ποσοτικοποίηση του GSI αλλά ήταν ουσιαστικά μια διαδικασία παρόμοια με αυτή του RQD που έβρισκε εφαρμογή σε καλής ποιότητας σκληρά τεμάχια βράχου.

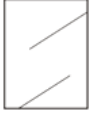
Παρακάτω γίνεται αναφορά κάποιων γενικών στοιχείων εφαρμογής και χρήσης του συστήματος :

- ☞ Με το διάγραμμα GSI γίνεται προσπάθεια ποσοτικοποίησης της βραχώμαζας μέσω της μακροσκοπικής εξέτασης της λιθολογίας, της δομής του υλικού και της ποιότητας των ασυνεχειών. Στόχος της εξέτασης αυτής είναι να προκύψουν τιμές που θα χρησιμοποιήσουν οι μηχανικοί για να υπολογίσουν 1. Τη μονοαξονική αντοχή του άρρηκτου βράχου (σ_{ci}) 2. Τη πετρογραφική σταθερά m_i 3. Τη μονοαξονική αντοχή της βραχώμαζας (σ_{cm}) 4. Το μέτρο παραμορφωσιμότητας E.
- ☞ Βασικός περιορισμός εφαρμογής του συστήματος είναι η υπο εξέταση βραχώμαζα να αποτελείται από πολλές ασυνέχειες με τυχαίο προσανατολισμό με αποτέλεσμα την *ισότροπη συμπεριφορά* της βραχώμαζας.
- ☞ Η τιμή η οποία δίνεται στην εκάστοτε περίπτωση θα πρέπει να προκύπτει από τη προσεκτική παρατήρηση της βραχώμαζας που εξετάζεται και τη μελέτη των περιγραφών του διαγράμματος και όχι από τα σχήματα του.
- ☞ Η συλλογή των πληροφοριών για τον υπολογισμό της τιμής του GSI γίνεται από τρία δεδομένα : 1.επιφανειακές εμφανίσεις, που εξάγονται οι πρώτες πληροφορίες για το σχηματισμό π.χ. επιφανειακή χαλάρωση, αποσάθρωση. 2. Πρανή 3. Πυρήνες γεωτρήσεων, δείχνουν τη μονοδιάστατη κατάσταση του σχηματισμού στο βάθος. Αν γίνουν πολλές γεωτρήσεις κατακόρυφες & υπό κλίση μπορεί να αποκτηθεί μια τρισδιάστατη εικόνα του υλικού στο βάθος.
- ☞ Στο Πίνακα 3.4.2 παρουσιάζονται οι προτεινόμενες διορθώσεις του GSI από τις παρατηρήσεις σε επιφανειακές εμφανίσεις σε βάθος.
Στη *λευκή περιοχή* συνίσταται μετατόπιση στον πίνακα προς τα αριστερά ή προς τα πάνω και αριστερά. Πρέπει να διευκρινίσει πως η έκταση της μετατόπισης που εμφανίζεται στο διάγραμμα είναι ενδεικτική.
Στη *σκιασμένη περιοχή* εφαρμόζεται ελάχιστη ή καθόλου μετατόπιση καθώς η πτωχή ποιότητα διατηρείται και σε βάθος σε κατακλασμένες ή διατμημένες ζώνες

ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI) (Ε. Hoek, Π. Μαρίνος, 2000) Βασίζομενοι στην περιγραφή της λιθολογικής σύστασης, της δομής και της ποιότητας των ασυνεχειών της βραχώμαζας 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 επιπεδες επιφάνειες (όπως διατμημένα επίπεδα στρώσης) έχουν δυσμενή προσανατολισμό σε σχέση με την εκσκαφή. Τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχώμαζας. 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 μέτριας, 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.		ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχιές, υγρές, μη αποσπασθωμένες επιφάνειες ΚΑΛΗ Τραχιές, ελαφρά αποσπασθωμένες και αεριοειδείς 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			
ΔΟΜΗ		ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ			
 ΑΡΡΗΚΤΗ Άρρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άστρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση		90			N/A
 ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ/ ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ Αδιατάρακτη βραχώμαζα με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών		80			
 ΠΟΛΥ ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ Μερικώς διαταραγμένη βραχώμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών		70			
 ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ/ΠΤΥΧΩΜΕΝΗ Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας		60			
 ΑΠΟΔΙΟΡΓΑΝΩΜΕΝΗ Ισχυρά κερματισμένη βραχώμαζα με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιώδων και αποστραγγυλωμένων τεμαχίων		50			
 ΦΥΛΛΩΔΗΣ/ ΔΙΑΤΜΗΜΕΝΗ Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθενής βραχώμαζα. 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)		40			
		30			
		20			
		10			
		N/A	N/A		

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4.2 Οι προτεινόμενες διορθώσεις του GSI από τις παρατηρήσεις σε επιφανειακές εμφανίσεις σε βάθος. (Μαρίνος, 2007)

- Στο Πίνακα 3.4.3 παρουσιάζεται η προτεινόμενη διόρθωση του GSI για την περίπτωση παρουσίας του νερού τόσο στις ασυνέχειες όσο και στο υλικό πλήρωσης. Παρατηρείται μείωση της αντοχής της βραχώμαζας και χαρακτηρίζεται μέτρια ως πολύ πτωχή βραχώμαζα. Στο διάγραμμα λοιπόν, σημειώνεται μετατόπιση προς τα δεξιά. Η μετατόπιση στο διάγραμμα προς τα δεξιά είναι πιο μεγάλη όσο πιο χαμηλής ποιότητας είναι η βραχώμαζα.

ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI) (Ε. Hoek, Π. Μαρίνος, 2000) Βασίζομενοι στην περιγραφή της λιθολογικής σύστασης, της δομής και της ποιότητας των ασυνεχειών της βραχώμαζας εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI από τις καρπύλες. 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 βραχώμαζας. Η αντοχή ορισμένων βραχώμαζών μειώνεται από την παρουσία του υπόγειου νερού και αυτό μπορεί να ληφθεί υπόψη με μικρή μετακίνηση προς τα δεξιά στις στήλες της μέτριας, 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.		ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχιές, υγείες, μη αποσπασθωμένες επιφάνειες ΚΑΛΗ Τραχιές, ελαφρά αποσπασθωμένες και οξείδιωμένες 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				
ΔΟΜΗ		ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →				
 ΑΡΡΗΚΤΗ Άρρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άστρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση		90			N/A	N/A
 ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ/ ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ Αδιατάρακτη βραχώμαζα με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών		80	70			
 ΠΟΛΥ ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ Μερικώς διαταραγμένη βραχώμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών		60	50	40	30	20
 ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ/ΠΤΥΧΩΜΕΝΗ Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας						
 ΑΠΟΔΙΟΡΓΑΝΩΜΕΝΗ Ισχυρά κερματισμένη βραχώμαζα με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιώδων και αποστραγγυλωμένων τεμαχίων						
 ΦΥΛΛΩΔΗΣ/ ΔΙΑΤΜΗΜΕΝΗ Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθενής βραχώμαζα. 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)		N/A	N/A			10

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4.3 Προτεινόμενη διόρθωση του GSI για την περίπτωση παρουσίας του νερού τόσο στις ασυνέχειες όσο και στο υλικό πλήρωσης. (Μαρίνος, 2007)

- Οι αποσπασθωμένες βραχώμαζες κινούνται προς τα δεξιά στο διάγραμμα. Αν η αποσάθρωση έχει προχωρήσει ισχυρά μέσα στη βραχώμαζα με αποτέλεσμα αυτή να χάσει τη δομή της άρα να συμπεριφέρεται ως έδαφος η ταξινόμηση GSI δε μπορεί να εφαρμοστεί και να δώσει σωστά αποτελέσματα εφόσον αναφέρεται σε βραχώδεις σχηματισμούς.
- Το σύστημα λοιπόν εφαρμόζεται σε τόσο σε εξαιρετικά φτωχής ποιότητας, διατμημένες βραχώμαζες με ασθενή σχιστώδη υλικά ή εναλλασσόμενα στρώματα ασθενών με ισχυρών πετρωμάτων όσο και σε λιθολογικά ποικίλες μη

διαταραγμένες βραχώμαζες όπως η μολάσσα. Για τη μολάσσα συγκεκριμένα έχουν κατασκευαστεί δυο διαγράμματα GSI ένα που αφορά τις επιφανειακές εμφανίσεις και ένα για τη βραχώμαζα που συναντάται στο βάθος όπως θα αναλυθεί στην επόμενη παράγραφο.

- ☞ Στο GSI αποδίδεται ένα εύρος τιμών κι όχι μια μόνο ακριβής τιμή έτσι ώστε να αποδίδεται μια πιο αληθής εικόνα της περιγραφής των πετρωμάτων και των βραχομαζών που εξετάζονται.

3.5 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΟΛΑΣΣΙΚΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Κατά την κατασκευή τεχνικών έργων, είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός, η περιγραφή και η ποιότητας της βραχώμαζας. Η μολασσική βραχώμαζα δεν παρουσιάζει κοινά χαρακτηριστικά σε όλη την έκτασή αλλά αλλάζει με βάση τη θέση στην οποία συναντάται. Σε αυτή τη παράγραφο παρατίθενται οι τρόποι ταξινόμησης την βραχώμαζας της μολάσσας τόσο στο βάθος όσο και στην επιφάνεια.

3.5.1 Ταξινόμηση μολασσικών σχηματισμών σε βάθος

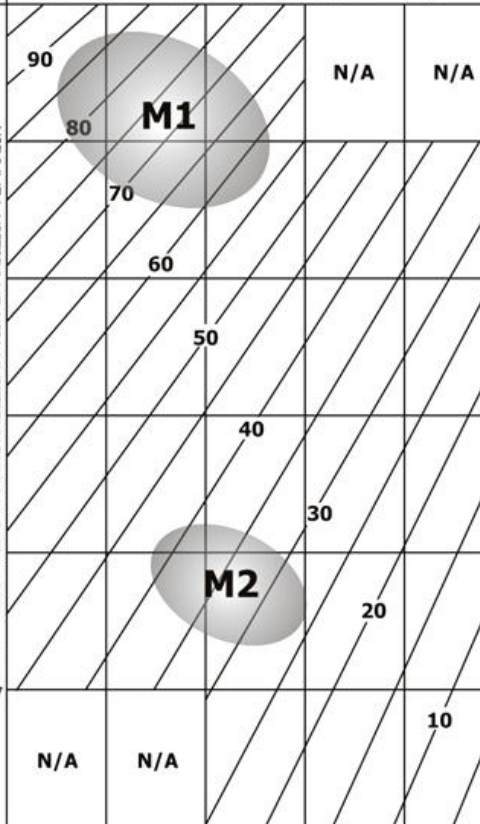
Η δομή του σχηματισμού της μολάσσας, όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, αλλάζει ανάλογα με τη θέση στην οποία βρίσκεται στην επιφάνεια ή στο βάθος. Για να είναι δυνατή η *βαθμονόμηση* της βραχώμαζας κατασκευάστηκε ένα νέο διάγραμμα GSI. Το νέο διάγραμμα δε στηρίζεται στο διάγραμμα GSI του φλύσχη, το οποίο θα μπορούσε να δώσει λανθασμένα αποτελέσματα με απόδοση χαμηλότερων τιμών στη βραχώμαζα, άρα κατασκευή βαρύτερων διατομών υψηλότερου κόστους. Το διάγραμμα GSI της μολάσσας χρησιμοποιήθηκε κι επιβεβαιώθηκε κατά τη διάνοιξη των 12 σιράγγων στην Εγνατία οδό σε μολασσικούς σχηματισμούς. Αποτέλεσμα αυτού ήταν να κατασκευαστούν πιο οικονομικές σήραγγες εφόσον αποδείχθηκε πως η βραχώμαζα της μολάσσας έχει μεγάλη αντοχή στο βάθος συνεπώς, τα μέτρα υποστήριξης που εφαρμόστηκαν ήταν πιο ελαφριά.

Το διάγραμμα GSI βασίζεται στη μακροσκοπική εξέταση της δομής της βραχώμαζας και της ποιότητας των ασυνεχειών. Οι δομές που βαθμονομούνται στο βάθος, ανεξάρτητα από τους λιθολογικούς τύπους, εμφανίζουν συνεχή δομή. Προβλήματα αστάθειας όπως οι βαρυτικές αστοχίες, που μπορούν να προκύψουν λόγω διαφορετικών τύπων βραχώμαζας δε λαμβάνονται υπόψη για τη βαθμονόμηση με τον δείκτη GSI, γιατί εμφανίζονται κυρίως τοπικά. Το βασικό ενδιαφέρον εντοπίζεται στη δομή και πως αυτή απομειώνει τα χαρακτηριστικά αντοχής των πετρωμάτων. Συνεπώς, όλοι οι τύποι της μολάσσας βαθμονομούνται με βάση το βάθος ενιαία σε δυο περιοχές του διαγράμματος. Οι περιοχές αφορούν μολάσσες “**υπό περιορισμό**” κι εφαρμόζονται σε σήραγγες όπως φαίνεται στο Πίνακα 3.5.1.

Η πρώτη περιοχή M1 αφορά την *Άρρηκτη* έως *Μέτρια* κερματισμένη δομή με πολύ καλή ποιότητα ασυνεχειών μέτρια ως οριακά πτωχή ανάλογα με το αν επικρατεί ψαμμίτης ή ιλυόλιθος αντίστοιχα. Η παρουσία θραυσμάτων και άλλων ασυνεχειών είναι περιορισμένη και η τιμή του GSI κυμαίνεται στις τιμές 50-60 ή περισσότερο. Η δεύτερη περιοχή M2 έχει προταθεί για να καλύψει δομές στρωματώδεις ως κερματισμένες σε μικρά βάθη οι οποίες επηρεάζονται από τις επιφανειακές συνθήκες αποσάθρωσης ή κερματισμένες ζώνες ρηγμάτων σε βάθος. Οι τιμές του δείκτη GSI σε αυτές τα περιπτώσεις κυμαίνεται μεταξύ 25-40.

**ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI)
ΓΙΑ ΜΟΛΑΣΣΑ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ ΣΕ ΒΑΘΟΣ**
Εφαρμόζεται κυρίως σε σήραγγες
(Ε. Hoek, Π. Μαρίνος και Β. Μαρίνος, 2004)

Βασίζόμενοι στην περιγραφή της λιθολογικής σύστασης, της δομής και της ποιότητας των ασυνεχειών της βραχώδους εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI από τις καρπίδες. 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 αστάθειες που ελέγχονται από συγκεκριμένες ασυνέχειες όταν οι ασθενείς επιφάνειες επιφάνειες (όπως διατμημένη επιπέδα στρώσης) έχουν δυσμενή προσανατολισμό σε σχέση με την εκσκαφή. Τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχώδους. 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 τραχιές, υγρές, μη αποσπασθόμενες επιφάνειες	ΚΑΛΗ Τραχιές, ελαφρά αποσπασθόμενες και αεραωμένες επιφάνειες	ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσπασθόμενες και εξαλειωμένες επιφάνειες	ΠΤΩΧΗ Πολύ λείες, κατά περίπτωση ολισθηρές επιφάνειες με σημαντική επιφθορώματα ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα	ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Πολύ ολισθηρές επιφάνειες ή πολύ αποσπασθόμενες με μαλακό οργικό υλικό πλήρωσης ή επιφθορώματα							
 ΑΡΡΗΚΤΗ Άρρηκτη βραχώδη τεμάχια ή άσπρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση	ΜΕΙΟΥΜΕΝΟ ΑΝΗΛΟΚΛΕΙΔΩΜΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ		90	80	70	60	50	40	30	20	10		
 ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ/ ΔΙΑΤΑΡΑΚΤΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ Αδιατάρακτη βραχώδης με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών												N/A	N/A
 ΠΟΛΥ ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ Μερικώς διαταραγμένη βραχώδης με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών												N/A	N/A
 ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ/ΠΤΥΧΩΜΕΝΗ Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμφανή στρώση ή σχισμότητα												N/A	N/A
 ΑΠΟΔΙΟΡΓΑΝΩΜΕΝΗ Ισχυρά κερματισμένη βραχώδης με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιώνων και αποστραγγυλωμένων τεμαχίων												N/A	N/A
 ΦΥΛΛΩΔΗΣ/ ΔΙΑΤΜΗΜΕΝΗ Φυλλώδης ή σχισματοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθενής βραχώδης. Η φύλλωση επικρατεί έναντι οποιαδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιώνων τεμαχίων (η κλίμακα σε αυτό το εικονίδιο δεν συγκρίνεται με αυτή των άλλων εικονιδίων)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		

- M1** Μολάσση υπό περιορισμό σε βάθος, είτε ετερογενής με εναλλαγές ψαμμίτη ή/και ιλυόλιθου ή/και κροκαλοπαγούς είτε λιθολογικά ομοιογενής
- M2** Έντονα κερματισμένη ή λατυποπαγής μολάσση σε ζώνες ρηγμάτων

Σημειώσεις:

- Όταν δεν υπάρχουν ασυνέχειες στη βραχώδη, προτείνεται να χρησιμοποιούνται απευθείας εργαστηριακές δοκιμές
- Το διάγραμμα GSI δεν πρέπει να χρησιμοποιείται για χαλαρά κροκαλοπαγή. Το υλικό τότε μπορεί να προσομοιωθεί ως ένα ελαφρώς συγκολλημένο ποτάμι αποθέσεων (κυρίως χαλίκια) γεωυλικό

3.5.2 Βαθμονόμηση μολασσικών σχηματισμών στην επιφάνεια

Σε επιφανειακές εκσκαφές, συγκεκριμένα στόμια – εισόδους των σπηραγγων, στις οποίες η μολασσική δομή έχει χαλαρώσει σύμφωνα με τους μηχανισμούς σχάσης-σχιστοποίησης, κερματισμού και αποσάθρωσης χρησιμοποιείται ένα νέο διάγραμμα GSI. Το διάγραμμα αυτό βασίζεται σε ετερογενή διαταραγμένα πετρώματα μετά από την μείωση των χαρακτηριστικών τους. Αυτό λοιπόν το διάγραμμα χρησιμοποιείται σε σχάσιμα μολασσικά πετρώματα. Στους βασικούς λιθολογικούς τύπους που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους δίνονται οι ονομασίες M3 – M7 του διαγράμματος. Ο χρήστης θα πρέπει να διαβάξει προσεκτικά τις περιγραφές χωρίς να βασίζεται μόνο στις εικόνες για να αποδώσει τη τιμή του GSI.

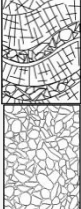
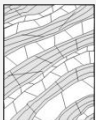
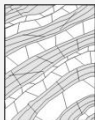
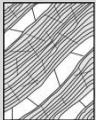
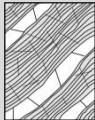
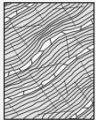
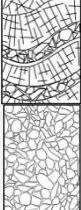
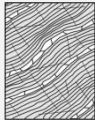
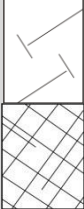
ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI) ΓΙΑ ΣΧΑΣΙΜΗ ΜΟΛΑΣΣΑ Εφαρμόζεται κυρίως σε επιφανειακές εκσκαφές (Ε. Hoek, Π. Μαρίνος και Β. Μαρίνος, 2004) Βασίζονται στην περιγραφή της λιθολογικής σύστασης, της δομής και της ποιότητας των ασυνεχειών (κυρίως της στρώσης) της βροχόμαζας επιλέξτε το κατάλληλο πεδίο του πίνακα. Επιλέξτε τη θέση στο πεδίο που περιγράφει τις συνθήκες και 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 αστάθειες που ελέγχονται από συγκεκριμένες ασυνέχειες όταν οι ασθενείς επίπεδες επιφάνειες (όπως διατηρημένα επίπεδα στρώσης) έχουν δυσμενή προσανατολισμό σε σχέση με την εκσκαφή. Τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βροχόμαζας. Η αντοχή ορισμένων βροχόμαζων μειώνεται από τη παρουσία του υπόγειου νερού και αυτό μπορεί να ληφθεί υπόψη με μικρή μετακίνηση προς τα δεξιά στις στήλες της μέτριας, 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.		ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ (κυρίως επίπεδα στρώσης)	ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχιές, υγρές, μη αποσπασθαιμένες επιφάνειες	ΚΑΛΗ Τραχιές, ελαφρά αποσπασθαιμένες και ομαδοποιημένες επιφάνειες	ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσπασθαιμένες και εξομαλυνόμενες επιφάνειες	ΠΤΩΧΗ Πολύ λείες, κατά περίπτωση ολισθηρές επιφάνειες με συμπαγή επιφλοιώματα ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα	ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Πολύ ολισθηρές επιφάνειες ή πολύ αποσπασθαιμένες με μαλακό αργιλικό πλήρωσης ή επιφλοιώσης
ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΣΗ		ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →					
	ΤΥΠΟΣ M3. Παχυστοιματώδης ψαμμίτης σε στρώσεις μεγάλου πάχους ή ισχυρά συγκαλλυμένα κροκαλοπαγή. Η επίδραση των ιλυολιθικών ενστρώσεων ελαχιστοποιείται από τον περιορισμό της βροχόμαζας. Σε ρηχές σήραγγες ή πρηνή, αυτές οι στρώσεις ίσως προκαλέσουν δομικά ελεγχόμενη αστάθεια	70	60	M3	50		
	ΤΥΠΟΣ M4. Ψαμμίτης ή ισχυρά συγκαλλυμένα κροκαλοπαγή με λεπτές ενστρώσεις ιλυόλιθου			M4	M5	M6	
	ΤΥΠΟΣ M5. Ψαμμίτης και κροκαλοπαγή με σχιστώδη ιλυόλιθο σε ανάλογες ποσότητες				40		
	ΤΥΠΟΣ M6. Στρωματώδης - σχιστώδης - σχάσιμος ιλυόλιθος ή ιλυώδης σχιστόλιθος με ενστρώσεις ψαμμίτη					30	
	ΤΥΠΟΣ M7. Έντονα, ανάλογα την αποσάθρωση, στρωματώδης - σχάσιμος έως αποδιοργανωμένος ιλυόλιθος ή ιλυώδης σχιστόλιθος με ή χωρίς μερικές πολύ λεπτές στρώσεις ψαμμίτη						20
							10

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5.2 Προτεινόμενο Διάγραμμα GSI για σχάσιμη μολάσσα όπου οι επιφάνειες στρώσεων ιλυόλιθων-αργιλολίθων είναι συχνές και καλώς εκπεφρασμένες (περιοχές κοντά στην επιφάνεια, επιφανειακές εκσκαφές και πρηνή). (Marinos, Hoek and Marinos, 2004), (από Marinos, 2007)

3.5.3 Ταξινόμηση ανά τύπο βραχώμαζας

Η δομή των σχηματισμών σε βάθος είναι ανεξάρτητη των τύπων της μολασσικής βραχώμαζας και ποσοστιαίας αναλογίας της συμμετοχής ψαμμιτικών και ιλυολιθικών γεωυλικών. Συνεπώς, δε κρίνεται απαραίτητο να γίνει ξεχωριστή βαθμονόμηση αντιθέτως, προβάλλονται όλοι οι τύποι στη περιοχή M_1 ή M_2 .

Η ποικιλία και η ετερογένεια της λιθολογίας στο βάθος δεν αντιστοιχεί στην αλλαγή της δομής για κάθε τύπο αλλά εξαρτάται από την αντοχή του άρρηκτου βράχου σ_{ci} και τη πετρογραφική σταθερά m_i ανάλογα με τη συμμετοχή του ψαμμίτη και του ιλυόλιθου. Οι περιοχές του διαγράμματος του GSI χρησιμοποιούνται για να υπολογιστούν οι τιμές που θα χρησιμοποιηθούν ως παράμετροι στο σχεδιασμό με αντίστοιχο υποβιβασμό της αντοχής του άρρηκτου πετρώματος σ_{ci} , τη πετρογραφική σταθερά m_i και του μέτρου παραμορφωσιμότητας E_i σύμφωνα με το κριτήριο Hoek – Brown. Στον Πίνακα 3.5.3 παρουσιάζονται οι τιμές GSI για κάθε μολασσικό τύπο ανάλογα με τα θέση στην οποία βρίσκεται. Επίσης προτείνονται οι τιμές σ_{ci} , m_i καθώς και E_i των μελών ώστε να είναι δυνατή η εκτίμηση των παραμέτρων της μολάσσας ανάλογα με τον τύπο της βραχώμαζας.

Τεχνικογεωλογικός (Γεωτεχνικός) Τύπος Μολάσσας	Βάθος > 10 ή 15 m		Ζώνη κερματισμού ή ενδιάμεσα βάθη		Επιφανειακό τμήμα	
	Δομή	GSI	Δομή	GSI	Δομή	GSI
I 	M1 	70-85	M2 	30-40	M3 	45-60
II 	M1 	65-80	M2 	30-40	M4 	40-55
III 	M1 	65-80	M2 	25-35	M5 	35-45
IV 	M1 	55-70	M2 	25-35	M6 	30-40
V 	M1 	55-70	M2 	20-30	M7 	20-35
VI 	M1 	70-85	M2 	30-40	M4/ M5 	40-55

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5.3 Πίνακας όπου παρουσιάζονται τα φάσματα των τιμών GSI για κάθε τύπο μολάσσας που διακρίθηκε πιο πάνω, τόσο στο βάθος όσο και στην επιφάνεια. (Μαρίνος, 2007)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΜΟΛΑΣΣΙΚΟΥ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΡΓΑ. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται οι μέθοδοι που εφαρμόζονται για την εκσκαφή των υπόγειων έργων. Οι μέθοδοι αυτοί χωρίζονται σε δυο κατηγορίες : τη μέθοδο διάτρησης και τη μηχανική μέθοδο εκσκαφής. Η μέθοδος της μηχανικής εκσκαφής χωρίζεται περαιτέρω σε σημειακής κοπής (roadheaders, σφύρες, εκσκαφείς) και ολομέτωπης κοπής (TBM, ασπίδα, pipe – jacking, micro tunneling). Επίσης, παραθέτονται οι μηχανισμοί συμπεριφοράς –αστοχίας της βραχώμαζας οι οποίοι βάζουν σε κίνδυνο την ευστάθεια της διατομής της σήραγγας.

4.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ

Για τη κατασκευή ενός υπόγειου έργου εφαρμόζονται δύο τύποι διάνοιξης της διατομής :

1. Ανοικτού τύπου – η διάνοιξη σιράγγων κατά τον ανοικτό τύπο κατασκευής, αναφέρεται στην εκσκαφή, η οποία πραγματοποιείται από την επιφάνεια του εδάφους και η μέθοδος εκσκαφής είναι γνωστή ως μέθοδος *κοπής και επίχωσης (cut and cover method)*

2. Κλειστού τύπου – η διάνοιξη σιράγγων κατά τον κλειστό τύπο κατασκευής αφορά την υπόγεια εκσκαφή και οι μέθοδοι εκσκαφής για τις κατασκευές κλειστού τύπου χωρίζονται σε *μεθόδους ανατίναξης και μηχανικής εξόρυξης*, όπως περιγράφονται στη συνέχεια :

- ↳ Μέθοδος διάτρησης – ανατίναξης
- ↳ Μέθοδος μηχανικής όρυξης
 - Μέθοδος σημειακής κοπής
 - Μέθοδος ολομέτωπης κοπής

4.2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΟΡΥΓΜΑΤΟΣ

Η μέθοδος κοπής και επίχωσης (cut and cover) εντάσσεται στις μεθόδους ανοικτού τύπου. Η εκσκαφή ξεκινά από την επιφάνεια του εδάφους, θεωρείται συνήθως ως εκσκαφή τάφρων σε μαλακό έδαφος και αφορά έργα μικρού βάθους. Η

μέθοδος κοπής και επίχωσης εφαρμόζεται με διαφορετικό τρόπο σε ακατοίκητες περιοχές και διαφορετικά σε κατοικημένες περιοχές.

Στις ακατοίκητες περιοχές, δεν συναντώνται προβλήματα κατά την εκσκαφή, συνεπώς, πραγματοποιείται σε όλο το εύρος της, από την επιφάνεια του εδάφους ως και το βάθος στο οποίο θα λάβει χώρα το έργο. Η αντιστήριξη των πρανών της εκσκαφής δε θεωρείται απαραίτητη, διότι διαμορφώνονται σύμφωνα με την κλίση που επιτρέπουν οι εκάστοτε συνθήκες του εδάφους. Τα προβλήματα παρουσιάζονται τις κατοικημένες περιοχές, τα οποία δημιουργούνται κατά την κατασκευή του έργου.

Συγκεκριμένα οι δυσκολίες στις κατοικημένες περιοχές παρουσιάζονται επειδή η κατασκευή των έργων δε πρέπει αφενός να προκαλέσει προβλήματα στην κυκλοφορία και αφετέρου ζημιές στις γειτονικές κατασκευές : οικοδομές, υπόγειους αγωγούς, υπόγεια καλώδια. Με βάση τα πολεοδομικά χαρακτηριστικά της περιοχής στην οποία θα γίνει το έργο εφαρμόζονται οι παρακάτω λύσεις: (Μαραγκός, 2001 από Ντιούδη, 2010)

- *Αντιστηριζόμενη εκσκαφή χωρίς κάλυψη.*

Αρχικά κατασκευάζεται η μισή διατομή ώστε να είναι δυνατή η κυκλοφορία στο άλλο ήμισυ της οδού. Η εκσκαφή αντιστηρίζεται με διαφραγματικούς τοίχους ή με πασσαλοσανίδες ώστε να αποφευχθούν ζημιές στις γειτονικές κατασκευές. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στη σύνδεση των δύο τμημάτων της διατομής.

- *Διάνοιξη υπό την προστασία κάλυψης.*

Η αντιστήριξη είναι η πρώτη κατασκευή (διαφραγματικοί τοίχοι, πασσαλοσανίδες, πασσαλοσυστοιχίες) πάνω στην οποία τοποθετείται προσωρινή κάλυψη ή μόνιμη πλάκα κάλυψης ώστε να αποκατασταθεί γρήγορα η κυκλοφορία.

Ο σχεδιασμός υπόγειων έργων με αυτή τη μέθοδο δεν παρουσιάζει δυσκολίες. Οι φάσεις στις οποίες ολοκληρώνεται η διάνοιξη με αυτή τη μέθοδο είναι οι ακόλουθες :

Φάση 1 Κατασκευή των πασσάλων αντιστήριξης. Οι πάσσαλοι κατασκευάζονται με αφαίρεση του εδαφικού υλικού, μέσω γεωτρυπάνων, και έπειτα γέμισμα αυτών με σκυρόδεμα. Κάθε δεύτερος πάσσαλος είναι χωρίς σκυρόδεμα και εισχωρεί 1,5 μέτρο μέσα στη σκληρή μάργα.

Φάση 2 Εκσκαφή μέχρι το βάθος (διάνοιξη της τάφρου), που κατασκευαστεί η πλάκα κάλυψης. Ακολουθεί ισοπέδωση και στρώσιμο τσιμέντου καθαριότητας.

Φάση 3 Σκυροδέτηση της πλάκας, γέμισμα (κλείσιμο) της τάφρου πάνω από την πλάκα και τέλος εργασίες όσον αφορά την πεζοδρόμηση και αποκατάσταση του χώρου πάνω από την εκσκαφή.

Φάση 4 Εκσκαφή υπό την προστασία της προαναφερθείσας πλάκας και των πασσάλων Διάστρωση με τσιμέντο.

Φάση 5 Κατασκευή του δαπέδου και των κατακόρυφων τοίχων με υδατοστεγές μπετόν σε μπλοκ των 10 m.

Φάση 6 Ολοκλήρωση της σήραγγας.

4.2.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΛΕΙΣΤΗΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ

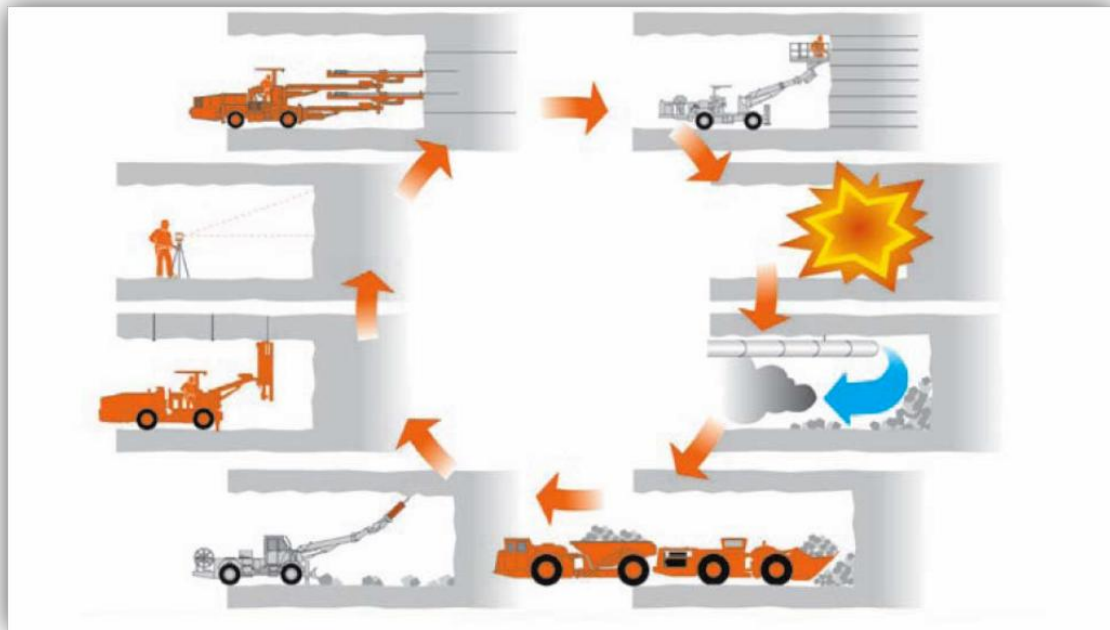
Μέθοδος διάτρησης και ανατίναξης

Η διαδικασία διάτρησης των πετρωμάτων εφαρμόστηκε αρχικά το 1850 χρησιμοποιώντας συμπιεσμένο αέρα. Το 1945 τα κοπτικά άκρα tungsten carbide διάτρησης είχαν ευρεία χρήση ενώ λίγα χρόνια μετά συγκεκριμένα το 1960 ανακαλύφθηκαν τα αεροκίνητα διατρητικά (pneumatic drilling). Πλέον για τη διάτρηση των πετρωμάτων χρησιμοποιούνται τα υδραυλικά διατρητικά μηχανήματα.

Η μέθοδος της ανατίναξης ξεκινά το 1860 χρησιμοποιώντας μαύρη σκόνη (black powder) και δυναμίτη. Εφαρμοζόταν σε σκληρά πετρώματα. Η ηλεκτρική έναυση (1 sec delay) έλαβε θέση το 1922. Το 1955 χρησιμοποιήθηκε το ANFO (μίγμα νιτρικού αμμωνίου και πετρελαίου) κι τέλος το 1980 ως σήμερα χρησιμοποιούνται τα εκρηκτικά γαλακτώματος τα οποία είναι ανθεκτικά στο νερό κι έχουν ως κύριο πλεονέκτημα τη παραγωγή λιγότερων τοξικών αερίων.

Ο τυπικός κύκλος εκσκαφής των τεχνικών ανατίναξης εκτελείται με τα ακόλουθα βήματα (Ντιούδη, 2010) :

- i. Άνοιγμα διατρημάτων ανατίναξης και γόμωσή τους με εκρηκτικά
- ii. Έναυση για εκτέλεση της έκρηξης ακολουθούμενη από αερισμό για την απομάκρυνση των αερίων της έκρηξης
- iii. Απομάκρυνση του εξορυσσόμενου πετρώματος (mucking)
- iv. Απομάκρυνση χαλαρών τμημάτων πετρώματος από τη στέψη και τα τοιχώματα (scaling)
- v. Εγκατάσταση αρχικής υποστήριξης.



ΕΙΚΟΝΑ 4-1 Απεικονίζεται ο κύκλος της μεθόδου διάτρησης – ανατίναξης (Ντιούδη,2010)

Τα διατρήματα ανατίναξης έχουν μήκος μικρότερο από τη διάσταση του ανοίγματος και η ανατίναξη επηρεάζει το πέτρωμα μέχρι το 90% του μήκους των διατρημάτων. Τυπικοί γύροι είναι 2 με 4 m βάθος. Ανατίναξη του μετώπου σε φάσεις είναι μερικές φορές πιο πρακτική ή μπορεί και να απαιτείται από τις συνθήκες του εδάφους ή από τους περιορισμένους εξοπλισμούς. Η πιο κοινή μέθοδος τμηματικής εκσκαφής είναι η «heading and bench» κατά την οποία το επάνω τμήμα του μετώπου (heading) ανατινάσσεται πρώτο, σε όλο του το πλάτος, και ακολουθεί μετά η ανατίναξη του υπολοίπου (bench). Το κάτω τμήμα του μετώπου (bench) μπορεί να εκσκαφτεί με οριζόντια ή κατακόρυφα διατρήματα (όμοια με των επιφανειακών ανατινάξεων).

Άλλες παραλλαγές της τμηματικής ανατίναξης, όπως ένα κεντρικό άνοιγμα στη στέψη (center crown drift), ακολουθούμενο από δύο πλευρικά ανοίγματα (crown side drifts) και στη συνέχεια από την όρυξη του κάτω τμήματος του μετώπου σε ένα, δύο ή τρία στάδια. Η τμηματική ανατίναξη προτιμάται στις εξής περιπτώσεις: α) όταν η διατομή είναι πολύ μεγάλη για ένα υπόγειο διατρητικό συγκρότημα (jumbo), β) όταν το μέγεθος της έκρηξης σχετιζόμενο με το βάρος των εκρηκτικών πρέπει να είναι περιορισμένο για περιορισμό των δονήσεων και γ) όταν το έδαφος είναι τόσο φτωχό που το πλήρες πλάτος εκσκαφής ίσως δεν είναι σταθερό για αρκετό διάστημα που να επιτρέπει την εγκατάσταση της αρχικής υποστήριξης.

Οι κύκλοι ανατίναξης σχεδιάζονται από κάποιον ειδικό στις ανατινάξεις. Τα διατρήματα ορύσσονται συνήθως με υδραυλικά κρουστικά διατρητικά. Η απόδοση

και η ταχύτητα της όρυξης βελτιώνονται γρήγορα, όπως και η φθορά των κοπτικών και η ακρίβεια κατά τη διάτρηση, χάρη σε νέο σχεδιασμό των ράβδων και των κοπτικών. Τα jumbo κινούνται σε ράγες, σε πλατφόρμες ή σε τροχούς. Αυτά που κινούνται σε πλατφόρμες επιτρέπουν και την κίνηση του εξοπλισμού που απομακρύνει το υλικό εκσκαφής από το μέτωπο.

Σε μια σήραγγα, δεν υπάρχει αρχικά ελεύθερη επιφάνεια παράλληλη σε διάτρημα ανατίναξης και γι' αυτό πρέπει να δημιουργηθεί από το σχεδιασμό της ανατίναξης. Συνήθως χρησιμοποιείται η σφηνοειδής κοπή (V-cut), όπου τα διατρήματα ορύσσονται στο κάτω μισό του μετώπου σε σχήμα σφήνας και η έναυσή τους προηγείται των υπολοίπων, ώστε να απομακρυνθεί το υλικό σφήνας και να δημιουργηθεί ελεύθερη επιφάνεια για τις ακόλουθες εναύσεις. Πολλές φορές τα αρχικά διατρήματα παραμένουν κενά, χωρίς να γομώνονται με εκρηκτικά για τον ίδιο λόγο.

Ηλεκτρικές ή μη-ηλεκτρικές επιβραδύνσεις (electric or nonelectric delays) χρησιμοποιούνται για να ελέγξουν την ακολουθία και τις χρονικές στιγμές της έναυσης για τον περιορισμό ποσότητας των εκρηκτικών που ανατινάζονται μια χρονική στιγμή. Στο παρελθόν η έναυση γινόταν με ηλεκτρικά μέσα, αλλά πλέον χρησιμοποιούνται μη-ηλεκτρικές εναύσεις και επιβραδύνσεις εφόσον δεν επηρεάζονται από τυχαία ηλεκτρικά ρεύματα.

Τα εκρηκτικά μέσα όπως για παράδειγμα υλικά ή μίγματα με εκρηκτικές ιδιότητες προτιμώνται σε εξειδικευμένες περιπτώσεις. Ποικίλλουν ανάλογα με την πυκνότητα φόρτισης ανά μήκος διατρήματος, διάμετρο, ταχύτητα έναυσης, χαρακτηριστικά αερίων, ανθεκτικότητα στο νερό, κ.α. Σε ξηρό πέτρωμα συνήθως χρησιμοποιείται ANFO (μίγμα νιτρικού αμμωνίου και πετρελαίου). Τα διατρήματα έχουν τυπικό μέγεθος 45-50 mm και φυσίγγια εκρηκτικών μέσων είναι συνήθως διαμέτρου 40 mm. Τα κενά διατρήματα είναι μικρότερης, ίσης ή και μεγαλύτερης διαμέτρου.

Δύο παράμετροι υπολογίζονται συνήθως σε ένα σχεδιασμό ανατίναξης: ο συντελεστής κατανάλωσης (το ειδικό φορτίο), kg εκρηκτικών ανά κυβικό μέτρο εξορυσσόμενου πετρώματος και ο συντελεστής διάτρησης (παράγοντας διάτρησης), το συνολικό μήκος διατρημάτων ανά όγκο εξορυσσόμενου πετρώματος. Αυτές οι παράμετροι είναι δείκτες της οικονομίας της ανατίναξης και επιτρέπουν την εύκολη σύγκριση μεταξύ σχεδιασμών ανατίναξης. Ο συντελεστής κατανάλωσης εμφανίζει διακυμάνσεις ανάλογα με τις συνθήκες. Η ιδανική ανατίναξη πρέπει να καταλήγει στην ελάχιστη βλάβη στο εναπομένον πέτρωμα και στην ελάχιστη υπερεκσκαφή (overbreak). Κάτι τέτοιο επιτυγχάνεται με ελεγχόμενη ανατίναξη. Η ελεγχόμενη ανατίναξη δύναται να επιτευχθεί με μικρότερες αποστάσεις μεταξύ των κενών διατρημάτων, με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο αριθμός των απαιτούμενων διατρημάτων.

Μέθοδος διάνοιξης σηράγγων με μηχανικά μέσα

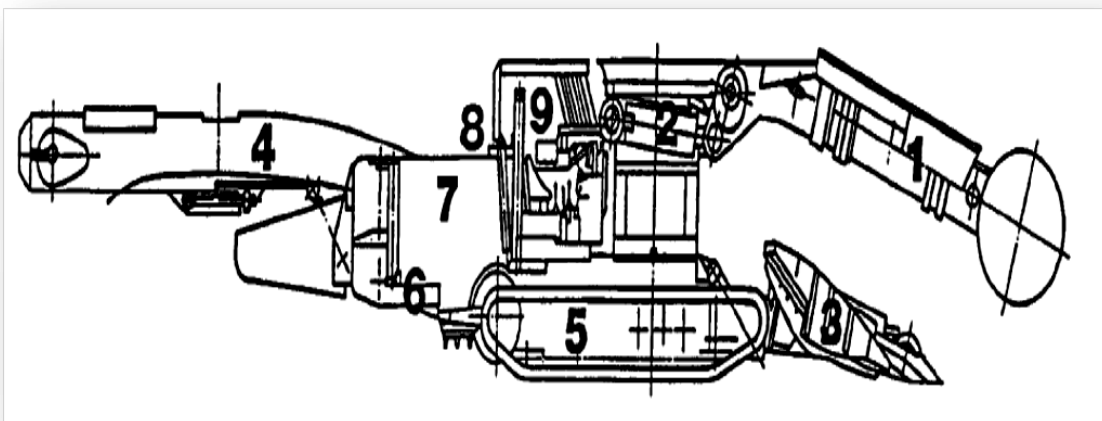
Η μέθοδος μηχανικής όρυξης διακρίνεται σε δυο κατηγορίες τη σημειακή κοπή (π.χ. εκσκαφή με εκσκαπτικά μηχανήματα σημειακής κοπής, σφύρες, εκσκαφείς) και την ολομέτωπη κοπή (TBMs, μικροσήραγγες, κλπ). Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου μηχανικής όρυξης εξαρτάται κυρίως από τον τύπο της βραχομάζας, τον απαιτούμενο εξοπλισμό, τη διάθεση κατάλληλου εργατικού και τεχνικού ανθρώπινου δυναμικού και άλλες παρόμοιες παραμέτρους.

Μέθοδοι σημειακής κοπής

Εκσκαπτικό μηχανήμα σημειακής κοπής (Roadheaders).

Τα πρώτα μηχανήματα σημειακής κοπής χρησιμοποιήθηκαν για διάνοιξη σηράγγων τη δεκαετία του 1960. Τα βασικά τμήματα ενός εκσκαπτικού μηχανήματος είναι τα εξής :

1. Κοπτικός βραχίονας (*cutter boom*)
2. Θωράκιο (*turret*)
3. Συσκευή φόρτωσης (*loading device*)
4. Ταινιόδρομος (*chain conveyor*)
5. Ερπύστριες (*crawler track assembly*)
6. Πλαίσιο βάσης (*base frame*)
7. Ηλεκτρικά (*electrics*)
8. Υδραυλικά (*hydraulics*)
9. Καμπίνα χειριστή (*operator's cab*)



ΕΙΚΟΝΑ 4-2 Βασικά τμήματα ενός εκ σκαπτικού μηχανήματος (Ντιούδη,2010)

Πιο αναλυτικά τα χαρακτηριστικά των τμημάτων του εκσκαπτικού μηχανήματος αναφέρονται παρακάτω

- › Η περιστροφική κεφαλή με κοπτικά άκρα. Οι κύριες σχεδιαστικές αρχές των κεφαλών είναι δύο:
 - Οι διαμήκεις, οι οποίες περιστρέφονται παράλληλα προς τον άξονα του βραχίονα. Οι Εγκάρσιες περιστρέφονται κάθετα προς βραχίονα
 - Υδραυλικός βραχίονας, ο οποίος κινείται κατακόρυφα, ώστε να τοποθετεί την κεφαλή στην επιθυμητή θέση
- › Θωράκιο (turret), που επιτρέπει οριζόντια κίνηση στην κεφαλή
- › Συσκευή φόρτωσης με βραχίονες περισυλλογής
- › Ταινιόδρομο για τη μεταφορά του εξορυσσόμενου υλικού από τη φόρτωσης στο πίσω τμήμα της μηχανής
- › Πλαίσιο βάσης, συχνά με στηρικτικά άκρα, εφοδιασμένο με ηλεκτρο-υδραυλικά χειριστήρια της συσκευής και καμπίνα χειριστή
- › Ερπύστριες για προώθηση

Αρχικά, έρχεται σε επαφή η κοπτική μηχανή με το μέτωπο, είτε με κίνηση όλου του μηχανήματος μέσω συστήματος ερπυστριών, είτε με τηλεσκοπικούς βραχίονες. Οι μηχανές σημειακής κοπής μπορούν να δημιουργήσουν διατομή οποιουδήποτε μεγέθους και σχήματος απαιτείται, μέσα στα γεωμετρικά τους όρια. Η συλλογή των προϊόντων της εξόρυξης γίνεται αυτόματα από ειδικές διατάξεις, οι οποίες ενσωματώνονται στο κύριο σώμα του μηχανήματος.

Εκσκαφή με σφύρες (Hammer tunneling)

Η χρήση υδραυλικών κρουστικών σφύρων για τη διάνοιξη σηράγγων ξεκίνησε το 1960 και αποτελεί μια πρωτοπόρα μέθοδο. Εφαρμόζεται η μέθοδος αυτή για τη κατασκευή υπόγειων έργων ιδιαίτερα στην Ιταλία και την Ασία γιατί θεωρείται οικονομικότερη. Η κρουστική σφύρα αποτελείται από ένα κοπίδι άκμονα αυτό-ακονιζόμενο. Οι υδραυλικές σφύρες με ενέργεια κρούσης 6000 Joules χρησιμοποιούνται για τη κατασκευή σηράγγων.

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για σήραγγες που ξεπερνούν τα 30 m², εφόσον σε μικρότερων διαστάσεων μπορεί να προκαλέσουν λειτουργικά προβλήματα λόγω περιορισμένου χώρου. Σε στενές σήραγγες πλάτους μικρότερου των 8 m μόνο ένας εκσκαφέας μπορεί να φέρει σφύρα για να χωρίζει και να λειτουργεί.

Οι εργασίες που εκτελούνται είναι οι εξής :

- Εκσκαφή
- Φόρτωση
- Απομάκρυνση και φόρτωση του εξορυσσόμενου υλικού
- Ενίσχυση και υποστήριξη των τοιχωμάτων της σήραγγας

Μέθοδοι ολομέτωπης κοπής (Tunnel Boring Machines – TBMs)

Η πρώτη μηχανή εκσκαφής σχεδιάστηκε από τον Maus στην Ιταλία το 1846 για να ορύξει ένα πλήρες μέτωπο. Τα σταθερά κοπτικά εργαλεία λειτουργούσαν περισσότερο κρουστικά παρά περιστροφικά. Το 1875 ο Beaumont κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας ένα μοντέλο μηχανήματος σταθερής περιστροφικής ολομέτωπης κοπής, ενώ το 1880 ο English βελτίωσε το συγκεκριμένο μοντέλο. Μηχανήματα τέτοιου τύπου χρησιμοποιήθηκαν το 1980 για να αρχίσουν τη διάνοιξη της σήραγγας Channel που ενώνει την Αγγλία με τη Γαλλία (Μπούνου, 2005 από Sinha, 1991).

Οι μηχανές ολομέτωπης κοπής αποτελούνται από μηχανικά, υδραυλικά και ηλεκτρικά μέρη τα οποία μπορούν να ενσωματωθούν σε μια ενιαία μονάδα, που εκτελεί ταυτόχρονα τη διαδικασία της εκσκαφής και της αφαίρεσης στείρων υλικών από το μέτωπο. Οι μηχανές ολομέτωπης κοπής κατασκευάστηκαν για να κόβουν διαμέτρους από 2 ως 12 m. Μερικές όμως έχουν την δυνατότητα να κάνουν ένα δεύτερο πέρασμα κοπής με διάμετρο 15 m από μια κατευθυντήρια τρύπα περίπου 10 m. Τα μήκη των μηχανών από τη κοπτική κεφαλή ως το πίσω μέρος του δομικού πλαισίου είναι 12 ως 25 m. (Παπαντώνη, 2007).

Η εξόρυξη πετρωμάτων με τη χρήση συνεχούς κοπής μηχανήματα είχε ως αποτέλεσμα τη διάδοσή τους και τη σταδιακή βελτίωσή τους. Συγκεκριμένα, οι βελτιώσεις που έγιναν ήταν οι εξής : ● Βελτιωμένη σκληρότητα μετάλλων και αντοχή κόπωσης των τμημάτων των κοπτικών κεφαλών ● Υψηλότερη ικανότητα των δίσκων του κοπτικού και μεγαλύτερες διαμέτροι των δίσκων αυτών ● Βελτιωμένο σχέδιο διέλευσης κοπτικών για τη γρήγορη αντικατάσταση των εργαλείων ● Αποδοτικές υδραυλικές και ηλεκτρικές μηχανές κίνησης ● Δυναμικά συστήματα μεταφοράς που αυξάνουν την πυκνότητα ισχύος στη κοπτική κεφαλή ● Βελτιωμένα συστήματα λίπανσης ● Ρουλεμάν υψηλής ικανότητας και μεγάλης διάρκειας ζωής. Αυτές οι αλλαγές ήταν ο λόγος χρήσης των μηχανημάτων σε πετρώματα υψηλής αντοχής και σε δύσκολες γεωτεχνικές συνθήκες. (Παπαντώνη, 2007).

Τα δομικά μέρη μηχανής ολομέτωπης κοπής:

1. Η ουρά, η οποία περιέχει τους ανυψωτικούς μηχανισμούς για την εγκατάσταση της επένδυσης, την πλατφόρμα τσιμεντενέσεων (platform), τα υδραυλικά συστήματα αγκυρώσεων (shove jacks), το σύστημα μεταφορέων και άλλα βοηθητικά συστήματα

2. το σώμα, το οποίο περιέχει τις πλευρικές αγκυρώσεις, τις δαγκάνες σταθεροποίησης, την αίθουσα του χειριστή, τα υδραυλικά και ηλεκτρικά συστήματα, τις μηχανές, τις γεννητριες και τη πλατφόρμα εργασίας.

3. Η κεφαλή, η οποία είναι το περιστρεφόμενο μέρος του οποίου περιέχει τον κοπτικό μηχανισμό και, όταν κρίνεται απαραίτητο έναν μηχανισμό προστατευτικών καλυμμάτων. (Μπούνου από Sinha, 1991).

Gripper ονομάζεται το σύστημα πλευρικής αντιστήριξης και προώθησης το οποίο είναι απαραίτητο για να μεταδοθεί η δύναμη προώθησης του TBM. Υπάρχουν δυο βασικές σχεδιαστικές αρχές μηχανημάτων ολομέτωπης κοπής:

- * οι μηχανές απλού gripper
- * οι μηχανές διπλού gripper.

Η διαφορά τους σημειώνεται στο γεγονός ότι οι μηχανές απλού gripper υποστηρίζεται από ένα σύστημα πλευρικής αντιστήριξης αντίθετα οι μηχανές διπλού τύπου απαιτούν διπλό σύστημα πλευρικής αντιστήριξης.

Οι μηχανές διπλού τύπου έχουν την ικανότητα να κατανέμουν καλύτερα τις δυνάμεις στα τοιχώματα της σήραγγας στη περίπτωση που το έδαφος είναι ασθενές. Καταλαμβάνουν όμως αρκετό από το χώρο διέλευσης και σταθεροποίησης. Επίσης δεν έχουν τη δυνατότητα να εκτελέσουν στροφή κατά τη διάρκεια διάτρησης γι' αυτό το λόγω το σχήμα των σήραγγων που διανοίγονται με μηχανήματα διπλού gripper έχουν πολυγωνικό σχήμα. Γενικά, είναι ευρεία η χρήση των μηχανημάτων μονού gripper.

Ένας δεύτερος τρόπος διάκρισης των μηχανημάτων ολομέτωπης κοπής είναι η ύπαρξη ή όχι καλύμματος γύρω τους. Χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες :

- Χωρίς ασπίδα ή ανοιχτά → χρησιμοποιείται σε καλής ποιότητας βραχώμαζα. Έχουν μια τουλάχιστον ασπίδα στην οροφή τους για να προστατεύονται οι εργαζόμενοι μέχρις ότου τοποθετηθεί η υποστήριξη.
- Με μονή ασπίδα → αποτελούνται από μια πλήρως προστατευμένη μηχανή ολομέτωπης κοπής όπου το σώμα και η ουρά βρίσκονται κάτω από μια ασπίδα. Χρησιμοποιείται σε χαλαρά εδάφη, μικτό υπέδαφος και σε περιπτώσεις που αναμένονται υψηλή εισροή νερού.
- Με διπλή (τηλεσκοπική) ασπίδα → σε βραχώμαζα καλής ποιότητας έχει συμπεριφορά όμοια με τα ανοιχτού τύπου και η προώθηση γίνεται με τα grippers. Η τοποθέτηση της επένδυσης μπορεί να γίνεται ταυτόχρονα με την εκσκαφή.

Τα πλεονεκτήματα των συγκεκριμένων μηχανημάτων ολομέτωπης κοπής που αναφέρονται κυρίως στη ταχύτητα εκσκαφής και τη προσπάθεια βελτίωσης της ακεραιότητας της βραχώμαζας είναι τα εξής : ► Επίτευξη μικρότερου χρόνου διάνοιξης, μέσω της συνεχούς λειτουργίας της μηχανής ολομέτωπης κοπής ► Αξιόπιστη πρόβλεψη πορείας προόδου και εφικτός ο σωστός χαρακτηρισμός των υπογείων συνθηκών ► Λειτουργία χωρίς έντονους κραδασμούς, επομένως σχεδόν καθόλου ανησυχία για τις εδαφικές δονήσεις ► Ομαλή εκσκαφή της επιφάνειας όρυξης, οπότε μειωμένο ποσοστό σκόνης, μικρότερο κόστος επένδυσης, μείωση ρίσκου όσον αφορά την εισροή νερών ► Ελάχιστη διαταραχή της βραχομάζας ► Εύκολη αποκομιδή του θρυμματισμένου υλικού (muck) και επαναχρησιμοποίηση

αυτού ► Ασφάλεια εργαζομένων στο μέτωπο της εκσκαφής ► Λιγότερο προσωπικό ανά βάρδια. (Παπαντώνη,2007).

Τα μειονεκτήματα των μηχανημάτων κατά το σχεδιασμό, προγραμματισμό και τη διάρκεια κατασκευής σε εκσκαφές έργων με μηχανικά συστήματα των μηχανημάτων ολομέτωπης κοπής είναι : ♦ το μεγάλο αρχικό κόστος του εξοπλισμού και ο χρόνος παράδοσης του εξοπλισμού ♦ Τα συστήματα αυτά χαρακτηρίζονται από μικρή ευκινησία και μεγάλη περίοδο εγκατάστασης και έναρξης λειτουργίας ♦ Οι μετατροπές στα εν λόγω μηχανήματα είναι περιορισμένης ικανότητας, σε περίπτωση αλλαγής των γεωλογικών συνθηκών ♦ Η διαδικασία δεν είναι ιδιαίτερα ευέλικτη. Σε περίπτωση διακοπής των εργασιών, το χρονικό αυτό διάστημα της διακοπής, μπορεί να αποβεί καταστρεπτικό για τον προγραμματισμό του έργου. Ο κατασκευαστής πρέπει να καταφέρει να διατηρήσει τη συνεχή λειτουργία της μηχανής ολομέτωπης κοπής, δεδομένου ότι ολόκληρη η διαδικασία διάνοιξης εξαρτάται από αυτή ♦ Είναι δύσκολη η εγκατάσταση υποστήριξης στο μέτωπο εκσκαφής με αποτέλεσμα η λειτουργία της μηχανής ολομέτωπης κοπής να καθίσταται ευάλωτη, στην περίπτωση διαταραχής του εδάφους. Η άμεση πρόσβαση στο μέτωπο της βραχομάζας για τη διάνοιξη διατηρημάτων, τη τσιμεντένεση, και την προσωρινή υποστήριξη, είναι δύσκολη με τα περισσότερα μηχανήματα ♦ Σε πολύ σκληρό πέτρωμα αναμένονται, μειωμένα ποσοστά διεύδυσης και αύξηση των δαπανών σε κοπτικά για σκληρό και λείο πέτρωμα ♦ Οι μεγάλοι χρόνοι κινητοποίησης και η μικρή κινητικότητα του βαρύ εξοπλισμού, καθιστούν τις διαδικασίες πάρα πολύ δαπανηρές, για μικρού μήκους σήραγγες ♦ Δεν υπάρχει ποικιλία στη διάμετρο και στο σχήμα της εκσκαφής. (Παπαντώνη,2007).

Τα είδη των TBM αναφέρονται παρακάτω :

- ⊇ TBM με σύστημα πλευρικής αντιστήριξης
- ⊇ TBM με ασπίδα
- ⊇ TBM χωρίς ασπίδα
- ⊇ Ασπίδα με τη χρήση πεπιεσμένου αέρα
- ⊇ Μηχανήματα ολομέτωπης κοπής πολφού ή νερού
- ⊇ Ασπίδες με ισροπία πίεσης γαιών (EPM)

Νέα Αυστριακή μέθοδος διάνοιξης σηράγγων (NATM) ή Συμβατική μέθοδος

Η Νέα Αυστριακή μέθοδος διάνοιξης, είναι ένα σύνολο τεχνικών διάνοιξης και υποστήριξης σηράγγων οι οποίες εφαρμόστηκαν κατά τη διάνοιξη των σηράγγων στις Αυστριακές Άλπεις τη δεκαετία του 1960. Οι τεχνικές αυτές είχαν εφαρμοστεί και πριν τη δεκαετία του 1960 τόσο στην Αυστρία όσο και σε όλο τον υπόλοιπο κόσμο. Η συστηματοποίηση και η ονομασία όμως της μεθόδου δόθηκε από Αυστριακούς μηχανικούς (Mueller, Brunner,Rabcewicz, Pacher) η οποία όταν

προτάθηκε δεν ήταν ούτε νέα, εφόσον είχε εφαρμογή και πριν το 1960, ούτε Αυστριακή εφόσον εφαρμοζόταν σε όλο τον κόσμο και φυσικά ούτε μέθοδος, γιατί αποτελεί σύνολο τεχνικών οι οποίες αλλάζουν με την εξέλιξη της τεχνολογίας.

Η μέθοδος NATM θεωρεί πως κάθε διατομή αποτελείται από το δακτύλιο της βραχόμαζας, το οποίο επηρεάζεται από τη διαδικασία της κατασκευής και από τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης. Η βασική φιλοσοφία της μεθόδου είναι να ενεργοποιήσει την αντοχή της περιβάλλουσας βραχόμαζας, με στόχο τον περιορισμό στο ελάχιστο της αποσυμπίεσης και της χαλάρωσης. Ο περιορισμός αυτών των παραμέτρων επιτυγχάνεται με τη τοποθέτηση μέτρων άμεσης υποστήριξης. Συγκεκριμένα η τοποθέτηση εκτοξευμένου σκυροδέματος και αγκυρίων ώστε να ενισχυθεί η περιβάλλουσα βραχόμαζα, δημιουργώντας ένα δακτύλιο υποστήριξης ο οποίος συμβάλλει στη πίεση σταθεροποίησης που παράγεται από το φαινόμενο θολωτής δράσης.

Ένα σημαντικό ποσοστό της σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας παρουσιάζεται στο μπροστινό μέτωπο της εκσκαφής, πριν δηλαδή η εκσκαφή φτάσει στη συγκεκριμένη θέση. Επίσης, η σύγκλιση του τοιχώματος αυξάνει με ταχείς ρυθμούς στη περιοχή του μετώπου προκύπτει πως η αντοχή της βραχόμαζας στις περισσότερες περιπτώσεις έχει ενεργοποιηθεί επαρκώς κοντά στο μέτωπο με αποτέλεσμα η άμεση υποστήριξη να πρέπει να κατασκευαστεί όσο το δυνατόν πιο κοντά στο μέτωπο εκσκαφής. Πιο αναλυτικά: (Καββαδάς,2004)

1. Η εκσκαφή της διατομής της σήραγγας συνήθως γίνεται σε περισσότερες από μια φάσεις. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η επιφάνεια του μετώπου της εκσκαφής κάθε φάσης και συνεπώς μειώνεται η συνολική σύγκλιση του τοιχώματος (σε σχέση με την εκσκαφή της διατομής σε μια φάση) και βελτιώνεται η ευστάθεια της διατομής αποφεύγοντας την αποδιοργάνωση της περιβάλλουσας βραχόμαζας.

2. Κατασκευή της άμεσης υποστήριξης της διατομής σε μικρή απόσταση από το μέτωπο της εκσκαφής ώστε να περιορισθεί η περαιτέρω σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας και να αποφευχθεί η αποδιοργάνωση της δομής της βραχόμαζας. Τούτο επιτυγχάνεται με την προώθηση της κάθε φάσης εκσκαφής σε μικρά βήματα της τάξεως των 1-2 μέτρων αναλόγως της ποιότητας της βραχόμαζας. Το μήκος του βήματος εκσκαφής μειώνεται όσο πτωχότερη είναι η ποιότητα της βραχόμαζας .

3. Η άμεση υποστήριξη της διατομής θα πρέπει να αναλάβει φορτία κατά το δυνατόν ταχύτερα ώστε να περιορισθεί η περαιτέρω σύγκλιση του τοιχώματος της σήραγγας και συνεπώς η αποδιοργάνωση της δομής της βραχόμαζας. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πλεονεκτεί ως προς την άποψη αυτή επειδή βρίσκεται σε απόλυτη επαφή με την περιβάλλουσα βραχόμαζα (και συνεπώς η παραμικρή σύγκλιση του τοιχώματος προκαλεί τη φόρτισή του) και επιπλέον έχει μικρό χρόνο πήξεως (μερικές ώρες). Η χρήση αγκυρίων βράχου σε κανονικό κানাβο οπλίζει την περιβάλλουσα βραχόμαζα και συντελεί στην καλύτερη ανάπτυξη της λειτουργίας

τόξου στη βραχώμαζα. Πράγματι, η τάση της βραχώμαζας να παραμορφωθεί διατμητικά προκαλεί (μέσω της διασταλτικότητας) την ανάπτυξη εφελκυσμού στα αγκύρια και συνεπώς θλίψης στη βραχώμαζα. Η θλίψη της βραχώμαζας αυξάνει την αντοχή της και μειώνει την παραμορφωσιμότητά της λόγω εγκιβωτισμού (λειτουργία ανάλογη με αυτή του σπειροειδούς οπλισμού στα υποστηλώματα).

4. Ολοκλήρωση του δακτυλίου του εκτοξευόμενου σκυροδέματος στο σύνολο της διατομής (δηλαδή και στο δάπεδο). Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένας κλειστός δακτύλιος με πολύ μικρή παραμορφωσιμότητα ώστε να περιορίζονται οι περαιτέρω συγκλίσεις του τοιχώματος. Η δημιουργία κλειστού δακτυλίου με την ταχεία σκυροδέτηση του δαπέδου (early invert closure) συντελεί τα μέγιστα στη μείωση της σύγκλισης του τοιχώματος της σήραγγας και στην ευστάθεια της διατομής. Σημειώνεται ότι στην περίπτωση βραχώμαζας με καλά μηχανικά χαρακτηριστικά συχνά δεν είναι απαραίτητο να ολοκληρώνεται ο δακτύλιος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, δηλαδή δεν επενδύεται με σκυρόδεμα το δάπεδο της σήραγγας.

5. Στην περίπτωση διάνοιξης σιηράγγων σε βραχώμαζα με πολύ πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά ή σε εδαφικούς σχηματισμούς, είναι συνήθης η εμφάνιση φαινομένων αστάθειας του μετώπου της εκσκαφής (face instability). Τα φαινόμενα αυτά προκαλούν αύξηση της σύγκλισης και αποδιοργάνωση της δομής της βραχώμαζας με πιθανή κατάληξη την κατάρρευση της σήραγγας. Σε τέτοιες περιπτώσεις μπορούν να ληφθούν μέτρα βελτίωσης της ευστάθειας του μετώπου, όπως αύξηση του αριθμού των φάσεων εκσκαφής (ώστε να μειωθούν οι διαστάσεις του μετώπου), διαμόρφωση του μετώπου με κλίση ως προς την κατακόρυφο (δηλαδή αφήνοντας έναν εδαφικό τάκο στον πόδα του μετώπου), ενίσχυση του μετώπου με αγκύρια, ενίσχυση της οροφής με ράβδους (spiles) ή δοκούς προπορείας (forepoling), κατασκευή τσιμεντενέσεων, επένδυση του μετώπου με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κλπ.

6. Η πυκνότητα των μέτρων άμεσης υποστήριξης προσαρμόζεται στις επιτόπου συνθήκες. Ειδικότερα, η μέθοδος NATM βασίζεται σε μετρήσεις της συμπεριφοράς του τμήματος της σήραγγας που έχει ήδη διανοιχθεί (όπως μετρήσεις της σύγκλισης του τοιχώματος, της πίεσης της βραχώμαζας στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, της θλιπτικής τάσης στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κλπ). Με τον τρόπο αυτό, οποιαδήποτε απόκλιση από την προηγούμενη συμπεριφορά θα πρέπει να αξιολογείται και να ερμηνεύεται, στη συνέχεια δε να αντιμετωπίζεται με κατάλληλη προσαρμογή των μέτρων άμεσης υποστήριξης.

Ο σχεδιασμός της διάνοιξης και άμεσης υποστήριξης της σήραγγας θα πρέπει να είναι ευπροσάρμοστος στις επιτόπου συνθήκες. Για το σκοπό αυτό ο σχεδιασμός γίνεται ως εξής:

1. Με βάση τα αποτελέσματα των γεωτεχνικών ερευνών η βραχώμαζα που αναμένεται να συναντηθεί κατά μήκος της σήραγγας κατατάσσεται σε 3-5

κατηγορίες (με βάση τα μηχανικά χαρακτηριστικά). Οι κατηγορίες αυτές συνήθως βασίζονται στα γνωστά συστήματα κατατάξεως (RMR, GSI, Q).

2. Μορφώνονται 3-5 τυπικές διατομές διάνοιξης και άμεσης υποστήριξης της σήραγγας οι οποίες διαφέρουν ως προς το είδος των μέτρων υποστήριξης (π.χ. εάν διαθέτουν ενίσχυση με χαλύβδινα πλαίσια) και την πυκνότητά τους (π.χ. διάσταση του κανάβου των αγκυρίων ή πάχος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος). Οι τυπικές διατομές μπορεί να διαφέρουν και ως προς τον αριθμό των φάσεων εκσκαφής. Κατά τη μόρφωση των διατομών λαμβάνεται υπόψη ότι θα πρέπει να είναι κατασκευαστικά δυνατή η αλλαγή της διατομής της σήραγγας από τον ένα τύπο στον άλλο με σχετική ευχέρεια.

3. Διατυπώνεται ένα σύνολο κριτηρίων με βάση τα οποία θα είναι δυνατή η επιλογή της εφαρμοστέας τυπικής διατομής κατά την κατασκευή της σήραγγας. Τα κριτήρια αυτά συνήθως βασίζονται σε ένα συνδυασμό παραγόντων όπως η ποιότητα της βραχώμαζας, το πάχος των υπερκειμένων γαιών, ο προσανατολισμός των ασυνεχειών της βραχώμαζας, τα αποτελέσματα των μετρήσεων συμπεριφοράς του έργου σε προηγούμενες διατομές ή σε προηγούμενη φάση εκσκαφής στη συγκεκριμένη θέση κλπ.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου NATM σε σχέση με τις εναλλακτικές μεθόδους (διάνοιξη με TBM ή ασπίδα) είναι τα εξής:

1. Προσαρμόζεται εύκολα σε μεταβαλλόμενες γεωτεχνικές συνθήκες.
 2. Προσαρμόζεται εύκολα σε μεταβολές της γεωμετρίας της διατομής και στη διάνοιξη μή-κυκλικών διατομών.
 3. Περιλαμβάνει μηχανικό εξοπλισμό σχετικά μικρού κόστους και συνεπώς πλεονεκτεί οικονομικά σε σήραγγες μικρού μήκους.
 4. Επιτρέπει ευκολότερη στεγάνωση της σήραγγας με συνθετική μεμβράνη (η οποία συνήθως τοποθετείται μεταξύ της άμεσης και της τελικής επένδυσης).
- (Ντιούδη, 2010 & Παπαντώνη 2007)

Οι δυο κύριοι τρόποι εκσκαφής των σηράγγων με τη μέθοδο NATM είναι οι παρακάτω :

1. Εκσκαφή μετώπου-βαθμίδας (top heading and bench)

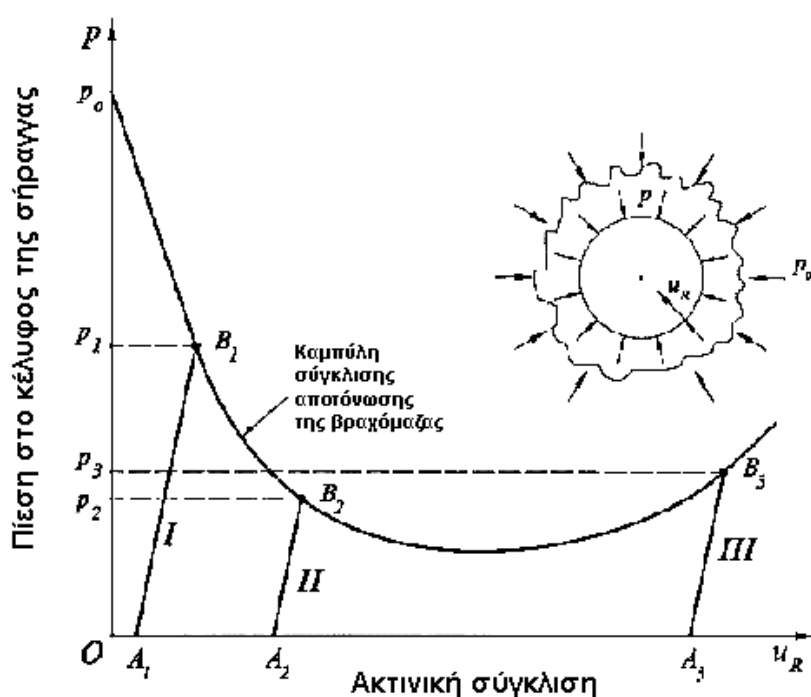
Η εκσκαφή γίνεται από πάνω προς τα κάτω. Η πρώτη φάση εκσκαφής (top heading) μπορεί να εκσκαφεί και σε περισσότερες φάσεις κατά το πλάτος της σήραγγας. Στην περίπτωση αυτή η πρώτη φάση ουσιαστικά αποτελεί σήραγγα-πilotο που χρησιμεύει και για τη διερεύνηση των συνθηκών που αναμένεται να συναντηθούν κατά τη διάνοιξη της σήραγγας.

2. Εκσκαφή με πλευρικές στοές (side-wall drifts)

Η εκσκαφή με πλευρικές στοές εφαρμόζεται σε σήραγγες μεγάλου εύρους σε βραχώμαζες με σχετικά πτωχά χαρακτηριστικά ή στις περιπτώσεις όπου είναι κρίσιμος ο περιορισμός της σύγκλισης του τοιχώματος (π.χ. σε αστικές περιοχές).

Περιλαμβάνει την υποδιαίρεση της διατομής κατά το πλάτος και διάνοιξη πρώτα της μιας πλευράς και στη συνέχεια της άλλης πλευράς. Σε πιο δύσκολες συνθήκες η μέθοδος μπορεί να περιλάβει δυο πλευρικές στοές και ενδιάμεσο πυλώνα (twin side-wall drifts with central pillar). Στην περίπτωση αυτή πρώτα διανοίγονται οι πλευρικές στοές και στο τέλος διανοίγεται ο κεντρικός πυλώνας.

Θα πρέπει να τονιστεί πως για κάθε σήραγγα με συγκεκριμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά στοιχεία που διανοίγεται με συγκεκριμένο τρόπο, σε συγκεκριμένες συνθήκες περιβάλλουσας βραχώμαζας και επιτόπου τάσεων, αντιστοιχεί μια μοναδική καμπύλη σύγκλισης – απομόνωσης. Η καμπύλη αυτή δείχνει την επιρροή του χρόνου τοποθέτησης των μέτρων άμεσης υποστήριξης της σήραγγας. Σκοπός της μεθόδου είναι να βρεθεί ο βέλτιστος υπολογισμός των μέτρων άμεσης υποστήριξης και του χρονικού σημείου που πρέπει να εφαρμοστούν. Η σχεδίαση της καμπύλης σύγκλισης – απομόνωσης αποτελεί ένα αναπόσπαστο κομμάτι της μελέτης σχεδιασμού του υπόγειου έργου. Στη μεθοδολογία σχεδιασμού της σήραγγας αναφέρεται ως “μέθοδος παρατήρησης”.



Υπόμνημα

I : Πολύ νωρίς. Η πίεση στην άμεση υποστήριξη (p_1) είναι πολύ μεγάλη

II : Κανονικός χρόνος κατασκευής της άμεσης υποστήριξης. Η πίεση (p_2) έχει μειωθεί σημαντικά.

III: Πολύ αργά. Η πίεση (p_3) έχει αυξηθεί λόγω αποδιοργάνωσης (χαλάρωσης) της βραχώμαζας, με συνέπεια τον κίνδυνο κατάρρευσης)

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.2.1 Επίδραση της εφαρμογής των μέτρων προσωρινής υποστήριξης στη βραχώμαζα ανάλογα με τη χρονική στιγμή τοποθέτησης τους (για την σχετική κωδικοποίηση-I, A, B βλέπε κείμενο) (Καβαβάδας, 2000)

Σε περίπτωση που τα μέτρα εφαρμοστούν στο σημείο A_1 , τότε θα αναπτυχθούν πολύ μικρές συγκλίσεις και η αποτόνωση της βραχόμαζας θα είναι εξίσου πολύ μικρή. Τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης θα πρέπει να παραλάβουν τη πολύ μεγάλη πίεση p_1 . Η λύση αυτή θεωρείται συντηρητική και αντιοικονομική.

- I. Αν τα μέτρα εφαρμοστούν στο σημείο A_3 , θα αναπτυχθούν πολύ μεγάλες συγκλίσεις, που θα έχουν ως αποτέλεσμα τη πλήρη αποδιοργάνωση της βραχόμαζας. Λόγω της αποδιοργάνωσης παρατηρείται αύξηση των πιέσεων. Η λύση θεωρείται επισφαλής γιατί οδηγεί σε αστοχία πριν εφαρμοστούν τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης. Βέβαια, ακόμα και στη περίπτωση που δεν σημειωθεί αστοχία η λύση χαρακτηρίζεται αντιοικονομική.
- II. Από την άλλη πλευρά αν εφαρμοστούν τα μέτρα στο σημείο A_2 , οι συγκλίσεις θα είναι επαρκείς για την αποτόνωση της βραχόμαζας και θεωρητικά ασφαλείς. Η πίεση που θα αναλάβουν τα μέτρα υποστήριξης είναι η όσο το δυνατόν μικρότερη. Γίνεται έλεγχος της εντατικής κατάστασης των μέτρων υποστήριξης που έχουν προεκτιμηθεί για τα δεδομένα φορτία που πρέπει να αναλάβουν. Σε περίπτωση που τα εντατικά μεγέθη είναι μικρότερα από τα μεγέθη αντοχής τους τότε αυτή η λύση χαρακτηρίζεται επιθυμητή εφόσον συνδυάζει ασφάλεια και οικονομικότητα.

4.3 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΣΤΟΧΙΩΝ- ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

4.3.1 Εισαγωγή

Αστοχία – Συμπεριφορά είναι οι μηχανισμοί που βάζουν σε κίνδυνο την ευστάθεια της διατομής μιας σήραγγας είτε όταν αυτή εκσκάπτεται και δεν έχουν τοποθετηθεί τα μέτρα υποστήριξης είτε όταν έχουν τοποθετηθεί και η βραχόμαζα συμπεριφέρεται ενιαία με αυτά. Οι αστοχίες της βραχόμαζας διακρίνονται σε δυο κατηγορίες τις τασικές αστοχίες και τις βαρυντικές ή δομικές αστοχίες. Οι πρώτη κατηγορία αστοχιών προκαλούνται από όλων τον δακτύλιο της βραχόμαζας γύρω από τη σήραγγα λόγω επίδρασης τάσεων. Σε αυτή τη περίπτωση η βραχόμαζα έχει πολύ φτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά και με μεγάλο πάχος υπερκείμενων. Η δεύτερη κατηγορία η αστοχία σημειώνεται κατά τη διεύθυνση του επιπέδου μιας ασυνέχειας λόγω τοπικά ασθενών επιπέδων με δυσμενή προσανατολισμό ως προς τη διάνοιξη της σήραγγας. Εμφανίζονται εξαιτίας της υπέρβασης της δύναμης της τριβής και της συνοχής που αντιστέκονται στην ολίσθηση κατά μήκος των ασυνεχειών.

4.3.2 Μηχανισμός αστοχιών βραχόμαζας χωρίς υποστήριξη

Για τη περίπτωση των μηχανικών αστοχιών της βραχόμαζας χωρίς υποστήριξη ο έχει προταθεί ένας ορθολογικός σχεδιασμός που περιλαμβάνει πέντε βήματα. Αρχικά, προσδιορίζεται ο τύπος της βραχόμαζας, στο δεύτερο βήμα γίνεται εκτίμηση της συμπεριφοράς της βραχόμαζας στο υπόγειο έργο. Στη συνέχεια, καθορίζεται το σύστημα εκσκαφής αλλά και υποστήριξης με βάση το σύστημα συμπεριφοράς, τέταρτο βήμα διαχωρισμός των περιοχών με κοινά χαρακτηριστικά και απαιτήσεις αλλά και προσαρμογή των κριτηρίων κατασκευής και των περιορισμών κατά μήκος της σήραγγας. Τέλος, “μετάφραση” των κατηγοριών εκσκαφής και υποστήριξης σε όρους οικονομικούς και χρόνου.

Πιο αναλυτικά, στο πρώτο βήμα καθορίζονται οι τύποι της βραχόμαζας βασισμένοι στην οριοθέτηση των παραμέτρων που καθορίζουν τη συμπεριφορά της βραχόμαζας και επηρεάζουν τη μέθοδο διάνοιξης, το χρόνο αλλά και το κόστος. Το πλήθος των τύπων εξαρτάται από τις γεωλογικές συνθήκες σε κάθε θέση. Γι’ αυτό απαιτεί προσοχή στη περίπτωση που ο ορισμός και η εκτίμηση των παραμέτρων είναι αποτέλεσμα εμπειρικών σχέσεων που συνδέονται με δείκτες και βαθμολογίες καταλήγοντας σε μη πραγματικά συμπεράσματα.

Στο δεύτερο βήμα εκτιμάται η απόκριση της βραχόμαζας στην εκσκαφή ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες. Συμπεριφορά της βραχόμαζας ορίζεται η αντίδραση της βραχόμαζας σε υπόγεια εκσκαφή χωρίς να υπολογίζονται οι διαδικασίες υποστήριξης και αλληλεπίδρασης με άλλες φάσεις. Αυτό το σημείο είναι πολύ σημαντικό για τον σχεδιασμό του συστήματος της εκσκαφής καθώς και των μέτρων υποστήριξης που απαιτούνται.

Στο τρίτο βήμα γίνεται αξιολόγηση πλέον της βραχόμαζας μέσα σε ένα τύπο συγκεκριμένης συμπεριφοράς λαμβάνοντας υπόψη την εκσκαφή και τα μέτρα άμεσης υποστήριξης. Συνεπώς, λαμβάνεται μια ολοκληρωμένη εικόνα σχετικά με τις απαιτήσεις και τους περιορισμούς του υπόγειου έργου. Στα υπόλοιπα βήματα ολοκληρώνεται η οργάνωση των τευχών δημοπράτησης όπου καθορίζονται οι διατομές υποστήριξης και συνδέονται με το κόστος και το χρόνο.

4.3.3 Μηχανισμός αστοχίας μέτρων προσωρινής υποστήριξης

Η περίπτωση αστοχίας των μέτρων προσωρινής υποστήριξης στην κατασκευή οφείλεται στην υπέρβαση των ανώτατων ορίων που αφορούν τα εντατικά και παραμορφωσιακά μεγέθη που αναπτύσσονται στη διατομή. Τα ανώτατα όρια καθορίζονται κάθε φορά από τις απαιτήσεις ασφάλειας του έργου, τη λειτουργικότητα και από τον κύριο του έργου.

Οι παράγοντες που οδηγούν σε αστοχία στη φάση της προσωρινής υποστήριξης είναι > η λανθασμένη εκτίμηση των παραμέτρων της βραχύμαζας > η ελλιπής προσομοίωση της πραγματικότητας από εμπειρικές μεθόδους ή κριτήρια αστοχίας και τα προγράμματα υπολογισμού που χρησιμοποιούνται > η λανθασμένη εφαρμογή των μέτρων προσωρινής υποστήριξης και η μη τήρηση της μελέτης από τον κατασκευαστή.

Οι λόγοι εκδήλωσης μεγαλύτερων παραμορφώσεων από τις αναμενόμενες είναι τόσο γεωτεχνικοί όσο και κατασκευαστικοί. Στη συνέχεια αναφέρονται συγκεκριμένα οι λόγοι κάθε κατηγορίας :

Γεωτεχνικοί λόγοι

- Μη επαρκής τεχνικογεωλογική αξιολόγηση
- Πεδίο τάσεων
- Φαινόμενα ερπυσμού
- Διόγκωση
- Υψηλή πίεση υπόγειων υδάτων

Κατασκευαστικοί λόγοι

- Επίδραση νερού κατά τη διάτρηση
- Σύνδεση πτωχή μεταξύ φάσεων εκσκαφής
- Μήκος και τύπος εφαρμοσμένων μέτρων ενίσχυσης ακατάλληλος
- Ευθυγράμμιση μεταλλικών πλαισίων ακατάλληλη
- Υπερεκσκαφή που διαταράσσει τη περιβάλλουσα βραχύμαζα
- Διαταραχή της περιοχής θεμελίωσης του κελύφους υποστήριξης
- Καθυστερήση τοποθέτησης των μέτρων άμεσης υποστήριξης

Οι αστοχίες κατά τη διάνοιξη των υπόγειων έργων είναι ένα ανεπιθύμητο φαινόμενο. Η συστηματική μελέτη τους είναι πολύ σημαντική και χρήσιμη διαδικασία για την αποφυγή παρόμοιων σφαλμάτων σε άλλα έργα. Με βάση κάποια χαρακτηριστικά διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες. (Μαρίνος,2007)

1) Ανάλογα με τη περιοχή και το πλήθος των μέτρων προσωρινής υποστήριξης που επηρεάζουν :

- Περιορισμένες αστοχίες, εμφανίζονται σε συγκεκριμένα μέτρα προσωρινής υποστήριξης.
- Ολικές αστοχίες, παρατηρούνται στο σύνολο της διατομής και έχουν ως αποτέλεσμα τη κατάρρευση

2) Ανάλογα με τη δυνατότητα αποκατάστασης διακρίνεται σε :

- Επιδιορθώσιμες, με κατάλληλες παρεμβάσεις μπορεί να συνεχιστεί η διάνοιξη

- Μη επιδιορθώσιμες, δεν είναι δυνατή η συνέχιση της διάνοιξης. Σε αυτή τη περίπτωση ή αλλάζει η μελέτη διάνοιξης ή αναθεωρείται είτε αλλάζει η χάραξη της σήραγγας.

3) Ανάλογα με τον τρόπο δημιουργίας χωρίζεται σε :

- Αστοχίες που προκαλούνται από ολόκληρο το δακτύλιο της βραχόμαζας γύρω από τη σήραγγα.
- Αστοχίες που προκαλούνται από την ύπαρξη τοπικών ασθενών επιπέδων ασυνεχειών με δυσμενή, ως προς το άνοιγμα προσανατολισμού.

4.4 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΑΣΤΟΧΙΑΣ - ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΜΟΛΑΣΣΙΚΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Οι καλής ποιότητας μολασσικές βραχόμαζες έχουν εξαιρετική ευστάθεια στις σήραγγες. Με εξαίρεση τα πρώτα μέτρα τα οποία λόγω αποσάθρωσης της βραχόμαζας μπορεί να σημειωθεί κάποια βαρυτική αστοχία τύπου καμινάδας στα επόμενα 10 – 15 m η βραχόμαζα εμφανίζεται συμπαγής και αδιατάρακτη με τοπικές ίσως βαρυτικές αστοχίες. Σε μεγάλα βάθη η βραχόμαζα ψαμμιτικής σύστασης ή με κροκαλοπαγή μπορεί να έχει ψαθυρή συμπεριφορά. Σε ιλυολιθικές βραχόμαζας μπορεί να προκύψουν παραμορφώσεις.

Το βασικό στοιχείο ώστε να εκδηλωθούν προβλήματα στην ευστάθεια της βραχόμαζας σε μικρά βάθη είναι ο προσανατολισμός των ασυνεχειών της. Λόγω του προσανατολισμού μπορεί να δημιουργηθούν συνθήκες ευνοϊκές ως προς την δομική ολίσθηση ή την πτώση τεμαχίων ελεύθερα. Κατά την εκσκαφή της διατομής αν δημιουργηθεί ελεύθερη επιφάνεια σε συνδυασμό με τις διακλάσεις και τη στρώση η βραχόμαζα μπορεί να ελευθερώσει τεμάχια και σφήνες οι οποίες λόγω του βάρους τους να πέσουν.

Στη περίπτωση που κατά την εκσκαφή ο άξονας της σήραγγας κινείται παράλληλα με το επίπεδο της στρώσης μικρής κλίσης του σχηματισμού τότε σημειώνονται υπερεκσκαφές. Με τον όρο υπερεκσκαφή αναφερόμαστε στην επιπλέον εκσκαφή της σήραγγας πέραν από τη συγκεκριμένη διατομή της. Επίσης, σε περίπτωση μικρών κλίσεων σχεδόν οριζόντια λεπτά στρώματα μπορούν λόγω του ίδιου τους το βάρους οι μολασσικές τράπεζες να χάσουν τη στήριξή τους δημιουργώντας εφελκυστικές ρωγμές. Οι νέες αυτές ασυνέχειες σε συνδυασμό με άλλες ανοιχτές, χαλαρές, προυπάρχουσες ασυνέχειες και της στρώσης οδηγούν στην εκδήλωση ελεύθερων πτώσεων.

Οι μολασσικοί σχηματισμοί πιο συγκεκριμένα εξαρτώνται από τρεις βασικούς παράγοντες, τη *δομή* η οποία προκύπτει από τα διαγράμματα GSI, την *αντοχή του άρρηκτου βράχου (σσι)* και το *πάχος των υπερκείμενων σχηματισμών*. Με βάση αυτούς τους παράγοντες οι αστοχίες που μπορεί να προκύψουν διακρίνονται σε δυο

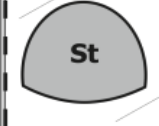
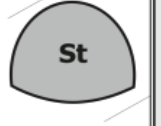
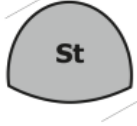
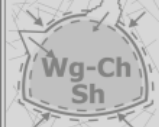
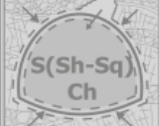
περιοχές όπως παρουσιάζονται στο παρακάτω ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4.1 συμπεριφοράς του μολασσικού σχηματισμού.

Στη M_1 περιοχή θεωρούμε τη βραχόμαζα *Άρρηκτη*, με υψηλές τιμές αντοχής καθώς και μεγάλη τιμή υπερκειμένων. Οι αστοχίες που μπορεί να σημειωθούν είναι :

- ⊕ Ευσταθής διατομή μόνο τοπικές βαρυτικές αστοχίες. Η βραχόμαζα είναι συμπαγής με περιορισμένες ασυνέχειες. **(St)**
- ⊕ Σφηνοειδής ολίσθησεις ή πτώση τεμαχών λόγω βάρους. Ασήμαντες παραμορφώσεις. Η βραχόμαζα είναι μέτρια ως κερματισμένη ορίζοντας μπλοκ προς ελεύθερη πτώση ή ολίσθηση. Η ευστάθεια ελέγχεται από τα χαρακτηριστικά των ασυνεχειών και τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά. Ο λόγος αντοχής βραχόμαζας προς επιτόπου τάσεις είναι μεγάλος και δεν δημιουργούν συνθήκες παραμόρφωσης. **(Wg)**
- ⊕ Μικρές ως μέτριες παραμορφώσεις με εκδήλωση διατμητικών τάσεων σε μικρή έκταση ζώνη γύρω από τη σήραγγα. Η βραχόμαζα αποτελείται από τεμάχια άρρηκτου βράχου με μικρή αντοχή ενώ η δομή της βραχόμαζας μειώνει περετέρω την αντοχή αυτή. Το βάρος των υπερκειμένων για την εκδήλωση των παραμορφώσεων είναι ή μικρό ως μέτριο στη περίπτωση φτωχής ποιότητας διατμημένης βραχόμαζας ή μεγάλο για καλύτερης ποιότητας βραχόμαζα. Ο λόγος αντοχής βραχόμαζας προς επιτόπου τάσεις είναι μικρός κι αναμένονται ή παρατηρούνται μέτριες παραμορφώσεις. **(Sh)**

Στη M_2 περιοχή η βραχόμαζα είναι *Κερματισμένη*, πιο αποδομημένη με χαμηλές τιμές αντοχής και χαμηλά υπερκείμενα . οι πιθανές αστοχίες που θα σημειωθούν είναι :

- ⊕ Κατάπτωση τύπου καμινάδας. Η βραχόμαζα είναι έντονα κερματισμένη διατηρώντας τις περισσότερες τη δομή της. Έχει ανοιχτή δομή χωρίς καλό αλληλοκλείδωμα και σε συνδυασμό με τις πλευρικές τάσεις μπορεί να οδηγήσει σε καταπτώσεις που προοδευτικά αναπτύσσονται και δημιουργούν υπερεκσκαφή τύπου καμινάδας η οποία μπορεί ή όχι να γεφυρώνεται πάνω από τη σήραγγα. Στη κατηγορία αυτή ανήκουν και οι περιπτώσεις πλήρους αποδιοργανωμένης βραχόμαζας ακόμα και σε μεγάλα υπερκείμενα με μεγάλες πλευρικές τάσεις. **(Ch)**
- ⊕ Σφηνοειδής ολίσθηση ή πτώση τεμαχών λόγω βάρους. **(Wg)**
- ⊕ Μικρές παραμορφώσεις σε μικρή έκταση ζώνη γύρω από τη σήραγγα. **(Sh)**

TUNNEL BEHAVIOUR CHART (TBC) FOR ROCK MASSES (V. Marinos)*					
ROCK MASS STRUCTURE (As in GSI, Hoek & Marinos, 2000)	OVERBURDEN (H) (Rock masses for up to several hundreds metres**)				
	Small overburden		Large overburden		
	INTACT ROCK STRENGTH (σ_{ci}) Indicative limit: $\sigma_{ci} \sim 15$ Mpa Low σ_{ci} High σ_{ci}		INTACT ROCK STRENGTH (σ_{ci}) Indicative limit: $\sigma_{ci} \sim 15$ Mpa Low σ_{ci} High σ_{ci}		
 INTACT OR MASSIVE Intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	 1	 2	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~ 150 m	 3	 4
 BLOCKY Well interlocked undisturbed rock mass consisting of blocks formed by three orthogonal intersecting discontinuity sets	 5	 6		 7	 8
 VERY BLOCKY Interlocked, partially disturbed rock mass with multi-faceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets	 9	 10	H LIMIT: ~ 100 m	 11	 12
 BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity. It is understood that the rock mass is disturbed and anisotropy can be developed	 13	 14		 15	 16
 DISINTEGRATED Poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	 17	 18	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~ 70 m	 19	 20
 LAMINATED/FOLIATED/SHEARED Laminated or foliated and tectonically sheared weak rock mass. Foliation prevails over any other discontinuity set, resulting in complete lack of blockiness (this drawing scale is not compared with the other's drawing scales)	 21	 22		 23	 24

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4.1. Διάγραμμα συμπεριφοράς μολασσικών βραχομαζών (Marinos, 2012)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ

5.1 Εισαγωγή

Με βάση την εμπειρία που έχει αποκτηθεί από την ενόργανη παρακολούθηση της συμπεριφοράς της βραχομάζας, η μεγαλύτερη χαλάρωση παρατηρείται αμέσως μετά την εκσκαφή. Το πέτρωμα θα αποκτήσει μια νέα ισορροπία λόγω της τάσης του για αυτοϋποστήριξη μετά από μια συγκεκριμένη περίοδο. Η καλής ποιότητας βραχομάζα μπορεί να παραμείνει ανυποστήρικτη για μεγάλο διάστημα, ενώ με τη μείωση της ποιότητας της ο χρόνος μειώνεται και αυξάνεται η απαίτηση για υποστήριξη. Όσο πιο χαμηλή είναι η ποιότητα του πετρώματος τόσο πιο ενισχυμένα μέτρα υποστήριξης χρειάζονται και η ανάγκη τοποθέτησή τους γίνεται όλο και πιο σύντομη. Ο βασικός στόχος των μέτρων υποστήριξης είναι να συμβάλουν στην αυτοϋποστήριξη της βραχομάζας. Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα μέτρα υποστήριξης που εφαρμόζονται στη διατομή μιας σήραγγας ώστε να βελτιώσουν τη σταθερότητα και την ικανότητα της βραχομάζας να παραλάβει τα φορτία του πετρώματος στα τοιχώματα των υπόγειων έργων.

Τα μέτρα υποστήριξης διακρίνονται σε ενεργά και παθητικά. Τα ενεργά μέτρα αποτελούν τμήμα της υποστηριζόμενης βραχομάζας και ουσιαστικά ενσωματώνονται μέσα σε αυτήν. Τα παθητικά μέτρα υποστήριξης από την άλλη πλευρά βρίσκονται εξωτερικά της βραχομάζας και ανταποκρίνονται σε μεταγενέστερα αναμενόμενες μετακινήσεις και παραμορφώσεις του πετρώματος. Θα πρέπει να τονιστεί πως τα μέτρα υποστήριξης που χρησιμοποιούνται σε κάθε περίπτωση εξαρτώνται από το μέγεθος της ζώνης χαλάρωσης και θραύσης της περιβάλλουσας βραχομάζας.

5.2 Μέτρα υποστήριξης

Εκτοξευμένο σκυρόδεμα

Προκύπτει από τη μίξη τσιμέντου, νερού και λεπτόκοκκων αδρανών (έως 10mm), τα οποία με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα εκτοξεύονται και εφαρμόζονται. Το εκτοξευμένο σκυρόδεμα παρασκευάζεται είτε ως ξηρό μείγμα με προσθήκη νερού στο στόμιο, είτε ως υγρό όπου η ανάμειξη του νερού γίνεται στον αναδευτήρα κατά τη διάρκεια παρασκευής του μείγματος. Για τη παρασκευή ενός κυβικού μέτρου εκτοξευμένου σκυροδέματος βάρους 2250-2350 Kg αναμειγνύονται 400-450Kg τσιμέντο, 1600-1700Kg αδρανή, 30-50Kg παιπάλη πυριτίου, 10-15Kg επιταχυντής πήξης και 200-250Kg νερό.

Ο ρόλος του εκτοξευμένου σκυροδέματος σε καλής ποιότητας ρωγματωμένες βραχώμαζες είναι να παρεμποδίσει τη πτώση ή την ολίσθηση τεμαχών βράχου λόγω της ύπαρξης ασυνεχειών με μεγάλο εύρος, μέσω της διατμητικής αντοχής. Σε ισχυρά κερματισμένες έως αποδομημένες βραχώμαζες, τοποθετείτε νωρίτερα για να συγκρατεί τα ασθενώς συνδεδεμένα ή ασύνδετα τεμάχια βράχου και να βοηθήσει στον περιορισμό αστοχιών τύπου καμινάδας ή καταρροής υλικού. Σε περιπτώσεις που οι αντοχές της βραχώμαζας είναι πολύ χαμηλότερες των επιτόπου τάσεων και αναμένονται σημαντικές παραμορφώσεις, η εφαρμογή του εκτοξευμένου σκυροδέματος στοχεύει στη δημιουργία ενός δακτυλίου, κλειστού, μεγάλου πάχους για να περιορίσει τις παραμορφώσεις σε αποδεκτά επίπεδα ανάλογα με τις επιτόπου συνθήκες.



ΕΙΚΟΝΑ 5-2-1 Εφαρμογή εκτοξευμένου σκυροδέματος, (www.ametro.gr)

Μεταλλικό πλέγμα και μεταλλικές ίνες

Χρησιμοποιείται για να προστατέψει τα μικρά βραχώδη τεμάχια της οροφής και των τεμαχών από κατάπτωση. Τοποθετείται εύκολα και γρήγορα ενώ μπορεί να πακτωθεί με τις πλάκες έδρασης των αγκυρίων ή/και με τη τοποθέτηση ειδικών καρφιών μεταξύ αυτών. Τοποθετείται επίσης, μαζί με το εκτοξευμένο σκυρόδεμα για να του προσδώσουν εφελκυστική αντοχή συνεπώς, την ικανότητα ανάληψης καμπτικής ροπής. Η εφαρμογή του πλέγματος προσφέρει γενικά καλύτερη εποπτεία στη τοποθέτηση, ώστε να διασφαλιστεί η σωστή ποσότητα οπλισμού ανα κυβικό μέτρο σκυροδέματος. Σε περιπτώσεις κατακερματισμένων έως αποδομημένων βραχομαζών καλό θα ήταν να προτιμάται η χρήση πλέγματος με πυκνό κάνναβο, ώστε να παγιδούνται άμεσα τα ασταθή τεμάχια.

Τα τελευταία χρόνια η μέθοδος του μεταλλικού πλέγματος αντικαθιστάται από τις μεταλλικές ίνες. Η επιλογή ανάμεσα στο πλέγμα και τις ίνες γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε μεθόδου. Με τη τοποθέτηση πλέγματος και την κάλυψη του με εκτοξευμένο σκυρόδεμα, λόγω της ελαστικότητας του πλέγματος παρατηρούνται φαινόμενα αναπήδησης του σκυροδέματος, με αποτέλεσμα τη δημιουργία κενών πίσω από το πλέγμα συνεπώς, τοπική μείωση της φέρουσας ικανότητας του φορέα της προσωρινής υποστήριξης. Το πρόβλημα αυτό δεν υφίσταται κατά τη προσθήκη ινών στο σκυρόδεμα πριν την εκτόξευση του. Θεωρητικά το ινοπλισμένο σκυρόδεμα προσφέρει καλύτερη κατανομή της εφελκυστικής αντοχής στο σκυρόδεμα, με την προϋπόθεση να έχει προηγηθεί σωστή ανάμιξη ινών, για να μην υπάρξει συγκέντρωση σε συγκεκριμένες θέσεις.



ΕΙΚΟΝΑ 5-2-2 Μεταλλικά πλαίσια

Αγκύρια βράχου

Τα αγκύρια βράχου μαζί με το εκτοξευμένο σκυρόδεμα αποτελούν τα βασικά μέτρα προσωρινής υποστήριξης σηράγγων. Τα αγκύρια βράχου χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της βραχώμαζας λόγω της θλιπτικής δύναμης που εξασκούν. Μετά την εγκατάστασή τους τα αγκύρια υποβάλλονται σε δοκιμές ποιοτικού ελέγχου, ώστε να ελεγχθεί η αποτελεσματικότητα της εγκατάστασής αλλά και η κατασκευή τους. Ο σκοπός και η συχνότητα των δοκιμών, ο αριθμός των αγκυρίων που θα δοκιμαστούν καθορίζονται από τον τύπο του αγκυρίου αλλά και τις γεωλογικές συνθήκες της περιοχής. Διακρίνονται σε δυο κατηγορίες: ενεργητικού τύπου αγκύρια και παθητικού τύπου αγκύρια.



ΕΙΚΟΝΑ 5-2-3 Γενικά αγκύρια βράχου



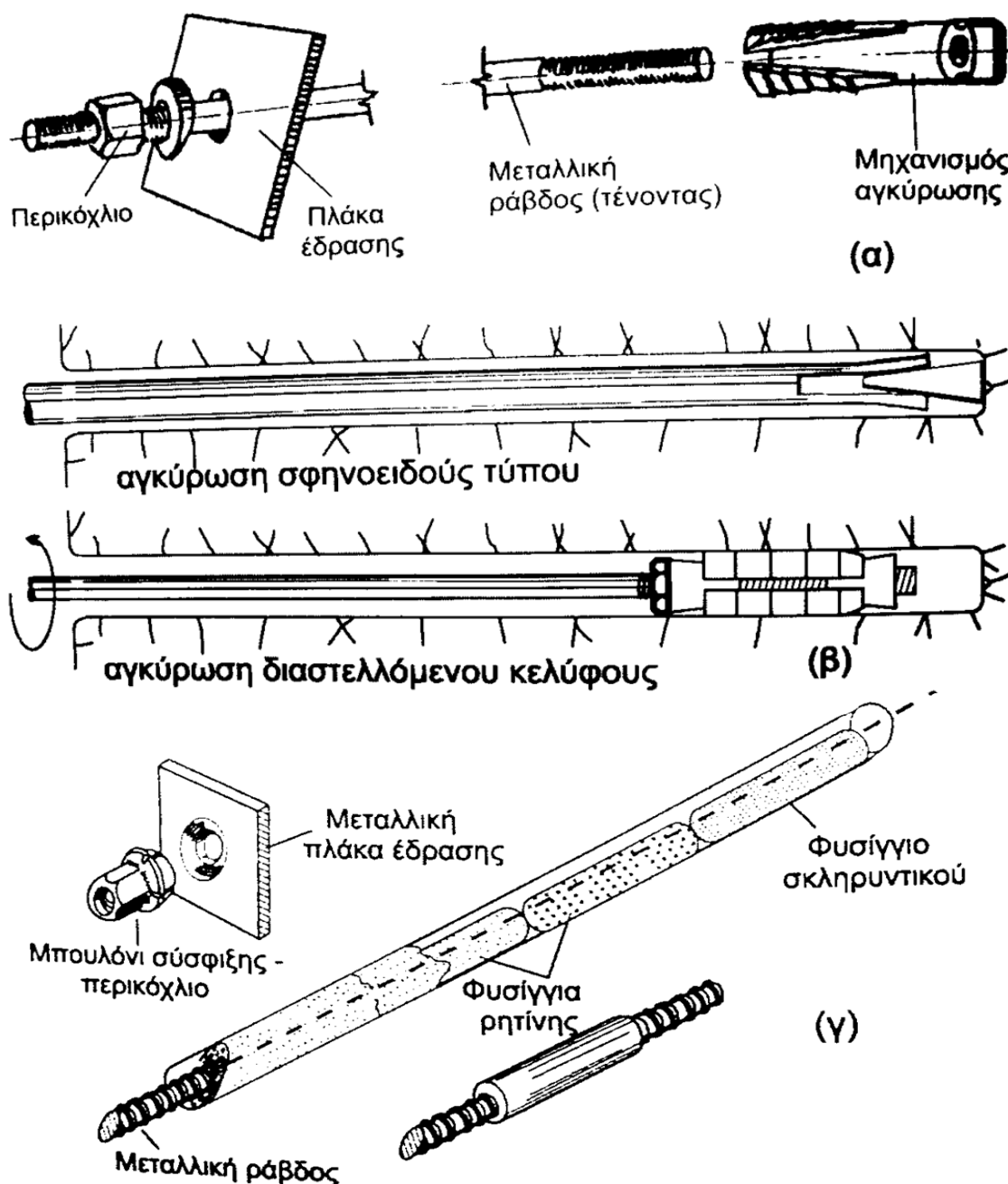
ΕΙΚΟΝΑ 5-2-4 Μηχάνημα εφαρμογής αγκυρίων

Ενεργητικού τύπου αγκύρια ή προεντεταμένα

Αυτού του τύπου αγκύρια αμέσως μετά τη τοποθέτησή τους εντείνονται και αναλαμβάνουν τα φορτία της βραχύμαζας. Αποτελούνται από μια μεταλλική ράβδο, η οποία ονομάζεται τένοντας. Η ράβδος αυτή, φέρει ένα μηχανισμό αγκύρωσης και μια πλάκα προστασίας στο ένα άκρο ενώ στο άλλο άκρο έχει ένα περικόχλιο.

Ανάλογα με τις ανάγκες υποστήριξης ή σε περίπτωση που υπάρχει νερό στο πέτρωμα, το διάστημα ανάμεσα στο αγκύριο και το πέτρωμα πληρώνεται με ένεμα ή ρητίνη. Τα αγκύρια αυτού του τύπου διακρίνονται σε δυο κατηγορίες.

- **Μηχανικής πάκτωσης αγκύρια** τα οποία είναι σφηνοειδούς τύπου ή διαστελλόμενης κεφαλής.
- **Ολόσωμης πάκτωσης με ρητίνες** στα οποία η πάκτωση γίνεται γρήγορα από την ανάμιξη προϋπαρχόντων φυσιγγίων ρητίνης και σκληρυντικού υλικού



ΕΙΚΟΝΑ 5-2-5 α) τα άκρα ενεργητικού τύπου με σφηνοειδή τύπο μηχανισμό αγκύρωσης στο ένα και πλάκα προστασίας στο και περικόχλιο σύσφιξης στο άλλο. β) ενεργητικά αγκύρια σφηνοειδούς τύπου και διαστελλομένου κελύφους. γ) αγκύρια ρητίνης. (Κούκης-Σαμπατακάκης, 2007)

Παθητικού τύπου αγκύρια

Αυτά τα αγκύρια αναλαμβάνουν τα φορτία της βραχόμαζας μετα από την εκδήλωση κάποιων μετακινήσεων (παραμορφώσεων) στο περιβάλλον της βραχόμαζας. Συνεπώς, για να είναι αποτελεσματικά θα πρέπει να τοποθετηθούν πριν τη σημείωση οποιασδήποτε μετακίνησης στη βραχόμαζα. Αποτελούνται από μια μεταλλική ράβδο, η οποία με τη χρήση ενέματος πακτώνεται στο πέτρωμα.

Διακρίνονται σε δυο κατηγορίες :

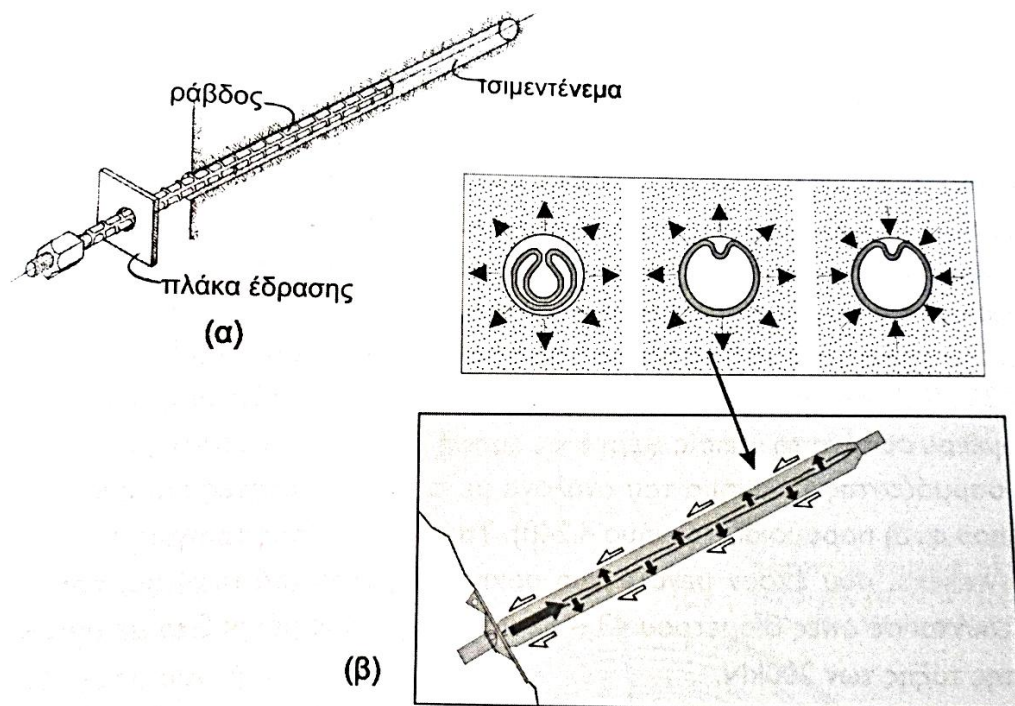
- ***Αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης***

Αποτελούνται από μια χαλύβδινη ράβδο 20-25 mm διάμετρο, η οποία τοποθετείται μέσα σε μια οπή 38-50 mm διάμετρο που έχει ανοιχτεί στη βραχόμαζα με διατρητικό φορείο. Τέλος, γίνεται πλήρωση της οπής με τσιμεντένεμα. Τα αυτοδιατρούμενα αγκύρια αποτελούνται από έναν χαλύβδινο σωλήνα που έχει σπείρωμα σε όλο του το μήκος. Στο κάτω άκρο του τοποθετείται κοπτική κεφαλή που φέρει οπές έγχυσης του τσιμεντενέματος και στο άνω άκρο προσαρμόζεται μεταλλική πλάκα συγκράτησης και το περικόχλιο. Η διάτρηση γίνεται με υδραυλικά διατρητικά φορεία κατακόρυφης ή κεκλιμένης διάτρησης ενώ το ένεμα τοποθετείται μέσω της κεντρικής οπής που φέρει ο σωλήνας.

- ***Αγκύρια τριβής, τύπου ‘swellex’ ή τύπου ‘split-set’***

Η λειτουργία των αγκυρίων τριβής βασίζεται στην ανάπτυξη δυνάμεων τριβής, λόγω της άσκησης ακτινικών πιέσεων κατά τη διάρκεια διόγκωσης του τένοντα του αγκυρίου και της μηχανικής αλληλεμπλοκής του με τα τοιχώματα της οπής. Η αποτελεσματικότητα αυξάνεται σε περιπτώσεις μικρομετακινήσεων των τεμαχίων της βραχόμαζας κατά μήκος ασυνεχειών. Το φορτίο του πετρώματος μεταφέρεται στο αγκύριο απευθείας χωρίς να παρεμβάλλονται βοηθητικά μέσα όπως ένεμα. Το κύριο πλεονέκτημα αυτού του τύπου αγκυρίων είναι ότι μπορούν να τοποθετηθούν πολύ εύκολα σε όλες τις ποιότητες βραχόμαζας και να αναλάβουν τα φορτία της γρήγορα. Το μειονέκτημα τους είναι η μικρή διάρκεια ζωής τους.

Ο τύπος swellex είναι άμεσης πρόσφυσης αγκύρια που αποτελούνται από έναν υψηλής αντοχής χαλύβδινο σωλήνα κλειστό στο ένα άκρο του, με διάμετρο αρχική 42 mm ο οποίος πτυχώνεται κατά τη κατασκευή μέχρι να φτάσει σε τελική διάμετρο 25-29 mm. Τοποθετείται σε ανοιγμένη οπή και ενεργοποιείται με την εισπίεση νερού στο εσωτερικό της διατομής, που προκαλεί διόγκωση του πτυχωμένου σωλήνα τον οποίο φέρει σε επαφή με τα τοιχώματα της οπής και προσαρμόζει το σχήμα ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες και τις ανωμαλίες που παρουσιάζει. Τα αγκύρια τύπου split-set φέρουν χαλύβδινο σωλήνα μεταλλικό με διαμήκη σχισμή που διογκώνεται όταν υποστεί πίεση.



ΕΙΚΟΝΑ 5-2-6 α) αγκύριο ολόσωμης πάκτωσης.β) λειτουργία αγκυρίου τύπου Swellex (δυνάμεις τριβής λόγω άσκησης ακτινικών πιέσεων και της μηχανικής αλληλεμπλοκής μεταξύ του σωλήνα του αγκυρίου και των τοιχωμάτων της οπής) (Κούκης-Σαμπατακάκης,2007).

Αγκύρια μετώπου

Τα αγκύρια μετώπου εφαρμόζονται στο μέτωπο της εκσκαφής σχεδόν οριζόντια και παράλληλα στον άξονα της σήραγγας. Στόχο έχουν να ενισχύσουν τη βραχώμαζα μπροστά από το μέτωπο ώστε να βελτιωθεί η ευστάθεια και να ελαχιστοποιήσει τις παραμορφώσεις.

Μεταλλικά πλαίσια

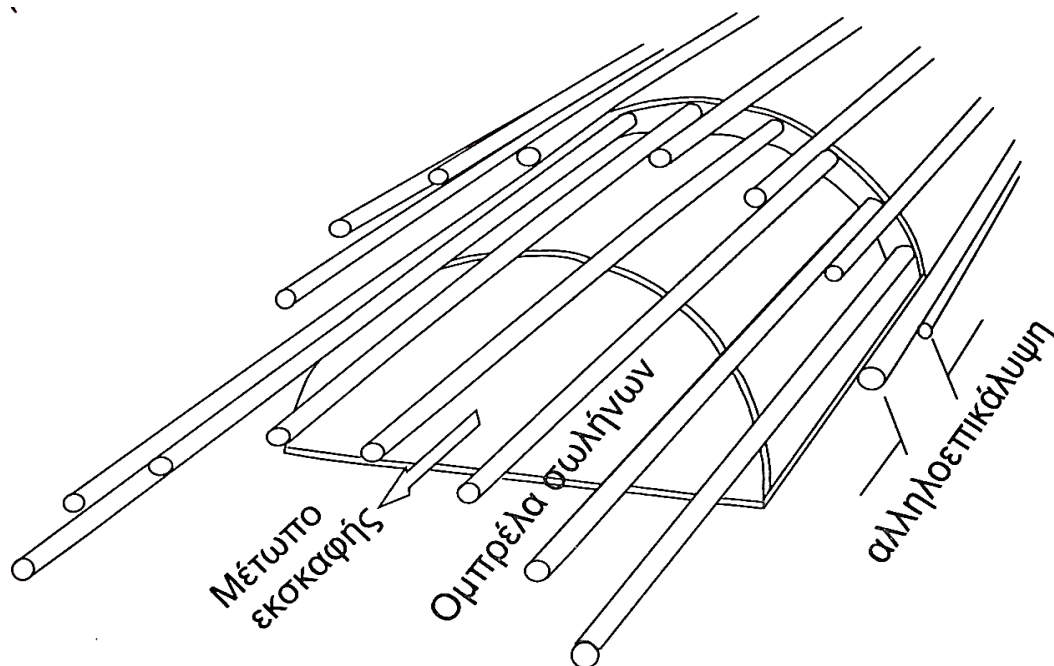
Τα μεταλλικά πλαίσια ανήκουν στα παθητικά μέτρα υποστήριξης γιατί ενεργοποιούνται και αναλαμβάνουν τα φορτία μετά την εκδήλωση κάποιων μετακινήσεων στη βραχώμαζα. Αρχικά, χρησιμοποιήθηκαν για τη προστασία από πτώση υλικών, χωρίς να συμμετέχουν στο μηχανισμό ανάληψης φορτίων. Πλέον θεωρούνται αναπόσπαστο κομμάτι των μέτρων προσωρινής υποστήριξης.

Σε περιπτώσεις που αναμένονται σημαντικές παραμορφώσεις τοποθετούνται πολύ γρήγορα και πλησιέστερα στο μέτωπο εκσκαφής και τελικά εγκιβωτίζονται με εκτοξευμένο σκυρόδεμα. Έχουν μικρή ακαμψία σε σχέση με το εκτοξευμένο σκυρόδεμα, αλλά αναλαμβάνουν αμέσως τα φορτία μετά τη τοποθέτησή τους σε αντίθεση με το εκτοξευμένο σκυρόδεμα το οποίο χρειάζεται κάποιο χρονικό διάστημα για να δράσει. Τα μεταλλικά πλαίσια δε περιορίζουν τη παραμόρφωση αλλά προσφέρουν άμεση πίεση στο κέλυφος.

Η αποτελεσματικότητα των μεταλλικών πλαισίων εξαρτάται από την όσο το δυνατόν καλύτερη συνάφεια των πλαισίων με τη περιβάλλουσα βραχώμαζα, τη προσεκτική έδραση του κελύφους και την ομαλή μεταφορά των τάσεων που παραλαμβάνει, στο έδαφος της βάσης. Η χρήση και τα χαρακτηριστικά των πλαισίων προσαρμόζονται στο τύπο αστοχίας στον οποίο σχεδιάζεται μια διατομή μέτρων υποστήριξης

Δοκοί προπορείας

Η τοποθέτηση τους γίνεται σε περιπτώσεις ασταθών συνθηκών της βραχώμαζας, όπως για παράδειγμα σε περιπτώσεις χαμηλών υπερκειμένων ή δυσμενών γεωλογικών συνθηκών. Οι δοκοί προπορείας είναι μεταλλικοί σωλήνες μήκους 12 m που τοποθετούνται στη περιφέρεια της διατομής σε σχήμα ομπρέλας και πληρώνονται με τσιμεντένεμα. Η τοποθέτηση των ομπρελών γίνεται διαδοχικά με αλληλοεπικάλυψη της τάξης 4 m. Από τη ποιότητα της βραχώμαζας και τις γεωλογικές συνθήκες της περιοχής που διεξάγεται το έργο εξαρτάται η διάταξη, η αλληλοεπικάλυψη και τα γεωμετρικά στοιχεία της δοκού προπορείας.



ΕΙΚΟΝΑ 5-2-7 Κατασκευή δοκών προπορείας (Κούκης-Σαμπατακάκης, 2007)

⊥ **Ελαφρά βλήτρα προπορείας (Spiles)**

Απλές ράβδοι οπλισμού ή κοίλες δοκούς μικρής διαμέτρου με μήκος 3-6m. Τοποθετούνται με μικρή γωνία $< 20^\circ$ στο θόλο της σήραγγας ή κοντά στο μέτωπο εκσκαφής. Οι ράβδοι αυτοί εκτείνονται πάνω από το μέτωπο εκσκαφής δημιουργώντας την αίσθηση μιας ομπρέλας προπορείας πάνω από τις διατομές της σήραγγας σε ένα τόξο 120° . Εφαρμόζεται σε βραχώμαζες με φτωχό αλληλοκλείδωμα και χαλαρή ως ανύπαρκτη δομή. Η τοποθέτηση τους γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγεται η κατάπτωση υλικού και δημιουργία υπερεκσκαφών τύπου καμινάδας ή η συνεχής καταρροή του υλικού σε κερματισμένες βραχώμαζες.

⊥ **Ομπρέλα βαρίων δοκών προπορείας (Forepole umbrella)**

Για την τοποθέτηση τους διανοίγονται οπές στο περίγραμμα του θόλου της σήραγγας στις οποίες μπαίνουν οι διάτρητοι σωλήνες μέσα στους οποίους εισπνέζεται ένεμα. Το ένεμα μέσω των οπών διοχετεύεται στη περιοχή. Εφαρμόζονται με μικρή γωνία περίπου $5-7^\circ$ στο θόλο της σήραγγας και κοντά στο μέτωπο εκσκαφής. Η τοποθέτηση γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι μακριά πάνω από το τελευταίο δημιουργώντας μια ομπρέλα προπορείας πάνω από την διατομή της σήραγγας. Εφαρμόζεται σε χαμηλής ποιότητας βραχώμαζες ώστε να διασφαλιστεί η ευστάθειά του μετώπου. Επίσης, εφαρμόζεται σε διατομές που η βραχώμαζα βρίσκεται πολύ κοντά στην επιφάνεια με αποτέλεσμα να έχει πιο χαλαρή δομή.

Ανάστροφο τόξο

⊂ **Προσωρινό ανάστροφο τόξο**

Σκοπός του προσωρινού ανάστροφου τόξου είναι να διαμορφώσει ένα προσωρινό κλειστό κέλυφος στην άνω ημιδιατομή προκειμένου να αποτρέψει την ανύψωση του πυθμένα που συνεπάγεται την αποδιοργάνωση της περιβάλλουσας βραχώμαζας και την υπερφόρτιση της υποστήριξης. Βοηθά ουσιαστικά στην βέλτιστη κατανομή των τάσεων στο κέλυφος της σήραγγας. Η κατασκευή του είναι απαραίτητη σε σήραγγες που διανοίγονται σε μαλακούς, ασθενείς σχηματισμούς που συναντώνται σε μεσαία ως μεγάλα βάθη.

⊂ **Μόνιμο ανάστροφο τόξο**

Το μόνιμο ανάστροφο τόξο έχει ως στόχο να δημιουργήσει ένα κλειστό ισχυρό κέλυφος σήραγγας κατά την εκσκαφή της κάτω ημιδιατομής. Κατά τη διάνοιξη της σήραγγας σε συνθήκες σύνθλιψης είναι απαραίτητη η κατασκευή του ανάστροφου τόξου ώστε να περιοριστεί η αποδιοργάνωση της βραχώμαζας ενώ η διατομή θα πρέπει να κλείνει όσο πιο κοντά στο μέτωπο εκσκαφής είναι δυνατό.

Χρήση ενέματος για την βελτίωση του γεωυλικού

Στόχος της εισπίεσης ενέματος στο εσωτερικό ασθενών βραχομαζών είναι η βελτίωση των παραμέτρων της αντοχής και της παραμορφωσιμότητας της. Η απλή εισπίεση ενέματος (Grouting) πληρώνει τα κενά της βραχώμαζας με ένεμα και βελτιώνει τις ιδιότητες της. Αποτρέπονται έτσι οι καταρροές υλικού και η δημιουργία αστοχίας τύπου καμινάδας. Στη μέθοδο Jet Grouting το στέλεχος καθώς γίνεται εισπίεση του ενέματος ταυτόχρονα αυτό περιστρέφεται. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι ο εκτοπισμός του περιβάλλοντος γεωυλικού δημιουργώντας μια στήλη ενισχυμένου υλικού με μεγάλο ποσοστό ενέματος.

Αποστραγγιστικές και ανακουφιστικές οπές

Η όχληση της κατασκευαστικής διαδικασίας καθώς και η φόρτιση, ευστάθεια του κελύφους της προσωρινής υποστήριξης και του μετώπου είναι τα προβλήματα που σημειώνονται από τη παρουσία του υπόγειου νερού κατά τη διάνοιξης της σήραγγας. Μετά τη κατασκευή το κελύφους της σήραγγας διανοίγονται ανακουφιστικές οπές στη περίμετρο της εκσκαφής. Το μήκος καθώς και η πυκνότητα του καννάβου εξαρτάται από την περατότητα του σχηματισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΙΕΡΟΠΗΓΗΣ

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σήραγγα Ιεροπηγής εντάσσεται στο τμήμα 45.4 Κορομηλιά – Ιεροπηγή. Το τμήμα αυτό είναι η βορειότερη θέση του Κάθετου Άξονα 45 ‘’ Σιάτιστα – Ιεροπηγή – Κρυσταλλοπηγή ‘’. Το μήκος του φτάνει τα 13 km, με διεύθυνση Δυτικά – Ανατολικά, διερχόμενο από λοφοειδή έξαρση διεύθυνσης Βορρά – Νότου. Το έργο είναι μια διπλής κατεύθυνσης σήραγγα που αποτελείται από δύο κλάδους έναν ανά κατεύθυνση, πεταλοειδούς διατομής. Η γενική διεύθυνση σηράγγων είναι ΑΝΑ – ΔΒΔ, με πάχος των υπερκείμενων βραχωδών σχηματισμών άνωθεν της ερυθράς να παίρνει τη μέγιστη τιμή στα 35,0 m. (Χάρτης 6.1, Παράρτημα)

Η ευρύτερη περιοχή του έργου μορφολογικά είναι ένας επιμήκης λόφος, ο οποίος αποτελεί φυσική προέκταση του ανάντη ορεινού όγκου. Σύμφωνα με την μηκοτομή οδοποιίας, τα απόλυτα υψόμετρα φυσικού εδάφους σημείωσαν τιμές +958 m και +981 m στη περιοχή των στομιών και στις θέσεις μέγιστου υπερκείμενου αντίστοιχα. Γεωλογικά η περιοχή αποτελείται από Πλειο-Πλειστοκαινικά ιζήματα και σχηματισμούς της Μεσοελληνικής Αύλακας. Επιφανειακά οι σχηματισμοί αυτοί καλύπτονται από εδαφικό μανδύα αποσάθρωσης ενώ στο υπόβαθρο συναντώνται οφειολιθικά πετρώματα της Πελαγονικής ενότητας.

Η τεκτονική της ευρύτερης περιοχής χαρακτηρίζεται από ενεργό τεκτονική του Νεογενούς. Στη περιοχή του έργου και κοντά στο έργο παρατηρήθηκαν ρήγματα διεύθυνσης ΒΒΑ-ΝΝΔ και εγκαρσίως ΒΔ-ΝΑ πιθανά νεότερα από το σχηματισμό της μολασσικής αύλακας. Βέβαια, η περιοχή διάνοιξης του έργου χαρακτηρίζεται ως ιδιαίτερα φτωχή σε σεισμούς από το 1995 και σύμφωνα με το Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό η περιοχή του έργου εντάσσεται στη Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας Ι, με Εδαφική Επιτάχυνση $a=0,16$.

6.2. ΣΗΡΑΓΓΑ ΙΕΡΟΠΗΓΗΣ

Η διάνοιξη της σήραγγας γίνεται μέσα στους μολασσικούς σχηματισμούς της Μεσοελληνικής Αύλακας. Όπως έχει αναφερθεί, τα επιφανειακά στρώματα του έργου καλύπτονται από μανδύα αποσάθρωσης και από πλειστοκαινικές αποθέσεις πάχους μέχρι και πάνω από 2 m κατά θέσεις. Η μολασσική ακολουθία αποτελείται κυρίως από εναλλαγές κροκαλοπαγών, ψαμμιτών και ιλυολίθων. Τα όρια αυτών των φάσεων είναι πολλές φορές δύσκολό να διαχωριστούν ενώ, η αλλαγή των λεπτόκοκκων με τους

αδρομερής σχηματισμούς μπλέκονται φανερώνοντας τις συνθήκες ιζηματογένεσης στη μολασσική λεκάνη. Στη συνέχεια, παρατηρούμε πως το οφειολιθικό υπόβαθρο δεν αναμένεται να συναντηθεί στη διατομή της σήραγγας. Ενώ τα υπόγεια νερά που λόγω των μεταβαλλόμενων υδρογεωλογικών συνθηκών, που σημειώνονται στο υπέδαφος κατά μήκος του έργου, καθιστούν ασαφές το καθεστώς του υδροφόρου ορίζοντα.

6.3. ΣΥΓΡΙΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Τα στοιχεία της σήραγγας που διαθέτουμε για την σύγκριση της μελέτης και της κατασκευής προέρχονται από δεκατρείς (13) χαρτογραφήσεις μετώπου συνολικά και για τους δυο κλάδους. Πρέπει να αναφερθεί πως τα δεδομένα των χαρτογραφήσεων μετώπου δεν είναι συνεχή καθώς επίσης δεν αντιστοιχούν σε όλο το μήκος της σήραγγας.

6.3.1 ΣΥΓΡΙΣΗ GSI ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

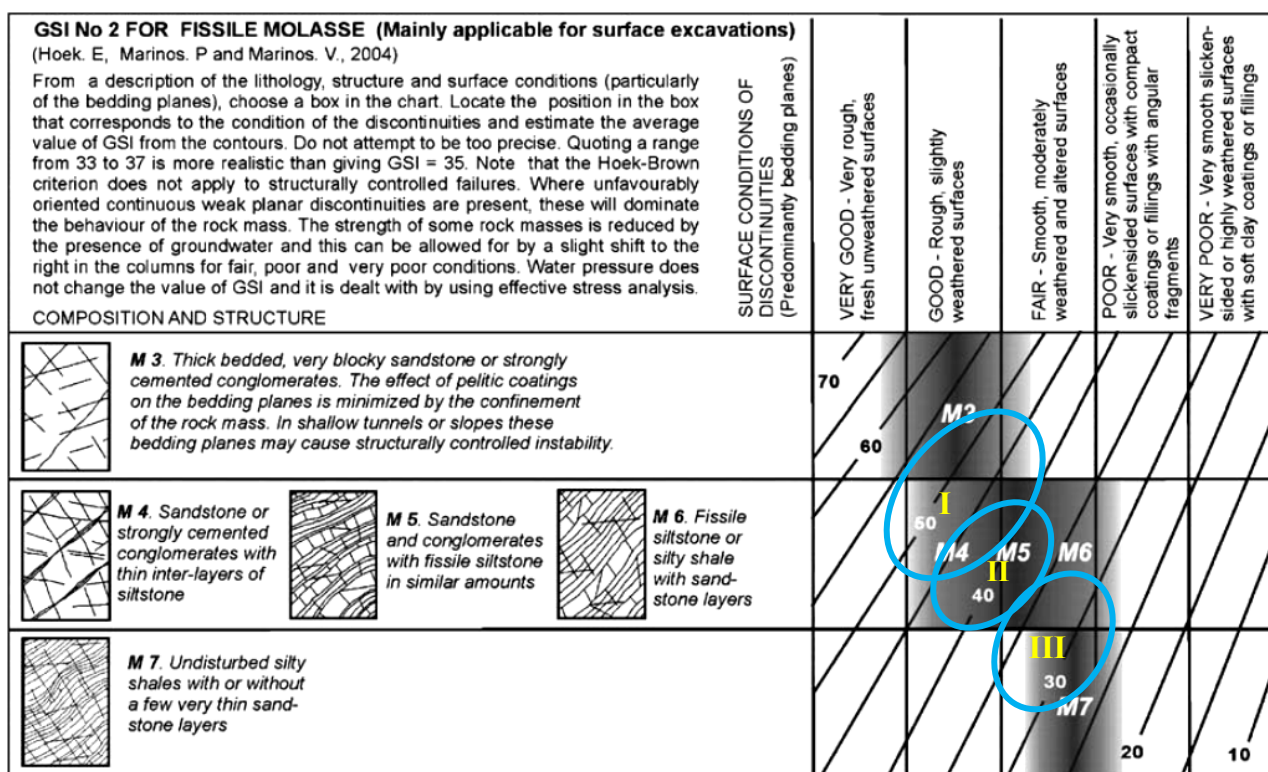
Κατά την εκπόνησης της οριστικής γεωλογικής μελέτης και γεωτεχνικής μελέτης έγινε προσδιορισμός του δείκτη GSI με στόχο την αξιολόγηση των γεωτεχνικών παραμέτρων των εκάστοτε τεχνικογεωλογικών συνθηκών που αναμένονται. Τα βιβλιογραφικά στοιχεία σε συνδυασμό με την έρευνα υπαίθρου και τις εργαστηριακές δοκιμές έδωσαν τη δυνατότητα ταξινόμησης της βραχώμαζας του υπόγειου έργου.

Συντάχθηκε στη συνέχεια πίνακας ομαδοποίησης των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης σε τρεις (3) κατηγορίες. Απόρροια των αποτελεσμάτων των γεωτεχνικών ερευνών στη περιοχή του έργου, τη γεωλογική και γεωτεχνική εξέταση της περιοχής καθώς και τη μακροσκοπική μελέτη της συμπεριφοράς των σχηματισμών παρατηρήθηκε πως κατά τη διάνοιξη του έργου θα συναντηθούν πλήρως οι προβλεπόμενες τρεις κατηγορίες βραχώμαζας.

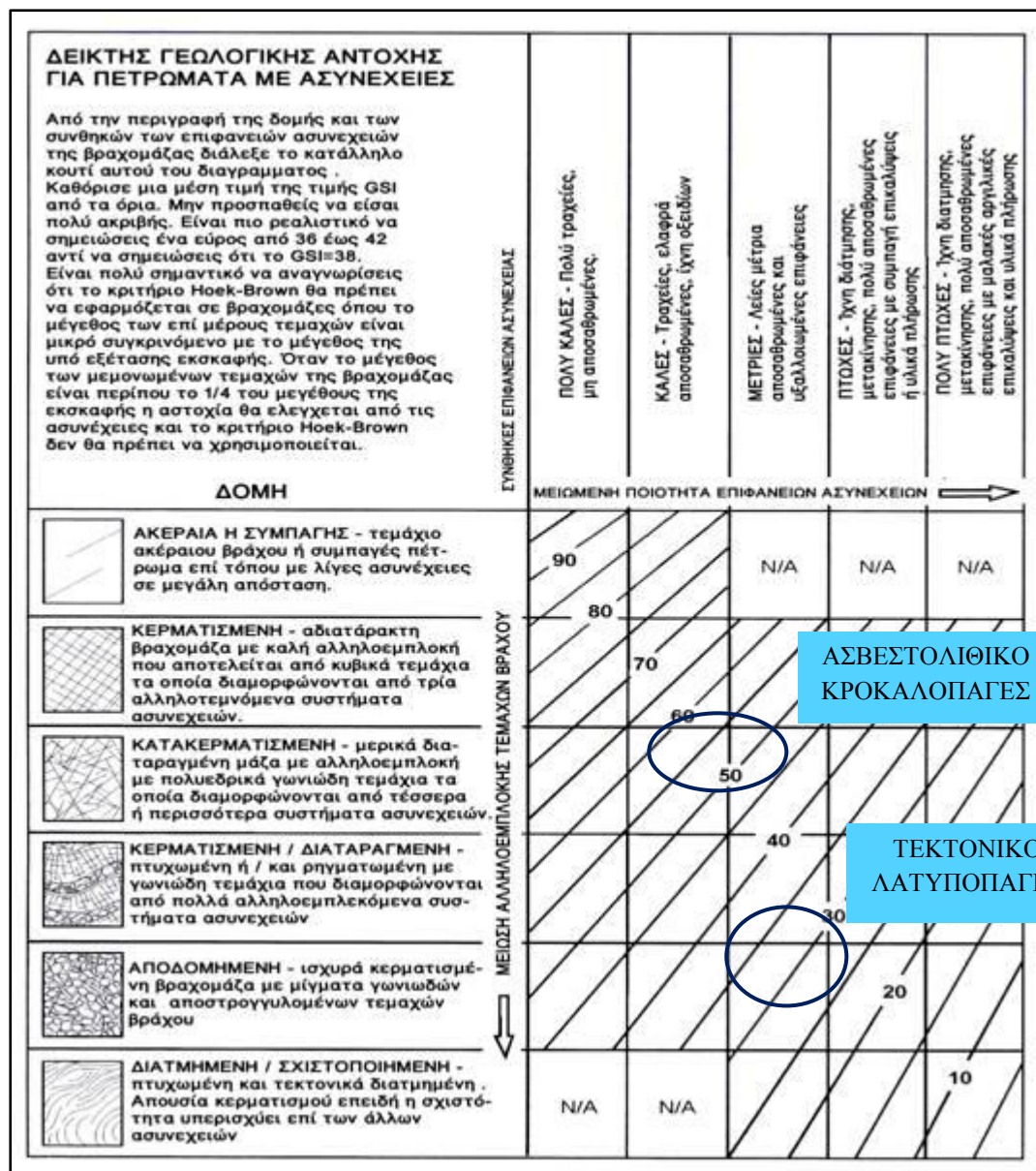
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	ΛΙΘΟΛΟΓΙΑ	ΕΥΡΟΣ GSI
I	Καλά συγκολλημένα κροκαλοπαγή και ψαμμίτες καλής διαγένεσης, Ασβεστολιθικό κροκαλοπαγές	>45
II	Εναλλαγές ψαμμιτών, κροκαλοπαγών, ιλυολίθων	35-45
III	Κακής διαγένεσης ψαμμίτες και ιλυόλιθοι, Τεκτονικό κροκαλοπαγές	25-35

Οι μολασσικοί σχηματισμοί, όπως έχει αναφερθεί έχουν την ιδιαιτερότητα να εμφανίζονται έντονα αποσαθρωμένοι, αναπτύσσοντας το φαινόμενο της σχάσης όταν συναντώνται στην επιφάνεια ή κοντά σε αυτή. Αυτή η ιδιαιτερότητα οφείλεται στην τρωτότητα των ιλυολιθικών μελών σε αντίθεση με τα ψαμμιτικά μέλη. Γι' αυτό το λόγο συντάχθηκαν δυο διαγράμματα GSI για τους μολασσικούς σχηματισμούς. Το ένα αναφέρεται στο προσδιορισμό των τιμών του GSI για περιοχές κοντά στην επιφάνεια ή επιφανειακές εκσκαφές (Πίνακας 3.5.2.). Το δεύτερο αναφέρεται σε "μολάσσα υπό περιορισμό". Όλοι οι τύποι της μολάσσας σε αυτό το διάγραμμα βαθμονομούνται ενιαία σε δυο περιοχές M_1, M_2 , (Πίνακας 3.5.1.).

Σύμφωνα με τη μελέτη της σήραγγας της Ιεροπηγής θεωρήθηκε ορθότερη η χρήση του διαγράμματος GSI που αναφέρεται σε επιφανειακές εκσκαφές ή επιφάνειες εκσκαφής κοντά στην επιφάνεια λόγω του χαμηλού πάχους των υπερκειμένων πάνω από την ερυθρά της σήραγγας Διάγραμμα 6.3.1. Για τη κατηγορία βραχόμαζας I δόθηκε το εύρος των τιμών $GSI > 45$ με ύψος υπερκειμένων πάνω από την ερυθρά 20-25 m λόγω της καλής ποιότητας του σχηματισμού. Στη κατηγορία βραχόμαζας II με εύρος τιμών 35-45 και ύψος υπερκειμένων 30-35 m. Στης κακής διαγένεσης σχηματισμού της κατηγορίας III το εύρος των τιμών του GSI κυμαίνεται από 25 ως 35, με ύψος υπερκειμένων 5-15 m. Όσον αφορά το ασβεστολιθικό κροκαλοπαγές και το τεκτονικό λατυποπαγές που συναντήθηκε κατά τη διάνοιξη της σήραγγας χρησιμοποιήθηκε το κλασικό διάγραμμα GSI όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 6.3.2.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.3.1 Διάγραμμα GSI για περιοχές κοντά στην επιφάνεια ή επιφανειακές εκσκαφές, προσδιορισμός των τιμών GSI της κάθε κατηγορίας βραχόμαζας



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6.3.2 Κλασικό διάγραμμα GSI, προσδιορισμός τιμών GSI του ασβεστολιθικού κροκαλοπαγούς και του τεκτονικού λατυποπαγούς

Κατά την έναρξη των εργασιών και διάνοιξης του έργου οι συνθήκες δεν ήταν αυτές που είχαν προβλεφθεί αρχικά από τη μελέτη. Από τις χαρτογραφήσεις μετώπου της σήραγγας εξήχθηκαν τα παρακάτω συμπεράσματα. Η ποιότητα της βραχομάζας ήταν καλύτερη από την αναμενόμενη. Το εύρος των τιμών του GSI κυμαίνονται από 25 ως 35 για κακής ποιότητας σχηματισμούς και από 35 μέχρι 45 για καλύτερης ποιότητας.

Πιο συγκεκριμένα οι τιμές του GSI 25-35 αντιστοιχούν στις περιοχές με χαμηλό ύψος υπερκείμενων πάνω από την ερυθρά. Οι σχηματισμοί είναι κακής διαγένεσης ψαμμίτες και ιλυόλιθοι με έντονη σχιστότητα. Οι επιφάνειες στρώσεις είναι πτωχές

ως μέτριες. Σε αυτό το εύρος τιμών ανήκει και το τεκτονικό κροκαλοπαγές. Στο εύρος τιμών 35-45 το ύψος των υπερκείμενων σχηματισμών είναι μεγαλύτερο. Λιθολογικά αποτελείται από εναλλαγές ψαμμιτών, κροκαλοπαγών και ιλυολίθων. Οι επιφάνειες στρώσεις είναι μέτριες ως καλές.

6.3.2 ΣΥΓΡΙΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΜΕΤΡΩΝ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Με βάση τις νέες τιμές GSI που δόθηκαν κατά τη διάνοιξη της σήραγγας όπως αναφέρθηκε στη προηγούμενη παράγραφο τροποποιήθηκε η εφαρμογή των μέτρων υποστήριξης του έργου κατά τη κατασκευή τόσο ως προς το μήκος τοποθέτησης τους όσο και στο τύπο των μέτρων που χρησιμοποιήθηκαν.

Σύμφωνα με τη μελέτη τα μέτρα υποστήριξης διακρίνονται σε τέσσερις (4) κατηγορίες όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Από την κατηγορία Α προς την Κατηγορία C τα μέτρα υποστήριξης από ελαφριά γίνονται πιο βαριά δηλαδή μεγαλύτερο πάχος εκτοξευμένου σκυροδέματος και πιο πυκνό με μεγαλύτερη φέρουσα ικανότητα πλέγματος αγκυρίων βράχου καθώς και άλλα μέτρα για την ενίσχυση της αντοχής του υλικού.

Συγκεκριμένα :

- Κατηγορία εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης **A** : εκτοξευμένο σκυρόδεμα πάχους 15 cm, αγκύρια
- Κατηγορία εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης **B , Bp**: εκτοξευμένο σκυρόδεμα πάχους 20 cm, αγκύρια πιο πυκνού καννάβου
- Κατηγορία εκσκαφής και άμεσης υποστήριξης **C** : εκτοξευμένο σκυρόδεμα 25 cm, προστασία μετώπου με χαλύβδινο πλέγμα, μικρότερο βήμα εκσκαφής, self-drilling αγκύρια σε πυκνό κάνναβο

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	GSI
A	Καλά συγκολλημένα κροκαλοπαγή, ψαμμίτες καλής διαγένεσης κερματισμένη έως κατακερματισμένη βραχώμαζα, με καλές επιφάνειες στρώσης, Ασβεστολιθικό κροκαλοπαγές	>45
B	Εναλλαγές ψαμμιτών, κροκαλοπαγών και ιλυολίθων με μέτριες έως καλές επιφάνειες στρώσης	35-45
C	Κακής διαγένεσης ψαμμίτες και ιλυόλιθοι με έντονη σχιστότητα, με πτωχές έως μέτριες επιφάνειες στρώσης. Περιοχή ρήγματος και εμφάνιση τεκτονικού λατυποπαγούς	25-35
Bp	Περιοχή χαμηλών υπερκείμενων στομίου εξόδου	35-45

Στους παρακάτω πίνακες εμφανίζονται οι χιλιομετρικές θέσεις στις οποίες γίνεται διαχωρισμός του τύπου της βραχώμαζας με τις αντίστοιχες τιμές GSI και τα μέρα εφαρμογής των μέτρων υποστήριξης όπως ορίζει η μελέτη του έργου για τους δυο κλάδους της σήραγγας.

			ΔΕΞΙΟΣ ΚΛΑΔΟΣ		
Χ.Θ.		GSI	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	ΜΕΤΡΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ (m)
ΑΠΟ	ΕΩΣ				
9+916,85	9+964,85	25-45	I-III	C	48
9+964,85	10+013,85			B(70%), C(30%)	49
10+013,85	10+155,54	25-45	I-III	A(20%), B(60%), C(20%)	141,62
10+155,54	10+182,54	35-55	I-II	B	27
10+182,54	10+343,54	25-45	I-III	A(20%), B(60%), C(20%)	161
10+343,54	10+359,54	25-35	III	C	16
10+359,54	10+385,54	35-55	I-II	A(30%), B(70%)	26
10+385,54	10+419,54	>45	I	A	34
10+419,54	10+431,54			Bp	12

Πίνακας 6.3.2.1. Στοιχεία που ορίζει η μελέτη πριν την έναρξη των εργασιών στο Δεξιό κλάδο της σήραγγας.

			ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ ΚΛΑΔΟΣ		
Χ.Θ.		GSI	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	ΜΕΤΡΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	ΜΕΤΡΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ (m)
ΑΠΟ	ΕΩΣ				
9+991,19	10+007,19	25-45	I-III	C	16
10+007,19	10+057,19			B(70%), C(30%)	50
10+157,19	10+200,03	25-45	I-III	A(20%), B(60%), C(20%)	142,84
10+200,03	10+227,03	35-55	I-II	B	27
10+227,03	10+390,03			A(20%), B(60%), C(20%)	163m
10+390,03	10+406,03	25-35	III	C	16
10+406,03	10+429,03	35-55	I-II	A(30%), B(70%)	23
10+429,03	10+467,03	>45	I	A	38
10+467,03	10+479,03			Bp	12

Πίνακας 6.3.2.2. Στοιχεία που ορίζει η μελέτη πριν την έναρξη των εργασιών στον Αριστερό κλάδο της σήραγγας.

Στη συνέχεια, παρατίθενται οι πίνακες με τις χιλιομετρικές θέσεις στις οποίες δίνονται οι αντίστοιχες τιμές GSI και τα μέρα εφαρμογής και ο τύπος των μέτρων υποστήριξης που εφαρμόστηκαν κατά τη διάνοιξη της σήραγγας.

ΔΕΞΙΟΣ ΚΛΑΔΟΣ				
Χ.Θ.		ΜΗΚΟΣ (m)	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	GSI
ΑΠΟ	ΕΩΣ			
9942,85	10028,74	85,89	C	25-35
10030,21	10367,69	337,48	B	35-45
10368,71	10427,35	58,64	C	25-35
10457,38	10427,35	30,03	Bp	35-45
ΣΥΝΟΛΟ		512,04		

Πίνακας 6.3.2.3. Στοιχεία που προέκυψαν από τη κατασκευή της σήραγγας για τον Δεξιό κλάδο

ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ ΚΛΑΔΟΣ				
Χ.Θ.		ΜΗΚΟΣ (m)	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	GSI
ΑΠΟ	ΕΩΣ			
9991,19	10056,2	65	C	25-35
10057,7	10426,8	369,04	B	35-45
10479	10426,8	52,27	Bp	35-45
ΣΥΝΟΛΟ		486,31		

Πίνακας 6.3.2.4. Στοιχεία που προέκυψαν από τη κατασκευή της σήραγγας για τον Αριστερό κλάδο

Στους πίνακες που ακολουθούν αναφέρονται τα συνολικά μήκη εφαρμογής της κάθε κατηγορίας εκσκαφής. Ο πρώτος πίνακας αναπαριστά τα προβλεπόμενα από τη μελέτη μήκη εφαρμογής ενώ ο δεύτερος πίνακας αναφέρεται στα στοιχεία που προέκυψαν από την κατασκευή του έργου.

	ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ ΚΛΑΔΟΣ	ΔΕΞΙΟΣ ΚΛΑΔΟΣ	
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	ΜΗΚΟΣ (m)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΣΥΝΟΛΟ (m)
A	106	100	206
B	257,84	258,96	516,8
Bp	12	12	24
C	112	144	256
ΣΥΝΟΛΟ	487,84	514,96	1002,8

Πίνακας 6.3.2.5. Συνολικά μήκη εφαρμογής κάθε κατηγορίας εκσκαφής που προέβλεπε η μελέτη του έργου πριν την έναρξη των εργασιών

	<i>ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ ΚΛΑΔΟΣ</i>	<i>ΔΕΞΙΟΣ ΚΛΑΔΟΣ</i>	
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ	ΜΗΚΟΣ (m)	ΜΗΚΟΣ (m)	ΣΥΝΟΛΟ (m)
A	/	/	/
B	369,04	337,48	706,52
Bp	52,27	30,03	82,3
C	66	144,53	210,53
ΣΥΝΟΛΟ	487,31	512,04	999,35

Πίνακας 6.3.5.6. Συνολικά μήκη εφαρμογής κάθε κατηγορίας εκσκαφής που προέκυψαν από τη κατασκευή του έργου

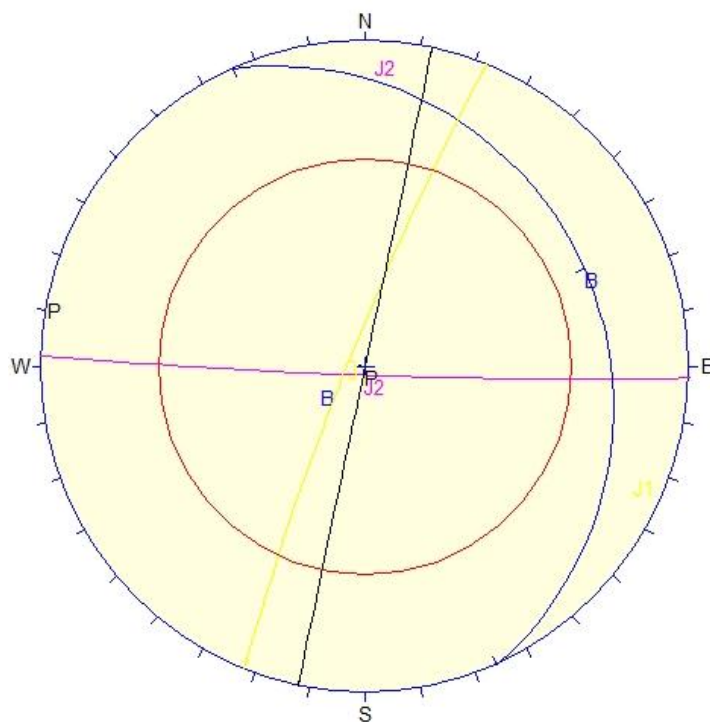
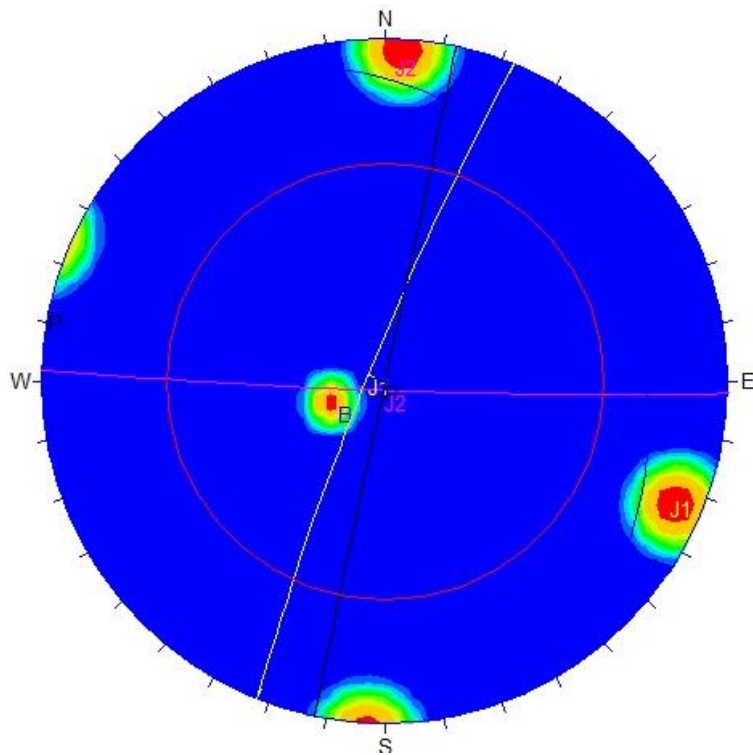
Οι διαφορές ανάμεσα στα στοιχεία της μελέτης και τις πραγματικές συνθήκες κατά την κατασκευή όσον αφορά τα μήκη εφαρμογής των μέτρων προσωρινής υποστήριξης είναι πολύ μικρές. Παρατηρείται πως ενώ από τη μελέτη είχε προβλεφθεί η εφαρμογή της ελαφρύτερης κατηγορίας A κατά την κατασκευή έχει αντικατασταθεί πλήρως από την κατηγορία B και καθώς και από την κατηγορία Bp σε θέσεις κοντά στα στόμια εξόδου. Η βαριά κατηγορία προσωρινής υποστήριξης C τοποθετήθηκε στα στόμια εισόδου και των δυο κλάδων, λόγω χαμηλού υπερκειμένου καθώς και στη ζώνη του ρήγματος στο δεξιό κλάδο λόγω της κακής διαγένεσης του τεκτονικού λατυποπαγός.

6.3.3 ΣΥΓΓΡΙΣΗ ΜΙΚΡΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Η συμπεριφορά της βραχόμαζας εξαρτάται από τις παραμέτρους αντοχής των ασυνεχειών συνεπώς, είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός των κύριων συστημάτων ασυνεχειών. Για τη μικροτεκτονική ανάλυση της δομής των μολασσικών σχηματισμών κατά την εκπόνηση της μελέτης του έργου ελήφθησαν και επεξεργάστηκαν συστηματικά οι μετρήσεις προσανατολισμού των επιπέδων στρώσης (B) και των διακλάσεων (J).

Τα στοιχεία της μελέτης προβλήθηκαν στο δίκτυο Schmidt από το οποίο με τη χρήση του λογισμικού Dips 5.103 προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα.

➤ DIPS ΜΕΛΕΤΗΣ



Orientations	
ID	Dip / Direction
1	87 / 182
2	17 / 066
3	84 / 292
4	90 / 102

Equal Angle
Lower Hemisphere
3 Poles
3 Entries

Από τη προβολή των στοιχείων στο τεκτονικό διάγραμμα προκύπτει πιθανή επίπεδη ολίσθηση επί τις ασυνέχειας J_1 στο κατακόρυφο πρηνές του μετώπου. Οι βασικές προϋποθέσεις εκδήλωσης μιας επίπεδης ολίσθησης είναι : το επίπεδο ολίσθησης να έχει διεύθυνση παράλληλη προς το επίπεδο του πρηνούς (διαφορά στη φορά μέγιστης κλίσης των δυο επιπέδων $\pm 20^\circ$). Επίσης, η κλίση του πρηνούς να είναι μεγαλύτερη από τη κλίση του επιπέδου ολίσθησης, μεγαλύτερη από τη γωνία τριβής. Τέλος, η ασυνέχεια να “ξεμιτίζει” στην επιφάνεια του πρηνούς.

Σύμφωνα με τη μελέτη τα βασικά στοιχεία που σημειώθηκαν για τη στρώση είναι :

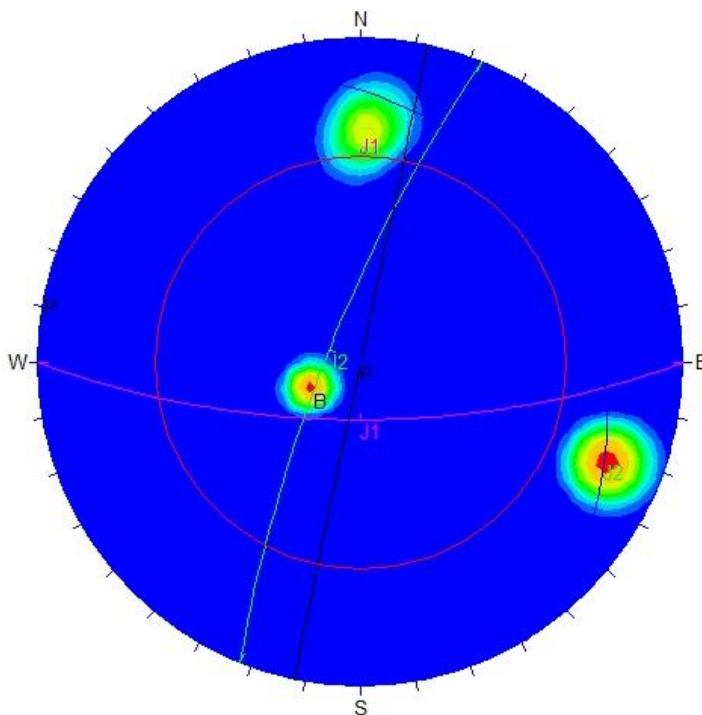
1. Οι αποστάσεις από την επόμενη ασυνέχεια του ίδιου συστήματος κυμαίνονται στα 30-40 m
2. Η εμμονή φτάνει τα 3 m μήκος
3. Το άνοιγμα των τοιχωμάτων 0,1-1 mm
4. Ελαφρά τραχείες επιφάνειες
5. Το υλικό πλήρωσης είναι αργιλοαμμώδες ως αργιλικό
6. Χαρακτηρίζονται ως ελαφρά αποσαθρωμένες οι επιφάνειες στρώσης

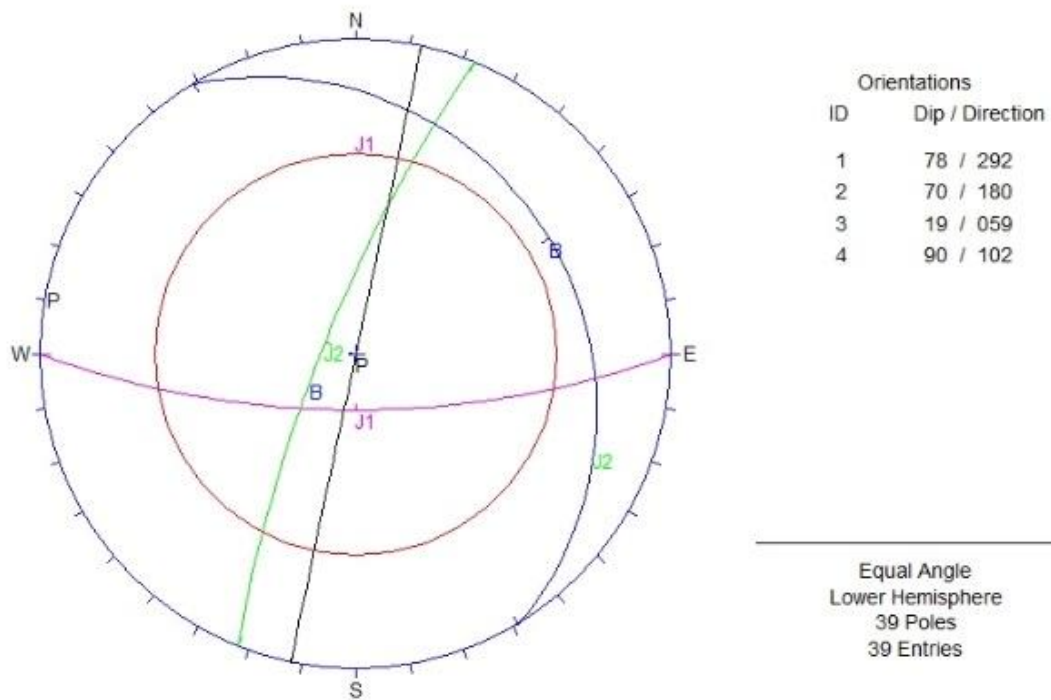
Όσον αφορά τις διακλάσεις στη μελέτη αναφέρει :

1. Απόσταση από την επόμενη ασυνέχεια του ίδιου συστήματος είναι 70-100 cm
2. Η εμμονή θεωρείται μεγαλύτερη των 3 m μήκος
3. Το άνοιγμα των τοιχωμάτων αντιστοιχεί σε 0,1-1 mm
4. Ελαφρά τραχείες επιφάνειες
5. Το υλικό πλήρωσης είναι αργιλοαμμώδες ως αργιλικό
6. Οι επιφάνειες τους χαρακτηρίζονται ως ελαφρά αποσαθρωμένες

Στη συνέχεια κατά τη διάνοιξη του υπόγειου έργου διεξήχθησαν χαρτογραφήσεις στο μέτωπο εκσκαφής. Τα στοιχεία που προέκυψαν προβλήθηκαν στο δίκτυο Schmidt από το οποίο με τη χρήση του λογισμικού Dips προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα.

➤ **DIPS ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΕΙΣ ΜΕΤΩΠΟΥ ΑΡΙΣΤΕΡΟΥ & ΔΕΞΙΟΥ ΚΛΑΔΟΥ**





Από τη προβολή των στοιχείων των χαρτογραφήσεων μετώπου στο τεκτονικό διάγραμμα προκύπτει πιθανή *επίπεδη ολίσθηση επί τις ασυνέχειας J₂ στο κατακόρυφο πρηνές του μετώπου*. Οι βασικές προϋποθέσεις εκδήλωσης μιας επίπεδης ολίσθησης είναι : το επίπεδο ολίσθησης να έχει διεύθυνση παράλληλη προς το επίπεδο του πρηνούς (διαφορά στη φορά μέγιστης κλίσης των δυο επιπέδων $\pm 20^\circ$). Επίσης, η κλίση του πρηνούς να είναι μεγαλύτερη από τη κλίση του επιπέδου ολίσθησης, μεγαλύτερη από τη γωνία τριβής. Τέλος, η ασυνέχεια να “ξεμιτίζει” στην επιφάνεια του πρηνούς. Βέβαια, η επίπεδη αστοχία μπορεί να αποτραπεί με την εφαρμογή μέτρων υποστήριξης και κυρίως αγκυρίων.

Από τις χαρτογραφήσεις μετώπου σημειώθηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά της στρώσης

1. Το μήκος της εμμονής της στρώσης κυμαίνεται από 3-10 m
2. Το άνοιγμα των τοιχωμάτων 0,1-1 mm
3. Η επιφάνεια της στρώσης θεωρείται τραχεία ως ομαλή
4. Το υλικό πλήρωσης είναι μαλακό με πάχος <5 mm
5. Η αποσάθρωση είναι τύπου SW ως MW

Οι διακλάσεις χαρακτηρίζονται με βάση τις χαρτογραφήσεις μετώπου από

1. Μήκος εμμονής 1 -3 m και 3-10 m ανάλογα με την οικογένεια
2. Το άνοιγμα των τοιχωμάτων 0,1-1 mm
3. Οι επιφάνειες είναι ελαφρά τραχείες ως ομαλές
4. Το υλικό πλήρωσης είναι μαλακό πάχους <5 mm
5. Η αποσάθρωση είναι τύπου SW ως MW

6.3.4 ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΩΝ ΠΙΘΑΝΩΝ ΣΦΗΝΩΝ ΣΤΑ ΠΡΑΝΗ

Η ευστάθεια της βραχώμαζας τόσο στις υπαίθριες όσο και στις υπόγειες εκσκαφές εξαρτάται από την παρουσία και τον προσανατολισμό των γεωλογικών ασυνεχειών. Ως ασυνέχεια ορίζεται κάθε επίπεδο αδυναμίας της βραχώμαζας που χωρίζει σε τεμάχια τον ακέραιο βράχο και έχει πολύ μικρή ή ως μηδενική αντοχή σε εφελκυσμό. Η περιγραφή των ασυνεχειών γίνεται με βάση τις εξής παραμέτρους: **προσανατολισμό** - δηλαδή κλίση / διεύθυνση κλίσης, **απόσταση** - η οποία καθορίζει το μέγεθος των ταμαχιών που θα χωριστεί η βραχώμαζα, **εμμονή** - η συνέχεια που έχει στο χώρο κι αυτή συμβάλει στο μέγεθος του υπό μελέτη τεμάχους που θα σχηματιστεί, **αντοχή τοιχωμάτων** - είναι μικρότερη από αυτή το ακέραιου πετρώματος, **τραχύτητα των επιφανειών των τοιχωμάτων** - έχει καθοριστικό ρόλο εφόσον διαμορφώνει την διατμητική αντοχή της επιφάνειας ασυνέχειας, **άνοιγμα** - είναι η κάθετη απόσταση μεταξύ των τοιχωμάτων μιας ασυνέχειας, **υλικό πλήρωσης** - πληρώνει το χώρο ανάμεσα στις επιφάνειες των τοιχωμάτων, **υπόγειο νερό**.

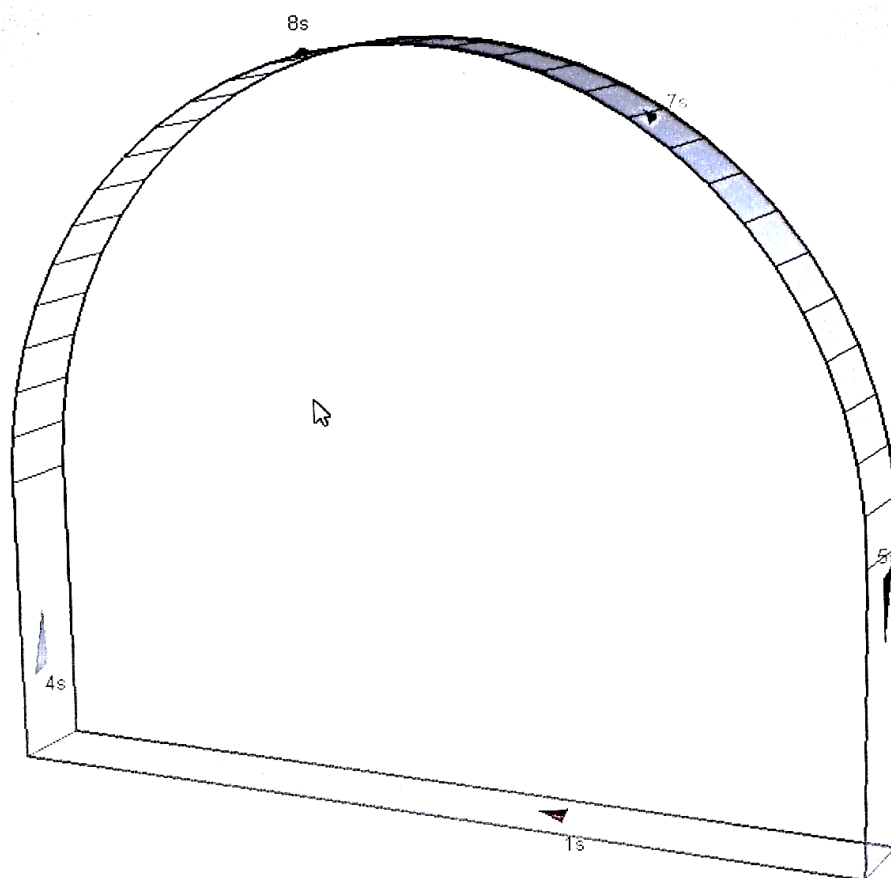
Ο **Συντελεστής Ασφαλείας F** ορίζεται ως ο λόγος του συνόλου των δυνάμεων που συγκρατούν έναντι στην ολίσθηση και που οφείλονται στην διατμητική αντοχή του εδάφους (**Βάρος** (κάθετη συνιστώσα στην επιφάνεια), **Τριβή** κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης, **Συνοχή** κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης) προς τις αντίστοιχες δυνάμεις που ωθούν στην ολίσθηση (**Βάρος** (παράλληλη συνιστώσα με την επιφάνεια ολίσθησης, **Πίεση νερού** μέσα στις ασυνέχειες, **Δύναμη σεισμού**, **Εξωτερικό βάρος** πάνω στο υπό ολίσθηση μπλοκ). Στην περίπτωση που το F είναι ίσο με 1, τότε το πρανές βρίσκεται σε κατάσταση σε οριακή κατάσταση ευστάθειας. Ο αποδεκτός συντελεστής ασφαλείας είναι μεγαλύτερος της μονάδας και έχει σκοπό να εξασφαλίσει ένα επαρκές περιθώριο ασφάλειας μεταξύ του πραγματικού φορτίου και του φορτίου αστοχίας, ώστε να περιληφθούν παράγοντες που δεν έχουν ληφθεί υπόψη στην ανάλυση όπως:

- Πιθανότητα απρόβλεπτης αύξησης κάποιων φορτίων
- Πιθανότητα απρόβλεπτης μείωσης εδαφικών παραμέτρων (ανομοιομορφία εδάφους, ανακρίβεια των μεθόδων μέτρησης κλπ.)
- Πιθανό σφάλμα και διάφορες παραδοχές που εισάγονται από τα χρησιμοποιούμενα αναλυτικά προσομοιώματα των υπολογισμών.

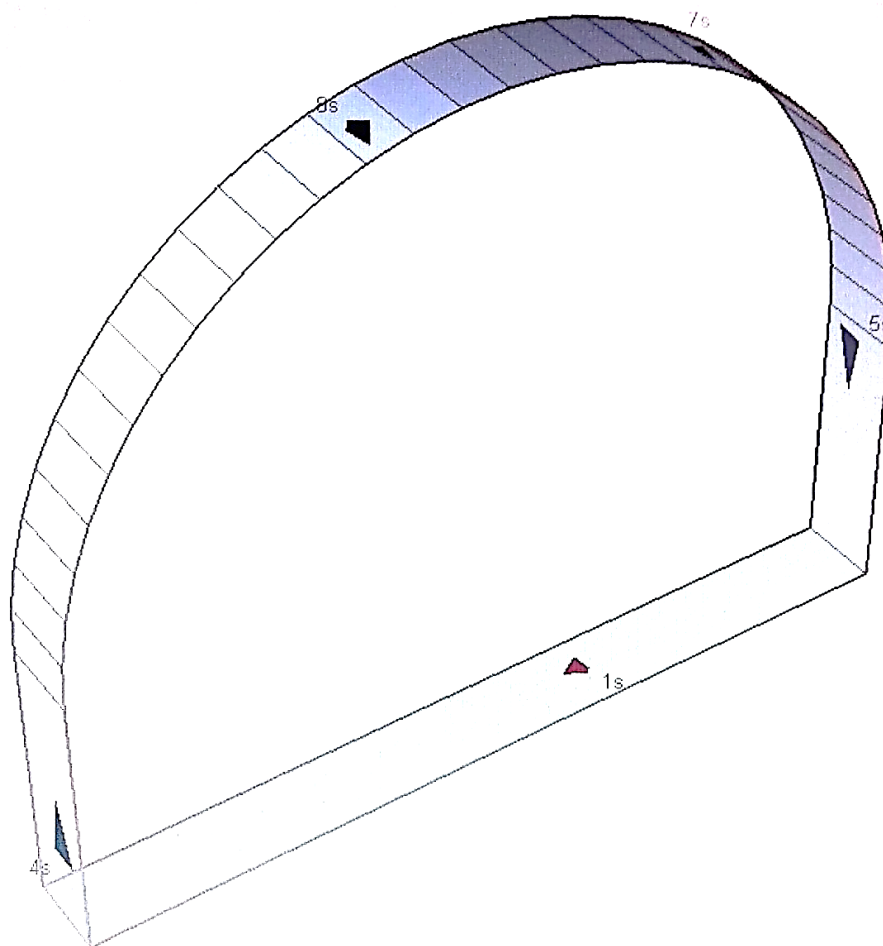
Οι τιμές του Αποδεκτού Συντελεστή Ασφαλείας για την ευστάθεια των πρανών είναι της τάξης του 1.3 – 1.5. Βέβαια, τιμή του συνήθως καθορίζεται με τις εκάστοτε επιβαλλόμενες συνθήκες (σεισμικές φορτίσεις, παρουσία υπεδαφικών νερών κλπ.).

Εξετάστηκε στο υπό μελέτη έργο αν η ύπαρξη των ασυνεχειών (στρώση και δυο οικογένειες διακλάσεων) θα μπορούσαν να δημιουργήσουν μια αστοχία σφηνοειδούς ολίσθησης. Για την εκτέλεση αυτής της εξέτασης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Unwedge 3.0 ώστε να αναλυθεί η σταθερότητα των υπόγειων εκσκαφών που

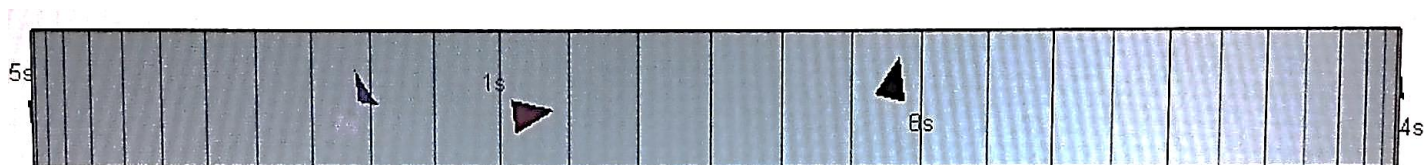
αποτελούνται από τεμνόμενες ασυνέχειες, οι οποίες μπορεί να προκαλέσουν αστοχία της διατομής λόγω ασταθών σφηνών. Το αποτέλεσμα αυτής της μελέτης όπως παρατηρούμε και στις παρακάτω εικόνες είναι η ύπαρξη σφηνών με πολύ μεγάλο συντελεστή ασφαλείας (μεγαλύτερο της τιμής 1,3) συνεπώς, δε θα προκύψουν αστοχίες. Σύμφωνα λοιπόν, με το πρόγραμμα δεν απαιτείται η εφαρμογή μέτρων υποστήριξης της διατομής της σήραγγας εφόσον θεωρητικά δε θα σημειωθούν αστοχίες. Πάραυτα δε νοείτε η ύπαρξη υπόγειου έργου χωρίς έστω εφαρμογή ελαφρού τύπου μέτρων υποστήριξης.



Σχήμα 6.3.4.1.: Εμφάνιση της θέσης των σφηνών στη διατομή της σήραγγας - προοπτική.



Σχήμα 6.3.4.2. Εμφάνιση της θέσης των σφηνών στη διατομή της σήραγγας -προοπτική.



Σχήμα 6.3.4.3. Εμφάνιση της θέσης των σφηνών στη διατομή της σήραγγας από πάνω.

Τέλος, μέσω του λογισμικού Swedge v 4.0 το οποίο επιτρέπει την εύκολη και γρήγορη ανάλυση και αξιολόγηση της γεωμετρίας και της σταθερότητας των σφηνών στην επιφάνεια των πρανών αποδείχθηκε πως στη μολασσική βραχώμαζα στην οποία γίνεται η διάνοιξη του υπόγειου έργου δε μπορεί να σημειωθεί κάποια σφηνοειδής αστοχία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας με θέμα *“Τεχνικογεωλογικές συνθήκες κατά μήκος σήραγγας σε μολασσικούς σχηματισμούς. Σύγκριση μελέτης και κατασκευής”* ήταν η ανάδειξη της ιδιαιτερότητας των μολασσικών βραχομαζών, οι οποίες μεταβάλλουν τη δομή του με το βάθος και πως αυτή η συμπεριφορά μπορεί να χαρακτηρίσει την διάνοιξη ενός υπόγειου έργου.

Σύμφωνα με τα βιβλιογραφικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας συνοψίζονται τα παρακάτω βασικά χαρακτηριστικά της μολασσικής βραχώμαζας. Αρχικά, οι ιδιαιτερότητες της μολασσικής βραχομάζας οφείλεται στην ετερογένεια λόγω της συμμετοχής γεωυλικών τόσο χαμηλής όσο και υψηλότερης αντοχής καθώς και στην αλλαγή της δομής προς το βάθος. Η παρουσία του νερού επηρεάζει κυρίως τα μηχανικά χαρακτηριστικά των ιλυολιθικών – αργιλικών μελών στην επιφάνεια στρώσης τους όταν αυτή είναι ευδιάκριτη. Επιφανειακά αυτά τα μέλη λόγω της μικρής τιμής αντοχής τους εμφανίζουν το φαινόμενο σχιστοποίησης – σχάσης. Συνεπώς, η μολάσσα είναι ένας σχηματισμός που διαμορφώνει τόσο ασθενής όσο και σύνθετες βραχώμαζες.

Όσον αφορά τη συμπεριφορά της μολασσικής βραχώμαζας έχει παρατηρηθεί πως οι καλής ποιότητας μολασσικές βραχώμαζες έχουν εξαιρετική ευστάθεια στις σήραγγες. Αν εξαιρεθούν τα πρώτα πέντε περίπου μέτρα τα οποία λόγω αποσάθρωσης της βραχώμαζας μπορεί να σημειωθεί κάποια βαρυτική αστοχία τύπου καμινάδας στα επόμενα 10 – 15 m η βραχώμαζα εμφανίζεται συμπαγής και αδιατάρακτη με τοπικές ίσως βαρυτικές αστοχίες. Σε μεγάλα βάθη η βραχώμαζα ψαμμιτικής σύστασης ή με κροκαλοπαγή μπορεί να έχει ψαθυρή συμπεριφορά. Σε ιλυολιθικές βραχώμαζας μπορεί να προκύψουν παραμορφώσεις.

Τα στοιχεία που προκύπτουν από την διπλωματική εργασία αναλύονται στη συνέχεια. Στο τελευταίο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας γίνεται αναφορά και μελέτη του υπόγειου έργου της Ιεροπηγής. Η σήραγγα αυτή εντάσσεται στο τμήμα 45.4 Κορομηλιά – Ιεροπηγή. Το τμήμα αυτό είναι η βορειότερη θέση του Κάθετου Άξονα 45 “ Σιάτιστα – Ιεροπηγή – Κρυσταλλοπηγή “. Το μήκος του φτάνει τα 13 km, με διεύθυνση Δυτικά – Ανατολικά, διερχόμενο από λοφοειδή έξαρση διεύθυνσης Βορρά – Νότου. Το έργο είναι μια διπλής κατεύθυνσης σήραγγα που αποτελείται από δύο κλάδους έναν ανά κατεύθυνση, πεταλοειδούς διατομής. Η γενική διεύθυνση σηράγγων είναι ΑΝΑ – ΔΒΔ, με πάχος των υπερκείμενων βραχωδών σχηματισμών άνωθεν της ερυθράς να παίρνει τη μέγιστη τιμή στα 35,0 m.

Η διάνοιξη της σήραγγας σύμφωνα με τη μελέτη του έργου γίνεται μέσα στους μολασσικούς σχηματισμούς της Μεσοελληνικής Αύλακας. Τα επιφανειακά στρώματα

του έργου καλύπτονται από μανδύα αποσάθρωσης και από Πλειστοκαινικές αποθέσεις πάχους μέχρι και πάνω από 2 m κατά θέσεις. Η μολασσική ακολουθία αποτελείται κυρίως από εναλλαγές κροκαλοπαγών, ψαμμιτών και ιλυολίθων. Τα όρια αυτών των φάσεων είναι πολλές φορές δύσκολό να διαχωριστούν ενώ, η αλλαγή των λεπτόκοκκων με τους αδρομερές σχηματισμούς μπλέκονται φανερώνοντας τις συνθήκες ιζηματογένεσης στη μολασσική λεκάνη. Παρατηρείται πως το οφειολιθικό υπόβαθρο δεν θα συναντηθεί στη διατομή της σήραγγας.

Τα στοιχεία της σήραγγας τα οποία είχαμε στη διάθεση μας για την σύγκριση της μελέτης και της κατασκευής αντιστοιχούν στην μελέτη του έργου πριν την διάνοιξη της σήραγγας και σε δεκατρείς (13) χαρτογραφήσεις μετώπου συνολικά για τους δυο κλάδους κατά την κατασκευή. Πρέπει να αναφερθεί πως τα δεδομένα των χαρτογραφήσεων μετώπου δεν είναι συνεχή καθώς επίσης δεν αντιστοιχούν σε όλο το μήκος της σήραγγας.

Στηριζόμενοι στα παραπάνω δεδομένα έγινε σύγκριση αρχικά των τιμών του δείκτη GSI που αποδόθηκε στη βραχώμαζα κατά την μελέτη πριν την κατασκευή με τις τιμές GSI που έλαβε η βραχώμαζα κατά την διάνοιξη του υπόγειου έργου. Κατά την διάνοιξη του έργου αποδείχθηκε πως οι συνθήκες που είχαν προβλεφθεί αρχικά από τη μελέτη δεν ήταν αυτές που θα έπρεπε να αντιμετωπιστούν. Η ποιότητα της βραχώμαζας αποδείχθηκε καλύτερη από την αναμενόμενη ενώ το εύρος των τιμών του GSI κυμαίνονται από 25 ως 35 για κακής ποιότητας σχηματισμούς και από 35 μέχρι 45 για καλύτερης ποιότητας.

Πιο συγκεκριμένα οι τιμές του GSI 25-35 αντιστοιχούν στις περιοχές με χαμηλό ύψος υπερκειμένων πάνω από την ερυθρά. Οι σχηματισμοί είναι κακής διαγένεσης ψαμμίτες και ιλυόλιθοι με έντονη σχιστότητα. Οι επιφάνειες στρώσεις είναι πτωχές ως μέτριες. Σε αυτό το εύρος τιμών ανήκει και το τεκτονικό κροκαλοπαγές. Στο εύρος τιμών 35-45 το ύψος των υπερκειμένων σχηματισμών είναι μεγαλύτερο. Λιθολογικά αποτελείται από εναλλαγές ψαμμιτών, κροκαλοπαγών και ιλυολίθων. Οι επιφάνειες στρώσεις είναι μέτριες ως καλές.

Αντίθετα, κατά την εκπόνηση της μελέτη της σήραγγας είχε θεωρηθεί ορθότερη η χρήση του διαγράμματος GSI που αναφέρεται σε επιφανειακές εκσκαφές ή επιφάνειες εκσκαφής κοντά στην επιφάνεια λόγω του χαμηλού πάχους των υπερκειμένων πάνω από την ερυθρά της σήραγγας. Για τη κατηγορία βραχώμαζας I δόθηκε το εύρος των τιμών GSI >45 με ύψος υπερκειμένων πάνω από την ερυθρά 20-25 m λόγω της καλής ποιότητας του σχηματισμού. Στη κατηγορία βραχώμαζας II με εύρος τιμών 35-45 και ύψος υπερκειμένων 30-35 m. Στης κακής διαγένεσης σχηματισμού της κατηγορίας III το εύρος των τιμών του GSI κυμαίνεται από 25 ως 35, με ύψος υπερκειμένων 5-15 m. Όσον αφορά το ασβεστολιθικό κροκαλοπαγές και το τεκτονικό λατυποπαγές που συναντήθηκε κατά τη διάνοιξη της σήραγγας χρησιμοποιήθηκε το κλασικό διάγραμμα GSI.

Στη συνέχεια, από τις τιμές GSI που δόθηκαν στην βραχόμαζα τόσο της μελέτης όσο και της κατασκευής συγκρίθηκε το μήκος τοποθέτησης τους και ο τύπος των μέτρων που χρησιμοποιήθηκαν. Απόρροια αυτής της σύγκρισης ήταν πως όσον αφορά τα μήκη εφαρμογής των μέτρων προσωρινής υποστήριξης οι διαφορές είναι πολύ μικρές. Από την άλλη πλευρά, ο τύπος των μέτρων που εφαρμόστηκαν τροποποιήθηκε με τον εξής τρόπο, ενώ από τη μελέτη είχε προβλεφθεί η εφαρμογή της ελαφρύτερης κατηγορίας A κατά την κατασκευή έχει αντικατασταθεί πλήρως από την κατηγορία B καθώς και από την κατηγορία Br σε θέσεις κοντά στα στόμια εξόδου. Η βαριά κατηγορία προσωρινής υποστήριξης C τοποθετήθηκε μόνο στα στόμια εισόδου και των δυο κλάδων, λόγω χαμηλού υπερκειμένου καθώς και στη ζώνη του ρήγματος στο δεξιό κλάδο λόγω της κακής διαγένεσης του τεκτονικού λατυποπαγός.

Με βάση τα στοιχεία των χαρτογραφήσεων μετώπου έγινε επίσης σύγκριση της μικροτεκτονικής ανάλυσης της μελέτης του έργου και της κατασκευής με τη χρήση του λογισμικού Dips 5.103 ώστε να προσδιοριστούν οι πιθανές αστοχίες με βάση τα γεωμετρικά στοιχεία των συστημάτων των ασυνεχειών που συναντώνται. Για τη μικροτεκτονική ανάλυση της δομής των μολασικών σχηματισμών κατά την εκπόνηση της μελέτης του έργου και της κατασκευής ελήφθησαν και επεξεργάστηκαν οι μετρήσεις προσανατολισμού των επιπέδων στρώσης (B) και των διακλάσεων (J). Τα στοιχεία αυτά προβλήθηκαν στο δίκτυο Schmidt από το οποίο με τη χρήση του λογισμικού Dips 5.103 προέκυψε πιθανή επίπεδη ολίσθηση επί τις ασυνέχειας J στο κατακόρυφο πρηνές του μετώπου. Η επίπεδη αστοχία μπορεί να αποτραπεί με την χρήση μέτρων υποστήριξης και κυρίως αγκυρίων

Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά Unwedge 3.0 και Swedge v 4.0 με στόχο τον προσδιορισμό των σφηνών που μπορούν να προκύψουν τόσο στην υπόγεια εκσκαφή όσο και στα επιφανειακά πρηνή. Η ευστάθεια της βραχόμαζας τόσο στις υπαίθριες όσο και στις υπόγειες εκσκαφές εξαρτάται από την παρουσία και τον προσανατολισμό των γεωλογικών ασυνεχειών. Από το λογισμικό Swedge v 4.0 το οποίο επιτρέπει την εύκολη και γρήγορη ανάλυση και αξιολόγηση της γεωμετρίας και της σταθερότητας των σφηνών στην επιφάνεια των πρηνών αποδείχθηκε πως στη μολασική βραχόμαζα στην οποία γίνεται η διάνοιξη του υπόγειου έργου δε μπορεί να σημειωθεί κάποια σφηνοειδής αστοχία.

Από τη χρήση του λογισμικού Unwedge 3.0 με το οποίο μπορεί να αναλυθεί η σταθερότητα των υπόγειων εκσκαφών που αποτελούνται από τεμνόμενες ασυνέχειες, οι οποίες μπορεί να προκαλέσουν αστοχία της διατομής λόγω ασταθών σφηνών. Αποτέλεσμα αυτού είναι η ύπαρξη σφηνών με πολύ μεγάλο συντελεστή ασφαλείας συνεπώς, δε θα προκύψουν αστοχίες. Σύμφωνα λοιπόν, με το πρόγραμμα δεν απαιτείται η εφαρμογή μέτρων υποστήριξης της διατομής της σήραγγας εφόσον θεωρητικά δε θα σημειωθούν αστοχίες. Πάραυτα δε νοείται η ύπαρξη υπόγειου έργου χωρίς έστω εφαρμογή ελαφρού τύπου μέτρων υποστήριξης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΣ Γ. (2008), *Τεχνική Γεωλογία*, Εκδόσεις Αδερφοί Κυριακίδη α.ε., Θεσσαλονίκη.

ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε. (2011), *Εκπόνηση οριστικής γεωλογικής μελέτης, γεωτεχνικών μελετών, οριστικής μελέτης σήραγγας (γεωλογικής, γεωτεχνικής, στατικής και υδραυλικής με παραλειπόμενο στάδιο προκαταρκτικής μελέτης) και προκαταρκτικών μελετών τεχνικών του τμήματος « Κορομηλία – Ιεροπηγή» του κάθετου άξονα «Σιάτιστα-Ιεροπηγή-Κρυσταλλοπηγή»*, Φάση: Γεωλογικής / Γεωτεχνικής Αξιολόγησης, Αδημοσίευτο.

ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε. (2011), *Εκπόνηση οριστικής γεωλογικής μελέτης, γεωτεχνικών μελετών, οριστικής μελέτης σήραγγας (γεωλογικής, γεωτεχνικής, στατικής και υδραυλικής με παραλειπόμενο στάδιο προκαταρκτικής μελέτης) και προκαταρκτικών μελετών τεχνικών του τμήματος « Κορομηλία – Ιεροπηγή» του κάθετου άξονα «Σιάτιστα-Ιεροπηγή-Κρυσταλλοπηγή»*, Φάση: Μελέτη σήραγγας Ιεροπηγής, Αδημοσίευτο.

ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε. (2011), *Εκπόνηση οριστικής γεωλογικής μελέτης, γεωτεχνικών μελετών, οριστικής μελέτης σήραγγας (γεωλογικής, γεωτεχνικής, στατικής και υδραυλικής με παραλειπόμενο στάδιο προκαταρκτικής μελέτης) και προκαταρκτικών μελετών τεχνικών του τμήματος « Κορομηλία – Ιεροπηγή» του κάθετου άξονα «Σιάτιστα-Ιεροπηγή-Κρυσταλλοπηγή»*, Φάση: Εκσκαφή και Αντιστήριξη στομίων, Αδημοσίευτο.

ΚΑΒΒΑΔΑΣ Μ. (2004), *Ηλεκτρονικές σημειώσεις κεφ.5 Διάνοιξη σηράγγων με τη μέθοδο NATM*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

ΚΑΤΣΙΚΑΤΣΟΥ Γ. (1992), *Γεωλογία της Ελλάδος*, Πανεπιστήμιο Πατρών, Αθήνα

ΚΟΥΚΗΣ Γ., ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ Ν. (2007), *Γεωλογία τεχνικών έργων*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.

ΚΟΥΚΗΣ Γ., ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ Ν., (2002) *Τεχνική Γεωλογία*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.

ΜΑΡΙΝΟΣ Β. (2007), *Γεωτεχνική ταξινόμηση και τεχνικογεωλογική συμπεριφορά ασθενών και σύνθετων γεωυλικών κατά τη διάνοιξη σηράγγων*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα.

ΜΑΡΙΝΟΣ Β. (2013), *Ηλεκτρονικές σημειώσεις του μαθήματος Γεωλογικές μελέτες τεχνικών έργων, Μάθημα 7 Μέτρα υποστήριξης – συμπεριφορά βραχομάζας*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη.



- ΜΑΡΙΝΟΣ Β., (2010),** *Η Τεχνικογεωλογική Συμπεριφορά των Βραχομαζών κατά τη Διάνοιξη Σηράγγων. Η Σημασία στον Σχεδιασμό των Μέτρων Υποστήριξης*, 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, ΤΕΕ, 29/09 –1/10 2010, Βόλος
- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ Δ. (2010),** *Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας*, Εκδόσεις University Press, Θεσσαλονίκη.
- ΜΠΕΡΕΒΕΣΚΟΥ Ι. (2009),** *Τεχνικογεωλογικές συνθήκες για τη διάνοιξη της σήραγγας Αιγίου-Γενική επισκόπηση*, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, Πάτρα.
- ΝΤΟΥΝΙΑΣ Γ., ΦΙΚΙΡΗΣ Ι., ΤΟΛΗΣ Σ., ΛΥΜΠΕΡΗΣ Ε., ΑΓΓΙΣΤΑΛΗΣ Γ., ΡΑΧΑΝΙΩΤΗΣ Ν. (2010),** *Μελέτη & κατασκευή οδικών σηράγγων σε μολάσσα – σήραγγες Αγ. Παρασκευής και Αγναντερούς Εγνατίας οδού*, 6^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, Βόλος.
- ΠΑΠΑΝΤΩΝΗ Χ. (2007),** *Παραμετρική διερεύνηση εναλλακτικών συστημάτων υποστήριξης σε οδική σήραγγα*, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Ορυκτών Πόρων, Χανιά Κρήτη.
- ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ Α. (2010),** *Ιζηματογενή πετρώματα*, Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη.
- ΨΙΛΟΒΙΚΟΣ Α., ΨΙΛΟΒΙΚΟΣ Α. (2010),** *Ιζηματολογία*, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.

Ξένη Βιβλιογραφία

- DERMITZAKIS M., PAPANIKOLAOU D.(1980)** *The molasse of Paros island (Greece)*. Museums in Wien, JSTOR.
- DOUTSOS T., KOUKOUVELOS I., ZELILIDAS A., KONTOPOULOS N. (1994),** *Intracontinental wedging and post-orogenic collapse in the mesohellenic through.*
- FÖLLMI KB, SCHLUNEGGER F, WEISSERT H. (2013),** *Alpine sedimentology: an introduction and tribute to Albert Matter & Daniel Bernoulli*, Sedimentology, Wiley Online Library.
- GARFUNKEL Z., GREILING R. (2001),** *The implications of foreland basins for the causative tectonic loads*, European Geosciences.
- HOEK E., MARINOS P., MARINOS V. (2005),** *Characterisation and engineering properties of tectonically undisturbed but lithologically varied sedimentary rock masses*, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.



MARINOS P, MARINOS V, HOEK E, (2007) *The geological strength index (GSI): A characterization tool for assessing engineering properties for rock masses.*

MARINOS V. (2010), *New proposed GSI classification charts for weak or complex rock masses*, Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας 2010, Πρακτικά 12^{ου} Διεθνούς Συνεδρίου.

MARINOS V., PROUNTZOPOULOS G., FORTSAKIS P., (2013) *Tunnel behaviour and support in molassic rocs. The experiences from 12 tunnels in Greece.* Geotechnical and Geological Engineering, Springer.

ONCKEN O, CHONG G., FRANZ G., GIESE P., GOTZE H., RAMOS V., STRECKER M., WIGGER P. (2006), *The Andes. active subduction orogeny*, Springer.

PHOTIADES A. (2002), *The ophiolitic molasse unit of Ikaria Island (Greece)*, Turkish Journal of Earth Sciences.

SCHLUNEGGER F, RIEKE-ZAPP D, RAMSEYER K. (2007), *Possible environmental effects on the evolution of the Alps –molasse basin system*, Swiss Journal of Geosciences, Springer.

SINCLAIR H., JAFFEY N. (2001) *Sentimentology of the Indus group Ladakh, nortern India: implications for the timing of initiation of the paleo- Indus river.* Journal of the Geological Society.

ZDENEK KUKAL, JASSIM AL-JASSIM, (1971), *Sedimentology of pliocene molasse sediments of the Mesopotamian geosycline.* Sedimentary Geology, Elsevier.

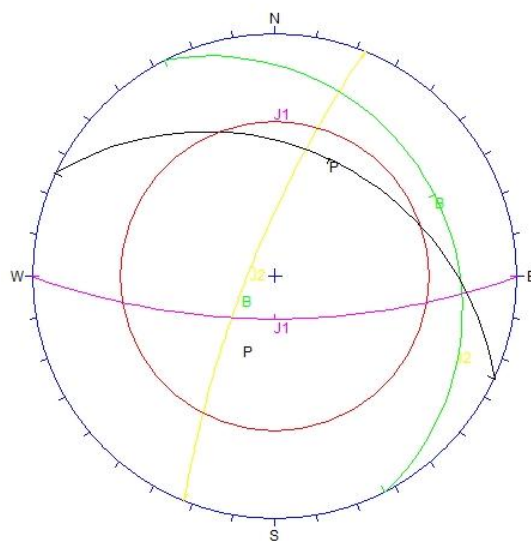
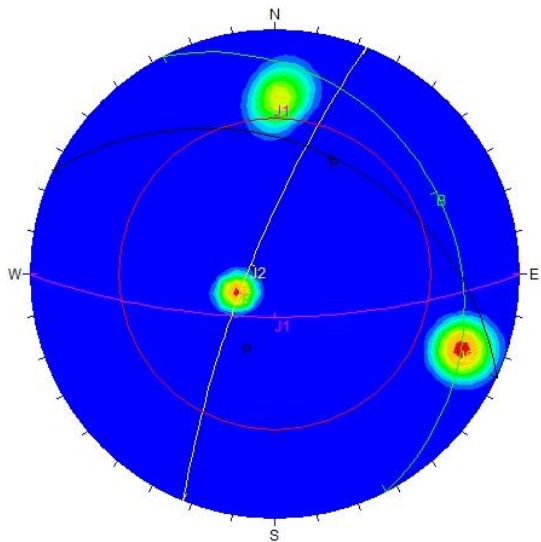


ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

⊕ Προβολή στο τεκτονικό διάγραμμα των στοιχείων από τις χαρτογραφήσεις μετόπου κατά τη κατασκευή του έργου μέσω του προγράμματος Dips 5.103

ΣΤΟΜΙΟ ΕΞΟΔΟΥ

ΑΡΙΣΤΕΡΟ ΠΡΑΝΕΣ

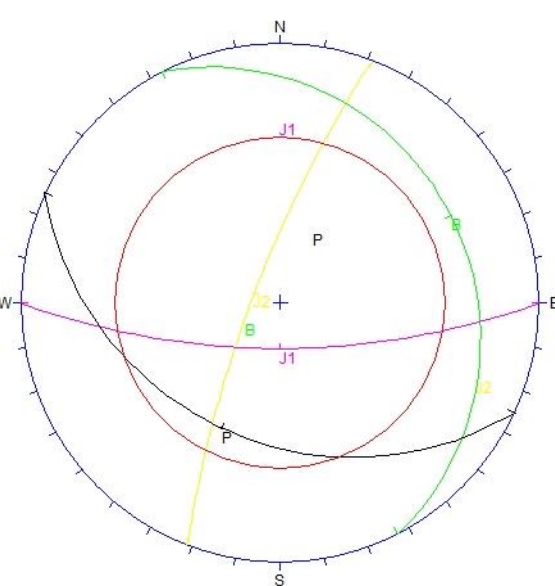
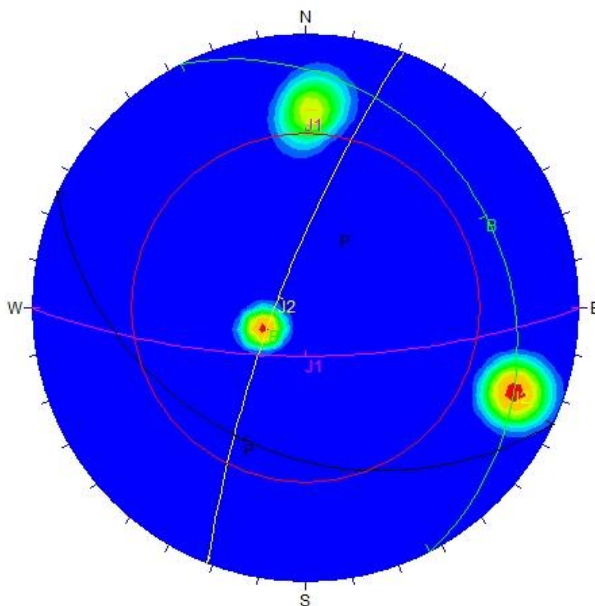


Orientations	
ID	Dip / Direction
1	78 / 292
2	17 / 063
3	70 / 180
4	34 / 025

Equal Angle
Lower Hemisphere
39 Poles
39 Entries

Δε παρατηρείται κάποια αστοχία

ΔΕΞΙΟ ΠΡΑΝΕΣ

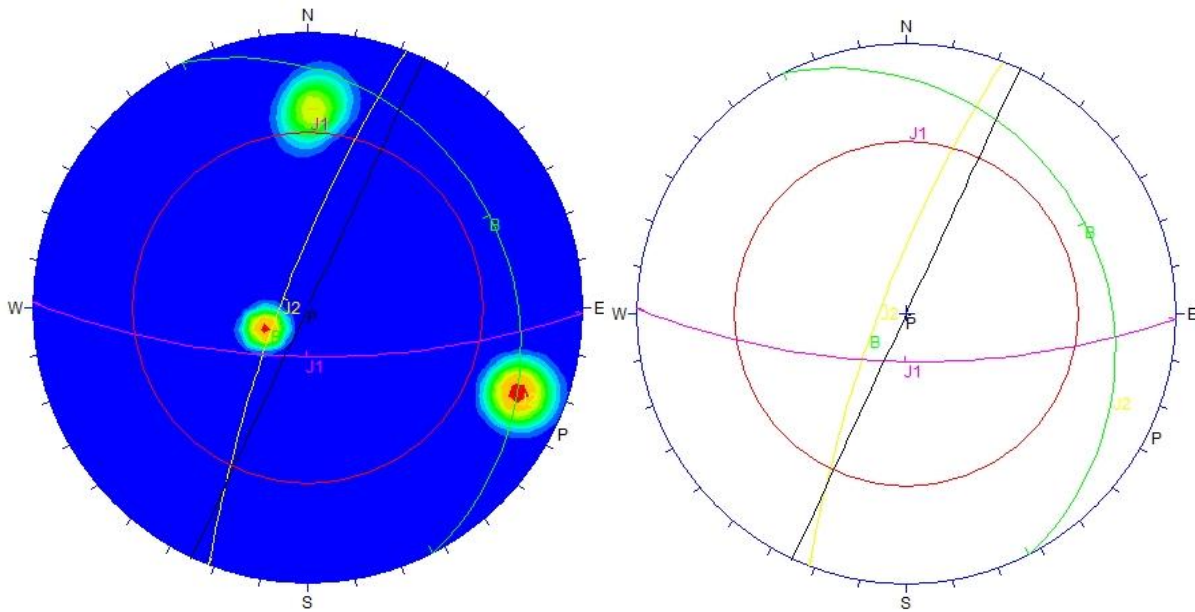


Orientations	
ID	Dip / Direction
1	78 / 291
2	17 / 063
3	70 / 180
4	34 / 205

Equal Angle
Lower Hemisphere
39 Poles
39 Entries

Δε παρατηρείται κάποια αστοχία

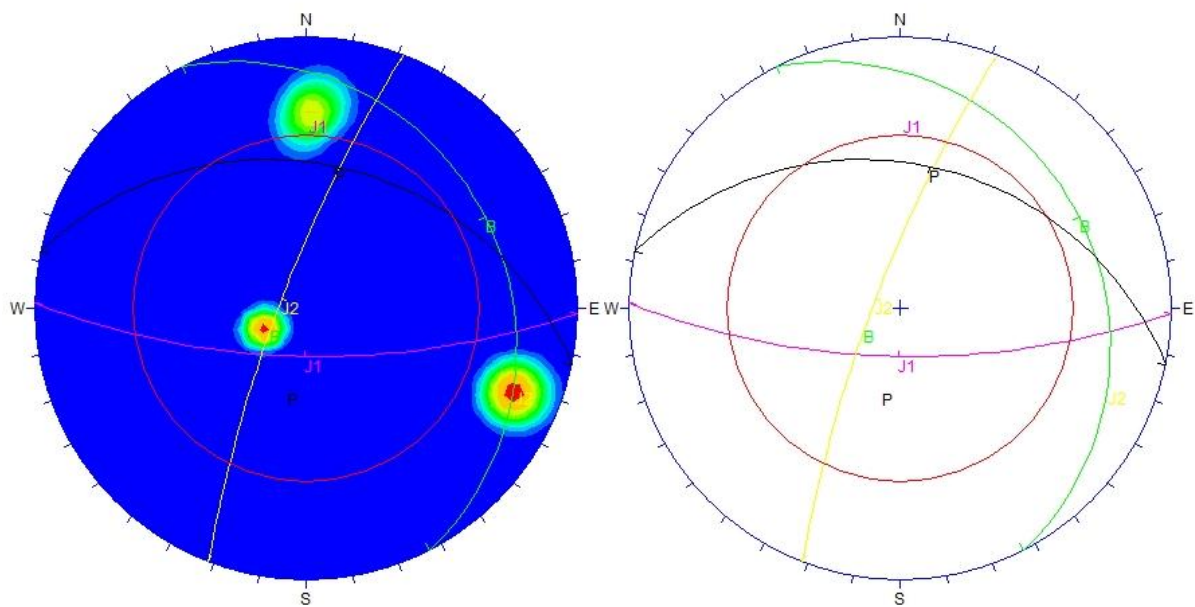
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΠΡΑΝΕΣ



Σημειώνεται επίπεδη ολίσθηση επί της διάκλασης J₂.

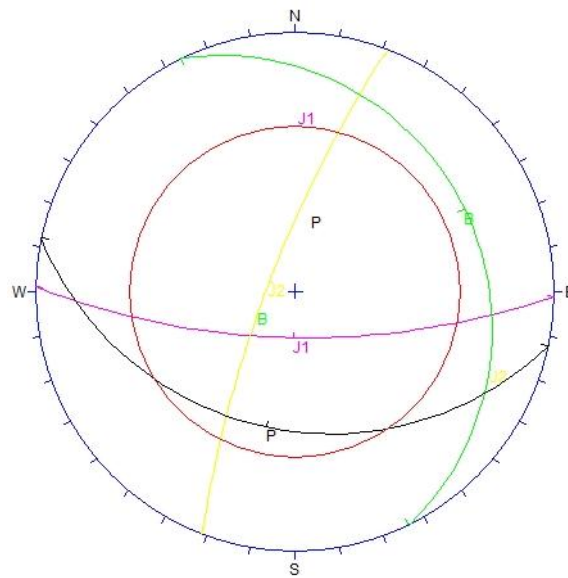
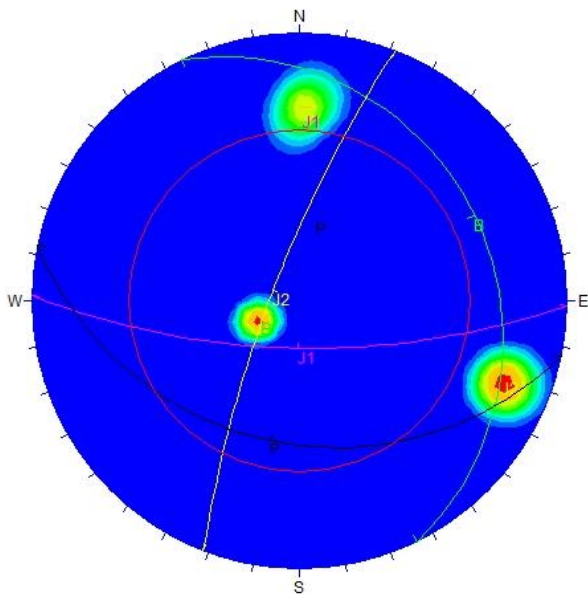
ΣΤΟΜΙΟ ΕΙΣΟΔΟΥ

ΑΡΙΣΤΕΡΟ ΠΡΑΝΕΣ



Δε παρατηρείται κάποια αστοχία

ΔΕΞΙΟ ΠΡΑΝΕΣ

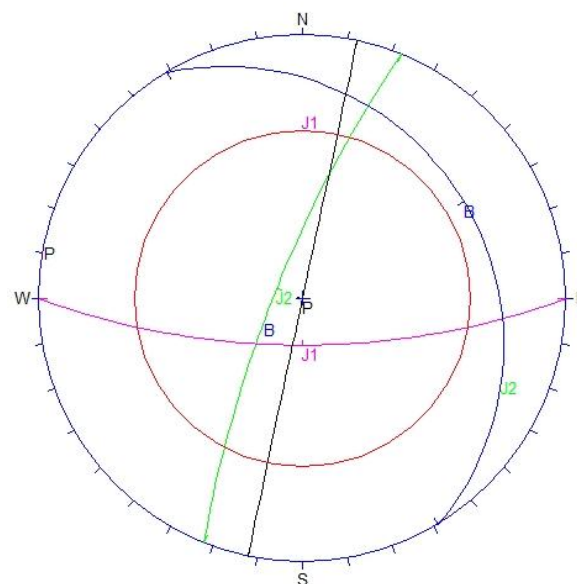
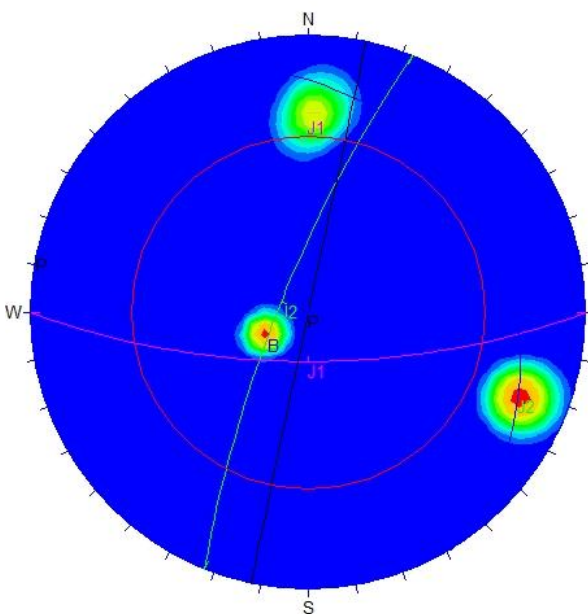


Orientations	
ID	Dip / Direction
1	70 / 181
2	18 / 064
3	78 / 291
4	34 / 192

Equal Angle
Lower Hemisphere
39 Poles
39 Entries

Δε παρατηρείται κάποια αστοχία

ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΠΡΑΝΕΣ



Orientations	
ID	Dip / Direction
1	78 / 292
2	70 / 180
3	19 / 059
4	90 / 102

Equal Angle
Lower Hemisphere
39 Poles
39 Entries

Σημειώνεται επίπεδη ολίσθηση επί της διάκλασης J₂.

- ⊕ Πληροφορίες δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή του προγράμματος Unwedge.

Unwedge Analysis Information

Document Name

File Name: IEROPIGI.weg

Project Settings

Project Title: IEROPIGI CONSTRUCTION
Wedges Computed: Perimeter and End Wedges
Units: Metric, stress as MPa

General Input Data

Tunnel Axis Orientation:
Trend: 100°
Plunge: 0°
Design Factor of Safety: 1.300
Unit Weight of Rock: 0.026 MN/m³
Unit Weight of Water: 0.010 MN/m³

Seismic Forces

Not Used

Scale Wedges Settings

Floor wedge [1]

Scale Joint 1 (19/069) Trace Length: 0.40 m
Scale Joint 2 (85/293) Trace Length: 1.00 m
Scale Joint 3 (88/183) Trace Length: 1.00 m
Scale Joint 1 (19/069) Persistence: 3.00 m
Scale Joint 2 (85/293) Persistence: 3.00 m
Scale Joint 3 (88/183) Persistence: 3.00 m
Scale Out Of Plane Length: 4.00 m

Lower Right wedge [4]

Scale Joint 1 (19/069) Trace Length: 0.40 m
Scale Joint 2 (85/293) Trace Length: 1.00 m
Scale Joint 3 (88/183) Trace Length: 1.00 m
Scale Joint 1 (19/069) Persistence: 3.00 m
Scale Joint 2 (85/293) Persistence: 3.00 m
Scale Joint 3 (88/183) Persistence: 3.00 m
Scale Out Of Plane Length: 4.00 m

Lower Left wedge [5]

Scale Joint 1 (19/069) Trace Length: 0.40 m
Scale Joint 2 (85/293) Trace Length: 1.00 m
Scale Joint 3 (88/183) Trace Length: 1.00 m
Scale Joint 1 (19/069) Persistence: 3.00 m
Scale Joint 2 (85/293) Persistence: 3.00 m
Scale Joint 3 (88/183) Persistence: 3.00 m
Scale Out Of Plane Length: 4.00 m

Upper Left wedge [7]

Scale Joint 1 (19/069) Trace Length: 0.40 m
Scale Joint 2 (85/293) Trace Length: 1.00 m
Scale Joint 3 (88/183) Trace Length: 1.00 m
Scale Joint 1 (19/069) Persistence: 3.00 m
Scale Joint 2 (85/293) Persistence: 3.00 m
Scale Joint 3 (88/183) Persistence: 3.00 m
Scale Out Of Plane Length: 4.00 m

Roof wedge [8]

Scale Joint 1 (19/069) Trace Length: 0.40 m
Scale Joint 2 (85/293) Trace Length: 1.00 m
Scale Joint 3 (88/183) Trace Length: 1.00 m
Scale Joint 1 (19/069) Persistence: 3.00 m
Scale Joint 2 (85/293) Persistence: 3.00 m
Scale Joint 3 (88/183) Persistence: 3.00 m
Scale Out Of Plane Length: 4.00 m

Near End wedge [9]

Scale Joint 1 (19/069) Trace Length: 0.40 m
Scale Joint 2 (85/293) Trace Length: 1.00 m
Scale Joint 3 (88/183) Trace Length: 1.00 m
Scale Joint 1 (19/069) Persistence: 3.00 m
Scale Joint 2 (85/293) Persistence: 3.00 m
Scale Joint 3 (88/183) Persistence: 3.00 m
Scale Out Of Plane Length: 4.00 m

Far End wedge [10]

Scale Joint 1 (19/069) Trace Length: 0.40 m
Scale Joint 2 (85/293) Trace Length: 1.00 m
Scale Joint 3 (88/183) Trace Length: 1.00 m
Scale Joint 1 (19/069) Persistence: 3.00 m
Scale Joint 2 (85/293) Persistence: 3.00 m
Scale Joint 3 (88/183) Persistence: 3.00 m
Scale Out Of Plane Length: 4.00 m

Joint Orientations

Joint 1

Dip: 19°
Dip Direction: 069°

Joint 2

Dip: 85°
Dip Direction: 293°

Joint 3

Dip: 88°
Dip Direction: 183°

Joint Properties

PSAMMITIS

Water Pressure
Constant: 0.02 MPa
Waviness: 0°
Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
Phi: 26°
Cohesion: 0.05 MPa
Tensile Strength: 0 MPa

ILYOLITHOS

Water Pressure
Constant: 0.02 MPa
Waviness: 0°
Shear Strength Model: Mohr-Coulomb
Phi: 26°
Cohesion: 0.05 MPa
Tensile Strength: 0 MPa

Bolt Properties

Bolt Property 1

Bolt Type: Grouted Dowel
Tensile Capacity: 0.21 MN
Plate Capacity: 0.1 MN
Bond Strength: 0.34 MN/m
Bond Length: 100% of Bolt Length
Shear Strength: Unused
Bolt Orientation Efficiency: Used
Method: Cosine Tension/Shear

Shotcrete Properties

Shotcrete Property 1

Shear Strength: 2.00 MPa
Unit Weight: 0.026 MN/m³
Thickness: 7.50 cm

Support Summary

Summary of Perimeter Shotcrete

Number of Shotcrete Layers on Perimeter: 1

Perimeter Shotcrete Layer: 1

Shotcrete Property: Shotcrete Property 1

Summary of Perimeter Support Pressure

No Support Pressure on Perimeter

Summary of Perimeter Bolt Patterns

No Bolt Patterns on Perimeter

Summary of End Bolt Patterns

No Bolt Pattern on Ends

Summary of End Support Pressure

No Support Pressure on Ends

Summary of End Shotcrete

No Shotcrete on Ends

Wedge Information

Floor wedge [1]

Factor of Safety: 0.000
Wedge Weight: 0.000 MN

Lower Right wedge [4]

Factor of Safety: 106.360

Wedge Weight: 0.000 MN

Lower Left wedge [5]

Factor of Safety: 106.836

Wedge Weight: 0.000 MN

Upper Left wedge [7]

Factor of Safety: 230.221

Wedge Weight: 0.000 MN

Roof wedge [8]

Factor of Safety: 132.670

Wedge Weight: 0.000 MN

Near End wedge [9]

Factor of Safety: 0.600

Wedge Weight: 0.000 MN

Far End wedge [10]

Factor of Safety: 0.601

Wedge Weight: 0.000 MN

