



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΜΠΑΤΖΑΚΑ Π. ΡΟΖΑ

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΚΑΙ ΘΕΜΑΤΑ ΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑΣ
ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΑΓΙΟΚΑΜΠΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2017





ΜΠΑΤΖΑΚΑ Π. ΡΟΖΑ

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΚΑΙ ΘΕΜΑΤΑ ΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑΣ
ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΑΓΙΟΚΑΜΠΟΥ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας

Επιβλέποντες

Επίκουρος Καθηγητής Βασίλειος Μαρίνος



© Μπατζάκα Π. Ρόζα, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, 2017
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΚΑΙ ΘΕΜΑΤΑ ΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΑΓΙΟΚΑΜΠΟΥ

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 στους συγγραφείς.

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



Πρόλογος

Η κατασκευή ενός φράγματος έχει μεγάλη επίδραση στο περιβάλλον καθώς αποτελεί ένα σημαντικά μεγάλο τεχνικό έργο και για αυτό το λόγο η ασφαλής κατασκευή του, η σωστή λειτουργία του και η μέγιστη απόδοσή του κρίνονται απαραίτητα.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να ερευνήσει με Γεωτεχνικό και Γεωλογικό τρόπο τις συνθήκες, οι οποίες θα συντελέσουν στην ασφάλεια και λειτουργικότητα του φράγματος του Αγιοκάμπου, να αναδείξει την επιλογή θέσης του φράγματος και την επιλογή του κατάλληλου τύπου φράγματος.

Συνεπώς, σπουδαίο ρόλο διαδραματίζει η επεξεργασία των πρωτογενών στοιχείων που προέρχονται από τις ερευνητικές γεωτρήσεις, τις εργαστηριακές δοκιμές και τη βιβλιογραφία. Τμήμα των στοιχείων αυτών προέρχεται από την εταιρεία Γεωμηχανική Α.Τ.Ε., η οποία το 2012 είχε αναλάβει τις γεωλογικές και γεωτεχνικές μελέτες για το φράγμα Αγιοκάμπου.

Για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τα αναλυτικά φύλλα των ερευνητικών γεωτρήσεων, τα αποτελέσματα των επί τόπου δοκιμών καθώς και ο γεωτεχνικός χάρτης της περιοχής έδρασης του φράγματος. Τα παραπάνω στοιχεία αξιοποιήθηκαν για την σχεδίαση στο πρόγραμμα Autocad της γεωλογικής τομής κατά μήκος του άξονα του φράγματος, καθώς και η τομή R.Q.D. πραγματοποιήθηκε με τα προγράμματα Corel Draw και Golden Software Strater.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επίκουρο καθηγητή Βασίλειο Μαρίνο για την ανάθεση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, για την επίβλεψη του, για την άριστη συνεργασία μας και για τα εποικοδομητικά σχόλια του. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Βασίλειο Καρακώστα και την καθηγήτρια Παπαδημητρίου Ελευθερία, για τις πληροφορίες που μου έδωσαν, για τις χρήσιμες συζητήσεις που είχαμε καθώς και για τη στήριξη που μου έδωσαν.

Τέλος οφείλω ευχαριστίες στην οικογένειά μου, για το κουράγιο και τη στήριξη που μου έδωσαν, και τους φίλους μου, που μου στάθηκαν και πίστεψαν σε εμένα.

Μπατζάκα Π. Ρόζα
Σεπτέμβριος 2017

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

«ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΚΑΙ ΘΕΜΑΤΑ ΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΑΓΙΟΚΑΜΠΟΥ»

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζεται η γεωλογική και γεωτεχνική αξιολόγηση των πρωτογενών δεδομένων καθώς και τα θέματα στεγανότητας του φράγματος Αγιοκάμπου. Η γεωλογία της περιοχής αποτελείται από πρόσφατες ιζηματογενές αποθέσεις του Νεογενούς, όπως τα κροκαλοπαγή τα οποία είναι υλικά με φτωχές γεωτεχνικές ιδιότητες. Τα υλικά αυτά δεν προκαλούν σοβαρούς κινδύνους για την θεμελίωση ενός χωμάτινου φράγματος, παρόλα αυτά είναι αναγκαία η γνώση του βαθμού συνεκτικότητας της φύσης του υλικού σιμέντωσης, της αντοχής, της φέρουσας ικανότητας και της διαπερατότητας των σχηματισμών. Στο συγκεκριμένο φράγμα το υλικό πλήρωσης είναι λεπτόκοκκο με αποτέλεσμα η περατότητα να είναι χαμηλή και να μην αναμένονται διαφυγές. Παρόλο που η περατότητα είναι χαμηλή, η κατασκευή διαφραγματικού τοίχου εξαιτίας ορισμένων υψηλών τιμών περατότητα κρίνεται χρήσιμη. Επιπλέον, έχουν σχεδιαστεί και τσιμεντενέσεις τάπητα, δεδομένου ότι η επιφανειακή ζώνη είναι ευαίσθητη στην εσωτερική διάβρωση. Οι δοκιμές Lugeon εδώ είναι χωρίς νόημα και συνίστανται οι δοκιμές μεταβλητού φορτίου (Maag). Τέλος, απαιτούνται οπές αποστράγγισης, κατάντη των επαφών της κλίσης του φράγματος, λόγω της χαμηλής διαπερατότητας του υλικού και της υψηλής στάθμης νερού που θα δημιουργηθεί κατάντη του φράγματος.

ABSTRACT

This diploma thesis presents the geological and geotechnical evaluation of the primary data as well as the issues of watertightness of the Agiokambos dam. The geology of the area consists of recent sedimentary deposits of the Neogene, such as conglomerates which are materials with poor geotechnical properties. These materials do not cause any serious risk to the foundation of an earthfill dam, however, it is necessary to know the level of natural compactness of the nature of the cementing material, the strength, the bearing capacity and the permeability of these formations. In this dam, due to the fine nature of the cement, permeability is generally low and no leakages are expected. Although the permeability is low, the construction of a diaphragm wall due to certain high permeability values is deemed useful. In addition, carpet grouting is designed since the surficial zone is susceptible to internal erosion. Lugeon tests are meaningless and falling tests are recommended. Finally, drainage holes are required downstream of the gradient contacts of the slope of the dam, due to the low permeability of the material and the high water level which will be created downstream of the dam.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος.....	5
Ελληνική Περίληψη.....	6
Αγγλική Περίληψη.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Εισαγωγή.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Θεωρητικά στοιχεία για τα φράγματα	
2.1 ΦΡΑΓΜΑΤΑ: Γενικά χαρακτηριστικά.....	9
2.2 Κριτήρια επιλογής θέσης και τύπου φράγματος.....	14
2.3 Στεγανότητα και μέτρα θεμελίωσης.....	18
2.4 Τύποι αστοχιών φραγμάτων.....	20
2.5 Σώμα χωμάτινου σώματα.....	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Γεωλογικά, τεκτονικά, γεωμορφολογικά και σεισμικά δεδομένα της περιοχής	
3.1 Γεωλογικές συνθήκες ευρύτερης περιοχής.....	24
3.2 Σεισμοτεκτονικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής.....	27
3.3 Σεισμικότητα της ευρύτερης περιοχής.....	29
3.4 Γεωλογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής του φράγματος.....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Τεχνικογεωλογικές συνθήκες	
4.1 Μεθοδολογία αξιολόγησης τεχνικογεωλογικών συνθηκών.....	36
4.2 Τεχνικογεωλογικές ενότητες.....	37
4.3 Ταξινόμηση κατά R.Q.D.....	41
4.4 Καθεστώς υπόγειων νερών.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Θέση και τύπος φράγματος	
5.1 Θέση φράγματος.....	53
5.2 Επιλογή τύπου φράγματος.....	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Διαφυγές – Κουρτίνα τσιμεντενέσεων	
6.1 Άξονας φράγματος.....	59
6.2 Ταμιευτήρας.....	61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Συμπεράσματα.....	62
BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	
Ελληνική βιβλιογραφία.....	63
Ξενόγλωσση βιβλιογραφία.....	63

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να ερευνήσει με Γεωτεχνικό και γεωλογικό τρόπο τις συνθήκες, οι οποίες θα συντελέσουν στην ασφάλεια και λειτουργικότητα του φράγματος του Αγιοκάμπου, να αναδείξει την επιλογή θέσης του φράγματος και την επιλογή του κατάλληλου τύπου φράγματος.

Χαρακτηριστικό του φράγματος του Αγιοκάμπου, είναι η έδρασή του πάνω σε Νεογενείς σχηματισμούς και πιο συγκεκριμένα σε κροκαλοπαγή. Τα υλικά αυτά παρουσιάζουν μία ετερογένεια και άρα μπορούμε να συμπεράνουμε πως ο καλύτερος τύπος φράγματος γι' αυτή την περίπτωση είναι ένα χωμάτινο φράγμα. Οι πρόσφατες αυτές ιζηματογενείς αποθέσεις, αποτελούν κατά κύριο λόγο υλικά με φτωχές γεωτεχνικές ιδιότητες, παρόλα αυτά όμως δεν εγείρουν σοβαρούς προβληματισμούς για την θεμελίωσή του.

Επιπλέον εξαιτίας της λεπτόκοκκης φύσης του υλικού σιμέντωσης, η περατότητα είναι πολύ χαμηλή, με αποτέλεσμα να μην αναμένονται διαφυγές στο έργο. Εύκολα συμπεραίνει κανείς πως η επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων, που προέρχονται από τις ερευνητικές γεωτρήσεις, τις εργαστηριακές δοκιμές και τη βιβλιογραφία κρίνονται απαραίτητα. Τμήμα των στοιχείων αυτών προέρχεται από την εταιρεία Γεωμηχανική Α.Τ.Ε., η οποία το 2012 είχε αναλάβει τις γεωλογικές και γεωτεχνικές μελέτες για το φράγμα Αγιοκάμπου.

Η μεθοδολογία που ακολουθεί η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία είναι αρχικά να εισάγει τον αναγνώστη στα γενικά χαρακτηριστικά των φραγμάτων, σε δεύτερο στάδιο να ερευνηθεί το γεωλογικό μοντέλο της περιοχής έδρασης του φράγματος (δημιουργία γεωλογικής τομής) και σε τρίτο στάδιο να προσδιοριστεί το τεχνικογεωλογικό μοντέλο. Στο στάδιο αυτό διεξάγονται οι ταξινομήσεις κατά R.Q.D., γίνεται εκτίμηση της περατότητας βάσει τον επί τόπου δοκιμών LUGEON, οι οποίοι όπως θα μελετηθεί και παρακάτω κρίνονται μη απαραίτητοι και των δοκιμών μεταβλητού φορτίου Maag και άρα εκτίμηση της στεγανότητας.

Για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τα αναλυτικά φύλλα των ερευνητικών γεωτρήσεων, τα αποτελέσματα των επί τόπου δοκιμών καθώς και ο γεωτεχνικός χάρτης της περιοχής έδρασης του φράγματος. Τα παραπάνω στοιχεία αξιοποιήθηκαν για την σχεδίαση στο πρόγραμμα Autocad της γεωλογικής τομής κατά μήκος του άξονα του φράγματος, καθώς και τομή R.Q.D. πραγματοποιήθηκε με τα προγράμματα Corel Draw και Golden Software Strater.

2.1 ΦΡΑΓΜΑΤΑ: Γενικά χαρακτηριστικά

Στην βιβλιογραφία σχετικά με τα φράγματα αναφέρεται ότι «Τα φράγματα (dams) είναι κατασκευές που σχεδιάζονται και υλοποιούνται σε κοίτες ποταμών και χειμάρρων με σκοπό τη συγκέντρωση νερού σε ένα ταμιευτήρα (reservoir) για διάφορες χρήσεις. Πρόκειται για πολύ σημαντικά τεχνικά έργα που σήμερα πολλά από αυτά κατασκευάζονται για να εξυπηρετούν πολλαπλούς σκοπούς (παραγωγή ενέργειας, ύδρευση, άρδευση, βιομηχανική χρήση, ανάσχεση πλημμυρών), [...]» (Κούκης και Σαμπατακάκης (2007, σελ.343)). Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι τα φράγματα αποτελούν Υδραυλικά Τεχνικά Έργα που φράσσουν την ροή του νερού ποταμών και χειμάρρων με σκοπό την αποθήκευσή του και την μετέπειτα αξιοποίησή του.

Ανάλογα με τη Γεωμετρία και τα υλικά κατασκευής τα φράγματα διακρίνονται σε τσιμέντινα φράγματα (άκαμπτα), σε χωμάτινα φράγματα (εύκαμπτα) και σε μικτά ή σύνθετα φράγματα, τα οποία αποτελούν συνδυασμό εύκαμπτων και άκαμπτων φραγμάτων.

Τσιμέντινα φράγματα

Τα τσιμέντινα φράγματα κατασκευάζονται από σκυρόδεμα. Παρατηρούνται τρεις επιμέρους κατηγορίες φραγμάτων, σύμφωνα με τους Κούκης και Σαμπατακάκης (2007):

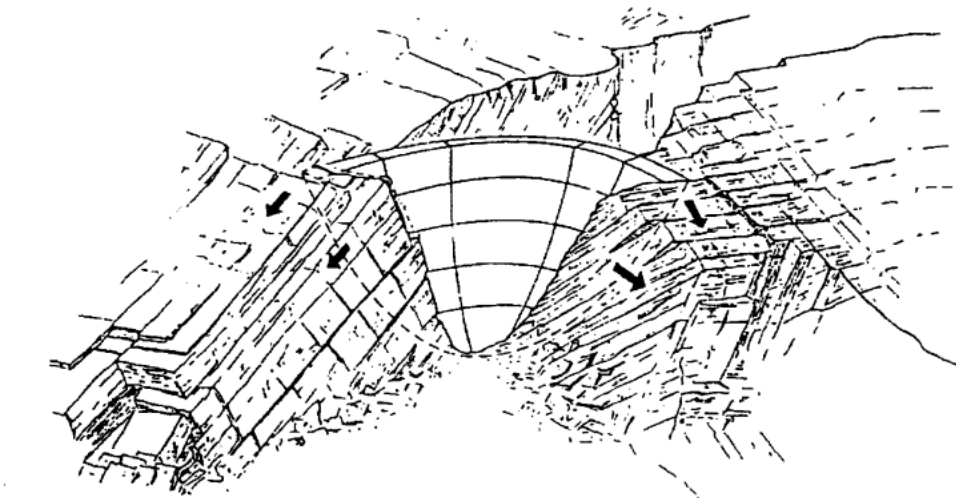
- Βαρύτητας
- Τοξωτά
- Αντηριδωτά

-Φράγματα βαρύτητας

Τα φράγματα βαρύτητας κατασκευάζονται από άοπλο σκυρόδεμα ή και από κυλινδρούμενο σκυρόδεμα. Η λειτουργία των φραγμάτων αυτών στηρίζεται στο βάρος τους με το οποίο και αντισταθμίζουν τις υδροστατικές πιέσεις, την άνωση, τις σεισμικές φορτίσεις και τις δυνάμεις ανατροπής. Παράλληλα με την κατάλληλη επιλογή διατομής και τον έλεγχο των συνθηκών θεμελίωσης αποτρέπεται ο κίνδυνος λόγω διαφορικών καθιζήσεων. Ένα φράγμα βαρύτητας είναι μία συμπαγής μονολιθική κατασκευή που συνήθως είναι ευθεία στο σχεδιασμό αν και μερικές φορές μπορεί να είναι ελαφρά καμπύλη και η διατομή του είναι περίπου τραπεζοειδής.(από Bell (1993) που αναφέρεται σε Κούκης και Σαμπατακάκης (2007)).

Τα τοξωτά φράγματα κατασκευάζονται από οπλισμένο αλλά και άοπλο σκυρόδεμα και λειτουργούν σαν κεκλιμένα τόξα γεφυρών. Μεταφέρουν της υδροστατικές πιέσεις στα αντερείσματα. Σε σχέση με τα φράγματα βαρύτητας επιτυγχάνεται οικονομία στον όγκο του σκυροδέματος έως και 70%, ενώ όταν το πάχος τους είναι μεγάλο λειτουργούν εν μέρει και ως φράγματα βαρύτητας.

Τα φράγματα αυτά μεταφέρουν το μεγαλύτερο μέρος της οριζόντιας ώθησης από το νερό του ταμιευτήρα στα πρανή με τη λειτουργία του τόξου. Επομένως η αντοχή της βραχομάζας στα πρανή και στην αμέσως κατάντη περιοχή του φράγματος πρέπει να είναι ανθεκτική με επαρκή αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας αρκετά υψηλό για να διασφαλίσει ότι η παραμόρφωση της, κάτω από την ώθηση του τόξου δεν είναι τόσο μεγάλη ώστε να επιτρέψει υπερβολικές παραμορφώσεις του τόξου. Τα φράγματα αυτά κατασκευάζονται σε στενά φαράγγια όπου τα πρανή είναι ικανά να δεχθούν την ώθηση που προκαλείται από τη λειτουργία του τόξου.



Σχήμα 1: Τοξωτό φράγμα (Judd-Wantland,1956, από Δ.Ρόζο,2007)

-Αντηριδωτά φράγματα

Τα αντηριδωτά φράγματα αποτελούνται από πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος η οποία φέρεται σε αντηρίδες μεταβλητού πλάτους. Οι αντηρίδες στηρίζουν την πλάκα και μεταφέρουν τις στατικές και δυναμικές ωθήσεις στη θεμελίωση. Επιπλέον, ο σχεδιασμός των αντηρίδων θα πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να αποτρέπει την ολίσθηση κατά μήκος της επιφάνειας θεμελίωσης, συνεπώς και απαιτείται τα πετρώματα να είναι ανθεκτικά και με καλή ευστάθεια.

Τα φράγματα αυτά μεταφέρουν τις υδροστατικές πιέσεις κυρίως στην επιφάνεια θεμελίωσης και δευτερευόντως στα αντερείσματα. Τα αντηριδωτά φράγματα επιτυγχάνουν οικονομία στον όγκο του απαιτούμενου σκυροδέματος μέχρι και 90% σε σχέση με τα φράγματα βαρύτητας.

Χωμάτινα φράγματα

Πρόκειται για εύκαμπτες κατασκευές οι οποίες κατασκευάζονται από γαιώδη υλικά (αργίλους, άμμους, κροκάλες) και δεν απαιτούν σχηματισμούς θεμελίωσης εξαιρετικής ποιότητας. Σύμφωνα με τους Κούκης και Σαμπατακάκης (2007) διακρίνονται σε:

- Ομογενή χωμάτινα
- Ετερογενή χωμάτινα ή και Λιθόρριπτα.
- Με διάφραγμα

-Ομογενή Χωμάτινα φράγματα

Τα ομογενή χωμάτινα φράγματα κατασκευάζονται σε όλο του το πλάτος και ύψος από ένα είδος υλικού ,εκτός από αυτό που αφορά την προστασία των πρανών. Το υλικό που χρησιμοποιείται πρέπει να έχει ελάχιστη έως μηδαμινή διαπερατότητα ($\kappa=10^{-7}$ m/sec), έτσι ώστε το φράγμα να θεωρείται αδιαπέρατο. Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιείται υλικό που η καμπύλη της κοκκομετρικής του διαβάθμισης να είναι πλατιά και με μικρή κλίση πρανών.

Αυτό εφαρμόζεται έτσι ώστε να υπάρχει σταθερότητα τόσο του ανάντη πρανούς σε περίπτωση γρήγορης πτώσης της στάθμης του ταμιευτήρα όσο και της κατάντη, σε περίπτωση διήθησης όταν η στάθμη του ταμιευτήρα είναι υψηλή.

Για να μειωθεί ο όγκος σε ένα ομογενές χωμάτινο φράγμα, τοποθετούνται μικρές ποσότητες διαπερατών υλικών (στραγγιστήρων), οι οποίες επιτρέπουν την εφαρμογή μεγαλύτερων κλίσεων.

-Ετερογενή Χωμάτινα Φράγματα

Τα ετερογενή χωμάτινα φράγματα αποτελούν το πιο συνηθισμένο τύπο χωμάτινο φράγματος και μπορούν να κατασκευαστούν σε θέσεις με έντονη ετερογένεια. Το σώμα του φράγματος κατασκευάζεται από εδαφικά-γαιώδη υλικά, τα οποία βρίσκονται από το άμεσο περιβάλλον του έργου ή προέρχονται από εκσκαφές και διαστρώνονται σε διαβαθμισμένες ζώνες υλικού. Στο κέντρο του σώματος, τοποθετείται ένα αδιαπέρατο υλικό (αργιλικό), το οποίο αποτελεί τον πυρήνα του φράγματος, για τον έλεγχο της διήθησης του νερού .

Γύρω από τον πυρήνα, στις θέσεις ανάντη και κατόντη αυτού, κατασκευάζονται ζώνες οι οποίες διασφαλίζουν την ασφάλεια και την στεγανότητα του έργου και αποτελούνται από ημιπερατά υλικά, ενώ διαπερατά υλικά αποτελούν το σώμα του φράγματος (κελύφη). Ουσιαστικά τα κελύφη συγκρατούν το αδιαπέρατο τμήμα του φράγματος και το προστατεύουν ανάμεσά τους.

Επιπλέον, σε ένα ετερογενές χωμάτινο φράγμα θα πρέπει το πλάτος του πυρήνα b , σε κάποιο ύψος να είναι μεγαλύτερο από το ύψος του φράγματος h , από το ύψος αυτό μέχρι τη στέψη.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ο πυρήνας του χωμάτινου φράγματος αποτελείται από αργιλικό υλικό. Το αδιαπέρατο αυτό υλικό δεν είναι καθαρή άργιλος, περιέχει προσμίξεις (πηλό-άμμο), διότι αλλιώς θα συμπυκνωνόταν δύσκολα. Γι' αυτό τον λόγο χρησιμοποιείται μίγμα αργίλου (20%), πηλού (30%) και άμμου (50%). Συνεπώς ένας πυρήνας όταν περιέχει περισσότερη άμμο, έχει μεγαλύτερη διαπερατότητα και το πλάτος του είναι μεγαλύτερο, ενώ όσο πιο καθαρό αργιλικό υλικό έχει, τόσο πιο δύσκολη συμπύκνωση υπόκειται και πιο μικρό πλάτος έχει.

-Χωμάτινα Φράγματα με Διάφραγμα

Τα χωμάτινα φράγματα με διάφραγμα κατασκευάζονται με διαπερατά υλικά (άμμο, χαλίκια, πέτρες) και μία λεπτή μεμβράνη από αδιαπέρατο υλικό, που εμποδίζει το νερό να περάσει μέσα από το φράγμα. Η μεμβράνη μπορεί να τοποθετηθεί από το ανάντη πρηνές μέχρι τον κεντρικό κατακόρυφο άξονα της διατομής. Η μεμβράνη αυτή μπορεί να κατασκευαστεί από άργιλο, σκυρόδεμα ή ασφαλτο.

Συνοδά έργα φραγμάτων

Για την καλή λειτουργία και η ασφάλεια του φράγματος και του ταμιευτήρα, πέρα από την κατασκευή του φράγματος, πραγματοποιούνται παράλληλα και κάποια επιπλέον έργα, τα οποία συνοδεύουν και συμπληρώνουν το φράγμα. Τα έργα αυτά ονομάζονται συνοδά έργα του φράγματος και σύμφωνα με τους Κούκης και Σαμπατακάκης (2007), είναι τα εξής:

- Σήραγγα εκτροπής: Η σήραγγα εκτροπής διευκολύνει τις εργασίες που πραγματοποιούνται στη κοίτη του ποταμού με την ομαλή παροχέτευση των νερών του ποταμού προς τα κατόντη. Στην περίπτωση όπου αναμένονται μεγάλες παροχές νερού από το ποτάμι, κατά το στάδιο κατασκευής του φράγματος και αναμένονται πιθανές πλημμυρικές παροχές η σήραγγα εκτροπής συνδυάζεται και με την κατασκευή προγράμματος τελικά δε με την ολοκλήρωση του έργου και οι δύο αυτές κατασκευές ενσωματώνονται στο κυρίως έργο.

- **Πρόφραγμα:** Πρόκειται για ένα προσωρινό μικρό φράγμα, ανάντη από τη θέση θεμελίωσης του κυρίως φράγματος, για τη συγκέντρωση του νερού και την ελεγχόμενη ροή του, με σκοπό την διευκόλυνση των εργασιών κατασκευής του κυρίως φράγματος.
- **Υδροληψία (φρεάτιο και αγωγός προσαγωγής):** Πρόκειται για το έργο που θα μεταφέρει το νερό του ταμιευτήρα στην κατάντη περιοχή για διάφορες χρήσεις όπως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας .
- **Εκχειλιστής ή Υπερχειλιστής:** Υπάρχει πιθανότητα εξαιτίας των πλημμυρικών παροχών ή του πλούσιου σε ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα υδρολογικού έτους το νερό του ταμιευτήρα να ξεπεράσει την ανώτατη στάθμη λειτουργίας του. Στην περίπτωση αυτή, ο εκχειλιστής εξασφαλίζει την ομαλή ροή της περίσσειας νερού ελεγχόμενα προς τα κατάντη μέσω των θυροφραγμάτων που διαθέτει, τα οποία τοποθετούνται στο σώμα του φράγματος, ενώ στην περίπτωση του υπερχειλιστή το νερό του ταμιευτήρα παροχετεύεται προς τα κατάντη αυτόματα, χωρίς τη μεσολάβηση θυροφραγμάτων όταν η στάθμη υπερβεί τη μέγιστη στάθμη λειτουργίας.
- **Σήραγγα επίσκεψης:** Μερικά από τα χωμάτινα φράγματα συνδυάζονται και με σήραγγα επίσκεψης που είναι κατά μήκος του άξονα του έργου. Μέσω της σήραγγας επίσκεψης πραγματοποιούνται εργασίες τσιμεντενέσεων στη θεμελίωση του έργου, το οποίο ανυψώνεται και παράλληλα λειτουργεί ως σήραγγα αποστράγγισης, για την τοποθέτηση οργάνων και τον έλεγχο της στεγανότητας του φράγματος.
- **Σήραγγες τσιμεντενέσεων:** Μέσω των σιράγγων αυτών εκτελούνται οι τσιμεντενέσεις σε διάφορα ύψη των αντερεισμάτων.
- **Εκκενωτής πυθμένα:** Η κατασκευή αυτή συμβάλλει στην ταχεία ταπείνωση ή και εκκένωση της στάθμης του ταμιευτήρα, σε περίπτωση αστοχίας του έργου.
- **Θυροφράγματα:** Πρόκειται για πόρτες οι οποίες τοποθετούνται στις κορυφές των εκχειλιστών, και οι οποίες ελέγχουν τη ροή του νερού.
- **Λεκάνη ηρεμίας:** Η λεκάνη ηρεμίας κατασκευάζεται στα κατάντη του φράγματος και αποτρέπει τη διάβρωση του πόδα του φράγματος, από τα νερά της υπερχείλισης και επίσης μέσω αυτής επιτυγχάνεται η ομαλή παροχέτευση του νερού στο κατάντη τμήμα του ποταμού.
- **Ταμιευτήρες άντλησης – αποθήκευσης νερού:** Στον ταμιευτήρα άντλησης αποθηκεύεται το αντλούμενο νερό , προκειμένου να παραχθεί ενέργεια την περίοδο όπου η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας θα είναι μεγαλύτερη από παραγωγή της.

2.2 Κριτήρια επιλογής θέσης και τύπου φράγματος

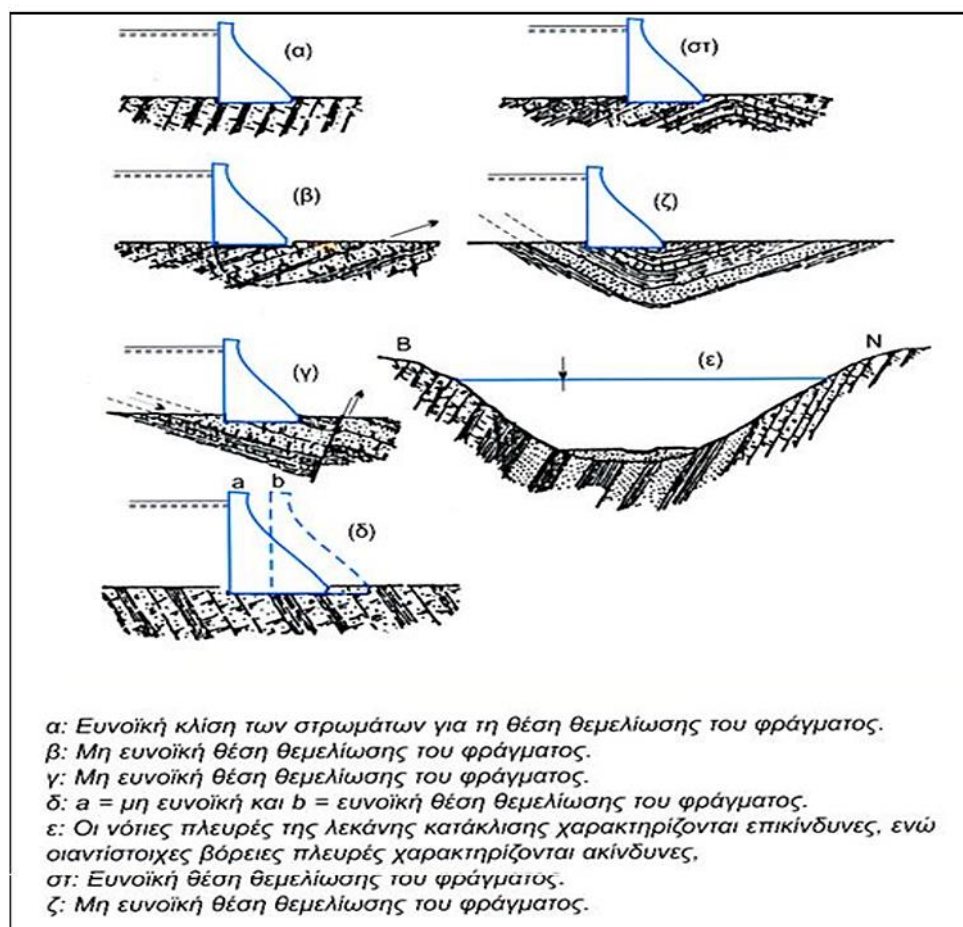
Σπουδαίο, αλλά και κρίσιμο παράγοντα για το έργο, αποτελεί η επιλογή της θέσης του φράγματος. Για την επιλογή της θέσης του φράγματος, λαμβάνονται υπόψη σημαντικά κριτήρια, όπως είναι η τοπογραφία-μορφολογία της θέσης του φράγματος και οι τεχνικογεωλογικές- γεωτεχνικές συνθήκες.

-Τοπογραφικά-μορφολογικά κριτήρια

Σύμφωνα με τον WALTERS (1971) για τον οποίο γίνεται αναφορά από τους Κούκης και Σαμπατακάκης (2007), οι κύριοι τύποι κοιλάδων είναι:

- φαράγγια: λόγος χορδής/ύψους < 3 .
- στενές κοιλάδες: λόγος χορδής/ύψους $< 3-6$
- φαρδιές κοιλάδες: λόγος χορδής/ύψους > 6 ή 7
- πεδιάδα: επίπεδη περιοχή

Για τους οποίους το μήκος της χορδής και το ύψος μετριοούνται στο επίπεδο της στέψης του φράγματος.



Σχήμα 2 : Συνθήκες ευστάθειας φραγμάτων (ZARUBA-MENCL,1976, από Κούκης και Σαμπατακάκης,2007)

Φράγματα σε φαράγγια

Στις κοιλάδες τύπου φαραγγιού η πιο κατάλληλη και επωφελής κατασκευή, είναι η κατασκευή λεπτών τοξωτών φραγμάτων. Για την κατασκευή των τοξωτών φραγμάτων προϋπόθεση αποτελεί τα ακρόβαθρα των αντερεισμάτων να έχουν καλή αντοχή και να αντέχουν σε υψηλές πιέσεις. Στην περίπτωση όμως που το πέτρωμα στα αντερείσματα δεν είναι μηχανικά ικανοποιητικό, μπορεί να ενισχυθεί ή ακόμα να εκσκαφτεί μέχρι το υγιές μέρος του και να καλυφθεί με τσιμέντο έτσι ώστε να κατασκευαστούν τεχνητά ακρόβαθρα.

Φράγματα σε στενές κοιλάδες

Σε στενές κοιλάδες και σε πετρώματα ετερογενή ως προς τις γεωμηχανικές τους ιδιότητες θεμελιώνονται μικτά φράγματα, βαρύτητας και τοξωτά. Στα ασθενικά μέρη θεμελιώνεται το τμήμα βαρύτητας και στα ανθεκτικά υλικά θεμελιώνεται το τοξωτό τμήμα. Επίσης, σε στενές κοιλάδες, κατασκευάζονται και παχιά τοξωτά φράγματα, όπου το πάχος είναι μικρότερο από ένα φράγμα βαρύτητας και μεγαλύτερο από ένα λεπτό τοξωτό φράγμα.

Φράγματα σε φαρδιές κοιλάδες

Στις φαρδιές κοιλάδες μπορούν να κατασκευαστούν όλοι οι τύποι των φραγμάτων εκτός από αυτοτελές τοξωτό φράγμα (λεπτό ή παχύ). Το είδος του φράγματος που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από τη γεωλογία της περιοχής και την απόσταση για τα υλικά κατασκευής. Σε φαρδιές κοιλάδες κατασκευάζονται, επίσης, φράγματα βαρύτητας, βαρύτητας-αντηριδωτά, αντηριδωτά φράγματα, φράγματα πολλαπλής καμπυλότητας, χωμάτινα ή λιθόρριπτα.

Φράγματα σε πεδιάδες

Είναι φράγματα εκτροπής, χωμάτινα ή λιθόρριπτα πολύ μεγάλου μήκους.

-Γεωλογικά-γεωτεχνικά κριτήρια

Τα γεωλογικά-γεωτεχνικά κριτήρια αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για την επιλογή της θέσης φράγματος, του τύπου και σχεδιασμού του φράγματος, της ασφάλειας και τέλος του κόστους και του χρόνου κατασκευής. (Κούκης και Σαμπατακάκης (2007))

Τα κριτήρια αυτά έχουν σχέση με τη γεωλογική δομή της περιοχής, την τεκτονική και στρωματογραφία της περιοχής, την ποιότητα, την παραμορφωσιμότητα και την αντοχή της βραχώδους, την ευστάθεια των πρανών, τη γεωμετρική διάταξή της βραχομάζας στο χώρο και την ύπαρξη υλικών κατασκευής.

Πάνω σε αυτό το πλαίσιο η περιοχή θα πρέπει να εξασφαλίζει τη στεγανότητα των σχηματισμών που δομούν τον ταμιευτήρα, την ευστάθεια του πρανών της λεκάνης κατάκλισης και τον αντερεισμάτων, θα πρέπει να υπάρχει ικανοποιητική γνώση της σεισμικότητας της περιοχής στην λεκάνη απορροής και οι βραχώδεις και εδαφική

σχηματισμοί θα πρέπει να είναι ανθεκτικοί στη διάβρωση. Επιπλέον είναι απαραίτητη η εξασφάλιση ασφαλούς θεμελίωσης του φράγματος και στεγανότητας της επιφάνειας θεμελίωσης του φράγματος. Τα πετρώματα της περιοχής θα πρέπει να διαθέτουν ικανοποιητικά μηχανικά χαρακτηριστικά έτσι ώστε η θεμελίωση των επιφανειακών έργων να είναι ασφαλής και να επιτραπεί η οικονομική διάνομιξη των υπογείων συναφών έργων. Τέλος είναι απαραίτητη η ύπαρξη δανειοθαλάμων για την απόληψη των υλικών κατασκευής, τα οποία θα πρέπει να βρίσκονται σε μικρή απόσταση από το έργο.

Τα φράγματα βαρύτητας απαιτούν πετρώματα μεγάλης φέρουσας ικανότητας ($8.5-11 \text{ Kg/cm}^2$ ή $0.85-1.1 \text{ MPa}$ τουλάχιστον) στην επιφάνεια του εδάφους ή σε βάθος $<7-10 \text{ m}$. Τα αδρανή που θα χρησιμοποιηθούν για το σκυρόδεμα πρέπει να βρίσκονται κοντά στην κατασκευή ($8-15 \text{ Km}$) και να είναι προσιτά. Κατά την κατασκευή το μήκος της στέψης θα πρέπει να είναι πέντε φορές μεγαλύτερο από το ύψος της θεμελίωσης και το πλάτος της βάσης ίσο τουλάχιστον με $2/3$ του ύψους μέχρι τη στέψη. Τα φράγματα βαρύτητας αντιμετωπίζουν τις υδροστατικές δυνάμεις, που τείνουν να το ανατρέψουν ή να προκαλέσουν ολίσθηση με το βάρος τους. Κατά τη σχεδίαση των φραγμάτων βαρύτητας πρέπει να διπλασιάζεται το φορτίο του νερού για την εκτέλεση των υπολογισμών ευστάθειας, γιατί δεν είναι δυνατή η αποφυγή της πίεσης του νερού των πόρων στα θεμέλια. Τα φράγματα βαρύτητας αποτελούν τα πιο ασφαλή φράγματα και είναι κατά 15% φθηνότερα από τα αντίστοιχα χωμάτινα στην ίδια θέση.

Στα αντηριδωτά φράγματα τα πετρώματα πρέπει να είναι μεγάλης φέρουσας ικανότητας ($22-32 \text{ Kg/cm}^2$ ή $2.2-3.2 \text{ MPa}$ τουλάχιστον). Στα φράγματα αυτά πραγματοποιείται μεγάλη οικονομία σκυροδέματος καθώς χρησιμοποιείτε το $1/2$ έως $2/3$ του ολικού όγκου σκυροδέματος που απαιτείται για το αντίστοιχο φράγμα βαρύτητας. Παρόλα αυτά, το σκυρόδεμα χρειάζεται προστασία εξαιτίας της αποσάθρωσης. Τα φράγματα αυτά έχουμε μείωση των ανοδικών πιέσεων του νερού και προσφέρονται για περιοχές όπου υπάρχει έλλειψη ή δυσκολία αποστολής σκύρων για το σκυρόδεμα.

Τα τοξωτά φράγματα είναι καμπύλες κατασκευές μικρού πάχους που συνήθως περιέχουν οπλισμό είτε από χαλύβδινες ράβδους είτε προ εντεταμένα χαλύβδινα συρματόσχοινα. Στα φράγματα αυτά οι υδροστατικές πιέσεις του νερού μεταβιβάζονται στα αντερείσματα με τη δράση του τόξου, καθώς και απαιτούνται μικρότεροι όγκοι σκυροδέματος από ότι για συσκευή φραγμάτων βαρύτητας. Τα φράγματα αυτά κατασκευάζονται συνήθως σε φαράγγια, σε ορεινές δυσπρόσιτες περιοχές, όπου η προώθηση των υλικών κατασκευής είναι δύσκολη. Σύμφωνα με τις γεωτεχνικές απαιτήσεις, τα τοξωτά φράγματα διακρίνονται σε παχιά τοξωτά φράγματα τα οποία ενδείκνυνται για κοιλάδες με λόγο πλάτους προς ύψος μεταξύ 3 και 5, με πολύ ανθεκτικά πετρώματα θεμελίωσης ιδιαίτερα στα αντερείσματα ($>3.22 \text{ MPa}$), λεπτά τοξωτά φράγματα τα οποία ενδείκνυνται για κοιλάδες με λόγο πλάτους προς ύψος <3 και ακτίνα $<152 \text{ m}$. Στα λεπτά τοξωτά φράγματα, η αντοχή των αντερεισμάτων πρέπει να είναι εξαιρετικά μεγάλη, ενώ η ώθηση του φράγματος θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σύμφωνα με το είδος και τον προσανατολισμό των ασυνεχειών.

Τα λιθόρριπτα φράγματα κατασκευάζονται όταν το έδαφος θεμελίωσης δεν είναι κατάλληλο για την κατασκευή τσιμέντινου φράγματος οποιουδήποτε τύπου. Τα

φράγματα αυτά είναι ιδανικά όταν υπάρχει δυνατότητα ανάπτυξης λατομείων στη γειτονική περιοχή, όπου τα λιθορριπή πετρώματα θα είναι σκληρά και θα αποσθρώνονται δύσκολα. Επιπλέον η ύπαρξη αρκετής ποσότητας αργίλου στην κοντινή περιοχή για την κατασκευή του στεγανού πυρήνα διευκολύνει το έργο, καθώς όταν δεν υπάρχει κατασκευάζεται ανάντη του έργου τάπητας με τσιμέντο.

Η κατασκευή των χωμάτινων φραγμάτων εξαρτάται από τις ποσότητες και το είδος των υλικών που υπάρχουν κοντά στην περιοχή του έργου και από το μέγεθος και τη γεωμετρία του φράγματος. Τα μικρά χωμάτινα φράγματα αποτελούνται από ένα είδος υλικού, σε αντίθεση με τα μεγάλα, τα οποία έχουν ζωνώδη κατασκευή από ποικίλα υλικά. Στα μεγάλα φράγματα το σημαντικότερο στοιχείο είναι ο πυρήνας, ο οποίος αποτελείται από αργιλικά υλικά. Όταν τα υλικά αυτά, απουσιάζουν τότε κατασκευάζεται λιθόρριπτο φράγμα. Τα χωμάτινα φράγματα είναι ιδανικά σε περιοχές όπου οι γεωμηχανικές ιδιότητες των πετρωμάτων είναι χαμηλές και μπορούν να δεχτούν καθιζήσεις, ακόμα και διαφορικές κατά τη διάρκεια της κατασκευής και μετά το τέλος αυτής, καθώς τα ακρόβαθρα μπορούν να προσαρμοστούν σε μικρές μετατοπίσεις χωρίς θραύση.

2.3 Στεγανότητα και μέτρα θεμελίωσης

Σημαντικό παράγοντα για την σωστή θεμελίωση και λειτουργία του φράγματος, αποτελεί η στεγανότητα του έργου. Διαφυγές νερού μπορούν να προκύψουν, όταν το υλικό θεμελίωσης και το υλικό των αντερείσμάτων είναι περατό, με αποτέλεσμα την εμφάνιση αστοχίας. Οι διαφυγές μπορούν να εκτιμηθούν από τον νόμο του Darcy, $q=k \cdot A \cdot \Delta$. Εξαιτίας των διαφυγών, το νερό μπορεί να κινείται υπόγεια από τα ανάντη προς τα κατόντη, να δημιουργεί υποπίεσεις και υποσκαφές στο εσωτερικό τμήμα του έργου, με αποτέλεσμα να αμφισβητείται η ευστάθεια του έργου. Συμπεραίνουμε λοιπόν πως τα έργα στεγανότητας είναι αναγκαία, καθώς βελτιώνουν τα μηχανικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά των υλικών.

Εργασίες στη θέση θεμελίωσης του φράγματος

Η περιοχή πάνω στην οποία θεμελιώνεται το φράγμα, καθώς και τα αντερείσματα από τα οποία στηρίζεται το φράγμα, χαρακτηρίζονται από μεγάλη υδραυλική κλίση και κατ' επέκταση αυξημένη περατότητα, εξαιτίας της χαλάρωσης του υλικού στις επιφανειακές ζώνες του σχηματισμού. Για την στεγανοποίηση λοιπόν, της θέσης θεμελίωσης πραγματοποιούνται τσιμεντενέσεις, των οποίων η προέκταση μέσα στο πρανές εξαρτάται από την πιεζομετρία. Οι τσιμεντενέσεις, είναι γεωτρητικές οπές με κατάλληλη διάμετρο, οι οποίες διοχετεύουν τσιμέντο στις ασυνέχειες που διασταυρώνονται με τις οπές. Έτσι τα κενά των ασυνεχειών πληρώνονται από τσιμέντο και δεν μπορεί να γίνει διέλευση του νερού. Η διάνοιξη των οπών γίνεται με πλήρη πυρηνοληψία 76 έως 106 mm και με βάθος $d=H\phi r/3+20$ όπου $H\phi r$ το ύψος του φράγματος, (Δημόπουλος, 2007).

Προτού οι οπές διοχετευτούν με τσιμέντο, πραγματοποιούνται δοκιμές, με σκοπό την εκτίμηση των απαιτήσεων στεγανοποίησης, που αφορούν την απορρόφηση του νερού από τη βραχώδη, που μετράται σε l/min.m και συμπληρώνεται το προφίλ της γεώτρησης. Για τα βραχώδη μέσα, πραγματοποιείται δοκιμή Lugeon, για την οποία η αποδεκτή τιμή στεγανότητας είναι 1 l/min.m και πίεση 10 bar για φράγματα μεγαλύτερα των 30 m και 3 l/min.m για φράγματα μικρότερα των 30 m. Στους εδαφικούς σχηματισμούς πραγματοποιούνται δοκιμές LeFranc και Maag. Επιπλέον, λαμβάνονται υπόψη και άλλοι παράμετροι, όπως το ποσοστό απόληψης πυρήνα (%), ο βαθμός διαμελισμού (R.Q.D.), ο βαθμός αποσάθρωσης (V), ο βαθμός καρστικοποίησης (k), (Δημόπουλος, 2007).

Οι τσιμεντενέσεις, σύμφωνα με τον Δημόπουλος, 2007, περιλαμβάνουν τρεις τύπους για τη στεγανότητα των φραγμάτων:

- Κουρτίνα-διάφραγμα τσιμεντενέσεων: όπου πραγματοποιούνται τσιμεντενέσεις, με σκοπό τη δημιουργία αδιαπέρατου διαφράγματος, το οποίο θα σταματά την κυκλοφορία νερού και άρα τη διήθηση του υπόγειου νερού. Οι τσιμεντενέσεις πραγματοποιούνται στη βάση της τάφρου εκσκαφής θεμελίωσης και διακρίνονται σε κατακόρυφες και με κλίση ανάλογα με τις διαρρήξεις.
- Τάπητας τσιμεντενέσεων: πραγματοποιείται επιφανειακά στην περιοχή του αργιλικού πυρήνα, και σε περιοχές της θεμελίωσης που παρουσιάζονται κρίσιμα θέματα. Έτσι βελτιώνεται η αντοχή και η φέρουσα ικανότητα του

πετρώματος, μειώνεται η υδροπερατότητα, βελτιώνεται η επαφή μεταξύ βράχου και θεμελίωσης και εξασφαλίζεται η αποφυγή καθιζήσεων στη ζώνη αυτή. Οι τάπητες τσιμεντενέσεων φτάνουν μέχρι το βάθος των 7-10 m και η απόσταση μεταξύ τους είναι 3-14 m.

- Τσιμεντενέσεις ειδικού σκοπού: που χρησιμοποιούνται για τη καλυτέρευση της αντοχής και την αντιμετώπιση προβλημάτων εξαιτίας της κυκλοφορίας του υπόγειου νερού.

Πέρα από τις τσιμεντενέσεις, πραγματοποιούνται και διαφραγματικοί τοίχοι, καθώς και τοποθέτηση αδιαπέρατου τάπητα ή μεμβράνης. Οι διαφραγματικοί τοίχοι κατασκευάζονται με τη μέθοδο του μπεντονιτικού αιωρήματος όπου, δημιουργείται ένας τοίχος είτε με αλληλοτεμνόμενους, είτε με παράλληλους πασσάλους από σκυρόδεμα.

Έτσι αποφεύγεται η διήθηση και η κίνηση του νερού κοντά στη θεμελίωση του φράγματος. Ο αδιαπέρατος τάπητας ή μεμβράνη αποτελεί ένα λεπτό στρώμα αδιαπέρατου υλικού, ο οποίος τοποθετείται είτε μέσα σε χωμάτινο φράγμα είτε στον πυθμένα της λεκάνης, με σκοπό την αύξηση του δρόμου που θα πρέπει να διανύσει το υπόγειο νερό, ώστε να απαλλαγεί το φράγμα από τις διηθήσεις, να μειωθούν οι απώλειες του νερού και η υδραυλική κλίση και να ενισχυθεί η αντοχή του φράγματος. Το υλικό που χρησιμοποιείται αποτελείται από αργιλικά υλικά, σκυρόδεμα ή ειδικές συνθετικές μεμβράνες.

Αντίστοιχες δοκιμές, γίνονται και στον ταμιευτήρα με σκοπό να προσδιοριστεί η απορροφητικότητα, η ρωγμάτωση και η αποσάθρωση. Αφού πρώτα διεξαχθεί γεωλογική έρευνα για την αναγνώριση ασθενών περιοχών, γίνονται έργα στεγανοποίησης στη λεκάνη κατάκλισης.

2.4 Τύποι αστοχιών φραγμάτων

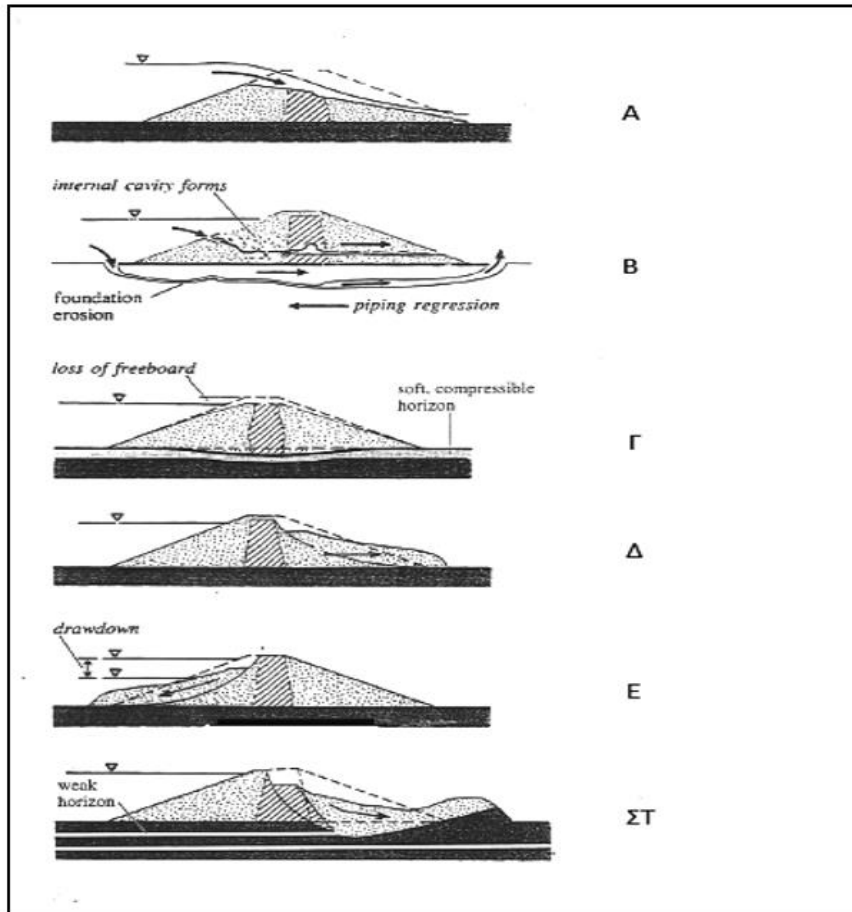
Οι αστοχίες, οι οποίες μπορεί να είναι είτε κατασκευαστικές είτε λειτουργικές, αποτελούν φαινόμενα τα οποία μπορούν να προκαλέσουν μεγάλες καταστροφές και πολλούς θανάτους. Τα κύρια αίτια των αστοχιών, των φραγμάτων, σύμφωνα με τον Μαρίνος, 1991 είναι:

- Η ολίσθηση- θραύση της θεμελίωσης του φράγματος
- Η ανάπτυξη υποπιέσεων, διαλύσεων και εσωτερικών διαβρώσεων
- Οι σεισμοί
- Η μετακίνηση ή ο ερπυσμός σε κάποιο ρήγμα
- Η εξασθένηση της θεμελίωσης από διαβροχή ή από αποσάθρωση
- Οι ολισθήσεις, μετακινήσεις ή οι παραμορφώσεις στα αντερείσματα
- Η διάβρωση ή η υποσκαφή από πλημμύρες
- Οι υπερβολικές παραμορφώσεις στην θεμελίωση
- Οι υπερβολικές παραμορφώσεις στο φράγμα

Οι λόγοι για τους οποίους εμφανίζεται η εκδήλωση των αστοχιών αυτών, μπορεί να οφείλεται :

- Στις ελλιπείς τεχνικές γνώσεις του γεωλόγου
- Στις ελλιπείς τεχνικογεωλογικές γνώσεις του μηχανικού
- Σε λανθασμένες ή ατελείς γεωλογικές γνωματεύσεις
- Στο ατελές ή περιορισμένο πρόγραμμα ερευνητικών εργασιών πεδίου

Οι λόγοι αστοχίας για τα άκαμπτα φράγματα, είναι η εσωτερική διάβρωση του σώματος του φράγματος και η ανεπαρκής αντοχή του. Αντίστοιχα για τα εύκαμπτα φράγματα, είναι η υπερπήδηση του νερού, η εσωτερική διάβρωση και η διασωλήνωση με μεταφορά υλικού από τον πυρήνα, η καθίζηση του φράγματος όταν το υλικό θεμελίωσης είναι συμπίεστο, η κατολίσθηση του κατάντη τμήματος του σώματος του φράγματος, η κατολίσθηση του ανάντη τμήματος του φράγματος λόγω ταπείνωσης του ταμιευτήρα, αστοχία λόγω υπερφόρτισης μαλακού ασθενούς ορίζοντα.(Τσιφή Παυλίνα-Δέσποινα,2014).



Σχήμα 3: Μηχανισμοί και τύποι καταστροφών σε χωμάτινα φράγματα, Α: υπερπήδηση του νερού, Β: εσωτερική διάβρωση και διασωλήνωση με μεταφορά υλικού, Γ: καθίζηση του φράγματος, Δ: κατολίσθηση του κατάντη τμήματος του σώματος του φράγματος, Ε: κατολίσθηση στο ανάντη τμήμα του φράγματος, ΣΤ: αστοχία λόγω υπερφόρτισης μαλακού-ασθενούς ορίζοντα. (Μαρίνος Β. 2011, από Τσιφή Παυλίνα-Δέσποινα, 2014).

2.5 Σώμα χωμάτινου φράγματος

Τα χωμάτινα φράγματα θεωρούνται από το πιο συνηθισμένο τύπο φραγμάτων, καθώς είναι οικονομικά, εξασφαλίζουν ασφάλεια, μπορούν να χτιστούν σε όλες τις ανοιχτές κοιλάδες και δεν χρειάζονται καλής ποιότητας σχηματισμούς θεμελίωσης. (Δ.Ρόζο, 2007)

Σύμφωνα με τον Δ.Ρόζο, 2007 το σώμα του χωμάτινου σώματος αποτελείται από την πρώτη ζώνη, η οποία βρίσκεται αμέσως μετά τον πυρήνα, και είναι πάχους 2,5-4,0 m και αποτελείται από φίλτρο διαβαθμισμένου αμμοχάλικου. Η επόμενη ζώνη, αποτελείται από αδρόκοκκα υλικά και εξωτερικά διαμορφώνεται με κλίση πρανών από 1:2,5 έως 1:4. Η κλίση αυτή εξαρτάται, σύμφωνα με τον Λιακούρη, 1995 από:

- A. Τα χαρακτηριστικά του υλικού
- B. Τις συνθήκες ροής
- C. Την ποιότητα του εδάφους
- D. Τη θέση του αδιαπέρατου πυρήνα
- E. Το βαθμό σεισμικότητας

Επάνω από αυτή την ζώνη τοποθετείται η λιθορριπή προστασίας από ευμεγέθη τεμάχια βράχων (rip-rap).

Στις θέσεις του χωμάτινου φράγματος όπου έχουμε σπάνια παρουσία αδιαπέρατων υλικών, η κατασκευή αδιαπέρατου πυρήνα στο φράγμα εξαρτάται από το μικρότερο πάχος αδιαπέρατου στρώματος που μπορούν να σχηματίσουν τα διαθέσιμα υλικά. Σύμφωνα με τον Δ.Ρόζο, 2007, οι παράγοντες που θα πρέπει να εξεταστούν στην περίπτωση αυτή είναι:

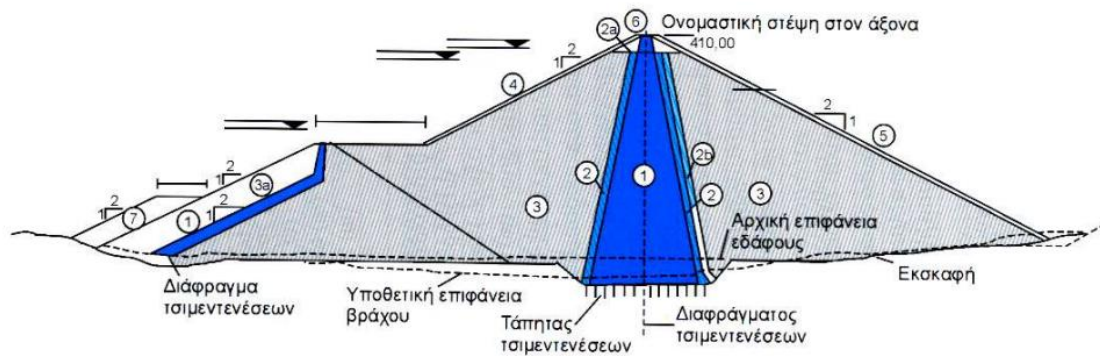
- A. Οι ανεκτές διαρροές διαμέσου του πυρήνα
- B. Το μικρότερο εύρος πυρήνα που επιτρέπει ασφαλή κατασκευή
- C. Ο προτεινόμενος σχεδιασμός των φίλτρων
- D. Η συμπεριφορά προηγούμενων κατασκευών με ανάλογα προβλήματα.

Τέλος, έχουμε την τοποθέτηση στρωμάτων φίλτρων για τον υποβιβασμό των γραμμών ροής του νερού.

Για τον σχεδιασμό ενός χωμάτινου φράγματος θα πρέπει να πληρούνται ορισμένες προϋποθέσεις. Οι προϋποθέσεις αυτές είναι, σύμφωνα με τον Θ.Μακεδών :

- A. Να υπάρχει ικανοποιητική χωρητικότητα εκχειλιστή ή υπερχειλιστή
- B. Να έχει πραγματοποιηθεί η τοποθέτηση των πιεζομέτρων στο κατάντη πρανές και στη βραχώμαζα για τον έλεγχο των διαστραγγίσεων
- C. Να υπάρχουν ασφαλείς κλίσεις πρανών ώστε οι διατμητικές τάσεις ολίσθησης να είναι αρκετά μικρότερες από τη διατμητική αντοχή του υλικού
- D. Οι κλίσεις του αργιλικού πυρήνα και των φίλτρων ανάντη και κατάντη δε θα πρέπει να δημιουργούν προβλήματα σταθερότητας στο σώμα του φράγματος
- E. Να μη δημιουργείται ελεύθερη ροή από τον ταμιευτήρα διαμέσου των φίλτρων και του αργιλικού πυρήνα στο κατάντη πρανές
- F. Να υπάρχει έλεγχος ροών με οριζόντια ή κατακόρυφα φίλτρα στο σώμα του φράγματος και στον κατάντη πόδα

Γ. Τα πρανή να προστατεύονται από τη δράση των κυμάτων (ανάντη) και από τη βροχή (κατάντη) μέσω της κατασκευής λιθορριπής (rip-rap)



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- (1) Αδιαπέρατος πυρήνας
- (2) Λεπτόκοκκο φίλτρο. Αμμοχάλικα ποταμού επεξεργασμένα. Μέγιστη διάσταση 19mm
- (2a) Μεταβατική ζώνη. Αμμοχάλικα μέγιστης διάστασης 20cm
- (2b) Χονδρόκοκκο φίλτρο. Αμμοχάλικα επεξεργασμένα. Μέγιστη διάσταση 75mm
- (3) Σώμα στήριξης. Αμμοχάλικα ποταμού. Μέγιστη διάσταση 30cm
- (3a) Εξωτερική ζώνη κυρίως ανάντη προφράγματος (Λιθορριπή). Μέγιστο μέγεθος 90cm
- (4) Προστασία ανάντη πρανούς. (Λιθορριπή από προϊόντα λατομείων)
- (5) Προστασία κατάντη πρανούς. (Επεξεργασμένες κροκάλες ποταμού). Μέγεθος 60cm
- (6) Βάση δρόμου στέψης. (Θραυστός βράχος)
- (7) Υλικά εκσκαφών τυχασίας διαβάθμισης

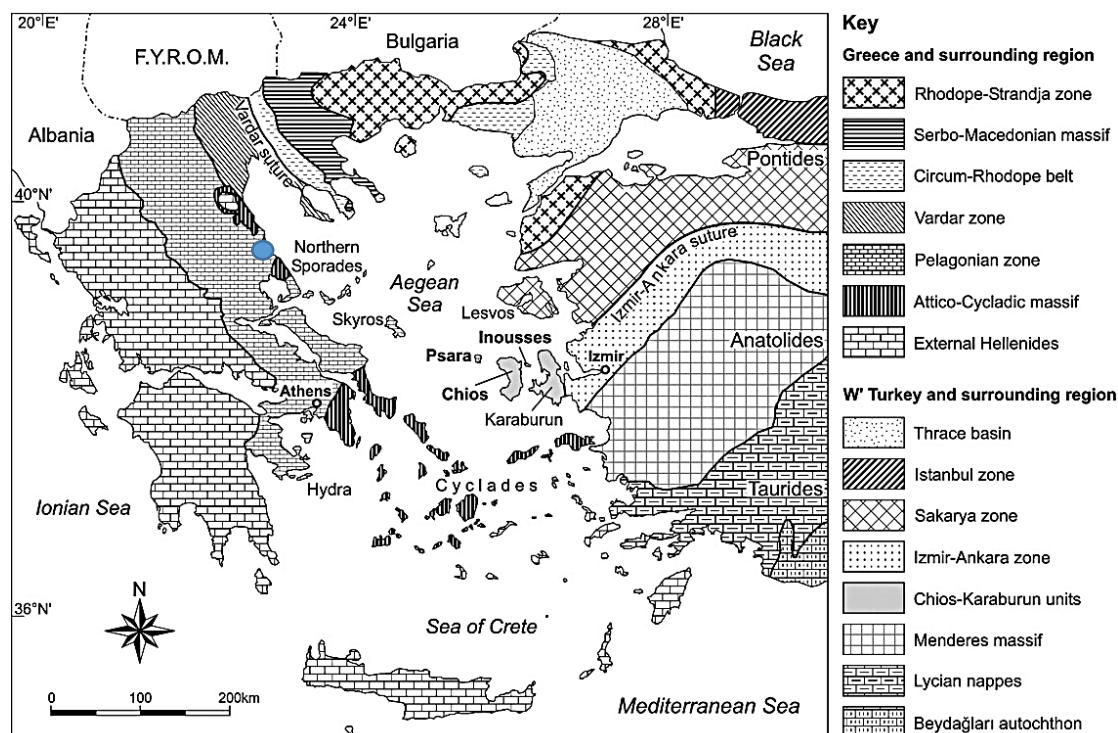
Σχήμα 4: Διατομή φράγματος Ιλαρίωνα στον ποταμό Αλιάκμονα (Θ. Μακεδών, παρουσιάσεις Π.Μ.Σ. Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ, ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ, ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΑΓΙΟΚΑΜΠΟΥ

3.1 Γεωλογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής του Αγιοκάμπου

Η Θεσσαλία ανήκει στην Πελαγονική ζώνη, η οποία ανήκει στις εσωτερικές Ελληνίδες ζώνες οι οποίες περιέχουν τα εσωτερικά τόξα των Ελληνίδων οροσειρών, τα οποία βρίσκονται δυτικά από την Ελληνική ενδοχώρα των μαζών Ροδόπης και Σερβομακεδονικής. Οι εσωτερικές Ελληνίδες υπέστησαν τη δράση της πρώιμης ορογενετικής περιόδου Άνω Ιουρασικού- Κάτω Κρητιδικού, η οποία πτύχωσε και ανέδυσε προσωρινά τις οροσειρές των ζωνών αυτών. Η ανάδυση και χέρσευση πραγματοποιήθηκε στο Κάτω Κρητιδικό και στη συνέχεια, ακολούθησε στο Μέσο-Άνω Κρητιδικό η επίκληση της θάλασσας η οποία απόθεσε ιζήματα με ασυμφωνία πάνω στα ήδη υπάρχοντα πετρώματα και συχνά παρουσίαζε σαν πρώτο επικλυσιογενή σχηματισμό το κροκαλοπαγές βάσης. Μετά το Κρητιδικό στις αρχές του Τριτογενούς συντελείται η τελική ορογενετική δράση, με πτύχωση και ανάδυση των Εσωτερικών ζωνών. Στις εσωτερικές ζώνες ανήκουν η Περιοδοπική ζώνη, η ζώνη Αξιού, η Πελαγονική ζώνη, η Αττικο-Κυκλαδική ζώνη και η Υποπελαγονική ζώνη (Μουντράκης, 2010).

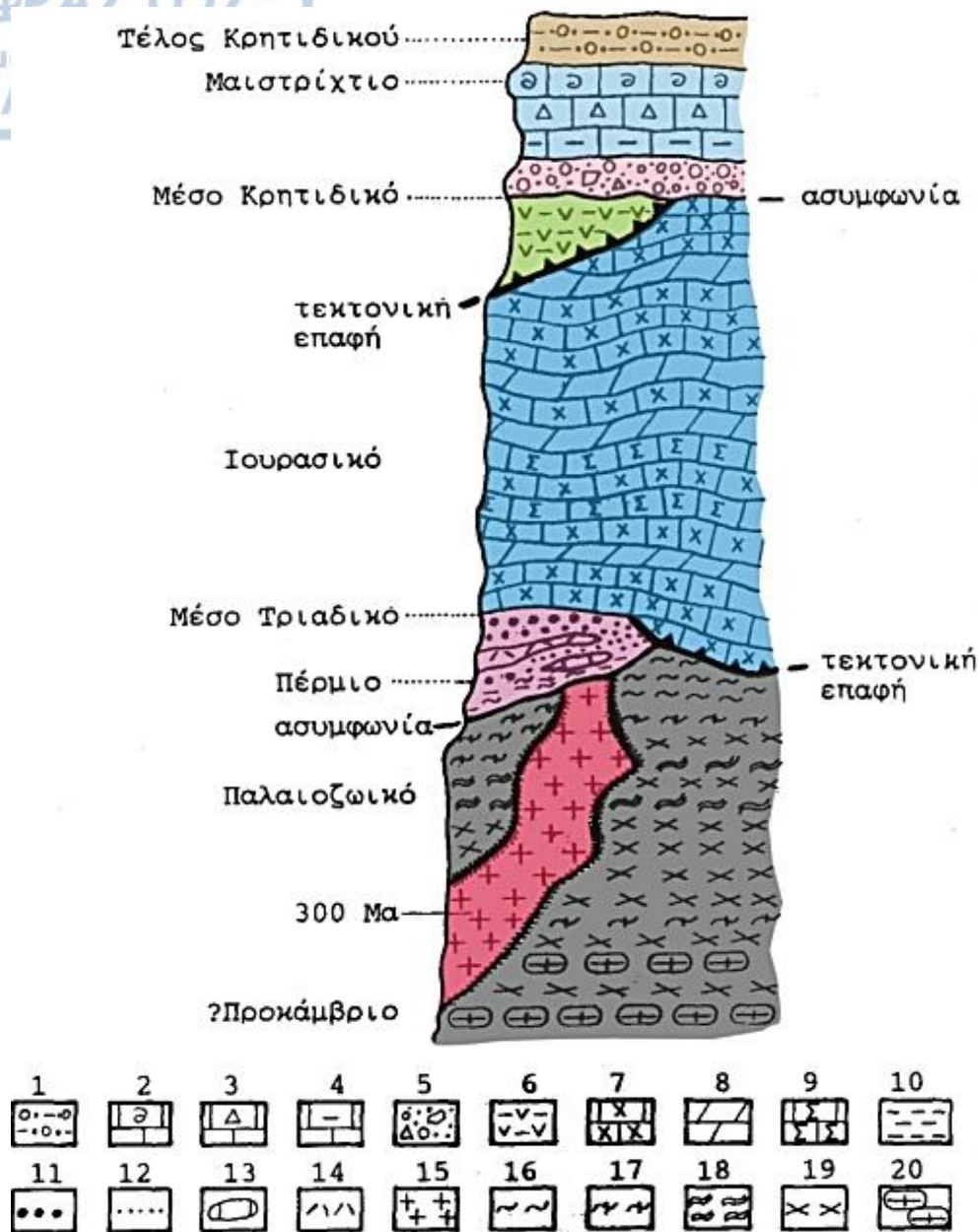


Σχήμα 5: Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών(τροποποιημένο από Jacobshagen 1986; Okay et al. 1994, 2001). Η περιοχή έρευνας σημειώνεται με τον κύκλο.

Η Πελαγονική ζώνη συγκροτείται από το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο, τους γνευσιωμένους γρανίτες, τα ημιμεταμορφωμένα Περμο-Τριαδικά πετρώματα, τα δύο ανθρακικά καλύμματα Τριαδικού-Ιουρασικού, τους οφειόλιθους και τα Άνω-Κρητιδικά επικλυσιογενή ιζήματα.

Τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα της Πελαγονικής του υπόβαθρου έχουν πολύ μεγάλη εξάπλωση στο χώρο και αποτελούν το κύριο δομικό στοιχείο της ζώνης. Το υπόβαθρο αυτό δεν είναι ενιαίο και ομογενές σε όλες τις περιοχές της ζώνης, καθώς αποτελείται από πολλές ενότητες πετρωμάτων οι οποίες εμφανίζονται ως αλληπάλληλα τεκτονικά λείπια. Επιπλέον μέσα στα πετρώματα αυτά παρεμβάλλονται μεγάλη πλουτωνικοί όγκοι. Πρόκειται για γρανίτες και χαλαζιακούς μονζονίτες. Πάνω στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο και τους γρανιτικούς όγκους, λαμβάνει χώρα μία μετα-ηφαιστειοϊζηματογενής σειρά, η οποία αποτελείται από παλιά ιζήματα, κυρίως κλαστικά και ηφαιστειακά που αργότερα μεταμορφώθηκαν. Πάνω στην μετα-ηφαιστειοϊζηματογενής σειρά έχουμε την τοποθέτηση των ανθρακικών καλυμμάτων Τριαδικού-Ιουρασικού. Πρόκειται για δύο χωριστά ανθρακικά καλύμματα που αποτέθηκαν στο ανατολικό και δυτικό περιθώριο της Πελαγονικής ζώνης κατά το Τριαδικό-Ιουρασικό. Το Δυτικό κάλυμμα είναι αυτόχθονο καθώς αποτέθηκε πάνω στα μετακλαστικά ιζήματα Περμίου-Κάτω Τριαδικού, από το Μέσο Τριαδικό μέχρι το Άνω Ιουρασικό. Το ανατολικό ανθρακικό κάλυμμα είναι πάρα-αυτόχθονο καθώς αποτελεί και στο ανατολικό περιθώριο της Πελαγονικής προς τη ζώνη Αλμωπίας και αργότερα επωθήθηκε προς δυτικά πάνω στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο. (Μουντράκης,2010).

Ακόμη παρατηρούνται σημαντικές οφειολιθικές μάζες στην Πελαγονική, τοποθετημένες κυρίως στα δύο περιθώρια της ζώνης. Οι οφειόλιθοι αυτοί είναι αλλόχθονοι, προέρχονται από τις δύο ωκεάνιες περιοχές των ζωνών Αξιού και Υποπελαγονικής και επωθήθηκαν πάνω στα Τριαδικοϊουρασικά ανθρακικά καλύμματα των δύο Πελαγονικών περιθωρίων. Τέλος μετά την ανάδυση των Εσωτερικών ζωνών στην Άνω Ιουρασική-Κάτω Κρητιδική ορογένεση και κατ επέκταση την χέρσευση, είχαμε ως γνωστόν την επίκλυση της θάλασσας στο Μέσο-Άνω Κρητιδικό, όπου τα ιζήματα της τοποθετήθηκαν με ασυμφωνία πάνω στα προϋπάρχοντα ανθρακικά πετρώματα τα οποία είχαν πτωχωθεί στην ορογενετική περίοδο.(Σχήμα 2), (Μουντράκης,2010).

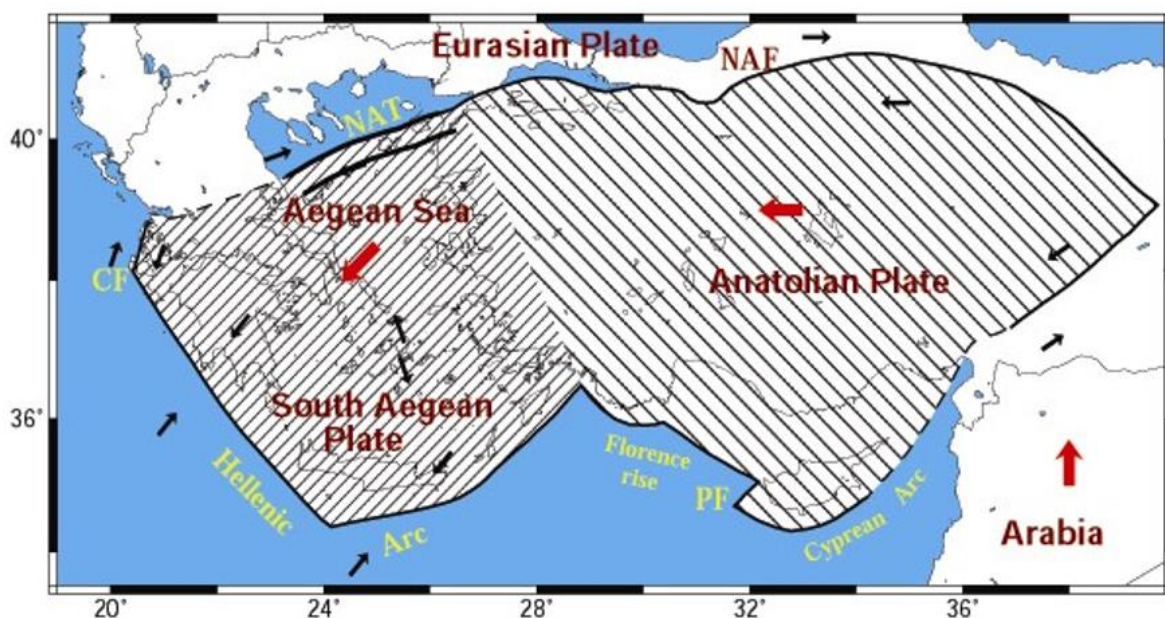


Σχήμα 6: Συνοπτική λιθοστρωματογραφική-τεκτονική στήλη της Πελαγονικής ζώνης. (1-5):

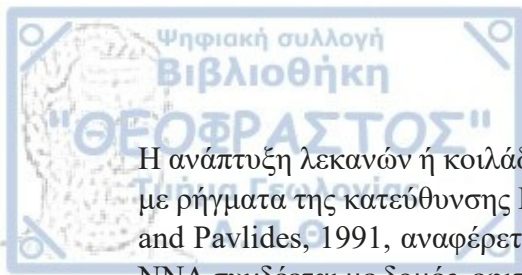
Επικλυσιογενή ιζήματα Μέσου-Ανω Κρητιδικού. 1: Φλύσχης Άνω Μαιστριχτίου-Κάτω Παλαιοκαίνου. 2: ασβεστόλιθος Μαιστριχτίου, 3: μι-κρο-λατυποπαγείς ασβεστόλιθοι, 4: μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, 5: κροκαλο-λα-τυ-ποπαγή της βάσης, 6: οφειόλιθοι και συνοδά πελαγικά ιζήματα, (7-9): πετρώματα των δύο ανθρακικών καλυμμάτων Τριαδικού-Ιουρασικού, 7: κρυ-σταλ-λικοί ασβεστόλιθοι και μάρμαρα, 8: δολομίτες, 9: σιπολίτες, (10-14): πετρώματα της μετακλαστικής σειράς Περμίου - Κάτω Τριαδικού, 10: μετά- πελίτες, φυλλίτες, 11: χαλαζιακά μετά-κροκαλοπαγή, 12: μετά- ψαμμίτες, μετά-αρκόζες, 13: φακοί ασβεστόλιθων, 14: μετά- ρυόλιθοι, μετά-τόφφοι, 15: γνευ-σιωμένοι γρανίτες Άνω Λιθανθρακοφόρου, (16-20): πετρώματα του κρυσταλ-λοσχιστώδους υποβά-θρου Παλαιοζωικής ή και προ · Κάμβριας ηλικίας, 16: σχιστόλιθοι (χλωριτικοί, μαρμαρυγιακοί, αμφιβολιτικοί, επιδοιτικοί), 17: διμαρμαρυγιακοί - γρανατούχοι σχιστόλιθοι, 18: αμφιβολίτες, 19: γνεύσιοι, 20: οφθαλμογνεύσιοι. (Mountrakis 2010)

3.2 Σεισμοτεκτονικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής

Η περιοχή που μελετάμε, βρίσκεται βόρεια της Τάφρου του Βορείου Αιγαίου που αποτελεί την συνέχεια προς τα δυτικά του Ρήγματος της Βόρειας Ανατολίας (Papazachos et al., 1998). Η κατάδυση της πλάκας της ανατολικής Μεσογείου κάτω από το Αιγαίο είναι συνδεδεμένη με την κίνηση προς βορρά της Αφρικανικής λιθосφαιρικής πλάκας, καθώς και τη γένεση σεισμών ενδιάμεσου βάθους στο νότιο Αιγαίο (Papazachos and Comninakis (1970, 1971)). Η βόρεια κίνηση της Αραβικής λιθосφαιρικής πλάκας, ωθεί προς τα δυτικά την μικρότερη πλάκα της Ανατολίας, κατά μήκος του ρήγματος της βόρειας Ανατολίας McKenzie (1970, 1972, 1978). Στην περιοχή του Αιγαίου, εξαιτίας της εσωτερικής παραμόρφωσης της περιοχής, έρχεται να προστεθεί μία ακόμη κίνηση με διεύθυνση Β–Ν. Συνεπώς η τελική κίνηση στο Αιγαίο έχει διεύθυνση ΒΑ–ΝΔ, με αποτέλεσμα να επικρατούν στο βόρειο Αιγαίο δεξιόστροφες διαρρήξεις οριζόντιας μετατόπισης με βορειοανατολική παράταξη και στην υπόλοιπη οπισθότοξη περιοχή κανονικές διαρρήξεις με διεύθυνση του άξονα μέγιστου εφελκυσμού Β–Ν. Το νότιο όριο του νοτίου Αιγαίου περιλαμβάνει μικρής γωνίας κλίσης ανάστροφα ρήγματα τα οποία συνδέονται με τη γένεση επιφανειακών σεισμών κατά μήκος της Ελληνικής Τάφρου. Η μέση διεύθυνση της σεισμικής ολίσθησης κατά μήκος αυτών των ρηγμάτων, δείχνουν μία νοτιοδυτική διεύθυνση κίνησης της πλάκας του Αιγαίου σε σχέση με την Ευρωπαϊκή λιθосφαιρική πλάκα. Η πλάκα της Ανατολίας, κινείται προς τα Δυτικά κατά μήκος του Ρήγματος της Βόρειας Ανατολίας, σε σχέση με την Ευρωπαϊκή λιθосφαιρική πλάκα, με μία μέση ταχύτητα ίση περίπου με $\sim 24 \text{ mm/yr}$ η οποία συνοδεύεται με επιπλέον παραμόρφωση $\sim 11 \text{ mm/yr}$ διεύθυνσης Β–Ν στο Αιγαίο, με αποτέλεσμα η συνολική ΝΔ κίνηση του νοτίου Αιγαίου σε σχέση με την Ευρώπη να είναι ίση με $\sim 41 \text{ mm/yr}$. (Papazachos and Kiratzi, 1996).



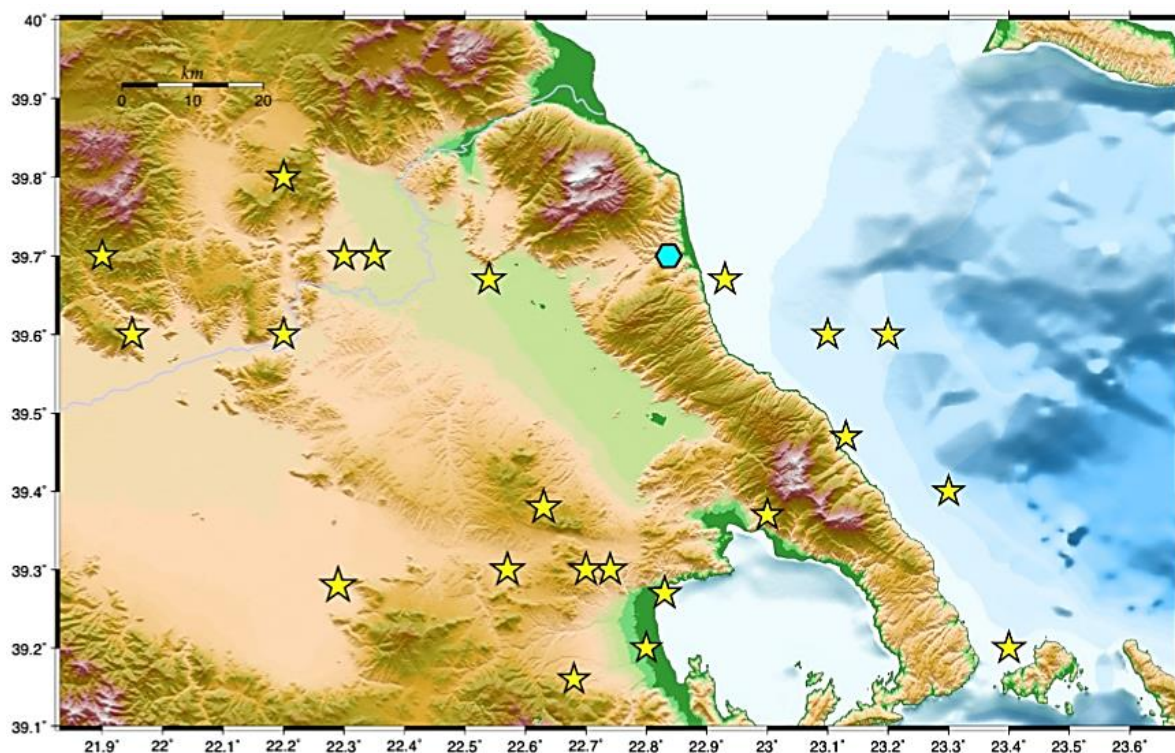
Σχήμα 7: Κύριες σεισμοτεκτονικές ιδιότητες του ευρύτερου χώρου της ανατολικής Μεσογείου (σύμφωνα με Papazachos, 1999 and McClusky et al., 2000).



Η ανάπτυξη λεκανών ή κοιλάδων στην περιοχή της Θεσσαλίας ξεκίνησε στο Μειόκαινο με ρήγματα της κατεύθυνσης BBA-NNΔ και A-Δ (Stamatis and Migkiros, 2004, Caputo and Pavlides, 1991, αναφέρεται Marinos V. et al.,2013). Η κύρια παραμόρφωση BBA-NNΔ συνδέεται με δομές, επιπτεύσεις και ρήγματα και η δευτερεύουσα A-Δ με ρήγματα κατεύθυνσης. Χαρακτηριστικό της τεκτονικής στην περιοχή που μελετήθηκε είναι η ύπαρξη κοιλοτήτων της κατεύθυνσης A-Δ εγκάρσια προς τις κατευθύνσεις της κοιλάδας των Τεμπών και της λεκάνης Ανάβρα-Αγιά, που σχηματίζουν τις λεκάνες των λιμναίων και ηπειρωτικών ιζημάτων. Το σύστημα ρηγμάτων A-Δ, παρά το γεγονός ότι είναι δευτερεύον στην περιοχή, αναπτύσσεται σε μεγάλο βαθμό, σχηματίζοντας μορφολογικά διακριτό ανάγλυφο. Στη ζώνη θεμελίωσης του φράγματος εκτιμάται ότι η ζώνη της κοίτης του ποταμού ορίζεται από δύο ρήγματα που επέτρεψαν τον σχηματισμό των απότομων πλαγιών της περιοχής. Η δράση αυτών των δύο ρηγμάτων συνέβαλε σε μια τοπική διάρρηξη των κροκαλοπαγών, που συναντήθηκαν στις διερευνητικές γεωτρήσεις. Αυτό το νεοτεκτονικό σκηνικό είναι επίσης ο λόγος της κλίσης των στρώσεων των νεογενών.(από Marinos V. et al.,2013)

3.3 Σεισμικότητα της ευρύτερης περιοχής

Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται οι ισχυρότεροι σεισμοί ($M > 6.0$), οι οποίοι λάβανε χώρα στον ευρύτερο χώρο της εξεταζόμενης περιοχής από το 1500 μ.Χ. έως σήμερα (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003), και τα επίκεντρά τους εμφανίζονται στον χάρτη του σχήματος 4. Παρόλο που τα δεδομένα δεν είναι πλήρη, καθώς, δεν είναι γνωστοί όλοι οι σεισμοί που έγιναν στο συγκεκριμένο χώρο κατά το χρονικό αυτό διάστημα, παρατηρούμε μεγαλύτερη συγκέντρωση επικέντρων σεισμών, με τους σεισμούς αυτούς να είναι οι πιο ισχυροί στο νότιο περιθώριο της Θεσσαλικής λεκάνης. Ακριβώς στο βόρειο περιθώριο της λεκάνης, παρατηρείται μία δεύτερη χωρική συγκέντρωση. Οι δύο αυτές συγκεντρώσεις υποδεικνύουν την δραστηριοποίηση των δύο ζωνών κανονικών ρηγμάτων, οι οποίες οριοθετούν το τεκτονικό αυτό βύθισμα.



Σχήμα 8: Οι ισχυρότεροι ($M > 6.0$, κίτρινοι αστερίσκοι) γνωστοί σεισμοί που έγιναν στην ευρύτερη περιοχή από το 1500 μ. Χ. μέχρι σήμερα. Η περιοχή έρευνας σημειώνεται με το εξάγωνο. (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003)

Πίνακας 1. Πληροφορίες για καταγεγραμμένους σεισμούς με $M > 6.0$ οι οποίοι έγιναν στην ευρύτερη περιοχή από το 1500 μ. Χ. μέχρι σήμερα (από Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003).

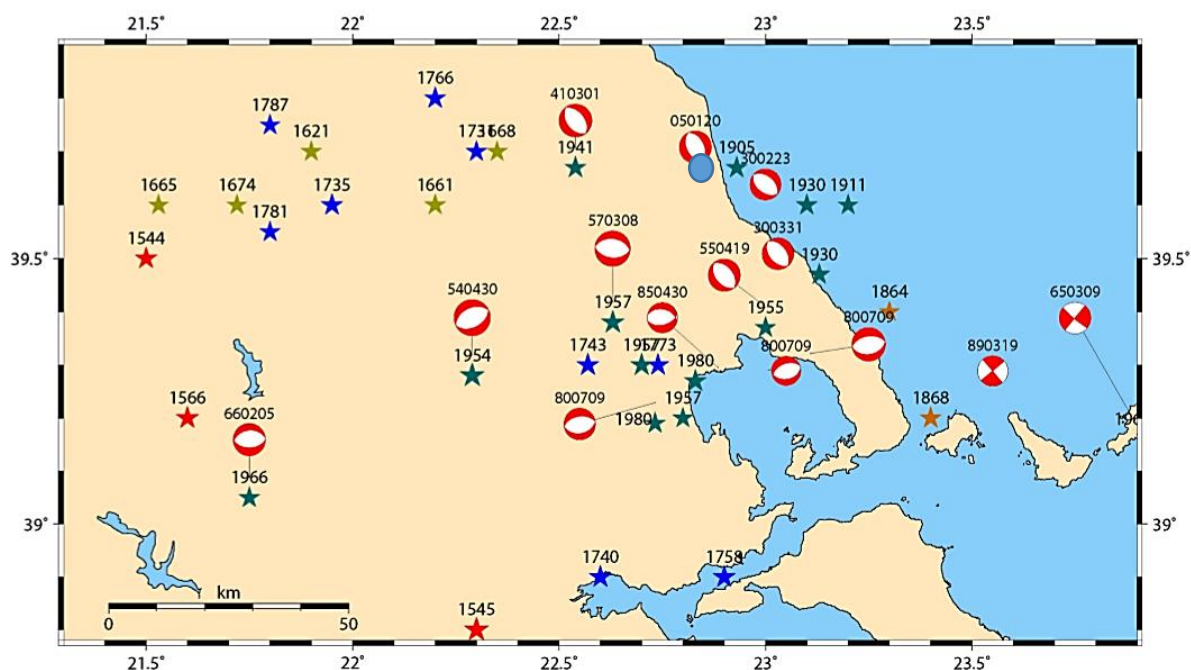
Έτος	Ημερομηνία	Χρόνος Γένεσης	Επίκεντρο		M	Μέγιστη Ένταση
			φ°_N	λ°_E		
1544	22 Απριλίου		39.50	21.50	6,4	VII, Πύλη
1545			38.80	22.20	6.8	IX, Λαμία
1566	11 Ιουλίου		39.20	21.60	6.4	VIII, Άγραφα
1621	6 Μαρτίου		39.50	21.90	6.0	VI, Μετέωρα
1661	30 Μαρτίου		39.50	22.10	6.2	Μετέωρα
1665	30 Οκτωβρίου		39.60	21.60	6.0	VI, Πύλη
1668	Αύγουστος		39.70	22.40	6.0	VII, Λάρισα
1674	25 Ιανουαρίου		39.40	21.90	6.0	VI, Λάρισα
1731			39.70	22.50	6.0	VII, Λάρισα
1735	1 Σεπτεμβρίου		39.40	21.80	6.4	VII, Μετέωρα
1740	4 Οκτωβρίου		38.90	22.60	6.6	VIII, Θερμοπύλες
1743	12 Φεβρουαρίου		39.40	22.60	6.6	VIII, Αλμυρός
1758	Μάιος		38.90	22.90	6.6	Μαλιακός Κόλπος
1766	9 Νοεμβρίου		39.80	22.30	6.1	VIII, Ελασσόνα
1773	15 Μαρτίου	08:	39.40	22.70	6.4	VIII, Αλμυρός
1781	8 Σεπτεμβρίου		39.60	22.40	6.2	VIII, Λάρισα
1787	19 Ιουνίου	03:	39.60	21.40	6.0	VII, Πύλη
1864	21 Οκτωβρίου		39.20	23.20	6.0	VII, Συκή (Μαγνησία)
1868	3 Οκτωβρίου		39.20	23.60	6.3	VIII, Σκιάθος
1905	20 Ιανουαρίου		39.67	22.93	6.2	X, Σκήτη (Μαγνησία)
1911	22 Οκτωβρίου	22:31:45	39.60	23.20	6.0	VII, Κεραμίδι (Μαγνησία)
1930	23 Φεβρουαρίου	18:19:12	39.60	23.10	6.0	VIII, Κεραμίδι (Μαγνησία)
1930	31 Μαρτίου	12:33:48	39.47	23.13	6.1	VIII, Πουρί (Μαγνησία)
1941	1 Μαρτίου	03:52:47	39.67	22.54	6.3	VIII, Λάρισα
1954	30 Απριλίου	13:02:36	39.28	22.29	7.0	IX+, Σοφάδες
1955	19 Απριλίου	16:47:19	39.27	23.00	6.2	VIII+, Λεχώνια
1957	8 Μαρτίου	12:21:13	39.38	22.63	6.8	IX+, Βελεστίνο
1965	9 Μαρτίου	17:57:54	39.16	23.89	6.1	IX, Πατητήρι (Αλόνησος)
1966	5 Φεβρουαρίου	02:01:45	39.05	21.75	6.2	IX, Λίμνη Κρεμαστών
1980	9 Ιουλίου	02:11:57	39.27	22.93	6.5	VIII+, Αλμυρός

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται οι πληροφορίες των μηχανισμών γένεσης των ισχυρών σεισμών με μέγεθος $M > 6.0$ οι οποίοι έγιναν στην περιοχή μελέτης από τις αρχές του 20ου αιώνα (Papazachos et al., 1998, Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003). Οι μηχανισμοί γένεσης προσδιορίστηκαν με ενόργανες καταγραφές και σύγχρονες μεθοδολογίες, ενώ για τον προσδιορισμό των σεισμών που έγιναν πριν από το διάστημα που υπήρχε αυτή η δυνατότητα προσδιορισμού, έχουν προταθεί μηχανισμοί γένεσης σε συμφωνία με περιγραφές που είναι διαθέσιμες για τις ιδιότητες της διάρρηξης (επιφανειακές

εμφανίσεις ρήγματος, μακροσεισμικές περιγραφές, κλπ.). Στο βόρειο Αιγαίο, οι μηχανισμοί γένεσης των σεισμών, συμφωνούν με τη δεξιόστροφη κίνηση οριζόντιας μετατόπισης η οποία επικρατεί στο χώρο αυτό. Στο ηπειρωτικό τμήμα της περιοχής επικρατούν κανονικές διαρρήξεις με διεύθυνση του μέγιστου άξονα εφελκυσμού B–N.

Πίνακας 2. Πληροφορίες για τους μηχανισμούς γένεσης ισχυρών σεισμών οι οποίοι έγιναν στην περιοχή της Θεσσαλίας κατά τον 20ο αιώνα (από Papazachos et al., 1998).

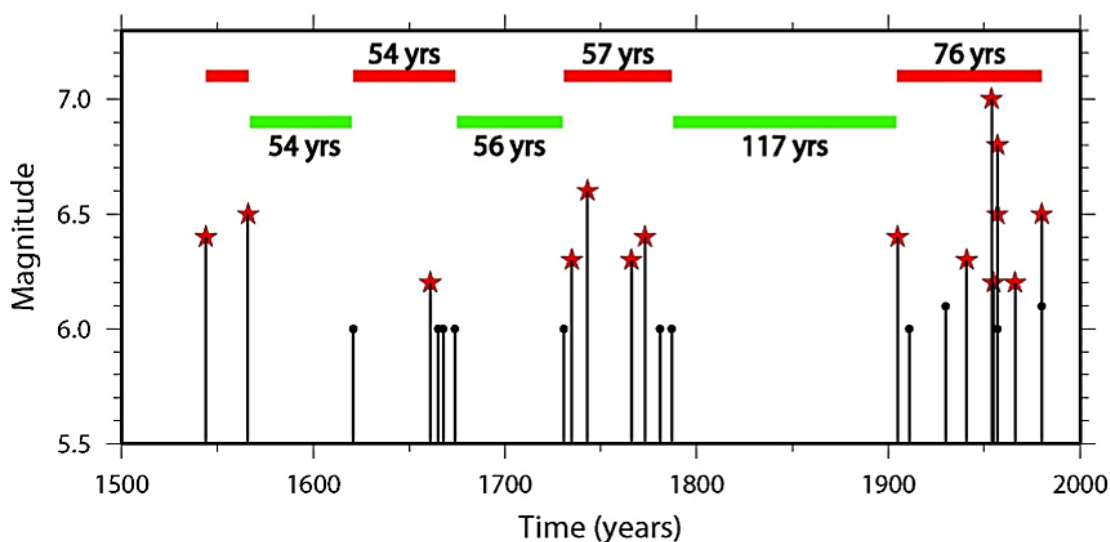
Ημερομηνία	Χρόνος Γένεσης	Γεωγρ. Πλάτος (φ° N)	Γεωγρ. Μήκος (λ° E)	M	Μηχανισμός γένεσης		
					ζ	θ	λ
1905, Jan. 20	02:32:30	39.670	22.930	6.2	313	43	-56
1911, Oct. 22	22:31:45	39.600	23.200	6.0	313	43	-56
1930, Feb. 23	18:19:12	39.600	23.100	6.0	313	43	-56
1930, Mar. 31	12:33:48	39.470	23.130	6.1	313	43	-56
1941, Mar. 1	03:52:47	39.670	22.540	6.3	295	45	-80
1954, Apr. 30	13:02:36	39.280	22.290	7.0	285	43	-88
1955, Apr. 19	16:47:19	39.270	23.000	6.2	267	45	-90
1957, Mar. 8	12:14:14	39.300	22.700	6.5	290	45	-88
1957, Mar. 8	12:21:13	39.380	22.630	6.8	290	45	-88
1957, Mar. 8	23:35:09	39.200	22.800	6.0	290	45	-88
1966, Feb. 5	02:01:45	39.050	21.750	6.2	90	50	-86
1980, July 9	02:11:57	39.283	23.110	6.5	82	43	-90
1980, July 9	02:35:52	39.190	22.733	6.3	82	43	-90



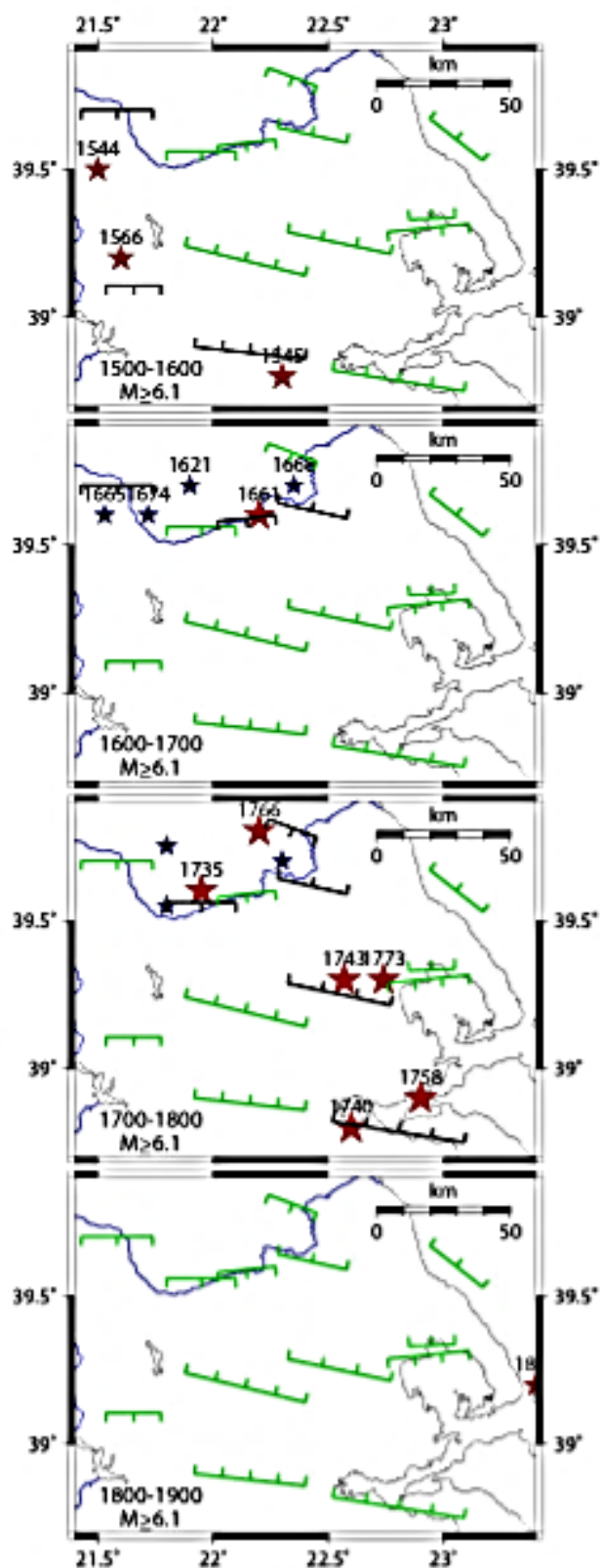
Σχήμα 9. Χωρική κατανομή των ισχυρών $M > 6.0$ σεισμών οι οποίοι έγιναν στην περιοχή από το 1500 μ.Χ. και μηχανισμοί γένεσης ισχυρών σεισμών που έγιναν κατά τον 20° αιώνα (Papazachos et al., 1998; Παπαζάχος και Παπαζάχου, 2003). Η περιοχή έρευνας σημειώνεται με τον μπλε κύκλο.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, υπάρχουν πληροφορίες για σεισμούς με $M \geq 6.0$ από τον 16ο αιώνα. Συμπεραίνουμε λοιπόν, πως υπάρχουν περίοδοι έντονης σεισμικής δραστηριότητας οι οποίες εναλλάσσονται με περιόδους σχετικής σεισμικής ησυχίας, όπως φαίνεται πολύ έντονα κατά τον 19ο αιώνα, όπου έχουμε ελάττωση της σεισμικής δραστηριότητας και κατά το μέσο του 20ου αιώνα, όπου έχουμε έντονη επαναδραστηριοποίηση (Papazachos, 1989; Papadimitriou & Karakostas, 2003). Εξαιτίας του φαινομένου αυτού, εξετάστηκε εάν αυτή η εναλλαγή επαναλήφθηκε και στο παρελθόν, με διερεύνηση της χωρο-χρονικής κατανομής των σεισμών αυτών.

Στο Σχήμα 6 σκιαγραφείται η χρονική κατανομή των σεισμών με $M > 6.0$ που έγιναν από το 1500 (από Papadimitriou & Karakostas, 2003). Με αστέρια απεικονίζονται οι σεισμοί με $M > 6.2$, ενώ με κύκλους οι σεισμοί με $6.0 < M < 6.2$. Αυτή η διάκριση έγινε διότι, οι εστιακές παράμετροι των ισχυρότερων σεισμών έχουν προσδιορισθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια, απ' ό,τι τους λιγότερο ισχυρούς σεισμούς. Έτσι, παρατηρήθηκαν τέσσερις ενεργές περιόδους οι οποίες εναλλάσσονται με τρεις περιόδους σχετικής ησυχίας. Η πρώτη περίοδος σεισμικής ησυχίας η οποία διήρκεσε 54 έτη (1567–1620) ακολουθήθηκε από μία περίοδο έντονης δραστηριότητας διάρκειας επίσης 54 ετών (1621–1674), με ένα σεισμό $M=6.2$ και τέσσερις σεισμούς με $M \sim 6.0$. Ένα χρονικό κενό μεταξύ 1621 και 1661 πιθανώς να είναι βέβαιο ή μπορεί και να αποδοθεί σε έλλειψη πληροφορίας για σεισμούς με $M \sim 6.0$. Μία δεύτερη περίοδος σεισμικής ησυχίας 56 ετών (1675–1730) προηγήθηκε μιας περιόδου έντονης δραστηριότητας διάρκειας 57 ετών (1731–1787) κατά την οποία έγιναν τέσσερις σεισμοί με $M > 6.2$ και τρεις με $M \sim 6.0$. Μία πλέον μακρόχρονη περίοδος σεισμικής ησυχίας η οποία διήρκεσε 117 έτη (1788–1904) παρατηρείται πριν την τελευταία περίοδο έντονης σεισμικής δράσης (1905–1980).



Σχήμα 10. Μεγέθη σεισμών σε συνάρτηση με το χρόνο. Η εναλλαγή ενεργών και ανενεργών περιόδων καθώς και η διάρκειά τους δείχνεται με παχιές γραμμές και δίνεται σε έτη στο πάνω τμήμα του σχήματος (από Papadimitriou & Karakostas, 2003).



Σχήμα 11. Χρονική κατανομή της σεισμικής δραστηριότητας κατά τους τελευταίους πέντε αιώνες και τα ρήγματα που συνδέονται με αυτούς. Τα αστέρια δείχνουν σεισμούς με $M \geq 6.2$, ενώ οι κύκλοι αυτούς με $6.0 < M < 6.1$ (από Papadimitriou & Karakostas, 2003).

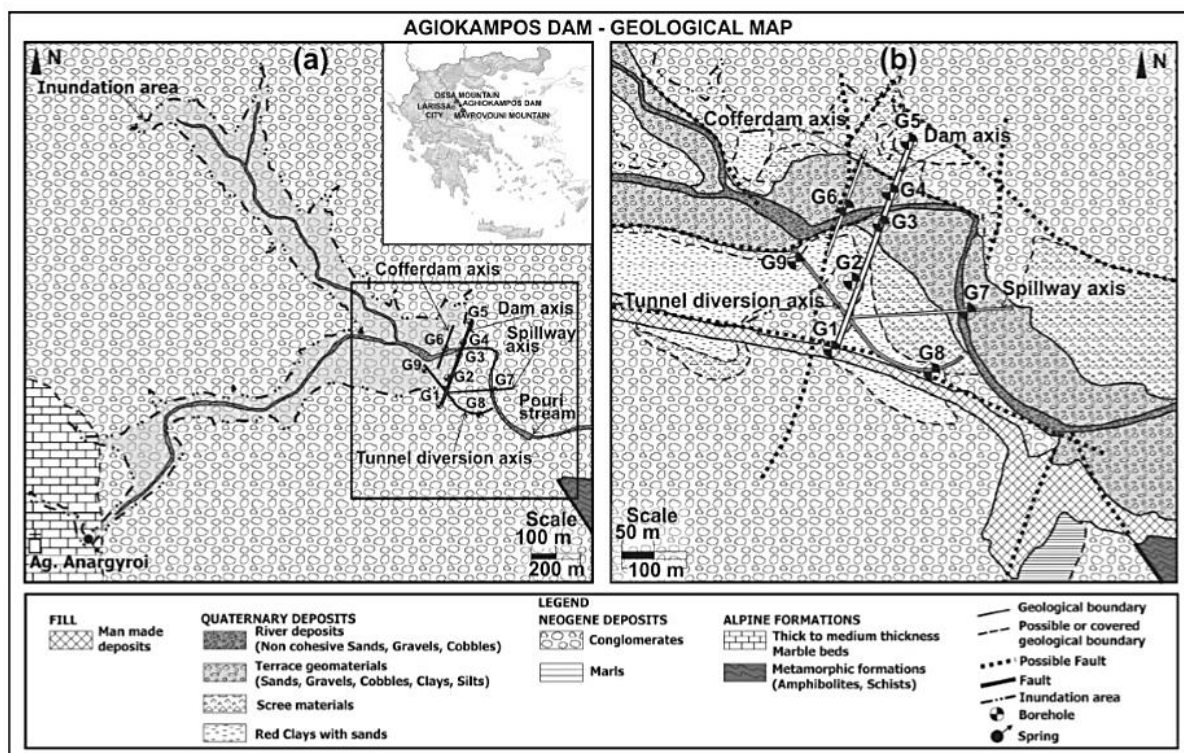
Το Σχήμα 7 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των σεισμών στις τέσσερις περιόδους έντονης σεισμικής δραστηριότητας (από Papadimitriou & Karakostas, 2003). Με μαύρο χρώμα απεικονίζονται τα ρήγματα που συνδέονται με την γένεση σεισμών, ενώ με πράσινο τα ανενεργά ρήγματα. Κατά τον 16ο αιώνα έγιναν δύο σεισμοί στο δυτικό τμήμα της περιοχής, ακολούθησαν 54 έτη σεισμικής ησυχίας, και μία έντονη σεισμική δραστηριότητα πραγματοποιήθηκε στο βόρειο τμήμα της περιοχή με πέντε σεισμούς με $M > 6.0$ σε ένα χρονικό διάστημα 54 ετών. Στη συνέχεια ακολούθησε μία δεύτερη περίοδος σεισμικής ησυχίας (1675–1730) και αργότερα μία νέα περίοδος επαναδραστηριοποίησης η οποία κράτησε για 57 έτη με επτά σεισμούς με $M > 6.0$, οι οποίοι συνδέονται με ρήγματα του βόρειου και του νότιου περιθωρίου της λεκάνης. Το διάστημα 1788–1904, όλη η περιοχή παρέμεινε ανενεργή και η έντονη δραστηριότητα του 20ου αιώνα κατανεμήθηκε στο ανατολικό και το νότιο τμήμα της. Παρότι οι αβεβαιότητες στον καθορισμό των εστιακών παραμέτρων των σεισμών είναι υπαρκτές, ιδιαίτερα πριν την ενόργανη περίοδο, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι: (Papadimitriou & Karakostas, 2003).

- Οι περίοδοι έντονης σεισμικής δραστηριότητας εναλλάσσονται με περιόδους σεισμικής ησυχίας,
- Τα δύο τμήματα του νότιου περιθωρίου ενεργοποιήθηκαν δύο φορές κατά το χρονικό διάστημα των πέντε αιώνων
- Οι σεισμοί στο νότιο τμήμα είναι ισχυρότεροι (μέχρι $M 7.0$) από αυτούς στο βόρειο τμήμα (μέχρι $M 6.4$).

3.4 Γεωλογικές συνθήκες της στενής περιοχής του φράγματος

Ο Αγιόκαμπος ανήκει διοικητικά στον Δήμο Αγιάς, όπου γεωτεκτονικά ανήκει στη ζώνη της Πελαγονικής. Νεογενείς σχηματισμοί καλύπτουν σχεδόν ολόκληρη την μελετώμενη περιοχή, οι οποίοι αποτελούνται από κροκαλολατυποπαγή, με ακανόνιστη κατακόρυφη δομή, αν και αναπτύσσεται συχνά στρώση. Σχιστόλιθοι, ψαμμίτες και μάρμα, συναντώνται στο περιβάλλον αυτό, με τη μορφή φακών ή ακανόνιστων βάσεων. Το πάχος τους ξεπερνά τα 300m. Συνεπώς το υλικό πλήρωσης χαρακτηρίζεται ως αμμώδης και μόνο σε ορισμένα μέρη μπορεί να χαρακτηριστεί ως αργιλώδης. Οι καταθέσεις έχουν σημειώσει σημαντική τεκτονική ανύψωση και έχουν μονοκλινική δομή. (Marinos V. et al., 2013)

Οι αποθέσεις των αναβαθμίδων αναπτύσσονται κατά 15-20 μέτρα υψηλότερα από την παρούσα κοίτη και περιλαμβάνουν κυρίως άμμους, βότσαλα, χαλίκια με μερικούς ιλυώδης αργίλους. Το πάχος τους φτάνει τα 7-8 μέτρα. Τα υλικά κορημάτων και η ελλούβια ζώνη των κροκαλοπαγών καλύπτουν τις πλαγιές και περιλαμβάνουν χαλαρά υλικά αργίλου, άμμου και βότσαλα και το πάχος τους μπορεί να φτάσει τα 5 μέτρα. Στις πρόσφατες καταθέσεις ποταμών συγκαταλέγονται χαλαρά υλικά, τα οποία περιλαμβάνουν βότσαλα, χαλίκια κυρίως από μάρμαρα και πυριγενή πετρώματα και άμμο. (Marinos V. et al., 2013)



Σχήμα 12.(α) Γεωλογικός χάρτης κατά μήκος της περιοχής του ταμιευτήρα του φράγματος του Αγιόκάμπου, **(β)** Γεωλογικός χάρτης κατά μήκος του άξονα του φράγματος του Αγιόκάμπου. (Marinos V. et al., 2013)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Τεχνικογεωλογικές συνθήκες

4.1 Μεθοδολογία αξιολόγησης τεχνικογεωλογικών συνθηκών

Η περιοχή στην οποία θα κατασκευαστεί το φράγμα, αποτελείται από πρόσφατες ιζηματογενείς αποθέσεις, δηλαδή από τεταρτογενείς ηλικίας υλικά κορημάτων και ποταμοχειμάρια υλικά (άμμοι, χαλίκια, άργιλοι), καθώς και νεογενείς αποθέσεις (σχιστόλιθοι, κροκαλοπαγή, λατυποπαγή). Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται μία καταγραφή των τεχνικογεωλογικών συνθηκών, με σκοπό να προσδιοριστούν και να αξιολογηθούν τα χαρακτηριστικά του εδάφους, ώστε να καταλήξουμε σε μια επιλογή τύπου φράγματος. Για τον σκοπό αυτόν πραγματοποιήθηκαν γεωτεχνικές ταξινομήσεις, κατά R.Q.D., καθώς και επι τόπου δοκιμές όπως δοκιμές υδροπερατότητας και πρότυπη δοκιμή διείδυσης. Οι ταξινομήσεις κατά S.P.T., σε διάφορες θέσεις, σε συνδυασμό με την ολική πυρηνοληψία T.C.R. και τις ταξινομήσεις κατά R.Q.D. φανερώνουν τύπους εδάφους διαφορετικής δομής και πυκνότητας, υλικά με φτωχές γεωτεχνικές ιδιότητες, καθώς και την λεπτόκοκκη φύση του υλικού. Κατά κύριο λόγο, στα υγιή τμήματά του υλικού, βρίσκουμε μέσης έως μεγάλης πυκνότητας σχηματισμούς. Στα ελαφρώς αποσαθρωμένα τμήματα, το υλικό είναι ελαφρά έως μέτρια διακλασμένο, χαλαρά συνδεδεμένο καθώς και αποτελείται από χαμηλή αντοχή. Τα αποτελέσματα του υπολογισμού των μηχανικών χαρακτηριστικών για τις διάφορες τεχνικογεωλογικές ενότητες, θα καθορίσουν την επιλογή του κατάλληλου τύπου φράγματος, θα οδηγήσουν στον καθορισμό των γεωτεχνικών παραμέτρων για τη μετέπειτα εκτίμηση των καθιζήσεων και τέλος θα ακολουθήσει αξιολόγηση των διαφυγών μέσω αυτών των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων. Τέλος, έγιναν στατιστικές κατανομές του βαθμού κερματισμού της βραχώμαζας R.Q.D. και της περατότητας K, κατά μήκος και κατά βάθος του άξονα του φράγματος. Στις κατανομές αυτές εντοπίζονται ζώνες υποβαθμισμένων χαρακτηριστικών και παρουσιάζεται μια πλήρης περιγραφή των αποτελεσμάτων.

4.2 Τεχνικογεωλογικές ενότητες

Στην ενότητα αυτή, επιχειρείται να οριστούν οι τεχνικογεωλογικές ενότητες που εντοπίζονται στην περιοχή του άξονα του φράγματος. Ο διαχωρισμός των ενότητων, γίνεται με βάση το βαθμό αποσάθρωσης των μελών, το βαθμό κερματισμού τους και τη λιθολογία τους. Έτσι μπορεί να προκύψει διαχωρισμός σε μέλη τα οποία εμφανίζονται να έχουν τα ίδια ποιοτικά χαρακτηριστικά. Παρακάτω παρουσιάζονται οι τεχνικογεωλογικές ενότητες που συστήνουν την περιοχή του φράγματος. (Γεωλογική τομή, Παράρτημα 1)

Τεχνικογεωλογική ενότητα I

Στην ενότητα αυτή περιλαμβάνονται τα τμήματα του πυκνού έως πολύ πυκνού ανοιχτοκάστανου έως καστανού αργιλώδες αμμοχάλικου. Μπορούμε λοιπόν να θεωρήσουμε στην ενότητα αυτή, την παρουσία τεταρτογενών υλικών ,που τοποθετούνται στις δύο αναβαθμίδες του ποταμού και τα οποία βρίσκονται σε σχετικά μικρό βάθος από την επιφάνεια του εδάφους. Με βάση την τομή σε όλη την περιοχή που μελετάμε κοντά στην επιφάνεια του εδάφους βρίσκουμε τεταρτογενής αποθέσεις οι οποίες φτάνουν μέχρι και το βάθος των 19 μέτρων. Πιο συγκεκριμένα, το αργιλώδες αμμοχάλικο εμφανίζεται στην υπερκείμενη ζώνη και 2 γεωτρήσεων, τις Γ2 και Γ5 .Στην Γ2 γεώτρηση φτάνει μέχρι και το βάθος των 7.50 m ενώ στην Γ5 γεώτρηση φτάνει μέχρι βάθος 9.40 m. Οι τεταρτογενής αποθέσεις και αυτές της σειράς ερυθρών αργίλων, λαμβάνουν χώρα στο τμήμα από την χιλιομετρική θέση 120 έως 180 m, καθώς και 340 έως 470 m και αποτελούνται από άμμο, άργιλο και αργιλώδη αμμοχάλικο, τα όποια υλικά χαρακτηρίζονται από μέσης έως πολύ πυκνής πυκνότητας. Οι τιμές SPT είναι σχετικά χαμηλές έως μεσαίες και κυμαίνονται από 14 έως 28. Η περατότητα των σχηματισμών στο τμήμα όπου απαντώνται κυρίως άργιλοι είναι χαμηλή ενώ εκεί που αναπτύσσονται άμμοι και χάλικες, η περατότητα είναι προφανώς μεγαλύτερη.

Στη δεύτερη τεχνικογεωλογική ενότητα περιλαμβάνονται τα τμήματα των υλικών κορημάτων και ποταμοχειμάρριων υλικών. Τα τμήματα αυτά περιλαμβάνουν μέσης έως πολύ πυκνής πυκνότητας καστανότεφρο και καστανέρυθρο αμμοχάλικο και κροκάλες. Στα κατώτερα τμήματα του σχηματισμού συναντώνται σποραδικά λεπτές ενστρώσεις ιλύς και αργιλοϊλυόδους άμμου. Σε αυτήν την τεχνικογεωλογική ενότητα έχουμε την παρουσία τεταρτογενών υλικών που τοποθετούνται στον πυθμένα του ταμειυτήρα καθώς είναι όπως αναφέρθηκε και παραπάνω είναι υλικά κορημάτων και ποταμοχειμάρρια υλικά. Τα υλικά αυτά τα βρίσκουμε σε μικρό βάθος από την επιφάνεια του εδάφους. Πιο συγκεκριμένα τα υλικά αυτά εμφανίζονται στην υπερκείμενη ζώνη δύο γεωτρήσεων, των Γ3 και Γ4. Στην Γ3 γεώτρηση φτάνουν μέχρι το βάθος των 10 m ενώ αντίστοιχα στη Γ4 γεώτρηση φτάνουν μέχρι το βάθος των 12,2 m. Οι τεταρτογενείς αποθέσεις λαμβάνουν χώρα στο τμήμα από την χιλιομετρική θέση 200 έως 300 μέτρα και αποτελούνται από αμμοχάλικο και κροκάλες, τα όποια υλικά χαρακτηρίζονται από μέσης έως πολύ πυκνής πυκνότητας. Οι τιμές SPT είναι σχετικά χαμηλές έως μεσαίες και κυμαίνονται από 20 έως 42. Η περατότητα των σχηματισμών στο τμήμα που αναπτύσσονται άμμοι και χάλικες είναι μεγάλη. Οι επιτόπου δοκιμές περατότητας όπου λάμβανε μέρος στους σχηματισμούς αυτούς είναι η δοκιμή σταθερού φορτίου-LeFranc η οποία συνίσταται σε εδάφη καλής περατότητας.

Τεχνικογεωλογική ενότητα III

Στην ενότητα αυτή τοποθετείται ο ελαφρά αποσαθρωμένος καστανός έως καστανοκύανος ψαμμιτοπηλίτης, Νεογενούς προέλευσης. Ο σχηματισμός αυτός εμφανίζεται υπό μορφή χαμηλής διαγένεσης και χαμηλής αντοχής, καθώς και ημιβραχώδης έως βραχώδης. Τον συναντάμε στις γεωτρήσεις Γ1 και Γ2 και εμφανίζεται σε μορφή φακού. Η δοκιμή υδροπερατότητας που πραγματοποιήθηκε σε αυτού του είδους τον σχηματισμό είναι Lugeon και η δοκιμή αυτή πραγματοποιήθηκε στην γεώτρηση Γ1. Τα αποτελέσματα από την δοκιμή υδροπερατότητας είναι για βάθος 11-13 m, $Lugeon=2.5 \times 10^{-7}$ και για βάθος 33.5-39.5 m, $Lugeon=1.6 \times 10^{-7}$. Μπορούμε να συμπεράνουμε λοιπόν, πως από την στιγμή που το ύψος του φράγματος είναι >30m τότε, το υπέδαφος θεωρείται στεγανό, όταν από τις επιτόπου δοκιμές προκύψουν τιμές διαπερατότητας <1-2 (UL). Συνεπώς μέχρι το βάθος των 13 m το υπέδαφος είναι διαπερατό, ενώ κάτω από το βάθος αυτό είναι στεγανό.

Στην ενότητα αυτή τοποθετείται το ημιβραχώδες έως τοπικά βραχώδες καστανότεφρο, πολύμεικτο, χαμηλής διαγένεσης και αντοχής, ψαμμιτοπηλινικό λατυποκροκαλοπαγές. Οι αποθέσεις αυτές έχουν ηλικία Νεογενούς και υπάρχουν τμήματα του σχηματισμού αυτού κατά μήκος του άξονα του φράγματος τα οποία είναι ελαφρά έως πολύ ελαφρά αποσαθρωμένα και χαλαρά συνδεδεμένα. Τέτοιοι ορίζοντες εμφανίζονται σε όλο το μήκος του άξονα του φράγματος και δείγματα του έχουν παρθεί και από τις 5 γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν. Παρακάτω στον Πίνακα 1, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών υδροπερατότητας που διεξάχθηκαν για τον σχηματισμό αυτό, καθώς και τα χαρακτηριστικά των ζωνών αυτών.

Πίνακας 1: Τιμές R.Q.D. σε σχέση με το βάθος και δοκιμές υδροπερατότητας σε σχέση με το βάθος.

Γεωτρήσεις	R.Q.D.(βάθος)	Δοκιμή Υδροπερατότητας
Γ1	54%(17,6-19,4 m) 78%(19.4-20.6 m) 25%(28-28.5 m) 27%(28.5-29 m) 40%(29.7-31 m) 13%(32.2-32.8 m) 14%(32.8-33.7 m) 64%(34.6-36.1 m) 28%(36.1-38.8 m)	9.98×10^{-6} Maag (3.3-7 m) 1.69×10^{-6} Maag (7-11 m) 2.5×10^{-7} Lugeon (11-13 m) 1.6×10^{-7} Lugeon (17.6-23.5 m) 1.8×10^{-7} Lugeon (23.5-30 m) 1.3×10^{-7} Lugeon (30-37 m) 1.6×10^{-7} Lugeon (37-39.5 m)
Γ2	28%(8.2-8.7 m) 38%(9.7-10.2 m) 10%(13-14.2 m) 50%(16.2-17.1 m) 28%(17.1-18.7 m) 14%(20.6-21.2 m) 14%(22-22.8 m) 10%(33.4-34.4 m) 14%(35-35.6 m) 30%(37.4-38 m) 62%(38-39.6 m) 36%(39.6-40,4 m) 10%(40,4-41.5 m) 41%(44-44.2 m) 50%(44.2-44.6 m) 62%(44.6-45 m)	Δεν πραγματοποιήθηκαν δοκιμές υδροπερατότητας

Γ3	15%(10-10.8 m) 15%(12.2-12.9 m) 100%(24.7-25 m) 16%(27.5-29 m) 23%(29.6-30.5 m) 14%(32.1-33 m) 36%(33-34.4 m) 14%(34.4-35.2 m) 13%(38.2-39.2 m) 16%(39.2-40 m)	Δεν πραγματοποιήθηκαν δοκιμές υδροπερατότητας
Γ4	39%(19.8-20.8 m) 9%(20.4-21.3 m) 25%(21.3-22.3 m) 18%(22.3-23.6 m) 10%(23.6-25 m) 40%(25-25.2 m) 62%(25.2-26.3 m) 64%(26.3-27 m) 35%(31-32.3 m)	>150lt/min Lefranc (3-3.8 m) 1.4×10^{-4} Lefranc (3.8-5 m) >150lt/min Lefranc (8-14 m) 3.7×10^{-4} Lefranc (14,5-17,5 m) 1.9×10^{-6} Lugeon (18-22 m) 1.2×10^{-6} Lugeon (23-28 m) 1.6×10^{-6} Lugeon (28-32 m) 1.8×10^{-6} Lugeon (32-35 m)
Γ5	100%(10.6-11 m) 11%(14.7-15.2 m) 50%(19.2-19.8 m) 16%(22.6-23.2 m) 20%(24-24.5 m) 30%(24.5-25 m) 29%(28.2-29.4 m) 26%(29.4-30.7 m) 19%(30.7-31.4 m) 48%(32.7-34 m) 13%(38-39 m) 30%(39.5-40.4 m) 12%(41.7-42.1 m) 24%(45-43 m) 14%(46.4-47.2 m) 39%(48.3-50 m) 41%(50-52 m)	Δεν πραγματοποιήθηκαν δοκιμές υδροπερατότητας

4.3 Ταξινόμηση κατά R.Q.D.

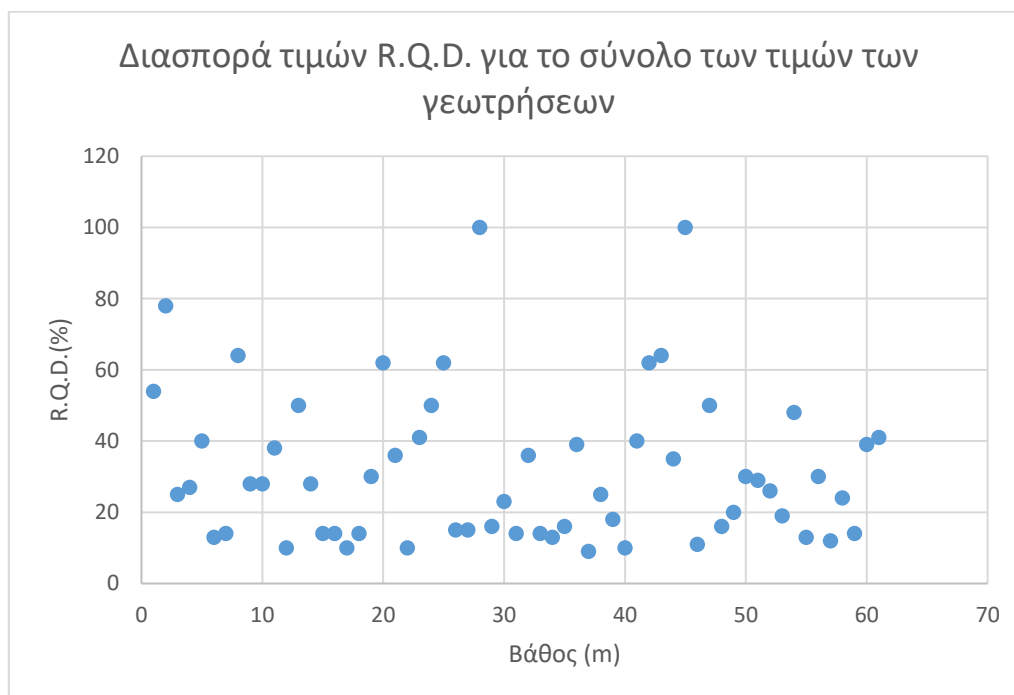
Με την ταξινόμηση κατά R.Q.D. ,προκύπτει μια πρώτη εικόνα της ποιότητας της βραχομάζας .Σύμφωνα με το τμήμα αυτό της τεχνικογεωλογικής έρευνας γίνεται αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των ερευνητικών γεωτρήσεων που εκτελέστηκαν στην ευρύτερη περιοχή του φράγματος.

Όσον αφορά την αξιολόγηση της ποιότητας μάζας βράχου με τον δείκτη RQD, πρέπει να επισημανθούν οι ακόλουθες σημειώσεις. Το RQD θα πρέπει να χρησιμοποιείται οριακά μόνο για μετα-αλπικούς σχηματισμούς και για αδύναμους βράχους που δεν έχουν υποστεί κάταγμα λόγω τεκτονισμού, ανακούφισης από τάσεις ή καιρικών συνθηκών. Οι τιμές RQD εδώ κυμαίνονται από το μηδέν έως περίπου το 75%, εάν ληφθούν αυστηρά υπόψη .Η "αποδιοργανωμένη δομή" όπως φαίνεται στους πυρήνες οφείλεται σίγουρα στη διαταραχή και το πλύσιμο λεπτού υλικού κατά τη διάτρηση και τη δειγματοληψία, προκαλώντας την κατάρρευση του βράχου. Μεγαλύτερες τιμές του RQD καταγράφηκαν κυρίως σε στρώσεις ψαμμίτη και λάσπης στο σχηματισμό κροκαλοπαγών, αλλά αυτές οι ζώνες είναι μόνο σποραδικές. Επιπλέον, δεν υπάρχει σημαντική μεταβολή των τιμών με το βάθος. Αυτό είναι φυσιολογικό, καθώς η βαθμολογία RQD δεν αντιπροσωπεύει εδώ τη λογική της μείωσης του κατακερματισμού λόγω τεκτονισμού ή καιρικών συνθηκών, λόγω του αυξημένου περιορισμού σε βάθος.

Όσον αφορά την κατανομή των τιμών της πρότυπης διείσδυσης (NSPT) κατά μήκος του άξονα του φράγματος , οι περισσότερες από αυτές τις δοκιμές έχουν μέτρια (NSPT = 16-30) έως υψηλές τιμές (NSPT = 31-50) ή ακόμη και αρνήσεις . Αυτές οι τιμές είναι χαρακτηριστικές της συνοχής των παρόντων σχηματισμών, ενώ οι αρνήσεις μπορεί να οφείλονται στη συστηματική παρουσία βότσαλων, χαλικιών και ογκόλιθων στη μάζα του κροκαλοπαγούς.

Ταξινόμηση R.Q.D. στις ερευνητικές γεωτρήσεις

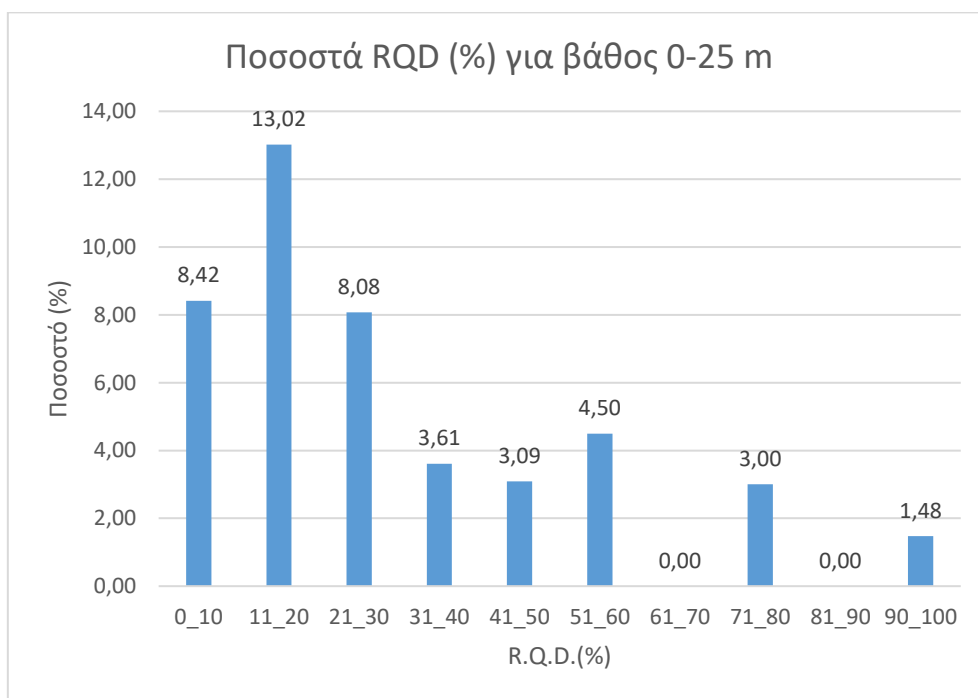
Στα παρακάτω διαγράμματα παραθέτονται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης R.Q.D., όπως αυτά προέκυψαν από τις ερευνητικές γεωτρήσεις. Στο Σχήμα 1, παρουσιάζονται οι τιμές R.Q.D. σε διασπορά, έτσι ώστε να γίνει φανερό το εύρος των τιμών, στο σύνολο των γεωτρήσεων.



Σχήμα 13: Διάγραμμα διασποράς των τιμών του R.Q.D. για το σύνολο των γεωτρήσεων

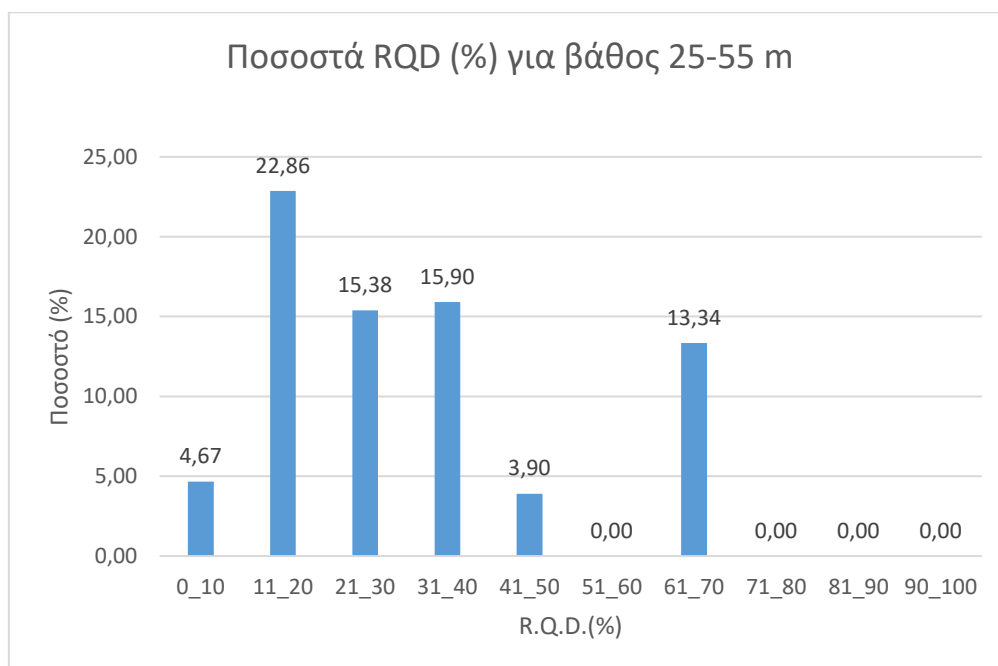
Στο Σχήμα 2, παρουσιάζονται οι τιμές του R.Q.D. που προσδιορίστηκαν για το σύνολο των γεωτρήσεων για βάθος από την επιφάνεια του εδάφους έως τα 25 m.

Παρατηρείται πως σε αυτή την έκταση βάθους το εύρος των τιμών δεν κυμαίνεται σε όλα τα ποσοστά του R.Q.D.. Παρόλα αυτά φαίνεται μια μεγάλη έμφαση στις χαμηλές τιμές, κοντά στο 0-30 %. Υψηλό ποσοστό επίσης λαμβάνουν τα υψηλά ποσοστά του R.Q.D. μέχρι και 60 % τα οποία κατέχουν αθροιστικό ποσοστό 11.2 %. Τα υψηλά ποσοστά που καταγράφονται στο διάγραμμα τοποθετούνται σε μέσα βάθη, όπου λαμβάνει χώρα το χαμηλής διαγένεσης και χαλαρά αποσαθρωμένο λατυποκροκαλοπαγές, τα οποία αναδεικνύουν καλής ποιότητας τμήματα αυτού.



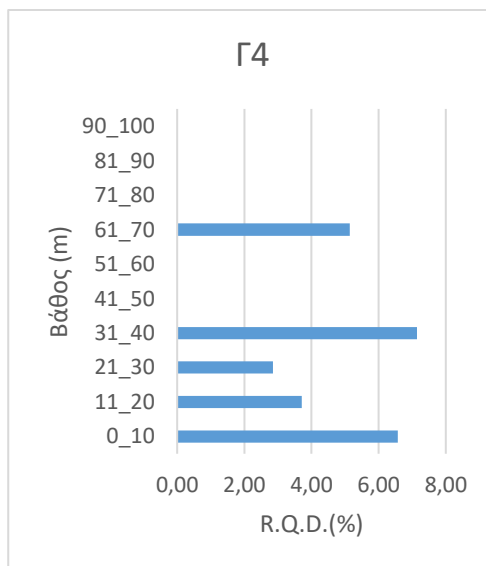
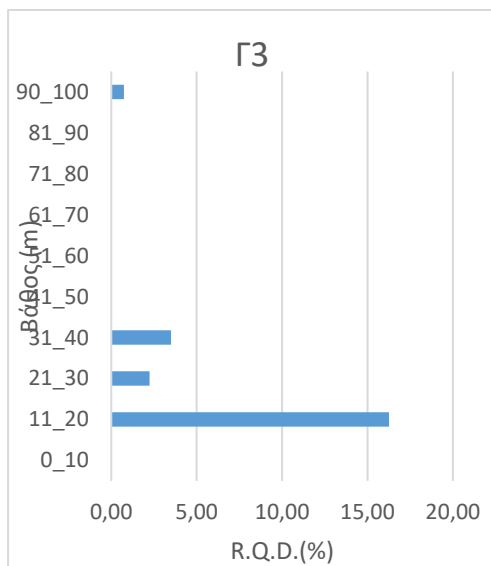
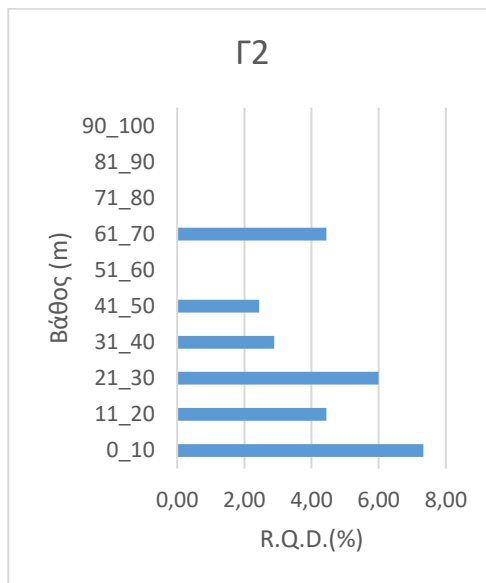
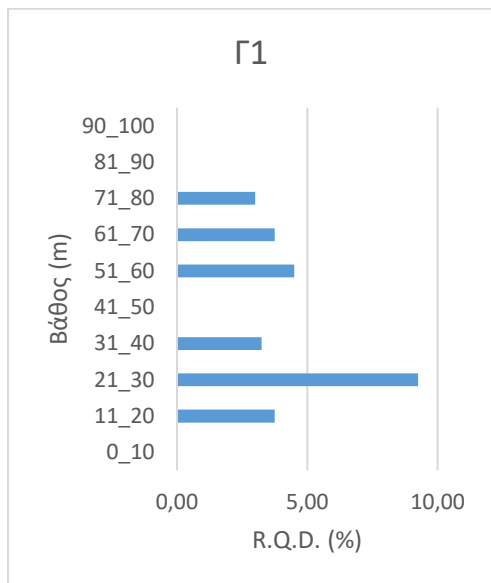
Σχήμα 14: Ποσοστά R.Q.D. του συνόλου των γεωτρήσεων του άξονα του φράγματος για βάθος 0-25 m.

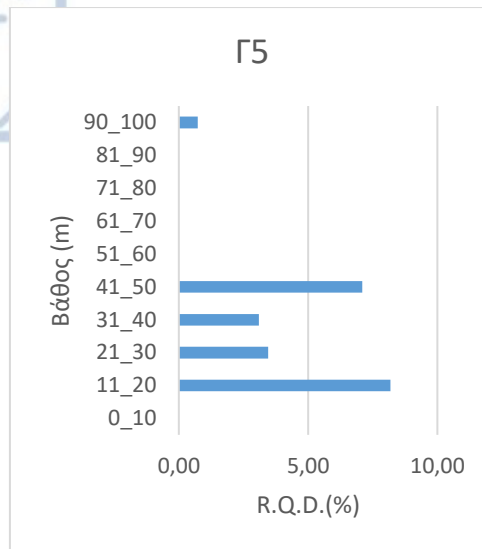
Στο Σχήμα 3, παρουσιάζονται οι τιμές του R.Q.D. που προσδιορίστηκαν για το σύνολο των γεωτρήσεων για βάθος από 25 m έως 55 m. Παρατηρείται, ότι το σύνολο των ποσοστών συγκεντρώνεται κατά πλειοψηφία, μεταξύ των ποσοστών R.Q.D. 11 και 40 %. Το αθροιστικό ποσοστό ανέρχεται στο 54.14%. Υψηλό ποσοστό επίσης λαμβάνουν τα υψηλά ποσοστά του R.Q.D. μέχρι και 70 % τα οποία κατέχουν αθροιστικό ποσοστό 13,34 %. Το ποσοστό αυτό είναι αναμενόμενο καθώς σε μεγαλύτερα βάθη η βραχώμαζα αναμένεται καλύτερης ποιότητας. Παρόλα αυτά, παρατηρούνται συγκεντρώσεις μικρών ποσοστών R.Q.D., μεταξύ 0 έως 10 και 41 έως 50%, γεγονός που φανερώνει την ύπαρξη ασθενούς και χαμηλότερης ποιότητας υλικού σε κάποια σημεία στο συγκεκριμένο βάθος.



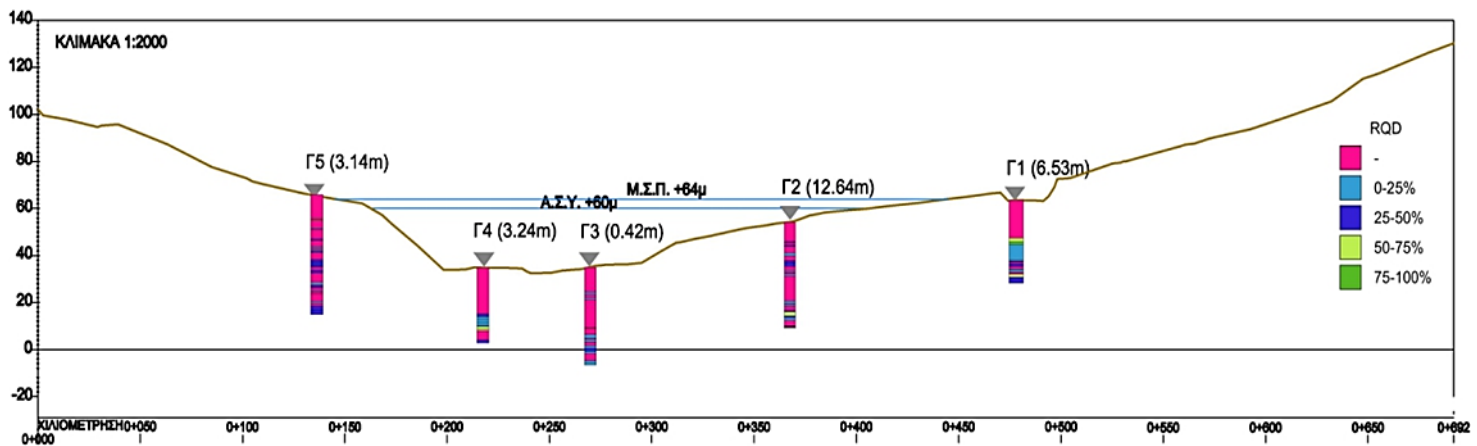
Σχήμα 15: Ποσοστά R.Q.D. για το σύνολο των γεωτρήσεων του άξονα του φράγματος για βάθος 25-55 m.

Στο Σχήμα 4, παρουσιάζονται οι τιμές του R.Q.D. για κάθε γεώτρηση σε σχέση με το βάθος. Είναι φανερό πως το σύνολο των γεωτρήσεων παρουσιάζει μία αυξητική τάση των τιμών σε σχέση με το βάθος, εκτός από την γεώτρηση Γ3 όπου παρατηρείται μείωση την τιμών για κάποιο διάστημα. Συνολικά το R.Q.D. κυμαίνεται γύρω από το 12.58 %.





Σχήμα 16: Εικόνα R.Q.D. για κάθε γεώτρηση σε σχέση με το βάθος.



Σχήμα 17: Μηκτομή γεωλογικών σχηματισμών και προβολή των ποσοστών της ταξινόμηση R.Q.D

Η ομαδοποίηση των ποσοστών του R.Q.D. έγινε σε πέντε ομάδες (σχήμα 5) που την πρώτη περιλαμβάνει ποσοστά R.Q.D. 0, η δεύτερη από 0 έως 25 %, η τρίτη από 25 έως 50 %, η τέταρτη από 50 έως 75 % και η πέμπτη από 76 έως 100 %. Ανάλυση της βραχομάζας με R.Q.D. πραγματοποιήθηκε σε όλες τις γεωτρήσεις που υπάρχουν στον άξονα του φράγματος.

Διαπιστώνεται ότι ακολουθείται μία λογική διακύμανση η οποία φέρει τα μικρότερα ποσοστά σε μικρά βάθη και τα μεγαλύτερα ποσοστά σε μεγαλύτερα βάθη. Στην επιφάνεια του εδάφους όπου έχουμε τεταρτογενής σχηματισμούς, οι οποίοι είναι υλικά κορημάτων και ποταμοχειμάρρια υλικά τα ποσοστά είναι πολύ χαμηλά. Στο βάθος όπου συναντάμε κροκαλολατυποπαγοί, υπάρχουν τμήματα του σχηματισμού τα οποία είναι βραχώδη και ημιβραχώδη. Αυτό διαπιστώνεται και από τις τιμές της πρότυπης δοκιμής διείσδυσης όπου για βάθος 1m το $N=37$ το οποίο δηλώνει σκληρό υλικό αφού στο βάθος αυτό έχουμε την τεχνητή επιχωμάτωση και για βάθος 5m $N=17$ το οποίο δηλώνει πολύ στιφρή άργιλο. Πιο συγκεκριμένα στη Γ1 γεώτρηση μέχρι το βάθος 17,6 m, έχουμε χαλαρά συνδεδεμένα υλικά και το R.Q.D. δεν υφίσταται. Όσο εισερχόμαστε σε βάθος παρουσιάζονται μεγαλύτερες τιμές. Μέχρι το βάθος των 20,6 m, τα ποσοστά είναι υψηλά της τάξης του 50-75% και 75-100%. Στην συνέχεια σε βάθος από 28 m έως 31 m το R.Q.D. κυμαίνεται από 25- 50%, ενώ σε βάθος 32,2 μέχρι 33,7 m, το R.Q.D. είναι πολύ χαμηλό καθώς κυμαίνεται στο 13 με 14%. Τέλος από 34,6 m βάθος μέχρι 38,8 m το R.Q.D. είναι της τάξης του 25 έως 50% και 50 έως 75%.

Στη γεώτρηση Γ2 μέχρι το βάθος των 8,2m δεν υπάρχουν τιμές R.Q.D., καθώς έχουμε την παρουσία τεταρτογενών υλικών, τα οποία σύμφωνα με την πρότυπη δοκιμή διείσδυσης στο βάθος του 1m το $N=28$, το οποίο δηλώνει πολύ στιφρή άργιλο ενώ μέχρι το βάθος των 7,30m έχουμε την παρουσία αμμοχάλικου. Το R.Q.D. παρατηρείται σχετικά υψηλό στα πρώτα μέτρα της, από 8,2 έως 10,2 m βάθος και η τιμή του κυμαίνεται από 25 έως 50%. Παρατηρείται μία ξαφνική μείωση των τιμών στο βάθος από 13 έως 14,2 m της τάξης των 10% και μετέπειτα μία ξαφνική αύξηση της τάξης των 50% σε βάθος από 16,2 μέχρι 17,1 m και 28% από 17,1 μέχρι 18,7 μέτρα. Έπειτα σημειώνεται πτώση του ποσοστού σε χαμηλές τιμές από 0 έως 25% σε βάθος από 20,6 μέχρι 35,6 m. Στα υπόλοιπα μέτρα βάθους μέχρι το τέλος της γεώτρησης έχουμε μέσες τιμές έως υψηλές καθώς κυμαίνονται από 25- 50% και 50- 75%, με ένα τμήμα της στο βάθος των 40,4- 41,5 m με ποσοστό χαμηλό της τάξης των 10%, στο οποίο εμφανίζεται χαμηλής διαγένεσης και χαλαρά συνδεδεμένο λατυποκροκαλοπαγές.

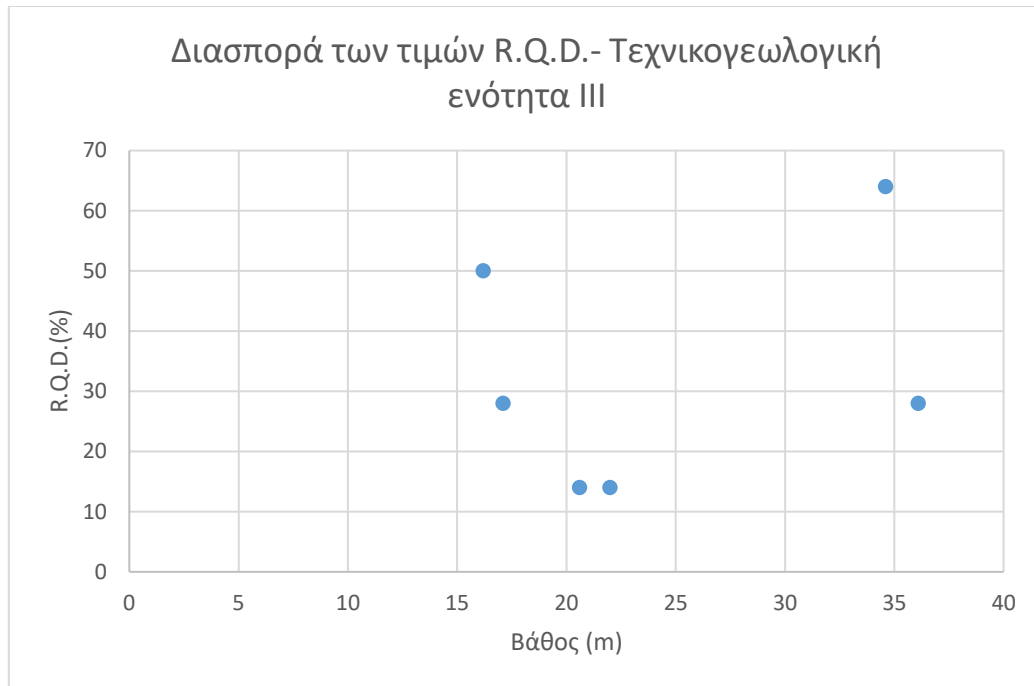
Στη γεώτρηση Γ3 μέχρι το βάθος των 10m έχουμε την παρουσία υλικών κορημάτων (αμμοχάλικο και αργιλοϊλυώδη άμμο) και το R.Q.D. δεν υφίσταται, αφού με βάση και τα αποτελέσματα της επιτόπου δοκιμής διείσδυσης έχουμε για βάθος 2m $N=20$, το οποίο δηλώνει πολύ στιφρή άργιλο, για βάθος 4m $N=32$ και 6,2m $N=33$ τα οποία δηλώνουν σκληρή άργιλο. Από το βάθος των 10 έως 33 m το R.Q.D. κυμαίνεται από 0-25%, με μία εξαίρεση στο τμήμα βάθους από 24,7 μέχρι 25 m όπου το R.Q.D. είναι αρκετά υψηλό με ποσοστό 100%. Στο σημείο αυτό συναντάμε ημιβραχώδες ψαμμιτοπηλιτικό κροκαλολατυποπαγές. Στη συνέχεια σε βάθος 33 έως 34,4 m το R.Q.D. κυμαίνεται από 25-50%. Τέλος από τα 34,4 m βάθος και μέχρι το τέλος της γεώτρησης (40 m) το R.Q.D. κυμαίνεται από 0-25%, όπου έχουμε την παρουσία χαμηλής αντοχής και ελαφρά αποσαθρωμένο και κερματισμένο ψαμμιτικό λατυποπαγές.

Στη Γ4 γεώτρηση μέχρι το βάθος των 19,8 m, δεν υπάρχουν ποσοστά R.Q.D. , αφού έχουμε την παρουσία ποταμοχειμάρριων υλικών (κροκάλες, χαλίκια), ορισμένα από αυτά έχουν υποστεί και αποσάθρωση και σύμφωνα με το αποτέλεσμα της πρότυπης δοκιμής διεύθυνσης για βάθος 2,8m όπου $N=42$, συμπεραίνουμε ότι υπάρχει σκληρή άργιλος. Από το βάθος των 19,8 έως 20,8m το R.Q.D. κυμαίνεται από 25- 50%. Στη συνέχεια από το βάθος των 20,4m έως των 25m το R.Q.D. κυμαίνεται από 0 έως 25%. Έπειτα σημειώνεται αύξηση του R.Q.D., από βάθος 25 έως 32,3m, όπου το R.Q.D. κυμαίνεται από 25- 50% και 50- 75%.

Στη Γ5 γεώτρηση μέχρι το βάθος των 10,6m δεν υπάρχουν ποσοστά R.Q.D καθώς τα υλικά είναι μέσης πυκνότητας αργιλώδης άμμος έως στιφρή αμμώδης άργιλος. Αυτό το καταλαβαίνουμε και από τα αποτελέσματα της πρότυπης δοκιμής διεύθυνσης, τα οποία είναι: για βάθος 1.10m, $N=29$ το οποίο δηλώνει πολύ στιφρή άργιλο, για βάθος 5m $N=20$ το οποίο δηλώνει και αυτό πολύ στιφρή αμμώδης άργιλο, για βάθος 5,6m $N=15$ το οποίο δηλώνει στιφρή άργιλο και για βάθος 8m $N=14$ το οποίο δηλώνει στιφρή άργιλο. Στη συνέχεια για βάθος 10,6 έως 11m το R.Q.D. είναι πολύ υψηλό καθώς η τιμή του αντιστοιχεί στο 100%. Στο τμήμα αυτό λαμβάνει χώρα ημιβραχώδες ψαμμιτοπηλιτικό κροκαλολατυποπαγές. Έπειτα για βάθος 14,7 έως 15,2m το R.Q.D. κυμαίνεται από 0-25%, για βάθος 19,2 έως 19,8m υπάρχει μία ζώνη με ποσοστό 50% και για βάθος 22,6 έως 24,5m το R.Q.D. κυμαίνεται από 0-25%. Έπειτα για βάθος 24,5 έως 30,7m το R.Q.D. κυμαίνεται από 25- 50%, για βάθος 30,7 έως 31,4m το R.Q.D. κυμαίνεται από 0- 25%, ενώ για βάθος 32,7 έως 34m το R.Q.D. κυμαίνεται από 25- 50%. Την ίδια εναλλαγή έχουμε και για βάθος 38 έως 39m όπου το R.Q.D. κυμαίνεται από 0- 25%, ενώ για βάθος 39,5 έως 40,4 το R.Q.D. κυμαίνεται από 25- 50%. Τέλος για βάθος 41,7 έως 47,2m το R.Q.D. κυμαίνεται από 0- 25%, ενώ από βάθος 48,3 έως 52m το R.Q.D. κυμαίνεται από 25 - 50%.

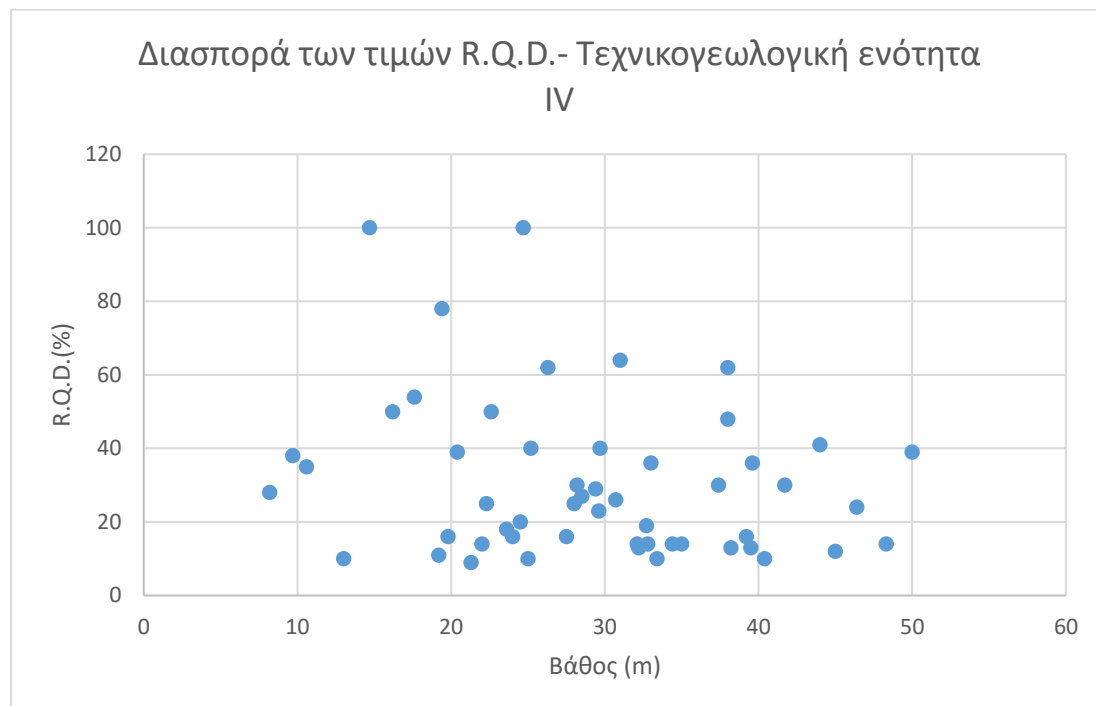
Τιμές R.Q.D. ανά τεχνικογεωλογική ενότητα

Όπως φαίνεται και από τη διασπορά των τιμών, στην τεχνικογεωλογική ενότητα III, που περιλαμβάνει τον ψαμμιτοπηλίτη, στο Σχήμα 6, οι τιμές του R.Q.D. κυμαίνονται από 14 έως 64 % με το μέσο όρο των τιμών να τοποθετείται στο 33 %.



Σχήμα 18: Διάγραμμα διασποράς των τιμών του R.Q.D. για την τεχνικογεωλογική ενότητα III.

Η τεχνικογεωλογική ενότητα IV, που περιλαμβάνει το λατυποκροκαλοπαγές, ελαφρά αποσαθρωμένο και χαλαρά συνδεδεμένο, έχει τιμές R.Q.D. που κυμαίνονται από 10 % σε μικρά βάθη έως και 100 %. Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 7, η διασπορά των τιμών σε σχέση με το βάθος, δίνει κατά μέσο όρο τιμές 30.85 %.



Σχήμα 19: Διάγραμμα διασποράς των τιμών του R.Q.D. για την τεχνικογεωλογική ενότητα IV

Όπως συμπεραίνουμε από τα παραπάνω, οι δοκιμές RQD ή SPT είναι ανούσιες, επειδή οι πυρήνες των δειγματολήψεων έχουν πολύ κακή δομή που αποσυντίθεται εύκολα ($RQD = 0$) ή χονδροειδή κλάσματα παρέχοντας αρνήσεις στις τιμές διείσδυσης. Η σειρά αυτών των αδύναμων σχηματισμών δεν αναμένεται ωστόσο να υποστεί σημαντική συμπίεση και καθίζηση, υπό την προϋπόθεση ότι η ανώτερη χαλαρή ζώνη προσδιορίζεται και αφαιρείται. Η δειγματοληψία σε αυτά τα υλικά πρέπει να εκτελείται προσεκτικά, ώστε να επιτρέπεται η διατήρηση του δείγματος χωρίς διαταραχές. Απαιτείται ένας διπλός ή και τριπλός κύλινδρος πυρήνα για αυτό το λόγο.

4.4. Καθεστώς υπόγειων υδάτων

Η φύση των σχηματισμών του εδάφους, κατά μήκος του άξονα του φράγματος, με βάση την περιγραφή των διάτρητων πυρήνων, όπως ταξινομούνται σύμφωνα με την ταξινόμηση USCS, είναι αμμώδης-χαλίκι. Ωστόσο, οι καταγεγραμμένες τιμές διαπερατότητας είναι αρκετά χαμηλές για τέτοιους σχηματισμούς. Η παρουσία λεπτού υλικού στη μήτρα, είναι ο λόγος για τον οποίο μετράτε η χαμηλή διαπερατότητα. Αυτό το λεπτό υλικό, που παρατηρήθηκε στις προεξέχουσες περιοχές, πιθανότατα ξεπλένεται κατά τη διάρκεια της γεώτρησης και έτσι είναι δυνατή μια παραπλανητική ερμηνεία σε τέτοιο υλικό. Από την άλλη πλευρά, μια τέτοια απώλεια λεπτού υλικού κατά τη διάτρηση στα κροκαλοπαγή πιθανώς υποδεικνύει μια μέτρια συνοχή αυτού του γεωμετρικού υλικού. Η βελτίωση της διαδικασίας δειγματοληψίας σε γεωτρήσεις είναι δύσκολη σε τέτοιο έδαφος, οπότε η μηχανικά γεωλογική κρίση από την εμφάνιση στις δειγματοληψίες είναι απαραίτητη.

Οι δοκιμές περατότητας που διεξήχθησαν για την κατασκευή φράγματος, πραγματοποιήθηκαν σε δύο γεωτρήσεις τις Γ1 και Γ4. Στη Γ1 γεώτρηση όπως παρουσιάζεται και αναλυτικά στον παραπάνω πίνακα, έχει εκτελεστεί μέχρι το βάθος των 11m η δοκιμή πίπτοντος φορτίου- Maag η οποία συνίσταται σε εδάφη μικρής περατότητας, καθώς έχουμε την ύπαρξη αργίλου. Οι τιμές της δοκιμής αυτής είναι πολύ χαμηλές. Στη συνέχεια από το βάθος των 11 έως των 39,5 m η δοκιμή περατότητας που πραγματοποιήθηκε, ήταν η δοκιμή Lugeon, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της οποίας φαίνεται πως οι τιμές είναι πολύ χαμηλές (Πίνακας 1). Στη Γ4 γεώτρηση όπως μπορούμε να δούμε και από τον πίνακα 1 μέχρι το βάθος των 16 m έχει εκτελεστεί η δοκιμή περατότητας Lefranc η οποία συνίσταται σε εδάφη καλής περατότητας. Σε ορισμένα σημεία όπως στο βάθος των 3 m και στο βάθος των 8m , τα αποτελέσματα δείχνουν μεγάλη περατότητα. Οι τιμές της δοκιμής αυτής στα υπόλοιπα σημεία είναι πολύ χαμηλές. Από το βάθος των 17 περίπου έως τον 35m εκτελέστηκαν δοκιμές περατότητας Lugeon , οι τιμές των οποίων είναι πολύ χαμηλές. Μπορούμε να συμπεράνουμε λοιπόν, πώς εξαιτίας της λεπτόκοκκης φύσης του υλικού, η περατότητα είναι χαμηλή και άρα δεν αναμένονται διαφυγές.

Πιεζομετρία

Για την σωστή λειτουργία και κατασκευή του φράγματος, σημαντικό ρόλο παίζει η πιεζομετρία και η στάθμη του υπόγειου νερού. Κατά τη διάρκεια της κατασκευής των γεωτρήσεων και της πραγματοποίησης των δοκιμών εισπίεσης, καταγράφεται η πρωινή στάθμη, η οποία βρίσκεται σε σχετική ηρεμία και ισορροπία, και στη συνέχεια καταγράφεται η πιεζομετρία της περιοχής. Από τη σχηματική απεικόνιση της πιεζομετρίας στο γράφημα, αντιλαμβανόμαστε πως σε κύρια βάση η πιεζομετρική γραμμή τοποθετείται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και εκεί που έχουμε την παρουσία κροκαλοπαγούς και λατυποπαγούς. Στον Πίνακα 2 καταγράφονται οι πρωινές στάθμες που μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια των εργασιών. Όπως γίνεται αντιληπτό, η μικρότερη μέση απόσταση της στάθμης σημειώνεται στη γεώτρηση Γ4 όπου εντοπίζεται στα 2,43 m, και η μεγαλύτερη στη γεώτρηση Γ5 στην οποία εντοπίζεται στα 18,5 m. Στο χώρο της πλαγιάς, η πιεζομετρία κυμαίνεται μεταξύ 4,95 και 18,5 m ενώ στο κεντρικό τμήμα του άξονα η στάθμη κυμαίνεται στα 2,43 έως 3,5 m. Το γεγονός αυτό αποδίδει ένα σχετικά αδιαπέρατο έδαφος, το οποίο λόγω αυτής της ιδιότητάς του, το νερό δεν μπορεί να εισχωρήσει σε βαθύτερα σημεία.

Πίνακας 2: Καταγραφή στάθμων κατά τη διάρκεια των εργασιών

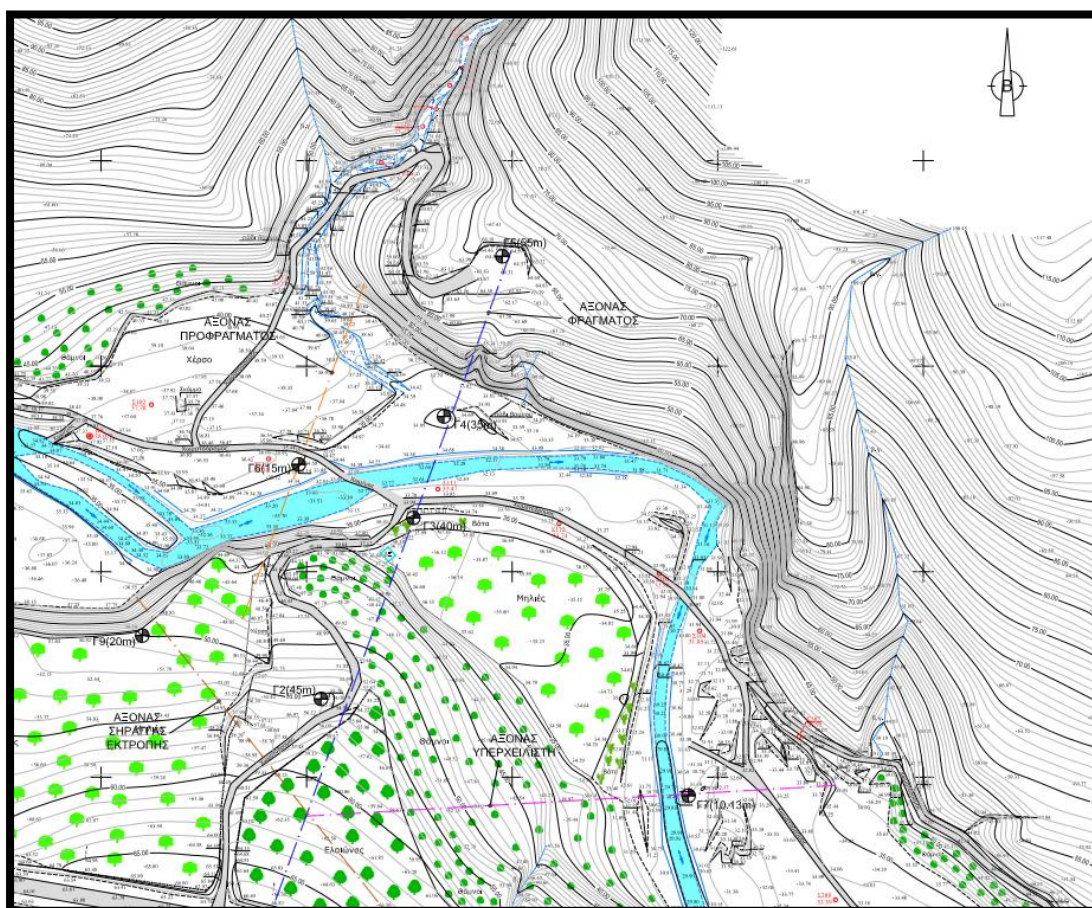
	Πρωινές Στάθμες κατά την Πρόοδο των εργασιών	Μέση Στάθμη
Γ1	15/02/2012	4,95
Γ2	-	12,32
Γ3	-	3,5
Γ4	15/02/2012	2,43
Γ5	-	18,5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΠΙΛΟΓΗ ΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΥΠΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

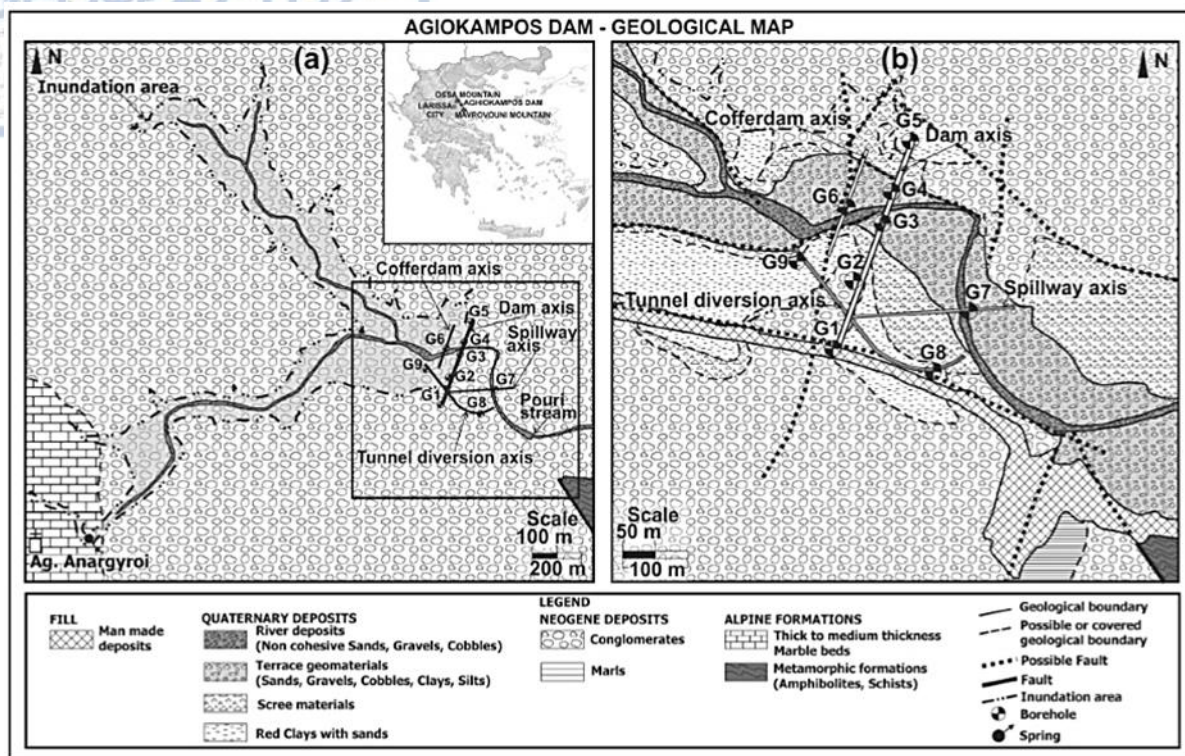
5.1 Επιλογή θέσης φράγματος

Αντικείμενο αυτό του κεφαλαίου είναι η επιλογή της θέσης του φράγματος. Για τη θέση αυτή έχουν πραγματοποιηθεί ερευνητικά προγράμματα χαρτογράφησης και γεωτρήσεων. Το φράγμα του Αγιοκάμπου μελετάται να κατασκευαστεί στο ανατολικό τμήμα του νομού Λάρισας, στο ρέμα Πουρί περίπου 3,7 χλμ, από το στόμιο του ρέματος. Το ρέμα Πουρί τροφοδοτείται από την συνάντηση δύο κλάδων, όπου η απορροή τους ενισχύεται από τις απορροές αρκετών πηγών από την νότια πλευρά των όρεων Όσσα και Μαυροβούνιου. Η περιοχή ανήκει και στο δήμο Αγιάς και στο δήμο Λάρισας. (Marinos V. et al.,2013)



Σχήμα 20: Οριζοντιογραφία περιοχής του φράγματος στη θέση Αγιοκάμπου. Απεικονίζεται ο άξονας φράγματος, ο άξονας προφράγματος, ο άξονας σήραγγας εκτροπής και ο άξονας υπερχειλιστή (Κλίμακα 1:1000).

(Τροποποιημένος χάρτης από: Γ.Παπαχαράλαμπους,2012)



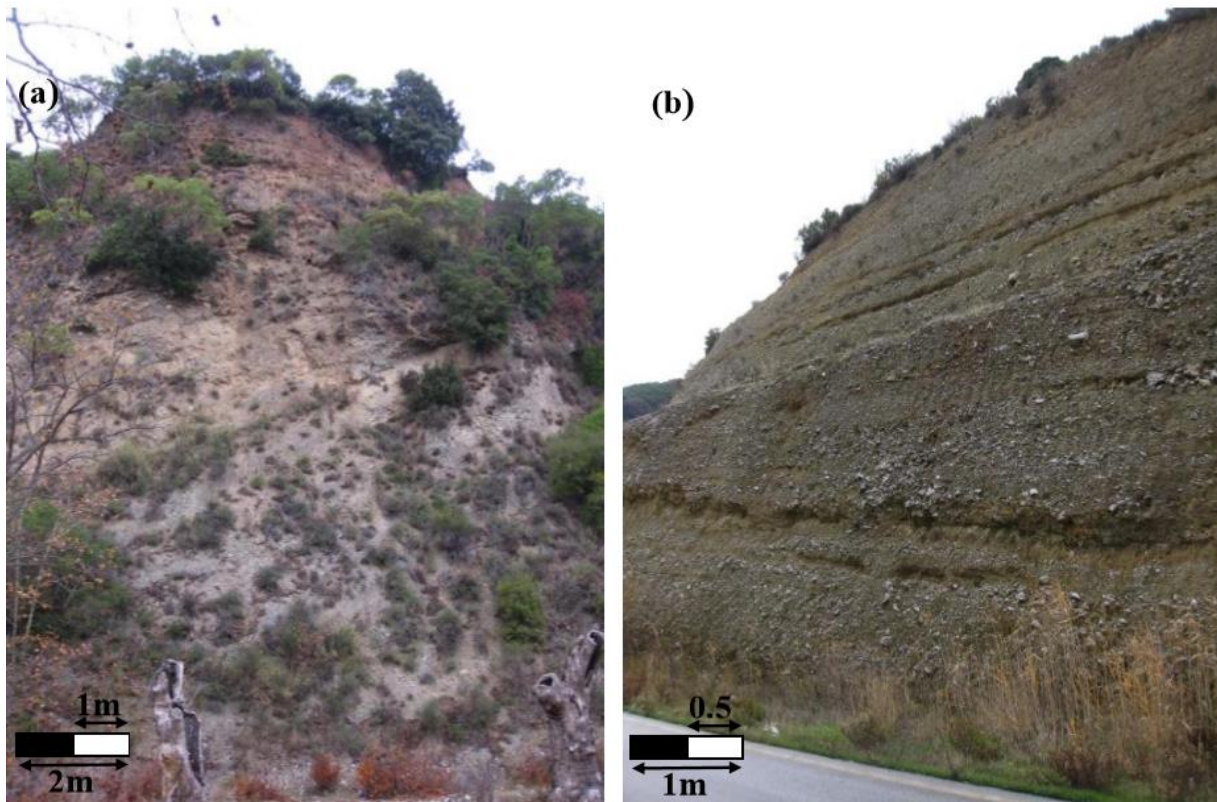
Σχήμα 21.(α) Γεωλογικός χάρτης κατά μήκος της περιοχής του ταμιευτήρα του φράγματος του Αγιοκάμπου, **(β)** Γεωλογικός χάρτης κατά μήκος του άξονα του φράγματος του Αγιοκάμπου. (Marinos V. et al.,2013)

Σύμφωνα με τους Marinos V. et al.,2013 η λεκάνη απορροής του φράγματος είναι 75 km² ενώ η περιοχή πλημμυρών είναι 0,61 km². Ο σκοπός κατασκευής του φράγματος είναι καθαρά αρδευτικός. Το φράγμα θα έχει μέγιστο ύψος 37,5 m και η δεξαμενή θα έχει χωρητικότητα 4,4 km³. Η ανύψωση του ποταμού στην κεντρική διατομή του φράγματος είναι στα +32,5 m, ενώ το μέγιστο υψόμετρο της λεκάνης είναι 1182 m. Η θεμελίωση του φράγματος τοποθετείται περίπου 250 μέτρα μετά την ένωση των δύο κύριων διακλαδώσεων του ρέματος, καθώς και το πλάτος της κοίτης του ποταμού στην περιοχή του φράγματος είναι περίπου 100 μέτρα.

Στην ευρύτερη ζώνη της κοίτης του ποταμού αναπτύσσεται μια ποτάμια αναβαθμίδα με διαφορά ύψους μέχρι 7m από την παρούσα κοίτη του ποταμού, μια ένδειξη που υποδεικνύει τεκτονικές κινήσεις, με κίνηση προς τα πάνω. Η κοίτη του ποταμού περιορίζεται από απότομες πλαγιές, οι οποίες στην περιοχή του φράγματος φτάνουν στα ύψη των 30 μέτρων στο αριστερό στήριγμα και περίπου στα 12 μέτρα στα δεξιά. Στα υψηλότερα τμήματα της λεκάνης, αναπτύσσονται ήπιες επιφάνειες κλίσης (επίπεδα ισοπέδωσης) ποικίλου μεγέθους, στις οποίες υπάρχουν κόκκινοι άργιλοι και άμμοι. Η βάση αυτών των καταθέσεων συνίσταται από μία χαρακτηριστική ρυθμική εναλλαγή των στρωμάτων. Αυτές οι επιφάνειες πιστεύεται ότι συνδέονται με τεκτονικές αναβαθμίδες. (Marinos V. et al.,2013)

Όπως αναφέρθηκε και στο δεύτερο κεφάλαιο το γεωλογικό πλαίσιο της ευρύτερης περιοχής του φράγματος του Αγιοκάμπου ανήκει στην Πελαγονική σειρά, αποτελούμενη από μεταμορφωμένους βράχους, που καλύπτονται από πρόσφατα

νεογενή και προσχωσιγενή κοιτάσματα. Αυτές οι Πελαγονικές σειρές, που συναντώνται στην ευρύτερη περιοχή της Ανατολικής Θεσσαλίας, εκπροσωπούνται εδώ με σχιστόλιθους, φυλλίτες, γνεύσιους, αμφιβολίτες και μάρμαρα που συχνά βρίσκονται σε εναλλασσόμενες μονάδες, ενώ υπάρχουν και οφιόλιθοι. Στη βάση ολόκληρης της περιοχής οι σχιστόλιθοι συναντώνται με συχνές παρεμβολές ασβεστολιθικών μαρμάρων, όπως με την μορφή μεμονωμένων φακών. Οι σχηματισμοί που συναντώνται ειδικά στην περιοχή του ταμιευτήρα, είναι μάρμαρα μεσαίου πάχους (κρητιδικής ηλικίας), οι οποίοι είναι έντονα καρστικοποιημένοι και σπασμένοι με παρεμβολές κρυσταλλικού δολομίτη. Οι σχηματισμοί αυτοί βρίσκονται στη Μονή των Αγίων Αναργύρων στο τέλος του ταμιευτήρα. Οι σχιστόλιθοι ξεπροβάλλουν ακριβώς κατάντη της βάσης του φράγματος στο σωστό σημείο στήριξης. Οι σχηματισμοί αυτοί έχουν συναντηθεί και στους δειγματολήπτες των γεωτρήσεων, που λάβανε χώρα κάτω από το θεμέλιο του φράγματος, το οποίο αποτελεί το υπόβαθρο πάνω από το οποίο έχουν κατατεθεί οι σχηματισμοί των Νεογενών. (Marinos V. et al., 2013)



Σχήμα 22: Τυπική σειρά σχηματισμού στο αριστερό (α) και δεξιό (β) πρανές του φράγματος. Στο αριστερό πρανές απεικονίζονται τα κροκαλοπαγή, τα οποία συναντώνται με υψηλή παρουσία λεπτών, αργιλοαμμόδων υλικών, ενώ στο δεξιό πρανές υπάρχει πιο συστηματική παρουσία χαλικιών. Οι σχηματισμοί παρουσιάζουν μέτρια συνοχή αλλά καλή γωνία τριβής, λόγω της αλληλοσύνδεσης των κοκκωδών υλικών, καθώς σχηματίζουν απότομες και μεγάλες κλίσεις. (Marinos V. et al., 2013)

Στο αριστερό στήριγμα, αμέσως πριν από τον άξονα της φράγματος, έχουμε την πιθανή θέση δύο ρηγμάτων, τα οποία σημειώνονται κατά μήκος των τοπικών ρεμάτων. Λίγες καταρρεύσεις και κατολισθήσεις εμφανίζονται σε πλαγιές κατά μήκος των ρεμάτων που μπορεί να συνδέονται με τη δραστηριότητα των ρηγμάτων και τη βαθιά διάβρωση της περιοχής. Από τη σεισμοτεκτονική μελέτη του φράγματος, η οποία διεξήχθη από τους καθηγητές Ε. Παπαδημητρίου και τον κ. Β. Καρακώστα του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, αποκαλύφθηκε ότι δεν υπάρχουν περαιτέρω ενδείξεις δραστηριότητας αυτών των ρηγμάτων. Ωστόσο, συνιστάται να παρέχονται τα χαρακτηριστικά αυτά στο σχεδιασμό του φράγματος, προκειμένου να αντιμετωπιστεί μια πιθανή μετατόπιση κατά μήκος των ρηγμάτων, από τη δράση ενός σεισμού. (Marinos V. et al., 2013)

Τα κροκαλοπαγή στην αριστερή θέση του φράγματος, βρίσκονται με έντονη την παρουσία λεπτότερων ιλυοαμμώδων υλικών, ενώ στην δεξιά πλευρά έχουμε την συστηματική παρουσία των χαλικιών. Μία τυπική στρωματογραφική εικόνα του αριστερού και του δεξιού στήριγματος φαίνεται στο σχήμα 3. Τα στρώματα παρουσιάζουν μέτρια κλίση προς B-N, χωρίς όμως να σχηματίζουν πρακτικά ολισθαίνοντα επίπεδα. Οι πλαγιές είναι γενικά ομοιογενείς και δεν παρουσιάζουν σαφείς διακυμάνσεις στην συνεκτικότητα. Αν και τα κροκαλοπαγή είναι γενικά ομοιογενή, υπάρχουν εναλλαγές λεπτόκοκκων και χονδροειδών στρώσεων. Πρέπει να σημειωθεί ότι, η αριστερή στήριξη, αν και πιο απότομη στην κλίση, από την δεξιά, παρουσιάζει αρκετά φαινόμενα διάβρωσης. Από την άλλη πλευρά, στη βάση της κλιτύς, κοντά στην κοίτη του ποταμού, τα κροκαλοπαγή εμφανίζονται με αυξημένη συνοχή λόγω της ασβεστολιθικής παρουσίας. Τα κροκαλοπαγή δεν είναι πολύ συνεκτικά κοντά στην επιφάνεια, αλλά σε μικρό βάθος από την επιφάνεια, γίνονται πιο συμπαγή, σε ένα αποδεκτό επίπεδο, έτσι ώστε να είναι ικανά να αντέξουν μια δομή γης με το μέγεθος αυτού του φράγματος. (Marinos V. et al., 2013)

Τα υλικά αυτά επικαλύπτονται από πρόσφατες αποθέσεις αργιλικής φύσεως. Οι αποθέσεις στις αναβαθμίδες είναι γενικά μαλακές, χαμηλής συνοχής και πρέπει να αφαιρεθούν, έτσι ώστε να τοποθετηθούν ως θεμέλιο στο φράγμα και πιο συγκεκριμένα στον πυρήνα του.

5.2 Επιλογή τύπου φράγματος

Η επιλογή του τύπου φράγματος που θα χρησιμοποιηθεί στην περιοχή έρευνας εξαρτάται από τις τοπογραφικές και γεωλογικές συνθήκες της περιοχής, τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά, τη διαθεσιμότητα των απαραίτητων υλικών κατασκευής και τις διαθέσιμες ποσότητες νερού. Σύμφωνα και με το 1^ο κεφάλαιο, στο οποίο περιγράφονται αναλυτικά οι τύποι φραγμάτων, προκύπτει ότι ο καταλληλότερος τύπος φράγματος για το υπο μελέτη μέρος είναι το χωμάτινο φράγμα με αργιλικό πυρήνα.

α) Χωμάτινο φράγμα με αργιλικό πυρήνα

Το χωμάτινο φράγμα κατασκευάζεται από γαιώδη υλικά με διαβάθμιση και στο κέντρο του κατασκευάζεται ένας αργιλικός πυρήνας, ο οποίος θεωρητικά είναι αδιαπέρατος, καθώς μπορεί να υπάρχουν μικρές διαφυγές. Ο συγκεκριμένος τύπος φράγματος, αποτελεί κατάλληλη επιλογή καθώς η περιοχή χαρακτηρίζεται από έντονη ετερογένεια, είναι ελαφριά κατασκευή και υπάρχει μεγάλη ποσότητα αργίλου στους δανειοθαλάμους για την κατασκευή του αργιλικού πυρήνα, γεγονός που το χρήζει μη δαπανηρό έργο για την κατασκευή του. Σύμφωνα με τους Marinos V. et al., 2013 η λύση ενός σκληρού αναχώματος δεν θεωρείται εφικτή, λόγω της μέτριας αντοχής του κροκαλοπαγούς σχηματισμού, το οποίο βρίσκεται στη ζώνη θεμελίωσης.

Για την κατασκευή αυτού του τύπου φράγματος δεν απαιτείται σημαντική ανασκαφή για το θεμέλιο ενώ μπορεί να φιλοξενήσει παραμορφώσεις και μετατοπίσεις σε περίπτωση σεισμικής δραστηριότητας. Με βάση τις υλικές ανάγκες, πραγματοποιήθηκε γεωλογική έρευνα στην περιοχή του ταμιευτήρα και στην ευρύτερη λεκάνη για να βρεθούν οι απαραίτητες ποσότητες κατάλληλων δομικών υλικών

Τα υλικά για τον πυρήνα εντοπίστηκαν σε τοποθεσίες εντός των Νεογενών κοιτασμάτων, συμπεριλαμβανομένων των μαργαϊκών υλικών και των αργίλων στις αποθέσεις των αναβαθμίδων. Σε περίπτωση ανεπαρκούς ποσότητας αργίλου, θα μπορούσε να ληφθεί υπόψη η λύση μιας αδιαπέρατης μεμβράνης, είτε στην ανάντη επιφάνεια είτε μέσα στην μάζα του φράγματος (Schleiss και Rougatsch, 2010, από Marinos V. et al., 2013).

Για τα κελύφη του αναχώματος, τα κοκκώδη υλικά τόσο από την κοίτη του ποταμού όσο και από τα κροκαλοπαγή είναι τα πλέον κατάλληλα. Τα υλικά για τα φίλτρα - αποχετεύσεις μπορεί εύκολα να προέρχονται από την κοίτη του ποταμού και τις αναβαθμίδες, μετά από κατάλληλη διαλογή για να αφαιρεθεί το λεπτό κλάσμα αργίλου. Όσον αφορά τα υλικά οδοστρώματος, μεγάλοι ογκόλιθοι υψηλής αντοχής μπορούν να ληφθούν από τις προεξοχές μαρμάρων ή φρέσκων γνευσίων και αμφιβολιτών. Βέβαια, δεν βρέθηκε κανένα κατάλληλο υλικό μέσα στην περιοχή του ταμιευτήρα και εξετάστηκαν περιοχές πέρα από αυτό. (Marinos V. et al., 2013)

Υλικά κατάλληλα για αδρανή σκυροδέματος στην περιοχή του φράγματος μπορούν να προέρχονται από τις προεξοχές των μαρμάρων. Αυτές οι εκβολές όμως ανήκουν στην περιοχή Natura που βρίσκεται κοντά στο Μοναστήρι του Αγίου Αναργύρου. Οι θέσεις εκτός αυτής της περιοχής μελετήθηκαν, ενώ υπάρχει επίσης η δυνατότητα χρήσης



ογκόλιθων ή κροκαλοπαγών μετά από τον κατάλληλο έλεγχο ότι δεν περιέχονται επιβλαβή υλικά, όπως οι κερατόλιθοι. (Marinos V. et al.,2013)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΔΙΑΦΥΓΕΣ - ΚΟΥΡΤΙΝΑ ΤΣΙΜΕΝΤΕΝΕΣΕΩΝ

6.1 Άξονας φράγματος

Απαραίτητη προϋπόθεση για την σωστή λειτουργία του φράγματος, αποτελεί η στεγανότητα στον άξονα της έδρασης του φράγματος. Υπάρχει περίπτωση ,ακόμα και σε μια θεωρητικά αδιαπέρατη βραχώμαζα, να υπάρχουν διαφυγές εξαιτίας έντονων διακλάσεων, υψηλής αποσάθρωσης , καθώς και έντονου κερματισμού. Όλα αυτά βέβαια, σε ικανό πάχος. Για το λόγο αυτόν μελετάται η υδροπερατότητα των σχηματισμών.

Η υδροπερατότητα των σχηματισμών μελετάται, μέσω των αποτελεσμάτων των δοκιμών υδροπερατότητας (Maag, Lefranc και Lugeon), του συντελεστή περατότητας, k και τη στάθμη του υπόγειου υδροφόρου στον άξονα του φράγματος. Με τη μελέτη αυτή μπορούμε να προσδιορίσουμε το βάθος , μέχρι το οποίο θα κατασκευαστεί η κουρτίνα τσιμεντενέσεων ή στην περίπτωση του φράγματος του Αγιοκάμπου ο διαφραγματικός τοίχος.

Όπως αναφέρθηκε και στο 3^ο κεφάλαιο οι δοκιμές περατότητας που διεξήχθησαν για την κατασκευή φράγματος, πραγματοποιήθηκαν σε δύο γεωτρήσεις τις Γ1 και Γ4. Στη Γ1 γεώτρηση όπως παρουσιάζεται και αναλυτικά στον πίνακα 1 του 3^{ου} κεφαλαίου, μέχρι το βάθος των 11m εκτελέστηκε η δοκιμή πίπτοντος φορτίου- Maag η οποία συνίσταται σε εδάφη μικρής περατότητας. Στα βάθη που χρησιμοποιήθηκε η δοκιμή αυτή, έχουμε την παρουσία αργίλου, ο οποίος θεωρείται αδιαπέρατος και γι' αυτό οι τιμές που παίρνουμε είναι πολύ μικρές.

Στη συνέχεια από το βάθος των 11 έως των 39,5 m η δοκιμή περατότητας που πραγματοποιήθηκε, ήταν η δοκιμή Lugeon. Για τον προσδιορισμό του βάθους , μέχρι το οποίο θα κατασκευαστεί ο διαφραγματικός τοίχος, θα πρέπει οι τιμές του συντελεστή περατότητας k να μετατραπούν , από m/sec σε μονάδες Lugeon U.L. Ο κανόνας που ισχύει για τη μετατροπή των μονάδων από cm/sec (ή m/sec) σε μονάδες U.L., ορίζει πως 1 U.L. ισούται με την απορρόφηση 1 l/min.m από γεώτρηση για 10 min δοκιμής και με εφαρμοζόμενη συνολική πίεση 10 bar. Επειδή όμως η ισότητα αυτή μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε ιδανικές συνθήκες σταθερών πιέσεων , σε όλες τις γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν δοκιμές περατότητας , για το λόγο αυτό θα εφαρμοστεί η απλούστερη σχέση , η οποία ορίζει πως 1 U.L. ισούται με m/sec ή cm/sec. Συνεπώς για την γεώτρηση Γ1 , έχουμε (Πίνακας 1):

Πίνακας 1: Πίνακας μετατροπών του συντελεστή περατότητας k (cm/sec), σε μονάδες U.L.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ (m)	k (m/sec)	U.L.
Γ1	11-13	2.5×10^{-7}	2.5
Γ1	17.6-23.5	1.6×10^{-7}	1.6
Γ1	23.5-30	1.8×10^{-7}	1.8
Γ1	30-37	1.3×10^{-7}	1.3
Γ1	37-39.5	1.6×10^{-7}	1.6

Στη Γ4 γεώτρηση όπως μπορούμε να δούμε και από τον πίνακα 1 του 3^{ου} κεφαλαίου μέχρι το βάθος των 16 m πραγματοποιήθηκε η δοκιμή περατότητας Lefranc η οποία συνίσταται σε εδάφη καλής περατότητας. Σε ορισμένα σημεία όπως στο βάθος των 3 m και στο βάθος των 8m , τα αποτελέσματα δείχνουν μεγάλη περατότητα, καθώς για βάθος από 3-4m η περατότητα αντιστοιχεί σε >150 lt/min, ενώ για βάθος από 8- 14 m η περατότητα αντιστοιχεί πάλι σε >150 lt/min. Τα αποτελέσματα αυτά αποδεικνύουν υλικά αποσάθρωσης καθώς και ποταμοχειμάρρια υλικά(κροκάλες, χαλίκια), όπως επαληθεύεται και από την γεώτρηση Γ4, τα οποία είναι υλικά που επιτρέπουν τη μεταφορά νερού. Από το βάθος των 17 περίπου έως τον 35m εκτελέστηκαν δοκιμές περατότητας Lugeon , οι τιμές των οποίων είναι πολύ χαμηλές και άρα δεν αναμένονται διαφυγές. Η μετατροπή του συντελεστή περατότητας k , από m/sec σε μονάδες Lugeon U.L. θα μας δείξει μέχρι ποιο βάθος θα φτάσει ο διαφραγματικός τοίχος.

Πίνακας 2: Πίνακας μετατροπών του συντελεστή περατότητας k (cm/sec), σε μονάδες U.L.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ (m)	k (m/sec)	U.L.
Γ4	18-22	1.9×10^{-6}	0.19
Γ4	23-28	1.2×10^{-6}	0.12
Γ4	28-32	1.6×10^{-6}	0.16
Γ4	32-35	1.8×10^{-6}	0.18

Έκταση διαφραγματικού τοίχου

Στο φράγμα του Αγιοκάμπου προτείνεται ως καλύτερη επιλογή ο διαφραγματικός τοίχος ,από την κουρτίνα τσιμεντενέσεων, διότι δεν υπάρχουν συστηματικές και συνέχεις ασυνέχειες. Έτσι το ένεμα (ρευστό υλικό) που θα χρησιμοποιηθεί για την σταθεροποίηση και στεγανοποίηση του γεωλογικού σχηματισμού, θα μπορεί να κινείται πιο εύκολα μετά τη εισπίεση του στο γεωλογικό σχηματισμό. Για να προσδιορίσουμε την έκταση του διαφραγματικού τοίχου ,προεκτείνουμε την ευθεία του ύψους του φράγματος προς τα δύο αντερείσματα και η προέκταση σταματά εκεί όπου η νοητή ευθεία συναντά τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.

Με βάση τον Πίνακα 3, προσδιορίζεται ένα όριο τιμής Lugeon με βάση το ύψος του φράγματος. Έτσι, οριοθετείτε η περιοχή του βάθους των τσιμεντενέσεων.

Πίνακας 3: Όριο μονάδων Lugeon σε σχέση με το ύψος του φράγματος.

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

Εφαρμόζοντας την παραπάνω αντιστοιχία, προκύπτει σε κάθε γεώτρηση ένα βάθος το οποίο αντιστοιχεί στο όριο του U.L. Ενόνοντας τα σημεία αυτά, προκύπτει μια καμπύλη που οριοθετεί το βάθος του διαφραγματικού τοίχου. Παρόλα αυτά επειδή οι δοκιμές υδροπερατότητας πραγματοποιήθηκαν μόνο σε 2 γεωτρήσεις, δεν μπορεί να υπάρξει ικανή εικόνα, η οποία να προβάλλει την καμπύλη οριοθέτησης του βάθους εκτέλεσης των τσιμεντενέσεων, για την κατασκευή του διαφραγματικού τοίχου.

6.2 Ταμιευτήρας

Ο άξονας του φράγματος και ο ταμιευτήρας καλύπτονται από τους σχηματισμούς των κροκαλοπαγών, οι οποίοι είναι αδιαπέρατοι σε μεγάλη κλίμακα, εξαιρουμένου του τμήματος των επιφανειών τους. Στην περιοχή του ταμιευτήρα υπάρχουν επίσης ασβεστόλιθοι, οι οποίοι σε μικρό βαθμό είναι διαπερατοί αλλά το χαμηλότερο σημείο εκτροπής τους βρίσκεται μέσα στην περιοχή του ταμιευτήρα, στο ρέμα του μοναστηριού Αγίων Αναργύρων. Οι πηγές εκκενώνονται σε αυτό το σημείο.

Κεφάλαιο 7

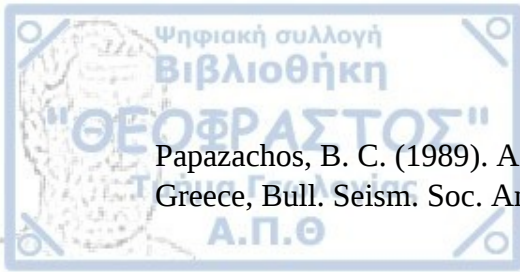
Συμπεράσματα

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία σκοπό έχει να αναδείξει την τεχνικογεωλογική αξιολόγηση και συμπεριφορά των πρόσφατων κροκαλοπαγών στη θεμελίωση ενός φράγματος . Το φράγμα που μελετάτε είναι το φράγμα του Αγιόκαμπου. Χαρακτηριστικό του φράγματος είναι η παρουσία κροκαλοπαγών σε όλη την έκτασή του και γι' αυτό τον λόγο εξετάζεται η περίπτωση του σχεδιασμού του. Το ιδιαίτερο ζήτημα στην περίπτωση ενός φράγματος με τέτοια μάζα βράχου, δηλαδή κροκαλοπαγών μέσης συνοχής, είναι ότι το υλικό αυτό δεν επιτρέπει να βασιστεί κανείς σε παραδοσιακές δειγματοληψίες και δοκιμές στις γεωτρήσεις. Οι δοκιμές Lugeon δεν έχουν νόημα και συνιστώνται δοκιμές μεταβλητού φορτίου Maag. Προκειμένου να ληφθούν οι γεωτεχνικές παράμετροι, απαιτούνται ειδικές διαδικασίες δειγματοληψίας. Οι βαθιοί τάφροι και οι κοιλότητες επιτρέπουν την πιο αξιόπιστη παρατήρηση και σίγουρα την αντιπροσωπευτική δειγματοληψία. Η ανάλυση των πλαγιών, είναι αναμφίβολα χρήσιμο εργαλείο για την προσέγγιση των παραμέτρων αντοχής της παγκόσμιας βραχομάζας. Έτσι γίνεται κατανοητό ότι η μηχανική γεωλογική αξιολόγηση πριν από οποιαδήποτε δοκιμή και ανάλυση είναι πρωταρχικής σημασίας.

Τα κροκαλοπαγή στην περιοχή μελέτης έχουν αργιλώδη ή ιλυοαμμώδη σύσταση και γενικά εμφανίζουν μεσαία συνοχή με γενικά καλή αλληλοσύνδεση μεταξύ των χαλικιών. Το υλικό, από γεωτεχνική άποψη, είναι αδύναμο, αλλά δεν εγείρει σοβαρές ανησυχίες για τη δημιουργία ενός χωμάτινου φράγματος . Έχει χαμηλή αντοχή, αλλά και χαμηλή συμπιεστότητα. Το υπόβαθρο των κροκαλοπαγών αποτελείται από κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους και από το μεταμορφικό σχιστολιθικό τεκτονικό σύμπλεγμα αλλά δεν παρεμβάλλονται στο έργο, αφού τα κροκαλοπαγή είναι αρκετά παχιά.

Το υλικό στη ζώνη θεμελίωσης είναι, ωστόσο, διαβρώσιμο ακόμη και υπό μέτρια υδραυλική κλίση της ροής των υπόγειων υδάτων. Για το λόγο αυτό, η θεμελίωση του πυρήνα πρέπει να γίνει σε βαθύτερα επίπεδα ανασκαφής, όπου τα κροκαλοπαγή είναι πιο πυκνά. Εντούτοις, θα χρειαστούν τσιμεντενέσεις τάπητα , δεδομένου ότι η επιφανειακή ζώνη είναι ευαίσθητη στην εσωτερική διάβρωση, ενώ ο διαφραγματικός τοίχος κάτω από το φράγμα θα ενισχύσει την προστασία από τη διάβρωση. Με βάση τις επι τόπου δοκιμές υδροπερατότητας είναι απαραίτητο να κατασκευαστεί ο διαφραγματικός τοίχος , ο οποίος θα αντικαταστήσει την κατασκευή της κουρτίνας τσιμεντενέσεων. Η μορφολογία στην περιοχή έξω από το φράγμα, μαζί με τη χαμηλή διαπερατότητα, είναι δυσμενής για να ευνοήσει την διήθηση των υπόγειων υδάτων από παρακάμψεις. Η επέκταση του διαφραγματικού τοίχου θα λύσει το πρόβλημα αυτό. Τέλος, απαιτούνται οπές αποστράγγισης, κατάντη των επαφών της κλίσης του φράγματος, λόγω της χαμηλής διαπερατότητας του υλικού και της υψηλής στάθμης νερού που θα δημιουργηθεί κατάντη του φράγματος.

- Δημόπουλος Γεώργιος, «Γεωλογικές μελέτες τεχνικών έργων - Υδρογεωλογικές μελέτες», Εκδοτικός οίκος Αδελφών Κυριακίδη α.ε., Θεσσαλονίκη, 2007
- Κούκης Γ. και Σαμπατακάκης Ν.(2007). Γεωλογία Τεχνικών έργων. Εκδόσεις Παπασωτηρίου. Σελ 343-367
- Μαρίνος Π., «Γεωλογία φραγμάτων. Διεθνείς και ελληνικές εμπειρίες», Πρακτικά ημερίδας Γεωλογία και Φράγματα, ΕΕΤΓ της ΙΑΕΓ, Αθήνα, 1991.
- Μουντράκης Δ.(2010). Γεωλογία και Γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας. Εκδόσεις University Studio Press , σελ.105-119
- Παπαζάχος Β. και Παπαζάχου Κ.(2003). Οι σεισμοί της Ελλάδας, Εκδόσεις Ζήτη, σελ.317
- Ρόζος Δ.(2007). Τεχνική γεωλογία ΙΙ. Σελ. 157-158
- Τσιφί Παυλίνα-Δέσποινα (2014). Τεχνικογεωλογικές συνθήκες του φράγματος του Ιάσμου, Ν. Ροδόπης σελ. 49-52
- Marinos V., Lazaridou S., Perleros V. and Sotiropoulou K. (2013). Engineering geological behaviour of recent conglomerate deposits in dam foundation. The case of Agiokampos dam in Thessaly, central Greece.
- McKenzie, D. P. (1970). The plate tectonics of the Mediterranean region. Nature, 226, 239–243.
- McKenzie, D. P. (1972). Active tectonics of the Mediterranean region. Geophys. J. R. astron. Soc., 30, 109–185.
- McKenzie, D. P. (1978). Active tectonics of the Alpine–Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions. Geophys. J. R. astron. Soc., 55, 217–254
- Papadimitriou, E. E. and Karakostas, V. G. (2003). Episodic occurrence of strong ($M_w > 6.2$) earthquakes in Thessalia area (central Greece). Earth Planet. Sci. Lett., 215, 395–409.
- Papazachos, B. C., Papadimitriou, E. E., Kiratzi, A. A., Papazachos, C. B. and Louvari, E. K. (1998). Fault plane solutions in the Aegean Sea and the surrounding area and their tectonic implications. Boll. Geof. Teor. Appl., 39, 199–218.
- Papazachos, B. C. and Comninakis, P. E. (1970). Geophysical features of the Greek island arc and eastern Mediterranean ridge. Com. Ren. Des Sceances de la Conference Reunie a Madrid, 1969, 16, 74–75.
- Papazachos, B. C. and Comninakis, P. E. (1971). Geophysical and tectonic features of the Aegean arc. J. Geophys. Res., 76.
- Papazachos, C. B. and Kiratzi, A. A. (1996). A detailed study of the active crustal deformation in the Aegean and surrounding area. Tectonophysics, 253, 129–153.



Papazachos, B. C. (1989). A time–predictable model for earthquake generation in Greece, Bull. Seism. Soc. Am., 77–84.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ