



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ «ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ»

ΓΚΟΡΑΝΗ ΑΝΤΡΙΑΝΑ
ΠΤΥΧΙΟΥΧΟΣ ΓΕΩΛΟΓΟΣ

**ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΚΑΙ
ΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΛΟΥΖΙΚΙ ΟΛΥΝΘΙΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ,
ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2020



ΓΚΟΡΑΝΗ ΑΝΤΡΙΑΝΑ
ΠΤΥΧΙΟΥΧΟΣ ΓΕΩΛΟΓΟΣ

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΚΑΙ ΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΛΟΥΖΙΚΙ ΟΛΥΝΘΙΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ, ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ

Υποβλήθηκε στο τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού
Προγράμματος Σπουδών «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία»
Εργαστήριο Τεχνική Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

Δρ. Μακεδών Θωμάς, Ε.ΔΙΠ.Α.Π.Θ., Επιβλέπων

Βασίλειος Χρηστάρας, Καθηγητής ΑΠΘ, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής
Επιτροπής

Βασίλειος Μαρίνος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ, Μέλος Τριμελούς
Συμβουλευτικής Επιτροπής

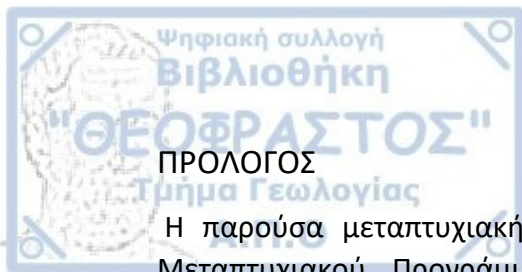


©Γκοράνη Αντριάνα, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, 2018. Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΚΑΙ ΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΛΟΥΖΙΚΙ ΟΛΥΝΘΙΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ, ΧΑΛΚΙΔΙΚΗ

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.



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία».

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Δρ. Μακεδόνα Θωμά για την ανάθεση του θέματος, τη συνεχή καθοδήγηση σε όλα τα στάδια της εργασίας και τη γνωσιακή συμβολή του κατά την διάρκεια του μεταπτυχιακού προγράμματος.

Θέρμες ευχαριστίες στον κ. Βασίλη Μαρίνο Αν. Καθηγητή του Α.Π.Θ., για την ευκαιρία να είμαι μέλος της ομάδας του Μεταπτυχιακού προγράμματος.

Ευχαριστώ τον κ. Χρηστάρα Βασίλειο για τη συμμετοχή του στην τριμελή επιτροπή.

Επιπλέον ευχαριστώ το γραφείο Γεωτεχνολογική Α.Τ.Ε. – Σ. Ασπρούδας & Συνεργάτες Ε.Ε., για τα δεδομένα της προκαταρκτικής μελέτης στη θέση του έργου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την συνεχή στήριξη και την δύναμη που μου προσφέρουν, καθώς και τους κοντινούς μου ανθρώπους που ήταν δίπλα μου αυτή την ευχάριστα δύσκολη χρονιά.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κατασκευή ενός φράγματος προϋποθέτει ενδελεχή και συστηματική έρευνα, καθώς αποτελεί ένα πολυπαραγοντικό έργο, με απώτερο σκοπό την ασφαλή κατασκευή και λειτουργία του. Η επίτευξη των προαναφερθέντων στόχων γίνεται μέσω υδρολογικής, γεωλογικής και γεωτεχνικής έρευνας της περιοχής του φράγματος.

Η υπό μελέτη θέση φράγματος βρίσκεται στο Νομό Χαλκιδικής, στον ποταμό Βατόνια (Ολύνθιο), στη θέση Λουζίκι. Πρόκειται για χωμάτινο φράγμα με αργιλικό πυρήνα, ύψος 73 m, μήκος στέψης 210 m και πλάτος στέψης 10 m. Συνοδά έργα του φράγματος αποτελούν ο υπερχειλιστής – εκχειλιστής, η σήραγγα εκτροπής και το ανάντη πρόφραγμα.

Το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης αποτελείται από εναλλαγές μεταμορφωμένων πετρωμάτων, ηλικίας Κάτω – Μέσο Ιουρασικού, που αναφέρονται ως "σχηματισμός ή φλύσχης της Σβούλας" (Μουντράκης, 2010), Νεογενείς σχηματισμούς και πρόσφατες ποτάμιες αναβαθμίδες και αποθέσεις κοίτης.

Η εκτίμηση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών, βασίστηκε σε γεωλογικούς δείκτες και σε μηχανικές παραμέτρους όπως: RQD, GSI, βαθμός αποσάθρωσης, περατότητα και μονοαξονική αντοχή, που προσδιορίστηκαν από την υπαίθρια χαρτογράφηση και εργαστηριακές δοκιμές (Point Load Index). Ο προσδιορισμός των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων, έγινε μέσω αυτών των παραμέτρων, με απώτερο σκοπό την εκτίμηση της μηχανικής συμπεριφοράς της βραχομάζας. Η εκτίμηση της μηχανικής συμπεριφοράς περιλαμβάνει την ευστάθεια των πρανών μέσω κινηματικής ανάλυσης, Dips 7.0, την εκτίμηση της αντοχής και της παραμορφωσιμότητας καθώς και δεδομένα για τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και την πιεζομετρία. Οι αβεβαιότητες σχετικά με την καταλληλότητα της θέσης του φράγματος σχετίζονται με την ετερογένεια και διαβρωσιμότητα των σχηματισμών, την παρουσία ρηγμάτων, την τεκτονική καταπόνηση της βραχομάζας και τις πιθανές διαφυγές.

Η θέση θεμελίωσης ενδέχεται να παρουσιάζει προβλήματα ευστάθειας λόγω της παραμορφωσιμότητας των σχηματισμών, της διαβρωσιμότητας του γραφιτικού σχιστόλιθου και των συνθηκών του υπόγειου νερού. Από την ανάλυση προέκυψε ότι στο δεξί αντέρεισμα δεν αναμένεται να παρουσιαστούν προβλήματα ευστάθειας, όμως στο αριστερό αντέρεισμα μπορεί να προκύψουν βαρυτικές αστοχίες με τη μορφή σφηνοειδών ολισθήσεων. Στη θέση του άξονα του φράγματος, δεν αναμένονται σημαντικές διαφυγές βάσει των επί τόπου δοκιμών περατότητας, επομένως το βάθος της κουρτίνας τσιμεντενέσεων εκτιμάται ότι δεν θα είναι μεγάλο και με περιορισμένη έκταση στα αντερείσματα.

Στον ταμιευτήρα, εντοπίστηκαν δυο παλιές κατολισθήσεις, εκ των οποίων η μια σε κοντινή απόσταση από τον άξονα του φράγματος (500 m), καθώς και κάποιες βραχοκαταπτώσεις (σφηνοειδείς ολισθήσεις). Αναφορικά με τις διαφυγές, η παρουσία κροκαλοπαγών, στο βόρειο τμήμα του ταμιευτήρα, αποτελεί πιθανώς κίνδυνο. Το χωμάτινο φράγμα με αργιλικό πυρήνα, αποτελεί την καλύτερη επιλογή βάσει της ποιότητας της βραχομάζας και της ετερογένειας των σχηματισμών στη θέση θεμελίωσης.

ABSTRACT

Dams constitute major construction projects for the accumulation of water for various purposes. The construction of a dam demands meticulous and thorough investigation, since it constitutes a multi-factor discipline, aiming to the safe and efficient construction. A dam site suitability investigation includes hydrological, geological and engineering geological investigation in the dam and reservoir area.

Louziki dam site is in Chalkidiki peninsula and more specifically on Vatonias (Olynthios) river. It is an earth fill dam with a design height of 72 m, crest length 210 m and crest width 10 m. The main supplementary structures for the dam are the spillway, the diversion tunnel and the coffer dam.

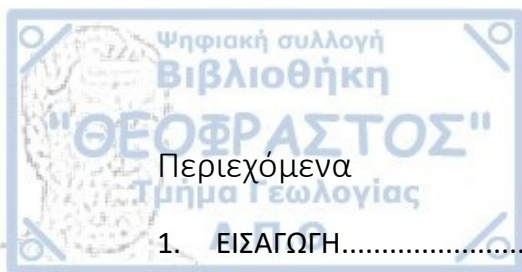
The geological bedrock of the area consists of metamorphic rock alternations, of Lower-Middle Jurassic age, comprising the "Svoula flysch formation", (Mountrakis D., 2010), as well as Neogene and Quaternary sediments encountered close to the riverbed.

For the assessment of the engineering geological conditions, several index and mechanical properties were considered, namely RQD, GSI, degree of weathering, rock mass permeability and intact rock compressive strength. These parameters were introduced in the definition of engineering geological units to further estimate the rock mass behavior. The estimation of the rock mass behavior includes slope stability via kinematic analysis, evaluation of strength and deformability as well as groundwater and piezometric data.

The uncertainties relating to the suitability of the dam site are associated with the heterogeneity and erodibility of the formations, the presence of faults, the tectonic disturbance of the rock-mass and the estimated water losses.

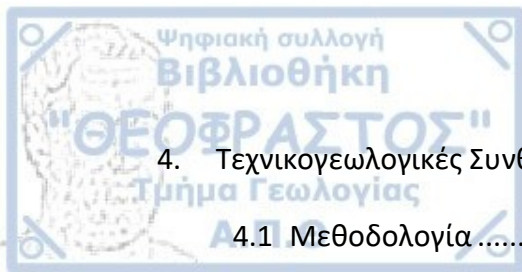
In the foundation zone of the dam, stability problems can arise due to the heterogenous formations, the erodibility of graphitic schist and the water pressure conditions. The right abutment is not expected to present any stability problems, but wedge failures may occur in the left abutment. Based on the in-situ permeability tests in the area of the dam axis no significant leakages are expected, hence the depth of the grout curtain is evaluated to be close to the surface.

In the reservoir area two landslides were identified, one of them in a close distance from the dam's axis (500m), as well as some rockfalls phenomena (wedge failures). In respect to the water losses, the presence of conglomerates at the northern limit of the reservoir poses a hazard. The earth fill dam appears as the optimal option based on the weak nature of the rock masses and the heterogeneity of the foundation's formations.



Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1 Σκοπός – Αντικείμενο	9
1.2 Στοιχεία του έργου	9
1.3 Μεθοδολογία – Εργαλεία έρευνας.....	12
2. Βιβλιογραφικό υπόβαθρο φραγμάτων.....	13
2.1 Γενικά στοιχεία.....	13
2.2 Τύποι φραγμάτων	13
2.2.1 Ανάλογα με τη χρήση	13
2.2.2 Ανάλογα με τη γεωμετρία και τα υλικά κατασκευής	13
2.2.2.1 Δύσκαμπτα φράγματα	13
2.2.2.2 Εύκαμπτα φράγματα	15
2.2.2.3 Μικτά ή σύνθετα φράγματα	17
2.3 Συνοδά έργα φράγματος.....	17
2.4 Κριτήρια επιλογής θέσης ταμιευτήρα – θέσης φράγματος	19
3. Γεωλογικές Συνθήκες.....	22
3.1 Ευρύτερης περιοχής.....	22
3.1.1 Γεωτεκτονική – Λιθοστρωματογραφία.....	22
3.1.2 Τεκτονική.....	25
3.1.3 Νεοτεκτονική - Σεισμικότητα	27
3.1.4 Κλιματολογικές συνθήκες	29
3.2 Στενής περιοχής του Έργου	31
3.2.1 Γεωμορφολογικές συνθήκες.....	31
3.2.2 Υδρολογικές – Υδρολιθολογικές συνθήκες.....	33
3.2.3 Γεωλογικές συνθήκες	43
3.2.3.1 Μικροτεκτονική ανάλυση – γεωλογικό προσομοίωμα	48



4. Τεχνικογεωλογικές Συνθήκες	73
4.1 Μεθοδολογία	73
4.2 Στατιστική ανάλυση παραμέτρων.....	76
4.3 Τεχνικογεωλογικές ενότητες	79
5. Θέματα ευστάθειας και στεγανότητας του φράγματος	88
5.1 Μεθοδολογία	88
5.1.1. Αστοχία βραχομάζας ως ισότροπο μέσο.....	88
5.1.2 Αστοχία κατά μήκος ασυνεχειών	89
5.2 Σχεδιασμός.....	92
5.2.1.Άξονας φράγματος	92
5.2.2.Συνοδά έργα.....	108
5.3 Λεκάνη κατάκλυσης.....	120
6. Αξιολόγηση θέσης φράγματος	130
6.1 Τύπος – χαρακτηριστικά φράγματος	130
6.2 Υλικά κατασκευής - Δανειοθάλαμοι	135
7. Συμπεράσματα	137
Βιβλιογραφία	140
Παράρτημα	142

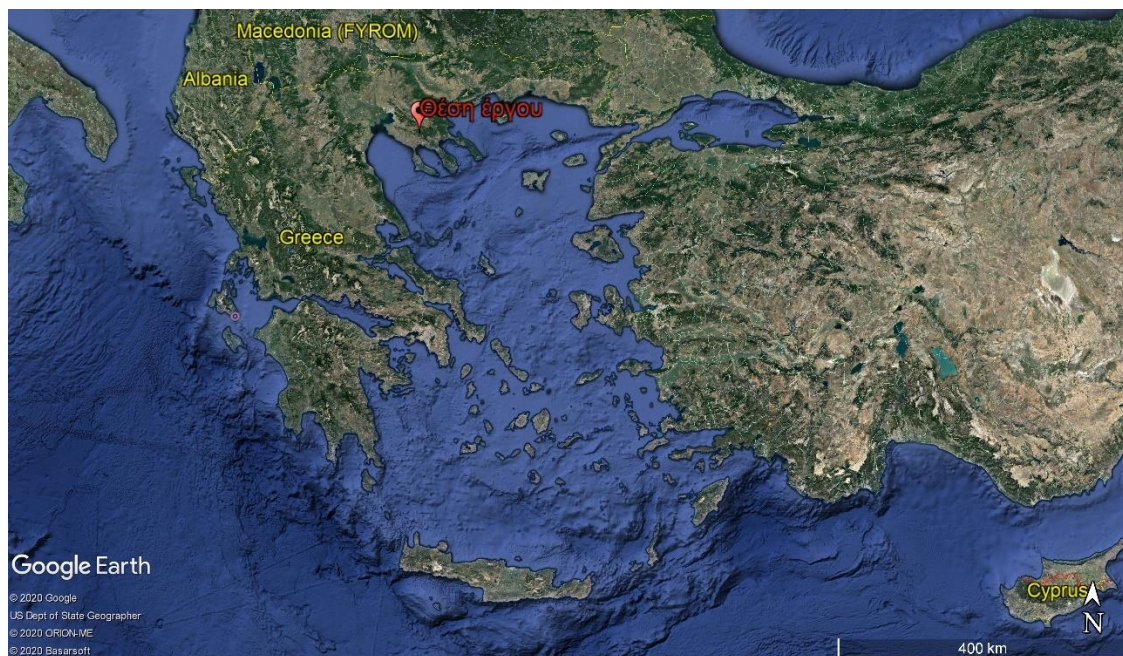
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σκοπός – Αντικείμενο

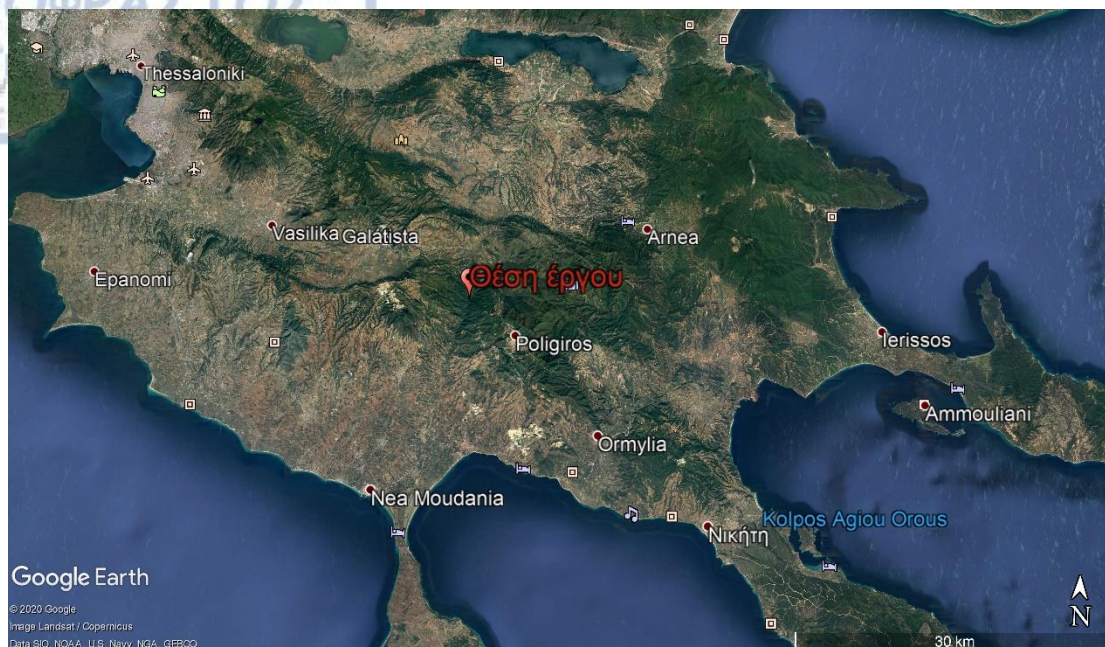
Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η γεωλογική – τεχνικογεωλογική αξιολόγηση της καταλληλότητας της θέσης του φράγματος στη θέση Λουζίκι, στον ποταμό Βατόνια (Ολύνθιος), του Ν. Χαλκιδικής. Η αξιολόγηση περιλαμβάνει κυρίως θέματα ευστάθειας του φράγματος και των συναφών έργων καθώς και της στεγανότητας της προτεινόμενης θέσης θεμελίωσης. Επιπλέον περιλαμβάνει την αξιολόγηση του υδρολογικού ισοζυγίου, θέματα ευστάθειας, στερεοπαροχών και στεγανότητας της σχηματιζόμενης λεκάνης κατάκλυσης. Τέλος γίνεται η αξιολόγηση του τύπου του φράγματος και προτείνεται η διάταξη των κύριων συνοδών έργων του φράγματος.

1.2 Στοιχεία του έργου

Η ερευνηθείσα περιοχή βρίσκεται στη Βόρεια Ελλάδα, στο Νομό Χαλκιδικής και συγκεκριμένα ΒΔ της πρωτεύουσας του νομού, τον Πολύγυρο. Η περιοχή έρευνας περιλαμβάνει τη θέση θεμελίωσης του κυρίως φράγματος και των συνοδών έργων στη θέση Λουζίκι, καθώς και της σχηματιζόμενης λεκάνης κατάκλυσης ανάντη του φράγματος.

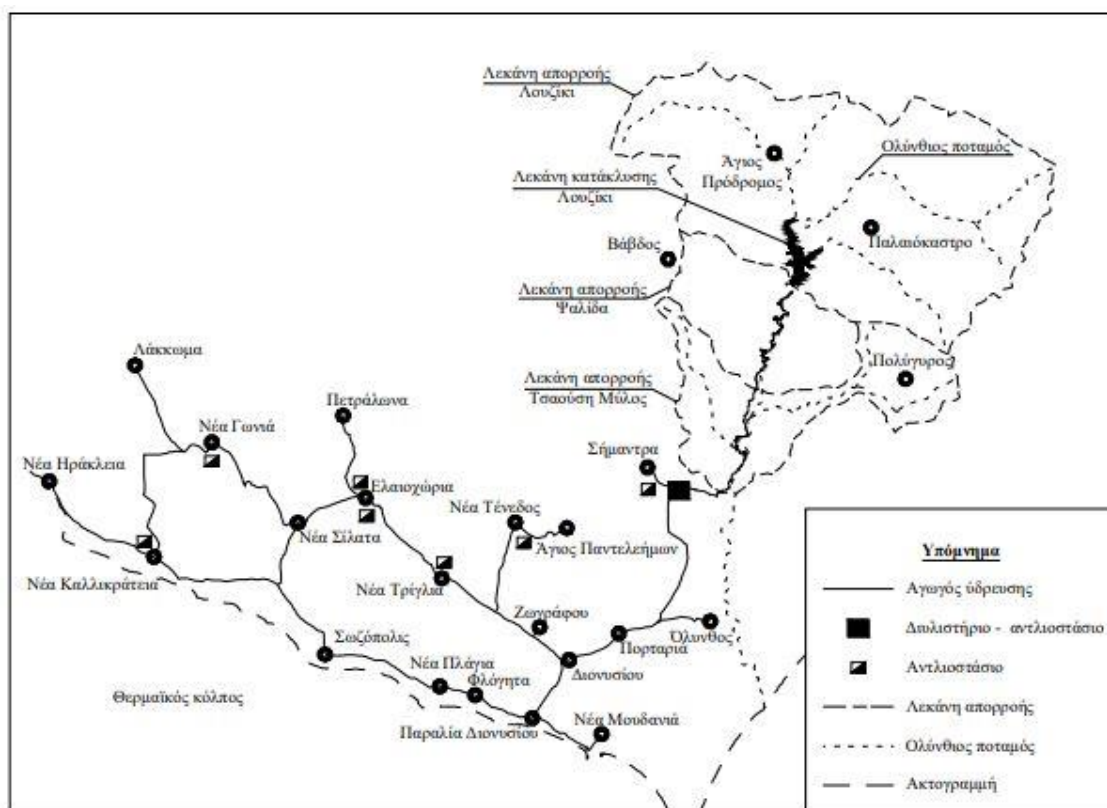


Εικόνα 1. Θέση περιοχής μελέτης, Google Earth.



Εικόνα 2. Θέση έργου, Google Earth.

Σκοπός της κατασκευής του φράγματος είναι η αξιοποίηση του υδατικού δυναμικού του Ν. Χαλκιδικής με σκοπό την κάλυψη των αναγκών σε νερό ύδρευσης και άρδευσης. Στην Εικόνα 3., δίνεται η γενική διάταξη του φράγματος του Ολύνθιου, στη θέση Λουζίκι και του κατάντη δικτύου ύδρευσης, (Parisopoulos et al., 2013).



Εικόνα 3. Γενική διάταξη φράγματος και κατάντη δίκτυο ύδρευσης (G. Parisopoulos et al., 2013).

σύμφωνα με την προκαταρκτική μελέτη του φράγματος του Ολύνθιου στην θέση Λουζίκι, που εκπονήθηκε από την ομάδα ερευνητών του Α.Π.Θ. τα κύρια χαρακτηριστικά του σχεδιαζόμενου φράγματος στη θέση αυτή είναι:

Πίνακας 1. Γεωμετρικά στοιχεία φράγματος και συνοδών έργων.

Γεωμετρικά στοιχεία φράγματος	
Στέψη φράγματος:	310,00 m
Στάθμη θεμελίωσης:	237,00 m
Ύψος φράγματος:	73,00 m
Μήκος στέψης φράγματος:	214,07 m
Πλάτος στέψης φράγματος:	10,00 m
Κλίσεις πρανών (β:υ):	2:1
Όγκος σώματος φράγματος:	$1,27 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
Στέψη προφράγματος:	258,00m
Στάθμη πλημμύρας (T=10.000 ετών):	306,55m
Στάθμη πλημμύρας (PMF):	307,40m
Ανώτατη στάθμη λειτουργίας (Α.Σ.Λ.):	304,00m
Κατώτατη στάθμη λειτουργίας (Κ.Σ.Λ.):	266,00m
Όγκος ταμίευσης:	$22,84 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
Ωφέλιμος όγκος ταμίευσης:	$20,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
Επιφάνεια λεκάνης κατάκλυσης (Α.Σ.Λ.):	$0,988 \text{ km}^2$
Περίμετρος λεκάνης κατάκλυσης (Α.Σ.Λ.):	13,303km
Επιφάνεια λεκάνης απορροής:	$131,20 \text{ km}^2$
Όγκος μέσης ετήσιας απορροής:	$20,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
Αγωγός εκτροπής:	Θολωτή διαμέτρου 2,00m και ύψους 4,50m
Μήκος αγωγού εκτροπής:	340,00m
Υψόμετρο εισόδου αγωγού εκτροπής:	241,00m
Υψόμετρο εξόδου αγωγού εκτροπής:	228,00m
Υψόμετρο στέψης υπερχειλιστή:	304,00m
Μήκος στέψης υπερχειλιστή:	102,00m

1.3 Μεθοδολογία – Εργαλεία έρευνας

Για την παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα της προκαταρκτικής μελέτης που εκπονήθηκε από ερευνητική ομάδα του ΑΠΘ (Καραμούζης, 2008), δηλαδή γεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής του έργου (κλίμακας 1:5.000), στοιχεία γεωτρήσεων, εργαστηριακών και επί τόπου δοκιμών, το φύλλο γεωλογικού χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε., «Πολύγυρος» (κλίμακας 1:50.000), καθώς και βροχομετρικά στοιχεία από τρεις βροχομετρικούς σταθμούς της ευρύτερης περιοχής.

Η γεωτεχνική ταξινόμηση βραχομάζας πραγματοποιήθηκε από τη συλλογή δεδομένων και μετρήσεων μέσω έρευνας πεδίου καθώς και από δεδομένα γεωτρήσεων. Στην ύπαιθρο συλλέχθηκαν μετρήσεις σχετικά με τα τεκτονικά στοιχεία των ασυνεχειών της περιοχής με σκοπό τη σύνταξη τεκτονικών διαγραμμάτων. Επίσης, έγινε συλλογή δειγμάτων για την εκπόνηση εργαστηριακών δοκιμών με σκοπό τον προσδιορισμό της αντοχής των σχηματισμών. Τέλος, μέσω χρήσης σφύρας Schmidt και προφίλομέτρου, έγινε ο προσδιορισμός της αντοχής και της τραχύτητας των ασυνεχειών. Όλες οι υπαίθριες εργασίες αποσκοπούν στην ορθότερη αποτύπωση της συνολικής δομής των σχηματισμών στο χώρο, με στόχο τη δημιουργία του γεωλογικού μοντέλου.

Έγινε αξιολόγηση των υδρογεωλογικών στοιχείων καθώς και των υδρολογικών δεδομένων της ευρύτερης και της στενής περιοχής του έργου, με σκοπό τον υπολογισμό του διαθέσιμου όγκου νερού της σχηματιζόμενης λεκάνης κατάκλυσης.

Για τη δημιουργία του γεωλογικού μοντέλου κατασκευάστηκαν αντιπροσωπευτικές γεωλογικές τομές (θέση θεμελίωσης, αντερείσματα, λεκάνη κατάκλυσης), με βάση τη γεωλογική χαρτογράφηση τα δεδομένα των γεωτρήσεων και της υπαίθριας έρευνας.

Στη συνέχεια και με βάση την τεχνικογεωλογική αξιολόγηση της θέσης θεμελίωσης του φράγματος, καθορίστηκαν τεχνικογεωλογικές ενότητες για τους σχηματισμούς που δομούν την περιοχή με σκοπό τη δημιουργία του εννοιολογικού μοντέλου της περιοχής του φράγματος που θα ενσωματώνει τα θέματα αντοχής, ευστάθειας και στεγανότητας της βραχομάζας που αναμένεται να προκύψουν.

Αξιολογήθηκε η επιλογή της θέσης των συνοδών έργων, υπερχειλιστή - σήραγγας εκτροπής, με βάση την τεχνικογεωλογική συμπεριφορά των σχηματισμών στο εκάστοτε έργο.

Η αξιολόγηση αυτή περιέλαβε έλεγχο ευστάθειας έναντι αστοχιών της βραχομάζας καθώς και στεγανότητας της θέσης του φράγματος και των αντερείσμάτων. Επίσης, με βάση και τα στοιχεία της υπαίθριας παρατήρησης, εξετάστηκαν θέσεις όπου εντοπίστηκαν προβλήματα ευστάθειας στην περιοχή του σχηματιζόμενου ταμιευτήρα.

Τέλος, με βάση όλα τα παραπάνω αξιολογήθηκε ο προτεινόμενος τύπος φράγματος, και αναφέρθηκαν προτεινόμενες θέσεις για την απόληψη υλικών κατασκευής του (δανειοθάλαμοι).

2. Βιβλιογραφικό υπόβαθρο φραγμάτων

2.1 Γενικά στοιχεία

Τα φράγματα είναι Υδραυλικά Τεχνικά Έργα που φράσσουν τη ροή του νερού ενός υδατορρεύματος, με σκοπό την αποθήκευσή του για συγκεκριμένη χρήση. Η κατασκευή του φράγματος οδηγεί στο σχηματισμό τεχνητής λίμνης στην ανάντη πλευρά του φράγματος που ονομάζεται ταμιευτήρας ή λεκάνη κατάκλυσης.

Τα φράγματα κατασκευάζονται συνήθως στις κοίτες φυσικών ρεμάτων με διάταξη κάθετα προς τη διεύθυνση ροής. Καταλαμβάνουν το πλάτος της κοίτης και το ύψος τους εξαρτάται από μεγάλο αριθμό παραμέτρων με κυριότερα τον όγκο του ταμιευτήρα και το εύρος της κοιλάδας. Πρόκειται για μεγάλης σημασίας τεχνικά έργα, καθώς εξυπηρετούν πολλαπλούς σκοπούς όπως η ύδρευση μεγάλων αστικών κέντρων, η άρδευση καλλιεργειών και η παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας.

2.2 Τύποι φραγμάτων

Τα φράγματα ταξινομούνται βάση τον τύπο τους, το σκοπό (χρήση) τους καθώς και τη γεωμετρία και τα υλικά κατασκευής τους. Οι παράμετροι που αξιολογούνται για την επιλογή της θέσης και του τύπου του φράγματος είναι οι γεωλογικές και μορφολογικές συνθήκες της περιοχής, η αντοχή και η ευστάθεια των σχηματισμών, καθώς και η διαθεσιμότητα των υλικών κατασκευής και του νερού.

2.2.1 Ανάλογα με τη χρήση

Τα φράγματα ανάλογα με το σκοπό (χρήση) τους διαχωρίζονται σε:

1. Υδροηλεκτρικά (ενεργειακά)
2. Αρδευτικά
3. Υδρευτικά
4. Αντιπλημμυρικά
5. Τέλος μπορεί να είναι πολλαπλού σκοπού όταν καλύπτουν περισσότερες από μια χρήσεις

2.2.2 Ανάλογα με τη γεωμετρία και τα υλικά κατασκευής

2.2.2.1 Δύσκαμπτα φράγματα

- Βαρύτητας από σκυρόδεμα

Κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα ή και από κυλινδρούμενο σκυρόδεμα (RCC). Από τα παλαιότερα φράγματα βαρύτητας στον Ελληνικό χώρο (1931) είναι του Μαραθώνα Αττικής για την ύδρευση των Αθηνών. Η λειτουργία των φραγμάτων

αυτών στηρίζεται στο βάρος τους με το οποίο αντισταθμίζουν τις υδροστατικές πιέσεις, την άνωση, τις σεισμικές φορτίσεις και τις δυνάμεις ανατροπής. Παράλληλα με την κατάλληλη επιλογή της διατομής και τον έλεγχο των συνθηκών θεμελίωσης, αποτρέπεται ο κίνδυνος λόγω διαφορικών καθιζήσεων. Ένα φράγμα βαρύτητας είναι μια 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 (Bell, 1993).

Γενικά, τα φράγματα βαρύτητας μπορούν να ανεχθούν μόνο τις μικρότερες διαφορικές κινήσεις και απαιτούν μεγάλες ποσότητες σκυροδέματος, δεδομένου ότι η αντίσταση στη μετατόπιση και γενικότερα η απόκριση σε στατικές και δυναμικές φορτίσεις εξασφαλίζονται από το ίδιο του το βάρος. Εν τούτοις, φράγματα βαρύτητας έχουν κατασκευαστεί σε έντονα διαρρηγμένα και διαφορετικής σύστασης πετρώματα, ακόμα και σε ποτάμιας αποθέσεις, όπου η θεμελίωση απαιτεί εφαρμογή εξειδικευμένων μεθοδολογιών βελτίωσης πριν την κατασκευή. Πλεονεκτική θέση κατασκευής είναι συνήθως το στένωμα μιας κοιλάδας, όπου το υγιές πέτρωμα είναι κοντά στην επιφάνεια τόσο στη θεμελίωση όσο και στα αντερείσματα. Σημαντική επίσης θεώρηση σε μερικές περιοχές είναι η διαθεσιμότητα, σε λογική απόσταση, με επάρκεια υλικών κατάλληλων για αδρανή σκυροδέματος.

- Τοξωτά

Κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα υψηλής αντοχής, είναι καμπύλα στο σχεδιασμό με την κυρτή επιφάνεια προς τα ανάντη του ποταμού. Μεταφέρουν τα φορτία του ταμιευτήρα στη βραχομάζα των αντερείσμάτων. 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. Σύμφωνα με τον BELL (1993) είναι δυνατόν να αντισταθούν σε μεγάλες παραμορφώσεις των σχηματισμών της θεμελίωσης, αρκεί αυτές να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες. Μεταφέρουν το μεγαλύτερο μέρος της οριζόντιας ώθησης από το νερό του ταμιευτήρα στα αντερείσματα με τη λειτουργία του τόξου και αυτό σε συνδυασμό με την περιορισμένη διατομή τους, σημαίνει ότι επιβάλουν ισχυρά θλιπτικά φορτία σε στενές ζώνες. Επομένως, η αντοχή της βραχομάζας στα αντερείσματα και στην αμέσως κατάντη περιοχή του φράγματος πρέπει να είναι επαρκής και το μέτρο ελαστικότητας ικανό να διασφαλίσει ότι η παραμόρφωση της κάτω από την ώθηση του τόξου, δεν θα είναι τόσο μεγάλη ώστε να επιτρέψει υπερβολικές παραμορφώσεις ή/και αστοχία.

Ιδανικές θέσεις για τοξωτά φράγματα είναι σε στενά φαράγγια, όπου οι παρειές είναι ικανές να δεχθούν την ώθηση που προκαλείται από τη λειτουργία του τόξου. Το τόξο πρέπει να θεμελιώνεται καλά στα αντερείσματα. Διακρίνονται δυο κατηγορίες τοξωτών φραγμάτων: - σταθερής καμπυλότητας & - μεταβλητής καμπυλότητας.

- Αντηριδωτά

Πρόκειται για φράγματα από οπλισμένο σκυρόδεμα, τα οποία φέρουν αντηρίδες μεταβλητού πλάτους. Μεταφέρουν τις υδροστατικές πιέσεις κυρίως στην επιφάνεια

θεμελίωσης και λιγότερο στα αντερείσματα, ενώ σε σχέση με τα φράγματα βαρύτητας επιτυγχάνουν οικονομία στον όγκο του απαιτούμενου σκυροδέματος μέχρι και 90%. Σε θέσεις όπου τα υλικά για αδρανή σκυροδέματος είναι σε περιορισμένες ποσότητες και το πέτρωμα θεμελίωσης ικανοποιητικής αντοχής, τα αντηριδωτά φράγματα αποτελούν εναλλακτική λύση σε σχέση με άλλα δύσκαμπτα φράγματα, ενώ παράλληλα απαιτούν και περιορισμένες εκσκαφές στη θεμελίωση.

Τα φράγματα αυτά αποτελούνται από πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος που κλίνει ανάντη και η οποία στηρίζεται από αριθμό αντηρίδων με άξονες κάθετα προς τον άξονα αυτής. Οι αντηρίδες στηρίζουν την πλάκα και μεταφέρουν τις στατικές και δυναμικές ωθήσεις στη θεμελίωση. Είναι περιορισμένης διατομής, εξασκώντας έτσι σημαντικά φορτία στη θεμελίωση. Ο σχεδιασμός των αντηρίδων θα πρέπει να είναι τέτοιος ώστε να αποτρέπει την ολίσθηση κατά μήκος της επιφάνειας θεμελίωσης. Το πρόβλημα υδροστατικών πιέσεων λόγω άνωσης είναι πρακτικά περιορισμένο στα αντηριδωτά φράγματα και υπάρχει πρόσβαση για την επιθεώρηση της θεμελίωσης αυτών.

- Μικτά

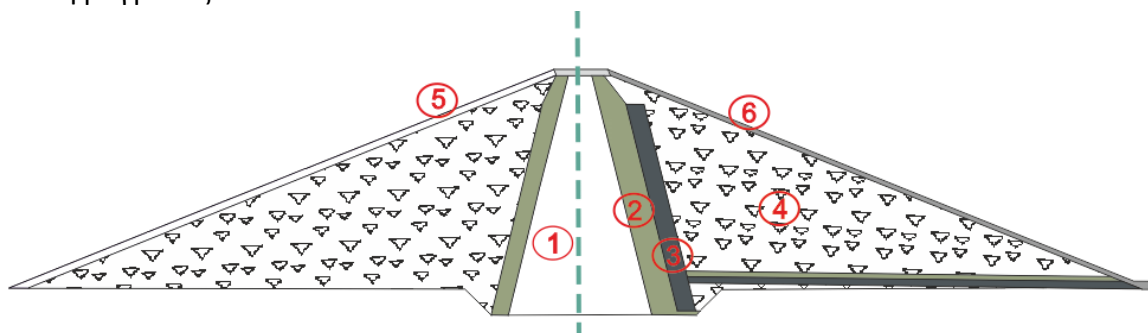
Τα μικτά φράγματα αποτελούν συνδυασμό των παραπάνω τύπων, για παράδειγμα τοξωτά – βαρύτητας.

2.2.2.2 Εύκαμπτα φράγματα

Πρόκειται για εύκαμπτες κατασκευές που δεν απαιτούν ομογενείς σχηματισμούς θεμελίωσης υψηλής αντοχής και μικρής παραμορφωσιμότητας, ενώ η κατασκευή τους ελέγχεται από τις ποσότητες και το είδος των υλικών που υπάρχουν κοντά στη περιοχή του έργου και από το μέγεθος και τη γεωμετρία του φράγματος. Γενικά, ο σχεδιασμός ενός χωμάτινου φράγματος θα πρέπει να εξασφαλίζει ευσταθή πρηνή και προστασία από την έκθεση σε καιρικές συνθήκες και τον κυματισμό της λίμνης. Τα εύκαμπτα φράγματα διακρίνονται σε:

- Λιθόρριπτα: Ομοιογενή φράγματα που κατασκευάζονται σχεδόν εξ' ολοκλήρου από ομοιόμορφα βραχώδη υλικά κατασκευής. Η στεγανότητα τους διασφαλίζεται με την κατασκευή ανάντη πλάκας από σκυρόδεμα ή ασφαλικό σκυρόδεμα. Γενικά, τα λιθόρριπτα φράγματα κατασκευάζονται εκεί όπου δεν υπάρχουν υλικά σε ικανές ποσότητες για χωμάτινο φράγμα, υπάρχει διαθέσιμο κατάλληλο βραχώδες υλικό και η θεμελίωση δεν είναι ευνοϊκή για δύσκαμπτα φράγματα.
- Χωμάτινα φράγματα: Πρόκειται για ζωνώδη επιχώματα εδαφικών υλικών και αδρανών με αδιαπέρατο πυρήνα για τον έλεγχο της διήθησης – διαφυγής νερού. Ο πυρήνας κατασκευάζεται συνήθως από αργιλικά υλικά ή εδαφικά υλικά μικρής περατότητας, εάν αυτά δεν είναι διαθέσιμα σε επαρκείς ποσότητες. Ο πυρήνας συχνά επεκτείνεται με τη μορφή τάφρου (όνυχα) εντός της βάσης θεμελίωσης όταν πρέπει να ελεγχθεί καλύτερα η ροή του νερού κάτω από το φράγμα και

κατά μήκος των αντερείσμάτων ως πλευρικές τάφροι. Κατασκευάζονται φίλτρα, ενώ τοποθετούνται και στραγγιστήρια από κοκκώδη υλικά κατάλληλης διαβάθμισης από αμμοχαλικώδη υλικά μέσα και κάτω από το σώμα του φράγματος για τον έλεγχο του νερού εντός αυτού. Λόγω της μεγάλης βάσης θεμελίωσής τους τα χωμάτινα φράγματα μεταφέρουν πολύ μικρότερες τάσεις στη θεμελίωση από τα δύσκαμπτα και μπορούν να παραλάβουν ευκολότερα παραμορφώσεις και καθιζήσεις. Έτσι, χωμάτινα φράγματα έχουν κατασκευαστεί σε μεγάλη ποικιλία σχηματισμών θεμελίωσης από χαλαρά, μη στερεοποιημένα υλικά ποτάμιων αποθέσεων έως πετρώματα υψηλής αντοχής. Στα φράγματα αυτά, τα σώματα στήριξης του αργιλικού πυρήνα αποτελούνται από βραχώδη προϊόντα εκσκαφής λατομείου ή εκσκαφών καλής ποιότητας βράχου από τα αντερείσματα της κοιλάδας και χονδροκλαστικά υλικά ποτάμιας προέλευσης. Η κατασκευή τους είναι οικονομικότερη από αυτή των φραγμάτων βαρύτητας και προτιμώνται στις θέσεις όπου τα υλικά κατασκευής είναι διαθέσιμα και παράλληλα η θεμελίωση είναι σε σχηματισμούς μικρών γενικά αντοχών. Τα υλικά για τα χωμάτινα φράγματα θα πρέπει να ζητούνται, όπου αυτό είναι δυνατόν, από το μελλοντικό ταμιευτήρα. Οι ζώνες ενός τυπικού χωμάτινου φράγματος είναι:



Εικόνα 4. Τυπική διατομή χωμάτινου φράγματος με αδιαπέρατο πυρήνα.

Ζώνη 1 → Πυρήνας

Αδιαπέρατος πυρήνας συνήθως αργιλικός, για να εμποδίζεται η ροή του νερού από τον ταμιευτήρα μέσω του σώματος του φράγματος, γεγονός το οποίο θα επιφέρει αστοχία στο έργο. Μπορεί να είναι κατακόρυφος ή κεκλιμένος.

Ζώνη 2 → Φίλτρα

Τα φίλτρα εκατέρωθεν των πλευρών του πυρήνα για να προστατεύουν τα αργιλικά σωματίδια από έκπλυση και εσωτερική διάβρωση από το διηθούμενο νερό του φράγματος. Επίσης, εμποδίζεται η ανάπτυξη πιέσεων πόρων στα σώματα στήριξης του φράγματος.

Ζώνη 3 → Στραγγιστήριο

Αποτελείται από διαβαθμισμένο κοκκώδες υλικό, αποτελεί σημαντικό παράγοντα αποστράγγισης ώστε να ελεγχθούν οι διηθήσεις – διαφυγές του νερού καθώς και η ανάπτυξη υδροστατικών πιέσεων.

Ζώνη 4 → Σώματα στήριξης (κελύφη)

Περιέχουν λίθους, αμμοχάλικα και κερματισμένους βράχους, με κλίση πρανούς που κυμαίνεται από 1:2,5 έως 1:4, αναλόγως με τα χαρακτηριστικά του υλικού, τις συνθήκες ροής, την ποιότητα του εδάφους, τη θέση του αδιαπέρατου πυρήνα και τη σεισμικότητα.

Ζώνη 5 & 6 → Ανάντη & κατάντη ζώνες προστασίας

Αποτελείται από λίθους και κροκάλες που προέρχονται από δανειοθαλάμους.

Η λιθορριπή προστασία αποτελείται από ευμεγέθη τεμάχια βράχων (ογκόλιθοι απόσβεσης κυματισμού – rip-rap) και τοποθετείται στην ανάντη πλευρά του φράγματος προστατεύοντας το από τη διάβρωση που προκαλείται από τη δράση των κυμάτων. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται ως λιθορριπή είναι διαπερατά, μη διαβρώσιμα, καλά διαβαθμισμένα και μη συμπιεσμένα.

Για την προστασία των κατάντη πρανών χρησιμοποιούνται κροκάλες και προϊόντα διαλογής αμμοχάλικων.

Η περατότητα των ζωνών μειώνεται από τα σώματα στήριξης προς τον αδιαπέρατο πυρήνα, ενώ ο αριθμός των ζωνών εξαρτάται από το είδος, τα τεχνικά χαρακτηριστικά και τη διαθέσιμη ποσότητα υλικών κατασκευής στην περιοχή του έργου.

2.2.2.3 Μικτά ή σύνθετα φράγματα

Αποτελούν συνδυασμό εύκαμπτων και άκαμπτων φραγμάτων, επιβάλλεται συχνά στην ίδια κοιλάδα, η κατασκευή σύνθετων φραγμάτων, όταν η γεωλογική δομή της αποτελείται από πετρώματα με διαφορετικές γεωμηχανικές ιδιότητες ή η τοπογραφία παρουσιάζει μορφολογική ποικιλία.

2.3 Συνοδά έργα φράγματος

Τα συνοδά έργα του φράγματος, συμπληρώνουν την κατασκευή του κυρίως φράγματος και αποσκοπούν στη βέλτιστη κατασκευή και την ασφαλή λειτουργία του. Μπορεί να προηγούνται να συνοδεύουν ή να έπονται της κατασκευής του σώματος του φράγματος και απαιτούν το ίδιο λεπτομερές έρευνα με το κυρίως φράγμα όσον αφορά την υδρολογία, χωροθέτηση και τις υπεδαφικές συνθήκες (Wahlstrom 1974).

Σήραγγα εκτροπής: Το έργο αυτό προηγείται της κατασκευής του κυρίως φράγματος και επιτρέπει την ασφαλή παροχέτευση των νερών του ποταμού κατάντη της θέσης θεμελίωσης. Η διάνοιξη της σήραγγας γίνεται στο ένα πρανές της προεπιλεγμένης θέσης κατασκευής και συνδυάζεται και με την κατασκευή ανάντη προφράγματος.

Ανάντη πρόφραγμα: Πρόκειται για ένα μικρό χωμάτινο φράγμα με αργλικό πυρήνα, που κατασκευάζεται ανάντη της θέσης του κυρίως φράγματος με την σκοπό την

παροχέτευση του ρου στη σήραγγα εκτροπής και από εκεί στη φυσική κοίτη. Εφόσον και το κυρίως φράγμα είναι χωμάτινο, μετά το πέρας της κατασκευής του, το πρόφραγμα ενσωματώνεται σε αυτό.

Σήραγγα – αγωγός προσαγωγής: Αφορά τα υδροηλεκτρικά φράγματα, πρόκειται για σήραγγα ή αγωγό, μέσω του οποίου μεταφέρεται νερό από τον ταμιευτήρα στο εργοστάσιο και τους υδροστρόβιλους των γεννητριών.

Εκχειλιστής ή υπερχειλιστής: Για την εξασφάλιση της ακεραιότητας των χωμάτων φραγμάτων, αλλά και τη διαχείριση των πλημμυρικών παροχών, προβλέπεται η κατασκευή εκχειλιστή ή υπερχειλιστή, ο οποίος σε περίπτωση πλημμυρικών παροχών διασφαλίζει την ελεγχόμενη παροχέτευση της περίσσειας νερού. Ο εκχειλιστής είναι ενεργητική διάταξη με θυροφράγματα που ελέγχουν την παροχετευόμενη ποσότητα νερού ενώ ο υπερχειλιστής είναι μια παθητική διάταξη που λειτουργεί με υπερχείλιση της ανώτατης στάθμης ασφάλειας. Τοποθετούνται είτε μέσα στο κυρίως φράγμα ή έξω από το φράγμα στο ένα από τα δύο αντερείσματα με τη μορφή ανοικτής τάφρου ή/και σήραγγας. Γενικά το μέγεθος και η θέση αυτού σε σχέση με το φράγμα καθορίζονται από το μέγεθος και το είδος του φράγματος, την τοπική τοπογραφία, τη γεωλογία και τη προσεκτική ανασκόπηση του ιστορικού της ροής του ποταμού στην περιοχή του φράγματος. Με τον υπερχειλιστή γίνεται η παροχή του νερού προς τα κατάντη, χωρίς τη μεσολάβηση θυροφραγμάτων, όταν η στάθμη του νερού υπερβεί τη μέγιστη στάθμη λειτουργίας.

Σήραγγα τσιμεντενέσεων/επίσκεψης: Τέτοιες σήραγγες διανοίγονται κατά μήκος του άξονα του έργου και μέσα στα αντερείσματα όταν απαιτείται η εκτέλεση τσιμεντενέσεων που δεν είναι εφικτή από την επιφάνεια. Μέσα στη σήραγγα εκτελούνται οι τσιμεντενέσεις και μετά το πέρας τους λειτουργεί ως σήραγγα αποστράγγισης, για την τοποθέτηση οργάνων κ.λπ.

Εκκενωτής πυθμένα: Πρόκειται για αγωγό που κατασκευάζεται στη βάση του σώματος του φράγματος και συμβάλλει στην ταπείνωση της στάθμης του ταμιευτήρα ή και την πλήρη εκκένωση αυτού, όταν υπάρχει πρόβλημα στο έργο ή κριθεί απαραίτητη η απόληψη των φερτών υλικών, λόγω της στερεοπαραχής στη λεκάνη κατάκλυσης.

Λεκάνη ηρεμίας: Δημιουργείται στο κατάντη τμήμα του φράγματος και αποτρέπει τη διάβρωση στον πόδα αυτού από τα νερά της υπερχείλισης και βοηθάει στην ομαλή παροχέτευση του νερού στη φυσική κοίτη του ποταμού.

2.4 Κριτήρια επιλογής θέσης ταμιευτήρα – θέσης φράγματος

Η επιλογή της θέσης του ταμιευτήρα του φράγματος επηρεάζεται από μια σειρά παραγόντων όπως είναι τα χαρακτηριστικά της επιφανειακής απορροής, η στεγανότητα, η ευστάθεια των πρανών της κοιλάδας, ο πιθανός ρυθμός ιζηματογένεσης του ταμιευτήρα καθώς και η ποιότητα του νερού. Πρωταρχική θέση έχει όμως η θέση του φράγματος, έπειτα η αξιολόγηση όλων των προαναφερθέντων παραγόντων και ο συσχετισμός τους με τους σκοπούς που θα εξυπηρετεί το έργο.

Όσον αφορά την επιλογή του κατάλληλου τύπου φράγματος οι παράγοντες που την επηρεάζουν αφορούν τοπογραφικές – μορφολογικές συνθήκες καθώς και τεχνικογεωλογικές – γεωτεχνικές συνθήκες.

Τοπογραφικές – μορφολογικές συνθήκες: Οι κύριοι τύποι κοιλάδων είναι σύμφωνα με τον Walters (1971) οι ακόλουθες (όπου το μήκος της χορδής και το ύψος μετριοούνται στο επίπεδο της στέψης του φράγματος):

- φαράγγια: λόγος χορδής/ύψους < 3
- στενή κοιλάδα: λόγος χορδής/ύψους $< 3 - 6$
- ευρεία κοιλάδα: λόγος χορδής/ύψους < 6 ή 7
- πεδιάδα: επίπεδη περιοχή

Σε κοιλάδες τύπου φαράγγια προτιμάται η κατασκευή λεπτών τοξωτών φραγμάτων, με την προϋπόθεση ότι τα πετρώματα των αντερεισμάτων έχουν καλή διατμητική αντοχή και αντέχουν σε υψηλές πιέσεις. Στην περίπτωση όπου αυτό δεν ισχύει ο σχηματισμός μπορεί να ενισχυθεί ή ακόμα να εκσκαφθεί μέχρι την υγιή βραχομάζα και να αντικατασταθεί με σκυρόδεμα.

Σε στενές κοιλάδες κατασκευάζονται μικτά φράγματα, βαρύτητας – τοξωτά, ιδιαίτερα σε πετρώματα ετερογενή ως προς τις γεωμηχανικές τους ιδιότητες, συγκεκριμένα στα πιο ασθενή υλικά θεμελιώνεται το τμήμα βαρύτητας και στα ανθεκτικά υλικά το τοξωτό τμήμα. Επίσης, σε τέτοιο τύπο κοιλάδας θεμελιώνονται και τοξωτά φράγματα, με πάχος μικρότερο από ένα φράγμα βαρύτητας και μεγαλύτερο από ένα λεπτό τοξωτό φράγμα.

Σε ευρείες κοιλάδες μπορεί να κατασκευασθεί κάθε τύπος φράγματος εκτός από τοξωτό. Ο τύπος του φράγματος που θα επιλεγεί εξαρτάται από την γεωλογία της περιοχής και την επάρκεια υλικών κατασκευής. Στην περίπτωση των εύκαμπτων φραγμάτων, τα λιθόρριπτα φράγματα προσφέρονται καλύτερα από όλους τους τύπους φραγμάτων, καθώς και τα χωμάτινα, όμως απαιτείται μεγάλη ποσότητα υλικού για την κατασκευή τους, σε λογικά κοντινές αποστάσεις από τον τόπο θεμελίωσης του φράγματος. Σε κάθε περίπτωση η γεωλογία καθορίζει τον τύπο φράγματος που θα επιλεγεί.

Σε εναλλαγές σκληρών και μαλακών υλικών μπορεί να θεμελιωθεί αντηριδωτό φράγμα πολλαπλής καμπυλότητας, στο οποίο η στήριξη των αντηρίδων γίνεται στο σκληρό και υγιές πέτρωμα. Οι πλευρικές ωθήσεις μεταβιβάζονται στις αντηρίδες, το

τόξο είναι μονολιθικό και δεν μπορεί να δεχθεί διαφορικές καθιζήσεις. Σε εδάφη ή πετρώματα ανθεκτικά σε πιέσεις και ολισθήσεις, μπορεί να κατασκευασθεί αντηριδωτό φράγμα, το οποίο έχει οικονομικό πλεονέκτημα σε σχέση με τα υπόλοιπα φράγματα βαρύτητας και μπορεί να δεχθεί μικρές διαφορικές καθιζήσεις. Σε πετρώματα θεμελίωσης με μέτρια φέρουσα ικανότητα, θεμελιώνονται φράγματα βαρύτητας – αντηριδωτά. Τέλος, σε στενές κοιλάδες μπορούν να κατασκευασθούν και φράγματα βαρύτητας αν οι γεωλογικές – τεχνικογεωλογικές συνθήκες είναι ευνοϊκές για την κατασκευή τους.

Σε πεδιάδες συνήθως κατασκευάζονται αναρρυθμιστικά φράγματα, χωμάτινα ή λιθόρριπτα μεγάλου μήκους.

Γεωλογικές – γεωτεχνικές συνθήκες: Οι γεωλογικές – τεχνικογεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες είναι καθοριστικές για την επιλογή τύπου φράγματος. Καθώς το κάθε φράγμα μπορεί να κατασκευαστεί σε συγκεκριμένες συνθήκες, οι οποίες αφορούν την ποιότητα και την αντοχή των σχηματισμών στην περιοχή του έργου, τη γεωμετρική τους διάταξη στον χώρο και γενικά την τεχνικογεωλογική τους συμπεριφορά.

Σε πετρώματα μεγάλης φέρουσας ικανότητας, 0,85 – 1,1 MPa, στην επιφάνεια ή σε βάθος, μπορούν να κατασκευαστούν φράγματα βαρύτητας, αρκεί τα αδρανή υλικά για το σκυρόδεμα να βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από την θέση κατασκευής του έργου. Τα φράγματα βαρύτητας αντιμετωπίζουν τις υδροστατικές πιέσεις που τείνουν να ανατρέψουν ή να προκαλέσουν ολίσθηση μέσω του όγκου τους ο οποίος συνδυάζεται με χαμηλό κέντρο βάρους. Πρόκειται για τα πιο ασφαλή φράγματα, καθώς απαιτούν πολύ μεγάλες ποσότητες σκυροδέματος σε σχέση με τους άλλους τύπους φραγμάτων. Επίσης, μια ελαφριά καμπυλότητα αυξάνει την ευστάθεια του φράγματος και δέχεται μικρές συστολές και διαστολές που προκαλούνται από τις θερμοκρασιακές μεταβολές.

Σε πετρώματα υψηλής φέρουσας ικανότητας, 2,2 – 3,2 MPa τουλάχιστον, επιτρέπεται η κατασκευή αντηριδωτών φραγμάτων, τα οποία σε σχέση με τα φράγματα βαρύτητας απαιτούν μικρότερες ποσότητες σκυροδέματος για την κατασκευή τους, για αυτό προσφέρονται σε περιοχές όπου υπάρχει έλλειψη ή δυσκολία αποστολής υλικών για το σκυρόδεμα. Περαιτέρω σε σχέση με τα φράγματα βαρύτητας είναι όμοια σε διατομή, αλλά με ανάντη πλευρές μικρότερης κλίσης. Η ανάντη πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα στηρίζεται σε μια σειρά από κατακόρυφες αντηρίδες, που το πάχος και η απόσταση τους καθορίζονται από το βάρος της πλάκας και την πίεση του νερού του ταμιευτήρα. Οι αντηρίδες κατανέμουν το συνολικό φορτίο με την ανάπτυξη πλευρικής συνιστώσας της δύναμης στα θεμέλια που ανθίστανται στην υδροστατική πίεση.

Σε πετρώματα με πολύ καλή ποιότητα και πολύ υψηλή φέρουσα ικανότητα, 5,5 – 7,5 MPa, προτείνεται η κατασκευή τοξωτών φραγμάτων, για τα οποία απαιτούνται μικρότεροι όγκοι σκυροδέματος από ότι για την κατασκευή φράγματος βαρύτητας ή βαρύτητας – τοξωτού. Οι υδροστατικές πιέσεις του νερού μεταβιβάζονται στα

αντερείσματα με τη δράση του τόξου. Τα τοξωτά φράγματα κατασκευάζονται συνήθως σε φαράγγια, δηλαδή σε ορεινές δυσπρόσιτες περιοχές, όπου η προώθηση των υλικών κατασκευής είναι προβληματική. Τα φράγματα αυτά χρησιμοποιούν την αντοχή ενός τόξου για να αντισταθούν στα φορτία που δέχονται, οπότε όταν τα αντερείσματα είναι χαμηλών γεωμηχανικών ιδιοτήτων πρέπει να γίνεται εκσκαφή και βελτίωση τους από σκυρόδεμα. Οι πιέσεις του νερού στην ανάντη πλευρά και καμιά φορά οι ανοδικές πιέσεις από τις διηθήσεις νερού, τείνουν να περιστρέψουν το φράγμα γύρω από τη βάση του με ανοδική δράση. Τα αντερείσματα θα πρέπει να αντέξουν την πίεση του νερού του ταμιευτήρα, η οποία τείνει να μειώσει την καμπυλότητα του τόξου και να το ωθήσει προς τα κατάντη, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται τάσεις που δρουν οριζόντια μέσα στο φράγμα προς τα αντερείσματα. Ανάλογα με την διακύμανση της φέρουσας ικανότητας με εύρος 2,2 – 7,49 MPa και τον λόγο πλάτος / ύψος της κοιλάδας, το είδος του τοξωτού φράγματος μπορεί να είναι: φράγμα πολλαπλής καμπυλότητας, παχύ τοξωτό φράγμα, λεπτό τοξωτό φράγμα, οπότε βάση των γεωτεχνικών απαιτήσεων της περιοχής μπορεί να γίνει η αντίστοιχη επιλογή τύπου τοξωτού φράγματος.

Σε θέση θεμελίωσης όπου οι σχηματισμοί, λόγω χαμηλής αντοχής, δεν προσφέρονται για την κατασκευή άκαμπτου φράγματος, τότε η επιλογή τείνει σε εύκαμπτα φράγματα. Για την κατασκευή χωμάτινου φράγματος θα πρέπει να υπάρχει αρκετή ποσότητα αργίλου στην γύρω περιοχή για την κατασκευή του στεγανού πυρήνα. Επίσης, θα πρέπει στην γειτονική περιοχή ή στην ίδια την εκσκαφή να υπάρχουν πετρώματα σκληρά τα οποία αποσαθρώνονται δύσκολα με σκοπό να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή του σώματος στήριξης του φράγματος.

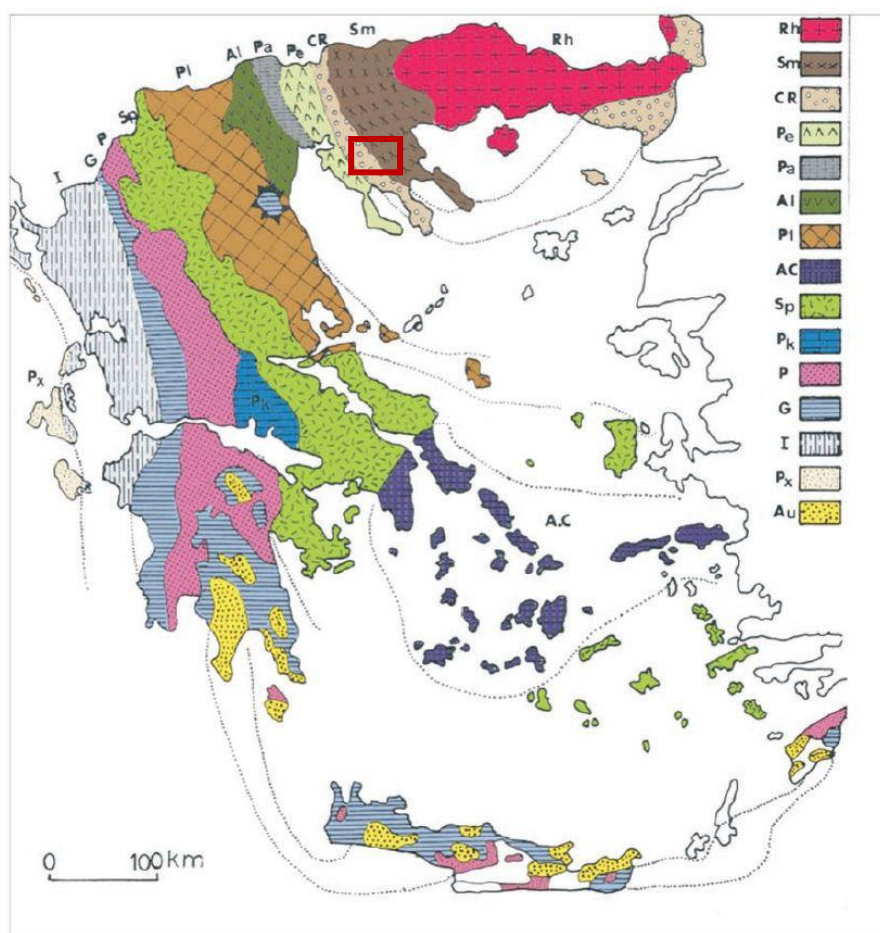
Σε θέσεις θεμελίωσης με σχηματισμούς χαμηλών γεωμηχανικών ιδιοτήτων, κατασκευάζονται χωμάτινα φράγματα, τα οποία μπορούν να δεχθούν καθιζήσεις μέχρι και διαφορικές καθιζήσεις κατά την διάρκεια της λειτουργίας τους, μια και τα φράγματα αυτά μπορούν να ανταποκριθούν σε μικρές μετατοπίσεις χωρίς θραύση. Γενικά ο σχεδιασμός ενός χωμάτινου φράγματος είναι συχνά πιο οικονομική λύση από αυτή των φραγμάτων βαρύτητας και προτιμώνται εκεί όπου τα υλικά κατασκευής είναι διαθέσιμα και παράλληλα η θεμελίωση είναι σε σχηματισμούς μικρών γενικά αντοχών. Σε χωμάτινα φράγματα μικρού μεγέθους χρησιμοποιείται για την κατασκευή τους εξ' ολοκλήρου ένα υλικό, ενώ στα μεγάλα χωμάτινα φράγματα λόγω της ζωνώδης κατασκευής τους χρειάζονται ποικίλα υλικά καθώς και στεγανό πυρήνα για την ομαλή λειτουργία του φράγματος.

3. ωλογικές Συνθήκες

3.1 Ευρύτερης περιοχής

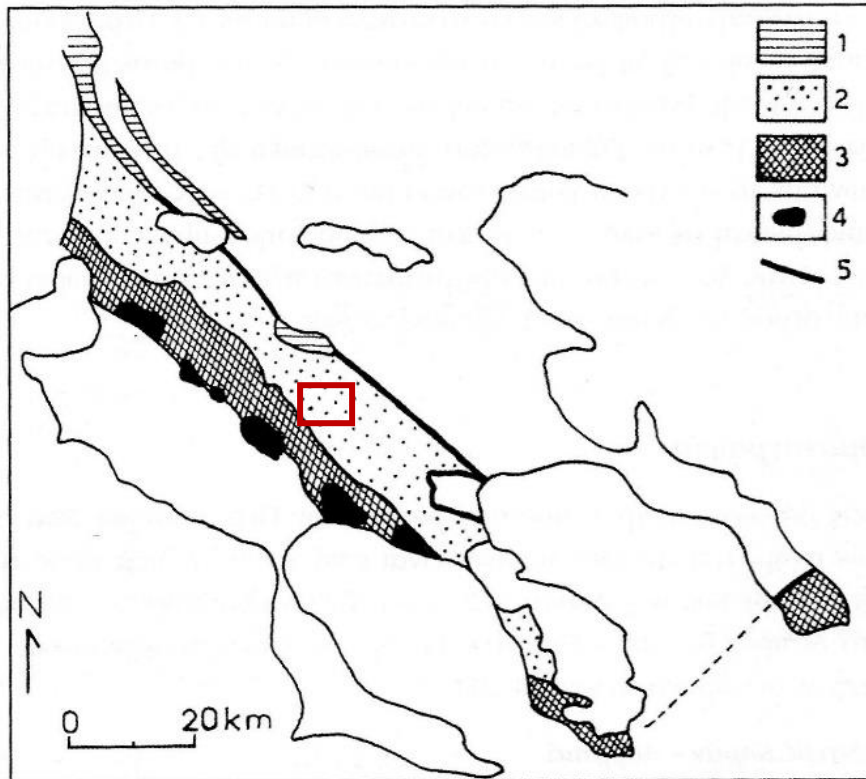
3.1.1 Γεωτεκτονική – Λιθοστρωματογραφία

Σύμφωνα με την διαίρεση του Ελλαδικού χώρου σε γεωτεκτονικές ζώνες οι γεωλογικοί σχηματισμοί της ευρύτερης περιοχής μελέτης ανήκουν στην Περιοδοπική ζώνη, η οποία καθιερώθηκε στη γεωτεκτονική υποδιαίρεση της Ελλάδας από τους Kauffmann et al (1976) σαν η πιο εσωτερική ζώνη των Ελληνίδων. Οι Εσωτερικές Ελληνίδες δέχθηκαν τη δράση της πρώιμης ορογενετικής περιόδου Ανωτέρου Ιουρασικού – Κάτω Κρητιδικού, με την οποία πτυχώθηκαν και αναδύθηκαν προσωρινά οι οροσειρές των ζωνών αυτών, ενώ η τελική ορογενετική δράση με πτύχωση και οριστική πλέον ανάδυση των Εσωτερικών ζωνών έλαβε χώρα μετά το τέλος του Κρητιδικού, στις αρχές του Τριτογενούς.



Εικόνα 5. Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών. Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιοδοπική ζώνη, (Pe: Υποζώνη Παιονίας, Pa: Υποζώνη Πάικου, Al: Υποζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αξιού, Pl: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικό-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προάπουλια, Au: Ενότητα «Πλακώδεις ασβεστόλιθοι-Ταλέα όρη» πιθανόν της Ιονίου ζώνης. (Κατά Mountakis et al 1983. (Τροποποιημένο), ο κόκκινος κύκλος δείχνει που βρίσκεται η περιοχή μελέτης (Μουντράκης, 2010), με κόκκινο πλαίσιο επισημαίνεται η περιοχή μελέτης, (Μουντράκης, 2010).

Η Περιροδοπική εκτείνεται ως ζώνη πλάτους 10-20 km, με διεύθυνση ΒΑ-ΝΑ στη δυτική πλευρά της Σερβομακεδονικής. Περιλαμβάνει τις τρεις ενότητες πετρωμάτων του δυτικού περιθωρίου της Σερβομακεδονικής με τα Αλπικά ιζήματα και ορισμένα τμήματα της ζώνης Παιονίας και συγκεκριμένα τμήματα των ενοτήτων Λεβεντοχωρίου, Μεταλλικού, Μεγάλης Στέρνας, Άσπρης Βρύσης, Βαφειοχωρίου και Άρτζαν. Το όριο μεταξύ Παιονίας και Περιροδοπικής είναι αδιευκρίνιστο, επομένως είναι πιθανό ότι αποτελούν την ίδια ζώνη.



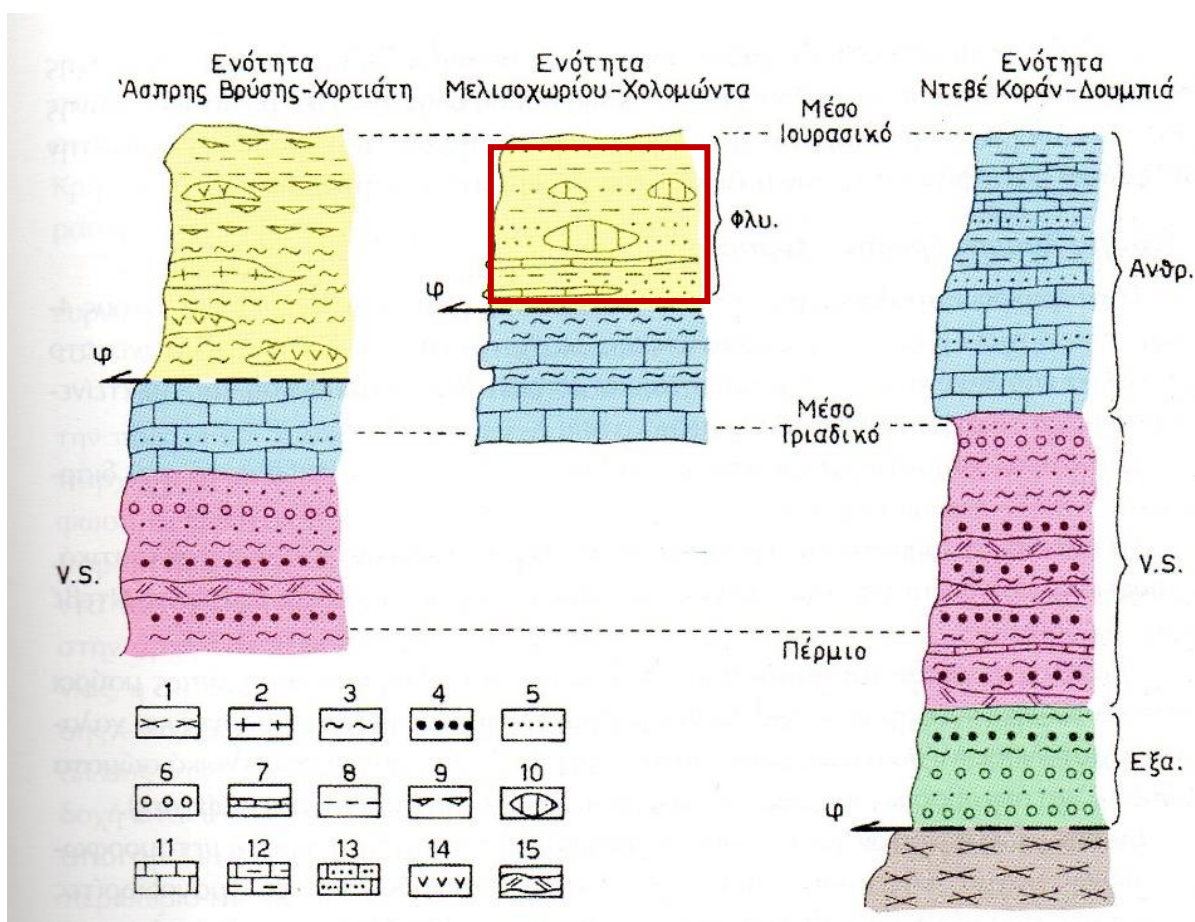
Εικόνα 6. Χάρτης της Περιροδοπικής ζώνης με τις τρεις ενότητες της και τις σημαντικότερες οφειολιθικές εμφανίσεις, 1: ενότητα Ντεβέ Κοράν – Δουμπιά, 2: ενότητα Μελισσοχωρίου – Χολομώντα, 3: ενότητα Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη, 4: οφειόλιθοι, 5: όριο της ζώνης με τη Σερβομακεδονική. (Γεωλογία της Ελλάδας, Δ. Μουντράκης, 1985), το κόκκινο πλαίσιο προσδιορίζει την θέση του έργου του φράγματος.

Η κύρια παλαιογεωγραφική και γεωτεκτονική σημασία της Περιροδοπικής ζώνης είναι ότι αποτελούσε στη διάρκεια του Ιουρασικού την ηπειρωτική κατωφέρεια της ηπειρωτικής Ελληνικής Ενδοχώρας, η οποία κατέληγε σε μια βαθιά αύλακα, περιφερειακή της ηπειρωτικής μάζας. Σύμφωνα με τα σύγχρονα γεωτεκτονικά μοντέλα εξέλιξης του Ελληνικού χώρου αυτή η αύλακα ήταν η θέση υποβύθισης (subduction) της ωκεάνιας περιοχής της ζώνης Αξιού, κάτω από την ηπειρωτική πλάκα.

Η Περιροδοπική ζώνη διαιρείται σε τρεις βασικές ενότητες: i. ενότητα Ντεβέ Κοράν – Δουμπιά, ii. ενότητα Μελισσοχωρίου – Χολομώντα και iii. ενότητα Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη.

I. Ενότητα Ντεβέ Κοράν – Δουμπιά

Περιλαμβάνει στη βάση της ένα σχηματισμό μετακλαστικών ιζημάτων, μετά-ψαμμίτες, χαλαζίτες, χαλαζιακούς σχιστόλιθους και μετά-κροκαλοπαγή ηλικίας Περμίου, που είναι γνωστός με το τοπικό όνομα «σχηματισμός Εξαμιλίου». Πάνω από τον σχηματισμό που αναφέραμε βρίσκεται μια ηφαιστειοϊζηματογενής σειρά Περμίου – Κάτω Τριαδικού, η οποία αποτελείται από εναλλασσόμενα ηφαιστειακά και ιζηματογενή υλικά ημιμεταμορφωμένα, η ανώτερη στάθμη της σειράς περιέχει μετακλαστικά ιζήματα. Η ιζηματογένεση συνεχίζεται προς τα πάνω με την απόθεση μια ανθρακικής νηριτικής σειράς που αποτελείται από ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, ψαμμιτικούς και μαργαϊκούς με φύκη και κοράλλια.



Εικόνα 7. Λιθοστρωματογραφικές στήλες των τριών ενοτήτων της Περιοδοπικής ζώνης, 1: κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Σερβομακεδονικής, 2: πράσινοι γνεύσιλοι της Θεσσαλονικής και άλλα μετα – πυριγενή πετρώματα της «Μαγματικής σειράς Χορτιάτη», 3: σχιστόλιθοι και φυλλίτες, 4: πυροκλαστικά υλικά, 5: μεταψαμμίτες, χαλαζίτες, 6: μετά-κροκαλοπαγή, 7: ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι, 8: αργιλικοί σχιστόλιθοι και μάργες, 9: κερατόλιθοι, 10: ολισθόλιθοι Τριαδικών μαρμάρων, 11: ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, 12: μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, 13: ψαμμιτικοί ασβεστόλιθοι, 14: οφειολιθικά πετρώματα, 15: ηφαιστειακά υλικά (σχιστοποιημένα ρυόλιθοι, πορφυροειδή κ.ά.), φ: τεκτονική επαφή, Εξα: σχηματισμός Εξαμιλίου, V.S.: ηφαιστειοϊζηματογενής σειρά, Ανθρ.: ανθρακική νηριτική σειρά, Φλυ: φλύσχη. (Μουντράκης, 2010) (με κόκκινο πλαίσιο οι σχηματισμοί της περιοχής μελέτης).

II. Ενότητα Μελισχωρίου – Χολομώντα

Έχει τη μεγαλύτερη έκταση από τις τρεις ενότητες της Περιοδοπικής και εκτείνεται σαν λωρίδα πλάτους 5-15 km, με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, από την περιοχή της Λίμνης

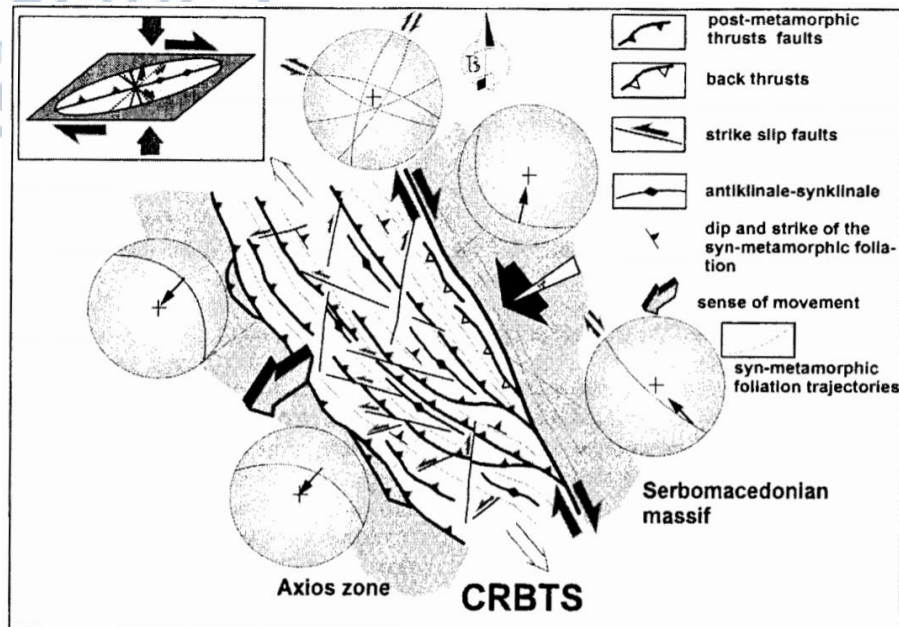
Δοϊράνης προς το βουνό Χολομώντα της Χαλκιδικής και τη Σιθωνία. Ο κατώτερος σχηματισμός της ενότητας είναι μάρμαρα και ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι, ηλικίας Μέσου – Άνω Τριαδικού με συχνές παρεμβολές γραφιτικών φυλλιτών και σερικιτικών σχιστολίθων. Προς τα πάνω ο σχηματισμός γίνεται καθαρά φυλλιτικός με φυλλίτες κοινούς, μαύρους γραφιτικούς, ψαμμιτικούς και έχει πάχος 400m. Ο ανώτερος σχηματισμός της ενότητας, ηλικίας Κάτω – Μέσο Ιουρασικό, είναι ένας σχηματισμός φλύσχη με τουρβιδιτικές εναλλαγές μετά-ιζημάτων (μετά-ψαμμίτες, φυλλίτες, ασβεστολιθικές ενστρώσεις) μέσα στα οποία συχνά παρατηρούνται μεγάλοι ογκόλιθοι Τριαδικών μαρμάρων. Ο σχηματισμός αυτός, αναφέρεται με το όνομα «φλύσχη της Σβούλας» και είναι ο σπουδαιότερος σχηματισμός όλης της Περιοδοπικής ζώνης καθ' ότι καθορίζει την ιδιαιτερότητα της ζώνης αυτής ως αντιπροσωπευτική της ηπειρωτικής κατωφέρειας και της αύλακας στην περιφέρεια της ηπείρου.

III. Ενότητα Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη

Είναι λωρίδα παράλληλη με την ενότητα Μελισσοχωρίου – Χολομώντα, πλάτους 4-8km, που αρχίζει βόρεια της Θεσσαλονίκης, διέρχεται από το Χορτιάτη, φτάνει στο νότιο άκρο της Σιθωνίας, όπου κάμπτεται και αποκτά ΑΒΑ κατεύθυνση και επεκτείνεται έτσι μέχρι το άκρο του Άγιου Όρους. Η ενότητα αυτή χαρακτηρίζεται από μια ευγεωσυγκλιτική ανάπτυξη κατά τη διάρκεια του Κάτω – Μέσου Ιουρασικού. Τα κατώτερα τμήματα της ενότητας είναι Περμο – Τριαδικής ηλικίας μετακλαστικά, ηφαιστειοκλαστικά και νηριτικά ανθρακικά ιζήματα ανάλογα με της ενότητας Ντεβέ Κοράν – Δουμπιά. Ο ανώτερος ορίζοντας αποτελείται από ιζήματα βαθιάς θάλασσας όπως μαύροι κερατόλιθοι, κόκκινοι αργιλικοί σχιστόλιθοι, μαύροι γραφιτικοί φυλλίτες, μάργες και χαλαζιακοί σχιστόλιθοι. Επίσης, μέσα σ' αυτόν τον ορίζοντα παρεμβάλλονται και πετρώματα μεταμορφωμένα όξινης μαγματικής προέλευσης. Πρόκειται για παλιούς διορίτες, γρανοδιορίτες και γρανίτες που μεταμορφώθηκαν στην πρασινοσχιστολιθική φάση και δημιούργησαν τους σημερινούς πράσινους επιγνεύσιους και εναλλάσσονται με τα μετά-ιζήματα, φυλλίτες, σερικιτικούς σχιστόλιθους, μάρμαρα, χλωριτικούς – επιδοτιτικούς σχιστόλιθους.

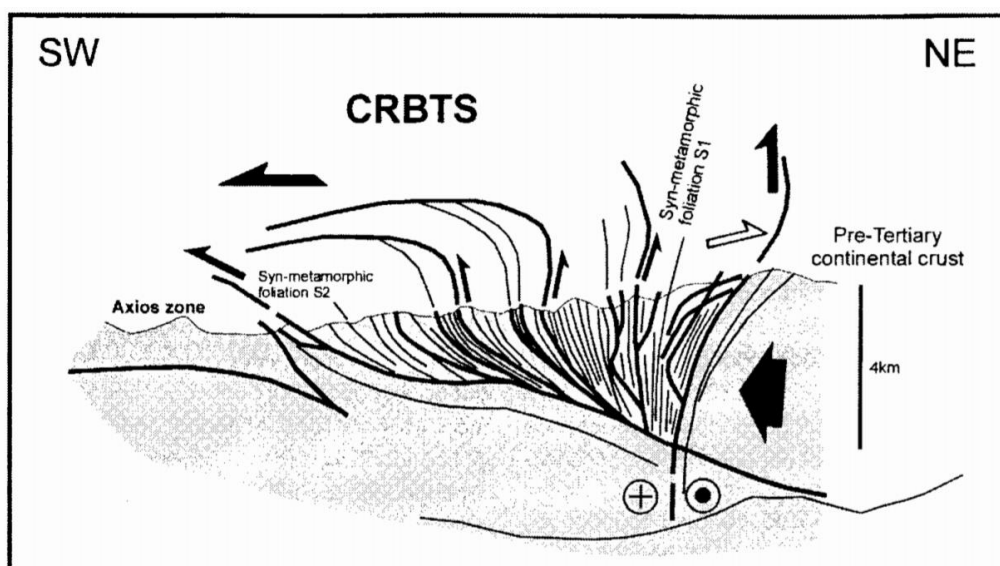
3.1.2 Τεκτονική

Όσον αφορά την τεκτονική παραμόρφωση, δυο φάσεις πτυχώσεων έχουν αναγνωριστεί στην Περιοδοπική. Στο Ανώτερο Ιουρασικό – Κάτω Κρητιδικό, θεωρείται ότι έγινε η πρώτη, κύρια παραμόρφωση των σχηματισμών της ζώνης που προκάλεσε πτυχές σχεδόν ισοκλινείς. Η δεύτερη φάση πτυχώσεων περιλαμβάνει πτυχές ανοιχτές, μετά – μεταμορφικές πτυχές, τύπου Knick, ηλικίας Τριτογενούς (Ηωκαίνου – Ολιγοκαίνου).



Εικόνα 8. Τεκτονικό σκαρίφημα που απεικονίζει και ερμηνεύει τη γεωμετρία και κινηματική της παραμόρφωσης στην Περιοδοπική ζώνη (Κατά Τρανός et al. 1999).

Η σχέση που έχουν μεταξύ τους φαίνεται ότι είναι πλευρικές παλαιογεωγραφικές μεταβάσεις. Εκτός από τις παραπάνω φάσεις πτυχώσεων, διαπιστώθηκε ότι η Περιοδοπική υπέστη στο Άνω Ολιγόκαινο – Κάτω Μειόκαινο μια ισχυρή μεταμορφική παραμόρφωση που χαρακτηρίστηκε ως τεκτονική μεταφορά μιας συμπίεσης (transpressional) που ασκήθηκε κατά την διεύθυνση B-N και φοράς προς τα ΝΔ, καθώς και ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης δεξιόστροφα κατά διεύθυνση BBA-NNΔ και αριστερόστροφα κατά διεύθυνση ΔΝΔ-ΑΒΑ. Δημιουργήθηκε έτσι μια πολύπλοκη τεκτονική επιπνευτική μεγαδομή της Περιοδοπικής ζώνης με κίνηση προς τα ΝΔ. (Tranos et al, 1999)



Εικόνα 9. Σχηματική τομή που δείχνει τη γεωμετρία των τεκτονικών δομών της Τριτογενούς παραμόρφωσης στην Περιοδοπική ζώνη (Κατά Τρανός et al. 1999).

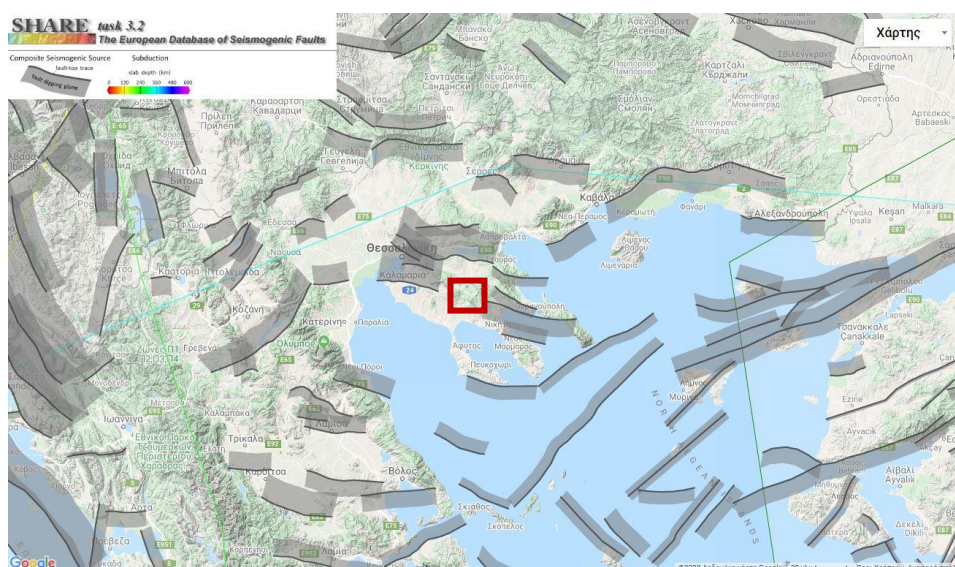
3.1.3 Νεοτεκτονική - Σεισμικότητα

Η περιοχή της Χαλκιδικής και γενικότερα της Κεντρικής Μακεδονίας χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα υψηλή σεισμική δραστηριότητα η οποία συνδέεται με μετακινήσεις της λιθοσφαιρικής πλάκας της ζώνης Αξιού και της Σερβομακεδονικής Μάζας. Η Δυτική Χαλκιδική, αποτελεί ένα ανεξάρτητο τεκτονικό τέμαχος με μικρή σχετικά εσωτερική παραμόρφωση, που οροθετείται από μεγάλες τεκτονικές δομές και συγκεκριμένα από δεξιόστροφα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης της Τάφρου του Βορείου Αιγαίου διεύθυνσης ABA-NΔN, τα ρήγματα του Θερμαϊκού κόλπου ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης, το σημαντικό ρήγμα του Ανθεμούντα με διεύθυνση Α-Δ που είναι πλάγιο κανονικό ρήγμα με αριστερόστροφη συνιστώσα, τη δεξιόστροφη τεκτονική δομή οριζόντιας μετατόπισης της Ολύνθου διεύθυνσης ΒΒΑ-ΝΝΔ και τέλος το σύστημα μικρότερων ρηγμάτων του Τορωναίου Κόλπου (Scordilis 1990).

Το εντατικό πεδίο που επικρατεί κυρίως στην περιοχή μελέτης είναι εφελκυστικό και προκαλεί δραστηριοποίηση ρηγμάτων διεύθυνσης Α-Δ. Η σεισμική αυτή ζώνη αποτελεί την πιο ενεργή περιοχή της Βορείου Ελλάδος μαζί με την τάφρο του Βορείου Αιγαίου.

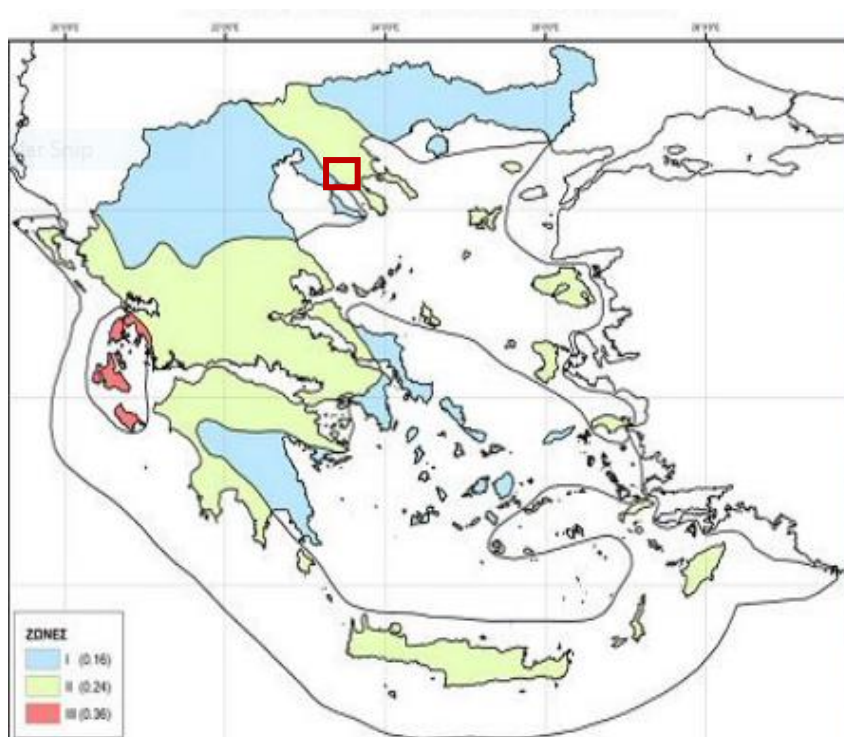
Τα σημαντικότερα ρήγματα κοντά στη λεκάνη απορροής του Ολύνθιου ποταμού, τα οποία είναι αποτέλεσμα του εντατικού πεδίου είναι:

- Το ρήγμα του Ανθεμούντα, ένα πρόσφατο τεκτονικό βύθισμα με έντονους ρυθμούς διάβρωσης στη νότια πλευρά του και επέκταση του υδροκρίτη, λόγω της παρουσίας χαλαρών ιζημάτων (Sotiriadis, 1974).
- Το ρήγμα της Νέας Ολύνθου που εμφανίζει μια ζώνη έντονης χαραδρωτικής διάβρωσης των στρωμάτων και καταλήγει νοτιότερα σε ομαλότερο ανάγλυφο.



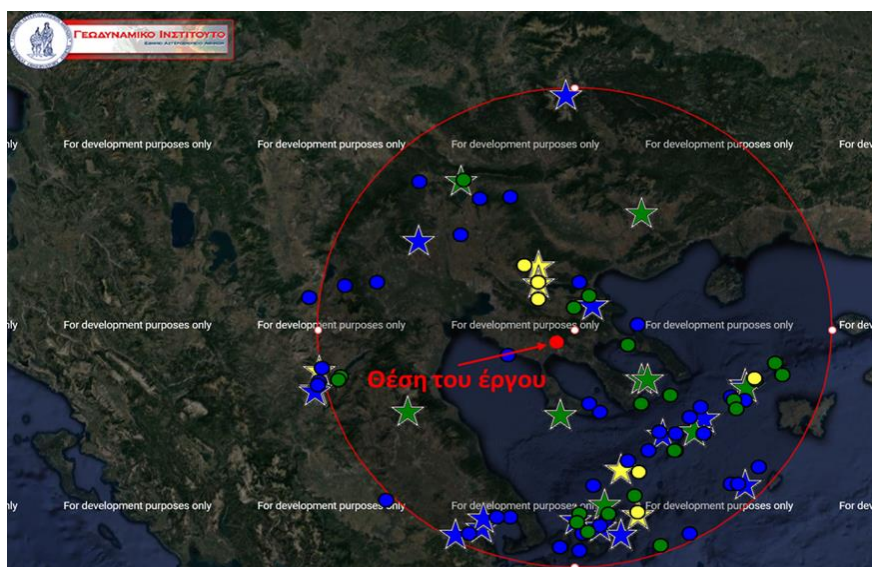
Εικόνα 10. Χάρτης με νεοτεκτονικά ρήγματα στην ευρύτερη περιοχή του έργου. SHARE_WP3.2_Map, με κόκκινο πλαίσιο ενδείκνυται η θέση του έργου .

Αναφορικά με τη μελέτη ενός φράγματος, θα πρέπει να επισημανθούν και οι παράμετροι σεισμικότητας της ευρύτερης περιοχής έρευνας γιατί η σεισμική δραστηριότητα στη στενή περιοχή επηρεάζει το σχεδιασμό ενός μεγάλου έργου. Σύμφωνα με το Ν.Ε.Α.Κ η περιοχή μελέτης μας ορίζεται στη δεύτερη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας με συντελεστή 0,24.



Εικόνα 11. Ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας στην Ελλάδα, στο κόκκινο πλαίσιο επισημαίνεται η περιοχή έρευνας.

Στοιχεία του σεισμικού ιστορικού της περιοχής για την τελευταία πενήνταετία, με μέγεθος > 4 ML σε ακτίνα 200 km, παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.



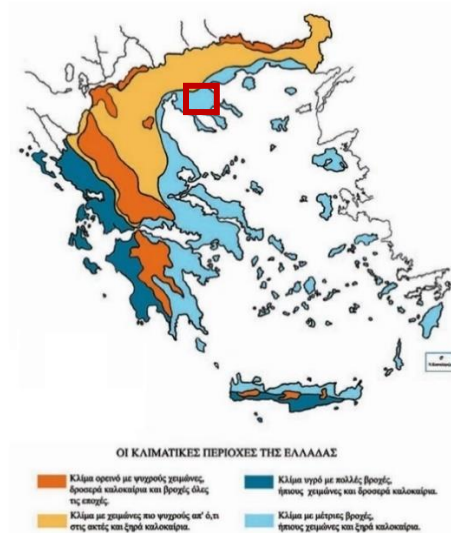
Εικόνα 12. Χάρτης σεισμικής δραστηριότητας στην περιοχή μελέτης τα τελευταία 50 χρόνια (Πηγή: www.gein.noa.gr).

Πίνακας 2. Στοιχεία σεισμών της ευρύτερης περιοχής, 1970 έως σήμερα.

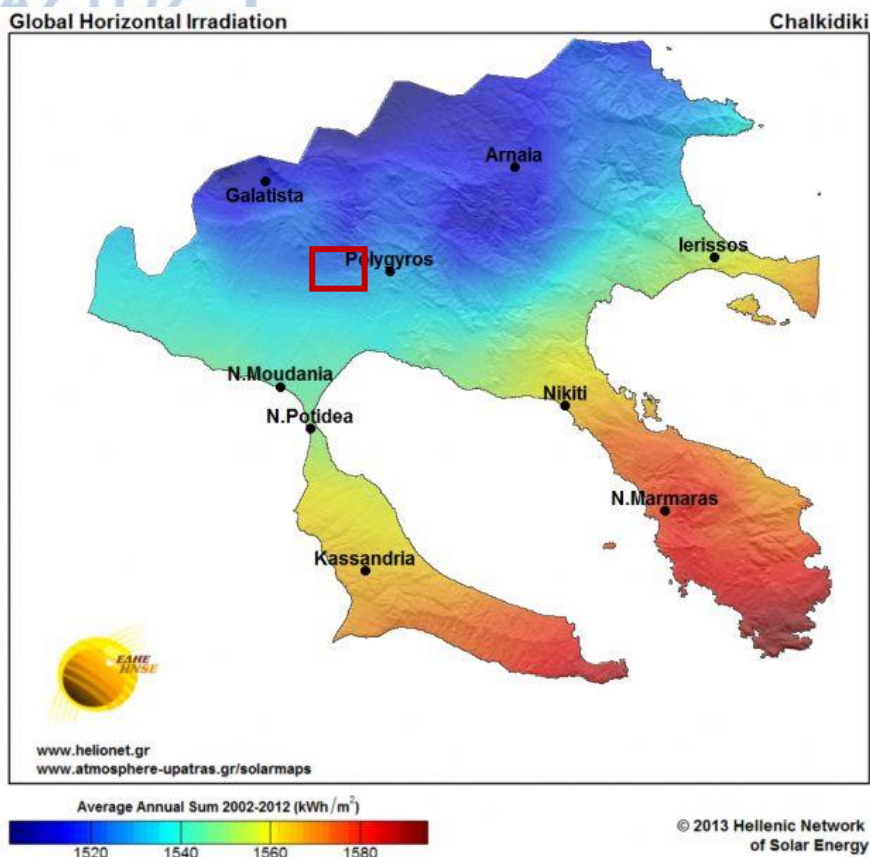
Χρόνος Γένεσης	Μέγεθος (ML)	Γεωγραφικό Πλάτος	Γεωγραφικό Μήκος	Βάθος	Επίκεντρο	Απόσταση από το κέντρο
13/09/1974	4.0	40.40° B	23.50° A	10.0 χλμ	5.9 χλμ ΑΒΑ του Πολύγυρου	252.0 χλμ
23/05/1978	5.4	40.70° B	23.30° A	33.0 χλμ	30.8 χλμ ΑΒΑ της Θεσσαλονίκης	298.2 χλμ
19/06/1978	4.8	40.60° B	23.30° A	33.0 χλμ	27.7 χλμ ΒΒΔ του Πολύγυρου	279.9 χλμ
31/08/1979	4.4	40.60° B	23.40° A	10.0 χλμ	25.3 χλμ Β του Πολύγυρου	275.3 χλμ
19/02/1984	4.3	40.54° B	23.39° A	16.0 χλμ	18.9 χλμ ΒΒΔ του Πολύγυρου	270.1 χλμ
04/05/1995	5.0	40.57° B	23.69° A	7.0 χλμ	30.4 χλμ ΒΑ του Πολύγυρου	260.0 χλμ
10/05/2006	4.0	40.51° B	23.47° A	15.0 χλμ	15.3 χλμ Β του Πολύγυρου	263.3 χλμ
08/08/2010	4.5	40.55° B	23.56° A	22.0 χλμ	22.1 χλμ ΒΒΑ του Πολύγυρου	263.4 χλμ
22/08/2014	5.0	39.92° B	23.46° A	29.0 χλμ	50.6 χλμ Β του Πολύγυρου	54.3 χλμ

3.1.4 Κλιματολογικές συνθήκες

Το κλίμα της ευρύτερης περιοχής της Χαλκιδικής είναι μεσόθερμο με ξηρή περίοδο το καλοκαίρι, παρουσιάζει μετάβαση από παραθαλάσσιο μεσογειακό στις χαμηλές περιοχές, σε χερσαίο με μεσογειακό στις υψηλότερες και σε υγρό ηπειρωτικό στις υψηλές περιοχές.

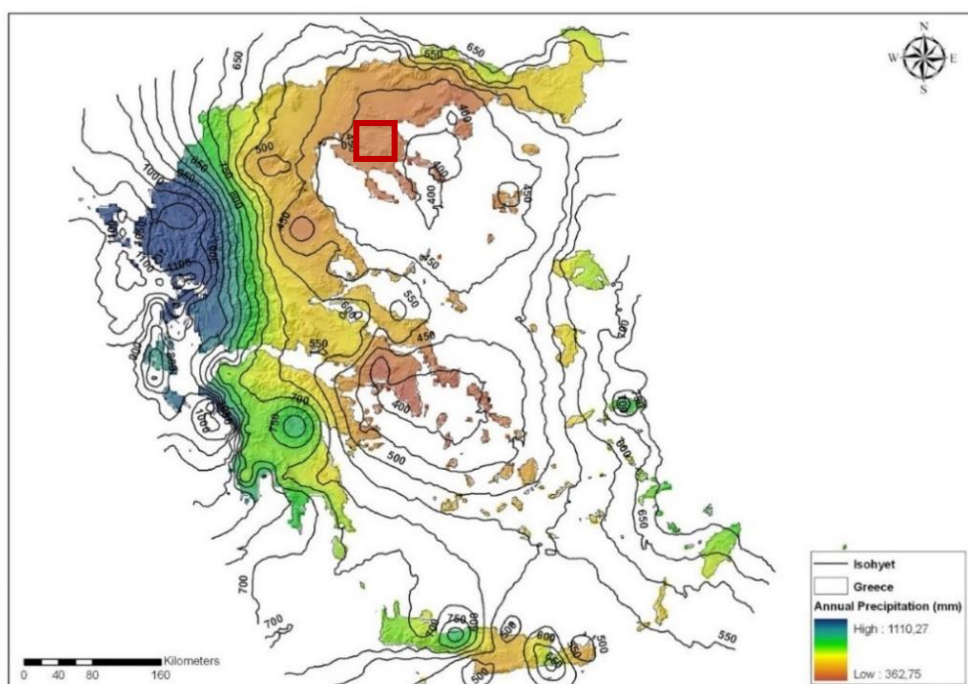


Εικόνα 13. Κλιματικές Περιοχές Ελλάδας, με κόκκινο πλαίσιο – θέση του έργου. <http://ebooks.edu.gr/>



Εικόνα 14. Μέση ετήσια ηλιοφάνεια, με κόκκινο πλαίσιο είναι η έδραση του έργου. <http://ebooks.edu.gr/>

Αναφορικά, με την κατανομή της ετήσιας βροχόπτωσης, παρατηρούμε πως η περιοχή μας έχει χαμηλή βροχόπτωση, περίπου 360 mm.

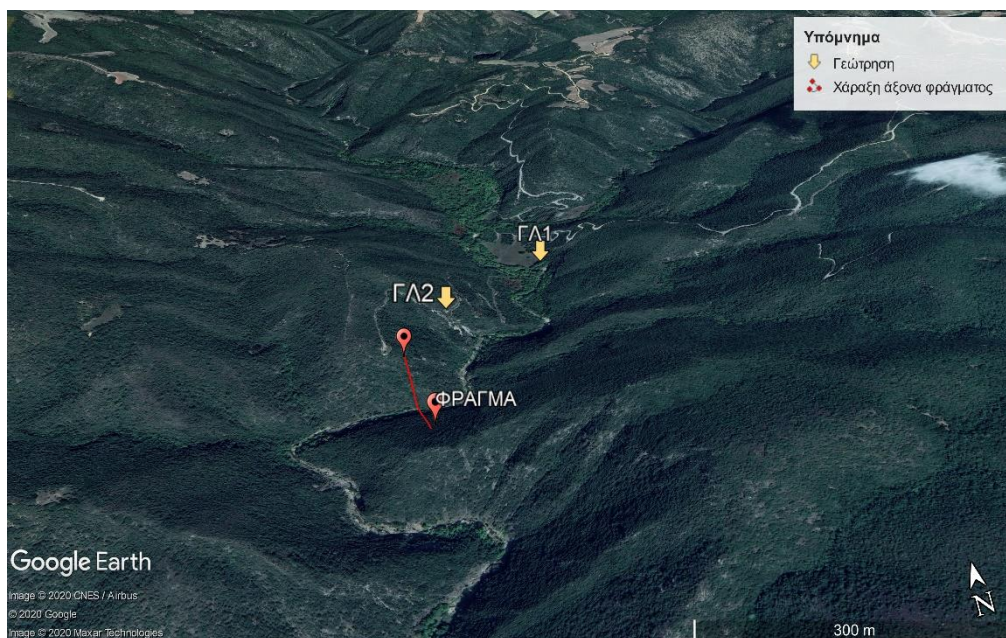


Εικόνα 15. Μέσο ύψος ετήσιας βροχόπτωσης, η θέση ενδιαφέροντος έχει σχεδιαστεί με κόκκινο πλαίσιο. <https://www.geoqgreece.gr/>

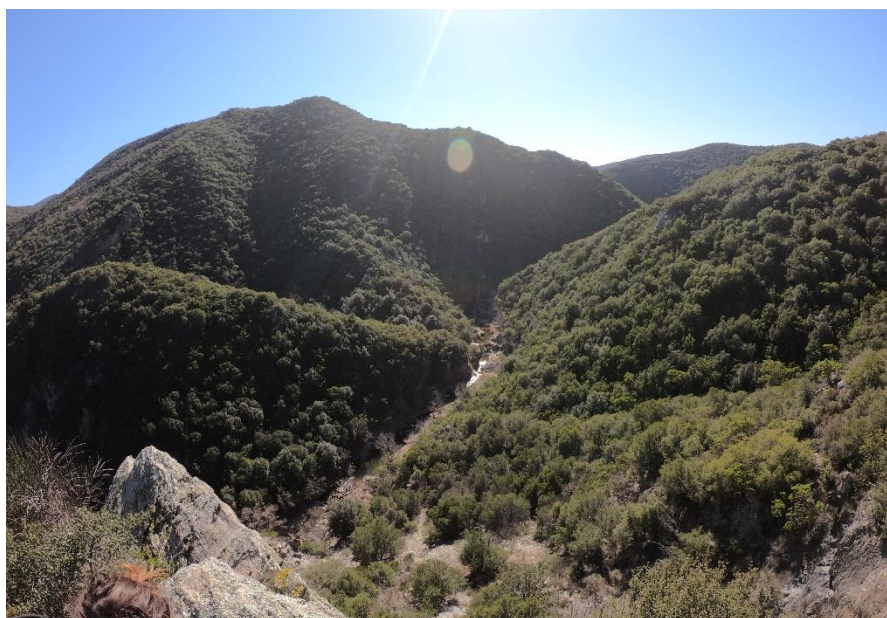
3.2 Στενής περιοχής του Έργου

3.2.1 Γεωμορφολογικές συνθήκες

Οι πηγές του ποταμού Ολύνθιου ή Βατόνια, βρίσκονται στο όρος Χολομώντα, βορειοανατολικά του Πολύγυρου, πρωτεύουσα του νομού Χαλκιδικής. Στο βόρειο τμήμα της λεκάνης, ο Ολύνθιος ποταμός διατρέχει μια ζώνη με αρκετά έντονο ανάγλυφο όπου εγκιβωτίζεται σε μια στενή κοίτη με απότομες κλιτύες. Νοτιότερα, η λεκάνη διευρύνεται και το ανάγλυφο γίνεται ομαλότερο. Η κοίτη του ποταμού είναι σε γενικές γραμμές στενή μέχρι το σημείο της οδού Σημάντρων – Πολύγυρου, ενώ προς τα κατάντη αυξάνει σε πλάτος και κοντά στο χωριό Νέα Όλυνθος σχηματίζει μαιανδρισμούς.

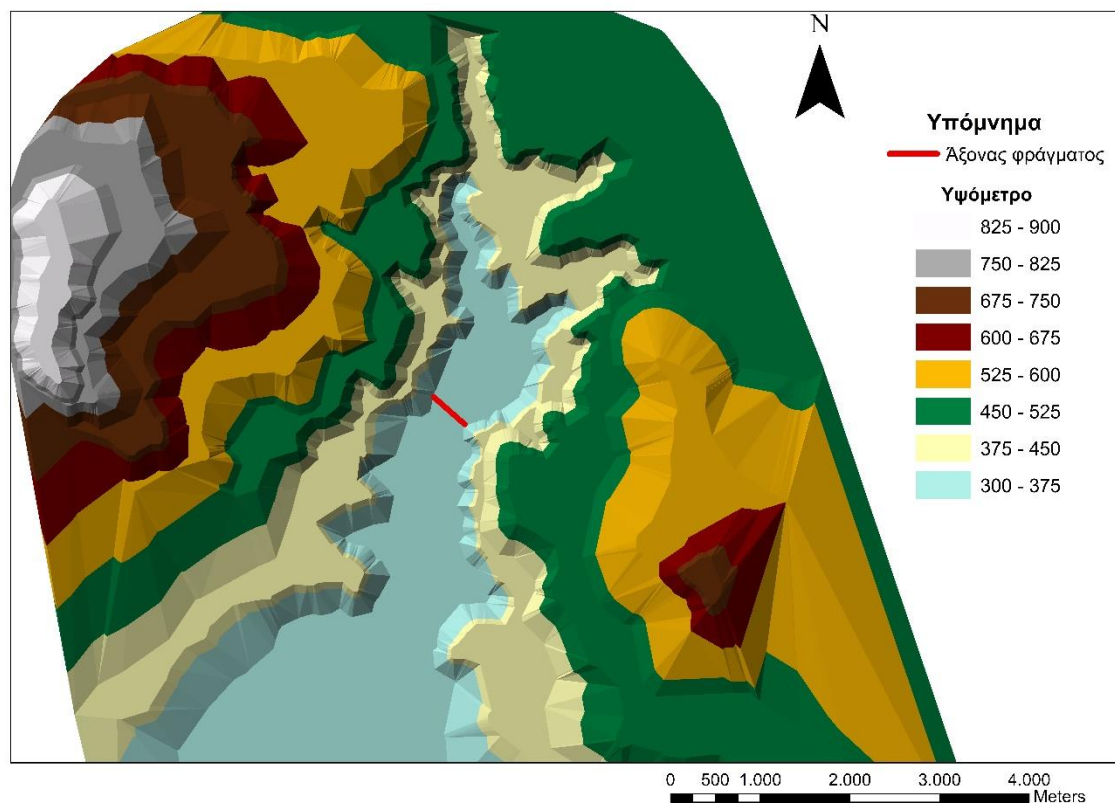


Εικόνα 16. Μορφολογική απεικόνιση της περιοχής μελέτης. Google Earth

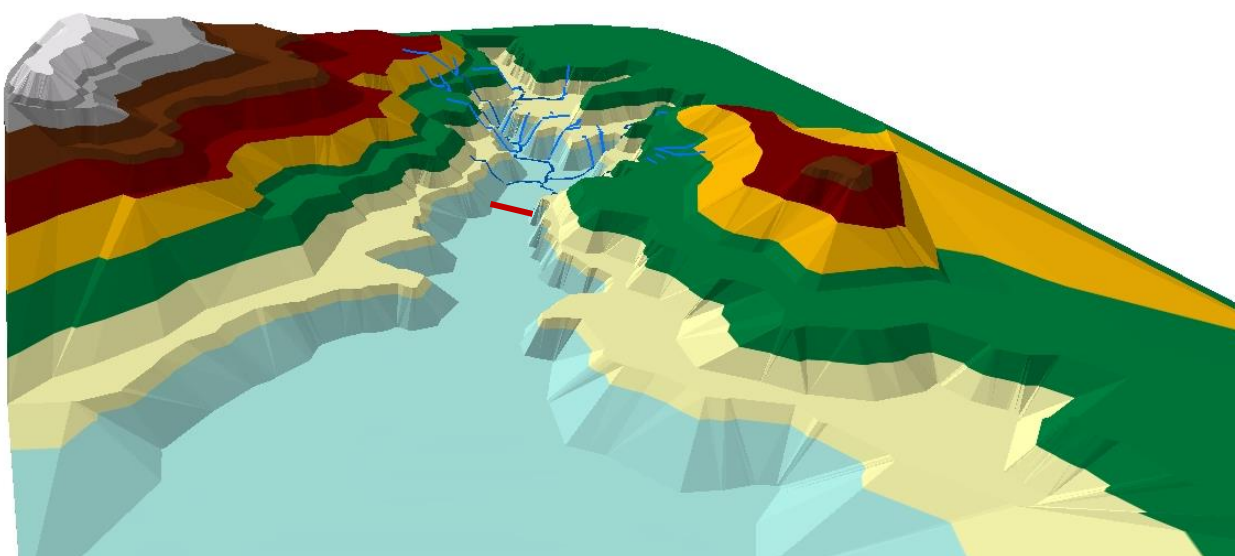


Εικόνα 17. Μορφολογία στην περιοχή θεμελίωσης του φράγματος, ανάντη του φράγματος.

Σε αντίθεση με την κοίτη του, η λεκάνη στην περιοχή αυτή αρχίζει να στενεύει και σε συνδυασμό με τις έντονες κλίσεις ευνοείται η μεταφορά φερτών υλικών όπως άμμοι, χαλίκια και κροκάλες τα οποία φτάνουν μέχρι και τον κεντρικό δρόμο Ν.Μουδανιών – Πολύγυρου ο οποίος απέχει περίπου 2,5 km από τις εκβολές.



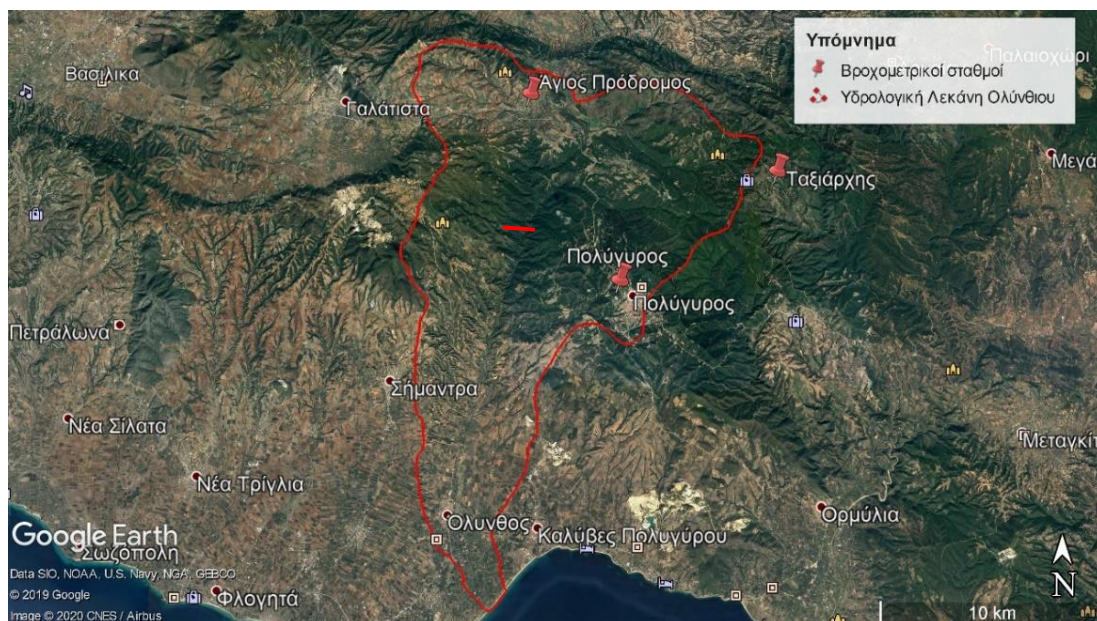
Εικόνα 18. Υψομετρικός χάρτης περιοχής μελέτης (ArcScene).



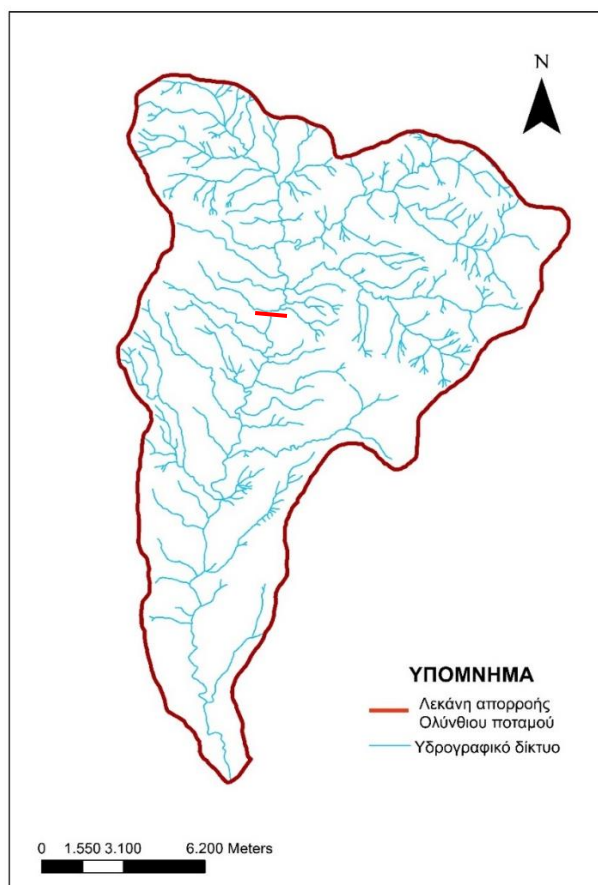
Εικόνα 19. Τρισδιάστατη απεικόνιση χάρτη υψομέτρων (ArcScene), (κόκκινη γραμμή – άξονας φράγματος).

3.2.2 Υδρολογικές – Υδρολιθολογικές συνθήκες

Η υδρολογική λεκάνη του ποταμού Ολύνθιου έχει έκταση 226 km² και αναπτύσσεται βόρεια του Τωρωναίου κόλπου στον οποίο εκβάλλει.



Εικόνα 20. Υδρολογική Λεκάνη Ολύνθιου, προβολή μέσω Google Earth (κόκκινη γραμμή – θέση φράγματος).



Εικόνα 21. Υδρολογική λεκάνη Ολύνθιου ποταμού, μέσω G.I.S.. (κόκκινη γραμμή – θέση φράγματος)

Στη στενή περιοχή του έργου, έγινε η επίλυση της εξίσωσης του υδρολογικού ισοζυγίου, για τη θέση του φράγματος. Η σύνταξη του υδρολογικού ισοζυγίου σε μια λεκάνη απορροής είναι απαραίτητο στοιχείο για βελτιστοποίηση της διαχείρισης των υδατικών πόρων, καθώς και για τον σχεδιασμό υδραυλικών έργων σε αυτήν (φράγματα, λιμνοδεξαμενές)

Το συνολικό φαινόμενο της κυκλοφορίας και κατανομής του νερού στην ατμόσφαιρα και τη γη, σε μια κλειστή λεκάνη απορροής, μπορεί να εκφρασθεί από τη σχέση:

$$P = R + E + I$$

όπου:

P = τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (precipitation)

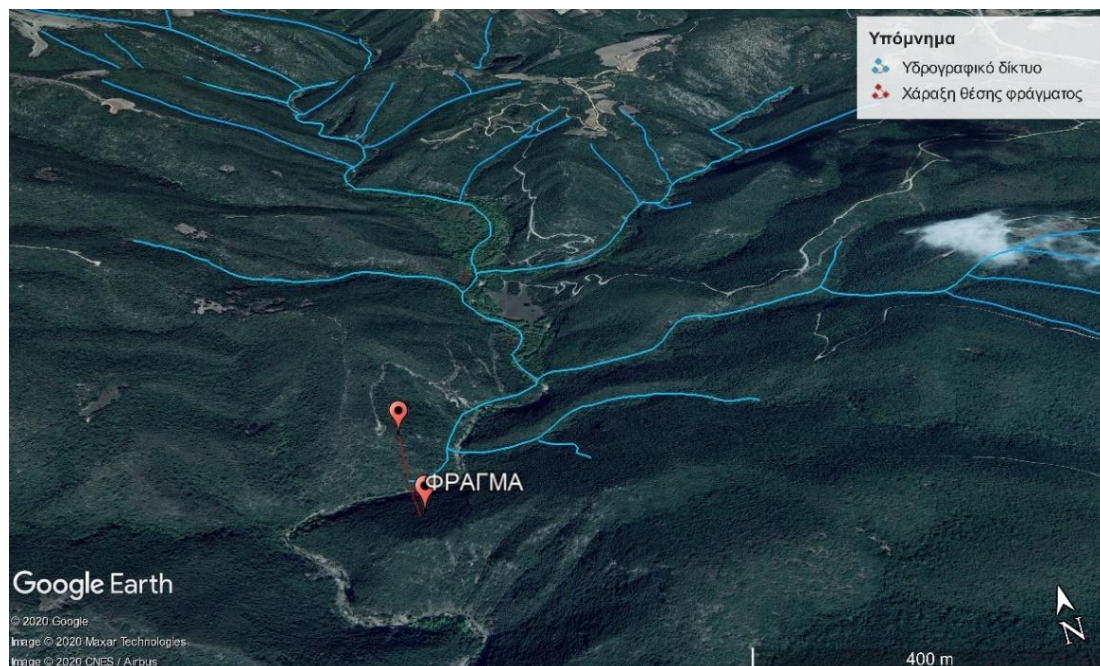
E = η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (evapotranspiration)

R = η επιφανειακή απορροή (runoff)

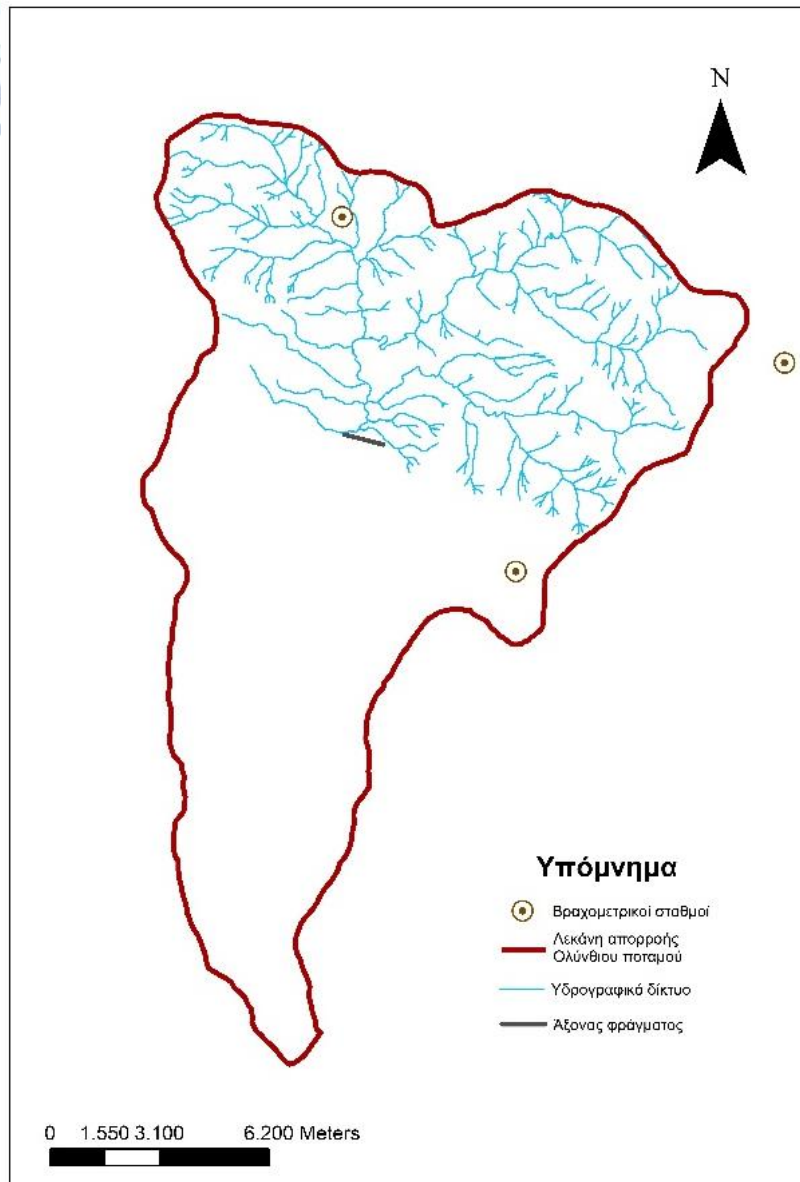
I = η κατείσδυση (infiltration)

Τα παραπάνω μεγέθη μπορούν να εκφραστούν σε ύψος νερού (mm) ή σε όγκο νερού (m^3) ή σε ποσοστό επί τοις εκατό (%). Η ανωτέρω σχέση αποτελεί τη μαθηματική έκφραση του υδρολογικού ισοζυγίου σε μια κλειστή λεκάνη απορροής, όπου η εξωτερική τροφοδοσία από γειτονικές λεκάνες θεωρείται μηδενική και οι μεταβολές στα υπόγεια αποθέματα είναι αμελητέες.

Η σύνταξη του υδρολογικού ισοζυγίου στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας έγινε για τη λεκάνη απορροής της περιοχής ανάντη του σχεδιαζόμενου φράγματος βάσει μετεωρολογικών δεδομένων τριών σταθμών: του Αγίου Πρόδρομου, του Πολύγυρου και του Ταξιάρχη.



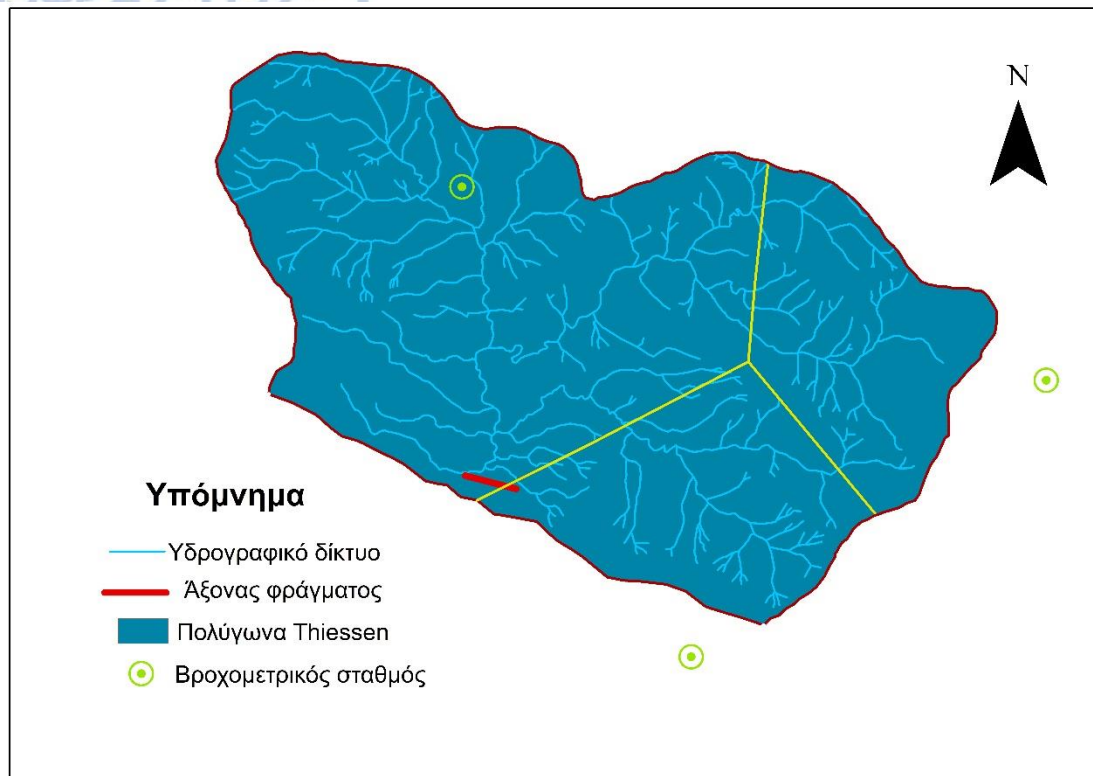
Εικόνα 22. Προβολή υδρογραφικού δικτύου ανάντη του φράγματος μέσω Google Earth.



Εικόνα 23. Σύνταξη υδρολογικού ισοζυγίου ανάντη του σχεδιαζόμενου φράγματος, G.I.S..

➤ P → Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

Με βάση τα βροχομετρικά στοιχεία από τους τρεις σταθμούς (παράρτημα) και το ψηφιακό υπόβαθρο της περιοχής, επιλύοντας τα πολύγωνα Thiessen, υπολογίζεται ο όγκος νερού από βροχόπτωση που δέχεται η περιοχή μελέτης ανάντη του φράγματος. Αναλυτικά, ελήφθησαν δεδομένα για την δεκαετία 1986 – 1995, όπου χρησιμοποιώντας τον μέσο όρο βροχόπτωσης ανά μήνα (mm) και κατά συνέπεια ανά έτος, προσδιορίστηκε ένας τελικός μέσος όρος από κάθε βροχομετρικό σταθμό για την συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Έπειτα, μετρήθηκε η έκταση που καταλαμβάνει το κάθε οριζόμενο πολύγωνο (m^2), με μια συνολική έκταση της λεκάνης να είναι στα 121 Km^2 .



Εικόνα 24. Υδρολογική λεκάνη περιοχής μελέτης - πολύγωνα Thiessen, G.I.S..

Πίνακας 3. Βροχομετρικά δεδομένα - Πολύγωνα Thiessen

Βροχομετρικοί σταθμοί	Μέσος Ύψος Βροχής (1986-1995) (mm)	Έκταση πολυγώνων (km ²)
Ταξιάρχης	762,76	23,26
Άγιος Πρόδρομος	458,9	72,9
Πολύγυρος	485,84	24,9
Μέση επιφανειακή βροχή	522,5	121,1
Συνολικός όγκος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (m³)	63,27 *10⁶	

➤ E → Πραγματική εξατμισοδιαπνοή

Ο υπολογισμός της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (E) έγινε με την εφαρμογή της μεθόδου Thornthwaite. Η μέθοδος Thornthwaite (Thornthwaite & Mather, 1957) είναι μια από τις πλέον αξιόπιστες και κατάλληλες μεθόδους για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής, οπότε χρησιμοποιήθηκε για την περιοχή μελέτης.

Η δυνητική εξατμισοδιαπνοή (E) υπολογίζεται από τον τύπο:

$$E_p = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a \cdot N$$

όπου: E_p =η μέση μηνιαία τιμή της δυναμικής εξατμισοδιαπνοής σε mm

T =η μέση μηνιαία θερμοκρασία σε $^{\circ}\text{C}$

α =ένανς συντελεστής που υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\alpha = 6,75 \times 10^{-7} * I_{\theta}^3 - 7,71 \times 10^{-5} * I_{\theta}^2 + 17,92 \times 10^{-3} * I_{\theta} + 0,49239$$

I_{θ} = ο ετήσιος θερμικός δείκτης (annual heat index) και δίνεται από το άθροισμα των 12 μηνιαίων θερμικών δεικτών:

$$I_{\theta} = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5} \right)^{1,514}$$

όπου: T_i =η θερμοκρασία του μήνα i σε $^{\circ}\text{C}$

N =συντελεστής που εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος του σταθμού.

Πολλαπλασιάζοντας τις τιμές E_p με ένα παράγοντα N , προκύπτει η διορθωμένη δυνητική εξατμισοδιαπνοή (E). Τέλος, η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (E_r) υπολογίστηκε με το ισοζύγιο Thornthwaite-Mather (1955). Στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας αξιοποιήθηκαν μηνιαία βροχομετρικά και θερμοκρασιακά δεδομένα για την δεκαετία 1986 – 1995 από τους τρεις σταθμούς.

Πίνακας 4. Δεδομένα πραγματικής εξατμισοδιαπνοής.

Σταθμός	Πραγματική εξατμισοδιαπνοή (mm)	Συντελεστής E (%)
Ταξιάρχης	482,4	58.55%
Άγιος Πρόδρομος	378,3	61.65%
Πολύγυρος	396,7	67.75%

➤ $I \rightarrow$ Κατείδυση

Για τον υπολογισμό της κατείδυσης στην περιοχή έρευνας χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό υπόβαθρο της περιοχής, θεωρώντας ότι η κατείδυση είναι συνάρτηση των γεωλογικών σχηματισμών που απαντήθηκαν στην περιοχή μελέτης. Όπου για κάθε σχηματισμό αφού υπολογίστηκε η έκταση του, πολλαπλασιάστηκε με τον αντίστοιχο συντελεστή κατείδυσης, με αποτέλεσμα να προκύψει ένας τελικός χάρτης για την ανάντη περιοχή του φράγματος. Οι τιμές, που λήφθηκαν για τον συντελεστή

κατείδυσης βασίστηκαν στον ακόλουθο πίνακα καθώς και στην υπαίθρια παρατήρηση των σχηματισμών.

Πίνακας 5. Χαρακτηριστικές τιμές του συντελεστή κατείδυσης (Βουδούρης, 2013).

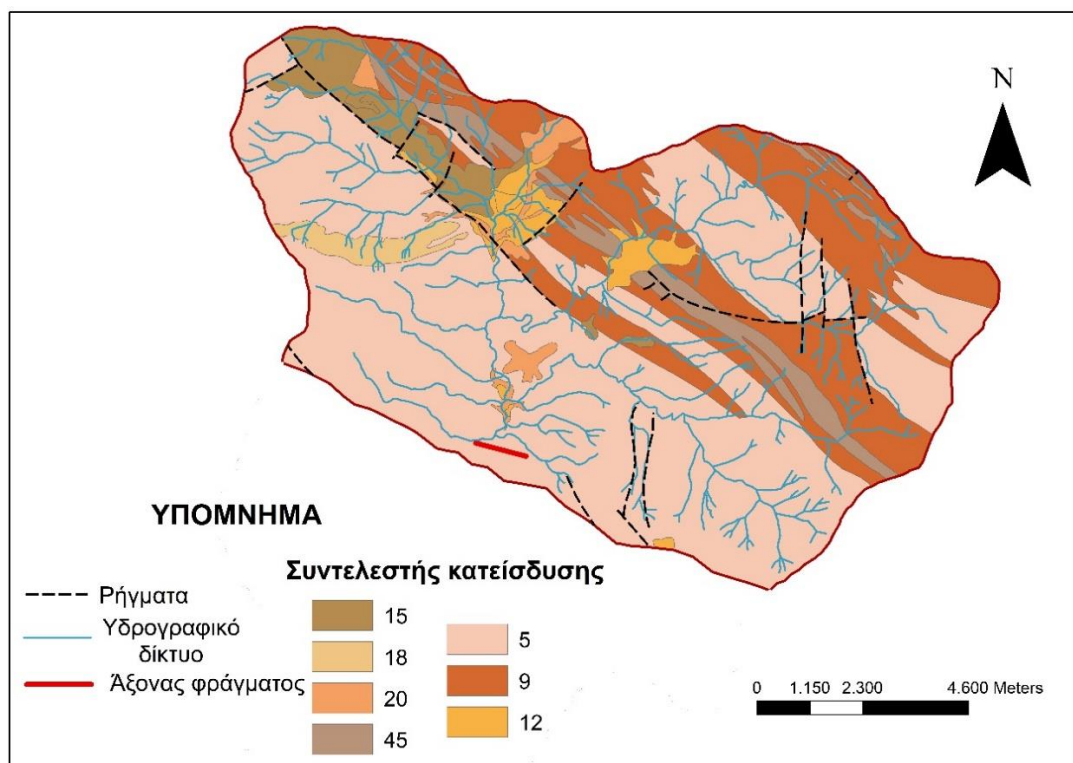
Είδος πετρωμάτων	Συντελεστής Κατείδυσης (%)
Αλλουβια, σύγχρονες προσχώσεις	10-25
Ασβεστολιθικά πετρώματα	30-60
Ψαμμίτες, Μολάσες	15-25
Φλύσχης – Φυλλίτες – Μάργες	3-10
Οφιόλιθοι	4-8
Ηφαιστειακά πετρώματα	3-8
Γνέυσιοι, Σχιστόλιθοι	3-7

Αξιολογώντας και συσχετίζοντας τους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής ενδιαφέροντος μας βάση του Πίνακα 5, προέκυψε ο ακόλουθος Πίνακας 6, όπου προσδιορίζεται αναλυτικά για τον εκάστοτε σχηματισμό ποια είναι η έκταση του και ποιος συντελεστής κατείδυσης επιλέχτηκε για να δημιουργηθεί ένα ενδεικτικός τελικός χάρτης κατείδυσης της περιοχής ανάντη του φράγματος.

Πίνακας 6. Υπολογισμός του συντελεστή κατείδυσης των γεωλογικών σχηματισμών ανάντη του φράγματος

Γεωλογικός σχηματισμός	Έκταση (10^6 m^2)	Συντελεστής Κατείδυσης (%)
Αλλουβιακές αποθέσεις	0,96	25
Ελουβιακός μανδύας	2,50	18
Ανώτερο σύστημα αναβαθμίδων	2,50	15
Κατώτερο σύστημα αναβαθμίδων	3,26	12
Κώνοι κορημάτων	0,48	12
Ερυθρή άργιλος	5,54	15
Κροκαλοπαγή	1,23	20
Ασβεστόλιθοι ανακρυσταλλωμένοι & μάρμαρα	6,59	40
Φυλλίτες	27,75	9
Χαλαζίτες (& γραφιτικός σχιστόλιθος)	70,21	5

Παρατηρήθηκε πως τη μεγαλύτερη έκταση στην ανάντη λεκάνη του φράγματος την καταλαμβάνει ο χαλαζίτης – μεταψαμμίτης, ένα πέτρωμα πολύ υψηλής αντοχής, με χαμηλό συντελεστή κατείσδυσης που αυξάνεται περισσότερο σε σχηματισμούς με τεκτονισμό από ασυνέχειες που παρουσιάζουν εμμόνη. Εν συνεχεία, το δεύτερο μεγαλύτερο ποσοστό καταλαμβάνεται από τον φυλλίτη, έναν σχηματισμό πρακτικά αδιαπέρατο, με εύρος τιμών συντελεστή κατείσδυσης 3% έως 10%, για το οποίο, με βάση την υπαίθρια παρατήρηση στη στενή περιοχή του έργου, επελέγη η υψηλότερη τιμή λόγω του έντονου τεκτονισμού καθώς και των εναλλαγών του με γραφιτικούς σχιστόλιθους. Για τα ανθρακικά πετρώματα, δόθηκαν τιμές συντελεστή κατείσδυσης από τη βιβλιογραφία, που κυμαίνονται από 35% έως 60%, ανάλογα με τον βαθμό καρστικοποίησης. Η αντίστοιχη τιμή στις Τεταρτογενείς και Νεογενείς αποθέσεις, λόγω της ανομοιογένειας τους κυμαίνεται από 12% έως 25%, με τις υψηλότερες τιμές να αντιστοιχούν στις αδρομερέστερες φάσεις τους.



Εικόνα 25. Χάρτης Κατείσδυσης στην περιοχή ανάντη του φράγματος, G.I.S..

➤ Υδρολογικό Ισοζύγιο

Για να ολοκληρωθεί η σύνταξη του υδρολογικού ισοζυγίου, θα πρέπει να προσδιοριστεί και η επιφανειακή απορροή (R), μέσω των προαναφερθέντων παραμέτρων.

- ✓ Χρησιμοποιώντας την βροχοβαθμίδα (γραμμική σχέση υψομέτρου και ύψους βροχής) και το ψηφιακό υπόβαθρο εδάφους υπολογίστηκε η χωρική

- κατανομή της βροχόπτωσης στην περιοχή ενδιαφέροντος (πολύγωνα Thiessen) → P.
- ✓ Με βάση τη θερμοβαθμίδα, επιλύοντας την μέθοδο Thornthwaite υπολογίζεται η πραγματική εξατμισοδιαπνοή από κάθε σταθμό που είναι διαθέσιμος, με σκοπό να χρησιμοποιηθεί ένας μέσος όρος για την πραγματική εξατμισοδιαπνοή της περιοχής μελέτης → E.
 - ✓ Αξιολογώντας τους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής βάσει του συντελεστή κατείσδυσης όπου αντιστοιχεί στον καθένα, υπολογίστηκε ένα μέσο ποσοστό κατείσδυσης → I.

Για τον προσδιορισμό της επιφανειακής απορροής, R, έχοντας υπολογίσει όλες οι άλλες παραμέτροι, θα λυθεί ως προς R, τύπος υδρολογικού ισοζυγίου:

$$P = E + R + I$$

Επιλύοντας την ανώτερη εξίσωση, προκύπτει ο Πίνακας 7, με τις παραμέτρους του υδρολογικού ισοζυγίου.

Πίνακας 7. Τελικός Πίνακας Υδρολογικού Ισοζυγίου.

	mm	10 ⁶ m ³	%
P	522,5	68,87	100,00
E	327,35	43,15	62,65
R	148,08	19,52	28,34
I	47,07	6,21	9,01

Βάσει του υδρολογικού ισοζυγίου παρατηρείται πως από τα $\approx 69 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ νερού, τα οποία διατίθενται στην ευρύτερη περιοχή του έργου, τα $\approx 20 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ αποτελούν την επιφανειακή απορροή. Η επιφανειακή απορροή είναι καθοριστική καθώς αποτελεί την κύρια πηγή για την πλήρωση του φράγματος και τον υπολογισμού της οικολογικής παροχής, που θα πρέπει να καθοριστεί για τη διατήρηση του οικοσυστήματος κατάντη του φράγματος.

➤ Πλημμυρική παροχή

Κατά την υδρολογική ανάλυση έγινε προσπάθεια υπολογισμού της πλημμυρικής παροχής σχεδιασμού για περίοδο επανάλληψης T= 50, T= 100, T= 200 και T= 500 έτη. Τα δεδομένα εισόδου είναι τα γεωμορφολογικά στοιχεία της λεκάνης απορροής και τα αντίστοιχα μετεωρολογικά δεδομένα της ευρύτερης περιοχής. Μέσω της προσπάθειας ποσοτικοποίησης των φυσικών διεργασιών γίνονται παραδοχές οι οποίες γενικεύουν τις υδρολογικές διαδικασίες και απλοποιούν τους υπολογισμούς.

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που ρυθμίζουν τη μέγιστη πλημμυρική παροχή ενός φυσικού ρεύματος νερού, οι οποίοι μεταβάλλονται ευρύτατα και ποικιλότροπα.

Η ορθολογιστική μέθοδος (rational method) χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της πλημμυρικής παροχής ($Q_{\max}$ σε m^3/s), σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$Q_{\max} = 0,278 * P_i * E * I_a$$

όπου:

P_i = η κρίσιμη ένταση βροχόπτωσης για περίοδο επαναφοράς T (mm/h)

t_c = ο χρόνος συγκέντρωσης (h)

E = η έκταση της λεκάνης απορροής (km^2)

I_a = ο συντελεστής απορροής (αδιάστατο μέγεθος), εξαρτάται από τη λιθολογία, τη βλάστηση, τις χρήσεις γης, κ.ά. Στην παρούσα μελέτη, υποθέτουμε ότι ο συντελεστής απορροής στη διάρκεια πλημμυρικού φαινομένου είναι 0,40.

Ο χρόνος συγκέντρωσης (t_c), δηλαδή ο χρόνος που χρειάζεται το νερό για να διανύσει την απόσταση από το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης (ακολουθώντας το υδρογραφικό δίκτυο) έως το σημείο εξόδου του κύριου υδατορρεύματος υπολογίζεται μέσω της μεθόδου Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{E} + 1,5 * L}{0,8 * \sqrt{z}}$$

όπου:

E = συνολικό εμβαδόν της λεκάνης απορροής (km^2)

L = μέγιστο μήκος διαδρομής του νερού στη λεκάνη (km)

z = υψομετρική διαφορά σημείου εξόδου με μέσο υψόμετρο λεκάνης (m)

Για τον υπολογισμό της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ του σημείου εξόδου της λεκάνης και του μέσου υψόμετρου της λεκάνης, z , θα χρησιμοποιηθεί ο ακόλουθος τύπος:

$$z = |h_{min} - \bar{h}|$$

Όπου:

h_{min} → υψόμετρο σημείου εξόδου της λεκάνης

$\bar{h}$ → μέσο υψόμετρο λεκάνης

Από την επίλυση του παραπάνω τύπου προκύπτει ότι $z = 120$ m

Το μήκος L , το οποίο πρέπει να εισαχθεί σε km, υπολογίζεται από το μήκος της μέγιστης μισογάγγειας εντός της υπό μελέτη λεκάνης απορροής. Το μήκος που μετρήθηκε μέσω του τοπογραφικού χάρτη της περιοχής έρευνας στο ArcGis, είναι 13 km.

Από την εφαρμογή της εξίσωσης Giandotti για τις συγκεκριμένες παραμέτρους της υπό μελέτη περιοχής, ο χρόνος συγκέντρωσης είναι $t_c = 7,25$ hours.

Κατόπιν πρέπει να υπολογιστεί η παράμετρος ένταση βροχόπτωσης (P_i) για χρονική περίοδο επαναφοράς $T=50$, $T=100$, $T=200$ και $T=500$ έτη.

$$P_i = (30 \cdot \log T + 15) \cdot t_c^{-0.6}$$

Οπότε από τον τύπο της ορθολογιστικής μεθόδους προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας πλημμυρικής παροχής για περίοδο επανάληψης 50, 100, 200 και 500 έτη αντίστοιχα.

Πίνακας 8. Πλημμυρική παροχή για $T=50$, $T=100$, $T=200$ και $T=500$ έτη.

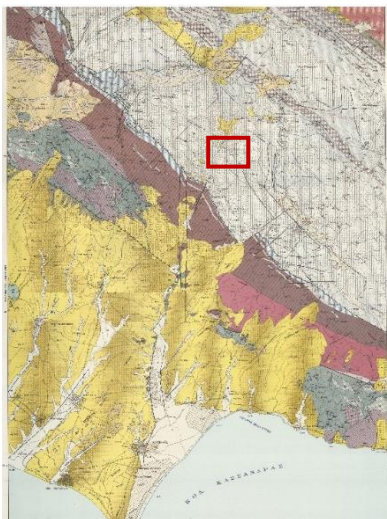
T – Περίοδος επαναφοράς	50 (έτη)	100 (έτη)	200 (έτη)	500 (έτη)
Z (m)	120			
L (km)	13			
E (km²)	121,1			
t_c (hr)	7,25			
P_i	20,10	22,85	26	29,94
q_m (m³/sec)	144,13	163,85	186,44	214,69

Από τον ανωτέρω Πίνακα 8, προκύπτει ότι η πλημμυρική παροχή για περίοδο επαναφοράς $T=50$, $T=100$, $T=200$ και $T=500$ έτη είναι αντίστοιχα: 144,1 – 163,9 – 186,4 – 214,7 m³/sec.

Ο υπολογισμός της πλημμυρικής παροχής είναι απαραίτητος για τον σχεδιασμό του υπερχειλιστή του φράγματος.

3.2.3 Γεωλογικές συνθήκες

Όπως προαναφέρθηκε η περιοχή του έργου ανήκει στην ενότητα Μελισσοχωρίου – Χολομώντα της Περιοδοπικής ζώνης. Οι γεωλογικοί χάρτες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία είναι το φύλλο Πολύγυρος του Ι.Γ.Μ.Ε. κλίμακας 1:50.000 και ο γεωλογικός χάρτης της προμελέτης του φράγματος κλίμακας 1:5.000, παράλληλα με την υπαίθρια έρευνα της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 26. Απεικόνιση της θέσης του φράγματος (κόκκινο πλαίσιο) σε γεωλογικό χάρτη, κλίμακας 1:50.000, Ι.Γ.Μ.Ε.



Εικόνα 27 Απόσπασμα – υπόμνημα της περιοχής του έργου από γεωλογικό χάρτη κλίμακας 1:50.000, Ι.Γ.Μ.Ε. (κόκκινη γραμμή – θέση φράγματος).

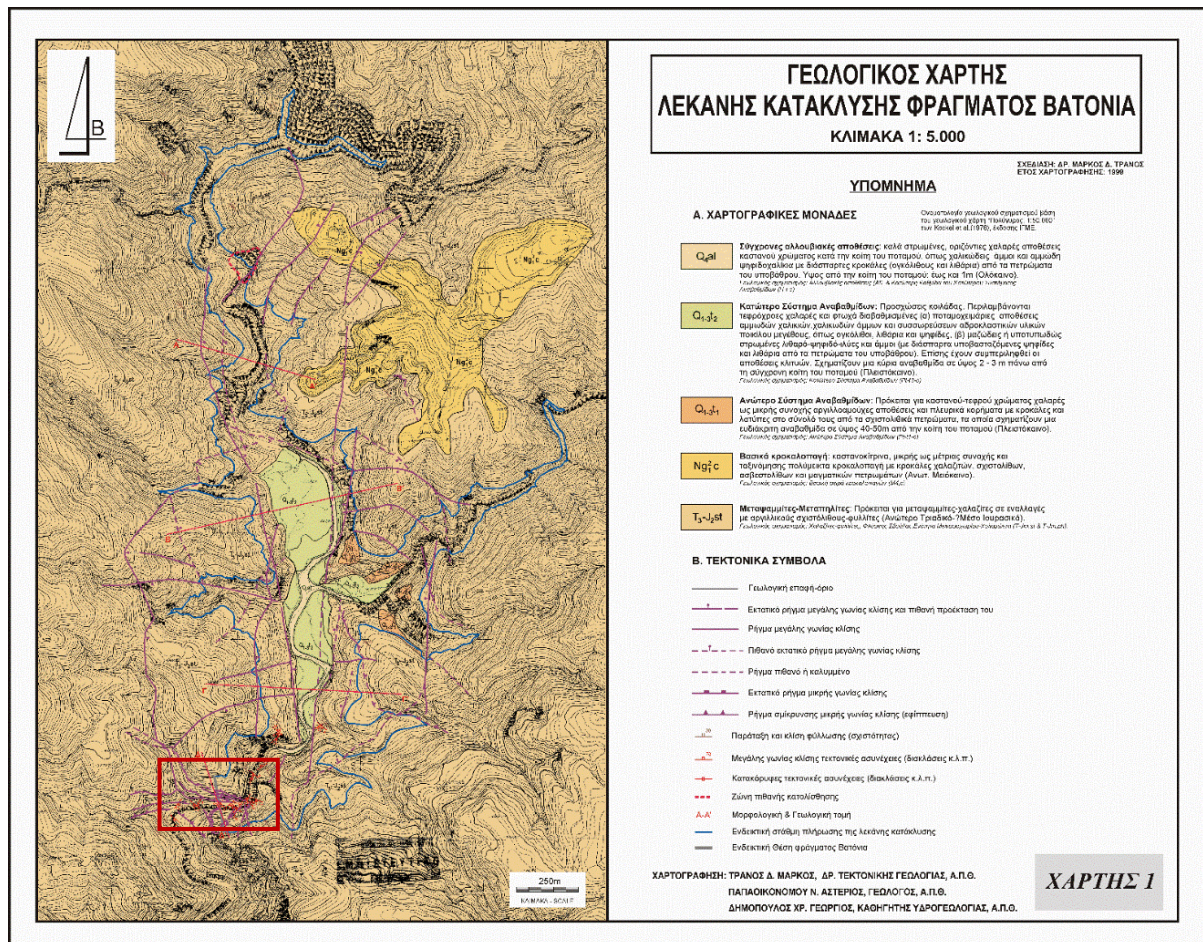
Βάσει του χάρτη κλίμακας 1:50.000, διαπιστώνουμε πως στη λεκάνη κατάκλυσης του φράγματος, απαντώνται από τα νεότερα προς τα παλαιότερα:

Οι αλουβιακές αποθέσεις, ηλικίας Ολόκαινου, αποτελούμενες από άμμο, ψηφίδες και προϊόντα αποσάθρωσης των Νεογενών σχηματισμών.

Η βασική σειρά κροκαλοπαγών, ηλικίας Ανώτερου Μειόκαινου, με κροκάλες χαλαζιτών, σχιστολίθων, ασβεστολίθων και μαγματικών πετρωμάτων. Τα κροκαλοπαγή συνιστούν τους κατώτερους ορίζοντες της όλης σειράς των ερυθρών αργίλων προς τις οποίες μεταβαίνουν πλευρικά. Αναπτύσσονται περισσότερο στην βόρεια περιοχή της λεκάνης κατάκλυσης, που απαντώνται πετρώματα προ του Νεογενούς.

Οι χαλαζίτες με ενστρώσεις φυλλιτών, γραφιτικών σχιστόλιθων και μεταψαμμιτών και σε φυλλίτες μερικώς γραφιτικούς με ενστρώσεις χαλαζιτών, της ενότητας Μελισσοχωρίου – Χολομώντα, ομάδα Σβούλας, ηλικίας Τριαδικού – Μέσου Ιουρασικού.

Με βάση το χάρτη κλίμακας 1:5.000 και την υπαίθρια έρευνα της περιοχής του έργου, έγινε η συσχέτιση των σχηματισμών της λεκάνης κατάκλυσης, με τους παραπάνω σχηματισμούς ως εξής (από το νεότερο στο παλαιότερο).



Εικόνα 28. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης, (κόκκινο πλαίσιο - θέση έδρασης φράγματος) κλίμακας 1:5.000. (Τρανός Μ. et al.)

Ιζηματογενή

Τεταρτογενές:

- I. Σύγχρονες αλλουβιακές αποθέσεις: σχηματισμοί Ολοκαίνου σε καλά στρωμένες οριζόντιες αποθέσεις καστανού χρώματος κατά την κοίτη του ποταμού, όπως χαλικώδεις άμμοι και αμμώδη ψηφιδωτά με διάσπαρτες κροκάλες από τα πετρώματα του υποβάθρου. Το ύψος τους από την κοίτη φτάνει το 1m και σύμφωνα με την υπαίθρια παρατήρηση η έκτασή τους περιορίζεται στη θέση θεμελίωσης του φράγματος, με μεγαλύτερη πλευρική εμφάνιση σε συγκεκριμένα σημεία της κοίτης του ποταμού.



Εικόνα 29. Σύγχρονες αλλουβιακές αποθέσεις - έως και 1m πάχος από την κοίτη του ποταμού.

- II. Κατώτερο σύστημα αναβαθμίδων: πρόκειται για Πλειστοκαινικούς σχηματισμούς αποτελούμενους από χαλαρές και διαβαθμισμένες ποταμοχειμάρειες αποθέσεις αμμωδών χαλικιών, χαλικωδών άμμων και συσσωρεύσεων αδροκλαστικών υλικών ποικίλου μεγέθους, όπως ογκόλιθοι και ψηφίδες καθώς και για μαζώδεις ή υποτυπωδώς στρωμένες ιλύες και άμμους με κροκάλες και λίθους. Το σύστημα αυτό σχηματίζει μια κύρια αναβαθμίδα σε ύψος 2-3m πάνω από τη σύγχρονη κοίτη του ποταμού. Η έκταση του σχηματισμού είναι περιορισμένη στη θέση θεμελίωσης του φράγματος, ενώ προς τα ανάντη αποκτά μεγαλύτερη έκταση και καλύπτει μια μεγάλη περιοχή της λεκάνης κατάκλυσης.
- III. Ανώτερο σύστημα αναβαθμίδων: Πλειστοκαινικοί σχηματισμοί αποτελούμενοι από αργιλλοαμούχες αποθέσεις και πλευρικά κορήματα με κροκάλες και λατύπες στο σύνολο τους από σχιστολιθικά πετρώματα, τα οποία σχηματίζουν μια ευδιάκριτη αναβαθμίδα σε ύψος 40 – 50 m από την κοίτη του ποταμού. Οι σχηματισμοί αυτοί έχουν μικρή εμφάνιση, τοπικά σε σημεία της λεκάνης κατάκλυσης.



Εικόνα 30. Κατώτερο σύστημα αναβαθμίδων - σε ύψος 2 - 3 m από την κοίτη του ποταμού.

Νεογενές:

- Βασικά κροκαλοπαγή: πολύμεικτα κροκαλοπαγή μικρής έως μέτριας συνοχής, ηλικίας Αν. Μειοκαίνου, με κροκάλες χαλαζιτών, σχιστόλιθων, ασβεστόλιθων και μαγματικών πετρωμάτων. Η έκταση του σχηματισμού των κροκαλοπαγών δεν επηρεάζει τη θέση θεμελίωσης του φράγματος, όμως αποτελεί έναν περιοριστικό παράγοντα για την έκταση της λεκάνης κατάκλυσης καθώς θα πρέπει να εξεταστεί το ενδεχόμενο μελλοντικών διαφυγών μέσω του σχηματισμού αυτού κατά την πλήρωση του ταμιευτήρα.

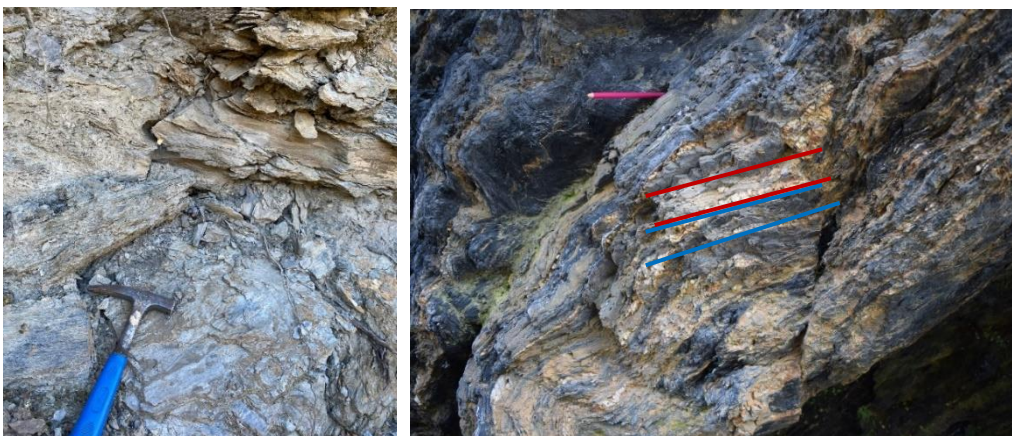
Μετά – ιζηματογενή πετρώματα

Ενότητα Μελισσοχωρίου – Χολομώντα (Τριαδικό – Μέσο Ιουρασικό):

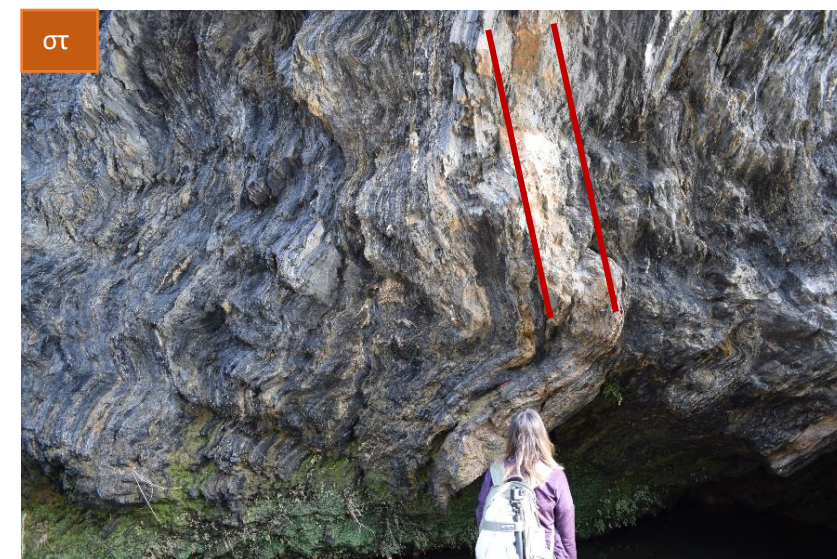
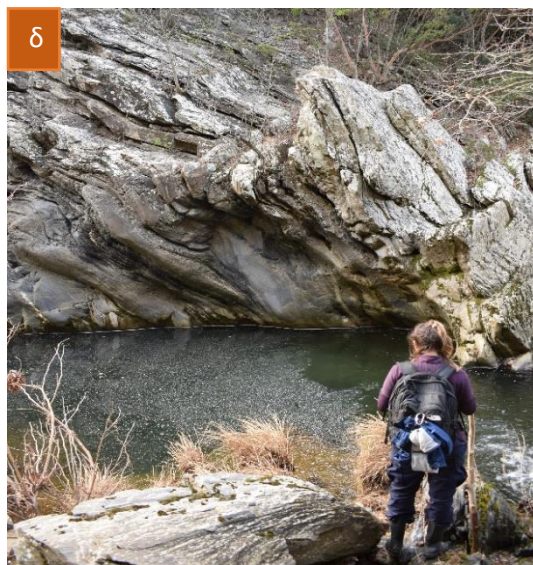
- Μεταψαμμίτες – Μεταπηλίτες: Πρόκειται για μεταψαμμίτες – χαλαζίτες σε εναλλαγές με αργιλικούς σχιστόλιθους – φυλλίτες και γραφιτικούς σχιστόλιθους. Οι σχηματισμοί αυτοί καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης κατάκλυσης και αποτελούν τα πετρώματα του υποβάθρου, τα οποία συναντάμε στη θέση θεμελίωσης του φράγματος. Οι σχηματισμοί είναι έντονα πτυχωμένοι, με ευδιάκριτη σχιστότητα και συνεχείς εναλλαγές. Από την υπαίθρια παρατήρηση διαπιστώθηκε πως κυριαρχεί η εμφάνιση των μεταψαμμιτών με την παρουσία φυλλιτών, αργιλικών σχιστόλιθων, γραφιτικών σχιστολίθων σε συνεχείς εναλλαγές καθώς και ενστροφών χαλαζίτη. Τα πετρώματα αυτά εντάσσονται στην χαρτογραφική μονάδα «Χαλαζίτες – φυλλίτες, ομάδα Σβούλας» και υποδηλώνουν μια ιζηματογένεση τύπου φλύσχη.

Πίνακας 9. Χαρακτηρισμός των στρωμάτων ανάλογα με το πάχος τους (Ingram, 1954).

Τύπος στρωμάτων	Πάχος (cm)
Πολύ παχυστρωματώδη	> 100
Παχυστρωματώδη	30 – 100
Μεσοστρωματώδη	10 – 30
Λεπτοστρωματώδη	3 – 10
Πολύ λεπτοστρωματώδη	1 – 3



Εικόνα 31. Σχηματισμός φυλλίτη – αργιλικού σχιστόλιθου (μπλε γραμμές) με έντονη σχιστότητα - σε συνεχείς εναλλαγές με χαλαζίτη (κόκκινες γραμμές).



Εικόνα 32. α – β: Εμφάνιση γραφικού σχιστόλιθου, εδαφοποιημένου - γραφικός σχιστόλιθος σε εναλλαγές με αργιλικό σχιστόλιθο – φυλλίτη, γ – δ: σχηματισμός μεταψαμμίτη, δεξι αντέρεισμα - πάγκοι μεταψαμμίτη στην θέση θεμελίωσης του φράγματος, ε – στ: εμφανίσεις φλεβών χαλαζίτη σε εναλλαγές με γραφικό σχιστόλιθο και αργιλικό σχιστόλιθο.

3.2.3.1 Μικροτεκτονική ανάλυση – γεωλογικό προσομοίωμα

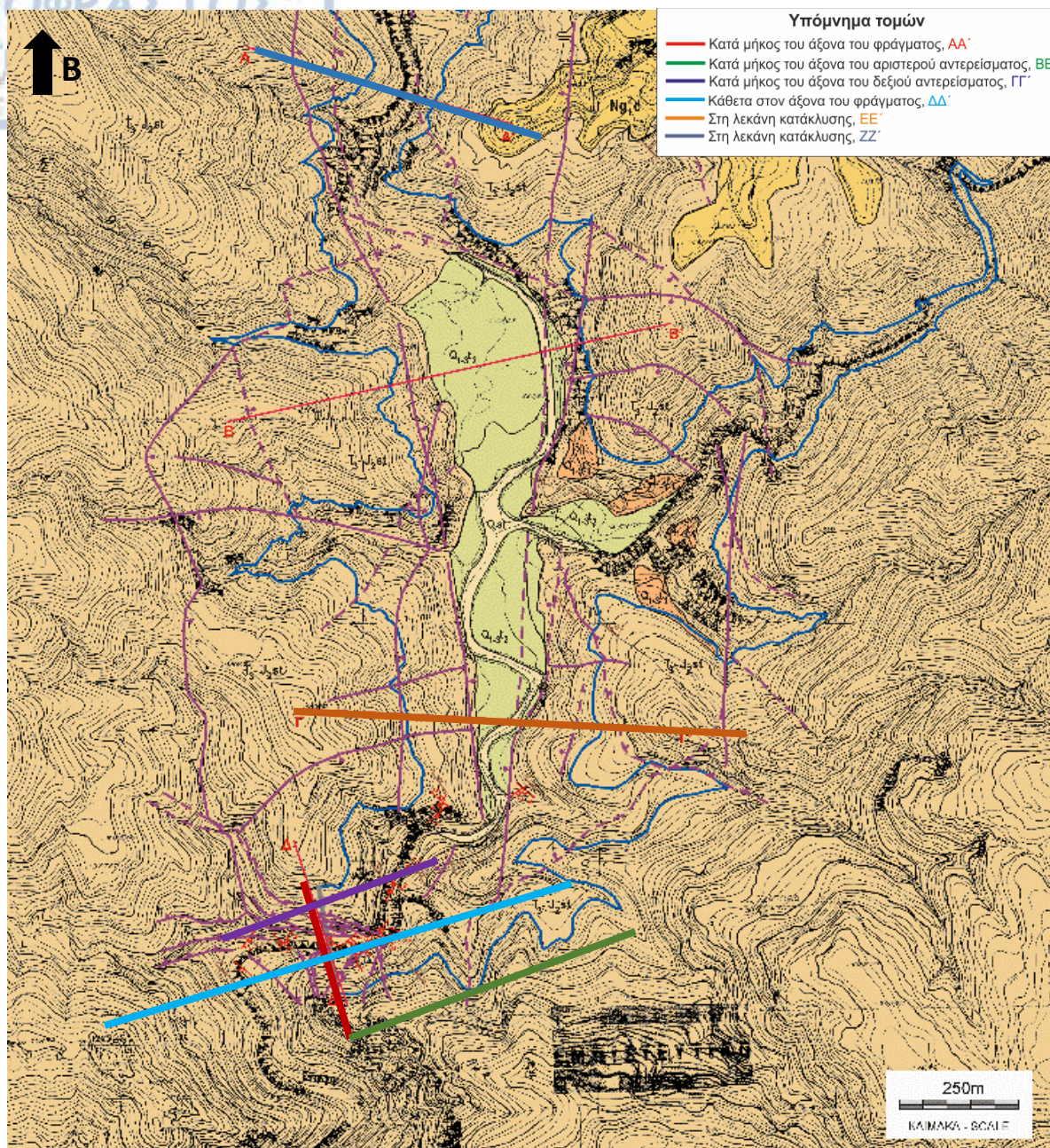
Με βάση την υπαίθρια γεωλογική παρατήρηση και τη χρήση του γεωλογικού χάρτη, κλίμακας 1:5.000, η κύρια εικόνα για την περιοχή του έργου είναι οι συνεχείς εναλλαγές λεπτών έως μεσοστρωματώδων μεταψαμμιτών με αργιλικούς σχιστόλιθους, φυλλίτες και γραφιτικούς σχιστόλιθους με παρουσία φλεβών χαλαζία. Οι σχηματισμοί βρίσκονται πτυχωμένοι με κύρια διεύθυνση κλίσης της σχιστότητας ΒΑ και γωνία κλίσης $>50^\circ$. Στην περιοχή μελέτης είναι έντονη η παρουσία ανάστροφων τεκτονικών δομών, που θα μελετηθούν εκτενέστερα λόγω των προβλημάτων που ενδέχεται να δημιουργήσουν στην θέση θεμελίωσης του φράγματος. Τα ρήγματα που συναντώνται στην θέση θεμελίωσης έχουν μικρή κλίση $<30^\circ$ και αλληλοτέμνονται. Εκατέρωθεν της λεκάνης κατάκλυσης συναντάμε κανονικά ρήγματα με μεγάλες κλίσεις.

Στα δεδομένα της εργασίας ήταν τα ευρήματα των ερευνητικών γεωτρήσεων, ΓΛ1 και ΓΛ2, με βάθος περίπου 50 m και ελήφθησαν υπόψη στη δημιουργία των γεωλογικών τομών. Κατασκευάστηκαν έξι τομές (Εικόνα 33) για να προκύψει τελικά το γεωλογικό προσομοίωμα της περιοχής έρευνας.

- κατά μήκος του άξονα του φράγματος, **AA'**
- κατά μήκος του αριστερού αντερείσματος, **BB'**
- κατά μήκος του δεξιού αντερείσματος, **ΓΓ'**
- κάθετα στον άξονα του φράγματος, **ΔΔ'**
- στη λεκάνη κατάκλυσης, **ΕΕ'** και **ΖΖ'**

Από την υπαίθρια έρευνα συλλέχθηκαν οι μετρήσεις των ασυνεχειών της περιοχής. Μετά την επεξεργασία τους με το πρόγραμμα Dips 7.0 της Rocscience και μέσω της μέτρησης της πυκνότητας των πόλων εντοπίστηκαν για όλη την περιοχή 5 κύριες οικογένειες διακλάσεων που δίνονται με στερεογραφικά διαγράμματα Schmidt (Εικόνα 35-36).

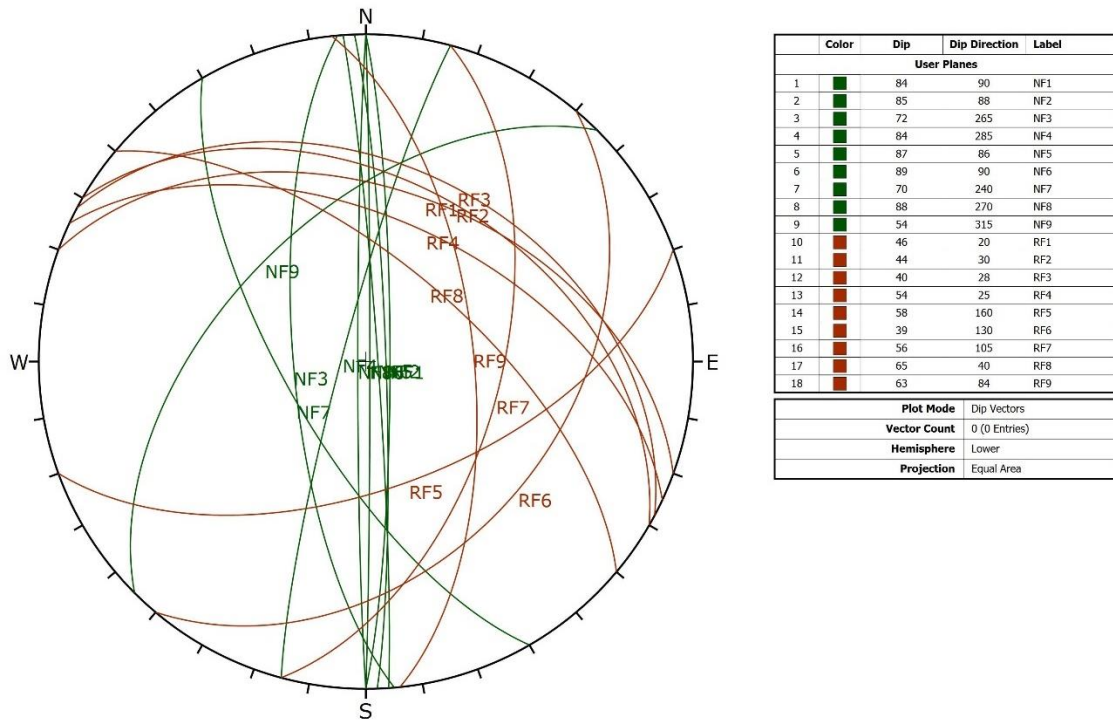
Αυτές οι μετρήσεις έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί και για την κατασκευή της κάθε γεωλογικής τομής ξεχωριστά, οπότε η κάθε τομή συνοδεύεται με τα αντίστοιχα στερεογραφικά διαγράμματα σχιστότητας, κύριων οικογενειών διακλάσεων και ρηγμάτων που περιλαμβάνει. Στο Παράρτημα παρατίθενται αναλυτικά οι μετρήσεις των ασυνεχειών που συλλέχθηκαν από την ύπαιθρο και από το γεωλογικό χάρτη της μελέτης.



Εικόνα 33. Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη, 1:5.000, όπου έχουν χαραχθεί οι έξι σχεδιαζόμενες τομές (Τρανός Μ. et al.).

Στην Εικόνα 34, δίνεται το στερεοδιάγραμμα Schmidt με όλα τα ρήγματα της περιοχής, όπως φαίνονται από το γεωλογικό χάρτη και όσα εντοπίστηκαν στην υπαίθρια έρευνα.

Στο διάγραμμα προβάλλονται με πράσινο χρώμα τα κανονικά ρήγματα και συμβολίζονται με NF (Normal Fault), ενώ με καφέ χρώμα είναι τα ανάστροφα ρήγματα με σύμβολο RF (Reverse Fault).

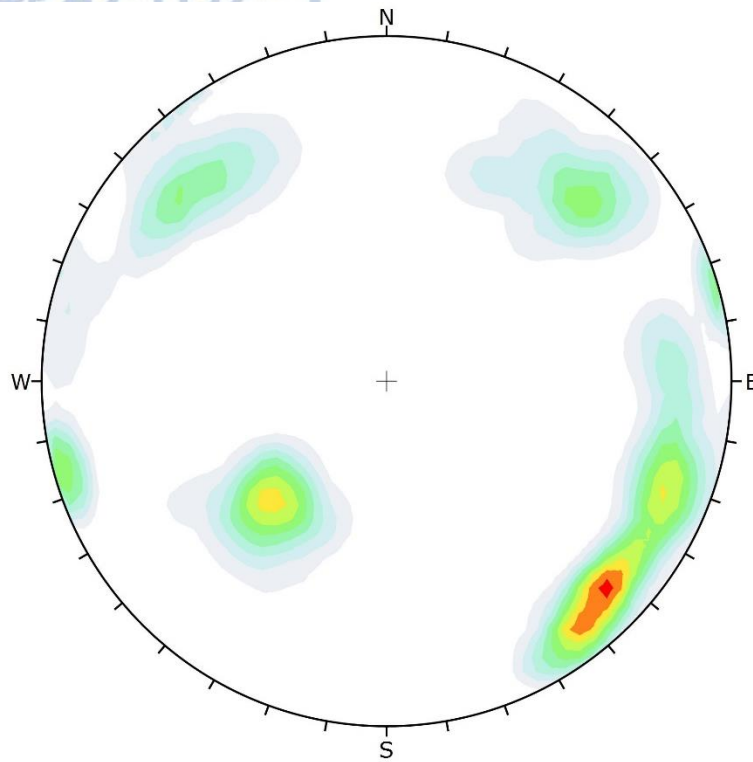


Εικόνα 34. Προβολή των ρηγμάτων της περιοχής μελέτης, όπου NF τα κανονικά ρήγματα και RF τα ανάστροφα ρήγματα.

Μέσω της υπαίθριας έρευνας στην περιοχή μελέτης εντοπίστηκαν πέντε κύριες οικογένειες διακλάσεων, οι οποίες τέμνουν την βραχομάζα. Επίσης, σημειώθηκαν τα χαρακτηριστικά των ασυνεχειών αυτών, δηλαδή η εμμονή τους στο χώρο (persistence), η απόσταση (spacing), η τραχύτητα (roughness), η αντοχή, το άνοιγμα (aperture) και το υλικό πλήρωσής τους (filling). Στον Πίνακα 9, δίνονται τα στοιχεία διακλάσεων που προσδιορίστηκαν από τη στατιστική ανάλυση των πόλων (Εικόνες 35 – 36). Αναφορικά με την εμμονή διακλάσεων στο χώρο, παρατηρήθηκε ότι είναι ≈ 10 m και η μέση απόστασή τους κυμαίνεται από μερικά εκατοστά έως ≈ 1 m και. Όταν υπάρχει υλικό πλήρωσης είναι χαλαζιακής σύστασης.

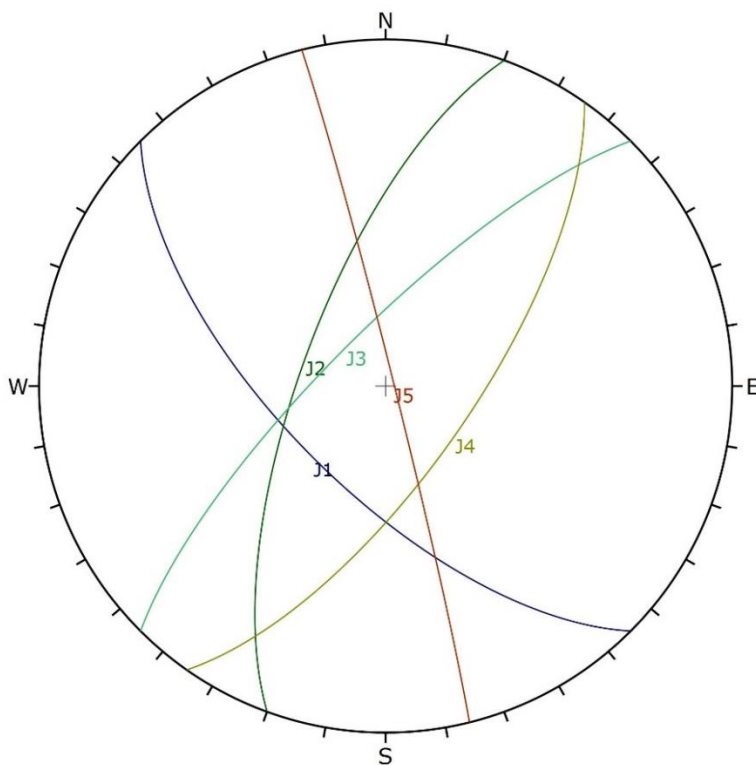
Πίνακας 10. Στοιχεία προσανατολισμού κύριων οικογενειών διακλάσεων.

	Τύπος	Γωνία κλίσης (°)	Διεύθυνση κλίσης (°)
1	J ₁	66	225
2	J ₂	70	290
3	J ₃	77	315
4	J ₄	70	125
5	J ₅	88	076



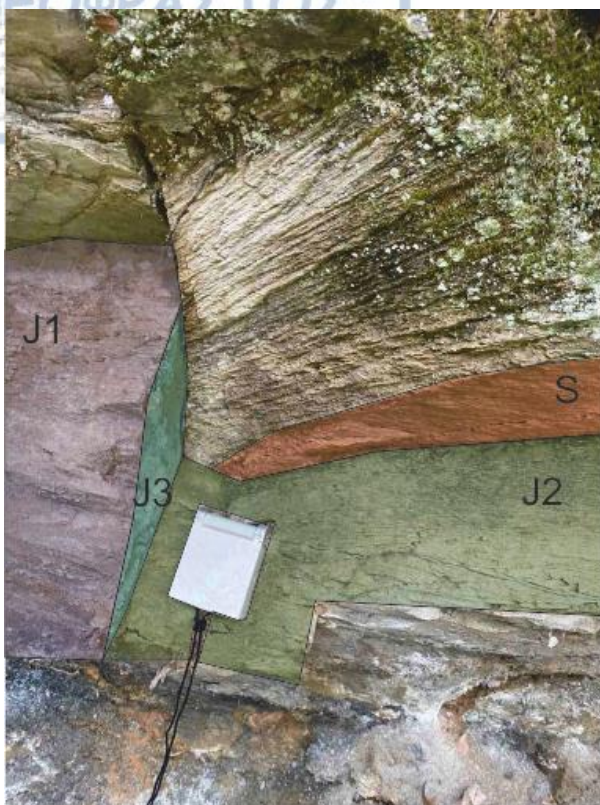
Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.00
	1.00 - 2.00
	2.00 - 3.00
	3.00 - 4.00
	4.00 - 5.00
	5.00 - 6.00
	6.00 - 7.00
	7.00 - 8.00
	8.00 - 9.00
	9.00 - 10.00
Contour Data Pole Vectors	
Maximum Density	9.61%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%
Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	212 (212 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Εικόνα 35. Επιλογή περιοχών για την προβολή των κύριων οικογενειών διακλάσεων, *Dips 7.0*.



	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		66	225	J1
2m		70	290	J2
3m		77	315	J3
4m		70	125	J4
5m		88	76	J5
Plot Mode	Dip Vectors			
Vector Count	212 (212 Entries)			
Hemisphere	Lower			
Projection	Equal Area			

Εικόνα 36. Προβολή πέντε οικογενειών διακλάσεων, *Dips 7.0*.



Εικόνα 37. Οικογένειες ασυνεχειών, οι οποίες διατέμνουν την βραχώμαζα, δεξί αντέρεισμα – όψη από το αριστερό αντέρεισμα.



Εικόνα 38. Οικογένειες ασυνεχειών, οι οποίες διατέμνουν την βραχώμαζα, δεξί αντέρεισμα – όψη από το αριστερό αντέρεισμα.

- Γεωλογική τομή κατά μήκος του άξονα του φράγματος, **AA'**

Ο σχεδιασμός της τομής στη θέση θεμελίωσης βασίστηκε στα δεδομένα υπαίθρου και στα στοιχεία της γεώτρησης ΓΛ2, η οποία βρίσκεται στο δεξί αντέρεισμα του φράγματος σε απόλυτο υψόμετρο 337 m. Στη θέση αυτή επικρατεί ο σχηματισμός του μεταψαμμίτη σε εναλλαγές με γραφιτικό, αργλικό σχιστόλιθο και φυλλίτη. Η κλίση των σχηματισμών είναι $>50^\circ$ και με διεύθυνση κλίσης ΒΑ, στοιχεία τα οποία είναι ευνοϊκά για την κατασκευή του φράγματος, επειδή κλείνουν προς την λεκάνη κατάκλυσης.

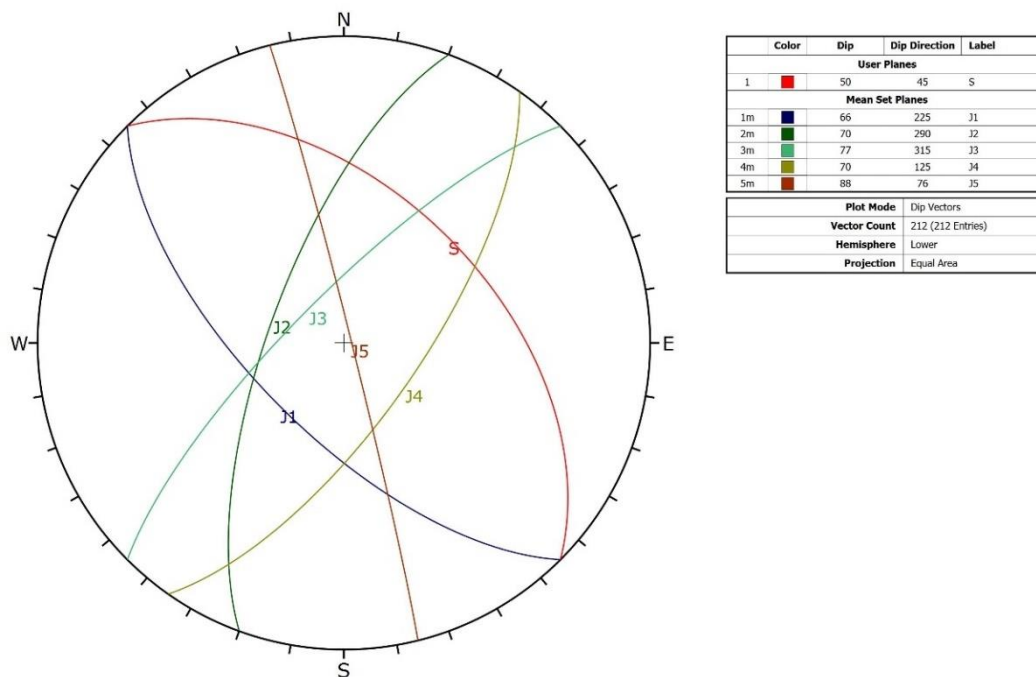


Εικόνα 39. Θέση θεμελίωσης φράγματος από ανάντη, παρουσία ανάστροφου ρήγματος.

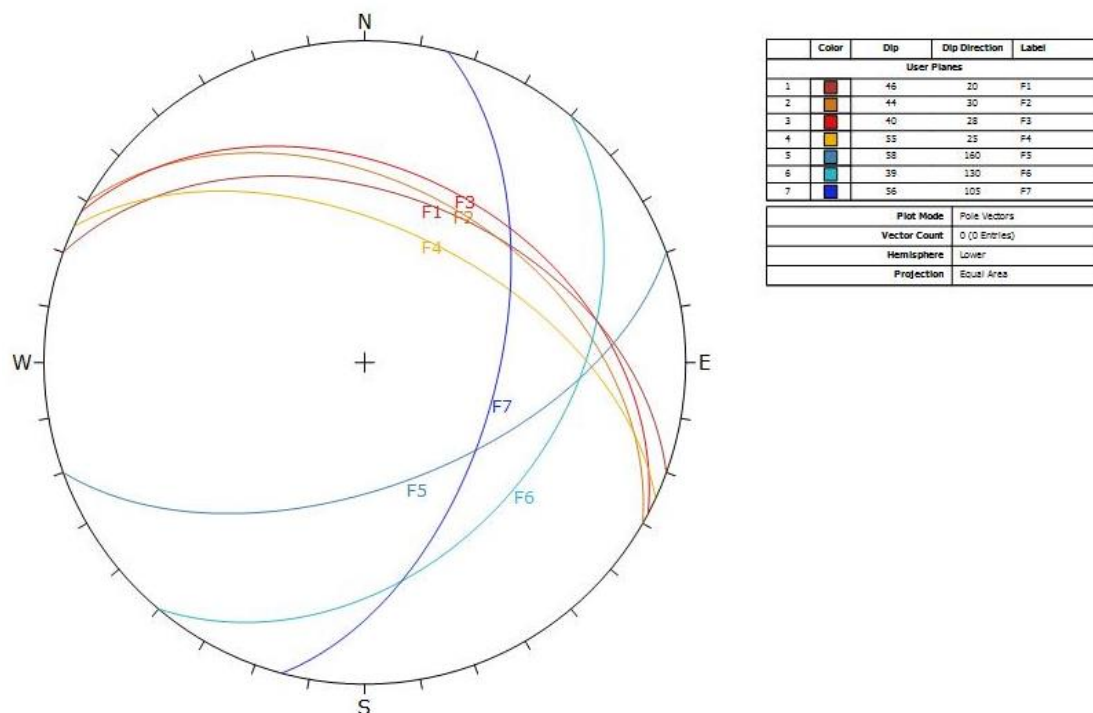
Στο αριστερό αντέρεισμα παρατηρείται η συνεχής εναλλαγή των σχηματισμών που προαναφέρθηκαν καθώς και η παρουσία ανάστροφων ρηγμάτων. Τα δυο εξ' αυτών τέμνονται ενώ έχουν περιορισμένη έκταση στο χώρο. Τα τρία ρήγματα έχουν μικρή γωνία κλίσης ($< 50^\circ$) και είναι ομόρροπα μεταξύ τους με διεύθυνση κλίσης προς τα ΝΝΑ, έχουν επιφέρει μετακινήσεις των σχηματισμών, όμως λόγω της δημιουργίας τους κατά τη διάρκεια της πτύχωσης δεν έχει προκληθεί θράυση της φυλλώδους δομής.

Στο δεξί αντέρεισμα βρίσκουμε τέσσερα ανάστροφα ρήγματα από τα οποία τα τρία τέμνονται μεταξύ τους. Τα ρήγματα έχουν κλίση $< 55^\circ$. Ο γραφιτικός σχιστόλιθος που συναντάμε κατά θέσεις είναι εντελώς αποσαθρωμένος με μεγάλη ευθρυπτότητα. Όμως λόγω των συνεχών εναλλαγών ενός σχηματισμού με πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά όπως είναι ο γραφιτικός σχιστόλιθος, με αυτόν του χαλαζίτη, ο οποίος φέρει καλά μηχανικά χαρακτηριστικά, περιορίζεται η αποσάθρωση του γραφιτικού σχιστόλιθου.

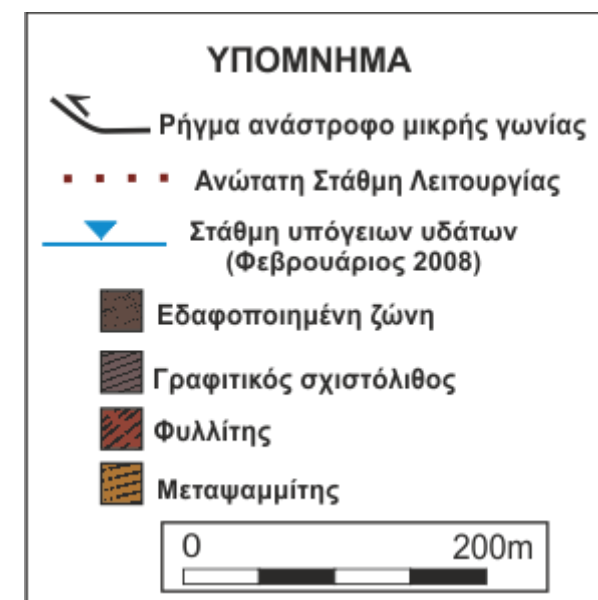
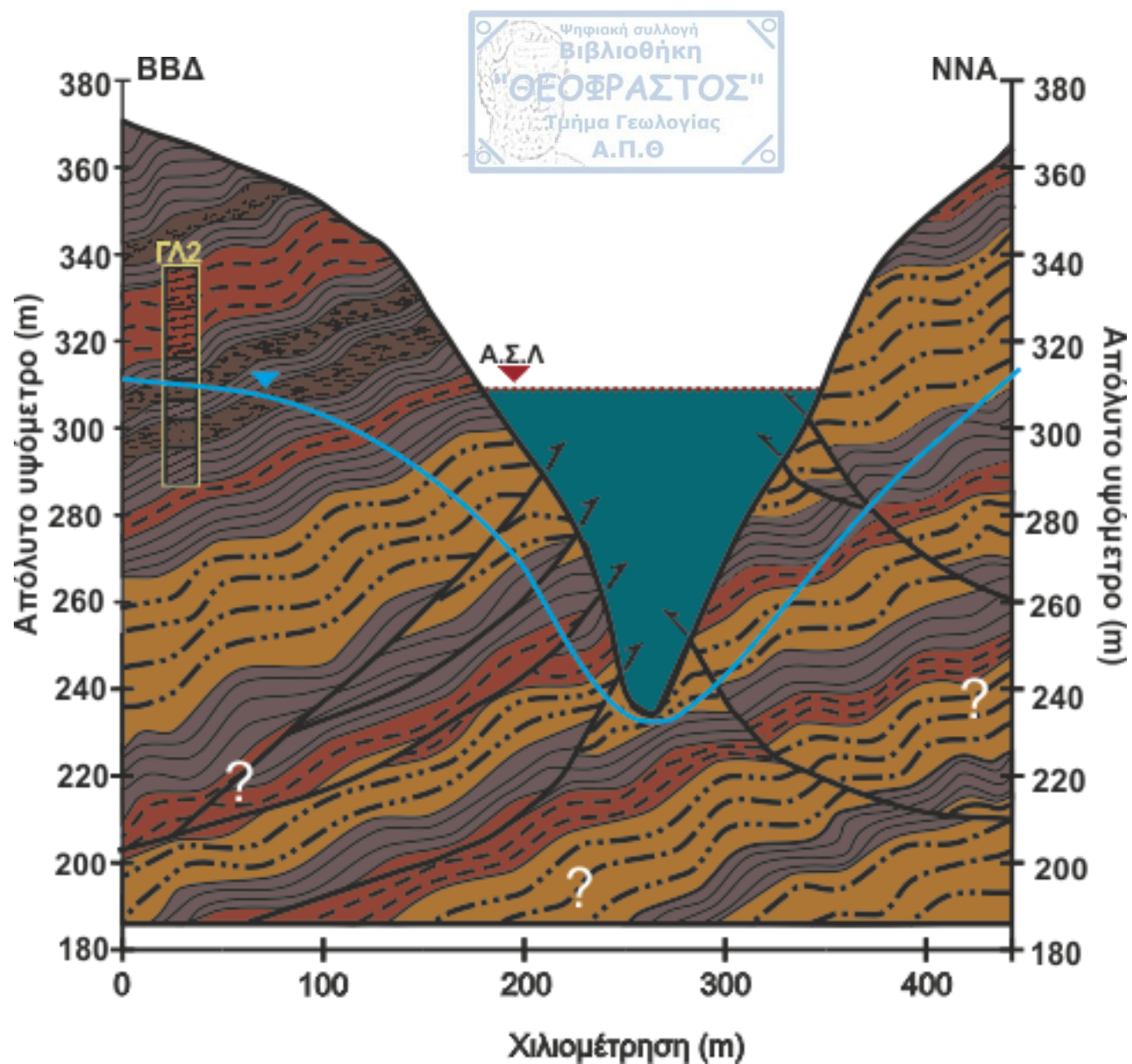
Στο στερεοδιάγραμμα της Εικόνας 40 προβάλλονται οι επιφάνειες που προέκυψαν από τη μέτρηση της πυκνότητας των πόλων των στοιχείων της σχιστότητας και των κύριων διακλάσεων, ενώ σε αυτό της Εικόνας 41 των ρηγμάτων στα δυο αντερείσματα.



Εικόνα 40. Προβολή της σχιστότητας και των κύριων οικογενειών διακλάσεων σε δίκτυο Schmidt, της τομής κατά μήκος του άξονα του φράγματος, AA'.



Εικόνα 41. Προβολή των στοιχείων των ρηγμάτων σε δίκτυο Schmidt, της τομής κατά μήκος του άξονα του φράγματος, AA'.

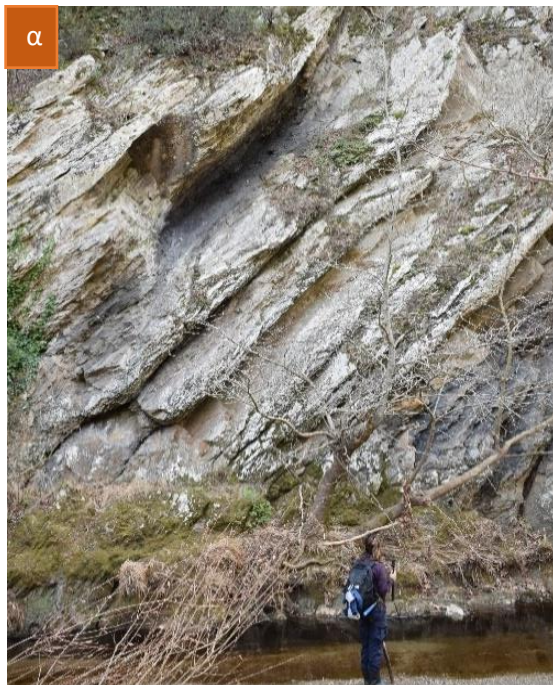


Εικόνα 42. Γεωλογική τομή κατά μήκος της θέσης θεμελίωσης.

- Γεωλογική τομή κατά μήκος του αριστερού αντερείσματος, **BB'**

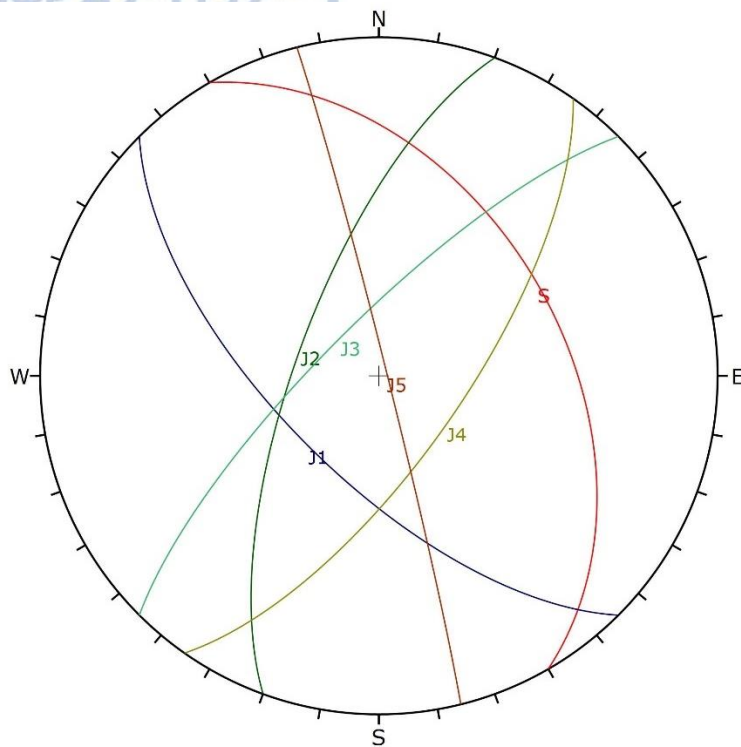
Η τομή κατά μήκος του αριστερού αντερείσματος έχει διεύθυνση ΝΔ – ΒΑ. Κατά μήκος της τομής η εικόνα που συναντάται είναι συνεχείς εναλλαγές μεταψαμμίτη με αργιλικό σχιστόλιθο, γραφιτικό σχιστόλιθο και φυλλίτη. Η κλίση των σχηματισμών είναι $>50^\circ$, με διεύθυνση κλίσης ΒΑ. Την τομή τέμνουν ένα κανονικό ρήγμα μεγάλης γωνίας κλίσης και ένα ανάστροφο ρήγμα μεγάλης γωνίας κλίσης. Παρατηρείται πως η συχνότητα των εναλλαγών των σχηματισμών αλλάζει έπειτα τα 400 m, στην χλιομέτρηση της τομής. Η διαφορά είναι ότι η παρουσία των στρωμάτων του γραφιτικού σχιστόλιθου αυξάνει σε σχέση με του μεταψαμμίτη. Ο γραφιτικός σχιστόλιθος ανά θέση βρέθηκε εντελώς αποσαθρωμένος έως εδαφοποιημένος.

Η κατασκευή της τομής κατά μήκος του αριστερού αντερείσματος βασίστηκε σε υπαίθριες μετρήσεις της κλίσης και της διεύθυνσης κλίσης των ασυνεχειών των σχηματισμών. Τα δεδομένα επεξεργάστηκαν μέσω του Dips 7.0., στα στερεοδιαγράμματα γίνεται η προβολή τους.



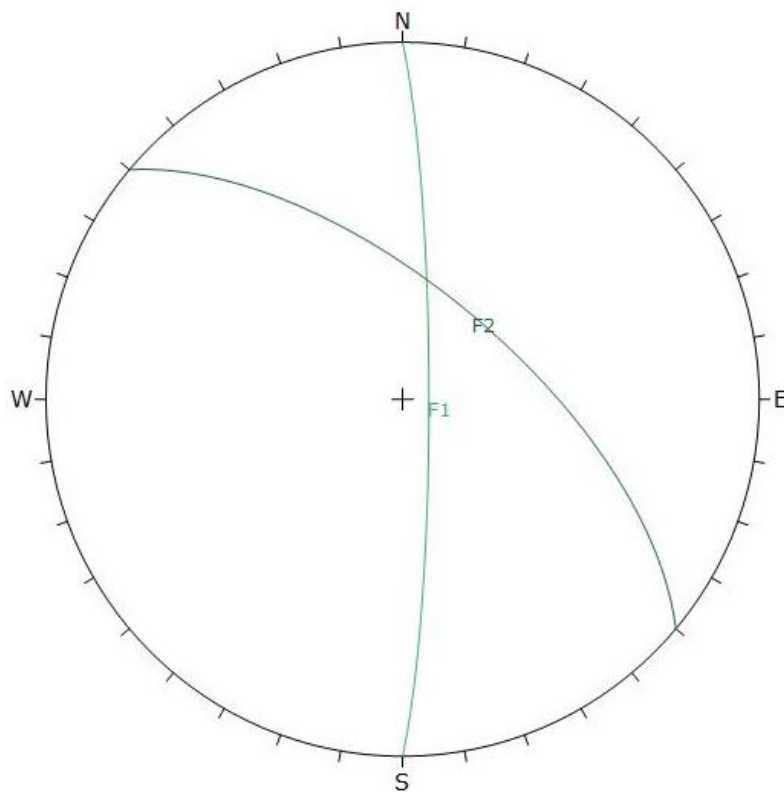


Εικόνα 43. Η εμφάνιση των σχηματισμών στο αριστερό αντέρεισμα, παράλληλα με την σχεδιαζόμενη τομή ξεκινώντας από κοντά στη θέση θεμελίωσης και συνεχίζοντας προς τα ανάντη: α) πάγκοι μεσοστρωματώδων μεταψαμμιτών, β) μεταψαμμίτης σε εναλλαγή με γραφιτικό και αργιλικό σχιστόλιθο, γ) ανάστροφο ρήγμα μεγάλης κλίσης, δ) πτυχωμένοι σχηματισμοί μεταψαμμιτών και φυλλιτών, ε) γραφιτικός σχιστόλιθος, κατά θέσεις τελείως αποσαθρωμένος, στ) εναλλαγή γραφιτικού σχιστόλιθου με μεταψαμμίτη.



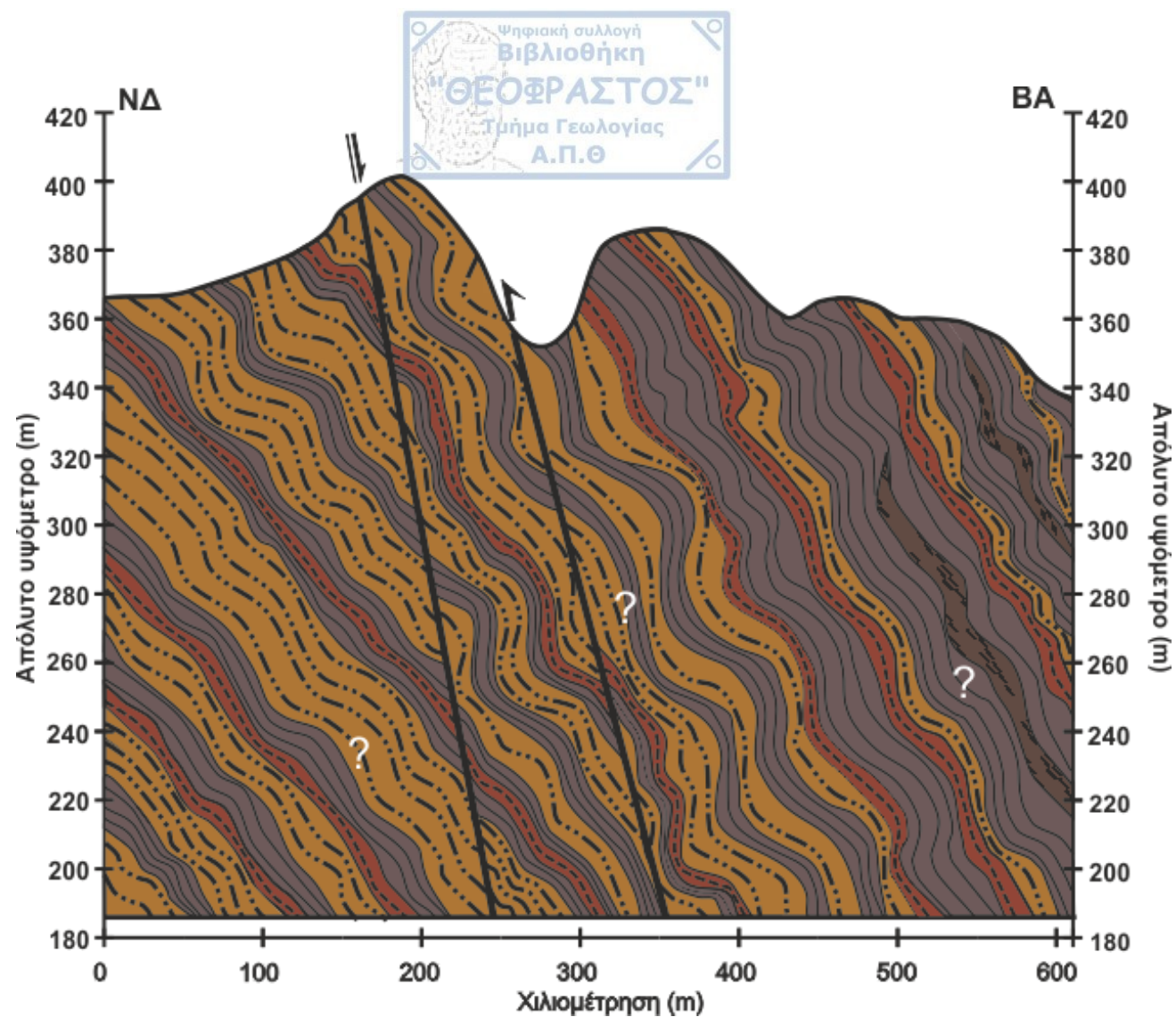
	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1		45	60	S
Mean Set Planes				
1m		66	225	J1
2m		70	290	J2
3m		77	315	J3
4m		70	125	J4
5m		88	76	J5
Plot Mode				
Dip Vectors				
Vector Count				
212 (212 Entries)				
Hemisphere				
Lower				
Projection				
Equal Area				

Εικόνα 44. Προβολή της σχιστότητας και των κύριων οικογενειών διακλάσεων σε δίκτυο Schmidt, της τομής κατά μήκος του αριστερού αντερείσματος, BB'.



	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1		84	90	F1
2		65	40	F2
Plot Mode				
Pole Vectors				
Vector Count				
2 (2 Entries)				
Hemisphere				
Lower				
Projection				
Equal Area				

Εικόνα 45. Προβολή στοιχείων των ρηγμάτων σε δίκτυο Schmidt, της τομής κατά μήκος του αριστερού αντερείσματος, BB'.



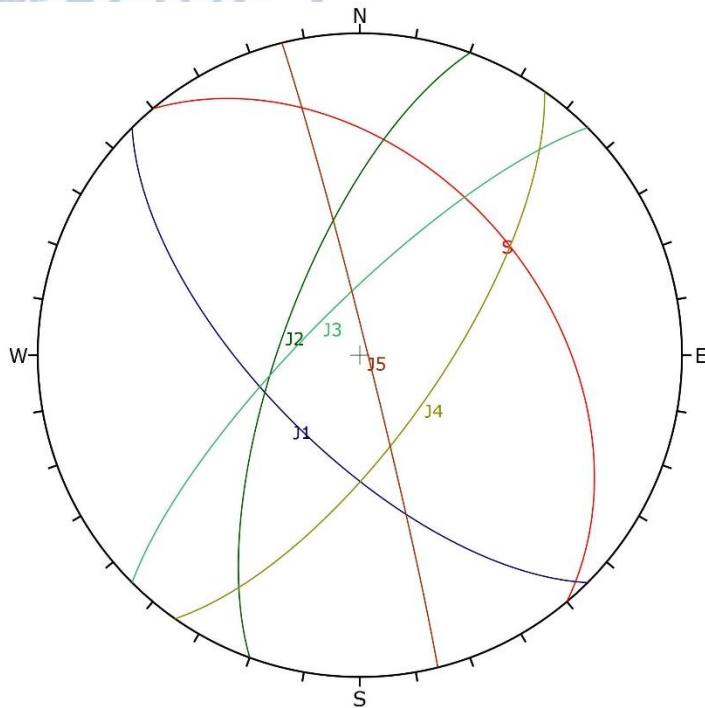
Εικόνα 46. Γεωλογική τομή κατά μήκος του αριστερού αντερείσματος.

➤ Γεωλογική τομή κατά μήκος του δεξιού αντερείσματος, ΓΓ'

Η τομή κατά μήκος του δεξιού αντερείσματος έχει διεύθυνση τομής ΒΑ – ΝΔ. Ο σχεδιασμός της τομής βασίστηκε στην υπαίθρια έρευνα και στα δεδομένα της γεώτρησης ΓΛ2. Η κλίση των σχηματισμών είναι $< 50^\circ$ και η διεύθυνση τους είναι ΒΒΑ. Οι σχηματισμοί της τομής τέμνονται από 4 ομόρροπα μεταξύ τους - ανάστροφα ρήγματα με μικρή κλίση και διεύθυνση κλίσης ΒΑ. Ο μεταψαμμίτης βρίσκεται σε συνεχείς εναλλαγές με γραφιτικό σχιστόλιθο, αργιλικό σχιστόλιθο – φυλλίτη. Τα δεδομένα της γεώτρησης εντοπίζουν σε βάθος εντελώς αποσαθρωμένο – εδαφοποιημένο γραφιτικό σχιστόλιθο σε εναλλαγές με πιο υγιές σχηματισμό γραφιτικού σχιστόλιθου και με φυλλίτη. Τα ακόλουθα στερεοδιαγράμματα έχουν τα στοιχεία της σχιστότητας, των κύριων οικογενειών διακλάσεων και των ρηγμάτων της τομής (Εικόνα 48-49). Τα ανάστροφα ρήγματα συναντώνται με μικρή γωνία κλίσης.

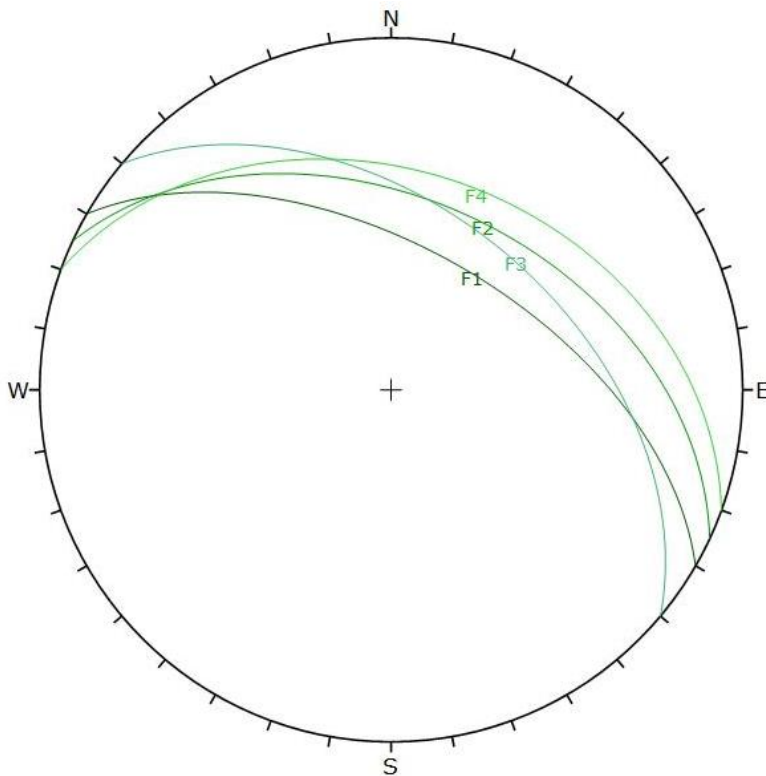


Εικόνα 47. Γραφιτικός σχιστόλιθος σε εναλλαγές με μεταψαμμίτη, κατά μήκος της τομής του αριστερού αντερείσματος - όψη από δεξί αντέρεισμα.



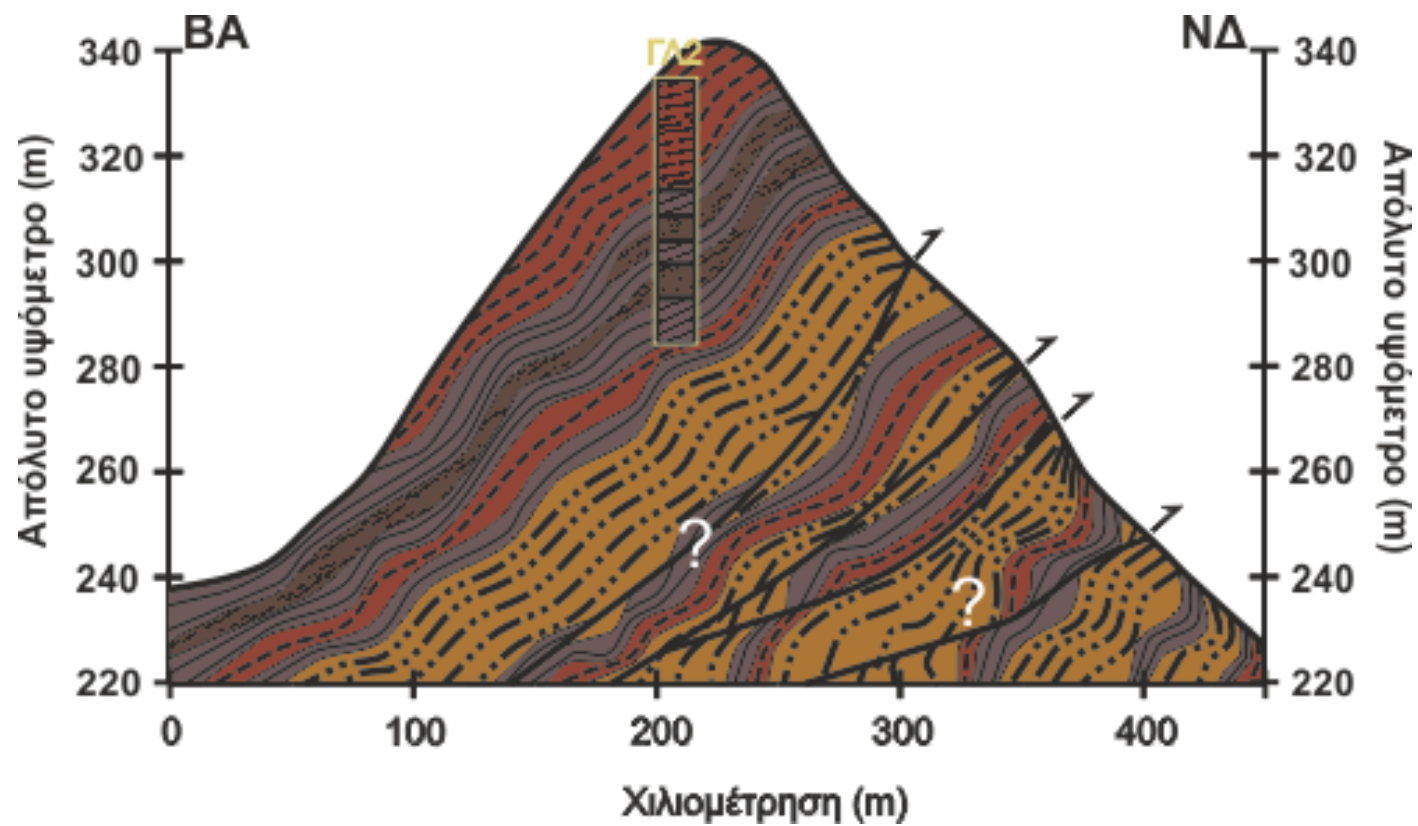
Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	42	50	S
Mean Set Planes			
1m	66	225	J1
2m	70	290	J2
3m	77	315	J3
4m	70	125	J4
5m	88	76	J5
Plot Mode			
Dip Vectors			
Vector Count			
212 (212 Entries)			
Hemisphere			
Lower			
Projection			
Equal Area			

Εικόνα 48. Προβολή της σχιστότητας και των κύριων οικογενειών διακλάσεων σε δίκτυο Schmidt, της τομής κατά μήκος του δεξιού αντερείσματος, ΓΓ'.



Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	57	30	F1
2	45	25	F2
3	48	40	F3
4	38	20	F4
Plot Mode			
Dip Vectors			
Vector Count			
4 (4 Entries)			
Hemisphere			
Lower			
Projection			
Equal Area			

Εικόνα 49. Προβολή στοιχείων των ρηγμάτων σε δίκτυο Schmidt, της τομής κατά μήκος του δεξιού αντερείσματος, ΓΓ'.



Εικόνα 50. Γεωλογική τομή κατά μήκος του δεξιού αντερείσματος.

- Γεωλογική τομή κάθετα στον άξονα του φράγματος, ΔΔ'

Η τομή κάθετα στον άξονα του φράγματος έχει διεύθυνση ABA – NΔN. Η κλίση των σχηματισμών είναι $>50^\circ$ και η διεύθυνση τους είναι προς BBA. Οι σχηματισμοί της τομής τέμνονται από 8 ρήγματα, εκ των οποίων τα 6 είναι ανάστροφα μικρής γωνίας κλίσης ($<50^\circ$), ενώ τα 2 είναι κανονικά ρήγματα μεγάλης γωνίας κλίσης ($>50^\circ$).

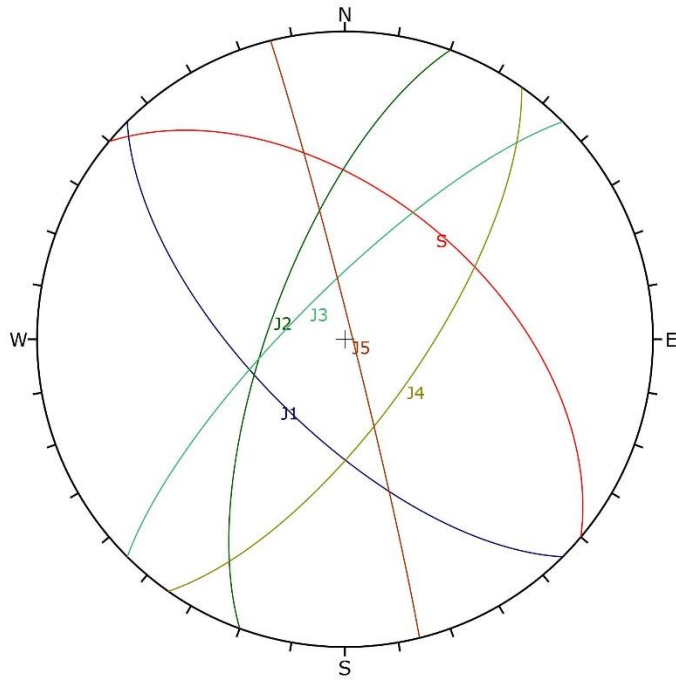
Οι σχηματισμοί είναι: μεταψαμμίτης, γραφιτικός σχιστόλιθος, αργλικός σχιστόλιθος και φυλλίτης. Συναντώνται σε συνεχείς εναλλαγές μεταξύ τους και κατά θέσεις επικρατεί ένας εξ' αυτών. Το κανονικό ρήγμα τέμνει με μεγάλη γωνία κλίσης τα δυο ανάστροφα ρήγματα.

Στο στερεοδιάγραμμα της Εικόνας 52, προβάλλονται οι επιφάνειες που προέκυψαν από τη μέτρηση της πυκνότητας των πόλων των στοιχείων της σχιστότητας και των κύριων διακλάσεων, ενώ σε αυτή της Εικόνας 53, των ρηγμάτων.

Η κατασκευή της τομής συμβάλλει στην γνωστοποίηση και μελέτη των γεωλογικών συνθηκών που λαμβάνουν χώρα στη θέση θεμελίωση του φράγματος. Συγκεκριμένα, αφορά θέματα ευστάθειας του φράγματος όπως είναι η ύπαρξη ρηγμάτων τα οποία μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα. Στην τομή έχει σχεδιαστεί και η θέση του φράγματος για να διερευνηθεί το γεωλογικό υπόβαθρο που συναντά.

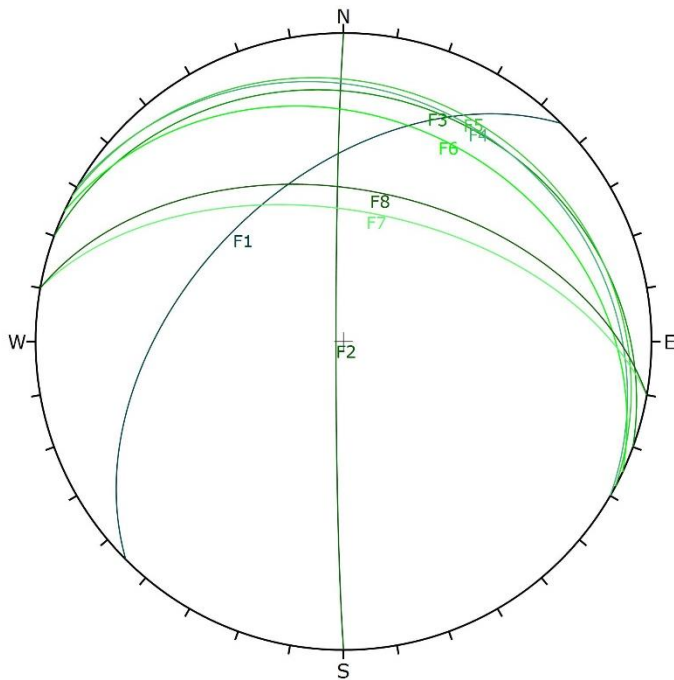


Εικόνα 51. Εναλλαγές μεταψαμμίτη με γραφιτικό σχιστόλιθο, αργλικό σχιστολιθο και φυλλίτη, ανάντη από τον άξονα του φράγματος, όψη από δυτικά.



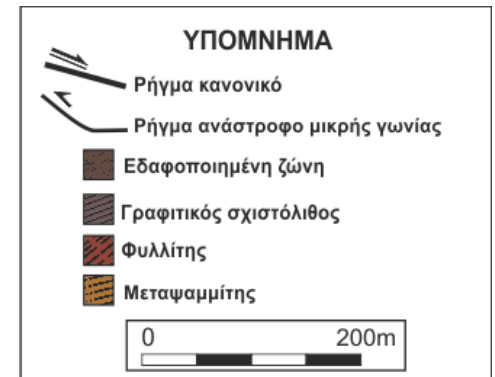
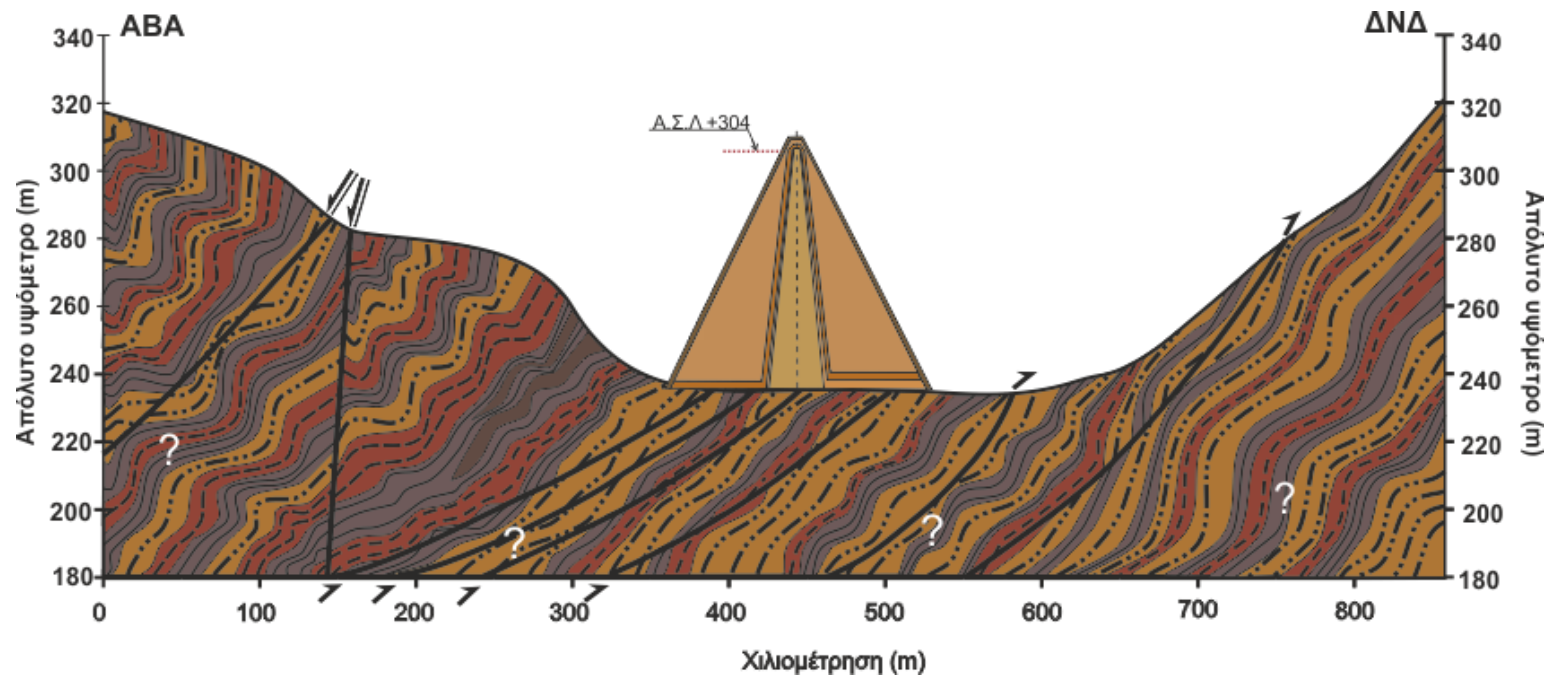
Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	52	40	S
Mean Set Planes			
1m	66	225	J1
2m	70	290	J2
3m	77	315	J3
4m	70	125	J4
5m	88	76	J5
Plot Mode Dip Vectors			
Vector Count 212 (212 Entries)			
Hemisphere Lower			
Projection Equal Area			

Εικόνα 52. Προβολή της σχιστότητας και των κύριων οικογενειών διακλάσεων σε δίκτυο Schmidt, της τομής κάθετα στον άξονα του φράγματος, ΔΔ'.



Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	48	315	F1
2	88	270	F2
3	21	20	F3
4	20	30	F4
5	18	28	F5
6	28	25	F6
7	55	10	F7
8	49	10	F8
Plot Mode Dip Vectors			
Vector Count 4 (4 Entries)			
Hemisphere Lower			
Projection Equal Area			

Εικόνα 53. Προβολή στοιχείων των ρηγμάτων σε δίκτυο Schmidt, της τομής κάθετα στον άξονα του φράγματος, ΔΔ'.



Εικόνα 54. Γεωλογική τομή κάθετα στον άξονα του φράγματος, ΔΔ'.

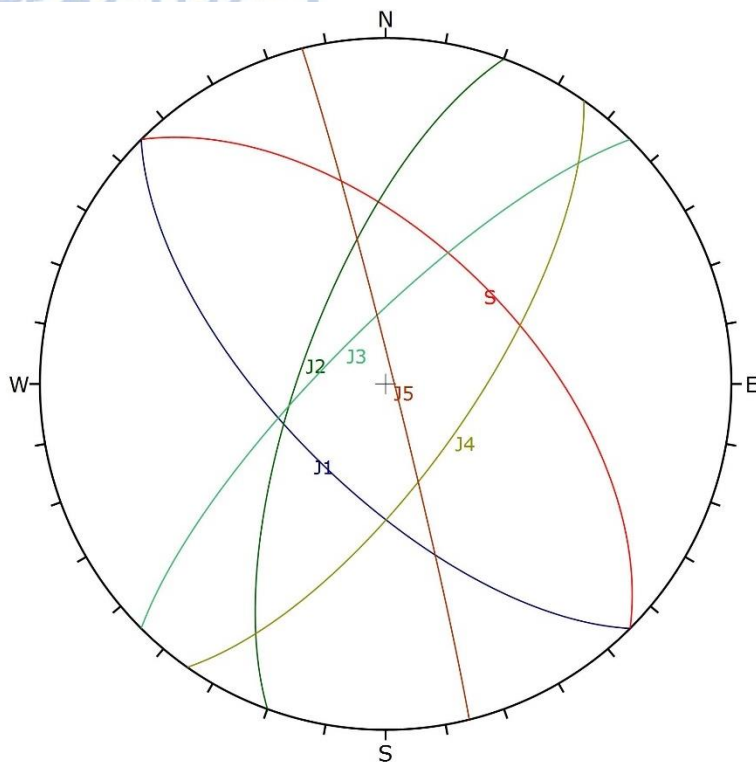
➤ Γεωλογική τομή στη λεκάνη κατάκλυσης, **ΕΕ'**

Η τομή στη λεκάνη κατάκλυσης σχεδιάστηκε λαμβάνοντας υπόψη την γεώτρηση ΓΛ1, με βάθος 50 m και σε απόλυτο υψόμετρο 270 m καθώς και από την υπαίθρια γεωλογική παρατήρηση της περιοχής. Η διεύθυνση της τομής είναι Δ – Α. Στην τομή αυτή συναντώνται οι εδαφικοί σχηματισμοί της περιοχής, οι οποίοι είναι το κατώτερο σύστημα αναβαθμίδων και οι σύγχρονες αλλουβιακές αποθέσεις. Το βάθος τους από την επιφάνεια φτάνει περίπου στα 20 m.

Το βραχώδες υπόβαθρο αποτελείται από εναλλαγές μεταψαμμίτη, γραφιτικού σχιστόλιθου, αργιλικού σχιστόλιθου και φυλλίτη. Η τομή περιλαμβάνει 5 ρήγματα, τα τέσσερα εξ' αυτών είναι κανονικά με μεγάλη κλίση και το πέμπτο είναι ένα ανάστροφο ρήγμα μικρής γωνίας κλίσης. Στα στερεοδιαγράμματα Schmidt προβάλλονται η σχιστότητα, οι κύριες οικογένειες διακλάσεων και τα ρήγματα της τομής (Εικόνα 56-57.).

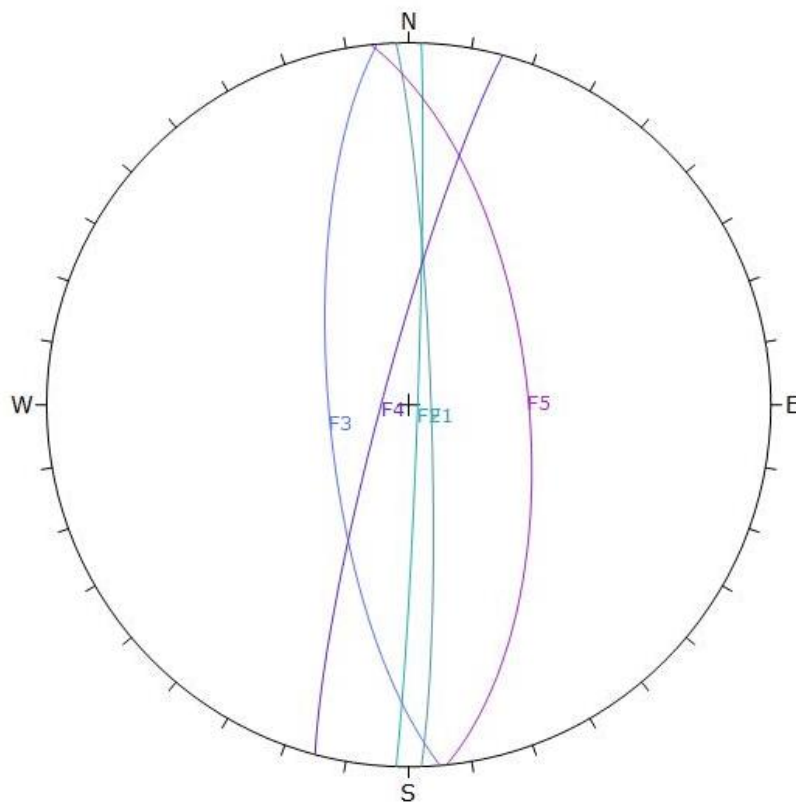


Εικόνα 55. Η περιοχή της λεκάνης κατάκλυσης, όψη από δυτικά.



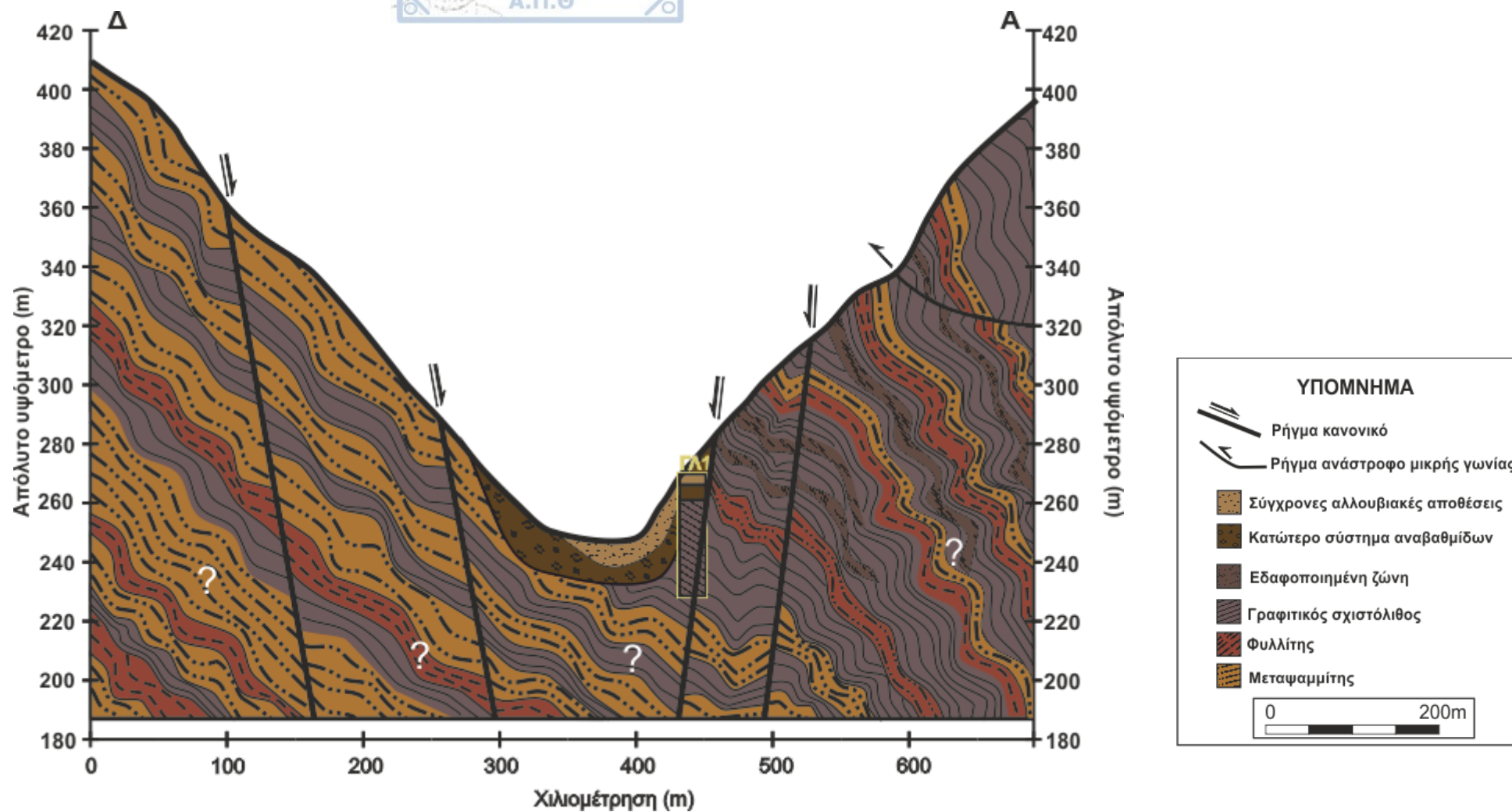
Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	57	45	S
Mean Set Planes			
1m	66	225	J1
2m	70	290	J2
3m	77	315	J3
4m	70	125	J4
5m	88	76	J5
Plot Mode		Dip Vectors	
Vector Count		212 (212 Entries)	
Hemisphere		Lower	
Projection		Equal Area	

Εικόνα 56. Προβολή της σχιστότητας και των κύριων οικογενειών διακλάσεων σε δίκτυο Schmidt, της τομής στη λεκάνη κατάκλυσης, ΕΕ'.

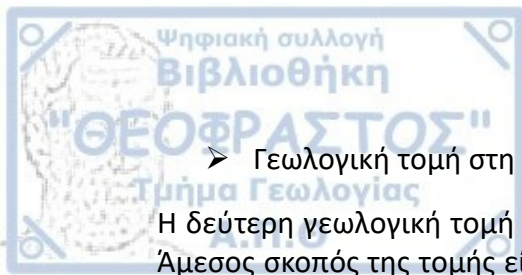


Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	85	88	F1
2	88	92	F2
3	72	285	F3
4	84	285	F4
5	63	84	F5
Plot Mode		Pole Vectors	
Vector Count		2 (2 Entries)	
Hemisphere		Lower	
Projection		Equal Area	

Εικόνα 57. Προβολή στοιχείων των ρηγμάτων σε δίκτυο Schmidt, της τομής στη λεκάνη κατάκλυσης, ΕΕ'.



Εικόνα 58. Γεωλογική τομή στη λεκάνη κατάκλισης, ΕΕ'.



➤ Γεωλογική τομή στη λεκάνη κατάκλυσης, **ΖΖ'**

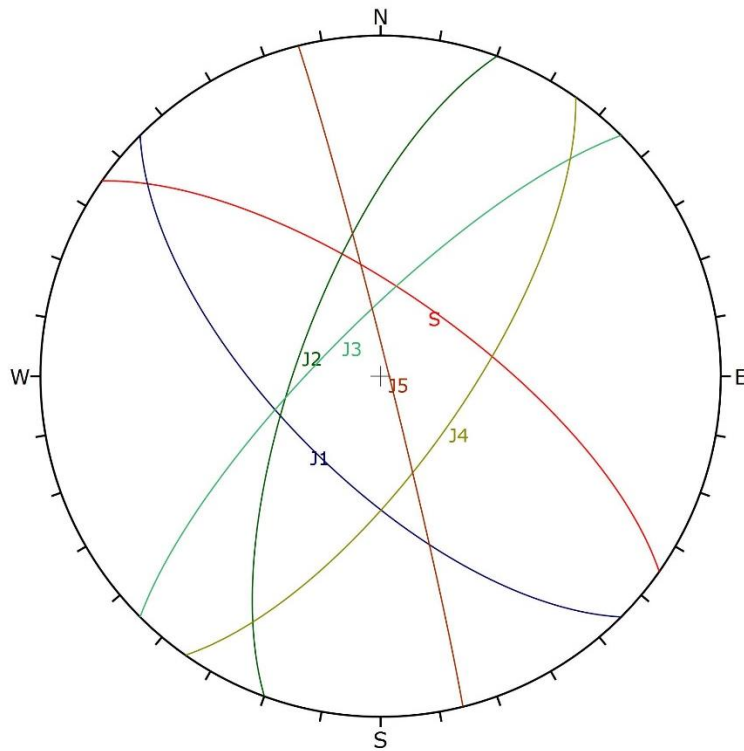
Η δεύτερη γεωλογική τομή στη λεκάνη κατάκλυσης είναι με διεύθυνση ΔΒΔ – ΑΝΑ. Άμεσος σκοπός της τομής είναι να τονιστεί η προσοχή που θα πρέπει να δοθεί στον σχηματισμό των κροκαλοπαγών. Οι εναλλαγές του μεταψαμμίτη με τον γραφιτικό σχιστόλιθο, αργιλικό σχιστόλιθο και φυλλίτη ενδέχεται να συνεχίζουν στο βάθος όπως έχει σχεδιαστεί στη τομή. Παρατηρείται η ύπαρξη ενός κανονικού ρήγματος με μεγάλη κλίση και δυο πιθανά κανονικά ρήγματα τα οποία τέμνονται, με το νεότερο να έχει επιφέρει μετακινήσεις στο παλαιότερο. Η παρουσία του σχηματισμού των κροκαλοπαγών ξεκινά μετά τα 400 m απόλυτου υψομέτρου και αποτελεί έναν παράγοντα που χρήζει διερεύνησης αναφορικά με το ύψος πλήρωσης της λεκάνης κατάκλυσης και κατ' επέκταση το ύψος του φράγματος. Τα κροκαλοπαγή έχουν μέτρια συνοχή και εμφανίζονται χωρίς εκτεταμένη αποσάθρωση, οπότε δεν ενδέχεται να αποτελούν μέσο διαφυγής νερού της σχηματιζόμενης λεκάνης κατάκλυσης. Στα στερεοδιαγράμματα Schmidt προβάλλονται η σχιστότητα, οι κύριες οικογένειες διακλάσεων και τα ρήγματα της τομής (Εικόνα 59-60).

➤ Γεωλογικό προσομοίωμα

Το γεωλογικό προσομοίωμα (Εικόνα 62) κατασκευάστηκε βάσει 4 γεωλογικών τομών: στον άξονα του φράγματος, κάθετα σε αυτόν, στο δεξί και στο αριστερό αντέρεισμα. Μέσω του προγράμματος Surfer, με δεδομένα εισόδου τις ισοϋψείς της ενδιαφερόμενης περιοχής, κατασκευάστηκε η μορφολογική επιφάνεια του προσομοιώματος.

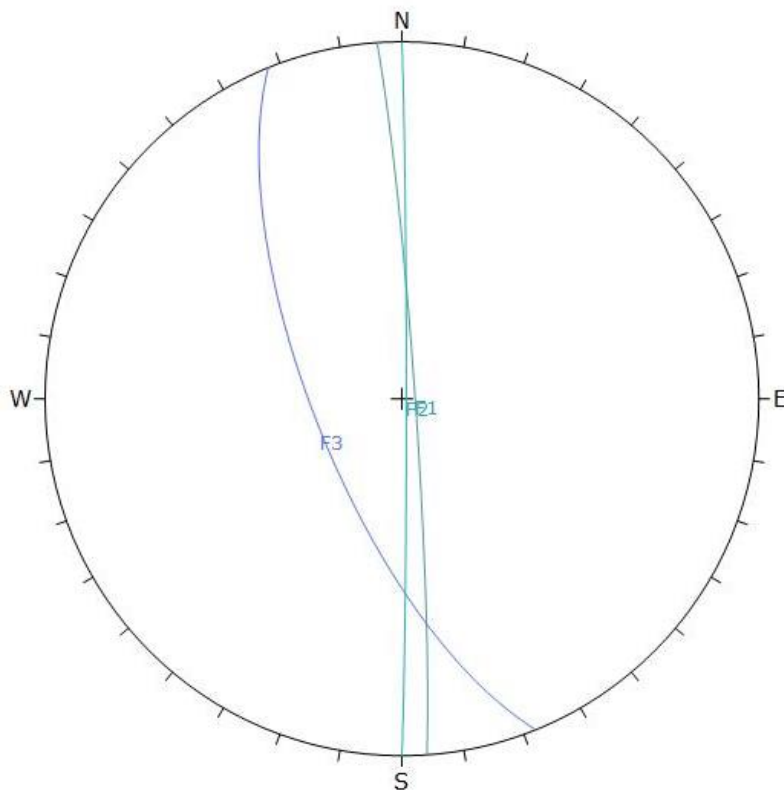
Το γεωλογικό προσομοίωμα της περιοχής του έργου ολοκληρώθηκε με βάση το γεωλογικό χάρτη κλίμακας (1:5.000) και τις υπαίθριες παρατηρήσεις. Το τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο, περιλαμβάνει και την εμφάνιση των Νεογενών σχηματισμών, οι οποίοι δεν εμφανίζονται στον άξονα του φράγματος. Οι εναλλαγές μεταξύ μεταψαμμίτη, γραφιτικού σχιστόλιθου, αργιλικού σχιστόλιθου και φυλλίτη, σχεδιάστηκαν βάσει της υπαίθριας παρατήρησης κατά μήκος της κοίτης του ποταμού, ανάντη του φράγματος.

Στο γεωλογικό προσομοίωμα, παρουσιάζονται όλες οι κύριες ρηξιγενείς δομές της περιοχής καθώς και η ανώτατη στάθμη λειτουργίας του φράγματος.



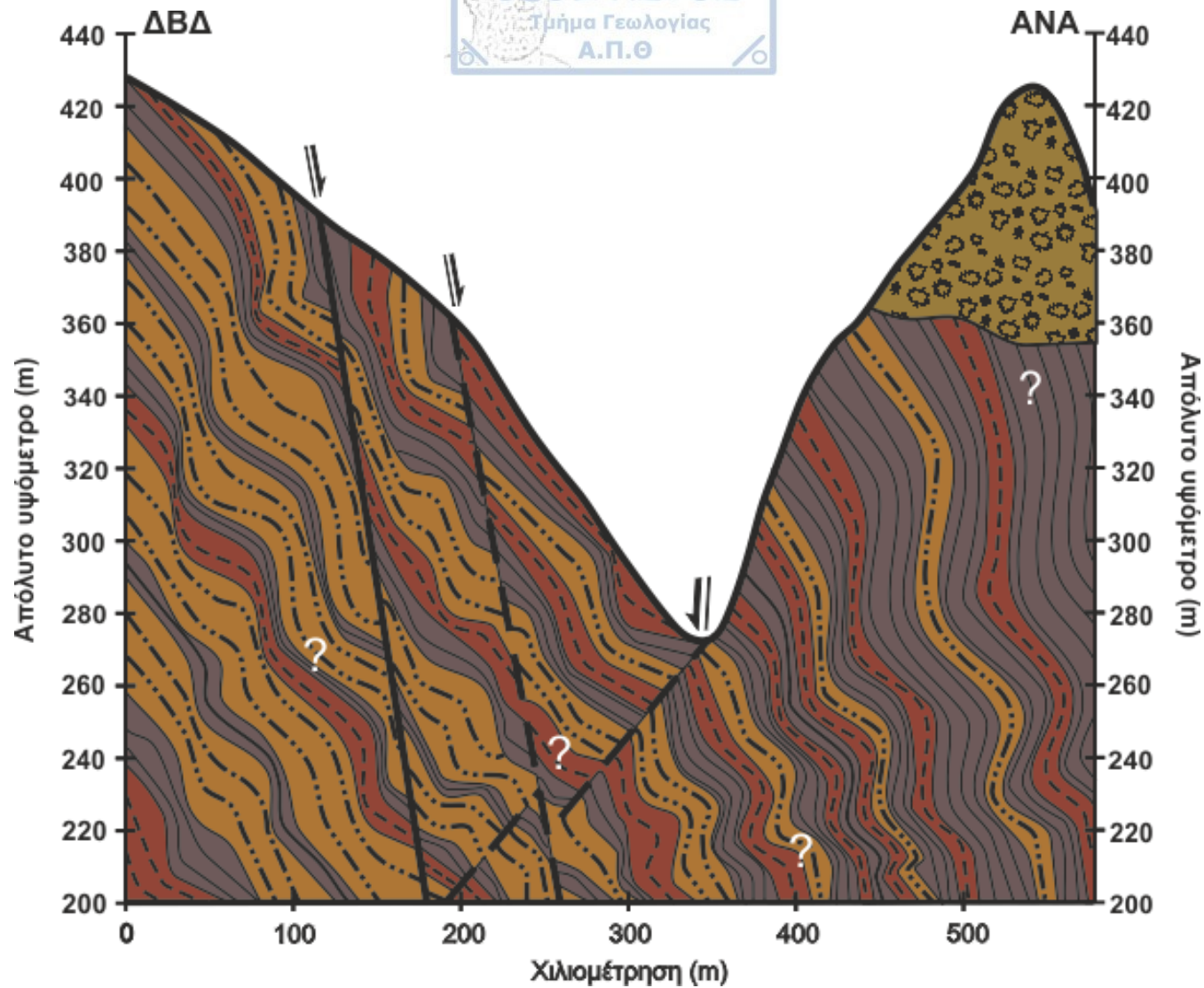
	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1		70	35	S
Mean Set Planes				
1m		66	225	J1
2m		70	290	J2
3m		77	315	J3
4m		70	125	J4
5m		88	76	J5
Plot Mode				
Vector Count			212 (212 Entries)	
Hemisphere			Lower	
Projection			Equal Area	

Εικόνα 59. Προβολή της σχιστότητας και των κύριων οικογενειών διακλάσεων σε δίκτυο Schmidt, της τομής στη λεκάνη κατάκλυσης, ZZ'.

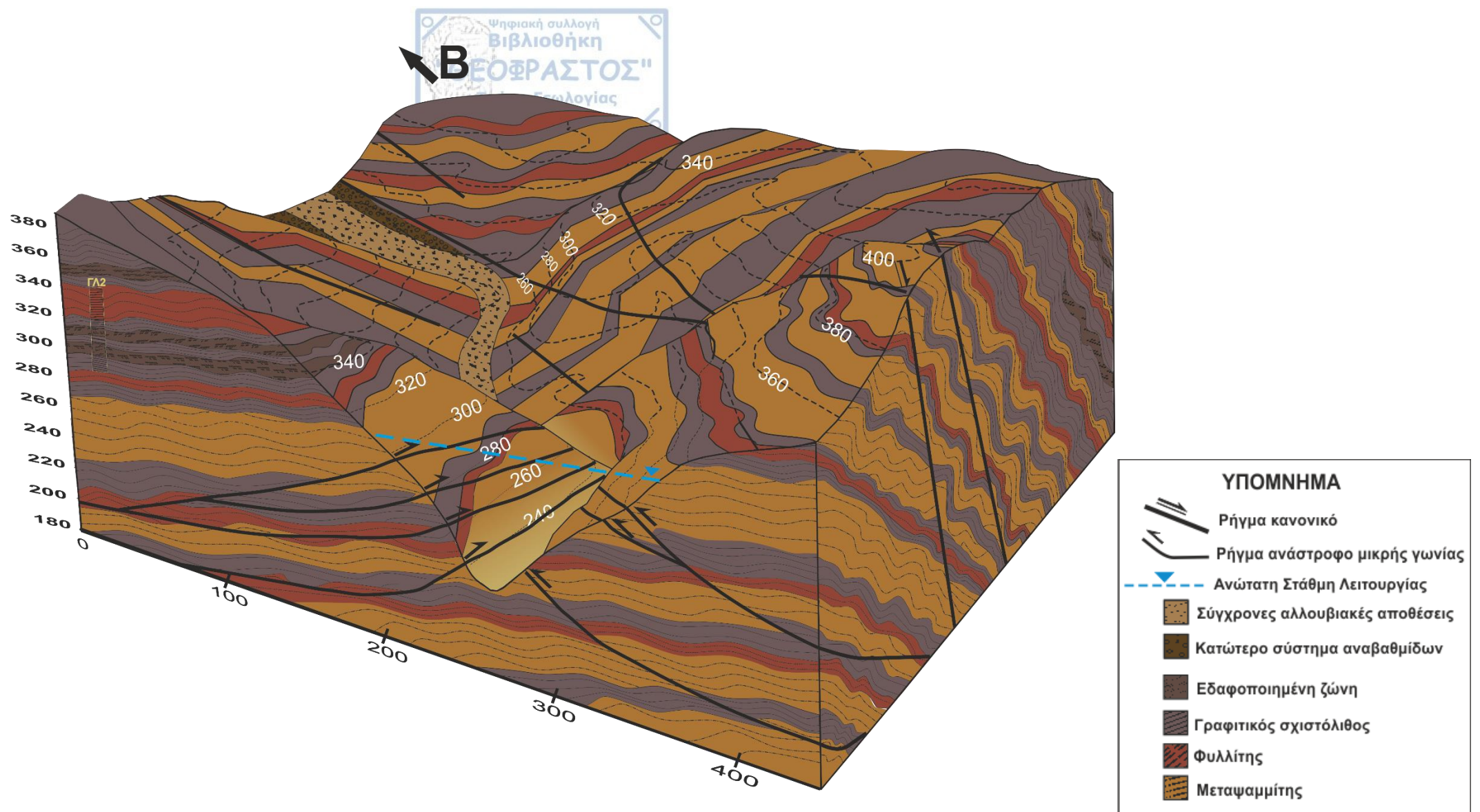


	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1		87	86	F1
2		89	90	F2
3		70	248	F3
Plot Mode				
Vector Count			2 (2 Entries)	
Hemisphere			Lower	
Projection			Equal Area	

Εικόνα 60. Προβολή στοιχείων των ρηγμάτων σε δίκτυο Schmidt, της τομής στη λεκάνη κατάκλυσης, ZZ'.



Εικόνα 61. Γεωλογική τομή στη λεκάνη κατάκλυσης, ΖΖ'.



Εικόνα 62. Τρισδιάστατο γεωλογικό μοντέλο

4. Τεχνικογεωλογικές Συνθήκες 4.1 Μεθοδολογία

Ο προσδιορισμός των τεχνικογεωλογικών συνθηκών τόσο στη θέση θεμελίωσης όσο και στη θέση των συνοδών έργων και του ταμιευτήρα ενός φράγματος είναι απαραίτητος για την αξιολόγηση της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς των σχηματισμών του γεωλογικού υποβάθρου, στοιχείο που θα καθορίσει την αξιολόγηση της καταλληλότητας τόσο της θέσης του άξονα όσο και των συνοδών έργων του φράγματος.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας ήταν διαθέσιμα δεδομένα από τις γεωτρήσεις της προκαταρκτικής μελέτης. Διενεργήθηκαν δυο γεωτρήσεις εκ των οποίων η ΓΛ1 βρίσκεται σε απόσταση 900 m από τη θέση θεμελίωσης του φράγματος και μέσω αυτής αξιολογήθηκαν τα στοιχεία των σχηματισμών της λεκάνης κατάκλυσης. Η δεύτερη γεώτρηση, ΓΛ2 βρίσκεται σε απόσταση 150 m από τον προτεινόμενο άξονα του φράγματος και με βάση τα στοιχεία της αξιολογήθηκαν οι συνθήκες της θέσης θεμελίωσης και ειδικότερα αυτές που αφορούν το δεξί αντέρεισμα. Οι δυο γεωτρήσεις συναντούν στην πλειοψηφία τους το σχηματισμό του γραφιτικού σχιστόλιθου και τον αργιλικό σχιστόλιθο. Αξιολογήθηκαν, ο βαθμός αποσάθρωσης, (Πίνακας 11), το RQD (Πίνακας 12), η περατότητα (Πίνακας 13) και το GSI.

Η λιθολογία, ο βαθμός αποσάθρωσης και κερματισμού των σχηματισμών (Πίνακας 11 – 12), η περατότητα (Πίνακας 13) και η μονοαξονική θλιπτική αντοχή, αποτέλεσαν τα κριτήρια διαχωρισμού των γενικών τεχνικογεωλογικών ενότητων. Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες εξειδικεύθηκαν στη συνέχεια για κάθε επί μέρους έργο (άξονας, αντερείσματα, σήραγγα εκτροπής), με σκοπό να αναλυθεί η τεχνικογεωλογική συμπεριφορά της βραχομάζας στα εν λόγω έργα.

Πίνακας 11. Περιγραφή των κατηγοριών αποσάθρωσης (ISRM 1981).

Κατηγορία αποσάθρωσης	Περιγραφή αποσάθρωσης
I _A	Υγιής
I _B	Ελαφρά αποσαθρωμένο
II	Μέτρια αποσαθρωμένο
III	Πολύ αποσαθρωμένο
IV	Έντονα αποσαθρωμένο
V	Πλήρως αποσαθρωμένο
VI	Υπολειμματικό έδαφος

Πίνακας 12. Περιγραφή του δείκτη κερματισμού βραχομάζας (ISRM, 1978).

RQD (%)	Περιγραφή δείκτη κερματισμού βραχομάζας πετρωμάτων
0 – 20	Πολύ χαμηλός
20 – 40	Χαμηλός
40 – 60	Μέτριος
60 – 80	Υψηλός
80 – 100	Πολύ υψηλός

Πίνακας 13. Χαρακτηρισμός σχηματισμών με βάση τον συντελεστή k (m/sec).

Τιμές k (m/sec)	Χαρακτηρισμός περατότητας
$k < 10^{-9}$	Πρακτικά αδιαπέρατα
$10^{-9} < k < 10^{-7}$	Πολύ μικρή περατότητα
$10^{-7} < k < 10^{-5}$	Μικρή περατότητα
$10^{-5} < k < 10^{-3}$	Μέτρια περατότητα
$10^{-3} < k$	Μεγάλη περατότητα

Ο δείκτης γεωλογικής αντοχής GSI θα αξιολογηθεί βάσει του σχετικού διαγράμματος που έχει προταθεί αρχικά από τους Hoek & Marinos (2000) και έχει τροποποιηθεί για ειδικές περιπτώσεις για ετερογενείς βραχομάζες, όπως είναι ο φλύσχος, από Β. Μαρίνος (2007). Τα κριτήρια που εισάγει είναι η δομή του σχηματισμού και η ποιότητα των ασυνεχειών. Σκοπός του δείκτη GSI πέραν φυσικά μιας ταξινόμησης της βραχομάζας, είναι ο προσδιορισμός των παραμέτρων διατμητικής αντοχής της μέσω της απομείωσης της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής του άρρηκτου βράχου σ_{ci} με την εφαρμογή του κριτηρίου αστοχίας (Hoek & Brown, 2002) ενώ επιπλέον μπορεί μέσω του GSI να εκτιμηθεί και η παραμορφωσιμότητα της βραχομάζας E_m .

Τύπος	Ομάδα						Κατηγορία	σ_{ci} (MPa)	I_s (MPa)	Επί τόπου εκτίμηση αντοχής	Ενδεικτικά παραδείγματα	
	Χονδρή	Μέση	Λεπτή	Πολύ λεπτή								
ΙΣΙΜΑΤΟΓΕΝΗ	Κλαστικό		Κροκαλοπαγή Ψαμίτες 17 ± 4	Ιλυόλιθοι 7 ± 2	Αργιλόλιθοι 4 ± 2	R6	Εξαιρετικά υψηλή	> 250	> 10	Το δείγμα μπορεί μόνο να αποφευχθεί με γεωλογικό σφυρί	Υγής βασάλτης, κερατόλιθος, διαβάσης, γνεύσιος, γρανίτης, χαλαζήτης	
			Λατυποπαγή	Γραυβάκες (18 ± 3)	Αργιλοσχετόλιθοι (6 ± 2)							Μάρμαρες (7 ± 2)
	Μη κλαστικό	Ανθρακικό	Κρυσταλλικοί Ασβεστόλιθοι (12 ± 3)	Σταυροειδείς Ασβεστόλιθοι (10 ± 2)	Μικροκρυσταλλικοί Ασβεστόλιθοι (9 ± 2)	Δολομίτες (9 ± 3)	R5	Πολύ υψηλή	100 – 250	4 – 10	Θραύεται μετά από πολλούς κτύπους με γεωλογικό σφυρί.	Αμφιβολίτης, ψαμίτης, βασάλτης, γάββρος, γνεύσιος, γρανοδιαίτης, περιδοίτης, πυρολίθης, ρυόλιθος τόφφαι
		Εβαποριτικός	Γύψος 8 ± 2	Ανυδρίτης 12 ± 2								
Οργανικά					Κρητίνες 7 ± 2							
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΑ	Μη πτυχωμένα	Μάρμαρο 9 ± 3	Κερατόλιθοι (16 ± 4)	Χαλαζήτες 20 ± 3		R4	Υψηλή	50 – 100	2 – 4	Θραύεται με περισσότερα από ένα κτύπους με γεωλογικό σφυρί.	Ασβεστόλιθος, μάρμαρο, ψαμίτης, σχιστολίθος	
	Ελαφρά πτυχωμένα	Μημπίτες (25 ± 3)	Αμφιβολίτες 26 ± 6	Γνεύσιος 28 ± 5		R3	Μέτρια υψηλή	25 – 50	1 – 2	Δεν χαράσσεται με μαχαίρι. Θραύεται με ένα μόνο κτύπο με γεωλογικό σφυρί.	Σκυρόδεμα, φυλλίτης, σχιστολίθος, ιλυόλιθος	
	Πτυχωμένα**		Σχετόλιθοι 12 ± 3	Φυλλίτης (7 ± 3)	Σχίστες 7 ± 4							
	ΠΥΡΡΙΤΗ	Πλουτώνια	Ανοικτό- χρυσω	Γρανίτης 32 ± 3	Διορίτης 25 ± 5		R2	Χαμηλή	5 – 25	**	Χαράσσεται δύσκολα με το μαχαίρι.	Κιμωλία, Αργιλόλιθος, ποτάσος, μάρμα, ιλυόλιθος, αργιλικός σχιστολίθος, ορυκτό αλάτι
Σκοτεινό- χρυσω			Γάββρος 27 ± 3	Διορίτης 20 ± 5	Δολομίτες (16 ± 5)							
Υποφυσιακά			Παροφύτης (20 ± 5)	Ανδράτης (15 ± 5)	Περδοίτης (25 ± 5)	R1	Πολύ χαμηλή	1 – 5	**	Θρυμματίζεται με απλό κτύπο με γεωλογικό σφυρί. Χαράσσεται με το μαχαίρι.	Εντονα αποσπασμένοι ή εξαλλωμένοι βράχοις, αργιλικός σχιστολίθος	
Ηφαιστειακά		Λάβα		Ρυόλιθος (25 ± 5)	Δακίτης (25 ± 3)	R0	Εξαιρετικά χαμηλή	0,25 - 1	**	Χαράσσεται με το νύχι.	Σπέρμα υλικό πλήρωσης ρήγματος	
		Παροκλαστικά	Κροκαλοπαγή (19 ± 3)	Ηφ.Λατυποπαγή (18 ± 5)	Τόφφαι (13 ± 5)							

σ_{ci} = UCS= Μονοαξονική θλιπτική αντοχή
 PI = Αντοχή σε δοκιμή σημειακής φόρτισης

σ_{ci} = UCS= Μονοαξονική θλιπτική αντοχή
PI = Αντοχή σε δοκιμή σημειακής φόρτισης

Εικόνα 63. Τιμές της σταθεράς m_i για άρρηκτο θράχο - επί τόπου εκτίμηση της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής άρρηκτου βράχου.

Ο προσδιορισμός της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής των πετρωμάτων έγινε μέσω της δοκιμής σημειακής φόρτισης (Point Load index). Είναι μια δοκιμή που μέσω της θραύσης δειγμάτων πετρώματος ακανόνιστου σχήματος προσδιορίζει το δείκτη σημειακής φόρτισης I_s και μέσω αυτού του δείκτη $I_{s(50)}$ που χρησιμοποιούνται στον έμμεσο προσδιορισμό της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη (σ_{ci}). Η δοκιμή έγινε για κάθε σχηματισμό της περιοχής μελέτης: μεταψαμμίτης – γραφιτικός σχιστόλιθος – φυλλίτης – αργιλικός σχιστόλιθος.

Η αλληλουχία των πράξεων για τον υπολογισμό του δείκτη I_s και στη συνέχεια του σ_{ci} έχει ως εξής:

$$D_e^2 = \frac{4 \cdot D \cdot W}{\pi} \rightarrow I_s = \frac{P}{D_e^2} \rightarrow F = \left(\frac{D_e}{50} \right)^{0.45} \rightarrow I_{s(50)} = F \cdot I_s \rightarrow \sigma_{ci} = K \cdot I_{s(50)}$$

$P \rightarrow$ φορτίο θραύσης, (N)

$D_e \rightarrow$ ισοδύναμη διάσταση (mm)

$I_s \rightarrow$ δείκτης σημειακής φόρτισης (MPa)

$I_{s(50)} \rightarrow$ ανηγμένος δείκτης σημειακής φόρτισης (MPa)

$F \rightarrow$ συντελεστής διόρθωσης

$K \rightarrow$ σταθερά που εξαρτάται από τη διάμετρο και μεταβάλλεται ανάλογα με το πέτρωμα

$\sigma_{ci} \rightarrow$ αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (MPa)



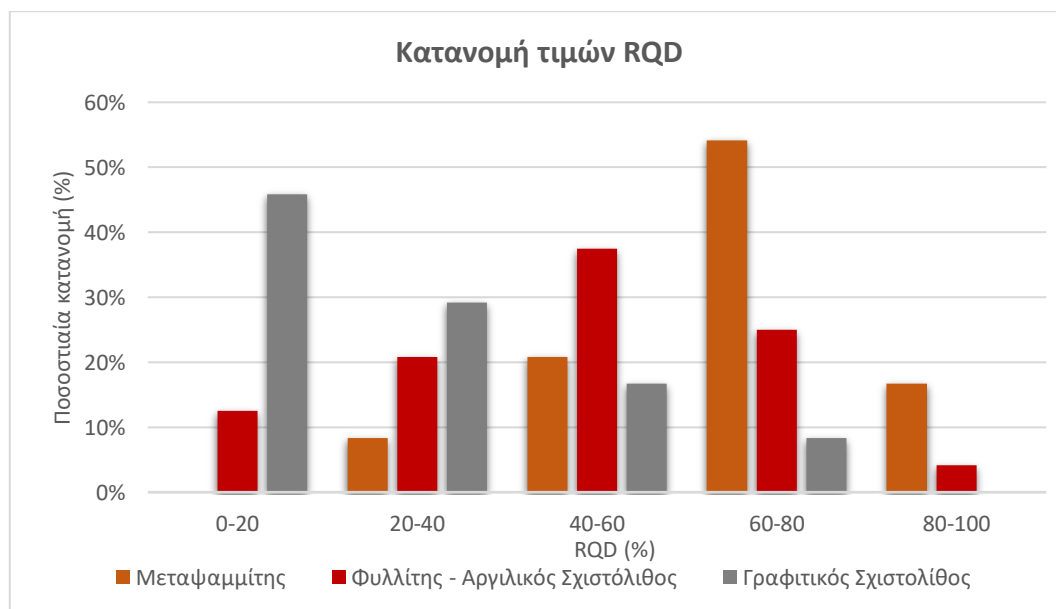
Εικόνα 64. Δοκιμή σημειακής φόρτισης.

4.2 Στατιστική ανάλυση παραμέτρων

Η στατιστική ανάλυση των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στον καθαρισμό των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων περιέλαβε τα στοιχεία που προέκυψαν από τις γεωτρήσεις, τις εργαστηριακές δοκιμές και την υπαίθρια παρατήρηση (RQD, GSI, σ_{ci} και βαθμός αποσάθρωσης).

Η κατανομή των τιμών RQD και του βαθμού αποσάθρωσης για κάθε σχηματισμό βασίστηκε στα δεδομένα των γεωτρήσεων. Οι τιμές GSI προέρχονται από την υπαίθρια μελέτη. Η στατιστική των μετρήσεων της αντοχής, έγινε βάσει εργαστηριακών δοκιμών από τα δεδομένα των γεωτρήσεων και της δειγματοληψίας από την ύπαιθρο.

Βασική παράμετρος για τον διαχωρισμό των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων όπως προαναφέρθηκε αποτελεί και η περατότητα. Παρόλα αυτά δεν πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση για τη συγκεκριμένη παράμετρο, λόγω του αριθμού των μετρήσεων που προέκυψαν από τις δοκιμές περατότητας. Αντ' αυτού ο κάθε σχηματισμός της περιοχής μελέτης έχει ένα αντιπροσωπευτικό εύρος τιμών περατότητας, οι οποίες συνυπολογίστηκαν για να προκύψουν οι τελικές τιμές για κάθε οριζόμενη τεχνικογεωλογική ενότητα.



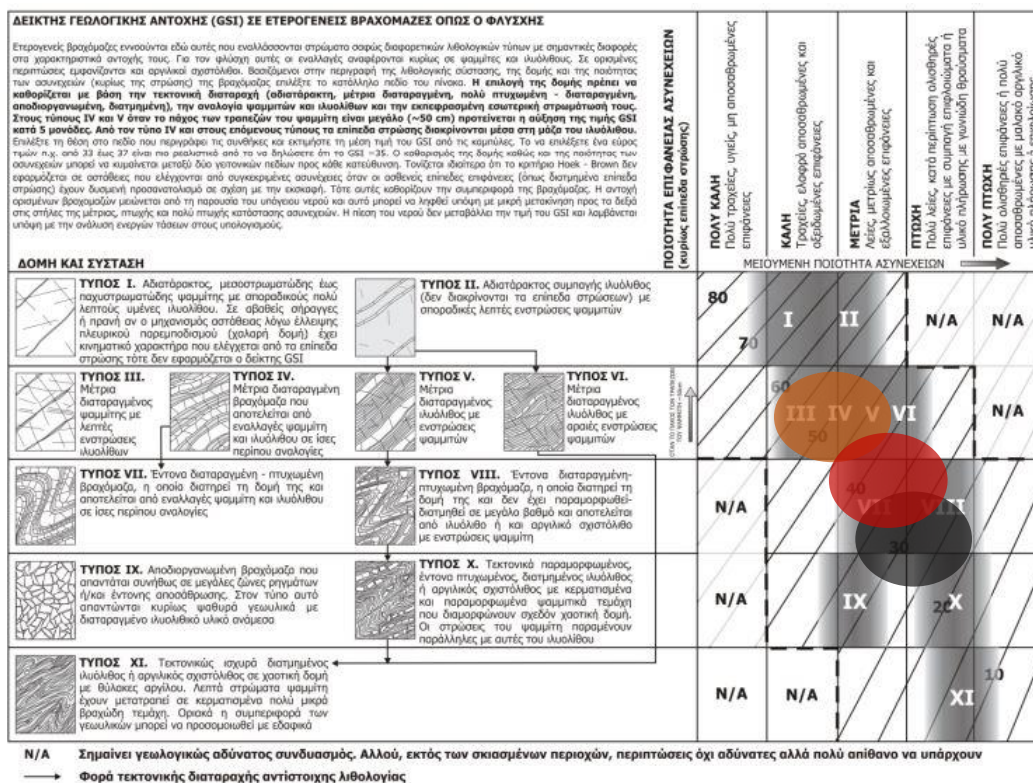
Εικόνα 65. Διάγραμμα ποσοστιαίας κατανομής τιμών RQD.

Η κατανομή των τιμών RQD, όπως εμφανίζονται στην Εικόνα 65, έγινε για κάθε σχηματισμό της περιοχής μελέτης. Ο μεταψαμμίτης εμφανίζεται με τις υψηλότερες τιμές RQD σε σχέση με τους υπόλοιπους σχηματισμούς (60 – 100%) σε ποσοστό 71%, ενώ ο γραφιτικός σχιστόλιθος τις πιο χαμηλές (0 – 40%) σε ποσοστό 75%. Ο φυλλίτης έχει κυμαινόμενες τιμές RQD που στο μεγαλύτερο ποσοστό τους (63%) αφορούν RQD = 40 – 80%.

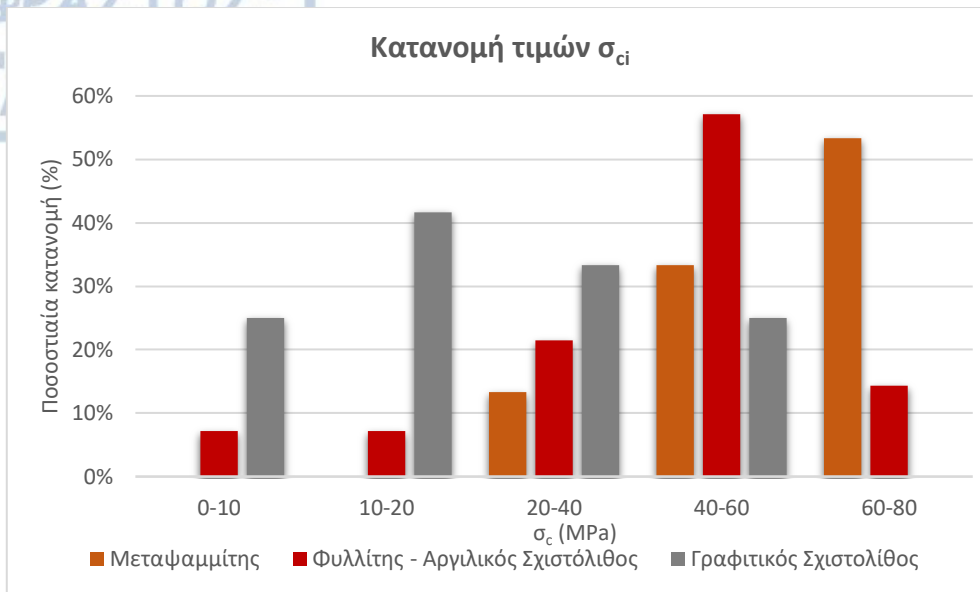


Εικόνα 66. Διάγραμμα ποσοστιαίας κατανομής τιμών GSI.

Το μεγαλύτερο ποσοστό του μεταψαμμίτη (84%) χαρακτηρίζεται από τις υψηλότερες τιμές GSI (40 – 60) σε σχέση με τους υπόλοιπους σχηματισμούς. Το μεγαλύτερο ποσοστό του γραφιτικού σχιστόλιθου (83%) εμφανίζει χαμηλές τιμές GSI (20 – 40), ενώ ο φυλλίτης στο μεγαλύτερο ποσοστό του (72%) εμφανίζει μια μέση τιμή GSI (30 – 50).

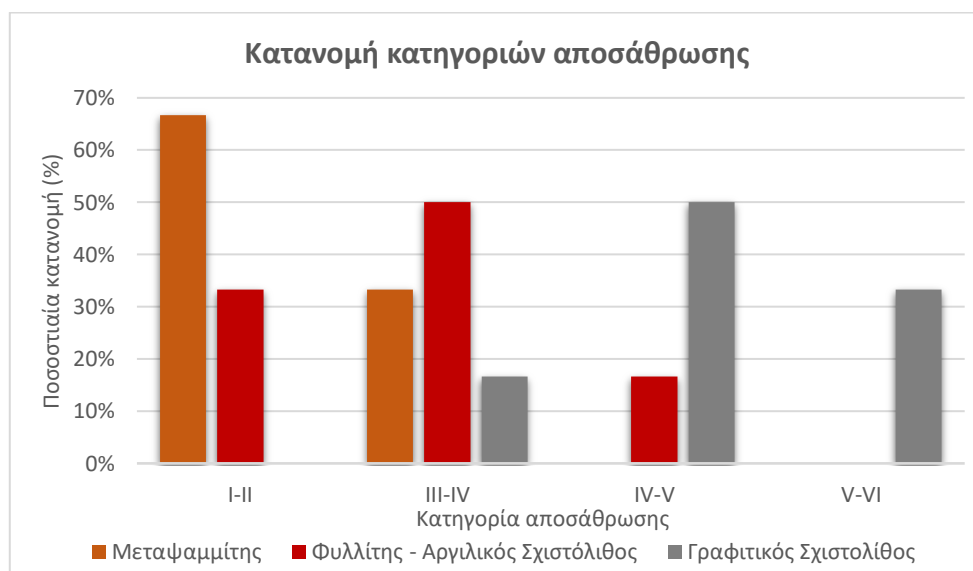


Εικόνα 67. Προβολή κατανομής τιμών GSI βάσει στατιστικής ανάλυσης του κάθε σχηματισμού (πορτοκαλί πλαίσιο - μεταψαμμίτης, κόκκινο πλαίσιο - φυλλίτης - αργιλικός σχιστόλιθος, γκρι πλαίσιο - γραφιτικός σχιστόλιθος) (Μαρίνος, 2007).



Εικόνα 68. Διάγραμμα ποσοστιαίας κατανομής τιμών σ_{ci} .

Η στατιστική κατανομή της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη (Εικόνα 68), για το σχηματισμό του μεταψαμμίτη, έδειξε πως έχει υψηλή αντοχή (60 – 80 MPa) σε ποσοστό 53% των δειγμάτων. Ο γραφιτικός σχιστόλιθος αντίστοιχα παρουσιάζει κυμαινόμενη αντοχή (0 – 40 MPa) σε ποσοστό 80%, ενώ ο φυλλίτης στο μεγαλύτερο ποσοστό (73%) χαρακτηρίζεται από ένα εύρος τιμών αντοχής σε μονοαξονική θλίψη (20 – 60 MPa).



Εικόνα 69. Διάγραμμα ποσοστιαίας κατανομής κατηγοριών αποσάθρωσης.

Η στατιστική ανάλυση των στοιχείων της αποσάθρωσης έδειξαν πως το μεγαλύτερο ποσοστό (67%) του μεταψαμμίτη χαρακτηρίζεται υγιής έως μέτρια αποσαθρωμένος (I_A – II). Ο γραφιτικός σχιστόλιθος στο μεγαλύτερο ποσοστό του (83%) εμφανίζεται έντονα αποσαθρωμένος έως υπολειμματικό έδαφος (IV – VI). Ο σχηματισμός του φυλλίτη είναι στο μεγαλύτερο ποσοστό του (50%), πολύ έως έντονα αποσαθρωμένος (III – IV).

4.3 Τεχνικογεωλογικές ενότητες

Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες διαχωρίστηκαν βάσει του RQD, του βαθμού αποσάθρωσης, της περατότητας, του GSI και της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής σ_{ci} . Βασικό επίσης κριτήριο για το διαχωρισμό των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων αποτέλεσε η λιθολογία των σχηματισμών του υποβάθρου που όπως προαναφέρθηκε προσομοιάζει σε αυτήν ενός φλύσχη. Οι κύριοι σχηματισμοί είναι ο μεταψαμμίτης, ο γραφιτικός σχιστόλιθος και ο αργιλικός σχιστόλιθος – φυλλίτης. Οι εναλλαγές των σχηματισμών είναι συνεχείς και κατά θέσεις παρατηρείται είτε να υπερτερεί κάποιος από αυτούς είτε να είναι σε ίση αναλογία μεταξύ τους. Τα πάχη των στρωμάτων ποικίλουν από λίγα εκατοστά μέχρι μερικά μέτρα. Η γενική εικόνα είναι οι εναλλαγές ικανών δηλαδή μεγάλης αντοχής στρωμάτων όπως ο μεταψαμμίτης με μη ικανών – μικρής γενικά αντοχής όπως ο γραφιτικός σχιστόλιθος και ο φυλλίτης. Η παρουσία των σχιστόλιθων υποβαθμίζει την αρχική ποιότητα της βραχομάζας, λόγω της αποσάθρωσης του γραφιτικού σχιστόλιθου καθώς και της επίδρασης του νερού στα αργιλικά μέλη του σχηματισμού.

Χρησιμοποιήθηκε, όπως ήδη αναφέρθηκε, το διάγραμμα GSI για φλύσχη, όπως τροποποιήθηκε από τον Marinos V. (2007) για τη χρήση του σε ανομοιογενείς βραχομάζες με λιθολογικές ιδιαιτερότητες. Η ανάλυση έγινε, βάσει της ποσόστωσης των διαφορετικών μελών της κάθε ενότητας και κατ' επέκταση του σ_{ci} , με σκοπό τις αντιπροσωπευτικότερες τιμές GSI, που προέκυψαν από τις αναλογίες των λιθολογικών μελών της κάθε ενότητας.

Οι Τ.Ε. θα παρουσιαστούν με φθίνουσα σειρά από την ενότητα με τα καλύτερα χαρακτηριστικά σε αυτήν με τα πιο πτωχά. Με βάση την υπαίθρια παρατήρηση και την επεξεργασία των δεδομένων των γεωτρήσεων προέκυψαν πέντε τεχνικογεωλογικές ενότητες.

Τεχνικογεωλογική ενότητα 1 – Τ.Ε.1

Μεσοστρωματώδης μεταψαμμίτης με λεπτές ενστρώσεις γραφιτικού σχιστόλιθου, αργιλικού σχιστόλιθου – φυλλίτη σε αναλογία 75% - 25%.

Οι μεταψαμμίτες σε αυτή την τεχνικογεωλογική ενότητα, που αποτελούν τον κύριο σχηματισμό της περιοχής μελέτης, συναντώνται σε μέσου πάχους πάγκους με σκουρόχρωμες λεπτές ενστρώσεις γραφιτικού σχιστόλιθου, αργιλικού σχιστόλιθου και φυλλίτη. Παρατηρήθηκε ότι κατά θέσεις οι σχιστόλιθοι λόγω της επιφανειακής αποσάθρωσης έχουν αποδιοργανωθεί – εδαφοποιηθεί πλήρως, με αποτέλεσμα λόγω της διαβρωσιμότητάς τους, να δημιουργούνται υποσκαφές μεταξύ των πάγκων των μεταψαμμιτών. Η κύρια ασυνέχεια του μεταψαμμίτη είναι η στρώση και υπάρχουν επιπλέον πέντε οικογένειες ασυνεχειών. Η ενότητα αυτή χαρακτηρίζεται από χαμηλό κερματισμό, μικρή περατότητα με τιμή $4,8 \cdot 10^{-7}$ m/sec και μικρό

T.E.	Περιγραφή	Βαθμός αποσάθρωσης	RQD (%)	Περατότητα (m/sec)	GSI	σ_{ci} (MPa)
1	Μεσοστρωματώδης μεταψαμμίτης με λεπτές ενστρώσεις γραφιτικού σχιστόλιθου, αργιλικού σχιστόλιθου – φυλλίτη (75% - 25%)	II	60 - 80	$4,8 \cdot 10^{-7}$	55 – 60	65 – 75

[illegible]

Τεχνικογεωλογική ενότητα 2 – Τ.Ε.2:

Λεπτοστρωματώδης – μεσοστρωματώδης μεταψαμμίτης σε εναλλαγές με γραφιτικό σχιστόλιθο, αργιλικό σχιστόλιθο – φυλλίτη σε περίπου ίσες αναλογίες.

Στην δεύτερη τεχνικογεωλογική ενότητα συναντάται λεπτοστρωματώδης έως μεσοστρωματώδης μεταψαμμίτης σε εναλλαγές με τους υπόλοιπους σχηματισμούς σε ίσες περίπου αναλογίες. Ο βαθμός αποσάθρωσης είναι ΙΙΙ, λόγω της μεγαλύτερης συμμετοχής των σχιστολιθικών σχηματισμών. Λόγω της σημαντικής παρουσίας του γραφιτικού σχιστόλιθου επέρχεται μείωση της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής, όχι όμως σημαντική λόγω της συνεχούς παρουσίας φλεβών χαλαζιακού υλικού, το οποίο αυξάνει την αντοχή. Η ενότητα χαρακτηρίζεται από μέτριο κερματισμό, μέση απόσταση ασυνεχειών, πολύ μικρή περατότητα, $3,3 \cdot 10^{-7}$ m/sec. Η εμμένουσα ασυνέχεια είναι η στρώση των σχηματισμών. Το GSI προσδιορίστηκε μεταξύ 45 – 50 και το σ_{ci} 40 – 50 MPa (Εικόνα 74).

Πίνακας 15. Συνοπτική περιγραφή της 2ης τεχνικογεωλογικής ενότητας.

Τ.Ε.	Περιγραφή	Βαθμός αποσάθρωσης	RQD (%)	Περατότητα (m/sec)	GSI	σ_{ci} (MPa)
2	Λεπτοστρωματώδης – μεσοστρωματώδης μεταψαμμίτης σε εναλλαγές με γραφιτικό σχιστόλιθο, αργιλικό σχιστόλιθο – φυλλίτη σε περίπου ίσες αναλογίες (50% - 50%)	ΙΙΙ	40 – 60	$3,3 \cdot 10^{-7}$	45 – 50	40 – 50



Εικόνα 72. Τεχνικογεωλογική ενότητα 2, στο αριστερό αντέρεισμα, εναλλαγές μεταψαμμίτη (κόκκινο πλαίσιο) με γραφιτικό σχιστόλιθο (κίτρινο πλαίσιο) σε ίσες περίπου αναλογίες.

[illegible]

Τεχνικογεωλογική ενότητα 3 – Τ.Ε.3:

Γραφικός σχιστόλιθος σε εναλλαγές με χαλαζίτη, αργιλικό σχιστόλιθο – φυλλίτη και μεταψαμμίτη σε αναλογία 70% - 30%.

Ο γραφικός σχιστόλιθος αποτελεί έναν σχηματισμό με πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά και υψηλή διαβρωσιμότητα. Ο βαθμός αποσάθρωσης είναι IV – V. Συναντάται στην περιοχή μελέτης λεπτοστρωματώδης έως φυλλοποιημένος και σε συνεχείς εναλλαγές με πιο ανθεκτικά πετρώματα όπως είναι ο χαλαζίτης και ο μεταψαμμίτης. Η περατότητα είναι χαμηλή με τιμή $2,6 \cdot 10^{-7}$ m/sec. Οι σχηματισμοί είναι έντονα κερματισμένοι. Οι διακλάσεις είναι πληρωμένες με χαλαζιακό υλικό, στοιχείο το οποίο προσδίδει συνοχή στις ασυνέχειες και υψηλότερη διατμητική αντοχή. Η ενότητα συναντάται στο δεξί αντέρεισμα του φράγματος καθώς και στη λεκάνη κατάκλυσης. Το GSI προσδιορίστηκε μεταξύ 20 – 35 και με σ_{ci} 25 – 35 (MPa).

Πίνακας 16. Συνοπτική περιγραφή της 3ης τεχνικογεωλογικής ενότητας..

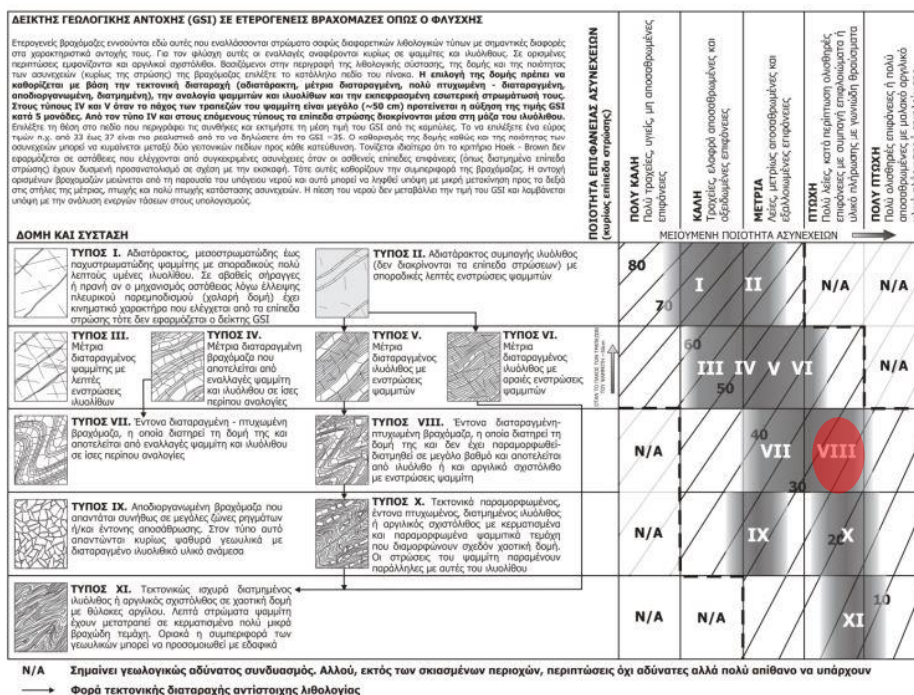
Τ.Ε.	Περιγραφή	Βαθμός αποσάθρωσης	RQD (%)	Περατότητα (m/sec)	GSI	σ_{ci} (MPa)
3	Γραφικός σχιστόλιθος σε εναλλαγές με χαλαζίτη, αργιλικό σχιστόλιθο – φυλλίτη και μεταψαμμίτη (70% - 30%)	IV – V	30 – 50	$2,6 \cdot 10^{-7}$	20 – 35	25 – 35



Εικόνα 75. Τεχνικογεωλογική ενότητα 3, αριστερό αντέρεισμα φράγματος – όψη από δεξί αντέρεισμα.



Εικόνα 76. Τεχνογεωλογική ενότητα 3: έντονα κερματισμένος γραφιτικός σχιστόλιθος - εναλλαγές φυλλοποιημένου γραφιτικού σχιστόλιθου με χαλαζιακές φλέβες και μεταψαμμίτες.



Εικόνα 77. Προβολή εύρους (κόκκινο πλαίσιο), της T.E.3, στο σύστημα ταξινόμησης GSI φλύσχη (Μαρίνος, 2007).

Τεχνικογεωλογική ενότητα 4 – Τ.Ε.4:

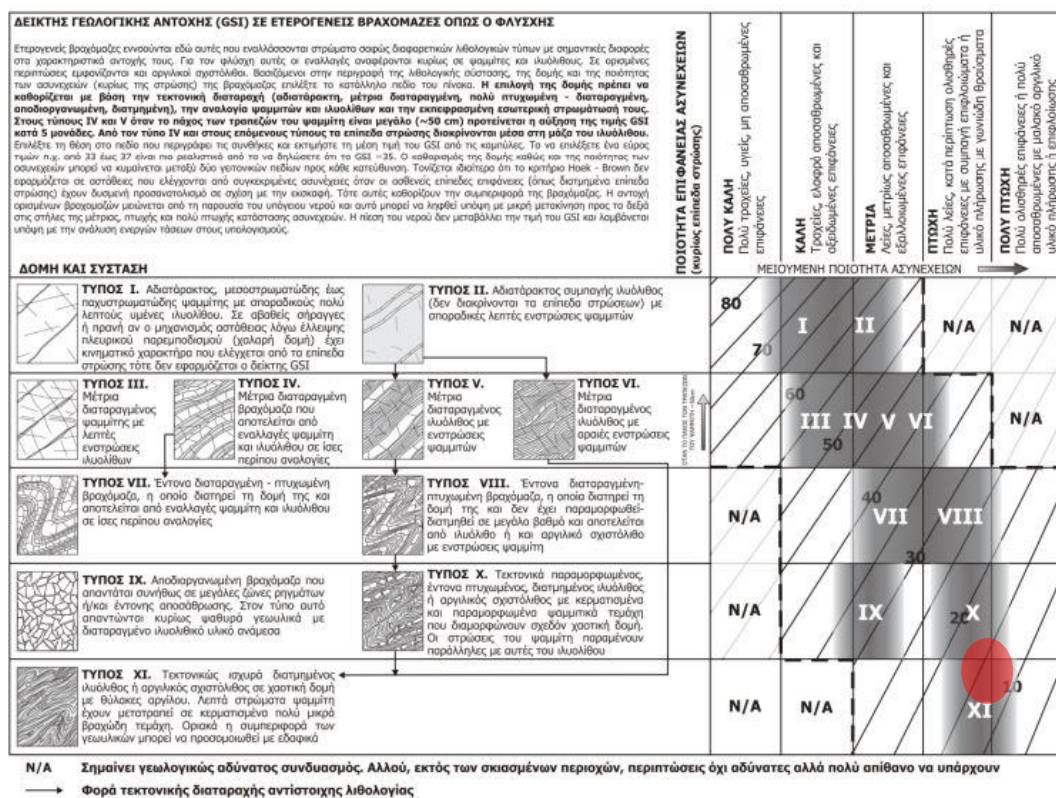
Ζώνες ρηγμάτων.

Οι ζώνες ρηγμάτων ανάλογα με την έκτασή τους και τη διατάραξη που έχουν προκαλέσει στους σχηματισμούς, μπορεί να μειώσουν σημαντικά τις μηχανικές ιδιότητες και να επηρεάσουν την περατότητα.

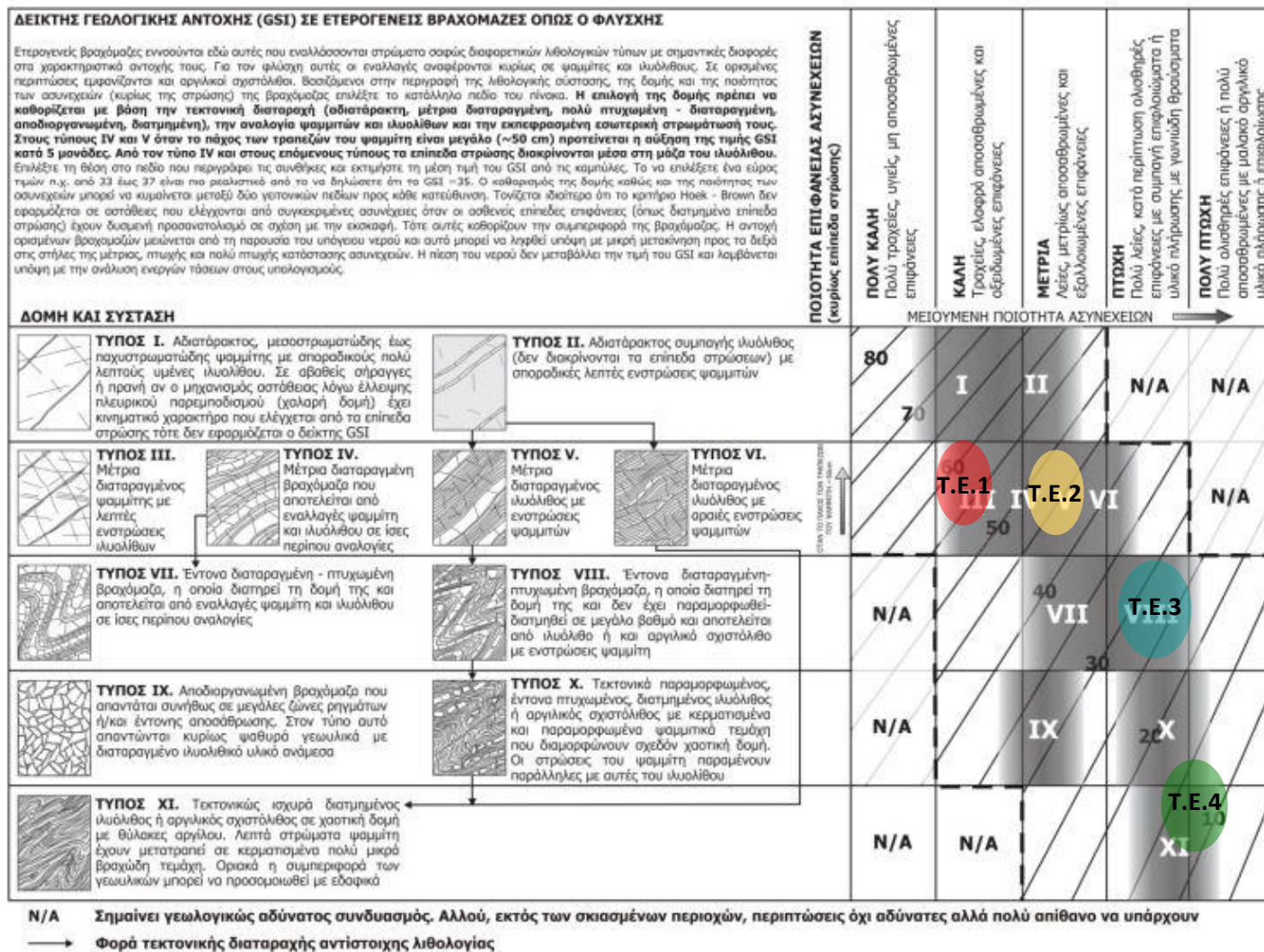
Διακρίνουμε τις ζώνες των κανονικών ρηγμάτων.

Πίνακας 17. Συνοπτική περιγραφή της 3ης τεχνικογεωλογικής ενότητας..

Τ.Ε.	Περιγραφή	Βαθμός αποσάθρωσης	RQD (%)	Περατότητα (m/sec)	GSI	σ_{ci} (MPa)
4 ^η	Ζώνες ρηγμάτων	VI	5 – 20	$1,3 \cdot 10^{-6}$	10 – 15	1–5



Εικόνα 78. Προβολή εύρους (κόκκινο πλαίσιο), της Τ.Ε.4, στο σύστημα ταξινόμησης GSI φλύσχη (Μαρίνος, 2007).



Εικόνα 79. Προβολή των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων βάσει συστήματος ταξινόμησης GSI φλύσχη (Μαρίνος, 2007).

Πίνακας 18. Συνοπτική περιγραφή των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων της περιοχής μελέτης.

Τ.Ε.	Περιγραφή	Βαθμός αποσάθρωσης	RQD (%)	Περατότητα (m/sec)	GSI	σ_{ci} (MPa)	m_i
1	Μεσοστρωματώδης μεταψαμμίτης με λεπτές ενστρώσεις γραφιτικού σχιστόλιθου, αργιλικού σχιστόλιθου – φυλλίτη	II	60 - 80	$4,8 \cdot 10^{-7}$	55 – 60	65 – 75	18
2	Λεπτοστρωματώδης – μεσοστρωματώδης μεταψαμμίτης σε εναλλαγές με γραφιτικό σχιστόλιθο, αργιλικό σχιστόλιθο – φυλλίτη σε περίπου ίσες αναλογίες	III	40 - 60	$3,3 \cdot 10^{-7}$	45 – 50	40 – 50	14
3	Γραφιτικός σχιστόλιθος σε εναλλαγές με χαλαζίτη, αργιλικό σχιστόλιθο – φυλλίτη και μεταψαμμίτη	IV – V	30 - 50	$2,6 \cdot 10^{-7}$	20 – 35	25 – 35	8
4	Ζώνες ρηγμάτων	V – VI	5 – 20	$1,3 \cdot 10^{-6}$	10 – 15	1–5	-

5. Θέματα ευστάθειας και στεγανότητας του φράγματος

5.1 Μεθοδολογία

Ο σχεδιασμός του έργου βασίζεται στον έλεγχο της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς των σχηματισμών με σκοπό τον προσδιορισμό των πιθανών μηχανισμών αστοχίας που επηρεάζουν την ευστάθεια της θέσης θεμελίωσης και των αντερεισμάτων, του ταμιευτήρα αλλά και του κάθε έργου ξεχωριστά. Επιπλέον βασίζεται στον υπολογισμό πιθανών διαφυγών με βάση τις συνθήκες στεγανότητας. Στον άξονα του φράγματος ο έλεγχος της ευστάθειας έγινε στα δυο αντερείσματα βάσει κινηματικής ανάλυσης και ο έλεγχος στεγανότητας με βάση τα δεδομένα των δοκιμών περατότητας, την παρουσία ρηγμάτων και στην υδρολιθολογική συμπεριφορά των σχηματισμών. Αντίστοιχοι έλεγχοι έγιναν στις θέσεις σχεδιασμού των συνοδών έργων του φράγματος (σήραγγας εκτροπής – υπερχειλιστή).

Ο τρόπος συμπεριφοράς και αστοχίας βασίζεται στη δομή της βραχομάζας και στην κατάσταση των ασυνεχειών (πυκνότητα – εμμονή – υλικό πλήρωσης κ.α.), ώστε να συμπεριφερθεί είτε ως συνεχές (ισότροπο ή εύλογα ισότροπο) είτε ως ασυνεχές (ανισότροπο) μέσο. Σε κάθε περίπτωση εφαρμόζονται τα αντίστοιχα κριτήρια αστοχίας.

5.1.1. Αστοχία βραχομάζας ως ισότροπο μέσο

Η εξίσωση του γενικευμένου κριτηρίου αστοχίας Hoek & Brown (2002) για βραχομάζες με ισότροπη ή ευλόγως ισότροπη συμπεριφορά είναι:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \times \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

όπου:

$\sigma_1, \sigma_3 \rightarrow$ μέγιστη και ελάχιστη κύρια τάση κατά την θραύση (MPa)

$\sigma_{ci} \rightarrow$ αντοχή του άρρηκτου βράχου σε μονοαξονική θλίψη

$s, a \rightarrow$ παράμετροι περιγραφής ιδιοτήτων της βραχομάζας

$m_b \rightarrow$ σταθερά Hoek & Brown για την βραχομάζα

Οι σταθερές m_b, s, a υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$m_b = m_i \times \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

όπου:

$m_i \rightarrow$ σταθερά Hoek & Brown για το άρρηκτο πέτρωμα, εκτιμάται από δοκιμές τριαξονικής φόρτισης ή από πίνακα όπου δίνεται ένα εύρος τιμών για διάφορα πετρώματα

$D \rightarrow$ ο συντελεστής όπου εξαρτάται από το βαθμό διαταραχής της βραχομάζας από τον τρόπο εκσκαφής

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right), \quad a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \times (e^{-GSI/15} - e^{-20/3})$$

5.1.2 Αστοχία κατά μήκος ασυνεχειών

Για τις περιπτώσεις ανισότροπης συμπεριφοράς, θα πρέπει να διερευνηθεί η διατμητική αντοχή των ασυνεχειών, έτσι ώστε να ελεγχθούν τεκτονικά ελεγχόμενες αστοχίες. Στη παρούσα εργασία εφαρμόστηκε το κριτήριο αστοχίας Barton.

$$\tau = \sigma' \cdot \tan(\phi_b + JRC \cdot \log \frac{JCS}{\sigma'})$$

όπου:

$\phi_b \rightarrow$ βασική γωνία τριβής του άρρηκτου βράχου, υπολογίζεται από πειράματα σε λείες επιφάνειες

JRC $\rightarrow$ συντελεστής τραχύτητας, υπολογίζεται στην ύπαιθρο με την χρήση προφίλομέτρου

JCS $\rightarrow$ αντοχή των τοιχωμάτων της ασυνέχειας σε μονοαξονική θλίψη, υπολογίζεται με την χρήση της σφύρας Schmidt

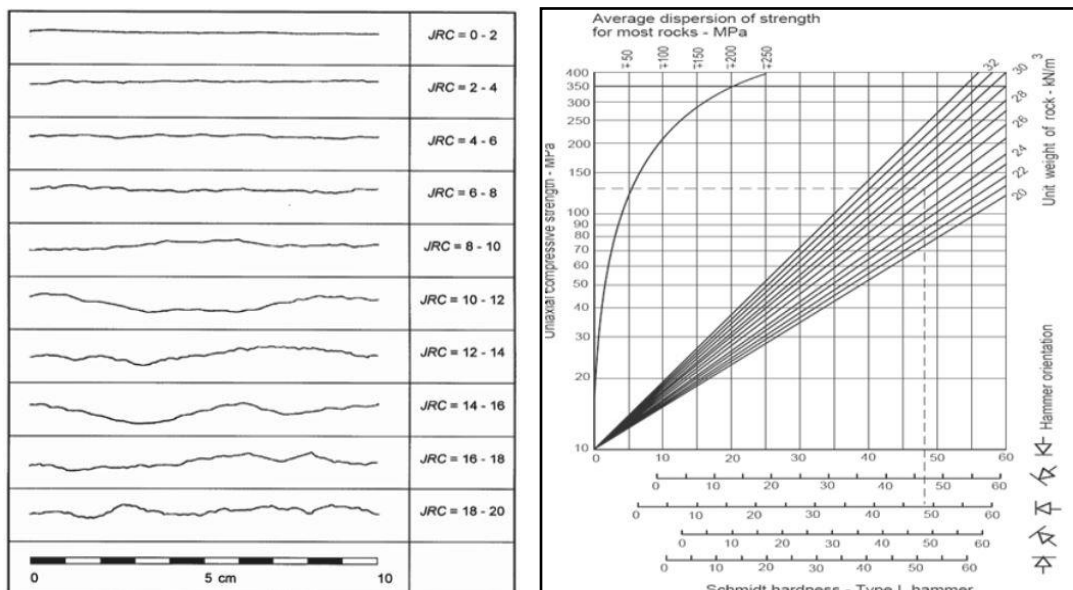
Η σχέση μεταξύ της βασικής γωνίας τριβής, ϕ_b , και της παραμένουσας γωνίας τριβής, ϕ_r , υπολογίστηκε με βάση τους Barton – Choubey, με τη σχέση:

$$\phi_r = (\phi_b - 20) + 20 \cdot \left(\frac{r}{R}\right)$$

όπου:

$r \rightarrow$ τιμή του κρουσίμετρου Schmidt σε αποσαθρωμένες - κορεσμένες με νερό επιφάνειες

$R \rightarrow$ τιμή του κρουσίμετρου Schmidt σε αποσαθρωμένες και στεγνές επιφάνειες



Εικόνα 80. Υπολογισμός του συντελεστή τραχύτητας με βάση τυποποιημένα προφίλ - αντοχή των τοιχωμάτων σε μονοαξονική θλίψη JCS, υπολογισμός έμμεσα από δοκιμές σκληρομέτρησης με τη σφύρα Schmidt.

Σκοπός είναι ο προσδιορισμός της γωνίας τριβής ϕ καθώς η συνοχή κατά μήκος των ασυνεχειών θεωρείται μηδέν. Στη συνέχεια και μέσω της κινηματικής ανάλυσης αστοχιών με χρήση του προγράμματος Dips 7.0. αξιολογήθηκαν τα πιθανά προβλήματα ευστάθειας σε περιπτώσεις ανισότροπης συμπεριφοράς.

Στην περιοχή μελέτης εντοπίστηκαν, όπως προαναφέρθηκε, πέντε κύριες οικογένειες διακλάσεων και η σχιστότητα των σχηματισμών, για κάθε μια από τις οποίες προσδιορίστηκαν οι παράμετροι JCS και JRC με τη χρήση σφύρας Schmidt και προφίλομετρων. Συγκεκριμένα, από τις μετρήσεις της σφύρας Schmidt για κάθε σύστημα ασυνεχειών, αφαιρέθηκαν οι πέντε χαμηλότερες τιμές και προέκυψε ένας μέσος όρος από τις υπόλοιπες τιμές. Η γωνία εσωτερικής τριβής ϕ_b λήφθηκε βιβλιογραφικά 30° (Ngan – Tillard & Mulder, 2011).



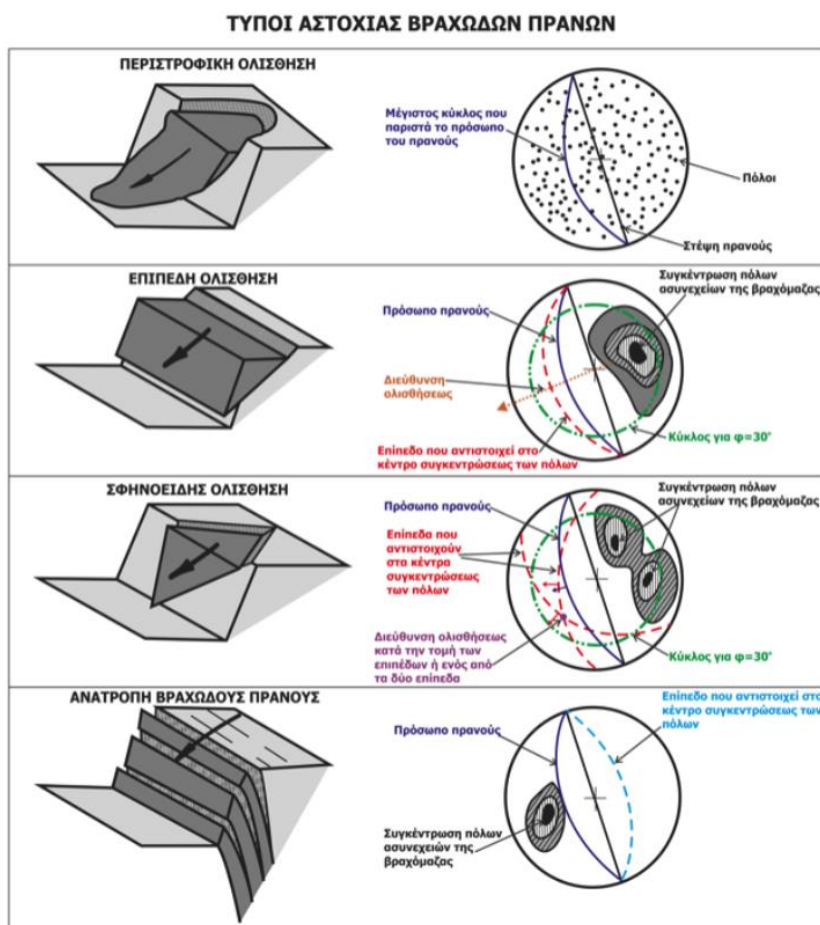
Εικόνα 81. Χρήση σφύρας Schmidt και προφίλομέτρου – επί τόπου μετρήσεις.

Πίνακας 19. Βασικοί παράμετροι συστημάτων ασυνεχειών.

Σύστημα ασυνεχειών	ϕ_b ($^\circ$)	JRC	JCS (MPa)	ϕ ($^\circ$)
J ₁	30	10	28	44
J ₂	30	6	24	38
J ₃	30	4	23	35
J ₄	30	6	25	38
J ₅	30	8	40	42
S	30	6	31	44

Η ευστάθεια της βραχομάζας με ανισότροπη συμπεριφορά βασίζεται στον προσανατολισμό και τις μηχανικές παραμέτρους των ασυνεχειών, οι οποίες προσδιορίζουν τις αναμενόμενες αστοχίες σε σχέση με τον προσανατολισμό του έργου σε κάθε θέση. Οι τύποι αστοχιών που εξετάστηκαν στα αντερείσματα καθώς και στα συνοδά έργα είναι:

- Ολίσθηση κατά μήκος σύνθετης επιφάνειας, χωρίς την ύπαρξη συγκεκριμένων συστημάτων – περιστροφικής μορφής ολίσθηση.
- Επίπεδη ολίσθηση κατά μήκος συγκεκριμένου επιπέδου ασυνεχειών όπου υπάρχει συγκέντρωση πόλων με προσανατολισμό ομόρροπο με του πρανούς. Προϋποθέτει: διαφορά διεύθυνσης κλίσης ασυνεχειών και πρανούς $\pm 20^\circ$ μικρότερη γωνία κλίσης του συστήματος των ασυνεχειών από του πρανούς.
- Σφηνοειδής ολίσθηση, προϋποθέτει την ύπαρξη δυο συστημάτων ασυνεχειών, που η τομή τους ανατέλλει στο επίπεδο του τεχνητού πρανούς με γωνία κλίσης μεγαλύτερη της γωνίας τριβής, ϕ ($^\circ$).
- Ανατροπές που δημιουργούνται λόγω της παρουσίας συστήματος ασυνεχειών αντίρροπων με το τεχνητό πρανές. Προϋποθέτει: διαφορά διεύθυνσης κλίσης ασυνεχειών και πρανούς $\pm 20^\circ$, μεγάλη γωνία κλίσης των ασυνεχειών ($>70^\circ$).



Εικόνα 82. Βασικοί τύποι ολισθήσεων πρανών - διαγράμματα στατιστικής επεξεργασίας πόλων ασυνεχειών - αποτύπωση κύριων επιπέδων (Hoek & Bray, 1973).

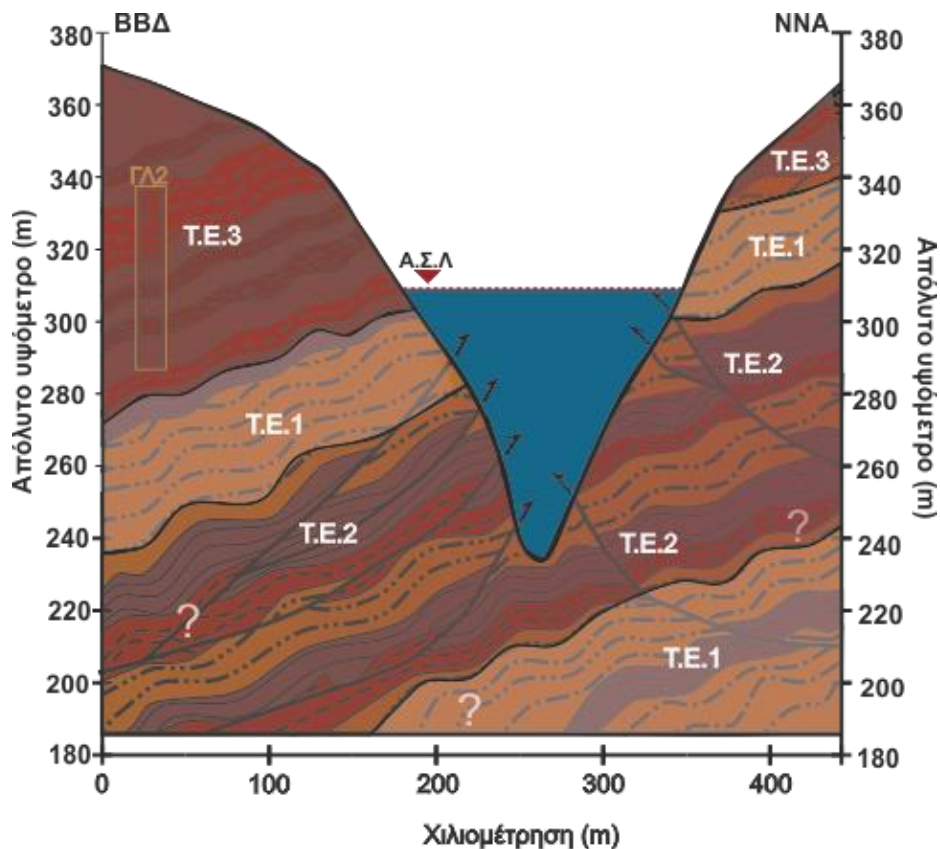
5.2 Σχεδιασμός

5.2.1. Άξονας φράγματος

Στον άξονα του φράγματος θα πρέπει να γίνει λεπτομερής έρευνα για την τεχνικογεωλογική συμπεριφορά στα πλαίσια κάθε τεχνικογεωλογικής ενότητας όσον αφορά την ευστάθεια και τη στεγανότητα. Στον άξονα του φράγματος εντοπίζονται 3 τεχνικογεωλογικές ενότητες:

- T.E.1 → Μεσοστρωματώδης μεταψαμμίτης με λεπτές ενστρώσεις γραφιτικού σχιστόλιθου, αργιλικού σχιστόλιθου – φυλλίτη
- T.E.2 → Λεπτοστρωματώδης – μεσοστρωματώδης μεταψαμμίτης σε εναλλαγές με γραφιτικό σχιστόλιθο, αργιλικό σχιστόλιθο – φυλλίτη σε περίπου ίσες αναλογίες
- T.E.3 → Γραφιτικός σχιστόλιθος σε εναλλαγές με χαλαζίτη, αργιλικό σχιστόλιθο – φυλλίτη και μεταψαμμίτη

Ακολουθεί η κατανομή των τεχνικογεωλογικών ενότητων κατά μήκος του άξονα του φράγματος, όπου διακρίνεται η έκταση που έχει η κάθε ενότητα. Σκοπός είναι να ελεγχθεί αναλυτικά η κατάσταση της στεγανότητας και της ευστάθειας που επικρατεί στη θέση θεμελίωσης του φράγματος, καθώς και στις θέσεις των συνοδών έργων. Με αποτέλεσμα, την σωστή και ολοκληρωμένη αντιμετώπιση των προβλημάτων που ενδέχεται να υπάρχουν ή να δημιουργηθούν κατά τις εργασίες κατασκευής των έργων.



Εικόνα 83. Κατανομή των τεχνικογεωλογικών ενότητων κατά μήκος του άξονα του φράγματος.

➤ Στεγανότητα

Όσον αφορά τη στεγανότητα στη θέση θεμελίωσης του φράγματος, η διεύθυνση κλίσης των σχηματισμών, προς τα ανάντη (BA), δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες γιατί δεν επιτρέπει διαφυγές κατάντη της θέσης θεμελίωσης και των αντερείσμάτων.

Στη θέση αυτή εμφανίζονται οι τεχνικογεωλογικές ενότητες 1 & 2, οι οποίες αποτελούνται από στεγανούς σχηματισμούς ($3.3 \cdot 10^{-7} - 4.8 \cdot 10^{-7}$ m/sec). Η παρουσία ρηγμάτων στη θέση αυτή σε πρώτη εκτίμηση δεν αποτελεί κίνδυνο για διαφυγές νερού, λόγω του υλικού πλήρωσης που έχουν (χαλαζιακό υλικό), όμως αυτό το ενδεχόμενο χρήζει περαιτέρω διερεύνησης για τη σωστή εκτίμηση των μέτρων προστασίας που θα πρέπει να ληφθούν για τη στεγανότητα στη θέση θεμελίωσης. Τα ανάστροφα ρήγματα κατά μήκος του άξονα του φράγματος, τέμνουν κάθετα τον άξονα με παράταξη Α-Δ, διεύθυνση κλίσης ΒΑ και ΝΑ και μικρή γωνία κλίσης ($<50^\circ$), οπότε τα στοιχεία προσανατολισμού τους είναι ευνοϊκά, διότι σε περίπτωση διαφυγών νερού μέσω αυτών, το νερό θα παροχετεύεται στη λεκάνη κατάκλυσης και δεν αποτελούν δρόμο διαφυγής του νερού κατάντη του άξονα.

Τέλος, όσον αφορά τα κύρια συστήματα διακλάσεων της βραχομάζας, διαπιστώθηκε μέσω της υπαίθριας παρατήρησης, ότι παρόλο που έχουν μικρή απόσταση μεταξύ τους, είναι μικρού μήκους – ασυνεχείς, επομένως συμπεραίνεται ότι δεν αποτελούν αγωγούς υδραυλικής επικοινωνίας.

Στο αριστερό αντέρεισμα εντοπίζονται οι τεχνικογεωλογικές ενότητες 1, 2 & 3, που όπως προαναφέρθηκε αποτελούνται από εναλλαγές σχηματισμών με χαμηλή περατότητα. Η τεχνικογεωλογική ενότητα 3, η οποία λόγω της μεγαλύτερης παρουσίας του γραφιτικού σχιστόλιθου, έχει υψηλότερη περατότητα σε σχέση με τις άλλες δύο τεχνικογεωλογικές ενότητες, ενδέχεται να μην επιφέρει κάποιο πρόβλημα στην στεγανότητα του αντερείσματος λόγω της υψομετρικής θέσης που βρίσκεται (50 m πάνω από τη στέψη του φράγματος).

Πίνακας 20. Τεχνικογεωλογικές ενότητες άξονα φράγματος με RQD και περατότητα.

Τ.Ε.	Περιγραφή	RQD (%)	Περατότητα (m/sec)
1	Μεσοστρωματώδης μεταψαμμίτης με λεπτές ενστρώσεις γραφιτικού σχιστόλιθου, αργιλικού σχιστόλιθου – φυλλίτη	60 - 80	$4.8 \cdot 10^{-7}$
2	Λεπτοστρωματώδης – μεσοστρωματώδης μεταψαμμίτης σε εναλλαγές με γραφιτικό σχιστόλιθο, αργιλικό σχιστόλιθο – φυλλίτη σε περίπου ίσες αναλογίες	40 - 60	$3.3 \cdot 10^{-7}$
3	Γραφιτικός σχιστόλιθος σε εναλλαγές με χαλαζίτη, αργιλικό σχιστόλιθο – φυλλίτη και μεταψαμμίτη	30 - 50	$2.6 \cdot 10^{-7}$

Η στεγανότητα στη θέση του φράγματος ελέγχεται μέσω δοκιμών περατότητας, όπως η δοκιμή Lugeon, όπου οι επιτρεπτές τιμές περατότητας του υπεδάφους στη θέση θεμελίωσης του φράγματος, για ύψος φράγματος > 30 m, είναι $< 1 - 2$ μονάδες Lugeon. Από τη μελέτη στη γεώτρηση ΓΛ2 πραγματοποιήθηκαν δοκιμές Lugeon σε 4 βάθη και τα αποτελέσματα παρατίθενται στον Πίνακα 22.

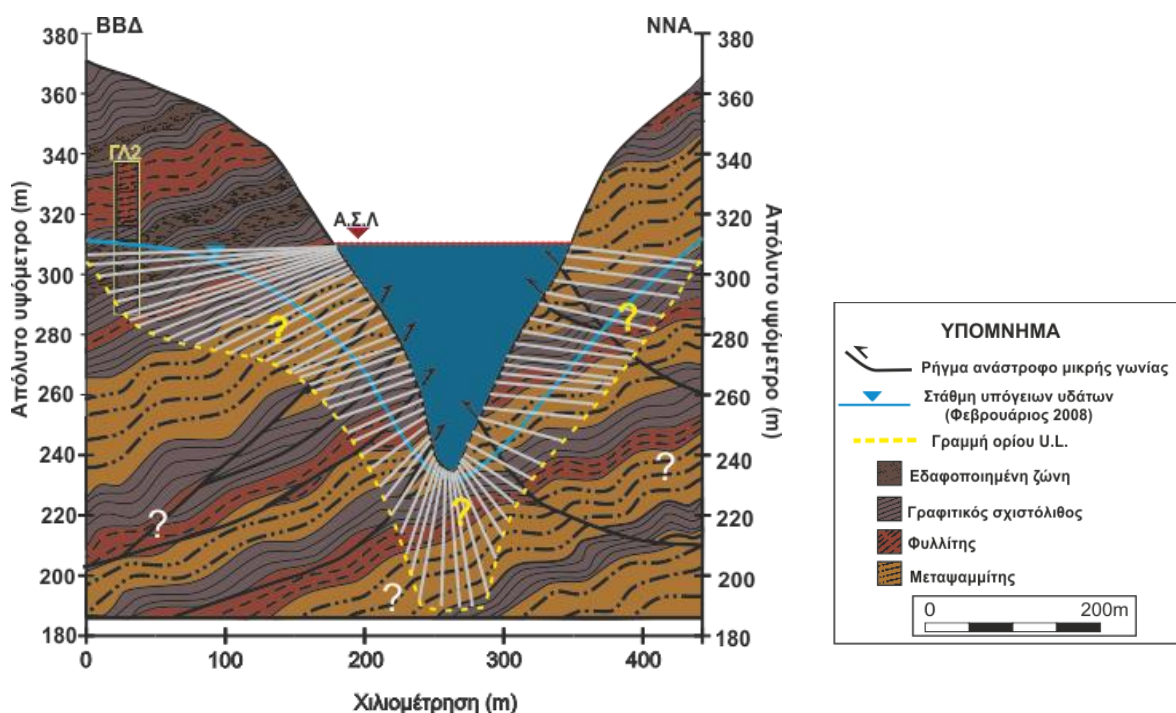
Πίνακας 21. Δοκιμή περατότητας Lugeon στην γεώτρηση ΓΛ2.

Βάθος (m)	Μονάδες Lugeon (lit/min/m) για P=10 Atm
5,40 – 9,40	2,55
8,90 – 13,90	3,16
13,80 – 17,80	9,84
17,30 – 35,10	Λόγω μεγάλων απωλειών δεν επιτεύχθηκαν οι επιθυμητές για τη μέτρηση πιέσεις

Οι εξαγόμενες τιμές από τη δοκιμή, δεν είναι επιτρεπτές τιμές περατότητας του υπεδάφους για θέση θεμελίωσης φράγματος. Η δοκιμή έγινε σε βάθη όπου ενδέχεται να συναντήθηκε ισχυρά αποσαθρωμένος και έντονα κερματισμένος γραφιτικός σχιστόλιθος, αργιλικός σχιστόλιθος ή φυλλίτης, οπότε οι μεγάλες απώλειες οφείλονται σε αυτό το γεγονός.

➤ Έκταση κουρτίνας τσιμεντενέσεων

Για να προσδιοριστεί η έκταση της κουρτίνας στα αντερείσματα, προεκτείνεται η ευθεία στο ύψος της ανώτατης στάθμης λειτουργίας του φράγματος εκατέρωθεν από αυτό. Η προέκταση σταματά εκεί όπου η νοητή ευθεία συναντά τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Η σχεδιαζόμενη γραμμή Lugeon βάσει των μονάδων U.L. και του ύψους του φράγματος (>30 m), θα πρέπει να ακολουθήσει το όριο των μικρότερων από μια έως δυο μονάδες U.L.. Όμως λόγω των αποτελεσμάτων της δοκιμής, περιορισμένα στο δεξί πρანές, σχεδιάστηκε ενδεικτικά μια καμπύλη να ξεκινάει με το πέρας της γεώτρησης ΓΛ2 στο δεξί αντέρεισμα και να συνεχίζει έως το αριστερό αντέρεισμα, η καμπύλη αυτή οριοθετεί το βάθος εκτέλεσης των τσιμεντενέσεων (Εικόνα 84).



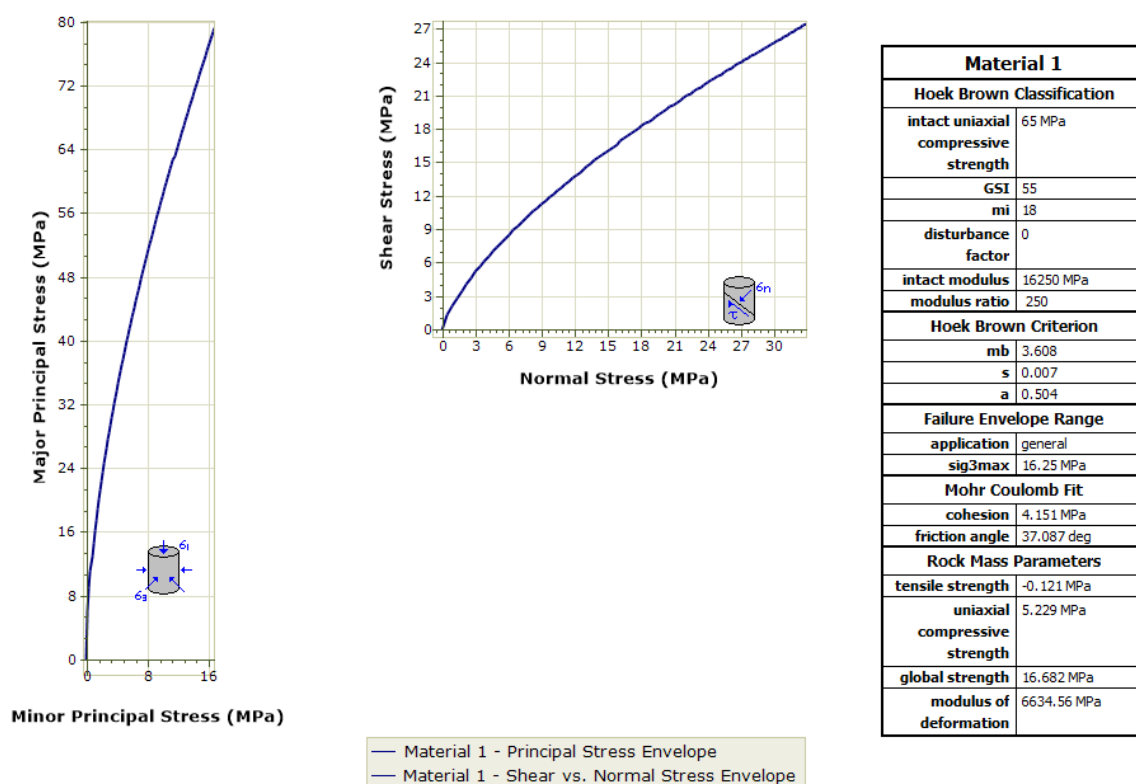
Εικόνα 84. Γεωλογική τομή στον άξονα του φράγματος με σχεδιαζόμενη γραμμή Lugeon και κουρτίνα τσιμεντενέσεων.

Το συνολικό μήκος της κουρτίνας τσιμεντενέσεων είναι ≈ 450 m, το βάθος της κυμαίνεται από 40 έως 90m. Παρόλο που το μεγαλύτερο βάθος εντοπίζεται στα αντερείσματα και συγκεκριμένα στο δεξί αντέρεισμα, να σημειωθεί ότι λόγω μεγάλου όγκου εκσκαφών που θα γίνει στο δεξί αντέρεισμα για την κατασκευή των συνοδών έργων του φράγματος, το βάθος των τσιμεντενέσεων θα μειωθεί.

➤ Ευστάθεια

Ο έλεγχος της αντοχής και ευστάθειας θα διακριθεί σε δυο τμήματα: στην αντοχή (παραμορφωσιμότητα – ευστάθεια) επί της βάσης θεμελίωσης και των αντερείσμάτων και ευστάθεια έναντι αστοχιών στα αντερείσματα.

Ο υπολογισμός των μηχανικών παραμέτρων για κάθε τεχνικογεωλογική ενότητα έγινε μέσω του λογισμικού Rocdata της RocScience, έχοντας ως στοιχεία εισόδου: την μονοαξονική θλιπτική αντοχή του πετρώματος σ_{ci} βάσει της δοκιμής σημειακής φόρτισης, το δείκτη ποιότητας βραχομάζας GSI και τις σταθερές m_i και D . Σκοπός των υπολογισμών είναι ο προσδιορισμός της διατμητικής αντοχής της βραχομάζας που εκφράζεται από τη συνοχή, c (MPa) και τη γωνία τριβής, ϕ ($^\circ$) και εμμέσως της παραμορφωσιμότητας E_m (MPa). Στην Εικόνα 85, δίνονται τα διαγράμματα που προκύπτουν από τους σχετικούς υπολογισμούς.



Εικόνα 85. Χρήση προγράμματος RocData, για τον υπολογισμό των μηχανικών παραμέτρων, $c - \phi - E_m$. (RocScience).


$$E_m = E_i \left[0.02 + \frac{1 - D / 2}{1 + e^{\left(\frac{((60+15D-GSI))}{11} \right)}} \right]$$

E_i = η παραμορφωσιμότητα του άρρηκτου βράχου

Η Τ.Ε.2 καταλαμβάνει το μεγαλύτερο πάχος της θέσης θεμελίωσης του φράγματος και αποτελείται από λεπτοστρωματώδη έως μεσοστρωματώδη μεταψαμμίτη σε εναλλαγές με γραφιτικό σχιστόλιθο, αργιλικό σχιστόλιθο, φυλλίτη σε περίπου ίσες αναλογίες. Ο βαθμός αποσάθρωσης είναι ΙΙΙ και το RQD είναι 40%. Η ενότητα έχει GSI 45, με $\sigma_{ci} = 40$ MPa και με $m_i = 14$.

Πίνακας 22. Προσδιορισμός μηχανικών παραμέτρων τεχνικογεωλογικών ενότητων στη βάση θεμελίωσης.

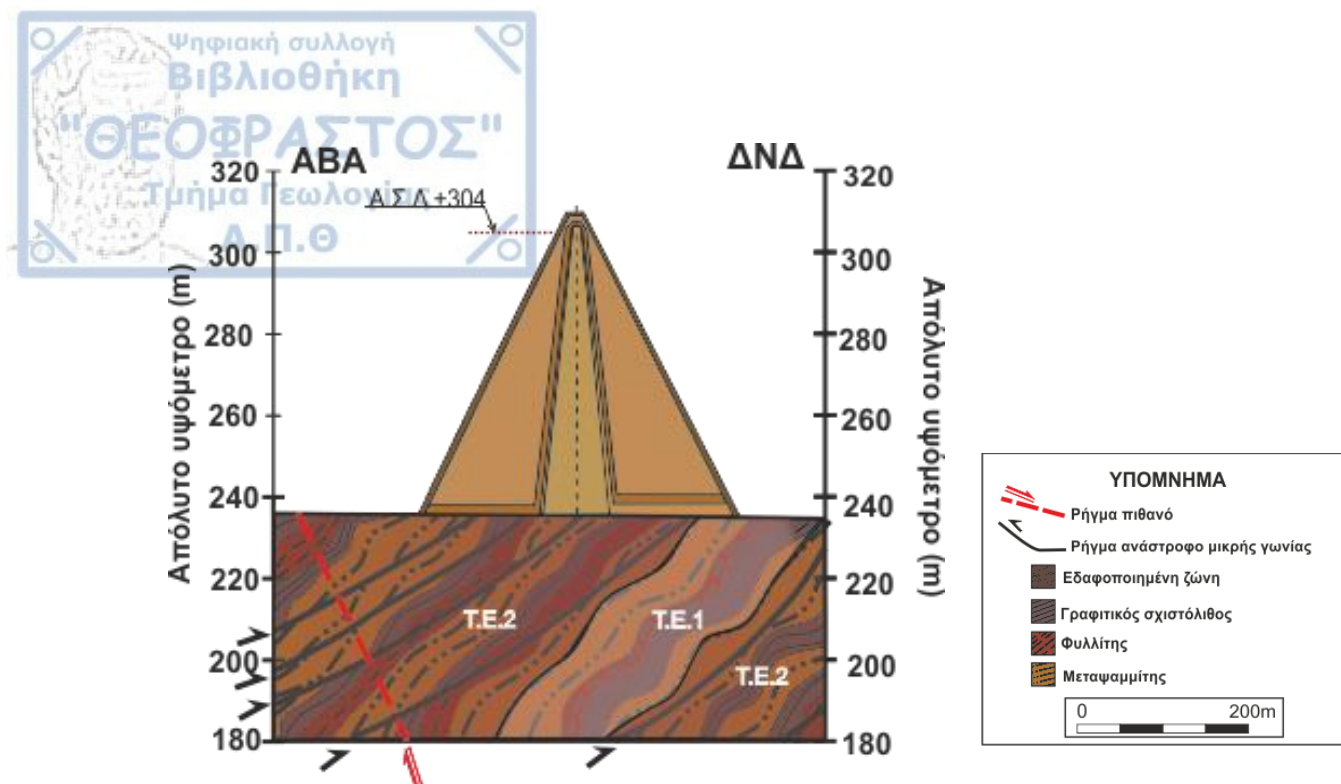
Τ.Ε.	GSI	σ_{ci} (MPa)	m_i	E_m (MPa)	c (MPa)	ϕ (°)
1	55 – 60	65 – 75	18	6.124,21	3,83	37,09°
2	45 – 50	40 – 50	14	5.367,60	2,05	31,00°

Τα στοιχεία παραμορφωσιμότητας, θεωρούνται ικανοποιητικά για τη βάση θεμελίωσης του φράγματος.

Όσον αφορά την παρουσία των ανάστροφων ρηγμάτων στη θέση θεμελίωσης, δεν αποτελούν πρόβλημα για τη δομή των σχηματισμών καθώς κατά θέσεις ακολουθούν την πτυχωμένη δομή τους και πληρωμένα με χαλαζιτικό υλικό, το οποίο αποτελεί έναν ανθεκτικό σχηματισμό και εναλλάσσεται συχνά με αργιλικό υλικό, προερχόμενο από την αποσάθρωση των σχηματισμών και είναι πρακτικά αδιαπέρατο.

Το κύριο πρόβλημα που δημιουργούν τα ρήγματα και θα χρειαστεί λεπτομερής διερεύνηση, είναι το γεγονός ότι αλληλοτέμνονται, οπότε ενδέχεται να δημιουργηθούν υδροστατικές πιέσεις, σε περίπτωση που δεν ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα. Η αύξηση των υδροστατικών πιέσεων, καθώς το υλικό πλήρωσης είναι αδιαπέρατο και οι τεκτονικές δομές τέμνονται από μια αντίρροπη δομή (Εικόνα 87), μπορεί να επιφέρει συνθήκες άνωσης στο σώμα του φράγματος, με αποτέλεσμα να επέρθει ανατροπή του πόδα του φράγματος και να αστοχήσει το έργο. Η αποφυγή της ενδεχόμενης αστοχίας θα γίνει μέσω αποστραγγιστικών οπών για την ανακούφιση του σώματος του φράγματος και την περαιτέρω διερεύνηση στη θέση θεμελίωσης.

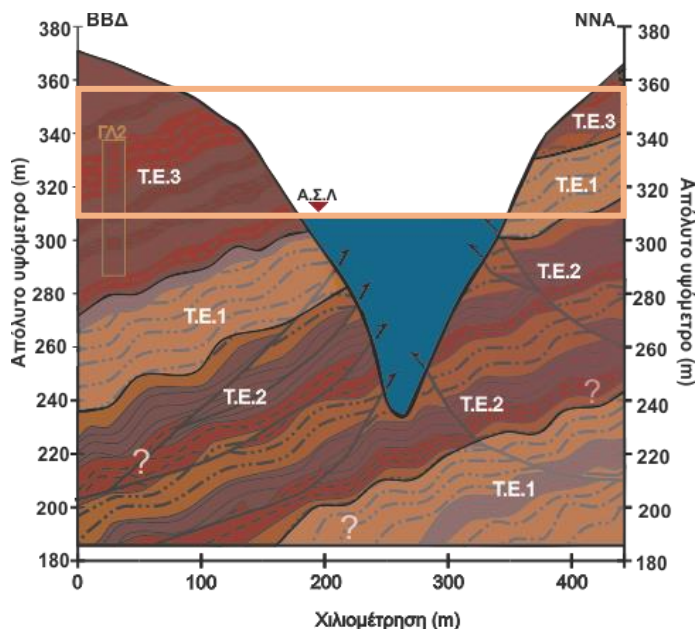
Στο ενδεχόμενο που τέθηκε θα πρέπει να σημειωθεί πως δεν εντοπίστηκε μια συγκεκριμένη αντίρροπη ρηξιγενή δομή η οποία να τέμνει με την συγκεκριμένη κλίση τα ομόρροπα μεταξύ τους ανάστροφα ρήγματα, όμως θα χρειαστεί διερεύνηση για να απορριφθεί πλήρως η πιθανότητα δημιουργίας συνθηκών άνωσης. Περαιτέρω, τα ανάστροφα ρήγματα όπως έχει προαναφερθεί είναι δομές που προκλήθηκαν κατά μήκος της πύχωσης και δεν έχουν μεγάλη εμμονή, όμως για να εξασφαλιστεί το θέμα της ευστάθειας του φράγματος, θα πρέπει μέσω υπαίθριας παρατήρησης καθώς και δειγματοληπτικών γεωτρήσεων να εντοπιστεί η έκταση τους στο χώρο και η εμμονή τους.



Εικόνα 87. Πιθανή περίπτωση ανατροπή του πόδα του φράγματος λόγω αλληλοτενόμενων ρηγμάτων.

Αντοχή επί των αντερείσμάτων

Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες που απαντώνται στα αντερείσματα είναι η Τ.Ε.1 και η Τ.Ε.3.



Εικόνα 88. Τεχνικογεωλογικές ενότητες επί των αντερείσμάτων, μπεζ πλαίσιο.

Η Τ.Ε.1 συναντάται με μικρότερο πάχος σε σχέση με την Τ.Ε.3 και αποτελείται από μεσοστρωματώδη μεταψαμίτη με λεπτές ενστρώσεις γραφικού σχιστόλιθου, αργιλικού σχιστόλιθου και φυλλίτη. Η ενότητα χαρακτηρίζεται από καλά μηχανικά χαρακτηριστικά. Έχει βαθμό αποσάθρωσης II και RQD 60%. Στην ενότητα αυτή το GSI είναι 55, με $\sigma_{ci} = 65$ MPa και με $m_i = 18$.

Η Τ.Ε.3 καταλαμβάνει την μεγαλύτερη περιοχή των αντερείσμάτων, αποτελείται από γραφικό σχιστόλιθο σε εναλλαγές με χαλαζίτη, μεταψαμμίτη, γραφικό σχιστόλιθο και φυλλίτη. Ο βαθμός αποσάθρωσης της είναι IV – V και με RQD 30%. Η ενότητα έχει GSI = 20, $\sigma_{ci} = 25$ MPa και με $m_i = 10$. Έπειτα από την επεξεργασία στο Rocdata, προέκυψαν οι ακόλουθες τιμές: $E_m = 627,98$ MPa, $c = 0,53$ MPa, $\phi = 24,60^\circ$.

Πίνακας 23. Προσδιορισμός μηχανικών παραμέτρων τεχνικογεωλογικών ενοτήτων στα αντερείσματα.

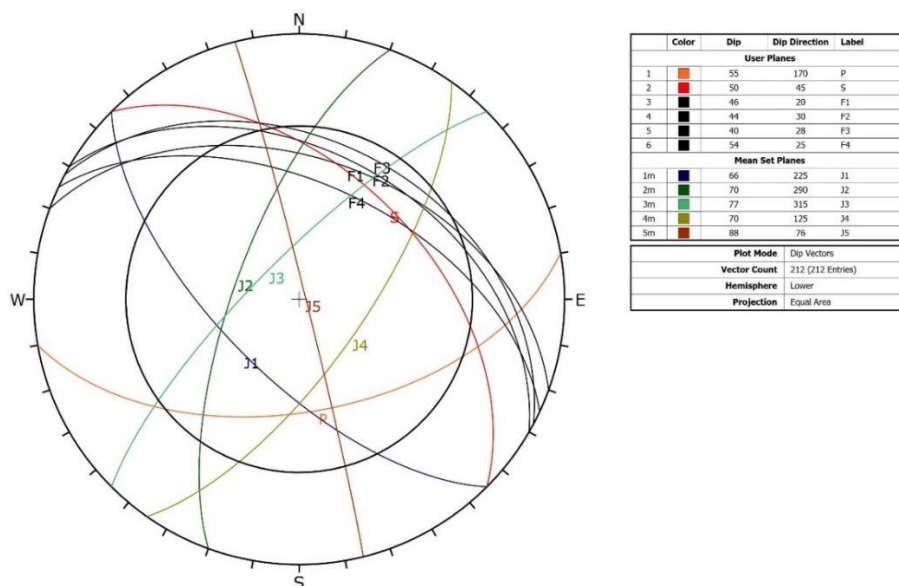
T.E.	GSI	σ_{ci} (MPa)	m_i	E_m (MPa)	c (MPa)	ϕ (°)
1	55 – 60	65 – 75	18	6.124,21	3,83	37,09°
3	20 – 35	25 – 35	8	627,98	0,63	19,80°

Ευστάθεια έναντι αστοχιών στα αντερείσματα

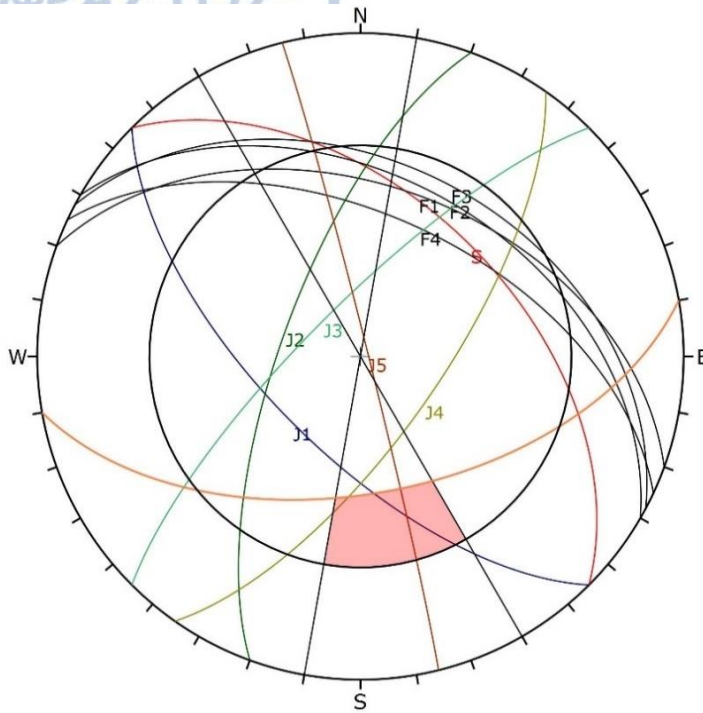
ι. Δεξί αντέρεισμα

Στους σχηματισμούς των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων κύρια ασυνέχεια αποτελεί η σχιστότητα, επίσης διατέμνονται από πέντε συστήματα διακλάσεων και από τέσσερα ρήγματα τα οποία βρίσκονται στο δεξί αντέρεισμα. Έγινε έλεγχος ευστάθειας του δεξιού αντερείσματος με στοιχεία προσανατολισμού $55^\circ/170^\circ$, μέσω κινηματικής ανάλυσης μέσω του Dips 7.0., ώστε να προσδιοριστούν αναμενόμενες αστοχίες του πρανούς (Εικόνα 89.).

Η γωνία τριβής που χρησιμοποιήθηκε στην κινηματική ανάλυση ήταν $\phi=35^\circ$, που βάσει των υπολογισμών αποτελεί την μικρότερη και θα χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο των αστοχιών. Ο έλεγχος έγινε για: επίπεδες ολισθήσεις, σφηνοειδείς ολισθήσεις και ανατροπές.



Εικόνα 89. Στερεοδιάγραμμα με τα στοιχεία προσανατολισμού του δεξιού αντερείσματος, των κύριων συστημάτων ασυνεχειών και των ρηγμάτων.

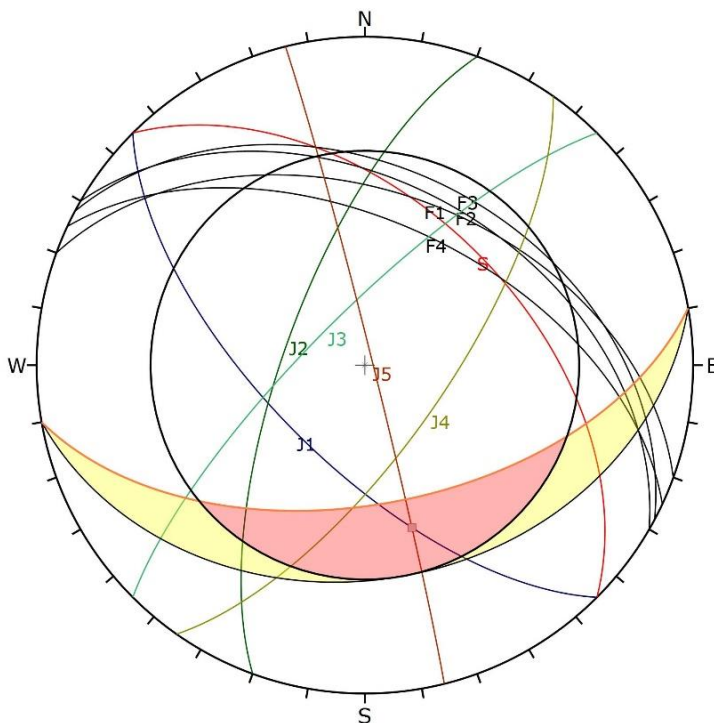


Kinematic Analysis		Planar Sliding		
Slope Dip		55		
Slope Dip Direction		170		
Friction Angle		35°		
Lateral Limits		20°		
		Critical	Total	%
Planar Sliding (All)		0	212	0.00%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
2	■	50	45	S
3	■	46	20	F1
4	■	44	30	F2
5	■	40	28	F3
6	■	54	25	F4
Mean Set Planes				
1m	■	66	225	J1
2m	■	70	290	J2
3m	■	77	315	J3
4m	■	70	125	J4
5m	■	88	76	J5

Plot Mode		Dip Vectors		
Vector Count		212 (212 Entries)		
Hemisphere		Lower		
Projection		Equal Area		

Εικόνα 90. Κινηματική ανάλυση δεξιού αντερείσματος για έλεγχο επίπεδων ολισθήσεων.



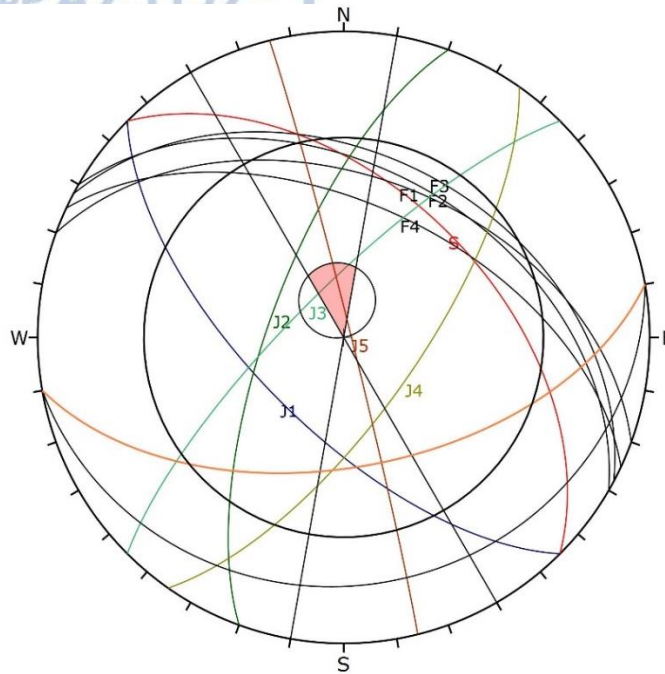
Symbol	Feature
■	Critical Intersection

Kinematic Analysis		Wedge Sliding		
Slope Dip		55		
Slope Dip Direction		170		
Friction Angle		35°		
		Critical	Total	%
Wedge Sliding		1	45	2.22%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
2	■	50	45	S
3	■	46	20	F1
4	■	44	30	F2
5	■	40	28	F3
6	■	54	25	F4
Mean Set Planes				
1m	■	66	225	J1
2m	■	70	290	J2
3m	■	77	315	J3
4m	■	70	125	J4
5m	■	88	76	J5

Plot Mode		Dip Vectors		
Vector Count		212 (212 Entries)		
Intersection Mode		User and Mean Set Planes		
Intersections Count		45		
Hemisphere		Lower		
Projection		Equal Area		

Εικόνα 91. Κινηματική ανάλυση δεξιού αντερείσματος για έλεγχο σφηνοειδών ολισθήσεων.



Kinematic Analysis		Flexural Topping		
Slope Dip		55		
Slope Dip Direction		170		
Friction Angle		35°		
Lateral Limits		20°		
		Critical	Total	%
Flexural Topping (All)		1	212	0.47%
Color	Dip	Dip Direction	Label	
User Planes				
2		50	45	S
3		46	20	F1
4		44	30	F2
5		40	28	F3
6		54	25	F4
Mean Set Planes				
1m		66	225	J1
2m		70	290	J2
3m		77	315	J3
4m		70	125	J4
5m		88	76	J5
Plot Mode		Dip Vectors		
Vector Count		212 (212 Entries)		
Hemisphere		Lower		
Projection		Equal Area		

Εικόνα 92. Κινηματική ανάλυση δεξιού αντερείσματος για έλεγχο ανατροπών.

Πίνακας 24. Αναμενόμενες αστοχίες στο δεξί αντέρεισμα.

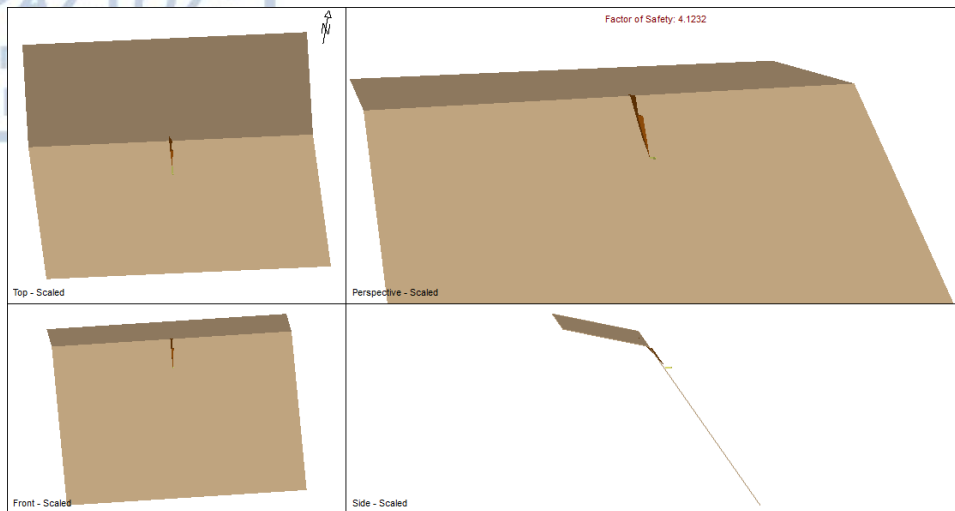
Τύπος αστοχιών	Αναμενόμενες αστοχίες
Επίπεδες ολισθήσεις	-
Σφηνοειδείς ολισθήσεις	J5 – J1
Ανατροπές	-

Το πρόβλημα στο δεξί αντέρεισμα εμφανίζεται στον έλεγχο για βραχοσφήνες, όπου όπως παρατηρείται (Εικόνα 91), υπάρχει ένα ζεύγος ασυνεχειών, το οποίο αναμένεται να δώσει σφηνοειδείς ολισθήσεις, το ζεύγος είναι J5 – J1.

Η ολίσθηση σφήνας μπορεί να γίνει κατά μήκος του ενός ή του άλλου επιπέδου ασυνέχειας ή κατά μήκος της τομής των δυο ασυνεχειών. Για το ζεύγος ασυνεχειών που προαναφέρθηκε, πραγματοποιήθηκε το τεστ Hocking, όπου διαπιστώθηκε πως η ολίσθηση γίνεται κατά μήκος της ακμής των δυο ασυνεχειών.

➤ Αναλύσεις αστοχιών

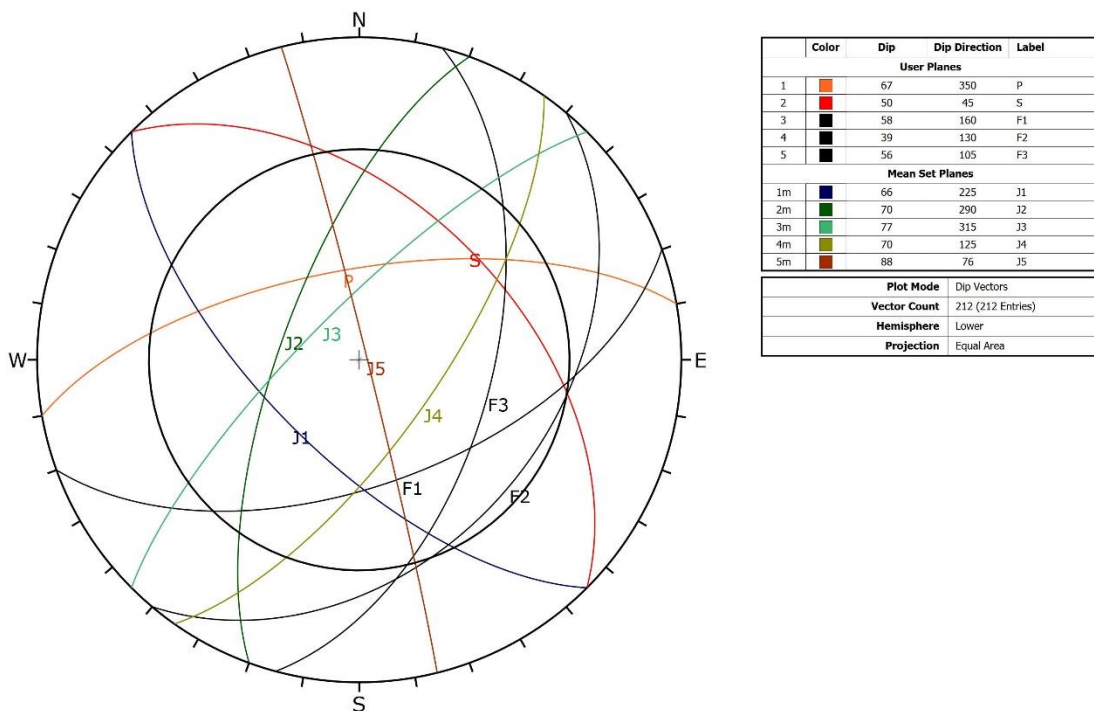
Ο προσδιορισμός του συντελεστή ασφαλείας για τις βραχοσφήνες που αναμένονται στο δεξί αντέρεισμα έγινε μέσω του προγράμματος Swedge 6.0. Τα στοιχεία προσανατολισμού του πρανού και του ζεύγους ασυνεχειών, οι παράμετροι: JRC, JCS και ϕ_b , αποτελούν τα στοιχεία εισόδου του προγράμματος. Επίσης, παράμετροι αποτελούν: η σεισμικότητα της περιοχής και οι υδροστατικές πιέσεις. Η περιοχή του έργου εντάσσεται στη δεύτερη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας και αναφορικά με τις υδροστατικές πιέσεις επιλέχθηκε να επεξεργαστούν ενδεικτικά με ένα ποσοστό 50% πληρωμένες οι ασυνέχειες με νερό. Για το ζεύγος ασυνεχειών J1 – J5, ο συντελεστής ασφαλείας υπολογίστηκε ίσος με $F = 4,12$ και ο σχηματιζόμενος όγκος ισούται με $2,83\text{m}^3$.



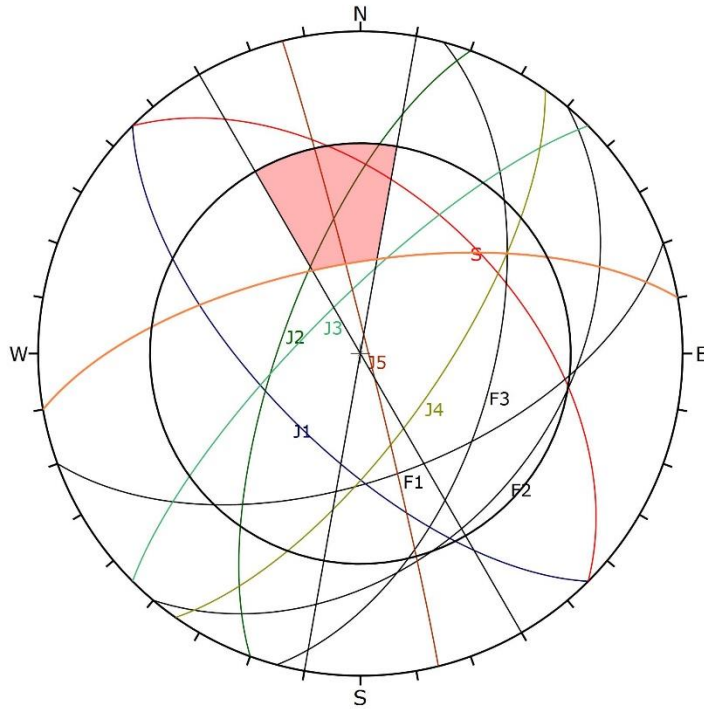
Εικόνα 93. Προβολή βραχοσφήνας μεταξύ J1-J5 με $F = 4,12$ στο δεξί αντέρεισμα.

ii. Αριστερό αντέρεισμα

Κύρια ασυνέχεια των σχηματισμών αποτελεί η σχιστότητα, επίσης οι σχηματισμοί διατέμνονται από πέντε κύρια συστήματα διακλάσεων και από τρία ρήγματα τα οποία βρίσκονται στο αριστερό αντέρεισμα (Εικόνα 94). Ο έλεγχος της ευστάθειας του αντερείσματος με στοιχεία προσανατολισμού $67^\circ/350^\circ$, έγινε μέσω του Dips 7.0., ώστε να προσδιοριστούν αναμενόμενες αστοχίες του πρανού. Στην κινηματική ανάλυση η γωνία τριβής λήφθηκε ίση με 30° .



Εικόνα 94. Στερεοδιάγραμμα με τα στοιχεία προσανατολισμού του αριστερού αντερείσματος, των κύριων συστημάτων ασυνεχειών και των ρηγμάτων.

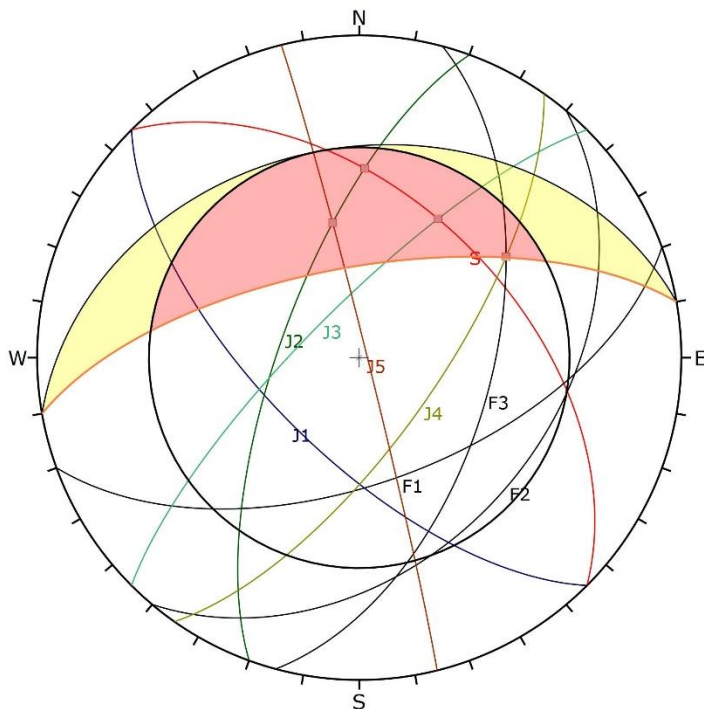


Kinematic Analysis		Planar Sliding		
Slope Dip		67		
Slope Dip Direction		350		
Friction Angle		35°		
Lateral Limits		20°		
		Critical	Total	%
Planar Sliding (All)		0	212	0.00%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
	50	45	S
	58	160	F1
	39	130	F2
	56	105	F3
Mean Set Planes			
	66	225	J1
	70	290	J2
	77	315	J3
	70	125	J4
	88	76	J5

Plot Mode	Dip Vectors
Vector Count	212 (212 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Εικόνα 95. Κινηματική ανάλυση αριστερού αντερείσματος για έλεγχο επίπεδων ολισθήσεων.



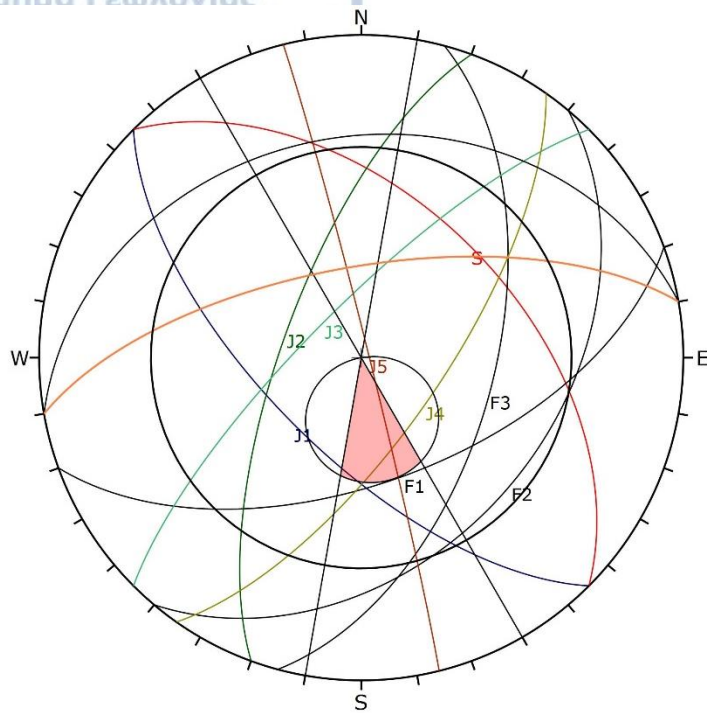
Symbol	Feature
	Critical Intersection

Kinematic Analysis		Wedge Sliding		
Slope Dip		67		
Slope Dip Direction		350		
Friction Angle		35°		
		Critical	Total	%
Wedge Sliding		4	36	11.11%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
2		50	45	S
3		58	160	F1
4		39	130	F2
5		56	105	F3
Mean Set Planes				
1m		66	225	J1
2m		70	290	J2
3m		77	315	J3
4m		70	125	J4
5m		88	76	J5

Plot Mode	Dip Vectors
Vector Count	212 (212 Entries)
Intersection Mode	User and Mean Set Planes
Intersections Count	36
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Εικόνα 96. Κινηματική ανάλυση αριστερού αντερείσματος για έλεγχο σφηνοειδών ολισθήσεων.



Kinematic Analysis		Flexural Topping		
Slope Dip		67		
Slope Dip Direction		350		
Friction Angle		35°		
Lateral Limits		20°		
		Critical	Total	%
Flexural Topping (All)		6	212	2.83%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
2		50	45 S
3		58	160 F1
4		39	130 F2
5		56	105 F3
Mean Set Planes			
1m		66	225 J1
2m		70	290 J2
3m		77	315 J3
4m		70	125 J4
5m		88	76 J5

Plot Mode	Dip Vectors
Vector Count	212 (212 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Εικόνα 97. Κινηματική ανάλυση αριστερού αντερείσματος για έλεγχο ανατροπών.

Πίνακας 25. Αναμενόμενες αστοχίες στο αριστερό αντέρεισμα.

Τύπος αστοχιών	Αναμενόμενες αστοχίες
Επίπεδες ολισθήσεις	-
Σφηνοειδείς ολισθήσεις	S – J3, F3 – J4 , S – J2, J5 – J2
Ανατροπές	-

Το πρόβλημα στο αριστερό αντέρεισμα εμφανίζεται στον έλεγχο για βραχοσφήνες, όπου όπως παρατηρείται (Εικόνα 96), υπάρχουν τέσσερα ζευγάρια ασυνεχειών, τα οποία αναμένεται να δώσουν σφηνοειδείς ολισθήσεις, τα ζεύγη είναι: S – J3, F3 – J4 , S – J2 και J5 – J2.

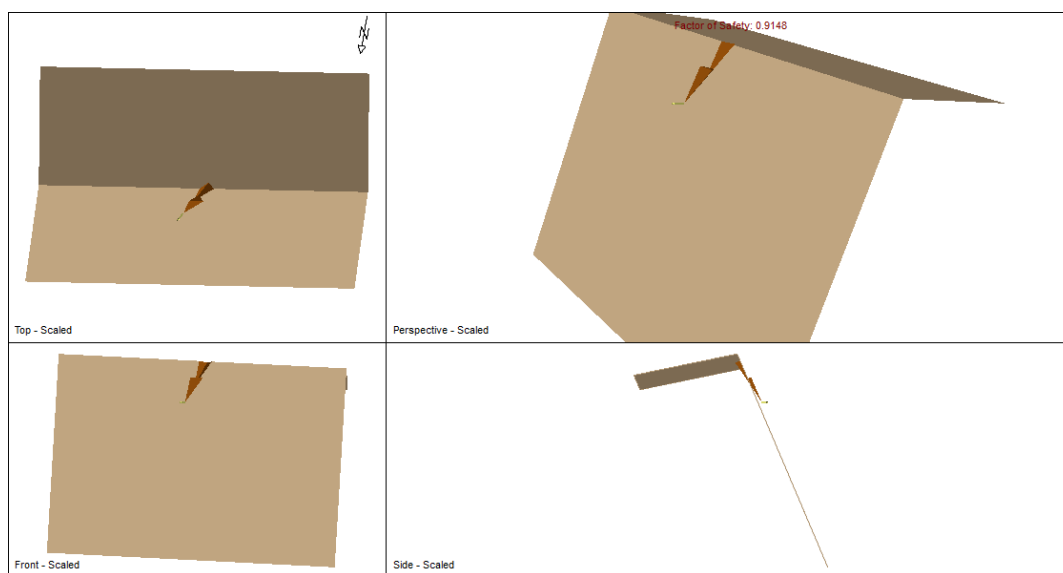
Η ολίσθηση σφήνας μπορεί να γίνει κατά μήκος του ενός ή του άλλου επιπέδου ασυνέχειας ή κατά μήκος της τομής των δυο ασυνεχειών. Για τα ζεύγη ασυνεχειών που προαναφέρθηκαν πραγματοποιήθηκε το τεστ Hocking, όπου διαπιστώθηκε πως και για τα τέσσερα ζεύγη ασυνεχειών η ολίσθηση γίνεται κατά μήκος της ακμής των δυο ασυνεχειών.

➤ Αναλύσεις αστοχιών

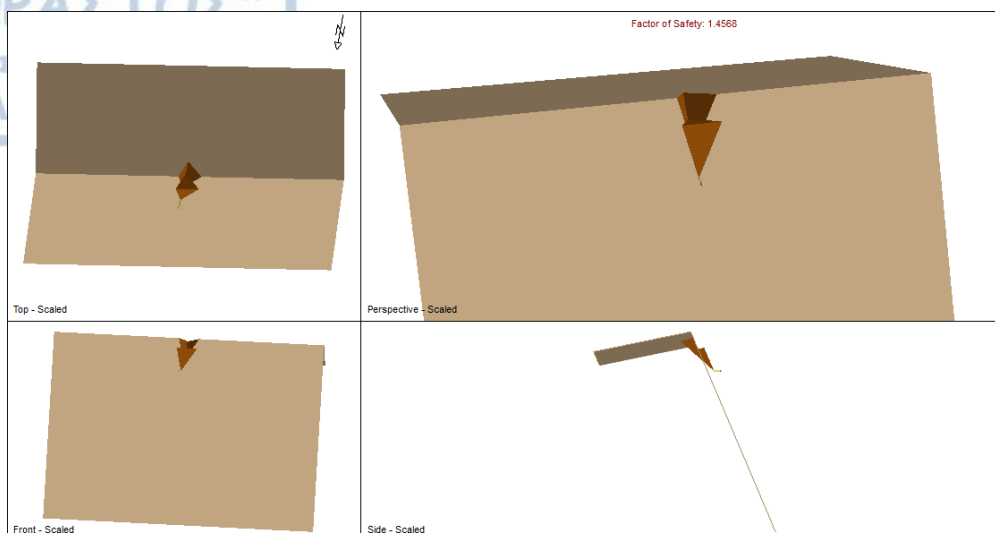
Ο προσδιορισμός του συντελεστή ασφαλείας για τις βραχοσφήνες που αναμένονται στο αριστερό αντέρεισμα έγινε μέσω του προγράμματος Swedge 6.0, όπου στα δεδομένα εισόδου ήταν τα στοιχεία προσανατολισμού του πρανούς και του κάθε ζεύγους ασυνεχειών καθώς και οι βασικοί παράμετροι τους (JRC, JCS και ϕ_b). Επίσης, παράμετροι αποτελούν: η σεισμικότητα της περιοχής και οι υδροστατικές πιέσεις, οι οποίες πιέσεις επεξεργάστηκαν ενδεικτικά, με ένα ποσοστό 50% πληρωμένες οι ασυνέχειες με νερό. Οπότε σε κάθε ζεύγος ασυνεχειών, υπολογίστηκε ο συντελεστής ασφαλείας με τα δεδομένα που αναφέρθηκαν.

Πίνακας 26. Βραχοσφήνες μεταξύ ζεύγων ασυνεχειών και συντελεστής ασφαλείας.

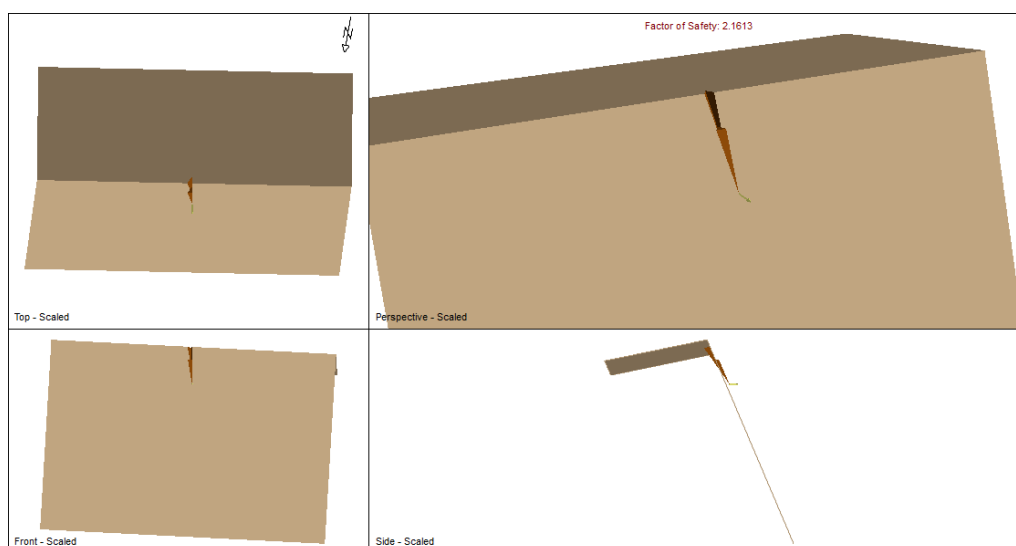
Ζεύγος ασυνεχειών	Συντελεστής ασφαλείας (F)	Όγκοι σφηνών (m ³)
F3 – J4	4,73	0,001
S – J3	0,91	14,58
S – J2	1,46	65,96
J5 – J2	2,16	5,88



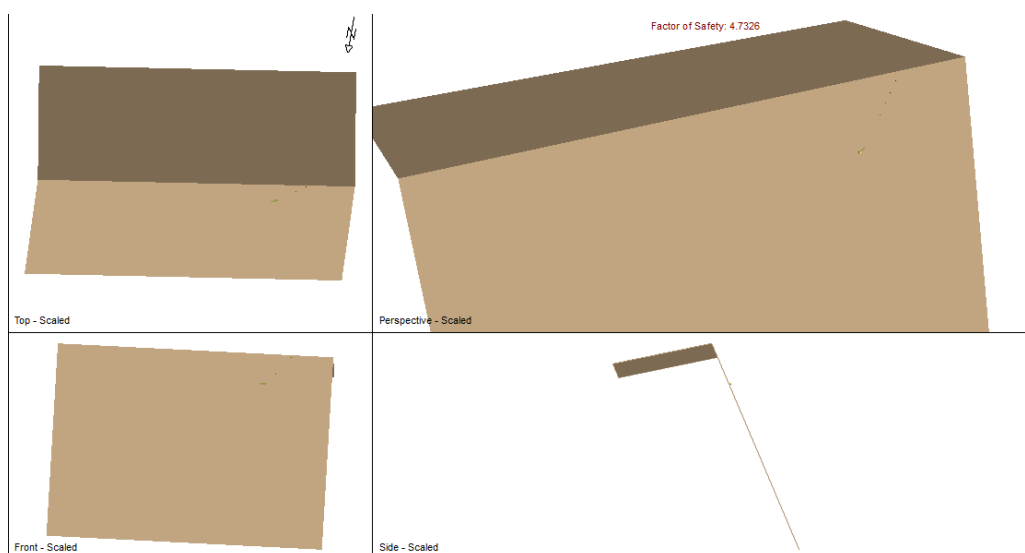
Εικόνα 98. Προβολή βραχοσφήνας μεταξύ S-J3 με F=0,91 στο αριστερό αντέρεισμα.



Εικόνα 99. Προβολή βραχοσφήνας μεταξύ S - J2 με $F = 1,46$ στο αριστερό αντέρεισμα.



Εικόνα 100. Προβολή βραχοσφήνας μεταξύ J5 - J2 με $F = 2,16$ στο αριστερό αντέρεισμα.



Εικόνα 101. Προβολή βραχοσφήνας μεταξύ F3-J4 με $F=4,73$ στο αριστερό αντέρεισμα.

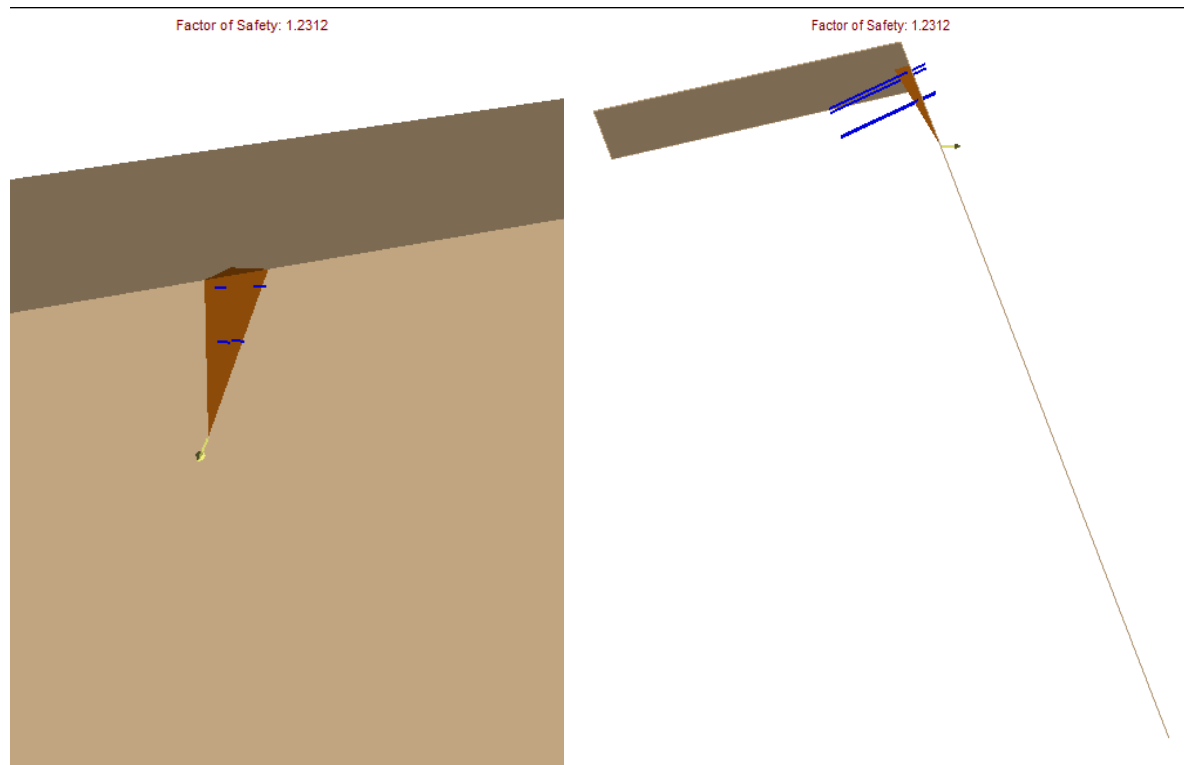
Προτεινόμενα μέτρα προστασίας πρανών

Στις περιπτώσεις που αναλύθηκαν όσα ζεύγη ασυνεχειών παρουσίασαν τιμή συντελεστή ασφαλείας ελάχιστα υψηλότερη και μικρότερη από το ένα, ενδέχεται να ολισθήσουν και να χρειαστεί η εξασφάλιση του πρανούς έναντι των ολισθήσεων. Τα μέτρα αυτά διαχωρίζονται σε παθητικά και ενεργητικά, θα προταθούν τα ανάλογα μέτρα για την περίπτωση του συγκεκριμένου έργου.

Στα παθητικά μέτρα αντιστήριξης περιλαμβάνονται τα μεταλλικά πλέγματα. Επίσης, η χρήση γεωυφασμάτων για τον έλεγχο της επιφανειακής διάβρωσης των πρανών.

Σκοπός των ενεργητικών μέτρων αντιστήριξης είναι είτε να μειώσουν τις δυνάμεις που προκαλούν την ολίσθηση, είτε να ενισχύσουν τις δυνάμεις που αντιτίθενται σε αυτήν. Στα ενεργητικά μέτρα αντιστήριξης εντάσσονται οι αγκυρώσεις βράχου, με τοποθέτηση αγκυρίων για την αντιστήριξη των πρανών, το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και τα έργα αποστράγγισης όπως είναι οι αποστραγγιστικοί σωλήνες. Τέλος, η εκσκαφή πρανών είτε με την αλλαγή κλίσης είτε με τη δημιουργία αναβαθμών αποτελούν ενεργητικά μέτρα τα οποία μειώνουν τις δυνάμεις που τείνουν να προκαλέσουν την αστοχία.

Η εφαρμογή αγκυρίων ως προτεινόμενο μέτρο αντιστήριξης ελέγχθηκε μέσω του προγράμματος Swedge 6.0 για τη βραχοσφήνα S – J3 με αρχικό συντελεστή ασφαλείας 0,91. Παρατηρήθηκε πως με την εφαρμογή αγκυρίων, ο συντελεστής ασφαλείας αυξήθηκε στο 1,23 το οποίο ισοδυναμεί με αποδεκτό νόμμερο >1.



Εικόνα 102. Εφαρμογή αγκυρίων για την προστασία του πρανούς από βραχοσφηνές.

➤ Υπερχειλιστής – εκχειλιστής

Ο υπερχειλιστής ή εκχειλιστής σχεδιάζεται για να ελέγχει την πλημμυρική παροχή ταμειυτήρα, κατά τη λειτουργία του φράγματος.

Σύμφωνα με τα συνήθη χαρακτηριστικά τους οι υπερχειλιστές χωρίζονται στις εξής κατηγορίες (U.S. Bureau of Reclamation, 2014, CVE 471 – WATER RESOURCES ENGINEERING, 2014):

- i. Μετωπικός κατακόρυφος
- ii. Ελεύθερης πτώσης τύπου S
- iii. Πλευρικός
- iv. Ανοιχτής διώρυγας
- v. Σηραγγοειδής
- vi. Φρεατοειδής
- vii. Σιφωνοειδής

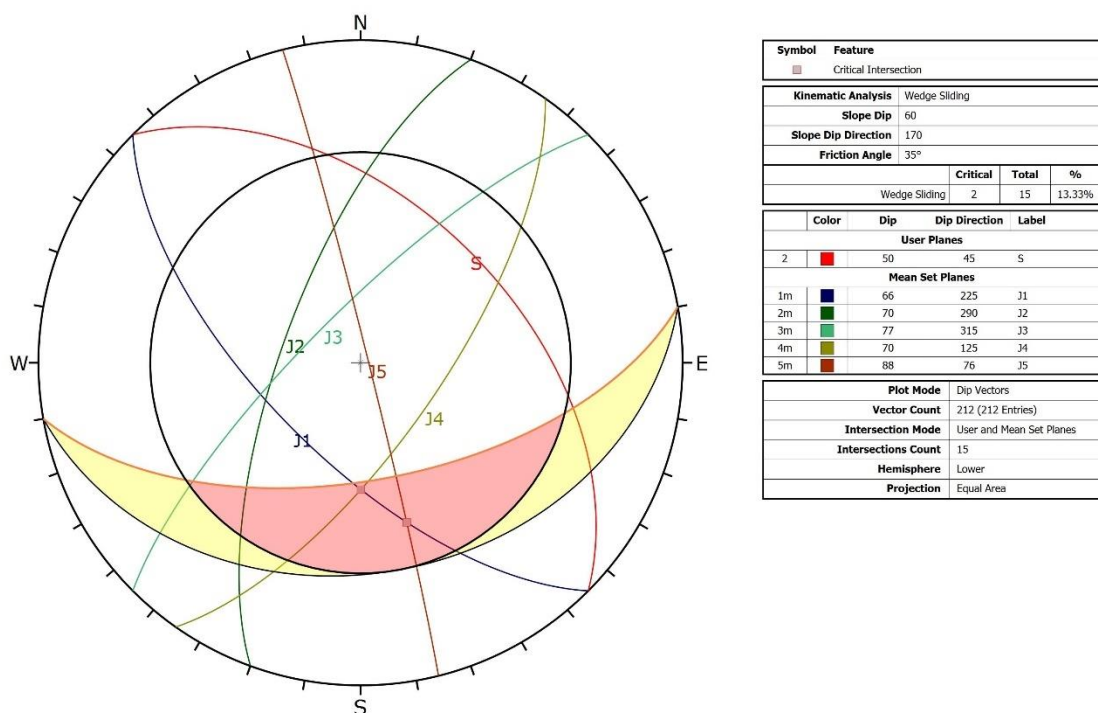
Οι υπερχειλιστές είναι μη ελεγχόμενοι (παθητικές κατασκευές) ενώ οι εκχειλιστές είναι ελεγχόμενοι μέσω της λειτουργίας θυροφραγμάτων. Τα βασικά μέρη τους είναι:

- Διώρυγα προσαγωγής
- Έργο υπερχείλισης – εκχείλισης
- Διώρυγα / Αγωγός πτώσης
- Έργο εκτόνωσης της ενέργειας – λεκάνη ηρεμίας
- Διώρυγα φυγής

Το πρώτο βήμα στο σχεδιασμό τους αφορά τη θέση του έργου και η επιλογή αυτή βασίζεται στον τύπο του φράγματος καθώς και σε γεωλογικά – γεωτεχνικά κριτήρια. Το φράγμα το οποίο προβλέπεται να κατασκευαστεί στη συγκεκριμένη θέση θα είναι χωμάτινο με αργιλικό πυρήνα, οπότε ο υπερχειλιστής ή εκχειλιστής θα είναι πλευρικός και θα κατασκευαστεί υποχρεωτικά σε ένα από τα δύο αντερείσματα του φράγματος.

Το γεωλογικό υπόβαθρο και η ευστάθεια στα αντερείσματα θα καθορίσουν την επιλογή του αντερείσματος. Όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, διαπιστώθηκε πως το αριστερό αντέρεισμα παρουσιάζει θέματα ευστάθειας, οπότε η επιλογή της τοποθέτησης σε αυτό θα απαιτήσει εκτεταμένα μέτρα προστασίας και ενίσχυσης του πρανούς. Στο δεξί αντέρεισμα, στο θέμα της ευστάθειας δεν αναμένονται σημαντικά προβλήματα, οι σχηματισμοί που εμφανίζονται σε αυτό, έχουν ικανοποιητικά μηχανικά χαρακτηριστικά και η προσβασιμότητα στη θέση είναι πιο εύκολη σε σχέση με το αριστερό αντέρεισμα. Επίσης, το δεξί αντέρεισμα είναι πιο ομαλό με αποτέλεσμα μικρότερο όγκο εκσκαφών στο πρανές. Συνοψίζοντας, η κατασκευή του προτείνεται να γίνει στο δεξί αντέρεισμα.

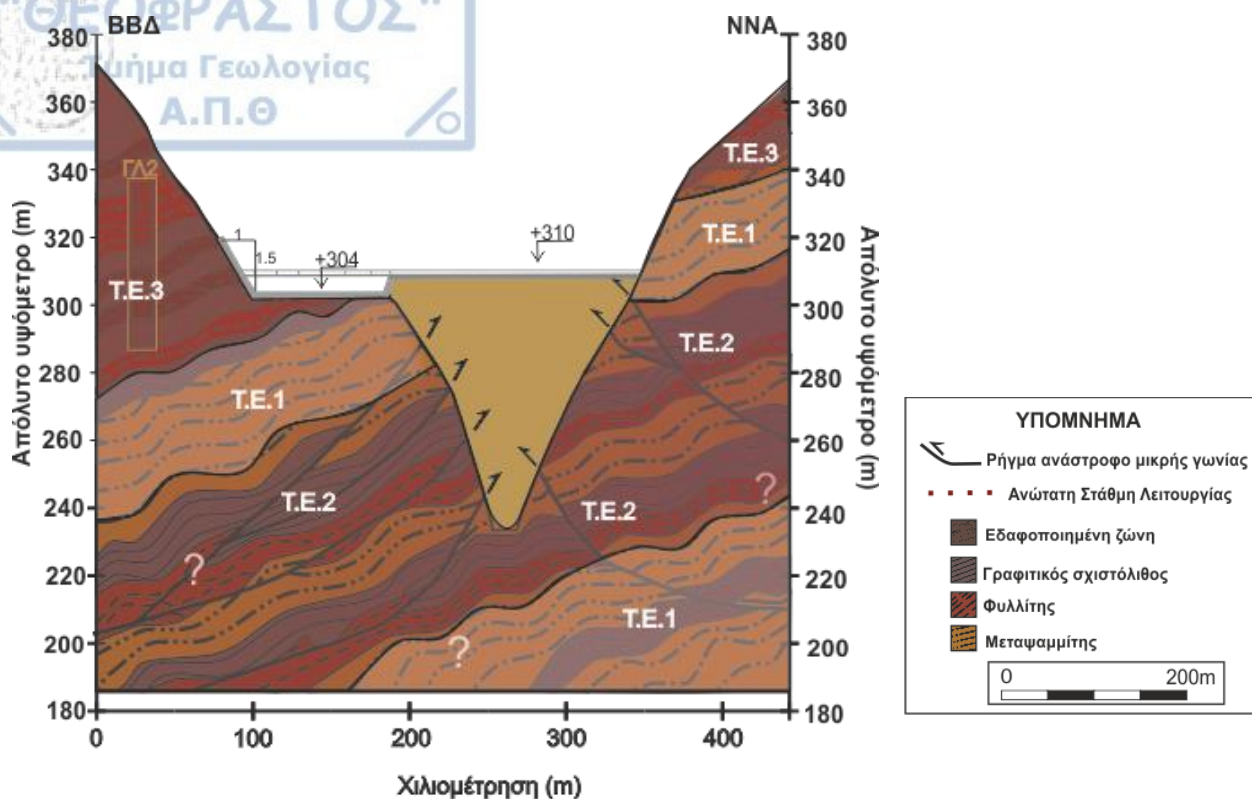
Η κατασκευή του προϋποθέτει την εκσκαφή και κατά συνέπεια τη δημιουργία τεχνητών πρανών στη θεμελίωση. Τα τεχνητά πρανά θα κατασκευαστούν με γωνία κλίσης $\approx 55^\circ$, διότι σε περίπτωση επιλογής μεγαλύτερης κλίσης από αυτή, αναμένονται ολισθήσεις. Η κινηματική ανάλυση έδειξε πως με γωνία κλίσης πρανούς $\geq 56^\circ$ αναμένονται σφηνοειδείς ολισθήσεις μεταξύ των ασυνχειών J1-J4 και J1-J5 (Εικόνα 103), οπότε ο λόγος της κλίσης των τεχνητών πρανών στο δεξι αντέρεισμα θα είναι 1:1,5 (β:υ). Ο έλεγχος για την επιλογή εκσκαφής του τεχνητού πρανούς με γωνία κλίσης $\approx 55^\circ$, πραγματοποιήθηκε παραπάνω και υπολογίστηκε πως ο συντελεστής ασφαλείας ισούται με 4,12, οπότε το τεχνητό πρανές δεν θα χρειαστεί εκτενή μέτρα υποστήριξης.



Εικόνα 103. Προβολή ολισθήσεων στο τεχνητά πρανά με κλίση $>55^\circ$.

Πίνακας 27. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά υπερχειλιστή από την προκαταρκτική μελέτη.

Μήκος στέψης	100 m
Υψόμετρο στέψης	304 m
Πλάτος στέψης	10,34 m
Μήκος υπερχειλιστή	200 m

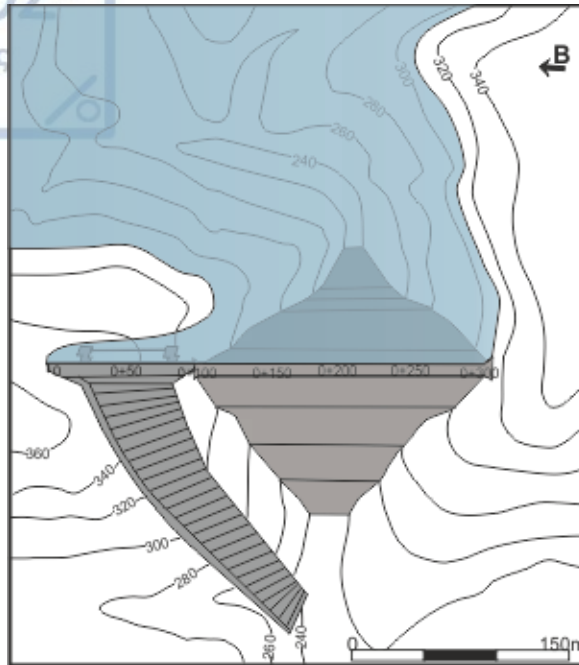


Εικόνα 104. Εκσκαφή υπερχειλιστή στο δεξί αντέρεισμα, προβολή από τα κατάντη του φράγματος.

Προτείνεται να κατασκευαστεί υπερχειλιστής ανοιχτής διώρυγας, ο οποίος μεταφέρει την παροχή από τον ταμιευτήρα στην κατάντη του φράγματος στάθμη του ποταμού με ανοιχτό κανάλι. Χρησιμοποιείται σε χωμάτινα και λιθόρριπτα φράγματα. Βασικά πλεονεκτήματα είναι:

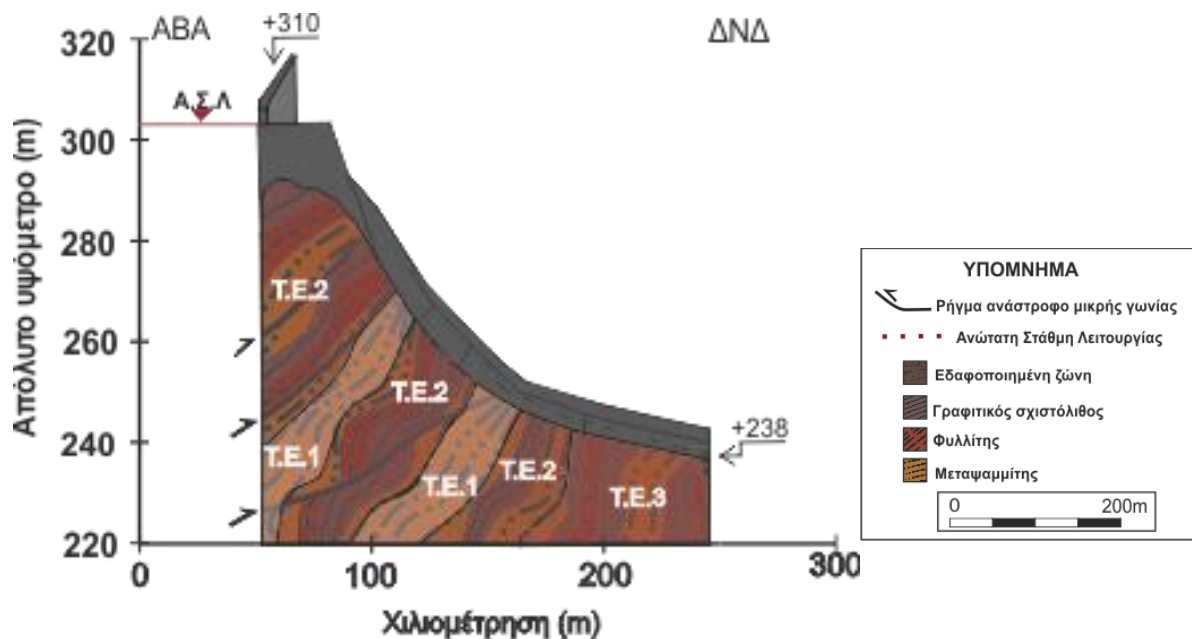
- απλότητα σχεδιασμού & κατασκευής
- προσαρμοστικότητα στις περισσότερες συνθήκες θεμελίωσης
- οικονομία δαπανών λόγω της χρήσης μεγάλων ποσοτήτων εκσκαφών του υπερχειλιστή στο σώμα του φράγματος

Ο υπερχειλιστής διαχωρίζεται σε τέσσερα τμήματα από τα ανάντη προς τα κατάντη. Διώρυγα προσαγωγής, κύριο σώμα του υπερχειλιστή, διώρυγα πτώσης και έργο καταστροφής ενέργειας. Στο τέλος του γίνονται τα έργα προσαρμογής στον φυσικό αποδέκτη.



Εικόνα 105. Οριζοντιογραφία σώματος φράγματος και υπερχειλιστή.

Στην μηκοτομή της Εικόνας 106 φαίνονται οι τεχνικογεωλογικές ενότητες πάνω στις οποίες θα θεμελιωθεί η διώρυγα πτώσης και τα υπόλοιπα συνοδά έργα του υπερχειλιστή. Κρίσιμοι παράγοντες για τη θεμελίωση του συνολικού έργου του υπερχειλιστή είναι η μονοαξονική αντοχή σ_{ci} (MPa) και η παραμορφωσιμότητα E_m (MPa) της κάθε τεχνικογεωλογικής ενότητας πάνω στην οποία θα γίνει η θεμελίωση. Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες οι οποίες συναντώνται στη θέση του υπερχειλιστή είναι οι: Τ.Ε.1, Τ.Ε.2, και Τ.Ε.3.



Εικόνα 106. Μηκοτομή υπερχειλιστή - τεχνικογεωλογικές ενότητες στη θέση θεμελίωσης.

Στο μεγαλύτερο τμήμα της θέσης συναντώνται εναλλαγές μεταξύ της Τ.Ε.1 και της Τ.Ε.2, ένα μικρό τμήμα συναντά την Τ.Ε.3. Οπότε, η θεμελίωση θα γίνει στους πιο υγιείς σχηματισμούς, οι οποίοι φέρουν τις υψηλότερες τιμές αντοχής βραχομάζας και μέτρου παραμορφωσιμότητας σε σχέση με τους υπόλοιπους σχηματισμούς της στενής περιοχής του έργου.

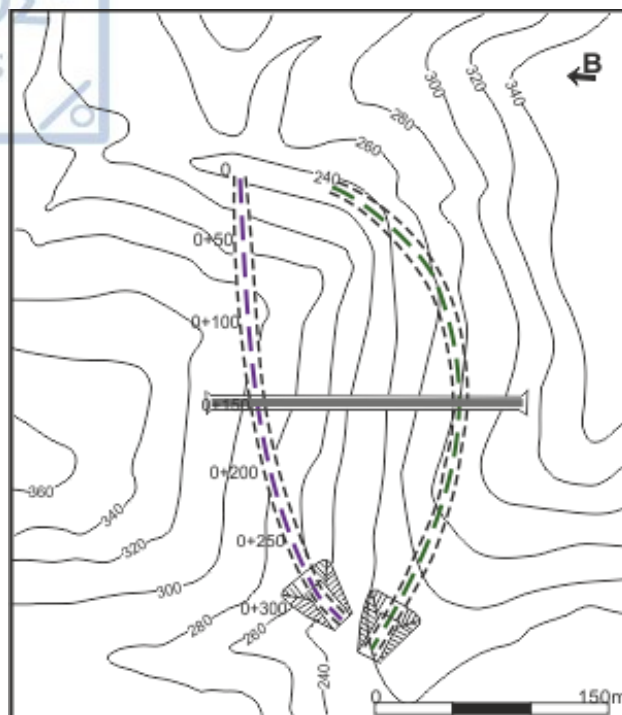
Πίνακας 28. Τεχνικογεωλογικές ενότητες στη θέση των έργων του υπερχειλιστή.

Τ.Ε.	Περιγραφή	σ_{ci} (MPa)	GSI	E_i (MPa)	E_m (MPa)
1	Μεσοστρωματώδης μεταψαμμίτης με λεπτές ενστρώσεις γραφιτικού σχιστόλιθου, αργιλικού σχιστόλιθου – φυλλίτη	65	55	16.250	6.124,21
2	Λεπτοστρωματώδης – μεσοστρωματώδης μεταψαμμίτης σε εναλλαγές με γραφιτικό σχιστόλιθο, αργιλικό σχιστόλιθο – φυλλίτη σε περίπου ίσες αναλογίες	40	45	24.000	5.367,60
3	Γραφιτικός σχιστόλιθος σε εναλλαγές με χαλαζίτη, αργιλικό σχιστόλιθο – φυλλίτη και μεταψαμμίτη	25	20	13.750	627,98

➤ Σήραγγα εκτροπής

Το πρώτο συνοδό έργο που κατασκευάζεται στην περιοχή του φράγματος είναι η σήραγγα εκτροπής. Σκοπός της είναι η εξασφάλιση ασφαλών ξηρών συνθηκών στη θέση του φράγματος για όλη την περίοδο κατασκευής του. Η εκτροπή επιτυγχάνεται με την ασφαλή παροχέτευση της ροής του ποταμού κατάντη, ώστε να μην επηρεάζονται οι συνθήκες κατασκευής του φράγματος. Η διαστασιολόγησή και χωροθέτησή της εξαρτώνται από μορφολογικές, γεωλογικές, γεωτεχνικές, υδρολογικές και οικονομικές παραμέτρους. Η εξοικονόμηση κόστους επιτυγχάνεται όπου είναι εφικτό, συνδυάζοντας έργα όπως η σήραγγα εκτροπής με μόνιμα λειτουργικά στοιχεία του φράγματος όπως είναι ο υπερχειλιστής.

Η χωροθέτηση της σήραγγας γίνεται στο αντέρεισμα στο οποίο αναμένονται τα λιγότερα πιθανά προβλήματα κατά μήκος της τομής, λαμβάνοντας υπόψη τη διάταξη, το συνολικό μήκος και τις διαστάσεις της. Στην προκειμένη περίπτωση το αριστερό αντέρεισμα σε σχέση με το δεξί αποτελείται από σχηματισμούς με καλύτερα μηχανικά χαρακτηριστικά, με υψηλότερα όμως υπερκείμενα και μεγαλύτερο μήκος σχεδιασμού, στοιχείο το οποίο επιβαρύνει τον προϋπολογισμό του έργου. Επίσης, η πρόσβαση στο αριστερό αντέρεισμα είναι πιο δύσκολη από ότι στο δεξιό, στο οποίο ο υφιστάμενος αγροτικός δρόμος έχει κλείσει κοντά στη θέση θεμελίωσης του φράγματος (400 m), λόγω πρόσφατης κατολίσθησης στο πρηνές. Συγκρίνοντας τις δυο προτεινόμενες χαράξεις της σήραγγας εκτροπής προτείνεται να γίνει η χάραξη στο δεξί αντέρεισμα.



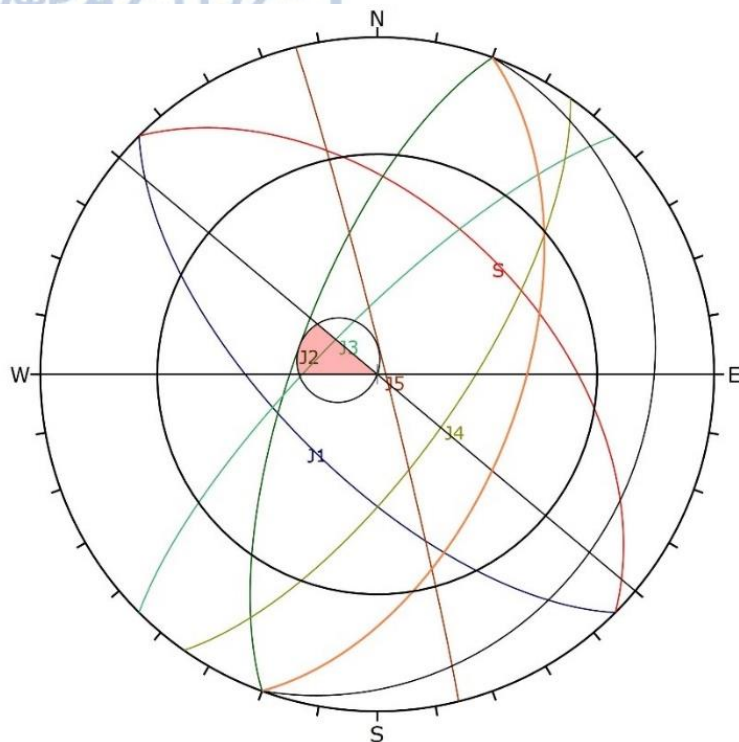
Εικόνα 107. Οριζοντιογραφία προτεινόμενων ενδεικτικών χαράξεων σήραγγας εκτροπής στο **δεξί** και **αριστερό** αντέρεισμα.

Το στόμιο εισόδου της σήραγγας εκτροπής προτείνεται σε απολυτό υψόμετρο 240 m, το στόμιο εξόδου στα 230 m και το μήκος της θα είναι ≈ 350 m.

Στόμιο εισόδου

Το στόμιο εισόδου βρίσκεται σε σχηματισμό γραφικού σχιστόλιθου τελείως αποσαθρωμένου, με προσανατολισμό φυσικού πρανούς $55^\circ/110^\circ$. Στο στόμιο θα γίνει κατασκευή τριών τεχνητών πρανών: νότιο μετωπικό και δυο πλευρικά που έχουν αντίστοιχα προσανατολισμό – Νοτιοδυτικό – Βορειοανατολικό. Μέσω κινηματικής ανάλυσης διαπιστώθηκε πως για την κλίση του φυσικού πρανούς για το μετωπικό της σήραγγας δεν προκύπτουν επίπεδες και σφηνοειδείς ολισθήσεις, προκύπτουν όμως δυνητικές αστοχίες από ανατροπή για τις ασυνέχειες J2 και J3 (Εικόνα 108 & 110).

Οπότε, για να αποφευχθούν οι ολισθήσεις από ανατροπή μπορεί να αλλάξει η κλίση του πρανούς από 55° σε 45° ή μπορεί να ενισχυθεί το πρανές με κάνναβο αγκυριών και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Στην περίπτωση επιλογής αλλαγής κλίσης του πρανούς, η κλίση του μετωπικού πρανούς με 45° ελέγχθηκε μέσω κινηματικής ανάλυσης και δεν πληρείται κανένα κριτήριο δυνητικών αστοχιών. Η ίδια ανάλυση, ακολουθήθηκε και για τα δυο υπόλοιπα τεχνητά πρανά, το βορειοανατολικό και το νοτιοδυτικό, με σκοπό να μη δημιουργηθούν προβλήματα με την ευστάθεια των πρανών στο στόμιο εισόδου της σήραγγας εκτροπής. Τα στοιχεία προσανατολισμού για τα τεχνητά πλευρικά πρανά είναι: Νοτιοδυτικό πρανές $50^\circ/200^\circ$ και Βορειοανατολικό πρανές $40^\circ/020^\circ$. Η κινηματική ανάλυση για τα πρανά περιλαμβάνει όλες τις κύριες οικογένειες ασυνεχειών (σχιστότητα και συστήματα διακλάσεων).

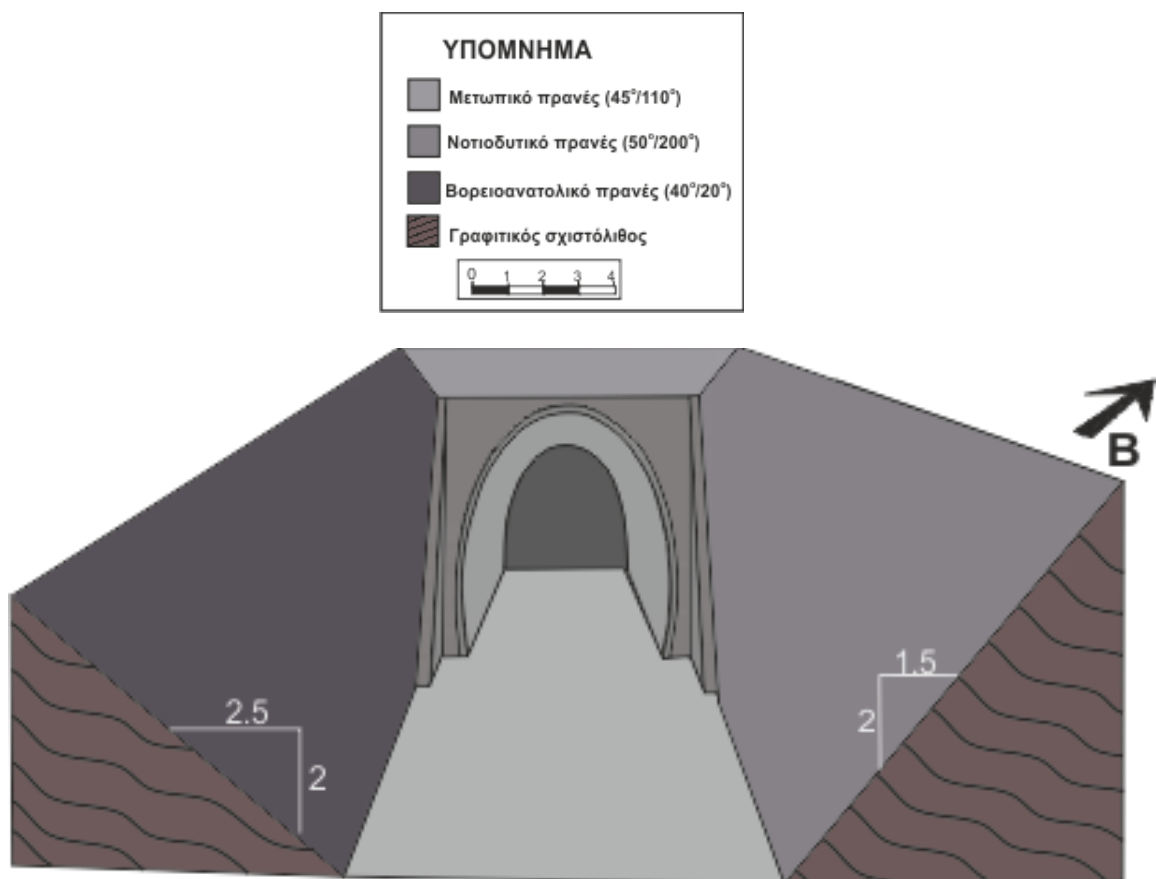


Kinematic Analysis		Flexural Topping		
Slope Dip		55		
Slope Dip Direction		110		
Friction Angle		35°		
Lateral Limits		20°		
		Critical	Total	%
Flexural Topping (All)		37	212	17.45%
Flexural Topping (Set 2: J2)		2	2	100.00%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
2		50	45	S
Mean Set Planes				
1m		66	225	J1
2m		70	290	J2
3m		77	315	J3
4m		70	125	J4
5m		88	76	J5

Plot Mode	Dip Vectors
Vector Count	212 (212 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Εικόνα 108. Προβολή ολισθήσεων από ανατροπή για το μετωπικό πρανές με στοιχεία προσανατολισμού 55°/110°.



Εικόνα 109. Προβολή των τριών τεχνητών πρανών στο στόμιο εισόδου της σήραγγας εκτροπής.

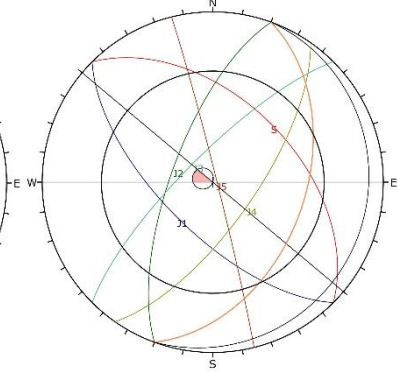
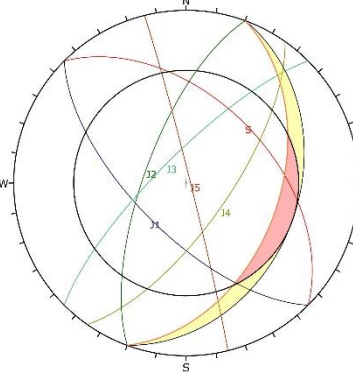
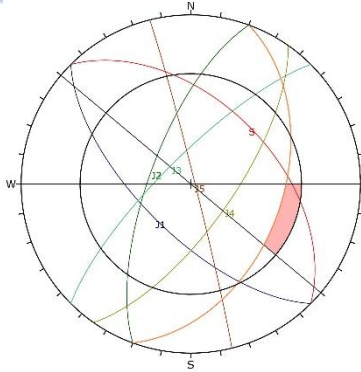
Ολισθήσεις

Επίπεδες

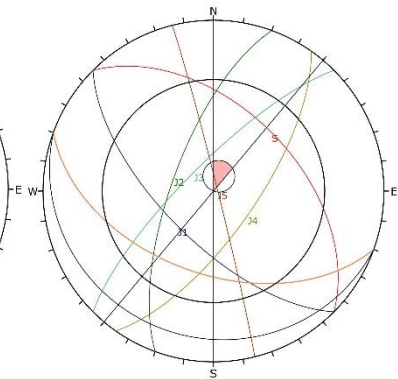
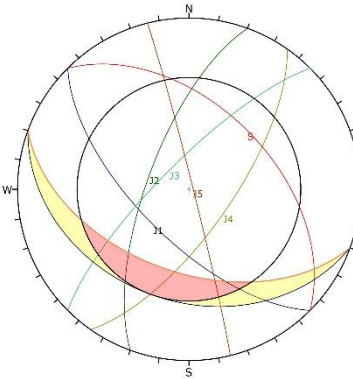
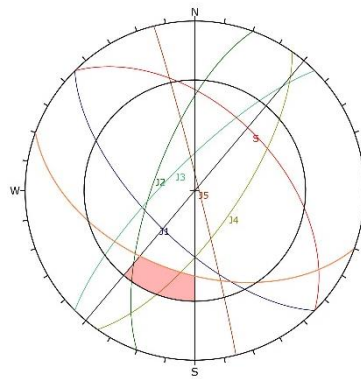
Σφηνοειδείς

Ανατροπές

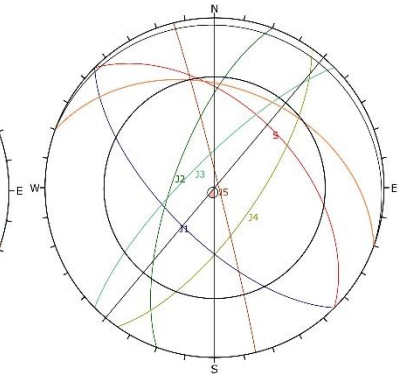
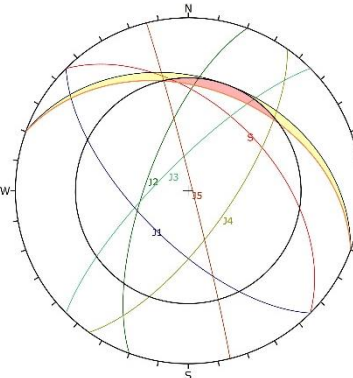
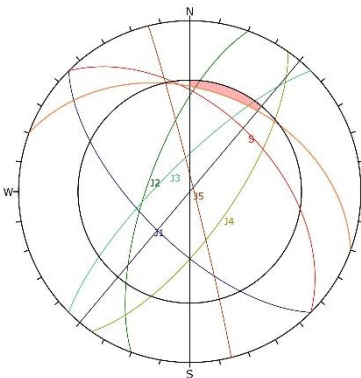
Μετωπικό πρανές



Νοτιοδυτικό πρανές



Βορειοανατολικό πρανές

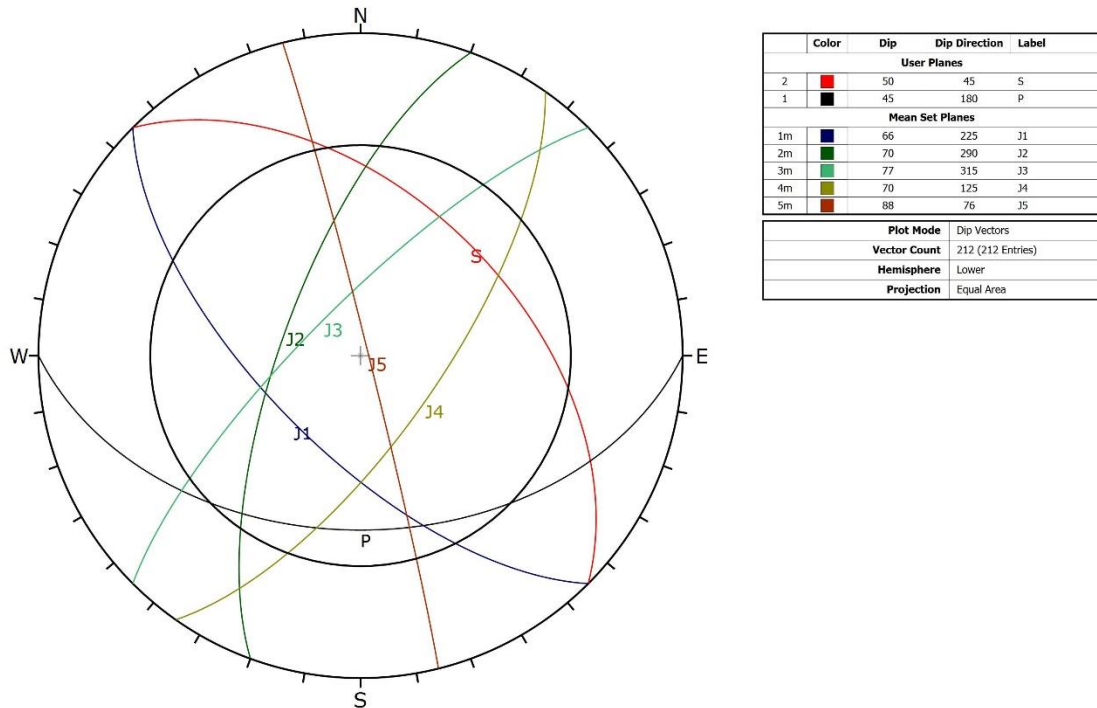


Εικόνα 110. Κινηματικές αναλύσεις για τα τεχνητά μέτωπα του στομίου εισόδου της σήραγγας εκτροπής.

Η κινηματική ανάλυση έγινε με τα στοιχεία προσανατολισμού των τεχνητών πρανών, με επιλεγμένες γωνίες κλίσης των πρανών, ώστε να αποφευχθούν δυνητικές αστοχίες στο στόμιο εισόδου της σήραγγας εκτροπής.

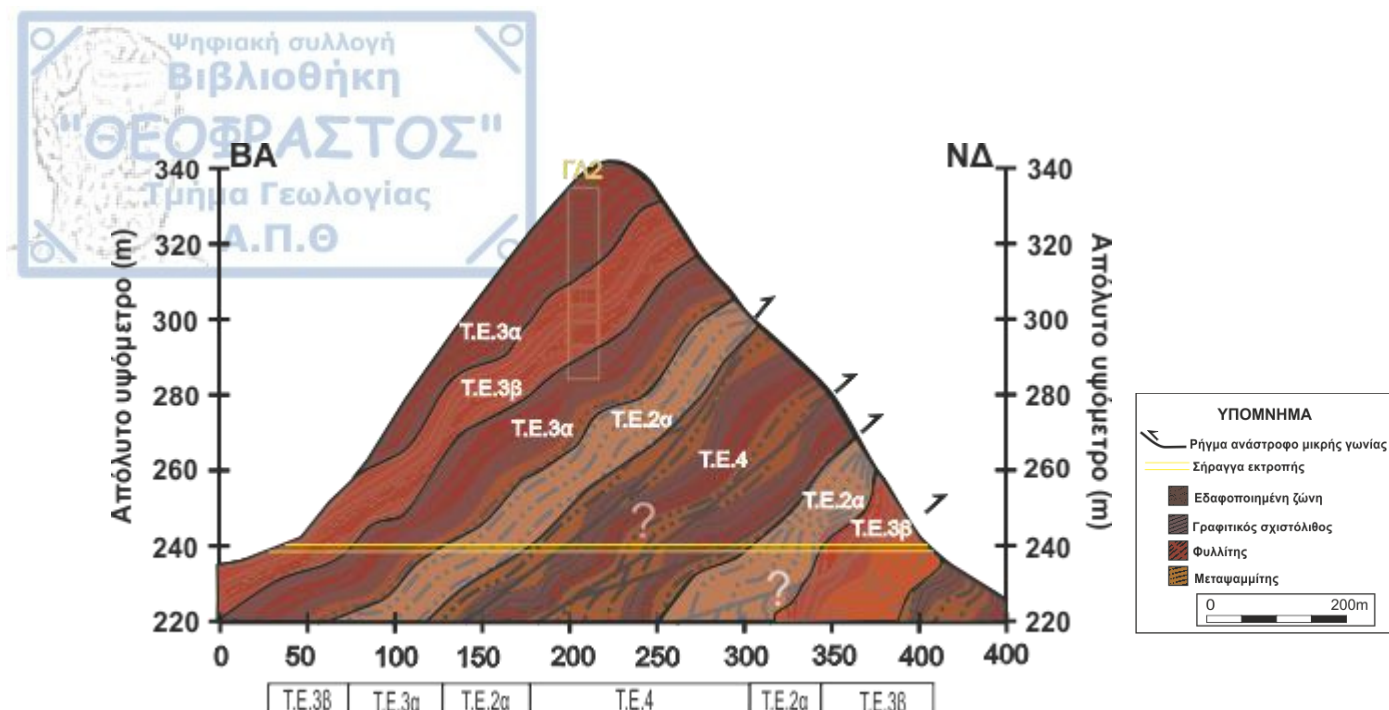
Στόμιο εξόδου

Το στόμιο εξόδου της σήραγγας βρίσκεται σε απολυτό υψόμετρο ≈ 350 m. Τα στοιχεία προσανατολισμού του πρανού είναι $45^\circ/180^\circ$ και όπως παρατηρείται παρακάτω (Εικόνα 111) δεν αναμένονται επίπεδες ολισθήσεις. Όσον αφορά τις σφηνοειδείς ολισθήσεις, δεν σχηματίζεται καμία τομή ασυνεχειών, η οποία να δημιουργεί αστοχίες στο υπό μελέτη πρανές. Τέλος, δεν αναμένονται ολισθήσεις από ανατροπές, επειδή καμία ασυνέχεια δεν έχει αντίρροπη διεύθυνση κλίσης με το πρανές.



Εικόνα 111. Προβολή στοιχείων προσανατολισμού του φυσικού πρανού μαζί με τα κύρια συστήματα ασυνεχειών στο στόμιο εξόδου.

Επόμενο στάδιο στην κατασκευή της σήραγγας εκτροπής είναι η αξιολόγηση της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς που θα έχει η βραχομάζα κατά το στάδιο διάνοιξης της σήραγγας. Η σήραγγα έχει πεταλοειδή μορφή με μήκος ≈ 350 m, ύψος 4,50 m και άνοιγμα 2 m. Η σήραγγα διαπερνά τρεις οριζόμενες τεχνικογεωλογικές ενότητες, στις οποίες έγινε επιπλέον διάκριση.



Εικόνα 112. Μηκτομή - τεχνικογεωλογικές ενότητες της σήραγγας εκτροπής.

Χ.Θ: 0+25 – 0+75 m

Στο στόμιο εισόδου της σήραγγας εκτροπής και για τα επόμενα 50 m συναντάται η *T.E.3^β*, πρόκειται για γραφικό σχιστόλιθο τελείως αποσαθρωμένο έως εδαφοποιημένο. Στο στόμιο ο σχηματισμός ενδέχεται να είναι πλήρως αποδομημένος και να συμπεριφέρεται ως έδαφος λόγω της επιφανειακής αποσάθρωσης.

Χ.Θ: 0+75 – 0+130 m

Στα επόμενα 55 m, συναντάται γραφικός σχιστόλιθος αποσαθρωμένος με πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά (*T.E.3^α*).

Χ.Θ: 0+130 – 0+180 m, 0+310 – 0+345 m

Παρουσία λεπτοστρωματώδη έως μεσοστρωματώδη μεταψαμμίτη σε εναλλαγές με γραφικό σχιστόλιθο, αργιλικό σχιστόλιθο και φυλλίτη σε περίπου ίσες αναλογίες. Η ενότητα αυτή (*T.E.2^α*) έχει χαμηλό βαθμό αποσάθρωσης, μέσο προς υψηλό GSI και RQD.

Χ.Θ: 0+180 – 0+310 m

Ζώνες ρηγμάτων, *T.E.4^α*. Οι σχηματισμοί τέμνονται από ρηξιγενείς δομές, τι οποίες θα συναντήσει η σήραγγα εκτροπής, οι οποίες έχουν προκαλέσει απομείωση των μηχανικών χαρακτηριστικών της ενότητας.

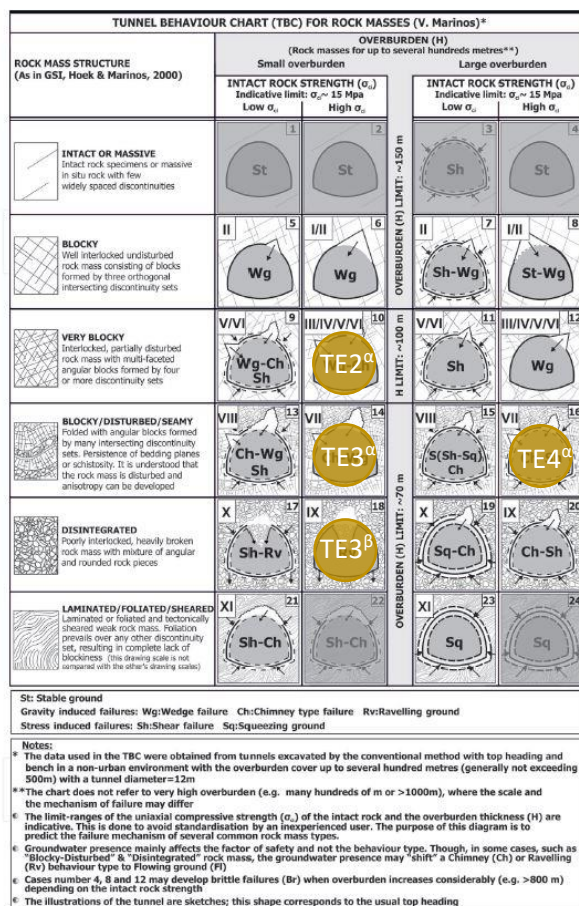
Χ.Θ: 0+310 – 0+ 400 m,

Στο στόμιο εξόδου της σήραγγας εκτροπής και για τα προηγούμενα 90 m συναντάται η *T.E.3^β*, πρόκειται για γραφικό σχιστόλιθο τελείως αποσαθρωμένο έως εδαφοποιημένο. Στο στόμιο ο σχηματισμός ενδέχεται να συμπεριφέρεται ως έδαφος λόγω της επιφανειακής αποσάθρωσης.

Πίνακας 29. Τεχνικογεωλογικές ενότητες κατά μήκος της σήραγγας εκτροπής.

T.E.	Περιγραφή	Βαθμός αποσάθρωσης	RQD (%)	GSI	σ_{ci} (MPa)
2α	Λεπτοστρωματώδης – Μεσοστρωματώδης μεταψαμμίτης σε εναλλαγές με γραφιτικό σχιστόλιθο, αργιλικό σχιστόλιθο – φυλλίτη σε περίπου ίσες αναλογίες	III	55 – 60	50	45 -50
3α	Γραφιτικός σχιστόλιθος σε εναλλαγές με χαλαζίτη, αργιλικό σχιστόλιθο – φυλλίτη και μεταψαμμίτη	IV	45 - 50	35	30 – 35
4α	Ζώνες ρηγμάτων	IV – V	35 – 40	30	20 – 25
3β	Γραφιτικός σχιστόλιθος τελείως αποσαθρωμένος έως εδαφοποιημένος	V	30 – 55	20	15 – 20

Για κάθε τεχνικογεωλογική ενότητα εκτιμήθηκε η αντίστοιχη συμπεριφορά της βραχομάζας και τα αναμενόμενα προβλήματα αστοχιών βάσει των χαρακτηριστικών της και του ύψους των υπερκειμένων κάθε θέσης. Για τον προσδιορισμό των αναμενόμενων αστοχιών χρησιμοποιήθηκε το TBC (Tunnel Behavior Chart) που προτείνει V.Marinos (2012).



Εικόνα 113. Διάγραμμα T.B.C., εκτίμηση τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς της βραχομάζας σε υπόγεια εκσκαφή.

Βάσει του διαγράμματος Τ.Β.Σ προσδιορίστηκαν για τη μηκοτομή της σήραγγας ανά χιλιομετρική θέση οι αναμενόμενες αστοχίες. Στον παρακάτω Πίνακα, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και οι αστοχίες που αναμένονται κατά την εκσκαφή της σήραγγας.

Πίνακας 30. Τεχνικογεωλογικά προβλήματα της σήραγγας εκτροπής κατά μήκος της.

Τ.Ε.	Χιλιομετρική απόσταση (m)	Ύψος υπερκειμένων (m)	GSI	σ_{ci} (MPa)	Τεχνικογεωλογικά προβλήματα
2 ^α	0+130 – 0+180 0+310 – 0+345	87 62	50	45 -50	Wg – Ch
3 ^α	0+75 – 0+130	58	35	30 – 35	Ch – Wg
4 ^α	0+180 – 0+310	100	30	20 – 25	Ch – Sh
3 ^β	0+25 – 0+75 0+310 – 0+400	21 44	20	15 – 20	Rv

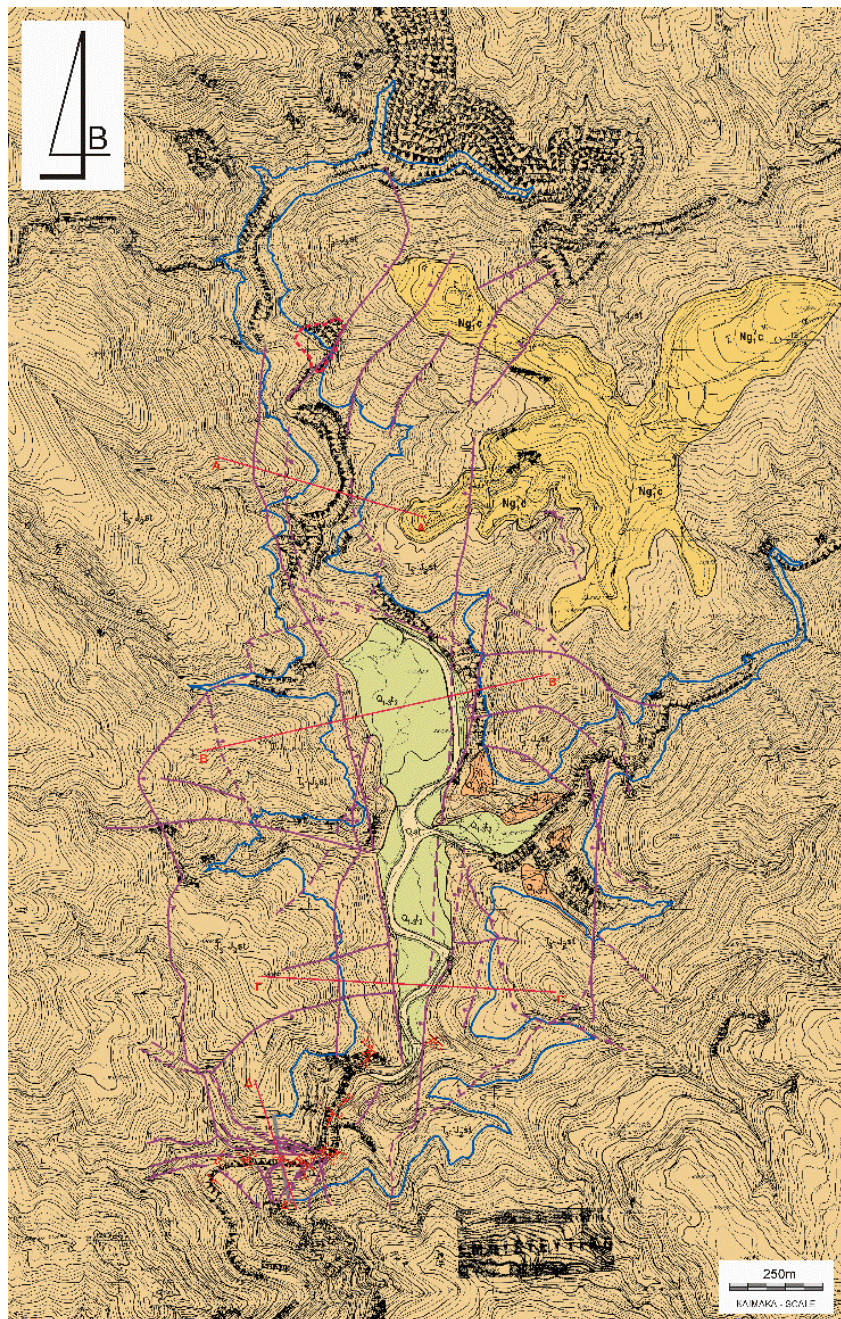
Οι κύριες αστοχίες που αναμένονται κατά τη διάνοιξη της σήραγγας εκτροπής είναι καταπτώσεις τύπου καμινάδας, όπου η βραχομάζα είναι έντονα κερματισμένη με ανοικτή δομή και σε συνδυασμό με μικρές πλευρικές τάσεις μπορεί να οδηγήσει σε καταπτώσεις και προοδευτικά να δημιουργηθούν υπερεκσκαφές τύπου καμινάδας.

Επιπλέον, αναμένονται σφηνοειδείς ολισθήσεις ή πτώσεις τεμαχών λόγω βαρύτητας όπου η ευστάθεια ελέγχεται από τα χαρακτηριστικά των ασυνεχειών.

Σε ορισμένες θέσεις όπου η βραχομάζα είναι αποδιοργανωμένη ή φυλλοποιημένη με μικρή συνοχή και εξαρτώμενη από το βαθμό αλληλοκλειδώματος, ενδέχεται να εμφανιστούν καταρροές βραχομάζας. Τέλος, πιθανή είναι και η εκδήλωση διατμητικών αστοχιών σε ζώνη μικρής έκτασης περιμετρικά της σήραγγας λόγω μικρών έως μέτριων παραμορφώσεων.

5.3 Λεκάνη κατάκλυσης

Η λεκάνη κατάκλυσης του φράγματος δομείται από Τεταρτογενείς σχηματισμούς, Νεογενή κροκαλοπαγή και μετα-ιζηματογενή ηλικίας Τριαδικό – Μέσο Ιουρασικό. Κατά την πλήρωση της λεκάνης κατάκλυσης το τασικό πεδίο της περιοχής αλλάζει, οπότε θα πρέπει να διερευνηθεί η στεγανότητα στις νέες συνθήκες καθώς και η ευστάθεια των πρανών που θα επηρεαστούν από τη λειτουργία του ταμιευτήρα. Σκοπός της διερεύνησης είναι ο προσδιορισμός και η αντιμετώπιση διαφυγών όπως επίσης και ο εντοπισμός τυχόν ασταθών ζωνών, οι οποίες μπορούν να συνδεθούν με κατολισθητικά φαινόμενα.



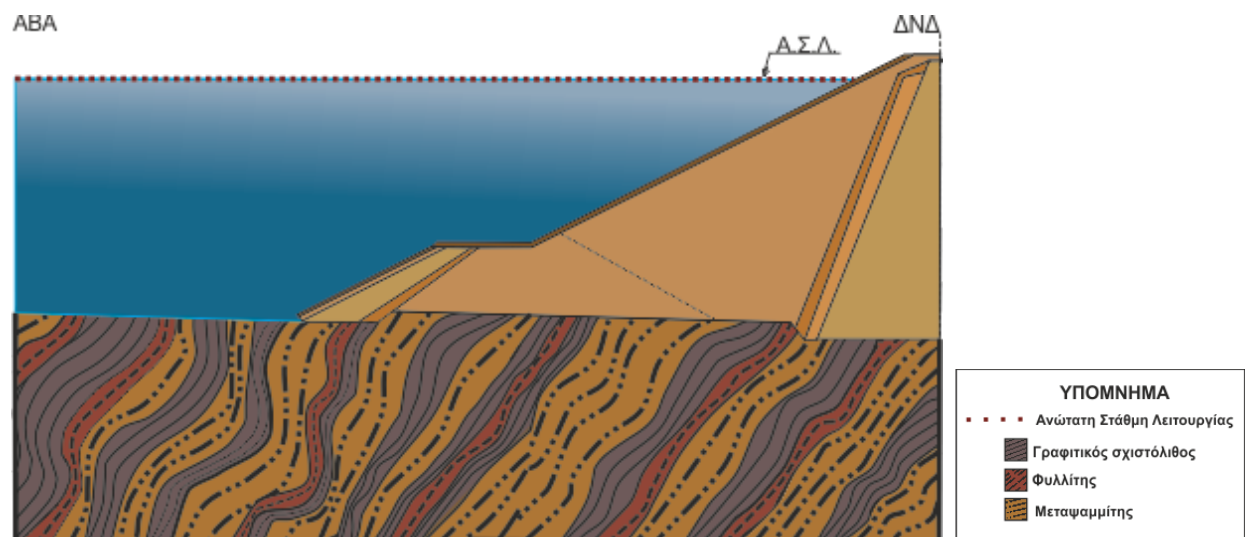
Εικόνα 114. Γεωλογικός χάρτης περιοχής μελέτης κλίμακας 1:5.000, με μπλε χρώμα τα όρια της σχηματιζόμενης λεκάνης κατάκλυσης (Τρανός Μ. et al.).

➤ Στεγανότητα

Για την αξιολόγηση της στεγανότητας της λεκάνης κατάκλυσης βασικό κριτήριο αποτελεί η υδρολιθολογική συμπεριφορά των σχηματισμών, η τεκτονική και γεωμετρία τους. Για τους σχηματισμούς με υψηλή περατότητα ή διαβρωσιμότητα, όπως είναι στην περίπτωση αυτή ο γραφικός σχιστόλιθος, καθοριστική σημασία έχουν η τεκτονική και η γεωμετρία (προσανατολισμός) τους στο χώρο.

Γενικώς το να είναι ο διαμήκης άξονας της λεκάνης κατάκλυσης κάθετος ή σχεδόν κάθετος ως προς την παράταξη των σχηματισμών, συνιστά αναγκαία προϋπόθεση για τη στεγανότητα της, ενώ το αντίθετο δημιουργεί συνθήκες που ευνοούν πιθανές διαφυγές σε γειτονικές λεκάνες (Εικόνα 115).

Γενικά, τα μετα-ιζηματογενή πετρώματα του υποβάθρου έχουν χαμηλή περατότητα με εύρος τιμών: $2,6 \cdot 10^{-7} - 4,8 \cdot 10^{-7}$ m/sec.



Εικόνα 115. Ευνοϊκή διάταξη σχηματισμών για τη στεγανότητα της λεκάνης κατάκλυσης (άξονας λεκάνης κάθετος στην παράταξη και θύθιση των σχηματισμών προς τα ανάντη).

Η έκταση των τεταρτογενών σχηματισμών περιορίζεται στην λεκάνη κατάκλυσης και παρά την μικρή συνεκτικότητα τους, δε θα δημιουργήσουν προβλήματα στην κατασκευή του φράγματος. Μέσω της γεώτρησης ΓΛ1, διαπιστώθηκε πως το πάχος των τεταρτογενών ιζημάτων είναι μικρό ≈ 10 m.

Σημαντική έκταση στην ευρύτερη περιοχή μελέτης, καταλαμβάνει ο σχηματισμός των κροκαλοπαγών, ο οποίος είναι πιθανό να προκαλέσει προβλήματα στη στεγανότητα της λεκάνης κατάκλυσης, κυρίως λόγω της μικρής συνοχής τους. Ο σχηματισμός τους βρίσκεται σε υψόμετρο >360 m, οπότε θα πρέπει να διερευνηθεί το ενδεχόμενο διαφυγών ΒΑ της σχηματιζόμενης λεκάνης κατάκλυσης.

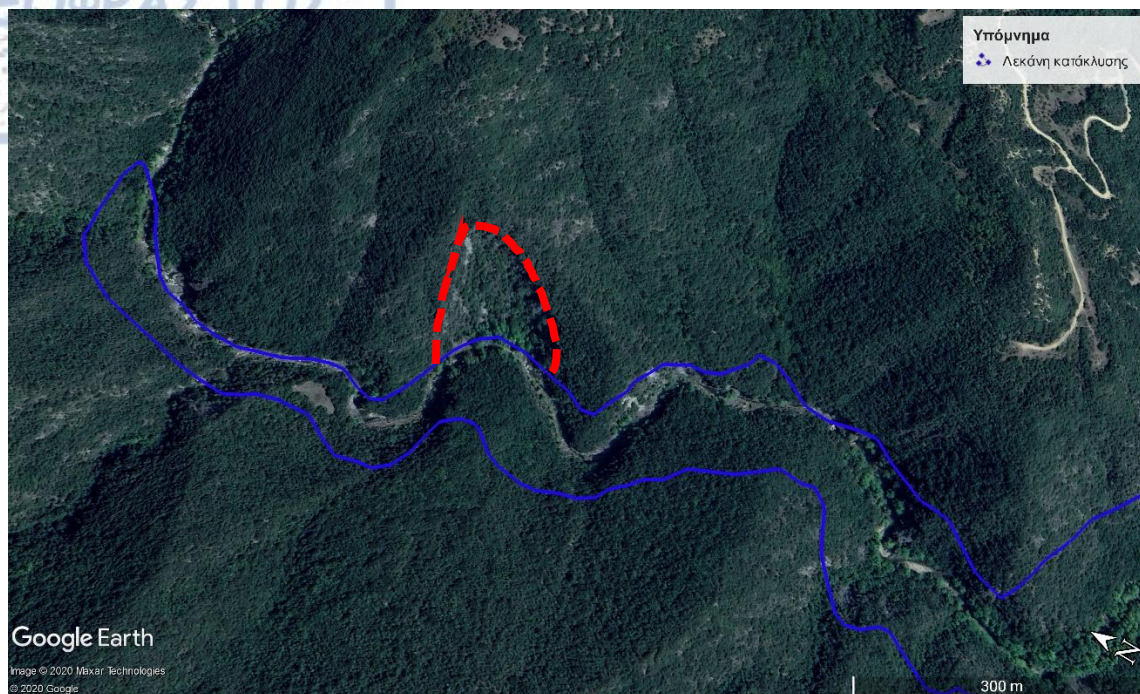
Η περιοχή της λεκάνης κατάκλυσης έχει έντονη τεκτονική, με παρουσία ανάστροφων και κανονικών ρηγμάτων ποικίλων κλίσεων. Η πληθώρα των ανάστροφων τεκτονικών δομών δεν έχει επιφέρει εκτενή καταπόνηση στη δομή των σχηματισμών με αποτέλεσμα να μην θεωρούνται πιθανές ζώνες διαφυγής του νερού. Τα κανονικά ρήγματα που εντοπίστηκαν, έχουν σε κάποιες περιπτώσεις χαλαζιακό υλικό πλήρωσης, που σε συνδυασμό με την πολύ μεγάλη κλίση τους (παρακατακόρυφα), μειώνουν σημαντικά την πιθανότητα διαφυγών νερού μέσω των ζωνών αυτών των ρηγμάτων.

➤ Ευστάθεια πρανών

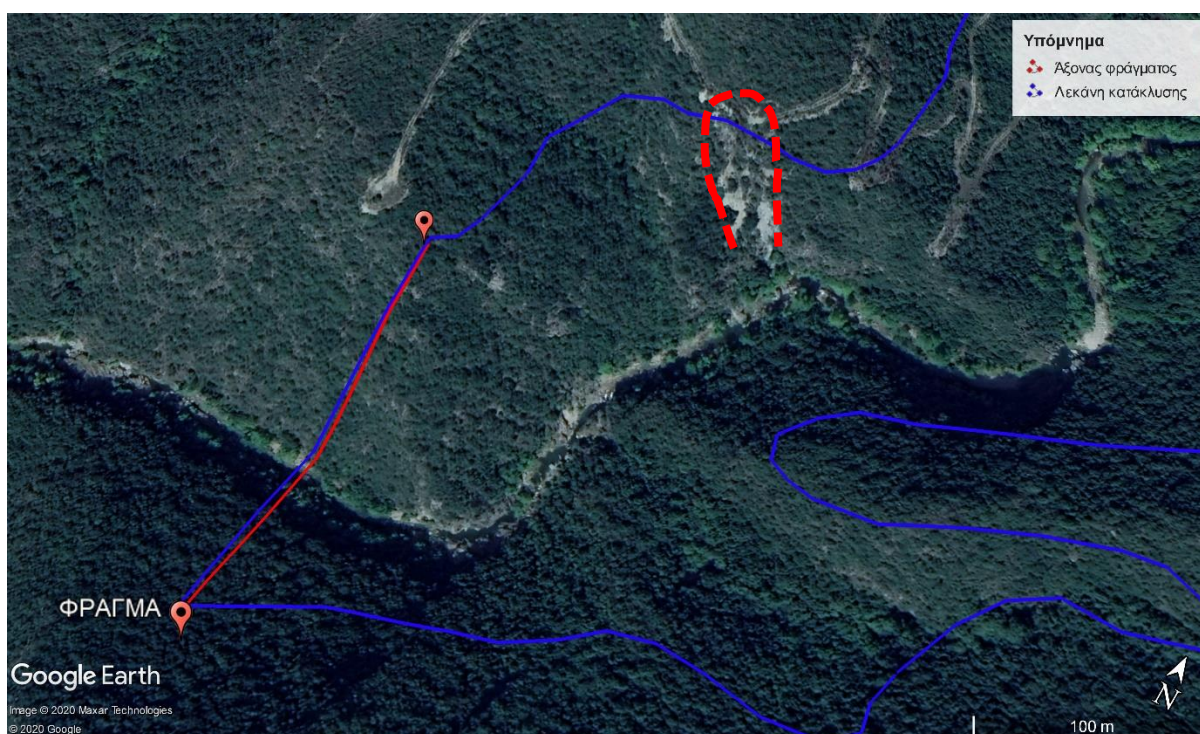
Στη λεκάνη κατάκλυσης εντοπίστηκαν κατολισθητικά φαινόμενα, ένα από τα οποία συνιστά πιθανώς μια παλιά κατολίσθηση, σε μεγάλη απόσταση από τον άξονα του φράγματος, 3 km (Εικόνα 116), ενώ μια δεύτερη κατολίσθηση βρίσκεται σε κοντινή απόσταση από αυτόν, 500 m, (Εικόνα 117). Παράγοντες ενεργοποίησης των κατολισθήσεων σε μια θέση φράγματος μπορεί να είναι εκτός από τη βροχόπτωση, οι μεταβολές της στάθμης και ο κυματισμός του ταμιευτήρα. Όσον αφορά την βροχόπτωση, η περιοχή δέχεται μέσο ύψος ετήσιας βροχόπτωσης (522,5 mm), με έντονες εποχιακές διακυμάνσεις, ενώ η περιοχή εντάσσεται στη δεύτερη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας.

Στην περιοχή μελέτης ένας σημαντικός παράγοντας που ευνοεί τις κατολισθήσεις είναι η μεγάλη κλίση των κλιτύων ($>50^\circ$) του ταμιευτήρα και η ιδιομορφία των σχηματισμών. Δηλαδή, οι συνεχείς εναλλαγές μεταξύ ανθεκτικών πετρωμάτων και πετρωμάτων με πτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά, οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε αστάθεια του πρανούς.

Επίσης σε βάθος βρίσκονται εδαφοποιημένες ζώνες, ως επί το πλείστον, προερχόμενες από τον γραφιτικό σχιστόλιθο, οι οποίες προκαλούν προβλήματα στην ευστάθεια των πρανών. Βάσει της γεώτρησης ΓΛ2, το βάθος των ζωνών φτάνει έως και 40 m από την επιφάνεια και ενδέχεται σε συνδυασμό με όσο προαναφέρθηκαν, να αποτελέσουν ζώνες για περιστροφική κατολίσθηση.



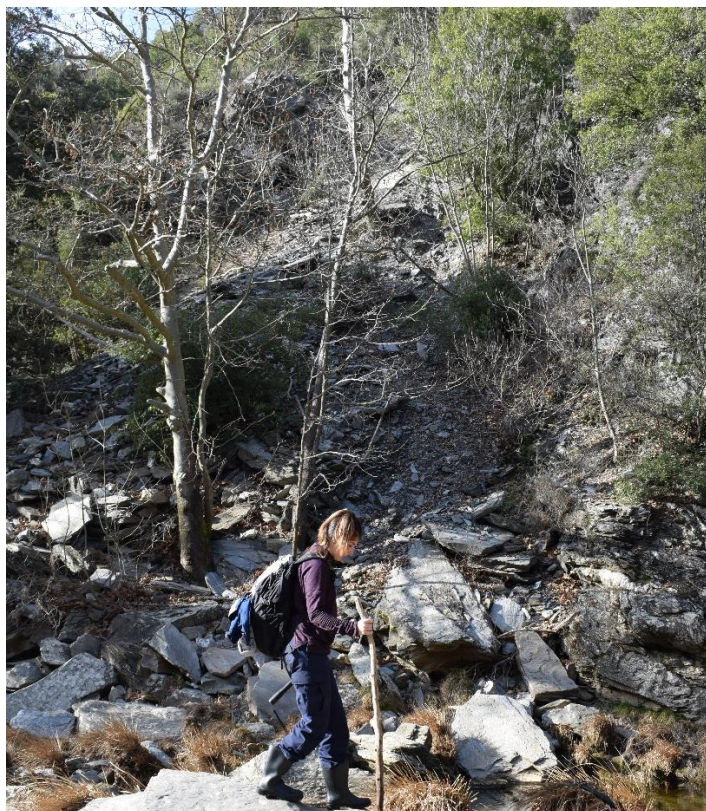
Εικόνα 116. Πιθανή κατολίσθηση (κόκκινο πλαίσιο) στην λεκάνη κατάκλυσης – απόσταση 3 Km από τον άξονα του φράγματος, Google Earth.



Εικόνα 117. Κατολίσθηση σε κοντινή απόσταση από τον άξονα του φράγματος, 500 m (κόκκινο πλαίσιο), Google Earth.



Εικόνα 118. Φωτογραφία κατολίσθησης (ακριβής θέση μέσω των κόκκινων βέλων) - προβολή από τα κατάντη του φράγματος.



Εικόνα 119. Φωτογραφία στον πόδα της κατολίσθησης, μέσα από την κοίτη του ποταμού.

Επίσης, στην περιοχή μελέτης συναντώνται καταπτώσεις βράχων, τα αίτια εκδήλωσης των οποίων σχετίζονται με τις εναλλαγές ικανών πετρωμάτων, (όπως ο μεταψαμμίτης) και λιγότερο ικανών πετρωμάτων (όπως ο γραφιτικός σχιστόλιθος, ο αργιλικός σχιστόλιθος και ο φυλλίτης) και με τη δυσμενή γεωμετρία των ασυνεχειών που διατέμνουν τη βραχομάζα.

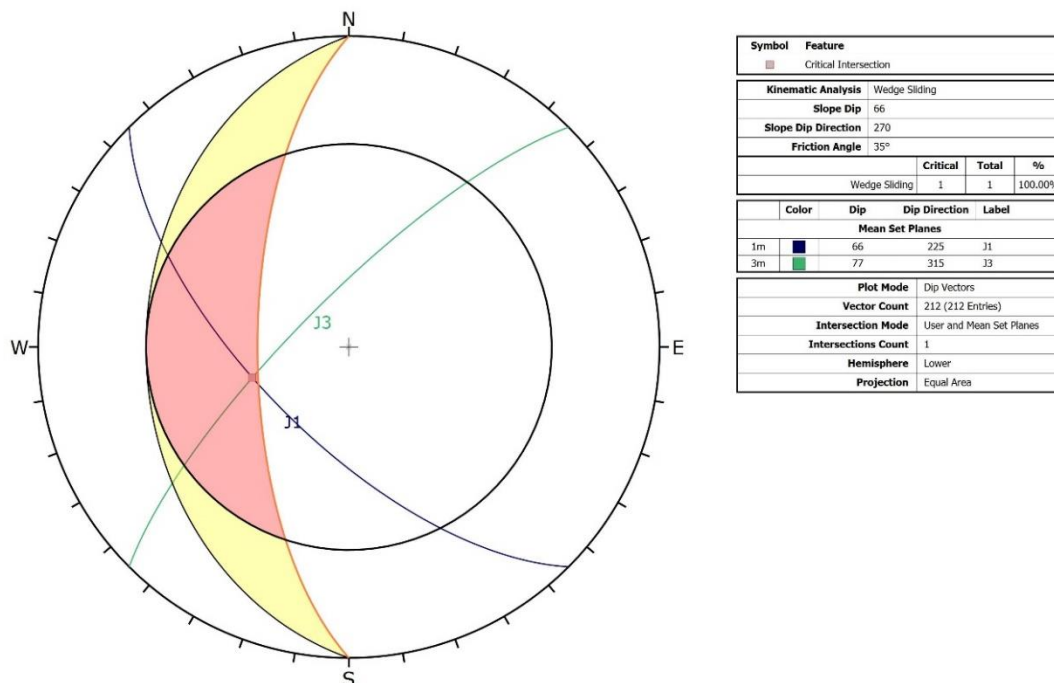


Εικόνα 120. . Βραχοκαταπτώσεις στην περιοχή μελέτης



Εικόνα 121. Βραχοκαταπτώσεις στην περιοχή μελέτης.

Οι βραχοκαταπτώσεις συνδέονται με το δυσμενή προσανατολισμό του πρανούς σε σχέση με τις οικογένειες των ασυνεχειών από τις οποίες διατέμνεται, με την απόσταση των ασυνεχειών και την εμμόνη τους στο χώρο. Στην περιοχή μελέτης εντοπίστηκε βραχοκατάπτωση (Εικόνα 120 & 121), που όπως έδειξε η κινηματική ανάλυση, αφορά σφηνοειδή ολίσθηση μεταξύ των ασυνεχειών J3 και J1 (Εικόνα 122). Η βραχοκατάπτωση θεωρείται ότι προκλήθηκε από τη διάνοιξη του τεχνητού πρανούς του δρόμου.



Εικόνα 122. Κινηματική ανάλυση σφηνοειδούς ολίσθησης, που βρέθηκε στην υπαίθρια χαρτογράφηση.

➤ Στερεοπαροχές στη λεκάνη κατάκλυσης

Ως στερεοπαροχές θεωρούνται οι μετρήσεις των φερτών υλικών της διάβρωσης, τα οποία μεταφέρονται από το νερό σ' ένα υδατόρρευμα και στη συνέχεια αποτίθενται. Ο υπολογισμός του όγκου των υλικών που μεταφέρονται σε ταμιευτήρες φραγμάτων είναι σημαντικός στο σχεδιασμό τους, μιας και η εναπόθεση τους μειώνει τον ωφέλιμο όγκο του ταμιευτήρα.

Η στερεοπαροχή είναι η ποσότητα των φερτών υλικών ανά μονάδα χρόνου. Ο ακριβής υπολογισμός της διαχρονικής στερεοπαροχής απαιτεί γενικώς μακροχρόνιες συστηματικές παρατηρήσεις και στοιχεία υπαίθριων μετρήσεων. Λόγω έλλειψης τέτοιων στοιχείων για την εξεταζόμενη θέση, στα πλαίσια αυτής της εργασίας έγινε προσπάθεια εκτίμησης της στερεοπαροχής μέσω εμπειρικής σχέσης. Η σχέση έχει προκύψει από ανάστροφες αναλύσεις για διάφορες υδρολογικές λεκάνες της Ελλάδας και παίρνει υπόψιν της τους παράγοντες που επηρεάζουν καθοριστικά τη στερεοπαροχή μιας λεκάνης. Αυτοί είναι υδρολογικοί, κλιματικοί, μορφολογικοί και γεωλογικοί, (Κουτσογιάννης & Τάρλα, 1987).

$$G = 15 * \gamma * e^{(3 * P)}$$

Όπου:

$G \rightarrow$ μέση ετήσια στερεοπαροχή ($t/km^2 * a$)

$P \rightarrow$ μέσο ετήσιο ύψος βροχής (m)

$\gamma \rightarrow$ γεωλογικός συντελεστής

Ο γεωλογικός συντελεστής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\gamma = K_1 * P_1 + K_2 * P_2 + K_3 * P_3$$

Όπου:

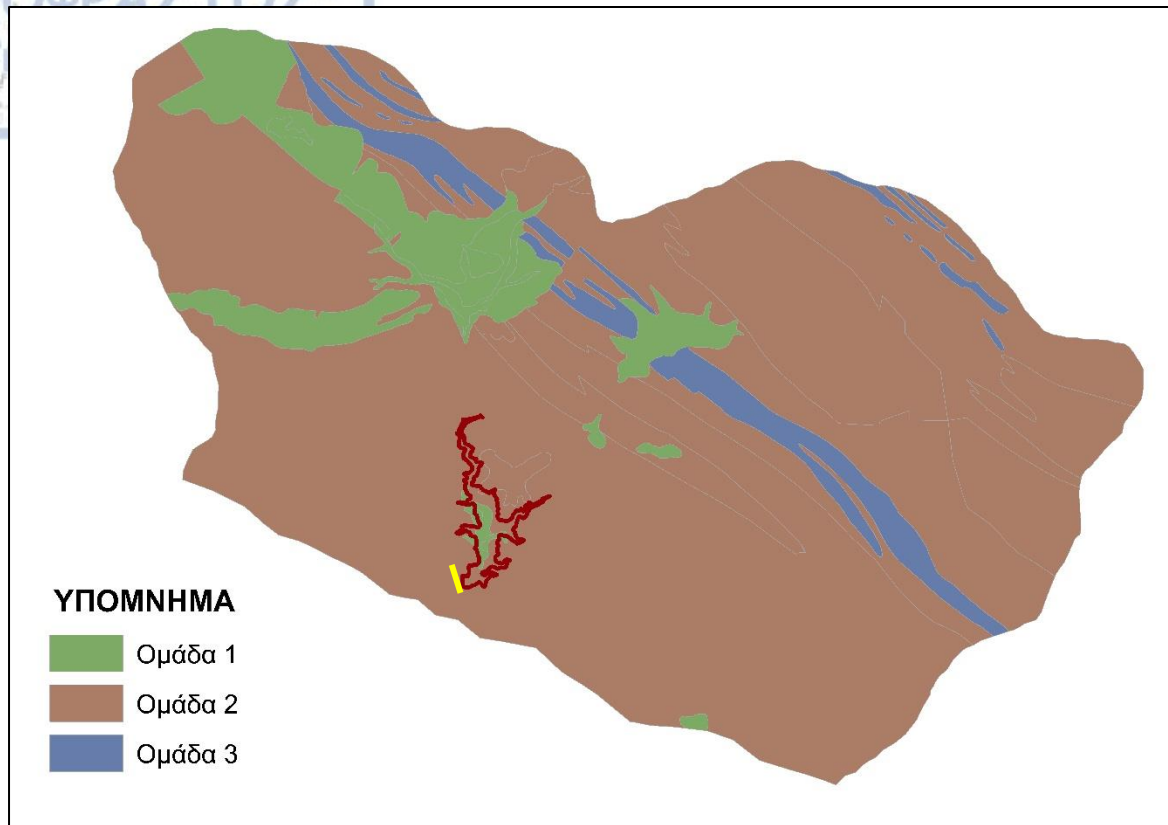
$K_1, K_2, K_3 \rightarrow$ συντελεστές διαβρωσιμότητας, των βασικών κατηγοριών γεωλογικών σχηματισμών.

$P_1, P_2, P_3 \rightarrow$ αντίστοιχες αναλογίες της έκτασης στην οποία εμφανίζεται η κάθε κατηγορία γεωλογικού σχηματισμού, προς τη συνολική έκταση της λεκάνης μέσω του γεωλογικού χάρτη της περιοχής.

Για την υδρολογική λεκάνη της περιοχής ανάντη του φράγματος, χρησιμοποιήθηκε ο γεωλογικός χάρτης του Ι.Γ.Μ.Ε, φύλλο Πολύγυρος, κλίμακας 1:50.000, όπου μέσω G.I.S έγινε ο υπολογισμός της έκτασης που καταλαμβάνει ο κάθε σχηματισμός. Ακολουθώντας, οι σχηματισμοί ομαδοποιήθηκαν βάσει του συντελεστή διαβρωσιμότητας και υπολογίστηκε η συνολική ποσοστιαία έκταση της κάθε ομάδας σε σχέση με την συνολική έκταση της λεκάνης. Τα τελικά αποτελέσματα και τα αντίστοιχα ποσοστά φαίνονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 31. Ομαδοποίηση γεωλογικών σχηματισμών για τον υπολογισμό του γεωλογικού συντελεστή.

Ομάδα	Ομαδοποίηση σχηματισμών	Έκταση ($10^6 m^2$)	K_i	P_i (%)
1	Αλλουβιακές αποθέσεις, ελουβιακός μανδύας, Ανώτερο σύστημα αναβαθμίδων, Κατώτερο σύστημα αναβαθμίδων, Κώνοι κορημάτων, Ερυθρή άργιλος	15,15	1	12,53
2	Φυλλίτες, Χαλαζίτες (& γραφιτικός σχιστόλιθος), Κροκαλοπαγή	99,19	0,5	82,02
3	Ασβεστόλιθοι ανακρυσταλλωμένοι & μάρμαρα	6,59	0,1	5,45



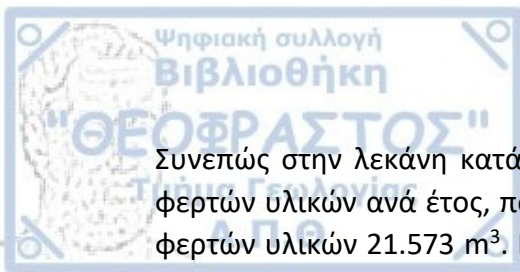
Εικόνα 123. Χάρτης ομαδοποιημένων γεωλογικών σχηματισμών, ανάντη του φράγματος, βάσει του συντελεστή διαβρωσιμότητας (με κίτρινη σήμανση έχει χαραχθεί η θέση του φράγματος & με κόκκινο ο ταμιευτήρας), G.I.S..

Το μεγαλύτερο ποσοστό καταλαμβάνεται από την Ομάδα 2, έπειτα ακολουθεί η Ομάδα 1 και η Ομάδα 3. Στην Εικόνα 123 δίνεται ο χάρτης της χωρικής κατανομής της ομαδοποίησης των γεωλογικών σχηματισμών, όπου φαίνεται η έκταση της κάθε ομάδας σύμφωνα με τη διαβρωσιμότητα της.

Πίνακας 32. Αποτελέσματα υπολογισμού της στερεοπαροχής.

γ	P (m)	G (t/km ² * a)	G (+15%) (t/km ² * a)	G _{ολ} (t/km ² * a)
0,55	0,569	30,51	35	4.232,5

Στον Πίνακα 33 δίνεται η ετήσια στερεοπαροχή σε αιώρηση G, η οποία προσαυξάνεται κατά 15% ώστε να συμπεριλάβει και τη στερεοπαροχή από συρροή. Η συνολική στερεοπαροχή, G_{ολ}, προκύπτει πολλαπλασιάζοντας αυτή την τιμή με την επιφάνεια της λεκάνης.



Συνεπώς στην λεκάνη κατάκλυσης του φράγματος θα συγκεντρώνονται 4.232,5 τόνοι φερτών υλικών ανά έτος, που προσαυξανόμενοι κατά 1,8 δίνουν συνολικό ετήσιο όγκο φερτών υλικών 21.573 m³. Η προσαύξηση οφείλεται στη διόγκωση των φερτών υλικών κατά τη διάβρωση τους (λόγω του αυξημένου όγκου των κενών).

Η παραπάνω ποσότητα ετήσιας στερεοπαροχής αντιστοιχεί περίπου στο 0,1% του εκμεταλλεύσιμου όγκου νερού του ταμιευτήρα ο οποίος έχει προσδιοριστεί σε 26,1*10⁶ m³ (Κεφάλαιο 6). Αναφορικά με τη διάρκεια σχεδιασμού του έργου, τουλάχιστον 100 έτη, ο όγκος των φερτών υλικών θα έχει φθάσει περίπου στα 2,2*10⁶ m³, το οποίο ισούται με το 8% του εκμεταλλεύσιμου όγκου. Ο ρυθμός αυτός επιχωμάτωσης λόγω φερτών στερεών υλικών δεν θεωρείται μεγάλος και δεν χρειάζεται να εκτελεσθούν ειδικά έργα συγκράτησης των υλικών αυτών ώστε να αποτραπεί.

Τέλος, από όλες τις παραμέτρους που εξετάστηκαν, εκτός από τη βροχόπτωση και την απορροή, μόνο η γεωλογία της λεκάνης έχει σαφή επίδραση στη στερεοπαροχή και εξαρτάται από την αποσάθρωση των γεωλογικών σχηματισμών καθώς και στην επίδραση που έχει το νερό σε αυτά.

6. Αξιολόγηση θέσης φράγματος

6.1 Τύπος – χαρακτηριστικά φράγματος

➤ Τύπος φράγματος

Η επιλογή του τύπου του φράγματος εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων που αφορούν μορφολογικές, γεωλογικές - γεωτεχνικές συνθήκες και διαθεσιμότητα υλικών αναγκαίων για την κατασκευή του. Η προτεινόμενη θέση θεμελίωσης του φράγματος είναι μορφολογικά ευνοϊκή καθώς τοποθετείται σε ένα στένωμα της κοιλάδας του Ολύνθιου και για ύψος σχεδιασμού 73 m που φτάνει σε απόλυτο υψόμετρο 310 m.

Η γεωλογία είναι ο πλέον καθοριστικός παράγοντας, καθώς επηρεάζει την ποιότητα, την αντοχή και την περατότητα των σχηματισμών στη περιοχή του έργου. Όσον αφορά την γεωλογία στη θέση θεμελίωσης, αυτή χαρακτηρίζεται από συχνές εναλλαγές μεταψαμμιτών, γραφιτικών σχιστόλιθων, αργιλικών σχιστόλιθων και φυλλιτών σε μια φλυσχοειδή μορφή μετά-ιζημάτων. Η ετερογένεια αυτή μεταξύ ανθεκτικών πετρωμάτων και πετρωμάτων με φτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά μεταφράζεται και σε εναλλαγές της αντοχής και της συμπεριφοράς. Συγκεκριμένα, πρόβλημα μπορεί να αποτελέσει ο σχηματισμός του γραφιτικού σχιστόλιθου, ο οποίος αποτελεί έναν σχηματισμό με υψηλή διαβρωσιμότητα που εμφανίζεται κατά θέσεις πλήρως εδαφοποιημένος και με υψηλή σχετικά περατότητα.

Στη βάση της θέσης θεμελίωσης συναντάται η πιο υγιής βραχομάζα, ενώ το δεξί αντέρεισμα αυτής δομείται από σχηματισμούς με μειωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά σε σχέση τόσο με το αριστερό πρηνές όσο και με τη βάση. Οι σχηματισμοί εμφανίζονται πτυχωμένοι αλλά χωρίς έντονη καταπόνηση και με παρουσία ρηξιγενών δομών. Το μέσο μέτρο παραμορφωσιμότητας, E_m , στη συγκεκριμένη θέση ισούται με 5,75 GPa, το οποίο ενδεικτικά εκπροσωπεί μια βραχομάζα μέτριας έως ικανοποιητικής ποιότητας (παραμορφωσιμότητας), η οποία επιτρέπει την κατασκευή χωμάτων, βαρύτητας και οριακά τοξωτού φράγματος. Παρόλα αυτά, τα άκαμπτα φράγματα θα απορριφθούν λόγω οικονομικών παραγόντων, της ιδιομορφίας των σχηματισμών, συγκεκριμένα της ετερογένειας που φέρουν και των χαμηλών αντοχών τους στην περιοχή του έργου.

Προτείνεται εύκαμπτο – χωμάτινο φράγμα με κεντρικό αδιαπέρατο πυρήνα και πρηνή από βραχώδη υλικά. Από την ευρύτερη περιοχή καθώς και τη λεκάνη κατάκλυσης μπορεί να γίνει περιορισμένη χρήση γεω – υλικών για την κατασκευή του αργιλικού πυρήνα, βάσει του γεωλογικού χάρτη της περιοχής μελέτης κλίμακας 1:5.000, όμως η ύπαρξη δανειοθαλάμων σε κοντινή απόσταση μπορεί να επιλύσει αυτό το πρόβλημα. Τα σώματα στήριξης του φράγματος θα αποτελούνται από καλής ποιότητας βραχώδη προϊόντα εκσκαφών από τα αντερείσματα της στενής περιοχής του έργου.

➤ Χαρακτηριστικά του φράγματος

Οι μέσοι ετήσιοι όγκοι επιφανειακής απορροής στην υδρολογική λεκάνη του Ολύνθιου ανάντη του φράγματος ανέρχονται σε $20 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, χωρίς στην ποσότητα να έχει συνυπολογιστεί η περιβαλλοντική παροχή κατά τη λειτουργία του φράγματος. Με βάση τον όγκο κατακρημνισμάτων της περιοχής που υπολογίστηκε ίσος με $69 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, αποτέλεσμα επαρκές για τη πλήρωση της λεκάνης κατάκλυσης.

Η χωρητικότητα της λεκάνης κατάκλυσης σε σχέση με το ύψος του φράγματος αξιολογείται από το διάγραμμα ύψους φράγματος – χωρητικότητας.

Η κατασκευή του διαγράμματος έγινε με βάση τον τοπογραφικό χάρτη κλίμακας 1:5000, με ψηφιοποίηση των ισοϋψών ανά 4 m και υπολογισμό της αντίστοιχης έκτασης. Η λεκάνη κατάκλυσης ξεκινά από το υψόμετρο της βάσης θεμελίωσης του προτεινόμενου φράγματος ($H_0 = 238 \text{ m}$). Για τον όγκο του νερού μεταξύ αυτού του σημείου και της πρώτης ισοϋψούς χρησιμοποιήθηκε η σχέση:

$$V_1 = E_{\perp} * \left(\frac{H_1}{2}\right)$$

Ο όγκος του νερού που θα περιέχεται στον ταμιευτήρα μεταξύ των επόμενων διαδοχικών ισοϋψών υπολογίζεται από τη σχέση (από Δημόπουλος, 2007):

$$V_{V+1} = \frac{E_V + E_{V+1}}{2} * (H_{V+1} - H_V)$$

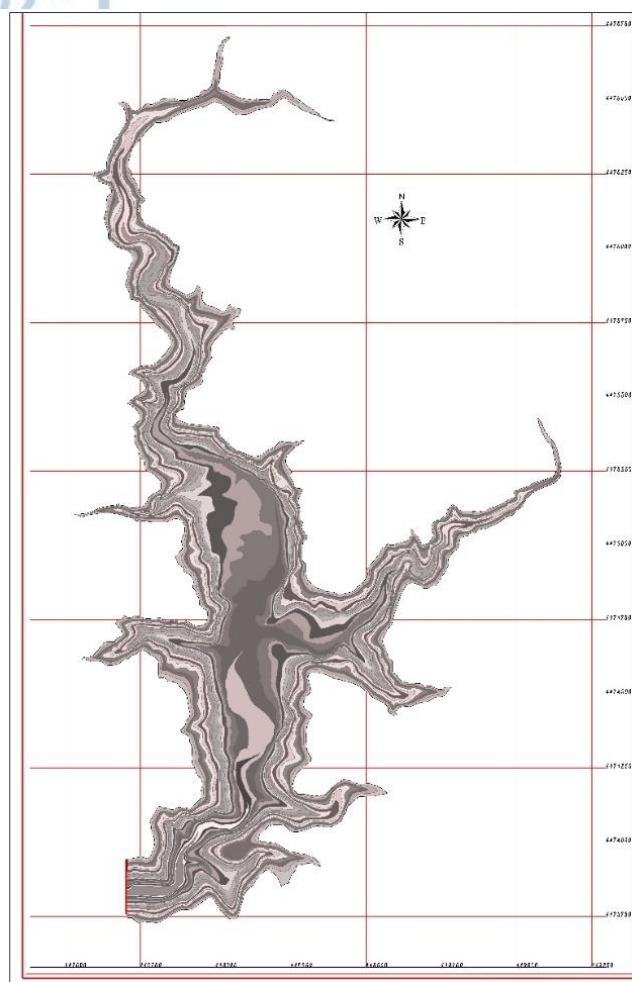
Όπου,

V_{V+1} = ο μερικός όγκος νερού μεταξύ των ισοϋψών $v + 1$

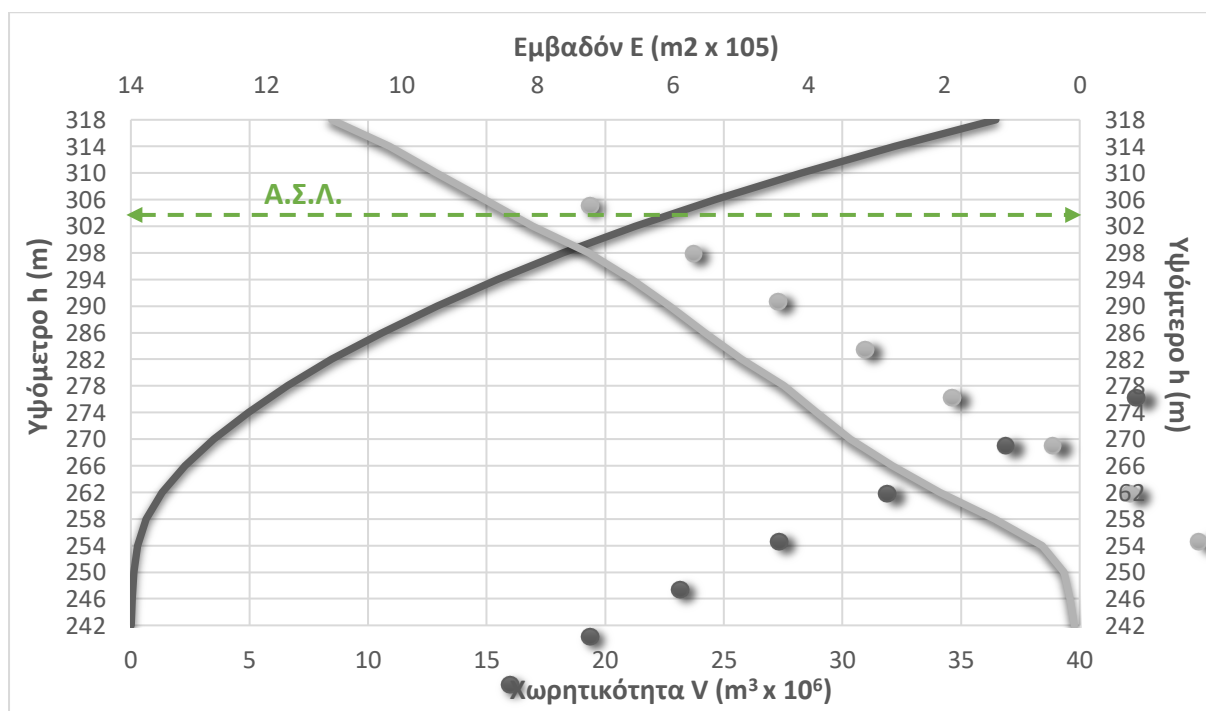
E_V / E_{V+1} = τα αντίστοιχα εμβαδά των επιφανειών των ισοϋψών

H_V / H_{V+1} = τα αντίστοιχα υψόμετρα των ισοϋψών

Η διαδικασία αυτή ακολουθήθηκε στις αμέσως επόμενες ισοϋψείς μέχρι το ύψος της ισοϋψούς 318m, με αποτέλεσμα να κατασκευασθεί το διάγραμμα ύψους φράγματος – χωρητικότητας του ταμιευτήρα (Εικόνα 125).



Εικόνα 124. Εμβαδομέτρηση ισοϋψών λεκάνης κατάκλυσης μέσω GIS.



Εικόνα 125. Χωρητικότητα λεκάνης κατάκλυσης σε σχέση με το ύψος φράγματος.

όπου $d = 3\text{m}$, ύψος ασφάλειας του φράγματος (m).

Για ύψος του φράγματος 73m προκύπτει όγκος ταμιευτήρα $26,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Το μήκος της στέψης του φράγματος μετρήθηκε μέσω του τοπογραφικού χάρτη κλίμακας 1:5.000, για υψόμετρο βάσης 238m, στο οποίο προστέθηκε το ύψος του φράγματος. Προέκυψε μήκος στέψης, $L = 210 \text{ m}$. Επιπρόσθετα εφαρμόστηκαν και εμπειρικοί τύποι για τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του φράγματος:

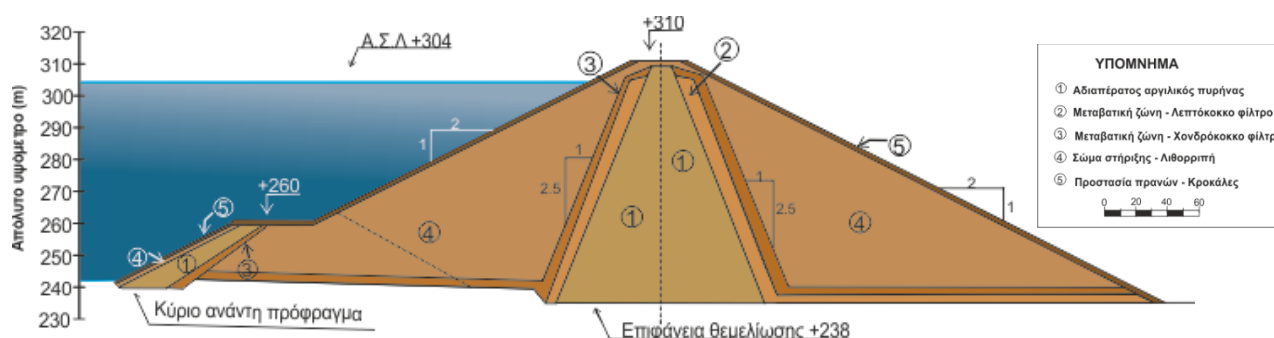
Μήκος στέψης φράγματος $\rightarrow x = 1 \cdot v_{HF}$

$$\text{Πλάτος στέψης} \rightarrow v = 2,7 \cdot H_F + x + 2,2 \cdot H_F$$

Εμβαδόν διατομής φράγματος $\rightarrow \frac{x+y}{2} * H_F$

Πίνακας 33. Χαρακτηριστικά σώματος φράγματος.

Διαστασιολόγηση σώματος φράγματος	
Ύψος φράγματος (m)	73
Μήκος στέψης φράγματος (m)	210
Πλάτος Στέψης φράγματος (m)	10,34
Πλάτος βάσης φράγματος (m)	363,14
Εμβαδόν διατομής φράγματος (m ²)	13.445,28



Εικόνα 126. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά - χωμάτινου φράγματος με αργιλικό πυρήνα.

Ζώνη 1: Αδιαπέρατος αργιλικός πυρήνας

Στα αργιλικά υλικά θα πρέπει να γίνουν δοκιμές κατάταξης σύμφωνα με τις σχετικές απαιτήσεις. Για τον αργιλικό πυρήνα αυτές είναι: ποσοστό $d > 75\%$ σε υλικό με μέγεθος κόκκων $< 4,75 \text{ mm}$ και ποσοστό $d < 35\%$ σε υλικό με μέγεθος κόκκων $< 0,0075 \text{ mm}$, το ποσοστό των οργανικών να είναι μικρότερο ίσο από 3% , ο δείκτης πλαστικότητας, $PI \geq 6$ και ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας $10^{-7} < k < 10^{-9} \text{ m/sec}$. Η διάστρωση και συμπύκνωση του αργιλικού πυρήνα αποτελεί τον πλέον καθοριστικό παράγοντα για να αποφευχθούν διασωληνώσεις εντός του σώματος του φράγματος. Το υλικό θα πρέπει να συμπυκνωθεί επί τόπου στη βέλτιστη υγρασία, έτσι ώστε να μην αναπτυχθούν ρωγμές ή να εκδηλωθούν καθιζήσεις.

Ζώνες 2 – 3: Φίλτρα - στραγγιστήρια

Η λειτουργία των φίλτρων συνίσταται στην αποφυγή της διάβρωσης του αργιλικού πυρήνα αλλά και της ανάπτυξης υδροστατικών πιέσεων πόρων. Ο τελικός σχεδιασμός θα πρέπει να βασιστεί σε συγκεκριμένες προδιαγραφές φίλτρων, ως υλικά συνήθως χρησιμοποιούνται διαβαθμισμένες άμμοι, χαλίκια και κορήματα.

Ζώνη 4: Σώμα στήριξης

Το σώμα στήριξης αποτελεί τη ζώνη, η οποία στηρίζει τον πυρήνα και τα φίλτρα, οπότε αποτελεί το βασικό παράγοντα ευστάθειας της κατασκευής. Επίσης, καταλαμβάνει τον κυριότερο όγκο υλικών του φράγματος. Τα υλικά για το σώμα στήριξης είναι συνήθως βραχώδη προϊόντα εκσκαφής, αλλά και αποθέσεων κοίτης, από σκληρά, ανθεκτικά πετρώματα και συμπαγή τεμάχια κατά το δυνατόν υγιούς βράχου.

Ζώνη 5: Προστασία πρανών

Η ανάντη ζώνη προστασίας συνίστανται σε λιθορριπή που προσφέρει προστασία από τη διάβρωση λόγω κυματισμών με κατάλληλη σύσταση και με μέγεθος γεωυλικών ώστε να ανθίστανται στη διαβρωτική δράση των κυμάτων σε βάθος χρόνου. Η κατάντη ζώνη προστασίας, προσφέρει προστασία από έκθεση στις καιρικές συνθήκες. Ο υπολογισμός μεγέθους λιθορριπής με κάποιον κατάλληλο τύπο διαστασιολόγησης είναι:

$$W_{50} = \frac{\gamma_r \times H^3}{K_{RR} \times (s_r - 1)^3 \times \cot \theta}$$

όπου:

$W_{50} \rightarrow$ το μέγιστο βάρος του 50% της λιθορριπής

$\gamma_r \rightarrow$ το ειδικό βάρος των λίθων

$H \rightarrow$ το ύψος του κύματος σχεδιασμού

$s_r \rightarrow$ ο λόγος ειδικών βαρών λίθων νερού γ_r/γ_w

$\theta \rightarrow$ η γωνία του πρανούς του φράγματος με το οριζόντιο επίπεδο

$K_{RR} \rightarrow$ συντελεστής ίσος με 2,50

6.2 Υλικά κατασκευής - Δανειοθάλαμοι

Η κατασκευή του χωμάτινου φράγματος, προϋποθέτει τη διαθεσιμότητα κατάλληλου γαιώδους υλικού για χρήση στην κάθε ζώνη από την οποία αποτελείται το φράγμα. Οι δανειοθάλαμοι για την απόληψη τέτοιων υλικών θα πρέπει να βρίσκονται είτε στη στενή περιοχή του έργου είτε σε κοντινή απόσταση από αυτήν ώστε να είναι οικονομικά συμφέρουσα η κατασκευή του συγκεκριμένου τύπου του φράγματος. Αν δεν υπάρχει επαρκής κατάλληλη ποσότητα στη περιοχή του έργου, θα πρέπει να γίνει καταγραφή των πιθανών θέσεων λήψης γεωυλικών στην ευρύτερη περιοχή.

Οι προϋποθέσεις για την επιλογή κατάλληλου δανειοθαλάμου είναι η κοντινότερη απόσταση από την θέση του έργου, η προσβασιμότητα, η επάρκεια και καταλληλότητα των υλικών.

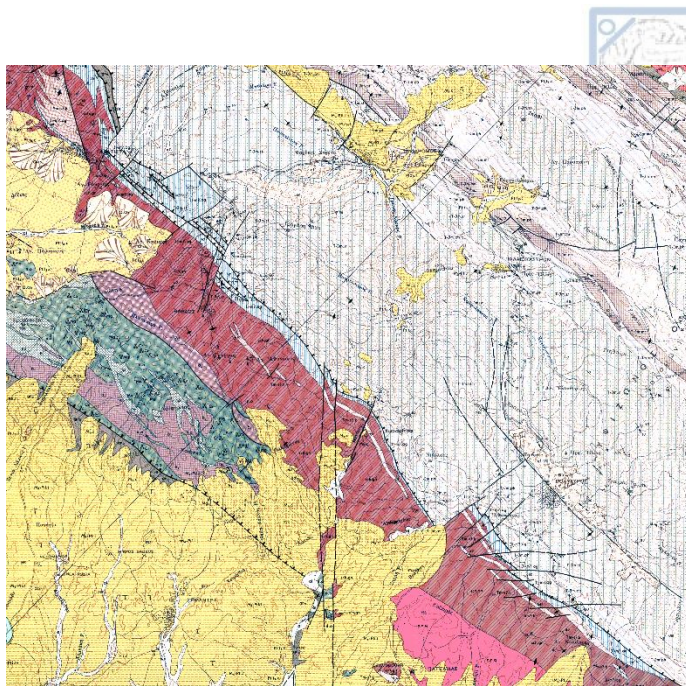
Στα υλικά των προτεινόμενων δανειοθαλάμων θα πρέπει να γίνουν εργαστηριακές δοκιμές κατάταξης εδάφους σύμφωνα με τις απαιτήσεις και αναλόγως με το σκοπό για τον οποίο θα χρησιμοποιηθούν.

Αναφορικά με τη θέση μελέτης στη στενή περιοχή του έργου, τόσο με βάση το γεωλογικό χάρτη 1:5.000, όσο και με υπαίθριες παρατηρήσεις δεν υπάρχει εμφάνιση κάποιου εκτεταμένου αργιλικού σχηματισμού. Λαμβάνοντας υπόψη και τα δεδομένα της γεώτρησης ΓΛ1, η σχετική κατάταξη γαιωδών υλικών που εντοπίστηκαν έδειξε ότι πρόκειται για ιλλυώδη άμμο, SM, υλικό το οποίο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον πυρήνα του φράγματος.

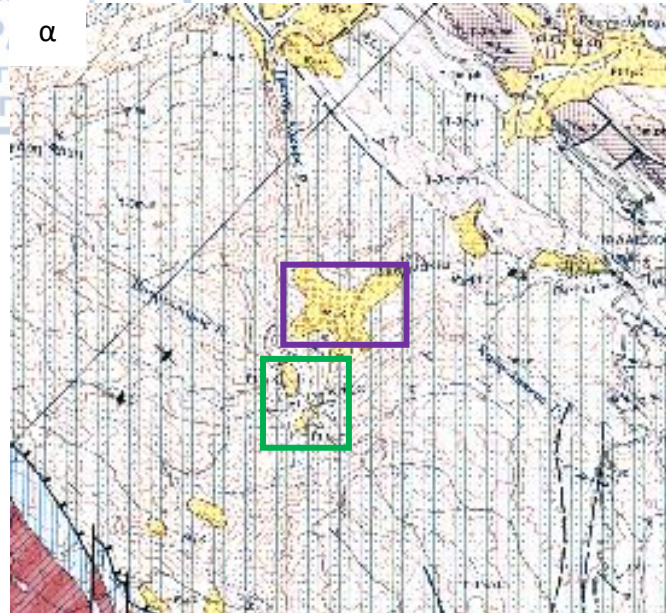
Η αναζήτηση δανειοθαλάμων στην ευρύτερη περιοχή, έγινε κυρίως μέσω του γεωλογικού χάρτη (Ι.Γ.Μ.Ε, φύλλο Πολύγυρος, κλίμακα 1:50.000). Σε απόσταση ≈ 14 km, από τη θέση θεμελίωσης του φράγματος υπάρχουν περιοχές στις οποίες αναπτύσσεται η σειρά των ερυθρών αργίλων του Νεογενούς που περιγράφονται ως ερυθρές έως κεραμόχρωμες άργιλοι, ιλυώδεις, με φυλλάρια μαρμαρυγία. Η έκταση του σχηματισμού είναι μεγάλη, οπότε θα χρειαστεί εκτενέστερη μελέτη για την επιλογή της καταλληλότερης θέσης με το κατάλληλο υλικό.

Όσον αφορά υλικά φίλτρων και στραγγιστηρίων του φράγματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν αμμοχάλικα ποτάμιας προέλευσης. Έλεγχος για τη ποσότητα και ποιότητα των υλικών μπορεί αρχικά να γίνει στη στενή περιοχή του έργου, στις αλλουβιακές αποθέσεις και το Κατώτερο και Ανώτερο σύστημα αναβαθμίδων.

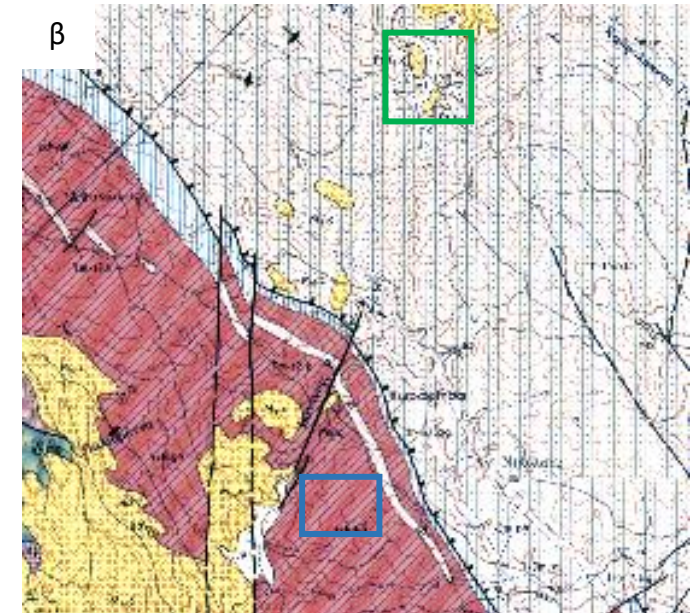
Το μεγαλύτερο τμήμα του φράγματος αποτελείται από τα σώματα στήριξης, τα υλικά των οποίων μπορούν να βρεθούν είτε στην περιοχή του φράγματος, καθώς σε απόσταση ≈ 2 km, βρίσκεται σχηματισμός κροκαλοπαγών. Σε περίπτωση όπου δεν επαρκούν είτε δεν είναι κατάλληλα για τα σώματα στήριξης τα υλικά αυτά, η δεύτερη προτεινόμενη θέση βρίσκεται σε απόσταση περίπου 12 km, ΝΔ από τη θέση του φράγματος. Σε περίπτωση όπου χρειαστούν ανθεκτικότεροι σχηματισμοί για την κατασκευή του σώματος στήριξης του φράγματος, προτείνεται η εναλλακτική λύση του σχηματισμού των γνευσίων, η οποία θέση βρίσκεται σε απόσταση 12 km, ΝΔ από τη θέση του φράγματος. Αναφορικά με το υλικό του αργιλικού πυρήνα, ο προτεινόμενος δανειοθάλαμος βρίσκεται σε απόσταση 15 km, ΝΔ από το φράγμα.



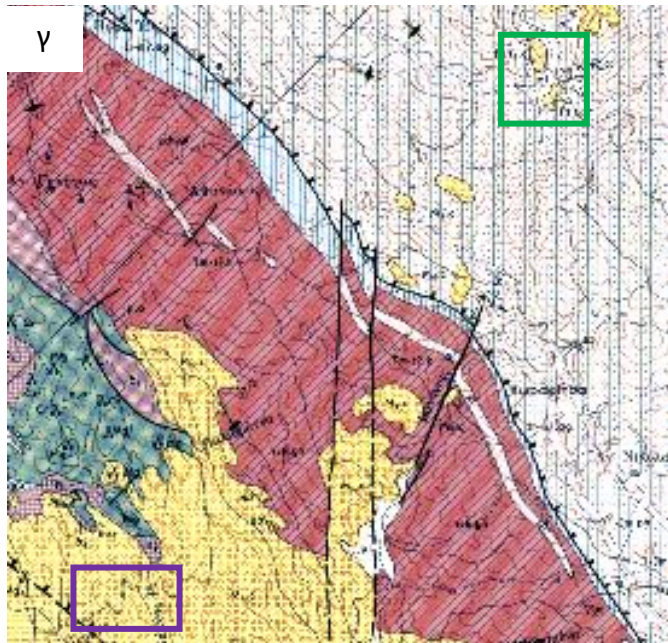
α



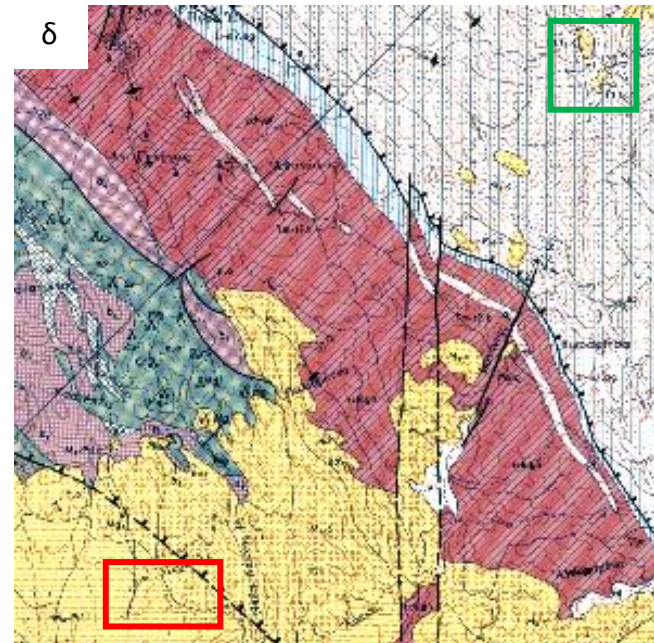
β



γ



δ



7. Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να αξιολογηθεί η καταλληλότητα της θέσης Λουζίκι, στον ποταμό Βατόνια (Ολύνθιος ποταμός), Νομός Χαλκιδικής, για την κατασκευή υδρευτικού – αρδευτικού φράγματος και των συνοδών του έργων. Η αξιολόγηση περιλαμβάνει θέματα ευστάθειας και στεγανότητας της προτεινόμενης θέσης καθώς και επιλογής του κατάλληλου τύπου φράγματος.

Βασικός υδρολογικός παράγοντας μιας προτεινόμενης θέσης φράγματος, αποτελεί η επιφανειακή απορροή, η οποία προκύπτει μέσω της επίλυσης της εξίσωσης του υδρολογικού ισοζυγίου, για να ελεγχθεί η κύρια πηγή πλήρωσης του φράγματος. Υπολογίστηκε πως από τα $\approx 69 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ νερού που διατίθενται στην ευρύτερη περιοχή, τα $\approx 20 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ αποτελούν την επιφανειακή απορροή.

Γεωλογικά, το έργο αναπτύσσεται σε πτυχωμένους σχηματισμούς: μεταψαμμίτη, γραφιτικού σχιστόλιθου, αργιλικού σχιστόλιθου και φυλλίτη, με έντονη παρουσία ανάστροφων τεκτονικών δομών και 5 κύριων οικογενειών διακλάσεων.

Μέσω στατιστικής ανάλυσης των παραμέτρων RQD, του βαθμού αποσάθρωσης, της περατότητας, του GSI, της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής έγινε διαχωρισμός 4 γενικών τεχνικογεωλογικών ενοτήτων. Βασικό κριτήριο του διαχωρισμού αποτέλεσε η λιθολογία λόγω της παραδοχής ότι η λιθολογία των σχηματισμών του υποβάθρου προσομοιάζει σε αυτήν ενός φλύσχη. Η παραδοχή αυτή είναι καθοριστική στον διαχωρισμό των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων μέσω της ποσόστωσης των διαφορετικών μελών της κάθε ενότητας.

Στη θέση θεμελίωσης του φράγματος απαντώνται οι καλύτερες οριζόμενες τεχνικογεωλογικές ενότητες οι οποίες φέρουν καλά μηχανικά χαρακτηριστικά. Οι σχηματισμοί έχουν ικανοποιητική αντοχή με ένα μέσο όρο $\sigma_{ci} \approx 63 \text{ MPa}$ και μέτρο παραμορφωσιμότητας $E_m \approx 5,75 \text{ GPa}$, στοιχείο το οποίο είναι γενικά καθοριστικό στην επιλογή τύπου φράγματος.

Τα ρήγματα στη θέση θεμελίωσης χρήζουν περαιτέρω μελέτης λόγω ενδεχόμενου κινδύνου ανατροπής του πόδα του φράγματος, εξαιτίας δημιουργίας υδροστατικών πιέσεων σε περίπτωση όπου οι ομόρροπες αλληλοτεμνόμενες τεκτονικές δομές έχουν μεγάλη εμμονή και τέμνονται από μια αντίρροπη. Στη περίπτωση αυτή προτείνεται να διενεργηθούν αποστραγγιστικές γεωτρήσεις για την αποφυγή υδραυλικής φόρτισης καθώς και δειγματοληπτικές γεωτρήσεις για να εντοπιστεί ή να απορριφθεί αυτό το ενδεχόμενο.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης σχετικά με την περατότητα, έδειξαν πως στη θέση θεμελίωσης απαντώνται στεγανοί σχηματισμοί, χαμηλής περατότητας, $3,3 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-7} \text{ m/sec}$. Η γωνία κλίσης των σχηματισμών είναι μεγάλη ($> 50^\circ$) και προς τα ανάντη (BA), στοιχείο τα οποία δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες διότι δεν επιτρέπονται διαφυγές κατάντη του φράγματος και των αντερεισμάτων. Επίσης, προτείνεται στη θέση θεμελίωσης η κατασκευή κουρτίνας τσιμεντενέσεων για την αποφυγή υπόγειων ροών

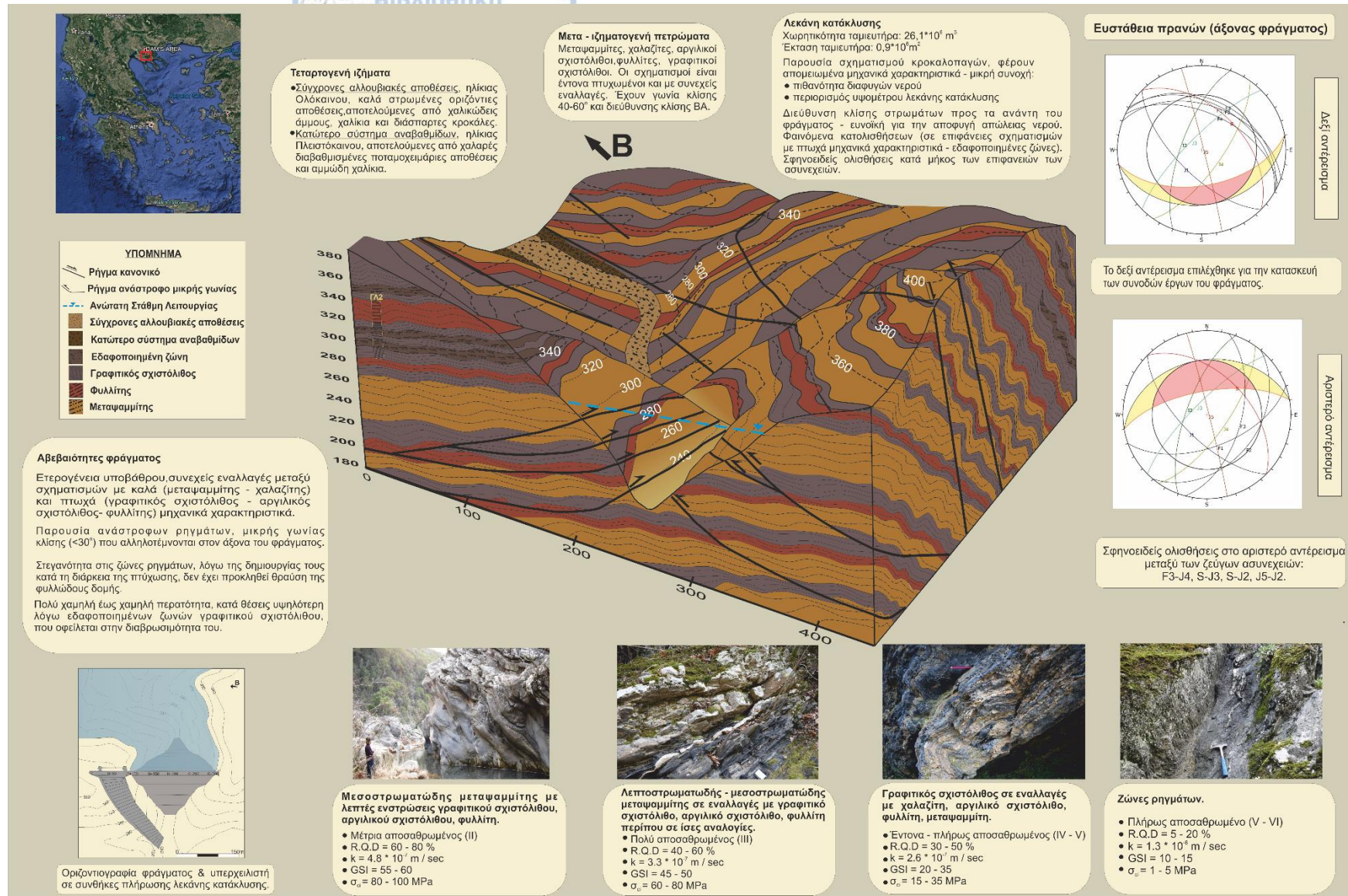
προς τα κατάντη και την πιθανότητα εμφάνισης υπόγειας διάβρωσης. Το συνολικό μήκος της κουρτίνας τσιμεντενέσεων είναι ≈ 450 m και το βάθος της κυμαίνεται από 40 έως 90m.

Ο έλεγχος ευστάθειας των αντερεισμάτων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την αποφυγή αστοχιών του έργου καθώς και για την επιλογή αντερείσματος για τα συνοδά έργα του φράγματος. Στο δεξί αντέρεισμα, μέσω κινηματικής ανάλυσης, προσδιορίστηκε μια αναμενόμενη σφηνοειδής ολισθήση, με υψηλό συντελεστή ασφαλείας. Ενώ, στο αριστερό αντέρεισμα, προσδιορίστηκαν σφηνοειδείς ολισθήσεις ανάμεσα σε 4 ζευγάρια ασυνεχειών, με χαμηλό συντελεστή ασφαλείας. Ο έλεγχος ευστάθειας έναντι αστοχιών, έδειξε πως το αριστερό αντέρεισμα αναμένονται προβλήματα αστοχιών και δεν πρέπει να προτιμηθεί για την κατασκευή των αναγκαίων συνοδών έργων. Προτείνεται να γίνει ενίσχυση των πρανών με τοποθέτηση αγκυρίων και όσον αφορά τη διασφάλιση της στεγανότητας να γίνουν τσιμεντενέσεις και στα δυο αντερείσματα. Ιδιαίτερη προσοχή χρήζει το δεξί αντέρεισμα λόγω της παρουσίας της εδαφοποιημένης ζώνης σε βάθος 40 m από την επιφάνεια.

Όσον αφορά τα συνοδά έργα του φράγματος, υπερχειλιστής – σήραγγα εκτροπής, προτείνεται να κατασκευαστεί υπερχειλιστής ανοιχτής διώρυγας στο δεξί αντέρεισμα με εκσκαφή και δημιουργία τεχνητών πρανών οριζόμενης γωνίας κλίσης $\approx 55^\circ$, ώστε να μην αστοχήσει το έργο. Η χάραξη της σήραγγας εκτροπής προτείνεται να γίνει στο δεξί αντέρεισμα, όπου ορίστηκαν τα στοιχεία προσανατολισμού των τεχνητών πρανών για το στόμιο εισόδου και εξόδου, ώστε να αποφευχθούν δυνητικές αστοχίες στα στόμια. Η σήραγγα εκτροπής κατά τη διάνοιξη της συναντά 3 τεχνικογεωλογικές ενότητες οι οποίες διαχωρίζονται σε υποενότητες και οι κύριες αστοχίες που αναμένονται είναι αστοχίες τύπου καμινάδας ή σφηνοειδείς ολισθήσεις.

Βάσει των γεωλογικών συνθηκών που αναλύθηκαν και λόγω οικονομικών παραγόντων, το προτεινόμενο φράγμα είναι χωμάτινο με αργλικό πυρήνα. Έχουν προταθεί 4 γειτνιάζουσες θέσεις που μπορούν να αποτελέσουν μελλοντικούς δανειοθαλάμους για την κατασκευή του φράγματος, σε κοντινή απόσταση από αυτό (< 15 km).

Τέλος, με τα υπάρχοντα δεδομένα, η θέση Λουζίκι θεωρείται κατάλληλη για τη κατασκευή χωμάτινου φράγματος. Όμως θα πρέπει να διερευνηθεί εκτενέστερα με μια σειρά από γεωτρήσεις που πρέπει να γίνουν στη θέση θεμελίωσης και στα αντερείσματα για να υπάρξει μια πλήρης εικόνα για τους σχηματισμούς του υποβάθρου αναφορικά με τη δομή και την αντοχή τους, καθώς και δοκιμές περατότητας σε συγκεκριμένες θέσεις. Προτείνεται η τοποθέτηση πιεζομέτρων για τον έλεγχο της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα σε θέσεις ανάντη του φράγματος, στον άξονα του φράγματος και ανά θέσεις στα αντερείσματα όπου οι γεωτρήσεις έχουν εντοπίσει εδαφοποιημένες ζώνες, οι οποίες μπορούν να αποτελέσουν διόδους διαφυγών νερού. Επίσης, λόγω πρόσφατης κατολίσθησης σε τοπικό δρόμο, σε απόσταση ≈ 500 m από τη θέση του φράγματος, δεν υπάρχει άμεση πρόσβαση στη θέση και χρήζει να ξανά γίνει η διάνοιξη του δρόμου. Στη περιοχή θα πρέπει να τοποθετηθούν αποκλισιόμετρα σε κατολισθημένες ζώνες για τον έλεγχο τους.



Εικόνα 128. Εννοιολογικό μοντέλο (conceptual model) της περιοχής μελέτης.

Chanson, H. (2009). Embankment Overflow Protection Systems and Earth Dam Spillways. Dams: Impacts, Stability and Design. Walter P. Hayes and Michael C. Barnes.

ISRM Rock characterization, testing and monitoring. In: Brown ET (ed) ISRM suggested methods. Pergamon Press, Oxford, p 211,1981.

Makedon, T., Chatzigogos, N., Karamouzis, D. (2009). The effect of geology on the suitability of the Olynthios river dam site, Northern Greece. Bulletin of Engineering Geology and the Environment.

Marinos, V (2017). A revised, geotechnical classification GSI system for tectonically disturbed heterogeneous rock masses, such as flysch, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, <https://doi.org/10.1007/s10064-017-1151-z>.

Marinos, V. (2014). Tunnel behavior and support associated with the weak rock masses of flysch. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering.

Mejia, L., H. (2013). Analysis and Design of Embankment Dams for Foundation Fault Rupture. Conference: New Zealand Geotechnical Society 19th Symposium at Queenstown, New Zealand.

Tranos, M., Kiliass, A. & Mountrakis, D., (1999). Geometry and kinematics of the Tertiary post metamorphic Circum Rhodope Belt Thrust System (CRBTS), Northern Greece. Bull. Geol. Soc. Gr., 33, 5-16.

Ελληνική βιβλιογραφία

Αντωνόπουλος, Β.Ζ., Γεωργίου, Π.Ε., Καραμούζης, Δ.Ν. (1999). Διαχείριση των λυμάτων του Πολύγυρου με διάθεση στο ρέμα του Ολύνθιου και με επαναχρησιμοποίηση για άρδευση. Πρακτικά συνεδρίου Heleco.

Διαμάντης, Ν., Καραμούζης, (2008). Γεωτεχνική έρευνα και παρουσίαση αποτελεσμάτων φράγματος Ολύνθιου (Θέση Λουζίκι), Επιτροπή Ερευνών Α.Π.Θ.

Δημόπουλος, Δ., Στεφανάκος, Ι.Π. (2008). Υπερχειλιστές και εκκενωτές πυθμένα στα τέσσερα παλαιότερα φράγματα της ΔΕΗ από σκυρόδεμα. 1ο Πανελλήνιο συνέδριο Μεγάλων Φραγμάτων (ΤΕΕ, Τμ. Κεντρ. & Δυτικής Θεσσαλίας, Λάρισα).

Θανόπουλος, Ι., Αναστασόπουλος, Κ. (2008). Λιθόρριπτα Φράγματα με ανάντη πλάκα σκυροδέματος: Εμπειρίες από τον Θεσσαλικό χώρο και σύγχρονη τεχνογνωσία. 1ο Πανελλήνιο συνέδριο Μεγάλων Φραγμάτων (ΤΕΕ, Τμ. Κεντρ. & Δυτικής Θεσσαλίας, Λάρισα).

Κούκης, Γ., Σαμπατακάκης, Ν. (2007). Γεωλογία Τεχνικών Έργων. Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Λουπασάκης, Κ., Χρηστάρας, Β., Δημόπουλος, Γ., Χατζηγώγος, Θ. (2008). Υλικά Κατασκευής Χωμάτων Φραγμάτων και Προσομοίωση της Ελαστοπλαστικής Συμπεριφοράς τους – Εφαρμογή στο Φράγμα Σφήκα. 1ο Πανελλήνιο συνέδριο Μεγάλων Φραγμάτων (ΤΕΕ, Τμ. Κεντρ. & Δυτικής Θεσσαλίας, Λάρισα).

Μακεδών, Θ. (2019). Τεχνικά έργα Φράγματα. Π.Μ.Σ Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία, Κατεύθυνση Τεχνική Γεωλογία και Περιβάλλον.

Μαρίνος, Β. (2012). Ευστάθεια βραχώδων πρηνών. Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, ΑΠΘ.

Μαρίνος, Γ. Π., Καζίλης Ν. (1991). Στεγανότητα φραγμάτων και ταμιευτήρων. Ταξινόμηση Ελληνικών περιπτώσεων. Πρακτικά ημερίδας Γεωλογία και Φράγματα, ΕΕΤΓ της ΙΑΕΓ, Αθήνα.

Μαρίνος, Π. (1991). Γεωλογία φραγμάτων. Διεθνείς και ελληνικές εμπειρίες. Πρακτικά ημερίδας Γεωλογία και Φράγματα, ΕΕΤΓ της ΙΑΕΓ, Αθήνα.

Μαρίνος, Π., Καββαδάς, Μ., Κοτσώνης, Α., Κοτσώνης, Λ., Σωμάκος, Λ., Περγλέρος, Β., Λαζαρίδου, Σ. (2008). Γεωλογικά – Γεωτεχνικά θέματα κατά την κατασκευή του φράγματος Γαδούρα Ρόδου – Τεχνικά στοιχεία του έργου. 1ο Πανελλήνιο συνέδριο Μεγάλων Φραγμάτων (ΤΕΕ, Τμ. Κεντρ. & Δυτικής Θεσσαλίας, Λάρισα).

Μαραγκός, Χ., (1992). Τεχνικά Έργα Υποδομής – Υπόγειες κατασκευές, Βραχομηχανική. Φράγματα. Έκδοση Υπηρεσίας Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.

Μουντράκης, Δ. (2010). Γεωλογία και Γεωτεχνική εξέλιξη της Ελλάδας. Εκδόσεις University Studio Press.

Μπαμπατζιμόπουλος, Χ., Καραμούζης, Δ., Καβαλιεράτου, Σ. (2003). Διαχείριση των υδάτινων πόρων των ταμιευτήρων Χαβρία, Ολύνθιου και Πετρένια Ν. Χαλκιδικής και διαστασιολόγηση αγωγών μεταφοράς νερού. 9ο Πανελλήνιο Συνέδριο της Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης (ΕΥΕ), Θεσσαλονίκη.

Παπαγεωργίου, Ο., Α. (2008). Τύπο φραγμάτων, γεωτεχνικά προβλήματα και συμπαραμαρτούντα έργα. 1ο Πανελλήνιο συνέδριο Μεγάλων Φραγμάτων (ΤΕΕ, Τμ. Κεντρ. & Δυτικής Θεσσαλίας, Λάρισα).

Παρισόπουλος, Γ., Γεωργίου, Π., Καραμούζης, Δ., Δημόπουλος, Γ., Παπαμιχαήλ, Δ., Μακεδών, Θ. (2013). Πολυκριτηριακή αξιολόγηση εναλλακτικών θέσεων φράγματος και έργων κεφαλής Ολυνθίου ποταμού στη Χαλκιδική. 14ο Πανελλήνιο Συνέδριο της Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης (Ε.Υ.Ε.).

Πίνακας 34. Βροχομετρικά στοιχεία ανά έτος για κάθε σταθμό.

ΕΤΗ	ΜΗΝΕΣ												Σύνολο έτους
	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	
ΤΑΞΙΑΡΧΗΣ													
1986	52.5	383.6	32.7	21.9	59.8	174.0	35.8	16.5	28.0	23.0	49.3	46.1	923.2
1987	80.7	116.7	170.4	129.5	28.1	38.9	30.4	32.5	25.5	132.2	214.8	68.1	1067.8
1988	33.5	86.4	37.8	40.7	25.2	56.9	51.3	22.9	1.9	6.4	117.6	130.8	611.4
1989	3.0	7.0	69.1	38.0	80.2	161.2	124.0	7.1	63.5	40.4	75.0	80.5	749.0
1990	0.0	14.8	12.0	70.8	73.8	36.2	100.3	6.3	38.0	92.7	43.4	258.4	746.7
1991	22.6	72.2	57.2	99.1	111.2	42.6	45.9	162.4	7.9	36.4	72.8	33.5	763.8
1992	10.1	15.0	21.1	93.9	54.3	85.2	82.1	0.3	4.0	36.1	51.3	64.3	517.7
1993	23.5	28.9	56.9	31.1	90.5	52.2	6.0	20.0	12.1	20.8	132.2	43.3	517.5
1994	132.3	126.2	27.1	74.7	83.5	3.6	33.2	11.3	0.0	60.3	57.5	83.9	693.6
1995	127.5	18.8	67.0	22.1	22.0	140.0	76.6	79.7	36.3	48.0	69.5	329.4	1036.9
	48.6	87.0	55.1	62.2	62.9	79.1	58.6	35.9	21.7	49.6	88.3	113.8	762.8
ΑΓΙΟΣ ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ													
1986	11.3	38.1	5.1	1.2	10.8	118.0	46.6	8.9	22.5	61.6	50.5	40.0	414.6
1987	16.5	31.9	74.4	60.8	9	17	30.9	25.6	16.8	37.4	47.7	26.2	394.2
1988	21.2	46.4	125	19	53.1	21.3	59.3	27.5	0.8	70.1	142	19.1	604.8
1989	0	1.2	55.4	20.5	96.7	41.6	40	0	74.1	26.9	81.2	89.7	527.3
1990	0	5	8.3	49.5	51.3	12.6	32.2	17	31.9	35.6	35.8	41.9	321.1
1991	17.5	37.7	33.9	82.6	44.3	23.4	55.6	152	25.5	129	58.6	191	851.1
1992	0.4	9	7.9	65.7	37	44	102	0	5.6	25.9	45.6	7.1	350.2
1993	7.1	13.5	46.1	13.7	66.5	66.4	0	3.2	3.8	33.7	36.2	33.6	323.8
1994	64.5	40.8	16.3	53.9	40.3	3	61.5	6.3	0	12	72.9	8.7	380.2
1995	24.9	4.2	37.4	16.1	28.2	19	50.8	68.7	26.6	48	51.5	46.3	421.7
	16.3	22.8	41.0	38.3	43.7	36.6	47.9	30.9	20.8	48.0	62.2	50.4	458.9
ΠΟΛΥΓΥΡΟΣ													
1970	61.8	63.1	101.7	28.2	41.5	43	48.8	29.9	27.6	51.4	21.9	41	559.9
1971	49.6	15.2	22	115	31	10	61	12	22	89.3	12	4	443.1
1972	21.5	22	47.3	58	3	24	46	32	63	65	22	11	414.8
1973	35	32	42	55	48	61	0	16	14	20	52	62	437
1974	9	20.6	39.7	14.8	56.2	54.8	37.3	24.4	27.4	62.6	41.9	1.5	390.2
1975	16.1	38.7	42.2	31.9	82.1	39.7	17.3	72.7	16.1	106.4	54.4	6.9	524.5
1976	20	6.7	59	9.8	53.1	38.4	37.4	5.3	20.2	0	62.9	14	326.8
1977	49.7	11	20.2	66	84.2	31.8	11.9	8.3	57.6	59.8	114.6	4.1	519.2
1978	25.2	23.1	23.1	45.5	72	45.5	73	0.8	41.5	60.5	109.5	70	589.7
1979	70	16	68.3	56	72	39	22	24	8	91	57	129.9	653.2
	35.79	24.84	46.55	48.02	54.31	38.72	35.47	22.54	29.74	60.6	54.82	34.44	485.84

Πίνακας 35. Δεδομένα θερμοκρασίας ανά έτος για κάθε σταθμό.

ΕΤΗ	ΜΗΝΕΣ												Σύνολο έτους
	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	
2005	2.98	1.41	6.14	10.29	16.04	17.8	21.95	21.42	17.61	11.09	5.72	4.18	11.39
2006	0.37	2.92	6.02	10.60	15.32	18.87	21.25	23.09	16.87	12.84	8.76	4.79	11.81
2007	6.80	4.60	7.31	11.21	16.41	21.29	24.56	22.58	16.93	12.94	6.39	2.75	12.81
2008	2.27	3.94	9.15	11.67	15.68	20.45	22.07	23.8	16.59	13.69	9.598	3.64	12.71
2009	3.44	1.99	5.88	10.98	17.01	19.96	22.25	21.4	17.01	13.71	10.26	6.18	12.51
2010	2.02	4.23	6.77	11.01	16.73	19.08	21.84	24.41	17.7	10.49	12.83	4.83	12.66
2011	3.45	4.03	5.74	8.77	14.67	19.38	23.12	21.59	20.26	10.8	5.52	4.47	11.82
2012	-0.21	0.49	7.36	11.61	15.56	22.24	27.92	23.9	18.91	15.22	9.54	2.56	12.93
2013	3.06	4.23	6.69	12.57	17.66	19.34	21.59	23.11	17.78	12.69	9.09	3.49	12.60
2014	5.60	5.92	8.57	10.20	14.7	19.01	23.51	21.98	15.56	11.66	7.53	5.12	12.40
	2.98	3.38	6.96	10.89	15.98	19.74	23.01	22.73	17.52	12.51	8.52	4.20	12.36
2007	7.8	5.8	8.4	12.3	18.2	23.5	26.4	24.8	18.5	14.6	8.5	4.5	14.44
2008	4.4	5.5	10.4	13	17.1	22.4	23.9	25.5	18.5	14.8	8.3	6.1	14.16
2009	5.5	4	7.2	12.3	18.1	21.4	24.1	23.3	18.6	15.4	11.7	8.9	14.21
2010	4.5	6.3	8.3	12.7	17.9	20.7	23.7	26.4	19.8	12.4	14.2	7.4	14.53
2011	5.4	5.7	7.3	10.5	16.3	21	24.9	23.7	22	12.1	7.1	6.6	13.55
2012	1.8	2.9	8.4	12.9	17.1	23.9	27	25.8	20.9	17.6	11.7	5.2	14.60
2013	5.5	6.5	8.5	14.1	19.5	20.9	23.2	24.8	19.6	14.5	11.2	5.8	14.51
2014	7.4	7.7	9.6	12	16.5	20.9	23.1	23.8	18.1	13.8	9.7	7.1	14.14
2015	5.3	4.7	6.2	11.1	18	19.7	24.7	24.7	21.3	13.7	12.9	7.5	14.15
2016	5.1	10.1	8.8	15.4	16.3	23.2	24.4	24.3	19.3	13.8	10.6	6.6	14.83
	5.27	5.92	8.31	12.63	17.5	21.76	24.54	24.71	19.66	14.27	10.59	6.57	14.31
1970	5.39	3.61	7.27	11.30	17.12	20.65	24.18	23.11	18.06	12.85	7.11	4.34	12.92
1971	2.39	4.21	8.21	11.80	16.21	20.64	22.58	24.30	17.69	13.82	8.53	5.45	12.98
1972	6.15	4.30	7.26	11.76	17.26	21.35	24.33	22.94	17.77	14.17	9.05	5.83	13.51
1973	3.39	5.12	8.72	12.19	16.79	20.58	22.89	25.10	18.20	13.05	11.90	5.52	13.62
1974	4.42	3.84	6.59	10.74	16.66	20.48	23.58	22.55	19.51	12.91	8.68	6.39	13.03
1975	1.91	3.57	7.59	11.96	16.92	21.49	24.42	25.11	19.30	14.05	12.27	5.02	13.63
1976	4.47	5.26	7.12	11.44	17.09	20.14	23.16	23.20	19.93	12.65	8.36	5.14	13.16
1977	3.60	4.10	8.48	11.81	16.03	21.57	25.51	23.85	18.51	14.51	9.62	4.83	13.54
1978	4.18	4.47	6.45	11.84	17.83	19.52	23.15	23.91	19.54	13.20	11.00	5.50	13.38
1979	5.35	8.01	8.68	12.80	15.50	21.11	23.96	23.14	17.43	12.73	9.07	5.86	13.61
	4.12	4.65	7.64	11.76	16.74	20.75	23.77	23.72	18.59	13.39	9.56	5.39	13.34

ΤΑΞΙΑΡΧΗΣ

ΠΟΛΥΓΥΡΟΣ

ΑΓΙΟΣ ΠΡΟΔΡΟΜΟΣ

Πίνακας 36. Μετρήσεις προσανατολισμού ασυνεχεία από υπαίθρια εργασία.

Γωνία κλίσης (°)	Διεύθυνση κλίσης (°)
38	225
46	225
70	225
58	225
64	230
52	200
70	235
66	225
60	235
62	230
84	300
70	280
80	300
70	290
80	320
82	330
80	310
77	315
70	125
70	125
84	135
60	135
70	140
56	045
54	030
49	048
30	050

Γωνία κλίσης (°)	Διεύθυνση κλίσης (°)
50	051
38	049
40	048
38	055
50	041
58	062
60	038
80	268
61	267
45	030
54	030
49	048
30	050
50	051
38	049
40	048
38	055
50	041
58	062
60	038
80	268
61	267
45	030
46	045
65	130
68	136
64	146

Γωνία κλίσης (°)	Διεύθυνση κλίσης (°)
81	090
35	022
69	188
55	175
69	332
40	138
55	041
75	152
55	150
74	142
89	132
75	272
82	228
34	050
81	090
35	022
69	188
55	175
69	332
40	138
55	041
75	152
55	150
74	142
89	132
75	272
82	228

Γωνία κλίσης (°)	Διεύθυνση κλίσης (°)
34	050
66	225
70	290
77	315
70	125
56	045
64	055
85	206
85	096
84	097
89	100
52	037
45	028
36	032
66	225
70	290
77	315
70	125
56	045
64	055
85	206
85	096
84	097
89	100
52	037
45	028
36	032

Γωνία κλίσης (°)	Διεύθυνση κλίσης (°)
82	230
85	184
54	032
50	117
80	109
35	034
68	262
70	256
45	022
74	262
65	264
85	322
88	318
87	319
72	264
72	262
55	204
37	029
45	058
34	062
40	060
75	278
82	292
74	291
67	144
66	146
62	212
70	214
63	134
56	228
65	294
55	142
55	024
40	028
37	026
55	224

Γωνία κλίσης (°)	Διεύθυνση κλίσης (°)
65	134
73	138
80	294
45	038
45	042
75	294
65	156
60	152
80	290
80	292
73	288
75	145
67	154
45	041
75	128
75	208
75	242
50	256
89	294
89	287
75	316
75	309
77	302
80	308
38	044
35	049
70	216
76	318
72	310
81	327
74	317
70	321
73	320
82	328
85	326
77	307

Γωνία κλίσης (°)	Διεύθυνση κλίσης (°)
79	318
75	308
78	312
83	324
72	311
83	320
78	307
84	327
76	305
74	310
77	318
83	327
71	302
78	317
82	327
74	313
75	319
82	324
58	210
64	232
71	228
73	222
67	198
74	212
79	220
82	230
77	232
69	227
70	231
65	226
76	232
54	205
57	210
62	218
69	288
74	295
79	318

Γωνία κλίσης (°)	Διεύθυνση κλίσης (°)
68	284
77	286
79	280
82	293
85	287
69	275
73	269
77	281
74	273
72	284
78	296
76	289
75	297
62	140
69	134
72	126
75	132
79	133
67	122
68	119
72	110
80	105
33	028
35	042
37	037
41	027
52	043
54	059
32	045
44	049
46	053
42	037
38	044
30	048
37	057
40	039
68	284

Πίνακας 37. Στοιχεία μετρήσεων S--> σχιστότητας, J--> οικογένειες ασυνεχειών, προβολή σε στερεοδιάγραμμα Schmidt (γεωλογική τομή AA').

	Τύπος	Γωνία κλίσης (°)	Διεύθυνση κλίσης (°)
1	S ₁	34	050
2	S ₂	50	047
3	S ₃	56	042
4	S ₄	52	045
5	S ₅	44	052
6	J ₁	66	225
7	J ₂	70	290
8	J ₃	77	315
9	J ₄	70	125
10	J ₅	88	076

Πίνακας 38. Στοιχεία ρηγμάτων κατά μήκος του άξονα του φράγματος.

	Τύπος	Γωνία κλίσης (°)	Διεύθυνση κλίσης (°)
1	F ₁	46	020
2	F ₂	44	030
3	F ₃	40	028
4	F ₄	54	025
5	F ₅	58	160
6	F ₆	39	130
7	F ₇	56	105

Πίνακας 39. Στοιχεία μετρήσεων S--> σχιστότητας, J--> οικογένειες ασυνεχειών, προβολή σε στερεοδιάγραμμα Schmidt (γεωλογική τομή BB').

	Τύπος	Γωνία κλίσης (°)	Διεύθυνση κλίσης (°)
1	S ₁	50	047
2	S ₂	44	068
3	S ₃	40	065
4	S ₄	52	046
5	J ₁	66	225
6	J ₂	70	290
7	J ₃	77	315
8	J ₄	70	125
9	J ₅	88	076

Πίνακας 40. Στοιχεία ρηγμάτων κατά μήκος του αριστερού αντερείσματος.

	Τύπος	Γωνία κλίσης (°)	Διεύθυνση κλίσης (°)
1	F ₁	84	090
2	F ₂	65	040

Πίνακας 41. Στοιχεία μετρήσεων S--> σχιστότητας, J--> οικογένειες ασυνεχειών, προβολή σε στερεοδιάγραμμα Schmidt (γεωλογική τομή ΓΓ').

	Τύπος	Γωνία κλίσης (°)	Διεύθυνση κλίσης (°)
1	S ₁	44	068
2	S ₂	34	045
3	S ₃	40	065
4	S ₄	54	045
5	J ₁	66	225
6	J ₂	70	290
7	J ₃	77	315
8	J ₄	70	125
9	J ₅	88	076

Πίνακας 42.. Στοιχεία ρηγμάτων κατά μήκος της τομής ΓΓ'.

	Τύπος	Γωνία κλίσης (°)	Διεύθυνση κλίσης (°)
1	F ₁	57	030
2	F ₂	45	025
3	F ₃	48	040
4	F ₄	38	020



Πίνακας 43. Στοιχεία μετρήσεων S--> σχιστότητας, J--> οικογένειες ασυνεχειών, προβολή σε στερεοδιάγραμμα Schmidt (γεωλογική τομή ΔΔ').

Α.Π.Θ	Τύπος	Γωνία κλίσης (°)	Διεύθυνση κλίσης (°)
1	S ₁	54	065
2	S ₂	52	049
3	S ₃	60	050
4	S ₄	60	053
5	J ₁	66	225
6	J ₂	70	290
7	J ₃	77	315
8	J ₄	70	125
9	J ₅	88	076

Πίνακας 44. Στοιχεία ρηγμάτων κατά μήκος της τομής ΔΔ'.

	Τύπος	Γωνία κλίσης (°)	Διεύθυνση κλίσης (°)
1	F ₁	85	088
2	F ₂	88	092
3	F ₃	72	265
4	F ₄	84	285
5	F ₅	63	084

Πίνακας 45. Στοιχεία μετρήσεων S--> σχιστότητας, J--> οικογένειες ασυνεχειών, προβολή σε στερεοδιάγραμμα Schmidt (γεωλογική τομή ΕΕ').

	Τύπος	Γωνία κλίσης (°)	Διεύθυνση κλίσης (°)
1	S	70	050
2	J ₁	66	225
3	J ₂	70	290
4	J ₃	77	315
5	J ₄	70	125
6	J ₅	88	076

Πίνακας 46. Στοιχεία ρηγμάτων κατά μήκος της τομής ΕΕ'.

	Τύπος	Γωνία κλίσης (°)	Διεύθυνση κλίσης (°)
1	F ₁	87	086
2	F ₂	89	090
3	F ₃	70	240

Πίνακας 47. Στοιχεία μετρήσεων S--> σχιστότητας, J--> οικογένειες ασυνεχειών, προβολή σε στερεοδιάγραμμα Schmidt (γεωλογική τομή ΖΖ').

	Τύπος	Γωνία κλίσης (°)	Διεύθυνση κλίσης (°)
1	S ₁	56	045
2	S ₂	44	045
3	S ₃	52	035
4	S ₄	56	030
5	S ₅	50	045
6	J ₁	66	225
7	J ₂	70	290
8	J ₃	77	315
9	J ₄	70	125
10	J ₅	56	045

Πίνακας 48. Στοιχεία ρηγμάτων κατά μήκος της τομής ΖΖ'.

	Τύπος	Γωνία κλίσης (°)	Διεύθυνση κλίσης (°)
1	F ₁	48	315
2	F ₂	88	270
3	F ₃	21	020
4	F ₄	20	030
5	F ₅	18	028
6	F ₆	28	025
7	F ₇	55	010
8	F ₈	49	010

Πίνακας 49. Χτύποι με τη σφύρα Schmidt για κάθε διάκλαση από υπαίθρια εργασία.

	J1	J2	J3	J4	J5
ΧΤΥΠΟΙ	12	18	21	23	31
	16	18	20	16	22
	12	18	18	12	32
	16	12	22	21	30
	14	14	20	14	29
	11	22	16	20	25
	18	17	16	12	34
	24	14	20	20	24
	26	18	12	22	22
	22	18	18	20	28
	18	16	12	17	32
	18	22	17	16	36
	19	22	15	22	22
	19	18	19	16	24
	20	19	18	22	30
M.O.	20.44	17.73	17.60	18.20	28.07

Πίνακας 50. Συντελεστής τραχύτητας βάσει τυποποιημένα προφίλ, από υπαίθρια εργασία.

	J1	J2	J3	J4	J5
Συντελεστής τραχύτητας	10-12	6-8	4-6	6-8	8-10
M.O.	10	6	4	6	8

Πίνακας 51. Στοιχεία εισόδου Dips 7.0. για τον έλεγχο ευστάθειας του δεξιού αντερείσματος.

	Α.Π.Θ	Τύπος	Γωνία κλίσης (°)	Διεύθυνση κλίσης (°)
1		P	55	170
2		S	50	045
3		J ₁	66	225
4		J ₂	70	290
5		J ₃	77	315
6		J ₄	70	125
7		J ₅	88	076
8		F ₁	46	020
9		F ₂	44	030
10		F ₃	40	028
11		F ₄	54	025

Πίνακας 52. Στοιχεία εισόδου Dips 7.0. για τον έλεγχο ευστάθειας του αριστερού αντερείσματος.

	Τύπος	Γωνία κλίσης (°)	Διεύθυνση κλίσης (°)
1	P	67	350
2	S	50	045
3	J ₁	66	225
4	J ₂	70	290
5	J ₃	77	315
6	J ₄	70	125
7	J ₅	56	045
8	F ₁	58	160
9	F ₂	39	130
10	F ₃	56	105

Πίνακας 53. Παράμετροι ανάλυσης βραχοσφήνας μεταξύ J5-J2, από το Swedge.

Deterministic Analysis	Factor of Safety: 1.9074
Wedge Data	Volume: 5.998 m3 Weight: 0.150 MN Area (joint1): 27.848 m2 Area (joint2): 5.500 m2 Area (slope face): 7.838 m2 Area (upper face): 19.455 m2 Normal Force (joint1): 0.090 MN Normal Force (joint2): 0.085 MN Normal Stress (joint1): 0.003 MPa Normal Stress (joint2): 0.016 MPa Shear Strength (joint1): 0.004 MPa Shear Strength (joint2): 0.024 MPa Driving Force: 0.133 MN Resisting Force: 0.254 MN Mode: Sliding on Joints 1&2
Slope Input Data	Height: 70.000 m Dip: 67.000 deg Dip Direction: 350.000 deg
Joint1 Input Data	Dip: 70.000 deg Dip Direction: 290.000 deg Waviness: 0.000 deg JRC: 6.000 JCS: 24.000 MPa Phir: 30.000 deg
Joint2 Input Data	Dip: 88.000 deg Dip Direction: 76.000 deg Waviness: 0.000 deg JRC: 8.000 JCS: 40.000 MPa Phir: 30.000 deg
Forces Input Data	Water Forces: On (50% Percent Filled) Seismic Forces: On
Trace Length	Joint1: 20.000 m Joint2: 6.342 m
Persistence	Joint1: 20.000 m Joint2: 10.932 m

Πίνακας 54. Χωρητικότητα λεκάνης κατάκλυσης συσχετιζόμενο με το ύψος φράγματος.

A/A	Ισοϋψής	Εμβαδόν	Αθροιστικό εμβαδόν	Όγκος	Ύψος φράγματος	Χωρητικότητα ταμιευτήρα
	H _i (m)	E _i (m ²)	Σ (E _i (m ²))	V _i (m ³)	H _i – H ₀ (m)	Σ(V _{i+1} + V _i) (m ³)
1	242	7788.93	7788.93	15577.87	4	15577.87
2	246	6243.52	14032.45	43642.77	8	59220.63
3	250	8587.90	22620.35	73305.60	12	132526.24
4	254	32284.93	54905.28	155051.26	16	287577.50
5	258	70686.53	125591.81	360994.19	20	648571.69
6	262	81012.17	206603.98	664391.59	24	1312963.28
7	266	69794.89	276398.87	966005.72	28	2278969.00
8	270	62167.51	338566.38	1229930.51	32	3508899.51
9	274	49299.45	387865.84	1452864.44	36	4961763.94
10	278	48454.41	436320.24	1648372.16	40	6610136.10
11	282	62421.58	498741.82	1870124.13	44	8480260.24
12	286	54054.08	552795.90	2103075.44	48	10583335.68
13	290	51923.84	604719.74	2315031.27	52	12898366.95
14	294	55965.36	660685.09	2530809.66	56	15429176.61
15	298	63370.79	724055.88	2769481.95	60	18198658.56
16	302	83058.52	807114.40	3062340.57	64	21260999.13
17	306	70963.73	878078.13	3370385.07	68	24631384.20
18	310	71148.00	949226.13	3654608.52	72	28285992.72
19	314	69674.34	1018900.47	3936253.19	76	32222245.92
20	318	84730.93	1103631.39	4245063.73	80	36467309.64