



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΠΜΣ – ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ



Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΩΝ ΦΛΥΣΧΗ
ΜΕ ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ GSI ΚΑΙ RMR ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΡΓΑ
ΤΟΥ ΥΠΕ ΜΕΤΣΟΒΙΤΙΚΟΥ

ΑΓΛΑΪΑ ΑΣΗΜΟΜΥΤΗ

Γεωλόγος

Επιβλέπων:

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Π. ΜΑΡΙΝΟΣ
Επ. Καθηγητής Α.Π.Θ.

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2015

Στους γονείς μου

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής, πρώτα απ' όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την διαρκή ηθική και οικονομική τους υποστήριξη.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον Επίκουρο Καθηγητή και επιβλέποντα της παρούσας διπλωματικής κ. Βασίλη Μαρίνο για την ανάθεση του θέματος και κυρίως για τις πολύ χρήσιμες υποδείξεις και τις ανεκτίμητης αξίας γνώσεις που αποκόμισα καθ' όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών. Οι ουσιαστικές παρατηρήσεις του και η συνεχής ενθάρρυνση συνέβαλαν καθοριστικά στην ολοκλήρωση της προσπάθειας αυτής. Τέλος, θέλω να τον ευχαριστήσω για το γεγονός ότι ήταν πάντα παρών και διαθέσιμος.

Ευχαριστώ θερμά τον Καθηγητή κ. Βασίλη Χρηστάρα και τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Βουδούρη που συναποτελούν την τριμελή επιτροπή και ήταν ανά πάσα στιγμή διαθέσιμοι.

Ευχαριστώ θερμά τον Ομότιμο Καθηγητή κ. Γεώργιο Κούκη για τη διαρκή ενθάρρυνση και την ηθική συμπαράσταση.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Δημοσθένη Ντάλια, τεχνικό γεωλόγο της ΔΕΗ Α.Ε. για το συνεχές ενδιαφέρον του, τις πολύτιμες συμβουλές του, τη συνεχή ενθάρρυνση και συμπαράσταση και την αρμονική συνεργασία μας. Ακόμα, για την προσφορά πολύτιμης εμπειρίας σε κατασκευαστικά και εργοταξιακά θέματα και τη βοήθεια στη διάθεση στοιχείων.

Τέλος, ευχαριστώ τους εργαζομένους στο ΚΕΨΕ Π.Α. της ΔΕΗ Α.Ε. και στην ΑΚΤΩΡ Α.Τ.Ε. για τη βοήθειά τους κατά τις επισκέψεις στο ΥΗΕ Μετσοβίτικου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εξετάζονται οι φλυσχικές βραχομάζες ως προς την γεωτεχνική ταξινόμησή τους μέσω των συστημάτων GSI και RMR. Πεδίο μελέτης αποτέλεσε το συγκρότημα υπογείων έργων του Υδροηλεκτρικού Έργου στον Μετσοβίτικο ποταμό του Νομού Ιωαννίνων. Το έργο αυτό στοχεύει στην υδροηλεκτρική εκμετάλλευση των απορροών του ομώνυμου ποταμού σε συνδυασμό με τα νερά που προέρχονται από τον ποταμό Αώο μετά την έξοδό τους από τον Υδροηλεκτρικό Σταθμό Πηγών Αώου.

Στα πλαίσια του έργου βρίσκεται σε εξέλιξη η κατασκευή δύο μεγάλων υπόγειων εκσκαφών. Πρόκειται για τον υπόγειο σταθμό παραγωγής πολύ μεγάλων διαστάσεων και του φρέατος ανάπαλσης που αποτελεί σπάνια κατασκευή για τα δεδομένα του Ελληνικού χώρου.

Οι διάφοροι τύποι βραχομαζών που σχηματίζει ο φλύσχος έχουν συναντηθεί σε πολλά τεχνικά έργα που έχουν κατασκευαστεί στο παρελθόν στον Ελληνικό χώρο. Αν και υπάρχει εμπειρία και στην διάνοιξη σιηράγγων στον εν λόγω σχηματισμό, πολλές φορές εμφανίζονται απρόβλεπτες καταστάσεις που δημιουργούν δυσκολίες στην ασφαλή κατασκευή τους και στην μετέπειτα ομαλή λειτουργία τους. Για το λόγο αυτό χαρακτηρίζεται ως ένας ιδιαίτερα δύσκολος τεχνικά σχηματισμός λόγω της λιθολογικής του σύστασης, της δομής των βραχομαζών του, της τεκτονικής διατάραξής του και τέλος λόγω του γεωμορφολογικού αναγλύφου.

Παρουσιάζονται η γεωλογική σύσταση και δομή της ευρύτερης περιοχής, καθώς και το σεισμοτεκτονικό πλαίσιο, τα υδρομετεωρολογικά δεδομένα και οι υδρογεωλογικές συνθήκες. Τα υλικά που αποτελούν το υπόβαθρο των εξεταζόμενων υπόγειων έργων ανήκουν στο φλύσχη της Ιόνιας γεωτεκτονικής ζώνης. Από τεκτονικής άποψης η περιοχή έχει επηρεαστεί από την μεγάλη επώθηση της Πίνδου πάνω στην Ιόνια.

Μετά την αναλυτική περιγραφή των στοιχείων που αφορούν τη διάνοιξη και την υποστήριξη των σιηράγγων της εξεταζόμενης περιοχής, αλλά και της περιοχής όπου θα κατασκευαστεί το φράγμα επί του ποταμού (σε απόσταση 5 περίπου km), δίνονται πληροφορίες για τα γεωυλικά που στη συνέχεια θα βαθμονομηθούν μέσω των συστημάτων ταξινόμησης. Για κάθε ένα από τα γεωυλικά αυτά παρουσιάζονται τα κύρια τεχνικογεωλογικά τους χαρακτηριστικά.

Συντάχτηκε η γεωλογική και η τεχνικογεωλογική μηκοτομή της σήραγγας φυγής του συγκροτήματος του υπόγειου σταθμού παραγωγής με βάση τα αποτελέσματα των στοιχείων των γεωτρήσεων αλλά και των επιτόπου παρατηρήσεων από τις επισκέψεις στην περιοχή. Ο αριθμός των γεωτρήσεων που εξετάστηκαν ήταν συνολικά 24.

Σημαντικό κομμάτι της εργασίας αυτής αποτέλεσε ο ποσοτικός χαρακτηρισμός των βραχωδών γεωυλικών με σκοπό την κατάταξή τους σε κατηγορίες/τύπους, όπως ορίζεται

από τις μεθόδους ταξινόμησης. Ο χαρακτηρισμός βασίστηκε σε περιγραφές και φωτογραφίες από τους πυρήνες δειγματοληψίας, σε συνδυασμό με επιτόπου παρατηρήσεις (χαρτογραφημένα μέτωπα). Για κάθε γεωυλικό παρουσιάζεται ένα εύρος τιμών (μέγιστες – ελάχιστες) με βάση και τις δύο ταξινομήσεις.

Στη συνέχεια, εκτιμάται η συμπεριφορά όλων των τύπων βραχομαζών που συναντήθηκαν. Γίνεται, τέλος, ποιοτική εκτίμηση των απαιτούμενων μέτρων άμεσης υποστήριξης.

ABSTRACT

The subject of this M.Sc thesis is the geotechnical classification of flysch rock masses using the Geological Strength Index (GSI) and Rock Mass Rating (RMR) systems.

The study is focused on the area of the underground works of Metsovitiko Hydroelectric Project, that is in the wider area of the Ioannina Prefecture. The aim of this project is to exploitate the surface runoffs of Metsovitikos river and some amounts of water from the Aoos river. It consists of an 11m high dam and a lot of underground works such as 6 km of tunnels and two large (and rare) excavations, one for the power plant (35 m high, 35 m long and 17 m wide) and a second for the power tunnel surge tank (119 m high, vertical shaft).

Flysch is a formation consisting of various types of sedimentary rocks, mainly siltstones, sandstones and conglomerates and it occupies a considerable area of western Greece. A lot of significant engineering works (mainly dams and highways) in this Greek territory have been constructed in flysch. Although there is a lot of experience in tunneling through these formations, sometimes appear unforeseen conditions during underground excavations. Thus, these geological materials are characterized as difficult for tunneling, due to their special features of lithology, structure, tectonics and ground water conditions.

The flysch bedrock in Metsovitiko area integrates into the Ionian geological zone. The area has also undergone highly tectonic disturbance due to Pindos thrust above Ionian flysch. In this thesis, after an extensive presentation of the design of the whole Metsovitiko project, along with the technical characteristics of tunnels, the geological and geotechnical data referring to the geomaterials (mainly sandstones and conglomerates) that consist the bedrock at the area of study is analyzed, based on the evaluation of all existing data from the drilled boreholes (24 holes) and the in situ observations.

The final part of this study includes the geotechnical classification of each rock type of flysch based on GSI and RMR values and the evaluation of their expected geotechnical behavior in underground excavations and the required primary support measures.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
1.1. Αντικείμενο - σκοπός της διπλωματικής εργασίας.....	15
1.2. Δομή της εργασίας.....	
1.3. Διαθέσιμα στοιχεία.....	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ – ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΥΠΕ	
ΜΕΤΣΟΒΙΤΙΚΟΥ.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ	
ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΥΠΕ ΜΕΤΣΟΒΙΤΙΚΟΥ.....	29
3.1. Γεωμορφολογία.....	29
3.2. Λιθοστρωματογραφία.....	31
3.3. Τεκτονική.....	39
3.4. Σεισμικότητα – Σεισμική επικινδυνότητα.....	42
3.5. Υδρομετεωρολογικό καθεστώς.....	46
3.6. Υδρογεωλογία	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΣΤΕΝΗΣ	
ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ.....	50
4.1. Λιθοστρωματογραφία.....	50
4.2. Τεκτονική.....	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ.....	63
5.1. Γενικά.....	63
5.2. Σύστημα ταξινόμησης RMR (Rock Mass Rating).....	63
5.3. Ταξινόμηση με βάση το Γεωλογικό Δείκτη Αντοχής (GSI).....	73
5.3.1. GSI για ετερογενείς βραχομαζές, όπως ο φλύσχη.....	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ.....	78
6.1. ΤΕ 1: Υγιές συνεκτικό κροκαλοπαγές	78
6.2. ΤΕ 2: Υγιής ιλυόχος ψαμμίτης με μέτριο τεκτονισμό.....	82
6.3. ΤΕ 3: Υγιής ιλύολιθος με ασθενή τεκτονισμό.....	86
6.4. ΤΕ 4: Διατμημένος ιλύολιθος με έντονη τεκτονική καταπόνηση.....	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΑ	
ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΦΥΓΗΣ.....	93
7.1. Τεχνικογεωλογικές συνθήκες.....	93
7.2. Τεχνικογεωλογική μηκοτομή.....	101
7.3. Κατάταξη βραχομαζών φλύσχη.....	103
7.4. Σύγκριση μεταξύ των δύο συστημάτων ταξινόμησης.....	104
7.5. Τεχνικογεωλογική συμπεριφορά.....	105
7.6. Μέτρα άμεσης υποστήριξης.....	110
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	120
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	123
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	127

Λίστα Σχημάτων

Σχήμα 2.1.	Άποψη από δορυφόρο της περιοχής του έργου (από Google Earth).....	18
Σχήμα 2.2.	Τυπική διατομή φράγματος (πηγή: Δ.Ε.Η. Α.Ε.).....	19
Σχήμα 2.3.	Γενική διάταξη – υπόγεια έργα σταθμού (πηγή: ΔΕΗ Α.Ε.).....	21
Σχήμα 2.4.	Φρέαρ ανάπαλσης αγωγού προσαγωγής (πηγή: ΔΕΗ Α.Ε.).....	22
Σχήμα 2.5.	Τυπική διατομή σταθμού παραγωγής (από Δ.Ε.Η. Α.Ε.).....	23
Σχήμα 2.6.	Τυπική διατομή της σήραγγας προσπέλασης, κλίμακα 1:100 (από ΔΕΗ Α.Ε.).....	24
Σχήμα 2.7.	Κατάντη θάλαμος ανάπαλσης της σήραγγας φυγής.....	28
Σχήμα 3.1.	Χάρτης υδρογραφικού δικτύου Δήμου Μετσόβου (πηγή: ΔΕΗ Α.Ε.).....	30
Σχήμα 3.2.	Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη της ευρύτερης περιοχής, κλίμακα 1: 50000, Φύλλα Μέτσοβο(1952) και Πράμαντα (1957), Ι.Γ.Μ.Ε. Σε κόκκινο πλαίσιο απεικονίζεται το συγκρότημα υπογείων έργων σταθμού παραγωγής, σε μπλε πλαίσιο το φράγμα και με μαύρη γραμμή η σήραγγα προσαγωγής.....	32
Σχήμα 3.3.	Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του έργου (Τροποποιημένο σχήμα από ΔΕΗ Α.Ε.).....	33
Σχήμα 3.4.	Στρωματογραφική στήλη της Ιόνιας ζώνης. (Κατά Dercourt et al.,1980).....	34
Σχήμα 3.5.	Στρωματογραφική στήλη της ζώνης Πίνδου. (Κατά Δ. ΜΑΤΑΡΑΓΚΑ κ.α. Από γεωλογικό χάρτη φύλλου «Κλεπάς», κλίμακας 1:50000, Ι.Γ.Μ.Ε., 1985).....	37
Σχήμα 3.4.	Τυπική διατομή των φάσεων εκσκαφής και των μέτρων προστασίας του σταθμού (πηγή: ΔΕ Α.Ε.).....	39
Σχήμα 3.6.	Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών.....	39
Σχήμα 3.7.	Παλαιογεωγραφική – τεκτονική εξέλιξη της ζώνης Γαβρόβου και του γειτονικού της χώρου κατά το Κατώτερο – Μέσο Ολιγόκαινο (πηγή: Fleury, 1980) (από Κατσικάτσο, 1992).....	40
Σχήμα 3.8.	Παλαιογεωγραφική – τεκτονική εξέλιξη της ζώνης Γαβρόβου και του γειτονικού της χώρου κατά το Ανώτερο Ολιγόκαινο – Κατώτερο Μειόκαινο (πηγή: Fleury, 1980) (από Κατσικάτσο, 1992).....	41
Σχήμα 3.9.	Απόσπασμα από τον σεισμοτεκτονικό χάρτη της Ελλάδας, κλίμακα 1:500000, Ι.Γ.Μ.Ε. 1989 και σεισμικά επίκεντρα που έχουν καταγραφεί στην ευρύτερη περιοχή του έργου.....	43
Σχήμα 3.10	Χάρτης σεισμικών epicέντρων σε ακτινική απόσταση 100 km από την περιοχή ενδιαφέροντος που αφορούν τη χρονική περίοδο 1-1-1964 έως 1-8-2015 (πηγή: Γεωδυναμικό Ινστιτούτο).....	44
Σχήμα 3.11	Οι τρεις κατηγορίες (III, II, I) ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας στις οποίες χωρίστηκε ο Ελληνικός χώρος, σύμφωνα με τις πλέον πρόσφατες τροποποιήσεις του ΕΑΚ2000 το 2003, λόγω αναθεώρησης του χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας.....	45
Σχήμα 3.12	Βροχομετρικός Χάρτης της Ελλάδας με βάση τα στοιχεία της ΔΕΗ για την περίοδο 1950 – 1974 (από ΙΓΜΕ 1993) (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).....	47
Σχήμα 4.1.	Τομή γεωτρήσεων κατά μήκος της σήραγγας φυγής (Τροποποιημένο σχήμα από ΔΕΗ Α.Ε.).....	57
Σχήμα 4.2.	Γεωλογική τομή κατά μήκος της σήραγγας φυγής (Τροποποιημένο σχήμα από ΔΕΗ Α.Ε.).....	58

Σχήμα 4.3.	Χάρτης ενεργών ρηγμάτων και σεισμογενών πηγών του συστήματος των Ελληνίδων (πηγή: Greek Database of Seismogenic Sources).....	60
Σχήμα 5.1.	Διάγραμμα υπολογισμού της αντοχής σε ανεμπόδιση θλίψη του ακέραιου πετρώματος με βάση το μέσο όρο των μετρήσεων σκληρότητας (SHV) και της πυκνότητάς του (ρ_d) (Deere & Miller, 1966).....	66
Σχήμα 5.2.	Παράδειγμα υπολογισμού RQD.....	67
Σχήμα 5.3.	Τυπικά προφίλ τραχύτητας και οι αντίστοιχες τιμές JRC για το καθένα (Barton & Choubey, 1977).....	69
Σχήμα 5.4.	Βασικό διάγραμμα του Γεωλογικού Δείκτη Αντοχής (GSI) (Hoek & Marinos, 2000).....	75
Σχήμα 5.5.	Δείκτης Γεωλογικής Αντοχής GSI για ετερογενείς βραχομάζες (V. Marinos, 2007).....	77
Σχήμα 7.1.	Κατολίσθηση του 1987 (δορυφορική εικόνα από Google earth).....	99
Σχήμα 7.2.	Τεχνικογεωλογική - Γεωτεχνική τομή κατά μήκος της σήραγγα φυγής (Τροποποιημένο από ΔΕΗ Α.Ε.).....	102
Σχήμα 7.3.	Σήραγγα φυγής. Ταξινομήσεις RMR (με τη διόρθωση λόγω προσανατολισμού ασυνεχειών) και GSI.....	103
Σχήμα 7.4.	Πίνακας τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς βραχομαζών (Marinos V. 2012)..	107
Σχήμα 7.5.	Τεχνικογεωλογική συμπεριφορά κατά μήκος της σήραγγας φυγής.....	110
Σχήμα 7.6.	Τυπική διατομή των φάσεων εκσκαφής και των μέτρων προστασίας του σταθμού (πηγή: ΔΕΗ Α.Ε.).....	115
Σχήμα 7.7.	Τυπική διατομή της σήραγγας προσπέλασης, κλίμακα 1:100 (από ΔΕΗ Α.Ε.).....	118

Λίστα Φωτογραφιών

Φωτογραφία 2.1.	Διαδικασία κατασκευής εδαφοπασσάλων τύπου jet grouting.....	20
Φωτογραφία 2.2.	Τοποθέτηση οπλισμένου διαφράγματος.....	20
Φωτογραφία 2.3.	Οροφή και Β' φάση σταθμού παραγωγής.....	23
Φωτογραφία 2.4.	Διακλάδωση εντός της σήραγγας προσπέλασης. Δεξιά προς σταθμό παραγωγής. Αριστερά προς κατάντη θάλαμο ανάπαλσης.....	24
Φωτογραφία 2.5.	Είσοδος στη σήραγγα προσπέλασης. Διακρίνονται ακόμη τα βάθρα της γέφυρας Μεγάλου Περιστερίου (Εγνατία Οδός) και ο Μετσοβίτικος ποταμός.....	25
Φωτογραφία 2.6.	Κεκλιμένη σήραγγα καλωδίων και διαφυγής (λήψη από σήραγγα προσπέλασης).....	25
Φωτογραφία 2.7.	Έξοδος σήραγγας καλωδίων – διαφυγής. Πάνω από τη σήραγγα διακρίνεται ο σχηματισμός του κροκαλοπαγούς με τη χαρακτηριστική στρωσιγένεια. Δεξιά, η γέφυρα του Μεγάλου Περιστερίου (Εγνατία Οδός).....	26
Φωτογραφία 2.8.	Σήραγγα φυγής.....	27
Φωτογραφία 2.9.	Τελικό στάδιο σκυροδέτησης του κατάντη θαλάμου ανάπαλσης.....	27
Φωτογραφία 3.1.	Γενική άποψη περιοχής ενδιαφέροντος, όπου διακρίνεται η γέφυρα της Εγνατίας Οδού και ο Μετσοβίτικος ποταμός.....	31
Φωτογραφία 4.1.	Πυρήνας δειγματοληψίας από γεώτρηση στην περιοχή του φρέατος ανάπαλσης (MB-4) όπου απεικονίζεται ιλυόλιθος σε επαφή με κροκαλοπαγές.....	51

Φωτογραφία 4.2.	Τυπική μορφή τεφρού λεπτο-μεσοστρωματώδους ιλυολίθου με αραιές λεπτοστρωματώδεις ψαμμιτικές ενστρώσεις. Διακρίνεται η χαρακτηριστική μορφή επιφανειακής αποσάθρωσης (σχάσης) του σχηματισμού.....	51
Φωτογραφία 4.3.	Λεπτο-μεσοστρωματώδεις ιλυόχοι ψαμμίτες.....	52
Φωτογραφία 4.4.	Μετάβαση κροκαλοπαγούς σε χονδρόκοκκο ψαμμίτη και βαθμιαία σε συμπαγή ιλυόχο ψαμμίτη (γεώτρηση ΜΕ/ΣΤ-3).....	52
Φωτογραφία 4.5.	Μεσοστρωματώδης ψαμμίτης. Πυκνό δίκτυο ασυνεχειών (διακλάσεων). Διακρίνεται ασυνέχεια πληρωμένη με ασβεστιτικό υλικό.....	53
Φωτογραφία 4.6.	Επαφή σκληρού μαζικού κροκαλοπαγούς με λεπτο-μεσοστρωματώδη ψαμμίτη, ο οποίος διατέμνεται από πυκνό σύστημα διακλάσεων.....	53
Φωτογραφία 4.7.	Πυρήνας δειγματοληψίας που αντιστοιχεί στο σκληρό πολύμικτο μαζικό κροκαλοπαγές.....	54
Φωτογραφία 4.8.	Χαρακτηριστική εμφάνιση της στρωσιγένειας που εμφανίζει ο σχηματισμός των κροκαλοπαγών.....	54
Φωτογραφία 4.9.	Γενική άποψη της περιοχής, όπου διακρίνεται τόσο το αλπικό υπόβαθρο όσο και οι πρόσφατες αποθέσεις.....	56
Φωτογραφία 4.10.	Επώθηση της πινδικής ενότητας πάνω στην Ιόνια (περιοχή φρέατος ανάπαλσης, βάθος 10 m περίπου).....	61
Φωτογραφία 4.11.	Ιλυόλιθος γκρίζος έντονα διαταραγμένος.....	61
Φωτογραφία 4.12.	Ιλυόλιθος σκουρότεφρος που χαρακτηρίζεται από έντονη τεκτονική καταπόνηση και αυξημένη υγρασία, με ασβεστολιθικά τεμάχια. Χαστικό μείγμα.....	62
Φωτογραφία 6.1.	Επιφανειακή εμφάνιση κροκαλοπαγούς, όπου είναι εμφανής η έντονη στρωσιγένεια καθώς και το παρακατακόρυφο σύστημα διακλάσεων που διατρέχει τη μάζα του.....	79
Φωτογραφία 6.2.	Δημιουργία πλατιάς διαβρωμένης ζώνης (από την ενοποίηση δύο κατακόρυφων διακλάσεων), εξαιτίας της κυκλοφορίας του νερού μέσω των διακλάσεων αυτών.....	80
Φωτογραφία 6.3.	Επιφάνεια ψαμμιτικής ασυνέχειας.....	84
Φωτογραφία 6.4.	Χαρακτηριστική επιφανειακή εμφάνιση ιλυολίθου με ψαμμιτικές και ασβεστολιθικές ενστρώσεις.....	90
Φωτογραφία 6.5.	Χαρακτηριστική επιφανειακή εμφάνιση ιλυολίθου με ψαμμιτικές και ασβεστολιθικές ενστρώσεις.....	90
Φωτογραφία 7.1.	Χρήση εκρηκτικών και μηχανικών μέσων για την προχώρηση της διάνοιξης (συμβατική μέθοδος).....	93
Φωτογραφία 7.2.	Μέτωπο κατά την προχώρηση της σήραγγας φυγής στη Χ.Θ. 4+812....	96
Φωτογραφία 7.3.	Μέτωπο κατά την προχώρηση της σήραγγας φυγής στη Χ.Θ. 4+837..	97
Φωτογραφία 7.4.	Μέτωπο κατά την προχώρηση της σήραγγας φυγής στη Χ.Θ. 4+869...	97
Φωτογραφία 7.5.	Το άνω μέρος του μετώπου στη Χ.Θ. 4+869.....	98
Φωτογραφία 7.6.	Η κατολίσθηση του 1987 στην περιοχή του συγκροτήματος υπόγειων έργων (λήψη από γέφυρα Μεγάλου Περιστερίου της Εγνατίας Οδού)..	99
Φωτογραφία 7.7.	Η ίδια κατολίσθηση με τη φωτογραφία 7.6. στην περιοχή του φρέατος ανάπαλσης.....	100
Φωτογραφία 7.8.	Περιοχή εξόδου σήραγγας φυγής.....	101
Φωτογραφία 7.9.	Εκσκαφή – αποκομιδή προϊόντων εκσκαφής φρέατος ανάπαλσης.....	113
Φωτογραφία 7.10.	Απεικόνιση μέτρων άμεσης υποστήριξης φρέατος ανάπαλσης. Στο κάτω μέρος διακρίνεται ο διατηρημένος ιλυολιθικός σχηματισμός (μέτωπο επώθησης).....	114

Φωτογραφία 7.11.	Τοποθέτηση μεταλλικών πλαισίων στην περιοχή του φρέατος ανάπαλσης.....	115
Φωτογραφία 7.12.	Κεφαλή προεντεταμένου αγκυρίου, τοποθετημένο με ανοδική κλίση σε τοίχωμα του σταθμού.....	117
Φωτογραφία 7.13.	Διαδικασία κατασκευής κατάντη θαλάμου ανάπαλσης. Κάτω δεξιά φαίνεται ο δεξιός κλάδος φυγής, εξερχόμενος του σταθμού.....	119

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 3.1.	Σεισμοί μεγέθους άνω των 5,0 R από το 1964 μέχρι σήμερα.....	44
Πίνακας 3.2.	Πίνακας κατηγοριοποίησης εδαφών με βάση το NEAK2000.....	46
Πίνακας 3.3.	Κατηγορίες συντελεστών διαπερατότητας κατά TERZAGHI AND PECK (1967).....	48
Πίνακας 5.1.	Κατηγορίες πετρωμάτων με βάση την αντοχή σ_{ci} (Deere & Miller).....	64
Πίνακας 5.2.	Ταξινόμηση αέριου πετρώματος με βάση το δείκτη σημειακής φόρτισης $IS_{(50)}$ (BIENIAWSKI, 1975).....	64
Πίνακας 5.3.	Ταξινόμηση βραχώδους υλικού με βάση την αντοχή του σε μοναξονική θλίψη (I.S.R.M., 1981). (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2002).....	65
Πίνακας 5.4.	Σύστημα ταξινόμησης βραχομάζας RMR (Bieniawski, 1989).....	71
Πίνακας 5.5.	Σημασία του προσανατολισμού ασυνεχειών σε σήραγγα (Wickham et al., 1972).....	71
Πίνακας 5.6.	Επιλογή μέτρων υποστήριξης σε σήραγγα πεταλοειδούς διατομής, εύρους 10 μέτρων (Bieniawski, 1989).....	72
Πίνακας 7.1.	Πρότυπη διατομή προσωρινής υποστήριξης για το σκληρό μαζικό κροκαλοπαγές.....	111
Πίνακας 7.2.	Πρότυπη διατομή προσωρινής υποστήριξης για τον ιλυούχο ψαμμίτη και το χαλαρό κροκαλοπαγές.....	111
Πίνακας 7.3.	Πρότυπη διατομή προσωρινής υποστήριξης για τον υγιή ιλύολιθο.....	112
Πίνακας 7.4.	Πρότυπη διατομή προσωρινής υποστήριξης για τον διατμημένο ιλύολιθο...	112
Πίνακας 8.1.	Συγκεντρωτικές ταξινομήσεις RMR ανά σχηματισμό.....	121
Πίνακας 8.2.	Συγκεντρωτικές ταξινομήσεις GSI ανά σχηματισμό.....	121

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Αντικείμενο – σκοπός της διπλωματικής εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η γεωτεχνική ταξινόμηση των βραχομαζών του φλύσχη με τα συστήματα GSI και RMR στα υπόγεια έργα του Υδροηλεκτρικού Έργου Μετσοβίτικου. Ο συγκεκριμένος γεωλογικός σχηματισμός μελετάται λόγω της ιδιαιτερότητας και της τεχνικής δυσκολίας των βραχομαζών του, αλλά και της πληθώρας τεχνικών έργων στην Ελλάδα που κατασκευάζονται σε περιβάλλον φλύσχη. Η προσοχή που απαιτείται στη μελέτη και κατασκευή έργων στο σχηματισμό αυτό έγκειται τόσο στη λιθολογία του, όσο και στη δομή του. Πρόκειται για ετερογενές πέτρωμα με συμμετοχή γεωυλικών χαμηλής αντοχής που συνήθως είναι ιλυόλιθοι, μάργες, αργιλόλιθοι και αργιλοκοί σχιστόλιθοι, δηλαδή πετρώματα πηλινικής σύστασης. Ο σχηματισμός του φλύσχη συνδέεται με πρόσφατη γεωλογική δραστηριότητα, με ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του την τεκτονική καταπόνηση, η οποία στη Δυτική Ελλάδα – όπου εντάσσεται η εξεταζόμενη περιοχή – παρουσιάζεται εντονότερη. Τονίζεται ότι η ταξινόμηση σε φλυσχικούς σχηματισμούς συναντά πολλές φορές δυσκολίες λόγω της πληθώρας και ποικιλίας λιθοτύπων που σχηματίζει το συγκεκριμένο ετερογενές γεωυλικό. Αυτές αφορούν εναλλαγές κυρίως ψαμμιτών και ιλυολίθων με διαφορετική ποσότητα αλλά και πάχη στρωμάτωσης.

Η χρήση συστημάτων ταξινόμησης με σκοπό τον ποσοτικό χαρακτηρισμό της βραχομάζας αποτελεί πλέον αναπόσπαστο κομμάτι στα πλαίσια του σχεδιασμού ενός υπόγειου έργου, με τις πιο γνωστές μεθόδους ταξινόμησης να έχουν ήδη εφαρμοστεί σε εκατοντάδες τεχνικά έργα. Μέσω της εφαρμογής τους εκτιμώνται οι μηχανικές παράμετροι του βραχώδους υλικού. Η χρήση τους λαμβάνει υπόψη χαρακτηριστικά, όπως η δομή, η αντοχή του άρρηκτου βράχου, οι επιφάνειες των ασυνεχειών, η ποιότητα και το πλήθος των ασυνεχειών, η παρουσία νερού κ.α. Η αρχική φιλοσοφία γύρω από την δημιουργία τους είναι η εμπειρική εκτίμηση της υποστήριξης υπόγειων τεχνικών έργων. Ωστόσο, βασική προϋπόθεση για μια ρεαλιστική προσέγγιση είναι η συστηματική εφαρμογή τους και σε όλα τα στάδια υλοποίησης του έργου αλλά και η αξιοπιστία των δεδομένων όσον αφορά τα χαρακτηριστικά της βραχομάζας. Ειδικότερα, κατά τη διάνοιξη σηράγγων απαιτείται ταξινόμηση σε όσο το δυνατόν περισσότερα μέτωπα μέσω της γεωλογικής – τεχνικογεωλογικής αποτύπωσής τους. Εδώ πρέπει να τονιστεί η σημασία της «γεωλογικής ταυτότητας» των γεωυλικών, η συμπεριφορά, δηλαδή, των βραχομαζών κατά τη διάνοιξη σηράγγων και πριν την εφαρμογή οποιασδήποτε υποστήριξης.

Η μελέτη εστιάστηκε στην Ήπειρο, στο Νομό Ιωαννίνων και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή όπου κατασκευάζεται το συγκρότημα υπογείων έργων του σταθμού παραγωγής, για υδροηλεκτρική εκμετάλλευση των υδάτων του Μετσοβίτικου ποταμού από την ΔΕΗ Α.Ε. Το υπόβαθρο αποτελείται από φλυσχικούς σχηματισμούς της Ιόνιας γεωτεκτονικής ζώνης, ενώ η περιοχή έχει επηρεαστεί τεκτονικά από την μεγάλη επωθητική κίνηση της Πίνδου πάνω στην Ιόνια.

Σημειώνεται ότι στα πλαίσια της μελέτης πραγματοποιήθηκαν δύο πολυήμερες επισκέψεις στο έργο, τον Ιούλιο και τον Σεπτέμβριο του 2015 και υπήρξε η δυνατότητα παρακολούθησης των εργασιών, με ιδιαίτερη έμφαση στην περιοχή όπου πραγματοποιείται η διάνοιξη της σήραγγας φυγής και του φρέατος ανάπαλσης. Καθώς τα περισσότερα υπόγεια έργα βρίσκονται σε στάδιο εκσκαφής – προσωρινής υποστήριξης, υπήρξε η δυνατότητα αποτύπωσης πληθώρας μετώπων μέσω της χαρτογράφησης τους, η οποία περιλαμβάνει τόσο μετρήσεις του προσανατολισμού των κύριων διακλάσεων, όσο και γεωτεχνική ταξινόμηση.

Κάποια από τα στοιχεία που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά των υπόγειων έργων, και στα οποία γίνεται εκτενής αναφορά σε επόμενο κεφάλαιο, ενδέχεται να έχουν αλλάξει μέχρι την περάτωση της παρούσας εργασίας καθώς τα έργα αυτά βρίσκονται ακόμη σε φάση εκσκαφής.

1.2. Δομή της διπλωματικής εργασίας

Η εργασία διαρθρώνεται ως εξής:

Ύστερα από μία σύντομη εισαγωγή ως προς το αντικείμενο της εργασίας και την προέλευση των διαθέσιμων στοιχείων, στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του συγκροτήματος υπογείων έργων του σταθμού παραγωγής στο ΥΗΕ Μετσοβίτικου.

Στο τρίτο (3^ο) κεφάλαιο, περιγράφονται τα στοιχεία της ευρύτερης περιοχής, διερευνάται δηλαδή η γεωλογική σύσταση, η τεκτονική, η σεισμικότητα και τα στοιχεία σεισμικής επικινδυνότητας, το υδρογεωλογικό καθεστώς και τέλος τα υδρομετεωρολογικά δεδομένα.

Ακολούθως (4^ο κεφάλαιο), με βάση τη συγκέντρωση και αξιολόγηση των στοιχείων από τις γεωτρήσεις που είχαν εκτελεστεί στα πλαίσια γεωερευνητικών προγραμμάτων, αλλά και υπαίθριων δεδομένων που συλλέχτηκαν από χαρτογραφήσεις της περιοχής μελέτης, διερευνάται η στρωματογραφική διάρθρωση των γεωλογικών σχηματισμών.

Στο πέμπτο (5^ο) κεφάλαιο περιγράφονται αναλυτικά τα χρησιμοποιούμενα συστήματα ταξινόμησης που αποτέλεσαν εργαλεία για τη βαθμονόμηση των βραχομαζών που συναντήθηκαν. Τα συστήματα που πραγματεύεται η παρούσα εργασία είναι το RMR και το GSI. Ειδικά για τον ποσοτικό χαρακτηρισμό μέσω του συστήματος GSI χρησιμοποιείται τόσο ο βασικός πίνακας, όσο και ο συμπληρωματικός για την περίπτωση ετερογενών βραχομαζών.

Μετά την αποτύπωση των γεωλογικών συνθηκών, στο 6^ο κεφάλαιο διακρίνονται οι σχηματισμοί σε τεχνικογεωλογικές ενότητες με σκοπό τη βαθμονόμησή τους με τα συστήματα ταξινόμησης που αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Στο 7^ο κεφάλαιο, παρατίθενται οι τεχνικογεωλογικές συνθήκες κατά μήκος της σήραγγας φυγής και εκτιμάται η τεχνικογεωλογική συμπεριφορά με βάση τους πιθανούς μηχανισμούς αστοχίας. Παρουσιάζονται, επίσης, τα μέτρα άμεσης υποστήριξης.

Τέλος, στο 8^ο κεφάλαιο συγκεντρώνονται τα βασικά συμπεράσματα της παρούσας εργασίας και παρουσιάζονται σε συγκεντρωτικούς πίνακες τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων και των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων.

1.3. Διαθέσιμα στοιχεία

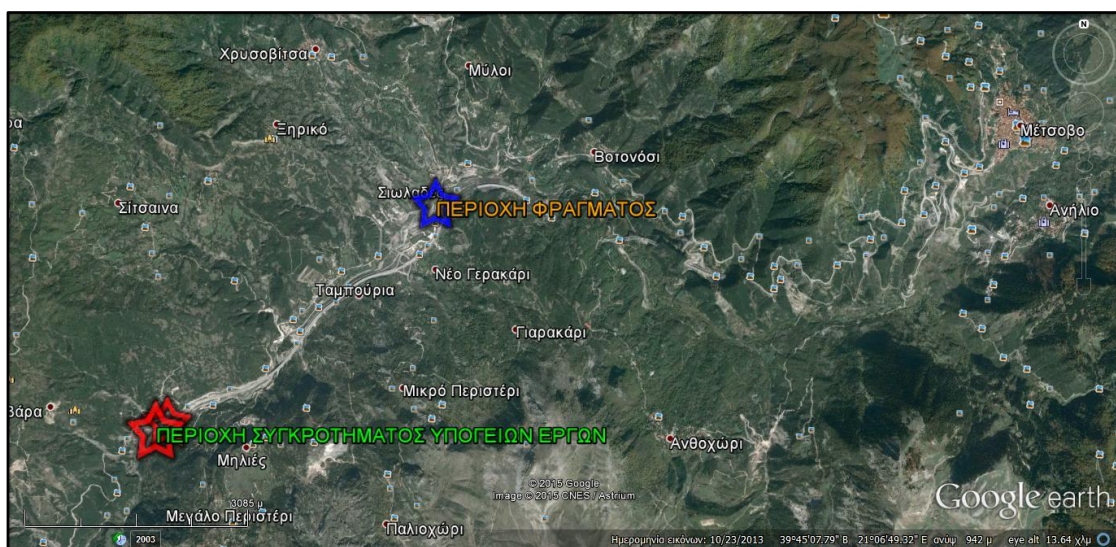
Προκειμένου να επιτευχθεί ο σκοπός της εργασίας, συγκεντρώθηκαν και αξιοποιήθηκαν τα ακόλουθα:

- ✓ Συγκέντρωση βιβλιογραφικών στοιχείων, επιστημονικών εργασιών, προγενέστερων μελετών και διαδικτυακών πληροφοριών που αναφέρονται τόσο στην ευρύτερη περιοχή, όσο και στην περιοχή του εξεταζόμενου συγκροτήματος υπογείων έργων. Πλήθος πληροφοριών προσφέρθηκε από την ΔΕΗ Α.Ε.
- ✓ Γεωλογική Μελέτη του ΥΗΕ Μετσοβίτικου που εκπονήθηκε από την Δ.Ε.Η – Δ.Α.Υ.Ε.
- ✓ Τεχνικές προδιαγραφές για το ΥΗΕ Μετσοβίτικου που εκπονήθηκε από το Κ.Ε.Ψ.Ε Π-Α.
- ✓ Δορυφορικές εικόνες, χάρτες: Τοπογραφικοί, Γεωλογικοί του Ι.Γ.Μ.Ε., Υδρομετεωρολογικοί, Υδρογραφικοί, Σεισμικής επικινδυνότητας, Ενεργών - νεοτεκτονικών ρηγμάτων.
- ✓ Τομές (μητρώα) από γεωτρήσεις που είχαν διατηρηθεί για τις ανάγκες των πρώτων πέντε (5) γεωερευνητικών προγραμμάτων. Έμφαση δόθηκε στη λεπτομερή αποτύπωση των 9 γεωτρήσεων κατά μήκος της σήραγγας εξόδου/φυγής, συνολικού μήκους δειγματοληψίας 724,7 m. Η αξιολόγηση όμως των αποτελεσμάτων, με στόχο τη στατιστική κατανομή των στοιχείων που θα καθορίσουν την ταξινόμηση βασίστηκε σε όλες τις γεωτρήσεις του συγκροτήματος υπογείων έργων του σταθμού παραγωγής (24 στο σύνολο).
- ✓ Φωτογραφίες πυρήνων δειγματοληψίας από τις προαναφερθείσες γεωτρήσεις.
- ✓ Επιτόπου εκτίμηση του Δείκτη Ποιότητας Βραχομάζας (RQD).
- ✓ Επιτόπου μετρήσεις προσανατολισμού ασυνεχειών.
- ✓ Χαρτογραφήσεις μετώπων σιράγγων.
- ✓ Πιεζομετρικές στάθμες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ – ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΥΗΕ ΜΕΤΣΟΒΙΤΙΚΟΥ

Το φράγμα κατασκευάζεται επί του Μετσοβίτικου ποταμού και αποτελεί έργο αναρίθμησης και υδροηλεκτρικής αξιοποίησης των εκροών του ΥΗΣ Πηγών Αώου αλλά και μέρους των απορροών του ποταμού Μετσοβίτικου, με σκοπό την υδροδυναμική εκμετάλλευση με ύψος πτώσεως 110 m. Φορέας υλοποίησης των έργων είναι η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ Α.Ε.). Η περιοχή διοικητικά ανήκει στην Περιφέρεια Ηπείρου, Νομό Ιωαννίνων και Δήμο Μετσόβου (πρώην Δήμος Εγνατίας). Πιο συγκεκριμένα, τα έργα ξεκινούν αμέσως μετά το έργο εξόδου της σήραγγας φυγής του ΥΗΕ Πηγών Αώου, στο 43^ο χιλιόμετρο της Εθνικής Οδού Ιωαννίνων – Τρικάλων και εκτείνονται μέχρι 5 km περίπου κατάντη (Σχήμα 2.1).



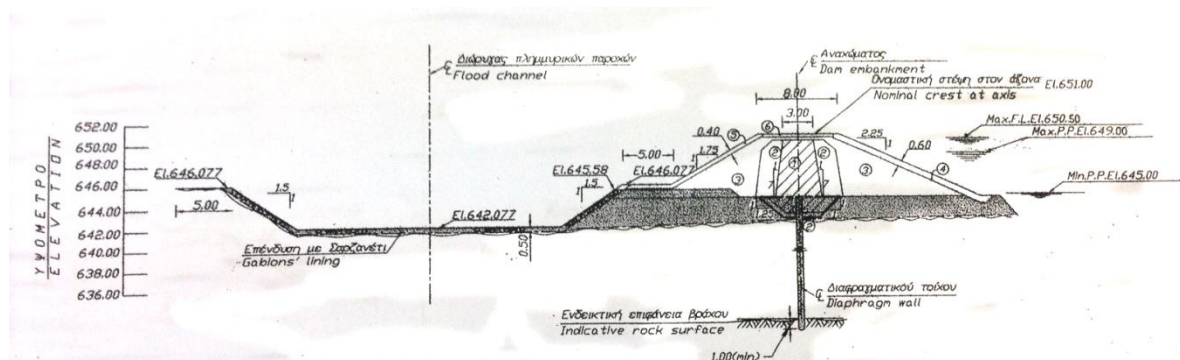
Σχήμα 2.1. Άποψη από δορυφόρο της περιοχής του έργου (από Google Earth)

Το μέγιστο ύψος του φράγματος θα είναι 11 m, πρόκειται δηλαδή για ένα μικρό φράγμα (διότι είναι <30 m) με ωφέλιμη χωρητικότητα ταμιευτήρα της τάξης των $260 \cdot 10^3 \text{ m}^3$. Άλλα τεχνικά χαρακτηριστικά του έργου είναι:

- Μήκος στέψης: 850 m
- Υψόμετρο στέψης: +651 m
- Ανώτατη στάθμη πλημμύρας (Α.Σ.Π.): +650,4 m
- Ανώτατη στάθμη λειτουργίας (Α.Σ.Λ.): +749 m
- Παροχευτικότητα στην Α.Σ.Π.: $50 \text{ m}^3/\text{sec}^3$

- Σήραγγα προσαγωγής: μήκος 4.430 m, διάμετρος εκσκαφής 3,7 m
- Υδροηλεκτρικός σταθμός: υπόγειος, 2·14,5 MW
- Άλλα υπόγεια έργα: Φρέαρ ανάπαλσης, θάλαμος ανάπαλσης, αρκετές άλλες βοηθητικές σήραγγες

Ο υπερχειλιστής θα είναι ανοικτός και πλευρικός, χωρίς θηροφράγματα. Το φράγμα θα είναι χωμάτινο με κεντρικό αργιλικό πυρήνα, ο οποίος θα εκτείνεται με τη μορφή τάφρου πυρήνα. Κάτω από τον πυρήνα και μέχρι το βραχώδες υπόβαθρο θα κατασκευαστεί διάφραγμα τσιμεντομπεντονίτη που θα αποτελεί αδιαπέρατο στοιχείο (Σχήμα 2.2.). Η κατασκευή της τάφρου, που θα αποτελεί βάση του αργιλικού πυρήνα του φράγματος, ύψους 3 m περίπου, προβλέπεται να γίνει πριν την κατασκευή του διαφράγματος. Όσον αφορά την κατασκευή του διαφραγματικού τοίχου, θα έχει πάχος 80 cm και η εκσκαφή του θα «συναντά» αρχικά άργιλο, κατόπιν θα εκτείνεται εντός του σχηματισμού των αμμοχάλικων, που στην περιοχή το πάχος τους κυμαίνεται από 8 έως 14 m και θα καταλήγει εντός του βραχώδους υποβάθρου, όπου η εκσκαφή θα προχωρά σε βάθος τουλάχιστον 1 m.



Σχήμα 2.2. Τυπική διατομή φράγματος (πηγή: Δ.Ε.Η. Α.Ε.).

Επιπρόσθετα, για τη στεγανοποίηση της περιοχής μεταξύ του έργου της ορεινής υδροληψίας και του αριστερού αντερείσματος του ΥΗΕ Μετσοβίτικου κατασκευάστηκαν εδαφοπάσσαλοι τύπου jet grouting, σε μικρή απόσταση μεταξύ τους και σε διπλή σειρά ώστε να αποτελέσουν ένα αδιαπέρατο διάφραγμα (Φωτογραφία 2.1).

Τέλος, στην περιοχή του φράγματος χρησιμοποιήθηκε, εκτός του διαφράγματος τσιμεντομπεντονίτη, ακόμη ένα αδιαπέρατο στοιχείο. Πρόκειται για την κατασκευή οπλισμένου διαφραγματικού τοίχου (Φωτογραφία 2.2).



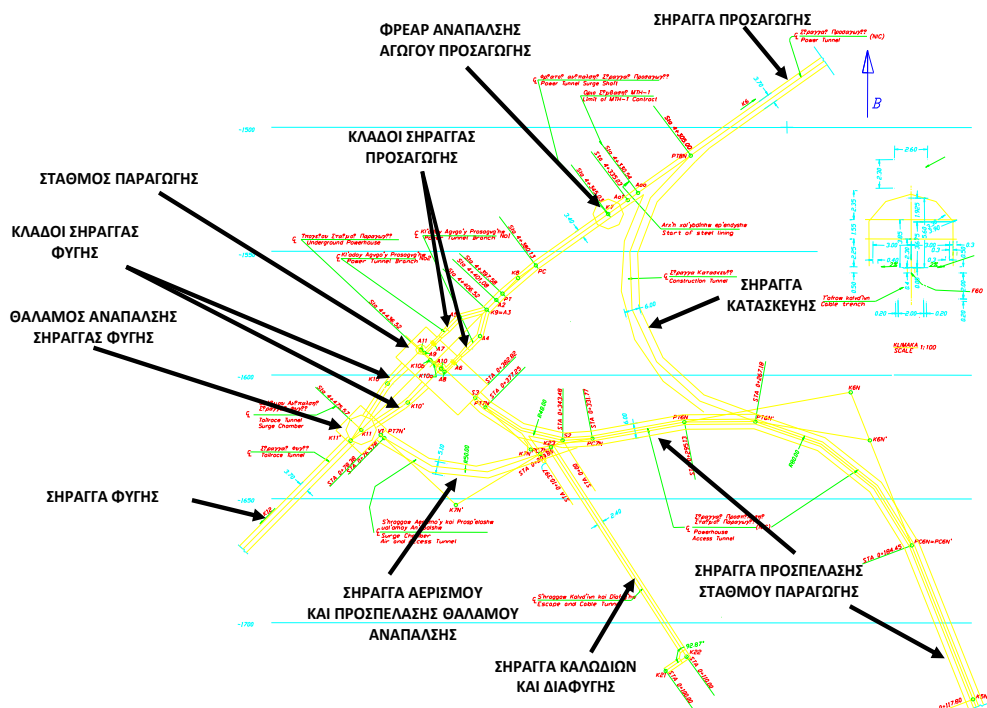
Φωτογραφία 2.1. Διαδικασία κατασκευής εδαφοπασσάλων τύπου jet grouting



Φωτογραφία 2.2. Τοποθέτηση οπλισμένου διαφράγματος

Στην συγκεκριμένη εργασία, βασικό πεδίο ενδιαφέροντος αποτελούν τα υπόγεια έργα στην περιοχή του υπόγειου σταθμού παραγωγής, σε απόσταση 4 km περίπου από την περιοχή του φράγματος. Γενική διάταξη του εν λόγω συγκροτήματος υπόγειων έργων δίνεται στο ακόλουθο σχήμα 2.3.

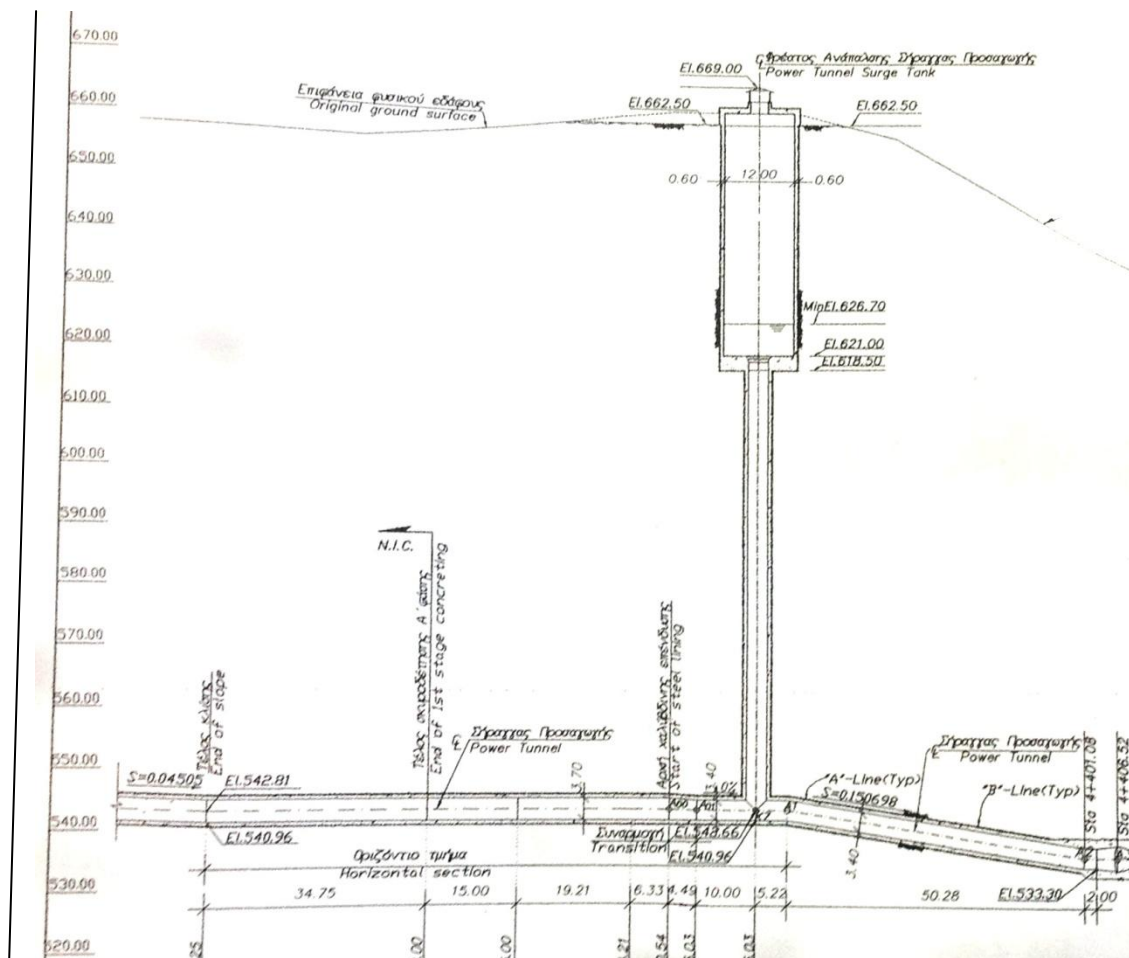
ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΡΓΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΣΤΑΘΜΟΥ



Σχήμα 2.3. Γενική διάταξη – υπόγεια έργα σταθμού (πηγή: ΔΕΗ Α.Ε.)

Σε εξέλιξη βρίσκεται η κατασκευή δύο μεγάλων υπόγειων εκσκαφών. Πρόκειται για το φρέαρ ανάπαλσης του αγωγού προσαγωγής και για τον υπόγειο θάλαμο του σταθμού παραγωγής.

Το φρέαρ ανάπαλσης αποτελεί σπάνια κατασκευή για τα δεδομένα του Ελληνικού χώρου. Συναντάται συνήθως σε μεγάλα φράγματα σαν φρέαρ ανάπαλσης ή σε μεγάλου μήκος σήραγγες σαν φρέαρ αερισμού. Στο συγκεκριμένο υδροηλεκτρικό έργο έχει συνολικό ύψος 119 m (υψόμετρο +662,5 m) και διάμετρο εκσκαφής από 14 m (επιφάνεια εδάφους) έως 5 m (κατώτερο τμήμα). Τα υψόμετρα μέγιστης και ελάχιστης στάθμης θα είναι 662,3 και 626,7 αντίστοιχα (Σχήμα 2.4).



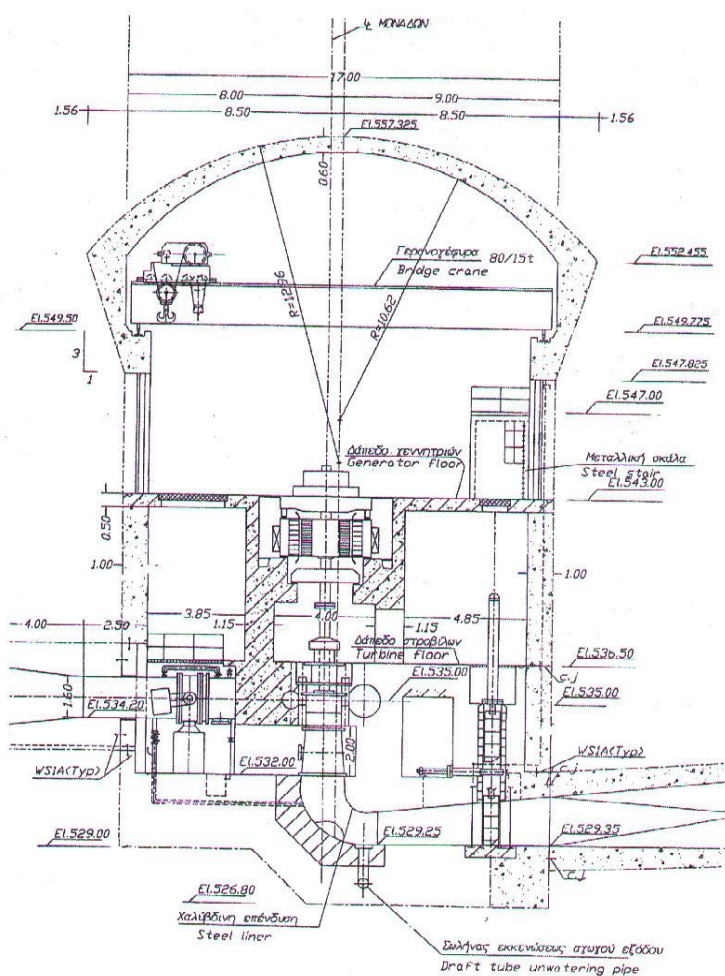
Σχήμα 2.4. Φρέαρ ανάπαλσης αγωγού προσαγωγής (από ΔΕΗ Α.Ε.)

Ο υπόγειος θάλαμος του σταθμού παραγωγής θα έχει ύψος 30,7 m, μήκος 35,5 m και πλάτος 17 m (Σχήμα 2.5). Μέχρι σήμερα έχει γίνει εκσκαφή του σταθμού σε ύψος 12 m από την οροφή, σε βάθος 60 m περίπου από την επιφάνεια του εδάφους (Φωτογραφία 2.3). Πρόκειται για υπόγεια εκσκαφή πολύ μεγάλων διαστάσεων που σε συνδυασμό με τις περιορισμένες μηχανικές αντοχές της βραχομάζας απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή και για το λόγο αυτό επιλέχθηκε τμηματική εκσκαφή.

Ο συγκεκριμένος υδροηλεκτρικός σταθμός είχε σχεδιαστεί αρχικά να είναι υπέργειος, όμως η επιλογή αυτή απορρίφθηκε εξαιτίας των ενεργών κατολισθητικών φαινομένων (λασπορροές – ερπυσμοί) σε μία περιοχή τεκτονικά διαταραγμένη λόγω της επώθησης. Έτσι, λοιπόν, επιλέχθηκε η λύση ενός υπόγειου θαλάμου μεγάλων διαστάσεων.



Φωτογραφία 2.3. Οροφή και Β' φάση σταθμού παραγωγής

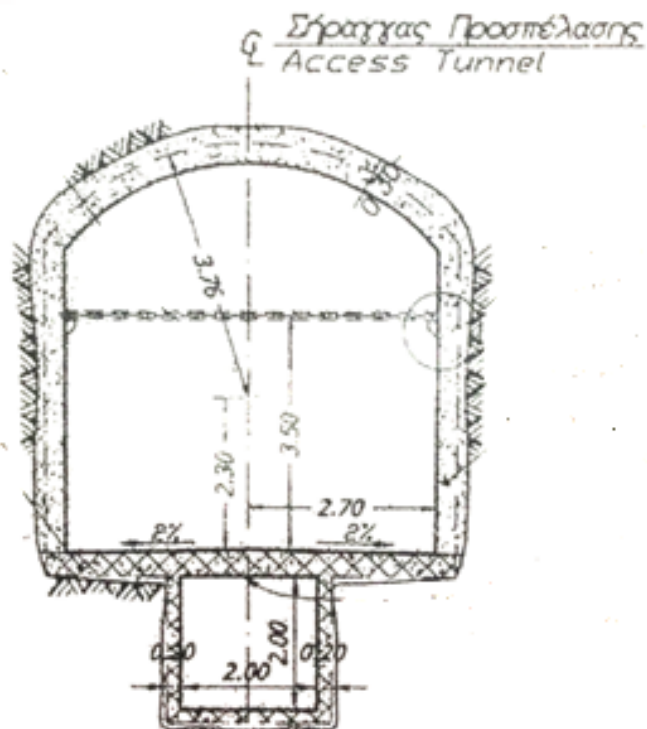


Σχήμα 2.5. Τυπική διατομή σταθμού παραγωγής (από Δ.Ε.Η. Α.Ε.)

Η πρόσβαση προς το σταθμό, προς τη σήραγγα καλωδίων – διαφυγής, τη σήραγγα προσαγωγής και τον θάλαμο ανάπαλσης της σήραγγας φυγής γίνεται μέσω της **σήραγγας προσπέλασης** (Φωτογραφίες 2.4. και 2.5). Η διάνοιξη της έχει ολοκληρωθεί. Το μήκος της σήραγγας είναι 78 m και εσωτερική της διάμετρος 5,4 m (Σχήμα 2.6).



Φωτογραφία 2.4. Διακλάδωση εντός της σήραγγας προσπέλασης. Δεξιά προς σταθμό παραγωγής. Αριστερά προς κατάντη θάλαμο ανάπαλσης



Σχήμα 2.6. Τυπική διατομή της σήραγγας προσπέλασης (πηγή: ΔΕΗ Α.Ε.)



Φωτογραφία 2.5. Είσοδος στη σήραγγα προσπέλασης. Διακρίνονται ακόμη τα βάθρα της γέφυρας Μεγάλου Περιστερίου (Εγνατία Οδός) και ο Μετσοβίτικος ποταμός.

Ακόμα μία σήραγγα που έχει διανοιχτεί στην υπό μελέτη περιοχή είναι η **κεκλιμένη σήραγγα καλωδίων και διαφυγής** που έχει μήκος 110 m και εσωτερική διάμετρο 2,4 m (Φωτογραφίες 2.6. και 2.7).



Φωτογραφία 2.6. Κεκλιμένη σήραγγα καλωδίων και διαφυγής (λήψη από σήραγγα προσπέλασης)



Φωτογραφία 2.7. Έξοδος σήραγγας καλωδίων – διαφυγής. Πάνω από τη σήραγγα διακρίνεται ο σχηματισμός του κροκαλοπαγούς με τη χαρακτηριστική στρωσιγένεια. Δεξιά, η γέφυρα του Μεγάλου Περιστερίου (Εγνατία Οδός)

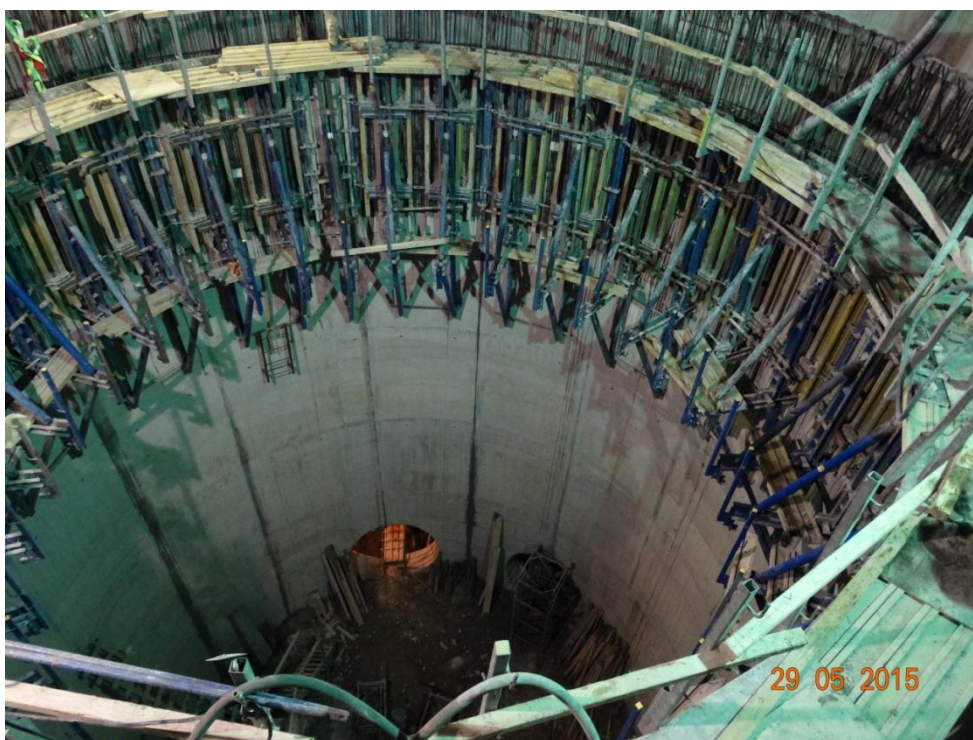
Η **σήραγγα προσαγωγής** έχει διάμετρο εκσκαφής 4,9 m και μήκος 4430 m. Ξεκινά από την περιοχή του φράγματος και καταλήγει με κλίση στην περιοχή του σταθμού, μεταφέροντας το νερό της υδροληψίας. Σε δύο σημεία η σήραγγα εμφανίζεται επιφανειακά με τη μορφή επιχωμένου αγωγού προσαγωγής. Το πρώτο σημείο επιφανειακής εμφάνισής της είναι η κοιλάδα Σολάδες. Το βραχώδες υπόβαθρο στη συγκεκριμένη θέση αποτελείται από συμπαγείς υγιείς ιλυόλιθους με ασθενή τεκτονισμό. Το δεύτερο, όπου εμφανίζεται με τη μορφή υδατογέφυρας από σκυρόδεμα, είναι το ρέμα Σίτσενα, όπου το βραχώδες υπόβαθρο συνίσταται από σκληρό συμπαγές κροκαλοπαγές. Μεταξύ των δύο αυτών θέσεων η σήραγγα εμφανίζει μικρή κλίση η οποία στη συνέχεια μεγαλώνει μέχρι να συναντήσει το φρέαρ ανάπαλσης της σήραγγας προσαγωγής και τον σταθμό παραγωγής. Αναφέρεται ότι η διάνοιξη της σήραγγας προσαγωγής ολοκληρώθηκε προ δεκαπενταετίας.

Η σήραγγα εξόδου/φυγής έχει μήκος 636,97 m και διάμετρο 3,7 m. Η διατομή της είναι πεταλοειδής (Φωτογραφία 2.8). Οι δύο κλάδοι φυγής, οι οποίοι εξέρχονται από τον σταθμό και καταλήγουν στο θάλαμο ανάπαλσης της σήραγγας φυγής έχουν, ο κάθε ένας, μήκος 24 m και διάμετρο 2,8 m. Το μέγιστο ύψος υπερκειμένων της σήραγγας είναι περίπου 100 m, ενώ προς την έξοδό της στην κοίτη του Μετσοβίτικου έχει ανοδική κλίση.

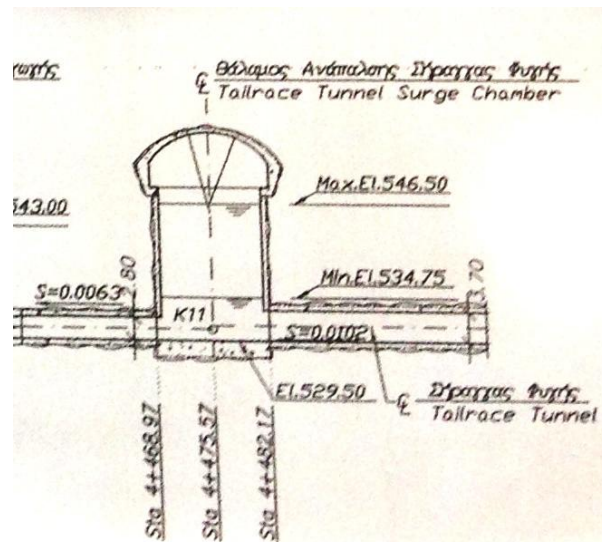


Φωτογραφία 2.8. Σήραγγα φυγής

Οι διαστάσεις εκσκαφής του **θαλάμου ανάπαλσης της σήραγγας φυγής** είναι 12 m διάμετρος και συνολικό ύψος 28 m (Φωτογραφία 2.9 και Σχήμα 2.7).



Φωτογραφία 2.9. Τελικό στάδιο σκυροδέτησης του καπάντη θαλάμου ανάπαλσης



Σχήμα 2.7. Καπάνη θάλαμος ανάπασης της σήραγγας φυγής

ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΈΡΓΟΥ

3.1. Γεωμορφολογία

Η υπό μελέτη περιοχή βρίσκεται στην ευρύτερη κοιλάδα του ποταμού Αράχθου και ειδικότερα στην κοιλάδα του Μετσοβίτικου, ο οποίος είναι παραπόταμός του και πηγάζει από τις ανατολικές κλιτύες του ορεινού όγκου της Πίνδου, κοντά στο Μέτσοβο.

Η κοιλάδα του Αράχθου περιβάλλεται Βόρεια από την οροσειρά της Βόρειας Πίνδου, Ανατολικά από το όρος Λάκμος και την νότια προέκτασή του, τα Τζουμέρκα (Αθαμανικά Όρη). Δυτικά παρεμβάλλεται η νότια προέκταση του όρους Μιτσικέλι, γνωστό με το όνομα Δρίσκος όπως και τα όρη του Ξεροβουνίου. Η κύρια κοίτη του Αράχθου φτάνει το μήκος των 105 km και ακολουθεί τον άξονα του συγκλίνου Ηπείρου – Ακαρνανίας με διεύθυνση ΒΒΑ – ΝΝΔ, ενώ η έκταση της λεκάνης απορροής καταλαμβάνει περίπου 2000 km². Η λεκάνη απορροής του Αράχθου συνορεύει Β και ΒΔ με τις λεκάνες απορροής του Αώου και του Βοϊδομάτη, αντίστοιχα, ανατολικά συνορεύει με την λεκάνη απορροής του Αχελώου και δυτικά με την λεκάνη απορροής του Λούρου.

Ο Μετσοβίτικος ποταμός αρχικά κατευθύνεται ΒΔ, ενώ για τα τελευταία 12 km περίπου προς τα ΝΔ. Πριν εκβάλλει στον Αμβρακικό (κατεύθυνση προς τα Νότια) δέχεται και να νερά του Ζαγορίτικου. Στην περιοχή ενδιαφέροντος η διεύθυνση του Μετσοβίτικου είναι από ΒΑ προς ΝΔ, ενώ τα μικρότερα ρέματα εκβάλλουν σ' αυτόν σχεδόν εγκάρσια, δηλαδή από ΒΔ προς ΝΑ, σχηματίζοντας έτσι ένα υδρογραφικό δίκτυο ορθογωνικού τύπου.

Ο Μετσοβίτικος, προερχόμενος από τις περιοχές Μικρό και Μεγάλο Περιστέρι, και ο Διπόταμος, με διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ, συμβάλλουν στον Άραχθο. Επειδή η κατείσδυση είναι σχεδόν μηδενική λόγω του φλυσχικού στεγανού υποβάθρου, ο Άραχθος χαρακτηρίζεται από μεγάλη επιφανειακή απορροή και κατά συνέπεια πλατιά κοίτη πλημμυρικών παροχών με μέγιστο πλάτος 200 m.

Βόρεια της θέσης του φράγματος Μετσοβίτικου βρίσκεται η τεχνητή λίμνη Πηγών Αώου (Σχήμα 3.1), που βρίσκεται σε λειτουργία από τα τέλη του 1990 και εδράζεται στο Δήμο Μετσόβου. Η επιφάνεια της λίμνης είναι 9 km², έχει χωρητικότητα 180·10⁶ m³ από τα οποία ωφέλιμα είναι τα 145·10⁶ m³. Εκεί συγκεντρώνονται νερά προερχόμενα τόσο από τον Αώο ποταμό, όσο και από βροχοπτώσεις του οροπεδίου Πολιτσών, όπου είναι κατασκευασμένο το φράγμα, φτάνοντας ποσότητες της τάξης των 100·10⁶ m³ ετησίως. Οι ποσότητες αυτές

αντιστοιχούν σε $150 \cdot 10^6$ KW. Η σημασία του έργου έγκειται στην αύξηση της παροχής του Αράχθου, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα στο μέλλον να παράγονται μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας από το ΥΗΕ Μετσοβίτικου.



Σχήμα 3.1. Χάρτης υδρογραφικού δικτύου Δήμου Μετσόβου (πηγή: ΔΕΗ Α.Ε.)

Γενικά η περιοχή χαρακτηρίζεται από μέτριο ανάγλυφο και ήπιες μορφολογικές κλίσεις καθώς και από υδρογραφικό δίκτυο ρεμάτων, με μικρές γενικά λεκάνες απορροής. Ακόμη, έχει υποστεί μεταβολές που οφείλονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες καθώς από την περιοχή περνάει τμήμα της Εγνατίας Οδού, είτε με τη μορφή σηράγγων είτε με γέφυρες. Πλησίον της περιοχής ενδιαφέροντος βρίσκεται η σήραγγα Δεματίου ενώ πάνω ακριβώς από την υπό μελέτη περιοχή περνά η γέφυρα του Μεγάλου Περιστερίου (Φωτογραφία 3.1.).



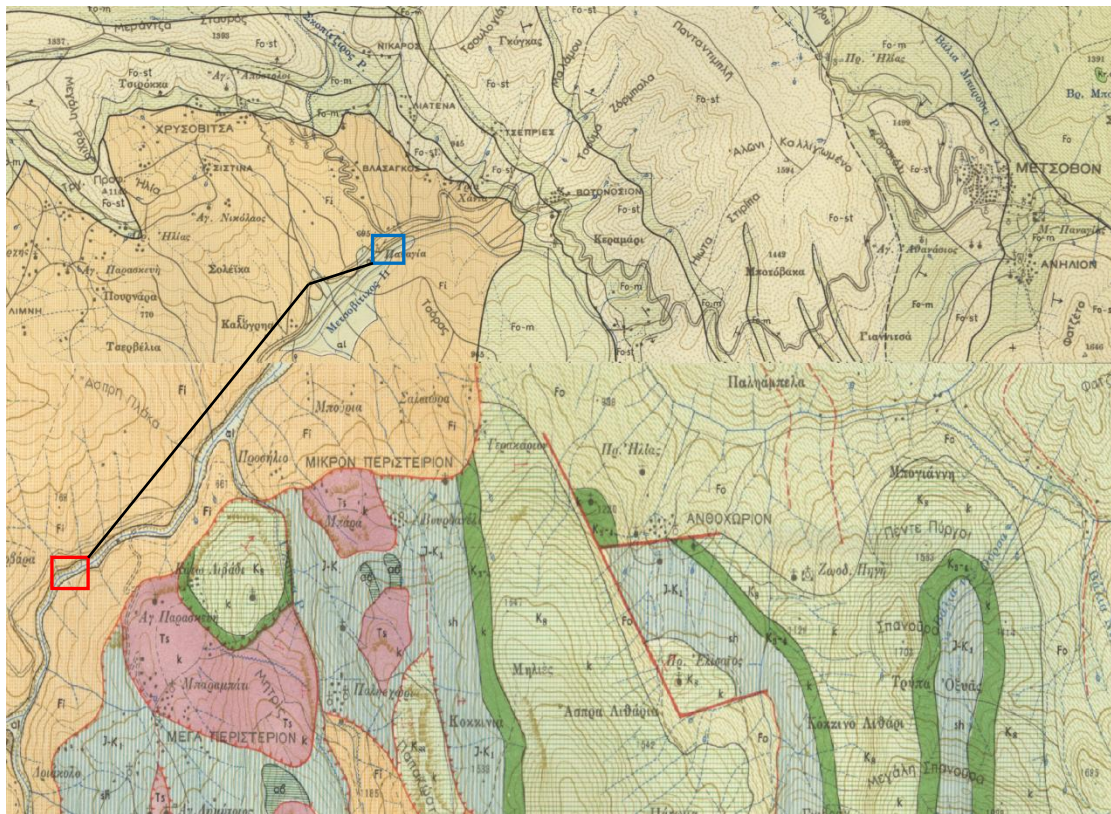
Φωτογραφία 3.1. Γενική άποψη περιοχής ενδιαφέροντος, όπου διακρίνεται η γέφυρα της Εγνατίας Οδού και ο Μετσοβίτικος ποταμός

3.2. Λιθοστρωματογραφία

Η ευρύτερη περιοχή του Έργου βρίσκεται στον γεωγραφικό χώρο που καταλαμβάνει το τεκτονικό κάλυμμα της μεγάλης επώθησης της Πίνδου. Το μέτωπο αυτής της επώθησης βρίσκεται δυτικότερα, στα ανατολικά πρανή της κοιλάδας του Άραχθου.

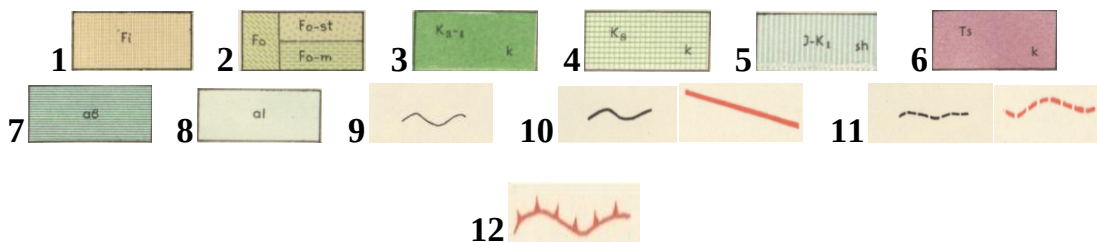
Στην εγκάρσια ρηξιγενή κοιλάδα του ποταμού Μετσοβίτικου, η βαθιά διάβρωση έχει απομακρύνει μεγάλο μέρος του καλύμματος. Σε δύο μάλιστα περιοχές, η διάβρωση προχώρησε κάτω από την επιφάνεια της επώθησης, ανοίγοντας δύο εκτεταμένα παράθυρα, στα οποία αποκαλύπτονται οι υποκείμενοι αυτόχθονες γεωλογικοί σχηματισμοί. Ο αυτόχθονος σχηματισμός που αποκαλύπτεται στα παράθυρα αυτά, είναι φλύσχης της εσωτερικής Ιόνιας ζώνης, σύμφωνα με επιτόπου παρατηρήσεις καθώς και από γεωλογικούς χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε. (φύλλα «Μέτσοβο» και «Πράμαντα»), κλίμακας 1:50000 και της Δ.Ε.Η. (Σχήμα 3.2 και Σχήμα 3.3).

Το ΥΗΕ Μετσοβίτικου βρίσκεται στην περιοχή του παραθύρου Χρυσοβίτσας – Περιστερίου. Το σύνολο των υπόγειων κατασκευών του, κατασκευάστηκε ή προβλέπεται να κατασκευασθεί σε Ιόνιο φλύσχη. Ο φλύσχης της ευρύτερης περιοχής του έργου ανήκει στα στρώματα Ζαγορίου, που είναι ο ανώτερος ορίζοντας φλύσχη του συγκλίνου Ηπείρου – Ακαρνανίας στην περιοχή. Η ηλικία του είναι Ολιγοκαινική.



Σχήμα 3.2. Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη της ευρύτερης περιοχής, κλίμακα 1: 50000, Φύλλα Μέτσοβο(1952) και Πρόμαντα(1957), Ι.Γ.Μ.Ε. Σε κόκκινο πλαίσιο απεικονίζεται το συγκρότημα υπογείων έργων σταθμού παραγωγής, σε μπλε πλαίσιο το φράγμα και με μαύρη γραμμή η σήραγγα προσαγωγής

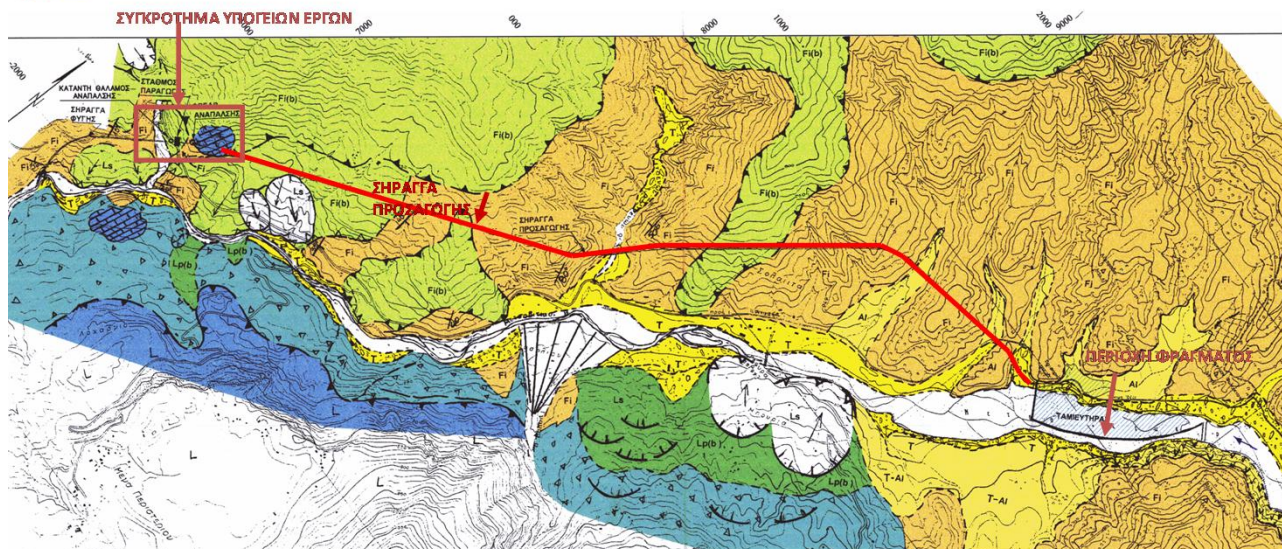
ΥΠΟΜΝΗΜΑ



1. Ιόνιος φλύσχης, 2. Φλύσχης Πίνδου (Fo-st ψαμμίτης, Fo-m μάργες και αργιλοί σχιστόλιθοι), 3. Πλακώδεις ασβεστόλιθοι, 4. Πελαγικοί ασβεστόλιθοι με πυριτολίθους, 5. Ραδιολαρίτες, 6. Συμπαγείς κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι – συναντώνται μόνο ως υπολείμματα τεκτονικών καλυμμάτων, εγκλωβισμένοι εντός κερατολίθων, 7. Αυγιτικός ανδεδίτης, σπιλίτης (με κερατολίθους), 8. Αλλουβιακοί σχηματισμοί – σύγχρονες προσχωματικές αποθέσεις, 9. Όρια πετρωμάτων, 10. Ρήγμα ορατό, 11. Ρήγμα πιθανό, 12. Μέτωπο επώθησης



ΕΠΟΠΤΙΚΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

A. Αυθόχθονες γεωλογικοί σχηματισμοί

α. Χαλαροί επιφανειακοί σχηματισμοί

- Σύγχρονες προσχώσεις λεπτόκοκκων υλικών (αμμόδης ιλύς - άργιλος)
- Ασβεστολιθικά πλευρικά κορήματα
- Ποτάμιες αναβαθμίδες
- Αργιλικές αναβαθμίδες
- Τεχνητές αποθέσεις. Προϊόντα εκσκαφής της Εγνατίας Οδού

β. Βραχώδεις υπόβαθρο

Φλύσχης Ιόνιας ζώνης

B. Επωθημένοι γεωλογικοί σχηματισμοί

- Τεκτονικό μίγμα (melange) στα κατώτερα μέρη του επωθημένου καλύμματος του πινδικού φλύσχης
- Ασβεστόλιθοι του επωθημένου πινδικού καλύμματος
- Τεκτονικό μίγμα στα κατώτερα μέρη του ασβεστολιθικού πινδικού καλύμματος

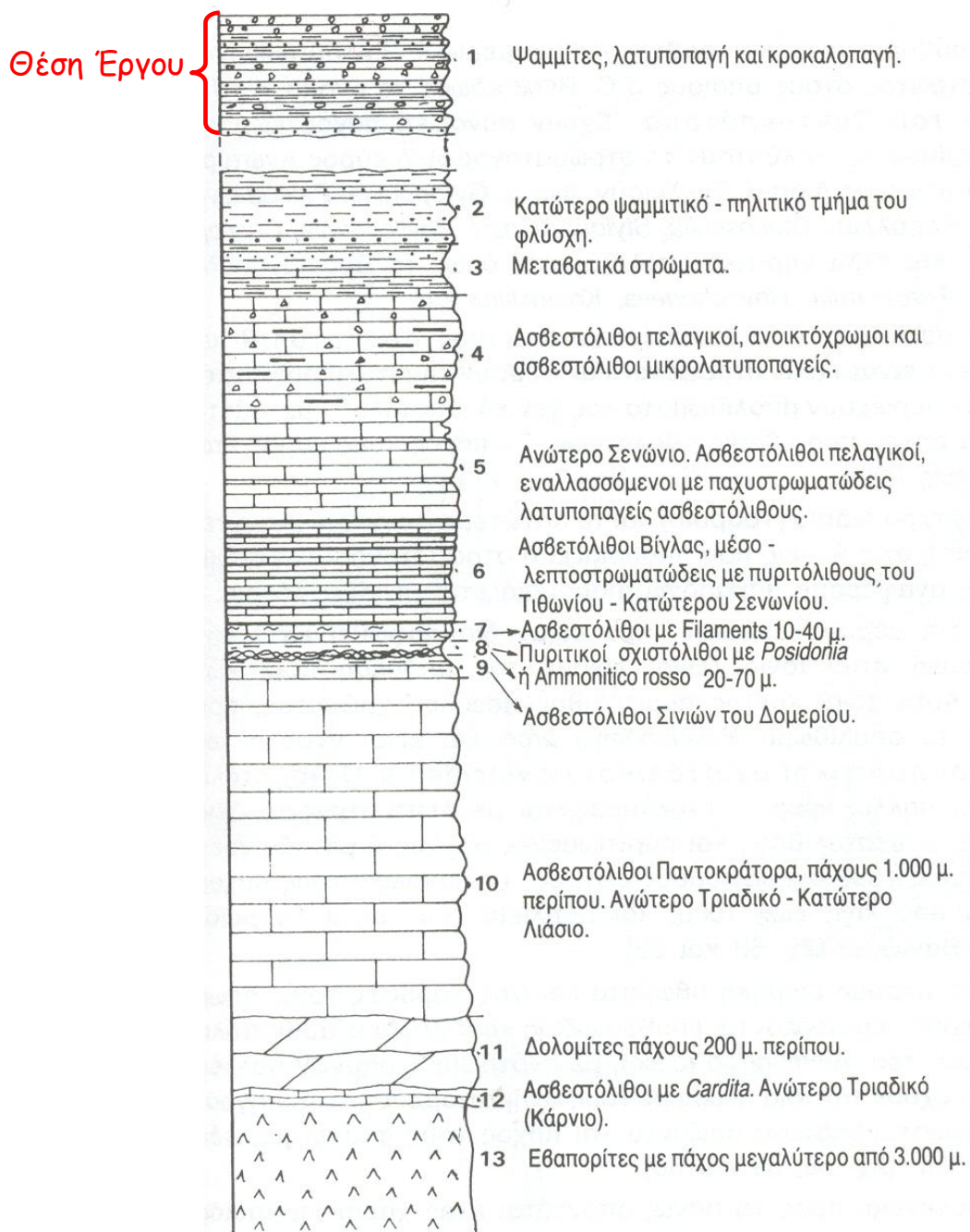
Συμβολισμοί

- Κώνοι προσχώσεων πλευρικών χειμάρρων
- Αστάθειες πρηνών
- Κατολισθήσεις ενεργές
- Κατολισθήσεις παλιές
- Προσανατολισμός των στρωμάτων

Σχήμα 3.3. Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του έργου (Τροποποιημένο σχήμα από ΔΕΗ Α.Ε.)

Η Ιόνια ζώνη, η οποία αποτελεί το γεωλογικό υπόβαθρο στη θέση μελέτης, εκτείνεται κατά μήκος της δυτικής πλευράς της ηπειρωτικής Ελλάδας με διεύθυνση Β – Ν, περιλαμβάνοντας το μεγαλύτερο τμήμα της Ηπείρου.

Η Ιόνιος ζώνη, αποτελείται (από τους παλαιότερους προς τους νεότερους), από τους εξής γεωλογικούς σχηματισμούς (Σχήμα 3.4.):



Σχήμα 3.4. Στρωματογραφική στήλη της Ιόνιας ζώνης. (Κατά Dercourt et al., 1980)

ΤΡΙΑΔΙΚΟ

- *Τριαδικά λατυποπαγή (tb)*, που αποτελούνται κυρίως από μαύρους ασβεστολίθους και κυανόχρωμους δολομίτες (με μορφή λατύπων), εντός αργιλοαμμώδους υλικού.
- *Γύψος τριαδική (G)*, μικροκρυσταλλική, υπόλευκη έως τεφρή, με ταινίες μαύρες ή κόκκινες.

ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ

- *Ασβεστόλιθοι Σινιών (K)*, που είναι υπολιθογραφικοί, φαιοί, σε στρώσεις συνήθως μεγάλου πάχους. Σε μερικές θέσεις απουσιάζουν ή έχουν πολύ μικρό πάχος, λόγω διάβρωσης ή μεταβολών φάσεως.
- *Ασβεστόλιθοι Παντοκράτορος (B)*, συμπαγείς, παχυστρωματώδεις ή άστρωτοι, κρυσταλλικοί φαιοί ή υπόλευκοι.
- *Ασβεστόλιθοι Ammonitiko Rosso (AR)*, λεπτοστρωματώδεις – πλακώδεις μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, με χαρακτηριστικό κοκκινωπό χρώμα.
- *Σχιστόλιθοι με Ποσειδωνίες (J₇₋₈)*, σχηματισμός του Ανώτερου Λιασίου που αποτελείται από αργιλοπυριτικές στρώσεις με εναλλαγές κοκκινωπών πυριτολίθων και πυριτικών αργίλων.
- *Ασβεστόλιθοι Βίγλας*, του Ανώτερου Ιουρασικού. Είναι υπολιθογραφικοί, υποκίτρινοι έως ερυθρωποί με μικρές ενστρώσεις πυριτολίθων.

ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ

- *Ασβεστόλιθοι Ανώτερου Ιουρασικού – Σενωνίου (K_{8S})*. Είναι λατυποπαγείς – μικρολατυποπαγείς, άστρωτοι, υπόλευκοι, με θραύσματα Ρουδιστών.

ΤΡΙΤΟΓΕΝΕΣ

- *Ασβεστόλιθοι Παλαιόκαινου – Ηώκαινου (e)*. Παρουσιάζουν τρεις ζώνες. Στη βάση τους είναι μικρολατυποπαγείς ή μαργαϊκοί Στο μέσον τους είναι μικροκρυσταλλικοί, τεφροί ή υποκίτρινοι και λεπτοστρωματώδεις, ενώ στα ανώτερα στρωματά τους εμφανίζονται κυρίως παχυστρωματώδεις, μικρολατυποπαγείς και υπολιθογραφικοί.
- *Σχηματισμός Φλύσχη (Fi)*. Ο φλύσχη της Ιονίου ζώνης έχει αποθεθεί από το Ηώκαινο μέχρι το Μειόκαινο. Παρουσιάζει πολύ μεγάλο πάχος, που ξεπερνά τα 2000 m. Η

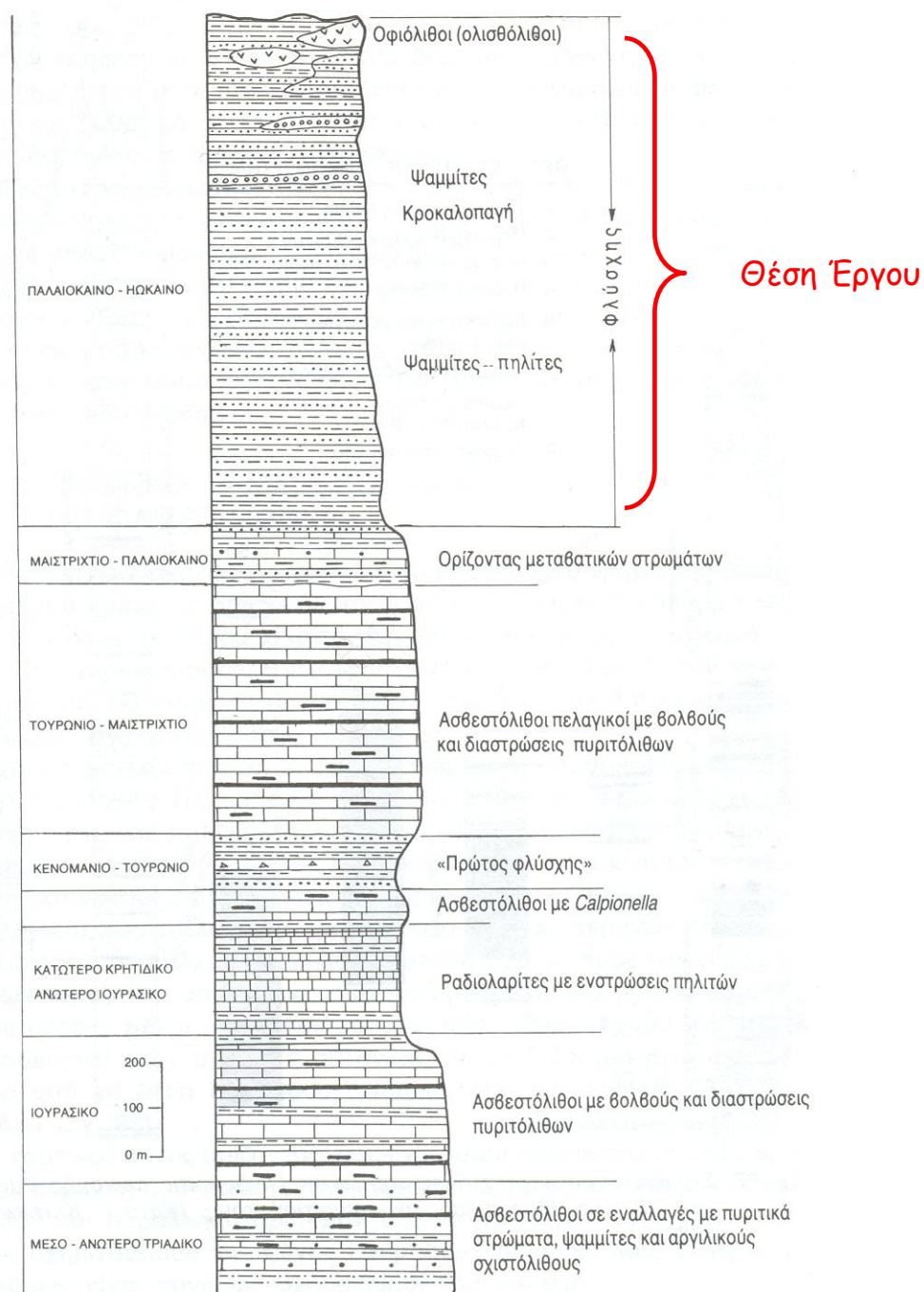
σύσταση του φλύσχη, στα κατώτερα στρώματα είναι ψαμμιτική – μαργαϊκή και εξελίσσεται προς τα πάνω σε φάση εναλλαγών ψαμμιτών, ιλυολίθων και κροκαλοπαγών. Οι κύριες ενότητες του φλύσχη της Ιονίου ζώνης είναι οι εξής:

- *Ψαμμίτες Πέτα*: Εναλλαγές καστανόχρωμων ψαμμιτών και ιλυωδών μαργών.
- *Μάργες Αράχθου*: Αποτελούνται κυρίως από γκρίζες και κυανές αργιλούχες μάργες με παρεμβολές ψαμμιτικών ενστρώσεων.
- *Ψαμμίτες Ανεμοράχης*: Επικρατούν ψαμμίτες λεπτόκοκκοι έως χονδρόκοκκοι, τοπικά μικροκροκαλοπαγείς, πάχους πολλών μέτρων.
- *Σχηματισμός Διστράτου*: Είναι ένας τυπικός φλύσχη που αποτελείται από εναλλαγές στρωμάτων λεπτόκοκκων ψαμμιτών και σκληρών ιλυωδών αργιλούχων μαργών.

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ

- *Παλαιά κορήματα (SC2)* με μορφή πλευρικών αποθέσεων που αποτελούνται από θραύσματα και ογκόλιθους πετρωμάτων σε αργιλικό συνδετικό υλικό.
- *Πρόσφατα κορήματα (SC1)*. Σύγχρονοι κώνοι κορημάτων κυρίως χειμαρρώδους προέλευσης.
- *Σύγχρονες αποθέσεις (al)*. Αλλουβιακές αποθέσεις, κυρίως ποτάμιας προέλευσης. Αποτελούνται από επάλληλες αποθέσεις αμμοχάλικων, άμμων και λεπτόκοκκων υλικών (ιλυώδους και αργιλικής σύστασης). Παρουσιάζουν μεγάλες πλευρικές μεταβολές στην σύσταση και εμφανίζουν μεγάλη ανισοτροπία.

Τα πινδικά πετρώματα που συναντώνται στην ευρύτερη περιοχή, είναι (Σχήμα 3.5.):



Σχήμα 3.5. Στρωματογραφική στήλη της ζώνης Πίνδου. (Κατά Δ. ΜΑΤΑΡΑΓΚΑ κ.α. Από γεωολογικό χάρτη φύλλου «Κλεπάς», κλίμακας 1:50000, Ι.Γ.Μ.Ε., 1985)

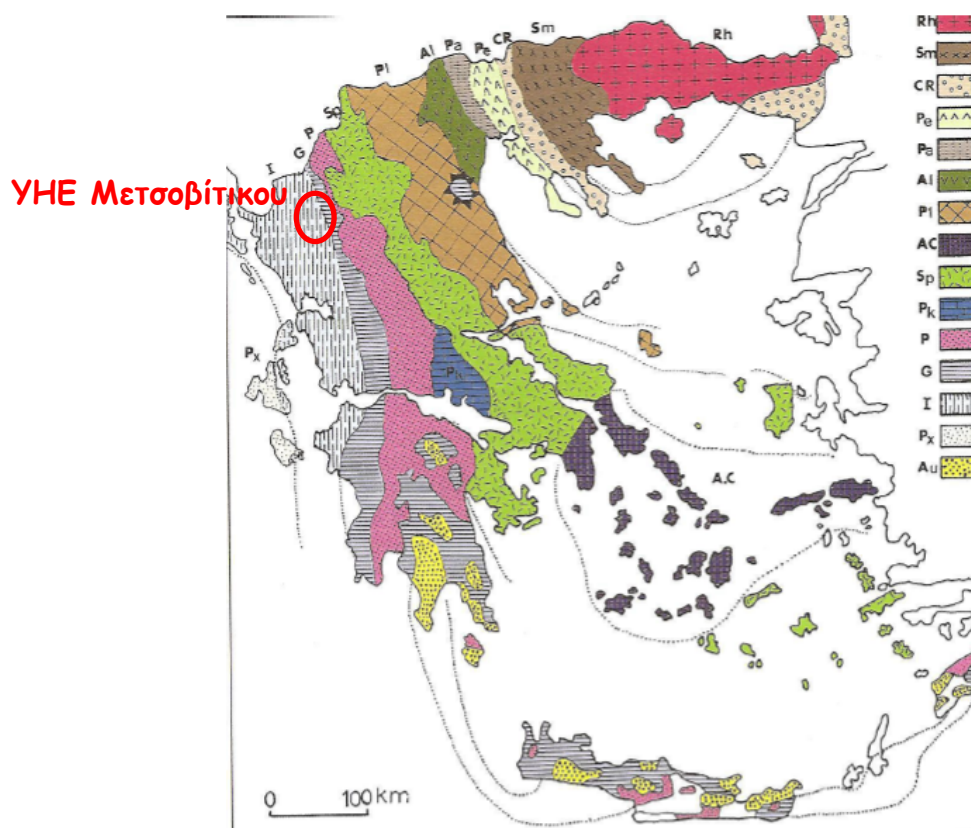
- *Αυγιτικός ανδεδείγης*, ο οποίος συνοδεύει κυρίως τους κερατόλιθους που κάνουν την εμφάνισή τους στην περιοχή του Μεγάλου και Μικρού Περιστερίου.
- Φλυσχοειδείς κλαστικές αποθέσεις, οι οποίες αποτέλεσαν την βάση της στρωματογραφικής στήλης στην περιοχή αυτή, Μέσο Τριαδικής ηλικίας. Η σύστασή τους αποτελείται από εναλλαγές πηλινών με λεπτοπλακώδεις ή μικρολατυποπαγείς απολιθωματοφόρους ασβεστόλιθους. Στην περιοχή μελέτης δεν εμφανίζονται.
- *Πυριτιούχοι ασβεστόλιθοι*, εμφανιζόμενοι συχνά με μαργαϊκές ή δολομιτικές ενστρώσεις του Άνω Τριαδικού. Παρατηρείται μικρή εμφάνιση αυτών στην ευρύτερη περιοχή της μελέτης. Στην περιοχή του Μικρού και Μεγάλου Περιστερίου βρίσκονται εγκλωβισμένοι στους κερατόλιθους. Ακολουθώντας μία κατεύθυνση Β – Ν εμφανίζονται τοπικά σε μικρή κλίμακα ως υπολείμματα του τεκτονικού καλύμματος.
- *Κερατόλιθοι, Ραδιολαρίτες που εναλλάσσονται με πλακώδεις ασβεστόλιθους*, αποτίθενται καθ' όλη την διάρκεια του Ιουρασικού με χαρακτηριστικά κοκκινοπράσινα χρώματα και μέσο πάχος 150 m – 250 m.
- *Ασβεστόλιθοι Κρητιδικού*, μικρολατυποπαγείς με θραύσματα κερατόλιθων και οφιολίθων και ενστρώσεις πελαγικών ασβεστόλιθων με πυριτολίθους.
- *Ασβεστόλιθοι πελαγικοί του Άνω Κρητιδικού με πυριτολίθους* και ενστρώσεις μικρολατυποπαγών ασβεστόλιθων.
- *Φλύσχης Ηωκαίνου*. Πρόκειται για ψαμμιτομαργαϊκού τύπου φλύσχη, στον οποίον παρεμβάλλονται μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι.

Από εδαφολογικής πλευράς, οι κύριες κατηγορίες εδαφών, που συναντώνται στην ευρύτερη περιοχή, είναι :

- Τα εδάφη που προέρχονται από την αποσάθρωση ασβεστούχων και πυριτικών τριτογενών σχηματισμών.
- Τα εδάφη που προέρχονται από την αποσάθρωση σκληρών ασβεστόλιθων, αργιλικής κυρίως σύστασης.
- Τα εδάφη που προέρχονται από την αποσάθρωση του φλύσχη, που έχουν αργιλοαμμώδη σύσταση και αποτελούν τον μανδύα αποσάθρωσης.

3.3. Τεκτονική

Από τεκτονικής άποψης, σύμφωνα με τις νεότερες απόψεις, η Ιόνιος ζώνη, στην οποία εντάσσεται γεωτεκτονικά η ευρύτερη περιοχή (Σχήμα 3.6), χαρακτηρίζεται σαν μία ηπειρωτική λεκάνη με ημιπελαγική – πελαγική ιζηματογένεση. Παλαιογεωγραφικά, διαιρείται σε τρεις υποζώνες, την εσωτερική (ανατολική), την αξονική (κεντρική) και την εξωτερική (δυτική), με σημαντικές διαφοροποιήσεις στην ιζηματογένεσή τους. Κατά την διάρκεια του Περμοτριάδικου, η περιοχή της Ιόνιας ζώνης ήταν μια χερσαία ή πολύ ρηχή θαλάσσια περιοχή, που είχε την δυνατότητα να χερσεύει συχνά, με αποτέλεσμα να μπορέσουν να σχηματιστούν μεγάλες ποσότητες εβαποριτών (ορυκτό άλας, γύψος). Παρόμοια ήταν η παλαιογεωγραφική της ζώνης και κατά το Κάτω Ιουρασικό, που αποτέθηκαν νηριτικά ιζήματα (δολομίτες, ασβεστόλιθοι). Από το Μέσο Ιουρασικό άρχισε να διαμορφώνεται το γεωσύγκλινο με πελαγική – ημιπελαγική ιζηματογένεση.

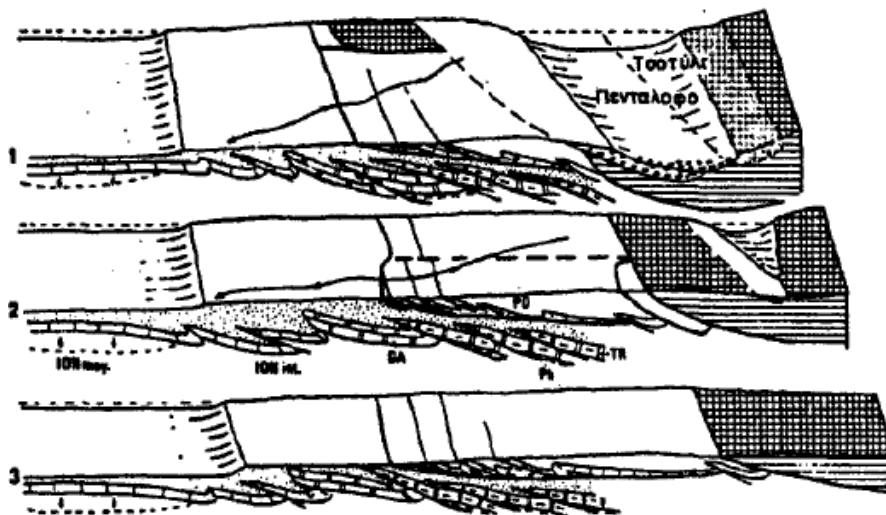


Σχήμα 3.6. Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών. Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σέρβομακεδονική μάζα, CR: Περιοδοπική ζώνη, (Pe: υποζώνη Παιονίας, Pa: υποζώνη Πάικου, Al: υποζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αζιού, Pl: Πελαγονική ζώνη, AC: Αττικο-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: ζώνη Παρνασσού – Γκιώνας, P: ζώνη Ωλονού – Πίνδου, G: ζώνη Γαβρόβου – Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: ζώνη Παξών ή Προαπουλία, Au: Ενότητα «Πλακώδεις ασβεστόλιθοι – Τελέα όρη» πιθανόν της Ιονίου ζώνης. (Mountrakis et al. 1983, από J. Mercier, J. Brunn, J. Aubouin et al. 1971)

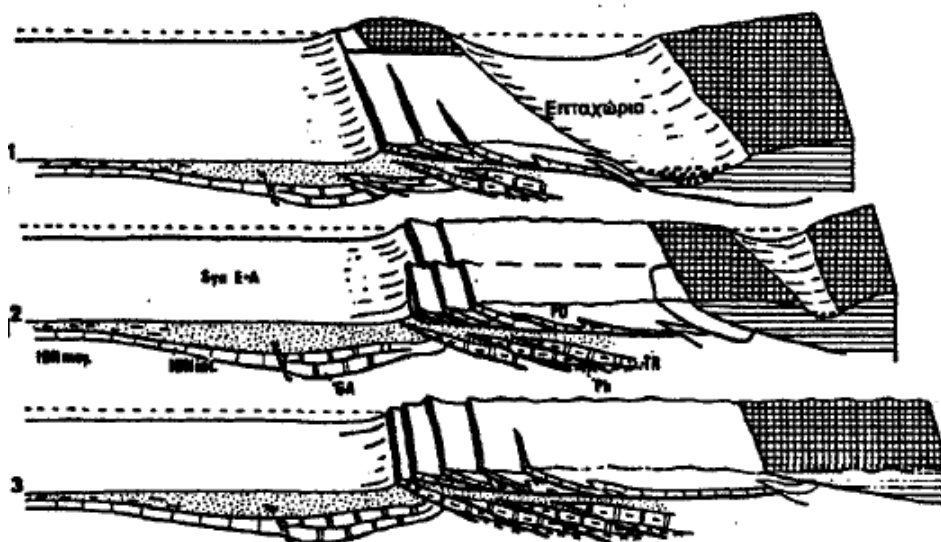
Σύμφωνα με τον Κατσίκατσο (1992), μετά από μία περίοδο τεκτονικής ηρεμίας στη διάρκεια του Κρητιδικού, οι εσωτερικές Ελληνίδες επαναδραστηριοποιούνται κατά τη διάρκεια του Παλαιοκαίνου και κυρίως κατά το Ηώκαινο. Η δράση αυτή της τεκτονικής σχηματίζει τεκτονικές δομές όπως πτυχές, λεπιώσεις, επωθήσεις και ανάστροφα ρήγματα, διεύθυνσης ΒΔ–ΝΑ έως ΔΒΔ–ΑΝΑ και ώθηση προς τα ΝΔ έως ΝΝΔ. Αποτέλεσμα των τεκτονικών διεργασιών ήταν η ανάδυση του εσωτερικού ελληνικού χώρου. Στα δυτικά όρια των εσωτερικών γεωτεκτονικών ζωνών παρατηρείται η επώθηση των ζωνών αυτών πάνω στο ανατολικό τμήμα του υποθαλάσσιου υβώματος του Παρνασσού. Συνέπεια των ανωτέρω ήταν η δημιουργία του πινδικού φλύσχη και εν μέρει του υβώματος του Παρνασσού.

Κατά το Ανώτερο Ηώκαινο – Κατώτερο Ολιγόκαινο το σύνολο των Ελληνίδων που βρίσκονταν ανατολικά της ζώνης Γαβρόβου – Τριπόλεως επηρεάστηκε από τις τεκτονικές κινήσεις, ενώ δυτικότερα, στην Ιόνια καθώς και στη ζώνη Γαβρόβου – Τριπόλεως έφτασαν μόνο φλυσχικά ιζήματα (Vergely, 1984). Οι ανατολικές, εξωτερικές ζώνες, στη φάση αυτή, παραμορφώθηκαν σε λέπια και σε πτυχές με ώθηση προς τα δυτικά – νοτιοδυτικά (Κατσίκατσος, 1992).

Σύμφωνα με τον ίδιο μελετητή, κατά το Μέσο Ολιγόκαινο – Κατώτερο Μειόκαινο, η ζώνη Γαβρόβου υπόκειται σε καθολικό τεκτονισμό, πάνω στην οποία το πινδικό κάλυμμα τερμάτισε την προέλασή του. Κατά την περίοδο αυτή αρχίζει επίσης ο τεκτονισμός της Ιόνιας ζώνης (Σχήματα 3.7. και 3.8). Η γενική διεύθυνση των δομών στη ζώνη Γαβρόβου είναι Β–Ν. Σύμφωνα με τον Μουντράκη, 1985, πρόκειται για συγκλινικές και αντικλινικές μορφές μεγάλης κλίμακας που προκλήθηκαν κατά την τελική φάση πτύχωσης σαν αποτέλεσμα μίας συμπίεστικής τεκτονικής που έλαβε χώρα στο τέλος του Ολιγόκαινου έως Κατώτερο Μειόκαινο.



Σχήμα 3.7. Παλαιογεωγραφική – τεκτονική εξέλιξη της ζώνης Γαβρόβου και του γειτονικού της χώρου κατά το Κατώτερο – Μέσο Ολιγόκαινο (πηγή: Fleury, 1980) (από Κατσίκατσο, 1992)



Σχήμα 3.8. Παλαιογεωγραφική – τεκτονική εξέλιξη της ζώνης Γαβρόβου και του γειτονικού της χώρου κατά το Ανώτερο Ολιγόκαινο – Κατώτερο Μειόκαινο (πηγή: Fleury, 1980) (από Κατσικάτσο, 1992)

Κατά το Κατώτερο – Μέσο Μειόκαινο, το εσωτερικό τμήμα της Ιόνιας ζώνης και της ζώνης Γαβρόβου, τα οποία είχαν ήδη επηρεαστεί από τεκτονική δράση, υφίστανται παραμορφώσεις μικρής κλίμακας με ώθηση προς τα ανατολικά. Οι παραμορφώσεις αυτές είναι εμφανείς τόσο στο πινδικό κάλυμμα, όσο και στα δυτικά όρια της Πελαγονικής (Fleury, 1980).

Κατά το Ανώτερο Μειόκαινο – Κατώτερο Πλειόκαινο, ο εξωτερικός χώρος των Ελληνίδων, που βρισκόταν σε κατάσταση εφελκυσμού και χωρίς έντονη τεκτονική δραστηριότητα, άρχισε να επηρεάζεται από συμπιεστικές τάσεις που είχαν ως αποτέλεσμα την επώθηση της εξωτερικής Ιόνιας ζώνης πάνω στην Προαπούλια.

Μετά το τέλος των επωθητικών κινήσεων των εξωτερικών ζωνών άρχισε μία περίοδος εφελκυσμού του ευρύτερου ελληνικού χώρου. Ως αποτέλεσμα είχε τον τεμαχισμό των σχηματισμών της ζώνης Γαβρόβου από κανονικά ρήγματα, διεύθυνσης Β – Ν.

Κατά το Ηώκαινο – Ολιγόκαινο, η δράση των αλπικών ορογενετικών δυνάμεων στην ευρύτερη περιοχή έρευνας είναι έντονη. Οι δυνάμεις αυτές έδρασαν κυρίως επί των πινδικών ιζημάτων με αποτέλεσμα την επώθησή τους επί των δυτικών σχηματισμών της ζώνης Γαβρόβου. Η συμπιεστική αυτή κίνηση, η οποία έλαβε χώρα κατά την τελική φάση των πτυχώσεων (τέλος Ολιγοκαίνου – αρχές Μειοκαίνου), είχε σαν αποτέλεσμα το σχηματισμό συγκλινικών και αντικλινικών μορφών με γενική διεύθυνση ΒΒΔ – ΝΝΑ (Αουβουίν, 1959). Η επαναδραστηριοποίηση κανονικών ρηγμάτων διεύθυνσης ΒΒΔ–ΝΝΑ, τα οποία κατά την περίοδο των λεπίώσεων (Ηώκαινο – Μειόκαινο) ήταν ανάστροφα ευθύνεται για τον σχηματισμό μεγάλων τάφρων – λεκανών στη Δυτική Ελλάδα.

Πέραν των τεκτονικών διεργασιών που αναφέρθηκαν, τα τελευταία 30 εκ. χρόνια περίπου, παρατηρούνται περιστροφικές κινήσεις. Συνολικά, έχει παρατηρηθεί μία δεξιόστροφη περιστροφή της περιοχής περίπου 45°.

Συνέπεια των περιστροφικών αυτών κινήσεων στην περιοχή της ΒΔ Ελλάδας είναι ο σχηματισμός μεγάλης έκτασης οριζόντιων μετατοπίσεων με γενική διεύθυνση Α–Δ έως ΑΒΑ–ΔΝΔ. Τέτοιες μεγάλες ρηγματογενείς ζώνες εντοπίζονται στο Πετούσσι, στη λίμνη Ζηρού και στο Σπερχειό. Η τεκτονική αυτή δραστηριότητα ακολουθήθηκε από πολυάριθμα κανονικά ρήγματα με διεύθυνση ίδια με αυτή των ρηγματογενών ζωνών. Μαζί με τις τεκτονικές διεργασίες δημιουργήθηκαν τεκτονικά κέρατα και τεκτονικές τάφροι.

Ο φλοιός στην περιοχή της Δυτικής Ελλάδας δεν έχει απολεπτυνθεί ώστε να επιτρέψει την εμφάνιση μεταμορφωμένων πετρωμάτων. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι στην περιοχή αυτή επικρατεί η ανύψωση. Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει ότι η τεκτονική δομή της ΒΔ Ελλάδας οφείλεται σε μία συμπίεστική τάση, με την κίνηση της Απουλίας πλάκας προς τα ΒΑ και των εσωτερικών ζωνών προς τα ΝΔ. Ευνοείται έτσι μία δεξιόστροφη περιστροφική κίνηση με άξονα στο βόρεια τμήμα της Ιόνιας ζώνης. Η κίνηση αυτή ευθύνεται και για τη δημιουργία ρηγμάτων οριζόντιας μετατόπισης, διεύθυνσης ΑΒΑ–ΔΝΔ έως Α–Δ. Τα ρήγματα αυτά μετατόπισαν μεγάλα τεμάχια των σχηματισμών της περιοχής προς τη διεύθυνση Α–Δ. Η περιοχή βρίσκεται μέχρι σήμερα σε καθεστώς ενεργής τεκτονικής.

Όπως προαναφέρθηκε, στην Ιόνιο ζώνη έχει επωθηθεί η ζώνη της Πίνδου με κίνηση από ανατολικά προς δυτικά. Το δυτικό μέτωπο της επώθησης αυτής φθάνει κοντά στην περιοχή μελέτης και πινδικοί σχηματισμοί συναντώνται στο αριστερό κυρίως αντέρεισμα του Μετσοβίτικου.

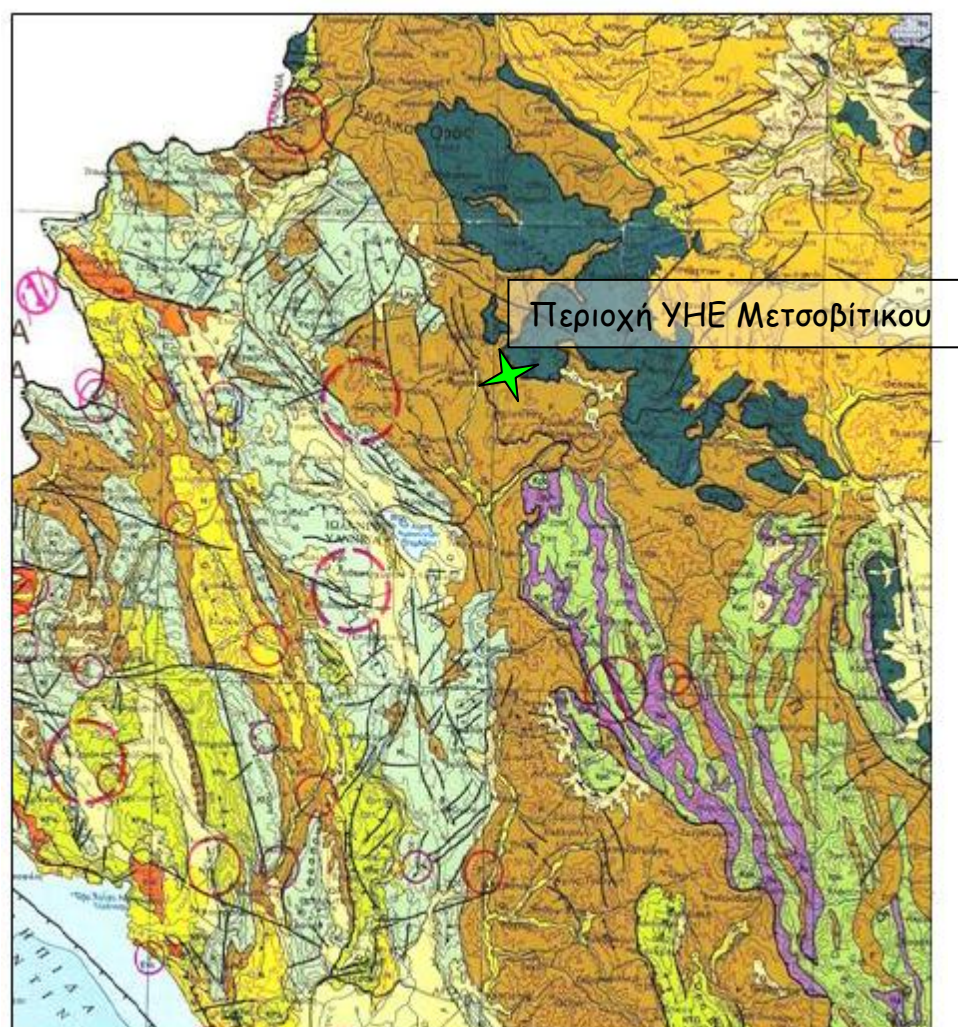
3.4. Σεισμικότητα – Σεισμική επικινδυνότητα

Η ευρύτερη περιοχή δεν παρουσιάζει ισχυρή αυτόχθονη σεισμική δραστηριότητα αν και εντάσσεται σε ένα σύγχρονο καθεστώς εφελκυστικών τάσεων.

Με βάση το σεισμοτεκτονικό χάρτη της Ελλάδας (Σχήμα 3.9.) το πιο πιθανό μέγεθος σεισμού που αναμένεται στην περιοχή για τα επόμενα 100 έτη (από το 1982) είναι της τάξης των 7 Richter.

Από την έρευνα των σχετικών βιβλιογραφικών δεδομένων που υπάρχουν (Κατάλογος σεισμών Κομνηνάκη - Παπαζάχου, 1986, καταγραφές Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Αστεροσκοπείου Αθηνών) και όπως φαίνεται στον σχετικό πίνακα του παραρτήματος, από το 1901 μέχρι σήμερα, τα σεισμικά γεγονότα της ευρύτερης περιοχής με μέγεθος μεγαλύτερο των 6 Richter είναι πολύ λίγα. Από τους σεισμούς αυτούς οι περισσότεροι εντοπίζονται στον θαλάσσιο χώρο του Ιονίου και ελάχιστοι έχουν το επίκεντρό τους στην ηπειρωτική Ελλάδα. Από το πλέον πρόσφατο παρελθόν, σαν πιο ισχυρός, αναφέρεται ο σεισμός της 1ης Μαΐου 1967, με μέγεθος 6,4 Richter.

Επίσης, σύμφωνα με ενόργανες καταγραφές, αρκετοί ήταν οι σεισμοί της ευρύτερης περιοχής με μακροσεισμική ένταση άνω των V βαθμών της τροποποιημένης δωδεκαβάθμιας κλίμακας Mercalli.



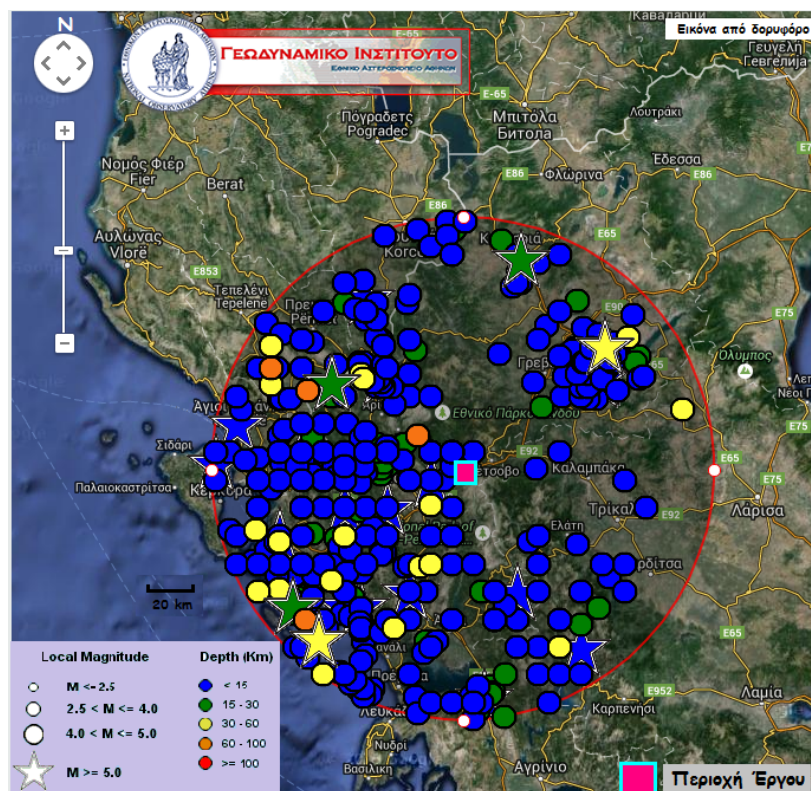
ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ		
	ΜΕΣΟ ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ ΟΛΟΚΑΙΝΟ	ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ - ΚΑΤ. ΠΛΕΙΣΤΟΚΑΙΝΟ	ΑΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΗ ΗΛΙΚΙΑ
ΔΟΜΕΣ			
Ρήγμα και πιθανή προέκτασή του	---	---	---
Ρήγμα κανονικό (οδόντωση προς το τέμαχος που κατέρχεται)			
Επώθηση ή εφίπτευση			▲

ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΠΙΚΕΝΤΡΑ (Βάθος εστιών <60 km)					
Χρόνος	1800-1900	1901-1986	1901-1986	1911-1986	1950-1986
Μέγεθος	6,5≤M≤6,9	6,5≤M≤6,9	6,0≤M≤6,4	5,5≤M≤5,9	5,0≤M≤5,4

Σχήμα 3.9. Απόσπασμα από τον σεισμοτεκτονικό χάρτη της Ελλάδας, κλίμακα 1:500000, Ι.Γ.Μ.Ε. 1989 και σεισμικά επίκεντρα που έχουν καταγραφεί στην ευρύτερη περιοχή του έργου

Οι σεισμοί ως επί το πλείστον είναι αβαθείς (<15 km), όπως φαίνεται στο χάρτη σεισμικών επικέντρων του Σχήματος 3.10. και στον αντίστοιχο Πίνακα 3.1. όπου

σημειώνεται και η απόσταση των σημαντικότερων επικέντρων από την υπό μελέτη περιοχή. Οι περισσότεροι έχουν μέγεθος μεταξύ 4 και 4,5 Richter. Να σημειωθεί πως τα σεισμικά επίκεντρα που απεικονίζονται στον ακόλουθο χάρτη αφορούν ακτινική απόσταση 100 km από την περιοχή ενδιαφέροντος, βάθη από 0 έως 100 km και $M > 4$.

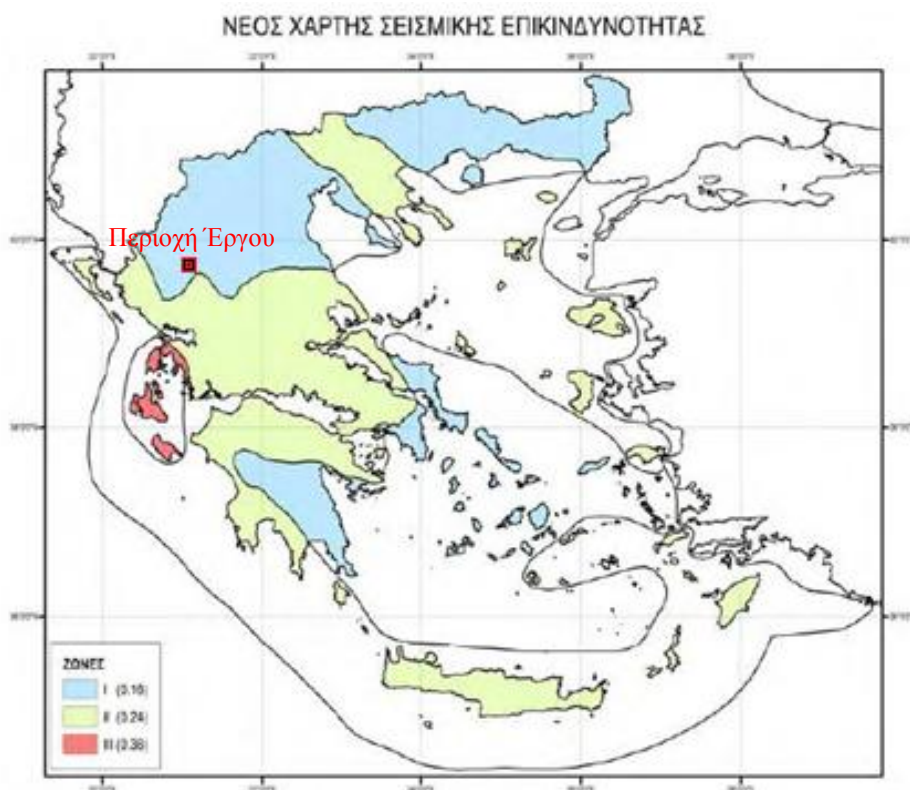


Σχήμα 3.10. Χάρτης σεισμικών επικέντρων σε ακτινική απόσταση 100 km από την περιοχή ενδιαφέροντος, για τη χρονική περίοδο 1-1-1964 έως 1-8-2015 (πηγή: Γεωδυναμικό Ινστιτούτο)

Ημερομηνία	Μέγεθος	Απόσταση Από Περιοχή Ενδιαφέροντος (km)
01-05-1967	6,4	13,3
13-10-1969	5,6	33,4
03-07-1981	5,3	49,3
05-08-1996	5,2	49,3
10-03-1981	5,3	52,9
04-05-1966	5,5	53,0
09-04-2001	5,3	62,6
22-11-1975	5,1	64,4
15-05-1995	5,0	64,8
13-06-1993	5,4	67,8
28-03-1968	5,4	71,6
13-05-1995	6,1	75,0
23-11-2004	5,4	78,3
02-05-1966	5,9	85,1
25-10-1984	5,1	87,0
16-06-1990	5,5	88,5
24-10-2014	5,2	91,1
16-09-1972	5,3	91,4
17-12-1986	5,1	98,2

Πίνακας 3.1. Σεισμοί μεγέθους άνω των 5,0 R από το 1964 μέχρι σήμερα

Αναφορικά με τις σεισμικές δράσεις σχεδιασμού, σύμφωνα με τις πρόσφατες τροποποιήσεις του ΕΑΚ-2000 (2000 & 2003) η περιοχή κατατάσσεται στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Ι, με μέγιστη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση του εδάφους $a=0,16g$ (Σχήμα 3.9.)



Σχήμα 3.11. Οι τρεις κατηγορίες (III, II, I) ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας στις οποίες χωρίστηκε ο Ελληνικός χώρος, σύμφωνα με τις πλέον πρόσφατες τροποποιήσεις του ΕΑΚ2000 το 2003, λόγω αναθεώρησης του χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας.

Σύμφωνα με τον πίνακα κατηγοριοποίησης των εδαφών και βράχων με βάση το Νέο Αντισεισμικό Κανονισμό (Πίνακας 3.2.), για τους σχηματισμούς της περιοχής που έχουν σημασία για το τεχνικό έργο ισχύουν τα εξής:

- ✓ Στην κατηγορία **A** κατατάσσονται οι υγιείς φάσεις του φλύσχη (ανεξαρτήτως ποσοστού επικράτησης λιθολογικής φάσης).
- ✓ Στην κατηγορία **B** κατατάσσονται τα κορήματα και ο μανδύας αποσάθρωσης του φλύσχη.
- ✓ Στην κατηγορία **X** κατατάσσονται οι έντονα κερματισμένες – μυλονιτιοποιημένες ζώνες, σε ζώνες ισχυρής τεκτονικής δράσης.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
A	Βραχώδεις ή ημιβραχώδεις σχηματισμοί εκτεινόμενοι σε αρκετή έκταση και βάθος, με τη προϋπόθεση ότι δεν παρουσιάζουν έντονη αποσάθρωση. Στρώσεις πυκνού κοκκώδους υλικού με μικρό ποσοστό ιλυοαργιλικών προσμίξεων, πάχους μικρότερου των 70μ. Στρώσεις πολύ σκληρής προσυμπίεσμνης αργίλου πάχους μικρότερου των 70μ.
B	Εντόνως αποσπασθωμένα βραχώδη ή εδάφη που από μηχανική άποψη μπορούν να εξομοιωθούν με κοκκώδη. Στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ. Στρώσεις σκληρής προσυμπίεσμνης αργίλου πάχους μεγαλύτερου των 70μ.
Γ	Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής σχετικής πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ. Ιλυοαργιλικά εδάφη μικρής αντοχής σε πάχος μεγαλύτερο των 5μ.
Δ	Έδαφος με μαλακές αργίλους υψηλού δείκτη πλασιμότητας ($I_p > 50$) συνολικού πάχους μεγαλύτερου των 10μ.
X	Χαλαρά λεπτόκοκκα αμμοιλιώδη εδάφη υπό τον υδάτινο ορίζοντα, που ενδέχεται να ρευστοποιηθούν (εκτός αν ειδική μελέτη αποκλείσει τέτοιο κίνδυνο, ή γίνει βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων). Εδάφη που βρίσκονται δίπλα σε εμφανή τεκτονικά ρήγματα. (Βλπ. και παρ. 5.1[3]). Απότομες κλίσεις καλυπτόμενες με προϊόντα χαλαρών πλευρικών κορημάτων. Χαλαρά κοκκώδη ή μαλακά ιλυοαργιλικά εδάφη, εφόσον έχει αποδειχθεί ότι είναι επικίνδυνα από άποψη δυναμικής συμπεριφοράς ή απώλειας αντοχής. Πρόσφατες χαλαρές επιχωματώσεις (μπάζα). Οργανικά εδάφη. Εδάφη κατηγορίας Γ με επικινδύνως μεγάλη κλίση.

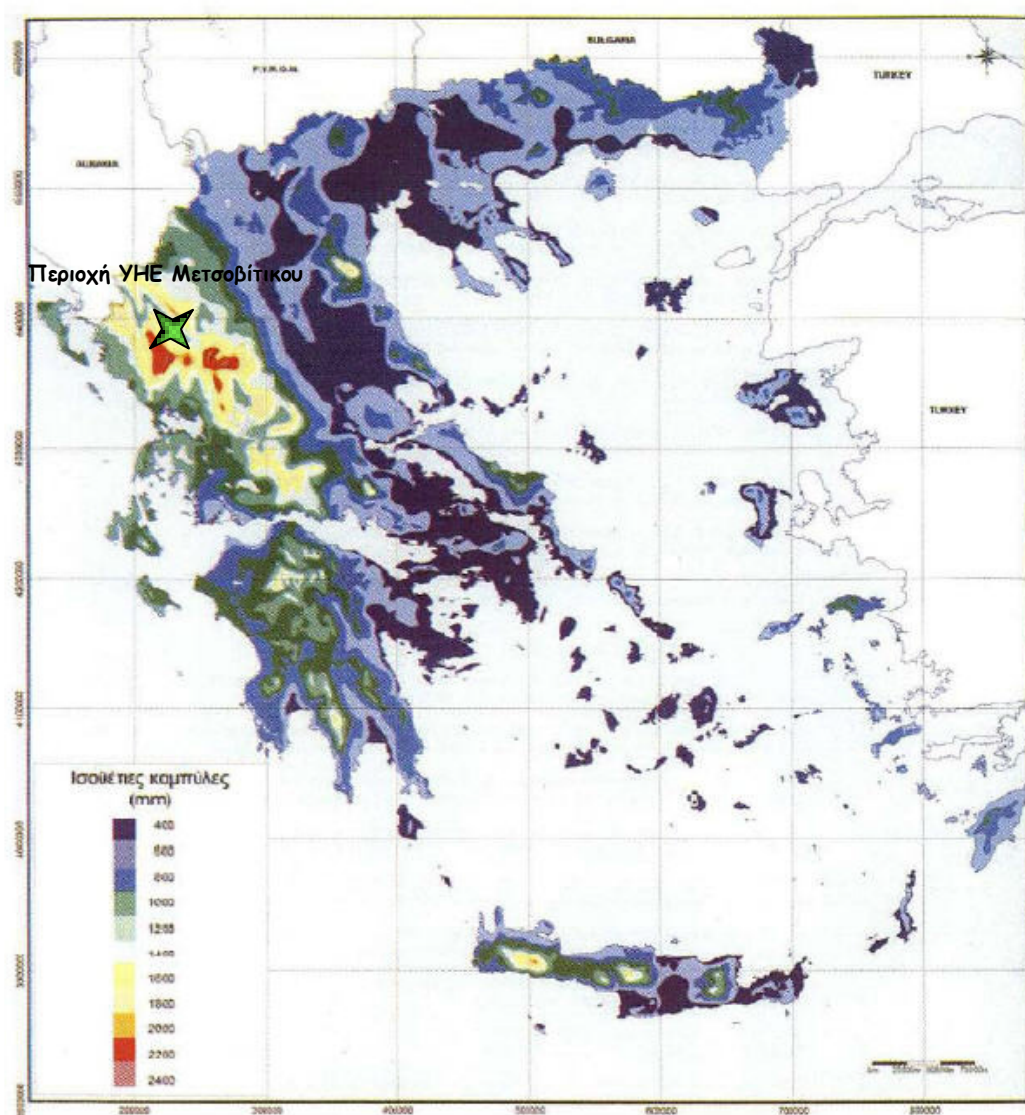
Πίνακας 3.2. Πίνακας κατηγοριοποίησης εδαφών με βάση το ΝΕΑΚ2000

3.5. Υδρομετεωρολογικό καθεστώς

Οι κλιματολογικές συνθήκες, είναι ύψιστης σημασίας ως προς την τεχνικογεωλογική συμπεριφορά των εδαφικών και βραχωδών σχηματισμών, καθώς εκτός των διαβρωτικών και αποσπασθωτικών επιπτώσεων, υποβαθμίζουν τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά τους και παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ευστάθεια των πρανών. Οι εναλλαγές μεταξύ υγρών – ξηρών περιόδων έχουν σαν συνέπεια χαλάρωση και αποσάθρωση των πετρωμάτων, καθώς και δημιουργία ασταθών μαζών, φαινόμενα που εντείνονται από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα.

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται τόσο από πλευράς γεωγραφικής τοποθεσίας, όσο και υψομέτρου με τα υψηλότερα μεγέθη βροχοπτώσεων – χιονοπτώσεων στον Ελληνικό χώρο και είναι συγκρίσιμες ακόμα και με τροπικές περιοχές (Κουτσογιάννης, Μαμάσης, 1998) (Σχήμα 3.12). Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως *ορεινό*. Συναντάται στην ορεινή ζώνη της Ηπείρου και τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι τραχύς χειμώνας με άφθονες βροχές και χιονοπτώσεις. Το καλοκαίρι είναι δροσερό με τοπικές βροχές. Ο παγετός είναι ένα σύνηθες φαινόμενο κυρίως από τον Οκτώβριο μέχρι τον Μάιο, με συχνή εμφάνιση ολικών παγετών. Κατά Thornthwaite, χαρακτηρίζεται πολύ υγρό, με μέτριο - μικρό έλλειμμα υγρασίας το καλοκαίρι.

Η βλάστηση που συναντάται στην περιοχή είναι πυκνή, προσδίδοντάς της ιδιαίτερο φυσικό κάλος.



Σχήμα 3.12. Βροχομετρικός Χάρτης της Ελλάδας με βάση τα στοιχεία της ΔΕΗ για την περίοδο 1950 – 1974 (από ΙΓΜΕ 1993) (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007)

Όσον αφορά τις χιονοπτώσεις, η ευρύτερη περιοχή, ως ορεινή περιοχή και με υψηλές οροσειρές, δέχεται πολλά χιόνια κατά τη χειμερινή περίοδο. Πιο συγκεκριμένα, με τη συγκέντρωση κλιματικών στοιχείων από μετεωρολογικούς σταθμούς σε κάποια ακτίνα από την περιοχή μελέτης, το μέσο ετήσιο ύψος βροχοπτώσεων ανέρχεται σε 1485,8 mm (από Εθνικό Μετεωρολογικό Σταθμό Μετσόβου για την περίοδο 1961 – 1990, βλ. Πίνακες Παραρτήματος) ενώ ο μέσος ετήσιος αριθμός ημερών χιονιού στο Μέτσοβο είναι 28,4 που είναι το κύριο μέγιστο των χιονοπτώσεων της περιοχής. Στην θέση μελέτης, λόγω του πολύ μικρότερου υψομέτρου και των μορφολογικών συνθηκών, εκτιμάται ότι η μέση τιμή των ημερών χιονόπτωσης είναι στο μισό αυτών του Μετσόβου.

Οι παγετοί είναι συχνοί, ενώ αρκετές φορές σημειώνονται ολικοί παγετοί και παρατεταμένη χιονοκάλυψη. Από τα παραπάνω στοιχεία για το μέσο ετήσιο ύψος βροχής, σε συνδυασμό με την κατανομή της από τους βροχερούς μέχρι τους πιο ξηρούς μήνες προκύπτει πως στην ευρύτερη περιοχή περίοδος απόλυτης ξηρασίας είναι ανύπαρκτη.

Εξάλλου, το μεγαλύτερο ποσοστό (88%) των κατολισθήσεων στο νομό γίνονται μετά από ακραία καιρικά φαινόμενα (βροχοπτώσεις, χιονοπτώσεις, παγετό).

Οι συνθήκες αυτές συνδυαζόμενες με το μέσο ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος (19,1 °C), που ευνοεί συνθήκες παγετού προκαλούν έντονη διάβρωση στο φλύσχη αλλά κυρίως στο υπερκείμενο εδαφικό κάλυμμα. Οι αργιλοϊλυώδεις σχηματισμοί του φλύσχη εξαιτίας της επίδρασης της θερμικής αποσάθρωσης κατά την ξηρή περίοδο αλλά και της μηχανικής διάβρωσης κατά την υγρή περίοδο υφίστανται πρόσθετη χαλάρωση της συνοχής τους παρουσιάζοντας μειωμένες αντοχές.

Τα αργιλικά στρώματα του φλύσχη ευνοούν την ανάπτυξη πυκνού υδρογραφικού δικτύου, με βαθιά διάβρωση και απότομες κλίσεις. Κατά τους χειμερινούς μήνες παρουσιάζεται κατά θέσεις χειμαρρώδης ροή και μεγάλη παροχή φερτών υλικών.

Ο ποταμός Μετσοβίτικος, μέχρι το Μικρό Περιστερι έχει λεκάνη απορροής περίπου 126 km² και παρουσιάζει μέση ετήσια παροχή 5,42 m³/sec. Η ροή του Μετσοβίτικου είναι μόνιμη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, αποτελώντας παράλληλα το βασικό υδρογραφικό χαρακτηριστικό της υπό μελέτη περιοχής. Με διεύθυνση ΑΒΑ – ΔΝΔ, αποστραγγίζει την ευρύτερη περιοχή με την κατεύθυνση των επιφανειακών απορροών και των υπόγειων υδάτων να είναι προς αυτόν. Εκτός του ανωτέρω κύριου ποταμού η περιοχή τέμνεται κάθετα από ένα πλήθος χειμάρρων και ρεμάτων, με απότομες κλίσεις και στενές κοίτες.

3.6. Υδρογεωλογία

Οι διάφοροι σχηματισμοί (εδαφικοί ή βραχώδεις), ανάλογα με την υδρογεωλογική συμπεριφορά τους (δηλαδή την ικανότητά τους να αποθηκεύουν νερό στα διάκενά τους και στην συνέχεια να το μεταβιβάζουν), διαιρούνται σε πέντε κατηγορίες, σύμφωνα με τις κατηγορίες συντελεστών διαπερατότητας κατά Terzaghi & Peck (1967) (Πίνακας 3.3.)

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ k (cm/sec)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
$10^{-1} \leq k$	ΥΨΗΛΗ
$10^{-3} \leq k < 10^{-1}$	ΜΕΤΡΙΑ
$10^{-5} \leq k < 10^{-3}$	ΜΙΚΡΗ
$10^{-7} \leq k < 10^{-5}$	ΠΟΛΥ ΜΙΚΡΗ
$k < 10^{-7}$	ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ

Πίνακας 3.3. Κατηγορίες συντελεστών διαπερατότητας κατά TERZAGHI AND PECK (1967)

Η διαίρεση αυτή γίνεται με βάση την υδροπερατότητα (k), η οποία έχει δύο τύπους:

I. Την πρωτογενή περατότητα, που παρουσιάζουν οι εδαφικοί και μερικοί από τους βραχώδεις σχηματισμούς και οφείλεται σε κενά (πόρους) που υπάρχουν μέσα στην μάζα του υλικού, μεταξύ των κόκκων. Είναι εύκολα κατανοητό, πως όσο μεγαλύτερα και πυκνότερα είναι τα κενά (πορώδες), τόσο μεγαλύτερη είναι η υδροπερατότητα και συνεπώς η δυνατότητα υδροφορίας του σχηματισμού.

II. Την δευτερογενή περατότητα (περατότητα ρωγμών), που συναντάται κυρίως στους βραχώδεις σχηματισμούς και οφείλεται στην ύπαρξη συστημάτων ασυνεχειών (διακλάσεων, ρηγμάτων κ.α.), τεκτονικής προέλευσης.

Ο σχηματισμός του **φλύσχη** είναι γενικά αδιαπέρατος σχηματισμός, ιδιαίτερα αν επικρατεί η ιλυολιθική του φάση, αν και το υδρογεωλογικό του μοντέλο χαρακτηρίζεται σύνθετο λόγω της ετερογένειας στη σύστασή του. Όμως, δεδομένου ότι στην περιοχή μελέτης συναντώνται και ενότητες κροκαλοπαγών και ψαμμιτών, υπάρχει η δυνατότητα κυκλοφορίας νερού και ανάπτυξης υπόγειας υδροφορίας κατά μήκος των στρώσεων, μέσω των διακλάσεων αλλά και προς άλλες κατευθύνσεις εξαιτίας των έντονων τεκτονικών διεργασιών μέσω ρηγμάτων – διατμήσεων.

Επομένως, από πλευράς υδροπερατότητας δεν ευνοείται ο σχηματισμός υπόγειων υδροφόρων οριζόντων ενώ αντίθετα η επιφανειακή απορροή της ευρύτερης περιοχής γίνεται με πολύ έντονους ρυθμούς, κυρίως λόγω του μεγάλου ύψους βροχόπτωσης και των παρατεταμένων χιονοπτώσεων σε συνδυασμό με το μεγάλο υψόμετρο. Στα παραπάνω προστίθεται και η ύπαρξη αδιαπέρατων γεωλογικών σχηματισμών.

Εκτός των ψαμμιτικών οριζόντων διαπιστώνεται κάποιος βαθμός περατότητας και σε αναμοχλευμένες μάζες από παλιές ολισθήσεις ή κορήματα και αποσαθρώματα και εκεί μπορεί να απαντηθεί μικρής δυναμικότητας εποχιακός υδροφόρος ορίζοντας. Αλλά και στις έντονα διατμημένες ζώνες μπορεί να παγιδευτεί υπόγειο νερό αναπτύσσοντας υδροστατικές πιέσεις. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η διατμητική αντοχή, αυξάνεται η πίεση των πόρων και κατά συνέπεια σχηματίζονται ασταθή τμήματα στα πρανή. Η εκτεταμένη κυκλοφορία νερού εμποδίζεται από αδιαπέρατες ιλυολιθικές παρεμβολές. Εκεί μπορούν να σχηματιστούν μικρής δυναμικότητας επικρεμάμενοι υδροφόροι ορίζοντες. Στον ιλυολιθικό φλύσχη δεν αναμένεται δημιουργία ελεύθερων υπόγειων οριζόντων, ενώ στις σήραγγες νερό συναντάται υπό μορφή υγρασίας. Εξαίρεση αποτελεί μία επιφανειακή ζώνη του σχηματισμού πάχους λίγων μέτρων. Οι κατακερματισμένοι ορίζοντες του σχηματισμού χαρακτηρίζονται ως δευτερογενώς περατοί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΣΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

4.1. Λιθοστρωματογραφία

Φλύσξης Ιόνιας Ζώνης

Στη θέση του έργου ο φλύσξης είναι κατεξοχήν πηλινικός, αποτελούμενος από τεφρούς μεσοστρωματώδεις ιλυολίθους, με αραιές λεπτοστρωματώδεις ψαμμιτικές ενστρώσεις. Σποραδικά στην λιθολογική σειρά παρεμβάλλονται μεμονωμένες ζώνες χονδρόκοκκων παχυστρωματωδών ψαμμιτών και μεμονωμένοι πάγκοι χαλαρών στρωμένων κροκαλοπαγών. Σποραδικά επίσης η συνέχεια των στρωμάτων διακόπτεται από ακανόνιστα σώματα άστρωτων κροκαλοπαγών, που έχουν φακοειδή ανάπτυξη και παρεμβάλλονται ασυνεχώς στη λιθολογική σειρά. Οι διαστάσεις αυτών των φακών κυμαίνονται από λίγα μέχρι και εκατοντάδες μέτρα.

Επομένως ο φλύσξης της στενής περιοχής του έργου περιλαμβάνει τις ακόλουθες, ευδιάκριτες λιθολογικά ενότητες:

1. Ιλυολίθους
2. Ψαμμίτες και στρωμένα κροκαλοπαγή
3. Μαζικά άστρωτα κροκαλοπαγή

Οι ιλυόλιθοι εμφανίζονται λεπτοστρωματώδεις έως μεσοστρωματώδεις με χρώμα σκούρο τεφρό (Φωτογραφία 4.1). Στη σειρά των ιλυολιθικών στρωμάτων παρεμβάλλονται σποραδικά λεπτές ψαμμιτικές ενστρώσεις. Τοπικά σε περιορισμένου πάχους ζώνες, παρατηρείται πύκνωση των ψαμμιτικών ενστρώσεων.

Οι ιλυόλιθοι όταν εκτεθούν στις ατμοσφαιρικές συνθήκες, όταν δηλαδή απαντώνται κοντά στην επιφάνεια, υπόκεινται σε κατάρρευση του ιστού τους (πλήρης αποσάθρωση) μέσω του φαινομένου της σχάσης (απόσχιση σε λεπτά φύλλα – slaking). Η αποσάθρωση αυτή, η οποία περιορίζεται σε μια λεπτή ζώνη πάχους <1 m, συνίσταται σε έντονο κερματισμό που σταδιακά εξελίσσεται σε λεπτομερή θρυμματισμό (φυσική αποσάθρωση). Στις περιπτώσεις αυτές η δομή της βραχομάζας εμφανίζεται πολύ έντονα κερματισμένη έως αποδιοργανωμένη. Η χημική αποσάθρωση της ιλυολιθικής βραχομάζας περιορίζεται επίσης στην επιφανειακή χαλαρωμένη ζώνη του πετρώματος όπου φτάνουν οι κατεισδύσεις του επιφανειακού νερού.



Φωτογραφία 4.1. Πυρήνας δειγματοληψίας από γεώτρηση στην περιοχή του φρέατος ανάπαλσης (MB-4) όπου απεικονίζεται ιλυολίθος σε επαφή με κροκαλοπαγές



Φωτογραφία 4.2. Τυπική μορφή τεφρού λεπτο-μεσοστοματώδους ιλυολίθου με αραιές λεπτοστρωματώδεις ψαμμιτικές ενστρώσεις. Διακρίνεται η χαρακτηριστική μορφή επιφανειακής αποσάθρωσης (σχάσης) του σχηματισμού

Οι ψαμμίτες και τα στρωμένα κροκαλοπαγή έχουν σκουρότεφο έως τεφροπράσινο χρώμα και είναι μεσόκοκκοι έως χονδρόκοκοι, ψαθυροί και ιλυούχοι (Φωτογραφίες 4.3 έως 4.6). Το ποσοστό του κλάσματος ιλύος μεταβάλλεται έντονα έτσι ώστε να αντιπροσωπεύεται όλο το φάσμα των λιθολογικών τύπων, από τους ιλυούχους ψαμμίτες μέχρι τους αμμούχους ιλυολίθους. Αναπτύσσονται σε στρώματα πάχους μέχρι 2 m.

Στη λιθολογική σειρά οι ψαμμίτες σχηματίζουν χαρακτηριστικές ζώνες πάχους από λίγα μέτρα έως μερικές δεκάδες μέτρα με ιδιαίτερη γεωμορφολογική σημασία. Στις ψαμμιτικές αυτές ζώνες συχνά συμμετέχουν και μεμονωμένοι πάγκοι χαλαρών έως μέσης σκληρότητας κροκαλοπαγών. Μεμονωμένα στρώματα παρουσιάζουν ασταθή οριζόντια ανάπτυξη με έντονες μεταβολές του πάχους τους και απότομες πλευρικές αποσφηνώσεις.

Τα κλαστικά συστατικά των ψαμμιτών είναι σε μεγάλο ποσοστό οφιολιθικά. Η προέλευσή τους είναι από την γεωτεκτονική ενότητα της Πίνδου. Το συνδετικό υλικό είναι εν μέρει ανθρακικό και εν μέρει αργιλικό.

Στην επιφάνεια οι ψαμμίτες αποσαθρώνονται γρήγορα. Η αποσάθρωση είναι σφαιρική και δημιουργεί στο πέτρωμα χαρακτηριστικούς επάλληλους συγκεντρικούς φλοιούς. Το βάθος που φτάνει η αποσάθρωση δεν ξεπερνά το 1 – 2 m. Το προϊόν της αποσάθρωσης είναι κατά βάση αμμώδες. Κατά μήκος, όμως, ανοικτών ασυνεχειών, ακολουθώντας τους δρόμους κατείσδυσης που δημιουργεί το νερό εμφανίζονται αποσαθρωμένες ζώνες πλάτους μερικών δεκάδων εκατοστών. Το βάθος αυτής της επιλεκτικής αποσάθρωσης μπορεί να είναι σημαντικό με επίπεδο αναφοράς το επίπεδο που αποστραγγίζεται η βραχομάζα.



Φωτογραφία 4.3. Λεπτο-μεσοστρωματώδεις ιλυούχοι ψαμμίτες



Φωτογραφία 4.4. Μετάβαση κροκαλοπαγούς σε χονδρόκοκκο ψαμμίτη και βαθμιαία σε συμπαγή ιλυούχο ψαμμίτη (γεώτρηση ΜΕ/ΣΤ-3)



Φωτογραφία 4.5. Μεσοστρωματώδης ψαμμίτης. Πυκνό δίκτυο ασυνεχειών (διακλάσεων). Διακρίνεται ασυνέχεια πληρωμένη με ασβεστιτικό υλικό

Τα κροκαλοπαγή που συμμετέχουν στη δομή των ψαμμιτικών ζωνών εμφανίζουν στρωσιγένεια και απαντώνται σε στρώματα μέχρι 3 m. Τα λιθολογικά χαρακτηριστικά αυτών των κροκαλοπαγών είναι ανάλογα των άστρωτων κροκαλοπαγών που περιγράφονται ακολούθως.



Φωτογραφία 4.6. Επαφή σκληρού μαζικού κροκαλοπαγούς με λεπτο-μεσοστρωματώδη ψαμμίτη, ο οποίος διατέμνεται από πυκνό σύστημα διακλάσεων

Τα **μαζικά άστρωτα κροκαλοπαγή** είναι πολύμικτα με ασβεστολιθικές, οφιολιθικές, κερατολιθικές και ψαμμιτικές κροκάλες που προέρχονται κυρίως από πετρώματα της ζώνης της Πίνδου. Το μέγεθος των κροκαλών τους ποικίλει από τα όρια της χονδρόκοκκης άμμου, μέχρι τα 10 cm και σε μεμονωμένες περιπτώσεις μέχρι 20 cm (Φωτογραφία 4.7). Είναι

συνήθως μέτρια έως καλά στρογγυλεμένες, γεγονός που μαρτυρά σημαντική απόσταση μεταφοράς. Το συνδετικό υλικό είναι συνήθως αμμοιλυώδες και μόνο τοπικά ανθρακικό. Σε κάποιες περιπτώσεις η βασική μάζα είναι διατμημένος ιλυόλιθος μέσα στον οποίο περικλείονται οι κροκάλες. Ανάλογα με το είδος του συνδετικού υλικού τα κροκαλοπαγή είναι χαλαρά έως μέσης σκληρότητας. Αναπτύσσονται σε ακανόνιστους όγκους συχνά μεγάλων διαστάσεων (100 m – 200 m) που παρεμβάλλονται ασυνεχώς, διακόπτοντας τη συνέχεια των στρωμάτων του υπόλοιπου φλύσχη (Φωτογραφία 4.8).



Φωτογραφία 4.7. Πυρήνας δειγματοληψίας που αντιστοιχεί στο σκληρό πολύμκτο μαζικό κροκαλοπαγές



Φωτογραφία 4.8. Χαρακτηριστική εμφάνιση της στρωσιγένειας που εμφανίζει ο σχηματισμός των κροκαλοπαγών

Πρόσφατοι σχηματισμοί

Στους σχηματισμούς αυτούς περιλαμβάνονται οι σύγχρονες αποθέσεις κοίτης, οι αναβαθμίδες, τα πλευρικά κορήματα και οι κώνοι αποθέσεων και χειμάρρων στη συμβολή τους με τον Μετσοβίτικο ποταμό (Φωτογραφία 4.9).

➤ **Σύγχρονες αποθέσεις**

Αποτελούνται από κροκάλες καλά αποστρογγυλεμένες μεγέθους έως 40 cm, χάλικες, άμμο και ιλύ. Τοπικά συναντώνται και κροκάλες μεγαλύτερου μεγέθους καθώς και ογκόλιθοι διαμέτρου έως 2 m. Συγκόλληση του αμμοχάλικου δεν παρατηρήθηκε χωρίς όμως να μπορεί να αποκλειστεί τοπικά ύπαρξη χαλαρής συγκόλλησης. Το πάχος των αποθέσεων αυτών κυμαίνεται από 5 ως 15 m.

➤ **Αναβαθμίδες ποταμού**

Κατά μήκος της κοίτης παρουσιάζουν σημαντική εξάπλωση. Τα υλικά των αναβαθμίδων είναι όμοια με αυτά των σύγχρονων αποθέσεων με αυξημένο το ποσοστό των λεπτόκοκκων συστατικών και χαλαρή συγκόλληση. Σε αρκετές θέσεις και ειδικά στην ευρύτερη περιοχή του φράγματος υπάρχουν σημαντικές αποθέσεις προϊόντων εκσκαφής τα οποία προέρχονται από εκσκαφές της Εγνατίας Οδού, αν και με την ολοκλήρωσή της έχουν διευθετηθεί σχεδόν στο σύνολό τους.

➤ **Πλευρικά κορήματα**

Κατάντη της εξόδου της σήραγγας φυγής μεγάλο τμήμα του αριστερού πρανούς καλύπτεται από κορήματα τα οποία συνίσταται από ασβεστολιθικά τεμάχια και ογκόλιθους ανακατεμένα με καστανόχρωμη άργιλο. Τα τεμάχια αυτά, διαμέτρου 10 – 100 m, προέρχονται από καταπτώσεις ή ερπυστικές κινήσεις από τον ασβεστολιθικό όγκο του Περιστερίου. Στις άλλες περιοχές του έργου λόγω της αργιλικής φύσης των πετρωμάτων τα κορήματα δεν διακρίνονται από τα υλικά του μανδύα αποσάθρωσης.

➤ **Αποθέσεις χειμάρρων**

Τα υλικά αυτά εντοπίζονται στις θέσεις συμβολής των πλευρικών χειμάρρων με το Μετσοβίτικο ποταμό, αποτελούνται δε από αδιαβάθμητα, ατελώς στρογγυλεμένα υλικά.

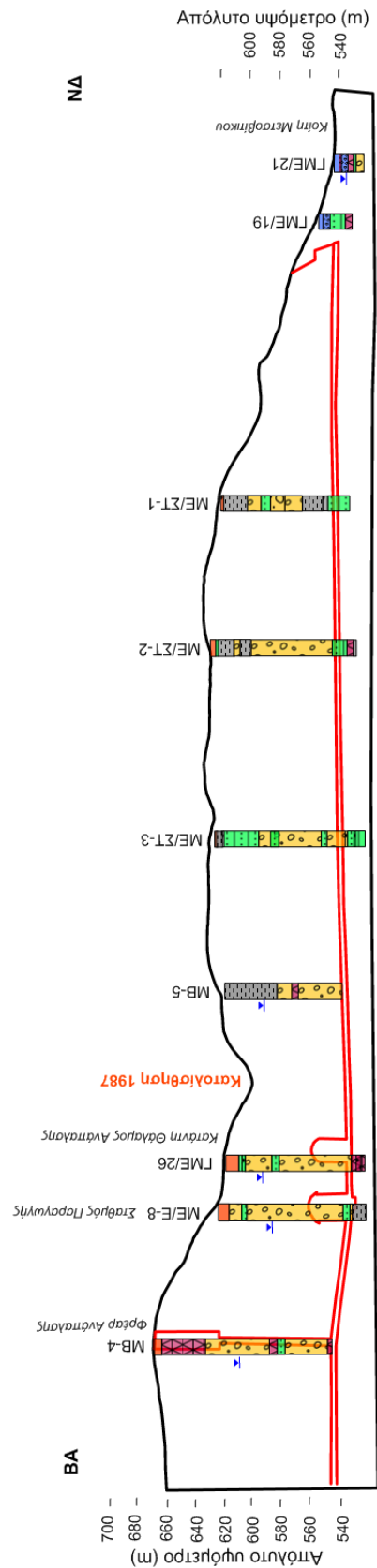


Φωτογραφία 4.9. Γενική άποψη της περιοχής, όπου διακρίνεται τόσο το αλπικό υπόβαθρο όσο και οι πρόσφατες αποθέσεις

Σύμφωνα με τις χαρτογραφήσεις της περιοχής, καθώς και τις περιγραφές από γεωτρήσεις που είχαν εκτελεστεί, σχεδιάστηκε το γεωλογικό προφίλ κατά μήκος της σήραγγας φυγής για κάθε μία από τις γεωτρήσεις αυτές (Σχήμα 4.1). Ο αριθμός των γεωτρήσεων που εξετάστηκαν ήταν 24 στο σύνολο ενώ οι γεωτρήσεις που είχαν εκτελεστεί κατά μήκος της σήραγγας φυγής ήταν 9.

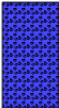
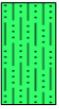
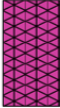
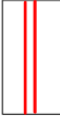
Από την οριζοντιογραφική συσχέτιση του σχήματος 4.1, και σύμφωνα με στοιχεία προγενέστερων μελετών, συντάχτηκε η γεωλογική μηκοτομή του σχήματος 4.2.

ΥΠΕ - ΜΕΤΣΟΒΙΚΟΥ
ΣΗΡΑΓΓΑ ΦΥΓΗΣ - ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΤΟΜΗ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ (ΛΙΘΟΛΟΓΙΑ) ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

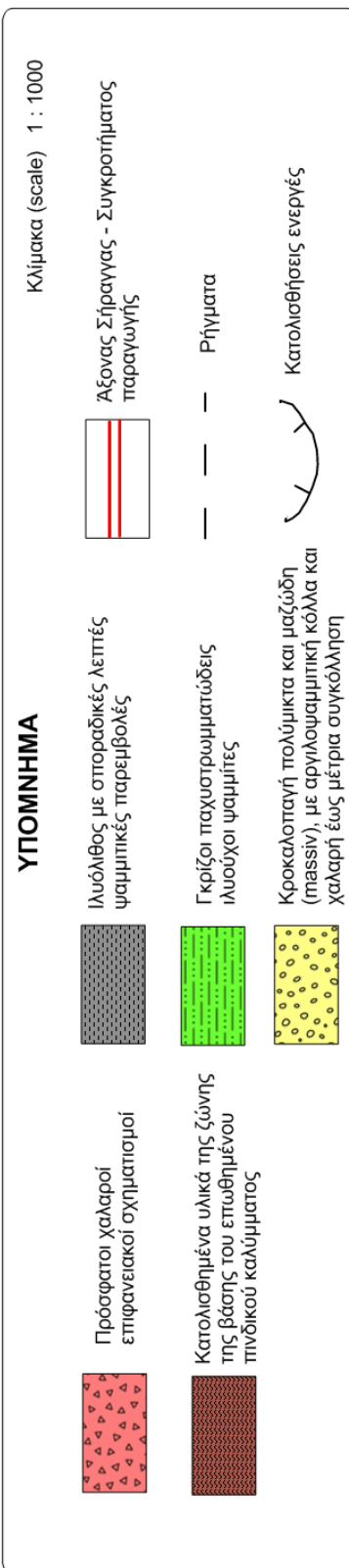
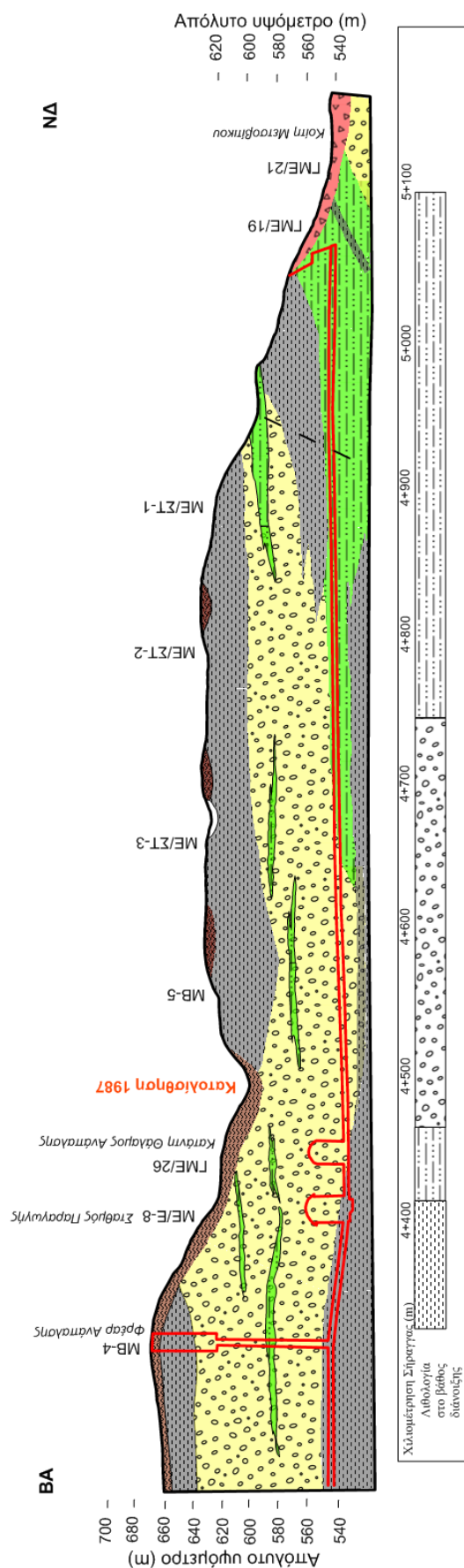
Κλίμακα (scale) 1 : 1000

	Αμμοχάλικο και κροκάλες. Πρόσφατες χαλαρές αποθέσεις ποταμού		Γκρίζος, υγής και συμπαγής ιλυούχος ψαμμίτης
	Καστανόχρωμη άργιλος με ψηφίδες και λατύπες (κυρίως ασβεστολιθικές)		Κροκαλοπαγές χαλαρό έως μέσης σκληρότητας, υγές, συμπαγές
	Γκρίζος συμπαγής ιλυόλιθος. Σποραδικά λεπτιές ψαμμικές ενστρώσεις		Στάθμη υδροφόρου ορίζοντα
	Ιλυολιθική μάζα έντονα διαταραγμένη (διατμημένη)		Άξονας Σήραγγας - Συγκροτήματος παραγωγής

Σχήμα 4.1. Τομή γεωτρήσεων κατά μήκος της σήραγγας φυγής (Τροποποιημένο σχήμα από ΔΕΗ Α.Ε.)

ΥΠΕ - ΜΕΤΕΩΡΙΤΙΚΟΥ

ΣΗΡΑΓΓΑ ΦΥΓΗΣ - ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ



Σχήμα 4.2. Γεωλογική τομή κατά μήκος της σήραγγας φυγής (Τροποποιημένο σχήμα από ΔΕΗ Α.Ε.)

4.2. Τεκτονική

Σύμφωνα με τα στοιχεία από τη συμπληρωματική γεωλογική μελέτη της ΔΕΗ για το ΥΠΕ Μετσοβίτικου (2000), το κυρίαρχο τεκτονικό στοιχείο στην ευρύτερη περιοχή του έργου είναι το τεκτονικό κάλυμμα της ζώνης Ωλονού - Πίνδου που στην περιοχή βρίσκεται επωθημένο πάνω στον Ιόνιο φλύσχη. Το κάλυμμα δημιουργήθηκε μετά την απόθεση του φλύσχη και πήρε τη σημερινή του μορφή και θέση με δύο διαδοχικά συμπιεστικά γεγονότα του Ηωκαίνου και Κάτω – Μέσου Μειόκαινου. Αποτελείται από συνεχείς εσωτερικές επιπτεύσεις, πολλαπλές πτυχώσεις, αποκολλήσεις, στρώματα με μορφή λεπών, λόγω της πλαστιμότητας των ιζημάτων και έντονο αλπικό τεκτονισμό.

Η κίνηση αυτή (με γενική φορά κίνησης προς τα δυτικά) είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία του πολυσχιδούς αναγλύφου στο φλυσχικό σχηματισμό. Οι ισχυρές ωθήσεις που συνόδευαν την επώθηση, εκτός από την έντονη πτύχωση, ευθύνονται και για τη δημιουργία ανάστροφων ρηγμάτων και για το επακόλουθο σύστημα κατακόρυφων ρηγμάτων αποτόνωσης.

Η μεγάλη επωθητική κίνηση δημιούργησε στη βάση του καλύμματος μια πλατιά τεκτονική ζώνη η οποία αποτελείται από αδόμητη χαοτική μάζα με έντονα διατμημένους ερυθρούς και γκρίζους ιλυολίθους. Μέσα στη μάζα αυτή περικλείονται ακανόνιστα γωνιώδη τεμάχια ψαμμιτών και ιλυολίθων ποικίλων διαστάσεων. Τα υλικά της ζώνης που δημιουργούν ένα τεκτονικό μίγμα προέρχονται τόσο από το πινδικό κάλυμμα όσο και από τον αυτόχθονο Ιόνιο φλύσχη.

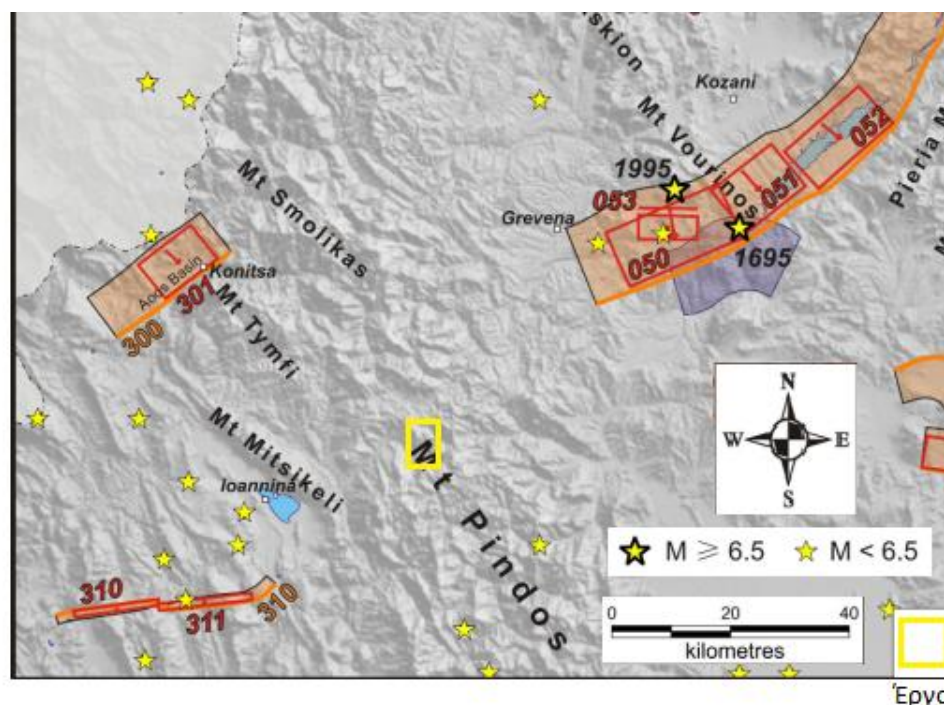
Η τεκτονική ζώνη απορρόφησε το σύνολο σχεδόν των διατμητικών παραμορφώσεων της επωθητικής κίνησης με αποτέλεσμα κάτω από την ζώνη αυτή, ο αυτόχθονος Ιόνιος φλύσχος να μην έχει καταπονηθεί ουσιαστικά εξαιτίας του συγκεκριμένου γεγονότος. Αντίθετα, είναι σημαντική η καταπόνηση που έχει υποστεί εξαιτίας της πτύχωσης και της ανάδυσης της περιοχής.

Το τεκτονικό κάλυμμα της ζώνης της Πίνδου εμφανίζεται στην περιοχή μέσω κυρίως έντονα καταπονημένων τεκτονικά Κρητιδικών Ασβεστολίθων. Ιδιαίτερα, στο μέτωπο της επώθησης συναντώνται εντονότατα καταπονημένα φλυσχικού τύπου υλικά, τεράστια τεμάχια άμορφων ασβεστολίθων, μάλλον προερχόμενα από την ζώνη Γαβρόβου, ακόμη και ηφαιστειακά υλικά βασαλτικού και ανδεσιτικού τύπου.

Άλλο χαρακτηριστικό του πινδικού καλύμματος είναι το γεγονός πως η επιφάνεια της επώθησης δεν παρουσιάζει την γενική κλίση από δυτικά προς ανατολικά, αλλά παρουσιάζει μεγάλες αλλαγές διεύθυνσης και γωνίας κλίσης, ακόμη και σε αποστάσεις μικρότερες των 100 m.

Λόγω διάβρωσης, πολλά μεγάλα τεμάχια πινδικών υλικών αποκόπτονται από την περιβάλλουσα βραχομάζα και αν οι λοιπές συνθήκες το επιτρέπουν, έρπουν προς τα κατάντη.

Ακόμα, σημαντικό τεκτονικό στοιχείο της περιοχής είναι η μεγάλη ρηξιγενής ζώνη του Μετσοβίτικου. Πρόκειται για δέσμη παράλληλων ρηγμάτων οριζόντιας μετατόπισης με διεύθυνση Α – Δ, την οποία σε γενικές γραμμές ακολουθεί η κοίτη του ποταμού.



Σχήμα 4.3. Χάρτης ενεργών ρηγμάτων και σεισμογενών πηγών του συστήματος των Ελληνίδων (πηγή: Greek Database of Seismogenic Sources)

Όπως διακρίνεται στο Σχήμα 4.3. κανένα από τα σημειωμένα ως ενεργά ρήγματα σύμφωνα με Caputo et. Al. δεν τέμνει το έργο. Το κοντινότερο ενεργό νεοτεκτονικό ρήγμα είναι στο Πετούσι, ΝΔ της περιοχής του έργου και έχει μήκος ρήγματος 39 km με μέγιστο αναμενόμενο μέγεθος σεισμού $M = 6,7$ Richter. Το ρήγμα αυτό απέχει από την περιοχή 40 km περίπου.

Κατά τη διάρκεια των εκσκαφών στο φρέαρ ανάπαλσης συναντήθηκε το μέτωπο επώθησης της μιας γεωτεκτονικής ζώνης πάνω στην άλλη (Πίνδος πάνω σε Ιόνιο) (Φωτογραφία 4.10). Η διεύθυνση της επαφής στη συγκεκριμένη θέση είναι ΒΑ – ΝΔ, ενώ από γεωλογικής άποψης το υλικό χαρακτηρίζεται έντονα διαταραγμένος ιλυόλιθος. Η γεώτρηση που είχε διανοιχτεί στην περιοχή του θαλάμου, δυτικότερα της επαφής, (MB4) συνάντησε το υλικό αυτό, χωρίς επικράτηση οποιασδήποτε δομής και με διάσπαρτα κομμάτια ψαμμίτη και ασβεστολίθου (5-20 cm). Στην ιλυολιθική φάση του φλύσχη που ανήκει στο πινδικό κάλυμμα διακρίνονται μεγαλύτεροι ασβεστολιθικοί όγκοι με το υλικό να εμφανίζει εντονότερη φύλλωση και εύκολο θρυμματισμό (Φωτογραφία 4.12). Επιπρόσθετα, το επωθημένο υλικό εμφανίζει περισσότερη υγρασία σε σχέση με τον ιλυολιθικό φλύσχη της Ιόνιας ζώνης. Το βάθος όπου οι δύο ζώνες συναντώνται είναι γύρω στα 10 m ενώ βαθύτερα το τεκτονικά καταπονημένο, σκουρότεφο υλικό του καλύμματος παύει να εμφανίζεται (Φωτογραφία 4.11).



Φωτογραφία 4.10. Επώθηση της πινδικής ενότητας πάνω στην Ιόνια (περιοχή φρέατος ανάπαλσης, βάθος 10 m περίπου)



Φωτογραφία 4.11. Γλυόλιθος γκριζός έντονα διαταραγμένος



Φωτογραφία 4.12. Ιλυόλιθος σκουρότεφος που χαρακτηρίζεται από έντονη τεκτονική καταπόνηση και αυξημένη υγρασία, με ασβεστολιθικά τεμάχια. Χαστικό μείγμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

5.1. Γενικά

Οι γεωτεχνικές ταξινομήσεις των βραχομαζών αποτελούν εμπειρικές μεθόδους «ποσοτικοποίησής» με βάση κάποια χαρακτηριστικά, μερικά από τα οποία είναι η δομή - κερματισμός, η αντοχή άρρηκτου βράχου, η ποιότητα και το πλήθος ασυνεχειών, η παρουσία του νερού κ.α. Η αρχική φιλοσοφία γύρω από την δημιουργία τους είναι η εμπειρική εκτίμηση της υποστήριξης υπόγειων τεχνικών έργων.

Οι πρώτες ταξινομήσεις βραχιδίων υλικών, οι οποίες εφαρμόστηκαν σχεδόν αποκλειστικά σε σήραγγες, αποτελούσαν απλώς ποιοτικές εκτιμήσεις και χαρακτηρίζονταν από πολύ γενικούς χαρακτηρισμούς ως προς την ποιότητα των βραχομαζών που περιέγραφαν.

Σήμερα, η επίτευξη ποσοτικού χαρακτηρισμού βραχομαζών μέσω των συχνότερα χρησιμοποιούμενων μεθόδων, στοχεύει πια στην ποσοτικοποίηση των μηχανικών παραμέτρων του βραχιδίου υλικού. Τα πιο ευρέως γνωστά συστήματα βαθμονόμησης έχουν εφαρμοστεί σε πληθώρα τεχνικών έργων παγκόσμια, είτε υπόγεια (π.χ. σήραγγες), είτε υπέργεια (π.χ. βραχώδη πρανή), έχουν δηλαδή δοκιμαστεί ως προς την αξιοπιστία τους. Αντιμέτωπα με «δύσκολα» γεωλογικά περιβάλλοντα και απαιτητικές τεχνικές κατασκευές, επιδέχονται συνεχούς βελτίωσης.

Σε κάθε περίπτωση, όμως, η χρήση τους δεν πρέπει να ξεπερνά τα όρια εφαρμογής τους ούτε να παρεκκλίνει από την αρχική φιλοσοφία τους. Αρνητικό χαρακτηριστικό τους, άξιο αναφοράς, είναι πως δεν λαμβάνουν υπόψη τους τύπους αστοχιών που ενδέχεται να προκύψουν αναλόγως της τεchnικογεωλογικής συμπεριφοράς του υλικού. Συνεπώς, εξίσου σημαντική είναι πάντοτε και η γεωλογική κρίση για την αντιμετώπιση απρόβλεπτων καταστάσεων.

5.2. Σύστημα ταξινόμησης RMR (Rock Mass Rating)

Το σύστημα ταξινόμησης RMR προτάθηκε αρχικά από τον Bieniawski (1973) ενώ αναπτύχθηκε από τον ίδιο το 1989 στη μορφή που χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα. Οι βελτιώσεις και διαφοροποιήσεις σε σχέση με την αρχική του έκδοση έγκεινται στη βαθμονόμηση των κύριων παραμέτρων του συστήματος. Είναι το πρώτο σύστημα που λαμβάνει υπόψη καθαρά ποσοτικά κριτήρια ενώ συνδέεται και με τα μέτρα προσωρινής

υποστήριξης σηράγγων. Κύρια εφαρμογή βρίσκει στη διάνοιξη σηράγγων και σε ορυχεία. Η πρώτη εφαρμογή του συστήματος ήταν σε μεταλλεία στη Νότια Αφρική.

Η μεθοδολογία εφαρμογής της Γεωμηχανικής Ταξινόμησης (όπως εναλλακτικά ονομάζεται το σύστημα RMR) περιλαμβάνει την αξιολόγηση και μετέπειτα βαθμολόγηση των ακόλουθων μεγεθών:

1) Αντοχή σε μοναξονική θλίψη του ακέραιου πετρώματος (σ_{ci})

Η τιμή αυτή προσδιορίζεται μέσω εργαστηριακών δομικών σε άρρηκτο βραχώδες δοκίμιο κυλινδρικού συνήθως σχήματος. Οι μετρούμενες τιμές αντοχής θα εμφανιστούν μικρότερες των πραγματικών αν στο δοκίμιο προκληθεί θραύση κατά μήκος προϋπάρχουσας διάκλασης, ασυνέχειας ή στρώσης με δυσμενή προσανατολισμό ως προς τον άξονα φόρτισης. Στην περίπτωση αυτή οι τιμές δεν θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Οι κατάταξη των πετρωμάτων με βάση τις τιμές αντοχής τους σε ανεμπόδιση θλίψη δίνονται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 5.1.)

Βαθμονόμηση	σ_{ci} (MPa)
Πολύ υψηλή αντοχή	>225
Υψηλή αντοχή	110-225
Μέση αντοχή	55-110
Χαμηλή αντοχή	30-55
Πολύ χαμηλή αντοχή	<30

Πίνακας 5.1. Κατηγορίες πετρωμάτων με βάση την αντοχή σ_{ci} (Deere & Miller, 1966)

Έμμεσα η αντοχή μπορεί να προσδιοριστεί με τη βοήθεια της δοκιμής σε σημειακή φόρτιση (IS(50)), η οποία μπορεί να γίνει είτε στο εργαστήριο είτε επιτόπου επειδή η συσκευή που χρησιμοποιείται μεταφέρεται εύκολα. Τα δοκίμια που επιλέγονται είναι συνήθως κυλινδρικά για αξονική ή διαμετρική φόρτιση αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμα κυβικά δοκίμια ή ακανόνιστου σχήματος. Τα τελευταία συνήθως χρησιμοποιούνται στην επιτόπου εκτέλεση της δοκιμής. Για τον προσδιορισμό της τελικής τιμής μοναξονικής αντοχής εκτιμάται ο συντελεστής K, εξαρτώμενος από το είδος του πετρώματος. Στον Πίνακα 5.2. δίνεται η ταξινόμηση του ακέραιου πετρώματος βάσει του δείκτη σημειακής φόρτισης.

Χαρακτηρισμός αντοχής	Δείκτης σημειακής φόρτισης, IS(50) (MPa)
Πολύ υψηλής αντοχής	> 8
Υψηλής αντοχής	4 - 8
Μέσης αντοχής	2- 4
Χαμηλής αντοχής	1- 2
Πολύ χαμηλής αντοχής	Δεν συνιστάται η δοκιμή

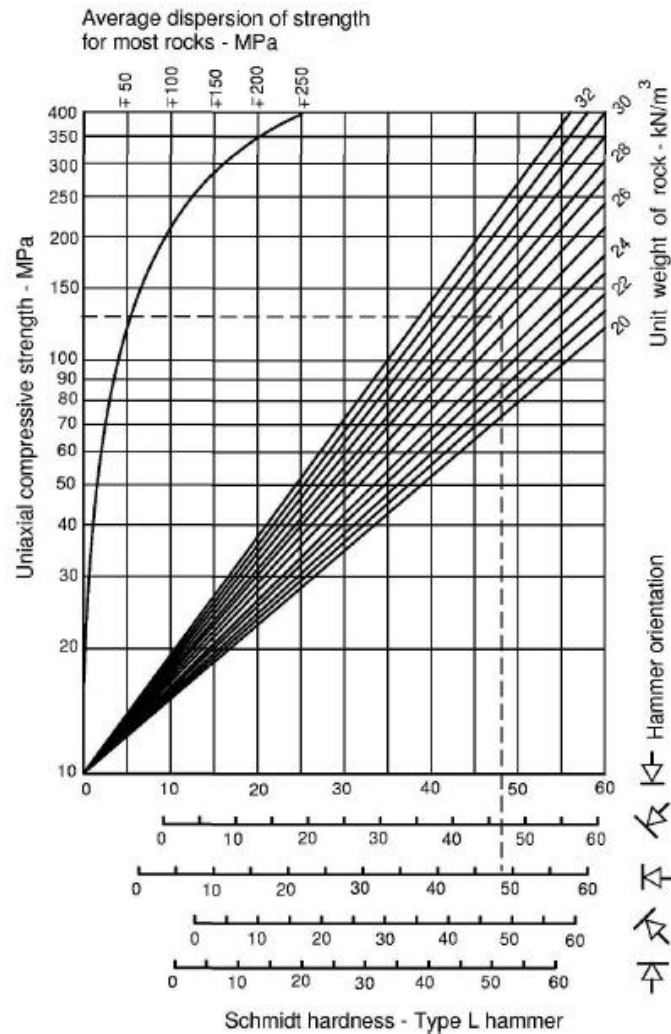
Πίνακας 5.2. Ταξινόμηση ακέραιου πετρώματος με βάση το δείκτη σημειακής φόρτισης IS(50) (BIENIAWSKI, 1975)

Επιπρόσθετα, μπορεί να εκτιμηθεί η αντοχή έμμεσα με τη χρήση του σφυριού Schmidt τύπου L ή από επιτόπου μετρήσεις με τη χρήση του κλασσικού γεωλογικού σφυριού (Πίνακας 5.3.).

Κατάταξη πετρώματος	Αντοχή σε μοναξονική θλίψη (MPa)	Επί τόπου εκτίμηση
Εξαιρετικά υψηλής αντοχής	>250	Ο πυρήνας (δείγμα) δεν σπάει με το γεωλογικό σφυρί
Πολύ υψηλής αντοχής	100 - 250	Για να σπάσει ο πυρήνας (δείγμα) χρειάζονται πολλά κτυπήματα με το γεωλογικό σφυρί
Υψηλής αντοχής	50 - 100	Για να σπάσει ο πυρήνας χρειάζονται περισσότερα από ένα κτυπήματα
Μέσης αντοχής	25 - 50	Ο πυρήνας δεν χαράσσεται με μαχαιρίδιο και μπορεί να σπάσει με ένα κτύπημα του γεωλογικού σφυριού
Χαμηλής αντοχής	5 - 25	Ο πυρήνας χαράσσεται δύσκολα με το μαχαιρίδιο και η μύτη του γεωλογικού σφυριού δημιουργεί αβαθείς χαραγές
Πολύ χαμηλής αντοχής	1 - 5	Ο πυρήνας σπάει σε πολλά κομμάτια με ένα κτύπημα με το γεωλογικό σφυρί και χαράσσεται εύκολα με το μαχαιρίδιο
Εξαιρετικά χαμηλής αντοχής	0.25 - 1	Ο πυρήνας χαράσσεται εύκολα με το νύχι του αντίχειρα

Πίνακας 5.3. Ταξινόμηση βραχώδους υλικού με βάση την αντοχή του σε μοναξονική θλίψη (I.S.R.M., 1981)

Με τη χρήση της σφύρας αναπήδησης Schmidt καθορίζεται κύρια η σκληρότητα του πετρώματος, στην ύπαιθρο και στο εργαστήριο. Ο μέσος αριθμός των αναπηδήσεων (αφότου έχουν απορριφθεί οι 10 χαμηλότερες τιμές) και η ξηρή πυκνότητα του πετρώματος δίνουν μία εκτίμηση της αντοχής του σε ανεμπόδιστη θλίψη (Σχήμα 5.1.).

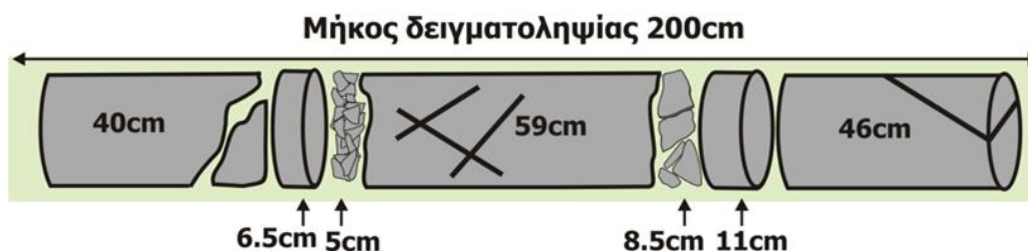


Σχήμα 5.1., Διάγραμμα υπολογισμού της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη του ακέραίου πετρώματος με βάση το μέσο όρο των μετρήσεων σκληρότητας (SHV) και της πυκνότητάς του (ρ_d) (Deere & Miller, 1966)

2) Δείκτης ποιότητας πετρώματος (RQD)

Πρόκειται για ποσοτική εκτίμηση του βαθμού κερματισμού της βραχομάζας που υπολογίζεται άμεσα από βραχώδη δείγματα πυρήνων δειγματοληπτικών γεωτρήσεων στο στάδιο της δειγματοληψίας. Εκφράζεται σε ποσοστό επί τοις εκατό (%). Αθροίζονται οι πυρήνες όλων των βραχωδών τεμαχών μήκος μεγαλύτερου των 10 cm και το συνολικό τους μήκος υπολογίζεται σε αναλογία του μήκους πυρηνοληψίας (Σχήμα 5.2). Με το RQD βαθμονομείται η βραχομάζα και δίνονται οι πρώτες πληροφορίες ως προς την ποιότητα του γεωυλικού. Στον παρακάτω πίνακα γίνεται μία ταξινόμηση του πετρώματος με βάση την ποιότητά του (Deere, 1963):

RQD (%)	Ποιότητα πετρώματος
90-100	Εξαιρετική
75-90	Καλή
50-75	Μέτρια
25-50	Πτωχή
0-25	Πολύ πτωχή



$$RQD = \frac{40+59+11+46}{200} \times 100 = 78\%$$

Σχήμα 5.2. Παράδειγμα υπολογισμού RQD

Έμμεσα μπορεί να υπολογιστεί από συστηματικές επιτόπου μετρήσεις της απόστασης των ασυνεχειών και στη συνέχεια τη χρήση εμπειρικών σχέσεων.

3) Απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών

Εκφράζει την κάθετη απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών ασυνεχειών, οι οποίες ανήκουν στο ίδιο σύστημα. Η μετρήσεις της απόστασης γίνονται επιτόπου και θα πρέπει να γίνονται συστηματικά συμβάλλοντας έτσι στην αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Μετά για κάθε ένα από τα συστήματα αυτά υπολογίζεται με στατιστική επεξεργασία η μέση απόσταση. Ενδεικτική πληροφόρηση της απόστασης των ασυνεχειών παρέχει και το RQD.

Η απόσταση των ασυνεχειών σε συνδυασμό και με την εμμονή τους (το μήκος που «τρέχουν» μέσα στο πέτρωμα) καθορίζουν το μέγεθος των μεμονωμένων τεμαχών (block) της βραχομάζας. Η απόσταση χαρακτηρίζεται ως εξής:

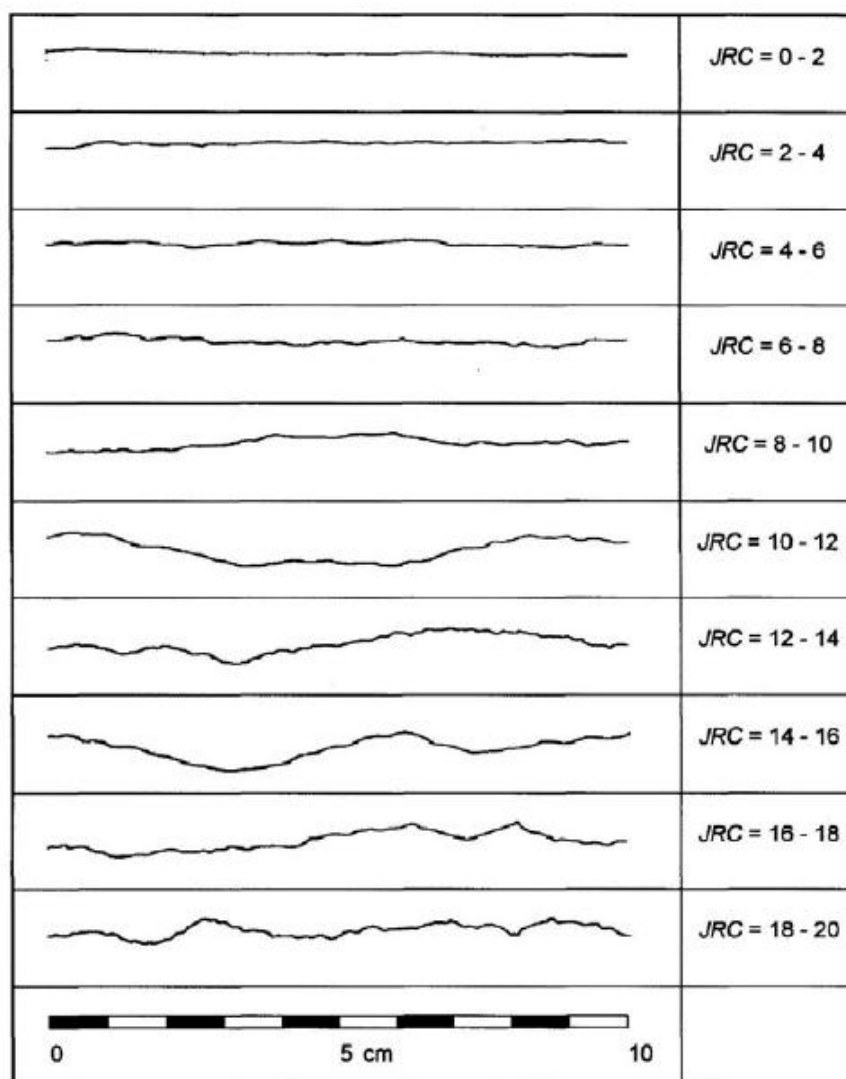
Απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών	Χαρακτηρισμός της απόστασης μεταξύ των ασυνεχειών
>2	Πολύ μεγάλη
0.6~2	Μεγάλη
0.2~0,6	Μέση
0.06~0,2	Μικρή
<0.06	Πολύ μικρή

4) Κατάσταση των ασυνεχειών

Αφορά όλα τα δεδομένα των επιφανειών των ασυνεχειών. Προκύπτει από παρατηρήσεις υπαίθρου σε πλήθος ασυνεχειών και σχετίζεται με την τραχύτητα, το άνοιγμα, την αποσάθρωση των τοιχωμάτων και το υλικού πλήρωσης των ασυνεχειών. Πιο συγκεκριμένα:

- Η τραχύτητα των ασυνεχειών συνδέεται άμεσα με την διατμητική αντοχή των ασυνεχειών. Η φύση μιας ασυνέχειας μπορεί να έχει επίπεδη ή κυματοειδή μορφή. Και στις δύο περιπτώσεις η επιφάνειά της θα είναι είτε λεία, είτε τραχεία ή ακόμα και ολισθηρή. Οι παράμετροι διατμητικής αντοχής στις ασυνέχειες εκφράζονται μόνο μέσω της γωνίας τριβής (ϕ) μιας και η συνοχή (c) τους είναι μηδενική. Στις φυσικές ασυνέχειες (αν μπορεί να διαμορφωθεί δείγμα), προστίθεται στη γωνία τριβής η γωνία που αντιστοιχεί στην τραχύτητα – οδόντωση των τοιχωμάτων (i). Αντίθετα, όταν διαμορφώνεται το δοκίμιο στο εργαστήριο (τεχνητή ασυνέχεια) λείπει η οδόντωση αυτή.

Η τραχύτητα περιγράφεται μέσω ενός εμπειρικού συντελεστή, του συντελεστή τραχύτητας JRC (Joint Roughness Coefficient). Είναι ο αριθμός που υπολογίζεται από τη σύγκριση μιας συγκεκριμένης ασυνέχειας με τυποποιημένα προφίλ τραχύτητας (από Barton & Choubey, 1977), τα οποία φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 5.3.).



Σχήμα 5.3. Τυπικά προφίλ τραχύτητας και οι αντίστοιχες τιμές JRC για το καθένα (Barton & Choubey, 1977)

- Το άνοιγμα μεταξύ δύο γειτονικών τοιχωμάτων μιας συγκεκριμένης ασυνέχειας ορίζεται ως η κάθετη απόσταση μεταξύ τους, η οποία μπορεί να είναι πληρωμένη με αέρα ή μόνο με νερό. Σε αντίθεση περίπτωση η ασυνέχεια λέγεται κλειστή. Ακόμα, μπορεί να είναι επουλωμένη με υλικά πλήρωσης όπως άργιλο, ιλύ, ασβεστίτη κ.α. Η παρουσία τέτοιου υλικού είναι καθοριστική στην διακύμανση της διατμητικής αντοχής της ασυνέχειας. Ακολουθώντας, φαίνεται η ημιποσοτική ταξινόμηση σύμφωνα με το άνοιγμα των ασυνεχειών, σύμφωνα με I.S.R.M., 1981:

Χαρακτηρισμός	Άνοιγμα (cm)
Πολύ κλειστές	0.01
Κλειστές	0.01~0.025
Μερικά ανοικτές	0.025~0.05
Ανοικτές	0.05~0.25
Μέτρια πλατιές	0.25~1
Πολύ πλατιές	1-10
Εξαιρετικά πλατιές	10-100

- Υλικό πλήρωσης είναι το υλικό εκείνο που διαχωρίζει τα γειτονικά τοιχώματα, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Όσο αυξάνεται το πάχος του υλικού με το οποίο είναι πληρωμένη η ασυνέχεια, τόσο μειώνεται η διατμητική της αντοχή.

5) Υδρογεωλογικές συνθήκες

Οι συνθήκες του υπόγειου νερού που επικρατούν στην περιοχή του υπόγειου έργου εκφράζονται ποιοτικά με την ύπαρξη ή μη υπόγειου νερού και ποσοτικά μέσω των υδροστατικών πιέσεων που αναπτύσσονται στις ασυνέχειες. Οι πιέσεις αυτές επηρεάζουν δυσμενώς την ευστάθεια των υπόγειων εκσκαφών.

6) Προσανατολισμός των ασυνεχειών σε σχέση με το υπόγειο έργο

Περιγράφεται ποιοτικά ως «πολύ ευμενής» έως «πολύ δυσμενής». Μόλις προσδιοριστεί ο προσανατολισμός των κύριων συστημάτων ασυνεχειών που τέμνουν την βραχομάζα, συγκρίνεται με τη γεωμετρία του τεχνικού έργου (τοιχώματα της σήραγγας).

Όλα τα παραπάνω αποτυπώνονται αναλυτικά στον Πίνακα 5.4., όπου σύμφωνα με τον Bieniawski (1989) βαθμολογείται κάθε μία παράμετρος και στη συνέχεια αυτές αθροίζονται. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται στην επίδραση της κατάστασης (εξαιτίας του ποσοτικού της χαρακτήρα) αλλά του προσανατολισμού των ασυνεχειών. Σκοπός είναι η τελική βαθμονόμηση του πετρώματος και η κατάταξή του σε μία από τις πέντε κατηγορίες ταξινόμησης.

Α.ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ – ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥΣ

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ			ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ						
1	Αντοχή υγιούς πετρώματος	Αντοχή με τη δοκιμή αιχμής	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	Στην περίπτωση του χαμηλού αυτού εύρους τιμών προτιμάται η αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη		
		Μονοαξονική αντοχή σε θλίψη	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
Βαθμονόμηση			15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
Βαθμονόμηση			20	17	13	8	3		
3	Απόσταση ασυνεχειών		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
Βαθμονόμηση			20	15	10	8	5		
4	Κατάσταση ασυνεχειών (βλέπε πίνακα Ε)	Πολύ τραχείες επιφάνειες Not continuous	Ελαφρά τραχείες επιφάνειες Άνοιγμα < 1 mm	Ελαφρά τραχείες επιφάνειες Άνοιγμα < 1 mm	Λείες επιφάνειες με γραμώσεις ολίσθησης H	Μαλακό υλικό πλήρωσης > 5 mm πάχος			
		Χωρίς άνοιγμα	Τοιχώματα με ελαφρό βαθμό αποσάθρωσης	Τοιχώματα με βαθμό αποσάθρωσης	Υλικό πλήρωσης 5mm πάχος H				
		Υγιή τοιχώματα			H	Συνεχές άνοιγμα > 5 mm			
					Συνεχές άνοιγμα 1-5 mm				
Βαθμονόμηση			30	25	20	10	0		
5	Υπεδαφικό νερό	Εισροή ανά 10 m μήκους σήραγγας	Καμία	< 10 litres/min	10-25 litres/min	25-125 litres/min	> 125		
		Πίεση νερού	H	H	H	H	H		
		Λόγος αλυσίδων	= 0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		Μεγίστη κύρια τάση	H	H	H	H	H		
Γενικές συνθήκες			Ξηρή κατάσταση	Υγρή κατάσταση	Πολύ υγρή κατάσταση	Ροή στάγδην	Ροή συνεχής		
Βαθμονόμηση			15	10	7	4	0		

Β. ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΕΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟ ΤΩΝ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ

Προσανατολισμός διεύθυνσης και κλίσης ασυνεχειών	Πολύ ευνοϊκός	Ευνοϊκός	Μέτριος	Δυσμενής	Πολύ δυσμενής
Βαθμονομήσεις					
Σήραγγες	0	-2	-5	-10	-12
Θεμελιώσεις	0	-2	-7	-15	-25
Πρανή	0	-5	-25	-50	

Γ. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΠΟΥ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΗΚΑΝ ΑΠΟ ΤΗ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ

Κατηγοριοποίηση	100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	< 20
Κατηγορία	I	II	III	IV	V
Περιγραφή βραχομάζας	Πολύ καλής ποιότητας	Καλής ποιότητας	Μέτριας ποιότητας	Πτωχής ποιότητας	Πολύ πτωχής ποιότητας

Δ. ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Κατηγορία	I	II	III	IV	V
Μέσος χρόνος ευστάθειας	10 χρόνια για 15 m άνοιγμα	6 μήνες για 8 m άνοιγμα	1 εβδομάδα για 5 m άνοιγμα	10 ώρες για 2.5m άνοιγμα	30 λεπτά για 1 m άνοιγμα
Συνοχή βραχομάζας	> 400 kPa	300 - 400 kPa	200 - 300 kPa	100 - 200 kPa	< 100 kPa
Γωνία τριβής βραχομάζας	> 45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	< 15°

Ε. ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΩΝ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ ΠΟΥ ΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΙ ΥΠΟΨΗ

Συνέχεια	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
Βαθμονόμηση	6	4	2	1	0
Άνοιγμα	Κανένα	<0.1mm	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm
Βαθμονόμηση	6	5	4	1	0
Τραχύτητα	Πολύ τραχεία	Τραχεία	Ελαφρά τραχεία	Λεία	Λείες επιφάνειες με γραμώσεις ολίσθησης
Βαθμονόμηση	6	5	3	1	0
Υλικό πλήρωσης	Κανένα	Σκληρό υλικό πλήρωσης <5mm	Σκληρό υλικό πλήρωσης >5mm	Μαλακό υλικό πλήρωσης <5mm	Μαλακό υλικό πλήρωσης >5mm
Βαθμονόμηση	6	4	2	1	0
Αποσάθρωση	Υγιής	Ελαφρά αποσασθρωμένη επιφάνεια	Μέτρια αποσασθρωμένη επιφάνεια	Ισχυρά αποσασθρωμένη επιφάνεια	Πλήρης αποσύνθεση
Βαθμονόμηση	6	5	3	1	0

Πίνακας 5.4. Σύστημα ταξινόμησης βραχομάζας RMR (Bieniawski, 1989)

Διεύθυνση κάθετη στον άξονα της σήραγγας		Διεύθυνση παράλληλη με το άξονα της σήραγγας			
Προχώρηση σύμφωνα με τη κλίση	Προχώρηση αντίθετα με τη κλίση				
Κλίση 45°-90°	Κλίση 20°-45°	Κλίση 45°-90°	Κλίση 20°-45°	Κλίση 45°-90°	Κλίση 20°-45°
Πολύ ευνοϊκή	Ευνοϊκή	Μέτρια	Δυσμενής	Πολύ δυσμενής	Μέτρια
Κλίση 0°-20°	Δυσμενής ανεξάρτητα από τη διεύθυνση				

Πίνακας 5.5. Σημασία του προσανατολισμού ασυνεχειών σε σήραγγα (Wickham et al., 1972)

Μετά την ταξινόμηση της βραχώμαζας μέσω του δείκτη RMR είναι δυνατή η συσχέτιση της κάθε κατηγορίας με τα προτεινόμενα μέτρα υποστήριξης για σήραγγες, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.6:

Κατάταξη Βραχώμαζας	Εκσκαφή / Προχώρηση	Αγκύρια Βράχου (Διαμέτρου 20mm, πληρωμένα με σκυρόδεμα)	Αντιστήριξη	
			Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα	Μεταλλικά Πλαίσια
I - Πολύ καλή βραχώμαζα RMR: 81-100	Όλο το μέτωπο Βήμα προχώρησης: 3m	Γενικά δεν απαιτούνται μέτρα υποστήριξης εκτός από τοπικές αγκυρώσεις βράχου		
II - Καλή βραχώμαζα RMR: 61-80	Όλο το μέτωπο Βήμα προχώρησης: 1-1,5m Ολοκληρωμένη υποστήριξη 20m από το μέτωπο	Τοπικά, αγκύρια βράχου στον θόλο μήκους 3m, απόστασης 2,5m, περιστασιακά με	50mm στο θόλο όταν απαιτείται	Κανένα
III - Μέτρια βραχώμαζα RMR: 41-60	A' φάση και B' φάση Βήμα προχώρησης: 1,5-3m Εκκίνηση τοποθέτησης μέτρων υποστήριξης αμέσως μετά την εκσκαφή Ολοκληρωμένη υποστήριξη 20m από το μέτωπο	Συστηματικές αγκυρώσεις βράχου μήκους 4m, απόστασης 1,5-2m στο θόλο και τα τοιχώματα, με συρματόσχοινα στο θόλο	50-100mm στο θόλο και 30mm στα τοιχώματα	Κανένα
IV - Πτωχή βραχώμαζα RMR: 21-40	A' φάση και B' φάση Βήμα προχώρησης: 1-1,5m Τοποθέτηση μέτρων υποστήριξης ταυτόχρονα με την εκσκαφή Ολοκληρωμένη υποστήριξη 10m από το μέτωπο	Συστηματικές αγκυρώσεις βράχου μήκους 4-5m, απόστασης 1-1,5m στο θόλο και τα τοιχώματα, με συρματόσχοινα	100-150mm στο θόλο και 100mm στα τοιχώματα	Ελαφρές έως μέτριες υποστηρίξεις ανά 1,5 m, όπου απαιτείται
V - Πολύ πτωχή βραχώμαζα RMR: <20	Πολλαπλά στάδια εκσκαφής στην A' φάση Βήμα προχώρησης: 0,5-1,5m Τοποθέτηση μέτρων υποστήριξης ταυτόχρονα με την εκσκαφή Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος όσο το δυνατόν ταχύτερα	Συστηματικές αγκυρώσεις βράχου μήκους 5-6m, απόστασης 1-1,5m στο θόλο και τα τοιχώματα, με συρματόσχοινα Αγκύρωση ανάστροφου τόξου	150-200mm στο θόλο, 150mm στα τοιχώματα και 50mm στο μέτωπο	Μέτριες έως βαριές υποστηρίξεις ανά 0,75 m, με επένδυση από χαλυβδόφυλα αν απαιτείται. Κλείσιμο του αναστοροφου τόξου.

Πίνακας 5.6. Επιλογή μέτρων υποστήριξης σε σήραγγα πεταλοειδούς διατομής, εύρους 10 μέτρων (Bieniawski, 1989)

Τα παραπάνω μέτρα υποστήριξης αναφέρονται σε σήραγγα διαμέτρου 10 m, πεταλοειδούς διατομής, όπου διανοίγεται με συμβατική μέθοδο και στην οποία επιδρά κατακόρυφη τάση <25 MPa (δηλαδή το βάθος διάνοιξης είναι μικρότερο των 900 m). Η αναφορά των απαιτήσεων υποστήριξης σε συγκεκριμένων διαστάσεων διατομές γίνεται διότι το RMR δεν λαμβάνει υπόψη το επιτόπου πεδίο τάσεων και έχει εφαρμογή μόνο σε περιπτώσεις που η αστάθεια προκαλείται από χαλάρωση της βραχομάζας. Τα μέτρα που προτείνονται αναφέρονται στη μόνιμη υποστήριξη της σήραγγας.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.5. στον οποίο πρέπει να ανατρέχει ο εκάστοτε μελετητής όταν το τεχνικό έργο είναι σήραγγα, γίνεται ποιοτική εκτίμηση της επίδρασης του κρισιμότερου συστήματος ασυνεχειών που διατέμνει τη βραχομάζα. Κρίσιμο θεωρείται το σύστημα εκείνο που είναι υπεύθυνο για τυχόν δομικές αστοχίες που μπορεί να προκύψουν στο στάδιο της κατασκευής και οι οποίες πρέπει να προβλεφθούν.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ειδικά κατά το στάδιο της μελέτης προτιμάται μία πιο συντηρητική προσέγγιση στην βαθμονόμηση των κριτηρίων εκείνων που συμβάλουν καθοριστικά στην ευστάθεια του έργου (όπως είναι το μέτωπο εκσκαφής μιας σήραγγας). Στο στάδιο της κατασκευής, όταν συναντάται «μικτό μέτωπο» λόγω στρωματογραφίας ή τεκτονισμού συνίσταται αυτό να ταξινομείται βάσει της δυσμενέστερης κατηγορίας, ενώ όταν η ποιότητα του γεωυλικού είναι καλύτερη η ταξινόμηση γίνεται ανάλογα με το ποσοστό εμφάνισης της κάθε κατηγορίας και σε συμφωνία πάντα με τη χαρτογράφηση του μετώπου.

Ωστόσο, η χρήση του συστήματος αυτού παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα, καθώς κρίνεται ανεπαρκές σε περιπτώσεις πτωχής έως πολύ πτωχής ποιότητας βραχομάζας ($RMR < 40$) και σε μαλακά πετρώματα, διότι δεν διαθέτει επαρκές εύρος τιμών.

Σύμφωνα με τους Μαρίνος (1979), Σοφιανός και Μαρίνος (1990), με βάση εμπειρίες από εφαρμογή του συστήματος στον Ελληνικό χώρο, εξαιτίας συντηρητικών εκτιμήσεων υποεκτιμάται η ποιότητα της βραχομάζας με αποτέλεσμα τον υπερσχεδιασμό του τεχνικού έργου. Στο σχηματισμό του φλύσχη, που αποτελεί το υπόβαθρο του υπό μελέτη συγκροτήματος υπογείων έργων, έχει αρκετά καλή εφαρμογή για τις κατηγορίες καλή έως και πολύ καλή.

Τελικό αποτέλεσμα της ταξινόμησης με βάση το RMR είναι ο προσδιορισμός της μηχανικής συμπεριφοράς καθώς και η εκτίμηση του τρόπου εκσκαφής και των απαιτήσεων υποστήριξης.

5.3. Σύστημα GSI (Geological Strength Index)

Αρχικά ο δείκτης GSI (Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής) προτάθηκε από τους Hoek, Wood και Shah (1992), βελτιώθηκε από τον Hoek μαζί με τους Kaiser και Bawden (1995) και επεκτάθηκε για τις ασθενείς βραχομάζες από τους Marino και Benissi (1998) από την εμπειρία διάνοιξης του Μετρό της Αθήνας μέσα σε πολύ πτωχής ποιότητας σχιστοποιημένο και διατμημένο γεωυλικό, παίρνοντας την τελική του μορφή από τους Hoek και Marino (2000). Ο δείκτης καθιστά εφαρμόσιμη τη χρήση του κριτηρίου θραύσης Hoek – Brown, εκφράζοντας αριθμητικά την απομείωση της αντοχής της βραχομάζας ανάλογα με το βαθμό ρωγμάτωσής της και βασίζεται καθαρά σε παρατηρήσεις υπαίθρου. Για το λόγο αυτό δίνει άμεσα ένα εύρος εκτιμώμενων τιμών. Πιο συγκεκριμένα, εκτιμώνται μακροσκοπικά (παρατήρηση, αφή) και έπειτα συνεκτιμώνται η δομή και η κατάσταση των ασυνεχειών της βραχομάζας. Η δομή της βραχομάζας σχετίζεται με την αλληλοεμπλοκή – «αλληλοκλείδωμα» των βραχωδών τεμαχίων που τη συγκρατούν, ενώ η κατάσταση των ασυνεχειών με την τραχύτητα και αποσάθρωση των τοιχωμάτων της που εκφράζουν τη διατμητική της αντοχή. Η από κοινού εκτίμηση των δύο αυτών παραμέτρων οδηγεί σε έναν «τύπο» βραχομάζας και στον υπολογισμό ενός εύρους τιμών GSI, σύμφωνα με το Σχήμα 5.4. που απεικονίζει το βασικό διάγραμμα του Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής.

Ο δείκτης GSI εφαρμόζεται και εκεί όπου το RMR περιορίζει την εφαρμογή του (πτωχής ποιότητας βραχομάζες με $RMR < 40$) ενώ για καλύτερης ποιότητας όπου και τα δύο συστήματα έχουν εφαρμογή είναι συμβατά μεταξύ τους. Ο Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής αποτελεί έναν φιλικό δείκτη που μπορεί εύκολα να εκτιμηθεί.

Παρόλαυτα, **δεν** συνίσταται η συσχέτιση του συστήματος GSI με άλλα συστήματα ταξινόμησης ιδιαίτερα για ασθενείς και ετερογενείς βραχομάζες. Στην τέτοιες περιπτώσεις είναι αποδεκτή η άμεση παρατήρηση στην ύπαιθρο.

Ωστόσο, σύμφωνα με τους Marinou, Marinou & Hoek (2005) η εφαρμογή του δείκτη συνοδεύεται από κάποιους περιορισμούς με στόχο την ορθότητα των τιμών:

- Προϋπόθεση για την εφαρμογή του είναι η ισοτροπική συμπεριφορά της βραχομάζας. Ισότροπα συμπεριφέρεται όταν δεν υπάρχουν ασυνέχειες που να «ελέγχουν» την αστοχία (δεν αναμένεται να αστοχήσει κατά μήκος συγκεκριμένων ασυνεχειών). Όταν, αντιθέτως, υπάρχουν προτιμητέες διευθύνσεις αστοχίας η βραχομάζα συμπεριφέρεται ανισότροπα. Σε ανισότροπα μέσα μπορεί να έχει εφαρμογή μόνο εφόσον η θραύση δεν ελέγχεται από την ανισοτροπία. Σε πολύ έντονα διακλασμένες – κατακερματισμένες ως τεκτονικά διατμημένες βραχομάζες το υλικό μπορεί να συμπεριφερθεί ως ευλόγως ισότροπο μέσο με κατάλληλη τη χρήση του GSI.
- Συνίσταται η χρήση του διαγράμματος να μην περιορίζεται στα εικονίδια αλλά να διαβάζονται οι περιγραφές και να αναζητείται εκείνη που πλησιάζει περισσότερο στην άμεση παρατήρηση.
- Στις σήραγγες, αν εκτιμάται ότι πτωχής ποιότητας βραχομάζα δύναται να διαταράξει της ευστάθεια της εκσκαφής, κι αν μην επικρατεί, συνίσταται μείωση της τιμής του GSI (μετακίνηση προς τα κάτω ή/και δεξιά).
- Όταν η οπτική παρατήρηση της βραχομάζας γίνεται από επιφανειακές εμφανίσεις πρέπει να συνυπολογίζεται ότι στο βάθος διάνοιξης της σήραγγας η δομή της θα είναι πιο σφικτή (μείωση ανοίγματος ασυνεχειών και αποσάθρωσης, με χαρακτηριστικό παράδειγμα τις μολάσσεις).
- Στην περίπτωση που οι ασυνέχειες είναι πληρωμένες, η κατάστασή τους περιγράφεται ως πολύ πτωχή με βάση το βασικό διάγραμμα.
- Η παρουσία υπόγειου νερού στα πετρώματα μειώνει την διατμητική αντοχή των ασυνεχειών και για το λόγο αυτό συνίσταται μετακίνηση της υπολογισμένης τιμής προς τα δεξιά.
- Προς τα δεξιά μετακινείται η τιμή και σε βραχομάζες που έχουν αποσαθρωθεί, σε σχέση με την υγιή τους κατάσταση.

ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI)
(E. Hoek, Π. Μαρίνος, 2000)

Βασίζονται στην περιγραφή της λιθολογικής σύστασης, της δομής και της ποιότητας των ασυνεχειών της βραχώδους εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI από τις καρτύτες. 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 επιπέδες επιφάνειες (όπως διατηρημένα επίπεδα στρώσης) έχουν δυσμενή προσανατολισμό σε σχέση με την εκκαοφή. Τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχώδους. Η αντοχή ορισμένων βραχωμάτων 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.

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ

ПОЛУ КАЛН

Πολύ τραχείες, υγείς, μη αποσπασθωμένες επιφάνειες

КАЛН

Τραχείες, ελαφρά αποσθρωμμένες και οξειδωμένες επιφάνειες

METPIA

Λειτουργίες, μετρίως αποσθρωμμένες και εξαλλοιωμένες
επιφάνειες

ПТСД

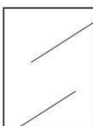
Πολύ λίγες, κατά περίπτωση ολισθηρές επιφάνειες με συμπανή επιφλοιώματα ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα

ПОЛУ ПТΩΧΗ

Πολύ ολισθηρές επιφάνειες ή πολύ αποσθρωμμένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης ή επιφλοΐωσης

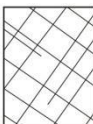
ΔΟΜΗ

ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ



APPHKTH

Ἀρρηκτα βραχῶδη τεμάχη ἡ ἀστρωτος βράχος
 με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση



ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ/ ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ

Αδιατάρακτη βραχομάζα με πολύ καλό
αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά
τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες
οικονόμειες ασυνεχειών



ΠΟΛΥ ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ

Μερικώς διαταραγμένη βραχόμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνχειών



ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ/ΠΤΥΧΩΜΕΝΗ

Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών.
Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας



ΑΠΟΔΙΟΡΓΑΝΩΜΕΝΗ

Ισχυρά κερματισμένη βραχύμαζα με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιώδων και αποστραγγυλωμένων τεμαχών



ΦΥΛΛΩΔΗΣ/ ΔΙΑΤΜΗΜΕΝΗ

Φυλλάδης ή υχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατηρημένη ασθενής βροχίτιδα. Η φύλλωση επικρατεί έναντι οποιαδήποτε άλλης οφθαλμικής ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιώδων τεμαχών (η κλίμακα σε αυτό το εικονίδιο δεν συγκρίνεται με αυτό των άλλων εικονιδίων)

MEIOYMENΟ ΑΛΗΛΟΚΛΕΙΔΩΜΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΤΕΜΑΧΩΝ

N

N

1

4

1

10

75

Να αναφερθεί πως το σύστημα GSI δεν αντικαθιστά τα προγενέστερα γνωστά συστήματα ταξινόμησης μιας και αυτά δημιουργήθηκαν για την εκτίμηση των μέτρων άμεσης υποστήριξης των βραχομαζών.

5.3.1. Δείκτης Γεωλογικής Αντοχής για ετερογενείς βραχομάζες, όπως ο Φλύσχη

Η απαίτηση για ιδιαίτερη γεωτεχνική ταξινόμηση του συγκεκριμένου γεωολικού προήλθε εξαιτίας της έντονης ετερογένειας που παρουσιάζει το υλικό, της συμμετοχής μελών χαμηλής αντοχής και της έντονης τεκτονικής διαταραχής που έχει σε πολλές περιπτώσεις καταστρέψει την πρωταρχική του δομή δημιουργώντας ασθενείς λιθοτύπους.

Με βάση την αποκτηθείσα εμπειρία από την κατασκευή τεχνικών έργων στο σχηματισμό του φλύσχη οι Hoek και Marinos (2000, 2001) επέκτειναν το βασικό διάγραμμα για εφαρμογή σε ετερογενείς βραχομάζες.

Το τελευταίο συμπληρώθηκε από τον Marino V. (2007) από την εμπειρία κατασκευής 13 σιράγγων σε περιβάλλον φλύσχη στα πλαίσια της ολοκλήρωσης της Εγνατίας Οδού. Το νέο διάγραμμα (Σχήμα 5.5.) διαφοροποιείται από το παλιό τόσο ως προς τη θέση των ταξινομημένων τύπων όσο και με την προσθήκη νέων φλυσχικών τύπων βραχομάζας. Σε αντίθεση με το διάγραμμα του 2001 η παρουσία ιλυολίθου λαμβάνεται υπόψη αρνητικά μόνο στις έντονα τεκτονικά καταπονημένες βραχομάζες, ενώ στις αδιατάρακτες ή ασθενώς κερματισμένες δομές οι τιμές GSI θα πρέπει να λαμβάνονται πιο μεγάλες, πλησιάζοντας μάλιστα αυτές των αντίστοιχων τύπων ψαμμιτικού φλύσχη. Συγκεκριμένα, οι αυξήσεις των τιμών του δείκτη είναι από 10 έως και 35 για τις μέτρια διαταραγμένες έως αδιατάραχτες δομές αντίστοιχα. Με άλλα λόγια, στο νέο αυτό διάγραμμα πρωτεύον ρόλο έπαιξε η **δομή** των διαφόρων λιθοτύπων και όχι η ποσόστωση των διαφορετικών λιθολογιών που συμμετέχουν.

Οι τύποι φλυσχικής βραχομάζας που απαντήθηκαν, διακρίθηκαν συνολικά σε 11 λινοτύπους ανάλογα με τα ποσοστά συμμετοχής ψαμμιτικών και ιλυολιθικών μελών καθώς επίσης και της τεκτονικής τους διαταραχής.

ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI) ΣΕ ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΕΣ ΟΠΩΣ Ο ΦΛΥΣΧΗΣ (B. Marinos, 2007)

Ετερογενείς βραχομάζες εννοούνται εδώ αυτές που εναλλάσσονται στρώματα σφαιρικών λιθολογικών τύπων με σημαντικές διαφορές στα χαρακτηριστικά αντοχής τους. Για τον φάσχα αυτές οι εναλλαγές αναφέρονται κυρίως σε ψαμίτες και ιαλύθους. Σε ορισμένες περιπτώσεις εμφανίζονται και οργάνικα σχημάτωση. Βασίζονται στην παρουσίαση της λιθολογικής ετερογένειας της δομής και της ποιότητας των συνεκτικών (κυρίως της στρώσης) της βραχομάζας επιλέγει το κατάλληλο πεδίο του πίνακα. Η επιλογή της δομής πρέπει να καθορίζεται με βάση την τεκτονική διαταραχή (διαστρωματική, μέτρια διαστρωματική, πολύ πτυχωμένη - διαστρωματική, αποδιοργανωμένη, διατημένη), την αναλογία ψαμμίτων και ιαλύθων και την εκτεταμένη εσωτερική στρωμάτωση τους. Στους τύπους IV και V όταν το πάχος των τραπεζών του ψαμμίτη είναι μεγάλο (>50 cm) προτείνεται η αύξηση της τιμής GSI κατά 5 μονάδες. Από τον τύπο IV και στους επόμενους τύπους τα επίπεδα στρώσεις διακρίνονται μέσα στη μάζα του ιαλύθου. Επιλέγει τη θέση στο πεδίο που περιγράφει τις συνθήκες και εκτιμάτε τη μέση τιμή του GSI από τις κορυφές. Το να επιλέξετε ένα τύπο των 33 έως 37 είναι πιο ασφαλιστικό από το να δηλώσετε ότι το GSI = 35. Ο κανόνας του 30 cm ισχύει για τις κορυφές των τραπεζών των ψαμμίτων και των ιαλύθων. Η αντοχή ορισμένων βραχομάζων μειώνεται από την παρουσία του νερού και αυτό μπορεί να ληφθεί υπόψη με μικρή μετακίνηση προς τα δεξιά στις στήλες της μετρίας, πτωχής και πολύ πτωχής κατάστασης συνδέσεων. Η πίεση του νερού δεν μεταβάλλει την τιμή του GSI αλλά μόνο την ανάλυση ενέργειών τύπων στους υπολογισμούς.

ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ

ΤΥΠΟΣ I. Αδιαστρωματικός, μεσοστρωματώδης έως πυκνοστρωματώδης ψαμμίτης με σποραδικούς πολύ λεπτούς υμένους ιαλύθους. Σε αβαθείς στρώσεις ή πριν αν ο μηχανισμός στάθειας λόγω έλλειψης κυκλικού παρεμπόδιου (χαλαρή δομή) έχει κινητικό χαρακτηρισμό που ελέγχεται από το επίπεδο στρώσης τότε δεν εφαρμόζεται ο δείκτης GSI



ΤΥΠΟΣ II. Αδιαστρωματικός συμπαγής ιαλύθος (δεν διακρίνονται τα επίπεδα στρώσεων) με σποραδικές λεπτές ενστροφικές ψαμμίτων



ΤΥΠΟΣ V. Μέτρια διαστρωματικός ιαλύθος με ενστροφικές ψαμμίτων



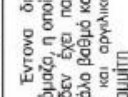
ΤΥΠΟΣ VI. Μέτρια διαστρωματικός ιαλύθος με αβαθείς ενστροφικές ψαμμίτων



ΤΥΠΟΣ VII. Έντονα διαστρωματική - πτυχωμένη βραχομάζα, η οποία διατηρεί τη δομή της και αποτελείται από εναλλαγές ψαμμίτη και ιαλύθου σε όες περίπου αναλογίες



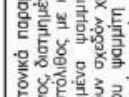
ΤΥΠΟΣ VIII. Έντονα διαστρωματική - πτυχωμένη βραχομάζα, η οποία διατηρεί τη δομή της και δεν έχει παραμορφωθεί διατηρεί σε μεγάλο βαθμό και αποτελείται από ιαλύθους ή και οργάνικα σχημάτωση με ενστροφικές ψαμμίτη



ΤΥΠΟΣ IX. Αποδιοργανωμένη βραχομάζα που απαντάται συνήθως σε μεγάλες ζώνες ρηγματισμών ή/και έντονης αποσάθρωσης. Στον τύπο αυτό απαντώνται κυρίως ψαθύρα γεωολικά με διαστρωμαμένο ιαλύθους υλικό ανάμεσα



ΤΥΠΟΣ X. Τεκτονικά παραμορφωμένος, έντονα πτυχωμένος, διατημένος ιαλύθος ή οργάνικος σχημάτωση με κερματισμένα και παραμορφωμένα ψαμμίτικα τεμάχια που διαμορφώνουν σχεδόν χωστική δομή. Οι στρώσεις του ψαμμίτη παραμένουν παράλληλες με αυτές του ιαλύθου



ΤΥΠΟΣ XI. Τεκτονικός ισχυρά διατημένος ιαλύθους ή οργάνικος σχημάτωση σε χωστική δομή με θύλακες οργάνου. Λεπτά στρώματα ψαμμίτη έχουν μετατραπεί σε κερματισμένα πολύ μικρά βραχόλη τεμάχια. Ορισικά η συμπεριφορά των γεωολικών μπορεί να προσομοιωθεί με εδαφικά



ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Επιφάνειες, υγιείς, μη αποσθρωμμένες	ΚΑΛΗ Τραπεζίες, ελαφρώς αποσθρωμμένες και οξείδωμένες επιφάνειες	ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσθρωμμένες και εξαλλοιωμένες επιφάνειες	ΠΤΩΧΗ Πολύ λείες, κατά μερίτην ολίσθηρες επιφάνειες με σημαντική βραχυμάζα υλικό μείωση με γωνιώδη βραχυμάζα	ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Πολύ ολίσθηρες επιφάνειες ή πολύ αποσθρωμμένες με υλικό ολίσθησης
80	I	II	N/A	N/A
70	II	III	IV	N/A
60	III	IV	V	N/A
50	IV	V	VI	N/A
40	V	VI	VII	VIII
30	VI	VII	VIII	IX
20	VII	VIII	IX	X
10	VIII	IX	X	XI
N/A	IX	X	XI	
N/A	X	XI		
N/A	XI			

N/A Σημείνει γεωολογικά αδύνατος συνδυασμός. Αλλού, εκτός των σκιασμένων περιοχών, περιπτώσεις όχι αδύνατες αλλά πολύ σπάνιες να υπάρχουν
→ Φορά τεκτονικής διαταραχής αντίστασης λιθολογίας

Σχήμα 5.5. Δείκτης Γεωλογικής Αντοχής GSI για ετερογενείς βραχομάζες (V. Marinos, 2007)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ

Με βάση τα τεχνικογεωλογικά τους χαρακτηριστικά, οι βραχώδεις φλυσχικοί σχηματισμοί διακρίθηκαν σε τέσσερις (4) τεχνικογεωλογικές ενότητες. Βασικός σκοπός της διάκρισης είναι ο προσδιορισμός της συμπεριφοράς των βραχομαζών που σχηματίζει ο φλύσχος στα υπόγεια έργα της περιοχής.

Παράλληλα, για τη βαθμονόμηση των σχηματισμών χρησιμοποιήθηκαν τα συστήματα ταξινόμησης βραχομάζας RMR και GSI. Η εφαρμογή τους βασίστηκε σε περιγραφές πυρήνων δειγματοληψίας και σε επιτόπου παρατήρηση των πυρήνων από τις γεωτρήσεις που είχαν εκτελεστεί στην περιοχή του συγκροτήματος υπογείων έργων του σταθμού παραγωγής. Επιπρόσθετα, στην γεωτεχνική ταξινόμηση συνέβαλλαν οι επιτόπου παρατηρήσεις του βραχώδους υποβάθρου.

6.1. ΤΕ 1: Υγιές συνεκτικό κροκαλοπαγές

Αποσάθρωση

Γενικά, η αποσάθρωση του πετρώματος στην περιοχή του σταθμού παραγωγής είναι ασθενής. Όμως, κατά τη διάρκεια των εκσκαφών της σήραγγας προσπέλασης του σταθμού παραγωγής, που υψομετρικά προσεγγίζει την οροφή του υπόγειου σταθμού, συναντήθηκε σημαντική αποσάθρωση κατά μήκος ενός παρακατακόρυφου συστήματος ασυνεχειών.

Το βάθος της αποσάθρωσης δεν ξεπερνά τα 2 – 3 m, κατά μήκος όμως των ασυνεχειών η αποσάθρωση προχωρά σε σημαντικά βάθη, δημιουργώντας ζώνες αποσάθρωσης πλάτους μέχρι 1 m.

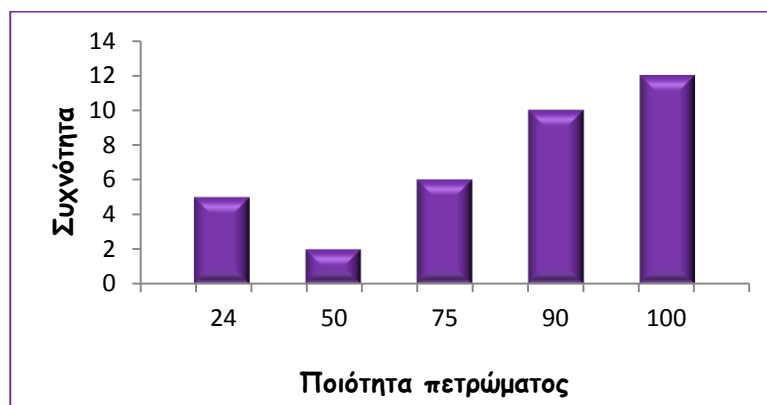
Αντοχή άρρηκτου βράχου

Η αντοχή σε μοναξονική θλίψη του υλικού, όπως προέκυψε από εργαστηριακές δοκιμές βραχομηχανικής στα πλαίσια της μελέτης του έργου μετρήθηκε από 21,3 MPa έως 3,27 MPa (μέγιστη – ελάχιστη τιμή αντίστοιχα). Γενικά, είναι αποδεκτές μεγάλες διακυμάνσεις των τιμών της μοναξονικής θλιπτικής αντοχής που οφείλονται στο διαφορετικό υλικό συγκόλλησης.

Κερματισμός – Δείκτης Ποιότητας Βραχομάζας (RQD)

Σύμφωνα με στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων του RQD για το σχηματισμό των κροκαλοπαγών, ο δείκτης κυμαίνεται από 75 έως 97%. Έτσι, λοιπόν, η βραχομάζα χαρακτηρίζεται από καλής μέχρι εξαιρετικής ποιότητας. Όπου είχαν καταγραφεί μικρότερες

τιμές δεν θεωρήθηκαν αντιπροσωπευτικές, αλλά μικρότερες των πραγματικών. Ο τεμαχισμός του πυρήνα δεν οφείλεται στις προϋπάρχουσες ασυνέχειες, αλλά στη χαλαρή συγκόλληση του κροκαλοπαγούς (μικρή έως μέση αντοχή συνδετικού υλικού) και στις σχετικά μεγάλες κροκάλες σε σχέση με τη διάμετρο της διάτρησης. Κατά συνέπεια, ο πυρήνας σπάει κατά τη διάτρηση.



Συχνότητα – Κατάσταση ασυνεχειών

Ο τεκτονισμός στο σχηματισμό των κροκαλοπαγών είναι πολύ ασθενής με μεμονωμένες αραιές, ανοικτές διακλάσεις. Από επιτόπου μετρήσεις, σημαντικότερο είναι ένα παρακατακόρυφο σύστημα με μέσο προσανατολισμό $170^{\circ}/85^{\circ}$. (Φωτογραφία 6.1). Παρατηρήθηκε επίσης και ένα οριζόντιο σύστημα διακλάσεων.



Φωτογραφία 6.1. Επιφανειακή εμφάνιση κροκαλοπαγούς, όπου είναι εμφανής η έντονη στρωσιγένεια καθώς και το παρακατακόρυφο σύστημα διακλάσεων που διατρέχει τη μάζα του

Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά

Λόγω λιθολογικής σύστασης (ιλυολιθικό matrix) η πρωτογενής διαπερατότητα των κροκαλοπαγών είναι πολύ μικρή. Όμως, επειδή οι ασυνέχειες της βραχομάζας είναι συνήθως ανοικτές και διευρυμένες, το επιφανειακό νερό κατεισδύει μέσω αυτών και εγκλωβίζεται στη βραχομάζα.

Κυκλοφορία νερού αναμένεται κατά μήκος ανοικτών ασυνεχειών, μέσα στις οποίες μπορεί το νερό να αποθηκεύεται σε περιορισμένες ποσότητες, δίχως να επηρεάζει την ευστάθεια των υπόγειων εκσκαφών.

Η ατελής επικοινωνία μεταξύ των ασυνεχειών που αποθηκεύουν νερό και η περιορισμένη αποθηκευτική τους ικανότητα δικαιολογούν την εμφάνιση περιορισμένης ποσότητας νερού και μόνο με κάποιες σημαντικές εισροές με φθίνουσα όμως εξέλιξη.

Στα έργα που έχουν διανοιχτεί στο πέτρωμα αυτό (σήραγγα προσπέλασης του σταθμού παραγωγής, Α' και Β' φάση εκσκαφής του υπόγειου σταθμού) συναντήθηκε μεμονωμένη υδροφορία που σταμάτησε μόλις εκτονώθηκε το εγκλωβισμένο στις ασυνέχειες νερό. Ακόμη, η κυκλοφορία του νερού από τις κατακόρυφες κυρίως διακλάσεις είναι δυνατόν να προκαλέσει διάβρωση πλευρικά και με τον τρόπο αυτό να δημιουργηθεί μια πλατιά διαβρωμένη ζώνη από την ενοποίηση δύο κατακόρυφων διακλάσεων (Φωτογραφία 6.2). Στη ζώνη αυτή μπορεί να εγκλωβιστεί μεγαλύτερη ποσότητα νερού που θα εκτονωθεί απότομα στη φάση της διάνοιξης.



Φωτογραφία 6.2. Δημιουργία πλατιάς διαβρωμένης ζώνης (από την ενοποίηση δύο κατακόρυφων διακλάσεων), εξαιτίας της κυκλοφορίας του νερού μέσω των διακλάσεων αυτών

Κατάταξη βραχομάζας κατά RMR και GSI

Όσον αφορά το σύστημα ταξινόμησης RMR, στην παρούσα αξιολόγηση δεν λαμβάνεται υπόψη η προσαρμογή της τελικής τιμής με βάση τον προσανατολισμό των ασυνεχειών διότι στην τελική κατάταξη συμπεριλαμβάνονται παραπάνω του ενός τεχνικά έργα. Κάτι τέτοιο θα είχε νόημα στην βαθμονόμηση των σχηματισμών που συναντώνται κατά μήκος μίας μόνο σήραγγας (για παράδειγμα σήραγγα φυγής).

Το εύρος τιμών που δίνεται στο κροκαλοπαγές βασίζεται στο βασικό διάγραμμα του GSI (Πίνακας 5.4).

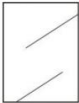
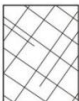
Η βαθμονόμηση του υλικού δίνεται ακολούθως:

Παράμετρος		Τιμή	Βαθμός	
			Μέγιστος	Ελάχιστος
1	Αντοχή βραχώδους υλικού (MPa)	1 - 25	2	1
2	RQD (%)	75 - 97	20	17
3	Απόσταση ασυνεχειών (m)	0,2 – 2	15	10
4	Κατάσταση ασυνεχειών	Ελαφρά τραχείες, ελαφρά έως μέτρια αποσαθρωμένα τοιχώματα	24	14
5	Υπόγειο νερό	Υγρό	7	7
Συνολική βαθμολογία παραμέτρων ταξινόμησης από 1 μέχρι 5: RMR _{bas}			68	49

Κατάσταση ασυνεχειών		Τιμή	Βαθμός	
			Μέγιστος	Ελάχιστος
1	Συνέχεια	1-3 m	4	4
2	Άνοιγμα	<0.01mm έως >5mm	5	0
3	Τραχύτητα	Πολύ τραχεία - τραχεία	6	5
4	Υλικό πλήρωσης	Αργιλοσαμμιτικό – αργιλικό – τοπικά ανθρακικό	4	2
5	Αποσάθρωση	Ελαφριά έως μέτρια	5	3
Σύνολο			24	14

Με βάση την τελική της βαθμολογία, η βραχομάζα χαρακτηρίζεται μέτρια έως καλή.

Για το σκληρό μαζικό κροκαλοπαγές με ασθενή έως μέτριο τεκτονισμό και το αραιό σύστημα διακλάσεων δόθηκε ένα εύρος τιμών GSI 75 – 85. Η κατάσταση των ασυνεχειών με βάση το βασικό διάγραμμα GSI χαρακτηρίζεται καλή, με ελαφρώς τραχείες επιφάνειες ασυνεχειών και ελαφρά αποσαθρωμένες ή οξειδωμένες.

ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI) (E. Hoek, Π. Marinos, 2000) Βασίζόμενοι στην περιγραφή της λιθολογικής σύστασης, της δομής και της ποιότητας των ασυνεχειών της βραχώδους εκτίμησης 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 ασυνεχείες 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.		ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τροχιές, υγείες, μη αποσπασθαισόμενες επιφάνειες ΚΑΛΗ Τροχιές, ελαφρά αποσπασθαισόμενες και οξειδωμένες επιφάνειες ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσπασθαισόμενες και εξαλειωμένες επιφάνειες ΠΤΩΧΗ Πολύ λείες, κατά περίπτωση ολισθηρές επιφάνειες με συμπαγή επιφλοιώματα ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Πολύ ολισθηρές επιφάνειες ή πολύ αποσπασθαισόμενες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης ή επιφλοιώσης				
ΔΟΜΗ		ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ				
 ΑΡΡΗΚΤΗ Άρρηκτη βραχώδη τεμάχια ή άστρωτος βράχος με λίγες ασυνεχείες σε μεγάλη απόσταση	 ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ/ ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ Αδιατάρακτη βραχώδης με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών	90				
		80				
			70			
			60			
				50		
				40		
 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 Φυλλώδης 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)					
		N/A	N/A			10

6.2. ΤΕ 2: Υγής ιλουόχης ψαμμίτης με μέτριο τεκτονισμό

Οι ψαμμίτες της συγκεκριμένης τεχνικογεωλογικής ενότητας εμφανίζονται μεσοστρωματώδεις έως παχυστρωματώδεις με ασθενή έως μέτριο τεκτονισμό.

Αποσάθρωση

Η αποσαθρωσιμότητα των ψαμμιτών είναι σχεδόν μηδενική, με μεμονωμένες οξειδώσεις σε επιφάνειες κατακόρυφων διατμήσεων που προχωρούν σε βάθος (επιλεκτική αποσάθρωση). Εντονότερη αποσάθρωση, όπου εντοπίζεται, δεν ξεπερνά σε βάθος τα 2 m.

Αντοχή άρρηκτου βράχου

Το συγκεκριμένο βραχώδες υλικό με βάση τις εργαστηριακές δοκιμές για τον προσδιορισμό της μοναξονικής του αντοχής χαρακτηρίζεται χαμηλής αντοχής ($\sigma_{ci} = 43,7$ MPa).

Κερματισμός – Δείκτης Ποιότητας Βραχομάζας (RQD)

Με βάση τη στατιστική κατανομή από τις επιτόπου μετρήσεις προσδιορισμού του δείκτη ποιότητας βραχομάζας, προκύπτει ένα πλαίσιο τιμών από 65% έως 99%. Τα παραπάνω στατιστικά δεδομένα δείχνουν μία βραχομάζα μέτριας έως πολύ καλής ποιότητας. Κατά συνέπεια, αναμένεται να προκύψουν δύο διαφορετικές τελικές τιμές RMR. Σε γενικές γραμμές, η δομή των ψαμμιτών είναι κλειστή εξαιρουμένων των ανοικτών ασυνεχειών.



Συχνότητα – Κατάσταση ασυνεχειών

Στους ψαμμίτες η τεκτονική καταπόνηση είναι μέτρια. Η μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών ασυνεχειών που μετρήθηκε στην περιοχή είναι 2 m. Παρατηρούνται λίγες μεμονωμένες διακλάσεις, συχνά ανοικτές.

Οι ασυνέχειες στο σύνολό τους εμφανίζουν ασβεστίτικο υλικό πλήρωσης (1–5 mm). Από επιτόπιες παρατηρήσεις, είναι ελαφρώς τραχείες και ελαφρά οξειδωμένες. Χαρακτηριστική είναι η φωτογραφία 6.3, όπου φαίνεται η επιφάνεια μίας ψαμμιτικής ασυνέχειας (διάκλασης).



Φωτογραφία 6.3. Επιφάνεια ψαμμιτικής ασυνέχειας

Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά

Το πρωτογενές πορώδες των **ψαμμιτών** είναι σε γενικές γραμμές μικρό και η διαπερατότητα του πετρώματος κυμαίνεται ανάλογα με την περιεκτικότητα σε λεπτόκοκκα συστατικά (ιλύς), διατηρώντας χαμηλές τιμές. Οι ασυνέχειες της βραχομάζας είναι συχνά ανοικτές δημιουργώντας δευτερογενές πορώδες μέσα στο οποίο κυκλοφορεί και αποθηκεύεται υπόγειο νερό.

Η υδροφορία αναμένεται ασθενής, χωρίς σημαντική επίδραση στην ευστάθεια. Όπως και στην ενότητα των κροκαλοπαγών, αναμένεται να εκδηλωθεί σε μεμονωμένες ανοικτές ασυνέχειες με φθίνουσα εξέλιξη και χωρίς ουσιαστικές επιπτώσεις.

Κατάταξη βραχομάζας κατά RMR και GSI

Όσον αφορά το σύστημα ταξινόμησης RMR, στην παρούσα αξιολόγηση δεν λαμβάνεται υπόψη η προσαρμογή της τελικής τιμής με βάση τον προσανατολισμό των ασυνεχειών διότι στην τελική κατάταξη συμπεριλαμβάνονται παραπάνω του ενός τεχνικά έργα.

Από τα παραπάνω μεγέθη προκύπτει, τελικά, η ποσοτική ταξινόμηση του γεωυλικού:

Παράμετρος		Τιμή	Βαθμός	
			Μέγιστος	Ελάχιστος
1	Αντοχή βραχώδους υλικού (MPa)	25 - 50	4	4
2	RQD (%)	60 - 100	20	13
3	Απόσταση ασυνεχειών (m)	0,2 – 2	15	10
4	Κατάσταση ασυνεχειών	Ελαφρά τραχείες, διαχωρισμός <1mm, ελαφρά αποσαθρωμένα τοιχώματα/ Υλικό πλήρωσης 1-5mm	25	19
5	Υπόγειο νερό	υγρή έως στάγδην	7	4
Συνολική βαθμολογία παραμέτρων ταξινόμησης από 1 μέχρι 5: RMR_{bas}			71	50

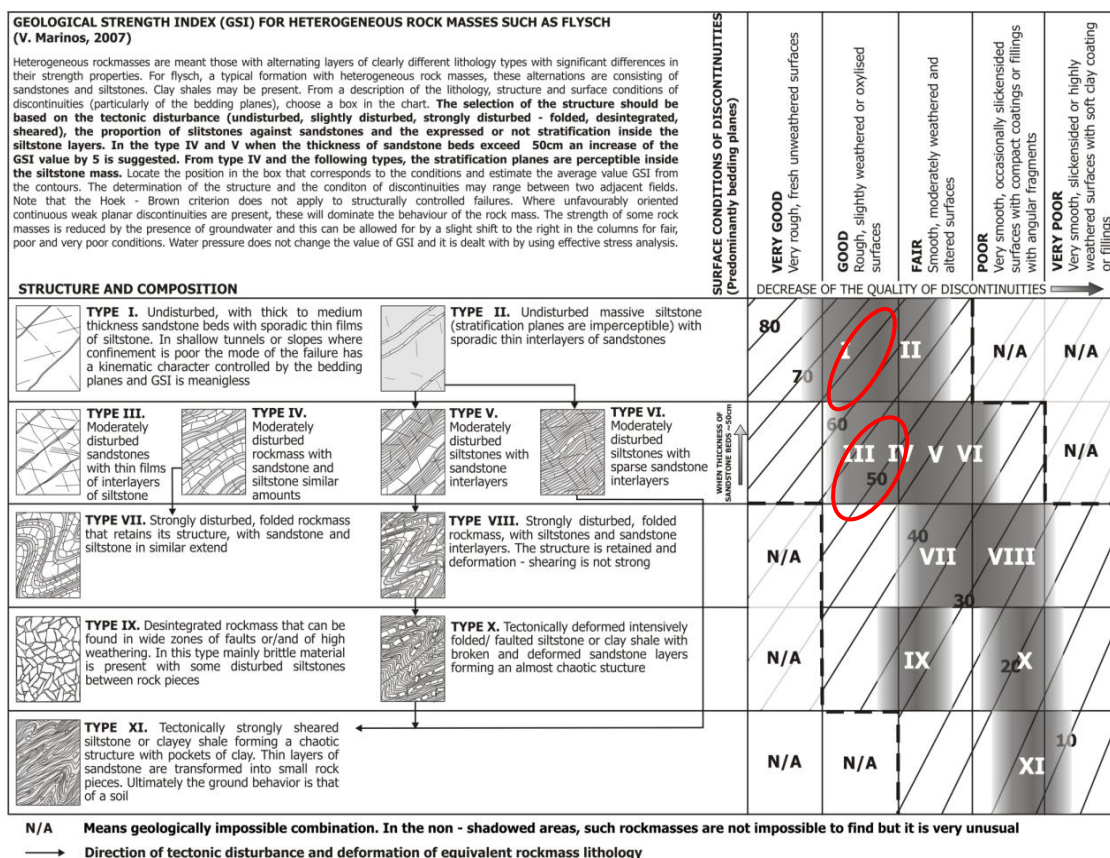
Κατάσταση ασυνεχειών		Τιμή	Βαθμός	
			Μέγιστος	Ελάχιστος
1	Συνέχεια	<1m	6	6
2	Άνοιγμα	Από >0,1mm έως 5mm	5	1
3	Τραχύτητα	Ελαφρά τραχεία	3	3
4	Υλικό πλήρωσης	Σκληρό υλικό πλήρωσης	6	4
5	Αποσάθρωση	Υγής έως ελαφρά αποσαθρωμένη	6	5
Σύνολο			26	19

Με βάση την τελική της βαθμολογία, η βραχομάζα χαρακτηρίζεται μέτρια έως καλή.

Για τον ψαμμίτη χρησιμοποιείται ο δείκτης γεωλογικής αντοχής για ετερογενείς βραχομάζες (Πίνακας 5.5).

Η δομή του σχηματισμού είναι μέτρια – τοπικά έντονα – διαταραγμένη, συνίσταται δε από χονδρόκοκκους ψαθυρούς ψαμμίτες με λεπτές παρεμβολές ιλυολίθου. Ο **Τύπος ΙΙΙ** πλησιάζει περισσότερο την δομή του πετρώματος. Το αντίστοιχο εύρος διακύμανσης των τιμών GSI που δίνεται είναι **50 – 55**.

Κατά τόπους, συναντάται χονδρόκοκκος, παχυστρωματώδης και ψαθυρός ψαμμίτης με παρεμβολές λεπτοστρωματωδών ιλυολίθων και ασθενή τεκτονισμό. Ο τύπος που αντιστοιχεί είναι ο **Τύπος Ι** με GSI **60 – 65**.



6.3. TE 3: Υγής ιλυόλιθος με ασθενή τεκτονισμό

Αποσάθρωση

Η συγκεκριμένη ενότητα εμφανίζεται υγής έως ελαφρά αποσαθρωμένη όπου οι σχηματισμοί συναντώνται σε μικρότερο βάθος. Οι ιλυόλιθοι που έχουν έρθει σε επαφή με την επιφάνεια έχουν υποστεί αλλοίωση μέσω του φαινομένου της σχάσης, παράλληλα με τις επιφάνειες των στρώσεων. Η βραχομάζα εμφανίζεται σχιστοποιημένη και εξαλλοιωμένη σε ιλυώδες – αργιλωδες υλικό.

Αρνητική από τεχνικογεωλογικής άποψης είναι η ύπαρξη διογκούμενων αργιλικών ορυκτών. Γίνεται κατανοητό ότι φαινόμενα όπως ο γρήγορος θρυμματισμός του πετρώματος στην επιφάνεια καθώς και η διόγκωση και θρυμματισμός των πυρήνων των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων οφείλονται στην ύπαρξη αυτών των ορυκτών.

Αντοχή άρρηκτου βράχου

Η αντοχή τους είναι χαμηλή έως πολύ χαμηλή. Παρατηρούνται κυμαινόμενες τιμές αντοχής σε μοναξονική θλίψη από 5 έως 40 MPa.

Κερματισμός – Δείκτης Ποιότητας Βραχομάζας (RQD)

Η ιλυολιθική βραχομάζα που δεν έχει υποστεί έντονη τεκτονική καταπόνηση (συμπαγής) έχει τιμές RQD από 60% έως 90%.



Συχνότητα – Κατάσταση ασυνεχειών

Οι τεκτονικές ασυνέχειες στους ιλυολίθους είναι σχεδόν στο σύνολό τους κλειστές ή γεμάτες με ασβεστίτη.

Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά

Γενικά, στην ενότητα των ιλυολίθων που δεν έχουν υποστεί έντονη τεκτονική καταπόνηση αναμένεται εξαιρετικά ασθενής υπόγεια υδροφορία, εντοπισμένη τοπικά σε σποραδική υγρασία.

Ο ιλυόλιθος εξαιτίας της λεπτής κοκκομετρίας του (αργιλική ορυκτολογική σύσταση και σημαντικό ποσοστό διογκούμενων ορυκτών) έχει σχεδόν μηδενικό πρωτογενές πορώδες. Οι τιμές του συντελεστή διαπερατότητας σύμφωνα με επιτόπου δοκιμές είναι της τάξης του 10^{-9} cm/sec. Περιορισμένο, όμως, εμφανίζεται και το δευτερογενές πορώδες της βραχομάζας δεδομένου ότι οι ασυνέχειές της είναι σχεδόν στο σύνολό τους κλειστές. Δημιουργούνται με τον τρόπο αυτό συνθήκες χαμηλής υδροπερατότητας ως πρακτικά αδιαπέρατης συμπεριφοράς. Έτσι οι κατεισδύσεις, η κίνηση και ο εγκλωβισμός του νερού στη βραχομάζα δεν αναμένεται να αποτελέσουν σημαντικό πρόβλημα μιας και δεν αναμένεται η ανάπτυξη ενός ενιαίου υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.

Κατάταξη βραχομάζας κατά RMR και GSI

Για το σύστημα ταξινόμησης RMR δεν λαμβάνεται υπόψη η προσαρμογή της τελικής τιμής με βάση τον προσανατολισμό των ασυνεχειών διότι στην τελική κατάταξη συμπεριλαμβάνονται παραπάνω του ενός τεχνικά έργα.

Σύμφωνα με τα παραπάνω χαρακτηριστικά προκύπτει, τελικά, η ποσοτική ταξινόμηση της τεχνικογεωλογικής ενότητας των ιλυολίθων:

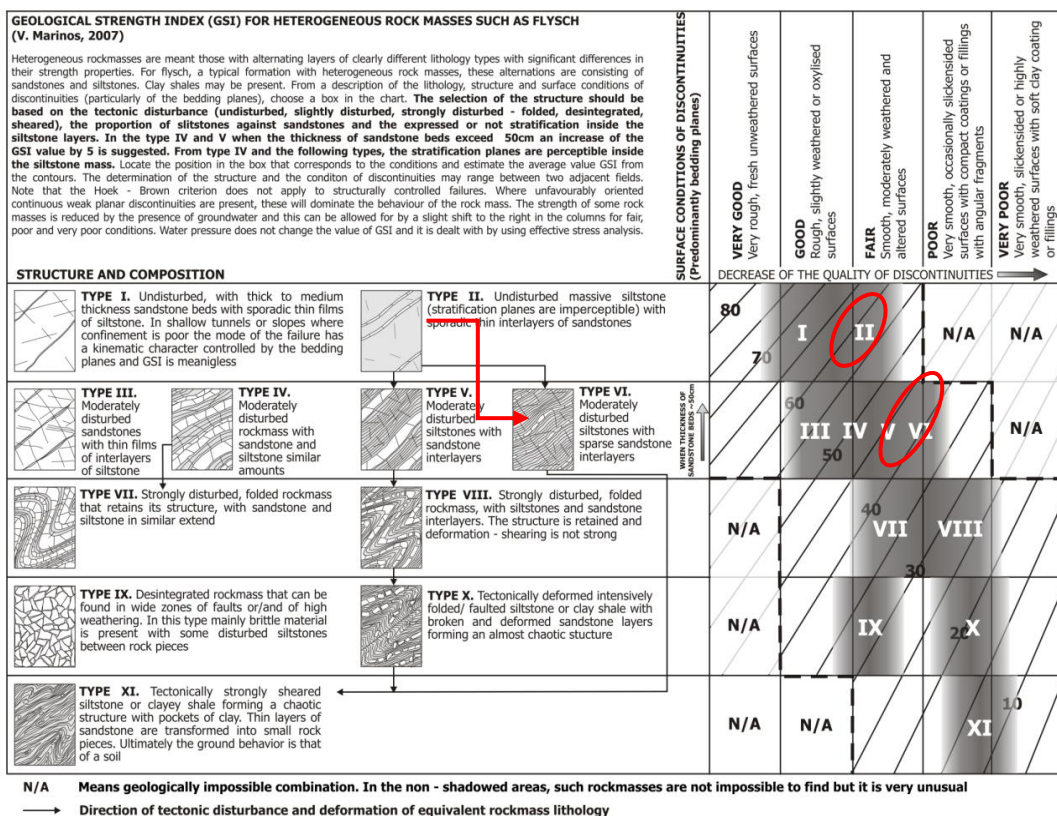
Παράμετρος		Τιμή	Βαθμός	
			Μέγιστος	Ελάχιστος
1	Αντοχή βραχώδους υλικού (MPa)	5 - 44	4	2
2	RQD (%)	60 - 90	20	13
3	Απόσταση ασυνεχειών (m)	0,6 – 2	15	15
4	Κατάσταση ασυνεχειών	Ελαφρά τραχείες, σχεδόν μηδενική αποσάθρωση, τοπικά ασβεστιτικό υλικό πλήρωσης (1 – 5 mm)	25	17
5	Υπόγειο νερό	Ξηρό – ύφυγρο	15	10
Συνολική βαθμολογία παραμέτρων ταξινόμησης από 1 μέχρι 5: RMR_{bas}			79	57

Κατάσταση ασυνεχειών		Τιμή	Βαθμός	
			Μέγιστος	Ελάχιστος
1	Συνέχεια	1-3m	4	4
2	Άνοιγμα	Κανένα/ασβεστιτικό υλικό πλήρωσης (1 – 5 mm)	6	1
3	Τραχύτητα	Ελαφρά τραχείες	3	3
4	Υλικό πλήρωσης	Κανένα/ασβεστίτης (1 – 5 mm)	6	4
5	Αποσάθρωση	Υγιής έως ελαφρά αποσαθρωμένη	6	5
Σύνολο			25	17

Για την ταξινόμηση της βραχομάζας με βάση το σύστημα GSI χρησιμοποιείται ο δείκτης γεωλογικής αντοχής για ετερογενείς βραχομάζες (Πίνακας 5.5).

Η βραχομάζα παρουσιάζεται συμπαγής με λεπτές ψαμμιτικές ενστρώσεις σποραδικά (πάχους 1 – 2 cm). Ο τεκτονισμός είναι ασθενής. Οι τιμές GSI αντιστοιχούν στον **Τύπος II** και κυμαίνονται μεταξύ **55 – 60**.

Ο συγκεκριμένος σχηματισμός (Τύπος II), εμφανίζεται – σπανιότερα – μέτρια διαταραγμένος. Στην περίπτωση αυτή, ο **Τύπος VI** θεωρείται ως ο πιο αντιπροσωπευτικός (GSI μεταξύ **40 – 45**).



6.4. ΤΕ 4: Διατμημένος ιλυόλιθος με έντονη τεκτονική καταπόνηση

Αποσάθρωση

Ο πυρήνας θρυμματίζεται μετά την έκθεσή του σε ατμοσφαιρικές συνθήκες. Η αποσάθρωση αυτή περιορίζεται στις φτωχότερες σε άμμο ζώνες του πετρώματος. Η έντονη τεκτονική καταπόνηση της βραχομάζας συμβάλλει στο γρήγορο θρυμματισμό της. Η διόγκωση εξαιτίας της ύπαρξης αργιλικών ορυκτών αποτελεί αρνητικό χαρακτηριστικό και αυτής της ενότητας.

Όπου ο τεκτονισμός των ιλυολίθων είναι έντονος συνοδεύεται με διάτμηση. Η βραχομάζα εμφανίζεται με σχιστώδη έως φυλλώδη (διαχωρίζεται σε λεπτά «φύλλα» πάχους 2-10cm) δομή. Αυτές οι παράλληλες μικροεπιφάνειες δίνουν στη βραχομάζα μια άτυπη σχιστότητα και μια ανισοτροπία. Πρέπει, επομένως, να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στον προσανατολισμό της «σχιστότητας» αναφορικά με τους επιμήκεις άξονες των υπόγειων ανοιγμάτων και τη φορά προχώρησης της εκσκαφής καθώς και οι δύο αυτοί παράγοντες επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την ευστάθεια.



Φωτογραφίες 6.4. και 6.5. Χαρακτηριστικές επιφανειακές εμφανίσεις ιλνολίθου με ψαμμιτικές και ασβεστολιθικές ενστρώσεις (GSI: 25 – 30. Τύπος VIII - X)

Αντοχή άρρηκτου βράχου

Για το συγκεκριμένο γεωυλικό δεν βρέθηκαν εργαστηριακές δοκιμές βραχομηχανικής για τον προσδιορισμό της αντοχής του. Σύμφωνα, όμως, με τις επιτόπιες παρατηρήσεις έγινε ποιοτική εκτίμηση. Επειδή ο πυρήνας χαράσσεται εύκολα με το νύχι του αντίχειρα, χαρακτηρίστηκε εξαιρετικά χαμηλής αντοχής.

Κερματισμός – Δείκτης Ποιότητας Βραχομάζας (RQD)

Η ποιότητα του πετρώματος είναι πολύ πτωχή, με συνολική διακύμανση του δείκτη από 0 έως 24 %. Στις χαμηλές τιμές RQD συνέβαλλε και ο γρήγορος θρυμματισμός του πυρήνα ακόμα και σε τμήμα που αρχικά ήταν συμπαγές, προοδευτικά μετά την εξαγωγή του.

Συχνότητα – Κατάσταση ασυνεχειών

Οι επιφάνειες των ασυνεχειών εμφανίζονται στιλπνές (λείες και ολισθηρές). Στις επιφάνειες των ασυνεχειών εντοπίζονται σε πολλά σημεία γραμμώσεις που μαρτυρούν ολισθητικές σχετικές κινήσεις των εκατέρωθεν τεμαχών.

Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά

Αναμένεται σε γενικές γραμμές ασθενής υδροφορία που εκδηλώνεται με γενική υγρασία και τοπικά σταγόνες και με σημαντική επίδραση στην ευστάθεια.

Κατάταξη βραχομάζας κατά RMR και GSI

Για το σύστημα ταξινόμησης RMR δεν λαμβάνεται υπόψη η προσαρμογή της τελικής τιμής με βάση τον προσανατολισμό των ασυνεχειών διότι στην τελική κατάταξη συμπεριλαμβάνονται παραπάνω του ενός τεχνικά έργα.

Παράμετρος		Τιμή	Βαθμός
1	Αντοχή βραχώδους υλικού (MPa)	0,25 – 1 MPa	0
2	RQD (%)	0 - 24	3
3	Απόσταση ασυνεχειών (m)	<0,06	5
4	Κατάσταση ασυνεχειών	Ολισθηρές επιφάνειες	10
5	Υπόγειο νερό	Νερό σε κίνηση	0
Συνολική βαθμολογία παραμέτρων ταξινόμησης από 1 μέχρι 5: RMR_{bas}			18

Για την ταξινόμηση της βραχομάζας με βάση το σύστημα GSI χρησιμοποιείται ο δείκτης γεωλογικής αντοχής για ετερογενείς βραχομάζες (Πίνακας 5.5).

Η δομή του συγκεκριμένου γεωυλικού είναι έντονα διαταραγμένη τεκτονικά με την ιλυολιθική μάζα να «διακόπτεται» από λεπτές ψαμμιτικές παρεμβολές, πάχους 1 – 2 cm. Ο ιλυόλιθος εμφανίζεται διατμημένος. Εμφάνιση μικροπτυχώσεων περιορίζεται σε τοπική μόνο κλίμακα. Με βάση το γεωλογικό δείκτη αντοχής για ετερογενείς βραχομάζες, οι συνθήκες που περιγράφουν καλύτερα το σχηματισμό αυτό αντιπροσωπεύονται από τον **Τύπο VIII** και εν μέρει από τον **Τύπο X**. Το αντίστοιχο εύρος διακύμανσης των τιμών GSI είναι **23 – 30**.

ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI) ΣΕ ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΕΣ ΟΠΩΣ Ο ΦΑΛΥΣΧΗΣ (B. Μαρίνος, 2007)

Ετερογενείς βραχώδεις εννοούνται εδώ αυτές που εναλλάσσονται στρώματα σαφώς διαφορετικών λιθολογικών τύπων με σημαντικές διαφορές στα χαρακτηριστικά αντοχής τους. Για τον φάλοχ οι αυτές οι εναλλαγές αναφέρονται κυρίως σε ψαμμίτες και ιαλύλθους. Σε ορισμένες περιπτώσεις εμφανίζονται και αργιλικόι σχετάλθους. Βαλόμενοι στην περιγραφή της λιθολογικής ατάτασης, της δομής και της ποιότητας των ασυνεχών (κυρίως της στρώσης) της βραχώδους επιλέτε το κατάλληλο πεδίο που ήπιασε. Η επιλογή της δομής πρέπει να καθορίζεται με βάση την τεκτονική διαταραχή (αδιατάρακτα, μέτρια διαταραγμένη, πολύ πτυχωμένη - διαταραγμένη, αποδιοργανωμένη, διατημένη), την αναλογία ψαμμίτων και ιαλύλθων και την εκτετασμένη εσωτερική στρωμάτωση τους. Στους τύπους IV και V όταν το πάχος των τραπεζών του ψαμμίτη είναι μεγάλο (~50 cm) προτείνεται η αύξηση της τιμής GSI κατά 5 μονάδες. Από τον τύπο IV και στους επόμενους τύπους το επίπεδο στρώσης διακρίνονται μέσα στη μαζα του ιαλύλθου. Επιλέτε τη θέση στο πεδίο που περιγράφει τις συνθήκες και εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI από τις κορυφές. Το να επιλέξετε ένα κόρος τιμών π.χ. από 33 έως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι το GSI =35. Ο καθορισμός της δομής καθώς και της ποιότητας των ασυνεχών μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ δύο γεωτονικών πεδίων προς κάθε κατεύθυνση. Τονίζεται ιδιαίτερα ότι το κριτήριο Hoek - Brown δεν εφαρμόζεται σε αστάθεις που ελέγχονται από συγκεκριμένες ασυνέχεις όταν οι αστάθεις επιπέδες επιφάνειες (όπως διατημένη επίπεδα στρώση) έχουν διεμένη προσανατολισμό σε σχέση με την ιακασή. Τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχώδους. Η αντοχή ορισμένων βραχώδων μειώνεται από τη παρουσία του υπόγειου νερού και αυτό μπορεί να ληφθεί υπόψη με μικρή μετακίνηση προς τα δεξιά στις στήλες της μέτριας, πτυχής και πολύ πτυχής κατάστασης ασυνεχών. Η πίεση του νερού δεν μεταβάλλει την τιμή του GSI και ληφθένται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων στους υπολογισμούς.

ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ

		ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ (επίπεδο στρώσης)		ΜΕΙΩΤΗΜΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ	
		ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τρυφερές υνείες, μη αποσπασθόμενες επιφάνειες	ΚΑΛΗ Τρυφερές, ελαφρώ αποσπασθόμενες και οξυδωμένες επιφάνειες	ΜΕΤΡΙΑ Κείες, λεπτιές αποσπασθόμενες και εφελκωμένες επιφάνειες	ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Πολύ κείες, κατά περίπτωση ολολογές επιφάνειες με συμπαγή επιφάνειες ή υλικό πλήρωσης με κανονική θραύση
	ΤΥΠΟΣ I. Αδιατάρακτος, μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ψαμμίτης με απορράκτους πολύ λεπτούς ψιμένους ιαλύλθους. Σε αβασίες στρώσεις ή προνή αν ο μηχανισμός αστάθειας λόγω έλλειψης πλευρικού παρεμποδισμού (χωρική δομή) έχει κινηματικό χαρακτήρα που ελέγχεται από το επίπεδο στρώσης τότε δεν εφαρμόζεται ο δείκτης GSI			I	II
	ΤΥΠΟΣ II. Αδιατάρακτος συμπαγής ιαλύλθος (δεν διακρίνονται τα επίπεδα στρώσεων) με απορράκτες, λεπτές ενστροφές ψαμμίτων			III	IV
	ΤΥΠΟΣ III. Μέτρια διαταραγμένος ψαμμίτης με λεπτές ενστροφές ιαλύλθων			V	VI
	ΤΥΠΟΣ IV. Μέτρια διαταραγμένη βραχώδης που αποτελείται από εναλλαγές ψαμμίτη και ιαλύλθου σε ίσες περίπου αναλογίες				
	ΤΥΠΟΣ V. Μέτρια διαταραγμένος ιαλύλθος με ενστροφές ψαμμίτων				
	ΤΥΠΟΣ VI. Μέτρια διαταραγμένος ιαλύλθος με αραιές ενστροφές ψαμμίτων				
	ΤΥΠΟΣ VII. Έντονα διαταραγμένη - πτυχωμένη βραχώδης, η οποία διατηρεί τη δομή της και δεν έχει παρομοιωθεί - διατηρεί σε μεγάλο βαθμό και αποτελείται από ιαλύλθους ή και αργιλικό σχετάλθους με ενστροφές ψαμμίτη			VII	VIII
	ΤΥΠΟΣ VIII. Έντονα διαταραγμένη - πτυχωμένη βραχώδης, η οποία διατηρεί τη δομή της και δεν έχει παρομοιωθεί - διατηρεί σε μεγάλο βαθμό και αποτελείται από ιαλύλθους ή και αργιλικό σχετάλθους με ενστροφές ψαμμίτη				
	ΤΥΠΟΣ IX. Αποδιοργανωμένη βραχώδης που απαντάται συνήθως σε μεγάλες ζώνες ρηγμάτων ή/και έντονης αποσάθωσης. Στον τύπο αυτό απαντώνται κυρίως ψαθωρά γεωλικά με διαταραγμένο ιαλύλθικο υλικό ανάμεσα			IX	X
	ΤΥΠΟΣ X. Τεκτονικά παρομοιωμένος, έντονα πτυχωμένος, διατημένος ιαλύλθος ή αργιλικός σχετάλθους με κερματισμένα και παρομοιωμένα ψαμμιτικά τεμάχια που διαμορφώνουν σχεδόν χαοτική δομή. Οι στρώσεις του ψαμμίτη παραμένουν παράλληλες με αυτές του ιαλύλθου				
	ΤΥΠΟΣ XI. Τεκτονικά ισχυρά διατημένος ιαλύλθος ή αργιλικός σχετάλθους σε χαοτική δομή με θύλακες αργιλικού. Λεπτά στρώματα ψαμμίτη έχουν μετατραπεί σε κερματισμένα πολύ μικρά βραχώδη τεμάχια. Ορισκό η συμπεριφορά των γεωλικών μπορεί να προσομοιωθεί με εδαφικά				XI

N/A Σημείνει γεωλογικός αδύνατος συνδυασμός. Αλλού, εκτός των σκιασμένων περιοχών, περιπτώσεις όχι αδύνατες αλλά πολύ σπάνιες να υπάρχουν
 → Φορά τεκτονικής διαταραχής αντίστοιχης λιθολογίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΣΗΡΑΓΓΑΣ ΦΥΓΗΣ

7.1. Τεχνικογεωλογικές συνθήκες

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, η σήραγγα φυγής βρίσκεται σήμερα στο στάδιο κατασκευής. Έτσι, υπήρξε η δυνατότητα αποτύπωσης πληθώρας μετώπων μέσω της χαρτογράφησής τους, η οποία περιλαμβάνει τόσο μετρήσεις του προσανατολισμού των κύριων διακλάσεων, όσο και γεωτεχνική ταξινόμηση.

Η χαρτογράφηση του μετώπου έγινε κατά τη διάρκεια του ξεσκαρώματος της βραχομάζας και σε κάθε περίπτωση προτού τοποθετηθούν τα μέτρα άμεσης υποστήριξης (Φωτογραφία 7.1).



Φωτογραφία 7.1. Χρήση εκρηκτικών και μηχανικών μέσων για την προχώρηση της διάνοιξης (συμβατική μέθοδος)

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται οι τεχνικογεωλογικές συνθήκες κατά μήκος της σήραγγας φυγής του συγκροτήματος παραγωγής, ενώ έχουν διακριθεί έξι (6) επιμέρους τμήματα βάσει γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών συνθηκών. Για κάθε ένα τμήμα αξιολογούνται τα δεδομένα των γεωτρήσεων με σκοπό την δημιουργία γεωλογικής και

τεχνικογεωλογικής μηκοτομής. Επίσης, πραγματοποιήθηκαν, όπου ήταν δυνατόν, κατατάξεις βραχομάζας με τα συστήματα ταξινόμησης RMR και GSI. Σε τμήματα όπου η εκσκαφή είχε ολοκληρωθεί και δεν υπήρχε δυνατότητα λήψης πρωτογενών δεδομένων, συνδυάστηκαν τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν επιτόπου με προγενέστερα στοιχεία της μελέτης.

Σημειώνεται ότι πραγματοποιήθηκαν κατά κύριο λόγο μετρήσεις διακλάσεων στο σχηματισμό των ιλυούχων ψαμμιτών μιας και την περίοδο που πραγματοποιήθηκαν οι επισκέψεις στο έργο, η διάνοιξη γινόταν εξ' ολοκλήρου στο πέτρωμα αυτό. Συμπεραίνεται ότι οι ασυνέχειες αυτές δεν παρουσιάζουν κανονικότητα και δεν διακρίνεται κάποιο σύστημα με μεγαλύτερη συνέχεια συγκριτικά με τα υπόλοιπα. Αντίθετα, αλλάζουν συνεχώς κατά την προχώρηση της εκσκαφής.

Για τον προσδιορισμό των τεχνικογεωλογικών συνθηκών λήφθηκαν υπόψη δεδομένα από συνολικά 24 δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, 9 εκ των οποίων είχαν διατηρηθεί κατά μήκος της σήραγγας φυγής.

Χ.Θ. 4+334 έως 4+465 – Περιοχή σήραγγας προσαγωγής

Το τμήμα αυτό αντιστοιχεί στην περιοχή όπου η σήραγγα προσαγωγής καταλήγει με κλίση στον σταθμό παραγωγής. Το συνολικό μήκος είναι 130 m, ενώ τα υπερκείμενα κυμαίνονται από 85 έως 120 m.

Οι γεωτρήσεις κατά μήκος της σήραγγας προσαγωγής που συναντώνται είναι οι MB-4, ME/E-8 συνολικού βάθους 220 m.

Από λιθολογικής άποψης το τμήμα αυτό συνίσταται από ιλυολίθους με λεπτές ψαμμιτικές ενστρώσεις και από κροκαλοπαγή. Σε όλο το τμήμα αυτό της χάραξης οι ιλυόλιθοι υπόκεινται των κροκαλοπαγών. Οι ιλυόλιθοι είναι έντονα καταπονημένοι τεκτονικά και διατμημένοι. Όπως έδειξαν, όχι μόνο οι ανωτέρω γεωτρήσεις, αλλά και όσες διανοίχτηκαν στην περιοχή του σταθμού παραγωγής, όπου συναντήθηκαν ιλυόλιθοι κοντά στην επαφή τους με τις άκαμπτες μάζες των κροκαλοπαγών, οι πρώτοι εμφάνιζαν έντονο τεκτονισμό.

Στη γεώτρηση ME/E-8 τα χαλαρά υπερκείμενα υλικά έχουν πάχος 6,1 m. Τα κροκαλοπαγή είναι συμπαγή, υγρή με ασθενή τεκτονισμό (RQD 98%) και φτάνουν μέχρι το βάθος των 88,5 m (υψόμετρο 530,26 m). Τα τελευταία 5 m του σχηματισμού είναι πιο λεπτόκοκκα, καθώς στα κροκαλοπαγή παρεμβάλλεται μια ζώνη ιλυούχων ψαμμιτών με ασθενή τεκτονισμό και υψηλό RQD. Κάτω από τη ζώνη αυτή ακολουθεί ένας έντονα κερματισμένος και διατμημένος ιλυόλιθος με πολύ μικρό RQD (8%), που ακολουθεί μετά το υψόμετρο 530,3 m.

Από υδρογεωλογικής άποψης οι στάθμες των γεωτρήσεων σταθεροποιήθηκαν περίπου στα 36 m από την επιφάνεια, στον σχηματισμό των κροκαλοπαγών. Συγκρίνοντας τη στάθμη του νερού της γεώτρησης ME/E-8 με στάθμες από κοντινές γεωτρήσεις σε ίδιους

γεωλογικούς σχηματισμούς, οι οποίες δεν έχουν μεγάλη υψομετρική διαφορά, γίνεται φανερό πως αυτές δεν είναι συγκρίσιμες. Συνεπώς, στη μάζα των κροκαλοπαγών δεν αναπτύσσεται ένας ενιαίος υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας.

Χ.Θ. 4+465 έως 4+658 – Περιοχή κατάντη θαλάμου ανάπαλσης και αρχικό τμήμα σήραγγας φυγής

Το τμήμα αυτό αντιστοιχεί στην περιοχή του θαλάμου ανάπαλσης της σήραγγας φυγής και σε ένα τμήμα της σήραγγας φυγής. Η διάνοιξη του τμήματος είχε ολοκληρωθεί πριν τις επισκέψεις στο ΥΗΕ Μετσοβίτικου.

Οι γεωτρήσεις που έχουν διανοιχτεί στις προαναφερόμενες Χ.Θ. είναι οι ΓΜΕ/26 και ΜΒ-5.

Από λιθολογικής άποψης συναντάται από σκληρό μαζικό κροκαλοπαγές με ασθενή τεκτονισμό και ασθενή αποσάθρωση. Η γεώτρηση ΓΜΕ-26 συνάντησε 13 m επιφανειακά χαλαρά υλικά (μέχρι το υψόμετρο 604 m), ενώ μέχρι το βάθος των 92 m (υψόμετρο 525 m) συνάντησε ένα υγιές συμπαγές κροκαλοπαγές μέσης σκληρότητας με υψηλό RQD (75-85%). Κάτω από το πέτρωμα αυτό συναντήθηκε ιλυόλιθος έντονα τεκτονισμένος και τοπικά διατμημένος με μηδενικό RQD.

Λόγω λιθολογικής σύστασης (ιλυολιθικό matrix) η πρωτογενής διαπερατότητα των κροκαλοπαγών είναι πολύ μικρή. Η περιοδική όμως απώλεια και επανεμφάνιση του νερού της διάτρησης (μεταξύ απόλυτου υψόμετρου 587-589 m) μαρτυρά την ύπαρξη ανοικτών ασυνεχειών, μέσα στις οποίες μπορεί να κυκλοφορεί νερό και να αποθηκεύεται σε περιορισμένες ποσότητες, δίχως να επηρεάζει την ευστάθεια των υπόγειων εκσκαφών.

Χ.Θ. 4+658 έως 4+890 – Κεντρικό τμήμα σήραγγας φυγής

Δεν έχει γίνει ακόμη εκσκαφή στο μεγαλύτερο μέρος του τμήματος. Η διάνοιξη γίνεται στο σχηματισμό των ιλυούχων ψαμμιτών και δόθηκε η δυνατότητα αποτύπωσης μετώπων.

Οι γεωτρήσεις που έχουν διανοιχτεί σε αυτά τα 232 m είναι οι ΜΕ/ΣΤ-3 και ΜΒ-5.

Από λιθολογικής πλευράς, εκτός από ιλυούχους ψαμμίτες αναμένεται να συναντηθεί και κροκαλοπαγές. Ο ψαμμίτης εμφανίζεται έντονα αποσαθρωμένος και μέτρια, τοπικά έντονα διαταραγμένος. Ο προσανατολισμός των διακλάσεων είναι συνεχώς μεταβαλλόμενος. Χαρακτηριστικό της γεώτρησης ΜΕ/ΣΤ-2 είναι ο μέτριος έως έντονος τεκτονισμός σε όλο το βάθος της. Μέχρι τα 26 m που εμφανίζεται το κροκαλοπαγές, οι τιμές του RQD δεν υπερβαίνουν το 50%, ενώ οι επιφάνειες των ασυνεχειών εμφανίζουν γραμμώσεις. Ο υποκείμενος ιλυολιθικός σχηματισμός έχει υποστεί και ισχυρή τεκτονική καταπόνηση, ενώ εντός του ιλυούχου ψαμμίτη εμφανίζονται ζώνες διάτμησης στα 85 – 90 m.

Στους ψαμμίτες εκδηλώνεται υδροφορία κατά μήκος των διακλάσεων και των κερματισμένων ζωνών, με φθίνουσα εξέλιξη και χωρίς σημαντική επίδραση στην ευστάθεια.

Αναλυτικότερα, στη Χ.Θ. 4+812 ο ψαμμίτης χαρακτηρίζεται μέτρια διαταραγμένος, ενώ στα κατώτερα σημεία του μετώπου η διατάραξη είναι εντονότερη (Φωτογραφία 7.2). Μετρήθηκαν δύο βασικά συστήματα ασυνεχειών. Το ένα έχει προσανατολισμό $80^{\circ}/210^{\circ}$ και η ασυνέχεια είναι πληρωμένη με ασβεστιτικό υλικό. Το δεύτερο σύστημα μετρήθηκε $60^{\circ}/010^{\circ}$.



Φωτογραφία 7.2. Μέτωπο κατά την προχώρηση της σήραγγας φυγής στη Χ.Θ. 4+812

Στην Χ.Θ. 4+837 ο ψαμμίτης εμφανίζεται υγιής, παχυστρωματώδης και μέτρια τεκτονισμένος (Φωτογραφία 7.3). Μετρήθηκαν και στο μέτωπο αυτό δύο συστήματα διακλάσεων. Το πρώτο με προσανατολισμό $70^{\circ}/90^{\circ}$ είναι παράλληλο στον άξονα της σήραγγας, ενώ το δεύτερο ($10^{\circ}/020$) τέμνει τον άξονα της σήραγγας εγκάρσια. Οι ασυνέχειες είναι πληρωμένες με ασβεστιτικό υλικό πάχους 0,5 cm.



Φωτογραφία 7.3. Μέτωπο κατά την προχώρηση της σήραγγας φυγής στη Χ.Θ. 4+837

Στην Χ.Θ. 4+869 ο ψαμμίτης εμφανίζεται εντονότερα τεκτονισμένος (Φωτογραφίες 7.4 και 7.5). Η στρώση εμφανίζει προσανατολισμό περίπου κάθετο στον άξονα της σήραγγας φυγής ($12^{\circ}/000^{\circ}$) και είναι πληρωμένη με ασβεστιτικό υλικό. Δύο είναι τα συστήματα διακλάσεων που εντοπίστηκαν σύμφωνα με επιτόπου μετρήσεις. Το πρώτο σύστημα ($70^{\circ}/182^{\circ}$) έχει περίπου κάθετη διεύθυνση ως προς τη στρώση. Το ίδιο ισχύει και για το δεύτερο σύστημα με προσανατολισμό $81^{\circ}/094^{\circ}$.



Φωτογραφία 7.4. Μέτωπο κατά την προχώρηση της σήραγγας φυγής στη Χ.Θ. 4+869



Φωτογραφία 7.5. Το άνω μέρος του μετώπου στη Χ.Θ. 4+869

Κατά τη διάρκεια των εκσκαφών, νερό συναντήθηκε μόνο ως τοπική υγρασία.

Χ.Θ. 4+890 έως 4+920 – Κεντρικό τμήμα 2 σήραγγας φυγής

Στα 30 αυτά μέτρα δεν αντιστοιχεί καμία από τις γεωτρήσεις κατά μήκος της σήραγγας. Παρόλαυτα, συγκεντρώθηκαν και αξιοποιήθηκαν δεδομένα από τις εγγύτερες γεωτρήσεις. Το τμήμα αυτό αποτελείται από ιλύουχο ψαμμίτη έως αμμούχο ιλυόλιθο, μέτρια έως έντονα διαταραγμένο. Το βάθος που συναντάται η σήραγγα είναι 80 m από την επιφάνεια.

Διαχωρίζεται από το προηγούμενο τμήμα λόγω της γεινιάσής του με τους υπερκείμενους έντονα διατμημένους ιλυολίθους. Παρουσιάζονται, επίσης, αργιλικά διογκούμενα ορυκτά στις ασυνέχειες. Αντίθετα, στο προηγούμενο τμήμα, υπερκείμενα των ψαμμιτών ήταν υγρή κροκαλοπαγή με ασθενή τεκτονισμό.

Τα επίπεδα των ψαμμιτικών διακλάσεων είναι δυσμενή κατά την πορεία της διάνοιξης, ενώ εκδηλώνεται σημαντική υδροφορία κατά μήκος ανοικτών ασυνεχειών.

Χ.Θ. 4+920 έως 5+047 – Τελικό τμήμα σήραγγας φυγής

Μορφολογικά η επιφάνεια του συγκεκριμένου τμήματος έχει επηρεαστεί από μία μεγάλη κατολίσθηση (Φωτογραφίες 7.6 και 7.7). Πρόκειται για μία λασπορροή η οποία έγινε το 1987 ενώ σύμφωνα με όλες τις παρατηρήσεις επιφάνειας βρίσκεται σε ισορροπία. Οι μετρήσεις κλισιομέτρου για την παρακολούθηση της κατολίσθησης επιβεβαίωσαν τις μακροσκοπικές παρατηρήσεις.



Σχήμα 7.1. Κατολίσθηση του 1987 (δορυφορική εικόνα από Google earth)



Φωτογραφία 7.6. Η κατολίσθηση του 1987 στην περιοχή του συγκροτήματος υπόγειων έργων (λήψη από γέφυρα Μεγάλου Περιστερίου της Εγνατίας Οδού)



Φωτογραφία 7.7. Η ίδια κατολίσθηση με τη φωτογραφία 7.6. στην περιοχή του φρέατος ανάπαλσης

Το ύψος των υπερκειμένων κυμαίνεται από 80 μέχρι 35 m. Η γεώτρηση ΜΕ/ΣΤ-1 αντιστοιχεί στο τμήμα αυτό.

Από λιθολογικής άποψης δομείται από ιλυούχο ψαμμίτη μέτρια έως έντονα κερματισμένο. Τόσο ο ψαμμίτης όσο και οι υπερκείμενοι σχηματισμοί έχουν επηρεαστεί τεκτονικά από την ύπαρξη ενός πιθανού ρήγματος διεύθυνσης ΒΑ με βάση λιθοστρωματογραφικές συσχετίσεις.

Στο τμήμα αυτό η υδροφορία ήταν εντοπισμένη σε μεμονωμένες ανοικτές ασυνέχειες.

Χ.Θ. 5+047 έως 5+097 – Περιοχή εξόδου σήραγγας φυγής

Μορφολογικά η περιοχή καταλαμβάνει τα έργα του ορύγματος στο απότομο πρανές που αποτελούνται από τρεις συνολικά αναβαθμούς (Φωτογραφία 7.8). Το μετωπικό όρυγμα έχει διεύθυνση εγκάρσια προς τη χάραξη με διεύθυνση ΒΔ- ΝΑ. Το όρυγμα που είναι παράλληλο προς τη χάραξη έχει τη διεύθυνση της σήραγγας φυγής (ΒΑ – ΝΔ).



Φωτογραφία 7.8. Περιοχή εξόδου σήραγγας φυγής

Στην περιοχή έχουν διανοιχτεί οι γεωτρήσεις ΓΜΕ-18 έως ΓΜΕ-24, συνολικού μήκους 200 m. Οι γεωτρήσεις έδειξαν ότι οι επιφανειακοί χαλαροί σχηματισμοί αποτελούνται από πλευρικά κορήματα, μανδύα αποσάθρωσης, υλικά αναβαθμίδων κ.α. Το πάχος των χαλαρών αποθέσεων κυμαίνεται από 10 m έως μηδενικό (στη γεώτρηση ΓΜΕ-19 ισούται με 6 m). Το μητρικό πέτρωμα στην περιοχή των γεωτρήσεων είναι ιλυόλιθος με διάφορους βαθμούς τεκτονικής καταπόνησης.

Η γεώτρηση ΓΜΕ-21 συνάντησε στα πρώτα 3 – 6 m προσχώσεις ποταμού, ενώ πιο βαθιά γκρίζα, έντονα κερματισμένη και διατμημένη ιλυολιθική μάζα, με πολλά χαλίκια και κροκάλες και σε όλες τις περιπτώσεις μηδενικό RQD. Για τη δειγματοληψία του υλικού αυτού χρησιμοποιήθηκε φραγμός, με αποτέλεσμα διαταραγμένο και άρα μη αντιπροσωπευτικό δείγμα. Οι ίδιοι σχηματισμοί συναντήθηκαν και στη γεώτρηση ΓΜΕ-24.

7.2. Τεχνικογεωλογική μηκοτομή

Όλα τα παραπάνω αποτυπώνονται συνολικά στο ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 7.2) όπου απεικονίζονται οι τεχνικογεωλογικές συνθήκες που συναντήθηκαν ή προβλέπεται να συναντηθούν στο υπολειπόμενο προς εκσκαφή τμήμα της σήραγγας φυγής. Σημειώνεται ότι συναξιολογήθηκαν στοιχεία από προϋπάρχουσες μελέτες σε συνδυασμό με πρωτογενή στοιχεία από τις επισκέψεις στη σήραγγα.

ΥΠΕ - ΜΕΤΣΟΒΙΤΙΚΟΥ



Κλίμακα (scale) 1 : 1000

Άξονας Σήραγγας - Συγκροτήματος παραγωγής

Υγιές, συνεκτικό κροκαλοπαγές

Υγρές, μέτρια συνεκτικό κροκαλοπαγές

Σχήμα 7.2. Τεχνικογεωλογική - Γεωτεχνική τομή κατά μήκος της σήραγγα φυγής
(Τροποποιημένο από ΔΕΗ Α.Ε.)

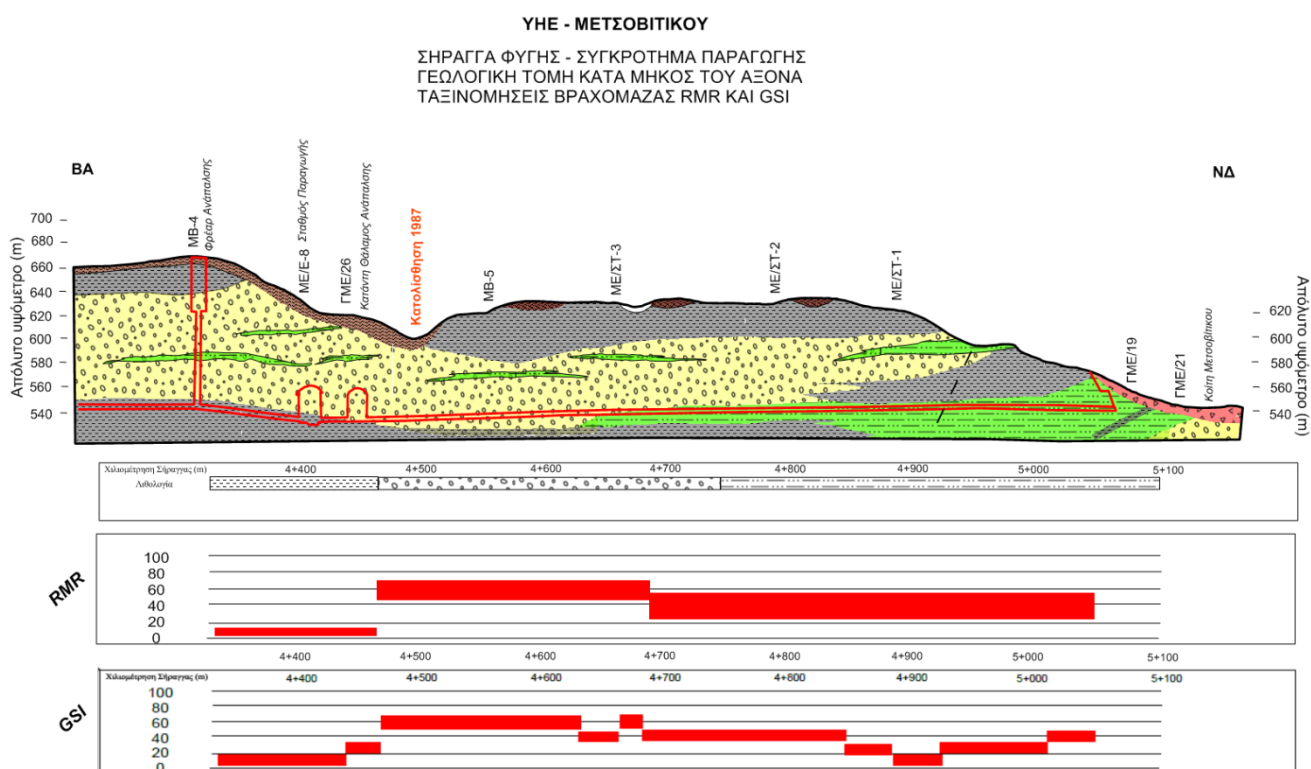
7.3. Κατάταξη βραχομαζών φλύσχη

Με βάση τις παρατηρήσεις υπαίθρου και τα δεδομένα των γεωτρήσεων ταξινομήθηκαν οι σχηματισμοί που συναντήθηκαν, ή αναμένεται να συναντηθούν, σύμφωνα με τα συστήματα RMR και GSI.

Όσον αφορά τις τελικές τιμές βαθμονόμησης σύμφωνα με το RMR κατά μήκος της χάραξης, αυτές παρουσιάζονται μειωμένες. Η διαφοροποίηση έγκειται στην προσαρμογή τους βάσει του προσανατολισμού των ασυνεχειών. Συγκρίθηκαν οι μετρημένες διακλάσεις με τον άξονα προχώρησης της σήραγγας. Ο προσανατολισμός τους είναι δυσμενής και σε κάποιες περιπτώσεις πολύ δυσμενής ως προς την προχώρηση της εκσκαφής. Επηρεάζεται, έτσι, άμεσα η ευστάθεια μέσω της συγκέντρωσης τάσεων στο θόλο, κυρίως, της σήραγγας.

Για το σύστημα GSI χρησιμοποιήθηκε, όπως και στο προηγούμενο κεφάλαιο, τόσο το βασικό διάγραμμα όσο και το τροποποιημένο διάγραμμα για ετερογενείς βραχομάζες όπως ο φλύσχη.

Σε προϋπάρχουσες μελέτες, όπου είχε χρησιμοποιηθεί το σύστημα GSI για ταξινομήσεις φλυσχικών βραχομαζών, οι κατατάξεις είχαν γίνει σύμφωνα με το βασικό διάγραμμα. Στην παρούσα ταξινόμηση χρησιμοποιήθηκε το GSI για ετερογενείς βραχομάζες που περιγράφει πληρέστερα τις εναλλαγές ψαμμιτικών – ιλυολιθικών σχηματισμών.



*ΥΠΟΜΝΗΜΑ όπως σε Γεωλογική Μηκοτομή

Κλίμακα (scale) 1 : 1000

Σχήμα 7.3. Σήραγγα φυγής. Ταξινομήσεις RMR (με τη διόρθωση λόγω προσανατολισμού ασυνεχειών) και GSI

7.4. Σύγκριση μεταξύ των δύο συστημάτων ταξινόμησης

Και τα δύο συστήματα που εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία έχουν σαν βασικό τους πλεονέκτημα την ταχύτατη εφαρμογή τους και την δυνατότητα χρήσης τους σε διαφορετικά τεχνικά έργα, υπόγεια και υπέργεια.

Το GSI αποτελεί μία εμπειρική μέθοδο που προσφέρει μία εκτίμηση για τον προσδιορισμό των βασικών μηχανικών παραμέτρων σχεδιασμού σε διακλασμένους βραχώδεις σχηματισμούς. Δεν χρειάζονται υπολογισμοί για την τελική βαθμονόμηση καθιστώντας το έτσι άμεσο.

Η εφαρμογή του RMR εμπεριέχει τη συλλογή ποσοτικοποιημένων στοιχείων και τη μετέπειτα επεξεργασία τους. Όμως η αξιοπιστία του είναι μειωμένη σε πτωχές ποιοτικά βραχομάζες. Ένα βασικό μειονέκτημα του συστήματος είναι πως δεν συμπεριλαμβάνει στα μετρούμενα μεγέθη την τεκτονική διαταραχή που έχει υποστεί το εκάστοτε πέτρωμα. Σε περιβάλλοντα φλύσχη που η τεκτονική καταπόνηση του σχηματισμού είναι το στοιχείο που πρέπει σε κάθε περίπτωση να εξετάζεται, το σύστημα υστερεί. Επιπρόσθετα, το εύρος τιμών που υπολογίζονται μέσω του συστήματος RMR παρουσιάζεται σημαντικά μεγαλύτερο σε όλους τους τύπους γεωυλικών.

Η παράμετρος που σχετίζεται με την αντοχή του υλικού σε μοναξονική θλίψη, στο σύστημα RMR, απαιτεί την εκτέλεση εργαστηριακών δοκιμών. Όταν δεν υπάρχουν τέτοια στοιχεία αναζητούνται βιβλιογραφικά. Όμως, με τον τρόπο αυτό δεν εκφράζονται οι συνθήκες της υπό μελέτη περιοχής. Ακόμη, από την ταξινόμηση κατά μήκος της σήραγγας φυγής φάνηκε πως ένας δυσμενής προσανατολισμός υποβαθμίζει σημαντικά την τελική τιμή του, οδηγώντας σε υποεκτίμηση της ποιότητας του σχηματισμού.

Διαφοροποίηση στις τιμές των δύο μεθόδων ταξινόμησης παρατηρείται κατά κύριο λόγο στο σχηματισμό του κροκαλοπαγούς, και ειδικότερα όσον αφορά τις χαμηλές τιμές που δόθηκαν στο πέτρωμα μέσω του συστήματος ταξινόμησης RMR. Ο δείκτης GSI δεν λαμβάνει υπόψη τις μειωμένες τιμές αντοχής του σε μοναξονική θλίψη. Οι τιμές αυτές πιθανότατα έχουν προκύψει από τη συμμετοχή κάποιου αριθμού ασυνεχειών στο τέμαχος της δοκιμής. Ακόμη, επειδή αναμένονται εισροές μεγάλων ποσοτήτων νερού με φθίνουσα όμως εξέλιξη, το υλικό «τιμωρήθηκε» στη βαθμονόμησης του με το RMR όσον αφορά τον παράγοντα για το υπόγειο νερό.

Αν και γενικά το RMR δεν έχει καλή εφαρμογή για τις πτωχές έως πολύ πτωχές κατηγορίες, στον εξεταζόμενο διατμημένο ιλυολιθικό σχηματισμό υπάρχει ταύτιση στις τιμές των δύο συστημάτων. Θα περίμενε κανείς συντηρητική εκτίμηση και συνεπαγόμενο υπερσχεδιασμό του τεχνικού έργου, διότι το RMR υποεκτιμά την ποιότητα των βραχομαζών.

Για τους σχηματισμούς που χαρακτηρίστηκαν μέτριας ποιότητας (ιλυούχος ψαμμίτης, συμπαγής ιλυόλιθος) δεν διαπιστώθηκαν αξιοσημείωτες αποκλίσεις.

Από την συστηματική εφαρμογή τους προέκυψε πως ο δείκτης γεωλογικής αντοχής για τις φλυσχικές βραχομάζες περιγράφει το σύνολο δομών που συναντήθηκαν στην περιοχή μελέτης.

Επιπρόσθετα, το GSI για ετερογενείς βραχομάζες εμπεριέχει το στοιχείο της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς μέσω των πινάκων αντιστοίχισης κάθε τύπου φλύσχη με τους αναμενόμενους μηχανισμούς αστοχίας και το βήμα προχώρησης της εκσκαφής. Επακόλουθη των παραπάνω είναι και η επιλογή των μέτρων άμεσης υποστήριξης. Η κατανόηση της συμπεριφοράς είναι κάτι το οποίο έλειπε από τα παλαιότερα συστήματα, καθώς κάθε ετερογενές υλικό χαρακτηρίζεται από ορισμένες ιδιαιτερότητες οι οποίες είναι δύσκολο να τυποποιηθούν. Με την ενίσχυση του γεωλογικού στοιχείου μειώνονται οι αβεβαιότητες αυτές.

Για τους παραπάνω λόγους κρίνεται ως πιο αντιπροσωπευτική για τους σχηματισμούς που συναντήθηκαν στα υπόγεια έργα του ΥΗΕ Μετσοβίτικου, η χρήση του **Γεωλογικού Δείκτη Αντοχής για ετερογενείς βραχομάζες όπως ο φλύσχος**.

7.5. Τεχνικογεωλογική συμπεριφορά

Σύμφωνα με τον Marino V. (2007), σε κάθε τύπο φλύσχη αντιστοιχούν συγκεκριμένες κατηγορίες τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς, δηλαδή μηχανισμοί αστοχίας. Οι λιγότερο διαταραγμένες τεκτονικά φλυσχικές βραχομάζες συνδέονται με βαρυτικού τύπου αστοχίες, σε αντίθεση με τις εντονότερα τεκτονικά καταπονημένες στις οποίες παρατηρούνται μικρές έως μεγάλες παραμορφώσεις.

Οι βαρυτικού τύπου αστοχίες διακρίνονται κυρίως στις εξής κατηγορίες:

- Wg: Σφηνοειδείς ολισθήσεις ή πτώσεις τεμαχών λόγω βαρύτητας
- Ch: Υπερεκσκαφή τύπου καμινάδας
- St – Wg: Γενικά ευσταθής διατομή με αυξημένη όμως την πιθανότητα βαρυτικής αστοχίας μέσω ολίσθησης ή κατάπτωσης τεμαχών.
- Wg – Ch: κυρίως σφηνοειδείς ολισθήσεις και καταπτώσεις με ενδεχόμενες εμφανίσεις υπερεκσκαφών τύπου καμινάδας σε θέσεις εντονότερου κερματισμού
- Rv: Καταρροή βραχομάζας. Η βραχομάζα εμφανίζεται πλήρως αποδιοργανωμένη, με πρακτικά μηδενική συνοχή. Μπορεί να προκληθεί άμεση καταρροή της βραχομάζας στο εσωτερικό και στο μέτωπο της σήραγγας.

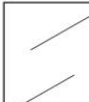
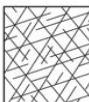
Οι τασικού τύπου αστοχίες διαχωρίζονται ως εξής:

- Sh: Μικρές έως μέτριες παραμορφώσεις σε μικρή ζώνη περιμετρικά της σήραγγας. Η βραχομάζα αποτελείται από τεμάχη άρρηκτου βράχου χαμηλής έως πολύ χαμηλής αντοχής (< 15 MPa). Η αντοχή αυτή μειώνεται επιπλέον εξαιτίας της δομής της βραχομάζας, μέσω του GSI. Το ύψος των υπερκειμένων είναι

περίπου 50 m, ενώ για καλύτερης ποιότητας βραχομάζα το ύψος αυτό είναι της τάξης των 100 m.

- Sq: Σημαντικές παραμορφώσεις λόγω υπερφόρτισης από την εκδήλωση διατμητικών αστοχιών και δημιουργία πλαστικής ζώνης σε μεγάλη έκταση περιμετρικά της σήραγγας. Η βραχομάζα αποτελείται από τεμάχια άρρηκτου βράχου χαμηλής έως πολύ χαμηλής αντοχής ($< 15 \text{ MPa}$). Η αντοχή αυτή μειώνεται επιπλέον εξαιτίας της δομής της βραχομάζας, μέσω του GSI.

Με βάση την ταξινόμηση των βραχομαζών σύμφωνα με το σύστημα GSI, αντοχή του άρρηκτου βράχου και το ύψος των υπερκειμένων εκτιμήθηκε η τεχνικογεωλογική συμπεριφορά ανά τύπο φλυσχικής βραχομάζας, κατά μήκος της σήραγγας φυγής. Τα παραπάνω αποτυπώνονται στον συγκεντρωτικό πίνακα τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς (Σχήμα 7.4).

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	 3	 4	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~ 150 m
 BLOCKY Well interlocked undisturbed rock mass consisting of blocks formed by three orthogonal intersecting discontinuity sets	 5	 6			
 VERY BLOCKY Interlocked, partially disturbed rock mass with multi-faceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets	 9	 10	 11	 12	H LIMIT: ~ 100 m
 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			
 DISINTEGRATED Poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	 17	 18	 19	 20	OVERBURDEN (H) LIMIT: ~ 70 m
 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			
Tunnel rock mass behaviour types (St, Wg, Sh, Sq, Rv, Ch) as defined in figure 3 The engineering geological behaviour may be also controlled by two or three different mechanisms (e.g. Sh-Ch)					
Notes: * The data used in the TBC were obtained from tunnels excavated by the conventional method with top heading and bench in a non-urban environment with the overburden cover up to several hundred metres (generally not exceeding 500m) with a tunnel diameter=12m **The chart does not refer to very high overburden (e.g. many hundreds of m or >1000m), where the scale and the mechanism of failure may differ • The limit-ranges of the uniaxial compressive strength (σ_{ci}) of the intact rock and the overburden thickness (H) are indicative. This is done to avoid standardisation by an inexperienced user. The purpose of this diagram is to predict the failure mechanism of several common rock mass types. • The surface condition of discontinuities, the second component to the GSI system, mainly affect the intensity of the failure phenomenon • High clay presence along the discontinuities or zones in the rock mass may shift the gravity driven behaviour types towards the vertical axis of the chart (e.g. from Wg[9] to Ch [13]) • Groundwater presence mainly affects the factor of safety and not the behaviour type. Though, in some cases, such as "Blocky-Disturbed" & "Disintegrated" rock mass, the groundwater presence may "shift" a Chimney (Ch) or Ravelling (Rv) behaviour type to Flowing ground (FI) • Cases number 4, 8 and 12 may develop brittle failures (Br) when overburden increases considerably (e.g. >800 m) depending on the intact rock strength • The illustrations of the tunnel are sketches; this shape corresponds to the usual top heading					

Σχήμα 7.4. Πίνακας τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς βραχομαζών (Marinos V. 2012)

Χ.Θ. 4+334 έως 4+465 – Περιοχή σήραγγας προσαγωγής

Επειδή η σήραγγα στη θέση αυτή βρίσκεται σε μεγάλο βάθος (περίπου 100 m) και το γεωυλικό ανήκει στην ΤΕ 4, πρόκειται δηλαδή για έντονα διατμημένη ιλυολιθική βραχομάζα, συνδέεται με υπερεκσκαφές τύπου καμινάδας και με ενδεχόμενη εμφάνιση μικρών παραμορφώσεων.

Εντάσσεται, λοιπόν, σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα στην **Κατηγορία 21 (Sh–Ch)**.

Χ.Θ. 4+465 έως 4+658 – Περιοχή κατάντη θαλάμου ανάπαλσης και αρχικό τμήμα σήραγγας φυγής

Σύμφωνα με τις τεχνικογεωλογικές ενότητες, όπως αυτές διαχωρίστηκαν στο 6^ο κεφάλαιο, το σκληρό υγιές, μαζικό κροκαλοπαγές εντάσσεται στην ΤΕ 1. Χαρακτηρίζεται από ασθενή τεκτονισμό και σχεδόν μηδενική αποσάθρωση. Το πάχος υπερκειμένων σε όλο το μήκος του τμήματος αυτού είναι μικρότερο των 150 m. Ο σχηματισμός από άποψη ευστάθειας χαρακτηρίζεται καλός.

Η βραχομάζα είναι συμπαγής με αραιές ασυνέχειες. Για το λόγο αυτό η βραχομάζα μπορεί να χαρακτηριστεί ευσταθής με τοπικές μόνο αστοχίες (**Κατηγορία 2 – St**).

Ο συνηθέστερος, όμως, τύπος αστοχίας που εμφανίζεται είναι με τη μορφή δομικών ασταθειών από σφήνες, προσδίδοντας στο γεωυλικό ισχυρά ανισότροπη συμπεριφορά, καθώς οι αστοχίες ελέγχονται από τις ασυνέχειες. Η απουσία πλευρικής πίεσης που θα συγκρατούσε τα τεμάχια συμβάλλει στις πτώσεις τεμαχίων.

Έτσι, εκτός από την κατηγορία 2, κατατάσσεται στην **Κατηγορία 6 (Wg)**.

Χ.Θ. 4+658 έως 4+890 – Κεντρικό τμήμα σήραγγας φυγής

Συναντώνται ιλυούχοι ψαμμίτες και κροκαλοπαγή. Όσον αφορά το σχηματισμό των κροκαλοπαγών και σύμφωνα με την ανωτέρω ενότητα (§7.4.2.) αναμένονται κυρίως καταπτώσεις τεμαχίων βράχου μεταξύ αλληλοτεμνόμενων ασυνεχειών και σχηματισμός σφηνών.

Με βάση τις επιτόπου ταξινομήσεις στο τμήμα της σήραγγας, που βρισκόταν σε στάδιο εκσκαφής όταν πραγματοποιήθηκαν οι επισκέψεις, ο ιλυούχος ψαμμίτης αντιστοιχεί στον τύπο IV σύμφωνα με το GSI για ετερογενείς βραχομάζες. Η συμπεριφορά ελέγχεται από τις ασυνέχειες και για το σχηματισμό του ιλυούχου ψαμμίτη, σχηματίζοντας σφήνες που εξαιτίας της δομής αλλά και του δυσμενούς προσανατολισμού των ασυνεχειών εξελίσσονται σε γενικευμένες καταπτώσεις και πιο συγκεκριμένα σε υπερεκσκαφές τύπου καμινάδας.

Η αναμενόμενη συμπεριφορά του σχηματισμού αποτυπώνεται στην **Κατηγορία 10 (Wg–Ch)**.

X.Θ. 4+890 έως 4+920 – Κεντρικό τμήμα 2 σήραγγας φυγής

Για τα συγκεκριμένα 30 m η βραχομάζα εμφανίζεται κατακερματισμένη, ενώ φαίνεται να έχει επηρεαστεί από μία πιθανή ζώνη διάτμησης. Η συμπεριφορά της χαρακτηρίζεται ισότροπη με αυξημένο τον κίνδυνο άμεσης εκδήλωσης αστοχίας.

Εντάσσεται, λοιπόν, σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα στην **Κατηγορία 18 (Rv)**.

X.Θ. 4+920 έως 5+047 – Τελικό τμήμα σήραγγας φυγής

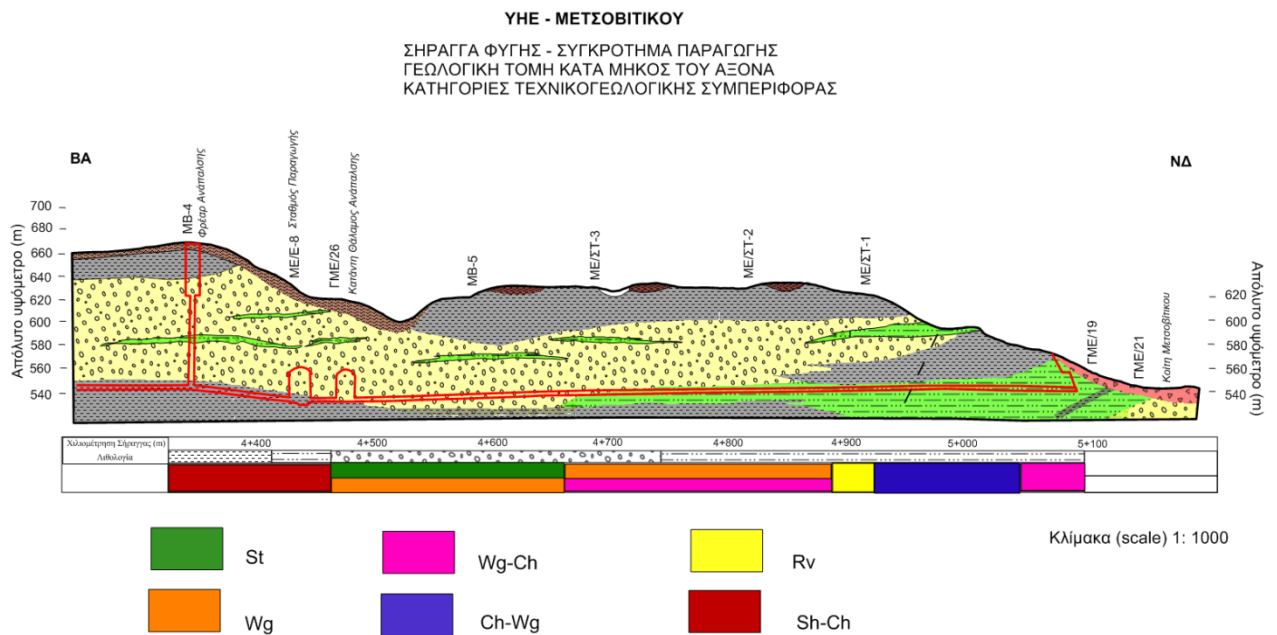
Στο τελικό τμήμα τη σήραγγας ο ιλυούχος ψαμμίτης συναντάται έντονα τεκτονικά καταπονημένος. Η δομή του είναι έντονα διαταραγμένη, με αποτέλεσμα η συμπεριφορά του να χαρακτηρίζεται ευλόγως ισότροπη. Κατά την εκσκαφή συνοδεύεται συνήθως με γενικευμένες καταπτώσεις. Λόγω της πτωχής ποιότητας των ασυνεχειών σε συνδυασμό με τον δυσμενή προσανατολισμό τους δημιουργούνται συχνά και ολισθήσεις σφηνών.

Η **Κατηγορία 14 (Ch–Wg)** αντιστοιχεί στο γεωυλικό αυτό.

X.Θ. 5+047 έως 5+087 – Περιοχή εξόδου σήραγγας φυγής

Η περιοχή εξόδου παρουσιάζει όμοια τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά με το κεντρικό τμήμα σήραγγας φυγής (§7.4.3). Συνεπώς, και εδώ το γεωυλικό κατατάσσεται από άποψη τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς, στην **Κατηγορία 10 (Wg–Ch)**.

Συγκεντρωτικά, η τεχνικογεωλογική συμπεριφορά των φλυσχικών σχηματισμών κατά μήκος της σήραγγας φυγής απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 7.5):



Σχήμα 7.5. Τεχνικογεωλογική συμπεριφορά κατά μήκος της σήραγγας φυγής

7.6. Μέτρα άμεσης υποστήριξης

Μετά των αποτύπωση της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς που αναφέρεται σε ανυποστήρικτες διατομές, εκτιμώνται ποιοτικά τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης που απαιτούνται, σύμφωνα με τους μηχανισμούς αστοχίας που αναμένεται να προκληθούν.

Για το συγκρότημα υπόγειων έργων του σταθμού παραγωγής στο ΥΗΕ Μετσοβίτικου και σύμφωνα με τις κατηγορίες βραχομαζών και της ποιότητας των υλικών, χρησιμοποιήθηκαν σχεδόν όλοι οι τύποι διατομών, από τις λιγότερο απαιτητικές έως τις πιο βαριές (πχ. χρήση βλήτρων προπορείας).

Σύμφωνα με στοιχεία από της ΔΕΗ για τους εξεταζόμενους γεωλογικούς σχηματισμούς και με βάση την εμπειρία των μελετητών τόσο από τα υπόγεια έργα του ΥΗΕ Πηγών Αώου, όσο και από τα ήδη ολοκληρωμένα έργα στο ΥΗΕ Μετσοβίτικου, προτάθηκαν κατά το στάδιο σχεδιασμού της διάνοιξης της σήραγγας φυγής τα ακόλουθα:

Περιγραφή του Πετρώματος	Μέθοδος Προχώρησης	Συμπεριφορά της Σήραγγας κατά την Εκσκαφή	Μέτρα Προσωρινής Υποστήριξης	Παρακολούθηση της Συμπεριφοράς της Σήραγγας
-Σκληρό μαζικό κροκαλοπαγές. -Τεκτονισμός ασθενής. - Λίγες μεμονωμένες διακλάσεις, συχνά ανοικτές -Βραχομάζα υγιής, ίχνη αποσάθρωσης μόνο στους αρμούς μεμονωμένων ασυνεχειών. -Υδροφορία ασθενής, χωρίς επίδραση στην ευστάθεια.	-Ολομέτωπη προχώρηση -Βήματα προχώρησης $\geq 2,5$ m	-Καμία μακροσκοπικά ορατή παραμόρφωση στη διατομή -Καταπτώσεις μικρού όγκου	-Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα μέσου πάχους 5cm σε όλη τη διατομή εκτός δαπέδου. -Αγκύρια βράχου τύπου PERFO ή διαστελλόμενης κεφαλής, μήκους $L=3$m στο θόλο. Συστηματικά 3-5 τεμάχια ανά τρέχον m σήραγγας. -Αν απαιτείται, συγκολλημένο μεταλλικό πλέγμα στο θόλο και δεύτερη στρώση σκυροδέματος μέσου πάχους 7 cm για την κάλυψη του πλέγματος.	-Εγκατάσταση και μέτρηση μηχανοσυστοιχιών. Τρία σετ των τριών σημείων (1m, 3m, 5m) για κάθε διατομή. Μία διατομή κάθε 150 m σήραγγας. -Μετρήσεις συγκλίσεων σε μία διατομή για κάθε 150m σήραγγας.

Πίνακας 7.1. Πρότυπη διατομή προσωρινής υποστήριξης για το σκληρό μαζικό κροκαλοπαγές

Περιγραφή του Πετρώματος	Μέθοδος Προχώρησης	Συμπεριφορά της Σήραγγας κατά την Εκσκαφή	Μέτρα Προσωρινής Υποστήριξης	Παρακολούθηση της Συμπεριφοράς της Σήραγγας
-Ιλυούχος ψαμμίτης, μέσο έως παχυστρωματώδης, ή χαλαρό έως μέσης σκληρότητας κροκαλοπαγές. -Τεκτονισμός ασθενής, οι ασυνέχειες συνήθως κλειστές με ασβεστίτη. -Αποσάθρωση ασθενής ή απουσιάζει. -Υδροφορία ασθενής (τοπική υγρασία ή σταγόνες). Η επίδρασή της στην ευστάθεια έχει μόνο τοπική σημασία.	- Ολομέτωπη προχώρηση -Βήματα προχώρησης 2 – 2,5 m.	-Μικρές παραμορφώσεις στη διατομή. -Υπερεκσκαφές . -Καταπτώσεις μικρού όγκου.	-Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα σε όλη τη διατομή εκτός του δαπέδου. -Μεταλλικό πλέγμα σε όλη τη διατομή εκτός του δαπέδου. -Δεύτερη στρώση σκυροδέματος μέσου πάχους 7 cm για την κάλυψη του πλέγματος. -Αγκύρια τύπου PERFO σε όλη τη διατομή εκτός του δαπέδου. - Έντεκα (11) τεμάχια ανά τρέχον m σήραγγας.	-Μηκυνσιόμετρα ως άνω, σε μία διατομή για κάθε 100 m σήραγγας. -Μετρήσεις συγκλίσεων σε μία διατομή για κάθε 100 m σήραγγας.

Πίνακας 7.2. Πρότυπη διατομή προσωρινής υποστήριξης για τον ιλυούχο ψαμμίτη και το χαλαρό κροκαλοπαγές

Περιγραφή του Πετρώματος	Μέθοδος Προχώρησης	Συμπεριφορά της Σήραγγας κατά την Εκσκαφή	Μέτρα Προσωρινής Υποστήριξης	Παρακολούθηση της Συμπεριφοράς της Σήραγγας
- Ιλυόλιθος. - Τεκτονισμός μέτριος. - Αποσάθρωση ασθενής. - Υδροφορία ασθενής (τοπική υγρασία ή σταγόνες), με σημαντική επίδραση στην ευστάθεια.	- Ολομέτωπη προχώρηση - Βήματα προχώρησης 1 – 2 m.	- Σημαντικές παραμορφώσεις στη διατομή. Μεγάλες ρωγμές του σκυροδέματος, παραμορφώσεις στην πλάκα ορισμένων αγκυρίων. - Υπερεκσκαφές (γεωλογικά αίτια) σημαντικές. - Καταπτώσεις μικρές συχνές. Πιθανές μεγάλες καταπτώσεις.	- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα μέσου πάχους 5 cm σε όλη τη διατομή εκτός δαπέδου. - Μεταλλικό πλέγμα σε όλη τη διατομή εκτός του δαπέδου. - Δεύτερη στρώση σκυροδέματος μέσου πάχους 7 cm για την κάλυψη του πλέγματος. - Πλαίσια από μορφοχάλυβα διατομής IPB-120, 1 τεμάχιο ανά τρέχον m σήραγγας. - Αγκύρια τύπου PERFO συστηματικά.	- Μηκυσιόμετρα ως άνω, σε μία διατομή για κάθε 50 m σήραγγας. - Μετρήσεις συγκλίσεων σε μία διατομή για κάθε 50m σήραγγας.

Πίνακας 7.3. Πρότυπη διατομή προσωρινής υποστήριξης για τον υγρή ιλυόλιθο

Περιγραφή του Πετρώματος	Μέθοδος Προχώρησης	Συμπεριφορά της Σήραγγας κατά την Εκσκαφή	Μέτρα Προσωρινής Υποστήριξης	Παρακολούθηση της Συμπεριφοράς της Σήραγγας
- Διατμημένος ιλυόλιθος του Ιόνιου φλύσχη. - Τεκτονισμός έντονος. Βραχομάζα διατμημένη. - Αποσάθρωση ασθενής. - Υδροφορία ασθενής (τοπική υγρασία ή σταγόνες), με σημαντική επίδραση στην ευστάθεια.	- Τμηματική εκσκαφή του μετώπου. - Βήματα προχώρησης 1 – 1,5 m.	- Σημαντικές παραμορφώσεις στη διατομή. Ρωγμές και τοπικές καταπτώσεις του σκυροδέματος, συχνές παραμορφώσεις στις πλάκες των αγκυρίων. - Υπερεκσκαφές (γεωλογικά αίτια) συχνές. Μεγάλες υπερεκσκαφές πιθανές. - Καταπτώσεις μικρές συχνές. Πιθανές μεγάλες καταπτώσεις.	- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 5 cm σε όλη τη διατομή εκτός δαπέδου. - Μεταλλικό πλέγμα σε όλη τη διατομή εκτός δαπέδου. - Δεύτερη στρώση σκυροδέματος πάχους 7 cm για την κάλυψη του πλέγματος. - Πλαίσια από μορφοχάλυβα διατομής IPB-120, 1 τεμάχιο ανά 0,7 m σήραγγας. - Αν απαιτείται, εγκάρσιες μεταλλικές αντηρίδες στο δάπεδο.	- Μηκυσιόμετρα ως άνω, σε μία διατομή για κάθε 50 m σήραγγας. - Μετρήσεις συγκλίσεων σε μία διατομή για κάθε 50m σήραγγας. - Αν απαιτείται, πύκνωση των οργάνων.

Πίνακας 7.4. Πρότυπη διατομή προσωρινής υποστήριξης για τον διατμημένο ιλυόλιθο

Στη συνέχεια του κεφαλαίου δίνονται στοιχεία για τις αντιστηρίξεις, για την προχώρηση και για θέματα προβλημάτων που συναντήθηκαν στα υπόγεια έργα της περιοχής μελέτης, τόσο για τα έργα που βρίσκονται σε φάση διάνοιξης όσο και για αυτά που η εκσκαφή τους έχει ολοκληρωθεί.

Για το **φρέαρ ανάπαλσης της σήραγγας προσαγωγής**, στον ευρύτερο χώρο της εκσκαφής (πλατεία) κρίθηκε σκόπιμο να τοποθετηθούν ανά 1,5 m φρεατοπάσσαλοι Φ80 μήκους 12 m, συνδεδεμένοι με κεφαλοδοκό οπλισμένου σκυροδέματος.

Γενικά, η εκσκαφή κατακόρυφων φρεάτων είναι μία ιδιαίτερη κατασκευή, όμοια με αυτή των οριζόντιων υπόγειων έργων όσον αφορά τις μεθόδους εκσκαφής (με ανατινάξεις) και τα μέτρα προστασίας, έχει όμως μία ιδιαιτερότητα στην αποκομιδή των προϊόντων εκσκαφής (μπάζων). Αρχικά, απαιτείται η δημιουργία επίπεδης επιφάνειας στη στέψη του φρέατος. Στη συνέχεια, η αποκομιδή μπορεί να γίνει με δύο τρόπους.

- 1) Με τη μέθοδο *raise boring*, δηλαδή με δημιουργία βοηθητικής κατακόρυφης σήραγγας (πλότου) μέσω της οποίας τα μπάζα διοχετεύονται σε υπάρχουσα σήραγγα στην βάση του φρέατος.
- 2) Από την στέψη με γερανό ο οποίος ανεβάζει τα προϊόντα εκσκαφής στην επιφάνεια.

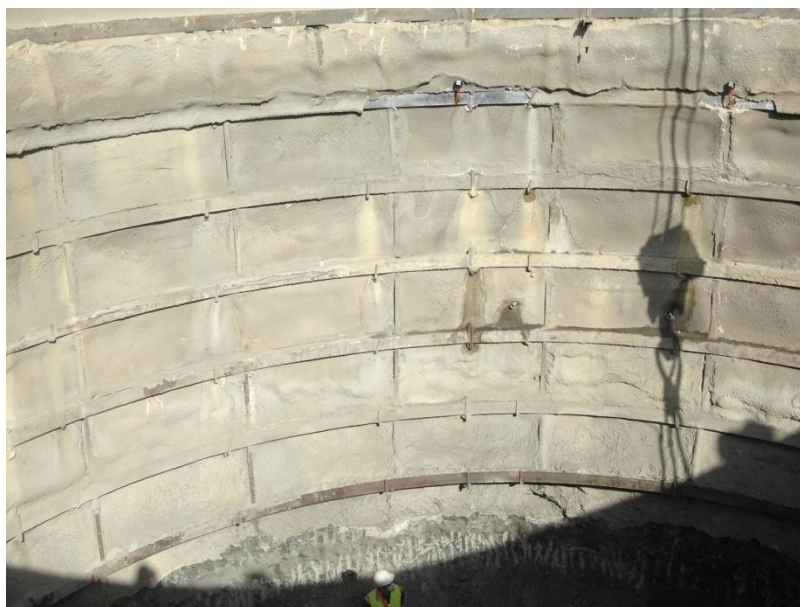
Για την εκσκαφή του φρέατος ανάπαλσης στο ΥΗΕ Μετσοβίτικου επιλέχθηκε ο δεύτερος τρόπος (Φωτογραφία 7.9).



Φωτογραφία 7.9. Εκσκαφή – αποκομιδή προϊόντων εκσκαφής φρέατος ανάπαλσης

Τα χρησιμοποιούμενα μέτρα προστασίας – εκτός των φρεατοπασσάλων – είναι (Φωτογραφία 7.10).

- Αποστραγγιστικές οπές $\Phi 76$ μήκους 6 m, με ανοδική κλίση, σε όλη την περίμετρο της εκσκαφής.
- Περιμετρικό τοίχιο ύψους 1,5 m.
- Προεντεταμένες αγκυρώσεις μήκους 10 m, φορτίου 400-500 kN.
- Μεταλλικά πλαίσια HEB160 ανά 1 m.
- Ολόσωμες αντηρίδες ανά 1,5 m σε όλη την περίμετρο των πλαισίων.



Φωτογραφία 7.10. Απεικόνιση μέτρων άμεσης υποστήριξης φρέατος ανάπαλσης. Στο κάτω μέρος διακρίνεται ο διατμημένος ιλυολιθικός σχηματισμός (μέτωπο επώθησης)

Στα τοιχώματα έχουν τοποθετηθεί προεντεταμένες αγκυρώσεις διπλής προστασίας, μήκους 15 m, φορτίου εργασίας 400-500 kN καθώς και οι δύο απαιτούμενες στρώσεις εκτοξευμένου σκυροδέματος με δομικό πλέγμα (Φωτογραφία 7.12). Στα μέτρα προστασίας περιλαμβάνονται και οι αγκυρώσεις βράχου, μήκους 6m και φορτίου 200kN, τοποθετημένα σε πεσσοειδή διάταξη. Συνδυάζονται, λοιπόν, παθητικές και προεντεταμένες αγκυρώσεις, κατάλληλου μήκους, συστηματικά σε κάνναβο που τοπικά θα πυκνώνει με παθητικά αγκύρια μικρότερου μήκους για την αντιμετώπιση ιδιαίτερων τοπικών προβλημάτων. Στη διάρκεια της εκσκαφής κρίθηκε σκόπιμη η τοποθέτηση πρόσθετων προεντεταμένων αγκυρώσεων εξαιτίας των συνθηκών της βραχομάζας. Λόγω των μεγάλων διαστάσεων του υπόγειου θαλάμου έχει ολοκληρωθεί ένα κομμάτι της μόνιμης (τελικής) επένδυσης. Η κατασκευή της τελικής επένδυσης της οροφής προγραμματίζεται να γίνει μετά την πλήρη χαλάρωση λόγω ανατίναξης του πετρώματος της Γ' φάσης εκσκαφής, προκειμένου να απομακρυνθεί το επίπεδο των ανατινάξεων από την τελική επένδυση και να μειωθούν οι κίνδυνοι πρόκλησης ζημιών λόγω δονήσεων. Μόλις ολοκληρωθεί η εκσκαφή και της Δ' φάσης, στην Ε' είναι σχεδιασμένη η τοποθέτηση προεντεταμένων αγκυρώσεων μεγαλύτερου μήκους (22,5 m), φορτίου εργασίας 400-500 kN, στην περίμετρο εκσκαφής του σταθμού, σε υψόμετρο +520 και αποστάσεις μεταξύ τους της τάξης των 4 m. Στο δάπεδο της εκσκαφής, εκεί όπου η διάνοιξη θα γίνει σε διατμημένους ιλυολίθους, θα τοποθετηθούν ράβδοι αγκύρωσης Φ25, μήκους 5 m, σε πεσσοειδή διάταξη. Γενικά, στο κατώτερο τμήμα της εκσκαφής τα μέτρα που απαιτούνται είναι αυξημένα, όπως μεγαλύτερη πυκνότητα αγκυρίων.

Οι μετακινήσεις που μετρήθηκαν στα τοιχώματα (συγκλίσεις) ήταν ελάχιστες παρά το γεγονός ότι η εκσκαφή μετρά πάνω από μία δεκαετία. Σ' αυτό συνέβαλε η πολύ καλή συμπεριφορά της περιβάλλουσας βραχομάζας (κυρίως κροκαλοπαγές με κάποιες εναλλαγές ψαμμιτών). Για τη συστηματική παρακολούθηση των μετακινήσεων αυτών έχουν τοποθετηθεί μηκυνσιόμετρα. Άλλα όργανα που έχουν τοποθετηθεί ή θα τοποθετηθούν είναι κύτταρα μέτρησης φορτίου και πιεζόμετρα ανοικτού τύπου.

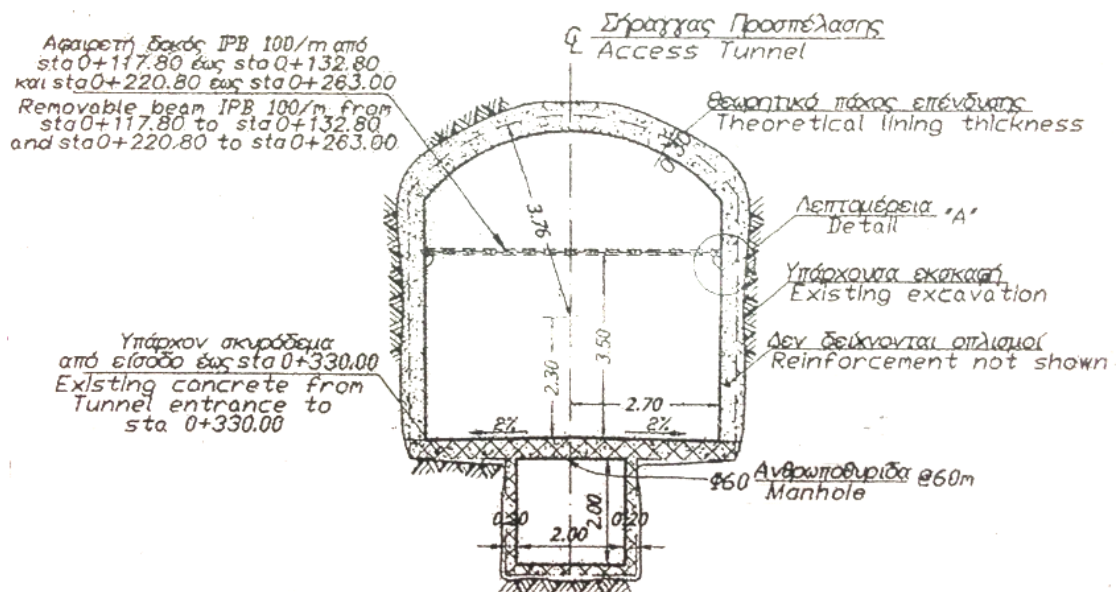


Φωτογραφία 7.12. Κεφαλή προεντεταμένου αγκυρίου, τοποθετημένο με ανοδική κλίση σε τοίχωμα του σταθμού

Στη **σήραγγα προσπέλασης** τα μέτρα άμεσης υποστήριξης που εφαρμόστηκαν ήταν:

- ράβδοι προπορείας (spiles) $\Phi 25$, μήκους 6 m, ανά μισό μέτρο, με επικάλυψη 2 m, στο θόλο της σήραγγας
- μεταλλικά πλαίσια (ανά 1 m)
- αντηρίδες ανά 1 m σε όλη την περίμετρο των πλαισίων
- ράβδοι αγκύρωσης για την στήριξη των πλαισίων, μήκους 3 m
- αποστραγγιστικές (ανακουφιστικές) οπές ανά 3 m, πεσσοειδώς διατεταγμένες

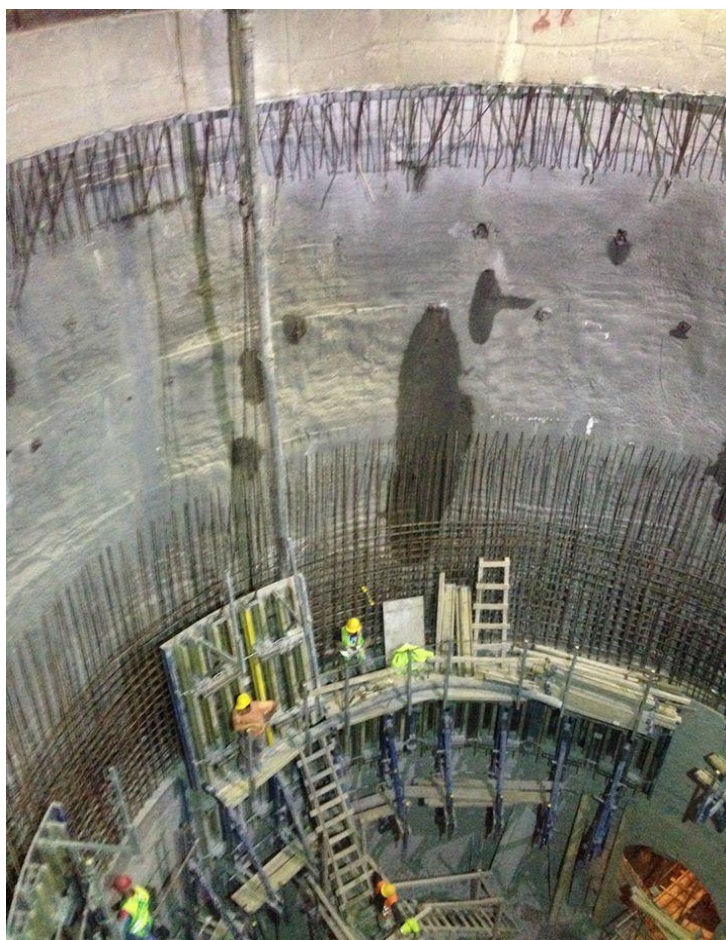
Η σήραγγα έχει διανοιχτεί σχεδόν στο σύνολό της σε κροκαλοπαγή, με συμπεριφορά που από άποψη ευστάθειας δεν χαρακτηρίζεται καλή εξαιτίας σημαντικής υδροφορίας και αποσάθρωσης κατά μήκος ενός σχετικά πυκνού παρακατακόρυφου συστήματος διακλάσεων, κάθετου στον άξονα της σήραγγας. Για το λόγο αυτό, το βήμα προχώρησης της εκσκαφής δεν ξεπέρασε το 1 m (αργός ρυθμός προχώρησης). Οι μικροκαταπτώσεις ήταν συχνές, δείχνοντας την ανάγκη εφαρμογής των πλαισίων.



Σχήμα 7.7. Τυπική διατομή της σήραγγας προσπέλασης, κλίμακα 1:100 (από ΔΕΗ Α.Ε.)

Τα προσωρινά μέτρα υποστήριξης που χρησιμοποιήθηκαν για την εκσκαφή του θαλάμου ανάπαλξης της σήραγγας φυγής είναι (Φωτογραφία 7.13.).

- δύο στρώσεις εκτοξευόμενου σκυροδέματος (η δεύτερη με δομικό πλέγμα)
- μη ταχυόμενα αγκύρια Φ25, μήκους 5 m, σε πεσσοειδή διάταξη
- αποστραγγιστικές οπές Φ76, μήκους 6 m, με κλίση, τοποθετημένες σε κάνναβο
- μεμονωμένες προεντεταμένες αγκυρώσεις, μήκους 10 m, φορτίου εργασίας 400 – 500 kN
- μεταλλικά πλαίσια ανά 1 m
- αντηρίδες ανά 1,5 m σε όλη την περίμετρο των πλαισίων.



Φωτογραφία 7.13. Διαδικασία κατασκευής κατάντη θαλάμου ανάπαλσης. Κάτω δεξιά φαίνεται ο δεξιός κλάδος φυγής, εξερχόμενος του σταθμού

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αντικείμενο της εργασίας αποτέλεσε η γεωτεχνική ταξινόμηση φλυσχικών βραχομαζών μέσω δύο ευρέως χρησιμοποιούμενων συστημάτων, του RMR (Rock Mass Rating) και του GSI (Geological Strength Index). Η ταξινόμηση εστιάστηκε στην περιοχή του συγκροτήματος υπογείων κατασκευών του Υδροηλεκτρικού έργου στον Μετσοβίτικο ποταμό του Νομού Ιωαννίνων της Ηπείρου. Για το σκοπό αυτό προσδιορίστηκαν τα γεωλογικά και υδρογεωλογικά δεδομένα καθώς και οι τεχνικογεωλογικές συνθήκες, όπως αυτές προέκυψαν από τη συναξιολόγηση προγενέστερων γεωερευνητικών εργασιών και επιτόπου παρατηρήσεων.

Τα υλικά που αποτελούν το υπόβαθρο της περιοχής μελέτης ανήκουν στο φλύσχη της Ιόνιας γεωτεκτονικής ζώνης. Πιο συγκεκριμένα, συναντήθηκαν ιλυούχοι ψαμμίτες, ιλυόλιθοι και πολύμικτα κροκαλοπαγή. Λόγω της γειννίας της περιοχής με την μεγάλη επώθηση της Πίνδου πάνω στην Ιόνια, συναντήθηκαν ακόμα ιλυολιθικοί σχηματισμοί τεκτονικά καταπονημένοι έως διατμημένοι. Για την αποτύπωση των γεωλογικών συνθηκών συντάχθηκε η γεωλογική μηκοτομή της σήραγγας φυγής.

Με σκοπό την καλύτερη προσέγγιση της δομής και των συνθηκών που επικρατούν, διαχωρίστηκαν οι σχηματισμοί σε τέσσερις (4) τεχνικογεωλογικές ενότητες. Η διάκριση έγινε με βάση τις εργαστηριακές δοκιμές, την αποσάθρωση, την ποιότητα των ασυνεχειών και την παρουσία νερού. Προέκυψαν, έτσι, οι εξής ενότητες:

- ❖ **TE 1:** Υγιές συνεκτικό κροκαλοπαγές
- ❖ **TE 2:** Υγιής ιλυούχος ψαμμίτης με μέτριο τεκτονισμό
- ❖ **TE 3:** Υγιής ιλυόλιθος με ασθενή τεκτονισμό
- ❖ **TE 4:** Διατμημένος ιλυόλιθος με έντονη τεκτονική καταπόνηση

Η διάκριση που έγινε μεταξύ των ενοτήτων TE 3 και TE 4, στο σχηματισμό των ιλυολίθων, έγκειται κατά κύριο λόγο στην τεκτονική καταπόνηση και την υδροφορία. Στην TE 3 ο ιλυόλιθος είναι συμπαγής με ασθενή αποσάθρωση, ενώ στην TE 4 η δομή του είναι έντονα διατμημένη.

Η σήραγγα φυγής βρίσκεται στην κορεσμένη ζώνη καθ' όλο το μήκος της. Οι υδρογεωλογικές συνθήκες, λόγω κυρίως της επικρατούσας ιλυολιθικής σύστασης, χαρακτηρίζονται από χαμηλή έως πολύ χαμηλή διαπερατότητα. Κυκλοφορία νερού αναμένεται στο σχηματισμό των κροκαλοπαγών μέσω ενός παρακατακόρυφου συστήματος διακλάσεων, συχνά ανοικτών και διευρυμένων, κάθετο στον άξονα της σήραγγας. Η ποσότητες νερού που εισρέουν παρουσιάζουν φθίνουσα εξέλιξη και αμελητέα επίδραση

στην ευστάθεια. Δευτερογενές πορώδες εμφανίζεται, σπανιότερα, και στους ιλυούχους ψαμμίτες. Στους ιλυολίθους, υδροφορία εκδηλώνεται με τοπική ή γενική υγρασία.

Για κάθε μία από τις ανωτέρω ενότητες, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, όπως αυτά προέκυψαν από τις ταξινομήσεις μέσω των συστημάτων RMR και GSI (Πίνακες 8.1. και 8.2).

Γεωλογικός σχηματισμός	Εύρος τιμών RMR	Κατηγορία
Κροκαλοπαγές	68-49	II-III
Ιλυούχος ψαμμίτης	71-50	II-III
Ιλυόλιθος	79-57	II-III
Διατμημένος ιλυόλιθος	18	V

Πίνακας 8.1. Συγκεντρωτικές ταξινομήσεις RMR ανά σχηματισμό

Γεωλογικός Σχηματισμός	GSI	Τύπος φλύσχη
Παχυστρωματώδης χονδρόκοκκος ψαθυρός ιλυούχος ψαμμίτης	60-65 50-55	I III
Συμπαγής ιλυόλιθος με πολύ λεπτές ψαμμιτικές παρεμβολές	55-60	II
Ιλυούχος ψαμμίτης έως ψαμμούχος ιλυόλιθος. Μέτριος τεκτονισμός	50-55	IV-VII
Διατμημένη ιλυολιθική βραχομάζα με λεπτές ψαμμιτικές παρεμβολές. Μικροπυρώσεις	25-35	VIII-X
Κροκαλοπαγές	75-85	-

Πίνακας 8.2. Συγκεντρωτικές ταξινομήσεις GSI ανά σχηματισμό

Μετά την παρουσίαση των τιμών διερευνήθηκε ποιο από τα δύο συστήματα κατάταξης είναι πιο αντιπροσωπευτικό, δηλαδή ποιο αξιολογεί καλύτερα τις παραμέτρους εκείνες που απειλούν την ευστάθεια των υπόγειων έργων. Η ταξινόμηση σύμφωνα με το σύστημα RMR παρουσιάζει μεγαλύτερο εύρος τιμών και συχνά υποβαθμίζει την ποιότητα των σχηματισμών. Η εφαρμογή του δείκτη GSI για ετερογενείς βραχομάζες θεωρείται πως εκφράζει πληρέστερα τις συνθήκες της περιοχής ενδιαφέροντος. Ο δείκτης λαμβάνει υπόψη την τεκτονική διατάραξη που έχουν υποστεί οι φλυσχικές βραχομάζες, συμπεριλαμβάνοντας έτσι το κύριο χαρακτηριστικό που συνδέεται με περιβάλλοντα όπου συναντάται ο ετερογενής αυτός σχηματισμός.

Το έργο βρίσκεται σε εξέλιξη και η σήραγγα φυγής σε στάδιο εκσκαφής – προσωρινής υποστήριξης, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα για μετρήσεις προσανατολισμού των κύριων επιπέδων ασυνεχειών και για επιτόπου κατατάξεις βραχομαζών. Κατά μήκος του έργου χωρίστηκαν έξι (6) επιμέρους τμήματα, τα οποία αποτυπώθηκαν σε τεχνικογεωλογική μηκοτομή. Για κάθε ένα από αυτά, εκτιμήθηκε η τεχνικογεωλογική του συμπεριφορά,

καθορίζοντας έτσι τον πιθανότερο μηχανισμό αστοχίας. Αναμένονται τόσο βαρυτικές, όσο και τασικού τύπου αστοχίες, συνηθέστερα με τη μορφή σφηνών. Συγκριτικά με όλους τους εμφανιζόμενους τύπους αστοχιών, οι πτώσεις τεμαχών εξαιτίας απουσίας πλευρικής πίεσης που θα συγκρατούσε τα τεμάχια αυτά, εμφανίζονται σε ποσοστό περίπου 62%. Στα τμήματα της σήραγγας φυγής που έχει τοποθετηθεί προσωρινή υποστήριξη, επιλέχθηκαν βαριές διατομές. Αυτές περιλαμβάνουν πλαίσια και εγκάρσιες σε αυτά αντηρίδες, ελαφρά βλήτρα προπορείας (spiles) και πυκνό δίκτυο αποστραγγιστικών οπών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Anonymous, 1966. ISRM Commission on classification of rocks and rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, 18, pp. 85-110.
2. AUBOUIN. J. 1959. Contribution à l'étude géologique de la Grèce septentrionale: les confins de l'Épire et de la Thessalie. Thèse, sciences, Univ. Paris, 1958 et Ann. géol. Pays hellen., 10,1-525, Athènes.
3. Barton N. et al., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnels support. *Rock mechanics and rock engineering*, Springer, Vol.6 (4):189-236.
4. Bieniawski Z.T., 1976. Rock mass classifications in rock engineering. Proc. of the Symp., on Exploration for Rock Engineering, Cape Town, 97-106., Balkema.
5. Bieniawski Z.T., 1989. Engineering rock mass classifications. *John Wiley & Sons*, New York, p. 251.
6. Caputo R., Chatzipetros A., Pavlides S., Sboras S., 2012. The Greek Database of Seismogenic Sources (GreDaSS): state of the art for northern Greece, Active tectonics around the Mediterranean.
7. Deere D.U., 1964. Technical description of rock cores for engineering purposes. *Rock Mechanics and Engineering Geology*, 1, pp. 17-22.
8. Deere D.U., 1974. Geological considerations. *Rock Mechanics in Engineering Practice*.
9. Earthquake Geology Research Team. <http://eqgeogr.weebly.com>.
10. FLEURY. J. 1980. Les zones de Gavrovo-Tripolitza et du Pinde - Oionos (Grèce continentale et Péloponnèse du Nord). Evolution d'une plateforme et d'un bassin dans leur cadre alpin. Soc. géol. Nord. Pubi. No. 4,651 p, Lille.

- 11.** Goodman R.E., 1993. Engineering Geology – Rock in Engineering construction. UK. *John Wiley & Sons*.
- 12.** Harrison J.P., Hudson J.A., 2000. Engineering rock mechanics: An introduction to the principles, Pergamon, London.
- 13.** Hoek E., 2014. Practical Rock Engineering. <http://www.rocscience.com>.
- 14.** Hoek, E., Brown. E.T., 1980. Underground excavations in rock. Institution of Mining and Metallurgy, London.
- 15.** Hoek E., Kaiser P.K., Bawden W.F., 1995. Support of underground excavations in hard rock. Rotterdam. Balkema.
- 16.** Hoek E., Marinos P., Benissi M., 1998. Applicability of the Geological Strength Index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of the Athens Schist formation. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 57(2), pp. 151-160.
- 17.** Hoek E., Marinos P., Marinos V., 2005. Characterization and engineering properties of tectonically undisturbed but lithologically varied sedimentary rock masses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 42(2), pp. 277-285.
- 18.** ISRM, 1985. Suggested method for determining point load strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 22, pp. 51-62.
- 19.** I.S.R.M. Suggested Methods. 1981. Rock Characterization Testing and Monitoring, E.Brown, Pergamon Press.
- 20.** Marinos V., Marinos P., Hoek E., 2005. The geological strength index: applications and limitations. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 64, pp. 55-65.
- 21.** Marinos V., 2014. Tunnel behaviour and support associated with the weak rock masses of flysch.
- 22.** Stille H., Palmstroem A., 2003. Classification as a tool in rock engineering. *Tunnelling and Underground Space Technology*.
- 23.** Terzaghi, K. and Peck, R. 1967. Soil Mechanics in engineering practice. (2nd edition). *John Wiley and Sons, New York*, 729 p.
- 24.** VERGÉLY.P. 1984. Tectonique des ophiolites dans les Hellénides internes (déformations, métamorphisme et phénomènes sédimentaires). Conséquences sur l'évolution des régions téthysiennes occidentales. *Thèse, sciences, Univ. Sud*, 649 p., Orsay.
- 25.** Γεωδυναμικό Ινστιτούτο Αθηνών. <http://www.gein.noa.gr>.

26. Δ.Ε.Η. – Δ.Α.Υ.Ε. – Κ.Ε.Ψ.Ε. Π-Α. 1992. ΥΗΕ Πηγών Αώου. Τεχνική Έκθεση.
27. Δ.Ε.Η. – Δ.Α.Υ.Ε. 2000. ΥΗΕ Μετσοβίτικου. Συμπληρωματική Γεωλογική Έκθεση.
28. Δ.Ε.Η. – Δ.ΑΥ.Ε. 2012. ΥΗΕ Μετσοβίτικου. Αποπεράτωση Κατασκευής Αναχώματος – Συγκροτήματος Παραγωγής και Συναφών Έργων. Μέρος 6α: Τεχνικές Προδιαγραφές. Αθήνα.
29. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Μ.Ε.Κ.Δ.Ε. <http://www.ntua.gr>.
30. ΙΓΜΕ, 1989. Σεισμοτεκτονικός χάρτης της Ελλάδος. *Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών*.
31. ΙΓΜΕ, 1980. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος. Κλίμακα 1:50000. Φύλλα «Μέτσοβο» & «Πράμαντα». *Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών*.
32. Κατσίκατσος Γ. 1992. Γεωλογία της Ελλάδας. Αθήνα
33. Κούκης Γ.Χ., Σαμπατακάκης Ν.Σ. 2007. Γεωλογία Τεχνικών Έργων. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
34. Κούκης Γ.Χ., Σαμπατακάκης Ν.Σ. 2002. Τεχνική Γεωλογία. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
35. Κουμαντάκης Ι., 2007. Η αξιοποίηση των υπόγειων νερών των ορεινών ζωνών του Δήμου Μετσόβου. Η ολοκληρωμένη Ανάπτυξη της Ηπείρου. Πρακτικά του 4ου Διεπιστημονικού Διαπανεπιστημιακού Συνεδρίου του Ε.Μ.Π. για την προστασία και ανάπτυξη του ορεινού περιβάλλοντος και των τοπικών ευρωπαϊκών πολιτισμών, Τόμος Β΄, Συνεδριακό Κέντρο Μετσόβου.
36. Κουτσογιάννης, Μαμάσης Ν., 1995. Μέτσοβο. Η υδρολογική καρδιά της Ελλάδας. *Πανεπιστημιακές εκδόσεις Ε.Μ.Π.*
37. Μαρίνος Β., 2007. Γεωτεχνική ταξινόμηση και τεχνικογεωλογική συμπεριφορά ασθενών και σύνθετων γεωυλικών κατά τη διάνοιξη σηράγγων. Διδακτορική διατριβή σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., Τομέα Γεωτεχνικής. Αθήνα.
38. Μαρίνος Π., 1979. Γεωτεχνική ταξινόμηση βραχομάζας και υποστήριξη σηράγγων. *Ορυκτός Πλούτος*, 3, pp. 13-40.
39. Μαρίνος Π., 1993. Επί της εφαρμογής της Γεωμηχανικής ταξινόμησης Bieniawski σε ασθενείς και ετερογενείς βραχομάζες. Ειδική αναφορά στην περίπτωση του Πινδικού φλύσχη. Ειδική έκδοση ΕΜΠ προς τιμή Καθηγητή Α. Πανάγου, pp. 549-566.
40. Μαρίνος Π., 2014. Υπό κατασκευή σήραγγες στην Ελλάδα. Τόμος 2. Ε.Μ.Π. Οδηγός άσκησης υπαίθρου. Αθήνα.

- 41.** Μετεωρολογικός Σταθμός Μετσόβου σε συνεργασία με το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών. <http://penteli.meteo.gr/stations/metsovo>.
- 42.** Μουντράκης Δ.Μ., 1985. Γεωλογία της Ελλάδας. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- 43.** Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (Ν.Ε.Α.Κ.), 2003. Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (Ο.Α.Σ.Π), Αθήνα.
- 44.** Σοφιανός Α., Μαρίνος Π., 1990. Εμπειρικές μέθοδοι ταξινόμησης της βραχομάζας και εφαρμογή τους στο σχεδιασμό της αντιστήριξης σηράγγων. *Δελτίο ΚΕΔΕ*, 107-108, pp. 109-133.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΕΙΣΜΩΝ ΜΕΓΕΘΟΥΣ $M_s \geq 5,0$ Richter ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ	ΜΕΡΑ	ΩΡΑ	ΛΕΠΤΟ	ΔΕΥΤΕΡΟ-ΛΕΠΤΟ	ΓΕΩΓΡ. ΠΛΑΤΟΣ	ΓΕΩΓΡ. ΜΗΚΟΣ	ΒΑΘΟΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ
1909	ΙΟΥΝΙΟΣ	15	23	30	30	39,10	22,20		5,7
1911	ΜΑΪΟΣ	14	1	9	9	38,70	20,70		5,1
1911	ΜΑΪΟΣ	24	23	26	18	38,70	20,70		5,3
1914	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	23	9	4	26	38,80	20,60		5,3
1914	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	27	14	39	46	38,80	20,60		6,3
1915	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	20	8	13	24	38,80	20,70		5,0
1915	ΙΟΥΝΙΟΣ	4	17	22	2	39,10	21,50		5,8
1917	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	26	13	14	18	39,80	20,40		5,6
1917	ΜΑΪΟΣ	23	5	46	27	39,00	20,40		6,1
1918	ΙΟΥΛΙΟΣ	4	11	25	54	39,70	20,50		5,4
1918	ΙΟΥΛΙΟΣ	5	15	41	27	39,70	20,50		5,4
1918	ΙΟΥΛΙΟΣ	9	14	1	21	39,50	20,50		5,1
1920	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	16	14	43	30	39,70	20,80		5,1
1920	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	21	18	57	48	39,60	20,30		5,8
1920	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	29	4	36	1	39,60	20,30		5,1
1921	ΜΑΪΟΣ	10	4	56	7	38,70	20,70		5,4
1921	ΙΟΥΝΙΟΣ	26	3	40	38	39,30	21,00		5,7
1921	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	13	8	59	53	38,90	21,20		6,0
1921	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	14	3	27	42	38,90	21,20		5,4
1921	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	25	15	4	19	39,00	20,50		5,3
1923	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	9	23	10	30	38,80	21,00		5,0
1924	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	13	9	44	10	39,30	20,70		5,5
1927	ΙΟΥΝΙΟΣ	30	22	59	36	39,00	20,70		5,8
1927	ΙΟΥΛΙΟΣ	28	6	49	30	39,30	21,00		5,0
1936	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	15	16	3	7	39,50	20,50		5,4
1938	ΜΑΡΤΙΟΣ	11	14	50	55	38,80	20,60		5,6
1938	ΜΑΡΤΙΟΣ	13	17	45	32	38,80	20,60		5,8
1940	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	26	21	5	45	38,70	21,00		5,1
1942	ΙΟΥΝΙΟΣ	1	9	1	18	39,30	22,40		5,2
1942	ΙΟΥΝΙΟΣ	1	9	17	40	39,30	22,40		5,6
1942	ΙΟΥΝΙΟΣ	1	22	10	21	39,30	22,40		5,0
1943	ΙΟΥΛΙΟΣ	22	7	9	28	38,80	20,60		5,6
1943	ΙΟΥΛΙΟΣ	22	12	59	0	38,80	20,60		5,0
1945	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	8	22	42	12	38,80	20,60		5,3
1948	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	21	23	42	42	38,70	20,50		5,1
1948	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	22	10	42	45	38,70	20,50		6,5
1948	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	23	5	38	30	38,70	20,50		5,0
1948	ΜΑΪΟΣ	26	16	24	37	39,00	20,50		5,0

1948	ΙΟΥΝΙΟΣ	30	12	21	13	38,80	20,60		6,4
1949	ΙΟΥΝΙΟΣ	26	5	42	20	38,80	20,60		5,2
1953	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	8	11	50	7	39,90	20,60	10	5,0 (4,7)
1954	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	30	13	2	36	39,30	22,20	10	6,9 (7,0)
1954	ΜΑΪΟΣ	4	16	43	20	39,30	22,20	10	5,6
1954	ΜΑΪΟΣ	4	16	45	27	39,30	22,20	10	5,7
1954	ΜΑΪΟΣ	4	23	44	54	39,30	22,20	10	5,1 (5,0)
1954	ΜΑΪΟΣ	25	22	3	32	39,30	22,20	10	5,4 (5,6)
1954	ΙΟΥΝΙΟΣ	5	14	5	32	39,30	22,20	10	5,5 (5,0)
1954	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	5	3	48	27	39,50	22,00	10	5,1 (4,8)
1955	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	3	1	7	3	39,00	22,10	10	5,5 (5,6)
1955	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	8	7	53	1	39,20	22,00	10	5,2 (5,1)
1956	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	21	9	50	55	39,50	22,25	10	5 (4,9)
1956	ΙΟΥΝΙΟΣ	26	6	27	40	39,50	22,20	10	5,1 (5,0)
1957	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	8	7	0	47	38,90	20,60	10	5,2
1960	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	23	0	30	59	39,00	20,60	10	5,0
1960	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	23	7	34	31	39,00	20,60	10	5,5 (5,6)
1960	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	23	7	47	51	38,90	20,60	10	5,2
1960	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	5	20	20	48	39,10	20,60	10	5,8 (5,7)
1960	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	11	5	31	26	39,30	20,80	10	5,7 (5,6)
1963	ΜΑΡΤΙΟΣ	17	14	17	23	39,40	20,80	10	5,0
1963	ΙΟΥΝΙΟΣ	4	22	11	30	38,90	20,50	10	5,0
1963	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	3	14	36	2	38,90	21,10	10	5,0
1966	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	5	2	1	44	39,05	21,61	5	6,4 (6,2)
1966	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	5	2	57	57	39,25	21,69	25	5,4 (5,3)
1966	ΜΑΡΤΙΟΣ	8	18	51	41	39,15	21,20	5	5,3 (4,9)
1966	ΜΑΡΤΙΟΣ	14	14	8	37	39,24	21,18	5	5,1 (4,6)
1966	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	1	13	14	57	39,18	21,21	5	5,2 (4,8)
1966	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	3	11	36	22	39,13	21,27	16	5,1
1966	ΜΑΪΟΣ	4	6	36	58	38,88	21,29	47	5,5 (5,2)
1966	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	6	2	31	50	39,04	21,22	5	5,3 (5,4)
1966	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	29	2	39	28	38,81	21,07	5	6,0
1966	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	29	17	51	0	38,90	21,08	5	5,0
1966	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	9	15	12	40	38,88	21,76	10	5 (5,1)
1967	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	9	14	8	30	39,43	20,46	25	5,8
1967	ΜΑΪΟΣ	1	7	8	57	39,86	21,27	17	6,4
1967	ΜΑΪΟΣ	1	9	50	1	39,81	20,85	8	5,5 (5,3)
1967	ΜΑΪΟΣ	3	18	41	39	39,91	20,77	10	5,1 (5,0)
1967	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	9	3	10	51	39,09	20,74	5	5,5
1968	ΜΑΡΤΙΟΣ	28	16	37	47	39,49	20,37	18	5,3 (5,0)
1968	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	10	11	28	34	38,90	21,31	20	5,1 (4,7)
1969	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	12	13	34	20	39,70	20,45	15	5,5 (5,3)

1969	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	13	1	2	32	39,82	20,32	38	6,2 (5,8)
1970	ΜΑΡΤΙΟΣ	23	20	56	2	39,07	20,26	5	5,4 (4,9)
1970	ΙΟΥΛΙΟΣ	11	23	29	17	38,85	20,42	5	5,0 (4,7)
1970	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	19	2	2	14	39,59	20,47	16	5,3 (5,4)
1971	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	19	2	43	51	38,65	20,29	11	5,4 (5,2)
1972	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	24	3	48	31	39,51	20,28	23	5,7 (5,3)
1973	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	18	21	32	7	38,68	20,48	5	5,1
1973	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	4	15	52	13	38,73	20,32	20	6,0 (5,8)
1973	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	4	16	11	38	38,70	20,37	24	5,2 (5,0)
1974	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	20	15	9	29	39,69	20,36	2	5,4 (5,0)
1978	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	14	0	5	7	38,87	20,47	5	5,2 (4,9)
1979	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	6	5	26	18	39,39	20,58	5	5,4 (5,5)
1979	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	11	1	18	6	39,43	20,41	5	5,2 (5,1)
1980	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	12	9	10	16	38,62	20,43	5	5,4 (5,2)
1981	ΜΑΡΤΙΟΣ	10	15	16	16	39,45	20,28	17	5,9
1981	ΜΑΪΟΣ	27	15	4	1	38,80	20,75	27	5,5
1981	ΜΑΪΟΣ	27	15	25	53	38,81	20,66	28	5,5
1981	ΜΑΪΟΣ	27	18	12	2	38,80	20,91	9	5,4
1981	ΙΟΥΝΙΟΣ	21	20	11	39	39,40	20,28	5	5,2
1981	ΙΟΥΛΙΟΣ	3	21	42	53	39,59	20,38	8	5,8
1981	ΙΟΥΛΙΟΣ	25	3	21	40	39,54	20,52	24	5,4
1982	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	4	22	38	50	39,80	20,38	5	5,3
1983	ΜΑΡΤΙΟΣ	16	21	19	39	38,79	20,81	9	5,5
1983	ΜΑΡΤΙΟΣ	23	19	3	60	38,78	20,81	10	5,4
1984	ΜΑΡΤΙΟΣ	12	2	29	57	39,16	20,67	5	5,0
1985	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	31	6	3	45	39,01	20,48	5	5,3
1987	ΜΑΡΤΙΟΣ	8	17	42	19	39,51	20,35	18	5,0
1988	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	22	6	18	54	38,64	21,02	11	5,1
1988	ΜΑΡΤΙΟΣ	8	11	38	57	38,82	21,11	28	5,1
1988	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	24	10	10	32	38,84	20,33	5	5,0
1988	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	14	9	45	4	39,76	20,31	5	5,1
1989	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	19	7	57	8	39,48	21,36	5	5,0
1990	ΙΟΥΝΙΟΣ	16	2	16	20	39,13	20,38	38	6,0
1990	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	4	7	29	24	39,19	20,57	4	5,0
1992	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	26	15	7	45	39,05	20,58	5	5,0
1993	ΙΟΥΝΙΟΣ	13	23	26	40	39,25	20,57	5	5,9
1994	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	25	2	30	50	38,73	20,58	5	5,8
1994	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	29	14	30	28	38,66	20,46	5	5,4
1994	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	1	7	17	36	38,69	20,55	5	5,3
1997	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	12	16	26	57	39,10	20,27	5	5,3
1998	ΙΟΥΛΙΟΣ	16	17	29	17	38,66	20,55	5	5,5
1999	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	24	3	38	55	39,59	20,57	18	5,1
2000	ΜΑΪΟΣ	26	1	28	22	38,91	20,58	5	5,8

2001	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	14	6	36	26	39,28	20,35	5	5,0
2002	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	31	20	28	33,20	39,00	21,25	18	5,1
2002	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	31	20	47	3,80	38,93	21,18	22	5,1

ΜΗΤΡΩΟ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ

α/α	Μ.Σ.	Εγκατεστημένα όργανα	Φορέας	Υψόμετρο	Περίοδος παρατηρήσεων
1	Μέτσοβο	Βμ-Βγ-Χγ-Θα-Θε- Υα-Εζ-Αγ	ΥΓ	1156	1961-1990
2	Γότιστα μικρή	Βμ-Βγ-Χμ	ΔΕΗ	850	1965 – 1990
3	Περιστέρι	Βμ-Βγ-Χμ	ΔΕΗ	1040	1965 - 1990

ΜΕΣΑ ΜΗΝΙΑΙΑ ΥΨΗ ΒΡΟΧΗΣ

Μ.Σ.	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Έτος
Μέτσοβο	179.4	164.2	131.2	135.2	112.7	64.7	44.7	43.2	73.7	151.8	194.9	190.1	1455.8
Μέτσοβο	119.1	208.6	144.0	117.9	113.8	103.6	54.0	24.7	55.9	171.9	252.3	180.2	1446.0
Γότιστα μικρή	154.4	125.2	117.5	85.8	81.0	40.8	39.9	33.4	64.0	114.1	170.1	182.7	1208.9
Περιστέρι μικρό	166.3	142.6	122.4	97.2	85.4	49.1	37.8	27.9	62.4	116.6	192.2	214.9	1314.8