



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΚΑΖΙΛΗ ΜΑΡΙΑ
ΠΤΥΧΙΟΥΧΟΣ M.Sc., ΓΕΩΛΟΓΟΣ

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΚΑΙ
ΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΠΛΑΤΥ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ
ΡΕΘΥΜΝΟΥ, ΚΡΗΤΗ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2017



ΚΑΖΙΛΗ ΜΑΡΙΑ
ΠΤΥΧΙΟΥΧΟΣ MSC, DIC, ΓΕΩΛΟΓΟΣ

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΚΑΙ
ΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΠΛΑΤΥ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ
ΡΕΘΥΜΝΟΥ, ΚΡΗΤΗ

Υποβλήθηκε στο τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού
Προγράμματος Σπουδών «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία»
Τομέας Γεωλογίας
09/2017

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Επίκουρος Καθηγητής, Μαρίνος Β., Επιβλέπων
Καθηγητής Χρηστάρας Β., Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής
Αναπληρωτής Καθηγητής, Βουδούρης Κ., Μέλος τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής



Αριθμός Παραρτήματος Επιστημονικής επετηρίδας Τμήματος Γεωλογίας Ν^ο

©Μαρία Ν. Καζίλη, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος All right reserved

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΚΑΙ
ΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΠΛΑΤΥ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ
ΡΕΘΥΜΝΟΥ, ΚΡΗΤΗ

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

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



Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της παρούσας διατριβής ειδίκευσης, Επίκουρο Καθηγητή κ. Βασίλη Μαρίνο, για την πολύτιμη καθοδήγησή του στην εκπόνηση της διατριβής και την συνεχή υποστήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου. Κατόπιν, θα επιθυμούσα να ευχαριστήσω στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, Καθηγητή κ. Βασίλη Χρηστάρα και Αναπληρωτή Καθηγητή, κ. Κωνσταντίνο Βουδούρη, για τις χρήσιμες συμβουλές και τις ουσιαστικές υποδείξεις τους.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένειά μου, που μου συμπαραστέκονται συνεχώς σε κάθε προσπάθεια για την πνευματική και ηθική ανάπτυξή μου και ιδιαίτερα την αδερφή μου Ελισσάβετ Καζίλη, για τη ηθική υποστήριξή της κατά τους τελευταίους μήνες της εκπόνησης αυτής της διατριβής. Ξεχωριστά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον πατέρα μου και συνάδελφο Νικόλαο Καζίλη, τόσο για την υπομονή και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, όσο και για τις εποικοδομητικές συζητήσεις μας κατά τις οποίες μου μεταλαμπάδευσε πολύτιμες γνώσεις και αποστάγματα της πολυετούς του εμπειρίας του στο χώρο της τεχνικής γεωλογίας.

Τέλος θα ήθελα να απευθύνω τις ευχαριστίες μου στα γραφεία ΕΛΑΦΟΣ και Παυλάκη – Περλέρος, για την διάθεση των στοιχείων των μελετών και των γεωερευνητικών προγραμμάτων, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας ειδίκευσης αποτελεί η εξέταση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών και η εκπόνηση τεχνικογεωλογικών αξιολογήσεων και θεωρήσεων που αφορούν στο έργο του φράγματος Πλατύ, στο νομό Ρεθύμνης της περιφέρειας Κρήτης. Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο κεντρικό/νότιο ανατολικό τμήμα του Νομού Ρεθύμνου, στην κοιλάδα του ποταμού που ονομάζεται Πλατύς, και αναπτύσσεται ανάμεσα από τους δυτικούς πρόποδες του όρους Ψηλορείτη και των ορεινών μαζών Κέδρου (1776m) και Σάμιτου (1013m). Γεωλογικά αποτελείται από το μετα-αλπικό σχηματισμό του φλύσχη Εθιάς (φλύσχη της ζώνης Πίνδου), ο οποίος δομείται από εναλλαγές ιλυόλιθου και ψαμμίτη, μέσα στον οποίο συναντώνται ολισθόλιθοι ασβεστολίθου. Πάνω στο φλύσχη βρίσκονται επωθημένα τα τεκτονικά καλύμματα της ενότητας Άρβης, τα οποία αποτελούνται από στρώματα ασβεστολίθου, κερατολίθου και οφιολιθικών και ιλυολιθικών λατυπτοπαγών. Στην ευρύτερη ζώνη του έργου απαντώνται οι Κρητιδικοί ασβεστόλιθοι της γεωτεκτονικής ζώνης Πίνδου και άλλα τεκτονικά καλύμματα Τριαδικού και Ιουρασικού μικρής έκτασης. Στο **κεφάλαιο 2** γίνεται βιβλιογραφική αναφορά στους τύπους φραγμάτων και τα συνοδευτικά τους έργα καθώς και σε κάποια τεχνικογεωλογικά θέματα που αφορούν στην ασφάλεια και τη λειτουργικότητα των φραγμάτων και των ταμιευτήρων. Στο **κεφάλαιο 3** περιγράφονται συνοπτικά οι γεωλογικές συνθήκες και η τεκτονική εξέλιξη της ευρύτερης περιοχής του έργου και οι πολύπλοκες τεκτονικές φάσεις που έχουν επιδράσει κατά την αλπική ορογένεση και μεταγενέστερα λόγω της εγγύτητας της περιοχής στο ενεργό Μεσογειακό ελληνικό τόξο. Στο **κεφάλαιο 4** αναφέρονται οι γεωερευνητικές εργασίες και οι εργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές που εκτελέσθηκαν στην υπό μελέτη περιοχή. Στο **κεφάλαιο 5** αναφέρονται οι γεωλογικές συνθήκες και συγκεκριμένα η γεωμορφολογία, η λιθοστρωματογραφία, η τεκτονική και οι υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην στενή περιοχή της θεμελίωσης του φράγματος του ποταμού Πλατύ. Στο **κεφάλαιο 6** γίνεται στατιστική επεξεργασία και αξιολόγηση των τιμών των φυσικών και μηχανικών μεγεθών που προέκυψαν από τις εργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές για κάθε γεωλογική ενότητα που απαντάται στη περιοχή θεμελίωσης του φράγματος. Κατόπιν γίνεται ταξινόμηση βραχομάζας για τους σχηματισμούς του αλπικού υποβάθρου και καθορίζονται οι τιμές αντοχής και παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας με τη βοήθεια του λογισμικού Rocdata (Rocscience). Στη συνέχεια επιχειρείται ο διαχωρισμός τεχνικογεωλογικών ενοτήτων και περιγραφή των τεχνικογεωλογικών συνθηκών κατά μήκος του άξονα και στα αντερείσματα της θέσης του φράγματος. Στο **κεφάλαιο 7** προτείνονται ο κατάλληλος τύπος φράγματος για τις υπάρχουσες τεχνικογεωλογικές συνθήκες καθώς και κάποιες θεωρήσεις και μέτρα αντιμετώπισης θεμάτων που αφορούν στην ευστάθεια και στον επαρκή σχεδιασμό του φράγματος. Στο **κεφάλαιο 8** δίνονται συνοπτικά τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα εργασία.



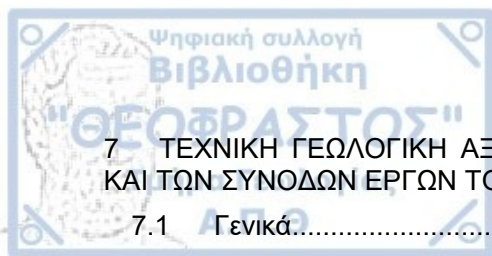
ABSTRACT

The Scope of work of the present thesis is to examine the geotechnical conditions and the execution of engineering geological evaluations and considerations regarding the project of the Platy dam in the Prefecture of Rethymno of the Region of Crete. The area under study is located in the central/ southeastern part of the Prefecture of Rethymno, in the valley of the Platy river and is developed within the west foothills of the Psiloritis mountain and the Kedros (1776m) and the Samitos (1776m) mountain masses. Geologically, the area consists of the postalpine formations of the Ethia flysch (flysch of the geotectonic unit of Pindos), made up of alternations of siltstone and sandstones, within which are encountered limestones olistolites. The flysch is overlain (thrust) by nappes of Arvi Unit, made up of strata of limestones, radiolarites, ophiolitic and siltstone conglomerates (mélange). In the wider area of the project crop out the Cretaceous limestones of the Pindos geotectonic unit and other Triassic and Jurassic nappes of limited extent. In **chapter 2**, it is provided a bibliographic reference on, the dam types and the appurtenant structures, as well as, the engineering geological issues related to the safety and the functionality of the dams and the reservoirs. In **chapter 3**, are briefly described the geological conditions and the structural evolution of the wider project area and the complicated tectonic events which affected the area during the Alpine Orogenesis and later on, due to the vicinity to the active Hellenic arc. In **chapter 4**, are mentioned the geotechnical investigation works and the laboratory and in situ tests which were carried out at the study area. In **chapter 5**, are presented the geological conditions and particularly, the geomorphology, the lithostratigraphy, the tectonic and the hydrogeological conditions, prevailing in the zone of the Platy dam foundation. In **chapter 6**, is performed statistical analysis and assessments of the values of the physical and engineering properties, resulting from the laboratory and in situ tests for each geological unit occurring at the dam foundation area. Subsequently, classification of rockmass of the alpine bedrock formations is done and the strength and deformability values of the rockmass are determined by means of Rocdata (Rocscience) software. Then, the differentiation of the engineering geological units is performed and the engineering geological conditions are described along the dam axis and the dam site abutments. In **chapter 7**, are suggested the suitable dam type for the existing site engineering geological conditions, as well as, some considerations and measures of confrontation of issues concerning the stability and the adequate design of the dam. In **chapter 8**, are given the brief conclusions derived from the present thesis.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
1.1	Σκοπός - αντικείμενο	10
1.2	Συνοπτική περιγραφή του έργου του φράγματος	10
2	ΦΡΑΓΜΑΤΑ	12
2.1	Τύποι φραγμάτων.....	12
2.1.1	Γεωφράγματα	13
2.1.2	Άκαμπτα φράγματα	17
2.2	Συνοδά έργα φράγματος	21
2.2.1	Έργα εκτροπής ποταμού.....	21
2.2.2	Υπερχειλιστής, ή εκχειλιστής	22
2.2.3	Έργο υδροληψίας και αγωγός προσαγωγής.....	23
2.2.4	Διώρυγα ή σήραγγα φυγής.....	23
2.2.5	Πηγάδι ανάπαλσης.....	24
2.2.6	Εκκενωτής πυθμένα	24
2.3	Κριτήρια επιλογής τύπου φράγματος	25
2.4	Τεχνικογεωλογικά θέματα που λαμβάνονται υπόψη κατά την κατασκευή του φράγματος.....	26
2.4.1	Θέση θεμελίωσης	26
2.4.2	Αιτίες αστοχιών φραγμάτων	36
2.4.3	Ταμιευτήρας	39
3	ΓΕΝΙΚΕΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ.....	42
3.1	Γενικό γεωτεκτονικό περιβάλλον και γεωλογική εξέλιξη της ευρύτερης περιοχής ..	42
3.2	Σεισμικότητα	48
4	ΕΚΤΕΛΕΣΘΕΙΣΕΣ ΓΕΩΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗΝ ΣΤΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	49
5	ΓΕΝΙΚΕΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΣΤΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ.....	52
5.1	Γενικά.....	52
5.2	Γεωμορφολογία	52
5.3	Στρωματογραφία	53
5.3.1	Σχηματισμοί της σειράς Πίνδου:	53
5.3.2	Το τεκτονικό καλυμμα της Άρβης:	56
5.3.3	Τεκτονικό κάλυμμα Μιάμου	57
5.3.4	Το οφιολιθικό σύμπλεγμα.....	57
5.3.5	Οι Νεογενείς σχηματισμοί:.....	57
5.3.6	Οι Τεταρτογενείς σχηματισμοί:	57

5.4	Τεκτονική	59
5.5	Υδρογεωλογικές συνθήκες	60
5.5.1	Υδρολιθολογικά δεδομένα	60
5.5.2	Ενδελεχής αξιολόγηση των δεδομένων υπόγειας υδραυλικής της θέσης του φράγματος και των συνοδών έργων	61
5.6	Στάθμες υπόγειου νερού στη θέση του φράγματος και των συνοδών έργων	81
5.7	Σύνοψη συνθηκών υπόγειας υδραυλικής στην θέση του φράγματος και των συνοδών έργων του	82
6	ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΖΩΝΙΣΗ ΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ	83
6.1	Γενικά – Τεχνικογεωλογική διαζώνιση	83
6.2	Γεωλογικός σχηματισμός των αλλουβιακών αποθέσεων της κοίτης του ποταμού και των ποτάμιων αναβαθμίδων	83
6.3	Γεωλογικός σχηματισμός πλευρικών κορημάτων και αποθέσεων πλαγιάς (κολουβιακοί σχηματισμοί)	87
6.4	Γεωλογικός σχηματισμός του αποσαθρωμένου (ελουβιακού) μανδύα φλύσχη.....	90
6.5	Γεωλογικός σχηματισμός του ψαμμιτικού φλύσχη.....	93
6.6	Γεωλογικός σχηματισμός του εδαφοποιημένου ιλυολιθικού φλύσχη.....	95
6.7	Γεωλογικός σχηματισμός ιλυολιθικού φλύσχη.....	100
6.8	Γεωλογικός σχηματισμός ασβεστολίθου.....	102
6.9	Τεχνικογεωλογική διαζώνιση – τεχνικογεωλογικές ενότητες – ταξινόμηση βραχομάζας.....	107
6.9.1	Τεταρτογενείς σχηματισμοί του επιφανειακού χαλαρού καλύμματος	107
6.9.1.1	Τεχνικογεωλογική ενότητα 1Α: Αλλουβιακοί σχηματισμοί.....	107
6.9.1.2	Τεχνικογεωλογική ενότητα 1Β: Κορήματα – κολουβιακοί σχηματισμοί.....	108
6.9.1.3	Τεχνικογεωλογική ενότητα 1Γ: Αποσαθρωμένος (ελουβιακός) μανδύας του φλύσχη	109
6.9.2	Σχηματισμοί του γεωλογικού υποβάθρου.....	110
6.9.2.1	Μεθοδολογία προσδιορισμού παραμέτρων σχεδιασμού για τη βραχομάζα των σχηματισμών του γεωλογικού υποβάθρου.....	110
6.9.2.2	Τεχνικογεωλογική ενότητα 2: Ψαμμιτικός φλύσχη.....	113
6.9.2.3	Τεχνικογεωλογική ενότητα 3: Εδαφοποιημένος ιλυόλιθος	117
6.9.2.4	Τεχνικογεωλογική ενότητα 4: Ιλυολιθικός φλύσχη.....	119
6.10	Ευστάθεια υφισταμένων πρανών στην θέση του φράγματος	126
6.11	Περιγραφή και Ανάπτυξη των Τεχνικογεωλογικών Ενοτήτων στην περιοχή κατασκευής του φράγματος και των συνοδών έργων	130
6.11.1	Γενικά	130
6.11.2	Τεχνικογεωλογική Τομή ΤΓΤ.1 – Εγκάρσια του αριστερού πρανούς και υποπαράλληλα του άξονα του φράγματος	130
6.11.3	Τεχνικογεωλογική Τομή ΤΓΤ.2 – στο αριστερό πρανές, παράλληλα με τον άξονα του εκχειλιστή σε διεύθυνση Β-Ν.	136
6.11.4	Τεχνικογεωλογική Τομή ΤΓΤ.3 – στον άξονα του φράγματος, σε διεύθυνση Α-Δ περίπου.....	139



7	ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΣΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΣΥΝΟΔΩΝ ΕΡΓΩΝ ΤΟΥ.....	146
7.1	Γενικά.....	146
7.2	Τεχνικογεωλογικές συνθήκες της θέσης του φράγματος – Τύπος φράγματος	146
7.3	Τεχνικογεωλογικές συνθήκες της θέσης του φράγματος – Συνθήκες θεμελίωσης του φράγματος και του εκχειλιστή.....	147
7.4	Τεχνικογεωλογικές συνθήκες της θέσης του φράγματος – Συνθήκες υπόγειας υδραυλικής της θέσης του φράγματος – συνθήκες στεγανότητας κάτω και «στα ανοικτά του φράγματος»	149
8	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	153
9	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	157

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1:	Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά του φράγματος και του ταμιευτήρα του Πλατύ	10
Πίνακας 4-1:	Κωδικοί γεωτρήσεων και θέση διάνοιξης τους στο έργο.....	49
Πίνακας 5-1:	Κατηγορίες Συντελεστών διαπερατότητας κατά Terzaghi & Peck (1967)	61
Πίνακας 5-2:	Αποτελέσματα δοκιμών εισπίεσεως νερού με παρεμβύσματα, τύπου LUGEON, μεταβλητού φορτίου τύπου MAAG και σταθερού φορτίου τύπου LEFRANC στις γεωτρήσεις Γ1 έως Γ7	62
Πίνακας 5-3:	Αποτελέσματα δοκιμών εισπίεσεως νερού με παρεμβύσματα, τύπου LUGEON, μεταβλητού φορτίου τύπου MAAG και σταθερού φορτίου τύπου LEFRANC στις γεωτρήσεις Γ8 έως Γ16.....	64
Πίνακας 5-4:	Αποτελέσματα δοκιμών διαπερατότητας στις αλουβιακές αποθέσεις.....	67
Πίνακας 5-5:	Αποτελέσματα δοκιμών διαπερατότητας στον αποσασθρωμένο μανδύα του φλύσχη.....	68
Πίνακας 5-6:	Αποτελέσματα δοκιμών διαπερατότητας στα πλευρικά κορήματα.....	70
Πίνακας 5-7:	Αποτελέσματα δοκιμών διαπερατότητας στη ψαμμιτική φάση του φλύσχη.....	71
Πίνακας 5-8:	Αποτελέσματα δοκιμών διαπερατότητας στην ιλυολιθική φάση του φλύσχη... ..	73
Πίνακας 5-9:	Στάθμες υπόγειου νερού που μετρήθηκαν σε πιεζόμετρα ανοικτού τύπου και κλισιόμετρα.	81
Πίνακας 6-1:	Αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών εδαφομηχανικής σε δείγματα αλουβιακών αποθέσεων.	85
Πίνακας 6-2:	Αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών εδαφομηχανικής - φυσικά χαρακτηριστικά σε δείγματα πλευρικών κορημάτων.....	89
Πίνακας 6-3:	Αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών εδαφομηχανικής - φυσικά χαρακτηριστικά σε δείγματα του αποσασθρωμένου μανδύα του φλύσχη.....	92
Πίνακας 6-4:	Αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών εδαφομηχανικής - φυσικά χαρακτηριστικά σε δείγματα του εδαφοποιημένου ιλυόλιθικου φλύσχη.....	98
Πίνακας 6-5:	Προτεινόμενοι γεωτεχνικοί παράμετροι σχεδιασμού αλλουβιακών σχηματισμών	108
Πίνακας 6-6:	Προτεινόμενοι γεωτεχνικοί παράμετροι σχεδιασμού κολουβιακών σχηματισμών.....	109
Πίνακας 6-7:	Προτεινόμενοι γεωτεχνικοί παράμετροι σχεδιασμού ελουβιακών σχηματισμών (αποσασθρωμένου) Φλύσχη της Τεχνικογεωλογικής ενότητας ΤΕ.01.....	110
Πίνακας 6-8:	Προτεινόμενοι γεωτεχνικοί παράμετροι σχεδιασμού των Τεχνικογεωλογικών Ενοτήτων ΤΕ.2Α και ΤΕ.2Β.....	116
Πίνακας 6-9:	Τιμές δείκτη GSI εκτιμηθέντες για διάφορα τμήματα πυρήνων στις γεωτρήσεις.....	118

Πίνακας 6-10: Προτεινόμενες τιμές γεωτεχνικών παραμέτρων σχεδιασμού της Τεχνικογεωλογικής Ενότητας ΤΕ.3.	119
Πίνακας 6-11: Τιμές δείκτη GSI εκτιμηθέντες για διάφορα τμήματα πυρήνων στις γεωτρήσεις.	121
Πίνακας 6-12: Προτεινόμενες τιμές γεωτεχνικών παραμέτρων σχεδιασμού των Τεχνικογεωλογικών Ενοτήτων ΤΕ.4Α και ΤΕ.4Β.....	123

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2-1: Διατομή και μηκοτομή υδρευτικού γεωφράγματος Μόρνου, στο Ν. Φωκίδας (Καββαδάς, 2006).....	14
Σχήμα 2-2: Τυπική διατομή ζωνώδους γεωφράγματος	15
Σχήμα 2-3: Τυπική διατομή ομογενούς φράγματος με τρεις διαφορετικούς τύπους στράγγισης (Καββαδάς, 2006).....	15
Σχήμα 2-4: Χαρακτηριστική διατομή φράγματος ΛΑΠΣ όπου Α:καλώς διαβαθμισμένο, συμπυκνωμένο βραχώδες υλικό για την υποστήριξη της ανάντη αδιαπέρατης μεμβράνης Β:μικρότερου μεγέθους λατομικό βραχώδες υλικό, συμπυκνωμένο, για την μείωση της καθίζησης της μεμβράνης και Γ:βέλτιστης ποιότητας υψηλής αντοχής βραχώδες υλικό που παρέχει ευστάθεια στο φράγμα. (Τροποποιημένο από (Καββαδάς, 2006))	16
Σχήμα 2-5: Φράγματα βαρύτητας με την ανάντη παρειά κεκλιμένη ώστε να αυξάνεται η επιφάνεια θεμελίωσης και άρα η ευστάθεια του φράγματος (Μουτάφης, 2012).	18
Σχήμα 2-6: Τυπική διατομή φράγματος σκληρού επιχώματος (αριστερά),	18
Σχήμα 2-7: Τοξωτό φράγμα Ταυρωπού, παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο νομό Θεσσαλίας σε οριζοντιογραφία όπου 1: Στέψη φράγματος, 2: Υπερχειλιστής, 3: Εκκενωτής φράγματος, 4: Σήραγγα εκτροπής, 5: Κοιτόστρωση σκυροδέματος (αριστερά),	19
Σχήμα 2-8: Τυπικές διατομές αντιρρηδωτών φραγμάτων (Αnon., n.d.).....	20
Σχήμα 2-9: Όψη από τα κατάντη (α) και γενική τομή του αντιρρηδωτού φράγματος του Λάδωνα και του εκχειλιστή του φράγματος (β) (Λιάκουρης, 1995).....	20
Σχήμα 2-10: Σχηματική απεικόνιση των έργων εκτροπής ποταμού κατά τη διάρκεια κατασκευής του φράγματος και δεξιά,.....	22
Σχήμα 2-11: α) διατομή διώρυγας διαφυγής με τις στρώσεις υλικών επένδυσης, β) το αριστερό ήμισυ της εγκάρσιας διατομής της διώρυγας.....	24
Σχήμα 2-12: Σχηματική απεικόνιση της κατανομής των υδραυλικών και βαρυτικών δυνάμεων σε γεωφράγματα (Gonzales de Vallejo , et al., 2002).....	27
Σχήμα 2-13: Ανάλυση δυνάμεων που δρουν σε φράγμα βαρύτητας με κεκλιμένη την ανάντη παρειά,.....	28
Σχήμα 2-14: Ανάλυση δυνάμεων που δρουν σε φράγμα βαρύτητας με αποστράγγιση,	29
Σχήμα 2-15: Κατανομή των τάσεων που ασκούνται από τα τοξωτά φράγματα στα αντερείσματα της θεμελίωσης (Φράγματα, ΠΜΣ Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία, Θ. Μακεδών).....	29
Σχήμα 2-16: Δυνάμεις που δρουν σε τοξωτά και φράγματα βαρύτητας (Φράγματα, ΠΜΣ Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία, Θ. Μακεδών)	30
Σχήμα 2-17: Ανάπτυξη δικτύων ροής χωρίς, και με στεγανοποιητικό στοιχείο στη θεμελίωση σε γεωφράγματα και φράγματα από σκυρόδεμα, με αποστράγγιση και κουρτίνα τσιμεντενέσων (Gonzales de Vallejo , et al., 2002).....	31
Σχήμα 2-18: Μηχανισμός αστοχίας του φράγματος Malpasset αριστερά σε οριζοντιογραφία και δεξιά σε τομή του φράγματος τροποποιημένο από (Gonzales de Vallejo , et al., 2002).....	34
Σχήμα 2-19: Φράγμα Βαρύτητας St Francis, μετά την αστοχία του δεξιά Σχήμα 2-20: Το φράγμα Βαρύτητας St Francis σε οριζοντιογραφία όπου φαίνονται το ρήγμα στην επαφή των κροκαλοπαγών στο δεξί πρηνές και οι επιφάνειες κατολισθήσεων στο σχιστόλιθο του	

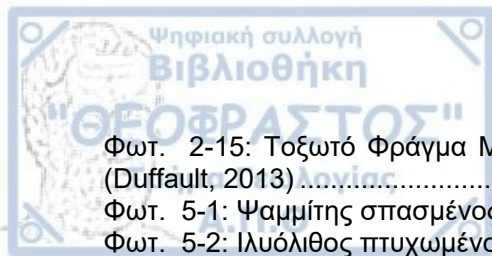
αριστερού πρηνούς (Φράγματα, ΠΜΣ Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία, Θ. Μακεδών).....	35
Σχήμα 2-21: Μηχανισμοί και τύποι αστοχιών σε γεωφράγματα (Φράγματα, ΠΜΣ Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία, Θ. Μακεδών)	38
Σχήμα 2-22: Περιπτώσεις αστοχίας σε άκαμπτα φράγματα (Gonzales de Vallejo , et al., 2002).....	38
Σχήμα 2-23: Συνθήκες στάθμης ταμιευτήρα σε σχέση με τη στάθμη του υπόγειου νερού και της πιεζομετρικής στάθμης, όπου TWL:ανώτατη στάθμη ταμιευτήρα, P:πίεση υπόγειου νερού, το διάσπικτο τμήμα κατακλύζεται από το νερό του ταμιευτήρα, στο γραμμοσκιασμένο τμήμα η στάθμη του υπόγειου νερού είναι υψηλότερη από τη στάθμη του ταμιευτήρα (Knill, 1972).....	40
Σχήμα 3-1: Γενική εικόνα της σύγχρονης δράσης του ελληνικού τόξου και η σχετική κατά προσέγγιση κίνηση του Αιγαίου ως προς τη σταθερή Ευρασιατική Πλάκα (Peterek & Schwarze, 2004)	43
Σχήμα 3-2: Σχηματική Στρωματογραφική ακολουθία της ευρύτερης περιοχής του έργου (Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας Φύλλο Μέλαμπες, Κλίμακα 1:50.000 (IGME, 1985)).....	44
Σχήμα 3-3: Προτεινόμενη θεωρία για την τεκτονική εξέλιξη του Νότιου Αιγαίου – Κρήτης σε σχέση με την τεκτονική εξέλιξη των Κυκλάδων από το τέλος του Ηωκαίνου έως το Μειόκαινο-Πλειόκαινο, όπου D1-D5 είναι οι τεκτονικές φάσεις Εφελκυσμού και συμπίεσης που έδρασαν στον ελληνικό χώρο (Fassoulas, 1999).	45
Σχήμα 3-4: Σχηματική Τομή στην Κεντρική Κρήτη που δείχνει την Πλειοκαινική – Πλειστοκαινική μετατόπιση του συστήματος εσωτερικών (imbricate) επωθήσεων. (Utu, Ltu: Ανώτερα και Κατώτερα Τεκτονικά καλύμματα – SPTF: Επωθητικό Ρήγμα Νοτίου Ψηλορείτη – PTF: Επωθητικό Ρήγμα Ψηλορείτη)(L. Tortorici, 2010).	47
Σχήμα 3-5: Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας (ΕΑΚ 2000) με την περιοχή του έργου.....	48
Σχήμα 4-1: Θέσεις εκτέλεσης των ερευνητικών δειγματοληπτικών γεωτρήσεων στην περιοχή του φράγματος και των συνοδών του έργων (από την οριζοντιογραφία του φράγματος Πλατύ της Έκθεσης παρουσίασης και αξιολόγησης αποτελεσμάτων των γεωτεχνικών Ερευνών, Φύλλο 2 κλίμακα 1:2000).	50
Σχήμα 5-1: Μορφολογική τομή κατά μήκος της κοίτης του ποταμού όπως προκύπτει από Google Earth 2015.....	53
Σχήμα 5-2 Απόσπασμα του σχετικού γεωλογικού χάρτη της περιοχής σε κλίμακα 1:50.000 (Φύλλο Μέλαμπες του IGME, 1985). Το κόκκινο περίγραμμα αναφέρεται στην περιοχή ενδιαφέροντος.....	54
Σχήμα 5-3: Γεωλογική τομή, τμήμα της οποίας φαίνεται στο γεωλογικό χάρτη (κλίμακα 1:50.000, Φύλλο Μέλαμπες του IGME, 1985).	54
Σχήμα 5-4: Απόσπασμα του υπομνήματος Γεωλογικού χάρτη IGME φύλλο Μέλαμπες (1985).	58
Σχήμα 5-5: Μεταβολή της διαπερατότητας συναρτήσει του βάθους εκατέρωθεν του ποταμού	65
Σχήμα 5-6: Διακύμανση της διαπερατότητας συναρτήσει του βάθους στο δεξί αντέρεισμα ...	65
Σχήμα 5-7: Διακύμανση της διαπερατότητας συναρτήσει του βάθους στο αριστερό αντέρεισμα	66
Σχήμα 5-8: Μεταβολή του συντελεστή διαπερατότητας των αλλουβιακών αποθέσεων με αύξηση του βάθους.....	67
Σχήμα 5-9: Ιστόγραμμα τιμών διαπερατότητας των αλλουβιακών αποθέσεων	68
Σχήμα 5-10: Μεταβολή του συντελεστή διαπερατότητας του αποσαθρωμένου μανδύα του φλύσχη με αύξηση του βάθους	69
Σχήμα 5-11: Ιστόγραμμα τιμών διαπερατότητας του αποσαθρωμένου μανδύα του φλύσχη	69
Σχήμα 5-12: Μεταβολή του συντελεστή διαπερατότητας των κορημάτων συναρτήσεις του βάθους	70
Σχήμα 5-13: Στατιστική επεξεργασία των τιμών διαπερατότητας των κορημάτων	70
Σχήμα 5-14: Μεταβολή του συντελεστή διαπερατότητας της ψαμμικής φάσης του φλύσχη με αύξηση του βάθους.	72

Σχήμα 5-15: Στατιστική επεξεργασία τιμών διαπερατότητας της ψαμμιτικής φάσης του φλύσχη.....	72
Σχήμα 5-16: Μεταβολή του συντελεστή διαπερατότητας του εδαφοποιημένου ιλυολιθικού φλύσχη με το βάθος.....	75
Σχήμα 5-17: Ιστόγραμμα κατανομής τιμών διαπερατότητας εδαφοποιημένου ιλυολιθικού φλύσχη.....	76
Σχήμα 5-18: Μεταβολή του συντελεστή διαπερατότητας του ιλυολιθικού φλύσχη με το βάθος.....	76
Σχήμα 5-19: Ιστόγραμμα τιμών διαπερατότητας του ιλυολιθικού φλύσχη.....	77
Σχήμα 5-20: Κατανομή διαπερατότητας στην Υδρογεωλογική Τομή 1, υποπαράλληλα του άξονα του φράγματος.....	78
Σχήμα 5-21: Κατανομή διαπερατότητας στη Υδρογεωλογική Τομή 2, κατά μήκος του αριστερού αντερείσματος.....	79
Σχήμα 5-22: Κατανομή της διαπερατότητας στη Υδρογεωλογική Τομή 3 κατά μήκος του άξονα του φράγματος.....	80
Σχήμα 6-1: Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας του α) ορίου υδαρότητας και β) δείκτη πλαστικότητας στις αλλουβιακές αποθέσεις.....	87
Σχήμα 6-2: Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας της φυσικής υγρασίας στις αλλουβιακές αποθέσεις.....	87
Σχήμα 6-3: Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας του α) ορίου υδαρότητας και β) δείκτη πλαστικότητας στις κολουβιακές αποθέσεις.....	90
Σχήμα 6-4: Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας της φυσικής υγρασίας στις κολουβιακές αποθέσεις.....	90
Σχήμα 6-5: Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας του α) ορίου υδαρότητας και β) δείκτη πλαστικότητας στον αποσαθρωμένο μανδύα του φλύσχη.....	93
Σχήμα 6-6: Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας της φυσικής υγρασίας στον αποσαθρωμένο μανδύα του φλύσχη.....	93
Σχήμα 6-7: Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας του δείκτη RQD στο ψαμμιτικό φλύσχη.....	94
Σχήμα 6-8: : Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη στο ψαμμιτικό φλύσχη.....	95
Σχήμα 6-9: Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας του δείκτη αντοχής σε σημειακή φόρτιση στο ψαμμιτικό φλύσχη.....	95
Σχήμα 6-10: Ιστόγράμματα κατανομής α) ορίου υδαρότητας στον εδαφοποιημένο ιλυόλιθο και β) δείκτη πλαστικότητας στον εδαφοποιημένο ιλυολιθικό φλύσχη.....	97
Σχήμα 6-11: Διαγράμμα κατανομής φυσικής υγρασίας στον εδαφοποιημένο ιλυολιθικό φλύσχη.....	97
Σχήμα 6-12: Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας του δείκτη RQD στον εδαφοποιημένο ιλυολιθικό φλύσχη.....	100
Σχήμα 6-13: Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας των τιμών αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη στον εδαφοποιημένο ιλυολιθικό φλύσχη.....	100
Σχήμα 6-14: Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας του δείκτη RQD στον ιλυολιθικό φλύσχη.....	101
Σχήμα 6-15: Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη στον ιλυολιθικό φλύσχη.....	102
Σχήμα 6-16: Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας του δείκτη αντοχής σημειακής φόρτισης στον ιλυολιθικό φλύσχη.....	102
Σχήμα 6-17: Διαγράμμα κατανομής του δείκτη RQD στον ασβεστόλιθο.....	103
Σχήμα 6-18: Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας του δείκτη αντοχής σε σημειακή φόρτιση στον ασβεστόλιθο.....	103
Σχήμα 6-19: Γεωλογική τομή 1 υποπαράλληλα του άξονα του φράγματος.....	104
Σχήμα 6-20: Γεωλογική τομή 2 παράλληλα στο αριστερό αντέρεισμα του φράγματος.....	105
Σχήμα 6-21: Γεωλογική τομή 3 παράλληλα στον άξονα του φράγματος.....	106
Σχήμα 6-22: Πίνακας τιμών της σταθεράς n_i ανά κατηγορία πετρώματος.....	113
Σχήμα 6-23: Εκτυπήματα λογισμικού Rockdata για την Τεχνικογεωλογική Ενότητα TE.2A116	
Σχήμα 6-24: Εκτυπήματα λογισμικού Rockdata για την Τεχνικογεωλογική Ενότητα TE.2B117	

Σχήμα 6-25: Εκτυπήματα λογισμικού Rockdata για την Τεχνικογεωλογική Ενότητα ΤΕ.3	119
Σχήμα 6-26: Εκτυπήματα λογισμικού Rockdata για την Τεχνικογεωλογική Ενότητα ΤΕ.4Α	123
Σχήμα 6-27: Εκτυπήματα λογισμικού Rockdata για την Τεχνικογεωλογική Ενότητα ΤΕ.4Β	124
Σχήμα 6-28: Διάγραμμα ταξινόμησης GSI με προβολή των τιμών για κάθε Τεχνικογεωλογική Ενότητα	125
Σχήμα 6-29: Διαγράμματα μετατοπίσεων του Α-Α' και Β-Β' άξονα στο κλισιόμετρο της γεώτρησης Γ8.	127
Σχήμα 6-30: Διαγράμματα μετατοπίσεων του Α-Α' και Β-Β' άξονα του κλισιομέτρου της γεώτρησης Γ9	128
Σχήμα 6-31: Τεχνικογεωλογική τομή 1, υποπαράλληλα του άξονα του φράγματος	135
Σχήμα 6-32: Τεχνικογεωλογική τομή 2, κατά μήκος του αριστερού αντερείσματος του φράγματος	138
Σχήμα 6-33: Τεχνικογεωλογική τομή 3, παράλληλα στον άξονα του φράγματος	145
Σχήμα 7-1: Σχηματική απεικόνιση της θεμελίωσης του φράγματος σε διατομή, πάνω σε στρώμα «τεχνητού» αμμοχάλικου ποταμού και η κατασκευή διαφραγματικού τοίχου τσιμεντομπεντονίτη	151
Σχήμα 7-2: Άποψη του διαφραγματικού τοίχου τσιμεντομπεντονίτη κατά μήκος του άξονα του φράγματος	152

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

Φωτ. 1-1: Γενική εικόνα της περιοχής του έργου (Google Earth)	11
Φωτ. 2-1: Oroville California, χωμάτινο φράγμα (αριστερά), Φωτ. 2-2: Φράγμα λιθόρριπτο με ανάντη πλάκα από σκυρόδεμα (από κατάντη) Μεσοχώρας, Τρίκαλα (δεξιά)	12
Φωτ. 2-3: Φράγμα σκυροδέματος RCC Πλατανόβρυσης Δράμας (αριστερά), Φωτ. 2-4: Τοξωτό φράγμα Hoover, Nevada (δεξιά)	13
Φωτ. 2-5: Αστοχία ομογενούς φράγματος Τριαδίου, με απουσία στραγγιστικού στοιχείου λόγω εσωτερικής διάβρωσης στην κατάντη παρειά ενώ στην ανάντη παρειά του συνέβη ολίσθηση λόγω της γρήγορης πτώσης της στάθμης του ταμιευτήρα μετά την διαφυγή του νερού	16
Φωτ. 2-6: Φράγμα σκληρού επιχώματος στα Φιλιατρά, Ν. Μεσσηνίας (Ν. Μουτάφης, 2012) (δεξιά)	18
Φωτ. 2-7: Το φράγμα Ταυρωπού σε όψη από κατάντη (δεξιά) (ΕΕΜΦ, 2013)	19
Φωτ. 2-8: Χωμάτινο φράγμα Καστρακίου, Ν. Αιτωλοακαρνανίας και συνοδά έργα φράγματος (Google Earth)	21
Φωτ. 2-9: Η είσοδος και η έξοδος της σήραγγας εκτροπής που μετά την κατασκευή χρησιμοποιείται ως εκκενωτής πυθμένα στο φράγμα Ιλαρίωνα (Ευστρατιάδης, et al., 2014/15)	22
Φωτ. 2-10: Εκχειλιστής με θυροφράγματα στο χωμάτινο φράγμα Στρατου (αριστερά) Φωτ. 2-11: Μετωπικός εκχειλιστής ελεύθερης ροής σε φράγμα βαρύτητας στο Ιράκ (δεξιά) (Panoramio, Google Earth)	23
Φωτ. 2-12: Εγκατάσταση μεταλλικής κατασκευής αγωγού προσαγωγής στο υδροηλεκτρικό φράγμα του ποταμού Αώου (Λιάκουρης, 1995)	23
Φωτ. 2-13: Γενική άποψη του έργου στο φράγμα Στράτου στο Ν. Αιτωλοακαρνανίας (Λιάκουρης, 1995)	24
Φωτ. 2-14: Καταστροφή του εκχειλιστή από υπερπήδηση νερού του ταμιευτήρα σε παράπλευρο του εκχειλιστή σημείο, το οποίο προοριζόταν για δεύτερος εκχειλιστής έκτακτης ανάγκης στο Oroville dam (www.SFGATE.com 2/3/17)	33



Φωτ. 2-15: Τοξωτό Φράγμα Malpasset, όψη από κατάντη πριν και μετά την αστοχία του (Duffault, 2013).....	34
Φωτ. 5-1: Ψαμμίτης σπασμένος με τοπικά ανοιχτές ρωγμές.....	56
Φωτ. 5-2: Ιλυόλιθος πτυχωμένος και παραμορφωμένος.....	56
Φωτ. 5-3: Εμφάνιση ασβεστόλιθου της ενότητας Άρβης ως τεκτονικό κάλυμμα (klippen) στην ευρύτερη δεξιά πλευρά του ποταμού.	56
Φωτ. 6-1: Πυρηνοληψία στον ψαμμιτικό φλύσχη στη γεώτρηση Γ9, στο αριστερό αντέρεισμα	114
Φωτ. 6-2: Πυρηνοληψία ψαμμίτη στη γεώτρηση Γ14 στο αριστερό πρανές.....	115
Φωτ. 6-3: Πυρηνοληψία εδαφοποιημένου ιλυόλιθου στη γεώτρηση Γ11 στο αριστερό αντέρεισμα	118
Φωτ. 6-4: Πυρηνοληψία ιλυολιθικού φλύσχη α) στη γεώτρηση Γ10 και β) στη γεώτρηση Γ13 στο αριστερό αντέρεισμα	121
Φωτ. 6-5: Πυρηνοληψία ιλυολιθικού φλύσχη α) με μορφή συμπαγούς βράχου στη γεώτρηση Γ9 και β) με τη μορφή καλά συγκολλημένου ιλυολιθικού λατυποπαγούς στη γεώτρηση Γ12 στο αριστερό αντέρεισμα	122

1.1 Σκοπός - αντικείμενο

Το αντικείμενο της παρούσας διατριβής ειδίκευσης είναι η ενδελεχής εξέταση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών και η εκπόνηση τεχνικογεωλογικών αξιολογήσεων και θεωρήσεων που αφορούν στο έργο του φράγματος του ποταμού Πλατέος στον Νομό Ρεθύμνου της Περιφέρειας Κρήτης. Η υδρολογική λεκάνη Πλατύ έχει έκταση **210 km³** ενώ ο μέσος ετήσιος όγκος υδάτων επιφανειακής απορροής ανέρχεται στα **50x10⁶ m³**. Ο ταμιευτήρας του ποταμού Πλατύ, χωρητικότητας **26x10⁶ m³**, εντάσσεται στο πολλαπλής χρησιμότητας έργο, το οποίο επίσης περιλαμβάνει τον ταμιευτήρα Γερακαρίου, αρδευτικά δίκτυα που θα καλύπτουν όλη την έκταση της υδρολογικής λεκάνης του Πλατύ, ήτοι 45.000 στρέμματα, καθώς και τον αγωγό μεταφοράς (περίπου 18km) πλεονάζοντος νερού στο φράγμα Φανερωμένης στη Μεσσαρά. Σκοπός του έργου είναι η κάλυψη των αρδευτικών αναγκών σημαντικών εκτάσεων εντός των ορίων της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Πλατύ και δευτερευόντως η ενίσχυση του ελλειματικού υδατικού ισοζυγίου της πεδιάδας της Μεσσαράς με την πλήρωση του ταμιευτήρα της Φανερωμένης.

1.2 Συνοπτική περιγραφή του έργου του φράγματος

Σύμφωνα με τις προβλέψεις των Εθνικών Υπηρεσιών που είναι επιφορτισμένες με την υλοποίηση του έργου του φράγματος δίνονται παρακάτω ορισμένα στοιχεία για το έργο του φράγματος και τα συνοδά του έργα.

Στέψη φράγματος – Υψόμετρο	+295,00 m
Στέψη φράγματος – Πλάτος	10,00 m
Στέψη φράγματος – Μήκος	350,00 m
Στέψη προφράγματος	266,00 m
Μέγιστο ύψος φράγματος	55,00 m
Κλίσεις πρανών – ανάντη	1:3,5
Κλίσεις πρανών – κατόντη	1:2,5
Συνολικός όγκος φράγματος	2.300.000 m ³
Ανώτατη στάθμη πλημμύρας (ΑΣΠ)	+292,00 m
Ανώτατη στάθμη λειτουργίας (ΑΣΛ)	+289,00 m
Συνολικός όγκος ταμιευτήρα στην ΑΣΠ	26,2 hm ³
Συνολικός όγκος ταμιευτήρα στην ΑΣΛ	21,3 hm ³
Ωφέλιμος όγκος ταμιευτήρα	17,5 hm ³
Έκταση ταμιευτήρα στην ΑΣΠ	1760 στρέμματα
Έκταση ταμιευτήρα στην ΑΣΛ	1580 στρέμματα

Πίνακας 1: Γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά του φράγματος και του ταμιευτήρα του Πλατύ

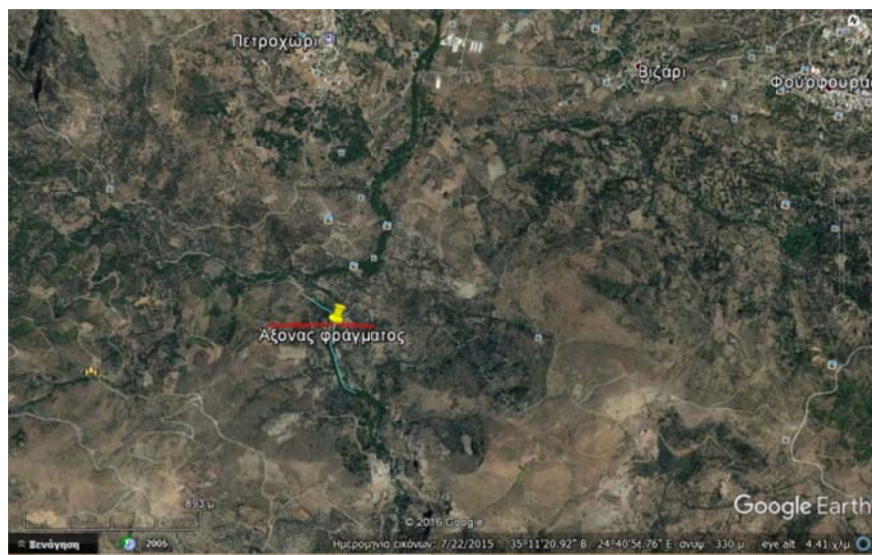
Το σώμα του φράγματος προβλέπεται να είναι χωμάτινου τύπου (επιχώματος) και η θεμελίωσή του (μετά την προβλεπόμενη αφαίρεση των χαλαρών επιφανειακών αλλουβιακών αποθέσεων της κοίτης), θα γίνει σε υψόμετρο περίπου 241 m. Στον **Πίνακα 1** δίνονται τα γεωμετρικά και τεχνικά χαρακτηριστικά του φράγματος και του ταμιευτήρα.

Στο δεξί αντέρεισμα της θέσης του φράγματος προβλέπεται να κατασκευαστεί το έργο εκτροπής του ποταμού προβλεπόμενης παροχής **340m³/s**, δηλαδή της διάταξης που θα παροχετεύει τα νερά του ποταμού καθόλη την διάρκεια της κατασκευής του επιχώματος του φράγματος. Το έργο αυτού καθ' αυτού της εκτροπής του ποταμού αποτελείται από, (α) την διώρυγα και το στόμιο εισόδου, (β) την σήραγγα εκτροπής μήκους περίπου 460m και (γ) το στόμιο εξόδου και η διώρυγα απαγωγής της εκτροπής. Μαζί με το έργο εκτροπής προβλέπεται να κατασκευαστεί και το έργο υδροληψίας και εκκενωτή πυθμένα που θα αποτελείται από το έργο υδροληψίας, τον αγωγό υδροληψία, τον θάλαμο δικλείδων και τον αγωγό – εκκενωτή πυθμένα.

Στο αριστερό αντέρεισμα της θέσης του φράγματος και σε άμεση επαφή με το επίχωμα του χωμάτινου φράγματος, προβλέπεται να κατασκευαστεί το έργο του υπερχειλιστή του φράγματος, δηλαδή το έργο που θα παροχετεύει τα νερά των πλημμυρών της λεκάνης καθόλη την διάρκεια της λειτουργίας του φράγματος. Το έργο της υπερχειλίσης σχεδιάζεται για την εκτιμώμενη μέγιστη παροχή πλημμύρας (MPF) **970 m³/s**, η οποία αποτελείται από, (α) το έργο εισόδου του εκχειλιστή, (β) το τεχνικό του εκχειλιστή προβλεπόμενου πλάτους μετώπου, **50m**, (γ) την διώρυγα απαγωγής του εκχειλιστή ήπιας κλίσης και μήκους **70m** και (δ) το έργο καταστροφής ενέργειας στο τέλος του εκχειλιστή.

Τέλος, προβλέπεται στα κατάντη του φράγματος να κατασκευαστούν, στοά αποστραγγίσεως στο αριστερό αντέρεισμα με το στόμιο εισόδου σε απόλυτο υψόμετρο περίπου 270m και στοά τσιμεντενέσεων-αποστραγγίσεων στο δεξί αντέρεισμα του φράγματος με το στόμιο εισόδου της να βρίσκεται σε απόλυτο υψόμετρο περίπου 274m.

Στην **φωτογραφία 1-1** παρακάτω, υπάρχει γενική δορυφορική εικόνα της ευρύτερης περιοχής του έργου που λήφθηκε από το Google Earth.



Φωτ. 1-1: Γενική εικόνα της περιοχής του έργου (Google Earth).

2 ΦΡΑΓΜΑΤΑ

2.1 Τύποι φραγμάτων

Τα φράγματα ανάλογα με τη χρήση τους χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- Φράγματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας,
- Αρδευτικά φράγματα,
- Υδρευτικά φράγματα,
- Αντιπλημμυρικά φράγματα,
- Ανασχετικά φράγματα,
- Φράγματα πολλαπλής σκοπιμότητας.

Σύμφωνα με τον ορισμό της Διεθνούς Επιτροπής Μεγάλων Φραγμάτων (ICOLD), μεγάλα χαρακτηρίζονται τα φράγματα με ύψος άνω των 15m από το βαθύτερο σημείο της θεμελίωσης, ή με χωρητικότητα ταμιευτήρα άνω των $3 \times 10^6 \text{m}^3$, εφόσον έχουν ύψος μεγαλύτερο των 5m.

Ανάλογα με το υλικό κατασκευής, τη γεωμετρία τους και την μηχανική συμπεριφορά τους, τα φράγματα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

1. Εύκαμπτα
 - Χωμάτινα
 - Λιθόρριπτα
2. Άκαμπτα (κατασκευάζονται από σκυρόδεμα, ή από υλικά τσιμέντου) τα οποία σύμφωνα με τον τρόπο κατασκευής τους, υποδιαιρούνται σε:
 - Φράγματα βαρύτητας από συμβατικά συμπαγούμενο σκυρόδεμα (CVC),
 - Φράγματα βαρύτητας από κυλινδρούμενο σκυρόδεμα (RCC),
 - Τοξωτά φράγματα (διατομή τόξου) από οπλισμένο σκυρόδεμα,
 - Αντιρρηδωτά φράγματα από σκυρόδεμα,
 - Αξονοσυμμετρικά φράγματα σκληρού επιχώματος (ΑΚΣΕ)
3. Σύνθετα φράγματα, τα οποία προκύπτουν από συνδυασμό των ανωτέρω.



2-1



2-2

Φωτ. 2-1: Oroville California, χωμάτινο φράγμα (αριστερά), Φωτ. 2-2: Φράγμα λιθόρριπτο με ανάντη πλάκα από σκυρόδεμα (από κατάντη) Μεσοχώρας, Τρίκαλα (δεξιά)



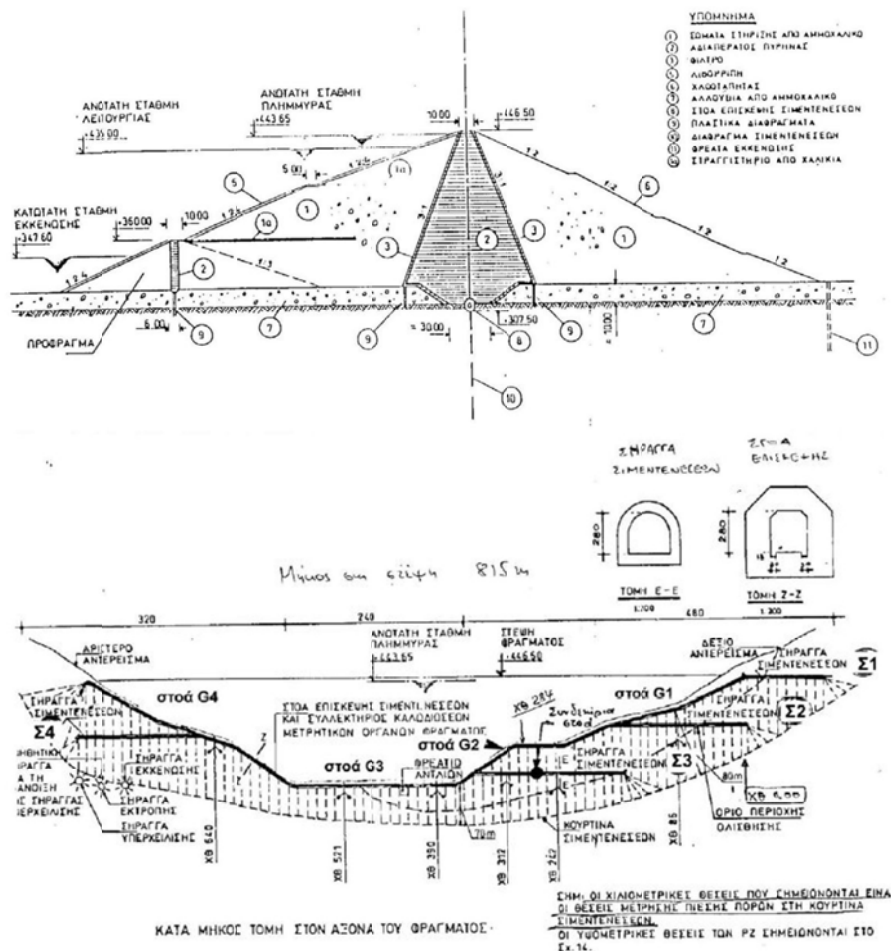
Φωτ. 2-3: Φράγμα σκυροδέματος RCC Πλατανόβρυσης Δράμας (αριστερά), Φωτ. 2-4: Τοξωτό φράγμα Hoover, Nevada (δεξιά)

Ο τύπος του φράγματος που επιλέγεται κάθε φορά, εξαρτάται από τη γεωλογία, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κοιλάδας της θέσης του φράγματος και την διαθεσιμότητα σε μικρή απόσταση των υλικών κατασκευής του φράγματος. Πιο αναλυτικά :

2.1.1 Γεωφράγματα

Βασικό κριτήριο επιλογής για τα γεωφράγματα αποτελεί η διαθεσιμότητα σε γεωυλικά κατασκευής των, στην ευρύτερη περιοχή του έργου, ή που μπορεί να προέλθουν από εκσκαφές στη θέση του φράγματος και των συνοδών του έργων. Έχουν δομή και γεωμετρία επιχώματος και συγκριτικά μεγάλο όγκο κατασκευής. Συνήθως έχουν ζωνώδη δομή (διαζώνιση αποτελούμενη από:

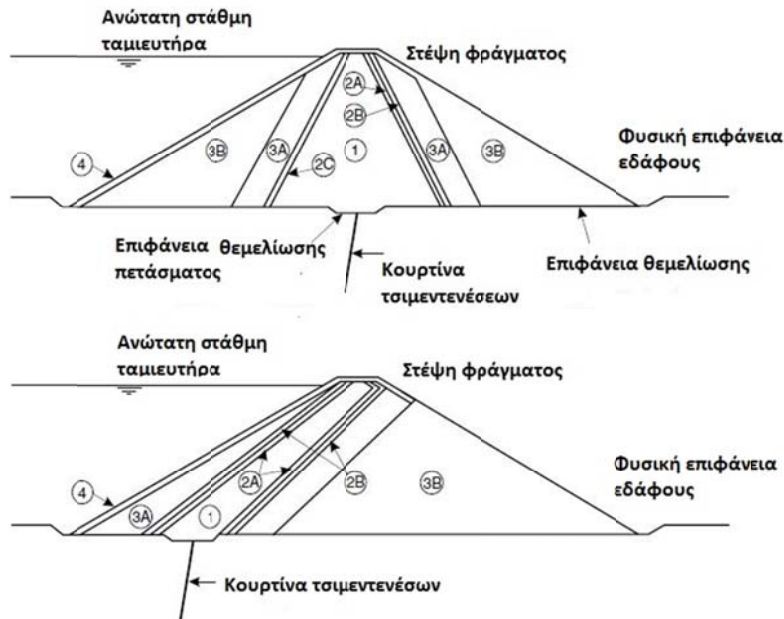
- Τον αδιαπέρατο πυρήνα συνήθως αργιλικού χαρακτήρα, για να εμποδίζεται η ροή νερού από τον ταμιευτήρα προς κατάντη, μέσω του σώματος του φράγματος. Μπορεί να είναι κατακόρυφος, ή κεκλιμένος και να στηρίζεται εκατέρωθεν από τα σώματα στήριξης του φράγματος. Ο κεκλιμένος πυρήνας βοηθάει στη ταχύτερη κατασκευή του φράγματος λόγω της ευχέρειας κατασκευής του κατάντη σώματος στήριξης πριν από τον πυρήνα, αλλά γενικά δεν προτιμάται γιατί είναι περισσότερο ασταθής σε περίπτωση σεισμού. Επίσης η κλίση του πυρήνα προς ανάντη ευνοεί τη δημιουργία κύκλου ολίσθησης στον αργιλικό πυρήνα σε περίπτωση ταχείας πτώσης στη στάθμη του ταμιευτήρα.
- Τα φίλτρα, εκατέρωθεν των πλευρών του πυρήνα για να προστατεύουν τα αργιλικά σωματίδια από έκπλυση και εσωτερική διάβρωση από το διηθούμενο νερό του φράγματος και να εμποδίζει την ανάπτυξη πιέσεων πόρων στα σώματα στήριξης του φράγματος και ουσιαστικά στο κατάντη σώμα που είναι σημαντικό για την ευστάθεια του φράγματος.
- Τα σώματα στήριξης του φράγματος, τα οποία συγκρατούν τον πυρήνα και προσδίδουν ευστάθεια στο φράγμα.



Σχήμα 2-1: Διατομή και μηκοτομή υδρευτικού γεωφράγματος Μόρνου, στο Ν. Φωκίδας (Καβαδάς, 2006)

Η διαπερατότητα των ζωνών μειώνεται από τα σώματα στήριξης προς τον αδιαπέρατο πυρήνα, ενώ ο αριθμός των ζωνών εξαρτάται από το είδος, τεχνικά χαρακτηριστικά και τη διαθέσιμη ποσότητα υλικών κατασκευής στην περιοχή του έργου. Στην ανάντη και αρκετές φορές κατάντη παρειά του γεωφράγματος συχνά χρησιμοποιείται λιθορριπή (rip-rap) για την προστασία του φράγματος από τη δράση κυμάτων και τη διάβρωση από το νερό της βροχής αντίστοιχα. Για τον έλεγχο της υπόγειας διήθησης νερού κάτω από το σώμα και «στα ανοικτά» του φράγματος, προβλέπονται συνήθως, η τοποθέτηση στεγανού πετάσματος (κουρτίνα τσιμεντενέσεων, η πέταση από τσιμεντο-μπετονίτη κατά μήκος του άξονα του φράγματος). Για τον έλεγχο των υδραυλικών τάσεων και της πίεσης πόρων προβλέπονται συνήθως, στραγγιστήρια στρώματος, στην κατάντη παρειά του φράγματος κάτω από το κατάντη σώμα στήριξης, πηγάδια εκτόνωσης υδραυλικών πιέσεων (relief wells) κ.α. Ειδικότερα, στην ζώνη έδρασης του αργιλικού πυρήνα κατασκευάζεται αδιαπέρατο πέτασμα (τσιμεντέσεις επαφής) αμέσως κουρτίνα τσιμεντενέσεων, ή πέτασμα-διαφραγματικό τοίχο από τσιμεντο-μπετονίτη) σε κάποιο μικρό γενικά, βάθος, ώστε να εξασφαλίζεται η περιοχή που βρίσκεται κάτω από την θεμελίωση του αδιαπέρατου πυρήνα από τη ροή του διηθούμενου υπογείου νερού. Αν στη περιοχή κατασκευής του έργου δεν υπάρχουν γεω-υλικά κατάλληλα και σε επαρκή ποσότητα για την κατασκευή των ζωνών του φράγματος και

το ύψος του είναι μικρό, μπορεί να κατασκευαστούν ομοιογενή φράγμα από σχετικά αδιαπέρατο εδαφικό υλικό με απαραίτητη όμως την πρόβλεψη για εσωτερικό, ή κατάντη οριζόντιο στραγγιστήριο, ή στραγγιστήριο ποδός. Τα ομοιογενή φράγματα χωρίς στοιχείο αποστράγγισης δεν χρησιμοποιούνται πλέον λόγω της επιδεκτικότητάς τους σε εσωτερική διάβρωση.



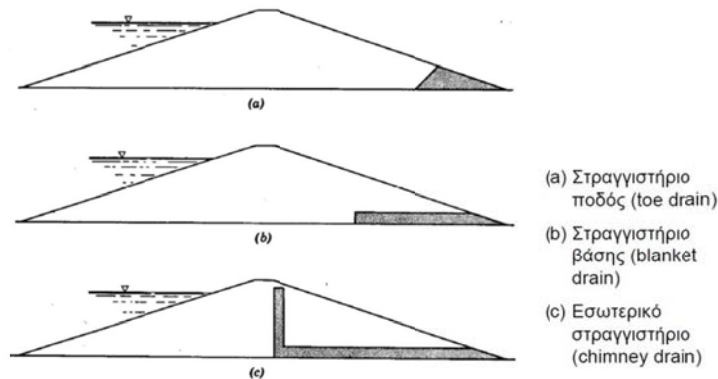
Σχήμα 2-2: Τυπική διατομή ζωνώδους γεωφράγματος

1:Αδιαπέρατος πυρήνας
2A:Λεπτόκοκκο φίλτρο
2B:Αδρόκοκκο φίλτρο
3:Σώματα στήριξης του φράγματος ή σε περίπτωση λιθορριπτου φράγματος 3A:Λιθορριπή

3B:Λιθορριπή αδρόκοκου υλικού

4:Λιθορριπή κατάλληλη για προστασία της ανάντη παρειάς του φράγματος

Τροποποιημένο από Fell R. et al 2005)

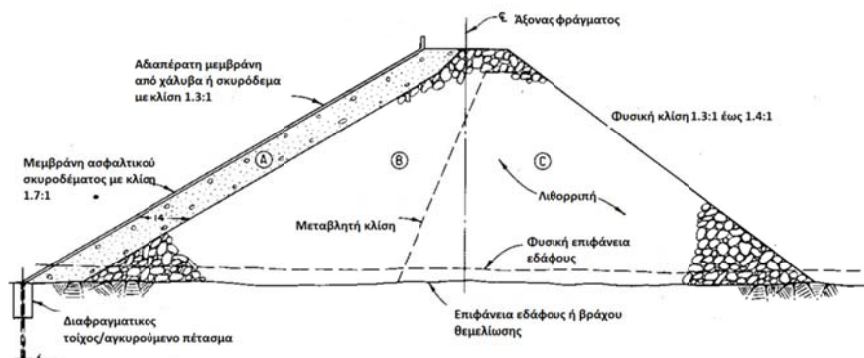


Σχήμα 2-3: Τυπική διατομή ομογενούς φράγματος με τρεις διαφορετικούς τύπους στραγγίσις (Καββαδάς, 2006)



Φωτ. 2-5: Αστοχία ομογενούς φράγματος Τριαδίου, με απουσία στραγγιστικού στοιχείου λόγω εσωτερικής διάβρωσης στην κατόντη παρειά ενώ στην ανάντη παρειά του συνέβη ολίσθηση λόγω της γρήγορης πτώσης της στάθμης του ταμιευτήρα μετά την διαφυγή του νερού.

Στα λιθόρριπτα φράγματα τα σώματα στήριξης αποτελούνται από βραχώδη προϊόντα εκσκαφής λατομείου, ή εκσκαφών βράχου από τα αντερείσματα της κοιλάδας, ενώ ο αδιαπέρατος πυρήνας κατασκευάζεται από μικρής διαπερατότητας γεω-υλικά κυρίως αργιλικού χαρακτήρα. Αν στην ευρύτερη περιοχή του έργου δεν υπάρχουν υλικά για την κατασκευή του στεγανού πυρήνα, τότε στην ανάντη πλευρά του λιθόρριπτου φράγματος, σαν στεγανό στοιχείο, τοποθετείται πλάκα από σκυρόδεμα, ή ασφαλική στρώση όπως δείχνεται στο **Σχήμα 2-4** (Λιθόρριπτα φράγματα με ανάντη πλάκα από σκυρόδεμα, ή ανάντη ασφαλικό στρώμα ΛΑΠΣ). Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί και η περίπτωση λιθόρριπτου φράγματος με κατασκευή εσωτερικού πυρήνα από παρακατακόρυφο ασφαλικό στρώμα (λιθόρριπτο φράγμα με ασφαλικό πυρήνα).



Σχήμα 2-4: Χαρακτηριστική διατομή φράγματος ΛΑΠΣ όπου Α:καλώς διαβαθμισμένο, συμπυκνωμένο βραχώδες υλικό για την υποστήριξη της ανάντη αδιαπέρατης μεμβράνης Β:μικρότερου μεγέθους λατομικό βραχώδες υλικό, συμπυκνωμένο, για την μείωση της καθίζησης της μεμβράνης και Γ:βέλτιστης ποιότητας υψηλής αντοχής βραχώδες υλικό που παρέχει ευστάθεια στο φράγμα. (Τροποποιημένο από (Καβαδάς, 2006))

Τα γεωφράγματα συνοδεύονται από την κατασκευή ξεχωριστού υπερχειλιστή που βρίσκεται σε ένα από τα δύο πρανή της κοιλάδας, πολλές φορές και πολύ μακριά από το σώμα του φράγματος, το οποίο λόγω του πρόσθετου κόστους του, αποτελεί και το κυριότερο

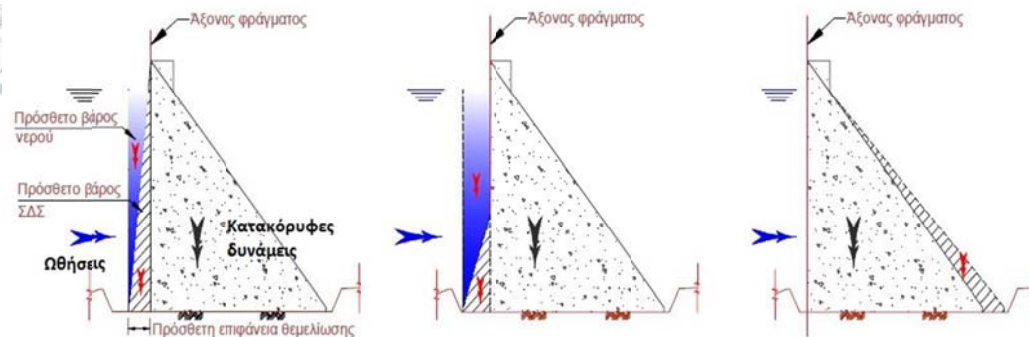
μειονέκτημα των γεωφραγμάτων, σε συνδυασμό με τον σχετικά μεγάλο χρόνο κατασκευής των. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα τους είναι ότι, λόγω της μεγάλης επιφάνειας θεμελίωσης και της ημιπλαστικής συμπεριφοράς του, ασκεί μικρότερες τάσεις στο έδαφος θεμελίωσης και είναι επιδεκτικό σε κάποιο ελεγχόμενο βαθμό σε εδαφικές παραμορφώσεις (καθιζήσεις). Έτσι τα γεωφράγματα προτιμώνται σε θέσεις φραγμάτων με έδαφος θεμελίωσης πτωχής μηχανικής συμπεριφοράς, σε περιοχές μεγάλης σεισμικότητας και στις περιπτώσεις που υπάρχει επαρκής διαθεσιμότητα των υλικών κατασκευής του, στην ευρύτερη περιοχή του έργου.

2.1.2 Άκαμπτα φράγματα

Τα άκαμπτα φράγματα έχουν μικρότερη επιφάνεια θεμελίωσης, αλλά μεγαλύτερο βάρος και απαιτούν θεμελίωση σε βράχο ικανοποιητικής αντοχής και κυρίως μικρής παραμορφωσιμότητας με όσο το δυνατό λιγότερες δομικές ατέλειες (ρήγματα, ασυνέχειες, διακλάσεις κ.α) οι οποίες εν δυνάμει αυξάνουν την παραμορφωσιμότητα της βραχομάζας. Γι αυτό κατασκευάζονται σε υγιή (μη αποσαθρωμένη) βραχομάζα καλής ποιότητας και μηχανικής συμπεριφοράς, η οποία βρίσκεται σε μικρό βάθος από την επιφάνεια του εδάφους. Το κόστος κατασκευής τους είναι γενικά μεγαλύτερο σε σχέση με τα γεωφράγματα και η κατασκευή τους είναι οικονομική μόνο σε στενές κοιλάδες (λόγω του μικρότερου απαιτούμενου όγκου σκυροδέματος). Εξαιρούνται τα φράγματα σκληρού επιχώματος που μπορούν να κατασκευαστούν και σε περιοχές με όχι και τόσο ποιοτικά καλή βραχομάζα.

α. Τα **φράγματα βαρύτητας** αποτελούν μία αδιαπέρατη, άκαμπτη μονολιθική κατασκευή με τραπεζοειδή διατομή και ευθύ, ή καμπυλωτό άξονα σε οριζοντιογραφία. Με το ίδιο βάρος τους και την αντοχή τους, αντιστέκονται, αφενός σε ανατροπή και ολίσθηση λόγω των ωστικών δυνάμεων του νερού του ταμιευτήρα και των σεισμικών φορτίσεων και αφετέρου, σε θραύση σε περίπτωση διαφορικών καθιζήσεων και εφελκυστικών τάσεων. Η ανάντη πλευρά του φράγματος μπορεί να είναι ελαφρά κεκλιμένη, συνεισφέροντας στην ευστάθειά του. Οι υδροστατικές δυνάμεις του νερού του ταμιευτήρα και του βάρους του σώματος του φράγματος, μεταφέρονται στο έδαφος θεμελίωσης. Για την επιτυχή ανάπτυξη φράγματος βαρύτητας, η παραμορφωσιμότητα της θεμελίωσης πρέπει να είναι αρκετά μικρή και να μην ποικίλλει σημαντικά κατά μήκος ανάπτυξης του έργου. Ο υπερχειλιστής τοποθετείται συνήθως στη στέψη του ίδιου σώματος του φράγματος, ή δια μέσου αγωγών μέσα από το ίδιο το σώμα του, με αποτέλεσμα το συνολικά μικρότερο κόστος κατασκευής του έργου. Ο έλεγχος των υπόγειων υδραυλικών πιέσεων γίνεται μέσω υπογείου στεγανού πετάσματος τσιμεντενέσεων και αποστραγγιστικών οπών που αναπτύσσονται μέσα από στοές που βρίσκονται μέσα στο ίδιο το φράγμα, αμέσως κατόπιν του στεγανού πετάσματος.

β. Τα **φράγματα από κυλινδρούμενο σκυρόδεμα** έχουν μικρότερο κόστος από τα φράγματα συμβατικού σκυροδέματος, μικρότερη διάρκεια κατασκευής και καλύτερη συμπεριφορά σε σεισμό. Το κυλινδρούμενο σκυρόδεμα έχει σημαντικά μικρότερη περιεκτικότητα σε τσιμέντο και πρόσμιξη κατάλληλων τσιμεντωδών ουσιών (όπως το παραπροϊόν τέφρα που παράγεται από τα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια). Επίσης η διάστρωση του φράγματος αυτού του τύπου γίνεται όπως με το εδαφικό υλικό, ήτοι με χωματουργικά μηχανήματα.



Σχήμα 2-5: Φράγματα βαρύτητας με την ανάντη παρειά κεκλιμένη ώστε να αυξάνεται η επιφάνεια θεμελίωσης και άρα η ευστάθεια του φράγματος (Μουτάφης, 2012).

γ. Τα **φράγματα βαρύτητας από σκληρό επίχωμα (ΑΚΣΕ)** αποτελούνται από μία μίξη με μικρή περιεκτικότητα σε τσιμέντο (50-70kg/m³), τέφρα (ή άλλων τσιμεντωδών ουσιών) και γεωδών υλικών που υπάρχουν στην περιοχή χωρίς συγκεκριμένες αυστηρές προδιαγραφές. Το υλικό του σκληρού επιχώματος είναι διαπερατό με αποτέλεσμα να γίνεται φυσική αποστράγγιση χωρίς την ανάπτυξη πίεσης πόρων στο σώμα του φράγματος αλλά για την στεγανότητά του είναι απαραίτητη η κατασκευή στεγανού στοιχείου στην ανάντη παρειά του φράγματος που είναι είτε πλάκα από συμβατικό σκυρόδεμα, είτε από πλαστική μεμβράνη. Ασκεί συγκριτικά χαμηλές πιέσεις στη θεμελίωση και δεν απαιτείται υψηλή αντοχή βραχομάζας θεμελίωσης. Έχει μηδενική ευαισθησία σε σεισμό και μπορεί να κατασκευαστεί σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Επίσης λόγω της σύντομης κατασκευής του δεν είναι απαραίτητη η κατασκευή συστημάτων εκτροπής μειώνοντας σημαντικά το κόστος του φράγματος. Ο υπερχειλιστής τοποθετείται στην στέψη του φράγματος όπως στα υπόλοιπα φράγματα βαρύτητας. Τα φράγματα αυτού του τύπου είναι κατάλληλα για ύψη μέχρι περίπου 50-60μ.



Σχήμα 2-6: Τυπική διατομή φράγματος σκληρού επιχώματος (αριστερά),

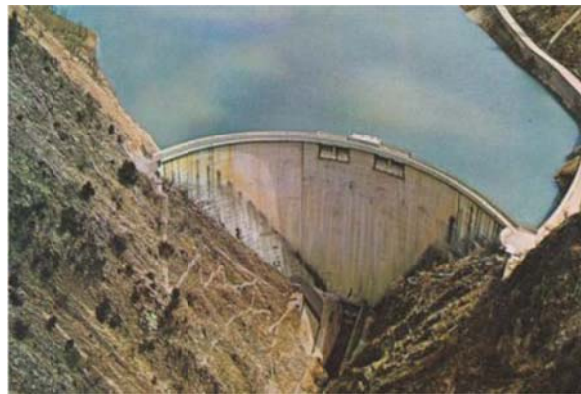
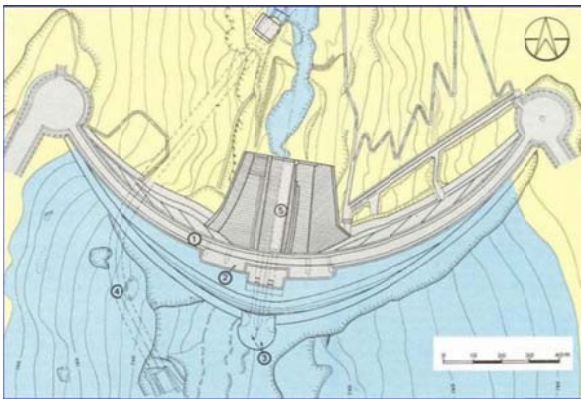
Φωτ. 2-6: Φράγμα σκληρού επιχώματος στα Φιλιατρά, Ν. Μεσσηνίας (Ν. Μουτάφης, 2012) (δεξιά).

δ. Τα **τοξωτά φράγματα** είναι κατάλληλα για στενές κοιλάδες όπου αναπτύσσονται απότομα πρηνή και έχουν μεγάλο ύψος και δομούνται από πολύ καλής ποιότητας βραχομάζα. Αποτελούνται από ένα λεπτό αδιαπέρατο κέλυφος οπλισμένου σκυροδέματος,

εξασφαλίζοντας μικρότερο όγκο σκυροδέματος συγκριτικά με τα φράγματα βαρύτητας. Σε κάτοψη έχει τοξοειδές σχήμα και σε διατομή μπορεί να είναι ευθύγραμμο, ή να σχηματίζει θόλο προς ανάντη (διπλής καμπυλότητας). Γενικά τα τοξωτά φράγματα χαρακτηρίζονται από την ακτίνα καμπυλότητας και την επικεντρική γωνία και διακρίνονται σε:

- Σταθερής ακτίνας καμπυλότητας και σταθερής επικεντρικής γωνίας,
- Μεταβλητής με το βάθος ακτίνας καμπυλότητας και σταθερής επικεντρικής γωνίας,
- Σταθερής ακτίνας καμπυλότητας και μεταβλητής με το βάθος επικεντρικής γωνίας,
- Μεταβλητής με το βάθος, τόσο της ακτίνας καμπυλότητας, όσο και της επικεντρικής γωνίας.

Επίσης διακρίνονται σε μονής, ή διπλής καμπυλότητας. Η επιλογή της γεωμετρίας του φράγματος εξαρτάται από την μορφολογία και τις γεωλογικές συνθήκες της κοιλάδας, καθώς και την οικονομία του έργου. Οι τάσεις που ασκούνται στα τοξωτά φράγματα μεταφέρονται κυρίως στα αντερείσματα ενώ αν είναι διπλής καμπυλότητας μέρος των υδροστατικών δυνάμεων εκτός των αντερεισμάτων μεταφέρονται στο έδαφος θεμελίωσης. Ο προσανατολισμός, το εύρος, η πυκνότητα και η αντοχή και η παραμορφωσιμότητα κατά μήκος των ασυνεχειών της βραχομάζας και το μέτρο ελαστικότητας κυρίως στα αντερείσματα παίζουν σημαντικό ρόλο στην ευστάθεια του φράγματος και πρέπει να ελέγχονται, ώστε να εξασφαλίζεται η μικρότερη δυνατή παραμόρφωση της βραχομάζας και οι μικρότερες δυνατές τάσεις στο τόξο. Λόγω του μικρότερου συνολικού όγκου (οπλισμένου) σκυροδέματος από τα φράγματα βαρύτητας συμβατικού σκυροδέματος, είναι συγκριτικά περισσότερο οικονομικά. Έχουν όμως, μεγάλη ευαισθησία στις εδαφικές παραμορφώσεις της θεμελίωσης και στη επίδραση των σεισμών.

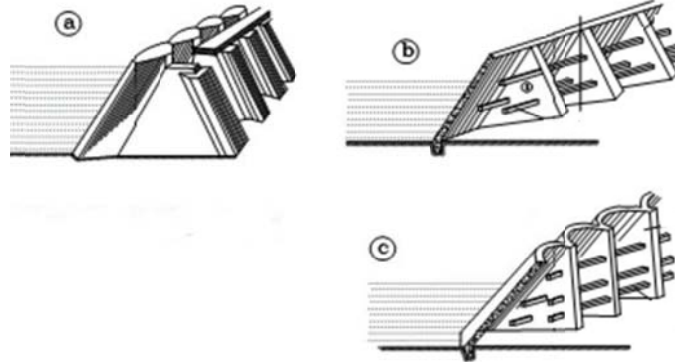


Σχήμα 2-7: Τοξωτό φράγμα Ταυρωπού, παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο νομό Θεσσαλίας σε οριζοντιογραφία όπου 1: Στέψη φράγματος, 2: Υπερχειλιστής, 3: Εκκενωτής φράγματος, 4: Σήραγγα εκτροπής, 5: Κοιτόστρωση σκυροδέματος (αριστερά),

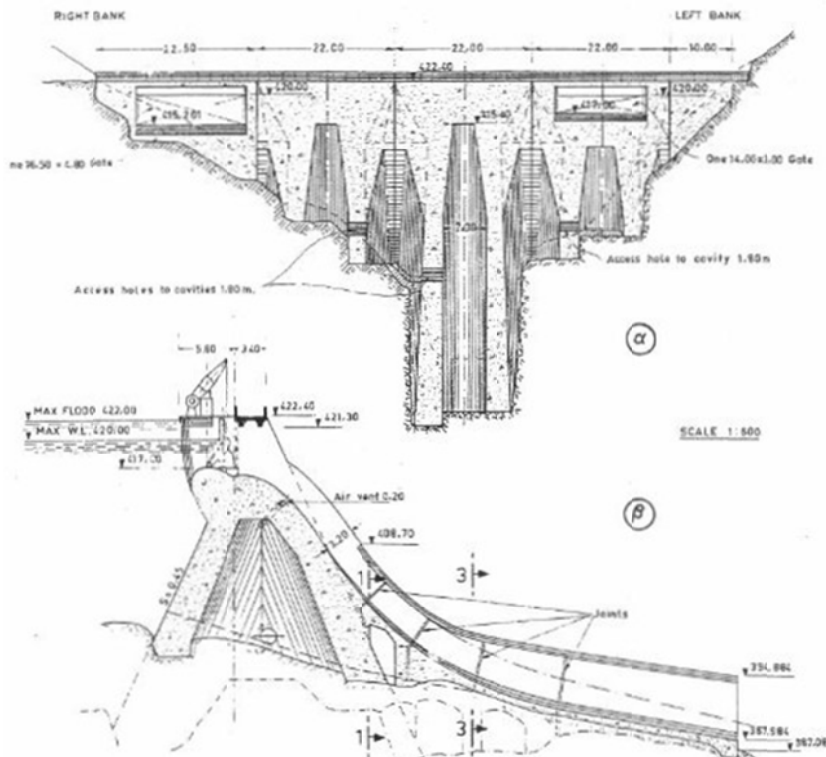
Φωτ. 2-7: Το φράγμα Ταυρωπού σε όψη από κατάντη (δεξιά) (ΕΕΜΦ, 2013)

ε. Τα **αντιρρηδωτά φράγματα** είναι μια ειδική περίπτωση φραγμάτων βαρύτητας. Αποτελούνται από μια σειρά στεγανών κεκλιμένων πλακών (από οπλισμένο συνήθως σκυρόδεμα) στην ανάντη πλευρά του σώματος του φράγματος, οι οποίες υποστηρίζονται από μια σειρά αντιρρήδων από σκυρόδεμα με τραπεζοειδή διατομή. Οι ανάντη πλάκες από σκυρόδεμα μπορεί να έχουν τοξοειδές σχήμα. Το υδροστατικό φορτίο του νερού μεταφέρεται από τη πλάκα σκυροδέματος στις αντιρρήδες και στη συνέχεια στο έδαφος θεμελίωσης. Στα

αντιρρηδωτά φράγματα επιτυγχάνεται σημαντική οικονομία σκυροδέματος σε σχέση με τα φράγματα βαρύτητας από συμβατικό σκυρόδεμα, εφόσον ο όγκος σκυροδέματος είναι μικρότερος. Παρόμοια με τα φράγματα βαρύτητας, τα αντιρρηδωτά φράγματα είναι σχετικά ευαίσθητα σε παραμορφώσεις του εδάφους θεμελίωσης και σεισμούς.



Σχήμα 2-8: Τυπικές διατομές αντιρρηδωτών φραγμάτων (Αnon., n.d.)



Σχήμα 2-9: Όψη από τα κατάντη (α) και γενική τομή του αντιρρηδωτού φράγματος του Λάδωνα και του εκχειλιστή του φράγματος (β) (Λιάκουρης, 1995)

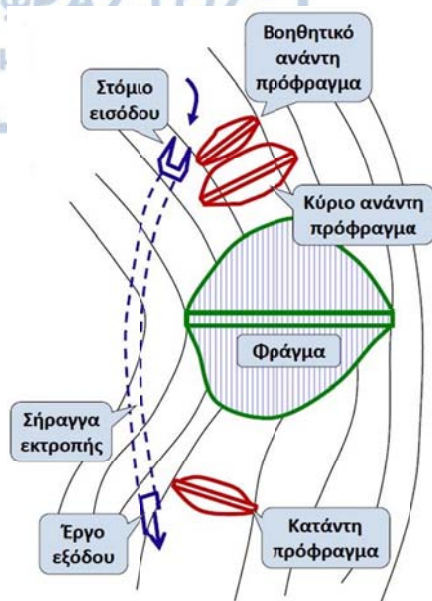
2.2 Συνοδά έργα φράγματος



Φωτ. 2-8: Χωμάτινο φράγμα Καστρακίου, Ν. Αιτωλοακαρνανίας και συνοδά έργα φράγματος (Google Earth)

2.2.1 Έργα εκτροπής ποταμού

Κατά τη διάρκεια της κατασκευής του φράγματος εξασφαλίζεται η διακοπή της ροής του ποταμού και η διοχέτευση της εκτός της περιοχής κατασκευής του σώματος του φράγματος με τα προσωρινά έργα εκτροπής. Σε πολύ στενές κοιλάδες η εκτροπή του ποταμού γίνεται, με υπόγειο αγωγό (σήραγγα) που διέρχεται από τα αντερείσματα, ο οποίος μπορεί αργότερα χρησιμοποιηθεί ως τμήμα του εκχειλιστή ή ως ξεχωριστό έργο εκκενωτή πυθμένα. Σε ευρείες κοιλάδες η διευκόλυνση της ροής προς το έργο εκτροπής γίνεται εντός της κοίτης κυρίως με ανοικτούς ή κλειστούς αγωγούς. Για τον έλεγχο και την καθοδήγηση του νερού, χρησιμοποιούνται βοηθητικά και κύρια προφράγματα, ανάντη και κατόντη της θέσης του φράγματος. Τα προφράγματα αποτελούν επιχώματα – παροδικά φράγματα μικρού ύψους για τα οποία γίνεται ειδική μελέτη για να εξασφαλιστεί η ευστάθεια τους. Στην περίπτωση γεωφραγμάτων τα προφράγματα, και κυρίως το ανάντη μπορούν αργότερα να ενσωματωθούν στη τελική διατομή του φράγματος.



Είσοδος και έξοδος σήραγγας εκτροπής φράγματος Ιλαρίωνα

Σχήμα 2-10: Σχηματική απεικόνιση των έργων εκτροπής ποταμού κατά τη διάρκεια κατασκευής του φράγματος και δεξιά,

Φωτ. 2-9: Η είσοδος και η έξοδος της σήραγγας εκτροπής που μετά την κατασκευή χρησιμοποιείται ως εκκενωτής πυθμένα στο φράγμα Ιλαρίωνα (Ευστρατιάδης, et al., 2014/15)

2.2.2 Υπερχειλιστής, ή εκχειλιστής

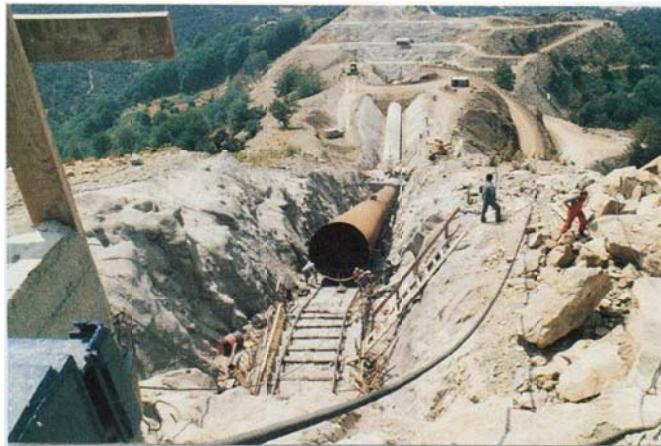
Η κατασκευή που απομακρύνει με ασφάλεια τις ακραίες πλημμυρικές παροχές (για περίοδο επαναφοράς πλημμύρας 1000 έως 60.000 έτη). Σχεδιάζεται με βάση τη μέγιστη εκτιμώμενη παροχή του ποταμού και σύμφωνα με σειρές ιστορικών παρατηρήσεων βροχοπτώσεων στη λεκάνη απορροής που επηρεάζεται από το φράγμα. Ο τύπος, η τοποθεσία και η διάταξη του υπερχειλιστή εξαρτάται από τις τοπογραφικές και τις γεωλογικές – γεωτεχνικές συνθήκες στη περιοχή του έργου. Στα άκαμπτα φράγματα μπορεί να είναι ενσωματωμένος στο φράγμα και η ροή του νερού να γίνεται ελεγχόμενη με θυροφράγματα ή να κατασκευάζεται μετωπικά και η ροή του νερού να γίνεται ελεύθερα πάνω από μια ορισμένη στάθμη. Στα γεωφράγματα κατασκευάζεται ξεχωριστά από το φράγμα, στο αντέρεισμα με τις ευνοϊκότερες γεωλογικές συνθήκες. Τα γεωυλικά από τις εκσκαφές για τη θεμελίωση και την δημιουργία του υπερχειλιστή μπορεί να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή του σώματος του φράγματος. Ο σχεδιασμός του είναι πολύ σημαντικός για την ασφάλεια του έργου. Σε περίπτωση ανεπαρκούς υπερχειλιστή μπορεί να προκληθεί καταστροφή ολόκληρου του έργου. Το έργο του υπερχειλιστή αποτελείται από, το έργο προσαγωγής, το τεχνικό του υπερχειλιστή με ή χωρίς τα θυροφράγματα, τον αγωγό - διώρυγα διαφυγής νερού και τη λεκάνη καταστροφής ενέργειας με στόχο να μειώνεται η ορμή του νερού κατά την κάθοδο του και να αποφεύγεται η διάβρωση του εδάφους στην ευρύτερη περιοχή κατάντη του εκχειλιστή (η δυναμική ενέργεια που έχει το νερό στο ταμειυτήρα, λόγω του ύψους, μετατρέπεται σε κινητική κατά την βίαιη κάθοδο του σε χαμηλότερο υψόμετρο). Για να διασπάται η ορμή του νερού στη λεκάνη ηρεμίας κατασκευάζονται τσιμεντένιες εξάρσεις - ονυχώσεις.



Φωτ. 2-10: Εκχειλιστής με θυροφράγματα στο χωμάτινο φράγμα Στρατου (αριστερά) **Φωτ. 2-11:** Μετωπικός εκχειλιστής ελεύθερης ροής σε φράγμα βαρύτητας στο Ιράκ (δεξιά) (Panoramio, Google Earth)

2.2.3 Έργο υδροληψίας και αγωγός προσαγωγής

Κατασκευάζεται συνήθως κοντά στο σώμα του φράγματος, σε χαμηλότερο υψόμετρο από την ανώτατη στάθμη του ταμιευτήρα και δια μέσου των αγωγών προσαγωγής διοχετεύει το νερό σε διαφορετικά υψόμετρα για χρήση κατάντη του έργου (πχ για τη μεταφορά σε υδροστρόβιλους γεννητριών). Η χωρητικότητά του εξαρτάται από τις ανάγκες νερού για παραγωγή ενέργειας, υδροληψία, ύδρευση, άρδευση κλπ.

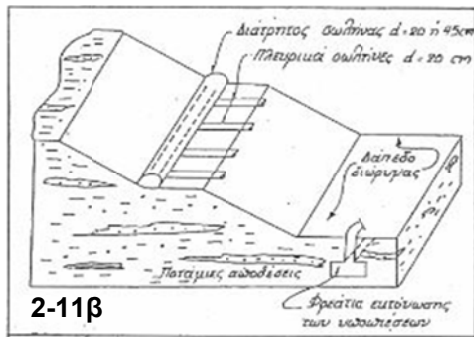
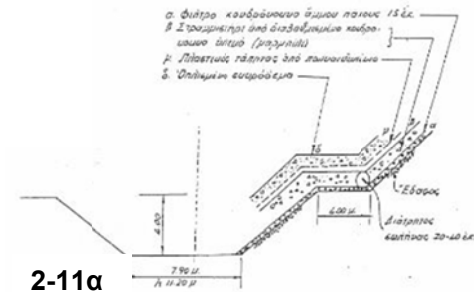


Φωτ. 2-12: Εγκατάσταση μεταλλικής κατασκευής αγωγού προσαγωγής στο υδροηλεκτρικό φράγμα του ποταμού Αώου (Λιάκουρης, 1995)

2.2.4 Διώρυγα ή σήραγγα φυγής

Ο αγωγός, υπόγειος (σήραγγα) ή υπαίθριος που οδηγεί το νερό από την έξοδο των υδροστροβίλων του σταθμού παραγωγής προς τον φυσικό αποδέκτη που μπορεί να είναι η φυσική κοίτη του ποταμού, τεχνητή λίμνη άλλου ταμιευτήρα ή να μεταφέρει το νερό για

ύδρευση ή άρδευση όταν το φράγμα είναι πολλαπλής χρήσης. Στο Σχήμα 2-11 παρακάτω δίνεται σχηματικά το έργο της διώρυγας φυγής του φράγματος στις πηγές Αώου και στην Σχήμα 2-11 δίνεται η εικόνα του έργου μετά την ολοκλήρωσή του.



Σχήμα 2-11: α) διατομή διώρυγας διαφυγής με τις στρώσεις υλικών επένδυσης, β) το αριστερό ήμισυ της εγκάρσιας διατομής της διώρυγας

Φωτ. 2-13: Γενική άποψη του έργου στο φράγμα Στράτου στο Ν. Αιτωλοακαρνανίας (Λιάκουρης, 1995)

2.2.5 Πηγάδι ανάπαλσης

Τοποθετείται μεταξύ της υδροληψίας (αγωγούς προσαγωγής) και του σταθμού παραγωγής εφόσον απαιτείται. Επιτρέπει τη σταδιακή εξομάλυνση των απότομων αλλαγών πίεσης που προκαλεί η απότομη αύξηση, ή διακοπή ροής νερού εντός των αγωγών προσαγωγής.

2.2.6 Εκκενωτής πυθμένα

Είναι έργο ασφάλειας που χρησιμεύει στην πτώση στάθμης ή την ταχεία εκκένωση του ταμιευτήρα σε περίπτωση ανάγκης. Συνήθως αποτελεί ανεξάρτητη διάταξη, ή συνδυάζεται με τη σήραγγα εκτροπής κατά τη διάρκεια κατασκευής, αλλά με διαμόρφωση διαφορετικού έργου εισόδου που τοποθετείται υψηλότερα από την είσοδο της σήραγγας εκτροπής.

2.3 Κριτήρια επιλογής τύπου φράγματος

Η επιλογή του κατάλληλου τύπου και ύψους φράγματος και η ακριβής θέση του γίνεται με βάση τα εξής:

- Τον όγκο του νερού που χρειάζεται να αποθηκευτεί/ελεγχθεί και επομένως το ύψος του φράγματος και τον όγκο του ταμιευτήρα. Τα φράγματα μικρού ύψους συνήθως είναι εύκαμπτα ενώ στην αντίθετη περίπτωση (μεγάλο ύψος νερού και άρα ψηλές υδραυλικές τάσεις) τα άκαμπτα φράγματα είναι γενικά τα πιο κατάλληλα.
- Την τοπογραφία της κοιλάδας όπου πρόκειται να κατασκευαστεί το φράγμα. Σε στενές κοιλάδες με αντερείσματα υγιούς και συμπαγούς βραχομάζας συνήθως προτιμώνται τοξωτά φράγματα ενώ στην περίπτωση που αυτές δεν είναι ευνοϊκές μπορεί να προτιμηθεί λιθόρριπτος τύπος φράγματος. Σε ευρείες κοιλάδες, με μεγάλο πάχος αποσαθρωμένου μανδύα, ή αλλουβιακών αποθέσεων, συνήθως προτιμάται εύκαμπτος τύπος φράγματος από εδαφικά υλικά. Σε κοιλάδα ακανόνιστου σχήματος προτιμώνται σύνθετα φράγματα. Η τοπογραφία της περιοχής ορίζει και τον τύπο και τη διαμόρφωση των συνοδών έργων που μπορούν να υλοποιηθούν και κατ' επέκταση την επιλογή του κατάλληλου τύπου φράγματος. Φυσικές ράχες – κοιλώματα (saddle) του αναγλύφου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη κατασκευή εκχειλιστή σε θέσεις αρκετά μακριά από την θέση του φράγματος.
- Η γεωλογία της περιοχής και συνθήκες θεμελίωσης. Οι γεωλογικές συνθήκες στη θέση θεμελίωσης και στα αντερείσματα του φράγματος ορίζουν και τον καταλληλότερο τύπο φράγματος και της θέσεις των συνοδών έργων. Γεωολογικοί σχηματισμοί μεγάλης διατμητικής αντοχής και μικρής ευαισθησίας σε διάβρωση και διαφυγές νερού, αποτελούν κάποιους από του περιορισμούς για τη θέση θεμελίωσης. Τα φράγματα από σκυρόδεμα απαιτούν μικρή παραμορφωσιμότητα των σχηματισμών θεμελίωσης και δεν είναι εφικτά σε περιπτώσεις θεμελίωσης σε μαλακούς παραμορφώσιμους βράχους, ή εδαφικά υλικά. Επιπλέον θα πρέπει ο επιφανειακός χαλαρός εδαφικός μανδύας να μην έχει μεγάλο βάθος και να απαιτούνται γενικά περιορισμένες εκσκαφές για την θεμελίωση του φράγματος.
- Διαθεσιμότητα των υλικών κατασκευής. Ο πιο οικονομικός τύπος φράγματος στην εκάστοτε περιοχή είναι αυτός που τα υλικά κατασκευής του βρίσκονται σε μικρή απόσταση από τη θέση θεμελίωσης, ή μπορεί να προέρχονται από τις εκσκαφές για την κατασκευή των συνοδών έργων (εκχειλιστή, σταθμό ηλεκτροπαραγωγής κλπ), ή από τον ταμιευτήρα του φράγματος. Καλής ποιότητας βραχωδών αλλουβιακών κόκκων (άμμος και χαλίκια), με λειτουργικό εύρος μεγέθους κόκκων, καλή αντοχή, μη διαβρώσιμα και απουσία υλικών που αντιδρούν με το τσιμέντο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή σκυροδέματος. Οι αλλουβιακές αδρόκοκκες αποθέσεις (αμμοχάλικο) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή σκυροδέματος. Βραχώδεις σχηματισμοί κατάλληλης ποιότητας ευνοούν τη κατασκευή λιθόρριπτου φράγματος, ενώ η πληθώρα εδαφικών υλικών εξυπηρετούν την κατασκευή χωμάτινου φράγματος. Η διαμόρφωση του φράγματος σε ζώνες και ο αριθμός ζωνών εξαρτάται από την διαθεσιμότητα διαφορετικών κατάλληλων γεω-υλικών, ανάλογα με τη λειτουργία τους εδαφικών ζωνών του φράγματος. Διαβαθμισμένο αμμώδες γεωυλικό και διαβαθμισμένο γεω-υλικό από χαλίκια, ή κροκάλες αλλουβιακής προέλευσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τα φίλτρα και τα στραγγιστήρια αντίστοιχα. Οι αργιλικές, μη διαβρώσιμες (non-dispersive) και χωρίς ρωγμές υπερστερεοποίησης, ή ξήρανσης, αποθέσεις ύστερα από

συμπύκνωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του πυρήνα εύκαμπτου φράγματος.

- Η τοποθέτηση του εκχειλιστή. Ο τύπος, το μέγεθος και οι περιορισμοί στο χώρο του εκχειλιστή (όπως πχ κατάλληλες συνθήκες θεμελίωσης) αποτελούν καθοριστικό παράγοντα στην επιλογή της γενικής διάταξης του φράγματος. Αν προβλέπεται να κατασκευαστεί μεγάλου μεγέθους εκχειλιστής και δεν υπάρχει διαθέσιμος χώρος είναι προτιμότερο να ενσωματωθεί στο σώμα του φράγματος, υποδεικνύοντας την κατασκευή φράγματος από σκυρόδεμα. Αντίθετα, αν τα υλικά εκσκαφών πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στο σώμα του φράγματος επιλέγεται εύκαμπτος τύπος φράγματος.
- Σεισμοτεκτονικές συνθήκες της περιοχής. Εάν στην περιοχή θεμελίωσης υπάρχουν ρήγματα ενεργά, ή είναι κοντά σε σεισμικές περιοχές, η κατασκευή χωμάτινου φράγματος, το οποίο είναι λιγότερο ευαίσθητο σε πλαστικές παραμορφώσεις είναι πιο ασφαλές από τα άκαμπτα φράγματα.
- Περιβαλλοντικοί παράγοντες.

2.4 Τεχνικογεωλογικά θέματα που λαμβάνονται υπόψη κατά την κατασκευή του φράγματος

Τα πιο σημαντικά τεχνικογεωλογικά θέματα που λαμβάνονται υπόψη κατά την κατασκευή ενός φράγματος αφορούν στις συνθήκες στη θέση θεμελίωσης και στη θέση ανάπτυξης του ταμιευτήρα. Αναλυτικά:

2.4.1 Θέση θεμελίωσης

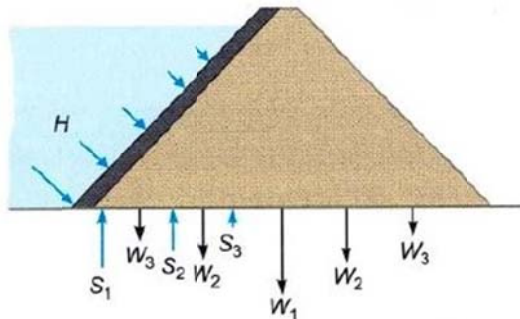
1. Ευστάθεια στη θέση θεμελίωσης και στα αντερείσματα (αντοχή και παραμόρφωση, αποσάθρωση-διάβρωση)

Η κατασκευή ενός φράγματος επιφέρει αλλαγές στις τάσεις που υφίστανται οι γεωλογικοί σχηματισμοί του πυθμένα και των αντερεισμάτων της κοιλάδας και συγκεκριμένα ασκούνται επιπλέον οι εξής δυνάμεις: α) Το βάρος του ίδιου του σώματος του φράγματος το οποίο ασκεί συμπιεστικές και διατμητικές τάσεις στους σχηματισμούς της θεμελίωσης, β) Υδραυλικές τάσεις από το νερό του ταμιευτήρα που μεταδίδονται από το σώμα του φράγματος προς το έδαφος θεμελίωσης, γ) Υπόγειες υδραυλικές πιέσεις στη βάση και «στα ανοικτά» του φράγματος και δυνάμεις διήθησης του νερού κατά την κίνηση του προς τα κατάντη.

Επίσης στο σχεδιασμό ενός φράγματος θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι δυνάμεις που ασκούνται από τα κύματα που δημιουργούνται στο ταμιευτήρα και μεταφέρονται στο σώμα του φράγματος και τις σεισμικές δονήσεις όταν το φράγμα βρίσκεται κοντά σε ενεργά ρήγματα ή σεισμογόνο περιοχή. Έτσι, συνήθως προβλέπεται ένα πρόσθετο ύψος λίγων μέτρων (free-board) στο σώμα του φράγματος για να αντιμετωπισθούν τα παραπάνω αναφερθέντα θέματα.

Για να είναι ασφαλές το φράγμα θα πρέπει η αντοχή της βραχομάζας θεμελίωσης να είναι μεγαλύτερη από τη συνισταμένη των τάσεων του βάρους του φράγματος και του υδραυλικού φορτίου και οι καθιζήσεις στη θέση θεμελίωσης θα πρέπει να είναι αρκούντως μικρές, ώστε να μην αστοχήσει το φράγμα. Επίσης θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το φαινόμενο της αποφόρτισης της κοιλάδας όταν γίνονται εκσκαφές, το οποίο συνεχίζεται για μεγάλο χρονικό διάστημα, μετά το τέλος της κατασκευής καθώς επίσης και η αύξηση της παραμορφωσιμότητας λόγω της διάνοιξης ρωγμών κατά τη διάρκεια των ανατινάξεων για τις απαιτούμενες εκσκαφές.

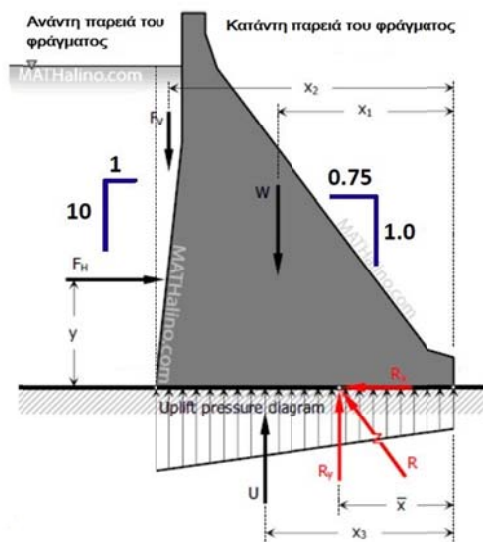
Στα εύκαμπτα φράγματα οι τάσεις που ασκούνται στη θέση θεμελίωσης είναι ανάλογες του ύψους του φράγματος στο εκάστοτε σημείο, διανέμονται δηλαδή ανομοιόμορφα όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 2-12**. Στο τμήμα του φράγματος που βρίσκεται κάτω από τη στάθμη του νερού, λόγω της άνωσης του νερού οι τάσεις είναι μικρότερες. Τα χωμάτινα φράγματα έχουν ημι-πλαστική συμπεριφορά και είναι περισσότερο επιδεκτικά σε παραμορφώσεις (καθιζήσεις, παραμορφώσεις από μετατόπιση φράγματος κλπ). Επίσης, ασκούν μικρότερες τάσεις στο έδαφος θεμελίωσης και ενδείκνυνται σε περιπτώσεις που η κοιλάδα αποτελείται από σημαντικού πάχους αλλουβιακές και τεταρτογενείς αποθέσεις, ιλυόλιθους, αργιλόλιθους και άλλους σχηματισμούς πτωχής μηχανικής συμπεριφοράς. Ωστόσο, οι μαλακές αλλουβιακές και οργανικές, ή διαβρώσιμες (dispersive) άργιλοι, κορήματα, πολύ αποσπασμένοι οριζόντες και ορισμένες ηφαιστειακές αποθέσεις, μπορεί να εμφανίσουν μεγάλες καθιζήσεις κατά την κατασκευή του φράγματος. Έτσι συνήθως αφαιρούνται πριν την θεμελίωση αν δεν φτάνουν σε μεγάλο βάθος. Αν η αφαίρεση τους δεν είναι οικονομικά εφικτή θα πρέπει να προβλεφθεί ενδελεχής αποστράγγιση (με τάπητα αποστράγγισης, ή με κάθετα στραγγιστήρια σε όλο το εύρος των αλλουβιακών αποθέσεων), ούτως ώστε, να επιταχυνθεί η στερεοποίησή τους και να αυξηθεί η ενεργός διατμητική αντοχή. Αντίθετα, οι άμμοι και χάλικες έχουν καλύτερες μηχανικές ιδιότητες, μικρότερες καθιζήσεις αλλά είναι περισσότερο διαπερατά και απαιτείται ικανοποιητική στεγάνωση με κουρτίνες τσιμεντενέσεων και τάφρο στεγάνωσης.



Σχήμα 2-12: Σχηματική απεικόνιση της κατανομής των υδραυλικών και βαρυτικών δυνάμεων σε γεωφράγματα (Gonzales de Vallejo , et al., 2002)

Τα λιθόρριπτα φράγματα έχουν πιο άκαμπτη συμπεριφορά, συγκριτικά μικρότερη επιφάνεια θεμελίωσης και ασκούν υψηλότερες τάσεις στη θεμελίωση απαιτώντας σχετικά καλύτερες συνθήκες θεμελίωσης από τα χωμάτινα φράγματα.

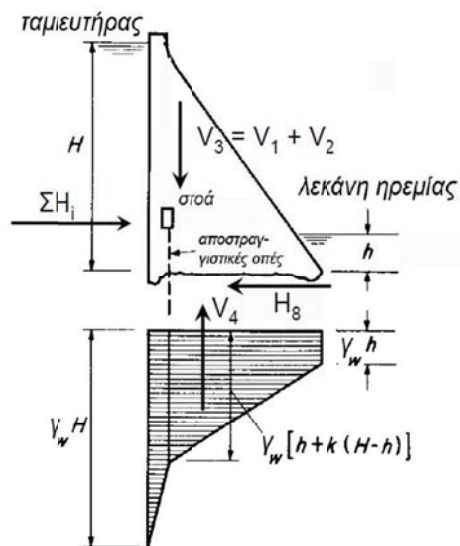
Στα φράγματα από σκυρόδεμα, οι τάσεις που ασκούνται είναι μεγαλύτερες και λόγω της άκαμπτης συμπεριφοράς τους, είναι ευαίσθητα σε καθιζήσεις/διαφορικές καθιζήσεις γι αυτό απαιτούν θεμελίωση σε βραχομάζα καλής αντοχής και μικρής παραμορφωσιμότητας η οποία να βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους για να περιορίζεται ο όγκος εκσκαφών. Οι επιφάνειες ασυνεχειών (στρώσης, σχιστότητας, ρωγμές, ρηξιγενείς και επιφάνειες διάτμησης) εν δυνάμει αυξάνουν τη παραμορφωσιμότητα της βραχομάζας και μειώνουν την αντοχή της ειδικότερα αν περιέχουν υλικά πλήρωσης μικρής διατμητικής αντοχής. Θα πρέπει να ελέγχεται ο προσανατολισμός τους, και αν αυτός είναι δυσμενής για την δημιουργία ασταθών κινηματικά βραχοσφηνών, η διατμητική αντοχή και η διαπερατότητα τους και όπου χρειάζεται να προβλέπονται μέτρα σταθεροποίησης και αποστράγγισης για να μην αναπτύσσονται πιέσεις πόρων και αστάθεια εν γένει. Ο συντελεστής ελαστικότητας της βραχομάζας θα πρέπει να είναι ίσος ή μεγαλύτερος από το συντελεστή ελαστικότητας του σκυροδέματος και να μην ποικίλλει σημαντικά. Στο **Σχήμα 2-13**, φαίνονται οι δρώσες δυνάμεις στα άκαμπτα φράγματα από το ίδιο το σώμα του φράγματος και του νερού του ταμιευτήρα καθώς και οι υποπίεσεις στη θεμελίωση του φράγματος. παρομοίως και στο **Σχήμα 2-14**, στο οποίο πραγματοποιείται αποστράγγιση στη θεμελίωση μέσω στοάς στο ίδιο το φράγμα.



Σχήμα 2-13: Ανάλυση δυνάμεων που δρουν σε φράγμα βαρύτητας με κεκλιμένη την ανάντη παρειά,

όπου η δύναμη του βάρους του φράγματος, F_H η ωστική δύναμη του νερού του ταμιευτήρα (λειτουργεί ανατρεπτικά), F_V η δύναμη του νερού που λειτουργεί σταθεροποιητικά, U η ανωστική δύναμη του υπόγειου νερού και R η δύναμη της αντίστασης (R_x , R_y οι συντεταγμένες παράλληλα στους άξονες).

(Ευστρατιάδης, et al., 2014/15)

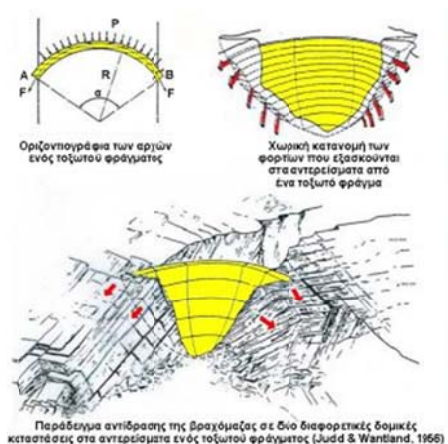


Σχήμα 2-14: Ανάλυση δυνάμεων που δρουν σε φράγμα βαρύτητας με αποστράγγιση,

V_3 το άθροισμα των δυνάμεων σταθεροποίησης του φράγματος (V_1 η δύναμη του βάρους του φράγματος, V_2 η δύναμη του νερού πάνω από την πτέρνα του φράγματος αν είναι κεκλιμένο) ΣH_i η ωστική δύναμη του νερού του ταμιευτήρα (λειτουργεί ανατρεπτικά), H_8 η δύναμη της εσωτερικής τριβής (λειτουργεί σταθεροποιητικά) H το υδραυλικό φορτίο του νερού στην ανάντη πλευρά, h το υδροστατικό φορτίο του νερού στην κατόντη πλευρά, k η διαπερατότητα του γεω-υλικού της θεμελίωσης, γ_w το ειδικό βάρος του νερού, V_4 η ανωστική δύναμη του υπόγειου νερού

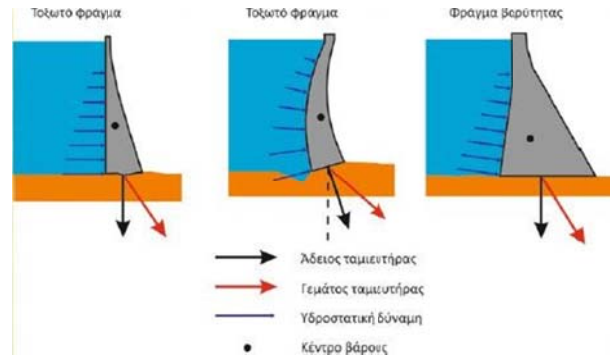
(Καβαβάδας, 2006)

Στα τοξωτά φράγματα, το μεγαλύτερο μέρος των τάσεων μεταφέρεται στα αντερείσματα και για αυτό τα αντερείσματα θα πρέπει να δομούνται από βραχομάζα πολύ ψηλής αντοχής και μεγάλου συντελεστή ελαστικότητας ώστε να μπορούν να παραλάβουν τη φόρτιση χωρίς παραμορφώσεις και ειδικά στη συνισταμένη διεύθυνση της φόρτισης. Παρακάτω στο **Σχήμα 2-15** φαίνεται πώς γίνεται η μεταφορά των τάσεων από τα τοξωτά φράγματα στα αντερείσματα της θέσης του φράγματος.



Σχήμα 2-15: Κατανομή των τάσεων που ασκούνται από τα τοξωτά φράγματα στα αντερείσματα της θεμελίωσης (Φράγματα, ΠΜΣ Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία, Θ. Μακεδών)

Οι μεγάλες ωστικές δυνάμεις που ασκούνται από το νερό του ταμιευτήρα στο φράγμα μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα την ολίσθηση του φράγματος κατά μήκος της επιφάνειας θεμελίωσης και υποβάθρου γι αυτό θα πρέπει να ελέγχεται η γωνία εσωτερικής τριβής κατά μήκος της επιφάνειας σκυροδέματος – βράχου θεμελίωσης. Αν υπάρχει κίνδυνος ολίσθησης μπορεί να εφαρμόζεται οδόντωση (keying) στη επιφάνεια θεμελίωσης ή μια ελαφριά κλίση προς ανάντη στη βάση του φράγματος. Επίσης θα πρέπει να ελέγχεται η παρουσία ασθενών γεω-μαζών, κατά μήκος της επιφάνειας θεμελίωσης, ή με δυσμενή για την ευστάθεια του φράγματος προσανατολισμό, μέσα σε συμπαγή βραχομάζα που θα μπορούσαν να προκαλέσουν ολίσθηση ειδικά μετά την πλήρωση του ταμιευτήρα.



Σχήμα 2-16: Δυνάμεις που δρουν σε τοξωτά και φράγματα βαρύτητας (Φράγματα, ΠΜΣ Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία, Θ. Μακεδών)

2. Ευστάθεια των πρανών του φράγματος

Στα φράγματα βαρύτητας (και στα αντηρριδωτά), τόσο, στα συμβατικού, όσο και σκυροδέματος RCC, η ανάντη παρειά είναι κατακόρυφη ή παρακατακόρυφη (κλίση 10:1) και η κατάντη παρειά έχει κλίση 1:0.8 και 1:0.75 αντίστοιχα. Στα τοξωτά φράγματα η κλίση μεταβάλλεται με το βάθος. Στα γεωφράγματα οι κλίσεις των πρανών σχεδιάζονται ανάλογα με το γεωυλικό κατασκευής τους. Συγκεκριμένα θα πρέπει η γωνία κλίσης του πρανούς να είναι ίση ή μικρότερη της γωνίας εσωτερικής τριβής του γεωυλικού των κελυφών του φράγματος, ώστε να εξασφαλιστεί η ευστάθειά του. Έτσι αν χρησιμοποιούνται γεώδη υλικά μικρής διατμητικής αντοχής (ιλυοαργιλικά), οι κλίσεις των πρανών θα πρέπει να είναι μικρές απαιτώντας μεγαλύτερη επιφάνεια θεμελίωσης, ενώ στην περίπτωση λιθορριπής, που έχει μεγαλύτερη διατμητική αντοχή, οι κλίσεις των πρανών είναι συγκριτικά μεγαλύτερες. Επίσης θα πρέπει να ελέγχεται η ευστάθεια των πρανών του φράγματος σε διαδοχική γρήγορη πτώση και αύξηση της στάθμης του ταμιευτήρα.

3. Στεγανότητα της θέσης θεμελίωσης και των αντρεισμάτων και έλεγχος των υπόγειων υδραυλικών πιέσεων στη βάση και «στα ανοικτά» του φράγματος.

Μετά την πλήρωση του ταμιευτήρα το νερό κινείται, τόσο διαμέσου του σώματος των γεωφραγμάτων μετά από αρκετό καιρό λειτουργίας, όσο και άμεσα, διαμέσου των ασυνεχειών, ρωγμών και αποσαθρωμένων ζωνών της θεμελίωσης από ανάντη προς κατάντη, λόγω της διαφοράς υδραυλικού φορτίου, με αποτέλεσμα την:

α) Ανάπτυξη υπο-πιέσεων στη βάση του φράγματος,

β) Ανάπτυξη δυνάμεων διήθησης του νερού και υψηλών υδραυλικών κλίσεων προκαλώντας προβλήματα εσωτερικής διάβρωσης και υδραυλικής θραύσης στη περιοχή θεμελίωσης κατάντη του φράγματος και ανάντη και κατάντη στα πρανή των χωμάτινων φραγμάτων,

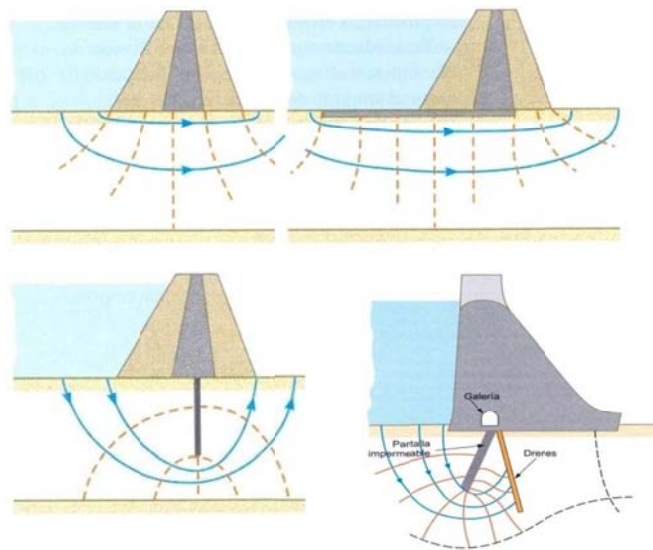
γ) Μείωση της ενεργού αντοχής των γεωυλικών θεμελίωσης και καθώς και κατά μήκος ασυνεχειών βραχομάζας τα οποία δεν αποστραγγίζονται και

δ) Απώλεια νερού από τον ταμιευτήρα.

Η εκτίμηση του όγκου των διηθήσεων και των υπόγειων υδραυλικών πιέσεων γίνεται με εκτίμηση του συντελεστή διαπερατότητας στο έδαφος θεμελίωσης και από το δίκτυο ροής του νερού κάτω από το φράγμα (ή και δια μέσου στα ομογενή φράγματα).

Για την αντιμετώπιση των διηθήσεων του νερού και της εσωτερικής διάβρωσης στα γεωφράγματα χρειάζεται, είτε να αυξηθεί το μήκος ροής από ανάντη προς κατάντη, είτε να εκτονωθούν οι δυνάμεις διήθησης.

Το αδιαπέρατο πέτασμα που κατασκευάζεται κάτω από τον πυρήνα του φράγματος επεκτείνεται είτε σε αδιαπέρατο ορίζοντα, είτε συνηθέστερα φτάνει σε κάποιο βάθος, για να αυξάνεται σημαντικά το μήκος ροής του νερού και να αποφεύγεται η διάβρωση της θεμελίωσης του αργιλικού πυρήνα. Η προστασία του αργιλικού πυρήνα από διάβρωση επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση φίλτρων εκατέρωθεν των πλευρών του, τα οποία εμποδίζουν τα λεπτόκοκκα αργιλικά να παρασύρονται από το νερό προς περισσότερο διαπερατές ζώνες του φράγματος. Αν κρίνεται απαραίτητο λόγω μεγάλης διαπερατότητας του εδάφους θεμελίωσης να εκτελούνται τσιμεντενέσεις επαφής, δηλαδή σε όλο το πλάτος έδρασης του αργιλικού πυρήνα (τσιμεντενέσεις τάπητα) για να επιτευχθεί στη περιοχή αυτή στεγανοποίηση και σταθεροποίηση τυχόν ασθενών ζωνών αμέσως κάτω από την θεμελίωση.



Σχήμα 2-17: Ανάπτυξη δικτύων ροής χωρίς, και με στεγανοποιητικό στοιχείο στη θεμελίωση σε γεωφράγματα και φράγματα από σκυρόδεμα, με αποστράγγιση και κουρτίνα τσιμεντενέσεων (Gonzales de Vallejo , et al., 2002)

Για την εκτόνωση των υδραυλικών φορτίων και αποφυγή της διάβρωσης στην κατάντη περιοχή (πρανούς και θεμελίωσης) του φράγματος, κατασκευάζονται στραγγιστήρια στον πόδα του φράγματος και κατά μήκος της επαφής του φράγματος με το έδαφος, πηγάδια εκτόνωσης υδραυλικών πιέσεων (relief wells) κ.α. Τέλος, για να αποφεύγεται η υπόγεια διάβρωση στο σώμα του γεωφράγματος θα πρέπει να γίνεται καλή συμπίκνωση των γεωυλικών κατασκευής και να μη χρησιμοποιούνται υπερ-στερεοποιημένες και πολύ πλαστικές άργιλοι που μπορεί να φέρουν ρωγματώσεις, οι οποίες διευκολύνουν την εσωτερική διάβρωση.

Στα φράγματα από σκυρόδεμα, η μείωση της περατότητας στα ανάντη του φράγματος επιτυγχάνεται με στεγανοποιητικό πέτασμα το οποίο ανάλογα με τις ανάγκες στεγανοποίησης έχει και αντίστοιχο βάθος. Σε περίπτωση όπου στο πέτρωμα θεμελίωσης υπάρχουν ρωγμές ανοιχτές, αυτές μπορεί να κλείνουν κάτω από το βάρος του φράγματος με αποτέλεσμα το νερό που υπάρχει να μην μπορεί να αποστραγγιστεί ασκώντας μεγάλες υδραυλικές πιέσεις και γι αυτό πρέπει να προβλέπεται αποστράγγιση διαμέσου στοών αποστράγγισης. Συνηθίζεται οι στοές να είναι και για την κατασκευή της στεγανής κουρτίνας και της αποστράγγισης (πέτασμα στο τμήμα της στοάς που βλέπει προς τα ανάντη του φράγματος και πέτασμα από οπές αποστράγγισης στο τμήμα της στοάς που βλέπει προς τα κατάντη του φράγματος).

4. Ευστάθεια των συνοδών έργων του φράγματος (υπερχειλιστής, προφράγματα, σήραγγες εκτροπής και αποστράγγισης κλπ)

Στην περίπτωση των άκαμπτων φραγμάτων, τα συναφή έργα του φράγματος είναι λιγότερα και απλούστερα (δεν κατασκευάζεται ξεχωριστός υπερχειλιστής) ενώ, η επιλογή κατασκευής άκαμπτου φράγματος προϋποθέτει την ύπαρξη ικανοποιητικών συνθηκών θεμελίωσης. Θα πρέπει επιπλέον να ελέγχονται οι γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες στα αντερείσματα και τις περιοχές ανάντη και κατάντη του φράγματος όπου πρόκειται να κατασκευαστούν οι αγωγοί, οι σήραγγες και άλλα τεχνικά έργα όπως επίσης και τα σημεία σύνδεσης τους με το φράγμα. Ρήγματα και ασταθείς ζώνες, ή ασυνέχειες μικρής διατμητικής αντοχής, ζώνες διάβρωσης και αποσάθρωσης θα πρέπει να αποφεύγονται (ή αν αυτό δεν είναι εφικτό, να προβλέπεται η βελτίωσή τους με τσιμεντενέσεις και αποστράγγιση).

Όσον αφορά τα γεωφράγματα, τα οποία συνήθως κατασκευάζονται σε κοιλάδες με πτωχές συνθήκες θεμελίωσης, η κατασκευή του εκχειλιστή και των συμπληρωματικών έργων δεν είναι εύκολη. Για τη τοποθέτηση του εκχειλιστή συχνά χρειάζονται εκσκαφές συχνά κάτω από τη στάθμη του υπόγειου νερού, μεγάλου όγκου ανάλογα με το ύψος του εκχειλιστή, με αποτέλεσμα στα μεν εδαφικά υλικά την μείωση της διατμητικής αντοχής των εδαφικών υλικών (από την αποφόρτιση των πιέσεων πόρων) στα δε βραχώδη τη διάνοιξη ρωγμών με επιδείνωση της ποιότητας βραχομάζας. Έτσι, επιλέγεται η καλύτερη δυνατή θέση που να αποτελείται από σχηματισμούς με μικρή παραμορφωσιμότητα και υψηλή αντοχή, όπου να διαμορφωθούν σχετικά ψηλά πρανή χωρίς παραμορφώσεις και να μπορούν να παραλάβουν τα φορτία της κατασκευής του εκχειλιστή. Επίσης θα πρέπει να ελεγχθεί εάν τα υλικά εκσκαφών είναι κατάλληλα να χρησιμοποιηθούν ως κατασκευαστικό υλικό μειώνοντας το κόστος του έργου. Τα προφράγματα έχουν παρόμοιες απαιτήσεις με τα γεωφράγματα όπως ευστάθειας πρανών, ασφαλούς θεμελίωσης και προστασίας από διάβρωση. Οι σήραγγες εκτροπής, προσαγωγής καθώς και ο εκκενωτής πυθμένα θα πρέπει να τοποθετηθούν στο αντέρεισμα και σε βάθος με τη καλύτερη ποιότητα βραχομάζα και που να εξυπηρετεί το

σκοπό για τον οποίο κατασκευάζονται. Για κάθε έργο από αυτά γίνεται λεπτομερής μελέτη. Τέλος, το έργο υδροληψίας θα πρέπει να θεμελιώνεται σε σχηματισμό με καλές μηχανικές ιδιότητες για την αποφυγή ασταθειών που θα έχει σαν αντίκτυπο την διακοπή της λειτουργίας του.



Φωτ. 2-14: Καταστροφή του εκχειλιστή από υπερπήδηση νερού του ταμιευτήρα σε παράπλευρο του εκχειλιστή σημείο, το οποίο προοριζόταν για δεύτερος εκχειλιστής έκτακτης ανάγκης στο Oroville dam (www.SFGATE.com 2/3/17)

5. Εντοπισμός ειδικών γεωλογικών κινδύνων (ενεργά ρήγματα, σεισμικότητα, ρευστοποίηση, παλαιοκοίτες, παλιές κατολισθήσεις, κενά στη θέση θεμελίωσης από διάλυση πετρωμάτων όπως ο γύψος και πετρώματα που έχουν υποστεί καρστικοποίηση κ.α.)

Μετατοπίσεις κατά μήκος ενεργών ρηγμάτων μπορεί να προκαλέσουν διαφορικές καθιζήσεις γι αυτό θα πρέπει αυτά να αποφεύγονται στην περιοχή θεμελίωσης άκαμπτων φραγμάτων, ή στη θέση του αργιλικού πυρήνα και των συνοδών έργων των γεωφραγμάτων. Επίσης τα ενεργά ρήγματα μπορεί να αποτελούν δίοδο κυκλοφορίας θερμών υδάτων με μέταλλα για τα οποία πρέπει να προβλεφθεί αγωγός απομόνωσης για την ασφαλή απαγωγή τους.

Τα ανενεργά ρήγματα αποτελούν συνήθως ασθενείς ζώνες, οι οποίες μπορεί να αποτελούν δίοδο νερού, ή να φέρουν υλικό παραμορφωμένο μικρής διατμητικής αντοχής, για αυτό θα πρέπει εντοπίζονται από λεπτομερή γεωλογική χαρτογράφηση και να αξιολογείται η επίδρασή τους στην κατασκευή του έργου.



Φωτ. 2-15: Τοξωτό Φράγμα Malpasset, όψη από κατάντη πριν και μετά την αστοχία του (Duffault, 2013)



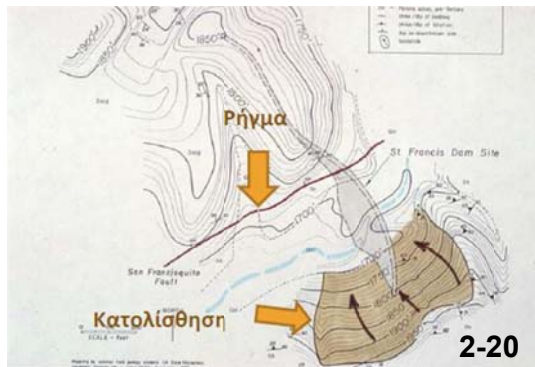
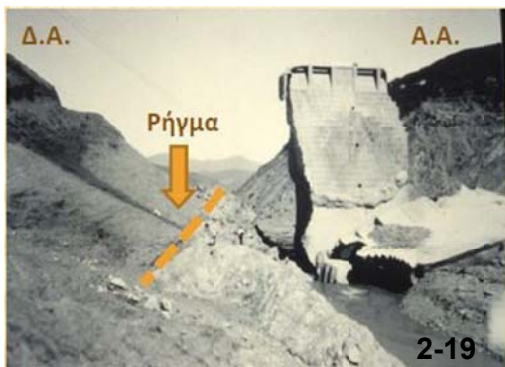
Σχήμα 2-18: Μηχανισμός αστοχίας του φράγματος Malpasset αριστερά σε οριζοντιογραφία και δεξιά σε τομή του φράγματος τροποποιημένο από (Gonzales de Vallejo , et al., 2002)

Εάν το φράγμα βρίσκεται κοντά σε σεισμογόνο περιοχή θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα σεισμικά φορτία και η επίδρασή τους στην ευστάθεια των πρανών του φράγματος καθώς και η πιθανότητα εκδήλωσης κυμάτων που μπορούν να υπερπηδήσουν το φράγμα. Τέλος οι σεισμικές δονήσεις μπορεί να επιφέρουν ρευστοποίηση σε χαλαρά γεωυλικά με μικρή συνοχή που βρίσκονται κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα. Τα γεωυλικά αυτά θα πρέπει να αποφεύγονται για τη θεμελίωση του φράγματος και να μην χρησιμοποιούνται στην κατασκευή τους.

Στην περιοχή του έργου θα πρέπει να γίνεται έρευνα για παλαιοκοίτες του ποταμού, οι οποίες μπορεί να είναι η αιτία για μεγάλες διαρροές από τον ταμιευτήρα.

Παλιές κατολισθήσεις στα αντερείσματα μπορεί να δημιουργήσουν πρόβλημα ευστάθειας, τόσο στο φράγμα κατά τη διάρκεια κατασκευής, ή μετά την πλήρωση του ταμιευτήρα, όσο και κατά τη διάρκεια εκσκαφών και θεμελίωσης (επιβολή φορτίων) των συναφών έργων. Είναι δυνατόν το σώμα του γεωφράγματος να συνεισφέρει στη σταθεροποίηση ασταθών μαζών, λειτουργώντας ως αντίβαρο, αλλά μετά την κατασκευή του. Αν οι ασταθείς μάζες είναι επιφανειακές και δεν φτάνουν σε μεγάλο βάθος είναι προτιμότερο να αφαιρεθούν. Σε αντίθετη περίπτωση γίνεται ανάλυση ευστάθειας του πρανούς και λαμβάνονται μέτρα σταθεροποίησης όπως αποστράγγιση, τοποθέτηση αγκυρίων, τσιμεντενέσεις, μείωση του

όγκου των ασταθών μαζών κ.α. και παρακολούθηση των μετακινήσεων των ασταθών μαζών κατά την κατασκευή και κυρίως κατά τη λειτουργία του φράγματος. Γενικά τα αντερείσματα με ολισθαίνουσες βραχομάζες θα πρέπει να αποφεύγονται για τη θεμελίωση του φράγματος και των συναφών έργων.



Σχήμα 2-19: Φράγμα Βαρύτητας St Francis, μετά την αστοχία του δεξιά Σχήμα 2-20: Το φράγμα Βαρύτητας St Francis σε οριζοντιογραφία όπου φαίνονται το ρήγμα στην επαφή των κροκαλοπαγών στο δεξί πρανές και οι επιφάνειες κατολισθήσεων στο σχιστόλιθο του αριστερού πρανούς (Φράγματα, ΠΜΣ Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία, Θ. Μακεδών)

Τέλος, η παρουσία πετρωμάτων που διαλύονται στην επαφή τους με το νερό όπως οι εβαπορίτες και τα ανθρακικά πετρώματα, μπορεί να προκαλέσουν καθίζηση του εδάφους και ρωγμές στην επιφάνεια, όπως επίσης και να προσδίδουν οδούς διαφυγών νερού του ταμιευτήρα και θα πρέπει να αποφεύγονται, τόσο στη θέση του ταμιευτήρα, όσο και στη θέση θεμελίωσης του φράγματος. Ωστόσο, αν βρίσκονται εγκιβωτισμένα μέσα σε σχηματισμούς μικρής διαπερατότητας όπως ιλυόλιθους και αργιλόλιθους, φαίνεται να μην υπάρχει σοβαρό θέμα. Οι ασβεστόλιθοι συνήθως περιέχουν μορφές διάλυσης (καρστ), οι οποίες ανάλογα με το μέγεθος και την γεωμετρία τους, δημιουργούν προβλήματα στη κατασκευή φραγμάτων που αφορούν τη φέρουσα ικανότητά τους και κυρίως τη στεγανότητά τους. Αν η καρστικοποίηση έχει προχωρήσει σε μεγάλο βάθος, και η πιεζομετρία είναι χαμηλή, είναι προτιμότερο να εγκαταλειφθεί η περιοχή για την κατασκευή του έργου γιατί ακόμα και αν δεν υπάρχει πρόβλημα διαρροών από τον ταμιευτήρα θα πρέπει αφενός η θεμελίωση να γίνει σε μεγάλο βάθος όπου έχει εξακριβωθεί ότι δεν έχει προχωρήσει η καρστικοποίηση και αφετέρου να πληρωθούν τα κενά διάλυσης με ένεμα και επομένως το κόστος κατασκευής θα είναι πολύ μεγάλο.

6. Εντοπισμός δανειοθαλάμων γεω-υλικών κατάλληλων για την κατασκευή του φράγματος και των συνοδών έργων κοντά στη θέση θεμελίωσης

Οι δανειοθάλαμοι που επιλέγονται πρέπει να πληρούν τις παρακάτω προϋποθέσεις:

- Αναγκαίο όγκο γεω-υλικών για τον μέγεθος του φράγματος,
- Κατάλληλη ποιότητα για τον αντίστοιχο σκοπό,
- Λειτουργική περιορισμένη απόσταση μεταφοράς,
- Εύκολη εξόρυξη,
- Αποδεκτές περιβαλλοντικές συνθήκες για την εξόρυξη των υλικών.

Ανάλογα με τη χρήση τους τα γεω-υλικά κατηγοριοποιούνται ως εξής:

Αδιαπέρατος αργιλικός πυρήνας γεωφράγματος: κατασκευάζονται για να ανακόπτουν την ροή του νερού δια μέσου του σώματος του φράγματος. Για αυτό απαιτούνται γεωυλικά μικρής διαπερατότητας (μικρός συντελεστής διαπερατότητας $k < 10^{-7}$ m/sec), μικρής πλαστικότητας ($PI > 6$) τα οποία να μην είναι επιδεκτικά σε διάβρωση και κατάρρευση, να μην περιέχουν οργανικά (περιεκτικότητα σε οργανικά $\leq 3\%$) και ορυκτά που διογκώνονται (μοντοριλλονίτη, σμηκτίτη) και να έχουν κατάλληλη αντοχή και παραμορφωσιμότητα για την ευστάθεια των πρανών του φράγματος (οι κλίσεις πρανών του πυρήνα συνήθως είναι 5:1 ως 6:1). Αλλουβιακές αποθέσεις με μεγάλη περιεκτικότητα σε άργιλο, μικρή πλαστικότητα και είναι καλώς διαβαθμισμένα μετά από συμπύκνωση (επί τόπου συμπύκνωση 96-98% κατά Proctor με υγρασία διάστρωσης $w_{opt} + 3\%$) αποκτούν ικανοποιητικά μικρές τιμές διαπερατότητας και παραμορφωσιμότητας. Γενικά οι απαιτήσεις ως προς την κοκκομετρική διαβάθμιση των γεωυλικών του πυρήνα είναι $d < 4,75$ mm (κόσκινο No4) $> 75\%$ και $d < 0,075$ mm (κόσκινο No 200) $> 35\%$.

Σώματα στήριξης γεωφράγματος: χρησιμοποιούνται υλικά σχετικά υψηλής διατμητικής αντοχής ώστε να έχουν ικανοποιητική ευστάθεια σε μεγάλες κλίσεις πρανών (για μικρότερο όγκο φράγματος) και αν είναι εφικτό, μεγάλη διαπερατότητα για να στραγγίζουν την πιθανή ανάπτυξη πόρων κυρίως στο κατάντη μέρος του φράγματος. Μπορεί να αποτελούνται από αμμοχάλικα και λιθορριπές. Για τα ομογενή φράγματα το υλικό κατασκευής θα πρέπει να έχει κοκκομετρική σύσταση τέτοια ώστε ο συντελεστής ομοιομορφίας τους να είναι $U \leq 7$.

Φίλτρα και στραγγιστήρια: κατασκευάζονται για την προστασία του αργιλικού πυρήνα από το διηθούμενο νερό καθώς και για την αποστράγγιση και προστασία του σώματος του φράγματος από εσωτερική διάβρωση. Στα φράγματα βαρύτητας η αποστράγγιση έχει σκοπό τη προστασία του φράγματος από υπόγειες υδραυλικές πιέσεις. Συνήθως χρησιμοποιούνται χαλίκια και κροκάλες ποτάμιας προέλευσης και σπαστά υλικά λατομείου. Τα υλικά για τα φίλτρα πρέπει να τηρούν τις απαιτήσεις φίλτρων: κατά Terzaghi, $D_{15}/d_{85} < 4 < D_{15}/d_{15}$.

Αδρανή υλικά για το σκυρόδεμα σε άκαμπτα φράγματα: τα υλικά που χρησιμοποιούνται για το σκυρόδεμα θα πρέπει να έχουν ελάχιστη πυκνότητα $2,5 \text{ t/m}^3$ και η αντοχή τους σε συμπίεση να μην είναι μικρότερη από την αντοχή του σκυροδέματος (της τάξης 24 και παραπάνω) ενώ η απορροφητικότητα τους σε νερό να μην ξεπερνάει το ποσοστό 3%. Όσον αφορά τη χημική τους σύσταση τα αδρανή υλικά θα πρέπει να μην περιέχουν ορυκτά και άλατα που αντιδρούν χημικά με το σκυρόδεμα (αλκάλια, θειικά και χλωριόντα), να μην είναι διαλυτά και διογκώσιμα.

2.4.2 Αιτίες αστοχιών φραγμάτων

Στα γεωφράγματα οι συνήθεις αιτίες αστοχιών είναι οι εξής:

- Παραμόρφωση – θραύση της θεμελίωσης,
- Διάλυση και εσωτερική διάβρωση του σώματος του φράγματος,
- Υποσκαφή της θεμελίωσης του φράγματος (από εσωτερική διάβρωση),
- Μετακινήσεις και ερπυσμοί σε θέσεις ρηγμάτων,
- Σεισμικές δονήσεις, γένεση κυμάτων και υπερπήδηση του φράγματος, ρευστοποίηση εδαφών,



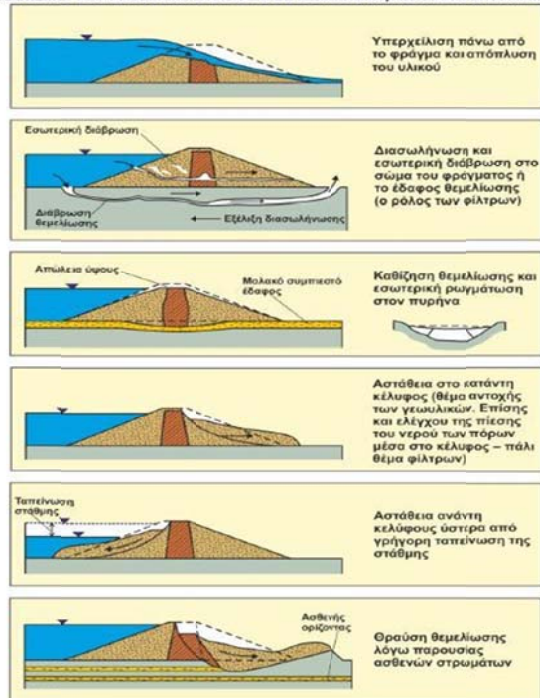
- Παραμορφώσεις και κατολισθήσεις στα αντερείσματα του φράγματος,
- Παραμορφώσεις στο σώμα του φράγματος (καθιζήσεις, αστοχία παρειών λόγω απότομης πτώσης της στάθμης ταμιευτήρα),
- Αστοχία του υπερχειλιστή.

Παρακάτω, στο **Σχήμα 2-21** φαίνονται κάποιοι από τις αστοχίες σε γεωφράγματα που οφείλονται κυρίως στο πλημμελή τεχνικό σχεδιασμό του φράγματος και στο **Σχήμα 2-22** γεωλογικές συνθήκες δυσμενείς για την ευστάθεια άκαμπτων φραγμάτων.

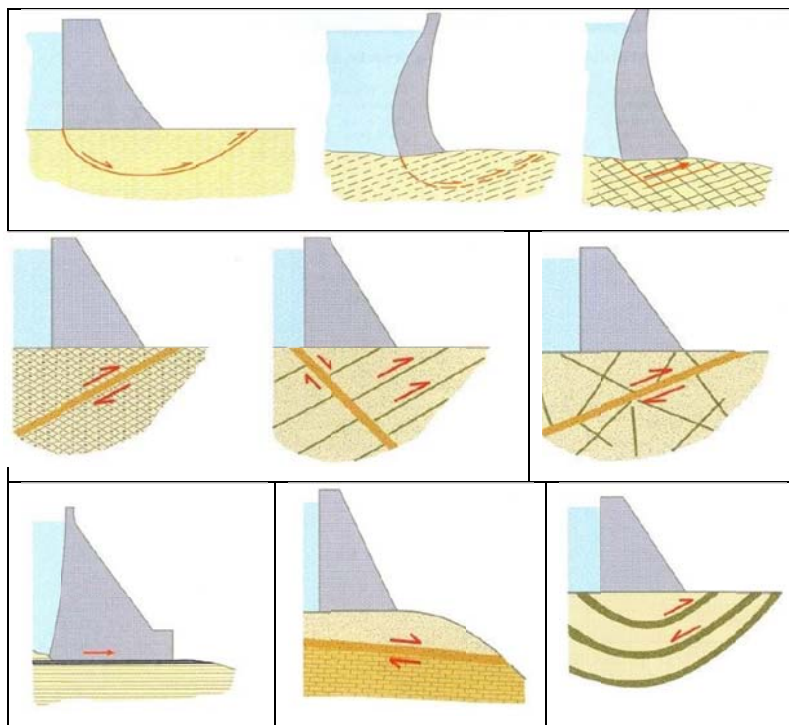
Στα άκαμπτα φράγματα οι αστοχίες συνήθως οφείλονται:

- Σε ολισθήσεις κατά μήκος της επιφάνειας του φράγματος και του εδάφους θεμελίωσης (λόγω χαμηλής γωνίας εσωτερικής τριβής και των υψηλών ωστικών δυνάμεων του νερού του ταμιευτήρα),
- Σε ολισθήσεις κατά μήκος δυσμενών επιφανειών χαμηλής διατμητικής αντοχής ενδιαστρωμένες μέσα σε καλή βραχομάζα, παράλληλες με την επιφάνεια θεμελίωσης
- Δημιουργία σφηνών που δημιουργούνται από αλληλοτεμνόμενα ζεύγη δυσμενών ασυνεχειών, ή σφήνες που δημιουργούνται από επιφάνειες ρηγμάτων, επιφάνειες ασυνεχειών και μεγάλες ρωγμές, σε συνδυασμό με τη δράση πολύ υψηλών υδροστατικών πιέσεων, στο έδαφος θεμελίωσης, ή στα αντερείσματα (όπως στην περίπτωση αστοχίας φράγματος Malpasset, λόγω της δημιουργίας βραχοσφήνας στο αριστερό αντέρεισμα από την παρουσία επιφανειών σχιστότητας και ρωγμών με δυσμενή για το φράγμα προσανατολισμό και ενός ρήγματος με αργιλικό υλικό πλήρωσης, βλ. **Σχήμα 2-18**).
- Μετακινήσεις κατά μήκος ρηγμάτων, ή πτυχώσεων, με δυσμενή προσανατολισμό για την ευστάθεια του έργου,
- Διαφορικές καθιζήσεις λόγω ατελειών της βραχομάζας και ζωνών διαφορετικού μέτρου ελαστικότητας,
- Επιφάνειες διατμήσεων παλιών ολισθήσεων στα αντερείσματα. (όπως στην περίπτωση του φράγματος St Francis, California, όπου υπήρχε επιφάνεια διάτμησης παλαιάς κατολίσθησης κατά μήκος του αριστερού αντερείσματος βλ. **Σχήμα 2-19**)

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ ΣΕ ΧΩΜΑΤΙΝΑ Ή ΛΙΘΟΡΡΙΠΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ



Σχήμα 2-21: Μηχανισμοί και τύποι αστοχιών σε γεωφράγματα (Φράγματα, ΠΜΣ Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία, Θ. Μακεδών)



Σχήμα 2-22: Περιπτώσεις αστοχίας σε άκαμπτα φράγματα (Gonzales de Vallejo , et al., 2002)

2.4.3 Ταμιευτήρας

Η κατασκευή ενός φράγματος προκαλεί μεταβολές στις επικρατούσες υδρολογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες της κοιλάδας που επηρεάζεται από το φράγμα, όπως:

- Μεταβολή των υδρογεωλογικών συνθηκών των γεωλογικών σχηματισμών της κοιλάδας,
- Ανύψωση της πιεζομετρικής στάθμης της λεκάνης και επιβολή υδραυλικού φορτίου στα πρανή στα όρια της λεκάνης,
- Διακύμανση της πιεζομετρικής στάθμης ανάλογα με τη στάθμη του ταμιευτήρα,
- Επιβολή υδραυλικού φορτίου στα πρανή και τη βάση της κοιλάδας ίσου με το ύψος του νερού σε κάθε σημείο της λεκάνης.

Για τη λειτουργικότητα του ταμιευτήρα λαμβάνονται υπόψη τα εξής:

- **Διαφυγές νερού από τον πυθμένα και τις πλευρές του ταμιευτήρα.**

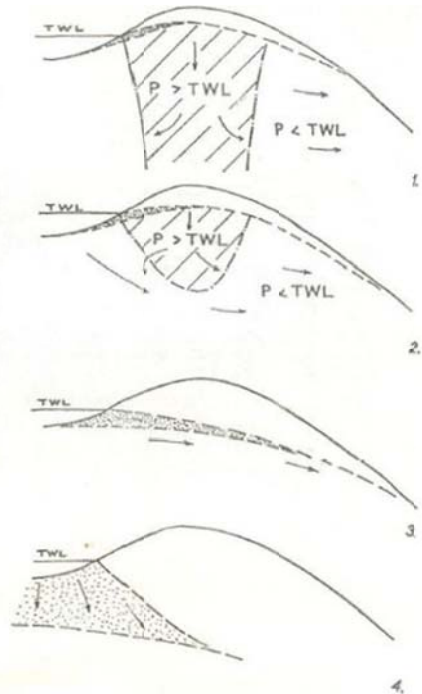
Για να αποφευχθούν σημαντικές διαρροές από τον ταμιευτήρα προς γειτονικές λεκάνες, θα πρέπει να διασφαλιστεί ότι, 1) η στάθμη του ταμιευτήρα είναι χαμηλότερη από την στάθμη του υπόγειου νερού στα πρανή που περιβάλλουν τον ταμιευτήρα και 2) η διαπερατότητα των σχηματισμών στη βάση και τα όρια του ταμιευτήρα να είναι χαμηλή.

Σχετικά με την εκτίμηση των διηθήσεων από τον ταμιευτήρα βάσει της κατανομής των πιεζομετρικών πιέσεων στις παρειές του ταμιευτήρα και της στάθμης του νερού του ταμιευτήρα υπάρχουν τέσσερις περιπτώσεις οι οποίες απεικονίζονται στο **Σχήμα 2-23**.

1. Αν το ύψος του νερού ταμιευτήρα είναι χαμηλότερα από την επικρατούσα στάθμη του υπόγειου νερού τότε το νερό θα στραγγίζει προς τον ταμιευτήρα συνεισφέροντας στον όγκο του νερού που αποθηκεύεται χωρίς προβλήματα διαφυγών ακόμα και αν η περατότητα των περιβαλλουσών σχηματισμών είναι ψηλή.
2. Στην περίπτωση που η πιεζομετρική στάθμη στις παρειές του ταμιευτήρα υποβιβάζεται κάτω από την ανώτερη στάθμη ταμιευτήρα, λόγω γεωλογικών συνθηκών και τοπογραφίας, είναι πιθανό να πραγματοποιηθεί διήθηση του νερού κάτω από τη βάση του ταμιευτήρα προς διπλανή λεκάνη απορροής. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να παραβλεφθεί αν οι γεωτρήσεις είναι ρηχές και φτάνουν ως το ύψος της στάθμης του υπόγειου νερού ενώ ο σχηματισμός με χαμηλή πιεζομετρία βρίσκεται σε μεγαλύτερο βάθος.
3. Στη τρίτη περίπτωση η στάθμη του υπόγειου νερού βρίσκεται κοντά στο επίπεδο του ποταμού είτε λόγω υψηλής διαπερατότητας των σχηματισμών στις παρειές του ταμιευτήρα είτε λόγω περιορισμένου εμπλουτισμού της λεκάνης απορροής όπως συμβαίνει όταν το ύψος βροχόπτωσης είναι χαμηλό.
4. Στην τελευταία περίπτωση η στάθμη του υπόγειου νερού βρίσκεται κάτω από το πυθμένα του ταμιευτήρα είτε λόγω χαμηλής βροχόπτωσης στη λεκάνη απορροής είτε λόγω αποστράγγισης των γεωλογικών σχηματισμών σε μεγαλύτερο βάθος. Είναι γενικά σημαντικό να διευκρινιστεί η αιτία του πολύ χαμηλού υδροφόρου ορίζοντα. Σε αυτή την περίπτωση δεν είναι αδύνατη η δημιουργία ταμιευτήρα αλλά θα πρέπει να γίνεται τεχνητός εμπλουτισμός στις παρειές της υδρολογικής λεκάνης και δημιουργία ενός νέου υδρογεωλογικού καθεστώτος.

Γι αυτό, η διερεύνηση των επικρατουσών σταθμών του υπόγειου νερού και της πιεζομετρίας είναι πολύ σημαντική για την εκτίμηση της στεγανότητας και της πιθανότητας διαφυγών από τον ταμιευτήρα και θα πρέπει να ελέγχονται συνεχώς δια πιεζομέτρων τόσο επιφανειακά

όσο και σε βάθος τουλάχιστον ως τη βάση του ταμιευτήρα, κατά τη διάρκεια εκτέλεσης γεωτρήσεων, και μετά κατά την κατασκευή και λειτουργία του έργου. Επιπλέον θα πρέπει να ελέγχονται και οι διακυμάνσεις των σταθμών κατά την εναλλαγή υγρών και ξηρών περιόδων, κατά τις οποίες, αν σημειωθεί μεγάλη πτώση στάθμης μπορεί να υπάρξουν σημαντικές διαρροές. Θα πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη η περίπτωση όπου η πιεζομετρική στάθμη ενός σχηματισμού της λεκάνης απορροής σε κάποιο βάθος είναι χαμηλότερα από το ύψος νερού του ταμιευτήρα προκαλώντας κίνηση του νερού προς το σχηματισμό αυτό και επομένως την πιθανότητα διαφυγών νερού προς κατάντη.



Σχήμα 2-23: Συνθήκες στάθμης ταμιευτήρα σε σχέση με τη στάθμη του υπόγειου νερού και της πιεζομετρικής στάθμης, όπου TWL: ανώτατη στάθμη ταμιευτήρα, P: πίεση υπόγειου νερού, το διάστικτο τμήμα κατακλύζεται από το νερό του ταμιευτήρα, στο γραμμοσκιασμένο τμήμα η στάθμη του υπόγειου νερού είναι υψηλότερη από τη στάθμη του ταμιευτήρα (Knill, 1972)

Αναφορικά με τη διαπερατότητα των σχηματισμών, οι πιο ευνοϊκοί για τη στεγανότητα του φράγματος είναι οι βραχώδεις συμπαγείς αδιατάρακτοι σχηματισμοί και οι ιζηματογενείς με μεγάλη περιεκτικότητα σε αργιλικά. Προβληματικοί για τη στεγανότητα σχηματισμοί αποτελούν οι ασβεστίτικοι σχηματισμοί που έχουν καρστικοποιηθεί, ορισμένοι ηφαιστειογενείς (π.χ. τέφρα), πορώδεις ιζηματογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμοί και σχηματισμοί που διαλύονται στην επαφή τους με νερό όπως οι εβαπορίτες.

Ακριβής χαρτογράφηση των γεωλογικών σχηματισμών και των τεκτονικών δομών μπορεί να υποδείξει την ύπαρξη ζωνών και οριζόντων που μπορεί να εμποδίζουν, ή να επιτρέπουν διαφυγές νερού από τον ταμιευτήρα. Ένα ρήγμα μπορεί να φέρνει σε επαφή σχηματισμούς διαφορετικού συντελεστή διαπερατότητας, ή το ίδιο να αποτελεί δίοδο διαφυγής νερού.

Η παρουσία παλιών κοιτών, των οποίων η ροή δεν συμπίπτει με τη υφιστάμενη ροή των ποταμών μπορεί να προκαλέσει επίσης διαφυγές νερού. Σε τέτοια περίπτωση θα πρέπει η θέση του φράγματος να είναι σε σημείο όπου οι παλιές και οι νέες κοίτες ταυτίζονται.

- **Κατολισθήσεις στα όρια του ταμιευτήρα.**

Η επιβολή υδραυλικού φορτίου και κυρίως η διακύμανση αυτού του φορτίου στα πρηνή του ταμιευτήρα μπορεί να αποτελέσει αιτία εμφάνισης αστοχιών των πρηνών. Το πιο κρίσιμο σημείο για την ευστάθεια των πρηνών είναι η ξαφνική πτώση της στάθμης του ταμιευτήρα. Αυτό συμβαίνει γιατί με την επιβολή του υδραυλικού φορτίου, ζώνες εν δυνάμει ασταθείς μπορούν να «συγκρατηθούν» από το νερό. Έτσι, όταν το νερό βρίσκεται στο μέγιστο προβλεπόμενο υψόμετρο το επίπεδο ασφάλειας έναντι αστοχιών είναι το ίδιο όπως και πριν την κατάκλιση της λεκάνης. Όταν όμως το επίπεδο του νερού του ταμιευτήρα μειώνεται απότομα, αφενός μεν, οι ασταθείς μάζες δε μπορούν να συγκρατηθούν, αφετέρου η παρουσία του νερού (πιέσεις πόρων) μειώνει την ενεργό διατμητική αντοχή του γεωυλικού κατά μήκος της επιφάνειας αστοχίας.

Εάν η πιθανότητα ολισθήσεων των πρηνών στον ταμιευτήρα μειώνει σημαντικά τον όγκο του, ή μπορεί να δημιουργήσει κύμα το οποίο μπορεί να ξεπεράσει τη στέψη του φράγματος και να προκαλέσει θραύση, πρέπει να γίνουν οι εξής μελέτες για τα πρηνή του ταμιευτήρα: 1) διερεύνηση πριν την κατασκευή του φράγματος επιφανειών ολίσθησης καθώς και κινηματικά ασταθών ζωνών 2) εκτίμηση του τύπου, της γεωμετρίας και της ενεργότητας αυτών των ολισθήσεων, 3) ανάλυση ευστάθειας στην περίπτωση ξαφνικής πτώσης στάθμης του ταμιευτήρα και 4) εκτίμηση του κινδύνου, πρόταση μέτρων ευστάθειας και ενόργανη παρακολούθηση των ασταθών ζωνών. Η εγγύτητα πιθανών ασταθειών στο σώμα του φράγματος καθώς και η ταχύτητα ολίσθησης των εδαφικών μαζών πρέπει επίσης να λαμβάνονται υπόψη στις παραπάνω μελέτες.

- **Απόθεση φερτών υλών κοντά στο φράγμα και στη λεκάνη κατάκλυσης**

Η δημιουργία της λεκάνης κατάκλυσης αλλάζει το υδρολογικό καθεστώς της λεκάνης και της φυσικής λειτουργίας του ποταμού με αποτέλεσμα τη συσσώρευση φερτών υλών κατά μήκος των ορίων της λεκάνης και ανάντη του φράγματος όπου εμποδίζεται η φυσική ροή του ποταμού. Επίσης, στη λεκάνη σχηματίζονται κύματα τα οποία διαβρώνουν του υπάρχοντες επιφανειακούς γεωλογικούς σχηματισμούς συμβάλλοντας στην αύξηση των ιζημάτων μέσα στη λεκάνη. Όσο αυξάνεται η ποσότητα των ιζημάτων, ο ωφέλιμος όγκος του ταμιευτήρα μειώνεται. Πριν την κατασκευή του φράγματος θα πρέπει να γίνεται εκτίμηση του ρυθμού της συσσώρευσης ιζημάτων μέσα στον ταμιευτήρα και το ποσοστό μείωσης του ωφέλιμου όγκου του ταμιευτήρα και να εκτιμάται κατά πόσο επηρεάζεται η μελλοντική λειτουργικότητά του.

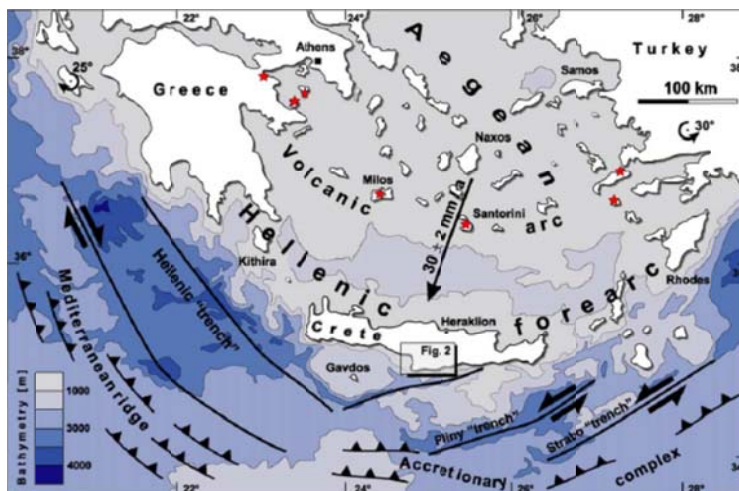
3 ΓΕΝΙΚΕΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

3.1 Γενικό γεωτεκτονικό περιβάλλον και γεωλογική εξέλιξη της ευρύτερης περιοχής

Η Κρήτη βρίσκεται 100χμ βόρεια περίπου από το μέτωπο του Μεσογειακού (Ελληνικού) τόξου, όπου η Αφρικανική πλάκα βυθίζεται κάτω από τη Ευρασιατική πλάκα και της οποίας ενεργό περιθώριο αποτελεί ο Ελληνικός χώρος. Το τόξο εκτείνεται από τη Νοτιοδυτική Πελοπόννησο, συνεχίζει στα νότια της Κρήτης και φθάνει ως το νοτιο-δυτικό άκρο της Τουρκίας. Η βύθιση της Αφρικανικής πλάκας πραγματοποιείται με διεύθυνση BBA με ταχύτητα 2,5 – 3,5 μμ/χρ. (Μουντράκης, 2010). Το Αιγαίο/Ελληνικό τόξο έχει όλα τα επί μέρους χαρακτηριστικά ενός τυπικού νησιωτικού τόξου (Μουντράκης, 2010). Το εξωτερικό άκρο του τόξου οριοθετείται από τη περιφερειακή τάφρο, η οποία αντιπροσωπεύεται από θαλάσσια βυθίσματα του Ιονίου Πελάγους, Νότια της Κρήτης και της Ρόδου, με βάθος που φθάνει τα 5.000μ. Το ιζηματογενές τόξο περιλαμβάνει τις δυτικές εξωτερικές οροσειρές της ηπειρωτικής Ελλάδας, τα Δωδεκάνησα και την Κρήτη. Ιδιαίτερα η Κρήτη έχει χαρακτηριστική μορφή πρίσματος επαύξεσης. Πίσω από το πρίσμα επαύξεσης δρουν εφελκυστικές τάσεις, έτσι ώστε να αναπτύσσεται μία τεκτονική λεκάνη (back arc basin) η οποία στον ελληνικό χώρο ταυτίζεται με το Αιγαίο πέλαγος και πιο συγκεκριμένα το Κρητικό πέλαγος. Στο εσωτερικό μέρος της λεκάνης αυτής εντοπίζεται το ηφαιστειακό τόξο που αποτελείται από τα ενεργά και Πλειο-Τεταρτογενή ηφαίστεια, της Σαντορίνης, της Μήλου, της Νισύρου, των Μεθάνων, της Κρομμυωνίας, των Λιχάδων, της Κω, της Πάτμου, της Αντιπάρου και της Ψαθούρας. Από την άποψη της γεωλογικής εξελικτικής διαδικασίας, θεωρείται ότι ο σχηματισμός του Ενεργού Ελληνικού Τόξου από το Α. Ολιγόκαινο (Meulencamp, et al., 1988) και είναι ενεργό ως σήμερα. Η νεογενής και τεταρτογενής γεωτεκτονική εξέλιξη της Κρήτης επηρεάστηκε από τη δράση του Ελληνικού τόξου, την κίνηση προς Δύση της Τουρκικής μικροπλάκας, μέσω του δεξιόστροφου ρήγματος της Ανατολίας πιέζοντας το χώρο του Αιγαίου, την υποχώρηση (roll back) της Αφρικανικής πλάκας προς Νότο, κάτω από την Ευρασιατική, με αποτέλεσμα τη δράση εφελκυστικών τάσεων με διεύθυνση B-N, (κάθετα στην διεύθυνση του τόξου) και την επέκταση και νότια-νοτιοδυτική μετατόπιση του τόξου με αποτέλεσμα τη δράση εφελκυστικών κυρίων τάσεων διεύθυνσης Α-Δ. Έτσι, από το Νεογενές έως και σήμερα, στο Νότιο Αιγαίο χώρο, επικρατεί ένα πεδίο εφελκυστικών τάσεων, πολλαπλών διευθύνσεων.

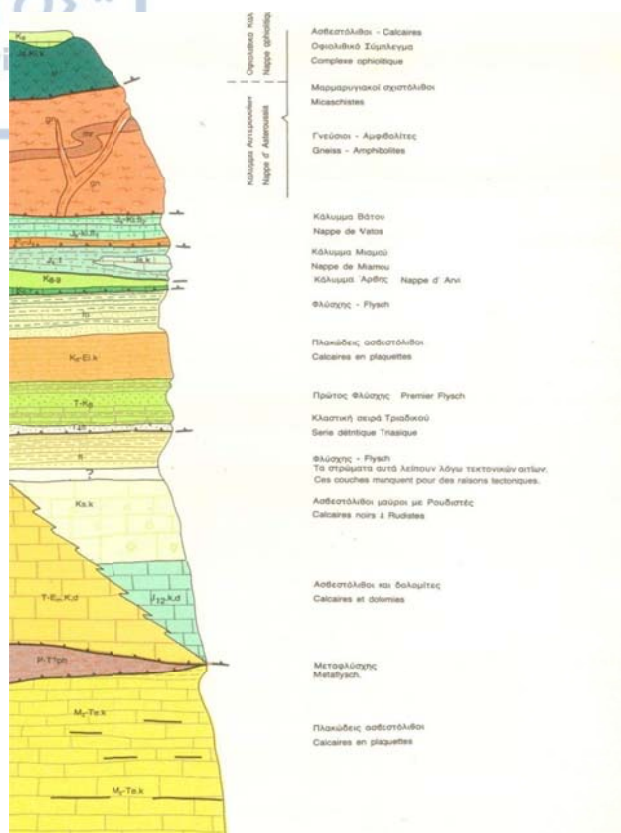
Τοπογραφικά, η Κρήτη χαρακτηρίζεται από έντονο ορεινό ανάγλυφο, το οποίο υποδηλώνει και την «νέα» και γρήγορη ανύψωσή της (Peterek & Schwarze, 2004), αποτέλεσμα της Τριτογενούς – Τεταρτογενούς τεκτονικής που δρα στον ελληνικό χώρο. Η γεωλογική δομή της Κρήτης είναι πολύπλοκη αφού σε αυτήν αποτυπώνονται τα αποτελέσματα των διαδοχικών ορογενετικών φάσεων από την Αλπική ορογένεση, (Κρητιδικό-Παλαιογενές), ως τη σύγχρονη σύγκλιση της Αφρικανικής με την Ευρασιατική πλάκα. Σε όλη τη διάρκεια των ορογενετικών φάσεων, και κυρίως από το Κρητιδικό ως και σήμερα, το ελληνικό τόξο μετατοπίζεται εξωτερικά, με επακόλουθη «μετανάστευση» των τεκτονικών φάσεων, ήτοι εναλλαγές διαδοχικών φάσεων συμπίεσης και εφελκυσμού τάσεων, στους ίδιους γεωλογικούς σχηματισμούς.

Αρχιτεκτονικά, η Κρήτη δομείται από αλεπάλληλα τεκτονικά καλύμματα τα οποία χωρίζονται από ένα μεγάλο ρήγμα αποκόλλησης (αποκαλούμενο και ως Cretan detachment fault) σε δύο μεγάλες τεκτονικές ομάδες, τα ανώτερα και τα κατώτερα τεκτονικά καλύμματα, ανάλογα με την τεκτονο-στρωματογραφική θέση – τεκτονο-μεταμορφική ιστορία τους. Ακριβώς πάνω στο ρήγμα αποκόλλησης βρίσκονται τα ανώτερα τεκτονικά καλύμματα αποτελούνται από τα μη – μεταμορφωμένα αλπικά ιζήματα των γεωτεκτονικών ζωνών Πίνδου και Γαβρόβου-Τρίπολης (Bonneau & Fleury, 1840-1842), (Creutzburg, et al., 1997), (Seidel, et al., 1982) που αποτελούν τη συνέχεια των ζωνών Πίνδου και Γαβρόβου της ηπειρωτικής Ελλάδας. Ακολουθούν τα διαδοχικά τεκτονικά καλύμματα Άρβης – Μιάμου – Βάτου, το κάλυμμα των μεταμορφωμένων (σε συνθήκες HP-LT) πετρωμάτων της ενότητας Αστερουσίων (γνεύσιοι και αμφιβολίτες) ηλικίας Α. Κρητιδικού και τέλος το οφιολιθικό κάλυμμα. Η μεικτή παρουσία των καλυμμάτων Άρβης – Μιάμου – Βάτου μαζί με τους σχηματισμούς Σπηλίου και Πρέβελη, η παρουσία υπερβασικών θραυσμάτων και η περίπλοκη εσωτερική δομή τους, είχε ως αποτέλεσμα να θεωρηθεί ότι τα τρία πρώτα καλύμματα αποτελούν μαζί με την ενότητα Σπηλίου και Πρεβελίου, τεκτονικά οφιολιθικά μελάνζ (Fassoulas, 1995). Τα καλύμματα Άρβης και Μιάμου, που αποτελούνται από φλυσχοειδείς σχηματισμούς και ασβεστόλιθους, αντίστοιχα, παρουσιάζουν μικρότερο βαθμό μεταμόρφωσης. Παρομοίως, το κάλυμμα Βάτου δομείται από μάργες και ασβεστόλιθους με βασικά και υπερβασικά κομμάτια και παρουσιάζει μικρότερο βαθμό μεταμόρφωσης (LP-LT) από την ενότητα Σπηλίου (LP-HT) και την ενότητα Πρεβελίου (HP-LT). Σύμφωνα με τον (Fassoulas, 1999) το τεκτονικό κάλυμμα Βάτου, με τα περιεχόμενα βασικά και υπερβασικά πετρώματα και ολιθοστρώματα και οι σχηματισμοί Σπηλίου και Πρεβελίου αποτελούν ένα οφιολιθικό μελάνζ.



Σχήμα 3-1: Γενική εικόνα της σύγχρονης δράσης του ελληνικού τόξου και η σχετική κατά προσέγγιση κίνηση του Αιγαίου ως προς τη σταθερή Ευρασιατική Πλάκα (Peterek & Schwarze, 2004)

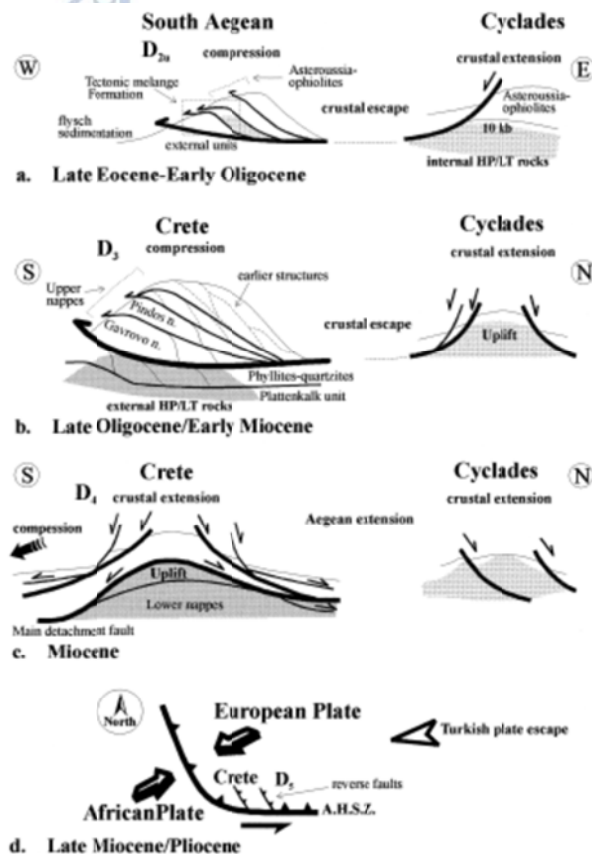
Παρακάτω, στο **Σχήμα 3-2** δίνεται η στρωματογραφική στήλη, όπως συναντάται στη ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος, όπου φαίνονται τα αλεπάλληλα τεκτονικά καλύμματα πάνω στο υπόβαθρο, που αποτελείται από τους ασβεστόλιθους PLATTENKALK.



Σχήμα 3-2: Σχηματική Στρωματογραφική ακολουθία της ευρύτερης περιοχής του έργου (Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας Φύλλο Μέλαμπες, Κλίμακα 1:50.000 (ΙΓΜΕ, 1985)).

Τα κατώτερα καλύμματα αποτελούνται από νηριτικούς πλακώδεις ασβεστόλιθους, γνωστούς ως ασβεστόλιθους PLATTENKALK, οι οποίοι πιθανόν να ανήκουν στην Αδριατικοϊόνιο Γεωτεκτονική ζώνη και μια σειρά φυλλιτικών-χαλαζικών πετρωμάτων χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης. Τα πετρώματα είναι μεταμορφωμένα σε συνθήκες υψηλής πίεσης-χαμηλής θερμοκρασίας (HP-LT), ηλικίας Α. Ολιγοκαίνου/ Κ. Μειοκαίνου (Seidel, et al., 1982). Η μεταμόρφωση των κατώτερων τεκτονικών καλυμμάτων είναι σύγχρονη με τη μεταβολή της διεύθυνσης συμπίεστικών τάσεων στη Κρήτη και τη μετακίνηση προς νότον, όλων των τεκτονικών καλυμμάτων. Αυτή η μεταβολή πιθανόν να οφείλεται σε ξαφνική αλλαγή της σχετικής κίνησης της Απουλίας προς την Ευρασιατική πλάκα, η οποία κατά το Ολιγόκαινο έγινε δεξιόστροφη. (Fassoulas, 1999; Dercourt, et al., 1986). Σύμφωνα με τον (Fassoulas, 1999) στην Κρήτη έδρασαν διαδοχικές τεκτονικές φάσεις κατά την Αλπική ορογένεση, οι οποίες φαίνονται στο **Σχήμα 3-3**, με αποτέλεσμα τη σύνθετη παραμόρφωση και γεωλογικών σχηματισμών που χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένες δομές και φάσεις μεταμόρφωσης. Κατά τη τεκτονική φάση D2, γίνεται μετατόπιση προς Δύση των ανώτερων τεκτονικών καλυμμάτων, μέσω μεγάλων επωθητικών ζωνών και ταυτόχρονα παραμορφώθηκε υπό συνθήκες HP-LT το τεκτονικό κάλυμμα Αστερουσίων. Η τεκτονική φάση φαίνεται να έδρασε μεταξύ Α.Κρητιδικού και Α.Ολιγοκαίνου. Κατά την επόμενη τεκτονική φάση D3, που τοποθετείται στο Κ.Ολιγόκαινο – Α.Μειόκαινο, τα ανώτερα τεκτονικά καλύμματα επωθούνται πάνω στα κατώτερα τεκτονικά καλύμματα με διεύθυνση προς Νότο δημιουργώντας μία «στοίβα» τεκτονικών καλυμμάτων και πάχυνση του ηπειρωτικού φλοιού. Τα κατώτερα

Τεκτονικά καλύμματα παραμορφώνονται σε συνθήκες HP-LT (Πιθανότατα αυτή η προς Νότο δράση των συμπίεστικών τάσεων να σχετίζεται με την έναρξη δράσης του Ελληνικού τόξου).



Σχήμα 3-3: Προτεινόμενη θεωρεία για την τεκτονική εξέλιξη του Νότιου Αιγαίου – Κρήτης σε σχέση με την τεκτονική εξέλιξη των Κυκλάδων από το τέλος του Ηωκαίνου έως το Μειόκαινο-Πλειόκαινο, όπου D1-D5 είναι οι τεκτονικές φάσεις Εφελκυσμού και συμπίεσης που έδρασαν στον ελληνικό χώρο (Fassoulas, 1999).

Για τη γεωτεκτονική εξέλιξη του Ελληνικού τόξου κατά το Νεογενές και Τεταρτογενές υπάρχουν πολλές θεωρίες. Φαίνεται πάντως ότι αυτό το διάστημα δρούσαν στην Κρήτη τόσο εφελκυστικά όσο και συμπίεστικά πεδία τάσεων. Γενικά αναγνωρίζονται τρεις κύριες τεκτονικές φάσεις (van Hinsbergen & Meulencamp, 2006): 1) Κατά το Α.- Μ. Μειόκαινο επικρατούσε εφελκυσμός με διεύθυνση Β-Ν. Αυτή την περίοδο δρούσε το ρήγμα αποκόλλησης της Κρήτης με μετατόπιση των ανώτερων καλυμμάτων προς Βορρά και εμφάνιση των κατώτερων τεκτονικών καλυμμάτων στο κάτω τέμαχος. 2) Από το Α. Μειόκαινο και μετά, όπου το Ελληνικό τόξο μετατοπίζεται προς Νότο, η Κρήτη υφίστανται εφελκυσμό με διεύθυνση Α-Δ με αποτέλεσμα την διάνοιξη του Κρητικού πελάγους βόρεια της Κρήτης. Ταυτόχρονα αναπτύσσονται πτυχές και επωθητικά ρήγματα με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ που πιθανόν να οφείλονται στην νοτιοδυτική κίνηση της Αιγαικής πλάκας πάνω από την, βορειοδυτικά κινούμενη Αφρικανική πλάκα. 3) Κατά το Πλειόκαινο τα κύρια τασικά πεδία είναι εφελκυστικά με αποτέλεσμα την ανάδυση της Κρήτης ενώ φαίνεται να κλίνει προς Βορρά, πιθανό ως αποτέλεσμα της σύγκρουσης του δυτικού άκρου της Κρήτης με την

Αφρικανική πλάκα. Κατά τον (Fassoulas, 2001) από το Μ. Πλειόκαινο αναπτύσσονται ρήγματα διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ ως αποτέλεσμα του διάχυτου εφελκυσμού

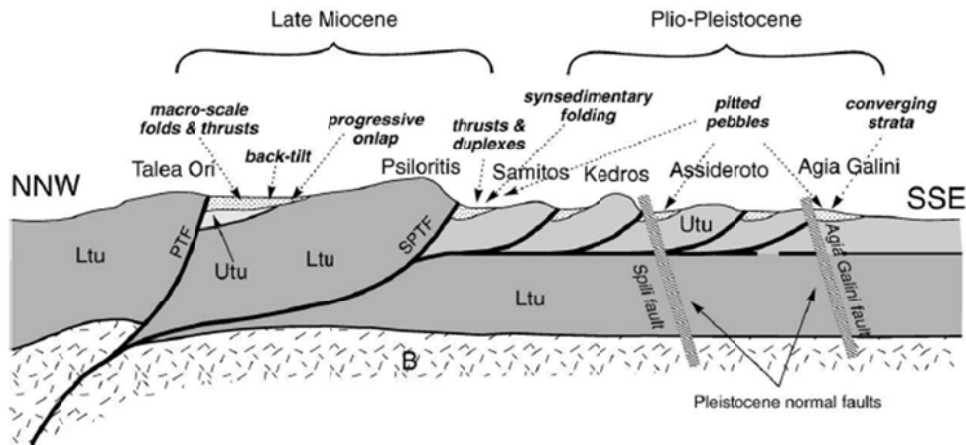
Κατά τον (Meulencamp, et al., 1988) η νοτιοδυτική υποχώρηση του Ελληνικού τόξου δημιουργήθηκε ένα εφελκυστικό πεδίο τάσεων στην Αιγαιακή λιθόσφαιρα με αποτέλεσμα την ανάπτυξη διατμητικών ζωνών μικρής γωνίας κλίσης προς Νότο, εκ των οποίων μία από αυτές είναι το μεγάλο (Κρητικό) ρήγμα αποκόλλησης το οποίο κινείται προς Νότο. Στο πίσω μέρος του ρήγματος αποκόλλησης, ο εφελκυσμός που επικρατεί δημιουργεί το κρητικό πέλαγος. Στο εμπρόσθιο τμήμα του ρήγματος επικρατεί συμπίεση (πιθανόν λόγω της σχετικής κίνησης των δύο πλακών). Η τοποθεσία της Κρήτης στο νοτιότερο άκρο της ανώτερης πλάκας που κινείται προς Νότο μπορεί να εξηγήσει τις επεκτατικές και συμπιεστικές δομές που δημιουργήθηκαν. Έτσι κατά τις περιόδους κίνησης της ανώτερης πλάκας ΒΑ-ΝΔ και ΒΒΑ-ΝΝΔ συμπιεστικές δυνάμεις προκαλούν πτύχωση των προ-Νεογενών σχηματισμών και τη δράση αναστροφών ρηγμάτων. Παράλληλα αναπτύχθηκαν ρήγματα αριστερόστροφα διεύθυνσης Α-Δ και δεξιόστροφα διεύθυνσης ΒΒΑ-ΝΝΔ πλάγιας μετατόπισης. Η κάμψη των νεογενών ιζημάτων σε σύγκλινα και η δράση κανονικών και πλάγιας μετατόπισης ρηγμάτων δημιούργησε τις Νεογενείς λεκάνες. Η πτύχωση και η δράση επωθήσεων στο νοτιότερο άκρο της πλάκας προκάλεσε ολική ανύψωση στην Κρήτη, η οποία είναι εντονότερη στο νότιο τμήμα της. Κατά τις περιόδους που δεν υφίσταται μετακίνηση των πλακών επικρατεί εφελκυσμός πολλαπλών διευθύνσεων.

Σύμφωνα με τους (L. Tortorici, 2010) στην κεντρική Κρήτη κατά το διάστημα Μ.Μειόκαινο-Α. Πλειστόκαινο, οι επικρατούσες τάσεις είναι συμπιεστικές με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ ως ΒΒΑ-ΝΝΔ, οι οποίες σχετίζονται με τη δράση του Ελληνικού τόξου και δημιουργούν ένα σύστημα επωθήσεων το οποίο μετατοπίζεται προς ανατολικά. Τα πιο σημαντικά επωθητικά ρήγματα που σχετίζονται με το υπόψη τασικό πεδίο συμπίεσης είναι τα ρήγματα που οριοθετούν τις ορεινές μάζες των κορυφών Ασιδέρωτο, Κέδρος και Σάμιτος, καθώς και το Ανατολικό ρήγμα του Ψειλορείτη όπως δείχνει το **Σχήμα 3-4**. Το τελευταίο, που είναι μεγάλου βάθους, επηρεάζει τα πετρώματα των κατώτερων τεκτονικών καλυμμάτων, βρίσκεται βορειότερα και είναι μάλλον το παλαιότερο από τα προαναφερθέντα, ήτοι, ηλικίας Ανω Μειοκαίνου (L. Tortorici, 2010). Ακολουθούν τα τρία μεταγενέστερα ρήγματα που είναι ενεργά κατά το Πλειόκαινο και επηρεάζουν τις γεωλογικές ενότητες, της ζώνης Πίνδου, προκαλώντας επανάληψη των ασβεστολίθων, που δομούν τις κορυφές Ασιδέρωτο, Κέδρος και Σάμιτος και του φλύσχη της ενότητας Εθιάς και παραμόρφωση και πτύχωση των νεογενών ιζημάτων που αποτίθενται μπροστά από αυτές τις συμπιεστικές δομές. Τα αναφερθέντα επωθητικά ρήγματα, διακόπτονται από κανονικά ρήγματα που δρουν κατά το Πλειστόκαινο κυρίως, ως αποτέλεσμα του εφελκυσμού που επικρατεί στην Κρήτη κατά το Τεταρτογενές (όπως το ρήγμα του Σπηλίου και της Αγίας Γαλήνης που αναφέρονται παρακάτω).

Σημαντικά ρήγματα που έδρασαν στην ευρύτερη περιοχή μελέτης, είναι το ρήγμα Αμαρίου το οποίο δημιούργησε ιζηματογενή λεκάνη όπου αποτίθενται Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα, πάχους μεγαλύτερου των 400μ (Doutsos & Kokkalas, 2001). Το ρήγμα Αμαρίου έχει διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ και έχει κλίση 75° προς ΝΔ. Το ρήγμα αυτό είναι απόρροια μιας φάσης εφελκυσμού κάθετης στο τόξο, η οποία ήταν ενεργή από το Α.Μειόκαινο, και χαρακτηρίζεται από τη δράση α) κανονικών ρηγμάτων διεύθυνσης ΔΒΔ-ΑΝΑ και β) ρηγμάτων μετασχηματισμού διεύθυνσης ΑΒΑ και κατά την οποία δημιουργήθηκαν μεγάλες νεογενείς ιζηματογενείς λεκάνες διεύθυνσης ΔΒΔ-ΑΒΑ (Doutsos & Kokkalas, 2001).

Κατά το τεταρτογενές δρουν σε όλη τη Κρήτη, εφελκυστικές τάσεις, κάθετα και παράλληλα στο Αιγαίο τόξο. Τα πιο σημαντικά ρήγματα στην ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος που σχετίζονται με τα τεταρτογενή εφελκυστικά πεδία τάσεων είναι το ρήγμα Σπηλίου και το ρήγμα Αγίας Γαλήνης. Το ρήγμα Αγίας Γαλήνης, διεύθυνσης Α-Δ, περίπου, διαχωρίζει τις τεταρτογενείς αλουβιακές αποθέσεις της λεκάνης της Μεσσάρας από το Πλειο-Πλειστοκαινικό σχηματισμό της Αγίας Γαλήνης (AGF). Το ρήγμα αυτό συνεχίζεται προς τη θάλασσα, παράλληλα στην ακτογραμμή. Το ρήγμα Σπηλίου διατρέχει τους νότιους πρόποδες της ορεινής μάζας Κέδρου με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ, κλίση 60-70° προς Νότο και μήκος 25km περίπου.

Σύμφωνα με τον (Caruto, et al., 2010), οι σύγχρονες εφελκυστικές τάσεις που δρουν παράλληλα στο Αιγαίο τόξο, ενεργούν ομοιόμορφα σε όλη τη Κρήτη, δημιουργώντας ρήγματα διεύθυνσης ΒΒΑ-ΝΝΔ. Τα ρήγματα αυτά σχετίζονται με σεισμούς μεγέθους $M=6.0-6.5$ ($M_{max} \approx 6.2-6.7$) και χαρακτηρίζονται από ρυθμό μετακίνησης κυμαινόμενο μεταξύ 0.3 και 1.3 mm a⁻¹. Τα εφελκυστικά πεδία τάσεων με διεύθυνση κάθετη στο τόξο, που γεννά ρήγματα διευθύνσεως ΔΒΔ-ΑΝΑ, επιδρά περισσότερο στο νότιο τμήμα του νησιού, με διαφορετική συμπεριφορά στο αριστερό και το δεξί τμήμα του, αντίστοιχα. Στο ανατολικό τμήμα του χαρακτηρίζεται από ρυθμούς ολίσθησης (slip-rates) μεγέθους 0.6–1.3 mm a⁻¹ και μπορεί να προκαλέσει σεισμούς μεγέθους $M \approx 6.7$ ($M_{max} \approx 7$). Στο δυτικό τμήμα του νησιού, τα ΔΒΔ-ΑΝΑ κανονικά ρήγματα παρουσιάζουν ενεργότητα μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια Ολοκαίνου, ήτοι ο ρυθμός ολίσθησης έχει εύρος 0,6 – 5.8mm a⁻¹ και σχετίζεται με ισχυρότερους σεισμούς $M=6.3-6.8$ ($M_{max} \approx 6.5-7.1$). Επιπλέον, οι συμπίεστικές δυνάμεις λόγω βύθισης της Αφρικανικής πλάκας εκδηλώνονται με ρήγματα εφίππευσης, υποθαλάσσια, στο Δυτικό άκρο της Κρήτης με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και φορά ΒΑ. Τα ρήγματα αυτά συνδέονται με ισχυρότερους σεισμούς ($M=7,5$) ενώ χαρακτηρίζονται από διαστήματα επανάληψης της τάξης δεκάδων χιλιάδων χρόνων.



Σχήμα 3-4: Σχηματική Τομή στην Κεντρική Κρήτη που δείχνει την Πλειοκαινική – Πλειστοκαινική μετατόπιση του συστήματος εσωτερικών (imbricate) επωθήσεων. (Utu, Ltu: Ανώτερα και Κατώτερα Τεκτονικά καλύμματα – SPTF: Επωθητικό Ρήγμα Νοτίου Ψηλορείτη – PTF: Επωθητικό Ρήγμα Ψηλορείτη)(L. Tortorici, 2010).

Από όλα τα παραπάνω παρατεθέντα φαίνεται ότι η υπό εξέταση ευρύτερη περιοχή του έργου έχει υποστεί έντονες συνεχιζόμενες και εναλλασσόμενες τεκτονικές διεργασίες, οι

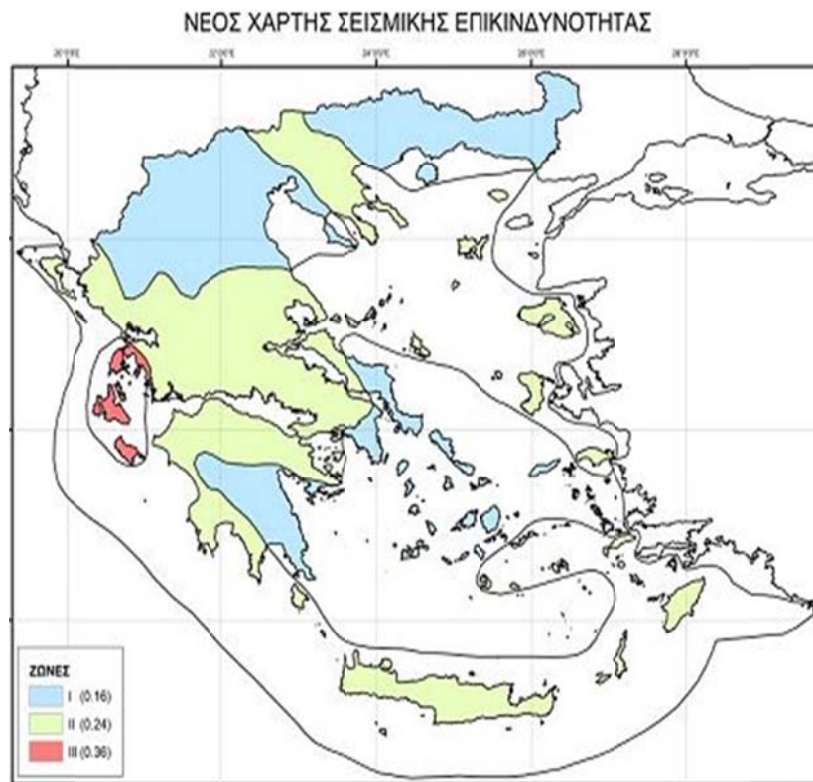
οποίες έχουν μεγάλη επίδραση στη λεπτομερή γεωλογική δομή και στην Ιδιαίτερα σημαντικό είναι και το γεγονός ότι οι παραπάνω αναφερθείσες τεκτονικές διεργασίες συνεχίζονται ακόμα και σήμερα, γεγονός που επιβεβαιώνεται από την σχετικά μεγάλη σεισμικότητα της ευρύτερης περιοχής της Κρήτης.

3.2 Σεισμικότητα

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ2000) (ΦΕΚ2184Β΄/20-12-1999) και την τροποποίηση του (ΦΕΚ1154Β΄/12-8-2003), η Ελλάδα διακρίνεται σε 3 ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας (Ζώνες Ι,ΙΙ,ΙΙΙ). Όπως φαίνεται και στο νέο Χάρτη Σεισμικής επικινδυνότητας η περιοχή μελέτης που βρίσκεται στη περιφέρεια Κρήτης ανήκει στη ζώνη ΙΙ όπου ο συντελεστής επιτάχυνσης έχει τιμή $\alpha=0,24$. Η μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση λόγω σεισμού υπολογίζεται από τον τύπο $A=\alpha \cdot g$ όπου:

- g = η επιτάχυνση της βαρύτητας ($9,81 \text{ m/sec}^2$)
- $\alpha=0,24$ ο συντελεστής επιτάχυνσης στη ζώνη ΙΙ

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί του υποβάθρου, ήτοι ο ιλουλιθικός και ο ψαμμιτικός φλύσχης που απαντώνται στην περιοχή κατατάσσονται στη στην κατηγορία Β βάσει του ΕΑΚ2000.



Σχήμα 3-5: Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας (ΕΑΚ 2000) με την περιοχή του έργου.

4 ΕΚΤΕΛΕΣΘΕΙΣΕΣ ΓΕΩΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗΝ ΣΤΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

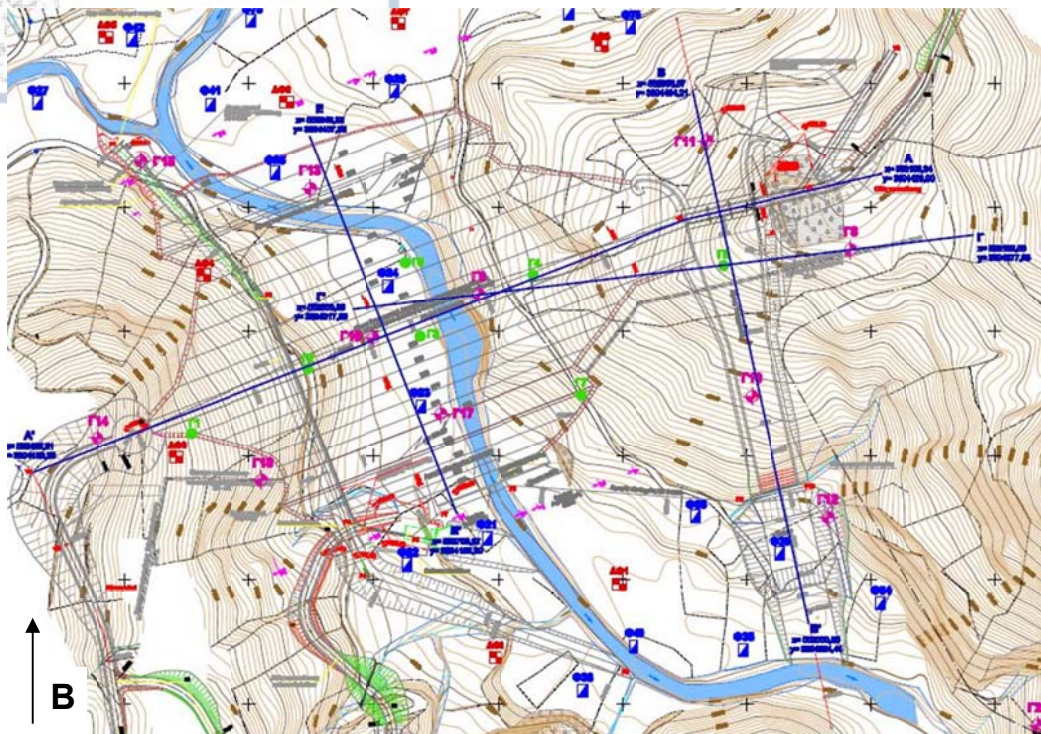
Στην στενή περιοχή του φράγματος και των συνοδών του έργων, εκτέλεστηκαν δύο φάσεις γεωερευνητικών προγραμμάτων για την διερεύνηση των γεωλογικών, υδρογεωλογικών και γεωτεχνικών συνθηκών.

Κατά την πρώτη φάση της εκτέλεσης των διερευνητικών εργασιών (2010), το πρόγραμμα ήταν περιορισμένο και αποτελείτο από επτά (αρ.7) ερευνητικών δειγματοληπτικών γεωτρήσεων (με κωδικούς αριθμούς από Γ1 έως και Γ7) κατά μήκος του άξονα του φράγματος και κάθετα προς αυτόν. Κατά τη διάρκεια της διάτρησης των υπόψη γεωτρήσεων είχαν πραγματοποιηθεί και επί τόπου δοκιμές, όπως δοκιμές διαπερατότητας στους σηναντηθέντες γεωλογικούς σχηματισμούς. Ειδικότερα, είχαν εκτελεσθεί τριάντα (αρ. 30) δοκιμές σταθερού φορτίου (τύπου LEFRANC), τριάντα δύο (αρ. 32) δοκιμές πίπτοντος φορτίου (τύπου MAAG) και δύο (αρ. 2) δοκιμές εισπίεσεως νερού με την χρήση παρεμβυσμάτων (τύπου LUGEON), των οποίων οι υπολογισθείσες τιμές διαπερατότητας είναι γνωστές. Επιπλέον των παραπάνω, αποσπασματικά ορισμένα από τα στοιχεία των γεωλογικών σχηματισμών που διατρήθηκαν σε αυτές τις ερευνητικές γεωτρήσεις, όπως επίσης και οι στάθμες υπόγειου νερού στα σημεία των γεωτρήσεων είναι γνωστά.

Πίνακας 4-1: Κωδικοί γεωτρήσεων και θέση διάνοιξής τους στο έργο.

Κωδικοί Γεωτρήσεων κύριας φάσης ερευνών	Θέση διάνοιξής τους στο έργο
Γ8, Γ9, Γ10, Γ11	Αριστερό αντέρεισμα φράγματος, περιοχή υπερχειλιστή, κατολίσθηση
Γ12	Λεκάνη καταστροφής ενέργειας υπερχειλιστή (Λ.Κ.Ε.Υ.)
Γ13, Γ16, Γ17	Θεμελίωση Φράγματος
Γ14	Δεξί αντέρεισμα φράγματος
Γ18	Είσοδος σήραγγας αποστράγγισης δεξιού αντερείσματος
Γ15	Θεμελίωση πύργου υδροληψίας

Κατά την κύρια φάση εκτέλεσης των γεωτεχνικών ερευνών για τη διερεύνηση των συνθηκών στην περιοχή θεμελίωσης του φράγματος και των συνοδών έργων (Προμελέτη Φράγματος), πραγματοποιήθηκαν έντεκα (αρ. 11) ερευνητικές δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, με κωδικούς από Γ8 έως Γ18, συνολικού μήκους 382m. Για την διάτρησή τους, χρησιμοποιήθηκαν περιστροφικά γεωτρήματα τύπου BOYLES, δειγματολήπτης αποτελούμενος από, μονή καροταρία διαμέτρου Φ117mm με κοπτικό άκρο από widia, καροταρία διπλών τοιχωμάτων διαμέτρων T101mm και κοπτικό άκρο από διαμάντι καθώς και για μεγάλο μήκος διάτρησης, διαιρούμενη διπλή καροταρία T-6S διαμέτρου 101mm και 86mm και βαθμιδωτό κοπτικό άκρο από διαμάντι (τύπου STEP). Η δειγματοληψία των σηναντηθέντων γεωλογικών σχηματισμών ήταν συνεχής και τα δείγματα (πυρήνες γεωτρήσεων) τοποθετήθηκαν σε ειδικά ξύλινα κιβώτια. Τα ειδικά δείγματα τα οποία υποβλήθηκαν σε εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής και βραχομηχανικής τοποθετήθηκαν σε ελαστική μεμβράνη, ώστε να διατηρηθούν τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά τους.



Σχήμα 4-1: Θέσεις εκτέλεσης των ερευνητικών δειγματοληπτικών γεωτρήσεων στην περιοχή του φράγματος και των συνοδών του έργων (από την οριζοντιογραφία του φράγματος Πλατύ της Έκθεσης παρουσίασης και αξιολόγησης αποτελεσμάτων των γεωτεχνικών Ερευνών, Φύλλο 2 κλίμακα 1:2000)

Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των γεωτρήσεων με κωδικούς από Γ8 έως και Γ18, εκτέλέστηκαν επί τόπου δοκιμές και λήφθηκαν ειδικά δείγματα τα οποία μεταφέρθηκαν σε εργαστήριο εδαφομηχανικής και βραχομηχανικής και επί αυτών εκτελέστηκαν εργαστηριακές δοκιμές, ως εξής:

Επί τόπου δοκιμές:

1. Δοκιμές πρότυπης διεισδύσεως (SPT) ανά δύο μέτρα διάτρησης εδαφικού υλικού σύμφωνα με την, προβλεπόμενη από τους κανονισμούς, διαδικασία εκτέλεσης της δοκιμής επί τόπου. Συνολικά γίνανε σαράντα έξι (αρ. 46) δοκιμές, σε αλλουβιακούς και κολουβιακούς σχηματισμούς, στο μανδύα αποσάθρωσης του φλύσχη και τον διατμημένο ιλυολιθικό φλύσχη. Λόγω της βραχώδους σύστασης των σχηματισμών, στο 65% των δοκιμών παρουσιάστηκε άρνηση διείσδυσης (ήτοι μήκος διείδυσης μικρότερο από 50 εκατοστά για αριθμό κύτπων πάνω από πενήντα (αρ. 50)). Το υπόλοιπο 35% των δοκιμών αφορά κυρίως σε αλουβιακούς σχηματισμούς και στο μανδύα αποσάθρωσης. Τα αποτελέσματα των δοκιμών πρότυπης διεισδύσεως δίνονται και αξιολογούνται παρακάτω τους επιφανειακούς σχηματισμούς ενώ για τους σχηματισμούς του βραχώδους υποβάθρου δεν λαμβάνονται υπόψη.
2. Μετρήσεις στάθμης υπόγειου ύδατος. Κατά την εκτέλεση των γεωτρήσεων ελήφθησαν μετρήσεις της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα με ηλεκτρικό σταθμήμετρο, μία

φορά μετά το τέλος των εργασιών (βραδινή στάθμη) και μία φορά το πρωί πριν την έναρξη των εργασιών (πρωινή στάθμη). Στις γεωτρήσεις από Γ12 έως και Γ18 τοποθετήθηκαν πιεζόμετρα ανοικτού τύπου και στα οποία μετρήθηκαν οι στάθμες του υπόγειου νερού για χρονικό διάστημα περίπου τριών μηνών (τέλη Ιουλίου με αρχές Νοεμβρίου) στις γεωτρήσεις Γ12, Γ13, Γ14 και Γ16 ή μερικών ημερών (τέλη Οκτωβρίου με αρχές Νοεμβρίου) στις γεωτρήσεις Γ15 και Γ18.

3. Επιτόπου δοκιμές διαπερατότητας. Συμπεριλαμβανομένων και των δοκιμών διαπερατότητας που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια προγενέστερης φάσης εκτέλεσης γεωερευνητικών εργασιών, εκτελέστηκαν συνολικά, τριάντα μία (αρ. 31) δοκιμές σταθερού φορτίου (τύπου LEFRANC), εβδομήντα εννέα (αρ. 79) δοκιμές πίπτοντος φορτίου (τύπου MAAG) και οκτώ (αρ. 8) δοκιμές εισπίεσης τμήματος γεώτρησης με παρεμβύσματα (τύπου LUGEON). Γενικά στην περιοχή διατρήθηκαν ως επί το πλείστον σχηματισμοί χαμηλής έως μέτριας και χαμηλής ως πολύ χαμηλής διαπερατότητας. Στο δεξί αντέρεισμα της θέσης του φράγματος, και ειδικότερα στη γεώτρηση Γ16 παρατηρήθηκε αρτεσιανισμός, μέσα στον εδαφοποιημένο ιλυόλιθο. Στη γεώτρηση Γ14 μέσα σε ψαμμίτη, παρατηρήθηκαν ολικές απώλειες νερού. Τα αποτελέσματα και η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων δίνονται στην επόμενη παράγραφο.
4. Τέλος, στις γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο αριστερό αντέρεισμα της θέσης του φράγματος (από την Γ8 έως και την Γ11) τοποθετήθηκαν κλισιομετρικοί σωλήνες, ώστε να διασαφηνιστεί αν υπάρχουν ενεργές εδαφικές μετακινήσεις – κατολίσθηση. Ελήφθη μέτρηση βάσης με την ολοκλήρωση κάθε γεώτρησης και την εγκατάσταση του κλισιομέτρου και στη συνέχεια λήφθηκαν άλλες δύο σειρές μετρήσεων στα κλισιόμετρα σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

Εργαστηριακές δοκιμές:

Τα αποληφθέντα δείγματα περιελάμβαναν, τόσο επιφανειακούς σχηματισμούς του χαλαρού εδαφικού επικαλύμματος, όσο και σχηματισμούς του αλπικού φλυσχικού υποβάθρου. Οι δοκιμές που εκτελέστηκαν στο εργαστήριο ήταν οι εξής:

1. Δοκιμές κατάταξης Εδαφομηχανικής (κοκκομετρήσεις / όρια Atterberg) για να γίνει ταξινόμηση του εδαφικού σχηματισμού. Συνολικά εκτελέστηκαν εβδομήντα οκτώ (αρ. 78) δοκιμές κοκκομετρήσεων και εβδομήντα έξη (αρ. 76) δοκιμές προσδιορισμού των ορίων Atterberg (υδαρότητας και πλαστικότητας).
2. Δοκιμές προσδιορισμού φυσικών ιδιοτήτων (μοναδιαίο βάρος, φυσική υγρασία, ξηρό και φαινόμενο βάρος)
3. Δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης εδαφικών σχηματισμών. Για τον προσδιορισμό των παραμέτρων αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη των εδαφικών σχηματισμών που απαντήθηκαν, εκτελέστηκαν συνολικά δεκαεπτά (αρ. 17) δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης και αφορούν στον εδαφοποιημένο ιλυόλιθο και τον αποσαθρωμένο μανδύα του φλύσχη.
4. Δοκιμές μοναξονικής θλίψης βραχωδών σχηματισμών. Συνολικά εκτελέστηκαν τέσσερις (αρ. 4) και εννέα (αρ. 9) δοκιμές μονοαξονικής θλίψης σε δοκίμια ιλυολίθου και ψαμμίτη αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα και η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων δίνονται παρακάτω στο κεφάλαιο 5 για κάθε επί μέρους σχηματισμό.
5. Δοκιμές άμεσης διάτμησης. Συνολικά εκτελέστηκαν δύο (αρ. 2) δοκιμές άμεσης διάτμησης (CD) σε κιβώτιο διάτμησης, μία στον μανδύα αποσάθρωσης και μία στους

- αλουβιακούς σχηματισμούς προκειμένου να καθοριστούν οι τιμές αντοχής, ήτοι της συνοχής c και της γωνίας τριβής ϕ . Τα αποτελέσματα δίνονται παρακάτω.
6. Δοκιμές μονοδιάστατης στερεοποίησης. Μόνο μία δοκιμή μονοδιάστατης συμπίεσης (δοκιμή οιδιμέτρου) εκτελέσθηκε σε δοκίμιο αλουβιακού σχηματισμού για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών συμπεσσιμότητας του σχηματισμού.
 7. Δοκιμές σημειακής φόρτισης σε βραχώδεις σχηματισμούς. Σε δοκίμια άρρηκτου βράχου, ασβεστολίθου, ιλυολίθου και ψαμμίτη, του αλπικού υποβάθρου, εκτελέσθηκαν συνολικά πέντε (αρ. 5), δεκατρείς (αρ. 13) και είκοσι (αρ. 20) δοκιμές σημειακής φόρτισης, αντίστοιχα, και προσδιορίστηκαν οι τιμές του συντελεστή αντοχής τους για τον επί πλέον προσδιορισμό της αντοχής ανεμπόδιστης θλίψης των βραχωδών σχηματισμών.
 8. Δοκιμές αντοχής θλίψης κατά γενέτειρα (Brazilian tests). Σε βραχώδη δείγματα, ενός ιλυολιθικού και ενός ψαμμιτικού, σχηματισμών αντίστοιχα, πραγματοποιήθηκαν δύο (αρ. 2) δοκιμές κατά γενέτειρα (Brazilian tests) και τα αποτελέσματα των τιμών εφελκυστικής αντοχής παρατίθενται στα παρακάτω κεφάλαια.

5 ΓΕΝΙΚΕΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΣΤΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

5.1 Γενικά

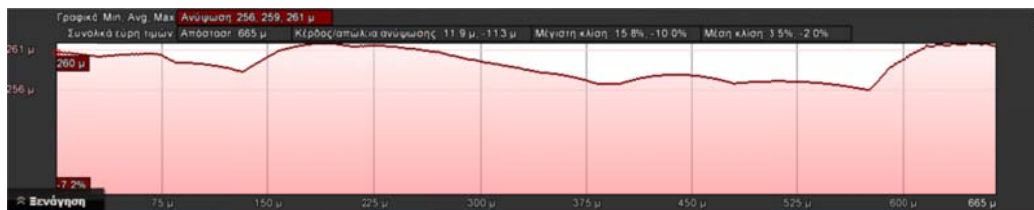
Η περιοχή του φράγματος και του ταμιευτήρα (περιοχή ενδιαφέροντος), τοποθετείται στο κεντρικό/νότιο ανατολικό τμήμα του Νομού Ρεθύμνου, στην κοιλάδα του ποταμού που ονομάζεται Πλατύς, και αναπτύσσεται ανάμεσα από τους δυτικούς πρόποδες του όρους Ψηλορείτη και των ορεινών μαζών Κέδρου (1776m) και Σάμιτου (1013m). Αναλυτικότερα, η κατάσταση των επί μέρους συνθηκών έχει ως εξής:

5.2 Γεωμορφολογία

Το ανάγλυφο της περιοχής ενδιαφέροντος είναι ήπιο και λοφώδες, με υψόμετρα που κυμαίνονται μεταξύ 255μ στο επίπεδο του ποταμού και φθάνουν έως και 1000m και άνω στις κορυφές των γύρω υψωμάτων. Η θέση του υπό μελέτη φράγματος (άξονας) τοποθετείται κατάντη του σημείου συμβολής των ρεμάτων Λυγιώτη (διεύθυνσης ΒΔ) και Γενιανό (διεύθυνσης, αρχικά ΝΔ) και ακολούθως ΒΔ του ίδιου του Πλατέος ποταμού, του οποίου ο κύριος κορμός στη συνέχεια έχει διεύθυνση περίπου Β-Ν και εκβάλλει στη παραλία της Αγίας Γαλήνης, στο νότιο τμήμα του Νομού Ρεθύμνου. Ο Πλατύς ποταμός αποστραγγίζει τη κοιλάδα Αμαρίου και την ορεινή ασβεστολιθική μάζα Σάμιτος. Το πλάτος και το βάθος της κοίτης του είναι σχετικά μικρό, ενώ η κοιλάδα του αποτελείται από ομαλές κλιθείς μικρής σχετικά κλίσης. Τα αντερείσματα εκατέρωθεν του ποταμού στη θέση θεμελίωσης του φράγματος, έχουν σχετικά μικρή κλίση (περίπου 11° - 14°) και ομαλό ανάγλυφο ενώ η κλίση στο δεξί αντέρεισμα είναι ελάχιστα μεγαλύτερη (κυμαίνεται μεταξύ 12° - 14°) από το αριστερό. Τοπικά κατάντη της θέσης του φράγματος η κοιλάδα γίνεται απότομη με δημιουργία στενωμάτων και φαραγγίων. Η μορφολογική τομή κατά μήκος της κοίτης του ποταμού είναι σχετικά ανώμαλη, πιθανόν λόγω της ύπαρξης ρηγμάτων και διαφορικής διάβρωσης των πετρωμάτων της κοίτης, καθώς και διαφορικής διάβρωσης των τεκτονικών δομών που

υπάρχουν σε αυτά (βλ. σχ. 5-1 παρακάτω) Η πορεία του επηρεάζεται κυρίως από τις τεκτονικές δομές της περιοχής, όπως π.χ το ρήγμα που οριοθετεί την ορεινή μάζα Σάμιτος. Σε γενικές γραμμές ακολουθεί ευθυτενή πορεία ενώ τοπικά σχηματίζει ανοιχτούς μαιάνδρους.

Ο κύριος κορμός του κοίτης του ποταμού αναπτύσσεται κατά βάση σε ιλυόλιθους και ψαμμίτες του φλύσχη της Ενότητας Εθιάς (Φλύσχη Πίνδου). Επιπλέον διασχίζει την κοιλάδα Αμαρίου, η οποία αποτελείται από κροκαλοπαγή, ψαμμίτες, ασβεστόλιθους κλπ, ιζήματα λιμναίας ηλικίας του Μειοκαινού. Το ρέμα Λυγιώτης αναπτύσσεται κυρίως στο φλύσχη Εθιάς ενώ διασχίζει επίσης και τους ασβεστόλιθους της ενότητας Πίνδου και Τρίπολης και τους σχηματισμούς του τεκτονικού καλύμματος Βάτου.



Σχήμα 5-1: Μορφολογική τομή κατά μήκος της κοίτης του ποταμού όπως προκύπτει από Google Earth 2015.

5.3 Στρωματογραφία

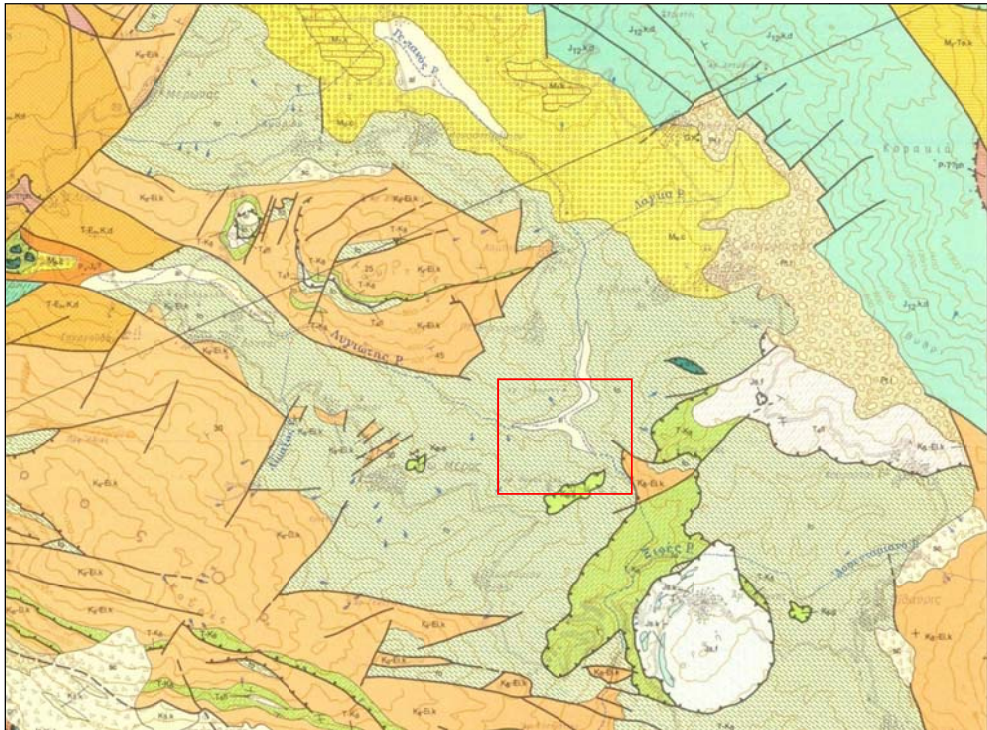
Στο **Σχήμα 5-2** παρακάτω, φαίνεται απόσπασμα του σχετικού γεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ, φύλλο Μέλαμπες, σε κλίμακα 1:50.000 και στο **Σχήμα 5-3** φαίνεται αντίστοιχα, η χαρακτηριστική γενική γεωλογική τομή, στην ίδια κλίμακα. Όπως φαίνεται και στο απόσπασμα του υπομνήματος του γεωλογικού χάρτη στο **Σχήμα 5-4**, η υπόψη περιοχή ενδιαφέροντος δομείται από τους εξής σχηματισμούς (ξεκινώντας από τον παλιότερο προς το νεότερο):

5.3.1 Σχηματισμοί της σειράς Πίνδου:

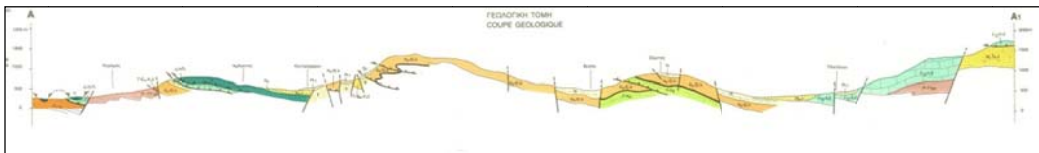
α) **Κλασική σειρά Ανω Τριαδικού (Κάρνιο)**, η οποία αποτελείται από εναλλαγές ψαμμιτών σε λεπτούς πάγκους με θραύσματα φυτών και σκοτεινότεφων μαργών με "Filaments" ενώ υπάρχουν και μερικοί πάγκοι ανοικτότεφων ασβεστολίθων με κίτρινο επίχρισμα που περιέχουν Κωνόδοντα. Εμφανίζονται ως τεκτονικό παράθυρο στην αριστερή πλευρά του ποταμού. Ο σχηματισμός αυτός φαίνεται να κλίνει προς ΝΔ και εμφανίζεται στην αριστερή ευρύτερη πλευρά του ποταμού με περιορισμένη σχετικά έκταση.

β) **Ασβεστόλιθοι ροδόχρωμοι με ιάσπιδες, κερατόλιθοι και οι σχηματισμοί του «Πρώτου φλύσχη» ηλικίας Ανω Τριαδικού – Κάτω Σενωνίου**, στους οποίους περιλαμβάνονται από πάνω προς τα κάτω: ψαμμίτες και ψαμμικοί ασβεστόλιθοι με θραύσματα από βασικά πετρώματα, διάφορα είδη του γένους *Globotruncana* (ηλικία Τουρυνίου – Κάτω Σενώνιο), ακολουθούν κερατόλιθοι, ιάσπιδες ολοπυριτικοί με ακτινόζωα και τέλος ασβεστόλιθοι ροδόχρωμοι με ιάσπιδες σε λεπτούς πάγκους με περισσότερο ή λιγότερο άφθονες ενστρώσεις ερυθρών μαργών, ασβεστόλιθοι ροδόχρωμοι με ιάσπιδες, ή μαύροι με Αλόβιες και τοπικά απαντούν βασικές λάβες παρεμβαλλόμενες μέσα σε πάγκους

ασβεστολίθων με "Filaments". Ο σχηματισμός αυτός είναι ηλικίας Τριαδικού και κλίνει προς ανατολικά. Εμφανίζεται κατόντη του φράγματος ως τεκτονικό παράθυρο ενώ η επαφή τους με τους υποκείμενους ψαμμίτες είναι κανονική στρωματογραφική.



Σχήμα 5-2 Απόσπασμα του σχετικού γεωλογικού χάρτη της περιοχής σε κλίμακα 1:50.000 (Φύλλο Μέλαμπες του ΙΓΜΕ, 1985). Το κόκκινο περίγραμμα αναφέρεται στην περιοχή ενδιαφέροντος



Σχήμα 5-3: Γεωλογική τομή, τμήμα της οποίας φαίνεται στο γεωλογικό χάρτη (κλίμακα 1:50.000, Φύλλο Μέλαμπες του ΙΓΜΕ, 1985).

γ) Πλακώδεις ασβεστόλιθοι ηλικίας Ανω Σενωνίου – Παλαιοκαίνου οι οποίοι περιλαμβάνουν από πάνω προς τα κάτω:

- Στρώματα μετάβασης με εναλλαγές ασβεστολίθων με *Globorotalia* sp. (Παλιόκαινο), μαργαϊκών στρωμάτων και σπάνιων ψαμμιτικών παγκών. Σπάνιες ενστρώσεις μικρολατυποπαγών ασβεστολίθων με βενθονική πανίδα (Νουμμουλίτες, Αλβεολίνες κλπ).
- Πλακώδεις ασβεστόλιθοι, σκοτεινότεφροι με *Globotruncana*, σπάνια λατυποπαγή με *Siderolites* sp.

- Ασβεστόλιθοι ροδόχρωμοι με ερυθρές πυριτικές διαστρώσεις με Ακτινόζωα.

Πλησίον της θέσης του φράγματος, ο σχηματισμός αυτός εμφανίζεται στο φαράγγι κατάντη της θέσης του φράγματος, στο όρος Σάμιτος καθώς και στη ευρύτερη δεξιά παρειά του ποταμού. Το πάχος του εκτιμάται από την ανωτέρω γεωλογική τομή περίπου στα 210m, ενώ η διεύθυνση κλίσης του μεταβάλλεται ανάλογα με τις τεκτονικές δομές που το επηρεάζουν (ρήγματα, πτυχώσεις κλπ). Η επαφή του με τον κατώτερο Πρώτο Φλύσχη εμφανίζεται (να είναι τεκτονικής φύσης) κατάντη του φράγματος, ενώ στις ορεινές μάζες Σάμιτος και Κέδρος, η επαφή τους είναι κανονική στρωματογραφική. Στο δεξί πρηνές του φαραγγιού (κατάντη της θέσης του φράγματος), ο υπόψη ασβεστόλιθος εμφανίζεται πολύ σπασμένος και καρστικοποιημένος.

δ) Φλύσχης, ηλικίας Ηωκαίνου, ψαμμιτο-ιλυολιθικός με πανίδα από μεταφερμένους Νουμουλίτες. Καταλαμβάνει τη μεγαλύτερη έκταση της περιοχής μελέτης, ενώ το πάχος του προσεγγίζει τα 145m όπως εκτιμάται από τη γεωλογική τομή. Στοιχεία προσανατολισμού των στρωμάτων του φλύσχη δεν αναφέρονται στο γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ και δεν ήταν δυνατό να ληφθούν μετρήσεις προσανατολισμού της στρώσης/οικογενειών διακλάσεων λόγω της έντονης τεκτονικής παραμόρφωσης που έχουν υποστεί. Επιφανειακά ο ψαμμίτης εμφανίζεται πολύ σπασμένος, διερρηγμένος με ρωγμές κατά τόπους ανοιχτές και λεπτόκοκκο υλικό πλήρωσης, ενώ συχνά κομμάτια ψαμμίτη «πλέουν» μέσα σε γενική κύρια μάζα ιλυολίθου. Ο λεπτοστρωματώδης ιλυόλιθος, είναι εξαιρετικά σπασμένος χωρίς δομή. Τοπικά διατηρούνται πτυχωμένα στρώματα ιλυολίθου περιορισμένης συνέχειας. Από τα υπάρχοντα στοιχεία είναι σαφές ότι ο φλύσχος αποτελείται κυρίως από ψαμμίτη στο δεξί αντέρεισμα του φράγματος, ενώ στο αριστερό αντέρεισμα, είναι περισσότερο ιλυολιθικός με περιοσμένου πάχους ψαμμιτικές ενδιαστρώσεις. Στις φωτογραφίες **Φωτ. 5-1** και **Φωτ. 5-2** παρακάτω που αφορούν σε γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής του έργου, φαίνεται η έντονη τεκτονική παραμόρφωση του φλύσχη τόσο στον ψαμμίτη – δεξιό αντέρεισμα όσο και στον ιλυόλιθο – αριστερό αντέρεισμα, αντιστοίχα.



Φωτ. 5-1: Ψαμμίτης σπασμένος με τοπικά ανοιχτές ρωγμές



Φωτ. 5-2: Ιλυόλιθος πτυχωμένος και παραμορφωμένος

5.3.2 Το τεκτονικό κάλυμμα της Άρβης:

Το κάλυμμα Άρβης, ηλικίας Ανω Κρητιδικού, αποτελείται από από ιλυόλιθους και μαργαικούς ασβεστόλιθους ερυθρούς με *Globotruncana* και διαβάσεις. Οι διαβάσεις, χαρακτηριστικοί της σειράς της Άρβης, παρουσιάζονται μόνο σε μορφή γωνιωδών θραυσμάτων. Ο σχηματισμός αυτός υπάρχει υπό μορφή ιζηματογενών ρακών μέσα στο φλύσχη της σειράς Πίνδου-Εθιάς. Στη δεξιά πλευρά του ποταμού, απαντά ένα ράκος ασβεστολίθου, όπως φαίνεται στο γεωλογικό χάρτη (**Σχήμα 5-2**) και στη **Φωτ. 5-3** που ακολουθεί.



Φωτ. 5-3: Εμφάνιση ασβεστόλιθου της ενότητας Άρβης ως τεκτονικό κάλυμμα (klippen) στην ευρύτερη δεξιά πλευρά του ποταμού.

5.3.3 Τεκτονικό κάλυμμα Μιάμου

Το κάλυμμα Μιάμου, ηλικίας Ανω Ιουρασικού. Αποτελείται από φλύσχη κυρίως Ιλυολιθικό-ψαμμιτικό, με ενστρώσεις λατυποπαγών ασβεστολίθων, που χαρακτηρίζονται από αφθονία θραυσμάτων, βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων. Μέσα στο φλύσχη υπάρχουν ενστρωματωμένοι λατυποπαγείς ασβεστόλιθοι που δομούνται σε ογκώδεις πάγκους πλούσιους σε κοράλλια. Ο σχηματισμός αυτός απαντά μόνο σε ένα σημείο, κατάντη του φράγματος ως τεκτονικό παράθυρο με κλίση προς Ανατολικά.

5.3.4 Το οφιολιθικό σύμπλεγμα

Το οφιολιθικό σύμπλεγμα ηλικίας Ανω Ιουρασικού – Κάτω Κρητιδικού. Αποτελείται από περιδοτίτες λιγότερο ή περισσότερο σερπεντινιωμένους, γάββρους και δολερίτες. Ο σχηματισμός αυτός απαντά στην αριστερή ευρύτερη πλευρά του ποταμού, ως τεκτονικό παράθυρο, σχετικά πολύ μικρής έκτασης.

5.3.5 Οι Νεογενείς σχηματισμοί:

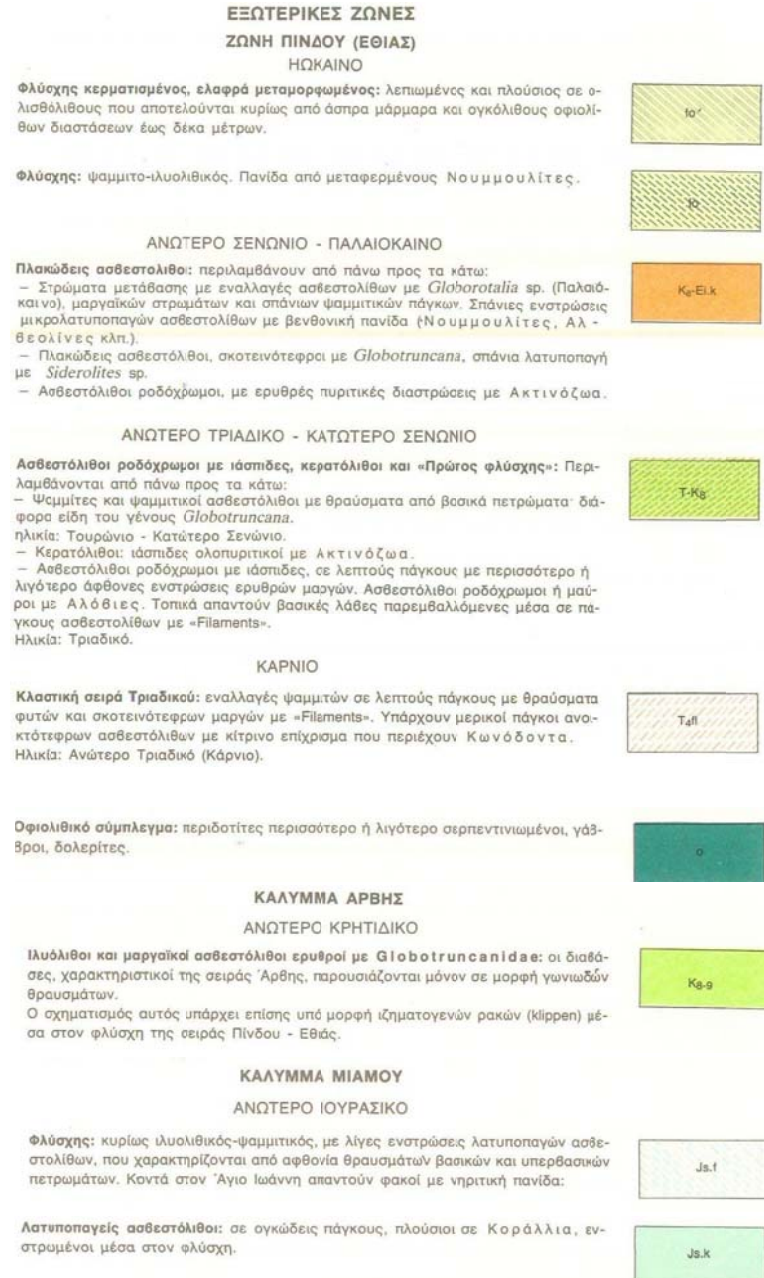
Οι Νεογενείς σχηματισμοί και συγκεκριμένα ο σχηματισμός Παντανάσας, ηλικίας Τορτονίου. Συγκροτείται από κροκαλοπαγή, ψαμμίτες και αργίλους, λιγνίτες και ασβεστόλιθους με Μαλάκια γλυκού νερού και υπολείμματα φυτών. Σε μερικές θέσεις στο ανώτερο τμήμα του σχηματισμού αυτού εμφανίζονται ενστρώσεις υφάλμυρης φάσεως. Ο σχηματισμός αυτός σχετίζεται με το ρήγμα Αμαρίου, αντιστοιχεί στην ομώνυμη λεκάνη Αμαρίου και αναπτύσσεται βόρεια της περιοχής ενδιαφέροντος.

5.3.6 Οι Τεταρτογενείς σχηματισμοί:

Τέλος απαντώνται οι παρακάτω τεταρτογενείς σχηματισμοί:

- Η **χερσαία αναβαθμίδα Πλειστοκαίνου** αποτελούμενη από ασβεστολιθικά τεμάχη αποστρογγυλωμένα, συγκολλημένα με άσβεστο-ψαμμιτικό συνδετικό υλικό. Απαντάται στην ανατολική πλευρά του ποταμού και έχει αποθεθεί πάνω στους σχηματισμούς της ενότητας Εθιάς και τα νεογενή ιζήματα της λεκάνης Αμαρίου.
- **Αποθέσεις αναβαθμίδων ποταμού**, οι οποίες καλύπτουν τις παρειές του ποταμού. Αποτελούνται κυρίως από ιλυοάμμους, αμμοιλίες, αργιλοάμμους και αντιστοιχούν στις αποθέσεις των πλημμυρικών ροών στις όχθες του Πλατέος ποταμού. Το πάχος τους ποικίλλει από 5 έως 17m. Οι αποθέσεις αυτές, όπως και οι πρόσφατες αλλουβιακές απαντώνται στη θέση θεμελίωσης, το σημείο συμβολής των δύο χειμάρρων και ανάντη και κατάντη της θέσης του φράγματος.
- **Πλευρικά κορήματα**, τα οποία εντοπίζονται στα πρηνή εκτέρωθεν του ποταμού και αποτελούνται κυρίως από χαλαρά αμμοχάλικα και χάλικες ασβεστολιθικής και ψαμμιτικής προέλευσης. Απαντώνται κυρίως στη δεξιά κλίτη του ποταμού.
- **Πρόσφατες αλλουβιακές αποθέσεις**, οι οποίες αποτελούνται από κροκάλες και τεμάχη ασβεστολίθου και ψαμμίτη και καταλαμβάνουν τη παρούσα κοίτη ποταμού.

Από τους γεωλογικούς σχηματισμούς που αναφέρθηκαν παραπάνω, αυτοί που σχετίζονται άμεσα με το υπό μελέτη έργο (δηλαδή που απαντούν άμεσα στις θέσεις ανάπτυξης των διαφόρων τμημάτων του έργου) είναι, για το φράγμα και όλα τα συνοδά του έργα, ο Φλύσχης Εθιάς και οι αποθέσεις των αναβαθμίδων και της κοίτης του ποταμού στην έκταση ανάπτυξης των οποίων θα θεμελιωθεί το φράγμα και θα κατασκευαστούν τα υπόλοιπα συνοδά έργα. Παρακάτω δίνεται απόσπασμα του υπομνήματος του γεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ (Φύλλο Μέλαμπες, 1985) σε κλίμακα 1:50.000, με λεπτομερή περιγραφή των αναφερθέντων γεωλογικών σχηματισμών.



Σχήμα 5-4: Απόσπασμα του υπομνήματος Γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ φύλλο Μέλαμπες (1985).

5.4 Τεκτονική

Η περιοχή ενδιαφέροντος έχει υποστεί τη δράση πολλαπλών φάσεων τεκτονικών διεργασιών, εναλλαγής συμπίεσης και εφελκυσμού, οι οποίες δρουν από το τέλος Ηωκαίνου έως και σήμερα. Ισχυρές συμπιεστικές και εφελκυστικές δυνάμεις διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ και στη συνέχεια διεύθυνσης Β-Ν, προκάλεσαν τη πτύχωση, την εμφάνιση εφιππεύσεων, επωθήσεων και την δημιουργία κανονικών ρηγμάτων, διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ, ΒΑ-ΝΔ και Α-Δ κατά προσέγγιση. Η πληθώρα των ιχνών των ρηγμάτων, ποικίλων διευθύνσεων, που παρουσιάζονται στο γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ, κλίμακας 1:50.000, επιβεβαιώνει την αναφερθείσα έντονη τεκτονική καταπόνηση της περιοχής ενδιαφέροντος. Τα πιο σημαντικά και μεγαλύτερου μεγέθους ρήγματα που αναπτύσσονται τη περιοχή μελέτης είναι τα εξής:

α) Ανατολικά της θέσης φράγματος, απαντάται το ρήγμα Αμαρίου διεύθυνσης ΒΒΔ-ΝΝΑ και κλίσης 75° προς ΝΔ, το οποίο έδρασε κατά το Μειόκαινο,

β) Νοτιοδυτικά της θέσης φράγματος βρίσκεται το ρήγμα Σπηλίου, το οποίο έδρασε κατά τη διάρκεια του Ολοκαίνου και το οποίο έχει διεύθυνση κλίσης ΝΔ,

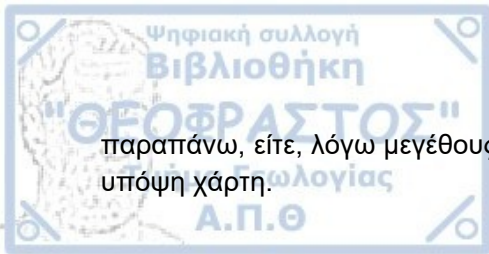
γ) Βορειοδυτικά της θέσης του φράγματος βρίσκεται το όρος Σάμιτος, το οποίο οριοθετείται από ρήγμα διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ, το οποίο προκάλεσε την εμφάνιση των υποκείμενων του φλύσχη ασβεστόλιθων, στην επιφάνεια του εδάφους. Το ρήγμα αυτό, φαίνεται να επηρεάζει το ρου του ρέματος Λυγιώτη,

δ) Τέλος, αρκετά νότια της περιοχής μελέτης, στην Αγ. Γαλήνη όπου εκβάλει ο ποταμός Πλατύς, δρά το ρήγμα της Αγ. Γαλήνης, διεύθυνσης Α-Δ που αποτελεί το βόρειο όριο της λεκάνης Μεσσαράς (κάτω τέμαχος του ρήγματος). Το ρήγμα αυτό διαχωρίζει τα ιζήματα Μέσου Πλειοκαίνου – Κάτω Πλειστοκαίνου από τα ιζήματα της Τεταρτογενούς της λεκάνης της Μεσσαράς και επεκτείνεται προς τα δυτικά, παράλληλα προς την ακτή.

Από όλα τα προαναφερθέντα ρήγματα μόνο τα δύο τελευταία θεωρούνται ενεργά.

Κατάντη της θέσης του φράγματος απαντώνται τεκτονικά παράθυρα του Πρώτου Φλύσχη της Πίνδου και των Τριαδικών κλαστικών ιζημάτων, τα οποία τοποθετούνται τεκτονικά πάνω στο φλύσχη Ηωκαίνου. Στην ίδια περιοχή, παρακατακόρυφα ρήγματα φέρουν στην επιφάνεια του εδάφους, τους υποκείμενους του φλύσχη ασβεστόλιθους, οι οποίοι δομούν τα απότομα και μεγάλου υψομέτρου πρανή του φαράγγιού που δημιουργείται κατάντη της θέσης του φράγματος. Στις ευρύτερες πλαγιές εκατέρωθεν του φράγματος, απαντώνται τα τεκτονικά καλύμματα της Άρβης και των οφιόλιθων, που είναι γενικά περιορισμένης εμφάνισης, τα οποία τοποθετούνται επίσης τεκτονικά πάνω στο φλύσχη της Πίνδου. Οι περίπλοκες τεκτονικές δομές και οι συναφείς μετακινήσεις που προκάλεσαν (που αναφέρθηκαν παραπάνω), είχαν ως αποτέλεσμα τη έντονη τεκτονική παραμόρφωση του υποκείμενου φλύσχη.

Λόγω των συνεχόμενων τεκτονικών φάσεων παμορφώσεων και μετακινήσεων που έχουν επηρεάσει την περιοχή, οι γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής του έργου, αναμένονται ισχυρά πτυχωμένοι και γενικά πολύ τεκτονισμένοι με υπάρχουσες έντονες ζώνες διάτμησης. Επιπλέον, πολλά μικρότερα ρήγματα είναι πιθανό να συναντηθούν, για τα οποία δεν υπάρχει αναφορά στο γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ, κλίμακας 1:50.000, που παρατίθεται



παραπάνω, είτε, λόγω μεγέθους του ρήγματος, είτε, κυρίως, λόγω της σχετικής κλίμακας του υπόψη χάρτη.

5.5 Υδρογεωλογικές συνθήκες

5.5.1 Υδρολιθολογικά δεδομένα

Σύμφωνα με τα γενικά γεωλογικά στοιχεία που αναφέρθηκαν παραπάνω για την στενή περιοχή του έργου, από υδρολιθολογική άποψη, τρεις τύποι σχηματισμών απαντώνται κυρίως στην ζώνη επιρροής του φράγματος. Αυτοί είναι, (α) οι χαλαρές Τεταρτογενείς αποθέσεις, (β) οι ασβεστόλιθοι του καλύμματος Άρβης και (γ) ο φλύσχη Εθιάς. Η συμπεριφορά τους, από υδρολιθολογική άποψη είναι πολύ διαφορετική και ελέγχεται από διαφορετικούς παράγοντες για το καθένα. Συγκεκριμένα:

α) Ο **αλπικός σχηματισμός του φλύσχη Εθιάς** αποτελείται από ψαμμίτες και ιλυόλιθους, σπασμένους και διαρρηγμένους. Η διαπερατότητα του εξαρτάται από το βαθμό διάρρηξης των ικανών μελών του (ψαμμιτών) και ποσοστό συμμετοχής των λεπτόκοκκων και κυρίως των σχηματισμών ιλυόλιθου. Ο ιλυόλιθος είναι λεπτοστρωματώδης, πτυχωμένος και σχιστοποιημένος με σχετικά περιορισμένο συντελεστή διαπερατότητας. Ο ψαμμίτης είναι σπασμένος με τοπικά ανοιχτές ρωγμές από όπου μπορεί να κυκλοφορεί εύκολα το υπόγειο νερό. Επομένως, από υδρολιθολογική άποψη, οι ψαμμίτες αναμένεται να παρουσιάζουν τοπικά μεγάλο συντελεστή διαπερατότητας. Οι εναλλαγές ιλυολίθου και ψαμμίτη δεν παρουσιάζουν κανονικότητα. Από τα υπάρχοντα στοιχεία όμως προκύπτει ότι το δεξί αντέρεισμα αποτελείται κυρίως από ψαμμίτη, ενώ το αριστερό από λίγες εμφανίσεις ψαμμιτη και εκτεταμένες εμφανίσεις τεκτονισμένου και διατμημένου ιλυολίθου. Οι διατμημένοι ιλυόλιθοι από υδρολιθολογική άποψη αναμένεται να είναι μέτριας έως χαμηλής διαπερατότητας.

β) Οι **ασβεστόλιθοι του σχηματισμού Άρβης** είναι επίσης τεκτονισμένοι και σπασμένοι. Πολύ πιθανό, οι ρωγμές του ασβεστόλιθου να είναι καρστικοποιημένες (καρστικοποίηση κατά μήκος ρωγμών). Η διαπερατότητα τους αναμένεται να είναι αρκετά μεγάλη και εξαρτάται από την κατανομή του καρστ και το ποσοστό καρστικοποίησης. Είναι σημαντικό το γεγονός ότι οι ασβεστόλιθοι είναι τοποθετημένοι πάνω στον αδιαπέρατο φλύσχη με αποτέλεσμα η γεωλογική επαφή τους να αποτελεί υδρογεωλογικό όριο και επίπεδο κίνησης του υπόγειου νερού.

γ) Οι **τεταρτογενείς επιφανειακοί σχηματισμοί** είναι γενικά χαλαροί και αποτελούνται από ιλυοάμμους, αμμοιλούς, αργιλοάμμους, άμμους και αμμοχάλικα. Χαρακτηρίζονται από έντονη ετερογένεια από άποψη κοκκομετρίας, τόσο στην οριζόντια, όσο και στην κατακόρυφη έννοια. Συνεπώς, η διαπερατότητά τους μεταβάλλεται έντονα, από τιμές μέτριες-μεγάλες σε κολούβια και αδρομερείς ορίζοντες έως μέτριες-μικρές σε ορίζοντες με αυξημένη παρουσία αργίλων.

5.5.2 Ενδελεχής αξιολόγηση των δεδομένων υπόγειας υδραυλικής της θέσης του φράγματος και των συνοδών έργων

Για την περιοχή του έργου υπάρχουν αρκετά στοιχεία που συλλεχθηκαν από την εκτέλεση των επί τόπου γεωερευνητικών δοκιμών, τα οποία και αξιολογήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας. Συνεπώς, τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών που απαντώνται στην περιοχή και που θα αναφερθούν διεξοδικά παρακάτω, βασίζονται στις επί τόπου μετρήσεις διαπερατότητας που πραγματοποιήθηκαν κατά την εκτέλεση των γεωτρήσεων από την εταιρία ΕΔΑΦΟΣ ΑΕ, καθώς και τα αποτελέσματα παλαιότερων επί τόπου ερευνών στην περιοχή, για το ίδιο έργο, από την εταιρία ΤΡΙΤΩΝ ΑΤΕ. Η κατάταξη των σχηματισμών σε κατηγορίες ανάλογα με την διαπερατότητά τους έγινε σύμφωνα με τις υπολογισθείσες τιμές που προέκυψαν από τις επί τόπου δοκιμές και από βιβλιογραφικές αναφορές. Συγκεκριμένα, ο χαρακτηρισμός των σχηματισμών ως προς τον συντελεστή διαπερατότητας, έγινε κατά Terzaghi & Peck (1967) όπως παρουσιάζεται στον **Πίνακα 5-1**:

Πίνακας 5-1: Κατηγορίες Συντελεστών διαπερατότητας κατά Terzaghi & Peck (1967)

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ k (m/sec)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ
$10^{-3} \leq k$	ΥΨΗΛΗ
$10^{-5} \leq k < 10^{-3}$	ΜΕΤΡΙΑ
$10^{-7} \leq k < 10^{-5}$	ΧΑΜΗΛΗ
$10^{-9} \leq k < 10^{-7}$	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ
$k < 10^{-9}$	ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΑΔΙΑΠΕΡΑΤΟΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ

Οι τιμές του συντελεστή διαπερατότητας k που προέκυψαν από τις επί τόπου δοκιμές που εκτελέστηκαν στις γεωτρήσεις Γ1-Γ7 και τις γεωτρήσεις Γ8-Γ16 δίνονται στον **Πίνακα 5-2** και **Πίνακα 5-3**, αντίστοιχα, ανά γεώτρηση και συνοδεύονται από τρία διαγράμματα, ένα διάγραμμα κατανομής όλων των τιμών διαπερατότητας συναρτήσει του βάθους για ολόκληρη την περιοχή του έργου (**Σχήμα 5-5**), ένα διάγραμμα κατανομής των τιμών διαπερατότητας συναρτήσει του βάθους, στο δεξί αντέρεισμα του φράγματος (**Σχήμα 5-6**) και αντίστοιχα ένα τρίτο στο αριστερό αντέρεισμα (**Σχήμα 5-7**) του ποταμού Πλατύ.

Όπως φαίνεται και στους αντίστοιχους πίνακες, οι περισσότερες δοκιμές (αρ. 79) που πραγματοποιήθηκαν ήταν τύπου πίπτοντος φορτίου (τύπου Maag) λόγω της επικράτησης των πιο λεπτόκοκκων φάσεων και αντίστοιχα της χαμηλής λειτουργικής διαπερατότητας καθώς και αρκετές (αρ. 31) τύπου σταθερού φορτίου (τύπου LEFRANC) που εκτελέστηκαν κυρίως στον αποσασθρωμένο ψαμμίτη και τον εδαφοπονημένο ιλυόλιθο και ορισμένες μόνο (αρ. 8) δοκιμές εισπίεσης τμήματος γεώτρησης με παρεμβύσματα (τύπου LUGEON). Ολική απώλεια νερού, η οποία συνεπάγεται μεγάλη διαπερατότητα παρουσιάστηκε σε μια μόνο δοκιμή σε τεκτονισμένο ψαμμιτικό ορίζοντα στη γεώτρηση Γ14, στην οποία έγιναν τρεις μόνο δοκιμές. Στη γεώτρηση Γ16, στο σχηματισμό του εδαφοπονημένου φλύσχη παρουσιάστηκαν φαινόμενα αρτεσιανισμού με αυξανόμενη ροή νερού με αύξηση του βάθους. Στη γεώτρηση Γ11, στον εδαφοπονημένο φλύσχη σε δύο δοκιμές σημειώθηκε μηδενική πτώση στάθμης. Όπως φαίνεται στο συνολικό διάγραμμα κατανομής της διαπερατότητας συναρτήσει του βάθους στο **Σχήμα 5-5**, παρατηρείται μια σχετική τάση μείωσης του συντελεστή

διαπερατότητας με αύξηση του βάθους, ενώ σε βάθος μεγαλύτερο από 30m, η διαπερατότητα χαρακτηρίζεται πλέον ως χαμηλή, έως πολύ χαμηλή. Επίσης όπως φαίνεται στα διαγράμματα κατανομής του συντελεστή διαπερατότητας συναρτήσει του βάθους, στο δεξί αντέρεισμα (**Σχήμα 5-6**), όπου υπερτερεί η ψαμμιτική φάση του φλύσχη, υπάρχει μεγαλύτερο εύρος τιμών, ήτοι μέτρια ως χαμηλή τιμή του συντελεστή διαπερατότητας, σε σχέση με το αριστερό αντέρεισμα (**Σχήμα 5-7**), όπου η διαπερατότητα χαρακτηρίζεται κατά βάση χαμηλή έως πολύ χαμηλή. Στο αριστερό αντέρεισμα υπερτερεί η ιλυολιθική φάση του φλύσχη, η οποία λόγω της έντονης θλιπτικής παραμόρφωσης και πιθανώς και της βαθείας αποσάθρωσης, έχει αργιλοποιηθεί. Σε ζώνες σχιστοποιημένες και αργιλοποιημένες, η διαπερατότητα είναι σχετικά πολύ μικρή.

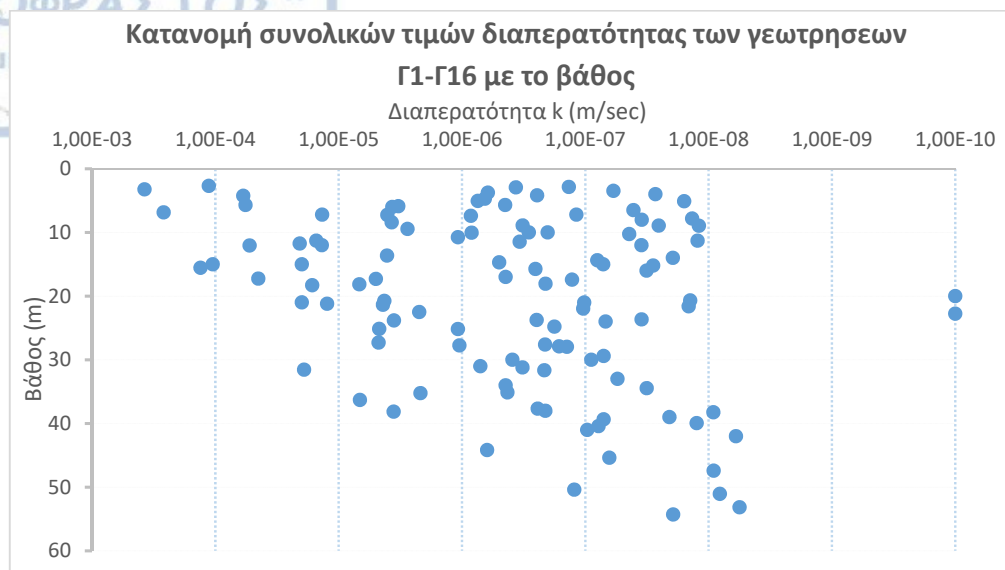
Πίνακας 5-2: Αποτελέσματα δοκιμών εισπίεσεως νερού με παρεμβύσματα, τύπου LUGEON, μεταβλητού φορτίου τύπου MAAG και σταθερού φορτίου τύπου LEFRANC στις γεωτρήσεις Γ1 έως Γ7

Συντελεστής Υδροπερατότητας				ΕΙΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ
ΓΕΩΤΡΗΣΗ	Βάθος Δοκιμής		k	
	Από	Μέχρι		
	m	m	m/sec	
Γ1	2,40	3,00	1,13*10 ⁻⁴	LEFRANC
	5,40	6,00	5,69*10 ⁻⁵	LEFRANC
	7,30	9,50	3,72*10 ⁻⁶	LEFRANC
	10,40	12,20	1,52*10 ⁻⁵	LEFRANC
	20,75	21,20	1,99*10 ⁻⁵	LEFRANC
	20,75	23,00	2,22*10 ⁻⁶	LEFRANC
	27,20	28,30	1,05*10 ⁻⁶	LEFRANC
	31,10	32,00	1,91*10 ⁻⁵	LEFRANC
	35,80	36,80	6,73*10 ⁻⁶	LEFRANC
	35,90	40,40	3,58*10 ⁻⁶	LEFRANC
Γ2	4,00	4,50	5,94*10 ⁻⁵	MAAG
	6,90	7,50	1,36*10 ⁻⁵	LEFRANC
	8,70	10,20	2,77*10 ⁻⁶	LEFRANC
	13,25	14,00	4,05*10 ⁻⁶	LEFRANC
	16,50	18,00	4,48*10 ⁻⁵	LEFRANC
	20,30	22,45	4,37*10 ⁻⁶	LEFRANC
	24,20	26,10	4,69*10 ⁻⁶	LEFRANC
	24,20	28,50	4,75*10 ⁻⁶	LEFRANC
Γ3	2,55	3,30	3,66*10 ⁻⁷	MAAG
	5,40	6,00	4,47*10 ⁻⁷	MAAG
	9,50	10,50	2,02*10 ⁻⁷	MAAG
	10,90	13,20	5,28*10 ⁻⁵	LEFRANC
	14,90	16,20	1,32*10 ⁻⁴	LEFRANC
	17,80	18,80	1,64*10 ⁻⁵	MAAG
	20,00	22,40	1,24*10 ⁻⁵	LEFRANC
	22,15	25,50	3,56*10 ⁻⁶	MAAG
	25,30	30,50	1,63*10 ⁻⁷	MAAG
	25,30	33,50	7,11*10 ⁻⁸	MAAG
	34,00	36,50	2,17*10 ⁻⁶	MAAG
	37,70	41,00	7,10*10 ⁻⁸	LUGEON
	34,00	42,50	9,15*10 ⁻⁹	MAAG
	34,00	45,90	1,25*10 ⁻⁸	MAAG
	34,00	50,00	6,00*10 ⁻⁹	MAAG

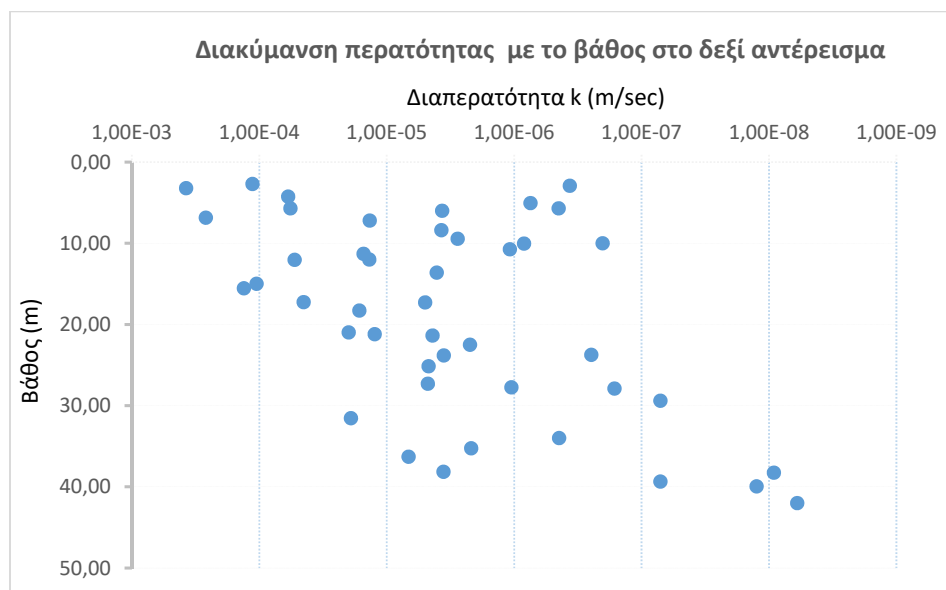
Γ4	2,10	3,60	$1,36 \cdot 10^{-7}$	MAAG
	5,10	6,65	$3,28 \cdot 10^{-6}$	LEFRANC
	8,05	9,80	$2,54 \cdot 10^{-8}$	MAAG
	10,30	12,60	$3,41 \cdot 10^{-7}$	MAAG
	14,00	15,40	$4,99 \cdot 10^{-7}$	MAAG
	17,10	19,00	$2,10 \cdot 10^{-7}$	MAAG
	19,00	22,35	$1,41 \cdot 10^{-8}$	MAAG
	24,10	25,50	$1,78 \cdot 10^{-7}$	MAAG
	26,70	28,50	$2,12 \cdot 10^{-7}$	MAAG
	30,00	32,40	$3,23 \cdot 10^{-7}$	MAAG
	34,05	36,20	$4,28 \cdot 10^{-7}$	MAAG
	36,65	38,70	$2,43 \cdot 10^{-7}$	MAAG
	38,85	42,00	$7,81 \cdot 10^{-8}$	MAAG
	43,25	45,10	$6,25 \cdot 10^{-7}$	MAAG
	45,85	49,00	$9,11 \cdot 10^{-9}$	MAAG
Γ5	1,50	3,00	$2,22 \cdot 10^{-8}$	MAAG
	2,95	5,40	$2,46 \cdot 10^{-7}$	MAAG
	6,60	7,80	$1,18 \cdot 10^{-7}$	MAAG
	11,30	12,20	$2,07 \cdot 10^{-5}$	LEFRANC
	14,30	15,70	$1,99 \cdot 10^{-5}$	LEFRANC
	16,90	19,40	$6,80 \cdot 10^{-6}$	LEFRANC
	20,90	23,00	$1,04 \cdot 10^{-7}$	MAAG
	24,05	26,30	$1,08 \cdot 10^{-6}$	LEFRANC
	27,60	29,20	$1,41 \cdot 10^{-7}$	MAAG
	30,10	33,20	$2,15 \cdot 10^{-7}$	MAAG
	30,10	35,90	$5,49 \cdot 10^{-8}$	MAAG
	30,10	38,80	$3,18 \cdot 10^{-8}$	MAAG
	40,00	42,00	$9,64 \cdot 10^{-8}$	MAAG
	44,65	46,10	$6,38 \cdot 10^{-8}$	MAAG
	48,40	52,40	$1,23 \cdot 10^{-7}$	LUGEON
	46,30	55,80	$8,11 \cdot 10^{-9}$	MAAG
	46,30	60,00	$5,62 \cdot 10^{-9}$	MAAG
Γ6	2,95	3,50	$3,75 \cdot 10^{-4}$	LEFRANC
	6,70	7,00	$2,63 \cdot 10^{-4}$	LEFRANC
	9,60	10,50	$8,35 \cdot 10^{-7}$	MAAG
	10,00	14,00	$1,37 \cdot 10^{-5}$	LEFRANC
	13,50	16,50	$1,05 \cdot 10^{-4}$	LEFRANC
	14,60	20,00	$4,99 \cdot 10^{-6}$	LEFRANC
Γ7	2,90	4,05	$5,92 \cdot 10^{-8}$	MAAG
	6,70	8,95	$1,36 \cdot 10^{-8}$	MAAG
	9,65	12,95	$1,23 \cdot 10^{-8}$	MAAG
	12,75	16,00	$7,99 \cdot 10^{-8}$	MAAG
	15,85	19,00	$1,28 \cdot 10^{-7}$	MAAG

Πίνακας 5-3: Αποτελέσματα δοκιμών εισπίεσεως νερού με παρεμβύσματα, τύπου LUGEON, μεταβλητού φορτίου τύπου MAAG και σταθερού φορτίου τύπου LEFRANC στις γεωτρήσεις Γ8 έως Γ16

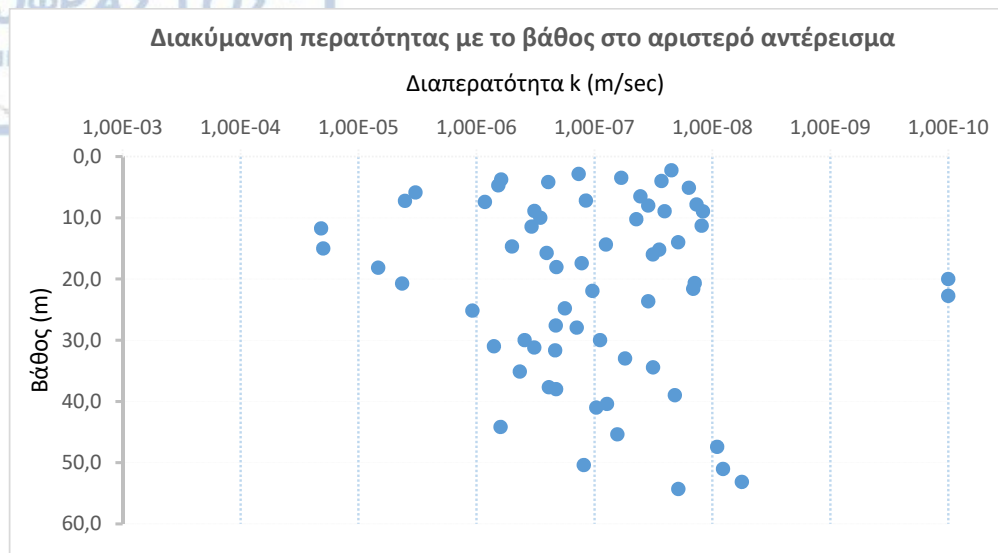
Συντελεστής Υδροπερατότητας				ΕΙΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ
ΓΕΩΤΡΗΣΗ	Βάθος Δοκιμής		k	
	Από	Μέχρι		
	m	m	m/sec	
Γ8	3,00	5,00	2,70*10 ⁻⁸	MAAG
	5,50	7,50	4,07*10 ⁻⁸	MAAG
	9,00	11,50	4,41*10 ⁻⁸	MAAG
	13,00	15,00	1,95*10 ⁻⁸	MAAG
	15,00	17,00	3,19*10 ⁻⁸	MAAG
	19,50	23,70	1,45*10 ⁻⁸	MAAG
	28,00	32,00	3,90*10 ⁻⁷	LUGEON
	51,80	56,80	1,94*10 ⁻⁸	LUGEON
Γ9	3,50	4,00	6,17*10 ⁻⁷	MAAG
	7,00	7,80	8,47*10 ⁻⁷	MAAG
	7,50	10,30	3,22*10 ⁻⁷	MAAG
	20,00	21,50	4,26*10 ⁻⁶	LUGEON
	29,50	30,50	8,95*10 ⁻⁸	MAAG
	36,00	40,00	2,11*10 ⁻⁷	LUGEON
Γ10	4,50	5,70	1,58*10 ⁻⁸	MAAG
	6,00	8,50	4,03*10 ⁻⁶	MAAG
	7,50	10,40	1,20*10 ⁻⁸	MAAG
	14,50	17,00	2,54*10 ⁻⁷	MAAG
	22,00	25,30	3,50*10 ⁻⁸	MAAG
	36,00	42,00	2,08*10 ⁻⁸	LUGEON
Γ11	4,00	5,40	6,52*10 ⁻⁷	MAAG
	9,00	11,00	2,87*10 ⁻⁷	MAAG
	14,40	16,00	2,82*10 ⁻⁸	MAAG
	19,00	21,00	-	MAAG
	20,00	25,50	-	MAAG
	30,00	32,00	7,10*10 ⁻⁷	MAAG
Γ12	7,50	8,50	3,49*10 ⁻⁸	MAAG
Γ13	11,00	13,00	3,51*10 ⁻⁸	MAAG
	14,00	16,00	7,17*10 ⁻⁸	MAAG
	16,00	18,00	4,43*10 ⁻⁷	MAAG
	20,00	22,00	1,02*10 ⁻⁷	MAAG
	23,00	25,00	6,84*10 ⁻⁸	MAAG
Γ14	4,20	5,90	7,44*10 ⁻⁷	MAAG
	12,00	14,60	-	LEFRANC
	31,00	37,00	4,43*10 ⁻⁷	LUGEON
Γ16	5,50	6,50	3,67*10 ⁻⁶	MAAG
	10,50	11,00	1,08*10 ⁻⁶	MAAG
	14,50	15,00	-	MAAG
	20,50	21,00	-	MAAG
	22,00	22,50	-	MAAG
	23,50	24,00	2,48*10 ⁻⁷	MAAG
	25,00	25,50	-	MAAG



Σχήμα 5-5: Μεταβολή της διαπερατότητας συναρτήσει του βάθους εκατέρωθεν του ποταμού



Σχήμα 5-6: Διακύμανση της διαπερατότητας συναρτήσει του βάθους στο δεξί αντέρεισμα



Σχήμα 5-7: Διακύμανση της διαπερατότητας συναρτήσει του βάθους στο αριστερό αντέρεισμα

Όπως προαναφέρθηκε, η περιοχή του έργου αποτελείται από τεταρτογενείς επιφανειακούς εδαφικούς σχηματισμούς και από ψαμμιτικούς και ιλυολιθικούς σχηματισμούς του φλύσχη του αλπικού υποβάθρου. Όλοι οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντούν στην περιοχή έχουν ως κοινό χαρακτηριστικό την υδρολιθολογική ανομοιομορφία και αντίστοιχα την έντονη διακύμανση των τιμών διαπερατότητάς τους. Στην περίπτωση των τεταρτογενών σχηματισμών, η ανομοιομορφία οφείλεται στη συμμετοχή διαφορετικών λιθολογικών φάσεων (κοκκομετριών) στον ίδιο σχηματισμό, τόσο σε οριζόντια, όσο και κατακόρυφη διάσταση και το διαφορετικό βαθμό στερεοποίησης που έχει υποστεί κάθε επί μέρους λιθολογική φάση. Έτσι, η διαπερατότητα αυξάνεται στους πιο αδρομερείς και χαλαρούς ορίζοντες, ενώ στους πιο συνεκτικούς και λεπτόκοκκους, μειώνεται. Στους σχηματισμούς του φλύσχη, η υδρογεωλογική ετερογένεια εξαρτάται εκτός από την κυμαινόμενη ποσοστιαία συμμετοχή ιλυολιθικών ή ψαμμιτικών οριζόντων και από το βαθμό διάτμησης, κερματισμού, τεκτονικής παραμόρφωσης και αποσάθρωσης. Γενικότερα όμως, όλοι χαρακτηρίζονται χαμηλής διαπερατότητας σχηματισμοί. Τοπικά, στο δεξί αντέρεισμα η διαπερατότητα είναι μέτρια (της τάξης των $k=10^{-4}$ m/sec) ενώ δεν συναντήθηκαν καθόλου σχηματισμοί υψηλής διαπερατότητας. Γενικά παρατηρείται μια σταδιακή μείωση της διαπερατότητας με αύξηση του βάθους η οποία είναι πιο εμφανής στο δεξί αντέρεισμα, όπου το εύρος τιμών διαπερατότητας είναι αρκετά μεγάλο ($k=10^{-3} - 10^{-9}$ m/sec) όπως φαίνεται στο **Σχήμα 5-6**. Στο αριστερό αντέρεισμα το εύρος τιμών διαπερατότητας είναι μικρότερο ($k=10^{-5} - 10^{-9}$ m/sec) και με χαμηλότερες τιμές του συντελεστή διαπερατότητας k ενώ από το βάθος περίπου των 20m και βαθύτερα, οι τιμές διαπερατότητας είναι χαμηλές ως πολύ χαμηλές όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 5-7**.

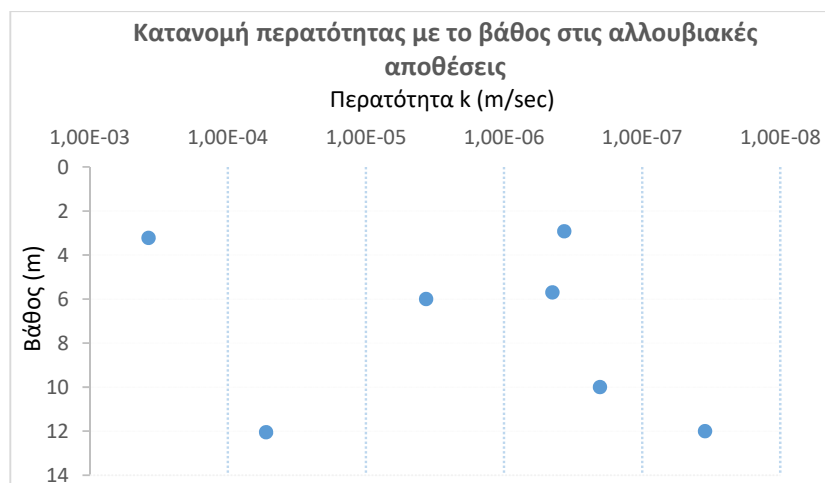
Στη συνέχεια δίνονται τα αποτελέσματα των επί τόπου δοκιμών διαπερατότητας ανά σχηματισμό, καθώς και ιστογράμματα και επί μέρους διαγράμματα διακύμανσης των τιμών διαπερατότητας με το βάθος.

1) Αλλουβιακές αποθέσεις

Επτά (αρ. 7) μόνο δοκιμές εκτελέστηκαν σε αυτό το σχηματισμό, εκ των οποίων, οι δύο ήταν δοκιμές σταθερού φορτίου, τύπου LEFRANC και οι υπόλοιπες πέντε ήταν πίπτοντος φορτίου, τύπου MAAG. Στη γεώτρηση Γ17 και Γ15 όπου οι αλουβιακές αποθέσεις φτάνουν σε μεγάλο βάθος δεν έγιναν δοκιμές διαπερατότητας. Από αυτές, προκύπτει ότι ο σχηματισμός είναι χαμηλής ως μέτριας κυρίως διαπερατότητας, με τις τιμές του συντελεστή διαπερατότητας να κυμαίνονται μεταξύ $k=3,75 \cdot 10^{-4}$ m/sec και $k=3,51 \cdot 10^{-8}$ m/sec, με μέση τιμή $k=6,18 \cdot 10^{-5}$ m/sec. Παρακάτω δίνονται ο πίνακας με τις τιμές διαπερατότητας που προέκυψαν στον υπόψη σχηματισμό (Πίνακας 5-4), το διάγραμμα διακύμανσης των τιμών διαπερατότητας συναρτήσει του βάθους (Σχήμα 5-8), καθώς και το ιστόγραμμα (Σχήμα 5-9) των αποτελεσμάτων των επτά δοκιμών που εκτελέστηκαν στις αλουβιακές αποθέσεις. Όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα, το εύρος των τιμών διαπερατότητας είναι αρκετά μεγάλο όπως ήταν αναμενόμενο, δεδομένης της ετερογένειας του σχηματισμού.

Πίνακας 5-4: Αποτελέσματα δοκιμών διαπερατότητας στις αλουβιακές αποθέσεις.

Συντελεστής Υδροπερατότητας				ΕΙΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΓΕΩΤ. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ
ΓΕΩΤΡΗΣΗ	Βάθος Δοκιμής		k		
	Από	Μέχρι			
	m	m	m/sec		
Γ3	2,55	3,30	$3,66 \cdot 10^{-7}$	MAAG	al
Γ3	5,40	6,00	$4,47 \cdot 10^{-7}$	MAAG	al
Γ3	9,50	10,50	$2,02 \cdot 10^{-7}$	MAAG	al
Γ3	10,90	13,20	$5,28 \cdot 10^{-5}$	LEFRANC	al
Γ6	2,95	3,50	$3,75 \cdot 10^{-4}$	LEFRANC	al
Γ13	11,00	13,00	$3,51 \cdot 10^{-8}$	MAAG	al
Γ16	5,50	6,50	$3,67 \cdot 10^{-6}$	MAAG	al



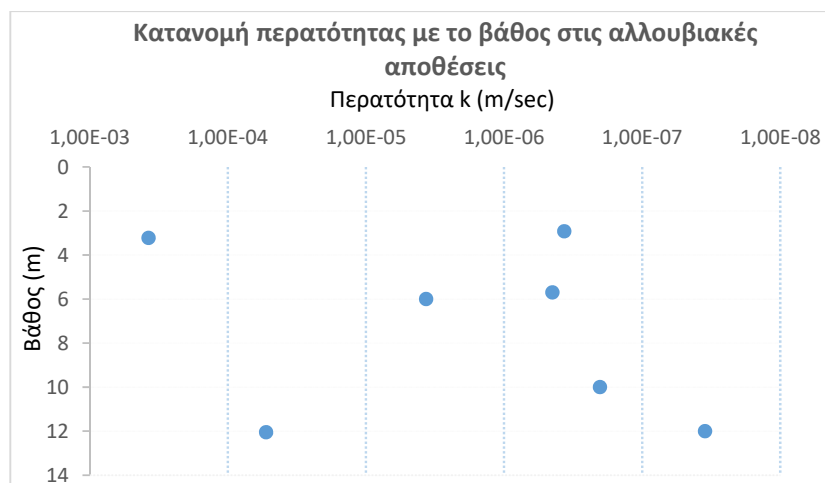
Σχήμα 5-8: Μεταβολή του συντελεστή διαπερατότητας των αλλουβιακών αποθέσεων με αύξηση του βάθους

1) **Αλλουβιακές αποθέσεις**

Επτά (αρ. 7) μόνο δοκιμές εκτελέστηκαν σε αυτό το σχηματισμό, εκ των οποίων, οι δύο ήταν δοκιμές σταθερού φορτίου, τύπου LEFRANC και οι υπόλοιπες πέντε ήταν πίπτοντος φορτίου, τύπου MAAG. Στη γεώτρηση Γ17 και Γ15 όπου οι αλουβιακές αποθέσεις φτάνουν σε μεγάλο βάθος δεν έγιναν δοκιμές διαπερατότητας. Από αυτές, προκύπτει ότι ο σχηματισμός είναι χαμηλής ως μέτριας κυρίως διαπερατότητας, με τις τιμές του συντελεστή διαπερατότητας να κυμαίνονται μεταξύ $k=3,75 \cdot 10^{-4}$ m/sec και $k=3,51 \cdot 10^{-8}$ m/sec, με μέση τιμή $k=6,18 \cdot 10^{-5}$ m/sec. Παρακάτω δίνονται ο πίνακας με τις τιμές διαπερατότητας που προέκυψαν στον υπόψη σχηματισμό (**Πίνακας 5-4**), το διάγραμμα διακύμανσης των τιμών διαπερατότητας συναρτήσει του βάθους (**Σχήμα 5-8**), καθώς και το ιστόγραμμα (**Σχήμα 5-9**) των αποτελεσμάτων των επτά δοκιμών που εκτελέστηκαν στις αλουβιακές αποθέσεις. Όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα, το εύρος των τιμών διαπερατότητας είναι αρκετά μεγάλο όπως ήταν αναμενόμενο, δεδομένης της ετερογένειας του σχηματισμού.

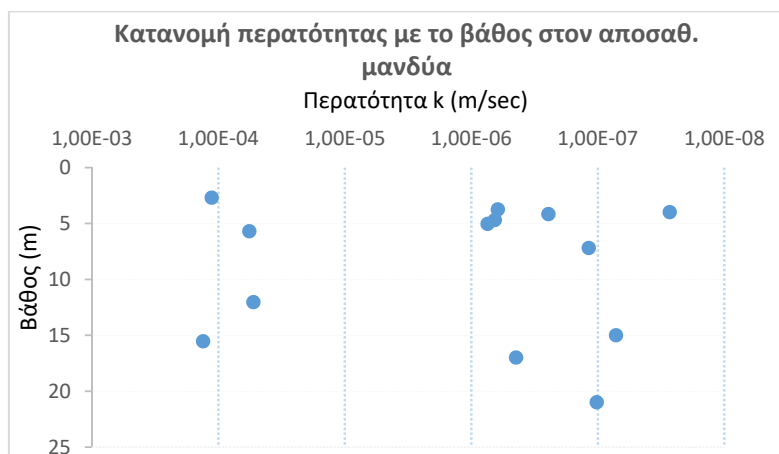
Πίνακας 5-4: Αποτελέσματα δοκιμών διαπερατότητας στις αλουβιακές αποθέσεις.

Συντελεστής Υδροπερατότητας				ΕΙΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΓΕΩΤ. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ
ΓΕΩΤΡΗΣΗ	Βάθος Δοκιμής		k		
	Από	Μέχρι			
	m	m	m/sec		
Γ3	2,55	3,30	$3,66 \cdot 10^{-7}$	MAAG	al
Γ3	5,40	6,00	$4,47 \cdot 10^{-7}$	MAAG	al
Γ3	9,50	10,50	$2,02 \cdot 10^{-7}$	MAAG	al
Γ3	10,90	13,20	$5,28 \cdot 10^{-5}$	LEFRANC	al
Γ6	2,95	3,50	$3,75 \cdot 10^{-4}$	LEFRANC	al
Γ13	11,00	13,00	$3,51 \cdot 10^{-8}$	MAAG	al
Γ16	5,50	6,50	$3,67 \cdot 10^{-6}$	MAAG	al

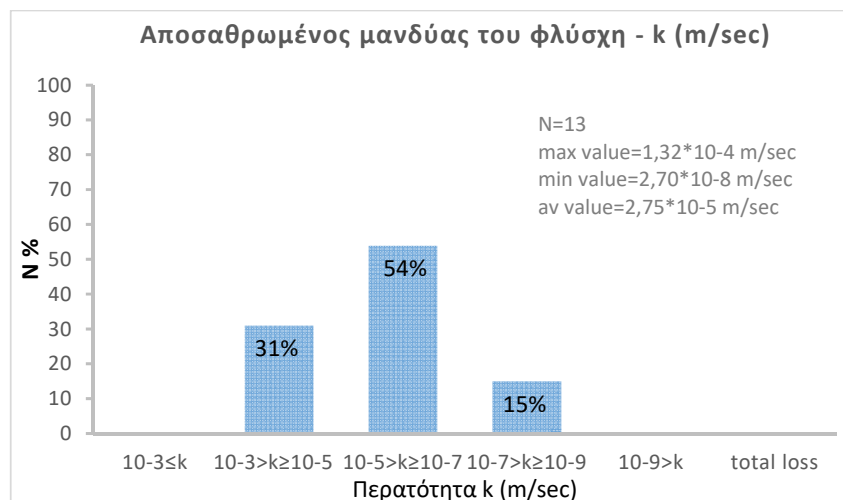


Σχήμα 5-8: Μεταβολή του συντελεστή διαπερατότητας των αλλουβιακών αποθέσεων με αύξηση του βάθους

Γ1	2,40	3,00	$1,13 \cdot 10^{-4}$	LEFRANC	el
Γ1	5,40	6,00	$5,69 \cdot 10^{-5}$	LEFRANC	el
Γ3	10,90	13,20	$5,28 \cdot 10^{-5}$	LEFRANC	el
Γ3	14,90	16,20	$1,32 \cdot 10^{-4}$	LEFRANC	el
Γ5	2,95	5,40	$2,46 \cdot 10^{-7}$	MAAG	el
Γ5	6,60	7,80	$1,18 \cdot 10^{-7}$	MAAG	el



Σχήμα 5-10: Μεταβολή του συντελεστή διαπερατότητας του αποσαθρωμένου μανδύα του φλύσχη με αύξηση του βάθους



Σχήμα 5-11: Ιστόγραμμα τιμών διαπερατότητας του αποσαθρωμένου μανδύα του φλύσχη

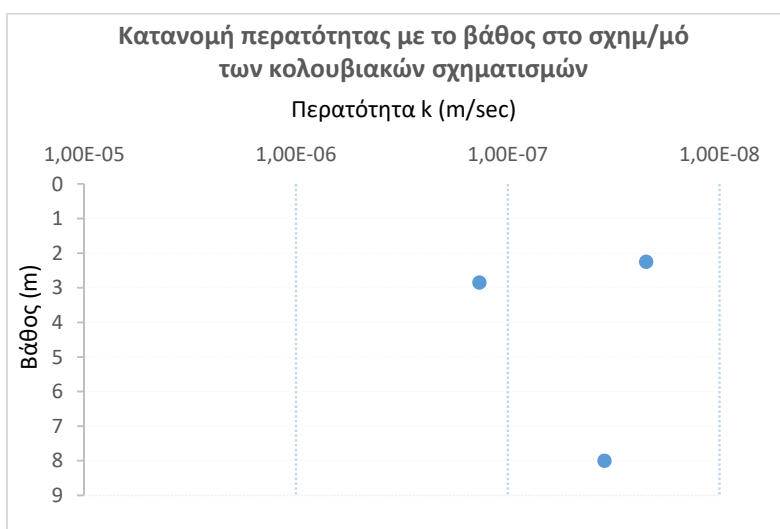
3) Κολουβιακοί σχηματισμοί

Μόνο τρεις τιμές του συντελεστή διαπερατότητας έχουν υπολογισθεί, από τις δοκιμές πίπτοντος φορτίου (MAAG) για το σχηματισμό των πλευρικών κορημάτων οι οποίες δείχνουν ότι η διαπερατότητα του σχηματισμού κυμαίνεται από πολύ χαμηλή ως χαμηλή. Συγκεκριμένα η διαπερατότητα κυμαίνεται από $k=1,36 \cdot 10^{-7}$ m/sec ως $k=2,22 \cdot 10^{-8}$ m/sec, με μέση τιμή $k=6,24 \cdot 10^{-8}$ m/sec. Παρακάτω δίνονται ο πίνακας με τις τιμές διαπερατότητας που

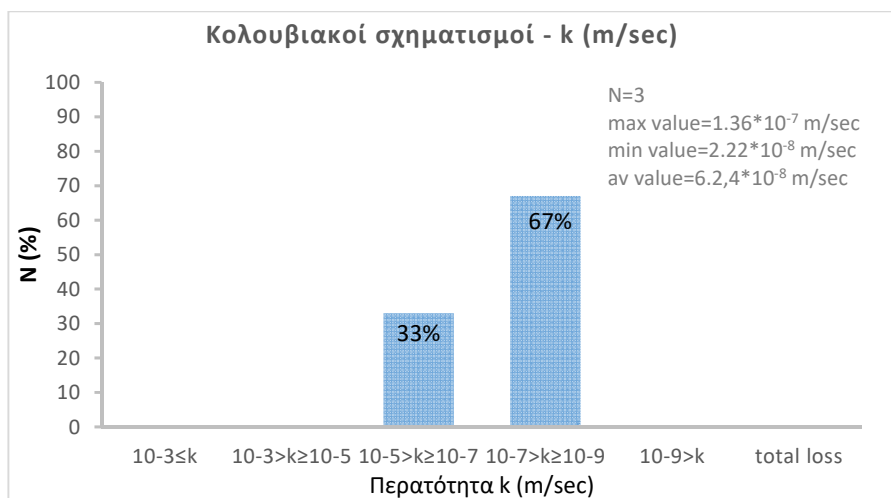
προέκυψαν στον υπόψη σχηματισμό (Πίνακας 5-6), το διάγραμμα μεταβολής τους με αύξηση του βάθους (Σχήμα 5-12) καθώς και το αντίστοιχο ιστόγραμμα (Σχήμα 5-13).

Πίνακας 5-6: Αποτελέσματα δοκιμών διαπερατότητας στα πλευρικά κορήματα.

Συντελεστής Υδροπερατότητας				ΕΙΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΓΕΩΤ. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ
ΓΕΩΤΡΗΣΗ	Βάθος Δοκιμής		k		
	Από	Μέχρι			
	m	m	m/sec		
Γ12	7,50	8,50	3,49*10 ⁻⁸	MAAG	col
Γ4	2,10	3,60	1,36*10 ⁻⁷	MAAG	col
Γ5	1,50	3,00	2,22*10 ⁻⁸	MAAG	col



Σχήμα 5-12: Μεταβολή του συντελεστή διαπερατότητας των κορημάτων συναρτήσεις του βάθους



Σχήμα 5-13: Στατιστική επεξεργασία των τιμών διαπερατότητας των κορημάτων

4) Τμήμα Φλύσξης

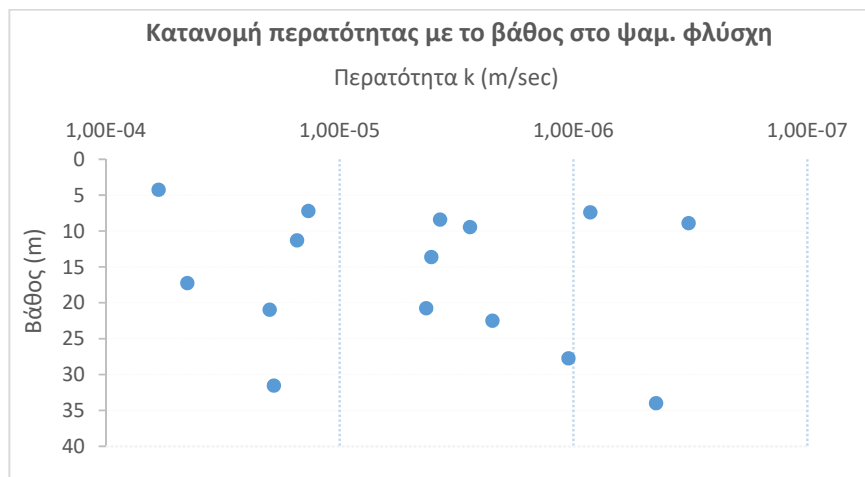
α) Ψαμμιτική φάση του φλύσχη

Στη ψαμμιτική φάση του φλύσχη καταγράφηκαν δεκαέξι (αρ.16) τιμές διαπερατότητας με μέση τιμή $k=1,28 \cdot 10^{-5}$ m/sec η οποία κυμαίνεται μεταξύ της ελάχιστης τιμής $k=8,47 \cdot 10^{-7}$ m/sec και της μέγιστης τιμής $k=5,94 \cdot 10^{-5}$ m/sec. Συνολικά εκτελέσθηκαν τρεις δοκιμές πίπτοντος φορτίου τύπου MAAG, δύο δοκιμές εισπίεσεων με παρεμβύσματα, τύπου LUGEON και έντεκα δοκιμές σταθερού φορτίου τύπου LEFRANC. Ο ψαμμιτικός φλύσχος έχει τη μορφή εναλλασσόμενων εκτεταμένων ζωνών αποσαθρωμένου ψαμμίτη/ίλυοψαμμίτη και υγιούς πετρώματος με αποτέλεσμα οι δοκιμές τύπου LEFRANC να είναι πιο κατάλληλες για τον προσδιορισμό της περατότητας σε σχέση με τις δοκιμές τύπου LUGEON όπου χρειάζονται συμπαγή πετρώματα για να εφαρμοστούν τα ελαστικά παρεμβύσματα (PACKER). Χαρακτηρίζεται ως σχηματισμός μέτριας ως χαμηλής διαπερατότητας. Στο δεξί πρανές, σε απόλυτο υψόμετρο περίπου 305m, στη γεώτρηση Γ14, σημειώθηκε ολική απώλεια (με παροχή αντλίας της τάξης των 51lt/min) μέσα στο ψαμμιτικό φλύσχη (μάλλον λόγω υδραυλικής επικοινωνίας και διαφυγών από ρωγμές της βραχομάζας προς κοντινή επιφάνεια του εδάφους). Παρακάτω δίνονται, ο πίνακας των τιμών διαπερατότητας που καταγράφηκαν για τον ψαμμίτη (Πίνακας 5-7), στο Σχήμα 5-14 το διάγραμμα διακύμανσης των τιμών διαπερατότητας συναρτήσει του βάθους και στο Σχήμα 5-15 το αντίστοιχο ιστόγραμμα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η στάθμη του υπόγειου νερού στο δεξί πρανές, όπου επιφανειακά απαντάται ο ψαμμιτικός φλύσχος, βρίσκεται χαμηλότερα σε σχέση με το αριστερό πρανές στοιχείο που δηλώνει κάποια σχετική ευκολία διακίνησης του υπόγειου νερού και αποστράγγιση. Ειδικά στη γεώτρηση Γ1 αυτή βρέθηκε πολύ χαμηλά (σε βάθος περίπου 32m βάθος). Οι παραπάνω είναι ενδείξεις βαθύτερης αποστράγγισης προς χαμηλότερα υψόμετρα πιθανόν προς τα κατάντη.

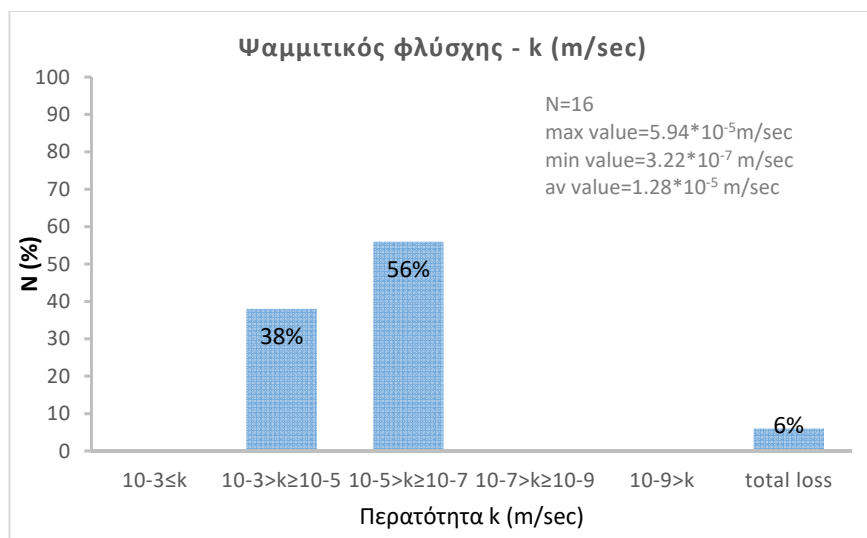
Πίνακας 5-7: Αποτελέσματα δοκιμών διαπερατότητας στη ψαμμιτική φάση του φλύσχη.

Συντελεστής Υδροπερατότητας				ΕΙΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΓΕΩΤ. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ
ΓΕΩΤΡΗΣΗ	Βάθος Δοκιμής		k		
	Από	Μέχρι			
	m	m	m/sec		
Γ9	7,00	7,80	8,47*10 ⁻⁷	MAAG	sst
Γ9	7,50	10,30	3,22*10 ⁻⁷	MAAG	sst
Γ9	20,00	21,50	4,26*10 ⁻⁶	LUGEON	sst
Γ14	12,00	14,60	-	LEFRANC	sst
Γ14	31,00	37,00	4,43*10 ⁻⁷	LUGEON	sst
Γ1	7,30	9,50	3,72*10 ⁻⁶	LEFRANC	sst
Γ1	10,40	12,20	1,52*10 ⁻⁵	LEFRANC	sst
Γ1	20,75	21,20	1,99*10 ⁻⁵	LEFRANC	sst
Γ1	20,75	23,00	2,22*10 ⁻⁶	LEFRANC	sst
Γ1	27,20	28,30	1,05*10 ⁻⁶	LEFRANC	sst
Γ1	31,10	32,00	1,91*10 ⁻⁵	LEFRANC	sst
Γ2	4,00	4,50	5,94*10 ⁻⁵	MAAG	sst
Γ2	6,90	7,50	1,36*10 ⁻⁵	LEFRANC	sst
Γ2	8,70	10,20	2,77*10 ⁻⁶	LEFRANC	sst

Γ_2	13,25	14,00	$4,05 \cdot 10^{-6}$	LEFRANC	sst
Γ_2	16,50	18,00	$4,48 \cdot 10^{-5}$	LEFRANC	sst



Σχήμα 5-14: Μεταβολή του συντελεστή διαπερατότητας της ψαμμιτικής φάσης του φλύσχη με αύξηση του βάθους.



Σχήμα 5-15: Στατιστική επεξεργασία τιμών διαπερατότητας της ψαμμιτικής φάσης του φλύσχη.

β) Ιλυολιθικός φλύσχος

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται συνολικά οι εξήντα εννέα (αρ. 69) τιμές διαπερατότητας που καταγράφηκαν για τον ιλυολιθικό φλύσχη (Πίνακας 5-8). Δίπλα σε κάθε δοκιμή δίνεται και η τεχνικογεωλογική ενότητα στην οποία εκτελέστηκε η δοκιμή, ήτοι εδαφοποιημένος ιλυολιθικός (slt.fl0), ή ιλυολιθικός φλύσχος (slt.fl1). Στη συνέχεια δίνονται τα ιστόγραμμα

κατανομής των τιμών διαπερατότητας και τα διαγράμματα μεταβολής των τιμών συναρτήσει του βάθους για την κάθε ενότητα ξεχωριστά.

Πίνακας 5-8: Αποτελέσματα δοκιμών διαπερατότητας στην ιλυολιθική φάση του φλύσχη.

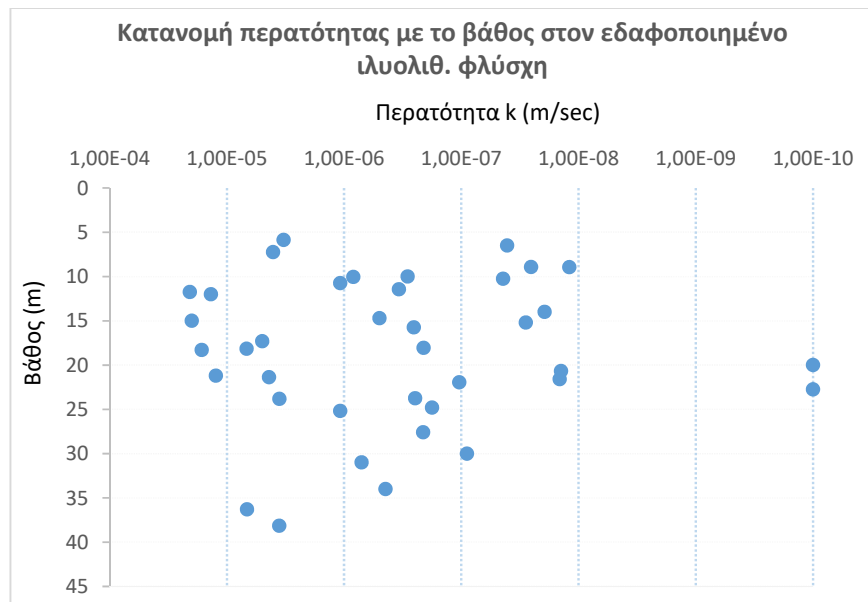
Συντελεστής Υδροπερατότητας				ΕΙΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΓΕΩΤ. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ
ΓΕΩΤΡΗΣΗ	Βάθος Δοκιμής		k		
	Από	Μέχρι			
	m	m	m/sec		
Γ1	35,80	36,80	6,73*10 ⁻⁶	LEFRANC	slt.fl0
Γ1	35,90	40,40	3,58*10 ⁻⁶	LEFRANC	slt.fl0
Γ2	20,30	22,45	4,37*10 ⁻⁶	LEFRANC	slt.fl0
Γ2	24,20	26,10	4,69*10 ⁻⁶	LEFRANC	slt.fl1
Γ2	24,20	28,50	4,75*10 ⁻⁶	LEFRANC	slt.fl1
Γ3	17,80	18,80	1,64*10 ⁻⁵	MAAG	slt.fl0
Γ3	20,00	22,40	1,24*10 ⁻⁵	LEFRANC	slt.fl0
Γ3	22,15	25,50	3,56*10 ⁻⁶	MAAG	slt.fl0
Γ3	25,30	30,50	1,63*10 ⁻⁷	MAAG	slt.fl1
Γ3	25,30	33,50	7,11*10 ⁻⁸	MAAG	slt.fl1
Γ3	34,00	36,50	2,17*10 ⁻⁶	MAAG	slt.fl1
Γ3	37,70	41,00	7,10*10 ⁻⁸	LUGEON	slt.fl1
Γ3	34,00	42,50	9,15*10 ⁻⁹	MAAG	slt.fl1
Γ3	34,00	45,90	1,25*10 ⁻⁸	MAAG	slt.fl1
Γ3	34,00	50,00	6,00*10 ⁻⁹	MAAG	slt.fl1
Γ4	5,10	6,65	3,28*10 ⁻⁶	LEFRANC	slt.fl0
Γ4	8,05	9,80	2,54*10 ⁻⁸	MAAG	slt.fl0
Γ4	10,30	12,60	3,41*10 ⁻⁷	MAAG	slt.fl0
Γ4	14,00	15,40	4,99*10 ⁻⁷	MAAG	slt.fl0
Γ4	17,10	19,00	2,10*10 ⁻⁷	MAAG	slt.fl0
Γ4	19,00	22,35	1,41*10 ⁻⁸	MAAG	slt.fl0
Γ4	24,10	25,50	1,78*10 ⁻⁷	MAAG	slt.fl0
Γ4	26,70	28,50	2,12*10 ⁻⁷	MAAG	slt.fl0
Γ4	30,00	32,40	3,23*10 ⁻⁷	MAAG	slt.fl1
Γ4	34,05	36,20	4,28*10 ⁻⁷	MAAG	slt.fl1
Γ4	36,65	38,70	2,43*10 ⁻⁷	MAAG	slt.fl1
Γ4	38,85	42,00	7,81*10 ⁻⁸	MAAG	slt.fl1
Γ4	43,25	45,10	6,25*10 ⁻⁷	MAAG	slt.fl1
Γ4	45,85	49,00	9,11*10 ⁻⁹	MAAG	slt.fl1
Γ5	11,30	12,20	2,07*10 ⁻⁵	LEFRANC	slt.fl0
Γ5	14,30	15,70	1,99*10 ⁻⁵	LEFRANC	slt.fl0
Γ5	16,90	19,40	6,80*10 ⁻⁶	LEFRANC	slt.fl0
Γ5	20,90	23,00	1,04*10 ⁻⁷	MAAG	slt.fl0
Γ5	24,05	26,30	1,08*10 ⁻⁶	LEFRANC	slt.fl0
Γ5	27,60	29,20	1,41*10 ⁻⁷	MAAG	slt.fl1
Γ5	30,10	33,20	2,15*10 ⁻⁷	MAAG	slt.fl1
Γ5	30,10	35,90	5,49*10 ⁻⁸	MAAG	slt.fl1
Γ5	30,10	38,80	3,18*10 ⁻⁸	MAAG	slt.fl1
Γ5	40,00	42,00	9,64*10 ⁻⁸	MAAG	slt.fl1
Γ5	44,65	46,10	6,38*10 ⁻⁸	MAAG	slt.fl1

Γ5	48,40	52,40	$1,23 \cdot 10^{-7}$	LUGEON	slt.fl1
Γ5	46,30	55,80	$8,11 \cdot 10^{-9}$	MAAG	slt.fl1
Γ5	46,30	60,00	$5,62 \cdot 10^{-9}$	MAAG	slt.fl1
Γ6	6,70	7,00	$2,63 \cdot 10^{-4}$	LEFRANC	slt.fl0
Γ6	9,60	10,50	$8,35 \cdot 10^{-7}$	MAAG	slt.fl0
Γ6	10,00	14,00	$1,37 \cdot 10^{-5}$	LEFRANC	slt.fl0
Γ6	13,50	16,50	$1,05 \cdot 10^{-4}$	LEFRANC	slt.fl0
Γ6	14,60	20,00	$4,99 \cdot 10^{-6}$	LEFRANC	slt.fl0
Γ8	5,50	7,50	$4,07 \cdot 10^{-8}$	MAAG	slt.fl0
Γ8	9,00	11,50	$4,41 \cdot 10^{-8}$	MAAG	slt.fl0
Γ8	13,00	15,00	$1,95 \cdot 10^{-8}$	MAAG	slt.fl0
Γ8	15,00	17,00	$3,19 \cdot 10^{-8}$	MAAG	slt.fl0
Γ8	19,50	23,70	$1,45 \cdot 10^{-8}$	MAAG	slt.fl0
Γ8	51,80	56,80	$1,94 \cdot 10^{-8}$	LUGEON	slt.fl1
Γ9	29,50	30,50	$8,95 \cdot 10^{-8}$	MAAG	slt.fl0
Γ9	36,00	40,00	$2,11 \cdot 10^{-7}$	LUGEON	slt.fl1
Γ10	6,00	8,50	$4,03 \cdot 10^{-6}$	MAAG	slt.fl0
Γ10	7,50	10,40	$1,20 \cdot 10^{-8}$	MAAG	slt.fl0
Γ10	14,50	17,00	$2,54 \cdot 10^{-7}$	MAAG	slt.fl0
Γ10	22,00	25,30	$3,50 \cdot 10^{-8}$	MAAG	slt.fl1
Γ10	36,00	42,00	$2,08 \cdot 10^{-8}$	LUGEON	slt.fl1
Γ11	9,00	11,00	$2,87 \cdot 10^{-7}$	MAAG	slt.fl0
Γ11	14,40	16,00	$2,82 \cdot 10^{-7}$	MAAG	slt.fl0
Γ11	19,00	21,00	-	MAAG	slt.fl0
Γ11	20,00	25,50	-	MAAG	slt.fl0
Γ11	30,00	32,00	$7,10 \cdot 10^{-8}$	MAAG	slt.fl0
Γ13	23,00	25,00	$6,84 \cdot 10^{-8}$	MAAG	slt.fl1
Γ14	31,00	37,00	$4,43 \cdot 10^{-7}$	LUGEON	slt.fl0
Γ16	10,50	11,00	$1,08 \cdot 10^{-6}$	MAAG	slt.fl0
Γ16	14,50	15,00	-	MAAG	slt.fl0
Γ16	20,50	21,00	-	MAAG	slt.fl0
Γ16	22,00	22,50	-	MAAG	slt.fl0
Γ16	23,50	24,00	$2,48 \cdot 10^{-7}$	MAAG	slt.fl0
Γ16	25,00	25,50	-	MAAG	slt.fl0

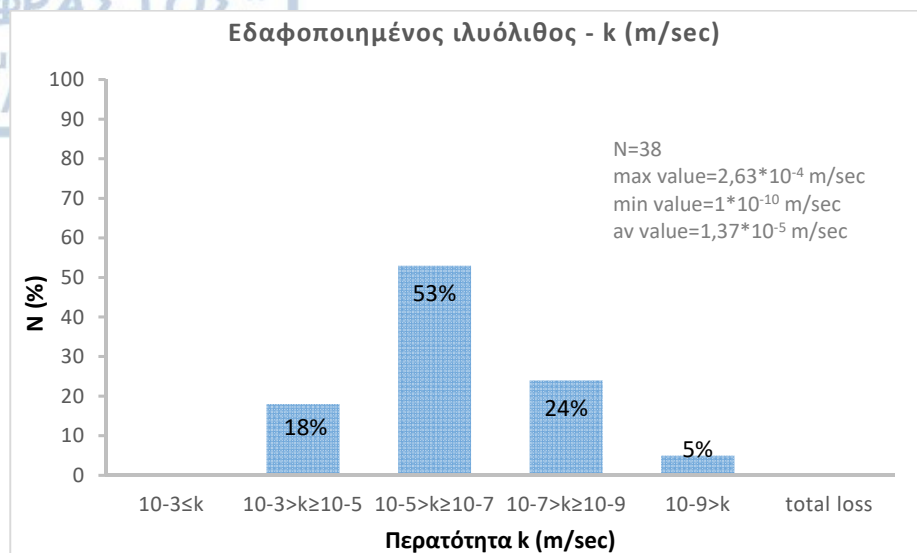
β1) Εδαφοποιημένος ιλυολιθικός φλύσχος:

Στον εδαφοποιημένο ιλυόλιθο έχουν γίνει τριάντα οκτώ (αρ. 38) δοκιμές διαπερατότητας εκ των οποίων είκοσι τέσσερις (αρ. 24) δοκιμές πίπτοντος φορτίου τύπου MAAG, δεκατρείς (αρ. 13) δοκιμές σταθερού φορτίου, τύπου LEFRANC και μία (αρ. 1) δοκιμή εισπίεσης τύπου LUGEON. Το εύρος των τιμών διαπερατότητας που προκύπτουν είναι πολύ μεγάλο, με μέγιστη τιμή $k=2,63 \cdot 10^{-4}$ m/sec, ελάχιστη τιμή $k=1,00 \cdot 10^{-10}$ m/sec (μηδενική πτώση στάθμης στη γεώτρηση Γ11) και μέση τιμή $k=1,37 \cdot 10^{-5}$ m/sec. Η ενότητα αυτή χαρακτηρίζεται ως χαμηλής διαπερατότητας, έως πολύ χαμηλής και λιγότερο μέτριας διαπερατότητας. Το ευρύ πεδίο τιμών διαπερατότητας στον εδαφοποιημένο ιλυόλιθο σχετίζεται με την επίδραση της τεκτονικής καταπόνησης στον ιλυόλιθο, η οποία είναι λιγότερο ή περισσότερο έντονη, δημιουργώντας και εμποδίζοντας διόδους κυκλοφορίας υπόγειου νερού καθώς και την ύπαρξη διάσπαρτων φακών διερρηγμένου ψαμμίτη μέσα στον ιλυόλιθο, ο οποίος αυξάνει τοπικά τη διαπερατότητα της υπόψη ενότητας. Στη γεώτρηση Γ16, στη δεξιά παρειά του ποταμού, στις τέσσερις από τις έξι δοκιμές τύπου MAAG που εκτελέστηκαν, διαπιστώθηκε

άνοδος της στάθμης του υπόγειου νερού, με αυξανόμενη πίεση με το βάθος η οποία σε βάθος 25m έφτασε τα 2 lit/min και η οποία δείχνει την παρουσία αρτεσιανισμού μέσα στον εδαφοποιημένο ιλυόλιθο στο δεξί πρανές. Ο αρτεσιανισμός αυτός πιθανόν να οφείλεται στην διήθηση επιφανειακού νερού μέσω του ρωγμώδους του ψαμμίτη, ή στο αυξημένο πορώδες του αποσαθρωμένου ψαμμίτη που προέρχεται από ψηλότερα υψόμετρα της ευρύτερης περιοχής, κυκλοφορεί μέσα σε συγκεκριμένο στρώμα μεγαλύτερης περατότητας το οποίο απομονώνεται από ανώτερο στρώμα μικρότερης περατότητας (συνθήκη ανάπτυξης υπό πίεση οριζόντια). Παρακάτω στο **Σχήμα 5-16** και στο **Σχήμα 5-17** δίνονται το διάγραμμα μεταβολής του συντελεστή διαπερατότητας συναρτήσει του βάθους και το ιστόγραμμα των τιμών διαπερατότητας αντίστοιχα. Όπως φαίνεται η μεταβολή της διαπερατότητας με το βάθος είναι τυχαία, δεν παρατηρείται κάποια τάση μείωσής της αυξανόμενου του βάθους, υποδεικνύοντας πρακτικά τη μεγάλη ανομοιογένεια του υπόψη σχηματισμού.



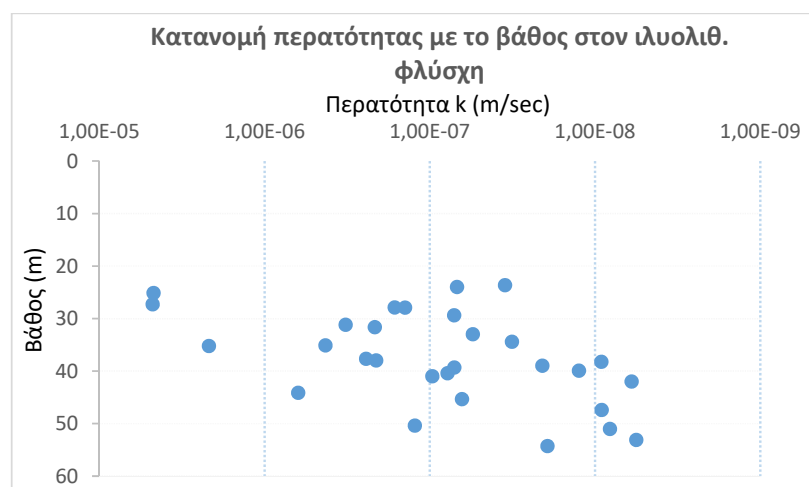
Σχήμα 5-16: Μεταβολή του συντελεστή διαπερατότητας του εδαφοποιημένου ιλυολιθικού φλύσχη με το βάθος.



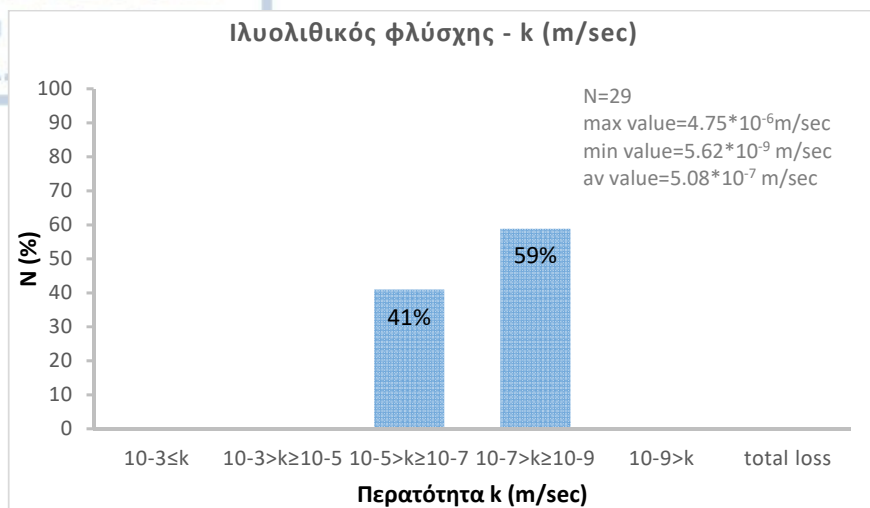
Σχήμα 5-17: Ιστόγραμμα κατανομής τιμών διαπερατότητας εδαφοποιημένου ιλυολιθικού φλύσχη.

β2) Ιλυολιθικός φλύσχη:

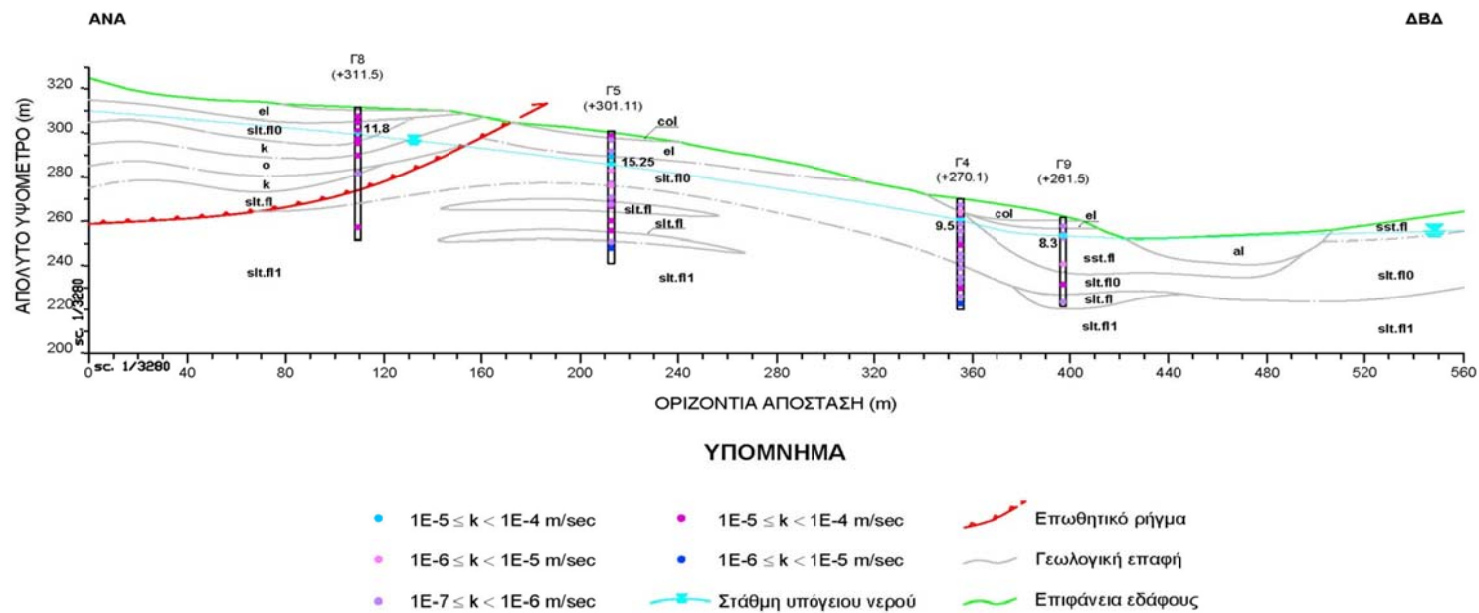
Στον ιλυολιθικό φλύσχη εκτελέσθηκαν είκοσι εννέα (αρ. 29) δοκιμές διαπερατότητας εκ των οποίων, είκοσι δύο (αρ. 22) δοκιμές είναι τύπου MAAG, δύο (2) δοκιμές τύπου LEFRANC και πέντε (5) δοκιμές τύπου LUGEON. Οι τιμές που προκύπτουν κυμαίνονται μεταξύ της ελάχιστης τιμής $k=5,62 \cdot 10^{-9}$ m/sec και της μέγιστης τιμής $k=4,75 \cdot 10^{-6}$ m/sec, με μέση τιμή $k=5,08 \cdot 10^{-7}$ m/sec. Πρόκειται για μία ενότητα πολύ χαμηλής ως χαμηλής διαπερατότητας όπως διαπιστώνεται και στο ιστόγραμμα των τιμών διαπερατότητας (Σχήμα 5-19). Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα μεταβολής της διαπερατότητας συναρτήσει του βάθους (Σχήμα 5-18), παρατηρείται εμφανώς μείωση της διαπερατότητας με την αύξηση του βάθους όπως αναμένεται γενικά στους περισσότερους γεωλογικούς σχηματισμούς.



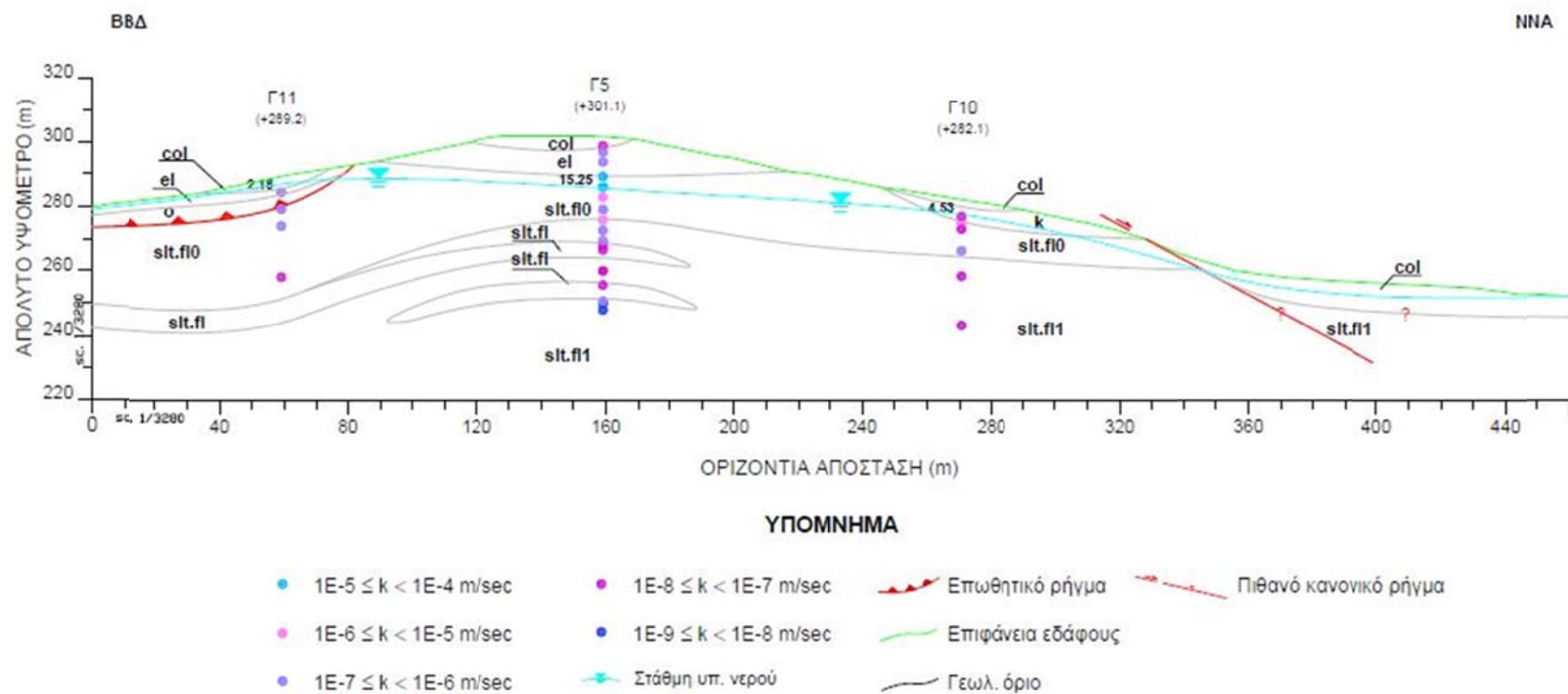
Σχήμα 5-18: Μεταβολή του συντελεστή διαπερατότητας του ιλυολιθικού φλύσχη με το βάθος.



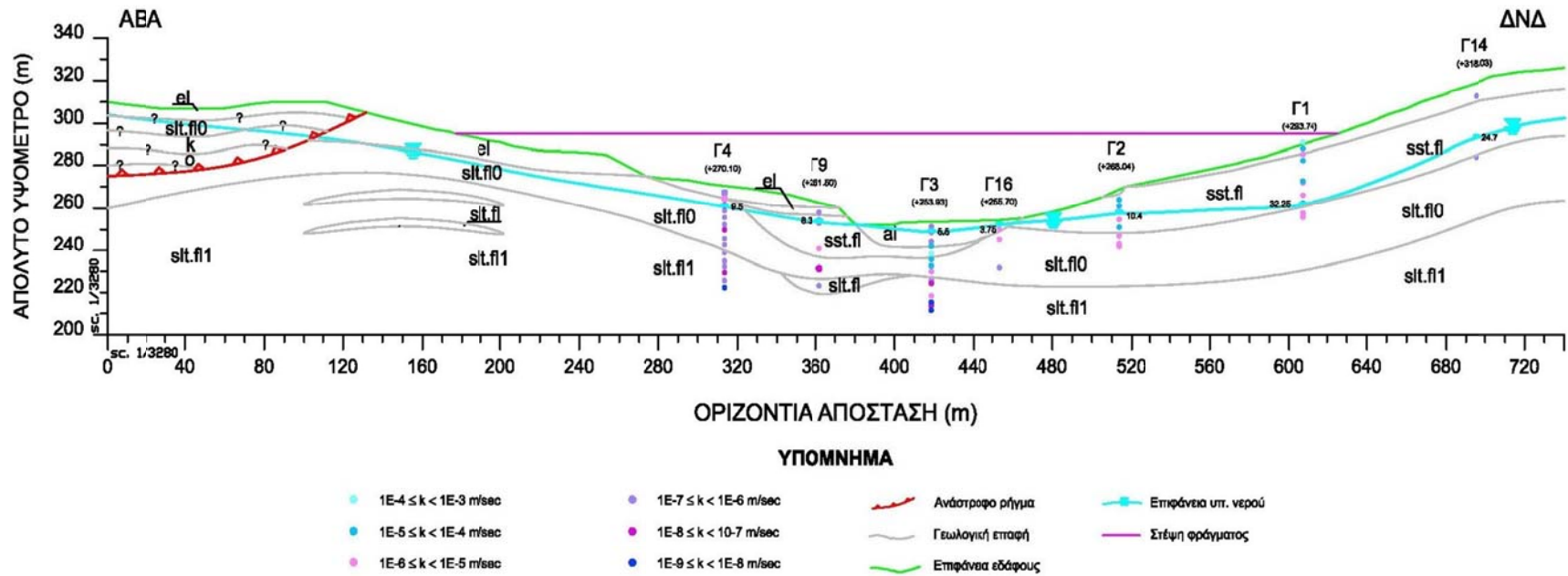
Σχήμα 5-19: Ιστόγραμμα τιμών διαπερατότητας του ιλυολιθικού φλύσχη



Σχήμα 5-20: Κατανομή διαπερατότητας στην Υδρογεωλογική Τομή 1, υποπαράλληλα του άξονα του φράγματος



Σχήμα 5-21: Κατανομή διαπερατότητας στη Υδρογεωλογική Τομή 2, κατά μήκος του αριστερού αντερείσματος



Σχήμα 5-22: Κατανομή της διαπερατότητας στη Υδρογεωλογική Τομή 3 κατά μήκος του άξονα του φράγματος

5.6 Στάθμες υπόγειου νερού στη θέση του φράγματος και των συνοδών έργων

Παρακάτω δίνεται **Πίνακας 5-9** με τις στάθμες του υπόγειου νερού που μετρήθηκαν στα πιεζόμετρα ανοικτού τύπου που είχαν τοποθετηθεί στις γεωτρήσεις, Γ12, Γ14, Γ15, Γ16 και Γ18 και στα κλισιόμετρα που τοποθετήθηκαν στις γεωτρήσεις Γ8, Γ9, Γ10 και Γ11 καθώς και τις μετρήσεις στάθμης κατά τη διάρκεια των γεωτρήσεων.

Πίνακας 5-9: Στάθμες υπόγειου νερού που μετρήθηκαν σε πιεζόμετρα ανοικτού τύπου και κλισιόμετρα.

Γεώτρηση	Ημερομηνία	Βάθος υπ. νερού	Απ. Υψόμετρο γεώτρησης	Απ. Υψόμετρο υπόγειας στάθμης
Γ1	2/4/2010	31,2	293,74	262,54
Γ2	2/4/2010	10,6	268,04	257,44
Γ3	3/4/2010	5,5	253,93	248,43
Γ4	3/4/2010	9,5	270,1	260,60
Γ5	2/4/2010	15,25	301,11	285,86
Γ6	1/4/2010	1,9	254,7	252,8
Γ8	8/11/2012	11,82	311,5	299,68
Γ9	8/11/2012	8,3	261,5	253,2
Γ10	8/11/2012	4,53	282,1	277,57
Γ11	8/11/2012	2,18	289,2	287,02
Γ12	8/11/2012	7,93	260,3	252,37
Γ13	8/11/2012	2,9	255	252,1
Γ14	30/8/2012	24,7	318	293,3
Γ14	8/11/2012	-	318	-
Γ15	8/11/2012	3,05	256,5	253,45
Γ16	8/11/2012	3,75	255,7	251,95
Γ17	2/8/2012	0,3	253,3	253
Γ18	8/11/2012	12,97	278,7	265,73

Σύμφωνα με τα στοιχεία του παραπάνω πίνακα γίνεται σαφές ότι, στο μεν αριστερό ευρύτερο αντέρεισμα της θέσης του φράγματος, όπου επικρατούν οι εδαφοποιημένοι λεπτόκοκκοι και οι διατμημένοι ιλυολιθικοί και αργιολιθικοί σχηματισμοί, η πιεζομετρία είναι αρκετά ψηλά, παρακολουθώντας την μορφολογία του εδάφους σε βάθος περίπου 2-12m με μέγιστο στα 15m στη γεώτρηση Γ5, και ψηλότερα από την ανώτατη στάθμη του ταμιευτήρα. Στο δεξιό αντέρεισμα του φράγματος όμως, όπου απαντούν και οι ψαμμιτικοί σχηματισμοί του φλύσχη, η πιεζομετρία φαίνεται να είναι σχετικά χαμηλότερη, της τάξης των 10-13m, τοπικά στη γεώτρηση Γ14 η στάθμη του υπόγειου νερού εντοπίζεται περίπου στα 25m (πριν βρεθεί η σωλήνωση σπασμένη στα 22m) ενώ στη γεώτρηση Γ1 εντοπίζεται στα 31m και μπορεί να συνδέεται με κάπως βαθύτερη αποστράγγιση προς τα κατάντη. Συνολικά όμως, βρίσκεται, και «στα ανοικτά», ψηλότερα από την ανώτατη στάθμη ταμιευτήρα. Στο ίδιο αντέρεισμα και σε χαμηλότερα υψόμετρα, υπάρχει σαφής ένδειξη τάσης αρτεσιανισμού που μάλλον οφείλεται στην παρουσία των περισσότερο διαπερατών ψαμμιτικών οριζόντων μέσα στον εδαφοποιημένο ιλυόλιθο κάτω από συνθήκες υπό πίεση τοπικού υδροφόρου ορίζοντα. Γενικά στις γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν εγγύς της κοίτης του ποταμού η στάθμη του υπόγειου νερού κυμαίνεται μεταξύ 2-4m, με εξαίρεση τη γεώτρηση Γ3 στην οποία

βρέθηκε σε σχετικά μεγαλύτερο βάθος, ήτοι 5,5m. Στη γεώτρηση Γ17 η στάθμη βρέθηκε στα 0,3m, πιθανή ένδειξη αρτεσιανισμού.

5.7 Σύνοψη συνθηκών υπόγειας υδραυλικής στην θέση του φράγματος και των συνοδών έργων του

Από όσα αναφέρθηκαν λεπτομερειακά παραπάνω, προκύπτουν τα εξής, σχετικά με τις συνθήκες υπόγειας υδραυλικής του φράγματος και των συνοδών του έργων:

1. Στο δεξί αντέρεισμα σε μικρά υψόμετρα επικρατούν σχετικά μεγαλύτερες τιμές του συντελεστή διαπερατότητας με εύρος κυμανόμενο μεταξύ $k=10^{-5} - 10^{-6}$ m/sec και τοπικά 10^{-4} m/sec (μέτρια – χαμηλή διαπερατότητα), έως το βάθος 30-35m, ενώ σε μεγαλύτερα υψόμετρα οι τιμές διαπερατότητας είναι λίγες και με χαμηλές τιμές, της τάξης $k=10^{-7}$ m/sec (χαμηλή διαπερατότητα). Στο αριστερό αντέρεισμα οι επικρατούσες τιμές κυμαίνονται μεταξύ $k=10^{-6} - 10^{-8}$ (m/sec) (χαμηλή – πολύ χαμηλή διαπερατότητα) και τοπικά μόνο στον εδαφοποιημένο ιλυόλιθο μέτρια, της τάξης $k=10^{-5}$ m/sec.
2. Εγγύς των κοιτών του ποταμού, η υδροπερατότητα ποικίλλει σημαντικά. Οι τιμές του συντελεστή διαπερατότητας κυμαίνονται μεταξύ $k=10^{-4} - 10^{-8}$ m/sec με τις μικρότερες τιμές να συνδέονται κυρίως με τον ιλυολιθικό και εδαφοποιημένο ιλυολιθικό φλύσχη, και τις μεγαλύτερες με τον αποσαθρωμένο ψαμμιτικό φλύσχη και τοπικά στον εδαφοποιημένο ιλυόλιθο.
3. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το φαινόμενο αρτεσιανισμού που σημειώθηκε στη γεώτρηση Γ16 στον εδαφοποιημένο ιλυόλιθο και να ερευνηθεί περισσότερο με δοκιμές σε μεγαλύτερα βάθη και περισσότερα σημεία έρευνας. Επίσης το θέμα θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στη γεωτεχνική μελέτη θεμελίωσης του φράγματος.
4. Όπως φαίνεται και στην μηκοτομή κατά μήκος του άξονα του φράγματος στο **Σχήμα 5-22** επικρατούν ποικίλες συνθήκες υδροπερατότητας, δηλαδή χαμηλές τιμές στο αριστερό αντέρεισμα, μέτριες τιμές και μεγάλες υδραυλικές πιέσεις εγγύς του ποταμού και μέτριες προς χαμηλές στο δεξί αντέρεισμα.
5. Αναφορικά με την πιεζομετρία, στο μεν αριστερό πρανές είναι αρκετά ψηλότερα παρακολουθώντας την μορφολογία του εδάφους με μέγιστο βάθος, της τάξης των 14m και ψηλότερα από την ανώτατη στάθμη του ταμιευτήρα, ενώ στο δεξιό πρανές είναι χαμηλότερα της τάξης μεγαλύτερης των 25m αλλά όχι χαμηλότερα από την ανώτατη στάθμη ταμιευτήρα. Η υψηλότερη υδροστατική πίεση που επικρατεί στα αντερείσματα του ταμιευτήρα δεν επιτρέπει την κίνηση του υπόγειου νερού προς άλλες υδρολογικές λεκάνες αλλά αντίστροφα, καθοδηγεί τη ροή του υπόγειου νερού προς τον ταμιευτήρα όπου η στάθμη και άρα η υδροστατική πίεση είναι χαμηλότερη (ροή του υπόγειου νερού από θέσεις υψηλού σε θέσεις χαμηλού υδατικού δυναμικού). Τα παραπάνω δεδομένα εξασφαλίζουν την στεγανότητα του ταμιευτήρα.
6. Όσον αφορά στα συνοδά έργα του φράγματος, ο εκχειλιστής και η λεκάνη καταστροφής ενέργειας του εκχειλιστή τοποθετείται στο αριστερό αντέρεισμα όπου η διαπερατότητα είναι κυρίως χαμηλή έως πολύ χαμηλή με μεγάλη πιθανότητα ανάπτυξης αστράγγιστων συνθηκών φόρτισης κατά την κατασκευή του έργου (πιθανόν να απαιτηθεί συστηματική

αποστράγγιση της περιοχής ανάλογα με τα αποτελέσματα της μελέτης θεμελίωσης του έργου). Ο άξονας του κύριου ανάντη προφράγματος επίσης αναπτύσσεται σε περιοχή χαμηλής διαπερατότητας, ευνοϊκής μεν για το περιορισμό των διαφυγών κάτω από το σώμα του προφράγματος, αλλά δυσμενής για τις συνθήκες θεμελίωσής του. Η σήραγγα αποστράγγισης του δεξιού αντέρεισματος πραγματοποιείται σε περιοχή μέτριας ως μικρής διαπερατότητας ενώ του αριστερού σε περιοχή μικρής και τοπικά ίσως μέτριας διαπερατότητας ενώ για το σημείο θεμελίωσης του πύργου υδροληψίας δεν υπάρχουν στοιχεία διαπερατότητας.

6 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΖΩΝΙΣΗ ΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

6.1 Γενικά – Τεχνικογεωλογική διαζώνιση

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται παρουσίαση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των επί τόπου και εργαστηριακών δοκιμών που εκτελέσθηκαν σε δοκίμια που ελήφθησαν από τις εκτελεσθείσες γεωτρήσεις (από την Γ8 έως και την Γ18) για όλους τους γεωλογικούς σχηματισμούς στην στενή περιοχή ενδιαφέροντος. Βάσει των στοιχείων του γεωερευνητικού προγράμματος συντάχθηκαν μέσω του λογισμικού Autocad τρεις μηκοτομές, η Γεωλογική μηκοτομή 1, υποπαράλληλα στο άξονα του φράγματος που φαίνεται στο **Σχήμα 6-19**, η Γεωλογική μηκοτομή 2, παράλληλα στο αριστερό πρανάς που φαίνεται στο **Σχήμα 6-20** και η Γεωλογική μηκοτομή παράλληλα στον άξονα του φράγματος που φαίνεται στο **Σχήμα 6-21**. Για κάθε σχηματισμό, που αναφέρθηκε παραπάνω, γίνεται μια σύντομη περιγραφή, δίνονται στοιχεία της ποιότητας βραχομάζας, στοιχεία φυσικών (κοκκομετρική διαβάθμιση, φυσική υγρασία, ξηρό βάρος) και μηχανικών χαρακτηριστικών (παράμετροι αντοχής και παραμορφωσιμότητας) και γίνεται αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και στατιστική επεξεργασία αυτών. Έτσι, με την παραπάνω αξιολόγηση των μηχανικών χαρακτηριστικών θα επιχειρηθεί η διακριτοποίηση τεχνικογεωλογικών ενοτήτων που αναμένεται να συναντηθούν στα διάφορα μέτωπα ανάπτυξης των έργων.

6.2 Γεωλογικός σχηματισμός των αλλουβιακών αποθέσεων της κοίτης του ποταμού και των ποτάμιων αναβαθμίδων

Ο σχηματισμός αυτός εντοπίζεται εγγύς των κοιτών του ποταμού Πλατύ και απαντάται στις γεωτρήσεις Γ3, Γ6, Γ13, Γ15, Γ16 και Γ17. Πρόκειται για ένα πολύ ετερογενή και ανομοιόμορφο σχηματισμό, καστανού ως ανοιχτο-κάστανου χρώματος, χαλαρής ως μέσης πυκνότητας, με κοκκομετρική διαβάθμιση που κυμαίνεται από άμμους και χάλικες αργιλώδεις, ως ιλυο-άμμους χαλικώδεις. Οι χάλικες έχουν σύσταση κυρίως ασβεστολιθική και ψαμμιτική και κατά τόπους ιλυολιθική. Το πάχος των ποτάμιων αποθέσεων έχει μεγάλο εύρος και κυμαίνεται από 3-3,5m έως και 17,7m.

Για τον προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των ποτάμιων αποθέσεων ελήφθησαν δείγματα από τις γεωτρήσεις Γ3, Γ6, Γ13, Γ15, Γ16 και Γ17 που αναφέρθηκαν παραπάνω, ενώ χρησιμοποιήθηκαν και κάποια δείγματα από τα φρέατα Φ21-Φ25 που εκτελέσθηκαν στην άμεση περιοχή θεμελίωσης του φράγματος. Συνολικά εκτελέσθηκαν τριάντα (αρ. 30) κοκκομετρικές αναλύσεις από τις οποίες προκύπτει ότι το ποσοστό των

Λεπτόκοκκων κυμαίνεται από 0% έως 94%, με μέση τιμή **32%**, το ποσοστό της άμμου κυμαίνεται από 6% ως 71%, με μέση τιμή **37%**, ενώ το ποσοστό των χαλίκων κυμαίνεται από 0% ως 83%, με μέση τιμή **32%**. Από τις δέκα (αρ. 10) δοκιμές για τα όρια Atterberg που εκτελέσθηκαν στα δείγματα των αλλουβιακών αποθέσεων, προκύπτει ότι το όριο υδαρότητας κυμαίνεται από 20,5% ως 34,8%, με μέση τιμή **28,2%**, και ο δείκτης πλαστικότητας κυμαίνεται από 4,1% ως 15,7%, με μέση τιμή **9,5%**. Το ποσοστό υγρασίας έχει εύρος μεταξύ 4,7% και 36,1%, με μέση τιμή **23,5%**. Παρακάτω δίνεται ο αναλυτικός **Πίνακας 6-1** με τις τιμές των φυσικών χαρακτηριστικών των αλλουβιακών αποθέσεων όπως επίσης και τα διαγράμματα στο **Σχήμα 6-1** και στο **Σχήμα 6-2** που προέκυψαν από τη στατιστική επεξεργασία των τιμών ορίου υδαρότητας και δείκτη πλαστικότητας και φυσικής υγρασίας αντίστοιχα. Διατίθενται επίσης μία τιμή ξηρού φαινομένου βάρους, $\gamma_d=18,6 \text{ kN/m}^3$ και μία τιμή υγρού φαινομένου βάρους $\gamma=19,7 \text{ kN/m}^3$ που έγιναν σε δοκίμιο από τη γεώτρηση Γ16. Τέλος, σε δοκίμια προερχόμενα από τα φρέατα εντοπίστηκαν κάποια μικρά ποσοστά οργανικών, εκ των οποίων το μέγιστο είναι 3% σε βάθος 3,5-4,0μ. Ο σχηματισμός σύμφωνα με την κατάταξη κατά U.S.C.S. χαρακτηρίζεται κυρίως **ιλυώδης άμμος (SM)**, ως **χάλικες (GW)** και σε κάποια φρέατα, ως **άργιλος χαμηλής πλαστικότητας (CL)**.

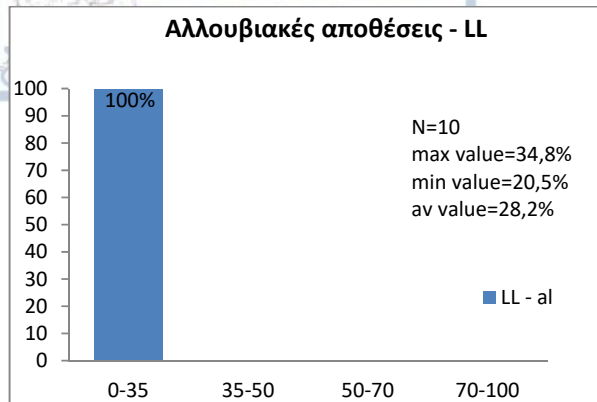
Από τις δεκαεπτά (αρ. 17) δοκιμές πρότυπης διείσδυσης SPT που έγιναν στους αλλουβιακούς σχηματισμούς σημειώθηκαν οκτώ (αρ. 8) αρνήσεις και 18, 31, 46, 64, 54, 30, 56, 34 και 6 κρούσεις, αντίστοιχα.

Πίνακας 6-1: Αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών εδαφομηχανικής σε δείγματα αλουβιακών αποθέσεων.

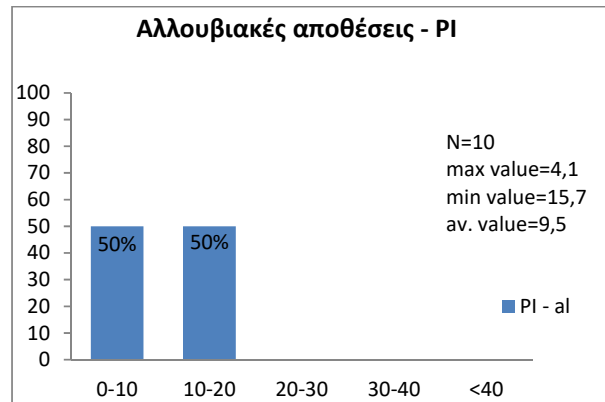
ΓΕΩΤΡΗΣΗ	Βάθος	Κοκκομετρική διαβάθμιση				Κατάταξη κατά U.S.C.S.	Όρια Atterberg				Ειδικό βάρος στερεών	Ξηρό φαινόμενο βάρος	Υγρό φαινόμενο βάρος	Ποσοστό οργανικών	
		Αργίλος	Ιλύς	Άμμος	Χάλικες		W	W _L	W _P	PI=W _L -W _P					
	(m)										(%)	(%)	(%)		(%)
	(m)	(%)	(%)	(%)	(%)		(%)	(%)	(%)	(%)	-	-	(kN/m ³)		(kN/m ³)
Γ13	3,00-4,00	15		36	49	GM έως GC	-	-	-	-	-	-	-	-	
Γ15	1,50-2,00	17		31	52	GC		21,7	14,1	7,6					
Γ17	1,00-2,40	16		37	48	GM	-	N.P.				-	-	-	-
Φ21	0,50-2,20	0		19	81	GW	-	N.P.				-	-	-	-
Φ22	0,50-2,00	3		20	77	GW	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2,00-3,50	2		22	75	GW	-	N.P.				-	-	-	-
Φ23	0,50-2,80	3		23	74	GW	-	N.P.				-	-	-	-
Φ24	,00-1,00 & 2,00-3,20	3		21	76	GW	-	N.P.				-	-	-	-
	1,00-2,00	1		16	83	GP	-	N.P.				-	-	-	-
Φ25	0,50-2,10	3		36	61	GP	-	N.P.				-	-	-	-
	2,10-3,50	2		19	81	GP	-	-	-	-	-	-	-	-	
Γ13	8,00-9,00	23		65	12	SM	9,3	N.P.				-	-	-	-
	12,45-13,70	32		58	9	SM	20,3	N.P.				-	-	-	-
Γ16	3,00-5,00	41		40	19	SC		27,8	16,2	11,6					
	5,00-6,00	38		61	1	SC	16,9	32,2	16,5	15,7	2,66	18,6	19,7		
Γ17	6,45-8,00	30		46	24	SM	-	N.P.				-	-	-	-
	9,30-10,00	23		51	27	SM	-	N.P.				-	-	-	-
Φ21	0,00-0,50	41		57	3	SM	-	N.P.				-	-	-	-
	4,30-4,60	27		71	2	SM	-	N.P.				-	-	-	-
Φ22	0,00-0,50	39		49	12	SM	-	N.P.				-	-	-	-
Φ23	0,00-0,50	37		61	1	SM	-	N.P.				-	-	-	-
Φ25	0,00-0,50	10		67	24	SW-SM	-	N.P.				-	-	-	-
Φ21	2,20-3,10	85		15	1	CL	28,5	32,2	20,7	11,5	2,71	-	-	2,0	
	3,10-4,30	92		8	0	CL	36,1	32,1	23,2	8,9	2,73	-	-	3,0	
	4,60-4,80	94		6	1	CL	33,5	34,8	22,4	12,4	2,71	-	-	1,8	
Φ22	3,50-4,00	77		21	1	CL	-	28,4	19,7	8,7	2,71	-	-	-	



Φ23	2,80-4,50	62	38	0	OL	28,6	NP			-	-	-	1,7
Φ24	3,20-4,50	92	9	0	CL	33,3	31,0	20,9	10,1	2,72	-	-	1,8
Γ6	1,50-2,50	20	40	40	SC-SM	4,7	20,5	16,3	4,2		-	-	
Γ3	7,70-8,70	24	58	18	SC-SM		21,2	17,1	4,1		-	-	
Ελάχιστη τιμή		0	6	0		4,7	20,5	14,1	4,1	2,66			
Μέγιστη τιμή		94	71	83		36,1	34,8	23,2	15,7	2,73			
Μέσος όρος		32	37	32		23,5	28,2	18,7	9,5	2,71	18,6	19,7	

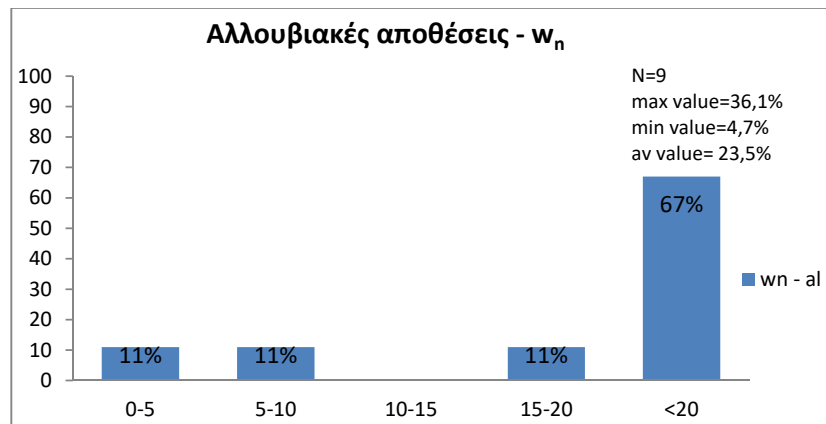


α)



β)

Σχήμα 6-1: Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας του α) ορίου υδαρότητας και β) δείκτη πλαστικότητας στις αλλουβιακές αποθέσεις



Σχήμα 6-2: Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας της φυσικής υγρασίας στις αλλουβιακές αποθέσεις

Όσον αφορά τα μηχανικά χαρακτηριστικά των αλλουβιακών αποθέσεων, δίνεται μία τιμή ενεργού συνοχής $c' = 19 \text{ kPa}$ και ενεργού γωνίας τριβής $\phi' = 26,8^\circ$, από δοκιμή άμεσης διάτμησης που πραγματοποιήθηκε σε δοκίμιο της γεώτρησης Γ16 από βάθος 5,0-6,0μ, ενώ από τη δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης που έγινε σε δοκίμιο ίδιου βάθους προέκυψε: δείκτης συμπίεσης $C_c = 0.10$, τάση προ-στερεοποίησης $\sigma_{v \text{ prec}} = 181 \text{ kPa}$, αρχικός λόγος κενών $e_0 = 0.425$, μέτρο ελαστικότητας του σχηματισμού ($E = 0,74 \text{ Es}$ ($\nu = 0,3$)) $E = 7,8 \text{ MPa}$. Ο συντελεστής διαπερατότητας που προέκυψε από τις καμπύλες στερεοποίησης κυμαίνεται από $k = 2,45 \times 10^{-7}$ έως $k = 1,35 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$.

6.3 Γεωλογικός σχηματισμός πλευρικών κορημάτων και αποθέσεων πλαγιάς (κολουβιακοί σχηματισμοί)

Ο σχηματισμός αυτός απαντάται στις πλαγιές εκατέρωθεν του ποταμού, με πάχος που κυμαίνεται από 1,0 έως 5,7m σύμφωνα με τα ευρήματα των γεωτρήσεων που εκτελέστηκαν

στην περιοχή. Συγκεκριμένα, τα κορήματα βρέθηκαν στις γεωτρήσεις Γ2, Γ4, Γ5, Γ8-Γ12 και Γ18 αντίστοιχα, ενώ στη Γ12 το βάθος του σχηματισμού έφτασε τα 11m, που μάλλον σχετίζεται με ύπαρξη κώνου κορημάτων. Αποτελούνται από ένα ετερογενές μείγμα λεπτόκοκκων, και άμμων και χαλίκων, ψαμμιτικής και ασβεστολιθικής σύστασης κυρίως και λιγότερο ιλυολιθικής. Το χρώμα τους είναι γενικά ανοιχτό καστανό και παρουσιάζουν μικρή έως μέση πυκνότητα και χαμηλή πλαστικότητα. Τεμάχια ασβεστολίθων, ή ψαμμιτών, πάχους 0,5-2m βρίσκονται συχνά μέσα στους σχηματισμούς των κορημάτων. Χαρακτηρίζεται από μεγάλη ετερογένεια η οποία σχετίζεται με την προέλευση του σχηματισμού, ήτοι ενπεριέχει τεμάχια και κλάσματα των γεωλογικών ενοτήτων της περιοχής, τα οποία λόγω αποσάθρωσης και βαρύτητας αποκόπηκαν από το μητρικό πέτρωμα/σχηματισμό και μετακινήθηκαν για να δημιουργήσουν τις αποθέσεις πλαγιάς. Έτσι, η σύσταση του μεταβάλλεται, τόσο, ως προς την πετρολογική σύσταση, όσο και την κοκκομετρική διαβάθμιση.

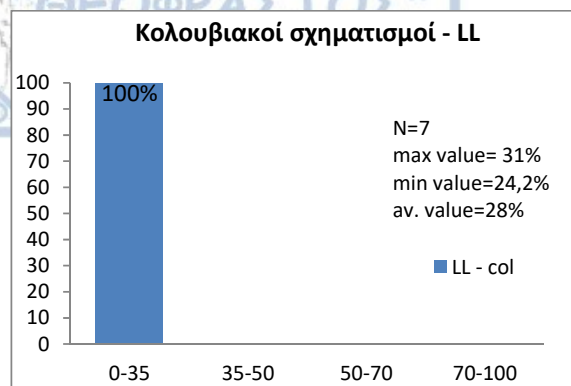
Για τον προσδιορισμό των φυσικών ιδιοτήτων πραγματοποιήθηκαν επτά (αρ. 7) κοκκομετρικές αναλύσεις και δοκιμές κατάταξης κατά U.S.C.S. των οποίων τα αποτελέσματα δίνονται στον **Πίνακα 6-2** παρακάτω. Από αυτές προκύπτει ότι το ποσοστό των λεπτόκοκκων κυμαίνεται μεταξύ 30% και 43%, με μέσο όρο **35%**, το ποσοστό της άμμου μεταξύ 32% και 52%, με μέσο όρο **45%** και το ποσοστό των χαλίκων μεταξύ 11% και 52%, με μέσο όρο **42%**. Έγιναν τρεις μετρήσεις φυσικής υγρασίας, των οποίων ο μέσος όρος είναι **14%**. Οι τιμές του ορίου υδαρότητας που μετρήθηκαν, κυμαίνονται μεταξύ 31% και 24,2% με μέσο όρο **28%**, του ορίου πλαστικότητας μεταξύ 17,8% και 14,3% με μέσο όρο **16%** και του δείκτη πλαστικότητας μεταξύ 15,6% και 9,9% και μέσο όρο **12%**. Τα δοκίμια κατατάσσονται, κατά U.S.C.S., στο σύνολό τους ως **αργιλώδης άμμος (SC)**.

Παρακάτω δίνονται το διάγραμμα στο **Σχήμα 6-3** και το διάγραμμα στο **Σχήμα 6-4** που προέκυψαν από τη στατιστική επεξεργασία των τιμών των ορίων υδαρότητας και δείκτη πλαστικότητας και των τιμών φυσικής υγρασίας αντίστοιχα. Στα διαγράμματα αυτά παρατηρείται μικρό εύρος τιμών και είναι αρκετά σταθερά αν και οι δοκιμές δεν είναι πολλές.

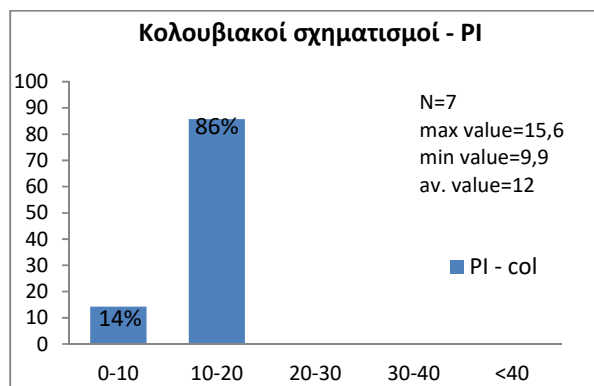
Από τις συνολικά έξι (αρ. 6) δοκιμές πρότυπης διείδυσης (SPT) που εκτελέστηκαν επί τόπου στους σχηματισμούς, στις τρεις (αρ. 3) σημειώθηκε άρνηση (όλες στη γεώτρηση Γ12) ενώ στις υπόλοιπες τρεις, σημειώθηκαν οι τιμές κρούσεων N=18, 31 και 62 αντίστοιχα.

Πίνακας 6-2: Αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών εδαφομηχανικής - φυσικά χαρακτηριστικά σε δείγματα πλευρικών κορημάτων

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	Βάθος (m)	Κοκκομετρική διαβάθμιση				Κατάταξη κατά U.S.C.S.	Ποσοστό Υγρασίας	Όρια Atterberg		
		Αργίλος	Ιλύς	Άμμος	Χάλικες		W	WL	WP	PI=WL-WP
		(%)	(%)	(%)	(%)		(%)	(%)	(%)	-
Γ12	3,00-3,50	36		52	52	SC	-	29,4	17,8	11,6
	6,00-6,50	30		51	51	SC	-	28,0	14,8	13,2
	9,00-9,40	32		49	49	SC	14,3	24,2	14,3	9,9
Γ18	1,80-2,00	30		40	40	SC	-	31,0	15,4	15,6
	3,00-3,50	39		46	46	SC	14,7	29,4	17,0	12,4
	3,50-4,00	34		46	46	SC	13	25,8	15,4	10,4
Γ4	3,80-4,80	43		32	11	SC	-	28,2	17,5	10,7
Ελάχιστη τιμή		30		32	11	-	13,0	24,2	14,3	9,9
Μέγιστη τιμή		43		52	52	-	14,7	31,0	17,8	15,6
Μέσος όρος		35		45	42	-	14,0	28,0	16,0	12,0

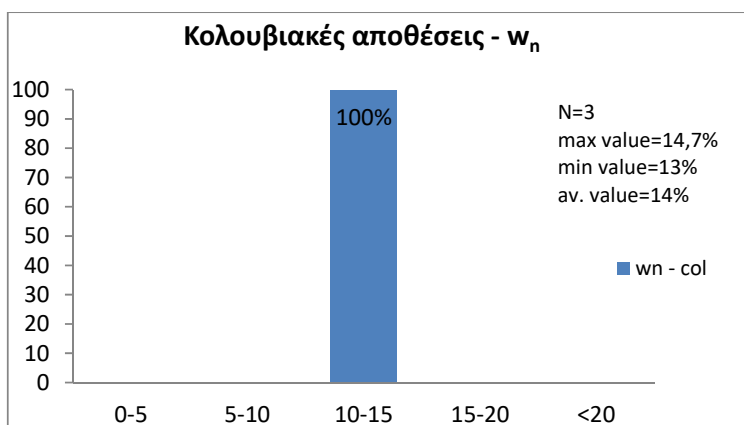


α)



β)

Σχήμα 6-3: Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας του α) ορίου υδαρότητας και β) δείκτη πλαστικότητας στις κολουβιακές αποθέσεις



Σχήμα 6-4: Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας της φυσικής υγρασίας στις κολουβιακές αποθέσεις

6.4 Γεωλογικός σχηματισμός του αποσαθρωμένου (ελουβιακού) μανδύα φλύσχη

Ο αποσαθρωμένος μανδύας του φλύσχη Εθιάς, αποτελεί το προϊόν επιφανειακής αποσάθρωσης και εδαφοποίησης των σχηματισμών υποβάθρου, ήτοι του ψαμμιτικού και ιλυολιθικού φλύσχη. Λόγω της ανακόλουθης παρουσίας του ιλυολίθου και ψαμμίτη καθώς και της διαφορετικής επιδεκτικότητας των δύο πετρωμάτων στην αποσάθρωση, ο ελουβιακός μανδύας του φλύσχη είναι αρκετά ανομοιόμορφος ως προς τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητές του. Έχει αρκετά ευρεία ανάπτυξη στην στενή περιοχή του έργου και απαντάται στις περισσότερες εκτελεσθείσες γεωτρήσεις σε βάθος που μεταβάλλεται σημαντικά ακόμα και σε γεωτρήσεις που βρίσκονται σε πολύ μικρές αποστάσεις μεταξύ τους. Συγκεκριμένα απαντάται στις γεωτρήσεις Γ8, Γ9, Γ11-Γ15, Γ17, Γ18, Γ5, Γ3 και Γ1 και το πάχος του κυμαίνεται από 1,4m ως 8,5m περίπου.

Εκτός από το βάθος, ο ελουβιακός μανδύας εμφανίζει μεταβλητότητα και στη μορφή που απαντάται στις γεωτρήσεις. Συνήθως παρουσιάζεται αμμοχάλικο αργιλώδες /ιλυοαργιλώδες με χάλικες, τεφρού ως καστανού χρώματος, ή άργιλος αμμώδης/άμμος αργιλώδης με χάλικες τεφρού ως καστανού χρώματος, χαλαρός, ως μεγάλης πυκνότητας και μικρής ως μέσης πλαστικότητας. Μοιάζει αρκετά, τοπικά, στη μορφή με τον εδαφοποιημένο-τεκτονισμένο ιλυόλιθο (Γ16).

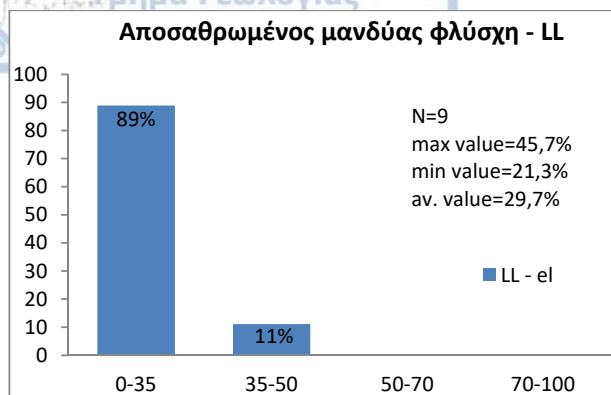
Συνολικά πραγματοποιήθηκαν δεκατρείς (αρ. 13) κοκκομετρικές αναλύσεις και εννιά (αρ. 9) μετρήσεις ορίων Atterberg, των οποίων τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω **Πίνακα 6-3**. Από αυτές προκύπτει ότι: το ποσοστό των λεπτόκοκκων κυμαίνεται από 68% ως 12%, με μέση τιμή **38%**, το ποσοστό της άμμου κυμαίνεται από 59% ως 14%, με μέση τιμή **36%** και το ποσοστό των χαλίκων κυμαίνεται από 5% ως 66%, με μέση τιμή **26%**. Από τις πέντε μετρήσεις φυσικής υγρασίας προκύπτει η μέση τιμή **12,6%**. Οι τιμές του ορίου πλαστικότητας έχουν εύρος 12,2%-18,3% με μέση τιμή **15,8%** και του δείκτη πλαστικότητας με εύρος 6,5%-27,4% και με μέση τιμή **13,9%**. Τα ιστογράμματα στατιστικής επεξεργασίας των ποσοστών του ορίου υδαρότητας και του δείκτη πλαστικότητας δίνονται στο **Σχήμα 6-5**: και το αντίστοιχο ιστόγραμμα των ποσοστών φυσικής υγρασίας στο **Σχήμα 6-6**. Οι μετρήσεις του ξηρού και υγρού φαινόμενου βάρους δίνουν μέσες τιμές $\gamma_d = 19,3 \text{ kN/m}^3$ και $\gamma = 21,2 \text{ kN/m}^3$, αντίστοιχα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, τα γεωυλικά κατατάχθηκαν κατά U.S.C.S. ως **ιλυοαργιλώδης άμμος (SM-SC)**, **άργιλος χαμηλής πλαστικότητας (CL)** και λιγότερο ως **αργιλοίλυοι χάλικες (GC-GM)**.

Από τις δεκατέσσερις (αρ. 14) δοκιμές πρότυπης διείδυσης SPT που έγιναν συνολικά επί τόπου της περιοχής του έργου, τα αποτελέσματα ήταν έξι (αρ. 6) αρνήσεις και $N = 31, 40, 42, 18, 64, 90, 43$ και 50 κρούσεις, αντίστοιχα.

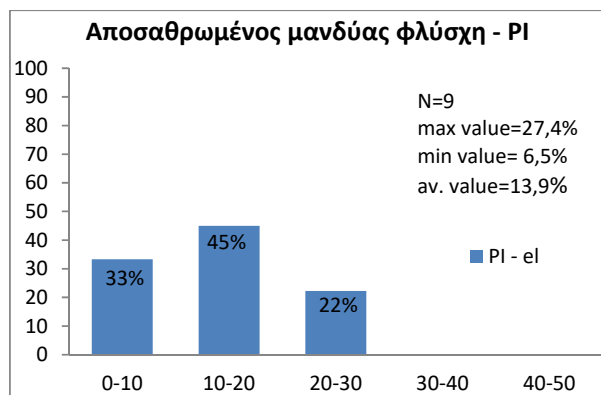
Τέλος πραγματοποιήθηκε και μια δοκιμή (αρ. 1) ανεμπόδιστης θλίψης σε εδαφικό δείγμα του αποσαθρωμένου μανδύα από την οποία προέκυψε η τιμή $q_u = 774$ και μία βραδεία δοκιμή άμεσης διάτμησης με στερεοποίηση η οποία έδωσε τιμές για τις παραμέτρους αντοχής ενεργής συνοχής και ενεργής γωνίας τριβής και **$c' = 6 \text{ kPa}$, $\phi' = 22^\circ$** αντίστοιχα.

Πίνακας 6-3: Αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών εδαφομηχανικής - φυσικά χαρακτηριστικά σε δείγματα του αποσαθρωμένου μανδύα του φλύσχη

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	Βάθος (m)	Κοκκομετρική διαβάθμιση				Κατάταξη κατά A.U.S.C.S.	Ποσοστό Υγρασίας	Όρια Atterberg			Ξηρό φαινόμενο βάρος γ ^d (kN/m³)	Υγρό φαινόμενο βάρος γ ^t (kN/m³)
		Αργίλος	Ιλύς	Άμμος	Χάλικες		W	WL	WP	PI=WL-WP		
		(%)	(%)	(%)	(%)		(%)	(%)	(%)	-		
Γ8	2.50-3.00	50		26	25		-	-	-	-	-	-
Γ9	3.50-4.00	12		22	66	GM έως GC	-	-	-	-	-	-
Γ11	3.60-3.90	68		27	5	CL	11,7	45,7	18,3	27,4	20,2	22,7
Γ13	17.00-17.60	14		21	65	GC	-	21,3	12,8	8,5	-	-
	19.00-19.20	55		33	12	CL	12,7	23,0	12,2	10,8	-	-
Γ14	4.50-5.00	36		45	19	SC	-	32,7	17,0	15,7	-	-
	6.50-7.00	27		59	14	SC	-	26,9	14,0	12,9	-	-
Γ15	4.50-5.00	67		14	19	CL	15,6	31,5	17,9	13,6	18,5	19,7
Γ17	19.00-19.60	31		57	13	SM	-	N.P.			-	-
Γ18	8.00-8.50	25		55	20	SM	10,7	N.P.			-	-
	11.20-11.40	40		43	17	SC	12,2	23,8	15,4	8,4	-	-
Γ5	8.40-9.10	50		31	19	CL		39,7	18,3	21,4	-	-
Γ3	14.20-14.70	20		34	46	GC-GM		22,6	16,1	6,5	-	-
Ελάχιστη τιμή		12		14	5	-	10,7	21,3	12,2	6,5	18,5	19,7
Μέγιστη τιμή		68		59	66	-	15,6	45,7	18,3	27,4	20,2	22,7
Μέσος όρος		38		36	26	-	12,6	29,7	15,8	13,9	19,3	21,2

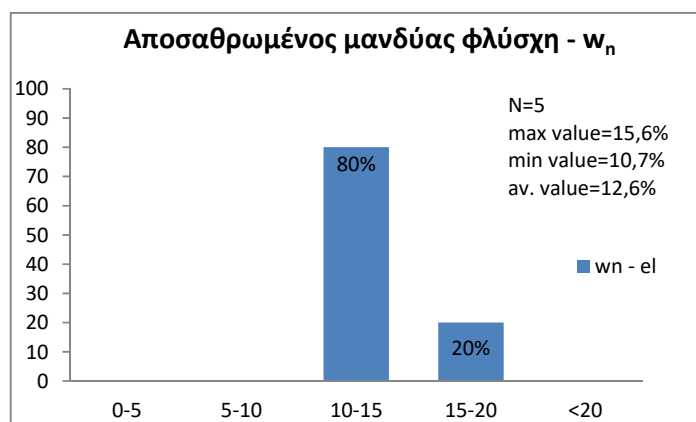


α)



β)

Σχήμα 6-5: Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας του α) ορίου υδαρότητας και β) δείκτη πλαστικότητας στον αποσαθρωμένο μανδύα του φλύσχη

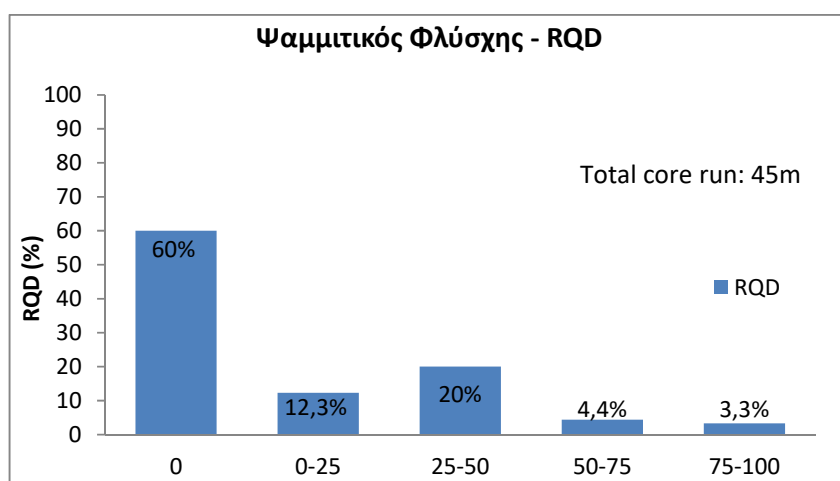


Σχήμα 6-6: Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας της φυσικής υγρασίας στον αποσαθρωμένο μανδύα του φλύσχη

6.5 Γεωλογικός σχηματισμός του ψαμμιτικού φλύσχη

Πρόκειται για τη ψαμμιτική φάση του φλύσχη Εθιάς του αλπικού υποβάθρου. Αναπτύσσεται κυρίως στο δεξί πρηνές του ποταμού, αλλά εμφανίζεται τοπικά και στο αριστερό, κυρίως ως ψαμμιτικά τεμάχη, ή ενστρώσεις μέσα στον ιλυόλιθο και υπολειμματικά στον αποσαθρωμένο μανδύα του φλύσχη. Συγκεκριμένα, ο σχηματισμός βρέθηκε κυρίως στις εξής γεωτρήσεις: Γ1, Γ2, Γ9, Γ14, Γ18, ενώ ψαμμιτικά τεμάχη μικρού μεγέθους βρέθηκαν μέσα στον ιλυόλιθο και σε άλλες γεωτρήσεις. Το πάχος του ψαμμίτη δεν είναι σταθερό, με το μέγιστο πάχος να παρατηρείται στη γεώτρηση Γ14, ήτοι 25,5m και στη γεώτρηση Γ18, το ελάχιστο, ήτοι 1,9m. Το μέγιστο βάθος στο οποίο φτάνει ο ψαμμίτης σημειώθηκε στη γεώτρηση Γ9 όπου φτάνει σε απόλυτο υψόμετρο 237m. Το χρώμα του είναι ανοιχτό τεφρό-υπότεφρο ως καστανό γκριζο-καστανό, είναι λεπτο-μεσοστρωματώδης και λεπτό-μεσόκοκκος με

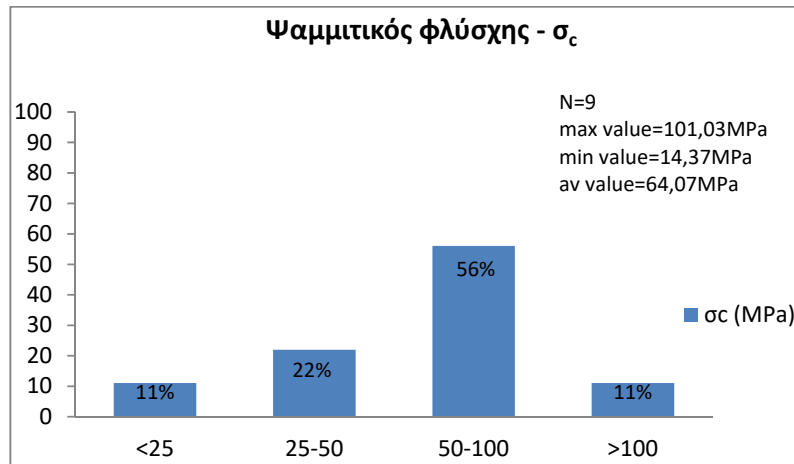
ασβεστοπικές/χαλαζιακές ενστρώσεις και φλέβες και ιλυολιθικές παραμεβολές. Παρουσιάζεται μέτρια έως ελαφρά αποσαθρωμένος κυρίως κατά μήκος των ασυνεχειών του, ή κατά μήκος διακριτών ζωνών άμμο-ίλος ή αμμώδους ίλους μεταβλητού πάχους, οι οποίες εναλλάσσονται με ζώνες υγιούς ψαμμίτη κυρίως σε χαμηλότερα υψόμετρα του δεξιού πρηνούς λόγω εντονότερης αποσάθρωσης. Έχει κατά βάση βραχώδη υφή, με ευρείες ζώνες κερματισμού και τοπικά η βραχομάζα του εμφανίζεται κατακερματισμένη. Τέμνεται από τρία βασικά συστήματα ασυνεχειών, εκ των οποίων το πιο συχνό, παρα-οριζόντιου προσανατολισμού (με κλίση περίπου 70° ως προς τον άξονα της κατακόρυφης γεώτρησης) πιθανόν να αντιστοιχεί στη στρώση του, ένα οριζόντιο έως παρά-οριζόντιο και ένα παρα-κατακόρυφο (10-20° ως προς τον άξονα κατακόρυφης γεώτρησης). Οι ασυνέχειες είναι κλειστές ως ανοικτές πληρωμένες με χαλαζιακό, ή ιλυοαργιλικό υλικό, συνήθως τραχείες έως σπιλπνές, μέτρια έως καθόλου αποσαθρωμένες, σε αποστάσεις 3-7cm ή 5-15cm (τοπικά μπορεί να φτάσει τα 30cm όπως στη γεώτρηση Γ9).



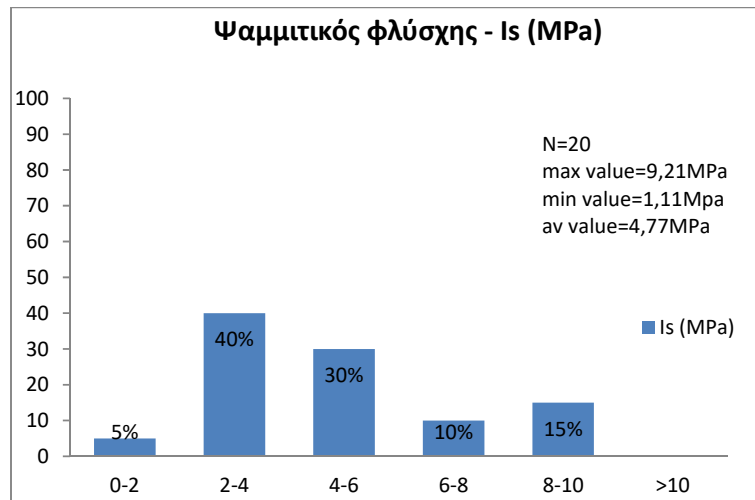
Σχήμα 6-7: Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας του δείκτη RQD στο ψαμμιτικό φλύσχη.

Σχετικά με το δείκτη ποιότητας βραχομάζας RQD(%) του ψαμμιτικού φλύσχη, είναι μηδέν σε ποσοστό 60% ενώ σε ποσοστό περίπου 32% υποδεικνύει βραχομάζα πτωχή ως πολύ πτωχή (RQD: 0-50%) και μέτρια ως καλή σε ποσοστό περίπου 8%. Το ιστόγραμμα των ποσοστών RQD δίνεται στο **Σχήμα 6-7**. Όσον αφορά τις τιμές αντοχής, πραγματοποιήθηκαν εννέα (αρ. 9) δοκιμές μοναξονικής θλίψης σε βραχώδη ψαμμιτικά δοκίμια και είκοσι (αρ.20) δοκιμές σημειακής φόρτισης. Οι τιμές αντοχής που προέκυψαν από τις δοκιμές μοναξονικής αντοχής σ_c , κυμαίνονται μεταξύ της ελάχιστης $\sigma_c=14,37\text{MPa}$ και της μέγιστης τιμής $\sigma_c=101,03\text{MPa}$, με την μέση τιμή να είναι $\sigma_c=64,07\text{MPa}$. Στις δοκιμές σημειακής φόρτισης, υπολογίστηκε ο διορθωμένος συντελεστής αντοχής σημειακής φόρτισης $Is_{(50)}$, ο οποίος ορίζεται ως ο συντελεστής που θα είχε μετρηθεί αν η δοκιμή ήταν διαμετρική σε δοκίμιο διαμέτρου $D=50\text{mm}$. Για τον προσδιορισμό της αντοχής άρρηκτου βράχου σ_c χρησιμοποιήθηκε η σχέση $\sigma_c = 24 * Is_{(50)}$, από τους Broch and Franklin (1972). Οι τιμές των συντελεστών σημειακής φόρτισης κυμαίνονται μεταξύ $Is_{(50)}=1,11$ ($\sigma_c=26,64\text{MPa}$) και $Is_{(50)}=9,21$ ($\sigma_c=221,04\text{MPa}$) με μέση τιμή $Is_{(50)}=4,77$ ($\sigma_c=114,48\text{MPa}$). Οι τιμές αυτές είναι αρκετά υψηλές, χαρακτηριστικές πολύ σκληρών πετρωμάτων, πιθανόν να αντιστοιχούν σε χαλαζιακή φλέβα (ή χαλαζιακή πρόσμιξη) που διαπερνά το δοκίμιο. Επίσης πραγματοποιήθηκε και μία δοκιμή αντοχής σε εφελκυσμό, τύπου Brazilian στην οποία σημειώθηκε η τιμή 10,21MPa και

εκτιμήθηκε η παράμετρος $m=8$ (Hoek & Brown Criterion 1980). Παρακάτω δίνονται τα ιστογράμματα στατιστικής επεξεργασίας των τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη (**Σχήμα 6-8**) και σε σημειακή φόρτιση (**Σχήμα 6-9**).



Σχήμα 6-8: : Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη στο ψαμμιτικό φλύσχη.



Σχήμα 6-9: Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας του δείκτη αντοχής σε σημειακή φόρτιση στο ψαμμιτικό φλύσχη

6.6 Γεωλογικός σχηματισμός του εδαφοποιημένου ιλυολιθικού φλύσχη

Αποτελεί το προϊόν της τεκτονικής καταπόνησης και των διαδικασιών αποσάθρωσης του ιλυολιθικού φλύσχη. Αναπτύσσεται, τόσο στο αριστερό, όσο και στο δεξί αντέρεισμα εκατέρωθεν του Πλατύ ποταμού και απαντάται σχεδόν σε όλες τις γεωτρήσεις εκτός από τις γεωτρήσεις Γ12, Γ13, Γ17 που βρίσκονται πλησίον του ποταμού και πιθανόν σε αυτές να έχει διαβρωθεί. Είναι τεφρός, ελαιό-τεφρός ως τεφροκύανος, πολύ έως πλήρως αποσασθρωμένος και εδαφοποιημένος, μέτρια κερματισμένος έως κατακερματισμένος. Η παραμόρφωσή του είναι τόσο έντονη, ώστε δεν είναι διακριτά τα δομικά του στοιχεία. Έχει εδαφική κυρίως δομή έως ημι-βραχώδη, ενώ τοπικά μόνο διατηρεί το βραχώδη ιστό του.

Εμφανίζεται ως αμμώδης αργιλιώδης, αργιλώδης άμμος, ή ως άργιλος, με κυρίως ψαμμιτικούς και ιλυολιθικούς χάλικες και τεμάχια ποικίλου μεγέθους. Συχνά παρατηρούνται ορίζοντες ψαμμίτη σημαντικού πάχους μέσα στον εδαφοποιημένο ιλυόλιθο. Το πάχος του είναι πολύ μεταβλητό και εξαρτάται από το βαθμό τεκτονισμού του ιλυολιθικού φλύσχη. Το μέγιστο υψόμετρο που συναντάται ο εδαφοποιημένος ιλυόλιθος είναι 289,6μ στη γεώτρηση Γ5, και το ελάχιστο στη γεώτρηση Γ16 στα 224,20μ, ενώ στη γεώτρηση Γ6 ο υπόψη σχηματισμός σταματά στα 235μ περίπου και μέχρι και αυτό το βάθος συναντάται ο εδαφοποιημένος ιλυόλιθος. Το μέγιστο πάχος παρατηρείται στη γεώτρηση Γ11 (28,7μ) και στη γεώτρηση Γ16 (24,7μ) που πιθανό να σχετίζεται με πτύχωση του ιλυολίθου και συνεπώς παρατηρείται αύξηση του πάχους του.

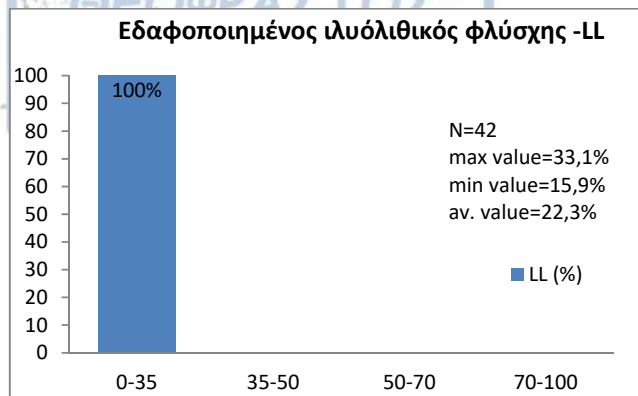
Από τις σαράντα δύο (αρ. 42) δοκιμές εκτίμησης των φυσικών χαρακτηριστικών και δοκιμές κατάταξης των δειγμάτων του εδαφοποιημένου ιλυολίθου και την στατιστική τους επεξεργασία, προέκυψαν οι εξής τιμές: το ποσοστό του λεπτόκοκκου κλάσματος έχει ένα εύρος τιμών μεταξύ 33,1-15,9%, με μέσο όρο **22,3%**, ενώ το ποσοστό της άμμου και των χαλίκων έχει εύρος τιμών μεταξύ 5-76% και 0-29%, αντίστοιχα και μέσες τιμές **43%** και **13%**, αντίστοιχα. Από τις δοκιμές των ορίων προέκυψε ότι το όριο υδαρότητας κυμαίνεται μεταξύ τιμών 33,1% και 15,9% και μέσο όρο **22,3%**, το όριο πλαστικότητας μεταξύ 24,7% και 10,8% και μέσο όρο **13,7%** και ο δείκτης πλαστικότητας μεταξύ των τιμών 16,7% και 3% και μέσο όρο **8,6%**. Από τις είκοσι τέσσερις μετρήσεις (αρ. 24) φυσικής υγρασίας προκύπτει η μέση τιμή **7,7%** με τη μέγιστη τιμή 14,6% και την ελάχιστη 3%. Από τις δώδεκα (αρ. 12) μετρήσεις του ξηρού και υγρού φαινόμενου βάρους, οι μέσες τιμές είναι 21,8% και 23,5%, αντίστοιχα. Τοπικά, στη σύσταση των δειγμάτων υπάρχουν μικρά ποσοστά οργανικών, αλλά δεν ξεπερνούν το 0,7%. Αναλυτικά τα αποτελέσματα των δοκιμών εδαφομηχανικής δίνονται στον **Πίνακα 6-4**. Το ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας των τιμών του ορίου υδαρότητας και του δείκτη πλαστικότητας δίνονται στο **Σχήμα 6-10** και το ιστόγραμμα στατιστικής των τιμών φυσικής υγρασίας στο **Σχήμα 6-11**.

Σύμφωνα με την κατάταξη κατά U.S.C.S. τα εδαφικά δείγματα χαρακτηρίζονται κυρίως ως **αργιλώδης ιλυώδης άμμος (SC-SM)** και λιγότερο άργιλος χαμηλής πλαστικότητας (CL).

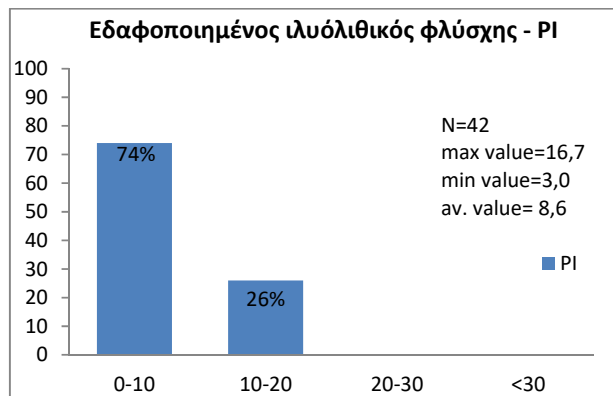
Από τις είκοσι (αρ. 20) δοκιμές πρότυπης διείδυσης (SPT) που έγιναν επί τόπου των γεωτρήσεων καταγράφηκαν δεκατρείς (13) αρνήσεις και N= 32, 36, 79, 41, 42, 43 και 80 κρούσεις.

Σχετικά με το δείκτη ποιότητας βραχομάζας (RQD) προέκυψε σε ποσοστό περίπου 95% πολύ πτωχή. Το ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας των ποσοστών του δείκτη RQD παρουσιάζονται στο **Σχήμα 6-12**.

Δεκαοκτώ (αρ. 18) δοκίμια του εδαφοποιημένου ιλυολίθου υποβλήθηκαν σε δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης. Στα αποτελέσματα των δοκιμών έγινε στατιστική ανάλυση και το ιστόγραμμα των τιμών που προέκυψαν παρουσιάζεται στο **Σχήμα 6-13** παρακάτω. Το 56% των δοκιμών έδωσε πολύ χαμηλές τιμές q_u (100-250kPa) και μόλις το 11% των τιμών κυμαίνεται μεταξύ $q_u=0,5-1\text{MPa}$. Η μέση τιμή $q_u=311\text{kPa}$ είναι πολύ χαμηλή (χαμηλότερη και από την τιμή που καταγράφηκε για τον αποσαθρωμένο μανδύα του φλύσχη). Η τιμή αυτή είναι χαρακτηριστική εδαφικών σχηματισμών.

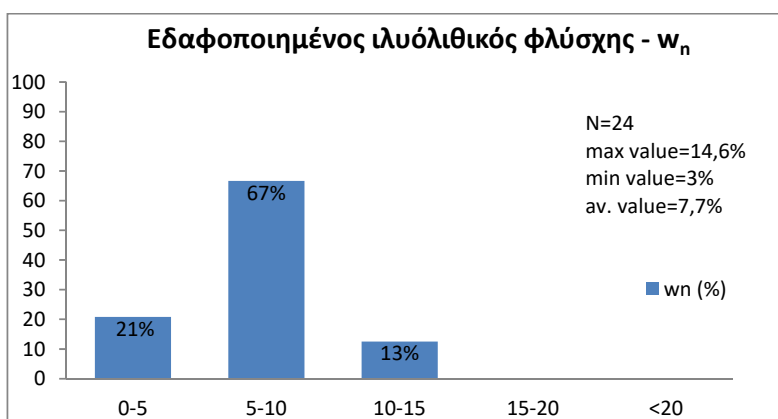


α)



β)

Σχήμα 6-10: Ιστόγράμματα κατανομής α) ορίου υδαρότητας στον εδαφοποιημένο ιλυόλιθο και β) δείκτη πλαστικότητας στον εδαφοποιημένο ιλυολιθικό φλύσχη

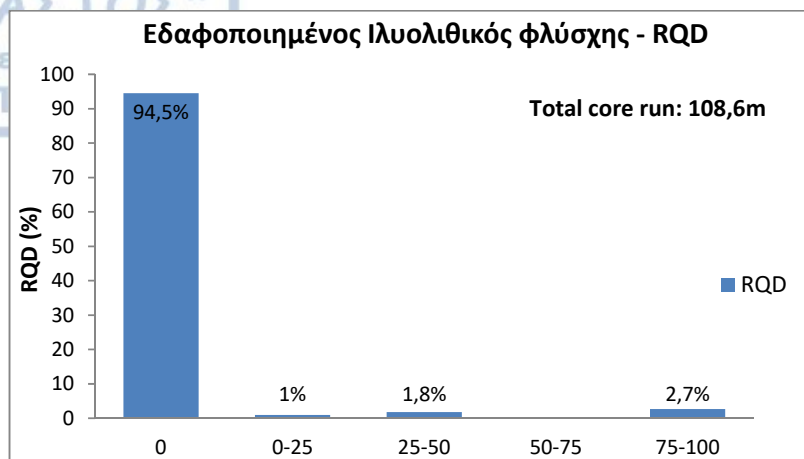


Σχήμα 6-11: Διαγράμμα κατανομής φυσικής υγρασίας στον εδαφοποιημένο ιλυολιθικό φλύσχη

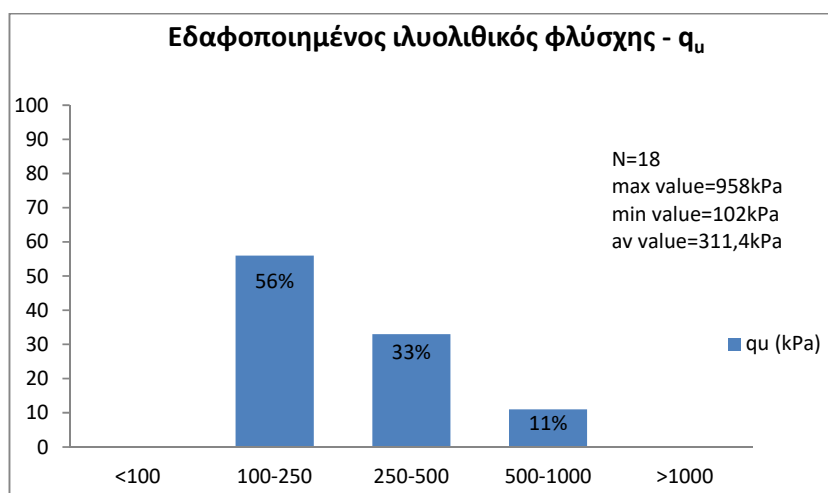
Πίνακας 6-4: Αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών εδαφομηχανικής - φυσικά χαρακτηριστικά σε δείγματα του εδαφοποιημένου ιλυόλιθικου φλύσχη

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	Βάθος (m)	Κοκκομετρική διαβάθμιση				Κατάταξη κατά U.S.C.S.	Ποσοστό Υγρασίας	Όρια Atterberg			Ξηρό φαινόμενο βάρος	Υγρό φαινόμενο βάρος	Ποσοστό οργανικών (%)
		Αργίλος	Ιλύς	Άμμος	Χάλικες		W	W _L	W _P	PI=W _L -W _P	γ _d	γ _t	
		(%)	(%)	(%)	(%)		(%)	(%)	(%)	-	(kN/m ³)	(kN/m ³)	
Γ8	7.50-7.90	59		25	17	CL	-	25,7	13,8	11,9	-	-	-
	12.40-12.70	52		30	19	CL	-	23,4	15,1	8,3	-	-	-
	13.40-14.00	27		63	10	SC	-	18,9	11,0	7,9	-	-	-
	39.20-39.90	67		28	5	CL	5,2	25,8	13,8	12,0	22,4	23,6	-
	40.09-40.50	50		42	8	SC	-	22,0	13,5	8,5	-	-	-
	41.30-41.70	67		29	4	CL	-	23,2	13,4	9,8	-	-	-
Γ9	27.00-27.30	14		59	29	SC	7,8	19,3	12,1	7,2	-	-	-
	29.20-29.70	50		31	19	SC	9,7	23,3	13,1	10,2	21,0	23,0	-
	33.00-34.00	50		42	8	SC	3,4	20,9	13,4	7,5	23,8	24,6	-
Γ10	6.70-7.00	57		29	15	CL	9,9	27,6	12,9	14,7	-	-	-
	9.20-10.00	53		40	7	CL	7,8	23,1	12,0	11,1	22,0	23,5	0,3
	12.70-13.00	13		76	12	SM-SC	12,3	17,5	11,5	6,0	-	-	0,7
	16.50-16.90	64		27	10	CL	7,0	28,5	14,1	14,4	-	-	-
Γ11	9.10-9.90	36		48	18	SC	3,0	23,7	14,2	9,5	23,4	24,4	-
	11.10-11.40	47		44	10	SC	4,5	21,0	13,4	7,6	-	-	-
	15.60-16.00	39		55	6	SM-SC	8,9	17,4	12,8	4,6	21,7	23,2	-
	19.40-19.70	63		29	7	CL	6,7	20,4	12,8	7,6	22,0	23,6	-
	24.00-24.30	35		59	6	SM-SC	5,5	16,8	12,5	4,3	-	-	-
	29.50-30.00	28		53	19	SM-SC	7,0	19,9	14,4	5,5	-	-	-
	31.00-31.40	25		55	21	SM-SC	3,4	19,4	13,2	6,2	-	-	-
	32.20-33.40	24		51	25	SM-SC	3,6	19,2	12,5	6,7	-	-	-

Γ14	36.20-37.00	27	57	17	SC	-	20,9	12,5	8,4	-	-	-
	38.50-38.90	39	50	10	SC	-	20,1	12,6	7,5	-	-	-
	41.20-41.80	37	44	19	SM-SC	-	20,0	13,3	6,7	-	-	-
	44.40-44.50	34	49	18	SC	-	18,0	10,8	7,2	-	-	-
Γ15	8.00-8.40	45	32	23	SC	9,1	22,8	14,8	8,0	21,2	23,5	-
	9.20-9.50	46	49	6	SM-SC	6,4	20,3	13,7	6,6	21,0	24,3	-
Γ18	13.30-15.00	31	40	29	SC	-	24,5	15,6	8,9			-
Γ16	10.00-11.00	54	39	8	CL	14,6	29,1	14,1	15,0	-	-	-
	14.40-15.00	35	58	8	SC	8,6	19,0	11,4	7,6	-	-	-
	19.00-19.60	20	67	12	SM-SC	9,1	18,2	11,3	6,9	-	-	-
	23.40-23.70	28	47	25	SC	9,6	20,4	12,1	8,3	21,6	23,9	-
	27.30-28.00	39	52	9	SM-SC	9,2	15,9	11,1	4,8	20,8	23,1	-
	31.00-31.50	60	33	8	CL	11,3	25,2	13,8	11,4	20,2	22,0	-
Γ6	8.70-9.50	95	5	0	ML-OL		31,2	24,7	6,5			-
Γ3	22.10-22.40	71	24	5	CL		27,4	15,4	12,0			-
Γ2	22.00-22.50	30	44	26	SC-SM		19,8	14,3	5,5			-
Γ1	37.40-38.00	49	39	12	SC		30,1	15,7	14,4			-
Γ5	18.60-19.00	25	59	16	SC-SM		21,3	15,4	5,9			-
Γ4	8.20-9.00	73	23	4	CL		33,1	16,4	16,7			-
Γ4	24.50-25.30	42	33	25	SC		24,9	15,4	9,5			-
Γ4	48.50-49.30	50	46	4	ML		17,8	14,8	3,0			-
Ελάχιστη τιμή		13	5	0	-	3,0	15,9	10,8	3,0	20,2	22,0	-
Μέγιστη τιμή		95	76	29	-	14,6	33,1	24,7	16,7	23,8	24,6	-
Μέσος όρος		42	43	13	-	7,7	22,3	13,7	8,6	21,8	23,5	-



Σχήμα 6-12: Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας του δείκτη RQD στον εδαφοποιημένο ιλυολιθικό φλύσχη



Σχήμα 6-13: Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας των τιμών αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη στον εδαφοποιημένο ιλυολιθικό φλύσχη

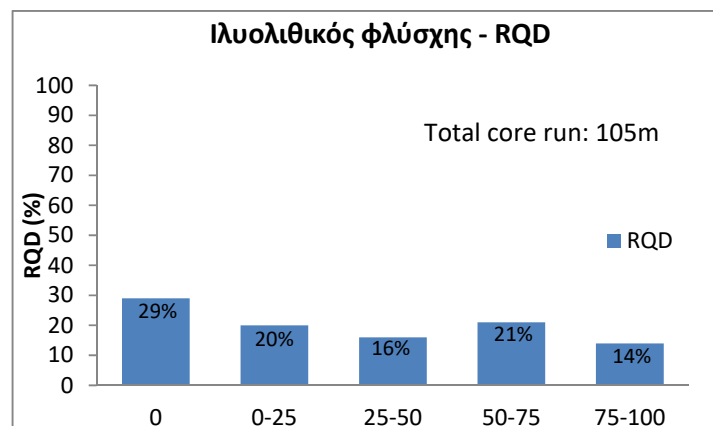
6.7 Γεωλογικός σχηματισμός ιλυολιθικού φλύσχη

Αποτελεί την ιλυολιθική φάση του φλύσχη Εθιάς του αλπικού υποβάθρου της περιοχής. Απαντάται σε μεγάλο βάθος στις γεωτρήσεις που έγιναν στο αριστερό πρηνές και κατά μήκος της κοίτης του ποταμού. Το χρώμα του είναι τεφρό, κυανότεφρο ως τεφρό-μαυρο και εμφανίζεται λεπτό-μεσοστρωματώδης, μέτρια έως πολύ αποσαθρωμένος, μέτρια ως έντονα κερματισμένος, διατμημένος και σχιστοποιημένος. Έχει κυρίως βραχώδη ως ημι-βραχώδη δομή, ενώ παρεμβάλλονται συχνά ζώνες εδαφοποιημένου ιλυόλιθου και ψαμμιτικοί ορίζοντες. Επίσης απαντάται και με τη μορφή συγκολλημένου ιλυολιθικού λατυπτοπαγούς με ψαμμιτικές, ασβεστολιθικές και ιλυολιθικές λατύπτες ποικίλλων διαστάσεων. Πιο σπάνια, ο ιλυολιθικός φλύσχος εμφανίζεται συμπαγής, υγιής ως ελαφρά αποσαθρωμένος και διασπασμένος με σποραδικές ερυθροπηλινικές παρεμβολές. Στις γεωτρήσεις Γ8 και Γ11 σε βάθος 21-23,5m και 5,4-9,1m, αντίστοιχα εμφανίζεται ως ιλυολιθικό λατυπτοπαγές με οφιολιθικές παρεμβολές. Από τις φωτογραφίες των πυρήνων των γεωτρήσεων φαίνεται

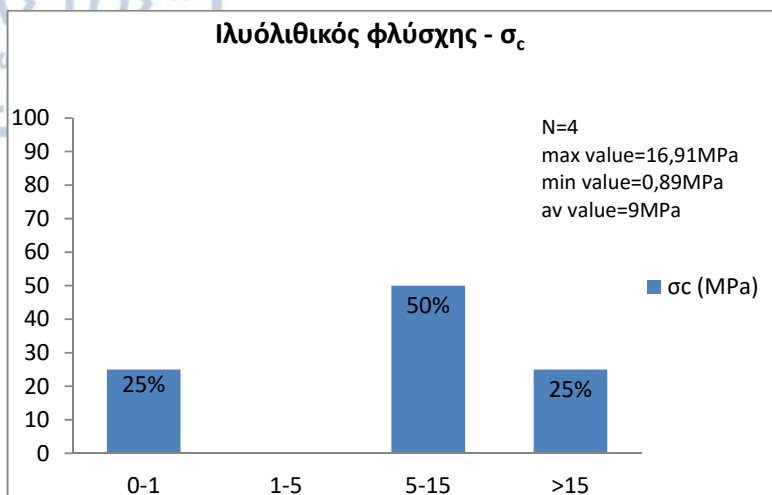
σταδιακή βελτίωση της ποιότητας βραχομάζας με το βάθος. Το πάχος του δεν είναι σταθερό και εξαρτάται από την επιφάνεια επαφής του με τον εδαφοποιημένο ιλυόλιθο η οποία είναι ανομοιόμορφη χωρίς σταθερό προσανατολισμό λόγω τεκτονισμού. Το μέγιστο απόλυτο υψόμετρο που απαντάται είναι 276,2m στη γεώτρηση Γ5 και το ελάχιστο στα 203,95m όπου σταματά η γεώτρηση Γ3. Τέμνεται από δύο κυρίως, ή τρία συστήματα ασυνεχειών τα οποία αναφέρονται ως επίπεδα σχιστοποίησης. Οι ασυνέχειες, κλειστές ως ευρείες, είναι πληρωμένες από χαλαζιακό, ή αργιλοιλυώδες σχιστοποιημένο γεω-υλικό και οι επιφάνειές τους είναι λείες, ως ημιτραχείες, τοπικά στιλπνές και γυαλιστερές σε αποστάσεις με εύρος κυμαινόμενο, συνήθως μεταξύ 2-20cm, 2-40cm ή 2-60cm.

Αναφορικά με το δείκτη ποιότητας βραχομάζας RQD, όπως φαίνεται στο παρακάτω **Σχήμα 6-14**, η βραχομάζα του ιλυολιθικού φλύσχη χαρακτηρίζεται κυρίως πολύ πτωχή σε ποσοστό περίπου 50% και δευτερευόντως μέτρια σε ποσοστό 21%.

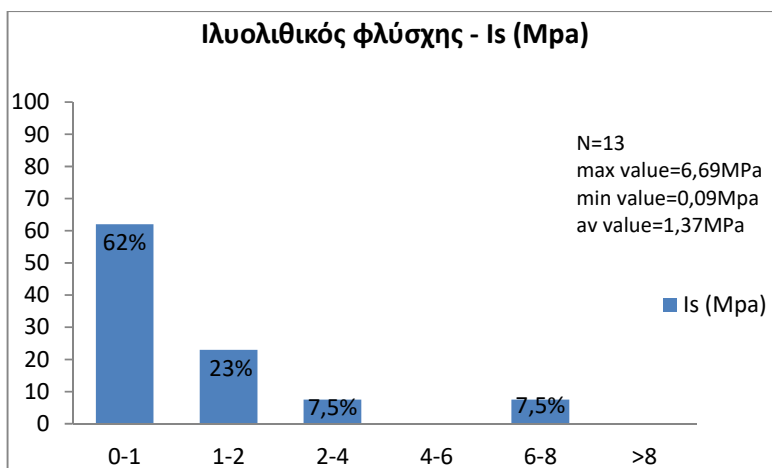
Διενεργήθηκαν δεκατρείς (αρ. 13) δοκιμές σημειακής φόρτισης και τέσσερις (αρ.4) δοκιμές αντοχής σε μονοαξονική θλίψη. Στις δοκιμές σημειακής φόρτισης, υπολογίσθηκε ο διορθωμένος συντελεστής αντοχής σημειακής φόρτισης $Is_{(50)}$, ο οποίος ορίζεται ως ο συντελεστής που θα είχε μετρηθεί αν η δοκιμή ήταν διαμετρική σε δοκίμιο διαμέτρου $D=50mm$. Για τον προσδιορισμό της αντοχής άρρηκτου βράχου σ_c χρησιμοποιήθηκε η σχέση $\sigma_c = 24 * Is_{(50)}$, από τους Broch and Franklin (1972). Από τις δοκιμές προέκυψε προέκυψε ο μέσος όρος των τιμών του συντελεστή αντοχής $Is_{(50)}=1,37MPa$ ($\sigma_c=32,88MPa$), με το ελάχιστο $Is_{(50)}=0,09MPa$ ($\sigma_c=2,16MPa$) και το μέγιστο $Is_{(50)}=6,69MPa$ ($\sigma_c=160,6MPa$) όπου πρόκειται για δοκίμιο ιλυολίθου με ασβεστιτική φλέβα και δεν αποτελεί χαρακτηριστική τιμή αντοχής για τον άρρηκτο ιλυόλιθο. Όπως φαίνεται και στο **Σχήμα 6-16** οι τιμές του $Is_{(50)}$ είναι μικρότερες της τιμής 1MPa σε ποσοστό 62%. Στις δοκιμές μοναξονικής θλίψης όπως φαίνεται στο **Σχήμα 6-15** ο μέσος όρος των τιμών αντοχής είναι $\sigma_c=9MPa$ και κυμαίνεται μεταξύ της ελάχιστης τιμής $\sigma_c=0,89MPa$ (πολύ μικρή) και της μέγιστης τιμής $\sigma_c=16,91MPa$ (αρκετά μεγάλη). Ως αντιπροσωπευτικότερο εύρος τιμών αντοχής θεωρείται $\sigma_c=9-12MPa$ όπου $\sigma_c=12MPa$ η δεύτερη μεγαλύτερη τιμή. Γενικά τα αποτελέσματα των δοκιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη θεωρούνται πιο αξιόπιστα σε σχέση με τις δοκιμές αντοχής σημειακής φόρτισης. Θα πρέπει ωστόσο να λαμβάνεται υπόψη ότι στην ιλυολιθική βραχομάζα παρεμβάλλονται ζώνες εδαφοποιημένου/σχιστοποιημένου ιλυολίθου που απομειώνουν τη μηχανική συμπεριφορά του.



Σχήμα 6-14: Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας του δείκτη RQD στον ιλυολιθικό φλύσχη.



Σχήμα 6-15: Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη στον ιλυολιθικό φλύσχο.

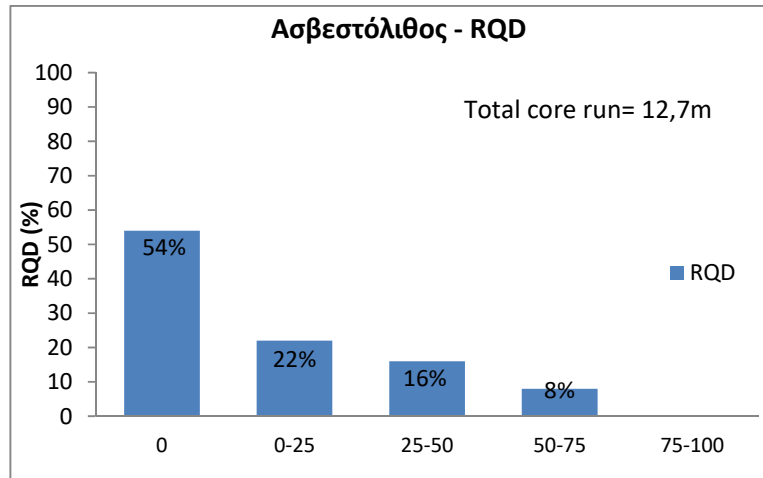


Σχήμα 6-16: Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας του δείκτη αντοχής σημειακής φόρτισης στον ιλυολιθικό φλύσχο.

6.8 Γεωλογικός σχηματισμός ασβεστολίθου

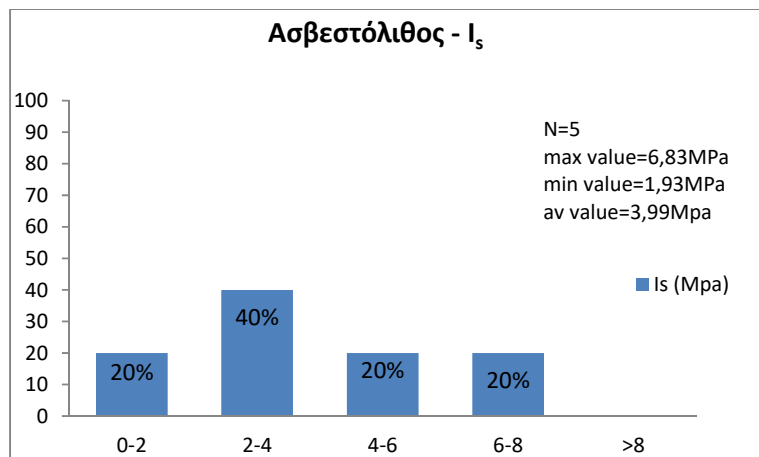
Στην άμεση περιοχή ενδιαφέροντος, ο ασβεστόλιθος έχει περιορισμένη επιφανειακή εμφάνιση και συναντήθηκε κυρίως σε δύο γεωτρήσεις, στις Γ10 και Γ8, αντίστοιχα. Στην γεώτρηση Γ8 απαντάται ως στρώση μέσα στην αλλόχθονη γεωλογική μονάδα (τεκτονικό λέπτος) και είναι μέγιστου πάχους 6m. Στη γεώτρηση Γ10 έχει τη μορφή τεμάχους μεγέθους 4,5m, τεκτονικά τοποθετημένου μέσα στον εδαφοποιημένο ιλυολιθικό φλύσχο. Μικρότερου μεγέθους ασβεστολιθικά τεμάχια απαντώνται και σε άλλες γεωτρήσεις κυρίως ως λατύπες μέσα σε ιλυολιθικά λατυποπαγή (Γεώτρηση Γ17) και στους επιφανειακούς σχηματισμούς (ελουβιακό μανδύα, στα πλευρικά κορήματα και τις ποτάμιες αποθέσεις). Είναι ανοιχτότεφρου – τεφρού χρώματος, μέτρια έως πολύ κερματισμένοι και μέτρια έως πολύ αποσασθρωμένοι.

Αναφορικά με το δείκτη ποιότητας βραχομάζας, όπως φαίνεται από το παρακάτω ιστόγραμμα (Σχήμα 6-17) η ασβεστολιθική βραχομάζα χαρακτηρίζεται πολύ πτωχή σε ποσοστό 75% περίπου και δευτερευόντως πτωχή σε ποσοστό 16%.

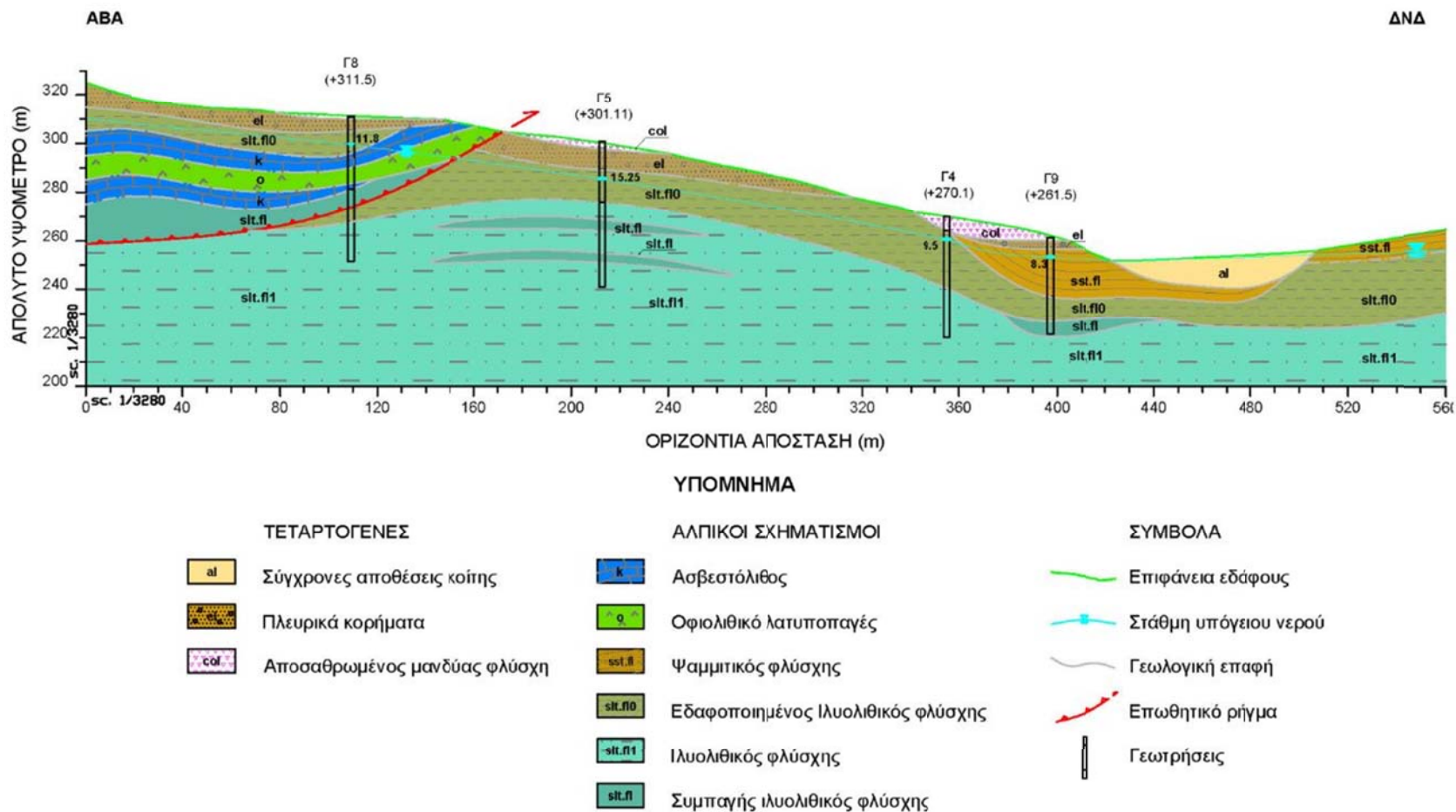


Σχήμα 6-17: Διαγράμμα κατανομής του δείκτη RQD στον ασβεστόλιθο.

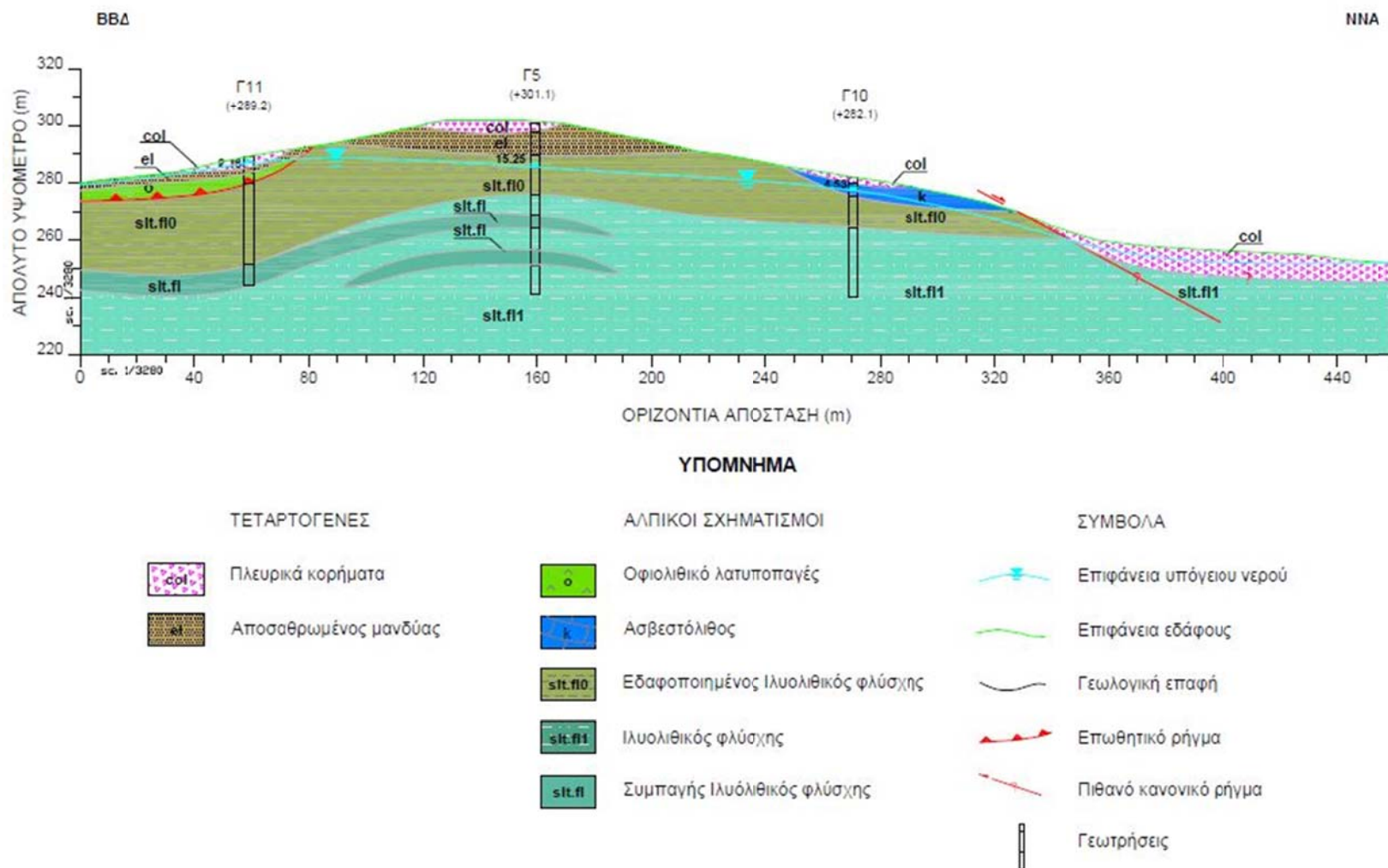
Στον ασβεστόλιθο πραγματοποιήθηκαν πέντε (αρ. 5) δοκιμές σημειακής φόρτισης όπου υπολογίστηκε ο διορθωμένος συντελεστής αντοχής σημειακής φόρτισης $Is_{(50)}$. Για τον προσδιορισμό της αντοχής άρρηκτου βράχου σ_c χρησιμοποιήθηκε η σχέση $\sigma_c = 24 * Is_{(50)}$, από τους Broch and Franklin (Broch & Franklin, 1972). Οι τιμές των συντελεστών σημειακής φόρτισης κυμαίνονται μεταξύ $Is_{(50)}=1,93$ ($\sigma_c=46,32\text{MPa}$) και $Is_{(50)}=6,83$ ($\sigma_c=163,92\text{MPa}$) με μέση τιμή $Is_{(50)}=3,99$ ($\sigma_c=95,76\text{MPa}$). Το ιστόγραμμα των τιμών συντελεστών αντοχής $Is_{(50)}$ για τον ασβεστόλιθο δίνονται στο σχήμα Σχήμα 6-18. Λόγω της πολύ περιορισμένης/σημειακής εμφάνισης του ασβεστολίθου στην ζώνη θεμελίωσης του φράγματος δεν θα ληφθεί υπόψη ως ξεχωριστή τεχνικογεωλογική ενότητα.



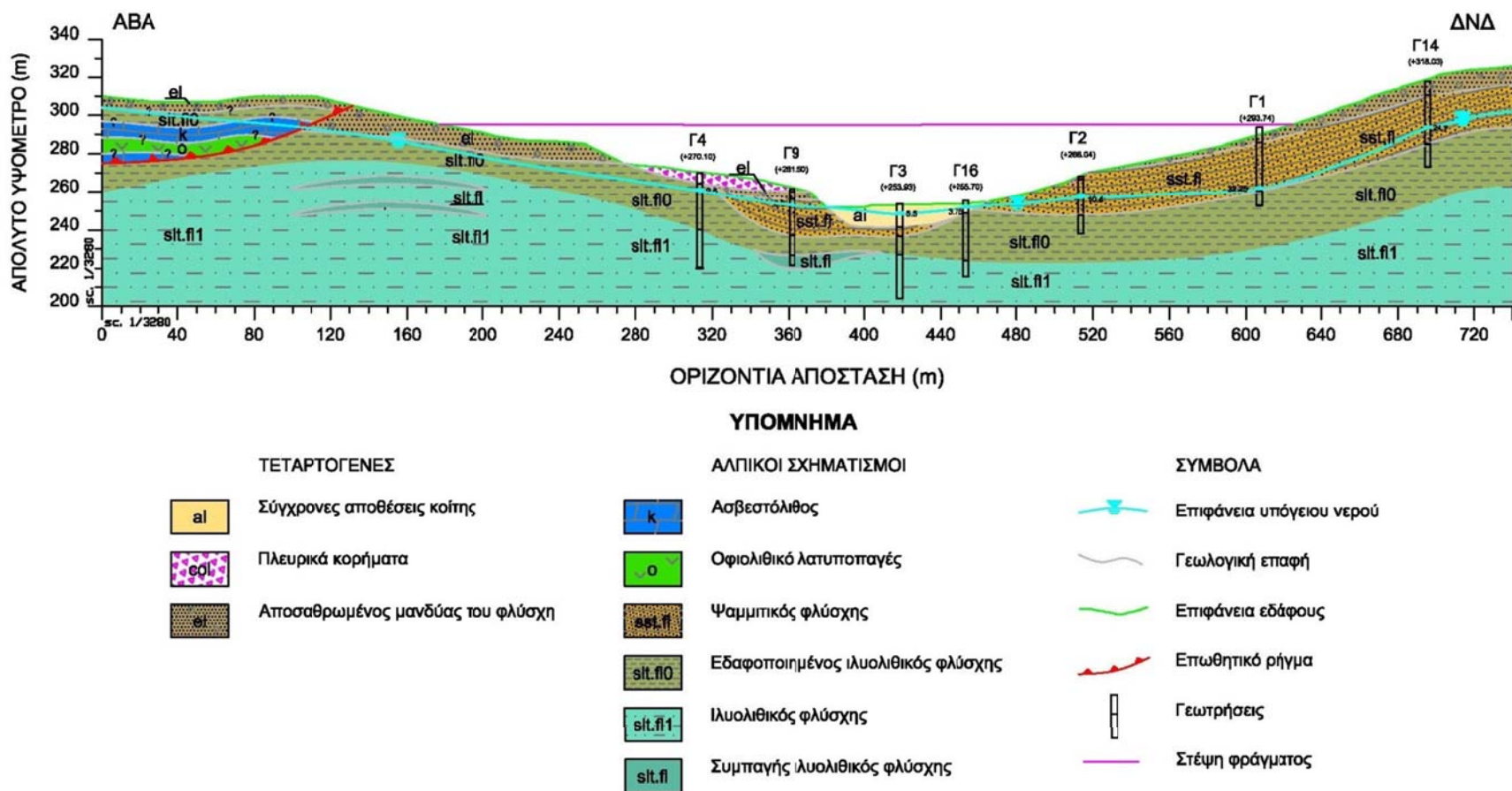
Σχήμα 6-18: Ιστόγραμμα στατιστικής επεξεργασίας του δείκτη αντοχής σε σημειακή φόρτιση στον ασβεστόλιθο.



Σχήμα 6-19: Γεωλογική τομή 1, υποπαράλληλα του άξονα του φράγματος



Σχήμα 6-20: Γεωλογική τομή 2 παράλληλα στο αριστερό αντέρεισμα του φράγματος



Σχήμα 6-21: Γεωλογική τομή 3 παράλληλα στον άξονα του φράγματος

6.9 Τεχνικογεωλογική διαζώνιση – τεχνικογεωλογικές ενότητες – ταξινόμηση βραχομάζας

Στο παρόν κεφάλαιο συνοψίζονται τα αξιολογηθέντα αποτελέσματα των εργαστηριακών και επί τόπου δοκιμών και γίνεται ταξινόμηση βραχομάζας βάσει του Γεωλογικού Δείκτη Αντοχής GSI (τροποποιημένου για φλύσχη), ώστε να διαχωριστούν οι γεωλογικοί σχηματισμοί της ζώνης θεμελίωσης του φράγματος σε τεχνικογεωλογικές ενότητες. Για κάθε τεχνικογεωλογική ενότητα θα προσδιορίζονται οι αντιπροσωπευτικές τιμές για τις φυσικές και μηχανικές παραμέτρους της βραχομάζας. Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες διαχωρίζονται βάσει της λιθολογικής σύστασης, της δομής, του βαθμού αποσάθρωσης, κερματισμού και διάτμησης του αρχικού πετρώματος και του εύρους τιμών GSI, καθώς και τις τιμές αντοχής του άρρηκτου βράχου που προέκυψαν από τις εργαστηριακές δοκιμές.

Λόγω της φύσης των απαντώμενων σχηματισμών δεν ήταν δυνατή η λήψη ομοιογενών δειγμάτων για την εξέτασή τους στο εργαστήριο. Κάτι ανάλογο, συμβαίνει και με τις επί τόπου δοκιμές, οι οποίες μπορεί να εκτελούνται σε διαφορετικές λιθολογικές φάσεις του ίδιου σχηματισμού δίνοντας διαφορετικές τιμές. Οι διαφορετικές φάσεις στους επιφανειακούς σχηματισμούς αφορούν κυρίως στην ποσοστιαία συμμετοχή του λεπτόκοκκου κλάσματος, τη φύση του μητρικού πετρώματος, το βαθμό στερεοποίησης, ενώ στην περίπτωση του φλύσχη του υποβάθρου, αφορούν στη διαφορετική λιθολογική σύσταση, την παρουσία ή μη, των δομικών τους στοιχείων (επιφάνειες στρώσης, σχιστότητας, διακλάσεις), τον βαθμό αποσάθρωσης και τον βαθμό τεκτονικής (θλιπτικής και διατμητικής) καταπόνησης. Η επιλογή των αντιπροσωπευτικών φυσικών και μηχανικών παραμέτρων βασίζεται σε:

- Αποτελέσματα των εργαστηριακών και επί τόπου δοκιμών,
- Μακροσκοπική εικόνα των πυρήνων που ελήφθησαν από τις γεωτρήσεις καθώς και την περιγραφή τους στα φύλλα των γεωτρήσεων,
- Ταξινόμηση βραχομάζας βάσει του Γεωλογικού Δείκτη Αντοχής GSI,
- Παραμέτρους που προτείνονται στην Έκθεση παρουσίασης και αξιολόγησης γεωτεχνικών ερευνών στην υπόψη περιοχή,
- Βιβλιογραφικές αναφορές.

6.9.1 Τεταρτογενείς σχηματισμοί του επιφανειακού χαλαρού καλύμματος

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί του επιφανειακού χαλαρού καλύμματος θα αφαιρεθούν κατά τη θεμελίωση του φράγματος. Συνολικά αποτελούν την Τεχνικογεωλογική ενότητα 1 και χωρίζονται σε τρεις υποενότητες ανάλογα με τον τρόπο γένεσής τους.

6.9.1.1 Τεχνικογεωλογική ενότητα 1Α: Αλλουβιακοί σχηματισμοί

Οι σχηματισμοί αυτοί συναντήθηκαν επιφανειακά και σε γενικές γραμμές έχουν περιορισμένη έκταση. Έτσι δεν παίζουν τόσο σημαντικό ρόλο στο έργο αυτό καθ' αυτό, εκτός ίσως από τη δυνατότητα χρήσης τους στην κατασκευή του και δη σαν υλικό του σώματος του φράγματος. Επίσης λόγω της μεγάλης ανομοιομορφίας τους που σχετίζεται με τον τρόπο απόθεσής τους, φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά έχουν κυρίως τοπική σημασία ενώ οι εργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές που έγιναν σε δείγματα των επιφανειακών χαλαρών σχηματισμών είναι λίγες και τα στοιχεία σχετικά περιορισμένα.

Απαντώνται στις γεωτρήσεις Γ3, Γ6, Γ13, Γ15, Γ16, Γ17 και στα φρέατα Φ21-Φ25 κατά μήκος της κοίτης του ποταμού και το πάχος τους κυμαίνεται μεταξύ 3-17,7m. Εμφανίζονται ως χάλικες αργιλώδεις ως ιλυο-άμμους χαλικώδεις, καστανού ως ανοιχτο-κάστανου χρώματος, χαλαρές ως μέσης πυκνότητας. Οι χάλικες έχουν σύσταση κυρίως ασβεστολιθική και ψαμμιτική και κατά τόπους ιλυολιθική. Ο σχηματισμός σύμφωνα με την κατάταξη κατά A.U.S.C.S. χαρακτηρίζεται κυρίως ιλυώδης άμμος (SM) ως χάλικες (GW) και τοπικά ως άργιλος χαμηλής πλαστικότητας (CL).

Από τις επτά επί τόπου δοκιμές διαπερατότητας (τύπου MAAG, τύπου LEFRANC) που έγιναν σε αυτό το σχηματισμό, προτείνεται η μέση τιμή αυτών $k=6 \cdot 10^{-5}$ m/sec.

Από τις δοκιμές που έγιναν στους αλουβιακούς σχηματισμούς προτείνεται τιμή φαινομένου ξηρού βάρους $\gamma_d = 18.6$ kN/m³

Από τις δεκαεπτά (αρ. 17) δοκιμές SPT που έγιναν στους αλουβιακούς σχηματισμούς σημειώθηκαν εννιά (αρ. 9) αρνήσεις και 18, 31, 46, 64, 54, 30, 56, 34 κρούσεις αντίστοιχα.

Όσον αφορά τα μηχανικά χαρακτηριστικά των αλουβιακών αποθέσεων, δίνεται μία τιμή ενεργού συνοχής $c'=19,8$ MPa και ενεργού γωνίας τριβής $\phi'=26,8^\circ$, από δοκιμή άμεσης διάτμησης που πραγματοποιήθηκε σε δοκίμιο της γεώτρησης Γ16 σε βάθος 5,0-6,0m, ενώ από δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης που έγινε σε παρόμοιο δοκίμιο προέκυψε: δείκτης συμπίεσεως $C_c=0.10$, τάση προ-στερεοποίησης $\sigma_{vprec}=181$ kPa και μέτρο ελαστικότητας $E=7,8$ MPa. Στην έκθεση παρουσίασης αποτελεσμάτων γεωτεχνικών ερευνών προτείνεται ένα εύρος τιμών των παραμέτρων αντοχής και παραμορφωσιμότητας που δίνονται στον παρακάτω **Πίνακα 6-5**:

Πίνακας 6-5: Προτεινόμενοι γεωτεχνικοί παράμετροι σχεδιασμού αλλουβιακών σχηματισμών

Γεωτεχνική παράμετρος	LL(%)	PI(%)	Ποσοστό λεπτόκοκκων (%)	γ_d (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	k (m/sec)	E (MPa)
Τιμή	28,2	9,1	32	18,6	19	26,8	$6 \cdot 10^{-5}$	15-20 (7,8)

6.9.1.2 Τεχνικογεωλογική ενότητα 1B: Κορήματα – κολουβιακοί σχηματισμοί

Ο σχηματισμός αυτός έχει πολύ περιορισμένη εμφάνιση στην περιοχή μελέτης. Βρέθηκε στις γεωτρήσεις Γ2, Γ4, Γ5, Γ8-Γ12 και Γ18 και το πάχος τους κυμαίνεται μεταξύ 1 – 5,7m ενώ

στη Γ12 το βάθος του σχηματισμού έφτασε τα 11m, που μάλλον σχετίζεται με κώνο κορημάτων. Πρόκειται για ένα ανοιχτό καστανό, ετερογενές μείγμα λεπτόκοκκων, άμμων και χαλίκων, ψαμμιτικής ασβεστολιθικής και ιλυολιθικής σύστασης με μικρή έως μέση πυκνότητα και χαμηλή πλαστικότητα. Χαρακτηρίζεται ως αργιλώδης άμμος SC.

Από τις συνολικά έξι (αρ. 6) δοκιμές SPT που εκτελέστηκαν επί τόπου στους σχηματισμούς, στις τρεις (3) σημειώθηκε άρνηση (όλες στη γεώτρηση Γ12) ενώ στις υπόλοιπες τρεις σημειώθηκαν οι τιμές $N=18, 31$ και 62 .

Από τα αποτελέσματα των επί τόπου δοκιμών διαπερατότητας (τύπου MAAG) που εκτελέστηκαν στα κορήματα επιλέγεται η μέση τιμή $k=6 \cdot 10^{-8}$ m/sec.

Παρακάτω δίνεται ο **Πίνακα 6-5** με τα αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών και με τις μηχανικές ιδιότητες του σχηματισμού που προτείνονται στην έκθεση παρουσίασης αποτελεσμάτων γεωτεχνικών ερευνών:

Πίνακας 6-6: Προτεινόμενοι γεωτεχνικοί παράμετροι σχεδιασμού κολουβιακών σχηματισμών.

Γεωτεχνική παράμετρος	LL (%)	PI (%)	Ποσοστό λεπτόκοκκων (%)	γ_d (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	k (m/sec)
Τιμή	28	12	35	19–21	0–10	25–27	$6 \cdot 10^{-8}$

6.9.1.3 Τεχνικογεωλογική ενότητα 1Γ: Αποσαθρωμένος (ελουβιακός) μανδύας του φλύσχη

Ο αποσαθρωμένος (ελουβιακός) επιφανειακός μανδύας του φλυσχικού υποβάθρου, είναι εδαφικός σχηματισμός με διάσπαρτους χάλικες ιλυολιθικούς, ψαμμιτικούς και τοπικά ασβεστολιθικούς ενώ τοπικά έχει ημι-βραχώδη δομή και εικόνα που έχει παραμείνει από το αρχικό πέτρωμα. Έχει ευρεία εμφάνιση σε όλη την περιοχή μελέτης με κυμαινόμενο πάχος και απαντάται στα πρώτα 10m από την επιφάνεια του εδάφους. Παρουσιάζεται ως αμμοχάλικο αργιλώδες /ιλυοαργιλώδες με χάλικες, ή άργιλος αμμώδης/ αμμώδης άργιλος τεφρού ως καστανού χρώματος μεταβλητής πυκνότητας. Από τις δοκιμές εδαφικής κατάταξης χαρακτηρίζεται ως ΑΡΓΙΛΟΣ χαμηλής πλαστικότητας ή Ιλυώδης /αργιλώδης ΑΜΜΟΣ. Ο αποσαθρωμένος μανδύας του φλύσχη είναι σχηματισμός μικρής διατμητικής αντοχής και οι παράμετροι ενεργός συνοχή και ενεργός γωνία τριβής που μετρήθηκαν στη βραδεία δοκιμή άμεσης διάτμησης με στερεοποίηση είναι, $c'=6$ kPa και $\phi'=22^\circ$, αντίστοιχα. Επίσης η αντοχή του σε ανεμπόδιση θλίψη υπολογίστηκε $q_u=774$ kPa ($c_u=387$ kPa). Σχετικά με το μέτρο παραμορφωσιμότητας, προτείνεται στη μελέτη με τα αποτελέσματα των εργαστηριακών ερευνών ένα εύρος τιμών $E=15-20$ MPa.

Από τις δοκιμές SPT περίπου οι μισές έδωσαν άρνηση ενώ στις υπόλοιπες προέκυψαν πάνω από 30 κρούσεις, έκτος από μία όπου προέκυψαν 18 κρούσεις, όπως ήταν αναμενόμενο λόγω την ύπαρξη χαλίκων από τη διατήρηση τοπικά της βραχώδους δομής.

Η διαπερατότητα του σχηματισμού είναι μέτρια και από τις επτά (αρ. 7) επί τόπου δοκιμές διαπερατότητας (τύπου MAAG, τύπου LEFRANC) που έγιναν σε αυτό το σχηματισμό, προτείνεται η μέση τιμή αυτών $k=2,75 \cdot 10^{-5}$ m/sec.

Ο αποσαθρωμένος (ελουβιακός) επιφανειακός μανδύας αποτελεί τη Τεχνικογεωλογική ενότητα **ΤΕ.1** με τις προτεινόμενες γεωτεχνικές παραμέτρους σχεδιασμού που δίνονται στον **Πίνακα 6-7**.

Πίνακας 6-7: Προτεινόμενοι γεωτεχνικοί παράμετροι σχεδιασμού ελουβιακών σχηματισμών (αποσαθρωμένου) Φλύσχη της Τεχνικογεωλογικής ενότητας ΤΕ.01

Γεωτεχν. παράμετρος	LL(%)	PI(%)	Ποσοστό λεπτόκοκκων (%)	γ_d (kN/m ³)	q_u (kPa)	c' (kPa)	ϕ' (°)	k (m/sec)	E (MPa)
Τιμή	29,7	13,9	38	19,3	774	6	22	$2,75 \cdot 10^{-5}$	15-20

6.9.2 Σχηματισμοί του γεωλογικού υποβάθρου:

Όσον αφορά τους σχηματισμούς του αλπικού γεωλογικού υποβάθρου (φλύσχη), ο ιλυολιθικός και ο ψαμμιτικός φλύσξης έχουν υποστεί έντονη θλιπτική και ρηξιγενή τεκτονική παραμόρφωση με αποτέλεσμα μεγάλο ποσοστό του βράχου να έχει διατμηθεί έντονα και αποσαθρωθεί σε βάθος και επομένως η αντοχή της βραχομάζας να μειώνεται πολύ και προσεγγίζει τοπικά την αντοχή των διατμημένων-εδαφοποιημένων ζωνών.

Για το διαχωρισμό τεχνικογεωλογικών ενοτήτων στους σχηματισμούς αλπικού υποβάθρου χρησιμοποιήθηκαν μεθοδολογίες βραχομηχανικής (εργαστηριακές δοκιμές αντοχής άρρηκτου βράχου, εξέταση πυρήνων γεωτρήσεων, ταξινόμηση και εκτίμηση μηχανικών παραμέτρων βραχομάζας).

6.9.2.1 Μεθοδολογία προσδιορισμού παραμέτρων σχεδιασμού για τη βραχομάζα των σχηματισμών του γεωλογικού υποβάθρου

Για την εκτίμηση των παραμέτρων αντοχής και παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας του φλύσχη γίνεται ταξινόμηση κατά GSI, όπως τροποποιήθηκε (Marinos P. & Hoek E 2001 και Marinos V. 2007) για τη χρήση του σε ανομοιογενείς, με λιθολογικές ιδιαιτερότητες και τεκτονικά καταπονημένες βραχομάζες με πτωχή ποιότητα βραχομάζας όπως ο φλύσξης. Το σύστημα αυτό υπερέχει έναντι άλλων συστημάτων ταξινόμησης (RMR, Q) γιατί σε αυτά τα συστήματα ταξινόμησης υπεισέρχεται ως παράγοντας ο δείκτης RQD, ο οποίος σε βραχομάζες έντονα τεκτονικά καταπονημένες και διατμημένες είναι πολύ χαμηλός και μικρής σημασίας ενώ το σύστημα ταξινόμησης GSI βασίζεται περισσότερο στις γεωλογικές ιδιαιτερότητες της βραχομάζας (όπως η δομή της βραχομάζας, η κατάσταση των ασυνεχειών και η λιθολογική ανομοιογένεια) και ο δείκτης RQD δεν λαμβάνεται υπόψη στην εκτίμηση της ποιότητας βραχομάζας. Επιπλέον με τη χρήση του δείκτη GSI υπάρχει η δυνατότητα εκτίμησης μηχανικών παραμέτρων (αντοχής c , ϕ και παραμορφωσιμότητας E) που να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αριθμητικές αναλύσεις. Το σύστημα ταξινόμησης βραχομάζας GSI χρησιμοποιείται κυρίως σε βραχομάζες όπου λόγω τεκτονικής καταπόνησης οι επιφάνειες στρώσης, σχιστότητας και διατμήσεων δεν έχουν συνέχεια και η

βραχομάζα συμπεριφέρεται σαν ομογενές μέσο όπως στην περίπτωση του διατμημένου φλύσχη.

Ο δείκτης GSI προσδιορίζεται από την αξιολόγηση της δομής της βραχομάζας όπως φαίνεται στις υπάρχουσες φωτογραφίες των πυρήνων των εκτελεσθέντων γεωτρήσεων Γ9 – Γ18. Για τις γεωτρήσεις της παλιότερης φάσης γεωτεχνικών διερευνήσεων δεν διατίθενται φωτογραφίες των αποληφθέντων πυρήνων.

Το σύστημα ταξινόμησης GSI βασίζεται στο γενικευμένο κριτήριο (Hoek, et al., 2002). Σύμφωνα με αυτό:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \sigma'_3 / \sigma_{ci} + s \right)^a \quad (1)$$

όπου σ'_1, σ'_3 = ενεργές κύριες τάσεις ελάχιστη τάση,

σ_{ci} = αντοχή σε μοναξονική θλίψη του άρρηκτου πετρώματος,

s, a : παράμετροι που περιγράφουν τις ιδιότητες της βραχομάζας

m_b = σταθερά HOEK – BROWN για τη βραχομάζα όπου βρίσκεται από τη σχέση:

$$m_b = m_i \exp(GSI - 100/28 - 14D) \quad (2)$$

όπου m_i η σταθερά HOEK – BROWN για το άρρηκτο πέτρωμα, η οποία σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά τριβής των ορυκτών του πετρώματος και εκτιμάται είτε από δοκιμές τριαξονικής φόρτισης ή από τον πίνακα του όπου δίνονται οι τιμές για διάφορους τύπους πετρώματος και D ο συντελεστής που εξαρτάται από το βαθμό στον οποίο έχει επηρεαστεί η βραχομάζα από τη χρήση εκρηκτικών σε εκσκαφές ή την χαλάρωση της δομής της.

Οι παράμετροι s, a υπολογίζονται από τους τύπους:

$$s = \exp(GSI - 100/9 - 3D) \quad (3)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right) \quad (4)$$

Η αντοχή σε μοναξονική θλίψη της βραχομάζας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\sigma_{cm} = \sigma_{ci} * s^a \quad (5)$$

ή από τον μαθηματικό τύπο «καθολικής» αντοχής βραχομάζας,

$$\sigma'_{cm} = \frac{2c' \cos \phi'}{1 - \sin \phi'} \quad (6)$$

Το μέτρο παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας υπολογίζεται, σε περιπτώσεις όπου η αντοχή σε μοναξονική θλίψη άρρηκτου πετρώματος, σ_{ci} είναι μικρότερη από 100 MPa (όπως στην περίπτωση του ψαμμιτικού φλύσχη) από τη σχέση:

$$E_m (GPa) = \left(1 - \frac{D}{2} \right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \cdot 10^{((GSI-10)/40)} \quad (7)$$

Η παραμορφωσιμότητα της βραχομάζας μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση των (Hoek & Diederichs, 2006):

$$E_{rm} = E_i \left(0.02 + \frac{1 - D/2}{1 + e^{((60+15D-GSI)/11)}} \right) \quad (8)$$

Όπου E_i η παραμορφωσιμότητα του άρρηκτου βράχου, η οποία αν δεν είναι γνωστή από τις εργαστηριακές δοκιμές (ή όπου η απόληψη εντελώς αδιατάρακτων δειγμάτων είναι δύσκολη) βρίσκεται από τη σχέση $E_i = \sigma_{ci} \cdot MR$ (9). Ο δείκτης MR όπως προτείνεται από τον Deer (1968), Palmstrom & Singh (2001) έχει ένα εύρος τιμών αντίστοιχο του είδους πετρώματος.

Από την εφαρμογή μιας ενδιάμεσης ευθύγραμμης καμπύλης στην καμπύλη που παράγεται από τη λύση της εξίσωσης (1) του γενικευμένου κριτηρίου HOEK – BROWN για ένα εύρος τιμών της ελάχιστης κύριας τάσης $\sigma_1 < \sigma_3 < \sigma'_{3max}$ προέκυψαν οι παρακάτω μαθηματικές σχέσεις (10) και (11) για τον προσδιορισμό των ενεργών παραμέτρων διατμητικής αντοχής κατά Mohr-Coulomb δηλαδή η συνοχή c' και η γωνία τριβής ϕ' :

$$\phi' = \sin^{-1} \left[\frac{6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}} \right] \quad (10)$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci} \left[(1+2a)s + (1-a)m_b\sigma'_{3n} \right] (s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + (6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}) / ((1+a)(2+a))}} \quad (11)$$

$$\text{όπου } \sigma'_{3n} = \sigma'_{3max} / \sigma_{ci} \quad (12)$$

Όλες οι παράμετροι διατμητικής αντοχής αναφέρονται σε μεγέθη ενεργών τάσεων.

Ο υπολογισμός των παραμέτρων αντοχής και παραμορφωσιμότητας μπορεί να πραγματοποιηθεί και μέσω του λογισμικού Rocdata της Rockscience χρησιμοποιώντας ως στοιχεία εισόδου (input data) την αντοχή άρρηκτου πετρώματος σ_{ci} η οποία υπολογίζεται από τις δοκιμές μονοαξονικής θλίψης ή σημειακής φόρτισης, το δείκτη ποιότητας βραχομάζας GSI και τις σταθερές m_i και D .

Σύμφωνα με τους (Hoek & Brown, 1997) όταν η αντοχή σε σημειακή φόρτιση $I_{s(50)}$ προκύπτει μικρότερη από 1MPa, η υπόψη δοκιμή δίνει αμφιλεγόμενα αποτελέσματα και δεν κρίνεται ως αξιόπιστη. Για το λόγο αυτό στους τεχνικογεωλογικούς σχηματισμούς όπου από την πλειοψηφία των εκτελεσθέντων δοκιμών σημειακής φόρτισης προέκυψε $I_{s(50)} < 1$ MPa (όπως στην περίπτωση του ιλυολιθικού φλύσχη) τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών δεν λαμβάνονται υπόψιν.

Ο δείκτης GSI επιλέγεται βάσει του διαγράμματος ταξινόμησης βραχομάζας, τροποποιημένου για φλύσχη (Marinos & Hoek, 2001) (Marinos, 2007) (Marinos, et al., 2005) που δίνεται στο **Σχήμα 6-28**. Η επιλογή της τιμής της σταθεράς m_i για κάθε τύπο πετρώματος γίνεται βάσει του πίνακα τιμών m_i στο **Σχήμα 6-22**. Η παράμετρος διατάραξης λαμβάνεται $D=0,5$ ως μία μέση τιμή διατάραξης βραχομάζας.

Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerates (21 ± 3) Breccias (19 ± 5)	Sandstones 17 ± 4	Siltstones 7 ± 2 Greywackes (18 ± 3)	Claystones 4 ± 2 Shales (6 ± 2) Marls (7 ± 2)
		Carbonates	Crystalline Limestone (12 ± 3)	Sparitic Limestones (10 ± 2)	Micritic Limestones (9 ± 2)	Dolomites (9 ± 3)
	Non-Clastic	Evaporites		Gypsum 8 ± 2	Anhydrite 12 ± 2	
		Organic				Chalk 7 ± 2
METAMORPHIC	Non Foliated		Marble 9 ± 3	Hornfels (19 ± 4) Metasandstone (19 ± 3)	Quartzites 20 ± 3	
	Slightly foliated		Migmatite (29 ± 3)	Amphibolites 26 ± 6	Gneiss 28 ± 5	
	Foliated*			Schists 12 ± 3	Phyllites (7 ± 3)	Slates 7 ± 4
IGNEOUS	Plutonic	Light	Granite 32 ± 3 Granodiorite (29 ± 3)	Diorite 25 ± 5		
		Dark	Gabbro 27 ± 3 Norite 20 ± 5	Dolerite (16 ± 5)		
	Hypabyssal			Porphyries (20 ± 5)	Diabase (15 ± 5)	Peridotite (25 ± 5)
	Volcanic	Lava		Rhyolite (25 ± 5) Andesite 25 ± 5	Dacite (25 ± 3) Basalt (25 ± 5)	
		Pyroclastic	Agglomerate (19 ± 3)	Volcanic breccia (19 ± 5)	Tuff (13 ± 5)	

Σχήμα 6-22: Πίνακας τιμών της σταθεράς m_i ανά κατηγορία πετρώματος

6.9.2.2 Τεχνικογεωλογική ενότητα 2: Ψαμμιτικός φλύσχος

Ο ψαμμιτικός φλύσχος επικρατεί στο δεξιό αντέρεισμα της θέσης του φράγματος, ενώ απαντάται και στο αριστερό ως μεγάλο μπλοκ, ή εγκιβωτισμένες ενστρώσεις μέσα στον ιλυόλιθο. Απαντάται στη γεώτρηση Γ9 στο αριστερό πρηνές σε βάθος 5 – 24,5m (απ. υψόμετρο 256,5 – 237m) στη γεώτρηση Γ14 σε βάθος 7,5 – 33m (απ. υψόμετρο 310,5 – 285m), ενώ στη γεώτρηση Γ18 εμφανίζεται πληρως αποσαθρωμένος. Από τις δεκαέξι (αρ. 16) επί τόπου δοκιμές περατότητας (τύπου LUGEON, τύπου MAAG, τύπου LEFRANC) που έγιναν στον ψαμμιτικό φλύσχο προκύπτει η μέση τιμή $k=1 \cdot 10^{-5}$ m/sec. Η στάθμη του υπόγειου νερού που βρίσκεται στον ψαμμίτη του δεξιού αντερείσματος, ακολουθεί σε γενικές γραμμές την επιφάνεια του εδάφους και σε βάθος 10-30m ενώ στο αριστερό αντέρεισμα εντοπίζεται στον ψαμμίτη σε βάθος 8,3m.

Για το μοναδιαίο βάρος δίνεται η μέση τιμή που προκύπτει από τις δοκιμές που γίνανε σε ψαμμιτικά δοκίμια $\gamma_d = 26,1$ kN/m³

Ο δείκτης βραχομάζας RQD, όπως προκύπτει από τη στατιστική επεξεργασία των ποσοστών στις γεωτρήσεις Γ9 και Γ14, είναι μηδέν σε ποσοστό 60% ενώ σε ποσοστό περίπου 32% υποδείχνει βραχομάζα πτωχή ως πολύ πτωχή (RQD: 0-50%).

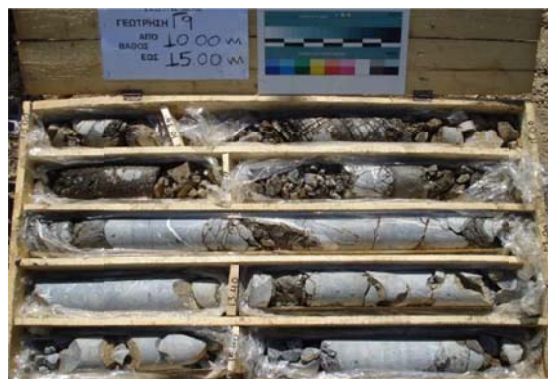
Για τον προσδιορισμό της αντοχής άρρηκτου βράχου πραγματοποιήθηκαν, τόσο δοκιμές σημειακής φορτίσης (20 δοκιμές), όσο και δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης (9 δοκιμές). Οι τελευταίες έδωσαν μέση τιμή $\sigma_c=64,07\text{MPa}$ και τυπική απόκλιση $\sigma_c=30,7\text{MPa}$ μεταξύ της ελάχιστης $\sigma_c=14,37\text{MPa}$ και της μέγιστης $\sigma_c=101,03\text{MPa}$. Οι δοκιμές σημειακής φόρτισης είχαν ως αποτέλεσμα πολύ ψηλές τιμές του δείκτη αντοχής σε σημειακή φόρτιση με μέση τιμή $Is=4,77\text{ MPa}$ ($\sigma_c=114,48$) η οποία θεωρείται υπερβολικά μεγάλη και πιθανόν να αντιστοιχεί σε χαλαζιακές/ασβεστιτικές προσμίξεις, ή ακόμα και σε χαλαζίτη. Αν ληφθούν υπόψη μόνο το 75% των τιμών του δείκτη αντοχής μεταξύ $Is=0-6\text{ MPa}$ προκύπτει η μέση τιμή $Is=3,9$ ($\sigma_c=93,6\text{MPa}$) και τυπική απόκλιση $Is=1,38$ ($\sigma_c=33,12\text{MPa}$). Δεδομένου ότι οι δοκιμές μονοαξονικής αντοχής είναι πιο αξιόπιστες και ότι η αντοχή του άρρηκτου ψαμμίτη γενικά κυμαίνεται από 30MPa έως 100 MPa, προτείνεται να ληφθεί ένα εύρος τιμών **$\sigma_c=30 - 65\text{MPa}$** . Προτείνεται ως μέση τιμή αντοχής του συμπαγούς ψαμμίτη **$\sigma_c=65\text{MPa}$** ενώ για τις τεκτονισμένες και αποσαθρωμένες ζώνες θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η ελάχιστη τιμή **$\sigma_c=30\text{MPa}$** .

Ο δείκτης GSI προσδιορίζεται από την αξιολόγηση της δομής της βραχομάζας του ψαμμίτη όπως φαίνεται στις υπάρχουσες φωτογραφίες των πυρήνων των γεωτρήσεων Γ9 και Γ14 (στη γεώτρηση Γ18 ο ψαμμίτης είναι πλήρως αποσαθρωμένος).

Στη γεώτρηση Γ9, ο ψαμμιτικός φλύσχος, όπως φαίνεται και στη **Φωτ. 6-1**, είναι είτε υγής έως ελαφρά αποσαθρωμένος και κερματισμένος, είτε έντονα αποσαθρωμένος και κατακερματισμένος και τοπικά εδαφοποιημένος. Συνολικά, ένα εύρος τιμών GSI μεταξύ 25-35 (IX-VIII) δηλαδή έντονα πτυχωμένη βραχομάζα, η οποία διατηρεί την δομή της, ενώ η παραμόρφωση και η διάτμηση δεν είναι ισχυρές έως διασπασμένη βραχομάζα (αποτελούμενη κυρίως από ψαθυρό γεωυλικό) που απαντάται σε ζώνες ρηγμάτων και αποσάθρωσης.



α)



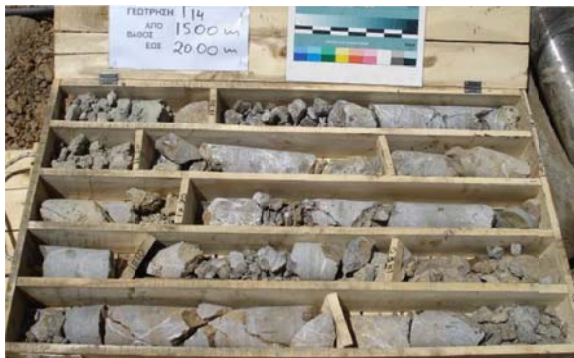
β)

Φωτ. 6-1: Πυρηνοληψία στον ψαμμιτικό φλύσχο στη γεώτρηση Γ9, στο αριστερό αντέρεισμα

Στη γεώτρηση Γ14 ο ψαμμιτικός φλύσχος αποτελείται από εναλλαγές ψαμμίτη κατακερματισμένου έως μέτρια αποσαθρωμένου. Στο τμήμα 7,5 – 13,5m είναι κατακερματισμένος και μέτρια αποσαθρωμένος με τιμές GSI μεταξύ 20-30 (VIII), στο τμήμα 15,3 – 23m είναι μέτρια ως πολύ κερματισμένος και μέτρια αποσαθρωμένος με τιμές GSI μεταξύ 30-40 (VII-VIII), στο τμήμα μεταξύ 26,9 – 29m είναι μέτρια κερματισμένος, τοπικά κατακερματισμένος και ελαφρά αποσαθρωμένος με τιμές GSI περίπου 30 (VIII). Στις ενδιάμεσες ζώνες 13,5 – 15,3m και 23 – 26m ο ψαμμίτης είναι πολύ αποσαθρωμένος με

εδαφική δομή με τιμή $GSI = 20$ που αντιστοιχεί στην ομάδα Χ, δηλαδή τεκτονικά παραμορφωμένο έντονα πτυχωμένο φλύσχη με χαώδη δομή. Εικόνες από τους πυρήνες του ψαμμικού φλύσχη στη γεώτρηση Γ14 δίνονται στην **Φωτ. 6-2**.

Σύμφωνα με τις παραπάνω θεωρήσεις, ο ψαμμικός φλύσχος μπορεί να χωριστεί σε δύο τεχνικογεωλογικές ενότητες με βάση τη δομή του, το βαθμό διάτμησης και αποσάθρωσής του, την τιμή του δείκτη GSI και τη μονοαξονική αντοχή του.



α)



β)

Φωτ. 6-2: Πυρηνοληψία ψαμμίτη στη γεώτρηση Γ14 στο αριστερό πρηνές

Τεχνικογεωλογική Ενότητα ΤΕ.2Α:

Ψαμμικός φλύσχος έντονα τεκτονισμένος και πολύ αποσασθρωμένος με εδαφική δομή, αποτελούμενος από καστανή ΑΜΜΟΙΛΥ, ή αμώδη ΑΡΓΙΛΟ με ψαμμικά τεμάχια. Απαντάται στο δεξί αντέρισμα της θέσης του φράγματος, σε εναλλαγές με υγιή ψαμμίτη. Η διαπερατότητα του είναι της τάξης $k=1 \cdot 10^{-5} \text{ m/sec}$ η οποία θα μπορούσε να θεωρηθεί αρκετά υψηλή για ψαμμίτη και οφείλεται μάλλον στην αύξηση του συντελεστή κενών (e) λόγω της αποσάθρωσης, των διατμήσεων και των ανοιχτών επιπέδων ασυνεχειών της βραχομάζας. Όσον αφορά την αντοχή άρρηκτου βράχου της τεχνικογεωλογικής ενότητας 2Α, επιλέγεται η ελάχιστη από το προτεινόμενο εύρος τιμών αντοχής $\sigma_{ci} = 30 \text{ MPa}$, λόγω της έντονης αποσάθρωσης του ψαμμίτη. Σύμφωνα με τον πίνακα στο **Σχήμα 6-22**, προτείνεται η τιμή $m_i = 10$ (μεταξύ ιλυολίθου και ψαμμίτη) και σύμφωνα με το διάγραμμα στο **Σχήμα 6-28** προτείνεται η τιμή του δείκτη $GSI = 20$ και χαρακτηρίζεται ως τύπος βραχομάζας Χ.

Τεχνικογεωλογική Ενότητα ΤΕ.2Β:

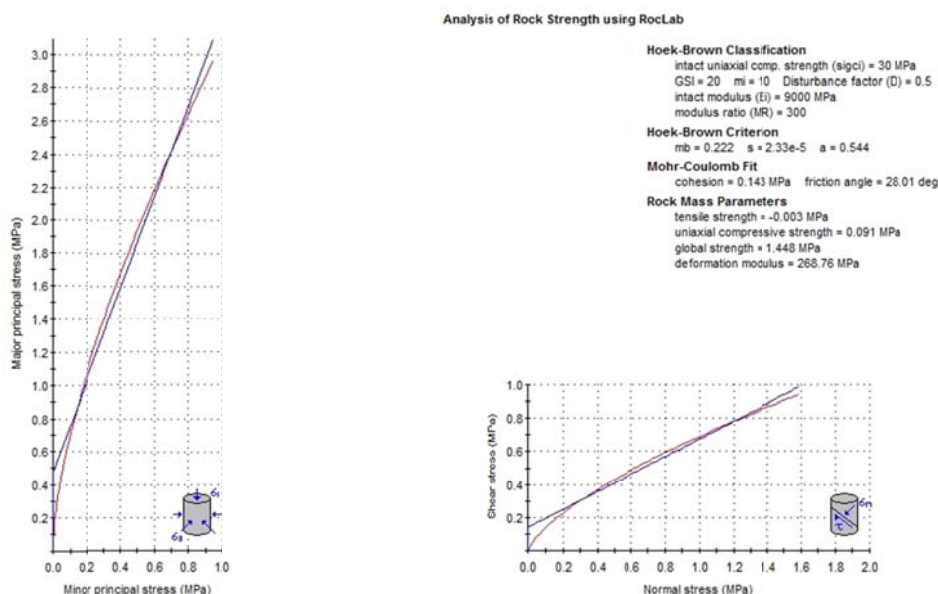
Ψαμμικός φλύσχος μέτρια κερματισμένος και τοπικά μόνο κατακερματισμένος, μέτρια ως ελαφρά αποσασθρωμένος. Απαντάται ως τέμαχος υπερκείμενο του ιλυολιθικού φλύσχη στο αριστερό αντέρισμα ή υπερκείμενος του εδαφοποιημένου ιλυολίθου στο δεξί αντέρισμα σε μεγαλύτερα υψόμετρα. Η διαπερατότητα είναι της τάξης $k=1 \cdot 10^{-6} \text{ m/sec}$. Επιλέγεται η μέση μετρηθείσα, από τις δοκιμές μονοαξονικής θλίψης, τιμή αντοχής άρρηκτου βράχου $\sigma_{ci} = 65 \text{ MPa}$. Στον πίνακα του **Σχήμα 6-22** προτείνεται για τον ψαμμίτη το εύρος τιμών 17 ± 4 και επιλέγεται η ελάχιστη τιμή $m_i = 13$ λόγω της αποσάθρωσης που έχει υποστεί ο ψαμμικός φλύσχος. Σύμφωνα με την ταξινόμηση της ψαμμικής βραχομάζας, κατά την οποία λαμβάνονται τα εύρη τιμών 20-30, 25-35 και 30-40, η τιμή $GSI = 30$ θεωρείται η πιο αντιπροσωπευτική και αποτελεί ενδιαμέση τιμή των προαναφερθέντων τιμών. Στο **Σχήμα**

6-28 προβάλλεται ο δείκτης GSI της τεχνικογεωλογικής ενότητας TE2B και χαρακτηρίζεται ως τύπος βραχομάζας IX-VIII.

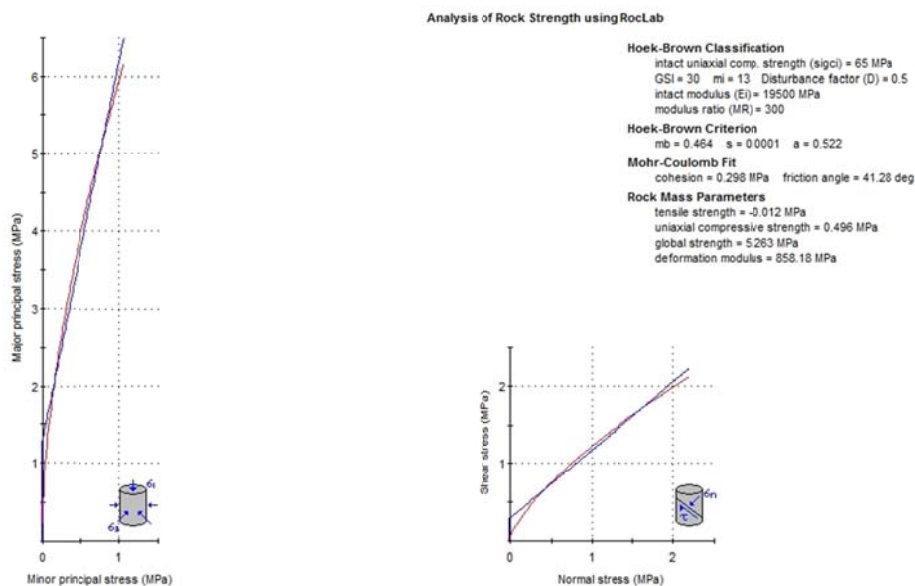
Με τη βοήθεια του λογισμικού Rocdata, των οποίων τα αποτελέσματα δίνονται στο **Σχήμα 6-23** για την TE.2A και στο **Σχήμα 6-24** για την TE.2B, και με βάση τα παραπάνω στοιχεία υπολογίζονται οι μηχανικές παράμετροι βραχομάζας των δύο παραπάνω αναφερθεισών τεχνικογεωλογικών ενότητων και δίνονται στον **Πίνακα 6-8**:

Πίνακας 6-8: Προτεινόμενοι γεωτεχνικοί παράμετροι σχεδιασμού των Τεχνικογεωλογικών Ενότητων TE.2A και TE.2B

ΓΕΩΤ. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	σ_{ci} (MPa)	m_i	GSI	c' (MPa)	ϕ' °	E (MPa)	γ (kN/m ³)
TE.2A	30	10	20	0,143	28	270	26,1
TE.2B	65	13	30	0,300	41	860	26,1



Σχήμα 6-23: Εκτυπώματα λογισμικού Rocdata για την Τεχνικογεωλογική Ενότητα TE.2A



Σχήμα 6-24: Εκτυπώματα λογισμικού Rockdata για την Τεχνικογεωλογική Ενότητα ΤΕ.2Β

6.9.2.3 Τεχνικογεωλογική ενότητα 3: Εδαφοποιημένος ιλυόλιθος

Πρόκειται για μια ζώνη πολύ διατμημένου ιλυολίθου, μεταβλητού πάχους που κυμαίνεται μεταξύ 5-28,7m, υπερκείμενη του υγιέστερου ιλυολίθου. Εμφανίζεται ως αμμώδης αργιλοίλος, αργιλώδης άμμος ή άργιλος με ιλυολιθικά και ψαμμιτικά τεμάχια. Το χρώμα του είναι τεφρό, ελαιό-τεφρο ως τεφροκύανο, είναι πολύ έως πλήρως αποσαθρωμένος και εδαφοποιημένος, μέτρια κερματισμένος έως κατακερματισμένος. Η δομή του είναι ως επί το πλείστον εδαφική ως ημιβραχώδης και αντιμετωπίζεται ως ασθενής βράχος. Από τις τριάντα οκτώ (αρ. 38) επί τόπου δοκιμές περατότητας (τύπου LUGEON, τύπου MAAG και τύπου LEFRANC) που έγιναν στον εδαφοποιημένο ιλυόλιθο του φλύσχη, προκύπτει ένα ενδιάμεσο εύρος τιμών $k=1 \cdot 10^{-5}$ – $4,5 \cdot 10^{-5}$ m/sec. Στο αριστερό αντέρεισμα η στάθμη του υπόγειου νερού εντοπίστηκε μέσα στον υπόψη σχηματισμό σε βάθος 9-15m. Ωστόσο, ο δείκτης ποιότητας βραχομάζας RQD, προέκυψε σε ποσοστό περίπου 95% του συνολικού μήκους πυρηνοληψίας μηδέν. Για το μοναδιαίο βάρος προτείνεται η μέση τιμή που προέκυψε στις εργαστηριακές δοκιμές $\gamma_d = 21,74$ kN/m³

Για τον προσδιορισμό της αντοχής του σχηματισμού αυτού πραγματοποιήθηκαν δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης οι οποίες έδωσαν μέση τιμή $q_u=327,8$ kPa, ενώ αν δε ληφθούν υπόψη οι ακραίες τιμές $q_u=958$ kPa και $q_u=697$ kPa προκύπτει η μέση τιμή $q_u=250,9$ kPa η οποία είναι σύμφωνη με τη μέση τιμή των τιμών ανεμπόδιστης θλίψης του εδαφοποιημένου γεωυλικού που ελήφθη από τον «υγιή» ιλυόλιθο. Ωστόσο αυτές οι τιμές αντιστοιχούν σε εδαφικό αναζυμωμένο γεωυλικό και όχι στην αντοχή του άρρηκτου πετρώματος. Γι αυτό χρησιμοποιείται η τιμή $\sigma_c=1$ MPa (η ελάχιστη μετρηθείσα τιμή στις δοκιμές μονοαξονικής αντοχής στον ιλυολιθικό φλύσχη ήταν $\sigma_c \approx 1$ MPa).

Για τον υπολογισμό των γεωτεχνικών παραμέτρων σχεδιασμού της βραχομάζας του εδαφοποιημένου ιλυολίθου, έγινε ταξινόμηση κατά GSI και στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι μηχανικές παράμετροι μέσω του λογισμικού Rocdata. Η ταξινόμηση με το σύστημα GSI έγινε σύμφωνα με το διάγραμμα που αφορά στο φλύσχη και βασίστηκε στην εκτίμηση της δομής της βραχομάζας από τις φωτογραφίες των πυρήνων των γεωτρήσεων Γ8, Γ9, Γ10, Γ11, Γ14, Γ15, Γ16. Τμήμα της πυρηνοληψίας του εδαφοποιημένου ιλυολίθου από τη γεώτρηση Γ11 φαίνεται στην **Φωτ. 6-3**. Οι επιμέρους ταξινομήσεις GSI ανά μήκος εφαρμογής (το πάχος του σχηματισμού όπως απαντάται σε κάθε γεώτρηση) δίνονται στον **Πίνακα 6-9**. Επιλέγεται η τιμή **GSI=20** και χαρακτηρίζεται ως τύπος βραχομάζας X, όπως προβάλλεται και στο διάγραμμα ταξινόμησης κατά GSI στο **Σχήμα 6-28**, η οποία προκύπτει ως σταθμισμένος μέσος όρος των επιμέρους τιμών ανά μήκος εφαρμογής με βάση τη

$$\overline{GSI} = \frac{\sum GSI_i * l_i}{\sum l_i}$$

μαθηματική σχέση:

Πίνακας 6-9: Τιμές δείκτη GSI εκτιμηθέντες για διάφορα τμήματα πυρήνων στις γεωτρήσεις.

Γεώτρηση	Βάθος	GSI
Γ8	6 – 15m	20-25 (type X)
Γ8	37,4 – 43,6m	20-30 (X-VIII)
Γ9	24,5 – 34,7m	15-25 (type X-XI)
Γ10	6,5 – 17,7m	15-20 (type X-XI)
Γ11	9,1 – 37,8m	20 (type X)
Γ14	33 – 45m	35 (type IX)
Γ15	5 – 10m	20 (type X)
Γ16	6,8 – 31,5m	10-20 (type X-XI)



α)



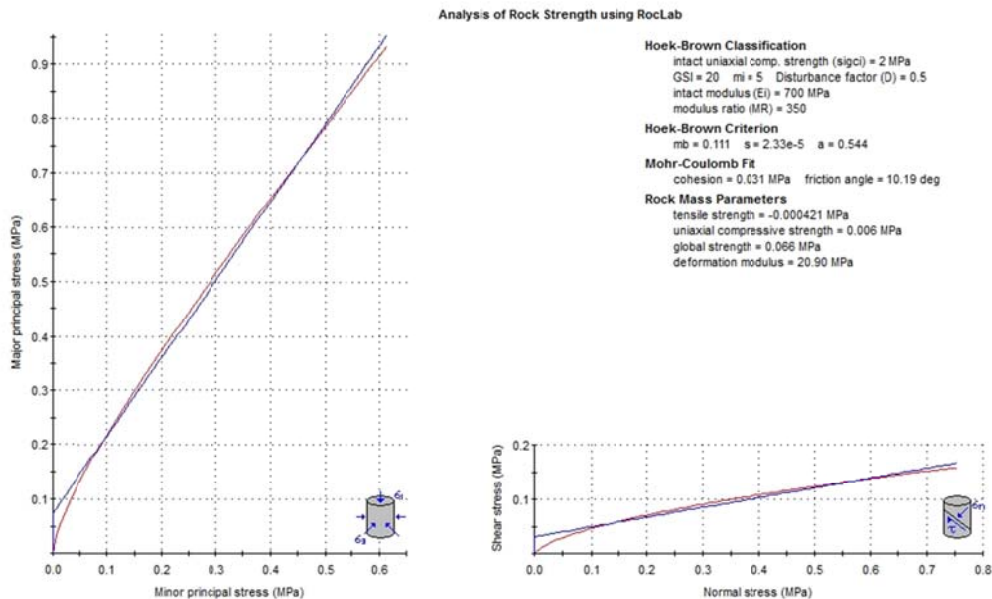
β)

Φωτ. 6-3: Πυρηνοληψία εδαφοποιημένου ιλυόλιθου στη γεώτρηση Γ11 στο αριστερό αντίερισμα

Ο εδαφοποιημένος ιλυόλιθος αποτελεί συνολικά την Τεχνικογεωλογική Ενότητα ΤΕ.3. Επιλέγεται η τιμή αντοχής άρρηκτου βράχου $\sigma_{ci} = 1-2 \text{ MPa}$, η τιμή $m_i = 5$, ως η ελάχιστη τιμή από το εύρος τιμών που προτείνεται για τον ιλυόλιθο στον πίνακα τιμών στο **Σχήμα 6-22** και τιμή του δείκτη $GSI = 20$. Από την εφαρμογή του προγράμματος Rocdata, των οποίων τα αποτελέσματα δίνονται στο **Σχήμα 6-25** προέκυψαν οι τιμές αντοχής και παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας του εδαφοποιημένου ιλυόλιθου. Στον παρακάτω **Πίνακα 6-10** δίνονται οι προτεινόμενες γεωτεχνικοί παράμετροι σχεδιασμού της Τεχνικογεωλογικής Ενότητας ΤΕ.3.

Πίνακας 6-10: Προτεινόμενες τιμές γεωτεχνικών παραμέτρων σχεδιασμού της Τεχνικογεωλογικής Ενότητας ΤΕ.3.

ΓΕΩΤ. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	$\sigma_{ci}(\text{MPa})$	m_i	GSI	$c' \text{ (kPa)}$	$\varphi' ^\circ$	E (MPa)	$\gamma \text{ (kN/m}^3\text{)}$
ΤΕ.3	1-2	5	20	30	10	20	22



Σχήμα 6-25: Εκτυπήματα λογισμικού Rocdata για την Τεχνικογεωλογική Ενότητα ΤΕ.3

6.9.2.4 Τεχνικογεωλογική ενότητα 4: Ιλυολιθικός φλύσχος

Ο ιλυολιθικός φλύσχος αναπτύσσεται κυρίως στο αριστερό πρηνές του φράγματος κάτω από τον εδαφοποιημένο ιλυόλιθο και η επαφή τους δεν είναι ομαλή ούτε ακολουθεί σταθερή διεύθυνση. Ο ιλυόλιθος εντοπίζεται γενικά σε βάθη μεγαλύτερα των 20m (μέγιστο απόλυτο υψόμετρο 276,11m στη γεώτρηση Γ5) στο αριστερό πρηνές, ενώ στο δεξί δεν απαντάται μέχρι το βάθος των εκτελεσθεισών ερευνητικών γεωτρήσεων (30-45m). Είναι τεφρός,

κυανότεφρος ως τεφρό-μαυρος, λεπτό-μεσοστρωματώδης, κερματισμένος και σχιστοποιημένος με βραχώδη ως ημι-βραχώδη δομή ενώ τοπικά αναπτύσσονται εδαφοποιημένες ζώνες ιλυολίθου και ψαμμιτικοί ορίζοντες. Στις περισσότερες γεωτρήσεις απαντάται με τη μορφή ιλυολιθικού λατυποπαγούς μέτρια ως πολύ κερματισμένος και μέτρια ως έντονα αποσαθρωμένος και σπανιότερα είναι συμπαγής, ελαφρά αποσαθρωμένος και μέτρια διερρηγμένος και τοπικά κατακερματισμένος και με σποραδικές ερυθροπηλινικές παρεμβολές. Στις γεωτρήσεις Γ8, Γ11 στο αριστερό αντέρεισμα απαντάται και ως ιλυολιθικό λατυποπαγές με οφιολιθικά τεμάχια και παρεμβολές κερατολίθου (τοπικά στη γεώτρηση Γ11), μέτρια κερματισμένο ως κατακερματισμένο και μέτρια αποσαθρωμένο,

Η μέση τιμή του δείκτη RQD του ιλυολιθικού φλύσχη είναι μηδέν σε ποσοστό 30%, 0-50% σε ποσοστό 36%, ήτοι πολύ πτωχή ως πτωχή βραχομάζα και 50-90%, ήτοι μέτρια ως καλή βραχομάζα, σε ποσοστό 35%, όπως εξάγεται από τη στατιστική επεξεργασία των ποσοστών RQD στις γεωτρήσεις Γ8-Γ13 και Γ15-Γ17.

Από τις εικοσιεννέα (αρ. 29) επί τόπου δοκιμές περατότητας (τύπου LUGEON, τύπου MAAG, και τύπου LEFRANC) που έγιναν στον ιλυολιθικό φλύσχη, προκύπτει η μέση τιμή $k=5 \cdot 10^{-7}$ m/sec, είναι δηλαδή σχηματισμός μικρής διαπερατότητας. Επίσης, λόγω του βάθους που συναντάται, ο υπόψη σχηματισμός βρίσκεται πάντα κάτω από τη στάθμη του υπόγειου νερού. Για το μοναδιαίο βάρος δίνεται η $\gamma_d = 23,05$ kN/m³ που προκύπτει από τις εργαστηριακές δοκιμές που έγιναν σε ιλυολιθικά δοκίμια.

Για τον προσδιορισμό της αντοχής άρρηκτου βράχου του ιλυολίθου πραγματοποιήθηκαν δοκιμές, τόσο αντοχής μονοαξονικής θλίψης και σημειακής φόρτισης σε βραχώδη δοκίμια. Από τις τέσσερις (αρ. 4) δοκιμές μονοαξονικής αντοχής προκύπτει μέση τιμή $\sigma_c=9$ MPa, ενώ η μέγιστη τιμή είναι $\sigma_c=16,9$ MPa. Οι δοκιμές σημειακής φόρτισης κατέληξαν σε μέτριες-υψηλές τιμές του συντελεστή αντοχής σημ. φόρτισης εκ των οποίων η μέση τιμή είναι $I_s=1,37$ MPa ($\sigma_c=32,9$ MPa). Ωστόσο λόγω των πολύ χαμηλών τιμών του $I_{s(50)}$ (< 1 MPa) σύμφωνα με τους Hoek and Brown (1997) οι τιμές των δεικτών αντοχής $I_{s(50)}$ δε θεωρούνται αξιόπιστες και δε λαμβάνονται υπόψη. Λόγω του μικρού αριθμού τιμών μονοαξονικής αντοχής προτείνεται το εύρος τιμών $\sigma_c=9-12$ MPa ως αντιπροσωπευτικό του ιλυολιθικού φλύσχη το οποίο αντιστοιχεί στη μέση .

Στη συνέχεια γίνεται ταξινόμηση της ιλυολιθικής βραχομάζας κατά GSI και προσδιορισμός της αντοχής της μέσω του λογισμικού Rocdata των οποίων τα αποτελέσματα δίνονται στο **Σχήμα 6-26** και στο **Σχήμα 6-27** για τις τεχνικογεωλογικές ενότητες TE.4A και TE.4B αντίστοιχα. Για την ταξινόμηση χρησιμοποιήθηκαν οι υπάρχουσες φωτογραφίες των πυρήνων των γεωτρήσεων Γ8, Γ9, Γ10, Γ11, Γ12, Γ13, Γ15, Γ16, Γ17, όπου εντοπίστηκε ο ιλυόλιθος. Στον **Πίνακα 6-11** δίνονται οι εκτιμώμενες τιμές GSI για τα επί μέρους τμήματα των πυρήνων των γεωτρήσεων Γ8-Γ11. Παρακάτω δίνονται και κάποιες εικόνες από την πυρηνοληψία του ιλυολιθικού φλύσχη από τις γεωτρήσεις Γ10 (αρκετά διατμημένος) και Γ13 (με μορφή ιλυολιθικού λατυποπαγούς ασθενώς συγκολλημένου) στη **Φωτ. 6-4** και από τις γεωτρήσεις Γ9 (συμπαγής ιλυόλιθος) και Γ12 (ιλυολιθικό λατυποπαγές καλά συγκολλημένο) στη **Φωτ. 6-5**.

Πίνακας 6-11: Τιμές δείκτη GSI εκτιμηθέντες για διάφορα τμήματα πυρήνων στις γεωτρήσεις.

Γεώτρηση	Βάθος	GSI
Γ8	21 – 27,8m,	30-40 (VII-VIII)
Γ8	30 – 37,4m,	35-45 (VII-VI)
Γ8	43,6 – 60m	20-30 (X)
Γ9	34,7 – 40m	30-40 (VII)
Γ10	17,7 – 40m	20-25 (X)
Γ11	37,8 – 45m	30-35 (IX-VII)
Γ12	12,4 – 20m	35-40 (VII)
Γ13	23,2 – 30m	30-35 (IX-VII)
Γ15	10 – 15m	20-30 (X-VIII)
Γ16	31,5 – 40m	30-40 (VII-VIII)
Γ17	24 – 30m	20-30 (X-VIII)



α)



β)

Φωτ. 6-4: Πυρηνοληψία ιλυολιθικού φλύσχη α) στη γεώτρηση Γ10 και β) στη γεώτρηση Γ13 στο αριστερό αντέρεισμα



α)



β)

Φωτ. 6-5: Πυρηνοληψία ιλυολιθικού φλύσχη α) με μορφή συμπαγούς βράχου στη γεώτρηση Γ9 και β) με τη μορφή καλά συγκολλημένου ιλυολιθικού λατυπτοπαγούς στη γεώτρηση Γ12 στο αριστερό αντέρεισμα

Ο ιλυολιθικός φλύσχος ανάλογα με τη δομή, το βαθμό αποσάθρωσής του και το δείκτη GSI διαχωρίζεται σε δύο τεχνικογεωλογικές ενότητες με τα παρακάτω χαρακτηριστικά και τις μηχανικές ιδιότητες που δίνονται στον **Πίνακα 6-12**:

Τεχνικογεωλογική Ενότητα ΤΕ. 4Α:

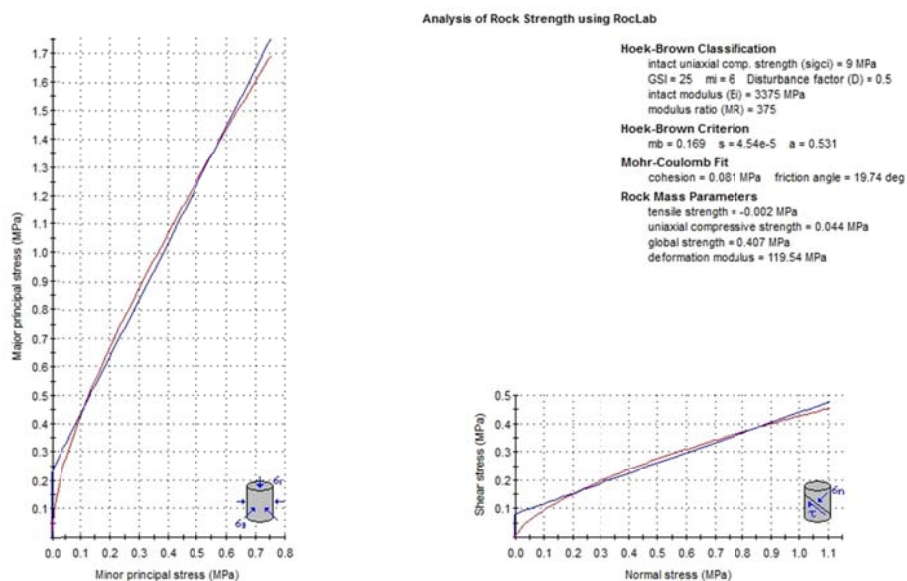
Ο Ιλυολιθος έχει τη μορφή πυρήνων μικρής αντοχής (μέτρια διαγενεμένων), που διαχωρίζονται σε λεπτά "πλακίδια" παράλληλα με τη στρώση, ή τη μορφή ιλυολιθικού λατυπτοπαγούς. Είναι μέτρια ως πλήρως αποσαθρωμένος, μέτρια ως έντονα κερματισμένος και τοπικά σχιστοποιημένος με κυρίως ημιβραχώδη ως τοπικά βραχώδη δομή και σποραδικά ζώνες εδαφοποιημένου ιλυόλιθου. Δείκτης GSI ≤ 30 (25), βραχομάζα τύπου (VIII-X), δηλαδή παραμορφωμένη, πτυχωμένη ως έντονα πτυχωμένη βραχομάζα με δομή που διατηρείται ή με χαώδη δομή) όπως προβάλλεται στο στο διάγραμμα ταξινόμησης κατά GSI στο **Σχήμα 6-28**, $\sigma_c = 9 \text{ MPa}$ (η ελάχιστη τιμή από το προαναφερθέν εύρος τιμών για τον ιλυολιθικό φλύσχη), παράμετρος $m_i = 6$ όπως προκύπτει από τον πίνακα τιμών m_i στο **Σχήμα 6-22** (μέση τιμή του εύρους τιμών $m_i = 7 \pm 2$), βαθμός διατάραξης $D = 0,5$.

Τεχνικογεωλογική Ενότητα ΤΕ. 4Β:

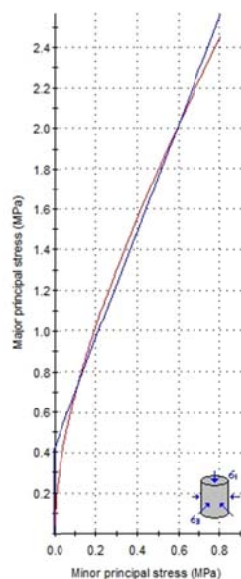
ΙΛΥΟΛΙΘΙΚΟΣ ΦΛΥΣΧΗΣ, μέσο-λεπτοστρωματώδης, μέτρια έως έντονα κερματισμένος, μέτρια προς ελαφρά αποσαθρωμένος, τοπικά σχιστοποιημένος με ερυθροπηλινικές ή ψαμμιτικές παρεμβολές με βραχώδη δομή. Σε αυτή τη τεχνικογεωλογική ενότητα συμπεριλαμβάνεται και το ιλυολιθικό λατυπτοπαγές με τα οφιολιθικά τεμάχια και τις κερατολιθικές παρεμβολές. Στη γεώτρηση Γ12 εμφανίζεται και ως ιλυολιθικό λατυπτοπαγές καλά συγκολλημένο. Δείκτης GSI ≥ 30 (35), βραχομάζα τύπου (VII-VIII, δηλαδή βραχομάζα έντονα διαταραγμένη, πτυχωμένη, όπου διατηρείται η δομή, όχι πολύ διατηρημένη με στρώματα ιλυολίθου και ψαμμίτη) όπως προβάλλεται στο διάγραμμα ταξινόμησης κατά GSI στο **Σχήμα 6-28**: Διάγραμμα ταξινόμησης GSI με προβολή των τιμών για κάθε Τεχνικογεωλογική Ενότητα $\sigma_c = 12 \text{ MPa}$ (η μέγιστη τιμή από το προαναφερθέν εύρος τιμών για τον ιλυολιθικό φλύσχη), παράμετρος $m_i = 6$ όπως προκύπτει από τον πίνακα τιμών m_i στο **Σχήμα 6-22**.

Πίνακας 6-12: Προτεινόμενες τιμές γεωτεχνικών παραμέτρων σχεδιασμού των Τεχνικογεωλογικών Ενοτήτων ΤΕ.4Α και ΤΕ.4Β

ΓΕΩΤ. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	σ_{ci} (MPa)	m_i	GSI	c' (MPa)	ϕ' °	E (MPa)	γ (kN/m ³)
ΤΕ.4Α	9	6	25-30	0,080	20	120	23,0
ΤΕ.4Β	12	7	30-35	0,130	27	260	23,0



Σχήμα 6-26: Εκτυπήματα λογισμικού Rockdata για την Τεχνικογεωλογική Ενότητα ΤΕ.4Α



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 12 MPa
GSI = 35 m_i = 7 Disturbance factor (D) = 0.5
intact modulus (E_i) = 4500 MPa
modulus ratio (MR) = 375

Hoek-Brown Criterion

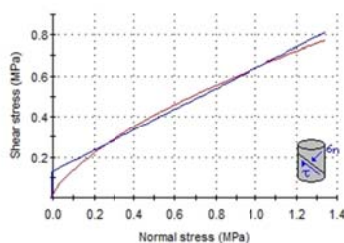
m_b = 0.317 s = 0.0002 a = 0.516

Mohr-Coulomb Fit

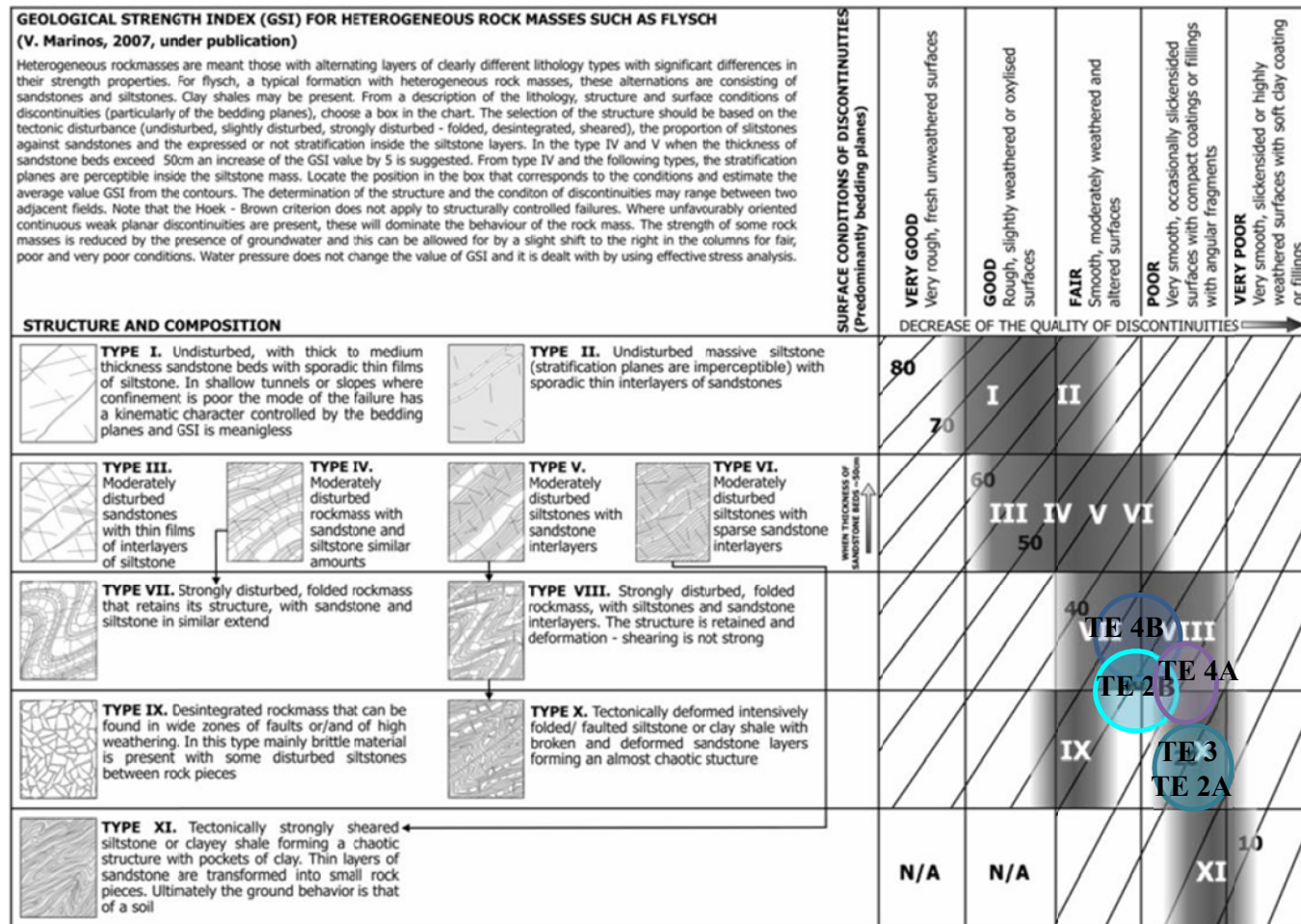
cohesion = 0.132 MPa friction angle = 26.91 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.007 MPa
uniaxial compressive strength = 0.137 MPa
global strength = 0.830 MPa
deformation modulus = 257.14 MPa



Σχήμα 6-27: Εκτυπήματα λογισμικού Rockdata για την Τεχνικογεωλογική Ενότητα ΤΕ.4Β



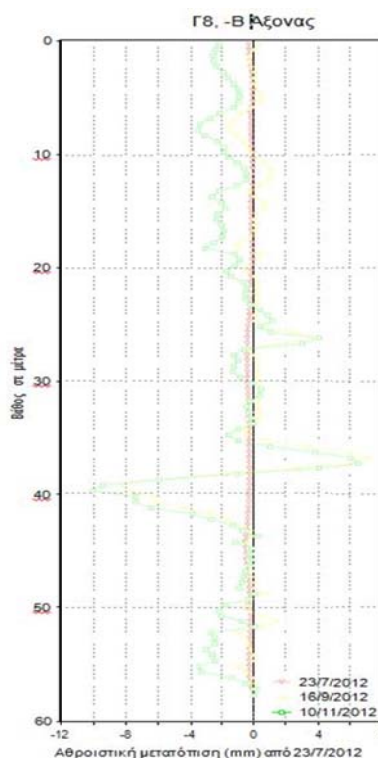
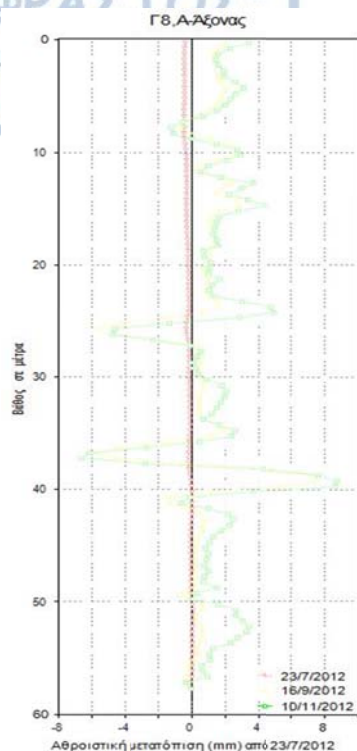
Σχήμα 6-28: Διάγραμμα ταξινόμησης GSI με προβολή των τιμών για κάθε Τεχνικογεωλογική Ενότητα

6.10 Ευστάθεια υφισταμένων πρανών στην θέση του φράγματος

Οι τεχνικές γεωμορφολογικές ενδείξεις του δεξιού αντερείσματος (ήπιες και ομαλές κλιτύες, έλλειψη φρυδιών αποκόλλησης κλπ) της θέσης του φράγματος, συνηγορούν στην ανάπτυξη γενικά ευσταθών συνθηκών πρανούς, χωρίς να αποκλείονται τοπικοί ερπυσμοί πολύ περιορισμένου μεγέθους και πολύ μικρού πάχους των ελουβιακών αποθέσεων, άνευ όμως πρακτικής σημασίας. Αντίθετα, στο αριστερό αντέρεισμα της θέσης του φράγματος, υπάρχουν σημαντικές ενδείξεις ύπαρξης συνθηκών αστάθειας ευρύτερου πρανούς. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τις εικόνες που συλλέχθηκαν από την περιοχή του έργου, υπάρχει μεγάλη ανωμαλία στην επιφάνεια των κλιτύων με έντονες εναλλαγές κυρτών και κοίλων τμημάτων της επιφάνειας των πρανών, παρουσία φρυδιών αποκόλλησης κλπ που συνηγορούν στην ύπαρξη δυσμενών συνθηκών ευστάθειας του ευρύτερου αριστερού αντερείσματος της θέσης του φράγματος. Η περιγραφείσες δυσμενείς γεωλογικές συνθήκες του ευρύτερου αριστερού πρανούς του φράγματος, με, την ευρύτερη και εκτεταμένη ζώνη γεωλογικής διάτμησης (εφίππευσης), την βαθειά αποσάθρωση και την έντονη σχιστοποίηση και εδαφοποίηση των ιλυολιθικών και αργιολιθικών σχηματισμών του ενισχύουν την θεώρηση της εν δυνάμει ύπαρξης συνθηκών αστάθειας του ευρύτερου αριστερού πρανούς της θέσης του φράγματος.

Στα πλαίσια της εκτέλεσης των γεωερευνητικών εργασιών στην θέση του φράγματος, και προκειμένου να διαπιστωθεί αν στο ευρύτερο αριστερό πρανές είναι πιθανό να εκδηλωθεί κατολίσθηση, τοποθετήθηκαν κλισιόμετρα στις εκτελεσθείσες ερευνητικές δειγματοληπτικές γεωτρήσεις Γ8, Γ9, Γ10 και Γ11, αντίστοιχα. Στην έκθεση αποτελεσμάτων των γεωερευνητικών εργασιών συνολικά δόθηκαν τρεις σειρές μετρήσεων, συμπεριλαμβανόμενης και της αρχικής μέτρησης βάσης. Από τα διαγράμματα των αθροιστικών μετακινήσεων που παρουσιάζονται παρακάτω, από τα κλισιόμετρα των γεωτρήσεων Γ8 και Γ9, ο κατακόρυφος άξονας αντιστοιχεί στη θεωρητική μέτρηση βάσης. Η πρώτη μέτρηση έγινε την ίδια μέρα της τοποθέτησης του κλισιόμετρου για να διαπιστωθεί αν υπάρχουν αποκλίσεις στις μετρήσεις, κάτι το οποίο θα υποδείξει κατασκευαστικό πρόβλημα στο κλισιόμετρο. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν τα εξής:

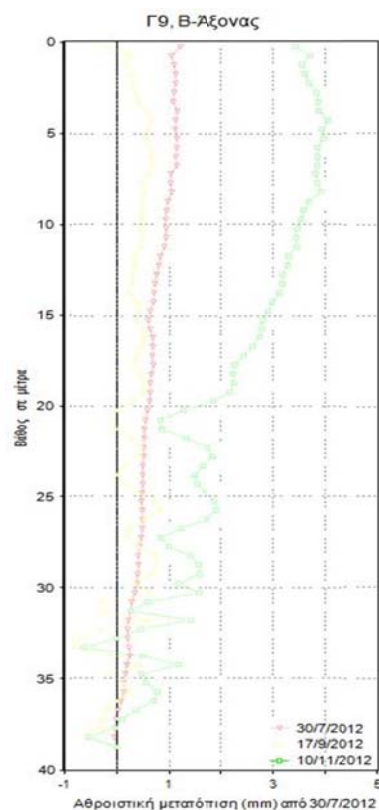
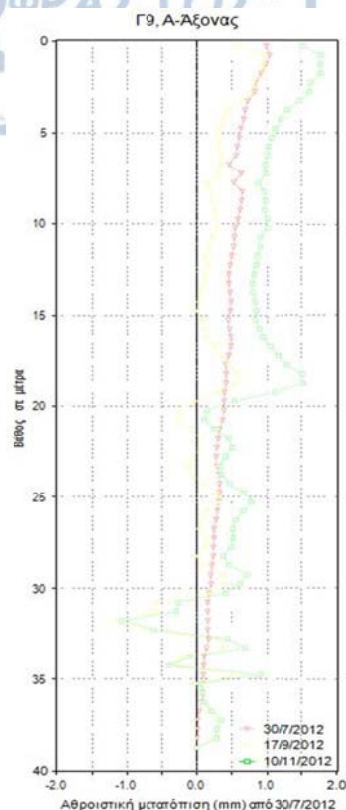
Στη γεώτρηση Γ8 εντοπίζεται μετακίνηση μάλλον σε βάθος μεταξύ 22,5 και 28,0m (στις 10/11/2012) με κίνηση, συνισταμένη των δύο αξόνων μεγέθους 1,5mm και με αζιμούθιο διευθύνσεως 265°. Οι μετακινήσεις φαίνεται να παρουσιάζουν χρονική εξέλιξη και με βάση την τελευταία μέτρηση, καταγράφεται ρυθμός μετακίνησης της τάξης 4-5mm/yr. Γεωλογικά, οι μετακινήσεις εντοπίζονται μέσα στο ιλυολιθικό λατυπτοπαγές με οφιολιθικές παρεμβολές και στην επαφή του με τον υποκείμενο ασβεστόλιθο του τεκτονικού καλύμματος που υπέρκειται του ιλυολιθικού φλύσχη. Αναφέρεται και μια μικρότερη (σε μέγεθος) μετακίνηση σε βάθος 30-35μ. Τα διαγράμματα των αθροιστικών μετρήσεων για κάθε άξονα του κλισιόμετρου δίνονται στο **Σχήμα 6-29**, παρακάτω.



Σχήμα 6-29: Διαγράμματα μετατοπίσεων του A-A' και B-B' άξονα στο κλισιόμετρο της γεώτρησης Γ8.

Στο κλισιόμετρο της γεώτρησης Γ9 εντοπίζεται μετακίνηση μάλλον σε βάθος μεταξύ 17,5 και 22,0m (στις 10/11/2012) με κίνηση, συνισταμένη των δύο αξόνων μεγέθους 1,6mm και αζιμούθιο 315°. Οι μετακινήσεις φαίνεται να παρουσιάζουν χρονική εξέλιξη και με βάση την τελευταία μέτρηση καταγράφεται ρυθμός μετακίνησης 5-6mm/yr. Τα διαγράμματα των κλισιομέτρων της Γ9 δίνονται στο **Σχήμα 6-30**.

Στο κλισιόμετρο της γεώτρησης Γ10 δεν υπάρχουν σαφείς ενδείξεις εδαφικών μετακινήσεων βάθους. Παρουσιάζονται κάποιες μικρές ενδείξεις στα βάθη 35-37m στον άξονα A-A' και 40-41m στον άξονα B-B', αλλά ο εντοπισμός των μετακινήσεων σε διαφορετικά βάθη αφήνει πολύ μικρές πιθανότητες στη παρουσία πραγματικής μετακίνησης. Παρομοίως, στη γεώτρηση Γ11 δεν είναι σαφές αν υπάρχουν πραγματικά μετακινήσεις. Υπάρχουν μικρές ενδείξεις μετακινήσεων στο βάθος 37-40m στον άξονα A-A', αλλά στον άξονα B-B' δεν παρατηρούνται αντίστοιχες μετρήσεις. Στα κλισιόμετρα των γεωτρήσεων Γ10, Γ11 αντίστοιχα, χρειάζονται περισσότερες μετρήσεις για να διαπιστωθεί, η ύπαρξη, ή μη, εδαφικών μετακινήσεων βάθους.



Σχήμα 6-30: Διαγράμματα μετατοπίσεων του Α-Α' και Β-Β' άξονα του κλισιομέτρου της γεώτρησης Γ9

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι στο κλισιομετρικό σωλήνα Γ8 υπάρχει επίπεδο παραμόρφωσης και μετακίνησης κατολισθητικού χαρακτήρα με διεύθυνση δυτική-νοτιοδυτική, σε βάθος 22,5-28m με ταχύτητα 4-5mm/έτος. Η μετακίνηση αυτή φαίνεται να σχετίζεται με την εκτεταμένη ζώνη γεωλογικής διάτμησης (επώθησης), η οποία εντοπίζεται στο αριστερό πρανές και κλίνει προς ανατολικά. Στο κλισιομετρικό σωλήνα Γ9, παρατηρείται μετακίνηση σε βάθος 17,5-22m, με ταχύτητα 5-6mm/έτος και διεύθυνση και φορά βορειοδυτική. Από τη διαφορά στη διεύθυνση εδαφικής μετακίνησης και την διαφορετική γεωλογική σύσταση στα αντίστοιχα βάθη των κλισιομετρικών σωλήνων, δεν φαίνεται να πρόκειται για ενιαία μετακινούμενη εδαφική μάζα. Αντίθετα, η ζώνη επώθησης διαχωρίζει το ευρύτερο πρανές σε δύο υπο-περιοχές που μάλλον μετακινούνται ανεξάρτητα η μία από την άλλη. Η υποπεριοχή που ελέγχεται από το κλισιόμετρο Γ9 είναι πιο κρίσιμη από την υποπεριοχή που ελέγχεται από το κλισιόμετρο Γ8, αφενός μεν, γιατί βρίσκεται πλησίον της κοίτης του ποταμού και αφετέρου, διότι η γεωλογική δομή επιτρέπει κινηματικά τη μετακίνηση γεωμάζας του αντερείσματος προς δυτικά (σχετικά απότομη κλίση, ψαμμιτικός ορίζοντας υπερκείμενος του εδαφοποιημένου, σχιστοποιημένου, χαμηλής αντοχής ιλυολίθου). Αν ληφθεί υπόψη το μεγάλο πάχος αλουβιακών αποθέσεων (12,5-17,7m) στη κοίτη του δεξιού πρανούς, συμπεραίνεται ότι ιστορικά, πριν την απόθεση των αλουβιακών αποθέσεων, είναι πιθανό να είχε συμβεί σοβαρή εδαφική μετακίνηση-κατολίσθηση, όπου το ύψος του ανυποστήρικτου πρανούς θα ήταν πολύ μεγαλύτερο από το σημερινό. Πάντως,

σήμερα παρατηρούνται μετακινήσεις με φορά προς την κοίτη και διεύθυνση προς ΒΔ, παρά την αντιστήριξη που ασκείται από τις αλλουβιακές αποθέσεις στο «πόδι» του πρανούς.

Η κατασκευή του προβλεπόμενου φράγματος αναμένεται να σταθεροποιήσει το ευρύτερο αριστερό «ασταθές» πρανές το οποίο θα έχει το ρόλο μεγάλου σταθεροποιητικού επιχώματος αντιβάρου ποδός (berg). Όμως, αυτό θα συμβεί στο τέλος της κατασκευής του φράγματος. Αντίθετα, κατά τη διάρκεια της κατασκευής και ειδικά για τα χαμηλά σημεία θεμελίωσης θα απαιτηθεί προσωρινή εκσκαφή για τη αφαίρεση αλλουβιακών υλικών της κοίτης στη ζώνη του αργιλικού πυρήνα, η οποία θα υποσκάψει το πόδι του πρανούς. Με δεδομένο ότι ήδη παρατηρούνται μετακινήσεις στο χαμηλό σημείο του υπόψη πρανούς δεν αποκλείεται, στην φάση των εκσκαφών θεμελίωσης, να συμβεί μεγάλη κατολίσθηση στη ζώνη θεμελίωσης του φράγματος. Συνεπώς θα πρέπει να προβλεφθεί μια τεχνική λύση, ώστε να αποφευχθεί η κατολίσθηση στη ζώνη εκσκαφών θεμελίωσης του αργιλικού πυρήνα κατά τη διάρκεια της κατασκευής του φράγματος.

Για να προληφθεί πιθανή ολίσθηση στο πρανές θα πρέπει είτε να αυξηθούν οι δυνάμεις που προβάλλουν αντίσταση στη μετακίνηση είτε να ελαττωθούν οι δυνάμεις που συνεισφέρουν στην ολίσθηση. Η αποστράγγιση του πρανούς χρησιμοποιείται συχνά για τον υποβιβασμό της στάθμης του υπόγειου νερού, ώστε να μειωθεί η φόρτιση της πίεσης πόρων, σημαντικού παράγοντα στην πρόκληση κατολίσθησης. Επιπλέον, με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η ενεργός αντοχή των γεωυλικών. Συνήθως η αποστράγγιση του πρανούς γίνεται με στοές στις οποίες γίνονται αποστραγγιστικές οπές περιμετρικά της στοάς προς τα άνω. Στην περίπτωση του αριστερού πρανούς του φράγματος, οι αποστραγγιστικές στοές δεν θα είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικές εφόσον τα γεωυλικά έχουν μέτρια ως μικρή διαπερατότητα και αρκετός χρόνος απαιτείται για τον υποβιβασμό της υπόγειας στάθμης. Επιπλέον η κατασκευή αποστραγγιστικής σήραγγας σε φτωχά από μηχανική άποψη γεω-υλικά είναι δύσκολη και δαπανηρή.

Συνήθης τακτική αντιμετώπισης ασταθειών, πριν από την έναρξη των εκσκαφών θεμελίωσης αποτελεί η σταθεροποίηση του πρανούς με εφαρμογή αγκυρώσεων (σε σχηματισμό μεγάλης γενικά αντοχής), εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδεματος και γενικά ενίσχυση των γεωυλικών του πρανούς (ενίσχυση των σταθεροποιητικών δυνάμεων). Ωστόσο, η εφαρμογή αγκυρώσεων για τη σταθεροποίηση φαίνεται μη εφαρμόσιμη, αφενός μεν λόγω της αδυναμίας πρόσφυσης ενεμάτων των αγκυρίων σε αργιλικούς σχηματισμούς και αφετέρου, λόγω της έντονης ανομοιογένειας της γεωλογικής σύστασης του πρανούς και των αντίστοιχων μηχανικών ιδιοτήτων τους.

Η πιο αποτελεσματική λύση στην σταθεροποίηση του υπόψη πρανούς φαίνεται να είναι η αντιστήριξή του προς την πλευρά που παρατηρείται η μετακίνηση. Η κατασκευή σταθεροποιητικού επιχώματος στο πόδι του πρανούς θα αυξήσει την αντίσταση στην κίνηση της κατολίσθησης και θα μπορούσε ίσως να ενσωματωθεί αργότερα στο σώμα του φράγματος. Όμως, το θέμα θα παρουσιασθεί διεξοδικότερα στο επόμενο κεφάλαιο.

6.11 Περιγραφή και Ανάπτυξη των Τεχνικογεωλογικών Ενοτήτων στην περιοχή κατασκευής του φράγματος και των συνοδών έργων

6.11.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται περιγραφή των τεχνικογεωλογικών συνθηκών στην περιοχή της θέσης θεμελίωσης του φράγματος και των συνοδών έργων. Η περιγραφή των αναμενόμενων να συνατηθούν συνθηκών γίνεται με αναφορά κατά μήκος των τριών συνταχθεισών Τεχνικογεωλογικών Τομών, ήτοι, (α) ΤΓΤ.1 (εγκάρσια στο αριστερό αντέρεισμα του φράγματος και υποπαράλληλα στον άξονα του φράγματος) η οποία δίνεται στο **Σχήμα 6-31**, (β) ΤΓΤ.2 (κατά μήκος του άξονα του τεχνικού του εκχειλιστή, της διώρυγας απαγωγής και της λεκάνης καταστροφής ενέργειας) η οποία δίνεται στο **Σχήμα 6-32** και (γ) ΤΓΤ.3 (κατά μήκος ολόκληρου του άξονα του φράγματος, στα δύο αντερείσματα και στην κοίτη) όπως φαίνεται στο **Σχήμα 6-33**. Στις υπόψη τεχνικογεωλογικές τομές και κατά μήκος των χιλιομετρικών τους θέσεων (Χ.Θ.) παρουσιάζονται οι αναμενόμενες να συνατηθούν, τεχνικογεωλογικές ενότητες, οι πιεζομετρικές συνθήκες (στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα) και οι θέσεις των εκτελεσθεισών ερευνητικών δειγματοληπτικών γεωτρήσεων.

6.11.2 Τεχνικογεωλογική Τομή ΤΓΤ.1 – Εγκάρσια του αριστερού πρानούς και υποπαράλληλα του άξονα του φράγματος

Χ.Θ. 0+000 - Χ.Θ. 0+150: Το ψηλότερο σημείο του αριστερού αντερείσματος καλύπτεται από ιλυολιθικό φλύσχη, ασβεστολιθικά στρώματα και ιλυολιθικά λατυπτοπαγή με οφιολιθικά τεμάχη του τεκτονικού καλύμματος το οποίο είναι επωθημένο πάνω στον ιλυολιθικό φλύσχη Εθιάς και φτάνει σε αρκετά μεγάλο βάθος (τοπικά στη γεώτρηση Γ8 σε βάθος 37-38m). Στο τμήμα αυτό βρίσκεται η γεώτρηση Γ8, στη Χ.Θ. 0+109 όπου η πιεζομετρική στάθμη βρίσκεται σε βάθος 12m περίπου. Η περατότητα των σχηματισμών που προκύπτει από επί τόπου δοκιμές διαπερατότητας που έγιναν στη γεώτρηση Γ8 είναι πολύ χαμηλή ως χαμηλή, της τάξης $k=10^{-7} - 10^{-8}$ m/sec μέχρι το βάθος των 60m όπου σταματά και η γεώτρηση Γ8.

Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες που απαντώνται στην περιοχή της υπόψη τεχνικογεωλογική τομής, είναι οι εξής:

1. Επιφανειακοί σχηματισμοί (αποθέσεις πλαγιάς, ΤΕ.1Β και ο ελουβιακός μανδύας ιλυολίθου ΤΕ.1Γ).
2. Σχηματισμοί του τεκτονικού καλύμματος περιορισμένου πάχους,
 - εδαφοποιημένος ιλυόλιθος (ΤΕ.3) με τιμές, RQD:0% και GSI: 20-25.
 - ασβεστόλιθος κατακερματισμένος και αποσασθρωμένος με ιλυολιθικές παρεμβολές με τιμές, RQD:4% και GSI:20.
 - ιλυολιθικό λατυπτοπαγές με οφιολιθικά τεμάχη - ιλυόλιθος σχιστοποιημένος και αποσασθρωμένος με ημιβραχώδη δομή (ΤΕ.4Β) με τιμές, RQD:45,8% και GSI:30.
 - ασβεστόλιθος συμπαγής, μέτρια κερματισμένος με τιμές, RQD:35% και GSI:30-40.

- Ιλυόλιθος συμπαγής και μέτρια ως ελαφρά κερματισμένος (TE.4B) με τιμές, RQD:37% και GSI:35-45.

3. Υποκείμενος του τεκτονικού καλύμματος βρίσκεται ο εδαφοποιημένος ιλυολιθικός φλύσχος (TE.3), έντονα παραμορφωμένος και αποσαθρωμένος, με εδαφική δομή και μικρό πάχος (στη γεώτρηση Γ8 είναι 6m). Οι τιμές του δείκτη **RQD** είναι μηδέν (**0%**) και οι τιμές του δείκτη GSI έχουν εύρος **GSI: 20-30**. Η διαπερατότητα του εδαφοποιημένου ιλυόλιθου στο αριστερό αντέρεισμα είναι γενικά χαμηλή ($k=10^{-6} - 10^{-7}$ m/sec). Οι τιμές των μηχανικών παραμέτρων, αντοχής και παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας του εδαφοποιημένου ιλυόλιθου είναι αντίστοιχα πολύ χαμηλές ($c'=30\text{kPa}$, $\phi'=10^\circ$, $E=20\text{MPa}$).

4. Ιλυολιθικός φλύσχος (TE.4A), είναι διατμημένος, σχιστοποιημένος και αποσαθρωμένος με ημιβραχώδη δομή ενώ εντός της θεμελιώδους μάζας παρεμβάλλονται και τεμάχια συμπαγούς ιλυόλιθου, ψαμμίτη και ασβεστολίθου. Η μέση τιμή του δείκτη **RQD** στο τμήμα της γεώτρησης Γ8 που βρέθηκε ο ιλυολιθικός φλύσχος είναι **22,6%**, δηλαδή πολύ πτωχή ως πτωχή βραχομάζα και ο δείκτης **GSI** έχει ένα εύρος τιμών **GSI: 20-30**. Οι τιμές των μηχανικών παραμέτρων αντοχής και παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας του ιλυόλιθου είναι σχετικά χαμηλές ($c'=80\text{kPa}$, $\phi'=20^\circ$, $E=120\text{MPa}$) και η διαπερατότητά του πολύ χαμηλή ως χαμηλή ($k=10^{-7} - 10^{-8}$ m/sec).

Όπως προκύπτει από το κλισιόμετρο στη γεώτρηση Γ8, στο τμήμα αυτό του πρηνούς υφίστανται εδαφικές μετακινήσεις με φορά προς το φράγμα και διεύθυνση δυτική-νοτιοδυτική (265°), σε βάθος 22,5-28m (στο σχηματισμό του ιλυολιθικού λατυπτοπαγούς), με μετρηθείσα μέση ταχύτητα 4-5mm/έτος.

Χ.Θ. 0+150 – Χ.Θ. 0+245: Το τμήμα αυτό αντιστοιχεί στη περιοχή θεμελίωσης του εκχειλιστή και ξεκινά από την ευρεία ζώνη διάτμησης που επηρεάζει το αριστερό αντέρεισμα. Γεωλογικά δομείται από τον ιλυολιθικό φλύσχη ενώ επιφανειακά αναπτύσσονται κορήματα και ο ελουβιακός μανδύας του φλύσχη. Στη θέση Χ.Θ. 0+215 περίπου βρίσκεται η γεώτρηση Γ5 όπου η στάθμη του υπόγειου νερού βρίσκεται στα 15m περίπου στον εδαφοποιημένο ιλυόλιθο. Η διαπερατότητα των σχηματισμών μεταβάλλεται με το βάθος. Συγκεκριμένα η διαπερατότητα είναι χαμηλή ως πολύ χαμηλή στους επιφανειακούς σχηματισμούς, αυξάνεται στον ιλυολιθικό φλύσχη, ιδιαίτερα πλησίον της πιεζομετρικής στάθμης, και μειώνεται πάλι αυξανόμενου του βάθους στον ιλυολιθικό φλύσχη, όπου η διαπερατότητα είναι χαμηλή έως πολύ χαμηλή.

Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες που απαντώνται είναι οι εξής:

1. Εδαφικοί επιφανειακοί σχηματισμοί των αποθέσεων πλαγιάς (TE.1B) και του ελουβιακού μανδύα (TE.1Γ) οι οποίοι κατά την κατασκευή του εκχειλιστή θα αφαιρεθούν.

2. Ακολουθεί ο εδαφοποιημένος ιλυόλιθος (TE.3), ως αργιλοιλυθική θεμελιώδη μάζα με χάλικες και τεμάχια ιλυόλιθου και ψαμμίτη, διατμημένος και αποσαθρωμένος, με εδαφική δομή και πολύ πτωχή μηχανική συμπεριφορά. Το πάχος του εδαφοποιημένου ιλυόλιθου είναι αρκετά μεταβλητό και τοπικά στη γεώτρηση Γ5 φτάνει τα 10m. Η βραχομάζα της τεχνικογεωλογικής ενότητας TE.3 βαθμονομείται με πολύ χαμηλή τιμή GSI (μέση τιμή του δείκτη **GSI:20**), ενώ οι τιμές παραμέτρων αντοχής και παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας είναι πολύ χαμηλές ($c'=30\text{kPa}$, $\phi'=10^\circ$, $E=20\text{MPa}$). Τμήμα του σχηματισμού

βρίσκεται κάτω από τη στάθμη του υπόγειου νερού και η διαπερατότητα του είναι μέτρια ως χαμηλή ($k=10^{-5} - 10^{-6}$ m/sec).

3. Ιλυολιθικός φλύσχος (ΤΕ.4Α) με μορφή αποσασθρωμένου ιλυολιθικού λατυποπαγούς, ή διατμημένων και σχιστοποιημένων πυρήνων μικρής αντοχής. Στη βραχομάζα του ιλυολιθικού φλύσχη δίνεται η μέση τιμή **GSI: 25**. Οι τιμές των παραμέτρων αντοχής και παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας του ιλυολιθικού φλύσχη είναι σχετικά χαμηλές ($c'=80\text{kPa}$, $\phi'=20^\circ$, $E=120\text{MPa}$) και η υδροπερατότητα του είναι πολύ χαμηλή ως χαμηλή ($k=10^{-7} - 10^{-9}$ m/sec).

Μέσα στην ενότητα αυτή παρεμβάλλονται και στρώματα βραχώδους συμπαγούς ιλυολίθου (ΤΕ.4Β) περιορισμένης ανάπτυξης, με πάχος της τάξης 4-5m, με βραχομάζα υψηλότερης μέσης τιμής **GSI: 35** και σχετικά καλύτερων μηχανικών ιδιοτήτων ($c'=130\text{kPa}$, $\phi'=27^\circ$, $E=260\text{MPa}$).

Κατά τη φάση εκσκαφών για την κατασκευή του τεχνικού του εκχειλιστή είναι πολύ πιθανό να εκδηλωθούν ολισθήσεις και εδαφικές παραμορφώσεις καθώς η περιοχή κατασκευής του εκχειλιστή βρίσκεται κοντά στο τεκτονικό κάλυμμα, όπου καταγράφηκαν ενδείξεις εδαφικών μετακινήσεων βάθους. Περί τη ζώνη διάτμησης, της οποίας το εύρος δεν είναι γνωστό, οι γεωλογικοί σχηματισμοί αναμένονται περισσότερο παραμορφωμένοι και διατμημένοι. Επιπλέον η παρουσία σχετικά υψηλού υδροφόρου ορίζοντα και η μικρή σχετικά διαπερατότητα του ιλυολίθου, επιδεινώνουν την κατάσταση με τις αυξημένες πιέσεις πόρων να συνεισφέρουν στην τάση αποσταθεροποίησης του πρανούς και την απομείωση της ενεργού αντοχής των ήδη διατμημένων ιλυολίθων.

Χ.Θ. 0+245 – Χ.Θ. 0+355: Το τμήμα αυτό αντιστοιχεί στη περιοχή θεμελίωσης του φράγματος στο αριστερό αντέρεισμα και στη θέση Χ.Θ. 0+355, βρίσκεται η γεώτρηση Γ4. Γεωλογικά το τμήμα αυτό αποτελείται από τους επιφανειακούς σχηματισμούς του αποσασθρωμένου μανδύα του φλύσχη και των κορημάτων και τον ιλυολιθικού φλύσχη. Η στάθμη του νερού βρίσκεται σε βάθος 9,5m στη γεώτρηση Γ4 και ακολουθεί γενικά τη κλίση του εδάφους ενώ η διαπερατότητα είναι χαμηλή ως πολύ χαμηλή σε ολόλο το βάθος της γεώτρησης Γ4 της τάξης $k=10^{-7} - 10^{-9}$ m/sec.

Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες που απαντώνται είναι οι εξής:

1. Επιφανειακοί σχηματισμοί, αποθέσεις πλαγιάς (ΤΕ.1Β) και ελουβιακός μανδύας του ψαμμιτικού φλύσχη (ΤΕ.1Γ) οι οποίοι θα αφαιρεθούν κατά τη φάση θεμελίωσης του φράγματος.

2. Εδαφοποιημένος ιλυολιθικός φλύσχος (ΤΕ.3), με μορφή αργιολιγύος με τεμάχια ιλυολίθου, έντονα αποσασθρωμένος, με εδαφική δομή και πολύ πτωχή μηχανική συμπεριφορά. Στη γεώτρηση Γ4 φτάνει σε μεγάλο βάθος, περίπου 30m. Η διαπερατότητά του είναι χαμηλή ως πολύ χαμηλή, της τάξης $k=10^{-7} - 10^{-8}$ m/sec και τοπικά στην επαφή του με τους επιφανειακούς σχηματισμούς $k=10^{-6}$ m/sec και στο μεγαλύτερο τμήμα του βρίσκεται κάτω από τη στάθμη του υπόγειου νερού. Η μέση τιμή του δείκτη GSI είναι **GSI: 20**.

3. Ιλυολιθικός φλύσχος (ΤΕ.4Α), ο οποίος εμφανίζεται ως αποσασθρωμένο ιλυολιθικό λατυποπαγές με ημιβραχώδη δομή και τοπικά ως σκληροί ιλυολίθοι, κατακερματισμένοι μέγιστου μήκους 1m ή διατμημένων πυρήνων μικρής αντοχής. Η διαπερατότητα του είναι

χαμηλή ως πολύ χαμηλή ($k=10^{-7} - 10^{-9}$ m/sec) και η μέση τιμή του δείκτη **GSI: 25**. Πιθανόν μέσα στην τεχνικογεωλογική ενότητα TE.4A να υπάρχουν παρεμβολές συμπαγούς ιλυολίθου (TE.4B), καλύτερης μηχανικής συμπεριφοράς αλλά περιορισμένης ανάπτυξης.

Χ.Θ. 0+355 – Χ.Θ. 0+420: Αποτελεί το χαμηλότερο υψομετρικά τμήμα του αριστερού αντερείσματος και αντιστοιχεί στη ζώνη θεμελίωσης του φράγματος. Στο τμήμα αυτό παρατηρείται λιθολογική αλλαγή, με την εμφάνιση του ψαμμιτικού φλύσχη να υπέρκειται του ιλυολιθικού φλύσχη. Στη θέση Χ.Θ. 0+397 βρίσκεται η γεώτρηση Γ9 όπου η στάθμη του υπόγειου νερού απαντάται σε βάθος 8-9m περίπου, μέσα στον ψαμμιτικό φλύσχη, ενώ η διαπερατότητα μεταβάλλεται με το βάθος. Συγκεκριμένα στους επιφανειακούς σχηματισμούς η διαπερατότητα είναι χαμηλή όπως επίσης και στον ψαμμίτη της τάξης ($k=10^{-6} - 10^{-7}$ m/sec) και μειώνεται στον ιλυολιθικό φλύσχη.

Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες που απαντώνται είναι οι εξής:

1. Επιφανειακοί σχηματισμοί, αποθέσεις πλαγιάς (TE.1B) και ελουβιακός μανδύας του ψαμμιτικού φλύσχη (TE.1Γ). Οι σχηματισμοί αυτοί κατά τη φάση κατασκευής του φράγματος θα αφαιρεθούν από το πρηνές.

2. Ψαμμιτικός φλύσχος (TE.2B), συμπαγής, μέτρια ως έντονα κερματισμένος, μέτρια ως έντονα αποσαθρωμένος και τοπικά υγιής. Ο δείκτης **RQD** στο τμήμα της γεώτρησης Γ9 που αντιστοιχεί στον ψαμμίτη έχει αρκετά χαμηλή μέση τιμή **17,7%**, δηλαδή, πολύ πτωχή βραχομάζα λόγω του έντονου κερματισμού και ο δείκτης **GSI** έχει ένα εύρος τιμών **GSI: 25-35**. Οι τιμές των παραμέτρων αντοχής και παραμορφωσιμότητας είναι σχετικά υψηλές ($c'=300$ kPa, $\phi'=41^\circ$, $E=860$ MPa). Η διαπερατότητα του είναι μέτρια ως χαμηλή ($k=10^{-6} - 10^{-7}$ m/sec).

3. Εδαφοποιημένος ιλυολιθικός φλύσχος (TE.3), κερματισμένος, πολύ αποσαθρωμένος, με ημιβραχώδη ως εδαφική δομή. Στα τελευταία 2,7m, όπου εμφανίζεται ως καλά συγκολλημένο λατυποπαγές ο δείκτης **RQD** έχει μέση τιμή περίπου **70%** ενώ στο υπολοιπο μήκος της πυρηνοληψίας (7,5m) έχει τιμή **0%**. Η μέση τιμή του δείκτη **GSI** του εδαφοποιημένου ιλυολίθου είναι **GSI: 20** και οι τιμές παραμέτρων αντοχής και παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας είναι πολύ χαμηλές ($c'=30$ kPa, $\phi'=10^\circ$, $E=20$ MPa). Η διαπερατότητα του είναι πολύ μικρή της τάξης $k=10^{-8}$ m/sec.

4. Ιλυολιθικός συμπαγής φλύσχος (TE.4B) λεπτο-μεσοστρωματώδης, μέτρια κερματισμένος και ελαφρά αποσαθρωμένος, περιορισμένης χωρικής ανάπτυξης, ο οποίος εγκιβωτίζεται μέσα στη τεχνικογεωλογική ενότητα TE.4A. Η διαπερατότητά του είναι χαμηλή ($k=10^{-7}$ m/sec), η μέση τιμή του δείκτη **GSI: 35** και του **RQD: 34%** δηλαδή πτωχή βραχομάζα. Οι παράμετροι αντοχής και παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας του βραχώδους ιλυολίθου είναι ενδιάμεσες ($c'=130$ kPa, $\phi'=27^\circ$, $E=260$ MPa).

Στο κλισιόμετρο που τοποθετήθηκε στη γεώτρηση Γ9, παρατηρήθηκε ότι το βαθύ μέρος του τμήματος αυτού του πρηνούς παρουσιάζει εδαφικές μετακινήσεις κατολισθητικού τύπου, σε βάθος 17,5-22m, με μετρηθείσα ταχύτητα 5-6mm/χρόνο και διεύθυνση βορειοδυτική (315°). Είναι πολύ πιθανό στη περιοχή να είχε παρουσιαστεί στο παρελθόν (όταν στην μισγάγγεια δεν υπήρχαν οι αλλουβιακές αποθέσεις και το βάθος της ήταν πολύ μεγαλύτερο από το σημερινό) μετακίνηση κατολισθητικού τύπου ενώ το σημερινό σχετικά μεγάλο πάχος

αλουβιών που παρατηρείται βοηθάει στη τρέχουσα σχετική «ψευδο – ευστάθεια» του πρανούς. Όμως, κατά τη διάρκεια της κατασκευής του φράγματος, όταν θα αφαιρεθούν τα γεωυλικά της κοίτης για την θεμελίωση του πυρήνα του φράγματος, είναι πιθανό να υπάρξουν ολισθήσεις, κατολισθητικού τύπου, προς την κοίτη του ποταμού. Παρομοίως, η παρουσία του ψηλού υδροφόρου ορίζοντα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους επιδεινώνει το πρόβλημα αστάθειας του πρανούς.

Χ.Θ. 0+420 – Χ.Θ. 0+560: Το τμήμα αυτό αντιστοιχεί στη κοίτη του ποταμού, την ποτάμια αναβαθμίδα και τμήμα του δεξιού αντερείσματος όπου πρόκειται να γίνει η θεμελίωση του φράγματος. Γεωλογικά αποτελείται από τις αλλουβιακές αποθέσεις της κοίτης και τις αποθέσεις της αναβαθμίδας, τον ψαμμιτικό φλύσχη και τον υποκείμενο ιλυολιθικό φλύσχη. Η στάθμη του νερού βρίσκεται σε μικρό βάθος (2-5,5m) ακολουθώντας γενικά τη κλίση του εδάφους και την επιφανειακή στάθμη στην κοίτη του ποταμού. Σύμφωνα με τις γεωτρήσεις Γ3 και Γ16 που εκτελέσθηκαν κατόπιν της θέσης της εξεταζόμενης τεχνικογεωλογικής τομής, η διαπερατότητα είναι χαμηλή στους αλλουβιακούς σχηματισμούς, μέτρια προς χαμηλή στον ψαμμιτικό φλύσχη και χαμηλή στον ιλυολιθικό φλύσχη με μία τάση μείωσης αυξανόμενου του βάθους.

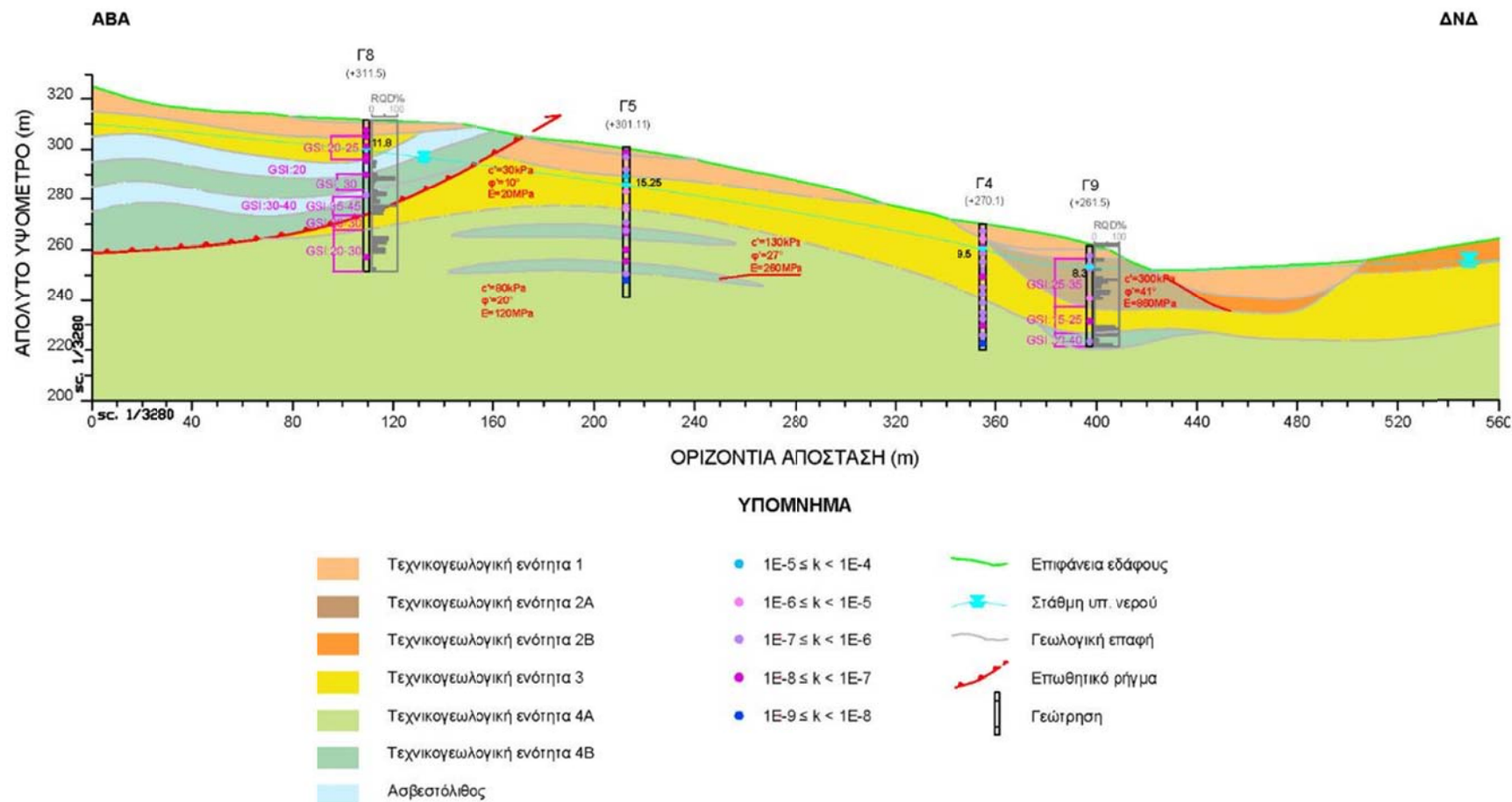
Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες που απαντώνται είναι οι εξής:

1. Αλλουβιακές αποθέσεις (TE.1A) οι οποίες προβλέπονται να αφαιρεθούν κατά την θεμελίωση του φράγματος.

2. Ψαμμιτικός φλύσξης (TE.2A), πολύ αποσαθρωμένος και εδαφοποιημένος, με μορφή αμμοιού με τεμάχια και ενσπρώσεις συμπαγούς κερματισμένου ψαμμίτη, με εδαφική κυρίως δομή. Απαντάται κάτω από τις αλλουβιακές αποθέσεις, τοπικά διακόπτεται από τις διεργασίες διάβρωσης του ποταμού και συνεχίζεται στο δεξιό αντέρεισμα. Στον εδαφοποιημένο ψαμμιτικό φλύσχη δίνεται μία μέση τιμή **GSI: 20** ενώ οι τιμές των μηχανικών παραμέτρων είναι σχετικά χαμηλές για ψαμμιτικό υλικό λόγω της έντονης αποσάθρωσης του σχηματισμού ($c'=143\text{kPa}$, $\phi'=28^\circ$, $E=270\text{MPa}$). Η διαπερατότητά του είναι κυρίως μέτρια προς χαμηλή της τάξης $k=10^{-5} - 10^{-6} \text{ m/sec}$ και τοπικά μόνο σημαντική της τάξης $k=10^{-4} \text{ m/sec}$

2. Εδαφοποιημένος ιλυολιθικός φλύσξης (TE.3), με μορφή αργιλοιλύος με ιλυολιθικά και ψαμμιτικά τεμάχια, τεκτονικά παραμορφωμένος, έντονα αποσαθρωμένος, με εδαφική δομή και πολύ πτωχή μηχανική συμπεριφορά. Το πάχος του κυμαίνεται μεταξύ 10m περίπου κάτω από τις αλλουβιακές αποθέσεις ως 25m στο τέλος της αναβαθμίδας. Η διαπερατότητά του είναι γενικά χαμηλή ως πολύ χαμηλή, της τάξης $k=10^{-6} - 10^{-8} \text{ m/sec}$ και στο μεγαλύτερο τμήμα του βρίσκεται κάτω από τη στάθμη του υπόγειου νερού. Η μέση τιμή του δείκτη GSI γενικά για τον εδαφοποιημένο ιλυόλιθο είναι **GSI: 20** και οι τιμές των παραμέτρων αντοχής και παραμορφωσιμότητας είναι πολύ χαμηλές ($c'=30\text{kPa}$, $\phi'=10^\circ$, $E=20\text{MPa}$).

3. Ιλυολιθικός φλύσξης (TE.4A), ο οποίος εμφανίζεται ως αποσαθρωμένο ιλυολιθικό λατυποπαγές με ημιβραχώδη ως βραχώδη δομή και τοπικά ως συμπαγείς ιλυόλιθοι κατακερματισμένοι μικρής γενικά ανάπτυξης. Η διαπερατότητα του είναι χαμηλή ως πολύ χαμηλή ($k=10^{-7} - 10^{-9} \text{ m/sec}$) και η μέση τιμή του δείκτη **GSI: 25**. Πιθανόν μέσα στην τεχνικογεωλογική ενότητα TE.4A να υπάρχουν παρεμβολές συμπαγούς ιλυόλιθου (TE.4B) περιορισμένου πάντως πάχους.



Σχήμα 6-31: Τεχνικογεωλογική τομή 1, υποπαράλληλα του άξονα του φράγματος

6.11.3 Τεχνικογεωλογική Τομή ΤΓΤ.2 – στο αριστερό πρηνές, παράλληλα με τον άξονα του εκχειλιστή σε διεύθυνση B-N.

Χ.Θ. 0+000- Χ.Θ. 0+100: Το βορειότερο τμήμα της τεχνικογεωλογικής τομής ΤΓΤ.2 αντιστοιχεί στην περιοχή εκσκαφών για τη θεμελίωση του τεχνικού εισόδου του εκχειλιστή και δομείται γεωλογικά από τον ιλυολιθικό φλύσχη Εθιάς καθώς και τους σχηματισμούς του τεκτονικού καλύμματος, ήτοι του ιλυολιθικού λατυποπαγούς με οφιολιθικά τεμάχη και με κερατολιθική παρεμβολή, το οποίο έχει επωθηθεί πάνω στον ιλυολιθικό φλύσχη. Το τεκτονικό κάλυμμα σε αυτό το τμήμα του αντερείσματος έχει βάθος 9m όπως φαίνεται στη γεώτρηση Γ11, στη θέση Χ.Θ. 0+060 της τεχνικογεωλογικής τομής ΤΓΤ.2. Στη γεώτρηση Γ11 η πιεζομετρική στάθμη βρίσκεται πολύ ψηλά, σε βάθος 2m μέσα στον αποσαθρωμένο μανδύα του ιλυολιθικού λατυποπαγούς, του τεκτονικού καλύμματος. Η διαπερατότητα των σχηματισμών σε αυτό το τμήμα είναι μικρή ως πολύ μικρή, της τάξης $k=10^{-7} - 10^{-8}$ m/sec μέχρι το βάθος των 45m που φτάνει η γεώτρηση Γ11.

Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες που απαντώνται σε αυτό το τμήμα είναι οι εξής:

1. Επιφανειακοί σχηματισμοί, κορήματα (ΤΕ.1Β) και ελουβιακός μανδύας (ΤΕ.1Γ) οι οποίοι θα αφαιρεθούν κατά τη φάση εκσκαφών.

2. Ιλυολιθικό λατυποπαγές (ΤΕ.4Β) με οφιολιθικά τεμάχη και κερατολιθική παρεμβολή, συμπαγές σύνολο, κατακερματισμένο και μέτρια αποσαθρωμένο μικρού γενικά πάχους (3,7m), με τιμές **RQD: 2%** λόγω του έντονου κερματισμού. Το εύρος τιμών που προτείνεται για το δείκτη ποιότητας βραχομάζας **GSI** είναι **25-30**. Η διαπερατότητα του είναι μικρή της τάξης των $k=10^{-7}$ m/sec και η μηχανική συμπεριφορά του σχηματισμού θεωρείται μέτρια ως καλή.

3. Εδαφοποιημένος ιλυολιθικός φλύσχος (ΤΕ.3), σχιστοποιημένος και έντονα ως πλήρως αποσαθρωμένος με εδαφική ως ημι-βραχώδη δομή. Στη γεώτρηση Γ11 αναπτύσσεται σε μεγάλο βάθος (37,8m) και γενικά παρουσιάζει πολύ πτωχή μηχανική συμπεριφορά. Λόγω της παρουσίας της διατμημένης ζώνης είναι περισσότερο παραμορφωμένος και αποσαθρωμένος. Σε όλο το μήκος της πυρηνοληψίας στον εδαφοποιημένο ιλυόλιθο στη γεώτρηση Γ11 η τιμή του δείκτη **RQD** ήταν **0%** ενώ στον δείκτη ποιότητας βραχομάζας **GSI** δίνεται μία μέση τιμή **GSI: 20**. Η διαπερατότητα του είναι πολύ χαμηλή, της τάξης $k=10^{-8}$ m/sec ενώ τοπικά, σε δοκιμές MAAG που εκτελέσθηκαν στη γεώτρηση Γ11 δε σημειώθηκε καθόλου πτώση στάθμης, ένδειξη της πολύ μικρής διαπερατότητας. Οι τιμές των παραμέτρων αντοχής και παραμορφωσιμότητας σε αυτή την τεχνικογεωλογική ενότητα είναι πολύ χαμηλές ($c'=30\text{kPa}$, $\phi'=10^\circ$, $E=20\text{MPa}$).

4. Ιλυολιθικός φλύσχος, συμπαγής (ΤΕ.4Β), λεπτοστρωματώδης κατακερματισμένος και μέτρια αποσαθρωμένος, με πολύ χαμηλή μέση τιμή του δείκτη **RQD:11,2%** λόγω του κατακερματισμού του και για το δείκτη **GSI** προτείνεται το εύρος τιμών **GSI: 30-40**. Η διαπερατότητα του συμπαγούς ιλυολίθου είναι γενικά χαμηλή ως πολύ χαμηλή ($k=10^{-7} - 10^{-8}$ m/sec). Οι τιμές των μηχανικών παραμέτρων αντοχής και παραμορφωσιμότητας είναι

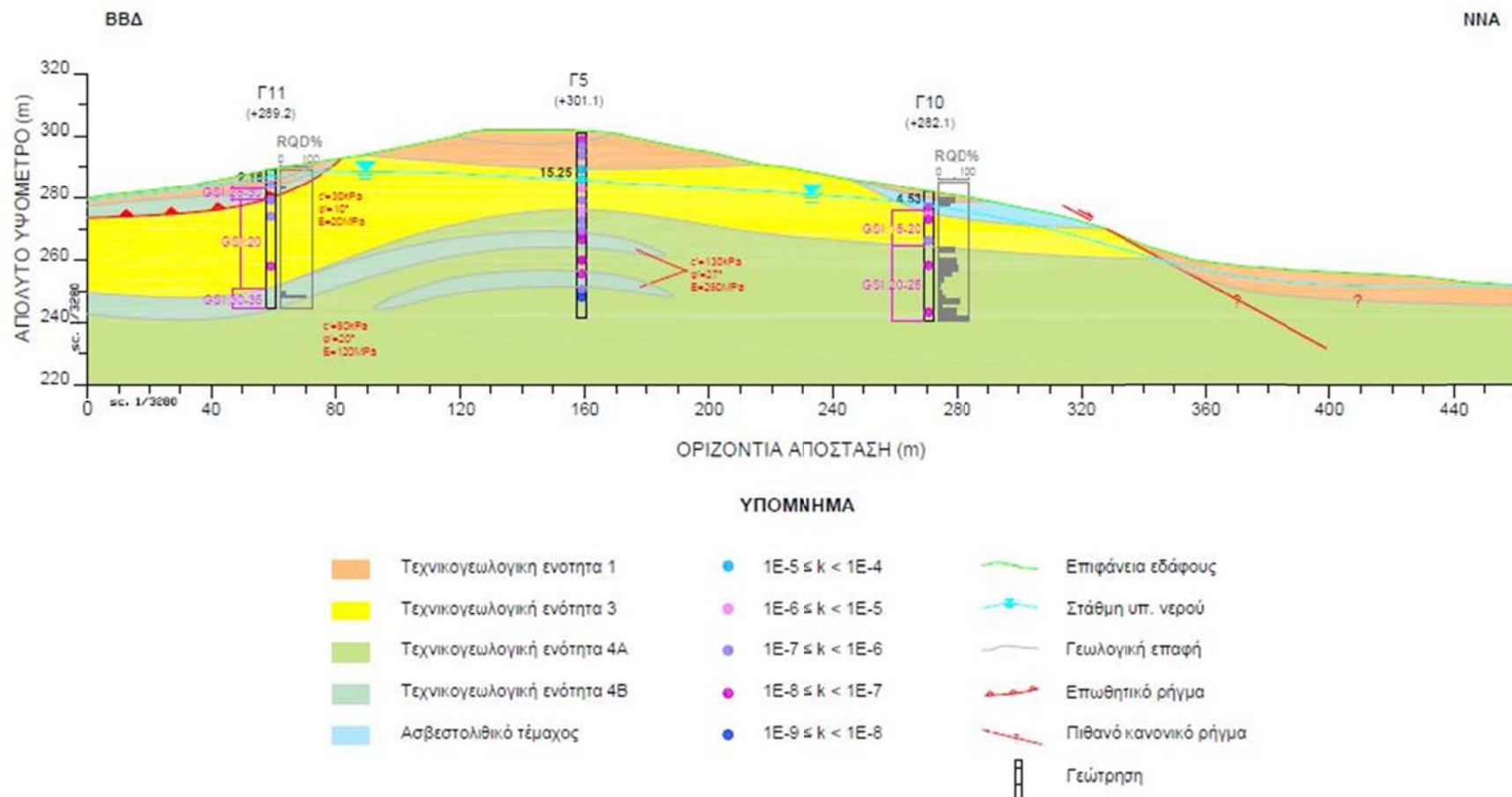
ενδιάμεσες ($c'=130\text{kPa}$, $\phi'=27^\circ$, $E=260\text{MPa}$). Ο συμπαγής ιλυολιθικός φλύσχος βρίσκεται εγκιβωτισμένος μέσα στον λιγότερο «υγιή» ιλυόλιθο.

Στο τμήμα αυτό τα προβλήματα που υπάρχουν είναι οι πολύ χαμηλές αντοχές των γεωυλικών, ειδικά του εδαφοποιημένου ιλυολίθου. Ο εδαφοποιημένος ιλυόλιθος έχει σημαντικό πάχος στο σημείο αυτό και φτάνει σε απόλυτο υψόμετρο 251m. Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα είναι ψηλή, ενώ η χαμηλή διαπερατότητα δεν επιτρέπει άμεση αποστράγγιση. Στη θεμελίωση του τεχνικού εισόδου του εκχειλιστή, αναμένεται να αναπτύσσονται αστράγγιστες συνθήκες με γενικά μικρή αντοχή των γεωυλικών θεμελίωσης και για τον λόγο αυτόν μπορεί, κατά τη διάρκεια των εκσκαφών, να παρατηρηθούν εδαφικές μετακινήσεις περιορισμένου μεγέθους αν δεν ληφθούν υπόψη στον σχεδιασμό των έργων οι πολύ πτωχές γεωτεχνικές συνθήκες. Ωστόσο, από τις υπάρχουσες μετρήσεις κλισιομέτρου στην περιοχή αυτήν, δεν φαίνεται να υπάρχουν ενεργά προβλήματα αστάθειας ευρύτερου πρσανούς.

Χ.Θ. 0+100 – Χ.Θ. 0+340: Το τμήμα αυτό αντιστοιχεί στη θέση του τεχνικού του εκχειλιστή και της διώρυγας φυγής του και έχουν εκτελεστεί δύο γεωτρήσεις, η Γ5 στη θέση Χ.Θ. 0+159 και η Γ10 στη θέση Χ.Θ. 0+270. Γεωλογικά αποτελείται από τον ιλυολιθικό φλύσχη Εθιάς και τους επιφανειακούς εδαφικούς κολουβιακούς και ελουβιακούς σχηματισμούς, που αναπτύσσονται στην επιφάνεια του εδάφους. Τοπικά εμφανίζεται στο νοτιότερο άκρο του τμήματος στη γεώτρηση Γ10, ασβεστολιθικό τέμαχος μέσα στον ιλυολιθικό φλύσχη. Η στάθμη του υπόγειου νερού βρίσκεται σε βάθος 15m περίπου στη γεώτρηση Γ5 και σε βάθος 4,5m στη γεώτρηση Γ10, ενώ η περατότητα των σχηματισμών μεταβάλλεται με το βάθος. Στους επιφανειακούς σχηματισμούς η διαπερατότητα είναι χαμηλή ως πολύ χαμηλή και αυξάνεται στον ιλυολιθικό φλύσχη (χαμηλή ως μέτρια) περί τη στάθμη του υπόγειου νερού και μειώνεται ξανά, αυξανόμενου του βάθους.

Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες που απαντώνται στην περιοχή είναι οι εξής:

1. Εδαφικοί επιφανειακοί σχηματισμοί των αποθέσεων πλαγιάς (ΤΕ.1Β) και του ελουβιακού μανδύα (ΤΕ.1Γ) του φλύσχη οι οποίοι κατά την κατασκευή του τεχνικού του εκχειλιστή και της διώρυγας φυγής θα αφαιρεθούν.
2. Εδαφοποιημένος ιλυόλιθος (ΤΕ.3), πολύ αποσαθρωμένος με εδαφική ως τοπικά ημιβραχώδη δομή, με μορφή αργιλιωλιδώδους θεμελιώδης μάζας με χάλικες και τεμάχη ιλυολίθου. Το πάχος του εδαφοποιημένου ιλυολίθου μειώνεται σε αυτό το τμήμα του αντερείσματος (από τα 30m στη γεώτρηση Γ11) στα 10-20m. Μέσα στον εδαφοποιημένο ιλυόλιθο, απαντάται τοπικά τέμαχος ασβεστολίθου, έντονα κερματισμένου και μέτρια αποσαθρωμένου, πάχους 4m, με χαμηλή μέση τιμή **RQD (20%)**. Στο σύνολο της πυρηνοληψίας του εδαφοποιημένου ιλυολίθου στη γεώτρηση Γ10 η τιμή του δείκτη RQD είναι μηδέν (**0%**) και αναφορικά με το δείκτη ποιότητας βραχομάζας, στη γεώτρηση Γ10 δίνεται ένα εύρος τιμών **GSI: 15-20**. Η διαπερατότητα του σχηματισμού είναι τοπικά μέτρια $k=10^{-5}$ m/sec και γενικά είναι χαμηλή $k=10^{-6}$ - 10^{-7} m/sec. Η αντοχή της βραχομάζας του εδαφοποιημένου ιλυολίθου είναι πολύ χαμηλή και η παραμορφωσιμότητά της μεγάλη ($c'=30\text{kPa}$, $\phi'=10^\circ$, $E=20\text{MPa}$).



Σχήμα 6-32: Τεχνικογεωλογική τομή 2, κατά μήκος του αριστερού αντερείσματος του φράγματος

3. **Ιλυολιθικός φλύσχος (ΤΕ.4Α)** σχιστοποιημένος, κερματισμένος και μέτρια αποσαθρωμένος, τοπικά με μορφή αποσαθρωμένου αργιλικού λατυπτοπαγούς, με βραχώδη ως ημιβραχώδη δομή. Στη γεώτρηση Γ10, ο δείκτης **RQD** έχει μία μέση τιμή **35%** (πτωχή βραχομάζα) και δίνεται ένα εύρος τιμών **GSI: 20-25**. Η διαπερατότητα του είναι πολύ χαμηλή ως χαμηλή ($k=10^{-7} - 10^{-8}$ m/sec) και μειώνεται με το βάθος και οι τιμές των παραμέτρων αντοχής και παραμορφωσιμότητας είναι γενικά ενδιάμεσες ($c'=80\text{kPa}$, $\phi'=20^\circ$, $E=120\text{MPa}$). Μέσα στην ενότητα αυτή παρεμβάλλονται και στρώματα-τεμάχη βραχώδους υγιούς ιλυολίθου (ΤΕ.4Β) καλής σχετικά μηχανικής συμπεριφοράς και περιορισμένης ανάπτυξης (0-5m).

Στο τμήμα αυτό τοποθετήθηκαν κλισιόμετρα στη γεώτρηση Γ10, όπου δεν καταγράφηκαν εδαφικές μετακινήσεις. Λόγω όμως της μικρής αντοχής και της μεγάλης παραμορφωσιμότητας κυρίως του εδαφοποιημένου ιλυόλιθου, ο οποίος είναι ιδιαίτερα παραμορφωμένος πλησίον της ζώνης διάτμησης, και του υποκείμενου βραχώδους φλύσχη καθώς και του ψηλού σχετικά υδροφόρου ορίζοντα, οι συνθήκες θεμελίωσης του τεχνικού του εκχειλιστή και του αρχικού τμήματος της διώρυγας φυγής, κρίνονται δυσμενείς.

Χ.Θ. 0+340 – Χ.Θ. 0+460: Το τμήμα αυτό της τομής αντιστοιχεί στη λεκάνη αποτόνωσης ενεργείας του εκχειλιστή. Δεν έχουν εκτελεστεί γεωτρήσεις στη περιοχή αυτή αλλά από τα στοιχεία που υπάρχουν από τη γεώτρηση Γ12, η οποία βρίσκεται πλησίον της λεκάνης αποτόνωσης αναμένονται να συναντηθούν κολουβιακοί σχηματισμοί σε σχετικά μεγάλο βάθος (περίπου 11m στη γεώτρηση Γ12) οι οποίοι επικάθονται πάνω στον ιλυολιθικό φλύσχη (ΤΕ.4). Το μεγάλο πάχος των κολουβιακών αποθέσεων οφείλεται πιθανόν σε μικρό ρήγμα, το οποίο έχει αμβλύνει την τοπογραφία (γωνία κλίσης) στο νοτιότερο τμήμα της τομής.

6.11.4 Τεχνικογεωλογική Τομή ΤΓΤ.3 – στον άξονα του φράγματος, σε διεύθυνση Α-Δ περίπου.

Χ.Θ. 0+000- Χ.Θ. 0+130: Στο τμήμα αυτό της τεχνικογεωλογικής τομής 3 στο πρόκειται να γίνουν εκσκαφές για τις οδούς προσπέλασης προς τον εκχειλιστή στο αριστερό αντέρεισμα του φράγματος. Αποτελείται από τους σχηματισμούς του τεκτονικού καλύμματος (εναλλαγές ιλυολίθου, οφιολιθικού λατυπτοπαγούς, ασβεστόλιθου) το οποίο είναι επωθημένο πάνω στον ιλυολιθικό φλύσχη Εθιάς. Η στάθμη του υπόγειου νερού αναμένεται να βρίσκεται κοντά σχετικά στην επιφάνεια, σε βάθος 10-15m από την επιφάνεια του εδάφους. Η περατότητα των σχηματισμών του τεκτονικού καλύμματος είναι μικρή, ως πολύ μικρή, της τάξης $k=10^{-7} - 10^{-8}$ m/sec (όπως φαίνεται στο **Σχήμα 6-31** και στο **Σχήμα 6-32** στις γεωτρήσεις Γ8 και Γ11 αντίστοιχα). Η διαπερατότητα του ιλυολιθικού φλύσχη είναι μικρή ως πολύ μικρή, της τάξης του $k=10^{-6} - 10^{-8}$ m/sec.

Ο εδαφοποιημένος ιλυόλιθος πάνω στον οποίο βρίσκεται επωθημένο το τεκτονικό κάλυμμα, είναι σχιστοποιημένος, παραμορφωμένος και πλήρως αποσαθρωμένος, με εδαφική κυρίως δομή όπως προκύπτει από τις γεωτρήσεις Γ8 και Γ11 στις προαναφερθείσες τεχνικογεωλογικές τομές. Για τον δείκτη GSI προτείνεται η μέση τιμή **GSI:20** ενώ σε ποσοστό 95% της πυρηνοληψίας εδαφοποιημένου ιλυόλιθου, στις γεωτρήσεις Γ8-Γ16, ο δείκτης **RQD** είναι **0%** και η μηχανική συμπεριφορά της τεχνικογεωλογικής ενότητας είναι

πολύ πτωχή (μέσες τιμές παραμέτρων συνοχής, γωνίας τριβής και μέτρο ελαστικότητας $c'=30\text{kPa}$, $\phi'=10^\circ$, $E=20\text{MPa}$). Το εύρος του εδαφοποιημένου ιλυόλιθου κάτω από το τεκτονικό κάλυμμα είναι πολύ μεταβλητό, κυμαινόμενο μεταξύ 5-30m (όπως φαίνεται από τις γεωτρήσεις Γ8 και Γ11 στο αριστερό αντέρεισμα).

Ο υποκείμενος ιλυολιθικός φλύσχος είναι σχιστοποιημένος και διατμημένος, μέτρια ως έντονα αποσαθρωμένος και κερματισμένος. Για τον δείκτη GSI προτείνεται η μέση τιμή **GSI: 25** ενώ σε ποσοστό 65%, περίπου, της πυρηνοληψίας, στις γεωτρήσεις Γ8-Γ16, ο δείκτης RQD υπέδειξε πολύ πτωχή ως πτωχή βραχομάζα (0-50%) και οι τιμές αντοχής και παραμορφωσιμότητας του ιλυολίθου είναι σχετικά χαμηλές ($c'=80\text{kPa}$, $\phi'=20^\circ$, $E=120\text{MPa}$).

Στο τμήμα αυτό του αριστερού αντερείσματος υφίστανται ενδείξεις εδαφικής μετακίνησης, με δυτική κατεύθυνση, δηλαδή προς το σώμα του φράγματος, όπως προκύπτει από κλισιόμετρο που τοποθετήθηκε στη γεώτρηση Γ8 στα στρώματα του τεκτονικού καλύμματος. Είναι λοιπόν πολύ πιθανό κατά τη διάρκεια εκσκαφών καθαρισμού των επιφανειακών σχηματισμών, να προκληθούν, ολίσθηση των σχηματισμών του καλύμματος προς το φράγμα και άλλες εδαφικές παραμορφώσεις. Οι κατολισθητικού χαρακτήρα μετακινήσεις διευκολύνονται από την αυξημένη πίεση πόρων (υψηλή στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα και μικρή διαπερατότητα των σχηματισμών) και τη μικρή αντοχή του φλύσχη λόγω διάτμησης, σχιστοποίησης και αποσάθρωσης. Αυτός ο κίνδυνος των εν δυνάμει εδαφικών μετακινήσεων, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στην μελέτη ευστάθειας του φράγματος και των συνοδών έργων, όπως ο εκχειλιστής και οι οδοί προσπέλασης, κατά την κατασκευή και να προβλεφθεί αντίστοιχα μία λύση σταθεροποίησης του πρανούς κατά τη διάρκεια κατασκευής αλλά και μελλοντικά κατά τη φάση λειτουργίας του έργου.

Χ.Θ. 0+130 – Χ.Θ. 0+315: Το τμήμα αυτό της τομής διατρέχει παράλληλα το τεχνικό του εκχειλιστή και τον άξονα του φράγματος στο αριστερό αντέρεισμα και αποτελείται από τον ιλυολιθικό φλύσχη και τους επιφανειακούς εδαφικούς χαλαρούς σχηματισμούς. Στο τέλος του υπόψη τμήματος, στη θέση Χ.Θ. 0+313, βρίσκεται η γεώτρηση Γ4. Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται περίπου σε βάθος 10-15m από την επιφάνεια του εδάφους και ακολουθεί την επιφάνεια του εδάφους ενώ η περατότητα του σχηματισμού μεταβάλλεται με το βάθος, από χαμηλή στους επιφανειακούς εδαφικούς σχηματισμούς, χαμηλή ως πολύ χαμηλή και τοπικά μέτρια στον ιλυολιθικό φλύσχη.

Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες που απαντώνται είναι οι εξής:

1. Εδαφικοί επιφανειακοί σχηματισμοί του ελουβιακού μανδύα (ΤΕ.1Γ) του φλύσχη και πιθανόν τοπικά να αναπτύσσονται κορήματα (ΤΕ.1Β). Οι επιφανειακοί σχηματισμοί θα αφαιρεθούν κατά τη διάρκεια κατασκευής του εκχειλιστή και του φράγματος.
2. Εδαφοποιημένος ιλυόλιθος (ΤΕ.3), διατμημένος, παραμορφωμένος και πλήρως αποσαθρωμένος με εδαφική δομή ιδιαίτερα πλησίον της ζώνης διάτμησης. Το πάχος του μεταβάλλεται από περίπου 10m σε 25m, όπως φαίνεται στη γεώτρηση Γ4. Η προτεινόμενη μέση τιμή του δείκτη GSI για τον εδαφοποιημένο ιλυόλιθο είναι **GSI: 20** και για το δείκτη RQD προκύπτει η τιμή 0% σε ποσοστό 95% της πυρηνοληψίας. Η περατότητα του σχηματισμού είναι γενικά χαμηλή ως μέτρια τοπικά, της τάξης $k=10^{-5} - 10^{-7} \text{ m/sec}$. Οι τιμές

των παραμέτρων αντοχής και παραμορφωσιμότητας είναι πολύ χαμηλές ($c'=30\text{Pa}$, $\phi'=10^\circ$, $E=20\text{MPa}$) λόγω της έντονης διάτμησης και αποσάθρωσης.

3. Ιλυολιθικός φλύσχος (TE.4A) σχιστοποιημένος, διατμημένος, κερματισμένος, μέτρια αποσαθρωμένος, τοπικά με μορφή αποσαθρωμένου ιλυολιθικού λατυποπαγούς, ή βράχου κερματισμένου με βραχώδη ως ημιβραχώδη δομή. Η μέση τιμή του δείκτη GSI για τον ιλυολιθικό φλύσχη είναι **GSI: 25** και από το δείκτη RQD προκύπτει σε ποσοστό 65% βραχομάζα πτωχή ως πολύ πτωχή (0-50%) ενώ οι τιμές των παραμέτρων αντοχής και παραμορφωσιμότητας είναι σχετικά χαμηλές ($c'=80\text{kPa}$, $\phi'=20^\circ$, $E=120\text{MPa}$). Η διαπερατότητα του, όπως φαίνεται και στη γεώτρηση Γ4, είναι χαμηλή, ως πολύ χαμηλή ($k=10^{-7} - 10^{-9} \text{ m/sec}$).

Μέσα στην ενότητα αυτή παρεμβάλλονται και στρώματα βραχώδους υγιούς ιλυολίθου (TE.4B), του οποίου η μέση τιμή του δείκτη GSI: 35 και οι τιμές των μηχανικών ιδιοτήτων είναι υψηλότερες ($c'=130\text{kPa}$, $\phi'=27^\circ$, $E=260\text{MPa}$), αλλά έχει περιορισμένη χωρική ανάπτυξη (πάχος της τάξης 4-5 m).

Οι πολύ πτωχές μηχανικές ιδιότητες των γεωυλικών, η σχετικά ψηλή στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα και η μεγάλη πιθανότητα ολισθήσεων στο ευρύτερο πρανάς, καθιστούν τις συνθήκες θεμελίωσης του φράγματος και κυρίως του εκχειλιστή, δυσμενείς. Πριν την έναρξη της κατασκευής, θα πρέπει να διασφαλιστεί η ευστάθεια του υπόψη πρανούς.

X.Θ. 0+315 – X.Θ. 0+380: Στο χαμηλότερο υψομετρικά τμήμα του πρανούς πλησίον της κοίτης, όπου θα γίνει θεμελίωση του φράγματος, αλλάζει η στρωματογραφία, με την εμφάνιση του ψαμμικού φλύσχη να υπέρκειται του ιλυολιθικού φλύσχη. Στη θέση X.Θ. 0+362 βρίσκεται η γεώτρηση Γ9 όπου η στάθμη του υπόγειου νερού βρίσκεται σε βάθος 8-9m περίπου. Η διαπερατότητα των σχηματισμών είναι σε γενικές γραμμές μικρή, ως πολύ μικρή της τάξης $k=10^{-7} - 10^{-8} \text{ m/sec}$ και τοπικά μόνο, στον ψαμμίτη αυξάνεται ($k=10^{-6} \text{ m/sec}$).

Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες που απαντώνται είναι οι εξής:

1. Επιφανειακοί σχηματισμοί, αποθέσεις πλαγιάς (TE.1B) και ελουβιακός μανδύας του ψαμμικού φλύσχη (TE.1Γ). Οι σχηματισμοί αυτοί κατά τη φάση κατασκευής του φράγματος προβλέπεται να αφαιρεθούν από το πρανάς.

2. Ψαμμικός φλύσχος (TE.2B), συμπαγής, μέτρια ως έντονα κερματισμένος, μέτρια ως έντονα αποσαθρωμένος και τοπικά υγιής. Στη γεώτρηση Γ9 ο ψαμμικός φλύσχος έχει πάχος περίπου 20m και κατά μήκος της πυρηνοληψίας του ο δείκτης **RQD** είχε μέση τιμή **17,7%**, δηλαδή, πολύ πτωχή βραχομάζα και βαθμονομείται με ένα εύρος τιμών **GSI: 25-35**. Η διαπερατότητα του ψαμμικού φλύσχη είναι χαμηλή ($k=10^{-6} - 10^{-7} \text{ m/sec}$). Οι τιμές των μηχανικών παραμέτρων είναι αρκετά υψηλές ($c'=300\text{kPa}$, $\phi'=41^\circ$, $E=860\text{MPa}$).

3. Εδαφοποιημένος ιλυολιθικός φλύσχος (TE.3), κερματισμένος, πολύ αποσαθρωμένος, με ημιβραχώδη ως εδαφική δομή. Στα τελευταία 2,7m, όπου εμφανίζεται ως καλά συγκολλημένο λατυποπαγές ο δείκτης RQD έχει μέση τιμή περίπου 70% ενώ στο υπολοιπο μήκος της πυρηνοληψίας (7,5m) έχει τιμή 0%. Η μέση τιμή του δείκτη GSI του εδαφοποιημένου ιλυολίθου είναι **GSI: 20** και οι παράμετροι αντοχής και παραμορφωσιμότητας είναι πολύ χαμηλές ($c'=30\text{kPa}$, $\phi'=10^\circ$, $E=20\text{MPa}$). Η διαπερατότητα του είναι πολύ μικρή της τάξης $k=10^{-8} \text{ m/sec}$.

4. Ιλυολιθικός φλύσχη (TE.4B) συμπαγής, μεσο-λεπτοστρωματώδης, μέτρια κερματισμένος και μέτρια ως ελαφρά αποσασθρωμένος. Για το τμήμα αυτό του συμπαγούς ψαμμιτικού φλύσχη προτείνεται ένα εύρος τιμών **GSI: 30-40**, ενώ ο δείκτης RQD είχε μέση τιμή **27%**, δηλαδή πτωχή βραχομάζα. Οι τιμές των παραμέτρων αντοχής και παραμορφωσιμότητας του συμπαγούς ιλυολίθου είναι ενδιάμεσες ($c'=130\text{kPa}$, $\phi'=27^\circ$, $E=260\text{MPa}$) και η διαπερατότητα είναι μικρή της τάξης $k=10^{-7}\text{m/sec}$. Ο συμπαγής ιλυολίθος, ο οποίος φτάνει ως το πέρας της γεώτρησης, δε φαίνεται γενικά να έχει μεγάλη χωρική ανάπτυξη (της τάξης των 4-5m περίπου πάχος) αλλά να αποτελεί στρώμα καλύτερης ποιότητας βραχομάζας μέσα στο διατηρημένο βραχώδη ιλυολιθικό φλύσχη (TE.4A).

Από κλισιόμετρο που τοποθετήθηκε στη γεώτρηση Γ9, παρατηρήθηκε ότι και το τμήμα αυτό του πρανούς ολισθαίνει, σε βάθος 17,5-22m, με μετρηθείσα ταχύτητα 5-6mm/χρόνο και διεύθυνση βορειοδυτική (315°). Είναι πολύ πιθανό στη περιοχή να είχε παρουσιαστεί στο παρελθόν (όταν οι αλλουβιακές αποθέσεις εξέλειπαν από την κοίτη του ποταμού) μετακίνηση κατολισθητικού τύπου, ενώ το σημερινό σχετικά μεγάλο πάχος αλλουβίων που παρατηρείται βοηθάει στη τρέχουσα σχετική «ψευδο-ευστάθεια» του αντερείσματος. Όμως, κατά τη διάρκεια της κατασκευής του φράγματος, όταν θα αφαιρεθούν τα γεωυλικά της κοίτης είναι πιθανό να υπάρξουν νέες εδαφικές ολισθήσεις προς την κοίτη. Η παρουσία της πιεζομετρικής στάθμης κοντά στην επιφάνεια του εδάφους επιδεινώνει το πρόβλημα αστάθειας του πρανούς καθώς και οι πολύ πτωχές μηχανικές ιδιότητες του εδαφοποιημένου ιλυολίθου οι οποίες θα διευκολύνουν τις τυχόν εδαφικές μετακινήσεις.

Χ.Θ. 0+380 – Χ.Θ. 0+625: Το τμήμα αυτό αντιστοιχεί στην ποτάμια αναβαθμίδα και το τμήμα του δεξιού αντερείσματος όπου θα θεμελιωθεί το φράγμα. Γεωλογικά δομείται από τις αλλουβιακές αποθέσεις της κοίτης του ποταμού και τις αποθέσεις αναβαθμίδας, τις επιφανειακές εδαφικές χαλαρές αποθέσεις πλαγιάς (κολουβιακές), τον ελουβιακό μανδύα του φλύσχη, τον ψαμμιτικό φλύσχη και τον υποκείμενο ιλυολιθικό φλύσχη. Στο τμήμα αυτό της τεχνικογεωλογικής τομής βρίσκονται οι γεωτρήσεις Γ3, Γ16, Γ1 και Γ2 στις θέσεις Χ.Θ. 0+419, Χ.Θ. 0+454, Χ.Θ. 0+514 και Χ.Θ. 0+607, αντίστοιχα. Η στάθμη του υπογείου νερού βρίσκεται σε βάθος περίπου 4m στην ποτάμια αναβαθμίδα και 10-25m στο δεξιό πρανές και ακολουθεί σε γενικές γραμμές τη μορφολογία του εδάφους, με εξαίρεση τις γεωτρήσεις Γ3 και Γ1 όπου η στάθμη βρίσκεται σε μεγαλύτερο βάθος, ήτοι 5,5 και 32m αντίστοιχα.

Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες που απαντώνται είναι οι εξής:

1. Επιφανειακές, εδαφικές αλλουβιακές, ελουβιακές και κολουβιακές ενότητες (TE.1) που προβλέπεται να αφαιρεθούν κατά τη φάση εκσκαφής και θεμελίωσης του αργιλικού πυρήνα και του σώματος του φράγματος στο δεξιό αντέρεισμα.

2. Ψαμμιτικός φλύσχη (TE.2A), πολύ αποσασθρωμένος με εδαφική δομή, ως αμμοιλυώδης θεμελιώδης μάζα με χάλικες ψαμμιτικούς όπου παρεμβάλλονται στρώματα συμπαγούς, κερματισμένου, ψαμμίτη πάχους 1,5-2m. Το εύρος του ψαμμιτικού φλύσχη στο δεξιό πρανές κυμαίνεται μεταξύ 19-25m περίπου και αυξάνεται σε μεγαλύτερο υψόμετρο (όπως φαίνεται στη γεώτρηση Γ14). Στη γεώτρηση Γ16 ο ψαμμιτικός φλύσχη δεν απαντάται, πιθανόν λόγω αποσάθρωσης από τις ποτάμιες διεργασίες. Δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία για την εκτίμηση του δείκτη RQD, ο οποίος θεωρείται ότι είναι 0%, λόγω της εδαφικής δομής του

σχηματισμού ενώ ως μέση τιμή του δείκτη GSI προτείνεται η μέση τιμή **GSI: 20**. Η διαπερατότητα της υπόψη τεχνικογεωλογικής ενότητας είναι κυρίως μέτρια προς χαμηλή της τάξης $k=10^{-5} - 10^{-6}$ m/sec και τοπικά μόνο $k=10^{-4}$ m/sec. Οι τιμές των μηχανικών παραμέτρων είναι ενδιάμεσες ($c'=143$ kPa, $\phi'=28^\circ$, $E=270$ MPa) και ικανοποιητικές για τη θεμελίωση γεωφράγματος.

3. Εδαφοποιημένος ιλυολιθικός φλύσχος (TE.3), έντονα αποσαθρωμένος, με εδαφική ως ημι-βραχώδη δομή. Εμφανίζεται κυρίως ως αργιολιγύς με ιλυολιθικά τεμάχια ποικίλλου μεγέθους και το πάχος του κυμαίνεται από 10m κάτω από την αναβαθμίδα ως 30m περίπου στη γεώτρηση Γ16. Ωστόσο στις γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν στο δεξιό αντέρεισμα δεν απαντήθηκε ο υποκείμενος ιλυολιθικός φλύσχος και επομένως δεν είναι γνωστό το πάχος του εδαφοποιημένου ιλυολίθου στο δεξιό αντέρεισμα. Προτείνεται η μέση τιμή του δείκτη **GSI: 20** ενώ ο δείκτης RQD λαμβάνεται ως 0% όπως προκύπτει από τη συνολική πυρηνοληψία στις γεωτρήσεις Γ8-Γ16. Η διαπερατότητα του είναι μέτρια ως χαμηλή της τάξης $k=10^{-5} - 10^{-6}$ m/sec. Οι τιμές των παραμέτρων αντοχής και παραμορφωσιμότητας της βραχομάζας είναι χαμηλές λόγω της έντονης τεκτονικής παραμόρφωσης και αποσάθρωσης ($c'=30$ kPa, $\phi'=10^\circ$, $E=20$ MPa).

4. Ιλυολιθικός φλύσχος (TE.4A) ο οποίος εμφανίζεται, είτε ως αποσαθρωμένο ιλυολιθικό λατυποπαγές είτε ως βράχος έντονα κερματισμένος και σχιστοποιημένος, με ψαμμιτικές ενστρώσεις και γενικά με ημιβραχώδη - βραχώδη δομή. Απαντάται στις γεωτρήσεις Γ3 και Γ16, όπου στην τελευταία έχει αρκετά υψηλή τιμή **RQD: 71%**, δηλαδή μέτριας - καλής ποιότητας βραχομάζα και προτείνεται ένα εύρος τιμών του δείκτη **GSI: 30-40**. Η διαπερατότητά του είναι πολύ χαμηλή ως χαμηλή της τάξης $k=10^{-7} - 10^{-9}$ m/sec. Γενικά η μηχανική συμπεριφορά του ιλυολιθικού φλύσχη είναι σχετικά πτωχή με σχετικά χαμηλές ως ενδιάμεσες τιμές αντοχής και σχετικά χαμηλής παραμορφωσιμότητας ($c'=130$ kPa, $\phi'=27^\circ$, $E=260$ MPa).

Στη γεώτρηση Γ16 που εκτελέστηκε σε ποτάμια αναβαθμίδα στη δεξιά παρειά του ποταμού παρατηρήθηκε φαινόμενο αρτεσιανισμού μέσα στον εδαφοποιημένο ιλυόλιθο πιθανό να οφείλεται με την ανάπτυξη υπό πίεση υδροφόρου ορίζοντα στο δεξιό αντέρεισμα. Το υπόψη φαινόμενο θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στην γεωτεχνική μελέτη ευστάθειας των εκσκαφών του φράγματος για την τοποθέτηση του πυρήνα για την αποφυγή πιθανής ανύψωσης της θεμελίωσης. Και αν υπάρξει θέμα ανύψωσης, τότε θα πρέπει να γίνουν αποστραγγιστικές γεωτρήσεις στην ευρύτερη ζώνη αρτεσιανισμού για να εκτονωθεί η πίεση του αρτεσιανισμού

Χ.Θ. 0+625 – Χ.Θ. 0+740: Το τμήμα αυτό της τεχνικογεωλογικής τομής αντιστοιχεί στην οδό προσπέλασης προς το φράγμα στο δεξιό αντέρεισμα. Γεωλογικά αποτελείται από τον επιφανειακό χαλαρό μανδύα αποσάθρωσης του φλύσχη, τον συμπαγή ψαμμιτικό φλύσχη και τον υποκείμενο ιλυολιθικό φλύσχη μέχρι το περας της γεώτρησης Γ14 που βρίσκεται στη θέση Χ.Θ. 0+695. Η στάθμη του υπόγειου νερού βρέθηκε περίπου σε βάθος 24m στη γεώτρηση Γ14 και οι λιγοστές επί τόπου μετρήσεις διαπερατότητας που εκτελέστηκαν στην ίδια γεώτρηση έδειξαν ότι η διαπερατότητα είναι σταθερά χαμηλή.

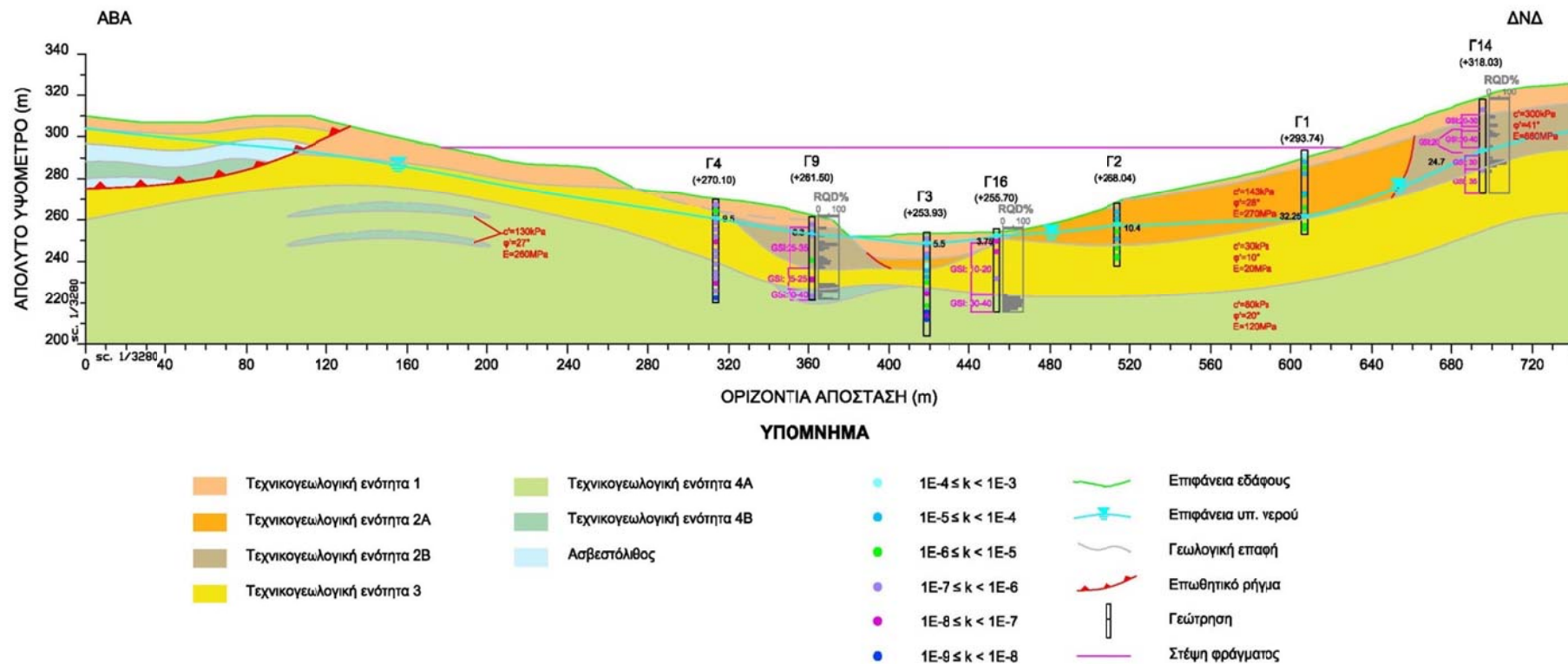
Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες που απαντώνται είναι οι εξής:

1. Επιφανειακός αποσαθρωμένος μανδύας του ψαμμιτικού φλύσχη (ΤΕ.1Γ) που πρόκειται να αφαιρεθεί κατά τη φάση εκσκαφών των οδών προσπέλασης.

2. Ψαμμιτικός φλύσχος (ΤΕ.2Β), κατακερματισμένος, μέτρια αποσαθρωμένος με βραχώδη δομή και παρεμβολές διατμημένου, εδαφοποιημένου ψαμμίτη πάχους 2-4,5m ενώ το πάχος του ψαμμίτη συνολικά, είναι περίπου 25-26m. Στο εξεταζόμενο τμήμα υπάρχει μία μετάβαση από τον εδαφοποιημένο σε συμπαγή ψαμμίτη. Ο δείκτης **RQD** της βραχομάζας του ψαμμιτικού φλύσχη είναι πολύ χαμηλός, ήτοι **13%**, υποδηλώνοντας πολύ πτωχή βραχομάζα. Στα βραχώδη τμήματα του ψαμμιτικού φλύσχη δίνεται μία μέση τιμή του δείκτη **GSI: 30** ενώ στα εδαφοποιημένα τμήματα δίνεται η τιμή **GSI: 20**. Η αντοχή του ψαμμίτη είναι αρκετά υψηλή και η παραμορφωσιμότητά του σχετικά χαμηλή ($c'=300\text{kPa}$, $\phi'=41^\circ$, $E=860\text{MPa}$). Ωστόσο η μηχανική συμπεριφορά του ψαμμιτικού φλύσχη επηρεάζεται από τις εδαφοποιημένες ζώνες οι οποίες έχουν πτωχότερη μηχανική συμπεριφορά λόγω της έντονης αποσάθρωσής τους. Στη γεώτρηση Γ14 δεν έχουν γίνει δοκιμές διαπερατότητας στον ψαμμιτικό φλύσχη αλλά αναμένεται να είναι μέτρια προς χαμηλή ($k=10^{-5} - 10^{-6} \text{ m/sec}$).

3. Εδαφοποιημένος ιλυολιθικός φλύσχος (ΤΕ.3), έντονα αποσαθρωμένος, με ενστρώσεις βραχώδους ψαμμίτη, με εδαφική ως ημι-βραχώδη δομή. Ο δείκτης RQD είναι 0% ενώ η τιμή που προτείνεται για τον δείκτη GSI στον εδαφοποιημένο ιλύολιθο στη γεώτρηση Γ14 είναι **GSI: 35** (αρκετά μεγαλύτερη από τη μέση τιμή για την υπόψη τεχνικογεωλογική ενότητα, δηλαδή **GSI: 20**). Η περατότητα του είναι χαμηλή της τάξης $k=10^{-7} \text{ m/sec}$. Η μηχανική συμπεριφορά του εδαφοποιημένου ιλύολιθου είναι πολύ πτωχή ($c'=30\text{kPa}$, $\phi'=10^\circ$, $E=20\text{MPa}$).

Ο υποκείμενος βραχώδης ιλυολιθικός φλύσχος δεν απαντήθηκε στη γεώτρηση Γ14 αλλά ανμένεται να συναντηθεί σε μεγαλύτερο βάθος.



Σχήμα 6-33: Τεχνικογεωλογική τομή 3, παράλληλα στον άξονα του φράγματος

7 ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΣΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΣΥΝΟΔΩΝ ΕΡΓΩΝ ΤΟΥ

7.1 Γενικά

Τα αναλυτικά δεδομένα της τεχνικογεωλογικής αξιολόγησης των γεωυλικών που απαντούν στην ευρύτερη θέση του φράγματος που παρουσιάστηκαν στα παραπάνω κεφάλαια, θα χρησιμοποιηθούν και θα αναφερθούν ουσιαστικότερα παρακάτω σε συνδυασμό με τα επί μέρους τεχνικά θέματα του φράγματος και των συνοδών του έργων.

7.2 Τεχνικογεωλογικές συνθήκες της θέσης του φράγματος – Τύπος φράγματος

Οι γεωλογικές συνθήκες και οι αναφερθείσες τεχνικογεωλογικές ενότητες που αναμένεται να συναντηθούν στην ζώνη θεμελίωσης του φράγματος, χαρακτηρίζονται γενικά από την παρουσία εκτεταμένων χαλαρών επιφανειακών καλυμμάτων, α) αργίλικού (ελουβιακού και κολουβιακού μανδύα) κυρίως χαρακτήρα με πολύ πτωχή μηχανική συμπεριφορά (μεγάλη παραμορφωσιμότητα, χαμηλή αντοχή και σχετική περιορισμένη περατότητα) και β) εκτεταμένων αμμοχαλίκων της κοίτης του ποταμού και κάποιων ποτάμιων αναβαθμίδων που παρουσιάζουν πολύ μεταβλητή διαπερατότητα. Επιπρόσθετα, οι σχηματισμοί του γεωλογικού υποβάθρου και οι τεχνικογεωλογικές ενότητες του φλύσχη, επίσης χαρακτηρίζονται από την παρουσία διατμημένων και τεκτονισμένων γεωυλικών που εκτείνονται σε σημαντικό βάθος από την επιφάνεια του εδάφους. Οι διαδικασίες αποσάθρωσης και χαλάρωσης έχουν επεκταθεί επίσης σε σημαντικό βάθος. Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες χαρακτηρίζονται γενικώς από σχετικά μεγάλη παραμορφωσιμότητα και περιορισμένη αντοχή (για σχηματισμούς υποβάθρου), όπως επίσης και από περιορισμένη έως πολύ μικρή διαπερατότητα. Ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται, στο μεν αριστερό αντέρεισμα της θέσης του φράγματος αρκετά ψηλά, ακολουθώντας τη μορφολογική επιφάνεια, στο δε δεξιό είναι συγκριτικά λίγο χαμηλότερος αλλά επίσης σε ψηλά επίπεδα. Συνεπώς από ποιοτική έννοια αναμένονται σχετικά δυσμενείς συνθήκες θεμελίωσης, ενδόσιμων υλικών, μικρής αντοχής και μεγάλης παραμορφωσιμότητας.

Με γενικές τεχνικογεωλογικές συνθήκες θεμελίωσης σαν αυτές που συνοπτικά αναφέρθηκαν παραπάνω, μόνο τα χωμάτινα, η λιθόρριπτα φράγματα, τύπου επιχώματος, με κλασικό αδιαπέρατο πυρήνα, τυπικές ζώνες φίλτρων και στραγγιστηρίων εκατέρωθεν του αδιαπέρατου πυρήνα και επίσης τυπικά σώματα στήριξης (κατασκευασμένα από αμμοχάλικα ή από θραυστό βράχο) για την επίτευξη της ευστάθειας του επιχώματος του φράγματος, μπορούν να υιοθετηθούν για την αποφυγή προβλημάτων αστάθειας θεμελιώσεων, καθότι μπορούν να παρακολουθήσουν σε ικανοποιητικό βαθμό τυχόν παραμορφώσεις της ζώνης της θεμελίωσης.

Συγκεκριμένα, λόγω της ύπαρξης πολλών εδαφικών γεωυλικών κατάλληλων για την κατασκευή των ζωνών και των σωμάτων στήριξης του φράγματος, αργίλου για τον αδιαπέρατο πυρήνα, και ασβεστολιθικών ογκόλιθων για την κατασκευή κυματοπροστασίας (rip-rap), η επιλογή του χωμάτινου φράγματος είναι η πλέον κατάλληλη. Ακαμπτα φράγματα βαρύτητας από κλασικό σκυρόδεμα, από κυλινδρικό σκυρόδεμα, ή ακόμη και τα φράγματα σκληρού επιχώματος δεν μπορούν να αναπτυχθούν σε ενδόσιμο γεωολογικό

υπόβαθρο μικρής αντοχής και μεγάλης παραμορφωσιμότητας (όπου το μέτρο ελαστικότητας $E < 1 \text{ GPa}$) καθότι απαιτούν άκαμπτες συνθήκες θεμελίωσης.

Σε ένα τέτοιου τύπου χωμάτινο ή λιθόρριπτο φράγμα, απαιτείται το έργο του εκχειλιστή το οποίο αποτελείται από επί μέρους κατασκευές σκυροδέματος (είσοδος, τεχνικό του εκχειλιστή, διώρυγα φυγής και έργο καταστροφής ενέργειας στον πόδα της διώρυγας φυγής), να είναι εντελώς ξεχωριστή κατασκευή, σε κάποια απόσταση από το ίδιο το σώμα του φράγματος. Τα άλλα συνοδά έργα, όπως η σήραγγα εκτροπής (των πλημμυρών του ποταμού κατά την διάρκεια της κατασκευής), το έργο της υδροληψίας, ο εκκενωτής πυθμένα κλπ, θα μπορούν να τοποθετηθούν στα αντερείσματα της θέσης του φράγματος, αν και εφόσον οι λεπτομερείς τεχνικογεωλογικές συνθήκες δεν το απαγορεύουν.

7.3 Τεχνικογεωλογικές συνθήκες της θέσης του φράγματος – Συνθήκες θεμελίωσης του φράγματος και του εκχειλιστή

Σύμφωνα με την Τεχνικογεωλογική Τομή ΤΓΤ.3, που φαίνεται στο **Σχήμα 6-33** και αφορά στον άξονα του φράγματος, αναφέρονται τα εξής:

α) Στο αριστερό αντέρεισμα της θέσης του φράγματος (Χ.Θ. 0+000 – Χ.Θ. 0+320), όπου πρόβλεπεται να τοποθετηθεί και ο εκχειλιστής απαντώνται, ο εδαφοποιημένος ιλυολιθικός φλύσχη και ο υποκείμενος βραχώδης ιλυολιθικός φλύσχη ενώ πάνω στον ιλυολιθικό φλύσχη έχει επωθηθεί τεκτονικό κάλυμμα μεταβλητού πάχους, το οποίο αποτελείται από εναλλαγές ιλυολίθου, οφιολιθικού λατυποπαγούς και ασβεστόλιθου. Η στάθμη του υπόγειου νερού βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, σε βάθος όχι μεγαλύτερο από 15m και η περατότητα των σχηματισμών του αριστερού αντερείσματος είναι μικρή, ως πολύ μικρή, της τάξης $k = 10^{-7} - 10^{-8} \text{ m/sec}$ και τοπικά στον εδαφοποιημένο ιλυόλιθο είναι μέτρια προς χαμηλή της τάξης $k = 10^{-5} - 10^{-6} \text{ m/sec}$. Απαντούν οι τεχνικογεωλογικές ενότητες ΤΕ.1Β, ΤΕ.1Γ, ΤΕ.3, ΤΕ.4Α με πιθανές παρεμβολές της ΤΕ.4Β. Στο τμήμα αυτό του αριστερού αντερείσματος υφίστανται ενδείξεις εδαφικής μετακίνησης βάθους, με δυτική κατεύθυνση, δηλαδή προς το σώμα του φράγματος, όπως προκύπτει από κλισιόμετρο που τοποθετήθηκε στη γεώτρηση Γ8 και αναπτύσσεται στα ασβεστολιθικά στρώματα του τεκτονικού καλύμματος. Ως επακόλουθο, είναι πολύ πιθανό κατά τη διάρκεια εκσκαφών των επιφανειακών σχηματισμών για τη θεμελίωση του φράγματος και του εκχειλιστή (όταν εκλείψει η σημερινά υπάρχουσα αντιστήριξη), να προκληθούν, ολίσθηση των σχηματισμών του καλύμματος προς το φράγμα και άλλες εδαφικές παραμορφώσεις.

Επίσης, οι πολύ πτωχές μηχανικές ιδιότητες των γεωυλικών, η σχετικά ψηλή στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα και η μεγάλη πιθανότητα ολίσθήσεων στο ευρύτερο πρανάς, καθιστούν τις συνθήκες θεμελίωσης του φράγματος δυσμενείς. Πριν την έναρξη της κατασκευής, θα πρέπει να διασφαλιστεί η ευστάθεια του υπόψη αντερείσματος με εκπόνηση λεπτομερών αναλύσεων ευστάθειας πρανούς.

β) Στο χαμηλότερο υψομετρικά σημείο του αντερείσματος (Χ.Θ. 0+320 – Χ.Θ. 0+380) πλησίον της κοίτης, αλλάζει η απαντώμενη λιθολογία, με την εμφάνιση του ψαμμιτικού φλύσχη να υπέρκειται του εδαφοποιημένου ιλυολιθικού φλύσχη και να ακολουθεί υποκείμενος ο ιλυολιθικός φλύσχη με την στάθμη του υπόγειου νερού να βρίσκεται σε βάθος 8-9m περίπου και την περατότητα των σχηματισμών να είναι σε γενικές γραμμές

μικρή, ως πολύ μικρή ($10^{-7} - 10^{-8}$ m/sec) και τοπικά μόνο στον ψαμμίτη να είναι μέτρια (10^{-6} m/sec) και με τις τεχνικογεωλογικές ενότητες, TE.1B, TE.1Γ, TE.2B, TE.3 και TE.4A με τοπικές παρεμβολές TE.4B. Από κλισιόμετρο που τοποθετήθηκε στη γεώτρηση Γ9, παρατηρήθηκε ότι και το τμήμα αυτό του πρανούς εν δυνάμει ολισθαίνει, σε βάθος 17,5-22m, με ταχύτητα 5-6mm/χρόνο και διεύθυνση βορειοδυτικά (315°). Είναι πολύ πιθανό στη περιοχή να είχε παρουσιαστεί στο παρελθόν (όταν οι αλλουβιακές αποθέσεις εξέλειπαν από την κοίτη του ποταμού) μετακίνηση κατολισθητικού τύπου, ενώ το σημερινό σχετικά μεγάλο πάχος αλλουβίων που απαντάται βοηθάει στη τρέχουσα σχετική «ψευδο-ευστάθεια» του πρανούς. Όμως, κατά τη διάρκεια της προβλεπόμενης κατασκευής του φράγματος, όταν θα αφαιρεθούν τα γεωυλικά της κοίτης είναι πιθανό να υπάρξουν μετακινήσεις προς την κοίτη.

γ) Το τμήμα που αντιστοιχεί στην κοίτη του ποταμού και τη ποτάμια αναβαθμίδα (Χ.Θ. 0+380 – Χ.Θ. 0+465) στον άξονα του φράγματος, αποτελείται από τις αποθέσεις ποτάμιας αναβαθμίδας και τους αλλουβιακούς σχηματισμούς της κοίτης με το πάχος τους να είναι σχετικά μεγάλο και να κυμαίνεται μεταξύ 6,5-12,5m, ακολουθεί υποκείμενος ο αποσπασμένος ψαμμίτης, ο εδαφοποιημένος ιλυόλιθος και ο βραχώδης ιλυόλιθος και με την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα να βρίσκεται πολύ κοντά στην επιφάνεια του εδάφους (βάθος 3,8-5,5m) όπως είναι αναμενόμενο λόγω της εγγύτητας στο ποτάμι και με τις τεχνικογεωλογικές ενότητες, TE.1A, TE.2A, TE.3, και η TE.4A με παρεμβολές συμπαγούς ιλυολίθου (TE.4B). Στη γεώτρηση Γ16 που εκτελέστηκε σε ποτάμια αναβαθμίδα στη δεξιά παρειά του ποταμού παρατηρήθηκε φαινόμενο αρτεσιανισμού μέσα στον εδαφοποιημένο ιλυόλιθο πιθανό να οφείλεται στην ανάπτυξη υπό πίεση υδροφόρου ορίζοντα στο δεξί αντέρεισμα. Το υπόψη φαινόμενο θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στην γεωτεχνική μελέτη ευστάθειας των εκσκαφών του φράγματος για την τοποθέτηση του πυρήνα και αν υπάρξει θέμα εδαφικής ανύψωσης, τότε θα πρέπει να γίνουν αποστραγγιστικές γεωτρήσεις στην ευρύτερη ζώνη αρτεσιανισμού για να εκτονωθεί η πίεση του αρτεσιανισμού.

δ) Στο δεξί αντέρεισμα του φράγματος (Χ.Θ. 0+465 – Χ.Θ. 0+740) επικρατεί η ψαμμιτική φάση του φλύσχη, ενώ σε μεγαλύτερα βάθη απαντάται ο εδαφοποιημένος ιλυόλιθος με την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα να είναι πιο χαμηλά σε σχέση με το αριστερό πρανές, σε βάθος που να κυμαίνεται από 10m σε χαμηλά υψόμετρα, ως το βάθος των 34m σε μεγαλύτερα υψόμετρα και την περατότητα των σχηματισμών να είναι μεγαλύτερη, της τάξης $k=10^{-5} - 10^{-6}$ m/sec και τοπικά στα επιφανειακά στρώματα του ελουμενικού μανδύα $k=10^{-4}$ m/sec και με τις τεχνικογεωλογικές ενότητες, TE.1B, TE.1Γ, TE.2A, TE.3 και σε μεγαλύτερο βάθος TE.4A.

Στο ψηλότερο τμήμα του δεξιού αντερείσματος επικρατεί η βραχώδης ψαμμιτική φάση του φλύσχη με υποκείμενο τον εδαφοποιημένο ιλυόλιθο και την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα να βρίσκεται περίπου σε βάθος 25m και τις τεχνικογεωλογικές ενότητες TE.1Γ, TE.2B, TE.3 και TE.4A.

Με βάση τα παραπάνω εκτεθέντα, οι συνθήκες θεμελίωσης του χωμάτινου τύπου φράγματος είναι σχετικά ικανοποιητικές στο δεξί αντέρεισμα και κάπως πτωχότερες στο αριστερό, που όμως δεν αποτελούν σημαντικό πρόβλημα. Όμως, το θέμα της σημειωθείσας «ένδειξης εδαφικής μετακίνησης» στο αριστερό αντέρεισμα, κρίνεται σημαντικό καθότι πριν την θεμελίωση του σώματος του χωμάτινου φράγματος στην θέση του πυρήνα θα προηγηθούν εκσκαφές καθαρισμού που θα επιδεινώσουν σημαντικά την κατάσταση ευστάθειας ανάντη του ευρύτερου αριστερού αντερείσματος. Συνεπώς θα πρέπει να επινοηθούν τρόποι ασφαλούς εργασίας με σταθεροποίηση της κατάστασης.

Οι συνθήκες θεμελίωσης του έργου του εκχειλιστή στο ευρύτερο αριστερό αντέρεισμα κρίνονται πολύ δυσμενείς καθότι, αφ' ενός μεν τα απαντώμενα γεωυλικά της θεμελίωσης του εκ σκυροδέματος εκχειλιστή, χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλή αντοχή (κοντά στα επίπεδα της παραμένουσας), μεγάλη παραμορφωσιμότητα, μικρή περατότητα κλπ και αφ' ετέρου, ήδη παρατηρήθηκαν ενδείξεις ευρύτερης εδαφικής παραμόρφωσης του ευρύτερου πρηνούς. **Θα μπορούσε να εξετασθεί η μεταφορά του εκχειλιστή στο δεξιό αντέρεισμα του φράγματος, έτσι που οι συνθήκες θεμελίωσης να είναι καλύτερες** (ψηλότερες τιμές αντοχής και χαμηλότερη παραμορφωσιμότητα) και **τα υλικά εκσκαφών από το σύνολο των έργων του εκχειλιστή να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν σώματα στήριξης του φράγματος**. Σε αυτή τη περίπτωση θα πρέπει να επανεξετασθεί η όλη γενική διάταξη των συνοδών έργων, αλλά λόγω του ότι οι συνθήκες θεμελίωσης στο δεξιό αντέρεισμα της θέσης του φράγματος είναι καλύτερες θα μπορούσαν με κατάλληλο επανασχεδιασμό να φιλοξενήσουν τα περισσότερα συνοδά έργα του φράγματος.

7.4 Τεχνικογεωλογικές συνθήκες της θέσης του φράγματος – Συνθήκες υπόγειας υδραυλικής της θέσης του φράγματος – συνθήκες στεγανότητας κάτω και «στα ανοικτά του φράγματος»

Σύμφωνα με την Τεχνικογεωλογική Τομή ΤΓΤ.3 και τα ίδια που αναφέρθηκαν στην παραγραφο 7.3 παραπάνω που αφορούν στον άξονα του φράγματος, και που αναφέρονται στις συνθήκες υπόγειας υδραυλικής, σημειώνονται τα εξής:

Για το **αριστερό αντέρεισμα**, λόγω του ότι η πιεζομετρία βρίσκεται σε ψηλό επίπεδο σχετικά με την στάθμη του ταμιευτήρα και η λειτουργική περατότητα των σχηματισμών είναι μικρή ως πολύ μικρή, πρακτικά **δεν φαίνεται να απαιτείται η κατασκευή στεγανής κουρτίνας τσιμεντενέσεων**, τουλάχιστον από την περιοχή που «χάνονται» οι ψαμμιτικοί σχηματισμοί, δηλαδή από την Χ.Θ. 0+320 και μέχρι το αριστερό ακρο του φράγματος. Όμως, για **λόγους ευστάθειας** της θεμελίωσης και του σώματος του φράγματος, χρειάζεται **αποτελεσματική αποστράγγιση, δια μέσου στοάς αποστράγγισης, όπως προβλέπεται να κατασκευαστεί**, με εκτεταμένες οπές αποστράγγισης και **έλεγχο της πιεζομετρίας μετά την κατασκευή του φράγματος** στην ευρύτερη κατάντη περιοχή του φράγματος.

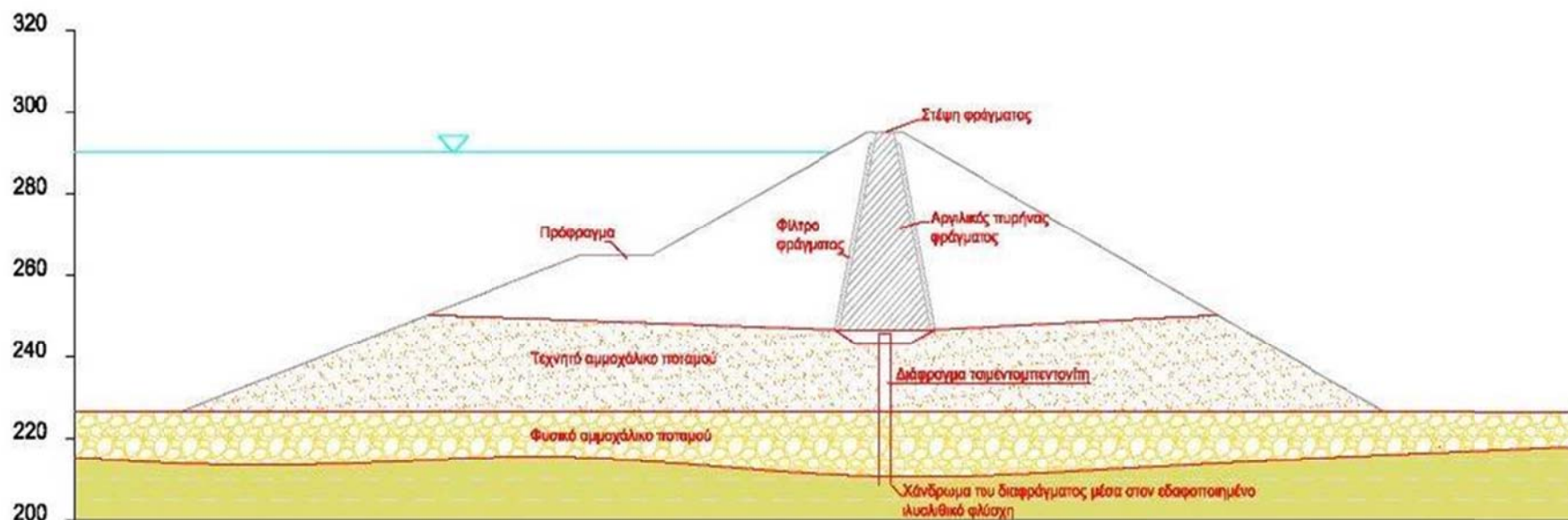
Από την **Χ.Θ. 0+320 και προς το δεξιό αντέρεισμα**, μέσω της κοίτης του ποταμού και σε όλοκληρο το δεξιό αντέρεισμα και στα ανοικτά του, λόγω της ύπαρξης της πιο διαπερατής ψαμμιτικής φάσης του φλύσχη και της συγκριτικά χαμηλότερης πιεζομετρίας, απαιτείται ο σχεδιασμός και η **εκτέλεση εκτεταμένης κουρτίνας τσιμεντενέσεων η οποία θα πρέπει να επεκταθεί και σε κάποιο περιορισμένο βαθμό και «στα ανοικτά» του αντερείσματος**, πιθανόν κάτω από το έργο του εκχειλιστή, στην περίπτωση που το έργο του εκχειλιστή τοποθετηθεί τελικά στο δεξιό αντέρεισμα, όπως προτάθηκε παραπάνω. Το βάθος στο οποίο φτάνει η ψαμμιτική φάση του φλύσχη στο δεξιό αντέρεισμα κυμαίνεται μεταξύ 5-35m ενώ στο αριστερό φτάνει περίπου μέχρι 25m βάθος. Γι αυτό **προτείνεται οι τσιμεντενέσεις να φτάνουν τουλάχιστο σε βάθος περίπου 40m στο δεξιό και 30m στο αριστερό αντέρεισμα ώστε η κουρτίνα να «χανδρώσει» στον εδαφοποιημένο ιλυόλιθο** ο οποίος έχει μικρή διαπερατότητα της τάξης $k=10^{-6} - 10^{-7}$ m/sec. Επίσης, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα κατανομής διαπερατότητας με το βάθος, στο από το βάθος των 40m περίπου και κάτω η διαπερατότητα είναι χαμηλή. Επιπρόσθετα προτείνεται να σχεδιασθεί

και πέτασμα αποστραγγιστικών οπών αμέσως κατάντη της στεγανής κουρτίνας τσιμεντενέσεων, ούτως ώστε, σε περίπτωση αστοχίας της κουρτίνας τσιμεντενέσεων, να αποφευχθεί η όποια υδραυλική φόρτιση του πρανούς κατάντη της θεμελίωσης του φράγματος και επακολούθως η πιθανότητα αστοχίας του πρανούς κατάντη του φράγματος. Η κουρτίνα τσιμεντενέσεων και το πέτασμα αποστραγγιστικών οπών μπορούν να πραγματοποιηθούν μέσα από την ίδια προβλεφθείσα στοά των τσιμεντενέσεων-αποστραγγίσεων, με τις τσιμεντενέσεις προς τα ανάντη (ως προς τον ταμιευτήρα, για τη διασφάλιση της στεγανότητάς του) και τις αποστράγγισεις προς τα κατάντη.

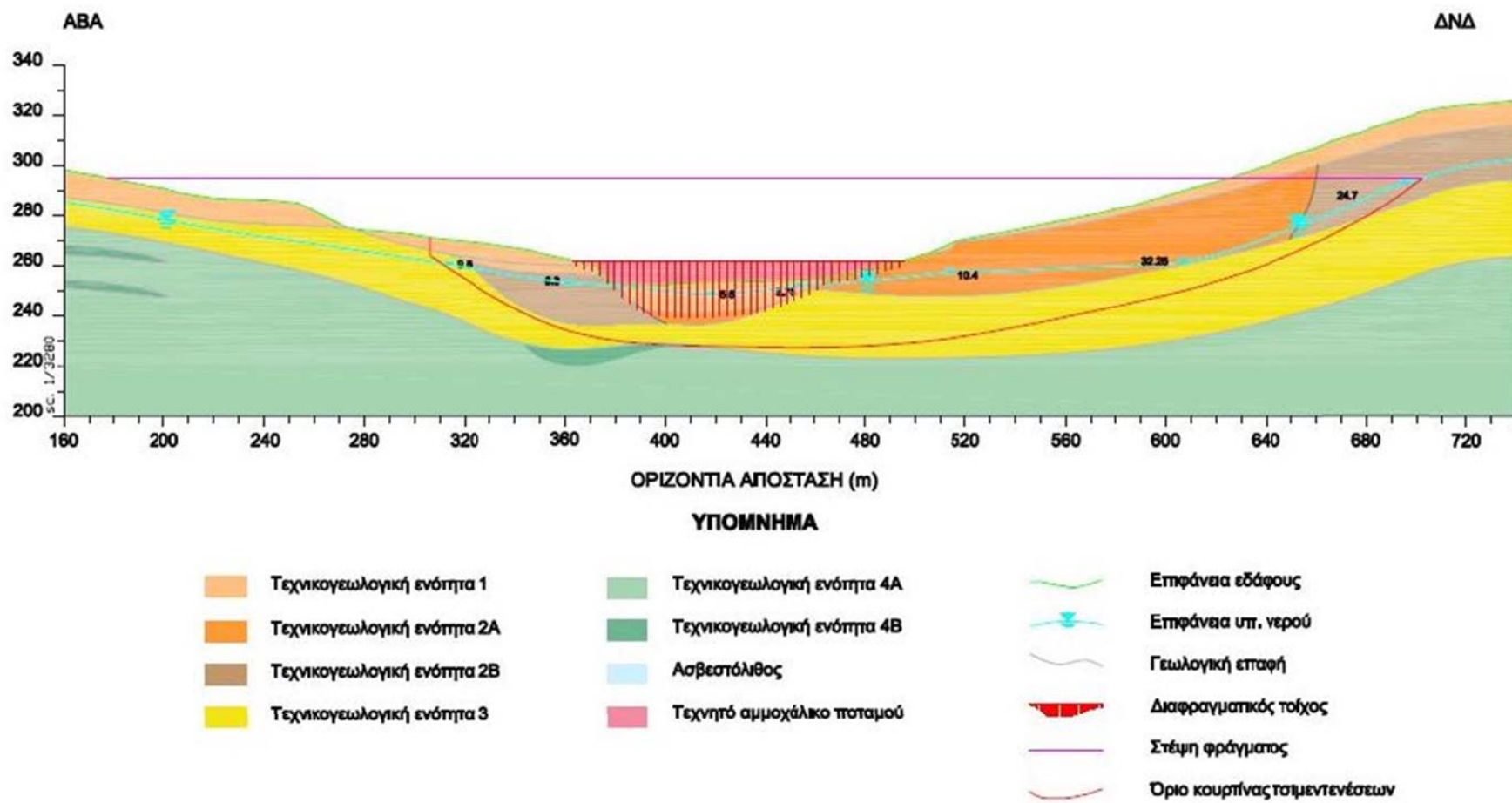
7.5 Ειδική Τεχνικογεωλογική θεώρηση αναφορικά με το θέμα της κινητικότητας του αριστερού αντερείσματος

Αναφέρθηκε διεξοδικά παραπάνω το θέμα της πιθανής εδαφικής κινητικότητας του ευρύτερου αριστερού αντερείσματος της θέσης του φράγματος και της διακινδύνευσης που αυτή εμπεριέχει αναφορικά με την ευστάθεια των εκσκαφών καθαρισμού και θεμελίωσης του πυρήνα του φράγματος στην περιοχή της κοίτης του ποταμού. **Θα πρέπει να εξασφαλισθεί με γεωτεχνικές μελέτες ευστάθειας πρανούς ότι δεν εγκυμονούνται κίνδυνοι σημαντικής αύξησης της ταχύτητας μετακίνησης του αριστερού πρανούς και η αποφυγή δημιουργίας κατολίσθησης κατά την διάρκεια της εκτέλεσης των εκσκαφών.** Από τεχνικογεωλογική άποψη διαφαίνεται ότι καλό θα ήταν στην φάση αυτή, στο υψόμετρο της κοίτης και προς τα πάνω, που έχουν ήδη σημειωθεί και «μετρηθεί» εδαφικές μετακινήσεις στο ευρύτερο αριστερό αντέρεισμα του φράγματος, να μην εκτελεστούν οι προβλεπόμενες εκσκαφές της θεμελίωσης του πυρήνα, καθότι υπάρχει πιθανότητα επιτάχυνσης της μετακίνησης και είναι δυνατόν να προκληθούν σημαντικές κατολισθήσεις με μεγάλο αντίκτυπο στην κατασκευή του έργου. Αντί αυτού, προτείνεται, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 7-1** σε διατομή και στο **Σχήμα 7-2** σε μηκοτομή του φράγματος, **σταθεροποίηση με εφαρμογή κατασκευής αντίβαρου από αμμοχάλικα ποταμού σε ολόκληρο το πόδι του αριστερού αντερείσματος μέχρι ενός υψόμετρου**, το οποίο θα προκύψει από αναλύσεις ευστάθειας πρανούς, **που θα διασφαλίσει τον μηδενισμό των περαιτέρω εδαφικών μετακινήσεων.** Με αυτό τον τρόπο θα επιτευχθεί ουσιαστικά αύξηση του ύψους της αμμοχαλικώδους κοίτης του ποταμού και σταθεροποίηση της μετακινούμενης εδαφομάζας του ευρύτερου αριστερού αντερείσματος του φράγματος, η οποία θα ελεγχθεί με κλισιόμετρα που έχουν ήδη εγκατασταθεί στο αντέρεισμα και με την τοποθέτηση νέων στο μέλλον σε επόμενη φάση της μελέτης του έργου. Από άποψη οικονομικότητας και λειτουργικότητας, **για την προτεινόμενη λύση σταθεροποίησης του πρανούς, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το αμμοχάλικο του ποταμού που υπάρχει σε μεγάλη ποσότητα καθ'όλο το μήκος της κοίτης, και εντός του ταμιευτήρα** το οποίο έχει ικανοποιητική φέρουσα ικανότητα (για θεμελίωση γεωφράγματος), παρουσιάζει γενικά μικρές (και άμεσες) καθιζήσεις και περατότητα τέτοια ώστε να αποστραγγίζεται ελεύθερα.

Αφού θα έχει διασφαλιστεί η απαιτούμενη για τη ασφάλεια του έργου σταθεροποίηση του αριστερού πρανούς, θα μπορεί να κατασκευαστεί, όπως φαίνεται στο **Σχήμα 7-1** και στο **Σχήμα 7-2**, στην θέση θεμελίωσης του πυρήνα του φράγματος **στεγανό πέτασμα (διάφραγμα τσιμεντομπετονίτη) για την διασφάλιση της στεγανότητας κάτω από το φράγμα** στην περιοχή θεμελίωσης του πυρήνα **μέσα στα αμμοχάλικα της κοίτης του ποταμού** (αυξημένου πλέον πάχους για λόγους ευστάθειας πρανούς).



Σχήμα 7-1: Σχηματική απεικόνιση της θεμελίωσης του φράγματος σε διατομή, πάνω σε στρώμα «τεχνητού» αμμοχάλικου ποταμού και η κατασκευή διαφραγματικού τοίχου τσιμεντομπετονίτη



Σχήμα 7-2: Άποψη του διαφραγματικού τοίχου τσιμεντοπεντονίτη κατά μήκος του άξονα του φράγματος

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάσθηκαν οι τεχνικογεωλογικές συνθήκες της θέσης του φράγματος του ποταμού Πλατύ του Ν. Ρεθύμνης, στην Κρήτη και εκπονήθηκαν τεχνικογεωλογικές αξιολογήσεις και θεωρήσεις που αφορούν στο φράγμα και τα συνοδά του έργα. Για την εξέταση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από σχετική επαγγελματική Προμελέτη που είχε εκπονηθεί για το υπόψη φράγμα.

Η γεωλογική δομή της υπό μελέτη ευρύτερης περιοχής είναι αρκετά πολύπλοκη και είναι το αποτέλεσμα δράσης αλληπάλληλων τεκτονικών φάσεων, από την Κιμμερική (Ιουρασικό) και την Αλπική (Κρητιδικό-Παλαιογενές) ορογενετική φάση, μέχρι σήμερα με τη βύθιση της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική, καθώς και την κίνηση της πλάκας της Ανατολίας προς δυτικά. Έτσι η ευρύτερη περιοχή μελέτης έχει υποστεί αλληπάλληλες φάσεις εφελκυσμού και συμπίεσης διευθύνσεων που ορίζονται από την αντίστοιχη ορογενετική φάση. Κατά την αλπική ορογενετική φάση οι γεωλογικοί σχηματισμοί επωθούνται προς δυτικά και κατά την τρέχουσα δράση του Ελληνικού Μεσογειακού τόξου προς Βορρά, ασκούνται τόσο συμπίεστικές όσο και εφελκυστικές δυνάμεις κυρίως κάθετα (BA-ND) και παράλληλα (BD-NA) στο τόξο. Έτσι η ευρύτερη περιοχή επηρεάζεται από κανονικά και ανάστροφα ρήγματα, τεκτονικές λεπιώσεις και πτυχωσεις ενώ οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν την περιοχή είναι έντονα παραμορφωμένοι και διατμημένοι.

Για τη λεπτομερή εξέταση της γεωλογικής δομής της περιοχής ενδιαφέροντος, χρησιμοποιήθηκαν ο γεωλογικός χάρτης του ΙΓΜΕ, φύλλο Μέλαμπες (κλίμακα 1:50.000), τα στοιχεία των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων Γ8-Γ18 της υφιστάμενης Προμελέτης, συνολικού βάθους 382m και η περιγραφή των γεωτρήσεων Γ1-Γ6, συνολικού βάθους 250,8 m που είχαν εκτελεστεί παλαιότερα. Κατά τη φάση γεωτεχνικών ερευνών είχαν διενεργηθεί, τόσο, επί τόπου, όσο και εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής, στους επιφανειακούς εδαφικούς σχηματισμούς και βραχομηχανικής, στους σχηματισμούς του βραχώδους υπόβαθρου. Επίσης είχαν τοποθετηθεί πιεζόμετρα ανοικτού τύπου σε πέντε γεωτρήσεις και κλισιόμετρα σε δύο γεωτρήσεις.

- Χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Surfer 11 σε συνδυασμό με το λογισμικό AUTOCAD για το σχεδιασμό γεωλογικών, υδρογεωλογικών και τεχνικογεωλογικών μηκοτομών κατά μήκος του άξονα του φράγματος, κάθετα και παράλληλα στο αριστερό αντέρεισμα του φράγματος.
- Σε λογισμικό Excel 2007 έγινε στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών και επί τόπου δοκιμών βραχομηχανικής και εδαφομηχανικής και παρήχθησαν διαγράμματα κατανομής των τιμών του q_u , σ_{ci} , I_s , RQD. Επίσης έγινε στατιστική ανάλυση των τιμών διαπερατότητας που προέκυψαν από τις γεωτρήσεις Γ1-Γ6 και Γ8-Γ16 και παρήχθησαν διαγράμματα κατανομής των τιμών με το βάθος, στο αριστερό και δεξί αντέρεισμα καθώς και σε κάθε σχηματισμό ξεχωριστά.
- Βάσει των πυρήνων των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων Γ8-Γ16 έγινε ταξινόμηση της βραχομάζας κατά GSI, τροποποιημένου για φλύσχη και δόθηκαν χαρακτηριστικές τιμές ή εύρη τιμών στη βραχομάζα του φλύσχη.

- Χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό RocData της RocScience για να εξαχθούν τιμές παραμέτρων αντοχής και παραμορφωσιμότητας στη βραχομάζα του φλύσχη.

Γεωλογικά, το έργο αναπτύσσεται στο φλύσχη Εθιάς της Γεωτεκτονική Ζώνης της Πίνδου, ο οποίος αποτελείται από εναλλαγές ιλυολίθου και ψαμμίτη με σποραδικές εμφανίσεις ασβεστολιθικών ολισθόλιθων. Στο αριστερό αντέρεισμα της θέσης του φράγματος, επικρατεί η ιλυολιθική φάση του φλύσχη και στο δεξί αντέρεισμα επικρατεί η ψαμμιτική φάση του φλύσχη. Στο αριστερό αντέρεισμα του φράγματος εμφανίζονται επωθημένοι πάνω στον ιλυολιθικό φλύσχη, σχηματισμοί του τεκτονικού καλύμματος της Άρβης, ήτοι στρώματα ασβεστολίθων, ιλυολίθου, κερατολίθου και οφιολιθικού λατυποπαγούς με περιορισμένη όμως εμφάνιση. Επιφανειακά αναπτύσσονται αλλουβιακές αποθέσεις, μεγάλου σχετικά βάθους, κορήματα (κολουβιακές αποθέσεις) περιορισμένης έκτασης και ο αποσαθρωμένος μανδύας του φλύσχη μεταβλητού πάχους. Στη στενή περιοχή του έργου, το ανάγλυφο είναι ήπιο λοφώδες μέγιστου υψομέτρου περίπου 310-320m και ελάχιστου υψομέτρου, στο επίπεδο του ποταμού περίπου 250m.

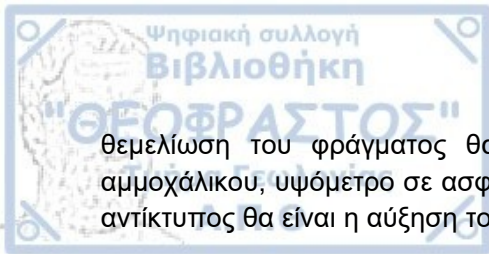
Από υδρογεωλογική άποψη οι γεωλογικοί σχηματισμοί παρουσιάζουν μεταβλητή διαπερατότητα. Οι μεγαλύτερες τιμές διαπερατότητας σχετίζονται με τον ψαμμιτικό φλύσχη ($k=10^{-5} - 10^{-7}$ m/sec), τον αποσαθρωμένο μανδύα του φλύσχη ($k=10^{-4} - 10^{-8}$ m/sec) και τις αλλουβιακές αποθέσεις ($k=10^{-4} - 10^{-8}$ m/sec) με μέση τιμή της τάξης $k=10^{-5}$ m/sec. Οι κολλουβιακοί σχηματισμοί έχουν πολύ μικρή διαπερατότητα ($k=10^{-8}$ m/sec). Στον ιλυολιθικό φλύσχη οι τιμές διαπερατότητας έχουν μεγάλο εύρος ανάλογα με το βαθμό αποσαθρωσης και τεκτονικής καταπόνησης (εύρος τιμών $k= 10^{-4} - 10^{-8}$ m/sec). Στο αριστερό αντέρεισμα σημειώνονται κυρίως μικρές ως πολύ μικρές ενώ στο δεξί μέτριες προς μικρές τιμές διαπερατότητας ενώ παρατηρείται μία τάση μείωσης της διαπερατότητας με το βάθος και στα δύο αντερείσματα του φράγματος. Η πιεζομετρική στάθμη στο αριστερό πρηνές βρίσκεται ψηλά, σε βάθος 2-15m περίπου και ακολουθεί την επιφάνεια του εδάφους ενώ στο δεξί αντέρεισμα βρίσκεται χαμηλότερα σε βάθος 10-31m περίπου. Στο **δεξί αντέρεισμα**, παρατηρείται **φαινόμενο αρτεσιανισμού** στον εδαφοποιημένο ιλυόλιθο, το οποίο μάλλον σχετίζεται με **ανάπτυξη τοπικού υπό πίεση υδροφόρου ορίζοντα** μέσα στον εδαφοποιημένο ιλυόλιθο λόγω της παρουσίας ψαμμιτικών στρωμάτων εγκιβωτισμένων μέσα σε αυτόν. Στο σημείο αυτό όπου παρατηρείται ο αρτεσιανισμός, προτείνεται να διενεργηθούν **αποστραγγιστικές γεωτρήσεις και αποτόνωση των πιέσεων αρτεσιανισμού** αν ύστερα από τη γεωτεχνική μελέτη εκσκαφών του φράγματος εντοπιστεί πρόβλημα ανύψωσης κατά τη θεμελίωση του πυρήνα του φράγματος. Όσον αφορά τη διασφάλιση της στεγανότητας των αντερεισμάτων του φράγματος προτείνεται να γίνουν **τσιμεντενέσεις προς την πλευρά του ταμιευτήρα, από το σημείο όπου εμφανίζεται ο ψαμμιτικός φλύσχος στα χαμηλά του αριστερού αντερείσματος ως το δεξιό αντέρεισμα** σε βάθος 40m όπου και απαντάται ο εδαφοποιημένος ιλυολιθικός φλύσχος. Επιπλέον κάτω από τη θεμελίωση του πυρήνα του φράγματος και σε αρκετό βάθος που να φτάνει ως τον εδαφοποιημένο ιλυολιθικό φλύσχη, προτείνεται η **κατασκευή διαφραγματικού τοίχου τσιμεντομπεντονίτη** για την αποφυγή υπόγειων ροών προς κατάντη και τη πιθανότητα εμφάνισης υπόγειας διάβρωσης στη θεμελίωση και τον πυρήνα του φράγματος ύστερα από επαφή του υπόγειου νερού με τον αργιλικό πυρήνα.

Η θεμελίωση του φράγματος αναμένεται να γίνει στο βραχώδες υπόβαθρο του φλύσχη το οποίο αποτελείται από την υπερκείμενη του ιλυολίθου, ενότητα του εδαφοποιημένου φλύσχη

την ενότητα του ιλυολιθικού και την ενότητα του ψαμμιτικού φλύσχη. Από τις δοκιμές μονοαξονικής θλίψης που έγιναν στα δοκίμια ιλυολιθικού και ψαμμιτικού φλύσχη προκύπτουν χαμηλές σχετικά τιμές (εύρος τιμών 0,89-16,91MPa) για τον άρρηκτο βράχο του ιλυολίθου και ενδιάμεσες προς ψηλές (εύρος τιμών 14,37-101,03MPa) για τον ψαμμίτη. Στον εδαφοποιημένο ιλυόλιθο εκτελέσθηκαν δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης όπου η μέγιστη τιμή που σημειώθηκε ήταν $q_u = 958 \text{ kPa}$. Από την εκτίμηση του δείκτη RQD που σημειώθηκε στις εκτελεσθείσες γεωτρήσεις έδειξε για τη βραχομάζα του ψαμμίτη (σε ποσοστό 92%), του εδαφοποιημένου ιλυολίθου (σε ποσοστό 97%) και του ιλυολίθου (σε ποσοστό 65%) ότι είναι πολύ πτωχή ως πτωχή. Κατόπιν έγινε ταξινόμηση της βραχομάζας κατά GSI, τροποποιημένου για φλύσχη (Marinos & Hoek, 2001), (Marinos, et al., 2005), (Marinos, 2007) με βάση τις υπάρχουσες φωτογραφίες των πυρήνων των γεωτρήσεων. Με τη χρήση κατάλληλων παραμέτρων (σ_{ci} , m_i , GSI, D) και το λογισμικό RocData της RocScience δόθηκαν τιμές μηχανικών παραμέτρων στη βραχομάζα των γεωλογικών ενοτήτων και στη συνέχεια έγινε διακριτοποίηση τεχνικογεωλογικών ενοτήτων οι οποίες πρόκειται να συναντηθούν στα μέτωπα του έργου. Συγκεκριμένα διακριτοποιούνται η τεχνικογεωλογική ενότητα του επιφανειακού εδαφικού καλύμματος (TE.1) που χωρίζεται σε τρεις υποομάδες (TE.1A, αλλουβιακοί σχηματισμοί, TE.1B, κολουβιακοί σχηματισμοί και TE.1Γ, ελουβιακός μανδύας), ανάλογα με τον τρόπο γένεσης του σχηματισμού, την τεχνικογεωλογική ενότητα του ψαμμιτικού φλύσχη (TE.2), που χωρίζεται σε δύο υποενότητες ανάλογα με το βαθμό αποσάθρωσης και τις μηχανικές ιδιότητές τους, την τεχνικογεωλογική ενότητα του εδαφοποιημένου ιλυολιθικού φλύσχη (TE.3) και την τεχνικογεωλογική ενότητα του «υγιούς» ιλυολιθικού φλύσχη (TE.4) με δύο υποενότητες ανάλογα κυρίως με τη μηχανική συμπεριφορά και το βαθμό αποσάθρωσής τους. Τέλος γίνεται περιγραφή των τεχνικογεωλογικών συνθηκών κατά μήκος τεχνικογεωλογικών μηκοτομών παράλληλα στον άξονα του φράγματος και παράλληλα στο αριστερό αντέρεισμα που συντάχθηκαν σε λογισμικό AUTOCAD.

Στο αριστερό αντέρεισμα οι συνθήκες θεμελίωσης θεωρούνται δυσμενείς λόγω της μικρής αντοχής και της μεγάλης παραμορφωσιμότητας καθώς και της μικρής διαπερατότητας του εδαφοποιημένου αλλά και βραχώδους ιλυολιθικού φλύσχη και της υψηλής πιεζομετρίας. Γι αυτό προτείνεται να γίνει **αποστράγγιση στον ιλυολιθικό φλύσχη** με σκοπό την μείωση της υδροστατικής πίεσης του νερού καθώς και την αύξηση της αντοχής του σχηματισμού (με μείωση των πιέσεων πόρων). **Αποστράγγιση προτείνεται και για το δεξιό πρανές αμέσως κατάντη της κουρτίνας τσιμεντενέσεων** για την αποφυγή υδραυλικής φόρτισης του πρανούς και της πιθανότητας αστοχίας του πρανούς σε περίπτωση αστοχίας της κουρτίνας τσιμεντενέσεων.

Από κλισιόμετρα που τοποθετήθηκαν στο αριστερό αντέρεισμα καταγράφηκαν μικρές εδαφικές μετακινήσεις σε μεγάλο σχετικά βάθος με διεύθυνση προς ΔΝΔ και δευτερευόντως προς ΒΔ οι οποίες μάλλον σχετίζονται με εκτεταμένη ζώνη γεωλογικών διατμήσεων (επωθήσεων). Οι μετακινήσεις αυτές δεν αποτελούν πρόβλημα για την τρέχουσα κατάσταση ευστάθειας του αριστερού πρανούς, όμως κατά τη φάση κατασκευής του φράγματος που αναμένεται να πραγματοποιηθούν εκσκαφές καθαρισμού των επιφανειακών χαλαρών αποθέσεων είναι πολύ πιθανό να ενεργοποιηθούν ολισθήσεις της εδαφικής μάζας προς την πλευρά του φράγματος. Γι αυτό προτείνεται, αντί της εκτέλεσης των εκσκαφών θεμελίωσης του πυρήνα του φράγματος, **η αντιστήριξη του πρανούς με την τοποθέτηση αμμοχάλικου του ποταμού σε όλο το πόδα του αριστερού αντερείσματος** σε ικανό πάχος ώστε να διασφαλίζεται η συνολική ευστάθεια του αντερείσματος κατά τη διάρκεια κατασκευής του φράγματος με ταυτόχρονη παρακολούθηση των κλισιόμετρων. Έτσι τελικά η



Θεμελίωση του φράγματος θα γίνει σε γίνει σε μεγαλύτερο, λόγω τοποθέτησης του αμμοχάλικου, υψόμετρο σε ασφαλείς από άποψη ευστάθειας συνθήκες. Ο μόνος οικονομικό αντίκτυπος θα είναι η αύξηση του βάθους στεγανού πετάσματος των τσιμεντενέσεων.

Βάσει των υφιστάμενων γεωλογικών συνθηκών, το φράγμα χωμάτινου τύπου θεωρείται το πιο κατάλληλο, τόσο από άποψη ασφάλειας του έργου (πτωχές συνθήκες θεμελίωσης) όσο και από άποψη οικονομικότητας (λόγω της ύπαρξης πληθώρας εδαφικών υλικών για τη χρήση τους στην κατασκευή του σώματος του φράγματος). Προτείνεται όμως η εξέταση της **μετάθεσης του έργου του εκχειλιστή στο δεξί αντέρεισμα** λόγω του ότι, ο έντονα διατμημένος, πολύ μικρής αντοχής, μεγάλης παραμορφωσιμότητας ιλυολιθικός φλύσχος που επικρατεί στο αριστερό πρηνές καθιστά τις συνθήκες θεμελίωσης πολύ δυσμενείς.

- Angelier, J., 1979. RECENT QUATERNARY TECTONICS IN THE HELLENIC ARC: EXAMPLES OF GEOLOGICAL OBSERVATIONS ON LAND. *Tectonophysics* 52, pp. 267-275.
- Angelier, J. και συν., 1982. The tectonic development of the Hellenic Arc and Sea of Crete: A synthesis. *Tectonophysics* 86, pp. 159-196.
- Anon., 2017. www.SFGATE.com. [Ηλεκτρονικό].
- Anon., n.d. osp.mans.edu.eg/tahany/dams1.htm. [Ηλεκτρονικό].
- Bonneau, M. & Fleury, J.-J., 1840-1842. Precisions sur la serie d'Ethia (Crete, Greece) existence d'un premier flysch mesocretace.. *C. R. Acad. Sci. Paris* 272.
- Broch, E. & Franklin, J. A., 1972. The point load test. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Τόμος 9, pp. 669-697.
- Caputo, R. και συν., 2010. Active faulting on the island of Crete. *Geophysical Journal International* 183, pp. 111-126.
- Creutzburg, N. και συν., 1997. *General geological map of Crete*. Athens: IGME.
- Dercourt, J. και συν., 1986. Geological Evolution of the Tethys belt from the Atlantic to the Pamirs since the Lias. *Tectonophysics*, Τόμος 123, pp. 241-315.
- Doutsos, T. & Kokkalas, S., 2001. Stress and Deformation patterns in the Aegean region. *Journal of Structural Geology* 23, pp. 455-472.
- Duffault, P., 2013. The traps behind the failure of Malpasset arch dam, France, in 1959. *Journal of Rock Mechanics and Geological Engineering* 5, pp. 335-341.
- Fassoulas, C., 1995. *Kinematics and deformation of the nappes in central Crete, Greece Ph.D. thesis*, s.l.: Aristotle University of Thessaloniki.
- Fassoulas, C., 1999. The structural evolution of central Crete: insight into the tectonic evolution of the south Aegean (Greece). *Journal of Geodynamics*, pp. 23-43.
- Fassoulas, C., 2001. The tectonic development of a Neogene basin at the leading edge of the active European margin; the Heraklion basin, Crete, Greece. *Journal of Geodynamics* 31, pp. 49-70.
- Gonzales de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuno, L. & Oteo, C., 2002. *Ingenieria Geologica*. Madrid: Pearson Educacion.
- Hoek, E. & Brown, E., 1997. Practical estimates of rock mass strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Τόμος 34, pp. 1165-1186.
- Hoek, E., Carranza-Torres, C. & Corkum, B., 2002. *Hoek-Brown failure criterion - 2002 Edition*. Toronto, s.n.
- Hoek, E. & Diederichs, M., 2006. Empirical estimation of rock mass modulus. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, Τόμος 43, pp. 203-215.
- Knill, J., 1972. Assessment of reservoir feasibility. *Quaternary Journal of Engineering Geology Vol 4*, pp. 355-372.
- L. Tortorici, R. C. C. M., 2010. Late Neogene to Quaternary contractional structures in Crete, Greece. *Tectonophysics* 483, pp. 203-213.

Le Pichon , X. και συν., 1995. Geodetic determination of the kinematics of central Greece with respect to Europe: implications for eastern Mediterranean tectonics. *Journal of Geophysics Research* 100, pp. 12675 - 12690.

Le Pichon, X. & Angelier, J., 1979. THE HELLENIC ARC AND TRENCH SYSTEM: A KEY TO THE NEOTECTONIC EVOLUTION OF THE EASTERN MEDITERRANEAN AREA. *Tectonophysics* 60, pp. 1-42.

Marinos , V., Marinos, P. & Hoek, E., 2005. The geological strength index: applications and limitations. *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, Τόμος 64, pp. 55-65.

Marinos, P. & Hoek, E., 2001. Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch. *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, Τόμος 60, pp. 85-92.

Marinos, V., 2007. *Geotechnical classification and engineering geological behavior of weak and complex rock masses in tunneling*. Athens: National Technical University, Engineering Department (NTUA).

Mercier , J., Sorel , D. & Simeakis, K., 1987. Changes in the state of stress in the overriding Plate of a subduction zone: the Aegean arc from the Pliocene to the present. *Annales Tectonicae* 1, pp. 20-39.

Meulencamp, J. και συν., 1988. On the Hellenic Subduction zone and geodynamic evolution of Crete since Late-Middle Miocene. *Tectonophysics* , Τόμος 146, pp. 203-215.

Peterek, A. & Schwarze, J., 2004. Architecture and Late Pliocene to recent evolution of outer-arc basins of the Hellenic Subduction zone (south-central Crete, Greece). *Journal of Geodynamics* 38, pp. 19-55.

Seidel, E., Kreuzer, H. & Harre, W., 1982. A Late Oligocene/Early Miocene high pressure belt in the external Hellenides. *Geol. Jb.* 23, pp. 165-206.

ΕΕΜΦ, 2013. *Τα φράγματα της Ελλάδας*, s.l.: ΕΕΜΦ.

Ευστρατιάδης, Α., Μαρμάσης , Ν. & Κουτσογιάννης, Δ., 2014/15. *Υδροηλεκτρικά Έργα, Φράγματα*, s.l.: ΕΜΠ.

ΙΓΜΕ, 1985. *Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο Μέλαμπες, Κλίμακα 1:50000*. s.l.: ΙΓΜΕ.

Καββαδάς, Μ., 2006. *Εποπτικό υλικό διαλέξεων του μαθήματος Ειδικά γεωτεχνικά έργα, Γεωτεχνική φραγμάτων*. Αθήνα: ΕΜΠ.

Λιάκουρης, Δ., 1995. *Η γεωλογία και τα φράγματα της ΔΕΗ*. Αθήνα: ΔΕΗ.

Μουντράκης, Δ., 2010. *Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη του ελληνικού χώρου*. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.

Μουτάφης, Ν., 2012. *Φράγματα ΑΚΣΕ Αξονοσυμμετρικά Φράγματα Σκληρού Επιχώματος*. Αθήνα: ΕΕΜΦ.