



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΜΑΚΑΡΙΔΗΣ Β. ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Αξιολόγηση τεχνικογεωλογικών συνθηκών για την εκτίμηση
ευστάθειας τεχνητών ορυγμάτων κατά μήκος του κάθετου άξονα της
Εγνατίας Οδού Α.Ε. :« Ξάνθη – Εχίνος – Ελληνοβουλγαρικά
σύνορα». Εφαρμογή σε επιλεγμένα τεχνητά ορύγματα.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2016

ΜΑΚΑΡΙΔΗΣ Β. ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΑΕΜ 5006

Αξιολόγηση τεχνικογεωλογικών συνθηκών για την εκτίμηση ευστάθειας τεχνητών ορυγμάτων κατά μήκος του κάθετου άξονα της Εγνατίας Οδού Α.Ε.: « Ξάνθη – Εχίνος – Ελληνοβουλγαρικά σύνορα». Εφαρμογή σε επιλεγμένα τεχνητά ορύγματα.

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας

Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας

Επιβλέπων καθηγητής:

ΜΑΡΙΝΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

Επίκουρος Καθηγητής ΑΠΘ

© Γεώργιος Β. Μακαρίδης, Εργ. Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, 2016
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

Αξιολόγηση τεχνικογεωλογικών συνθηκών για την εκτίμηση ευστάθειας
τεχνητών ορυγμάτων κατά μήκος του κάθετου άξονα της Εγνατίας Οδού Α.Ε.:
« Ξάνθη – Εχίνος – Ελληνοβουλγαρικά σύνορα». Εφαρμογή σε επιλεγμένα
τεχνητά ορύγματα.

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

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

<u>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</u>		
		Σελ.
ΠΕΡΙΛΗΨΗ-ABSTRACT		iv
ΠΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ		v
1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
1.1	Γενικά	1
1.2	Αντικείμενο	2
1.3	Εκτελεσθείσες εργασίες-Μεθοδολογία	3
1.4	Διάρθρωση εργασίας	4
2	ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	5
2.1	Γεωμορφολογία	5
2.2	Γεωλογία ευρύτερης περιοχής	7
2.3	Σεισμοτεκτονική	10
2.4	Γεωλογία περιοχής έρευνας	13
2.5	Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά σχηματισμών	20
3	ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	
3.1	Γενικά	21
3.2	Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά γεωυλικών κατά μήκος χάραξης	21
3.2.1	Εδαφικά υλικά	21
3.2.2	Βραχώδη υλικά	26
3.2.3	Τεχνικογεωλογικές ενότητες	43
3.3	Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά γεωυλικών στα επιλεγμένα πρηνή ανάλυσης	45
4	ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΟΡΥΓΜΑΤΩΝ	
4.1	Έλεγχοι ευστάθειας έναντι κινηματικών ολισθήσεων	58
4.2	Έλεγχοι ευστάθειας έναντι κυκλικών ολισθήσεων	61
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	67
6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	69

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	
I	Πίνακες
II	Τεκτονικά διαγράμματα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία έχει ως αντικείμενο Αξιολόγηση τεχνικογεωλογικών συνθηκών για την εκτίμηση ευστάθειας τεχνητών ορυγμάτων κατά μήκος του κάθετου άξονα της Εγνατίας Οδού Α.Ε.: « Ξάνθη – Εχίνος – Ελληνοβουλγαρικά σύνορα». Αρχικά, γίνεται εισαγωγή στο αντικείμενο του έργου. Συγκεκριμένα, δίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά αυτού, αναλύεται η μεθοδολογία και αναφέρονται οι στόχοι της εργασίας. Στη συνέχεια, περιγράφονται οι γεωλογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής της Ξάνθης. Στο κεφάλαιο αυτό δίνονται στοιχεία για την μορφολογία του αναγλύφου, τα γεωυλικά που απαντώνται στην περιοχή, τη σεισμοτεκτονική και τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά των υλικών. Έπειτα, πραγματοποιείται στατιστική επεξεργασία των δεδομένων που δίνονται από τα μητρώα 91 γεωτρήσεων. Η στατιστική επεξεργασία περιλαμβάνει τιμές παραμέτρων αντοχής για τα εδαφικά υλικά και τα βραχώδη πετρώματα της περιοχής του έργου. Οι τιμές αυτές προέρχονται από εργαστηριακές ή επί τόπου δοκιμές στα δείγματα των γεωτρήσεων. Σε επόμενη φάση, τα γεωυλικά κατατάσσονται σε 6 τεχνικογεωλογικές ενότητες ανάλογα με την φύση των υλικών, την αποσάθρωση τους και την αντοχή τους. Αμέσως μετά, αναλύονται τα γεωυλικά από τα οποία αποτελούνται δυο επιλεγμένα πρηνή ενδιαφέροντος. Στο κεφάλαιο αυτό, γίνεται περιγραφή των πρηνών και προσδιορίζονται ποιοτικά και ποσοτικά οι τεχνικογεωλογικές ιδιότητες των υλικών. Τα παραπάνω πορίσματα βρίσκουν εφαρμογή σε αναλύσεις ευστάθειας των προβλεπόμενων τεχνητών ορυγμάτων στις θέσεις των δυο πρηνών αντίστοιχα. Τέλος, αναγράφονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παραπάνω εργασία και η βιβλιογραφία πάνω στην οποία βασίστηκε αυτή.

ABSTRACT

The object of this thesis is the valuation of technical and geological conditions of the road of Xanthi – Echinós – Bulgarian borders. The thesis begins with the introduction which includes the technical characteristics, the methods used, the purposes of this study and the analytical description of the geology of the area. In addition, this chapter comprises information about the geomorphology, the geological formations that surround the construction, seismotectonics and the hydrogeological aspects of these formations. The next chapter emphasizes on the statistical analysis of data obtained from 91 borehole logs in the particular region. This analysis involves different values of strength parameters for soils and rocks, according to laboratory or in situ testing on cores from the boreholes mentioned above. Furthermore, the geological materials are classified into 6 categories depending on their lithology, their weathering condition and their strength. The next chapter includes the detailed description of the two slopes of interest and the analysis of their rock composition, as well as the qualitative and quantitative traits of these materials. The deductions mentioned above are used in the stability analysis of the cuts that will be excavated in the positions of the two slopes. Finally, the thesis ends with the conclusions drawn by this study and the bibliography used.

ΠΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Η πτυχιακή αυτή εργασία αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα μέρη των σπουδών μου στο τμήμα της Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Το αντικείμενο της εργασίας αποτελεί η τεχνικογεωλογική αξιολόγηση για τη μελέτη του οδικού άξονα Ξάνθης-Ελληνοβουλγαρικών συνόρων, έργο που έχει αναλάβει η Εγνατία Οδός Α.Ε. Η συγγραφή της εργασίας βασίστηκε σε έρευνες και μελέτες που πραγματοποιήθηκαν από επιστημονικό προσωπικό που όρισε η εταιρία. Είχα την ευκαιρία να έρθω σε επαφή με τους ανθρώπους που εργάζονται με το αντικείμενο αυτό, αφού πραγματοποίησα την πρακτική μου άσκηση στην εταιρία.

Το 1998, μέσω της υπογραφής του Πρωτοκόλλου Διμερούς Συμφωνίας Ελλάδας και Βουλγαρίας εκφράστηκε η βούληση υλοποίησης ενός έργου που θα βοηθούσε στην ανάπτυξη των σχέσεων μεταξύ των δυο χωρών. Η κατασκευή του οδικού άξονα που θα ενώνει την πόλη της Ξάνθης με το Σμόλιαν και την Φιλιπούπολη της Βουλγαρίας σίγουρα θα επιφέρει σημαντικά οικονομικά οφέλη με τις εμπορικές και μη δραστηριότητες που θα αναπτυχθούν στη γειτονική χώρα και τη Θράκη. Το 2006 η ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε. ορίστηκε ως φορέας υλοποίησης του έργου με τίτλο «Ο κάθετος Άξονας Ξάνθη – Εχίνος – Ελληνο-Βουλγαρικά σύνορα». Η Εγνατίας Οδός Α.Ε. έχει πλέον όλες τις ευθύνες και τις αρμοδιότητες για την χρηματοδότηση, δημοπράτηση, μελέτη και κατασκευή του έργου.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο καθορισμός των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών των γεωυλικών της περιοχής και των δυο επιλεγμένων πρυνών που μελετώνται. Η ευρύτερη περιοχή παρουσιάζει πολλές ιδιαιτερότητες τόσο μορφολογικά όσο και γεωλογικά. Το απόλυτο υψόμετρο αυξάνει απότομα και η γεωλογία δεν είναι ομοιογενής. Χαρακτηριστικό αποτελεί το έντονο φαινόμενο των παλαιών και πρόσφατων κατολισθήσεων στο τελευταίο τμήμα του έργου, όπου επικρατούν ως υπόβαθρο τα μολλασικά ιζήματα ηφαιστειακής φύσης και ο εξαλλοιωμένος γρανίτης.

Μετά την μελέτη των γεωλογικών συνθηκών πραγματοποιούνται αναλύσεις ευστάθειας σε επιλεγμένα προβλεπόμενα τεχνητά ορύγματα. Οι αναλύσεις εκτελούνται μέσω εξειδικευμένων προγραμμάτων της RockScience. Όλες οι τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν για τις αναλύσεις, προέρχονται κυρίως από τις εργαστηριακές ή επί τόπου δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε δείγματα γεωτρήσεων και την αξιολόγηση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών από τις γεωτρήσεις.

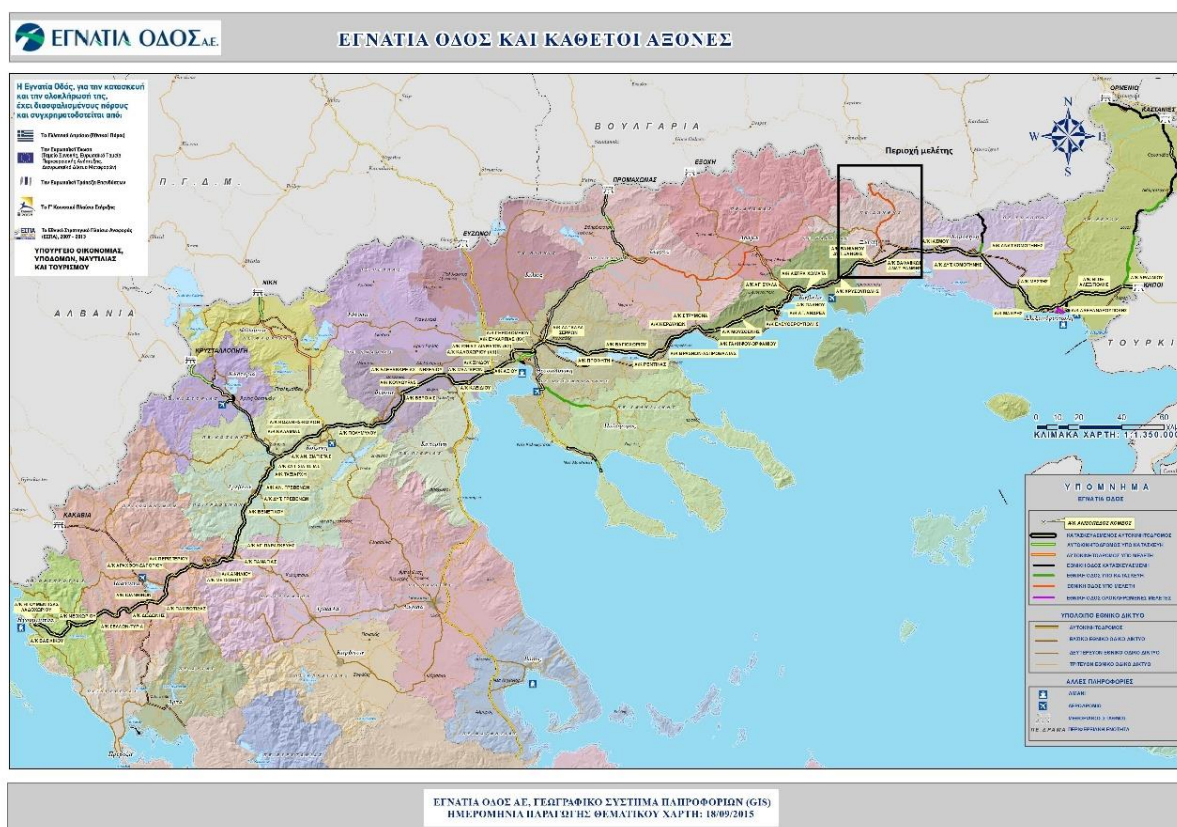
Η συγγραφή της εργασίας πραγματοποιήθηκε κατά την περίοδο Ιουλίου-Νοεμβρίου του έτους 2016 υπό την εποπτεία του καθηγητή του Αριστοτελείου πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, κ. Μαρίνου Βασιλείου. Σημαντική βοήθεια παρείχαν οι Μαρία Ιακωβίδου και Γιώργος Αγγίσταλης όπως επίσης και οι υπόλοιποι εργαζόμενοι στη διεύθυνση μελετών της Εγνατίας Οδός Α.Ε. διαμορφώνοντας ένα φιλικό περιβάλλον κατά την πρακτική μου άσκηση εκεί. Στο σημείο αυτό θέλω να ευχαριστήσω τους παραπάνω ανθρώπους για τη συνεισφορά τους.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Το έργο που μελετάται στην παρούσα εργασία αποτελεί έναν από τους πολλούς κάθετους άξονες της Εγνατίας Οδού. Ο κάθετος άξονας θα ξεκινάει από την πόλη της Ξάνθης και θα καταλήγει στα Ελληνοβουλγαρικά σύνορα. Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του έργου καθορίστηκαν μέσω της Διακρατικής Συμφωνίας. Ο άξονας θα πρέπει να έχει τυπική διατομή πλάτους 7.5μ/10.5μ και ταχύτητα μελέτης 60-80 km/h, ενώ το συνολικό του μήκος θα ανέρχεται σε 49χλμ (από www.Egnatia.eu).

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το συνολικό έργο της Εγνατίας Οδού που κατασκεύασε, παρακολουθεί και συνεχίζει να επεκτείνει η ομώνυμη εταιρεία.



Εικόνα 1.1. Το συνολικό έργο της Εγνατίας οδού Α.Ε. και η περιοχή του κάθετου άξονα Ξάνθη-Ελληνοβουλγαρικά σύνορα (μαύρο πλαίσιο)

Η περιοχή της χάραξης παρουσιάζει σημαντικές ιδιαιτερότητες τόσο μορφολογικά όσο και γεωλογικά – γεωτεχνικά. Η χάραξη έως ένα σημείο οδεύει παράλληλα με τον Κόσυνθο ποταμό, τον π. Ποταμάκι ενώ κατά μήκος της χάραξης προβλέπονται σημαντικά προβλήματα για την αποφυγή των οποίων είναι απαραίτητη η κατασκευή γεφυρών, σιράγγων, επιχωμάτων και τεχνητών ορυγμάτων.

Για την ευκολότερη μελέτη και κατασκευή, το έργο έχει χωριστεί στα εξής 4 υποτμήματα (Εικόνα 1.2):

1. Τμήμα Ξάνθη – Σμίνθη, μήκους 15.3 χλμ.
2. Τμήμα Σμίνθη – Εχίνος, μήκους 11 χλμ.
3. Τμήμα Εχίνος – Μελίβοια, μήκους 8 χλμ.
4. Τμήμα Μελίβοια – Σύνορα, μήκους 16.5 χλμ.



Εικόνα 1.2. Αποτύπωση της περιοχής έρευνας και χάραξης του έργου με τα επιμέρους τμήματα.

1.2 Αντικείμενο

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι ο καθορισμός των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν τα γεωυλικά της περιοχής του έργου. Με βάση τα γεωυλικά και τις υφιστάμενες γεωλογικές συνθήκες, έγινε προσπάθεια να προσδιοριστεί ο συντελεστής ασφαλείας των προβλεπόμενων τεχνητών ορυγμάτων σε δυο επιλεγμένες θέσεις πρανών. Κατά τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, δόθηκε μεγάλη βαρύτητα σε γεωλογικά φαινόμενα που χαρακτηρίζουν την ευρύτερη περιοχή του έργου.

Αρχικά λήφθηκαν υπόψη οι συνθήκες που διέπουν τα φυσικά πρηνή κατά μήκος της χάραξης. Παρατηρήθηκαν πολλά φαινόμενα εδαφικών θραύσεων και εμφάνισης πρόσφατων ή παλαιών κατολισθέντων υλικών που οφείλονται στο ανώμαλο ανάγλυφο της περιοχής με τα υψηλά και απότομα πρηνή, την αποσάθρωση, την βροχόπτωση και απορροή των υδάτων και φυσικά τα γεωυλικά. Στην συνέχεια, επιλέχθηκαν οι πιο δυσμενείς καταστάσεις και τα τεχνητά ορύγματα σύμφωνα με τις κλίσεις που επρόκειτο αυτά να εκσκαφθούν. Αφού έγινε η επιλογή των πιο ενδεικτικών ορυγμάτων ως προς κάποια αστοχία, πραγματοποιήθηκε κινηματική ανάλυση ευστάθειας των βραχωδών πρηνών και ανάλυση οριακής ευστάθειας με το πρόγραμμα SLIDE της Rockscience για την εκτίμηση του συντελεστή ασφαλείας.

1.3 Εκτελεσθείσες εργασίες-Μεθοδολογία

Η σύνταξη της παρούσας εργασίας χαρακτηρίζεται από τα παρακάτω ερευνητικά στάδια:

- Αναζήτηση και μελέτη των υπαρχόντων βιβλιογραφικών αναφορών που αφορούν τη γεωλογία στην περιοχή του έργου.
- Επί τόπου επίσκεψη και παρατήρηση.
- Καταγραφή και επεξεργασία των υπαρχόντων δεδομένων.
- Αναλύσεις ευστάθειας σε επιλεγμένες θέσεις προβλεπόμενων τεχνητών ορυγμάτων.
- Ερμηνεία των δεδομένων και αποτελεσμάτων για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Αρχικά έγινε καταγραφή των δεδομένων μέσα από τις υπάρχουσες γεωτρήσεις, οριζοντιογραφίες, διατομές και μηκοτομές. Με την στατιστική ανάλυση των δεδομένων επιδιώκεται η κατηγοριοποίηση υλικών με βάση τις ποιοτικές περιγραφές και τις παραμέτρους αντοχών που τα χαρακτηρίζουν. Οι τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία, προέρχονται από εργαστηριακές δοκιμές. Συνολικά 91 γεωτρήσεις διενεργήθηκαν στο υπό μελέτη τμήμα από την Ν.ΛΟΥΚΑΤΟΣ & ΣΙΑ Α.Ε και ΕΜΒΕΛΕΙΑ Α.Ε.

Οι γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για το συγκεκριμένο έργο βρίσκονται στο παράρτημα 2 και πίνακα 1.

Η στατιστική ανάλυση έχει ως τελικό σκοπό τον προσδιορισμό των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών των γεωυλικών για να ομαδοποιηθούν αυτά σε τεχνικογεωλογικές ενότητες και να χρησιμοποιηθούν στις γεωτεχνικές αναλύσεις.

Οι σχηματισμοί που ανήκουν σε μια τεχνικογεωλογική ενότητα έχουν παρόμοια συμπεριφορά (φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά) ως προς την ευστάθεια των πρηνών. Η κατηγοριοποίηση γίνεται με βάση πολλούς παράγοντες, Συγκεκριμένα για την εργασία αυτή, λήφθηκαν υπόψη:

- Η λιθολογία και η μονοαξονική θλιπτική αντοχή του υλικού
- Η φύση των εδαφικών υλικών και οι εργαστηριακές δοκιμές
- Η δομή και ο βαθμός κερματισμού των πετρωμάτων
- Η αποσάθρωση
- Η διαπερατότητα

Στην συνέχεια, αφού γίνει ο προσδιορισμός των τεχνικογεωλογικών παραμέτρων των υλικών, πραγματοποιούνται αναλύσεις ευστάθειας σε επιλεγμένα τεχνητά ορύγματα.

Στο σημείο αυτό, πραγματοποιούνται κινηματικές αναλύσεις ευστάθειας σε δίκτυο Schmidt και σε περιβάλλον SWEDGE ή SLIDE της Rockscience.

1.4 Διάρθρωση εργασίας

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται οι γεωλογικές συνθήκες που ορίζουν την περιοχή του έργου. Συγκεκριμένα, αναλύεται η λιθολογία, η σεισμοτεκτονική και τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών.

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται προσπάθεια για την εκτίμηση των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των γεωυλικών τόσο ποιοτικά όσο και ποσοτικά. Η προσπάθεια αυτή περιλαμβάνει την στατιστική επεξεργασία ορισμένων δεδομένων, στοιχεία τα οποία πάρθηκαν από γεωτρήσεις που διενεργήθηκαν στην περιοχή του έργου.

Στο κεφάλαιο 4 πραγματοποιούνται αναλύσεις ευστάθειας σε επιλεγμένα ορύγματα. Οι αναλύσεις αφορούν μηχανισμούς αστοχίας σε προδιαγεγραμμένες επιφάνειες είτε σε κυκλικές, ανάλογα με τα γεωυλικά του πρανούς.

Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της εργασίας

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

2.1 Γεωμορφολογία

Το ανάγλυφο της ευρύτερης περιοχής του έργου χαρακτηρίζεται από ορεινούς όγκους και χαραδρώσεις. Διαμορφώνεται από την οροσειρά της Κούλας που αποτελεί κομμάτι της μεγάλης οροσειράς της Ροδόπης εντός της Βουλγαρίας. Με μέγιστο υψόμετρο 1.828 μέτρα (κορυφή Γυφτόκαστρο της Χαϊντούς στα σύνορα Ελλάδας-Βουλγαρίας) αποτελεί την κύρια πηγή των επιφανειακών υδάτων με τις βροχοπτώσεις να ανέρχονται σε 1000mm ανά έτος (από Μαυρογεώργη Στ., 2014).

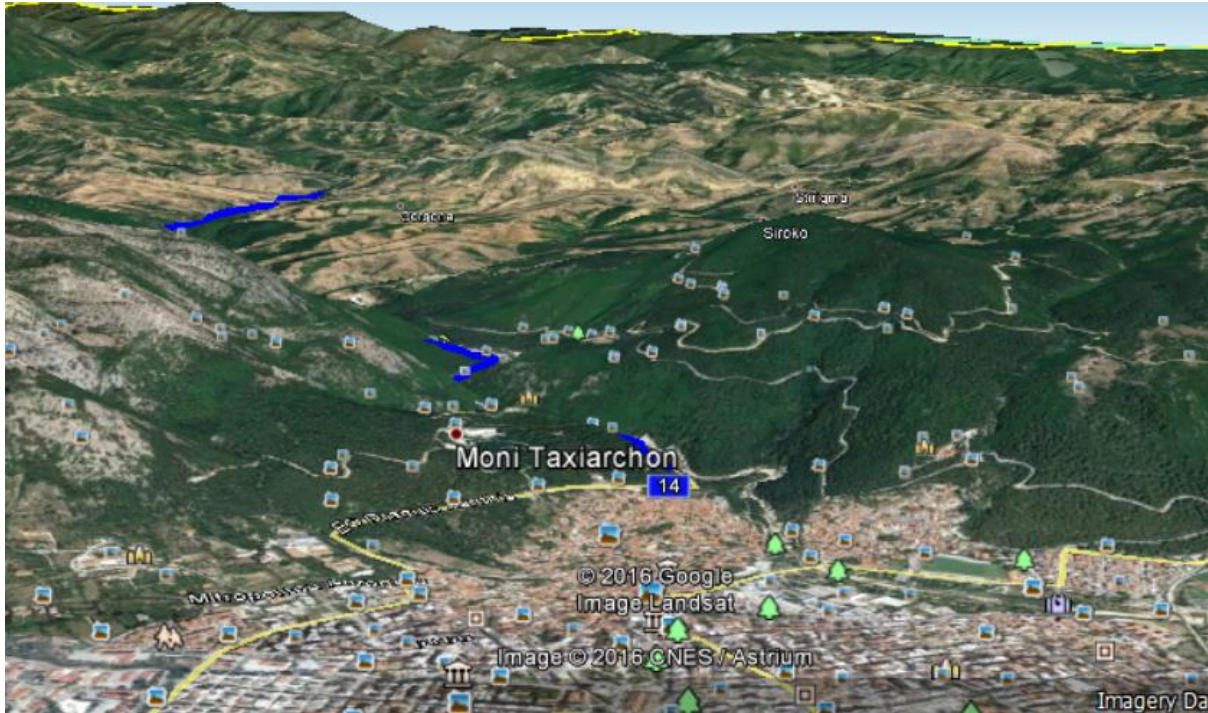
Η κατείσδυση των υδάτων εξαρτάται από τη λιθολογία, τη βλάστηση και την τεκτονική καταπόνηση των πετρωμάτων. Η μικρή περατότητα του αλπικού υποβάθρου της περιοχής καθιστά ελάχιστη την κατείσδυση με συνέπεια την ανάπτυξη πλούσιου επιφανειακού υδρογραφικού δικτύου με μεγάλη διαβρωτική ικανότητα που επιδρά κυρίως στις πρόσφατες αποθέσεις, στα ηφαιστειοϊζηματογενή πετρώματα και τα μάρμαρα.

Ο ποταμός Κόσυνθος (παράλληλα με τον οποίο οδεύει η χάραξη στο αρχικό τμήμα του έργου, Εικόνα 2.1), ο ποταμός Ποταμάκι, ο παραπόταμος του Μακρύρεμα και ο μεγάλος ποταμός Μάγδης αποτελούν τους κύριους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου. Στις θέσεις που η χάραξη τέμνει τους κλάδους προβλέπεται κατασκευή γεφυρών (από τις υφιστάμενες γεωλογικές μελέτες του έργου).

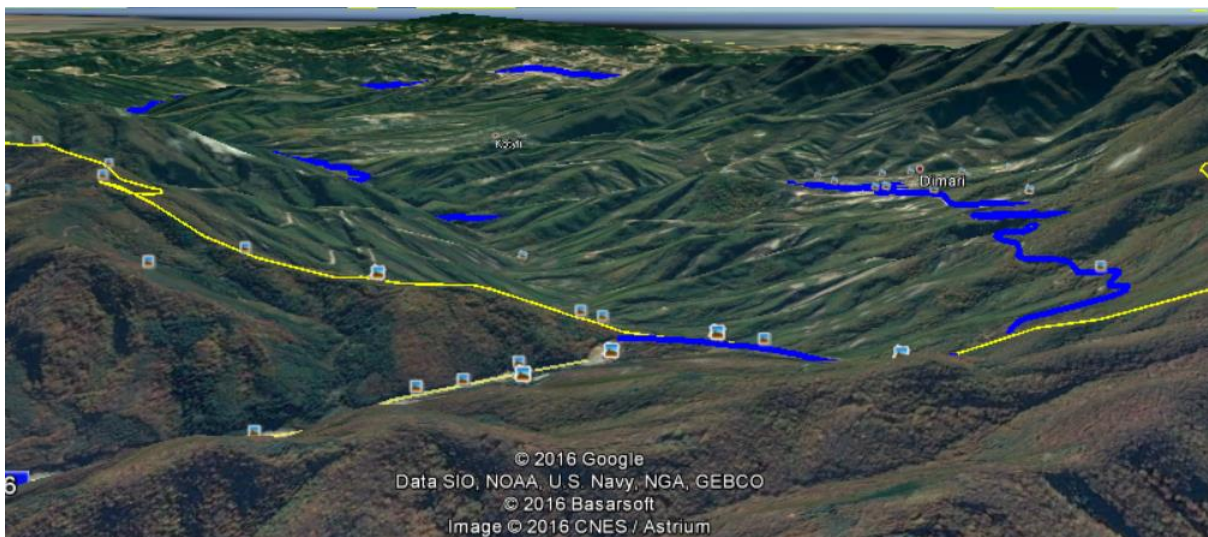


Εικόνα 2.1. Ο ποταμός Κόσυνθος. (από JimmuClarku)

Οι κλίσεις των φυσικών πρανών είναι μέτριες ($30^\circ - 40^\circ$) έως απότομες ($45^\circ - 65^\circ$) στα ανθεκτικά βραχώδη υλικά, ενώ στις περιοχές όπου εμφανίζονται οι πρόσφατες αποθέσεις είναι της τάξης των $5^\circ - 15^\circ$ με το μέγιστο απόλυτο υψόμετρο διέλευσης της χάραξης (1065 μέτρα) να βρίσκεται από τη Χ.Θ. 3+500 έως και το τέλος του τελευταίου τμήματος Μελίβοια – Σύνορα (Εικόνες 2.2 και 2.3).



Εικόνα 2.2. Η αρχή της χάραξης από την πόλη της Ξάνθης. Η μπλε γραμμή που χάνεται στο βάθος λόγω του αναγλύφου αποτελεί τη χάραξη του έργου. Προβολή από τον Νότο προς το Βορά.

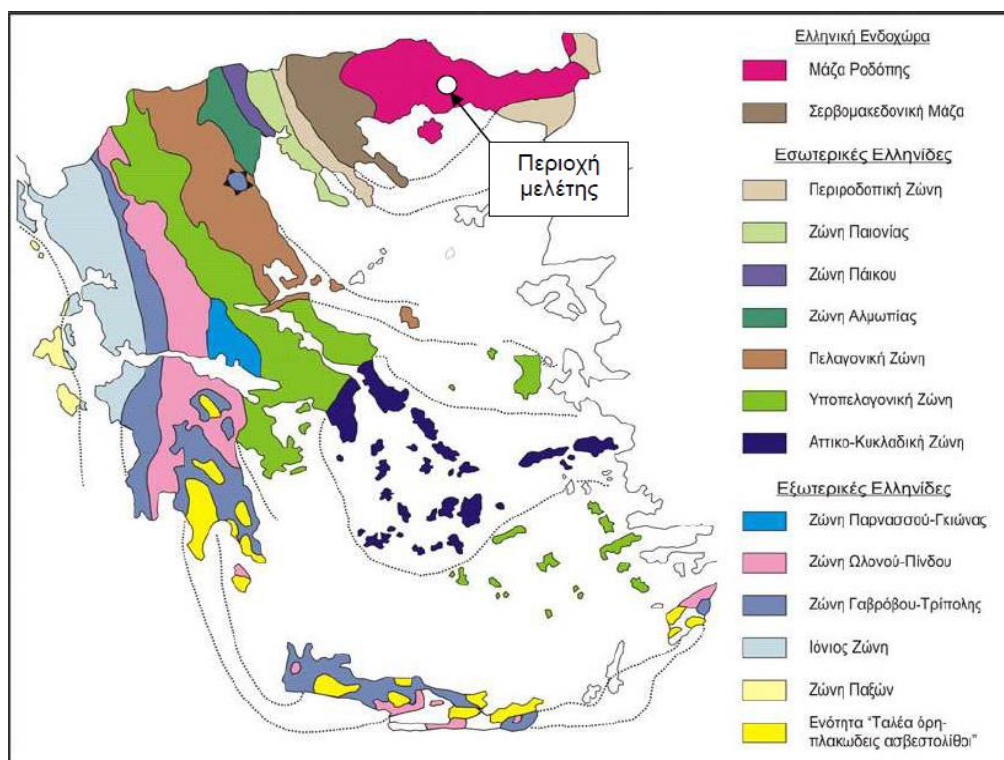


Εικόνα 2.3. Το τέλος της χάραξης στα Ελληνοβουλγαρικά σύνορα. Η κίτρινη γραμμή αποτελεί τα σύνορα των δυο χωρών και η μπλε γραμμή τη χάραξη του έργου. Προβολή από τον Βορά προς το Νότο.

2.2 Γεωλογία ευρύτερης περιοχής

Η ευρύτερη περιοχή του έργου ανήκει στην γεωτεκτονική ζώνη της μάζας της Ροδόπης (Εικόνα 2.4) και συγκεκριμένα στην ενότητα του Σιδηρόνερου που υπέρκειται τεκτονικά της ενότητας του Παγγαίου. Η τεκτονική αυτή δραστηριότητα πιθανώς να οφείλεται στο ανάστροφο ρήγμα του Νέστου κατά το Ηώκαινο (από Μουντράκης Δ., 2010).

Η ενότητα Σιδηρόνερου αποτελείται κυρίως από ορθογενείς, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, αμφιβολίτες, λεπτές ενστρώσεις μαρμάρων και μιγματίτες.



Εικόνα 2.4. Χάρτης Γεωτεκτονικών ζωνών.

Κατά το Τριτογενές με την εφελκυστική τεκτονική που αναπτύσσεται λόγω της υποβύθισης της νέο-τηθύος κάτω από την ελληνική ενδοχώρα, μεγάλοι και μικροί πυριγενείς όγκοι διατρύπουν τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα. Οι πλουτωνίτες είναι κυρίως γρανίτες και οι κυριότεροι όγκοι είναι του Παγγαίου, του Συμβόλου – Καβάλας, της Βροντούς, του Παρανεστίου και της Ξάνθης. Παράλληλα, κατά το Ολιγόκαινο, μέσα στις λεκάνες που σχηματίζονται λόγω του εφελκυσμού, με την ηφαιστειακή δράση αποθέτονται ηφαιστειοιζηματογενή υλικά συνθέτοντας έτσι τα μολασσικά ιζήματα της μάζας της Ροδόπης πίσω από το τόξο υποβύθισης (από Μουντράκης Δ., 2010).

Ασύμφωνα επάνω στα πετρώματα που προαναφέρθηκαν επικάθονται οι τεταρτογενείς σχηματισμοί που είναι είτε κορηματικά υλικά, είτε αλλουβιακές αποθέσεις είτε κατολισθέντα υλικά.

Η στρωματογραφική στήλη της περιοχής του έργου δίνεται παρακάτω.

(πηγές: Μουντράκης Δ, 2010, Αλεξιάδου, Μ.Χ., 2014)

Στρωματογραφική στήλη Ξάνθη-Εχίνος-Μελίβοια-Ελληνοβουλγαρικά σύνορα

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Τεταρτογενές

 **Αλλούβια αδιαίρετα:** πηλοί, άργιλοι, χάλικες, κορήματα. Σύμφωνα προς το τοπικό τοπογραφικό περιβάλλον. Υλικά διαβρώσεως, αποθέσεις αναβαθμίδας και πρόσφατες αποθέσεις χειμάρρων.

 **Αλλουβιακά ριπίδια:** Υλικά απο γνευσίους, μάρμαρα, αμφιβολίτες και γρανιτικά πετρώματα.

Πλειόκαινο - Πλειστόκαινο

 **Χάλικες και άμμοι:** στρώματα και φακοί κυρίως με καλά αποστρογγυλεμένα χαλίκια, εναλλασσόμενα με μη διαβαθμισμένους κοκκομετρικά άμμους. Οι άμμοι επικρατούν στα ανώτερα μέρη. Πάχος 0-10 μ.

Ολιγόκαινο

Μολάσσα Ροδόπης: Ηφαιστειοϊζηματογενής σειρά, που συνίσταται από όξινα πυροκλαστικά υλικά (ιγκνιμβρίτες, που προέρχονται από πυροκλαστικές ροές) και εναλλαγές ψαμμιτών και υλολίθων. Συμπεριλαμβάνονται κυρίως:

 Σειρές τεφρών υλολίθων/μαργών ελαφρά σχιστοποιημένων και κατά θέσεις παχυστρωματώδων, καστανόγκριζων ψαμμιτών.

 **Λατυποπαγή** που προέρχονται κυρίως από συγκολλημένα πυροκλαστικά υλικά (κυρίως βολίδες), διαμέτρου από 3cm έως 30cm αλλά και τεμάχια γρανιτών. Έχουν ανοικτότεφρο έως τεφρό χρώμα και είναι συνήθως άστρωτα ή με σπάνια στρώση.

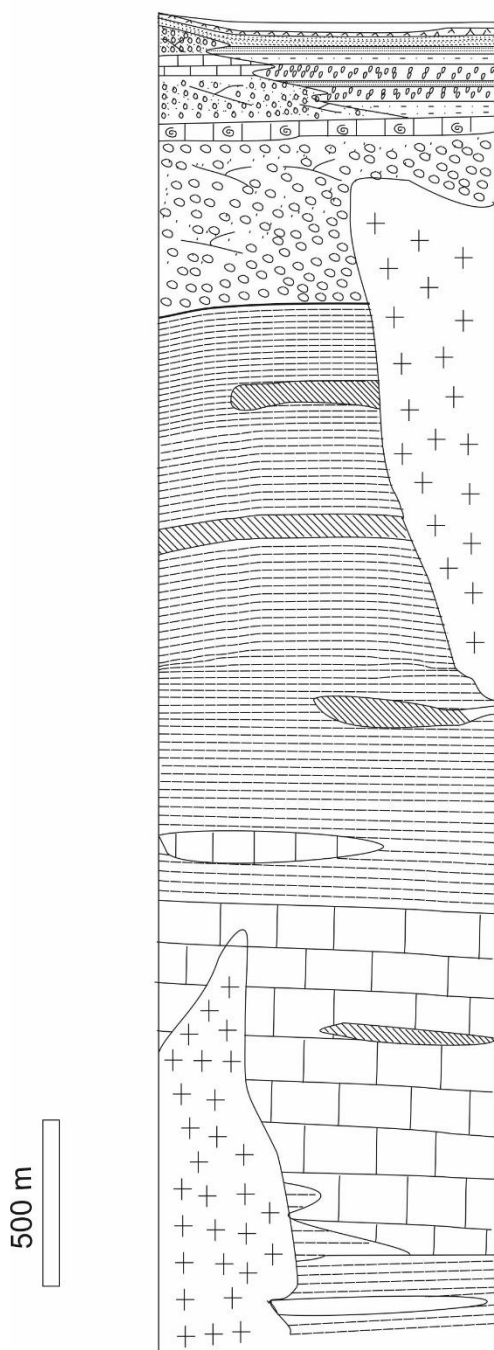
 **Τόφφοι** που προέρχονται από συγκολλημένα πυροκλαστικά υλικά (κυρίως τέφρα και λιθάρια), διαμέτρου έως 3cm και τοπικά παρατηρούνται και βολίδες διαμέτρου της τάξης των 10-15cm. Έχουν ανοικτότεφρο χρώμα και είναι παχυστρωματώδεις με πάχος στρώσεις που κυμαίνεται από 20cm έως 100cm.

Κ. Ηώκαινο - Α. Ολιγόκαινο

 **Κροκαλοπαγή και ασβεστόλιθοι:** στρώματα και φακοί κροκαλοπαγών, πτωχής κοκκομετρικής διαβάθμισης μεταμορφωμένα πετρώματα και αποστρογγυλεμένες κροκάλες χαλαζία. Ο ασβεστόλιθος εμφανίζεται με φακοειδή στρώματα και είναι πλούσιος σε απολιθώματα. Πάχος σειράς κροκαλοπαγούς >700μ. Πάχος ασβεστόλιθου 0-170μ.

Μ. Ηώκαινο

 **Κροκαλοπαγή και ασβεστόλιθοι:** Ανώτερα βρίσκεται ο νουμουλιτικός ασβεστόλιθος που μεταπίπτει πλευρικά σε αμμόδη μάρμα. Πάχος 10-20 μ. Κατώτερα βρίσκονται τα κροκαλοπαγή που εναλλάσσονται πλευρικά με ψαμμίτες που περιέχουν αποστρογγυλεμένες κροκάλες χαλαζία. Πάχος 0-400 μ.



Σχήμα 2.1. Η στρωματογραφική στήλη της περιοχής του έργου.

Στρωματογραφική στήλη Ξάνθη-Εχίνος-Μελίβοια-Ελληνοβουλγαρικά σύνορα

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Μεταμορφωμένα πετρώματα

 Γνεύσιοι και γνευσιακοί - σχιστολίθοι: λεπτοκοκκώδεις έως αδρομερείς γνεύσιοι, σαρκώδεις έως σκοτεινότεφροι, με γνευσιακή, κοκκώδη, και σχιστώδη υφή με γρανιτοβλαστικό και ετεροβλαστικό ιστό. Τα επικρατούντα ορυκτά είναι: πλαγιόκλαστο, χαλαζίας, βιοτίτης, κερροσίλβη, γρανάτης, καλιούχοι άστριοι ενώ τοπικά έχει παρατηρηθεί και σιλλιμανίτης. Οι ορυκτολογικές αυτές σχέσεις δείχνουν μεταμόρφωση αμφιβολιτικής φάσης. Η χλωριτίωση είναι ένδειξη ανόδρου μεταμόρφωσης. Η γενική μεταμόρφωση έλαβε χώρα κατά την διάρκεια των εκτεταμένων πτυχώσεων της περιοχής (εφαπτομενικός διαστρωματισμός). Ο γενικός μεταμορφισμός και πτύχωση, θεωρούνται αλπικής ηλικίας (ορογένεσης) Πάχος 3.500 μ.

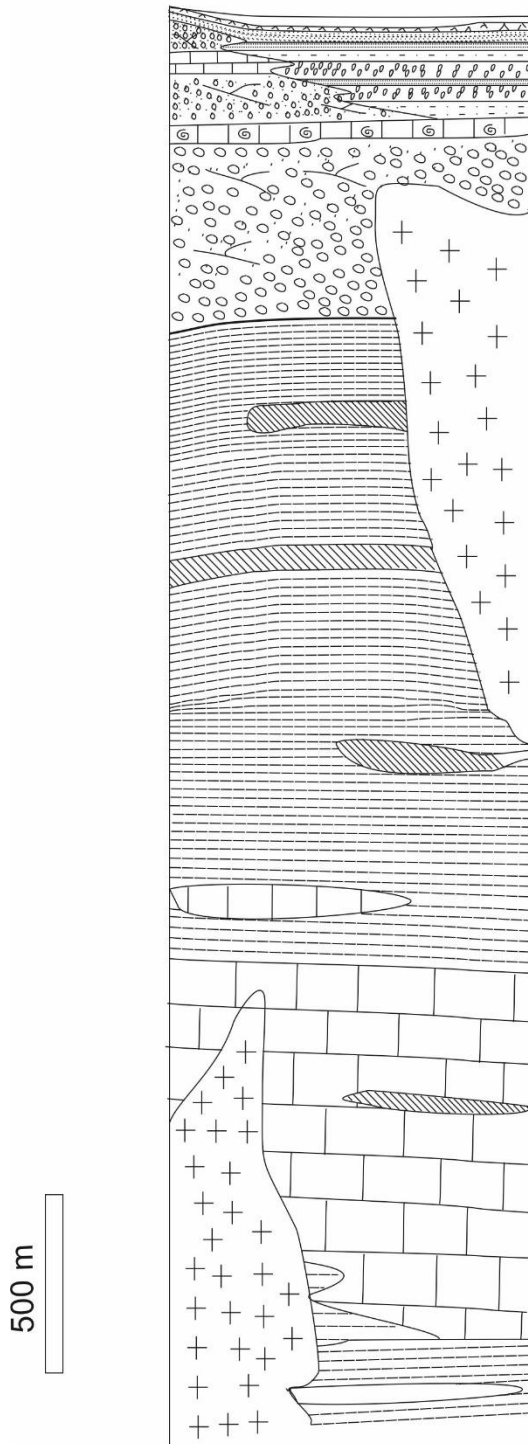
 Αμφιβολίτες: μέσο έως αδρόκοκκοι αμφιβολίτες, εμφανιζόμενοι σε στρώματα και φακούς ή εναλλασσόμενοι πλευρικά με μάρμαρα και γνεύσιους. Κύρια ορυκτά συστατικά: κερροσίλβη, πλαγιόκλαστο, βιοτίτης, γρανάτης. Πολυάριθμα λεπτά στρώματα και φακοί αμφιβολιτικών πετρωμάτων, παρενστρωμένα στους γνεύσιους, σχιστολίθους και τα μάρμαρα. Πάχος 0.5-100 μ.

 Μάρμαρα: επικρατούν τα λευκά έως ανοικτότεφρα με πτωχή στρώση, συμπαγή μάρμαρα. Τοπικά σε πολύ μικρές ποσότητες εμφανίζονται μαρμαρυγίες ή χαλαζίας. Το μέγεθος των κόκκων είναι 0.5 mm ή/και μεγαλύτερο. Πλησίον των επαφών με τους γνεύσιους και τους σχιστολίθους, τα μάρμαρα γίνονται περισσότερο σκοτεινότεφρα. Εδώ το ποσοστό των ορυκτών μοσχοβίτη, χαλαζία, αλβίτη και γραφίτη αυξάνει. Τα τεφρά μάρμαρα είναι καλά ενστρωμένα έως λεπτοστρωματώδη. Συχνά εναλλάσσονται, κατακόρυφα και πλευρικά, με αμφιβολιτικά πετρώματα, γνεύσιους και σχιστολίθους. Πάχος 500-1500 μ.
Τα περισσότερα σκοτεινόχρωμα και καλά ενστρωμένα μάρμαρα εμφανίζονται ως φακοί ποικίλου πάχους, εντός των γνευσίων και σχιστολίθων. Πάχος 0.5-100 μ.

Πλουτωνικά πετρώματα

 Νεότερα γρανιτικά πετρώματα. Ορυκτολογική σύσταση: αλκαλικοί άστριοι, πλαγιόκλαστο, χαλαζίας, βιοτίτης, κερροσίλβη (γρανοδιόριτης). Μεσοκοκκώδη. Επαφή διείσδυσης σε μάρμαρα, γνεύσιους και αμφιβολίτες. Άλως μεταμόρφωσης με ορυκτογένεση: επίδοτο, γρανάτης, μαγνητίτης, σιδηροπυρίτης, σχεελίτης και χαλκοπυρίτης. Η ραδιοχρονολόγηση του γρανίτη της Ξάνθης έδωσε ηλικία 27.9 my (Ολιγόκαινο)

Παλαιότερα γρανιτικά πετρώματα. Συν έως μετατεκτονικές διεισδύσεις γρανοδιόριτικού έως διοριτικού τύπου. Ορυκτολογικής σύστασης: πλαγιόκλαστο, κερροσίλβη, βιοτίτης, χαλαζίας, αλκαλικοί άστριοι. Ως διαφοροποιήσεις κεκαλυμμένων συν-έως μετατεκτονικών διεισδύσεων παρουσιάζονται πηγματιοειδή και απλιτικά πετρώματα, μέσο έως αδρόκοκκώδη, απαντώμενα σε μεγάλες και μικρές φλέβες και φακούς (διαμέτρου μερικών μέτρων) εντός όλων των σειρών της μεταμορφικής ακολουθίας. Ο σχηματισμός αυτός βρίσκεται σε αφθονία βόρεια από το φύλλο της Ξάνθης, στο φύλλο του Εχίνου.



Σχήμα 2.2. Η στρωματογραφική στήλη της περιοχής του έργου.

2.3 Σεισμοτεκτονική

Η σημαντικότερη ρηξιγενής ζώνη στην ευρύτερη περιοχή (σε ακτίνα πάνω από 50χλμ προς τα Νότια του έργου) είναι το μεγάλο ρήγμα Ξάνθης – Αμφίπολης που εκτείνεται από τον κόλπο της Καβάλας έως βόρεια της Κομοτηνής. Στο αρχικό του τμήμα παρουσιάζει διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ και πλαγιοκανονικό χαρακτήρα ενώ στη συνέχεια το τμήμα Ξάνθη – Κομοτηνή παρουσιάζει διεύθυνση ΔΝΔ-ΑΒΑ με χαρακτήρα δεξιόστροφης οριζόντιας ολίσθησης.

Η περιοχή διέλευσης της χάραξης χαρακτηρίζεται από ρηγματογόνο τεκτονική, χωρίς όμως να υφίστανται δομές μεγάλης σημασίας. Η σημαντικότερη δομή που αξιολογείται είναι αυτή στη Χ.Θ. 15+500 του 4^{ου} τμήματος Μελίβοια-Σύννορα με διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ η οποία φέρνει σε επαφή τον γρανίτη με τα μολασσικά ιζήματα.

Η ευρύτερη περιοχή δεν χαρακτηρίζεται από υψηλή σεισμικότητα. Λίγοι ισχυροί ιστορικοί σεισμοί έχουν καταγραφεί όπως αυτός στις 5 Μαΐου το 1829 μεγέθους 7.3 με επίκεντρο στην Δράμα.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα στοιχεία των κυριότερων ιστορικών σεισμών στην ευρύτερη περιοχή του έργου και σε ακτίνα χάραξης περίπου 100χλμ, για την περίοδο 550π.Χ.-1893 (από Papadopoulos, G.A., Vassilopoulou, A., 2001, Comninakis, P. and Papazachos, B. C., Comninakis P. E., Karakaisis, G.F., Karakostas, B.G., Papaioannou, Ch.A., Papazachos, C.B. and E.M. Scordilis , 2000).

Πίνακας 2.1. Οι ιστορικοί σεισμοί στην ευρύτερη περιοχή του έργου σε ακτίνα περίπου 100χλμ.

Α/Α	Η/ΝΙΑ	ΜΕΓΕΘΟΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ
1	52	6	Φίλιπποι
2	597	6.7	Φίλιπποι
3	620	6.8	Θεσσαλονίκη
4	1713	6.4	
5	1750	6.8	Φιλιππούπολη
6	1784	6.7	Κομοτηνή
7	1797	6.6	Χαλκιδική
8	1829	7.3	Δράμα
9	1864	7.3	Γενισέα
10	1867	6	Δράμα
11	1893	6.8	Σαμοθράκη

Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία (Πίνακας 2.2), προκύπτει πως ο μεγαλύτερος σεισμός που έχει εκδηλωθεί από το 2008 στην ευρύτερη περιοχή του έργου έχει μέγεθος μόλις 3.5.

Από τα καταγεγραμμένα δεδομένα του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, για την περίοδο μεταξύ 1964 και 2014, στην ευρύτερη περιοχή του έργου και σε ακτίνα 50 χλμ, ο ισχυρότερος σεισμός εκδηλώθηκε το 1998 στην περιοχή της Ξάνθης με μέγεθος 4.6.

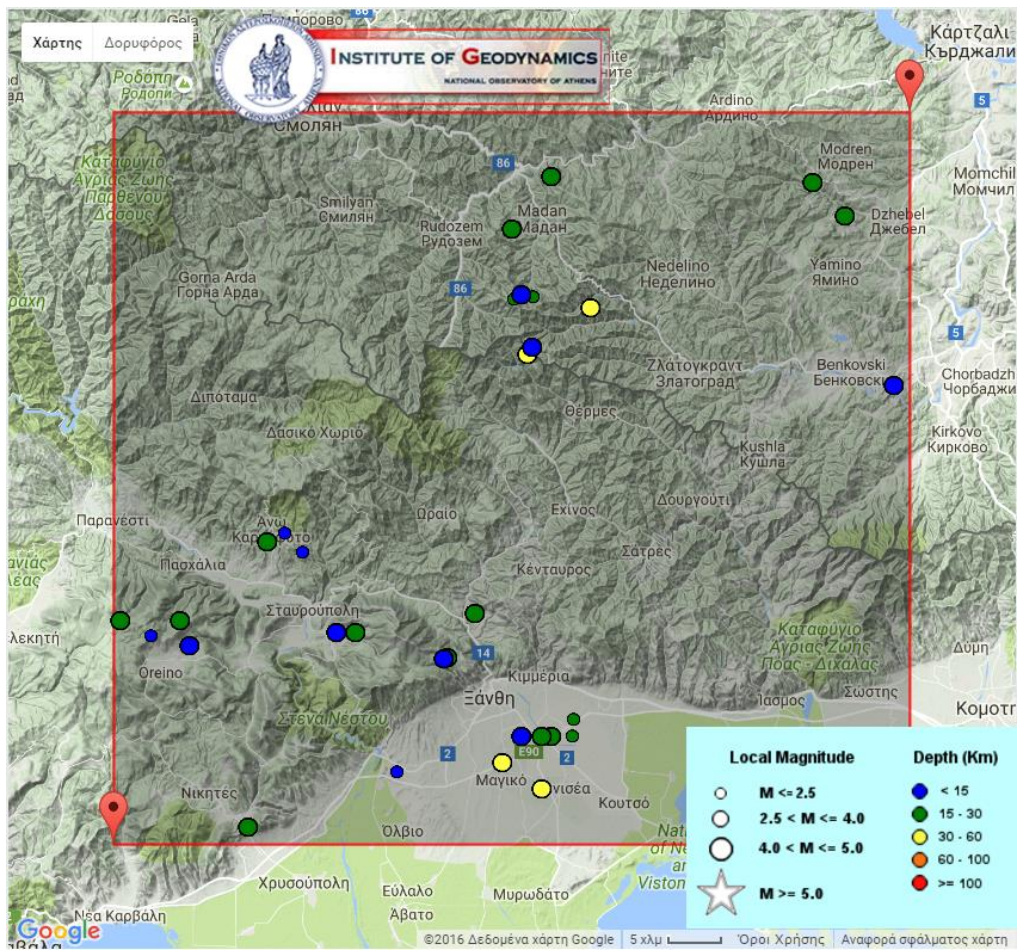
Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα στοιχεία των πρόσφατων καταγεγραμμένων σεισμών στην ευρύτερη περιοχή του έργου σε έκταση 50Χ50 τ.χλμ, όπως δίνονται από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο στο Εθνικό Μετεωροσκοπείο Αθηνών, για την περίοδο 1 Ιανουαρίου έως σήμερα.

Πίνακας 2.2. Οι πρόσφατοι σεισμοί που εκδηλώθηκαν στην ευρύτερη περιοχή του έργου για την περίοδο 1 Ιανουαρίου του 2008 έως σήμερα.

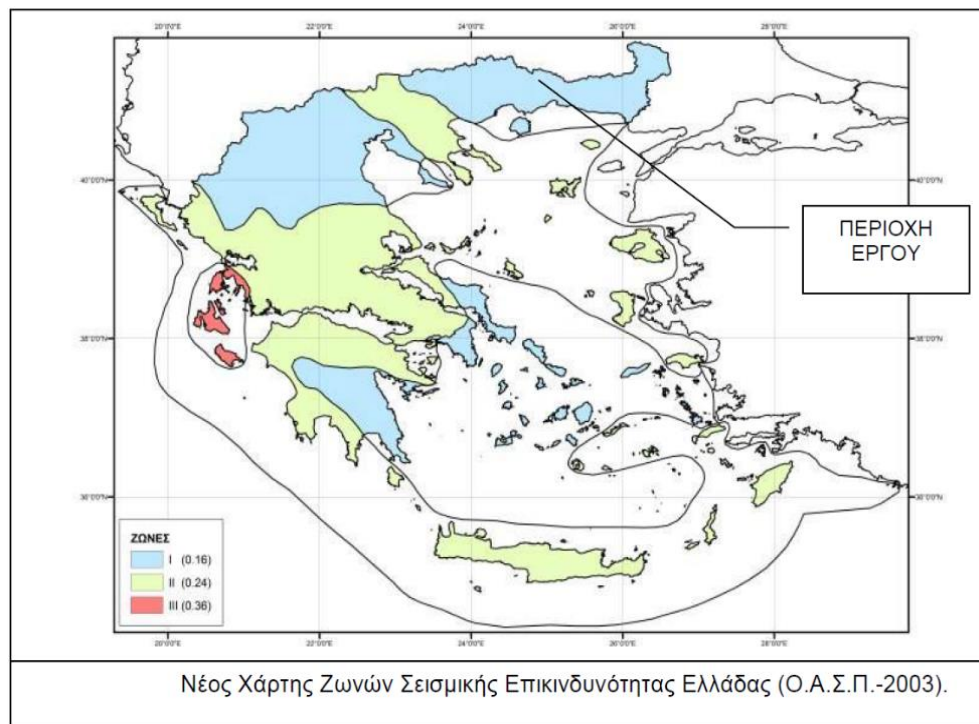
A/A	Η/ΝΙΑ	ΩΡΑ	ΜΕΓΕΘΟΣ
1	2015-10-27	12:50:07	2.1
2	2015-07-05	04:20:26	3.1
3	2015-05-28	14:16:38	2.0
4	2015-04-19	03:10:32	2.4
5	2014-05-26	20:39:13	3.3
6	2013-09-10	19:28:50	3.2
7	2013-08-27	03:25:40	2.2
8	2013-07-11	07:56:20	2.1
9	2013-05-02	19:49:16	2.7
10	2013-01-26	07:13:44	2.5
11	2012-04-10	15:16:29	2.1
12	2011-10-20	07:53:14	2.2
13	2010-10-10	15:40:03	3.4
14	2010-10-09	16:33:40	2.8
15	2010-09-14	18:36:36	3.3
16	2010-09-11	23:27:44	2.8
17	2010-06-30	11:13:44	2.9
18	2010-03-22	19:18:06	3.2
19	2010-03-17	00:13:26	3.5
20	2010-03-05	13:17:46	3.0
21	2009-08-31	05:59:12	2.8
22	2009-06-28	20:55:39	3.1
23	2009-06-26	02:32:53	3.0
24	2009-06-26	02:26:27	3.4
25	2009-06-18	23:30:32	3.4
26	2009-04-30	00:23:50	2.9
27	2009-04-29	23:43:53	3.1
28	2009-04-28	20:59:58	3.2
29	2009-02-15	14:15:13	2.9
30	2009-01-18	11:33:30	3.0
31	2009-01-03	15:06:25	3.3
32	2008-03-26	17:08:10	3.3

Σύμφωνα με τον χάρτη ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας (Εικόνα 2.6), που περιέχεται στον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό, η χάραξη διέρχεται από τη ζώνη Ι.

Η εδαφική επιτάχυνση ανηγμένη στην επιτάχυνση της βαρύτητας για τη ζώνη αυτή είναι $\alpha=0.16$.



Εικόνα 2.5. Επίκεντρα των πρόσφατων σεισμών που εκδηλώθηκαν στην περιοχή του έργου σε έκταση που καταλαμβάνει 50X50 τ.χλμ από την 1^η Ιανουαρίου του 2008 έως σήμερα.



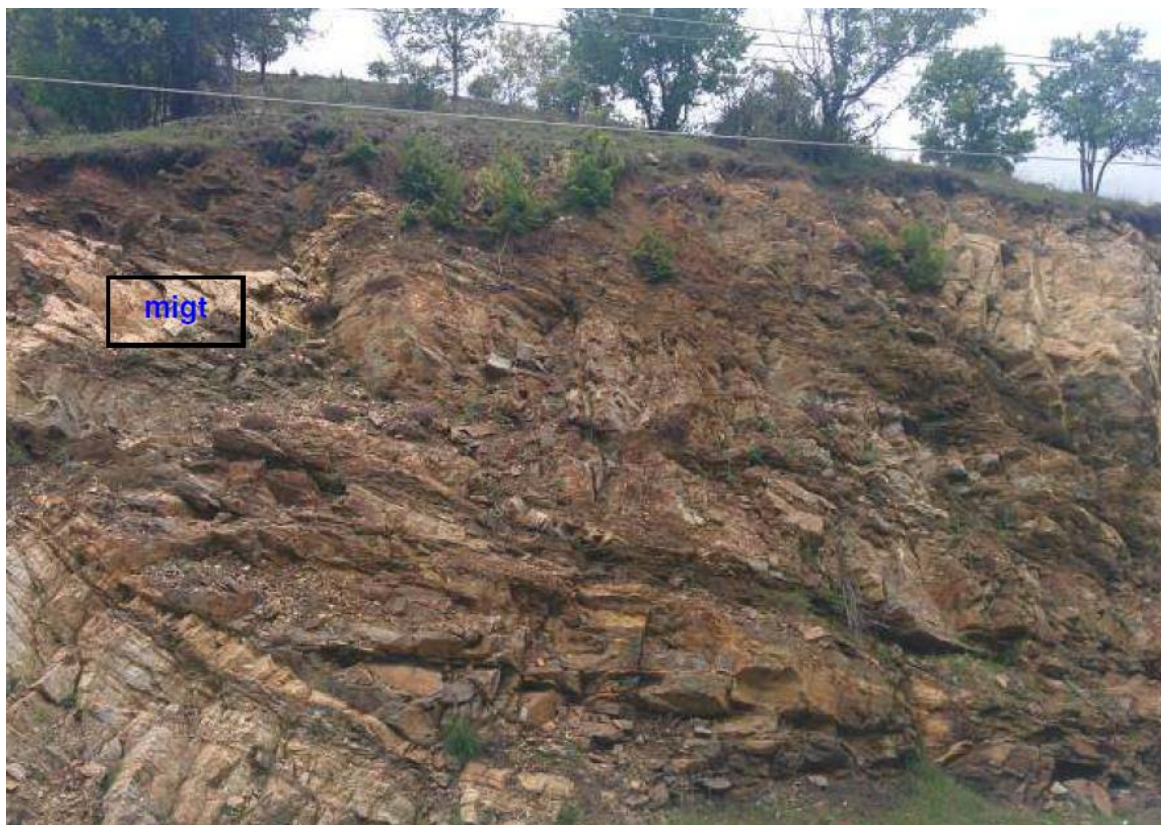
Εικόνα 2.6. Χάρτης ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας.

2.4 Γεωλογία περιοχής έρευνας

ΑΛΠΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ – ΕΝΟΤΗΤΑ ΣΙΔΗΡΟΝΕΡΟΥ

Σειρά μιγματιτών, γνευσίων: Ο σχηματισμός προέρχεται από υψηλού βαθμού μεταμόρφωση ηφαιστειοϊζηματογενών και πλουτωνικών πετρωμάτων. Με πάχος πάνω από 500m συμπεριφέρεται ως συμπαγής βραχώδης. Συνολικά, ο σχηματισμός παρουσιάζεται μέτρια έως ισχυρά τεκτονισμένος με ποικίλες ορατές δομές πτυχογόνου και ρηξιγενούς τεκτονικής και ο γνεύσιος χαρακτηρίζεται συχνά από έντονη σχιστότητα. Ο βαθμός αποσάθρωσης για τα επιφανειακά στρώματα κυμαίνεται από υγής έως μέτρια αποσαθρωμένος ενώ τοπικά εμφανίζεται ως πολύ αποσαθρωμένος. Ο μανδύας αποσάθρωσης μπορεί να ξεπερνά το 1m πάχος ενώ προβλήματα λόγω διάβρωσης αναμένονται στις ρηξιγενείς δομές.

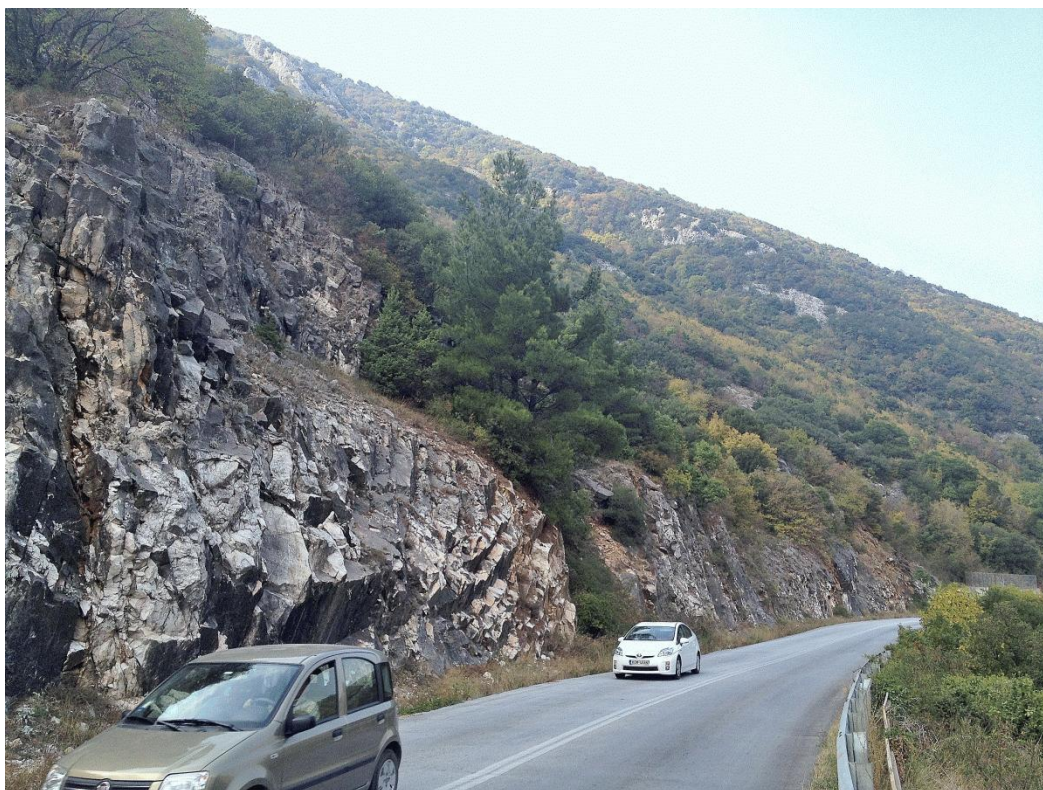
Ο σχηματισμός εμφανίζεται από τη Χ.Θ. 10+000. του 1^{ου} τμήματος του έργου Ξάνθη-Σμίνθη και είναι ο επικρατέστερος έως και τη Χ.Θ. 9+300 του 2^{ου} τμήματος Σμίνθη-Εχίνος.



Εικόνα 2.7. Πτυχωμένη σειρά μιγματιτών-γνευσίων στο 2^ο τμήμα του έργου Σμίνθη-Εχίνος. Οι γνεύσιοι εμφανίζονται υγής έως ελαφρά αποσαθρωμένοι (από Μαυρογεώργης, Στ., 2014)

Μαρμαροαμφιβολιτική σειρά: Αποτελεί βραχώδη σχηματισμό που συνίσταται από αμφιβολίτες, αμφιβολιτικούς γνευσίους και αμφιβολιτικούς σχιστόλιθους με ενδιαστρώσεις από αδροκρυσταλλικά μάρμαρα. Στο σύνολο του έχει υψηλές αντοχές ενώ παρουσιάζεται ως μέτρια έως πολύ τεκτονικά καταπονημένος με εμφανή πτυχογόνο και ρηξιγενή τεκτονική. Ο βαθμός αποσάθρωσης του κυμαίνεται από υγής έως τελείως αποσαθρωμένος σε λίγες θέσεις. Ο μανδύας αποσάθρωσης έχει μέγιστο 1.5m πάχος.

Ο σχηματισμός απαντάται περίπου σε όλο το μήκος του έργου. Συγκεκριμένα βρίσκεται στη Χ.Θ. 5+300 σε επαφή με τους γρανίτες της Ξάνθης και συνεχίζει ως τη Χ.Θ. 5+600 του 4^{ου} τμήματος του έργου Μελίβοια-Σύνορα.



Εικόνα 2.8. Συμπαγή μάρμαρα του 1^{ου} τμήματος του έργου Ξάνθη-Σμίνθη. (από Παπαντώνη Δ., Παναγόπουλος Αv. et al, 2014)

ΤΡΙΤΟΓΕΝΕΣ

Γρανίτες: Αποτελούν συμπαγή, βραχώδη πετρώματα με πυκνό σύστημα ασυνεχειών, μεγάλου πάχους που συχνά παρουσιάζουν διεισδύσεις από απλιτικές φλέβες. Εμφανίζονται από υγιή έως έντονα αποσάθρωμένα κυρίως στο τελευταίο κομμάτι του 4^{ου} τμήματος Μελίβοια-Σύνορα. Ο μανδύας αποσάθρωσης είναι αμμοχαλικώδους σύστασης.

Οι γρανίτες βρίσκονται ως μεμονωμένοι πλουτωνικοί όγκοι κατά μήκος του έργου. Συγκεκριμένα, η πρώτη εμφάνιση του πετρώματος γίνεται στην αρχή του έργου στην περιοχή της Ξάνθης (γρανίτης Ξάνθης), μια δεύτερη εμφάνιση μεγάλης έκτασης γίνεται από τη Χ.Θ. 6+900 του 2^{ου} τμήματος Σμίνθη-Εχίνος έως και τη Χ.Θ. 7+600 του 4^{ου} τμήματος Μελίβοια-Σύνορα (γρανίτης Εχίνου-Σκαλωτής). Η τρίτη εμφάνιση του αποσάθρωμένου γρανίτη όπως προαναφέρθηκε, πραγματοποιείται στο τελευταίο μέρος του 4^{ου} τμήματος Μελίβοια-Σύνορα στη Χ.Θ. 15+550 έως και τα εδάφη της Βουλγαρίας.



Εικόνα 2.9. Τεμαχώδης γρανίτης του 3^{ου} τμήματος του έργου Μελίβοια-Σύνορα.

Ανδεσίτες: Βραχώδη ηφαιστειακά πετρώματα του Ολιγοκαίνου με λίγες εμφανίσεις ως φερτοί ογκόλιθοι. Μόνο μία εμφάνιση του πετρώματος εκτιμάται πως είναι η κανονική θέση δημιουργίας του πλησίον της Χ.Θ. 14+600 του 4^{ου} τμήματος του έργου Μελίβοια-Σύνορα. Η χάραξη του έργου δεν διαπερνά το πέτρωμα.

Μολάσσα Ροδόπης:

Τόφφοι: Αποτελούν συγκολλημένα πυροκλαστικά υλικά όπως η τέφρα και τα λιθάρια και τοπικά παρατηρούνται βολίδες διαμέτρου 10cm. Τα στρώματα έχουν μέγιστο 1m πάχος.

Ηφαιστειακά Λατυποπαγή: Αποτελούνται από συγκολλημένα πυροκλαστικά υλικά τεμάχη όξινων ηφαιστειακών πετρωμάτων και γρανιτών. Δεν παρουσιάζουν στρώση.

Ιλυόλιθοι – Ψαμμίτες: Αποτελούν εναλλαγές συμπαγών στρωμάτων ψαμμίτη και λεπτών ενστρώσεων τεφρών – ιλυολίθων με μάργες ελαφρά σχιστοποιημένες συνολικού πάχους έως 10m.

Ο σχηματισμός της μολασσικής σειράς εμφανίζεται μόνο στο 4^ο τμήμα του έργου Μελίβοια-Σύνορα. Η επαφή με τα γειτονικά υλικά (γρανίτες-τεταρτογενή ιζήματα) βρίσκεται κατά τη Χ.Θ. 6+400. Η μολασσική σειρά αποτελεί τον επικρατέστερο σχηματισμό υποβάθρου έως και το τέλος της χάραξης.



Εικόνα 2.10. Μολασσική σειρά. Επάνω στο ηφαιστειακό λατυποπαγές επικάθονται σύμφωνα οι ψαμμιτικοί πάγκοι.



Εικόνα 2.11. Μολασσική σειρά. Επαφή τόφρων με ηφαιστειακό λατυποπαγές.

TETARTOGENES

Παλαιές αλλουβιακές αποθέσεις: Είναι παλαιές, ηλικίας Πλειστοκαίνου, χερσαίες και ποταμοχερσαίες αποθέσεις με ημισυνεκτική δομή και έχουν σύσταση αργιλοαμμώδη και αμμοχαλικώδη με ορίζοντες κροκαλολατυποπαγών. Τα υλικά προέρχονται από τα ηφαιστειακά και ηφαιστειοιζηματογενή πετρώματα και βρίσκονται κοντά στις περιοχές εμφανίσεως της μολασσικής σειράς.

Κορήματα: Αποτελούν υλικά διάβρωσης του υποβάθρου με αργιλοαμμώδη ή αμμοχαλικώδη σύσταση και χαλαρή δομή. Χαρακτηρίζονται από διαδικασίες διάβρωσης και απόπλυσης.

Κώνοι κορημάτων: Αποτελούν ποταμοχερσαία ιζήματα με την μορφή κώνου κορημάτων. Έχουν χαλαρή έως ημισυνεκτική δομή και παρουσιάζουν κοκκομετρική διαβάθμιση. Έχουν αργιλοαμμώδη ή αμμοχαλικώδη σύσταση με λατύπες και βραχώδη τεμάχια.

Αποθέσεις κοίτης: Αποτελούν κοκκώδους φύσης ασύνδετα υλικά διάβρωσης που κατακάθονται στην κοίτη του ρέματος και διαβαθμίζονται κοκκομετρικά ανάλογα με το ειδικό βάρος, την ταχύτητα και απόσταση μεταφοράς και την σκληρότητα.

Παραποτάμιες αποθέσεις: Οι αποθέσεις αυτές σχηματίζονται μετά από πλημμυρικά φαινόμενα. Τα αδρόκοκκα παραμένουν κοντά στην κοίτη ενώ τα λεπτόκοκκα εκτείνονται στις επίπεδες παραποτάμιες εκτάσεις. Είναι ευδιάβρωτος σχηματισμός.

Υλικά Παλαιών κατολισθήσεων: Παρουσιάζουν κατά θέσεις σημαντικά πάχη με έντονη ανομοιομορφία στη σύσταση. Αποτελούνται από βραχώδη τεμάχια, λίθους, ογκόλιθους των ηφαιστειακών πετρωμάτων και του υποβάθρου.

Υλικά Πρόσφατων κατολισθήσεων: Αντίστοιχα με τα παραπάνω υλικά παλαιών κατολισθήσεων παρουσιάζουν μεγάλη ανομοιομορφία στη σύσταση τους με την διαφορά ότι έχουν πολύ πιο χαλαρή δομή.

Τα κατολισθέντα υλικά εμφανίζονται στο 4^ο τμήμα του έργου Μελίβοια-Σύννορα καταλαμβάνοντας μεγάλες εκτάσεις. Οι πρώτες εμφανίσεις των κατολισθέντων υλικών βρίσκονται στις Χ.Θ. 3+450 έως 4+450 και 4+750 έως 5+200. Τα υλικά αυτά επικάθονται στη μαρμαροαμφιβολιτική σειρά του υποβάθρου. Οι εμφανίσεις συνεχίζονται κατά τις Χ.Θ. 12+350 έως 13+000 και 13+800 έως 15+500. Τα υλικά αυτά επικάθονται στη μολασσική σειρά του υποβάθρου.

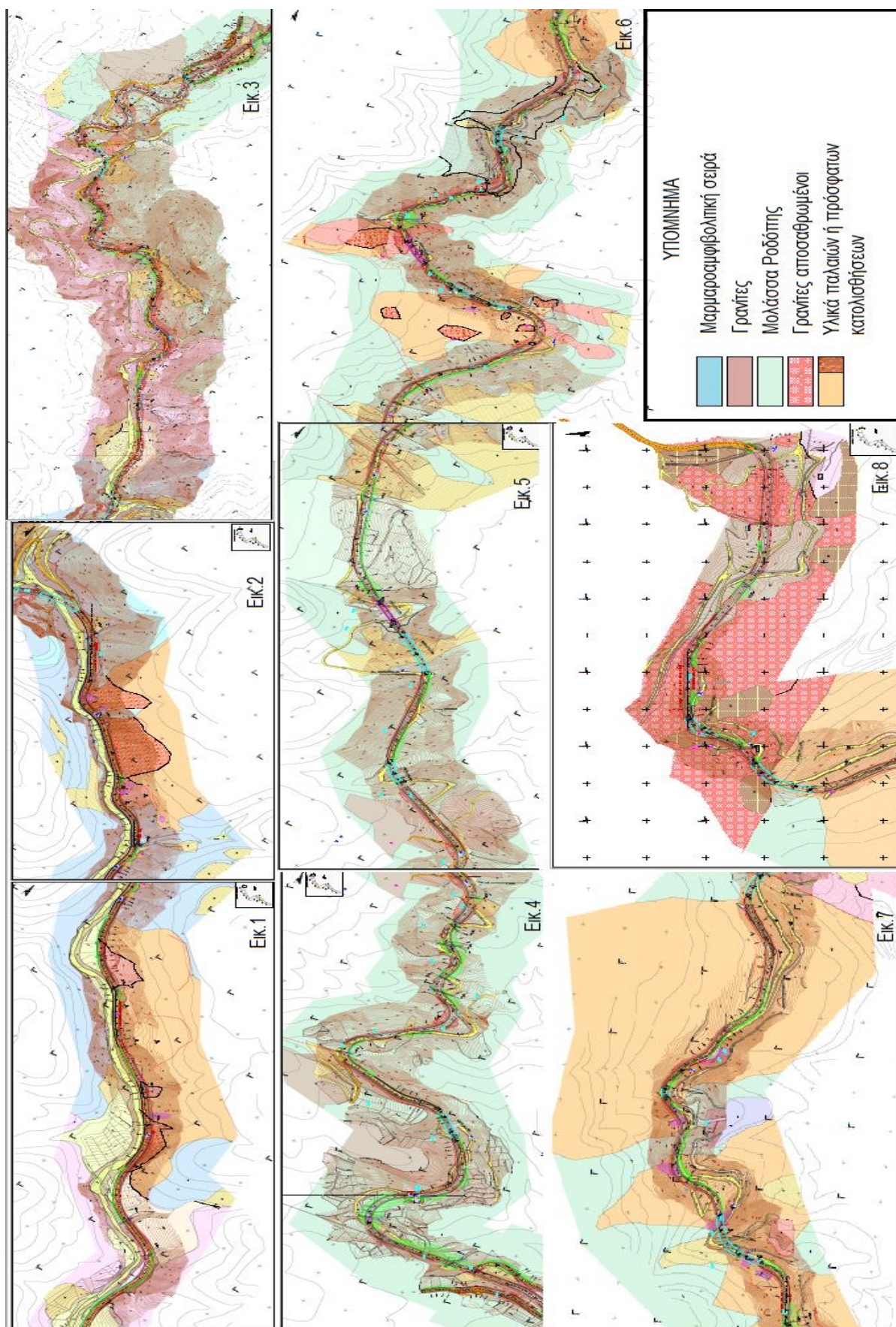
Οι κυριότεροι σχηματισμοί που αφορούν το έργο και εμφανίζονται στο 4^ο τμήμα του έργου Μελίβοια-Σύννορα δίνονται σε οριζοντιογραφία στην συνέχεια.



Εικόνα 2.12. Κατολισθέντα υλικά του 4^{ου} τμήματος Μελίβοια-Σύνορα.



Εικόνα 2.13. Κατολισθέντα υλικά του 4^{ου} τμήματος Μελίβοια-Σύνορα.



Εικόνα 2.14. Οριζοντιογραφία του 4^{ου} τμήματος του έργου Μελίβοια-Σύνορα από τη Χ.Θ.3+000 έως και το τέλος της χάραξης στη Χ.Θ. 16+500. (από Αλεξιάδου Μ.Χ., 2014)

2.5 Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά σχηματισμών

Η κυκλοφορία του νερού επιφανειακά ή υπόγεια επιδρά σημαντικά στην ευστάθεια των τεχνικών έργων. Οι υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν κατά μήκος της χάραξης εξαρτώνται από την μορφολογία του αναγλύφου, την τεκτονική και φυσικά την δομή και τη σύσταση του γεωλογικού σχηματισμού.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί ανάλογα με τον συντελεστή περατότητας που τους χαρακτηρίζει διακρίνονται σε 5 κατηγορίες (Κατά Terzaghi and Peck, 1967). Γενικότερα, οι αδρόκοκκοι εδαφικοί σχηματισμοί χαρακτηρίζονται ως περατοί λόγω του πρωτογενούς πορώδους, αντίθετα οι λεπτόκοκκοι εδαφικοί σχηματισμοί και τα βραχώδη πετρώματα χαρακτηρίζονται ως πρακτικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί έως με μικρή περατότητα. Σε περιπτώσεις όπου κάποιο βραχώδες πέτρωμα έχει υποστεί έντονη τεκτονική καταπόνηση ή παρουσιάζει καρστικοποιημένες δομές με αποτέλεσμα την ανάπτυξη δευτερογενούς πορώδους, αυτό χαρακτηρίζεται από μέτρια περατότητα.

Ειδικότερα για την περιοχή μελέτης:

Περατοί σχηματισμοί. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν όλοι οι εδαφικοί σχηματισμοί με πρωτογενές πορώδες και τα καρστικοποιημένα μάρμαρα.

Ημιπερατοί σχηματισμοί. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα βραχώδη πετρώματα που παρουσιάζουν μανδύα αποσάθρωσης ή τεκτονική καταπόνηση. Η επιφανειακή εδαφοποίηση των πετρωμάτων προσφέρει πρωτογενές πορώδες ασήμαντου πάχους ενώ τα διαρρηγμένα πετρώματα παρουσιάζουν δευτερογενές πορώδες μέχρι και το βάθος των 15μ.

Αδιαπέρατοι σχηματισμοί. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι υγιείς βραχώδεις μάζες και οι εδαφικοί σχηματισμοί με επικράτηση υλικού αργιλικής σύστασης.

Οι κατηγορίες των γεωλογικών σχηματισμών με βάση την υδροπερατότητα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2.3. Κατηγορίες γεωλογικών σχηματισμών με βάση την υδροπερατότητα τους.

Χαρακτηρισμός	Συντελεστής διαπερατότητας $K(\text{cm/sec})$	Γεωλογικοί σχηματισμοί
Υψηλή διαπερατότητα	$> 10^{-1}$	Sc. Rt. Rd. Mr.k.
Μέτρια διαπερατότητα	$10^{-3} \div 10^{-1}$	Cs. Sc. Rd. Pt. Ls. Lm. Mr.k.
Χαμηλή διαπερατότητα	$10^{-5} \div 10^{-3}$	Sc. Pt. Cs.
Πολύ χαμηλή διαπερατότητα	$10^{-7} \div 10^{-5}$	Mo. Sch.
Πρακτικά αδιαπέρατοι	$< 10^{-7}$	Gr. Gn. Ab. Mo. Mr. Sch. Vo. migt
Όπου: Sc=Κορήματα, Cs=Κώνοι κορημάτων, Rd=Αποθέσεις κοίτης, Rt=Παραποτάμιες αποθέσεις, Ls=Υλικά πρόσφατων κατολισθήσεων, Lm=Υλικά παλαιών κατολισθήσεων, Pt=Παλαιές αλλουβιακές αποθέσεις, Mo=Μολάσσα Ροδόπης, vo=Ανδεσίτες, Sch=Σχιστόλιθοι, Ab=Αμφιβολίτες, Gn=Γνεύσιος, Gr=Γρανίτης, migt=Μιγματίτες, Mr= Μάρμαρα (K=καρστ)		

Η μεγάλη διακύμανση στον χαρακτηρισμό των ίδιων εδαφικών σχηματισμών οφείλεται στην ανομοιομορφία που αυτοί εμφανίζουν όσον αφορά τη κοκκομετρική τους διαβάθμιση.

3. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

3.1 Γενικά

Σύμφωνα με τις υφιστάμενες μελέτες και τη γεωλογική χαρτογράφηση, το 4^ο τμήμα του έργου Μελίβοια – Σύνορα του έργου χαρακτηρίζεται από τη μεγαλύτερη επικινδυνότητα συγκριτικά με τα υπόλοιπα τμήματα. Οι περιοχές παλαιών και νεότερων κατολισθήσεων, το μεγάλο υψόμετρο και το ανώμαλο ανάγλυφο ήταν οι κύριοι παράγοντες για το παραπάνω συμπέρασμα. Για το λόγο αυτό, η εργασία επικεντρώνεται στα υλικά του 4^{ου} τμήματος του έργου, τα οποία και λαμβάνονται υπόψη για την στατιστική ανάλυση.

Στις επόμενες παραγράφους πραγματοποιείται ποιοτική και ποσοτική περιγραφή των γεωυλικών της περιοχής σύμφωνα με την στατιστική επεξεργασία ενώ στην συνέχεια τα υλικά αυτά ταξινομούνται σε τεχνικογεωλογικές ενότητες με βάση την λιθολογία και την μονοαξονική θλιπτική αντοχής τους, τη διαπερατότητα, την αποσάθρωση, τη δομή και την ποιότητα των υλικών – βαθμός κερματισμού. Τέλος, συγκεκριμένα για τα υλικά των πρανών ανάλυσης του επόμενου κεφαλαίου, πραγματοποιείται περαιτέρω περιγραφή και εύρεση των παραμέτρων διατμητικής αντοχής μέσα από ειδικά γεωτεχνικά λογισμικά της Rocscience που θα αναφερθούν στην συνέχεια.

3.2 Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά γεωυλικών κατά μήκος χάραξης

3.2.1 Εδαφικά υλικά

Στα εδαφικά υλικά περιλαμβάνονται όλα τα υλικά που σχηματίστηκαν κατά το Πλειστόκαινο και ύστερα όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο της γεωλογίας της περιοχής.

Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των εδαφικών υλικών προέρχονται από τα μητρώα των 91 γεωτρήσεων. Συγκεκριμένα, για την γωνία εσωτερικής τριβής ϕ και συνοχή c έγιναν δοκιμές άμεσης διάτμησης ή τριαξονικές δοκιμές φόρτισης. Για τον χαρακτηρισμό των εδαφικών υλικών έγιναν κοκκομετρικές δοκιμές κατάταξης και εύρεσης των ορίων Atterberg.

Συνολικά 213 κοκκομετρικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν για τα εδαφικά υλικά του 4^{ου} τμήματος. Γενικότερα για τα υλικά αυτά :

- Το 47% χαρακτηρίστηκε ως SC
- Το 15% χαρακτηρίστηκε ως CL
- Το 15% χαρακτηρίστηκε ως GC
- Το 14% χαρακτηρίστηκε ως SM
- Το 4% χαρακτηρίστηκε ως GM
- Το 4% χαρακτηρίστηκε ως GP
- 0.5% χαρακτηρίστηκε ως GW
- 0.5% χαρακτηρίστηκε ως ML

Στο παράρτημα I και σχήμα 2 απεικονίζεται το διάγραμμα ταξινόμησης των εδαφικών σχηματισμών – Unified Soil Classification System

Από τα παραπάνω γίνεται εύκολα αντιληπτό πως επικρατούν τα αμμώδης σύστασης υλικά.

Συνολικά 49 δείγματα υλικών χρησιμοποιήθηκαν σε δοκιμές άμεσης διάτμησης ή τριαξονικές για την εύρεση των διατμητικών παραμέτρων αντοχής.

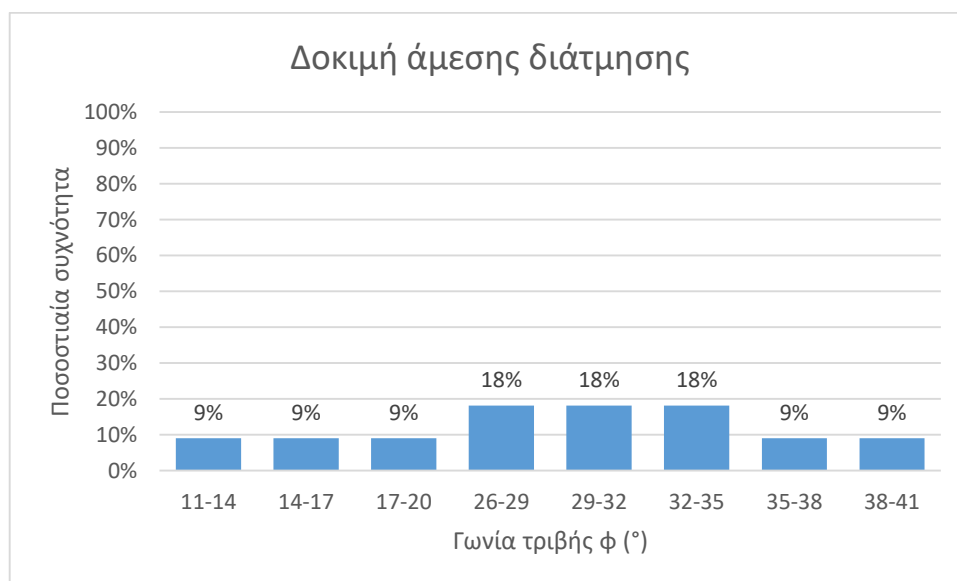
Πίνακας 3.1. Τα διαθέσιμα εδαφικά δείγματα.

Αριθμός δειγμάτων	Επικρατέστερο υλικό	Χαρακτηρισμός
16	Άργιλος	CL
32	Άμμος	SC-SM
1	Χαλίκια	GC

Στην συνέχεια παρουσιάζεται η στατιστική κατανομή των εδαφικών υλικών στην περιοχή ενδιαφέροντος. Συγκεκριμένα, η κατανομή αφορά τη γωνία εσωτερικής τριβής ϕ και συνοχή c ανάλογα με τις εργαστηριακές δοκιμές που διενεργήθηκαν, για να προσδιοριστούν οι τιμές των παραπάνω παραμέτρων. Οι εργαστηριακές δοκιμές πραγματοποιήθηκαν από τις εταιρείες που ανέλαβαν τις γεωτρήσεις. Τα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζουν τη κατανομή των τιμών για τη γωνία τριβής ανά 3° και για τη συνοχή ανά 10 Kpa σε κάθε εδαφικό υλικό αντίστοιχα.

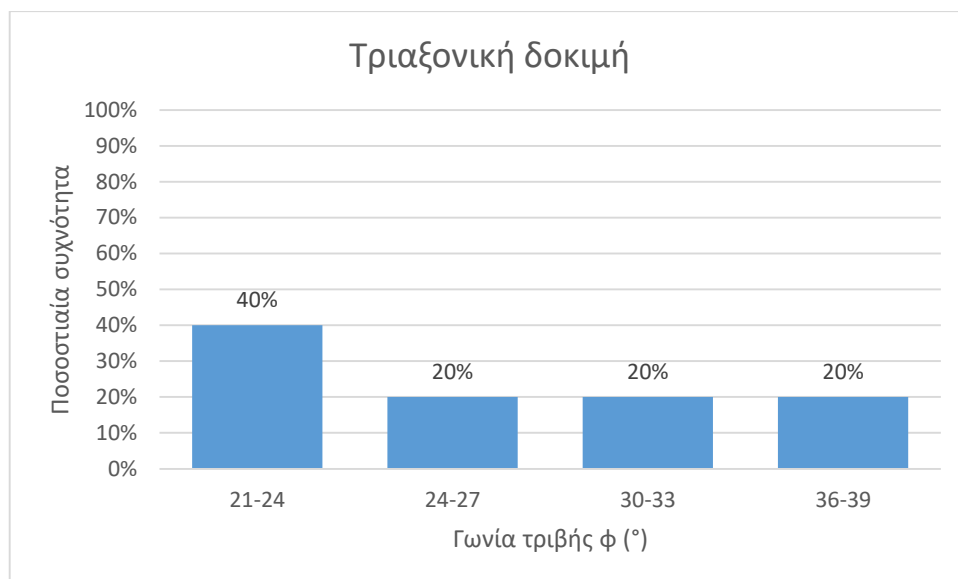
Άργιλος

Σύμφωνα με τις 11 δοκιμές άμεσης διάτμησης που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα. Η μέση τιμή της γωνίας τριβής ϕ που αντιπροσωπεύει το υλικό κυμαίνεται μεταξύ 26° και 35° σε συνολικό ποσοστό 54%. Η μέση τιμή της γωνίας τριβής για το υλικό αυτό ισούται με 28° .



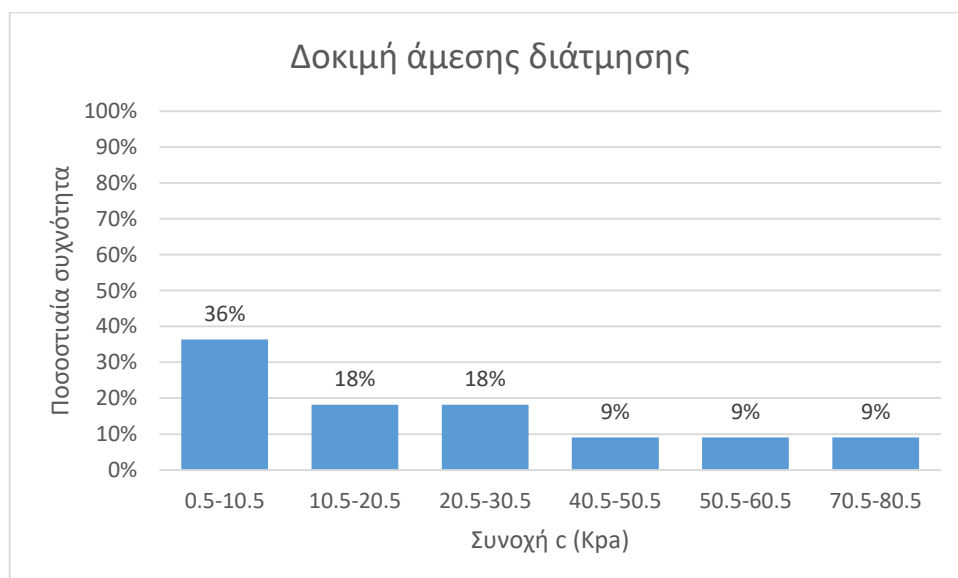
Διάγραμμα 1. Για την παραπάνω ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 11 τιμές γωνίας τριβής όπως δόθηκαν από τις δοκιμές άμεσης διάτμησης. Η μέγιστη τιμή ισούται με 38° και η ελάχιστη 11° . Η μέση γωνία τριβής ισούται με 28° .

Σύμφωνα με τις 5 τριαξονικές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα. Δεν υπήρχαν πολλά δεδομένα προκειμένου να προκύψει μια κατανομή τιμών. Η μέση τιμή της γωνίας τριβής ισούται με 27°.



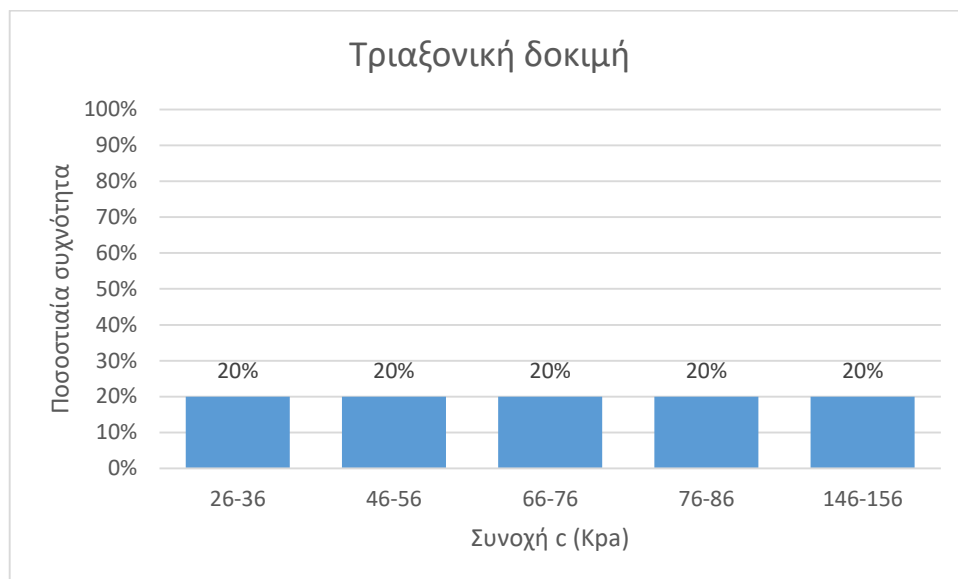
Διάγραμμα 2. Για την παραπάνω ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 5 τιμές γωνίας τριβής όπως δόθηκαν από τις τριαξονικές δοκιμές φόρτισης. Η μέγιστη τιμή ισούται με 37° και η ελάχιστη 22°. Η μέση γωνία τριβής ισούται με 27°.

Σύμφωνα με τις 11 δοκιμές άμεσης διάτμησης που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα.. Η μέση τιμή της συνοχής c που αντιπροσωπεύει το υλικό κυμαίνεται μεταξύ 0 Kpa και 31 Kpa σε συνολικό ποσοστό 72%. Η μέση τιμή για το υλικό αυτό ισούται με 27 Kpa.



Διάγραμμα 3. Για την παραπάνω ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 11 τιμές συνοχής όπως δόθηκαν από τις δοκιμές άμεσης διάτμησης. Η μέγιστη τιμή ισούται με 77 Kpa και η ελάχιστη 1 Kpa. Η μέση συνοχή ισούται με 27 Kpa.

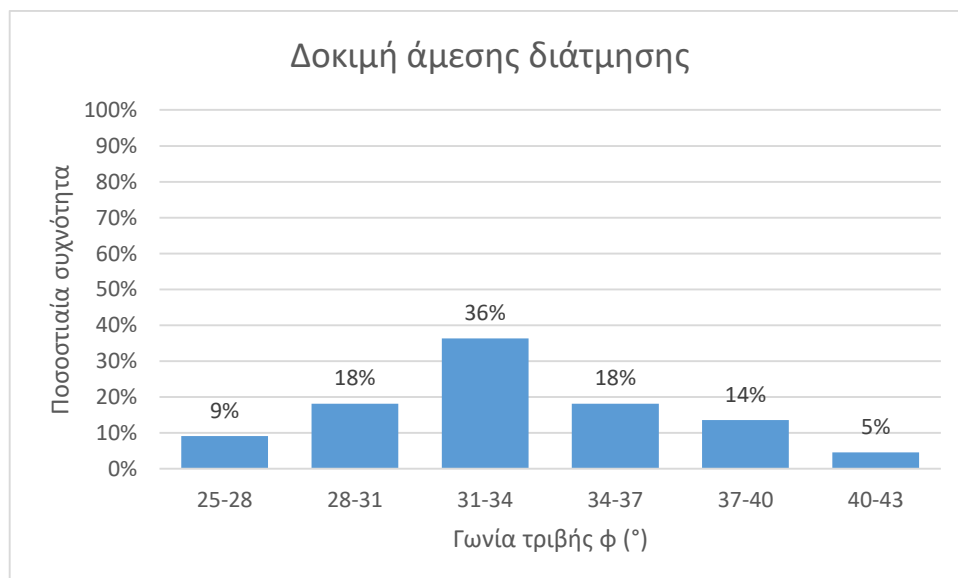
Σύμφωνα με τις 5 τριαξονικές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα. Δεν υπήρχαν πολλά δεδομένα προκειμένου να προκύψει μια κατανομή τιμών. Η μέση τιμή της συνοχής ισούται με 75 Kpa.



Διάγραμμα 4. Για την παραπάνω ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 5 τιμές συνοχής όπως δόθηκαν από τις τριαξονικές δοκιμές φόρτισης. Η μέγιστη τιμή ισούται με 147 Kpa και η ελάχιστη 26 Kpa. Η μέση συνοχή ισούται με 75 Kpa.

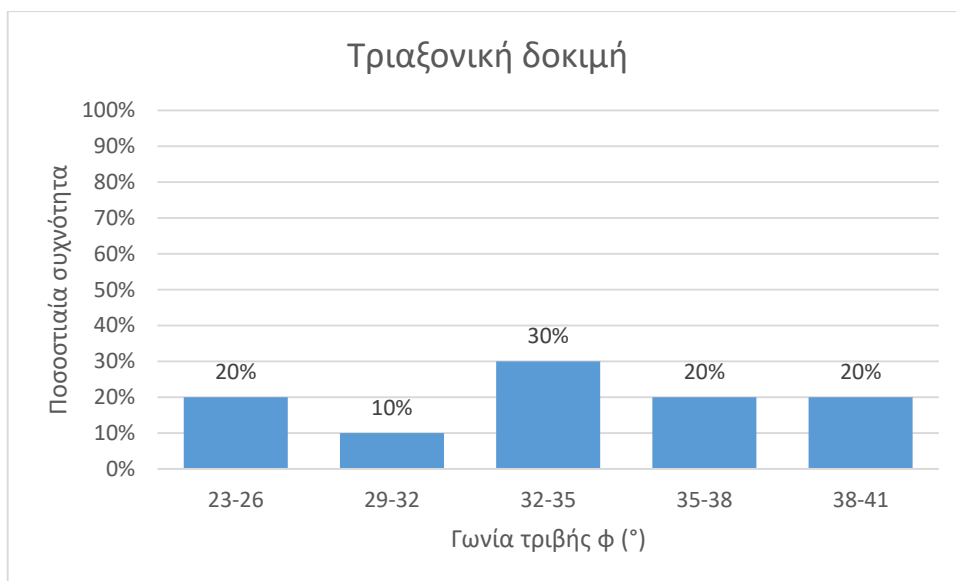
Άμμος

Σύμφωνα με τις 22 δοκιμές άμεσης διάτμησης που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα. Η μέση τιμή της γωνίας τριβής ϕ που αντιπροσωπεύει το υλικό κυμαίνεται μεταξύ 28° και 37° σε συνολικό ποσοστό 72%. Η μέση τιμή για το υλικό αυτό ισούται με 33° .



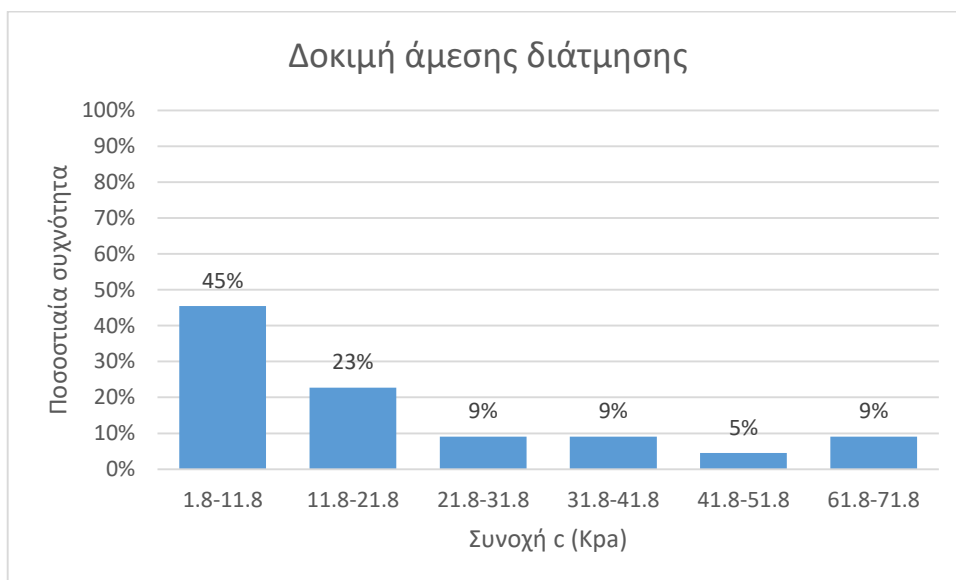
Διάγραμμα 5. Για την παραπάνω ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 22 τιμές γωνίας τριβής όπως δόθηκαν από τις δοκιμές άμεσης διάτμησης. Η μέγιστη τιμή ισούται με 42° και η ελάχιστη 25° . Η μέση γωνία τριβής ισούται με 33° .

Σύμφωνα με τις 10 τριαξονικές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα. Δεν προέκυψε σαφή κατανομή των τιμών. Η μέση τιμή της γωνίας τριβής ισούται με 33°.



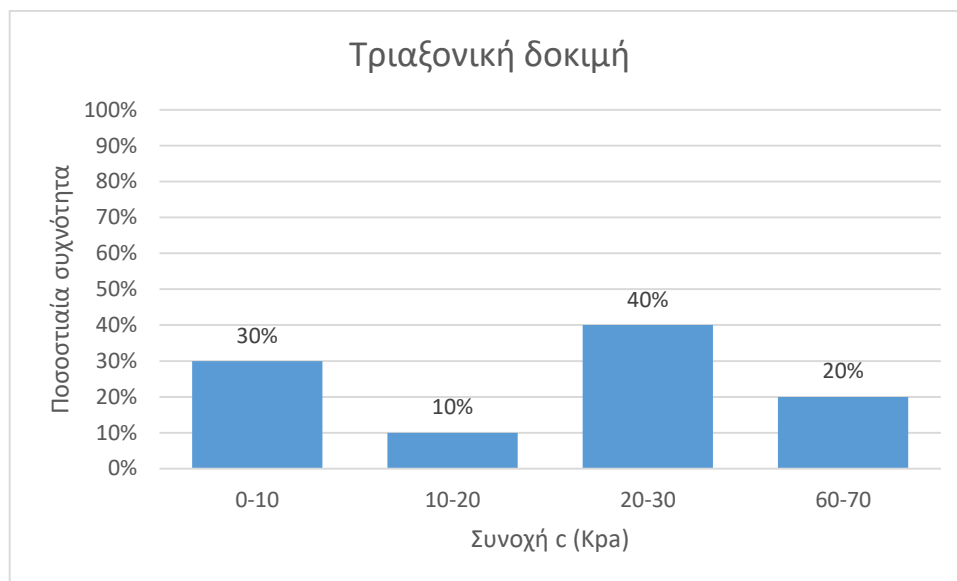
Διάγραμμα 6. Για την παραπάνω ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 10 τιμές γωνίας τριβής όπως δόθηκαν από τις τριαξονικές δοκιμές φόρτισης. Η μέγιστη τιμή ισούται με 40° και η ελάχιστη 24°. Η μέση γωνία τριβής ισούται με 33°.

Σύμφωνα με τις 22 δοκιμές άμεσης διάτμησης που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα.. Η μέση τιμή της συνοχής c που αντιπροσωπεύει το υλικό κυμαίνεται μεταξύ 2 Kpa και 22 Kpa σε συνολικό ποσοστό 68%. Η μέση τιμή για το υλικό αυτό ισούται με 20 Kpa.



Διάγραμμα 7. Για την παραπάνω ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 22 τιμές συνοχής όπως δόθηκαν από τις δοκιμές άμεσης διάτμησης. Η μέγιστη τιμή ισούται με 68 Kpa και η ελάχιστη 2 Kpa. Η μέση συνοχή ισούται με 20 Kpa.

Σύμφωνα με τις 10 τριαξονικές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα. Δεν προέκυψε σαφή κατανομή των τιμών. Η μέση τιμή της συνοχής ισούται με 25 Kpa.



Διάγραμμα 8. Για την παραπάνω ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 10 τιμές συνοχής όπως δόθηκαν από τις τριαξονικές δοκιμές φόρτισης. Η μέγιστη τιμή ισούται με 69 Kpa και η ελάχιστη 0 Kpa. Η μέση συνοχή c ισούται με 25 Kpa.

Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας των παραπάνω τιμών γωνίας τριβής και συνοχής.

Πίνακας 3.2. Συγκεντρωτικός πίνακας των διατμητικών αντοχών στα εδαφικά υλικά.

		Τριαξονική φόρτιση	Άμεση διάτμηση	Μέση Τιμή
Άργιλος (CL)	Γωνία τριβής $\phi(^{\circ})$	27	28	28
	Συνοχή c (Kpa)	75	27	51
Άμμος (SC-SM)	Γωνία τριβής $\phi(^{\circ})$	33	33	33
	Συνοχή c (Kpa)	25	20	23

3.2.2 Βραχώδη υλικά

Στην παράγραφο αυτή γίνεται προσπάθεια να προσδιοριστούν, αρχικά ποιοτικά και στην συνέχεια ποσοτικά, οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των πετρωμάτων του τμήματος 4^{ου} τμήματος Μελίβοια-σύνορα.

Το συγκεκριμένο τμήμα του έργου Μελίβοια-Σύνορα, όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο της γεωλογίας στην περιοχή έρευνας, περιλαμβάνει τη μαρμαροαμφιβολιτική σειρά της ενότητας του Σιδηρόνερου, τη μολασσική σειρά που αποτελείται από ηφαιστειακούς σχηματισμούς λατυποπαγών και τόφφων και τους πλουτωνικούς όγκους γρανιτικής σύστασης.

Τα παραπάνω υλικά αποτελούν το υπόβαθρο της περιοχής του έργου και εμφανίζονται στην επιφάνεια.

Σύμφωνα με τις γεωτρήσεις και τη γεωλογική χαρτογράφηση που έχει πραγματοποιηθεί:

- Ο Αμφιβολίτης αποτελεί συμπαγή, βραχώδη σχηματισμό. Χαρακτηριστικό του σχηματισμού είναι οι επιφάνειες σχιστότητας. Στο σύνολο του έχει υψηλές αντοχές ενώ παρουσιάζεται ως μέτρια έως πολύ τεκτονικά καταπονημένος με εμφανή πτυχογόνο και ρηξιγενή τεκτονική. Ο βαθμός αποσάθρωσης του κυμαίνεται από υγιής έως τελείως αποσαθρωμένος σε λίγες θέσεις. Ο μανδύας αποσάθρωσης έχει μέγιστο 1.5m πάχος.
- Τα μάρμαρα αποτελούν συμπαγή, υγιή, άστρωτα ή παχυστρωματώδη πετρώματα. Δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερο καρστικοποιημένο χαρακτήρα σύμφωνα με τα στοιχεία των γεωτρήσεων ενώ τέμνονται από λίγες οικογένειες ασυνεχειών.
- Τα ηφαιστειακά λατυποπαγή και οι τόφφοι εμφανίζονται ως σκληρές και συμπαγείς βραχώδεις μάζες με μεγάλες αντοχές. Χαρακτηρίζονται από έντονη αποσάθρωση και πυκνό σύστημα ασυνεχειών.
- Τα γρανιτικά υλικά εμφανίζονται ως συμπαγείς μάζες με πυκνό σύστημα ασυνεχειών και μανδύα αποσάθρωσης 1-2 μέτρων. Οι γρανιτικές μάζες που χαρακτηρίζονται από υδροθερμική εξαλλοίωση εμφανίζονται μόνο στο τέλος της χάραξης του έργου, κοντά στα Ελληνοβουλγαρικά σύνορα.

Τα παραπάνω πετρώματα έχουν ταξινομηθεί σύμφωνα με το γεωλογικό δείκτη αντοχής GSI. Σύμφωνα με τους E. Hoek και P. Marinos (2000) για τις βραχώμαζες και τους E. Hoek, P. Marinos και V. Marinos (2004) για τις μολασσικές βραχώμαζες, το εύρος τιμών GSI που προκύπτει στο συγκεκριμένο σύστημα ταξινόμησης εξαρτάται από την ποιότητα της βραχώμαζας (βαθμός κερματισμού) και των ασυνεχειών.

Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας των τιμών GSI για κάθε πέτρωμα του 4^{ου} τμήματος του έργου Μελίβοια-Σύνορα όπως αποδόθηκαν από τους μελετητές της Εγνατίας Οδός Α.Ε. Ο πίνακας περιλαμβάνει τιμές σε διάφορες θέσεις της χάραξης, για τον λόγο αυτό έχουν αποδοθεί τιμές GSI σε ένα πέτρωμα πολλαπλές φορές.

Πίνακας 3.3. Συγκεντρωτικός πίνακας των τιμών GSI για τα πετρώματα του 4^{ου} τμήματος του έργου Μελίβοια-Σύνορα.

Λιθολογία	GSI
Αμφιβολίτης	45-55
	43-53
	30-40 (αποσαθρωμένος)
Γρανίτης	58-68
	36-46 (αποσαθρωμένος)
Ηφαιστειακό λατυποπαγές	46-56
	40-50
	48-58
Μάρμαρο	65-75
Τόφφοι	47-57
	49-59
	45-55
	54-64

Συμπερασματικά:

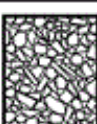
- ο υγιής αμφιβολίτης έχει τιμές GSI 43-55.
Ο αποσαθρωμένος αμφιβολίτης έχει τιμές GSI 30-40.
- Ο υγιής γρανίτης έχει τιμές GSI 58-68.
Ο αποσαθρωμένος γρανίτης έχει τιμές GSI 36-46.
- Το ηφαιστειακό λατυποπαγές έχει τιμές GSI 40-58
- Το μάρμαρο έχει τιμές GSI 65-75.
- Οι τόφφοι έχουν τιμές GSI 45-59

Τα παραπάνω αφορούν μόνο τις θέσεις των πετρωμάτων στο 4^ο τμήμα του έργου Μελίβοια-Σύνορα. Οι τιμές των πετρωμάτων που εμφανίζονται και σε θέσεις των προηγούμενων τμημάτων έχουν γενικά υψηλότερες τιμές GSI.

Οι τιμές GSI των πετρωμάτων που δεν εμφανίζονται στο 4^ο τμήμα του έργου, δίνονται συγκεντρωτικά στην παράγραφο των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων.

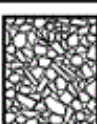
Στην συνέχεια δίνονται οι πίνακες ταξινόμησης των πετρωμάτων και οι τιμές όπου κυμαίνονται τα αντίστοιχα GSI.

Πίνακας 3.4. Σύστημα ταξινόμησης της βραχώμαζας κατά GSI (E. Hoek, P. Marinos, 2000). Στον παρακάτω πίνακα αποδίδονται οι τιμές GSI για τα ηφαιστειακά πετρώματα που εμφανίζονται στο τελευταίο τμήμα του έργου Μελίβοια-Σύνορα.

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000) From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.		SURFACE CONDITIONS VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces POOR Slickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments VERY POOR Slickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings				
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES ↓	 INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90	80	70	60	N/A
	 BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets					
	 VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets					
	 BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity					
	 DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces					
	 LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A			
				40	30	20
						10

tuff GSI 45-59
breccia
GSI 40-58

Πίνακας 3.5. Σύστημα ταξινόμησης της βραχόμαζας κατά GSI (E. Hoek, P. Marinos, 2000). Στον παρακάτω πίνακα αποδίδονται οι τιμές GSI για τα μάρμαρα, τους γρανίτες και τους αμφιβολίτες που εμφανίζονται στο τελευταίο τμήμα του έργου Μελίβοια-Σύνορα.

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000) From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.		SURFACE CONDITIONS VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces POOR Slickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments VERY POOR Slickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings				
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90	80	70	N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	70	60	50	40	30
	VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	60	50	40	30	20
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	50	40	30	20	10
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	40	30	20	10	
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A			

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία (Marinos P. and Hoek, E., 2000.) κάθε πέτρωμα χαρακτηρίζεται από μια σταθερή εμπειρική τιμή που ορίζεται ως m_i . Η τιμή αυτή σε συνδυασμό με τον γεωλογικό δείκτη αντοχής GSI χρησιμοποιείται σε διαγράμματα για τον προσδιορισμό άλλων παραμέτρων, όπως θα δούμε στην συνέχεια.

Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται οι σταθερές τιμές m_i των πετρωμάτων που μελετώνται.

Πίνακας 3.6. Συγκεντρωτικός πίνακας σταθερών τιμών m_i για τα πετρώματα του 4^{ου} τμήματος Μελίβοια-Σύννορα.

Λιθολογία	m_i
Αμφιβολίτης	15
Γρανίτης	20
Ηφαιστειακό λατυποπαγές	19
Μάρμαρο	11
Τόφφοι	18

Στην συνέχεια ακολουθεί στατιστική επεξεργασία των παραμέτρων αντοχής για κάθε πέτρωμα.

Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των πετρωμάτων προέρχονται από τα μητρώα των 91 γεωτρήσεων. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές μονοαξονικής θλίψης για την εύρεση της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής σ_{ci} και του μέτρου παραμορφωσιμότητας E όπως επίσης και επί τόπου σημειακές φορτίσεις για τον δείκτη L_s σε κάθε πέτρωμα.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία ο δείκτης L_s μπορεί να προσδιορίσει την μονοαξονική θλιπτική αντοχή κάποιου υλικού. Στην προκειμένη περίπτωση και τα υλικά της περιοχής, για να βρούμε θεωρητικά το σ_{ci} πολλαπλασιάζουμε τον δείκτη με είκοσι τέσσερα για τα υπό μελέτη πετρώματα (Marinos P. and Hoek, E., 2000).

Συνολικά 299 δείγματα πετρωμάτων χρησιμοποιήθηκαν κατά την στατιστική επεξεργασία των δεδομένων.

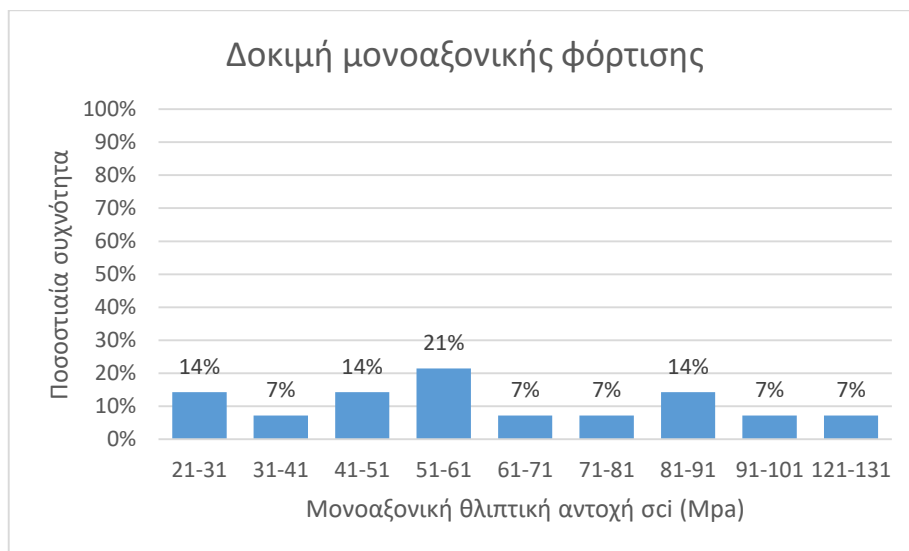
Πίνακας 3.7. Τα διαθέσιμα δείγματα πετρωμάτων.

Αριθμός δειγμάτων	Πέτρωμα
25	Αμφιβολίτης
40	Γρανίτης
103	Ηφαιστειακό Λατυποπαγές
12	Μάρμαρο
119	Τόφφοι

Συγκεκριμένα, η κατανομή αφορά τη μονοαξονική θλιπτική αντοχή σ_{ci} και το μέτρο παραμορφωσιμότητας E των πετρωμάτων. Τα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζουν, τη κατανομή των τιμών για τη μονοαξονική θλιπτική αντοχή ανά 10 ΜΡα και για το μέτρο παραμορφωσιμότητας ανά 3000 ΚΡα σε κάθε πέτρωμα αντίστοιχα.

Αμφιβολίες

Σύμφωνα με τις 14 δοκιμές μονοαξονικής φόρτισης που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα. Η τιμή της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής σ_{ci} που αντιπροσωπεύει το υλικό κυμαίνεται μεταξύ διαφόρων τιμών χωρίς να υπάρχει κάποια εμφανής διακύμανση της παραμέτρου. Η μέση τιμή για το υλικό αυτό ισούται με 62 Μpa.



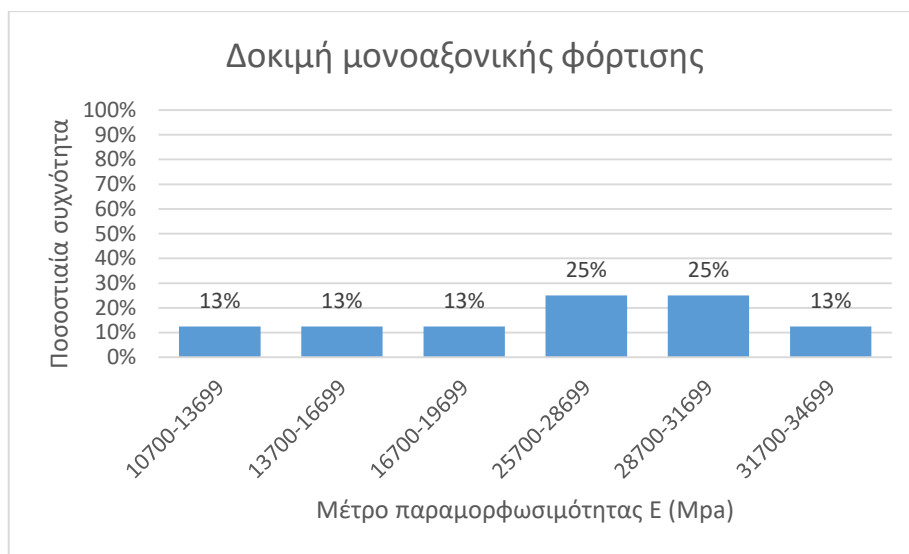
Διάγραμμα 9. Για την παραπάνω ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 14 τιμές μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής όπως βρέθηκαν από τις δοκιμές μονοαξονικής φόρτισης. Η μέγιστη τιμή ισούται με 122 Μpa και η ελάχιστη με 22 Μpa. Η μέση μονοαξονική θλιπτική αντοχή ισούται με 62 Μpa.

Σύμφωνα με τις 11 δοκιμές σημειακής φόρτισης που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα δόθηκαν τιμές στη παράμετρο L_s. Πολλαπλασιάζοντας τη συγκεκριμένη παράμετρο με το συντελεστή 24 βρέθηκε η θεωρητική μονοαξονική θλιπτική αντοχή. Μετά την επεξεργασία δεν προέκυψε εμφανής κατανομή των τιμών. Η μέση τιμή υπολογίζεται στα 44 Μpa.



Διάγραμμα 10. Για την παραπάνω ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 11 τιμές μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής όπως βρέθηκαν μέσω του δείκτη L_s από τις δοκιμές σημειακής φόρτισης. Η μέγιστη τιμή ισούται με 106 Μpa και η ελάχιστη με 2 Μpa. Η μέση θεωρητική μονοαξονική θλιπτική αντοχή ισούται με 47 Μpa.

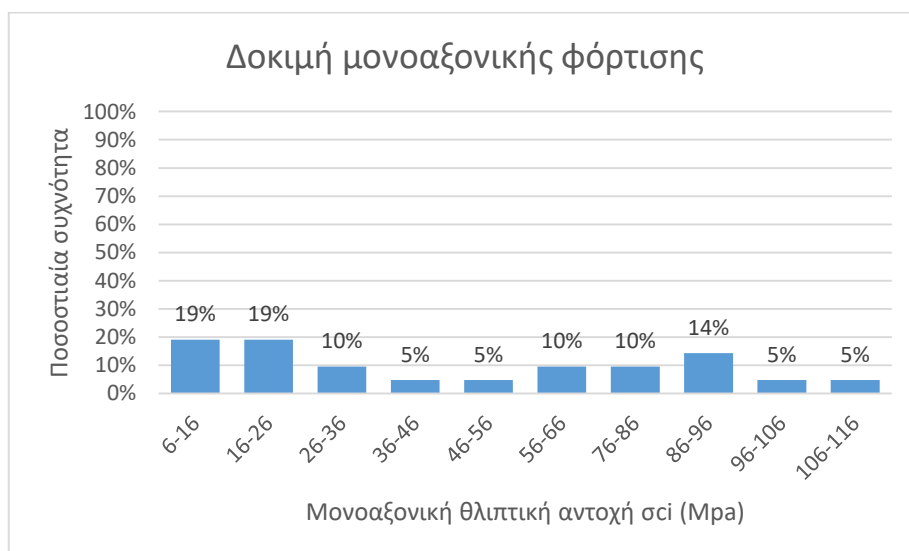
Σύμφωνα με τις 8 δοκιμές μονοαξονικής φόρτισης που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα. Η τιμή του μέτρου παραμορφωσιμότητας που αντιπροσωπεύει το υλικό κυμαίνεται μεταξύ 26 Gpa και 32 Gpa σε ποσοστό 50%. Η μέση τιμή για το υλικό αυτό ισούται με 24 Gpa.



Διάγραμμα 11. Για την παραπάνω ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 8 τιμές του μέτρου παραμορφωσιμότητας όπως βρέθηκαν από τις δοκιμές μονοαξονικής φόρτισης. Η μέγιστη τιμή ισούται με 32 Gpa και η ελάχιστη με 11 Gpa. Η μέση τιμή του μέτρου παραμορφωσιμότητας E για τον αμφιβολίτη ισούται με 24 Gpa.

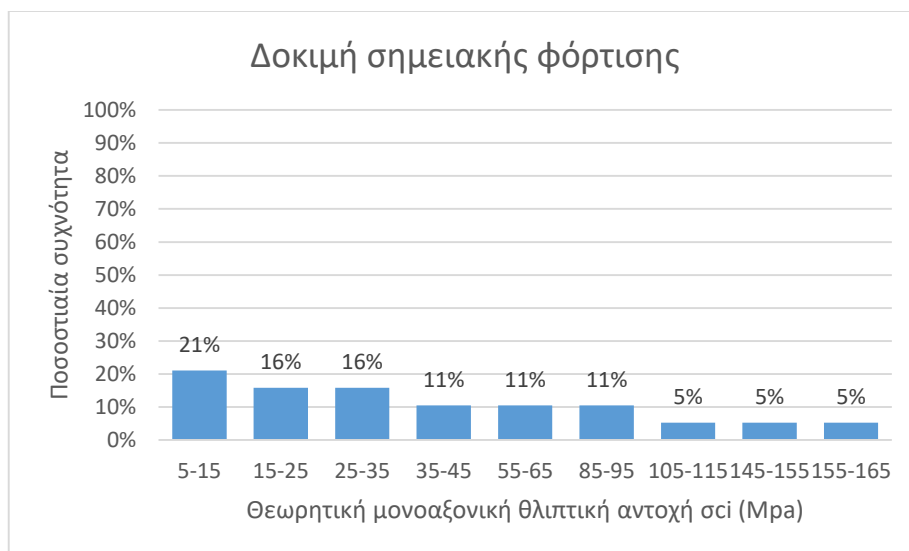
Γρανίτης

Σύμφωνα με τις 20 δοκιμές μονοαξονικής φόρτισης που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα. Η τιμή της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής σ_{ci} που αντιπροσωπεύει το υλικό κυμαίνεται μεταξύ διαφόρων τιμών μεταξύ 6 Μpa με 36 Μpa και 56 Μpa με 96 Μpa. Η μέση τιμή για το υλικό αυτό ισούται με 50 Μpa.



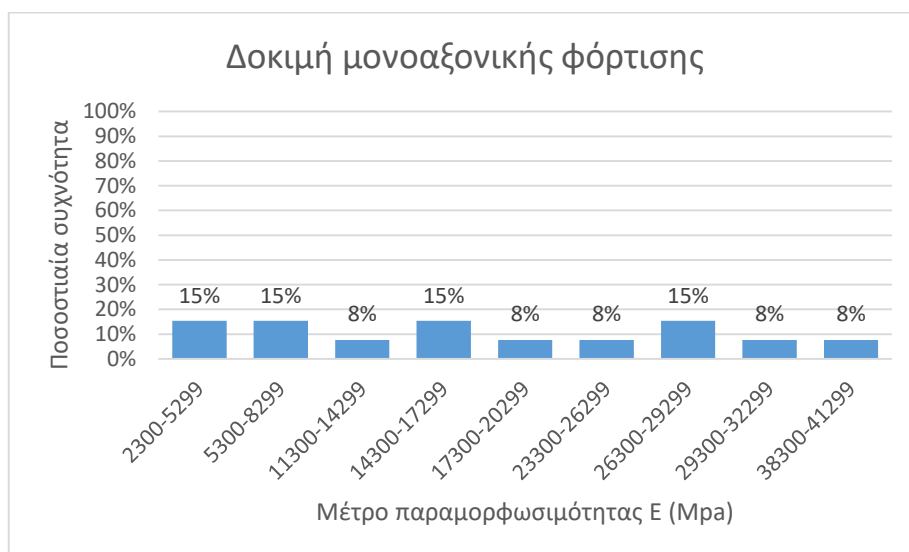
Διάγραμμα 12. Για την παραπάνω ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 20 τιμές μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής όπως βρέθηκαν από τις δοκιμές μονοαξονικής φόρτισης. Η μέγιστη τιμή ισούται με 113 Μpa και η ελάχιστη με 7 Μpa. Η μέση μονοαξονική θλιπτική αντοχή ισούται με 50 Μpa.

Σύμφωνα με τις 16 δοκιμές σημειακής φόρτισης που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα δόθηκαν τιμές στη παράμετρο Ls. Πολλαπλασιάζοντας τη συγκεκριμένη παράμετρο με το συντελεστή 24 βρέθηκε η θεωρητική μονοαξονική θλιπτική αντοχή. Μετά την επεξεργασία των τιμών προέκυψε πως η αντοχή κυμαίνεται σε χαμηλές τιμές μεταξύ 5 Mpa και 35 Mpa σε ποσοστό 53%. Η μέση τιμή υπολογίζεται στα 52 Mpa.



Διάγραμμα 13. Για την παραπάνω ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 16 τιμές μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής όπως βρέθηκαν μέσω του δείκτη Ls από τις δοκιμές σημειακής φόρτισης. Η μέγιστη τιμή ισούται με 155 Mpa και η ελάχιστη με 5 Mpa. Η μέση θεωρητική μονοαξονική θλιπτική αντοχή ισούται με 52 Mpa.

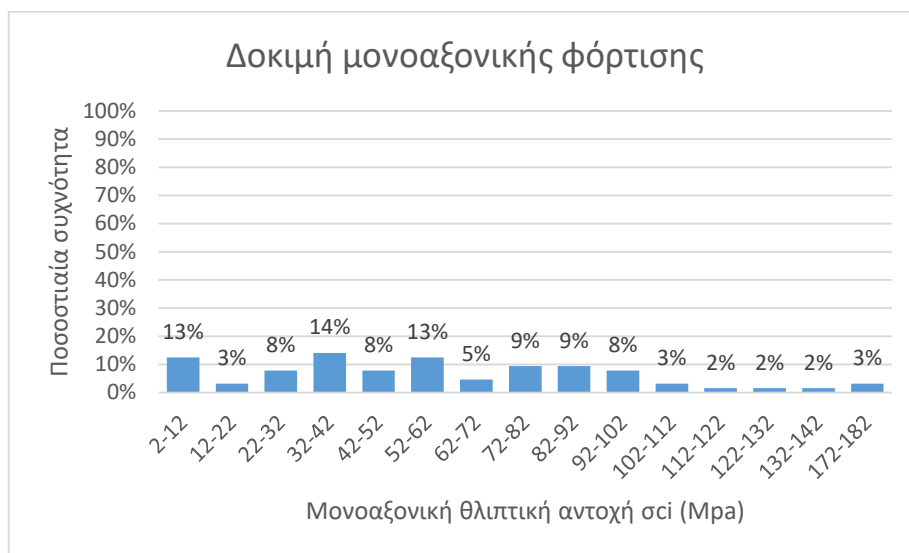
Σύμφωνα με τις 13 δοκιμές μονοαξονικής φόρτισης που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα. Η τιμή του μέτρου παραμορφωσιμότητας που αντιπροσωπεύει το υλικό κυμαίνεται μεταξύ διαφόρων τιμών χωρίς να υπάρχει κάποια εμφανής διακύμανση της παραμέτρου. Η μέση τιμή για το υλικό αυτό ισούται με 18 Gpa.



Διάγραμμα 14. Για την παραπάνω ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 13 τιμές του μέτρου παραμορφωσιμότητας όπως βρέθηκαν από τις δοκιμές μονοαξονικής φόρτισης. Η μέγιστη τιμή ισούται με 41 Gpa και η ελάχιστη με 2 Gpa. Η μέση τιμή του μέτρου παραμορφωσιμότητας E για τον γρανίτη ισούται με 18 Gpa.

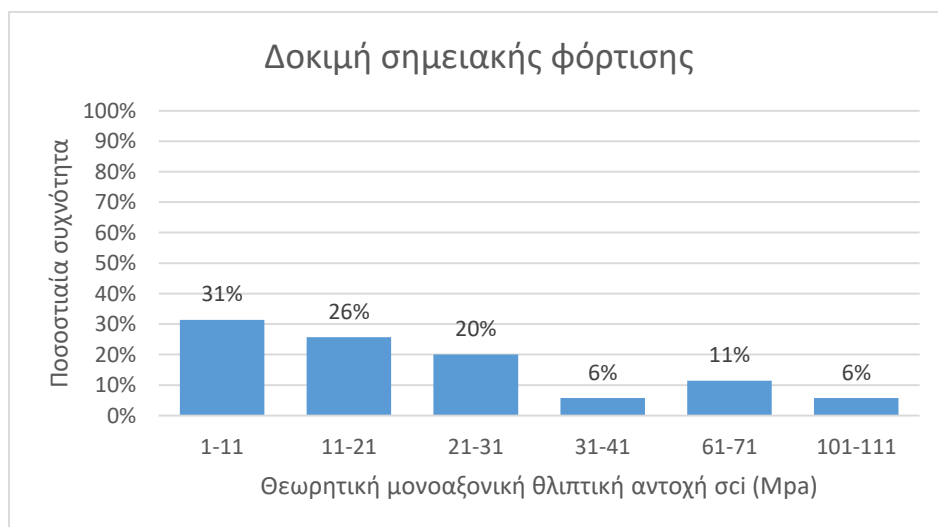
Ηφαιστειακό λατυποπαγές

Σύμφωνα με τις 71 δοκιμές μονοαξονικής φόρτισης που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα. Η τιμή της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής σ_{ci} που αντιπροσωπεύει το υλικό κυμαίνεται μεταξύ διαφόρων τιμών μεταξύ 22 Μpa με 62 Μpa και 72 Μpa με 102 Μpa σε ποσοστά 43% και 26% αντίστοιχα. Η μέση τιμή για το υλικό αυτό ισούται με 61 Μpa.



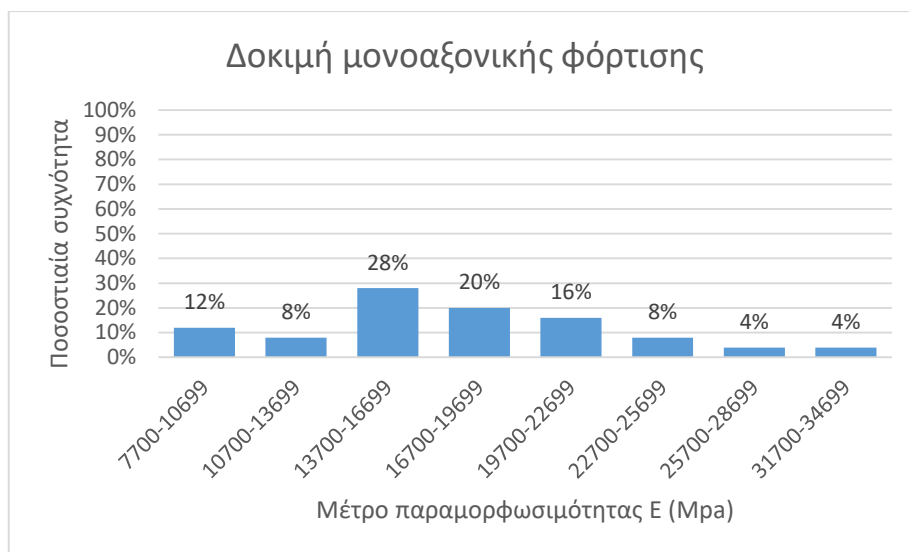
Διάγραμμα 15. Για την παραπάνω ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 71 τιμές μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής όπως βρέθηκαν από τις δοκιμές μονοαξονικής φόρτισης. Η μέγιστη τιμή ισούται με 180 Μpa και η ελάχιστη με 3 Μpa. Η μέση μονοαξονική θλιπτική αντοχή ισούται με 61 Μpa.

Σύμφωνα με τις 16 δοκιμές σημειακής φόρτισης που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα δόθηκαν τιμές στη παράμετρο Ls. Πολλαπλασιάζοντας τη συγκεκριμένη παράμετρο με το συντελεστή 24 βρέθηκε η θεωρητική μονοαξονική θλιπτική αντοχή. Μετά την επεξεργασία των τιμών προέκυψε πως η αντοχή κυμαίνεται σε χαμηλές τιμές μεταξύ 1 Μpa και 31 Μpa σε ποσοστό 77%. Η μέση τιμή υπολογίζεται στα 26 Μpa.



Διάγραμμα 16. Για την παραπάνω ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 35 τιμές μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής όπως βρέθηκαν μέσω του δείκτη Ls από τις δοκιμές σημειακής φόρτισης. Η μέγιστη τιμή ισούται με 110 Μpa και η ελάχιστη με 1 Μpa. Η μέση θεωρητική μονοαξονική θλιπτική αντοχή ισούται με 26 Μpa.

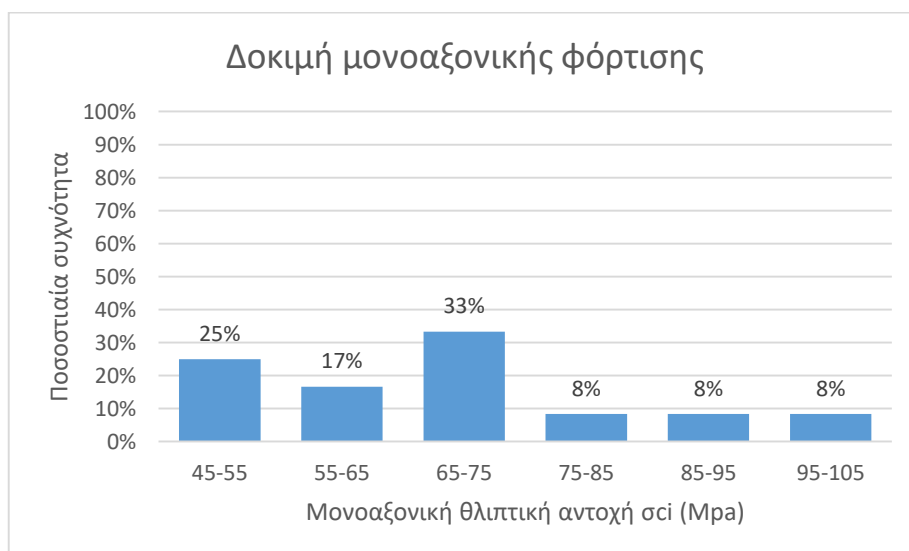
Σύμφωνα με τις 26 δοκιμές μονοαξονικής φόρτισης που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα. Η τιμή του μέτρου παραμορφωσιμότητας που αντιπροσωπεύει το υλικό κυμαίνεται μεταξύ 14 Gpa και 23 Gpa σε ποσοστό 64%. Η μέση τιμή για το υλικό αυτό ισούται με 18 Gpa.



Διάγραμμα 17. Για την παραπάνω ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 26 τιμές του μέτρου παραμορφωσιμότητας όπως βρέθηκαν από τις δοκιμές μονοαξονικής φόρτισης. Η μέγιστη τιμή ισούται με 34 Gpa και η ελάχιστη με 4 Gpa. Η μέση τιμή του μέτρου παραμορφωσιμότητας E για το ηφαιστειακό λατυποπαγές ισούται με 18 Gpa.

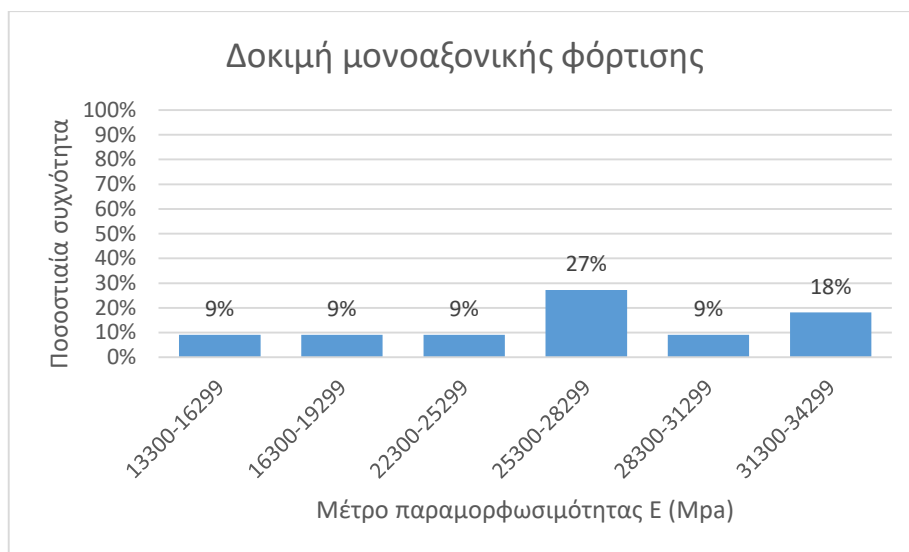
Μάρμαρο

Σύμφωνα με τις 12 δοκιμές μονοαξονικής φόρτισης που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα. Η τιμή της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής σ_{ci} που αντιπροσωπεύει το υλικό κυμαίνεται μεταξύ διαφόρων τιμών μεταξύ 45 Mpa και 75 Mpa σε ποσοστό 75%. Η μέση τιμή για το υλικό αυτό ισούται με 68 Mpa.



Διάγραμμα 18. Για την παραπάνω ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 12 τιμές μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής όπως βρέθηκαν από τις δοκιμές μονοαξονικής φόρτισης. Η μέγιστη τιμή ισούται με 105 Mpa και η ελάχιστη με 45 Mpa. Η μέση μονοαξονική θλιπτική αντοχή ισούται με 68 Mpa.

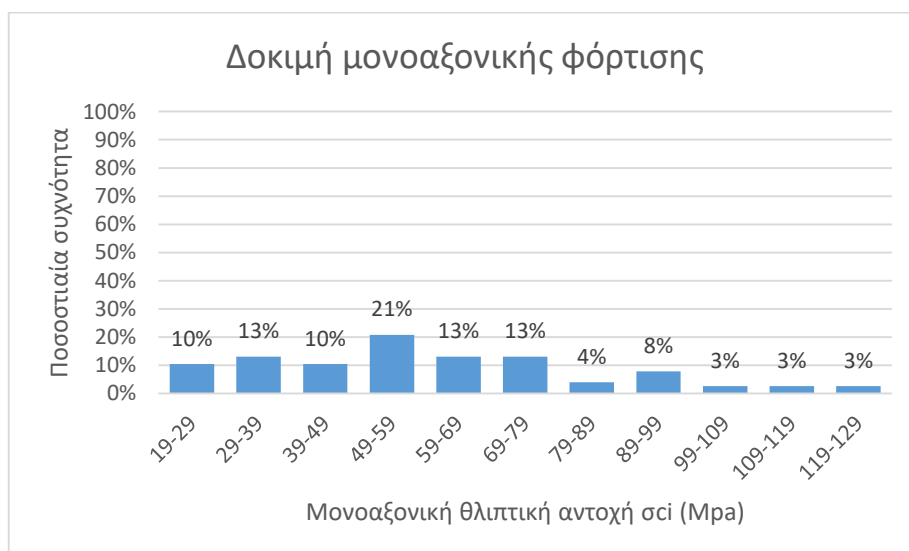
Σύμφωνα με τις 11 δοκιμές μονοαξονικής φόρτισης που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα. Η τιμή του μέτρου παραμορφωσιμότητας που αντιπροσωπεύει το υλικό κυμαίνεται μεταξύ 25 Gpa και 34 Gpa σε ποσοστό 52%. Η μέση τιμή για το υλικό αυτό ισούται με 27 Gpa.



Διάγραμμα 19. Για την παραπάνω ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 11 τιμές του μέτρου παραμορφωσιμότητας όπως βρέθηκαν από τις δοκιμές μονοαξονικής φόρτισης. Η μέγιστη τιμή ισούται με 35 Gpa και η ελάχιστη με 1 Gpa. Η μέση τιμή του μέτρου παραμορφωσιμότητας E για το μάρμαρο ισούται με 27 Gpa.

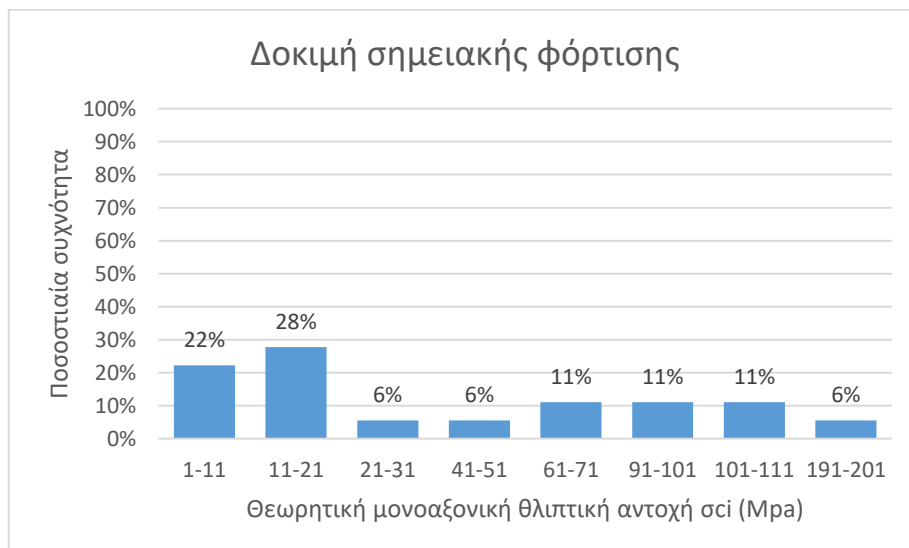
Τόφοι

Σύμφωνα με τις 74 δοκιμές μονοαξονικής φόρτισης που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα. Η τιμή της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής σ_{ci} που αντιπροσωπεύει το υλικό κυμαίνεται μεταξύ διαφόρων τιμών από 19 Mpa έως και 79 Mpa σε ποσοστό 80%. Η μέση τιμή για το υλικό αυτό ισούται με 60 Mpa.



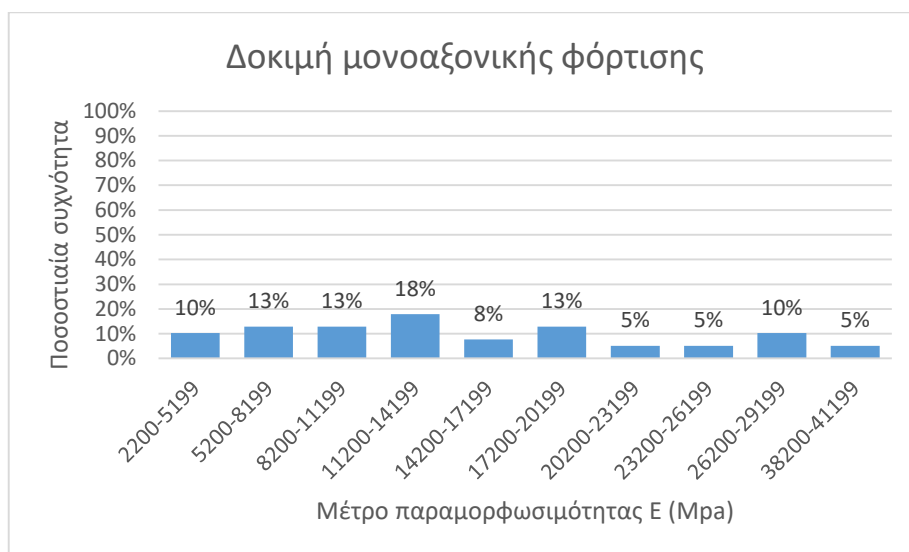
Διάγραμμα 20. Για την παραπάνω ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 74 τιμές μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής όπως βρέθηκαν από τις δοκιμές μονοαξονικής φόρτισης. Η μέγιστη τιμή ισούται με 127 Mpa και η ελάχιστη με 20 Mpa. Η μέση μονοαξονική θλιπτική αντοχή ισούται με 60 Mpa.

Σύμφωνα με τις 18 δοκιμές σημειακής φόρτισης που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα δόθηκαν τιμές στη παράμετρο Ls. Πολλαπλασιάζοντας τη συγκεκριμένη παράμετρο με το συντελεστή 24 βρέθηκε η θεωρητική μονοαξονική θλιπτική αντοχή. Μετά την επεξεργασία των τιμών προέκυψε πως η αντοχή κυμαίνεται σε διάφορες τιμές μεταξύ 1 Mpa και 21 Mpa σε ποσοστό 50% και 61 Mpa με 111 Mpa σε ποσοστό 33%. Η μέση τιμή υπολογίζεται στα 50 Mpa.



Διάγραμμα 21. Για την παραπάνω ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 18 τιμές μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής όπως βρέθηκαν μέσω του δείκτη Ls από τις δοκιμές σημειακής φόρτισης. Η μέγιστη τιμή ισούται με 192 Mpa και η ελάχιστη με 1 Mpa. Η μέση θεωρητική μονοαξονική θλιπτική αντοχή ισούται με 50 Mpa.

Σύμφωνα με τις 35 δοκιμές μονοαξονικής φόρτισης που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα. Η τιμή του μέτρου παραμορφωσιμότητας που αντιπροσωπεύει το υλικό κυμαίνεται μεταξύ 2 Gra και 14 Gra σε ποσοστό 54%. Η μέση τιμή για το υλικό αυτό ισούται με 15 Gra.



Διάγραμμα 22. Για την παραπάνω ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 35 τιμές του μέτρου παραμορφωσιμότητας όπως βρέθηκαν από τις δοκιμές μονοαξονικής φόρτισης. Η μέγιστη τιμή ισούται με 41 Gra και η ελάχιστη με 3 Gra. Η μέση τιμή του μέτρου παραμορφωσιμότητας E για τους τόφους ισούται με 15 Gra.

Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται τα αποτελέσματα της παραπάνω στατιστικής επεξεργασίας. Συγκεκριμένα, δίνονται οι μονοαξονικές θλιπτικές αντοχές, οι θεωρητικές μονοαξονικές θλιπτικές αντοχές που προήλθαν από τον δείκτη L_s και τα μέτρα παραμορφωσιμότητας για κάθε πέτρωμα.

Πίνακας 3.8. Συγκεντρωτικός πίνακας των αντοχών των πετρωμάτων μετά από στατιστική επεξεργασία των δεδομένων.

Λιθολογία	Μονοαξονική θλιπτική αντοχή σ_{ci} (Mpa)	Θεωρητική μονοαξονική θλιπτική αντοχή σ_{cin} (Mpa)	Μέση μονοαξονική θλιπτική αντοχή σ_{ci} (Mpa)	Μέτρο παραμορφωσιμότητας E (Gpa)
Αμφιβολίτης	44	47	46	24
Γρανίτης	50	52	51	18
Ηφαιστειακό λατυποπαγές	61	26	44	18
Μάρμαρο	68	-	68	27
Τόφφοι	60	50	55	15

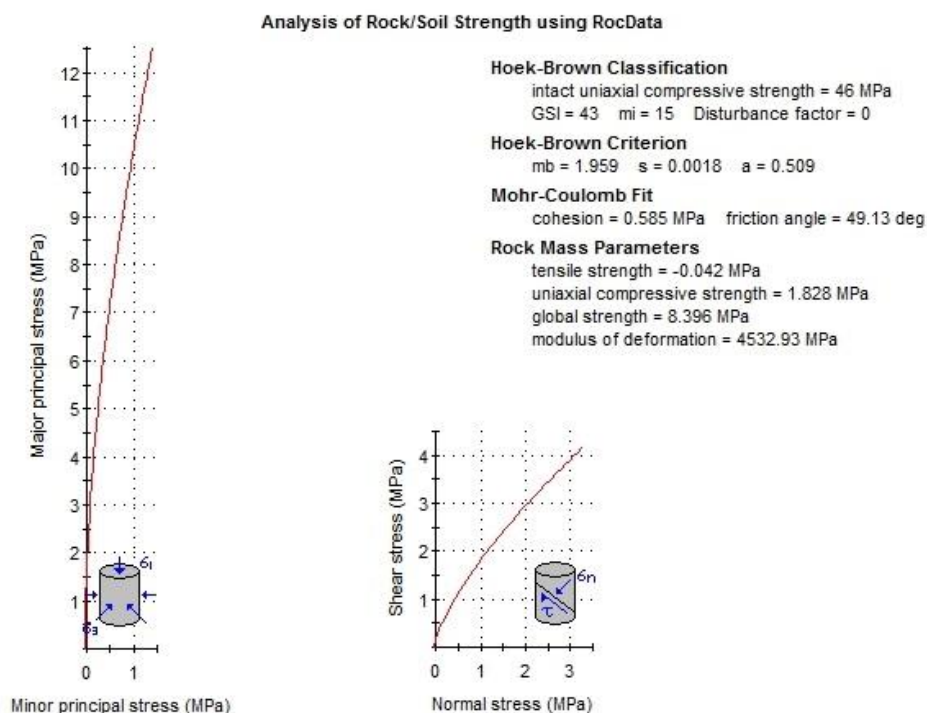
Στην συνέχεια γίνεται χρήση του λογισμικού RockData της Rocscience για την εκτίμηση των διατμητικών παραμέτρων αντοχής των πετρωμάτων. Το λογισμικό εφαρμόστηκε συγκεκριμένα για πρανή. Για τον υπολογισμό των παραμέτρων χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές των σ_{ci} , GSI, m_i που αναφέρθηκαν προηγουμένως καθώς επίσης και το ύψους ενός υψηλού πρανούς για κάθε πέτρωμα. Ως τιμή GSI χρησιμοποιήθηκε η ελάχιστη δυνατή για υγιή πετρώματα. Η τιμή του ύψους του πρανούς λήφθηκε από τις υπάρχουσες διατομές του 4^{ου} τμήματος.

Ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας των τιμών που χρησιμοποιήθηκαν στο λογισμικό.

Πίνακας 3.9. Συγκεντρωτικός πίνακας των τιμών που χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα RockData για την εκτίμηση των παραμέτρων αντοχής στα πετρώματα του 4^{ου} τμήματος Μελίβοια-Σύνορα.

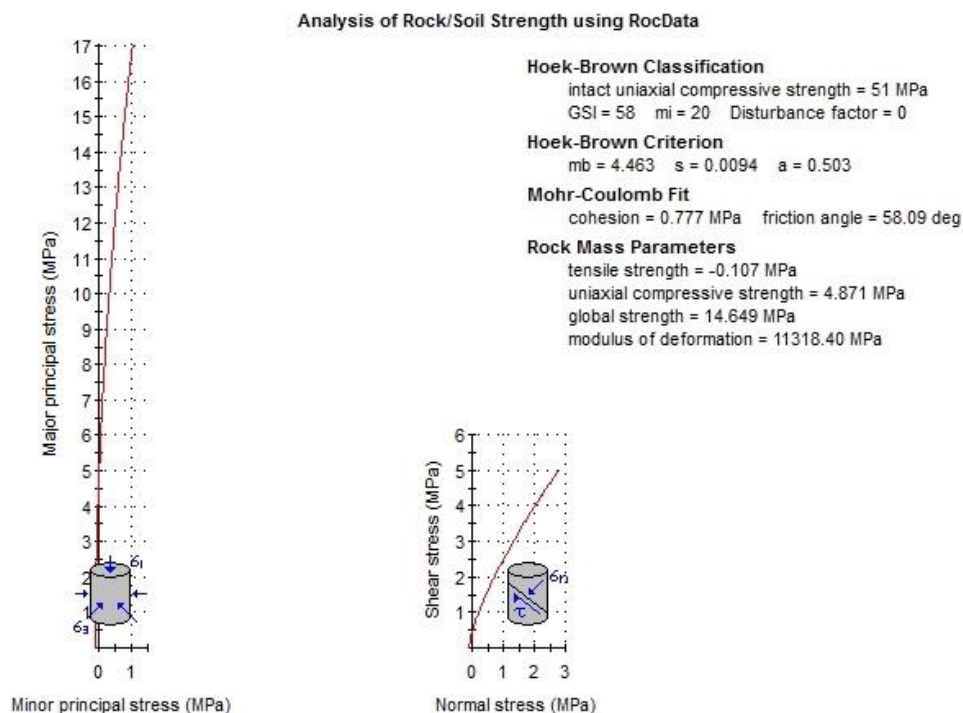
Λιθολογία	σ_{ci} (Mpa)	GSI	m_i	Ύψος πρανούς (μ.)	Κωδικός διατομής
Αμφιβολίτης	46	43	15	65	225
Γρανίτης	51	58	20	44	380
Ηφαιστειακό λατυποπαγές	44	40	19	140	341
Μάρμαρο	68	65	11	80	BR3C
Τόφφοι	55	45	18	75	BR2G

Αμφιβολίτης



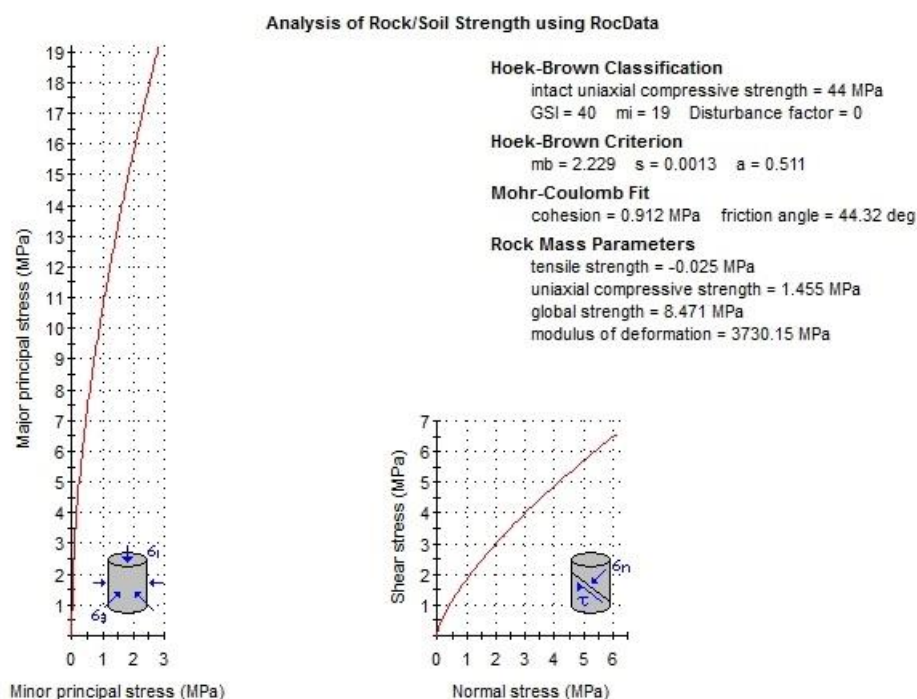
Σχήμα 3.1. Διάγραμμα διατμητικών τάσεων μέσα από το λογισμικό RocData για τον αμφιβολίτη.

Γρανίτης



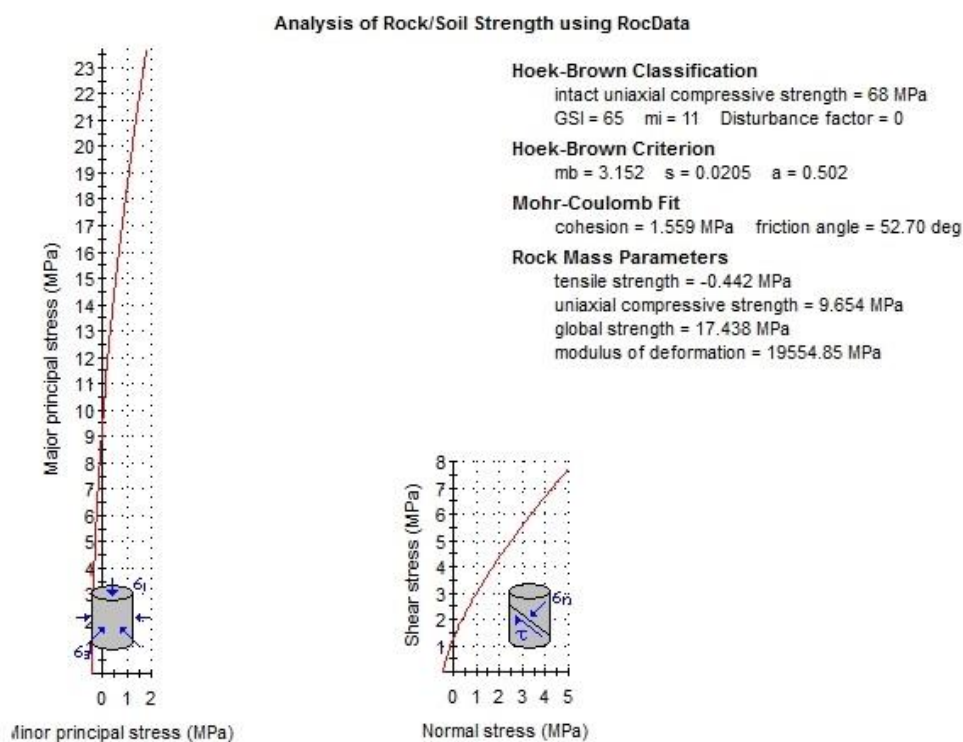
Σχήμα 3.2. Διάγραμμα διατμητικών τάσεων μέσα από το λογισμικό RocData για τον γρανίτη.

Ηφαιστειακό λατυποπαγές



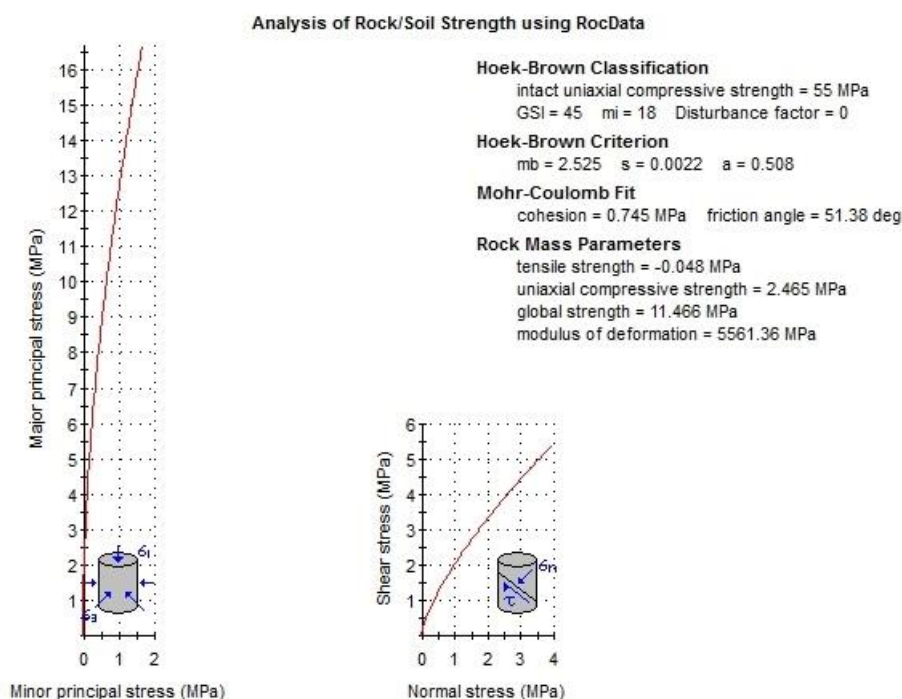
Σχήμα 3.3. Διάγραμμα διατμητικών τάσεων μέσα από το λογισμικό RocData για το λατυποπαγές.

Μάρμαρο



Σχήμα 3.4. Διάγραμμα διατμητικών τάσεων μέσα από το λογισμικό RocData για το μάρμαρο.

Τόφφοι



Σχήμα 3.5. Διάγραμμα διατμητικών τάσεων μέσα από το λογισμικό RocData για τους τόφφους.

Σύμφωνα με τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει ο παρακάτω συγκεντρωτικός πίνακας:

Πίνακας 3.10. Συγκεντρωτικός πίνακας τιμών γωνιών τριβής ϕ και συνοχής c για τα πετρώματα του 4^{ου} τμήματος του έργου Μελίβοια-Σύνορα.

Λιθολογία	Γωνία τριβής ϕ (°)	Συνοχή c (Mpa)
Αμφιβολίτης	49	0.585
Γρανίτης	58	0.777
Ηφαιστειακό λατυποπαγές	44	0.912
Μάρμαρο	53	1.559
Τόφφοι	51	0.745

3.2.3 Τεχνικογεωλογικές ενότητες

Με βάση όσα έχουν αναφερθεί στις προηγούμενες παραγράφους και κεφάλαια, οι γεωλογικοί σχηματισμοί διαχωρίστηκαν σε έξι τεχνικογεωλογικές ενότητες 1 έως 6. Η ταξινόμηση των τεχνικογεωλογικών ενότητων παρουσιάζεται κατά αύξουσα σειρά, ξεκινώντας με την ενότητα που πιθανώς να παρουσιάσει την πτωχότερη συμπεριφορά ως προς την κατασκευή των τεχνικών έργων. Τα χαρακτηριστικά των σχηματισμών παρουσιάζονται συγκεντρωτικά σε πίνακα, μετά την περιγραφή των τεχνικογεωλογικών ενότητων που ακολουθεί.

Τεχνικογεωλογική ενότητα 1

Περιλαμβάνονται τα υλικά παλαιών και πρόσφατων κατολισθήσεων που χαρακτηρίζονται από μεγάλη ανομοιομορφία και διαβρωσιμότητα. Έχουν κατά κανόνα χαλαρή δομή και αποτελούνται κυρίως από χάλικες, λίθους τεμάχια ηφαιστειακών, πλουτωνικών και μεταμορφωμένων πετρωμάτων σε αργιλική μάζα. Παρουσιάζουν μεγάλο πάχος κατά θέσεις (έως και 45μ.) αλλά και πηγές με μικρή παροχή νερού. Ο σχηματισμός παρουσιάζει ισότροπη συμπεριφορά και οι αστοχίες είναι τύπου περιστροφικών ολισθήσεων σε νέες ή στις ήδη υπάρχουσες επιφάνειες. Για την ευστάθεια των τεχνητών ορυγμάτων σε τέτοιους σχηματισμούς είναι απαραίτητη η χρήση μέτρων αντιστήριξης και αποστράγγιση των υδάτων. Σύμφωνα με τις εργαστηριακές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε δείγματα γεωτρήσεων (βλ. επόμενη παράγραφο), οι διατμητικές αντοχές των κατολισθέντων υλικών χαρακτηρίζονται από γωνία εσωτερικής τριβής $\phi=30^\circ$ (από μητρώο γεώτρησης ΔΟ-24) και συνοχή $c=0$ Kpa.

Τεχνικογεωλογική ενότητα 2

Περιλαμβάνονται τα εδαφικά υλικά που χαρακτηρίζονται ως SC-SM. Τα υλικά αυτά έχουν κυρίως αμμόδη σύσταση. Τα παραπάνω υλικά χαρακτηρίζονται από χαλαρή και ημισυνεκτική δομή με μεγάλη διαβρωσιμότητα. Παρουσιάζουν πάχος έως και 10μ. τοπικά. Οι μηχανισμοί αστοχίας είναι περιστροφικού τύπου σε ασθενείς επιφάνειες ολίσθησης. Η ευστάθεια των τεχνητών ορυγμάτων σε τέτοιους σχηματισμούς προϋποθέτει μικρή κλίση τεχνητού πρανούς, αποστραγγιστικά μέτρα, αντιδιαβρωτικά μέτρα και πιθανά μέτρα αντιστήριξης. Γενικά, κρίνεται σωστό να αποφεύγονται τα υψηλά τεχνητά πρανή στους σχηματισμούς αυτούς. Σύμφωνα με τη στατιστική επεξεργασία των στοιχείων των γεωτρήσεων (βλ. παράγραφο 3.2.1.), η γωνία εσωτερικής τριβής των υλικών είναι $\phi=33^\circ$ και η συνοχή $c=23$ Kpa.

Τεχνικογεωλογική ενότητα 3

Περιλαμβάνει τα εδαφικά υλικά που χαρακτηρίζονται ως CL. Τα υλικά αυτά έχουν κυρίως αργιλική σύσταση, ημισυνεκτική δομή και χαρακτηρίζονται από έντονη διαβρωσιμότητα. Οι μηχανισμοί αστοχίας είναι περιστροφικού τύπου σε ασθενείς επιφάνειες ολίσθησης. Σύμφωνα με τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων (βλ. παράγραφο 3.2.1.), τα υλικά χαρακτηρίζονται από γωνία εσωτερικής τριβής $\phi=28^\circ$ και συνοχή $c=51$ Kpa.

Στα υλικά αυτά συμπεριλαμβάνεται και ο μανδύας αποσάθρωσης του υποβάθρου.

Τεχνικογεωλογική ενότητα 4

Περιλαμβάνονται οι γνεύσιοι, οι σχιστόλιθοι, οι μιγματίτες και οι γρανιτογενέσιοι. Τα παραπάνω πετρώματα παρουσιάζουν έντονη ανομοιομορφία, μεγάλο βαθμό κερματισμού και μέτριο έως πολύ υψηλό τοπικά βαθμό αποσάθρωσης. Για τους παραπάνω λόγους σε ορισμένες περιπτώσεις ο σχηματισμός χαρακτηρίζεται ως ημίβραχος. Η προτεινόμενη κλίση των τεχνητών ορυγμάτων στις υγιείς εμφανίσεις του σχηματισμού είναι 2:1 ενώ στις υπόλοιπες περιπτώσεις 1:1. Συγκεκριμένα, ο γνεύσιος χαρακτηρίζεται από τιμές GSI 25-35 και $m_i=9$, οι σχιστόλιθοι χαρακτηρίζονται από τιμές GSI 17-27 και $m_i=7$ και οι γρανιτογενέσιοι από τιμές GSI 32-52 με $m_i=10$.

Τεχνικογεωλογική ενότητα 5

Στην ενότητα αυτή εντάσσονται οι μολασσικοί σχηματισμοί. Οι τόφφοι και τα ηφαιστειακά λατυποπαγή που παρουσιάζουν παρόμοια τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά, ορίζονται ως βραχώδη πετρώματα με αρκετά μεγάλες αντοχές 44 Mpa (λατυποπαγή) – 55 Mpa (τόφφοι) και εμφανίζονται σε πολύ μεγάλο βαθμό κατά μήκος του άξονα του τελευταίου τμήματος Μελίβοια – Σύνορα. Τα υλικά αυτά χαρακτηρίζονται από ένα πυκνό δίκτυο ασυνεχειών στην επιφάνεια το οποίο εξαλείφεται με το βάθος. Παρουσιάζουν ανισότροπη συμπεριφορά και η ευστάθεια των πρανών εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την γεωμετρία των ασυνεχειών, κλίσεις μέχρι και 3:1 είναι εφικτές. Δεν προβλέπεται κατασκευή τεχνητών ορυγμάτων στα στρώματα των ψαμιμιτών και ιλυολίθων που παρουσιάζουν μικρότερα μηχανικά χαρακτηριστικά. Το ηφαιστειακό λατυποπαγές χαρακτηρίζεται από τιμές GSI 40-58 και $m_i=19$. Η γωνία εσωτερικής τριβής που προέκυψε από το RockData ισούται με $\phi=44^\circ$ και η συνοχή $c=912$ Kpa. Ο σχηματισμός των τόφφων χαρακτηρίζεται από τιμές GSI 45-64 και $m_i=18$. Η γωνία εσωτερικής τριβής που προέκυψε από το ίδιο λογισμικό ισούται με $\phi=51^\circ$ και συνοχή $c=745$ Kpa..

Τεχνικογεωλογική ενότητα 6

Περιλαμβάνονται οι γρανίτες, τα μάρμαρα και οι αμφιβολίτες. Αποτελούν σκληρά βραχώδη πετρώματα με μεγάλες αντοχές 46 Mpa (αμφιβολίτες) – 51 Mpa (γρανίτες) - 68 Mpa (μάρμαρα). Χαρακτηρίζονται από πυκνό σύστημα ασυνεχειών κοντά στην επιφάνεια. Η συμπεριφορά τους είναι ανισότροπη και η ευστάθεια των τεχνητών ορυγμάτων εξαρτάται κυρίως από την γεωμετρία των ασυνεχειών. Η προτεινόμενη κλίση των τεχνητών ορυγμάτων είναι 2:1 έως 3:1. Οι γρανίτες χαρακτηρίζονται από τιμές GSI 45-70 (36-46 ως αποσαθρωμένοι) και $m_i=20$, γωνία εσωτερικής τριβής $\phi=58^\circ$ και συνοχή $c=777$ Kpa. Τα μάρμαρα χαρακτηρίζονται από τιμές GSI 62-80 και $m_i=11$, γωνία εσωτερικής τριβής $\phi=53^\circ$ και συνοχή $c=1559$ Kpa και οι αμφιβολίτες από GSI 43-70 (30-40 ως αποσαθρωμένοι) με $m_i=15$. Η γωνία εσωτερικής τριβής ισούται με $\phi=49^\circ$ και συνοχή $c=585$ Kpa.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ο μανδύας αποσάθρωσης του γρανιτικού πετρώματος με μέγιστο πάχος τα 3μ. Η υδροθερμική εξαλλοίωση είναι εμφανής στα βόρεια του τελευταίου τμήματος Μελίβοια – Σύνορα.

Πίνακας 3.11. Συγκεντρωτικός πίνακας των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων.

		ΓΕΩΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ				
TE	Λιθολογία	Γωνία τριβής φ(°)	Συνοχή c (Kpa)	GSI	mi	σci (Mpa)
1	Lm, Ls	30	0	-	-	-
2	SC-SM	33	23	-	-	-
3	CL	28	51	-	-	-
4	Gn, Sch	-	-	25-35 17-27	9 7	-
5	Mo.ib	44	912	40-58	19	44
	Mo.it	51	745	45-64	18	55
6	Gr	58	777	45-70	20	51
	Mr	53	1559	62-80	11	68
	Ab	49	585	43-70	15	46
Υπόμνημα: Lm=Υλικά παλαιών κατολισθήσεων, Ls=Υλικά πρόσφατων κατολισθήσεων, SC-SM= Εδαφικά υλικά αμμώδους σύστασης, CL=Εδαφικά υλικά αργιλικής σύστασης, Gn= Γνεύσιοι, Sch= Σχιστόλιθοι, Mo.ib= Ηφαιστειακά λατυποπαγή, Mo.it= Τόφφοι, Gr= Γρανίτες, Mr= Μάρμαρα, Ab= Αμφιβολίτες						

3.3 Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά γεωυλικών στα πρανή έρευνας

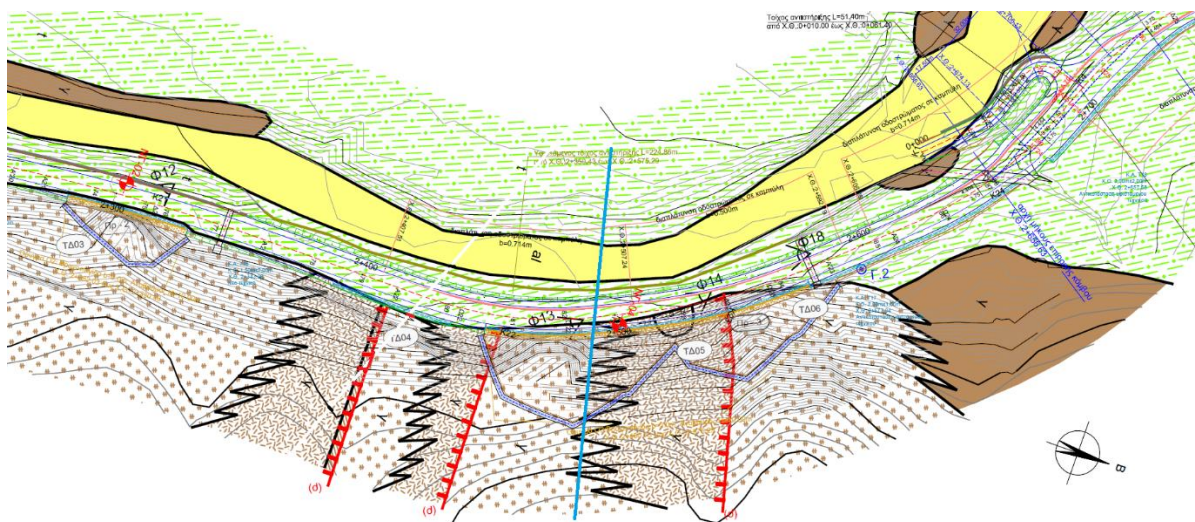
Σε αυτήν την παράγραφο θα αναφερθούν τα τεχνητά ορύγματα που επιλέχθηκαν για την τεχνικογεωλογική αξιολόγηση. Γενικά, η κατασκευή των ορυγμάτων προβλέπεται σε δυο φυσικά πρανή. Τα πρανή αυτά διαχωρίζονται στη παρούσα παράγραφο και δίνονται τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά των υλικών από τα οποία αποτελούνται.

Τα σημαντικότερα ορύγματα του έργου με βάση την επικινδυνότητα που τα χαρακτηρίζει παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα. Για κάθε ένα από αυτά έχει επιλεγθεί η δυσμενέστερη διατομή.

Πίνακας 3.12. Τα υπό μελέτη τεχνητά ορύγματα.

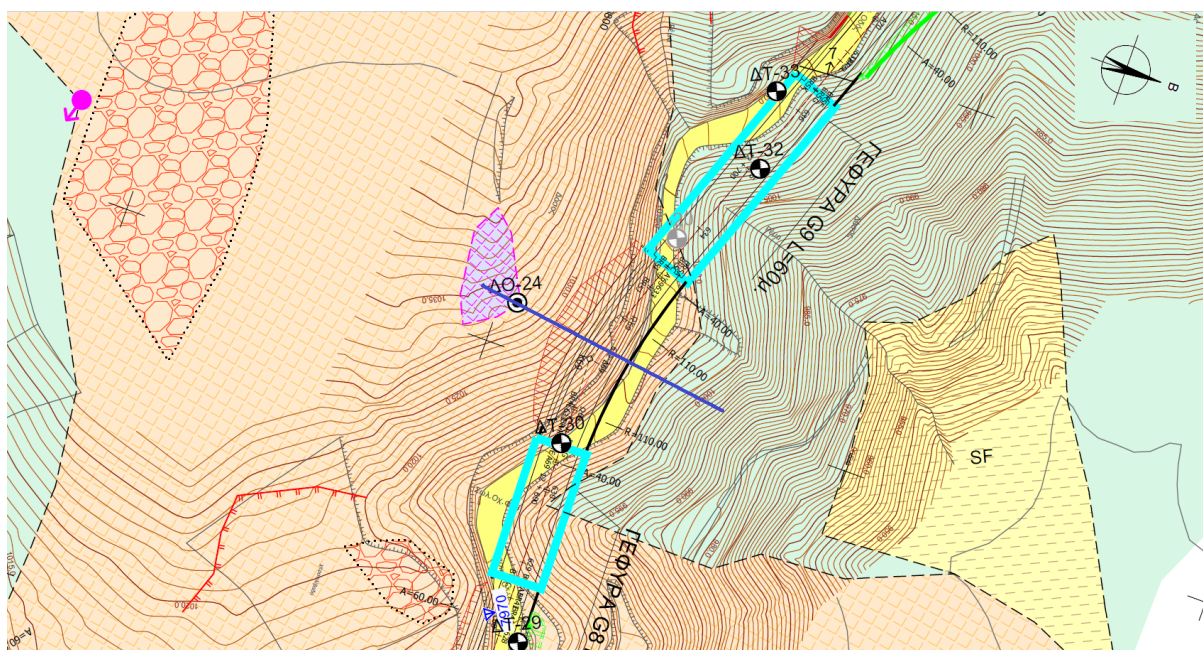
Όρυγμα	Τμήμα Έργου	Χ.Θ.	Σχηματισμός	Ύψος	Γεώτρηση
1	Εχίνος-Μελίβοια	2+481	Γρανίτης	27.9μ.	ΝΓ-04
2	Μελίβοια-Σύνορα	12+640	Μολάσσα, Υλικά κατολίσθησης	31μ.	ΔΤ-30,ΔΟ-24, ΔΤ-29,Γ-20

Όρυγμα 1: Το όρυγμα ξεκινά από τα 2+430 και φθάνει ως τα 2+500 με τη δυσμενέστερη θέση να βρίσκεται στα 2+481.Ο σχηματισμός που επικρατεί στη θέση αυτή είναι ο υγιής γρανίτης. Η προτεινόμενη κλίση για το όρυγμα ύψους 28μ. είναι 2:1 με 3 αναβαθμούς ύψους 10μ. Η συνέχεια του ορύγματος από τα 2+500 φθάνει έως τα 2+585 με τη δυσμενέστερη θέση να βρίσκεται στα 2+543. Ο σχηματισμός που επικρατεί είναι ο διαταραγμένος-τεκτονισμένος γρανίτης λόγω ζώνης ρήγματος. Η προτεινόμενη κλίση για το όρυγμα ύψους 26μ. σε αυτή τη θέση είναι 2:1 με 2 αναβαθμούς ύψους 10μ.



Εικόνα 3.1 Οριζοντιογραφία του πρανούς ανάλυσης (από Εγνατία Οδός Α.Ε., 2014). Τα μπλε πολύγωνα υποδεικνύουν τη θέση των προβλεπόμενων ορυγμάτων, οι κόκκινες γραμμές υποδεικνύουν τα ρήγματα τα οποία έχουν απομειώσει τις μηχανικές ιδιότητες του γρανιτικού υλικού.

Όρυγμα 2: Το όρυγμα ξεκινά από τα 12+616 και φθάνει ως τα 12+667 με τη δυσμενέστερη θέση να βρίσκεται στα 12+640. Η προτεινόμενη κλίση για το όρυγμα είναι 1:2 με 2 αναβαθμούς ύψους 10μ. Ο σχηματισμός που επικρατεί στη θέση αυτή είναι υλικά κατολίσθησης τα οποία επικάθονται πάνω στο μολασσικό υπόβαθρο (ηφαιστειακό λατυποπαγές).



Εικόνα 3.2. Οριζοντιογραφία του πρανούς ανάλυσης (από Εγνατία Οδός Α.Ε, 2014.). Η μπλε τομή διαπερνά το προβλεπόμενο τεχνητό όρυγμα. Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται τα υλικά κατολίσθησης και με γαλάζιο το μολασσικό υπόβαθρο. Στην οριζοντιογραφία διακρίνεται επίσης η ύπαρξη εδαφικών θραύσεων στην περιοχή.

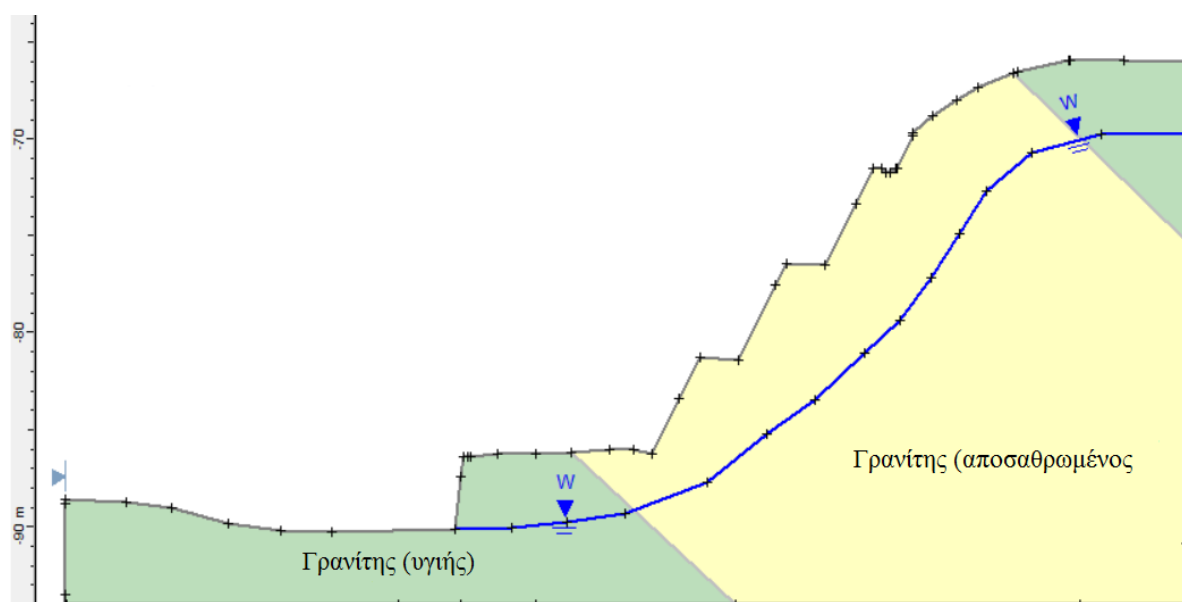
Πρανές 1^ο

Στο πρανές αυτό προβλέπεται η κατασκευή δυο τεχνητών. Η συγκεκριμένη περιοχή χαρακτηρίζεται από το υπόβαθρο το οποίο σε ορισμένες ζώνες εμφανίζεται πολύ αποσθρωμένο. Το βραχώδες υλικό αναφέρεται ως γρανοδιορίτης έως γρανίτης. Οι θέσεις των ορυγμάτων αποτελούν θέσεις ζώνης ρήγματος και το υλικό εκεί εμφανίζει μειωμένα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά. Το συγκεκριμένο υλικό στη ζώνη διάτμησης έχει πάχος περίπου 4μ. κάτω από τον άξονα της χάραξης και προσομοιάζεται ως εδαφικό αμμοχαλικώδους σύστασης με ενεργό τιμή γωνίας τριβής $\phi' = 34^\circ$. Το υλικό χαρακτηρίζεται ως GC μετά από κοκκομετρικές ταξινομήσεις. Η τιμή της συνοχής c προσδιορίζεται στα 4 Kpa. (από συνοπτικό-γεωτεχνικό τυπολόγιο).

Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται στα 4μ. κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.

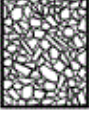
Το διαταραγμένο γρανιτικό υπόβαθρο χαρακτηρίζεται, σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης βραχώμαζας, από δείκτη γεωλογικής αντοχής GSI 45-50. Ανήκει στην τεχνικογεωλογική ενότητα 6 που αποτελείται από τα υλικά τα οποία παρουσιάζουν τα καλύτερα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά. Έχει γωνία εσωτερικής τριβής $\phi = 58^\circ$ και συνοχή $c = 777$ Kpa.

Η συγκεκριμένη θέση παρουσιάζει φαινόμενα καταπτώσεων και εδαφικών ροών όταν το αποσθρωμένο υπόβαθρο έχει σημαντικό πάχος.



Σχήμα 3.6. Γεωλογική διατομή του πρανούς στη θέση του ορύγματος. Χ.Θ. 2+481 του 3^{ου} τμήματος του έργου Εχίνος-Μελίβοια. Με πράσινο απεικονίζεται ο υγιής γρανίτης και με κίτρινο ο αποσθρωμένος-καταπονημένος γρανίτης λόγω της ζώνης διάτμησης.

Πίνακας 3.13. Σύστημα ταξινόμησης με βάση τον γεωλογικό δείκτη αντοχής GSI. Διακρίνεται η διαφορά του αποσαθρωμένου και του υγιούς γρανιτικού υλικού.

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000) From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.		SURFACE CONDITIONS VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces POOR Slacksided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments VERY POOR Slacksided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings				
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90	80	70	N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70	60	GSI=53-60 GSI=45-50	
	VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	70	60	50		
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	60	50	40	30	20
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	50	40	30	20	10
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A			



Εικόνα 3.3. Ο υγιής γρανίτης του πρανούς ανάλυσης με GSI 53-60.



Εικόνα 3.4. Τα πρανές ανάλυσης. Στο βάθος διακρίνεται το αλλοιωμένο γρανιτικό υλικό λόγω της ζώνης του ρήγματος.

Για τον προσδιορισμό των παραμέτρων διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών εφαρμόστηκε το κριτήριο Barton στις θέσεις του αποσαθρωμένου γρανίτη, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα καταγραφής των ασυνεχειών που παρασχέθηκαν από την Οριστική Γεωλογική Μελέτη.

Μεθοδολογία εύρεσης τιμών Γωνίας Τριβής και Συνοχής ασυνεχειών

1. Επί τόπου περιγραφή και απόδοση τιμών JRC & JCS και Ln (μήκους) της υπό μελέτη ασυνέχειας. Καταγραφή βασικής γωνίας τριβής Φb (εργαστηριακή τιμή)
2. Διόρθωση των τιμών JRC & JCS
Οι τιμές JRCn και JCSn είναι διορθωμένες τιμές, επηρεασμένες από την κλίμακα μεγέθους σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους όπως αναφέρονται στη βιβλιογραφία (Hoek E.,1997).

$$JRCn = JRCo \left[\frac{Ln}{Lo} \right]^{-0.02JRCo}$$

&

$$JCSn = JCSo \left[\frac{Ln}{Lo} \right]^{-0.03JCSo}$$

Όπου το Lo αποτελεί σταθερή τιμή μήκους των ασυνεχειών που δίνεται από το εργαστήριο και ισούται με 100χιλ.

3. Εφαρμογή του κριτηρίου θραύσης Barton σε κάθε έναν από τους τέσσερις συνδυασμούς που προκύπτουν με τις τιμές των JRC & JCS.

$$t = \sigma n \tan \left(\Phi b + JRCn * \log_{10} \left(\frac{JCSn}{\sigma n} \right) \right)$$

4. Ως τελικές τιμές της γωνίας τριβής φ και συνοχής c της ασυνέχειας λαμβάνονται οι μέσοι όροι των τεσσάρων παραπάνω συνδυασμών.

Τα γεωμετρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των ασυνεχειών της βραχόμαζας σύμφωνα με τις υφιστάμενες οριστικές γεωλογικές μελέτες δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

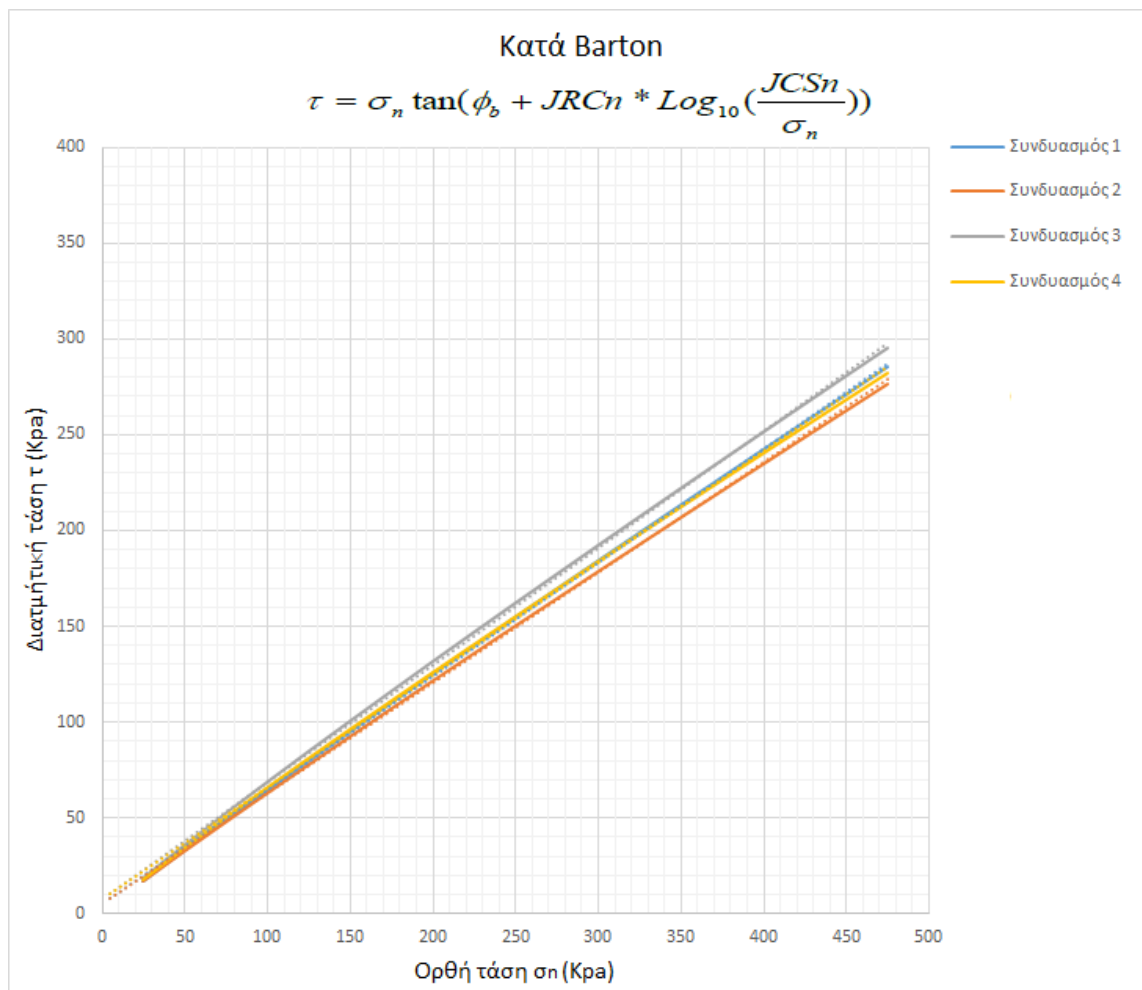
Πίνακας 3.14. Γεωμετρικά και μηχανικά στοιχεία των ασυνεχειών στο όρυγμα της Χ.Θ. 2+481 του 3^{ου} τμήματος Εχίνος - Μελίβοια που λήφθηκαν υπόψη για το κριτήριο θραύσης του Barton.

Γωνία τριβής Φb (βασική)					29°
Μέσο μήκος μοναδιαίων ασυνεχειών Ln					10μ.
Συντελεστής τραχύτητας ασυνεχειών JRC	min	JRCo	4	JRCn	2.8
	max	JRCo	10	JRCn	4.2
Συντελεστής θλιπτικής αντοχής ασυνεχειών JCS	min	JCSo	5	JCSn	2.5 Mpa
	max	JCSo	20	JCSn	1.3 Mpa

Πίνακας 3.15. Εύρεση των διατμητικών παραμέτρων των ασυνεχειών c & ϕ με την επίλυση του κριτηρίου Barton. Οι τελικές τιμές αποτελούν τους μέσους όρους των τεσσάρων παραπάνω συνδυασμών.

Συνδυασμός	1	2	3	4	
JRCn	2.8	2.8	4.2	4.2	
JCSn	2.5	1.3	2.5	1.3	
σ_n (Kpa)	τ (Kpa)	τ (Kpa)	τ (Kpa)	τ (Kpa)	
25	17.25	16.74	18.84	18.07	
50	33.42	32.42	36.06	34.57	
75	49.2	47.72	52.69	50.5	
100	64.73	62.78	68.96	66.08	
125	80.07	77.65	84.96	81.39	
150	95.27	92.37	100.75	96.49	
175	110.35	106.98	116.36	111.42	
200	125.32	121.49	131.81	126.2	
225	140.2	135.91	147.14	140.85	
250	155.01	150.24	162.35	155.39	
275	169.74	164.51	177.49	169.83	
300	184.4	178.72	192.47	184.18	
325	199.01	192.86	207.4	198.45	
350	213.56	206.95	222.25	212.63	
375	228.07	221	237.03	226.75	
400	242.52	234.99	251.73	240.8	
425	256.93	248.94	251.73	240.8	
450	271.3	262.85	280.96	268.71	
475	285.63	276.73	295.49	282.58	M.O.
ϕ ασυν	31	30.2	31.8	30.7	31 (°)
c	8	5	8	5	6.5(Kpa)

Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι επιφάνειες των ασυνεχειών της αποσαθρωμένης βραχώμαζας χαρακτηρίζονται από γωνία τριβής $\phi_{\text{ασυν}}=31^\circ$ και συνοχή $c=6.5$ Kpa.



Σχήμα 3.7.. Διάγραμμα τάσεων τ-σ. Εφαρμογή του κριτηρίου Barton στο πρανές της Χ.Θ. 2+481 του 3^{ου} τμήματος του έργου Εχίνος-Μελίβοια και τις ασυνέχειες της αποσαθρωμένης βραχώμαζας.

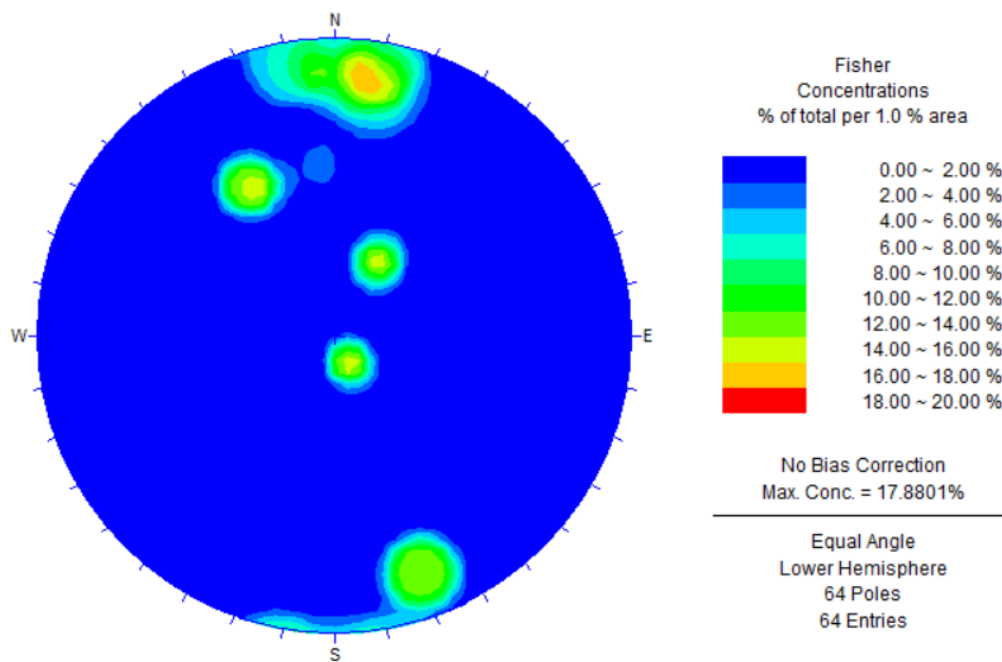
Στην συνέχεια δίνονται 2 τεκτονικά διαγράμματα στη θέση του πρανούς. Οι μετρήσεις των ασυνεχειών πραγματοποιήθηκαν σε δυο θέσεις προβλεπόμενων τεχνητών ορυγμάτων. Τις μετρήσεις σημείωσαν οι μελετητές που όρισε η Εγνατία Οδός Α.Ε.

Τα πλήρη στοιχεία των τεκτονικών διαγραμμάτων βρίσκονται στο παράρτημα II.

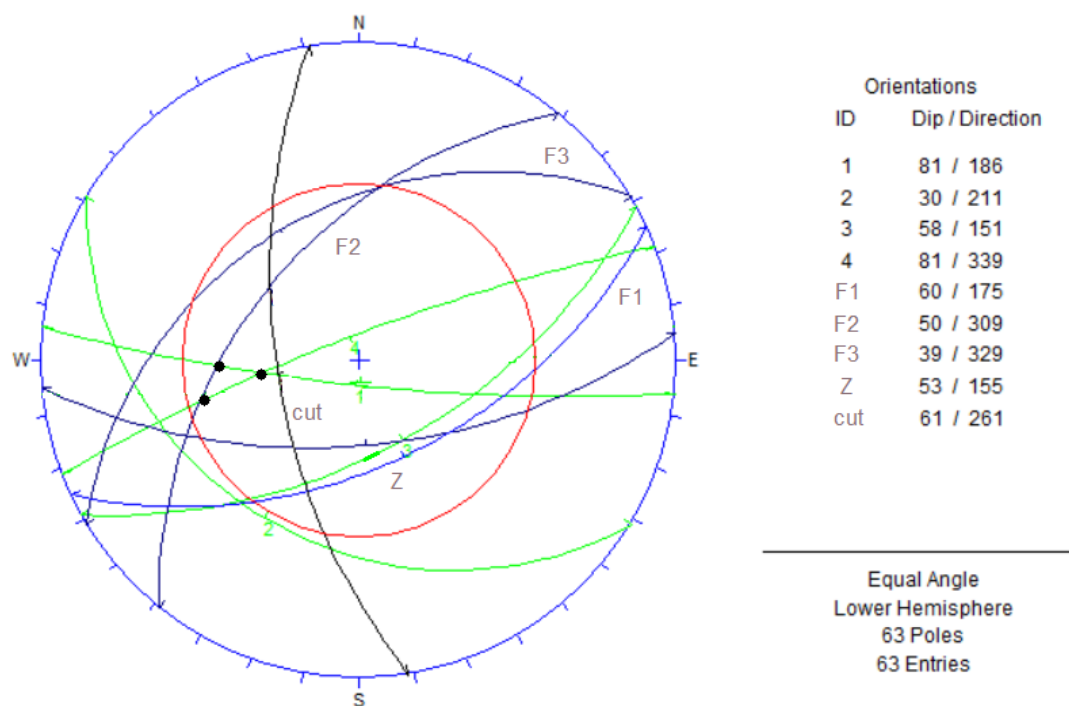
Στα παρακάτω δίκτυα Schmidt προβάλλονται όλες οι διαθέσιμες μετρήσεις ασυνεχειών σε ένα διάγραμμα.

Στο σχήμα 3.8 που ακολουθεί, προβάλλονται οι συγκεντρώσεις των πόλων των ασυνεχειών και προσδιορίζεται ο αριθμός των οικογενειών από τον οποίο διατέμενεται η βραχώμαζα. Συγκεκριμένα, διακρίνονται 4 οικογένειες ασυνεχειών.

Στο σχήμα 3.9, προβάλλονται οι μέγιστοι κύκλοι της κάθε οικογένειας ασυνεχειών, τα ρήγματα, η ζώνη διάτμησης, και το τεχνητό όρυγμα. Σύμφωνα με αυτό, παρουσιάζονται 3 δυνητικές περιπτώσεις σφηνοειδών ολισθήσεων.

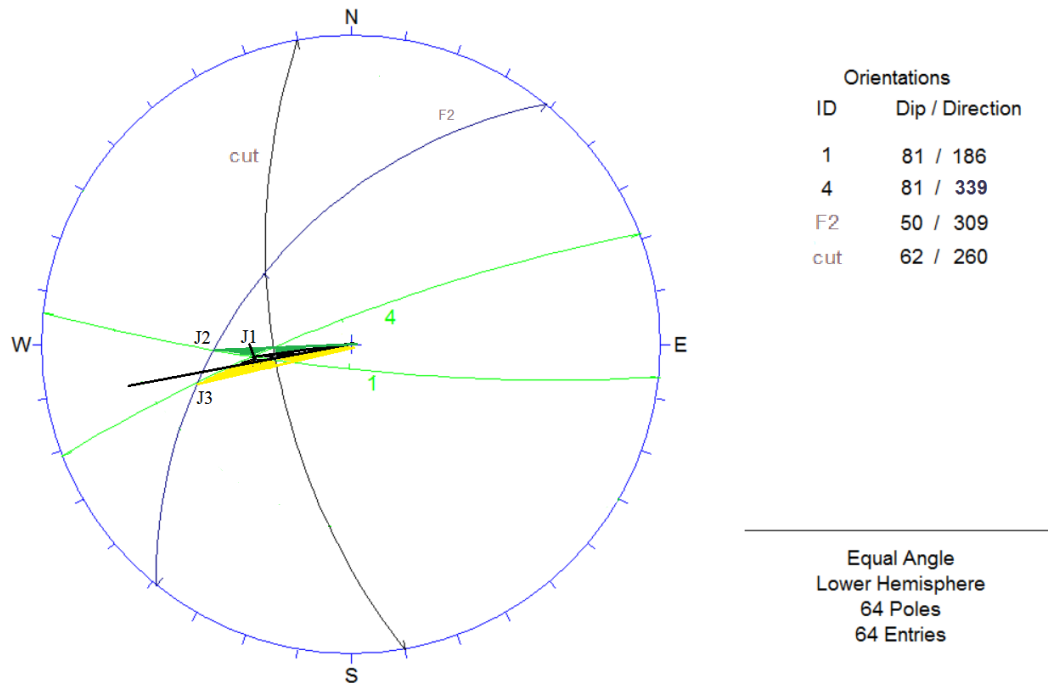


Σχήμα 3.8. Στερεογραφική απεικόνιση καμπυλών ίσων συγκεντρώσεων πόλων ασυνεχειών.



Σχήμα 3.9. Διάγραμμα μέγιστων κύκλων των κύριων συστημάτων ασυνεχειών.

Στο σχήμα που ακολουθεί, πραγματοποιείται περαιτέρω έρευνα για την εκτίμηση της επιφάνειας όπου θα συμβεί η κάθε πιθανή ολίσθηση αντίστοιχα. Συγκεκριμένα, όλες οι δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις πραγματοποιούνται επάνω στην τομή των δυο ασυνεχειών που τις ορίζουν. Στο σχήμα προβάλλονται μόνο οι κύριες ασυνέχειες που ορίζουν κάποιο δίδρο.



Σχήμα 3.10. Εύρεση των επιφανειών που θα υποστούν τις δυνητικές ολισθήσεις.

Συμπερασματικά:

Δυνητικές επίπεδες ολισθήσεις: Δεν προκύπτουν, γιατί δεν υπάρχει καμιά οικογένεια ασυνεχειών που πληρεί τις προϋποθέσεις ($\pm 20^\circ$ διεύθυνση κλίσης και ομόρροπη κλίση μεταξύ πρανούς και ασυνέχειας)

Δυνητικές σφηνοειδείς ολισθήσεις: Προκύπτουν 3 περιπτώσεις όπου ισχύει το παρακάτω κριτήριο $\Phi(\text{πρανούς}) > \Phi(\text{τομής δυο ασυνεχειών}) > \Phi(\text{ασυν})$

1^ο Δίδρο, σχηματίζεται μεταξύ των οικογενειών 1 ($81^\circ/186^\circ$) και 4 ($81^\circ/339^\circ$)

2^ο Δίδρο, σχηματίζεται μεταξύ της οικογένειας των ασυνεχειών 1 ($81^\circ/186^\circ$) και το ρήγμα F2 ($50^\circ/309^\circ$)

3^ο Δίδρο, σχηματίζεται μεταξύ της οικογένειας των ασυνεχειών 4 ($81^\circ/339^\circ$) και το ρήγμα F2 ($50^\circ/309^\circ$)

Όλες οι ολισθήσεις πραγματοποιούνται στην τομή των δυο ασυνεχειών που ορίζουν μια σφήνα.

Δυνητικές ολισθήσεις από ανατροπή: Δεν προκύπτουν, γιατί δεν υπάρχει καμιά οικογένεια ασυνεχειών που πληρεί τις προϋποθέσεις ($\pm 20^\circ$ διεύθυνση κλίσης, αντίρροπη φορά κλίσης μεταξύ πρανούς και ασυνέχειας, κλίση ασυνέχειας $> 70^\circ$)

Πρανές 2^ο

Στο πρανές αυτό προβλέπεται η κατασκευή ενός υψηλού τεχνητού ορύγματος. Η συγκεκριμένη περιοχή χαρακτηρίζεται από κατολισθέντα υλικά μεγάλου πάχους που επικάθονται πάνω σε μολασσικά ηφαιστειακά λατυποπαγή και ηφαιστειακά υλικά τόφφων και ιγκνιμβρίτη.

Στο τμήμα αυτό πραγματοποιήθηκαν πολλές γεωτρήσεις. Η γεώτρηση ΔΟ-24 βρίσκεται ακριβώς στο σημείο όπου προβλέπεται η κατασκευή του τεχνητού ορύγματος.

Η στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα μεταβάλλεται αρκετά ανάλογα με τις βροχοπτώσεις που παρουσιάζονται στην περιοχή. Η συγκεκριμένη θέση παρουσιάζει μεταβολές της στάθμης της τάξεως των είκοσι μέτρων. Η υψηλότερη τιμή της στάθμης μετρήθηκε στα 7m υπό της επιφάνεια του εδάφους και η ελάχιστη στα 25m.(στοιχεία γεώτρησης ΔΟ-24)

Πίνακας 3.16. Παρουσίαση μητρώου γεώτρησης ΔΟ-24.

Περιγραφή υλικού	Βάθος (μ.)	Παράμετροι αντοχής
Καστανού χρώματος χαλικώδης ΙΛΥΣ	0-1	
Καστανού χρώματος, πολύ συνεκτική Αμμώδης ΑΡΓΙΛΟΣ, χαμηλής έως μέσης πλαστιμότητας (CL)	1-3	$\Phi=34.8^\circ$, $c= 2.5$ Kpa
Καστανού χρώματος πολύ πυκνής απόθεσης ιλυοαργιλώδης ΑΜΜΟΣ με χάλικες κατά θέσεις (SC-SM)	3-11.7	
Καστανού χρώματος ηφαιστειακό υλικό εντελώς αποσαθρωμένο εμφανιζόμενο ως αργιλώδης ΑΜΜΟΣ με χάλικες κατά θέσεις (SC)	11.7-15	$\Phi=33.4^\circ$, $C=1.8$ Kpa
Καστανού χρώματος ηφαιστειακό υλικό, μέτρια έως πολύ αποσαθρωμένο, πολύ πτωχής ποιότητας κατά RQD, χαμηλής αντοχής	15-18.8	
Καστανού χρώματος πολύ πυκνής απόθεσης αργιλώδης ΑΜΜΟΣ (SC)	18.8-20.6	$\Phi=32.7^\circ$, $C=5.3$ Kpa
Καστανού έως γκρίζου χρώματος ηφαιστειακό υλικό μέτρια έως πολύ αποσαθρωμένος, πολύ πτωχής ποιότητας κατά RQD	20.6-21.3	
Καστανού χρώματος σκληρή αμμώδης ΑΡΓΙΛΟΣ χαμηλής έως μέσης πλαστιμότητας (CL)	21.3-24.7	$\Phi=32.9^\circ$, $C=21.4$ Kpa
Καστανού και με το βάθος γκρίζου χρώματος ηφαιστειακό υλικό, ελαφρά έως μέτρια αποσαθρωμένος, πολύ πτωχής έως μέτριας ποιότητας κατά RQD, υψηλής αντοχής	24.7-30	

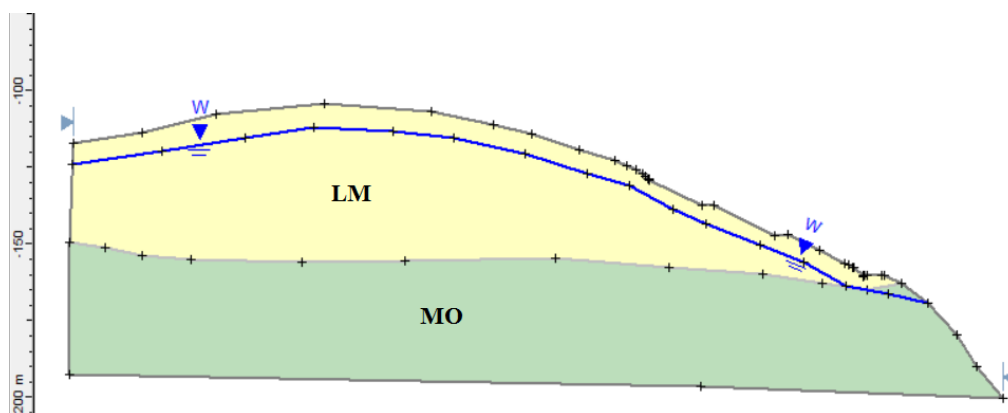
Σύμφωνα με την παραπάνω περιγραφή, το πρανές αποτελείται από εδαφικά υλικά με παρεμβολές από χαλίκια και τεμάχια του υποβάθρου. Τα υλικά αυτά παρουσιάζουν μικρές διατμητικές αντοχές. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός πως από τις εργαστηριακές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα της γεώτρησης, η συνοχή των υλικών παρουσιάζει πολύ μικρές τιμές. Μετά από την υπαίθρια παρατήρηση και χαρτογράφηση, τα υλικά αυτά χαρακτηρίζονται ως υλικά κατολίσθησης και αντιπροσωπεύονται από τις παρακάτω τιμές παραμέτρων αντοχής:

$$\Phi=30^\circ, c= 0 \text{ Kpa}$$



Εικόνα 3.5. Τα κατολισθέντα υλικά του πρανούς ενδιαφέροντος στη Χ.Θ. 12+640 του 4^{ου} τμήματος Μελίβοια-Σύνορα.

Το μολασσικό υπόβαθρο, αποτελεί σκληρό βραχώδες σχηματισμό ηφαιστειακού λατυποπαγούς. Το υπόβαθρο στη θέση του πρανούς χαρακτηρίζεται ως ελαφρά έως μέτρια αποσαθρωμένο και πολύ μέτριας έως πτωχής ποιότητας κατά RQD (29% - 55%). Το πέτρωμα χαρακτηρίζεται ως πολύ τεμαχώδες – επικράτηση πάνω από 4 οικογένειες ασυνεχειών. Οι ασυνέχειες του πετρώματος είναι λείες έως μέτρια αποσαθρωμένες. Λαμβάνοντας υπόψη την παραπάνω περιγραφή, το πέτρωμα έχει GSI 40-50. Σύμφωνα με τα παραπάνω, το γεωλογικό μοντέλο που προκύπτει αποτελείται από δυο υλικά. Το ανώτερο στρώμα αποτελείται από τα υλικά κατολισθήσεων (LM) σημαντικού πάχους. Τα υλικά αυτά ανήκουν στην τεχνικογεωλογική ενότητα 1 και χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλές διατμητικές αντοχές. Το κατώτερο στρώμα αποτελείται από το κεραματισμένο μολασσικό υπόβαθρο (MO). Το πέτρωμα ανήκει στην τεχνικογεωλογική ενότητα 5 και παρουσιάζει σημαντικές ιδιαιτερότητες. Χαρακτηρίζεται από υψηλές αντοχές, πυκνό σύστημα ασυνεχειών και μεγάλη ευκολία στην αποσάθρωση και διάβρωση.



Σχήμα 3.11. Γεωλογική διατομή του πρανούς στη Χ.Θ. 12+640 του 4^{ου} τμήματος του έργου Μελίβοια-Σύνορα. Με κίτρινο απεικονίζονται τα κατολισθέντα εδαφικά υλικά (LM) και με πράσινο το μολασσικό υπόβαθρο (MO).

Πίνακας 3.17. Σύστημα ταξινόμησης με βάση τον γεωλογικό δείκτη αντοχής GSI. Το ηφαιστειακό λατοποπαγές έχει τιμές εντός του εύρους 40-50 σύμφωνα με την περιγραφή της γεώτρησης ΔΟ-24.

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)		SURFACE CONDITIONS				
STRUCTURE		VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Slickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	VERY POOR Slickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
 INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	 BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	 VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	 BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	 DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	 LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES DECREASING SURFACE QUALITY →

4. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΟΡΥΓΜΑΤΩΝ

4.1 Έλεγχοι ευστάθειας έναντι κινηματικών ολισθήσεων

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιούνται αναλύσεις έναντι ολισθήσεων σε επίπεδες επιφάνειες.

Οι επίπεδες επιφάνειες αποτελούν συνήθως τις ασυνέχειες μιας βραχώμαζας. Για τον παραπάνω λόγο, οι αναλύσεις αφορούν το 1^ο πρηνές που μελετάται.

Το 2^ο υπό μελέτη πρηνές δεν παρουσιάζει ασυνέχειες στο επιφανειακό στρώμα, συνεπώς μια ολίσθηση σε επίπεδη επιφάνεια κρίνεται αδύνατη.

Οι αναλύσεις εκτελούνται στο λογισμικό SWEDGE της Rocscience. Με το πέρας της ανάλυσης, το πρόγραμμα προσδιορίζει την τιμή του συντελεστή ασφαλείας του ορύγματος ως προς κάποια ολίσθηση για τις δυσμενέστερες συνθήκες εμμόνης και απόστασης των ασυνεχειών.

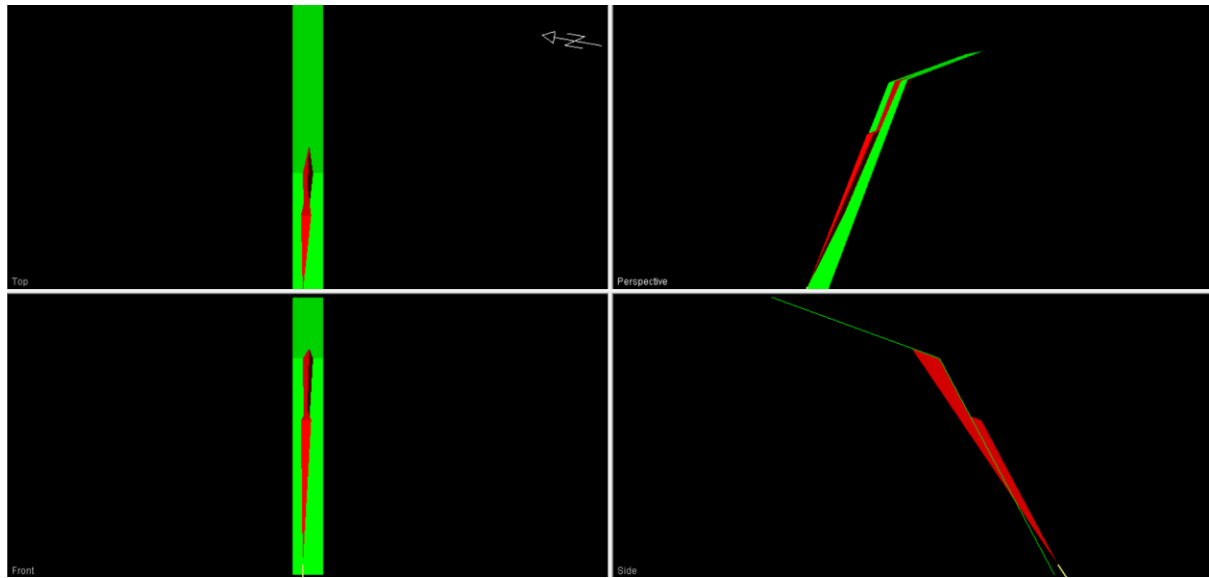
Για τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας σε κάθε περίπτωση αστοχίας χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω τιμές των παραμέτρων όπως αναγράφονται στον ακόλουθο πίνακα. Οι τιμές αυτές προέρχονται από ορισμένες διαδικασίες ή βιβλιογραφίες όπως αναπτύχθηκαν σε προηγούμενες παραγράφους αυτής της εργασίας.

Πίνακας 4.1. Συγκεντρωτικός πίνακας των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για τις αναλύσεις SWEDGE για το ορύγμα στη Χ.Θ. 2+481 του 3^{ου} τμήματος του έργου Εχίνος-Μελίβοια.

Διέδρο	Ασυνέχεια 1	Ασυνέχεια 2	Γωνία τριβής φασυν (°)	Συνοχή c (Kpa)	Συντελεστής εδαφικής επιτάχυνσης α
1	81/186	81/339	31	6.5	0.16
2	81/186	50/309	31	6.5	0.16
3	81/339	50/309	31	6.5	0.16

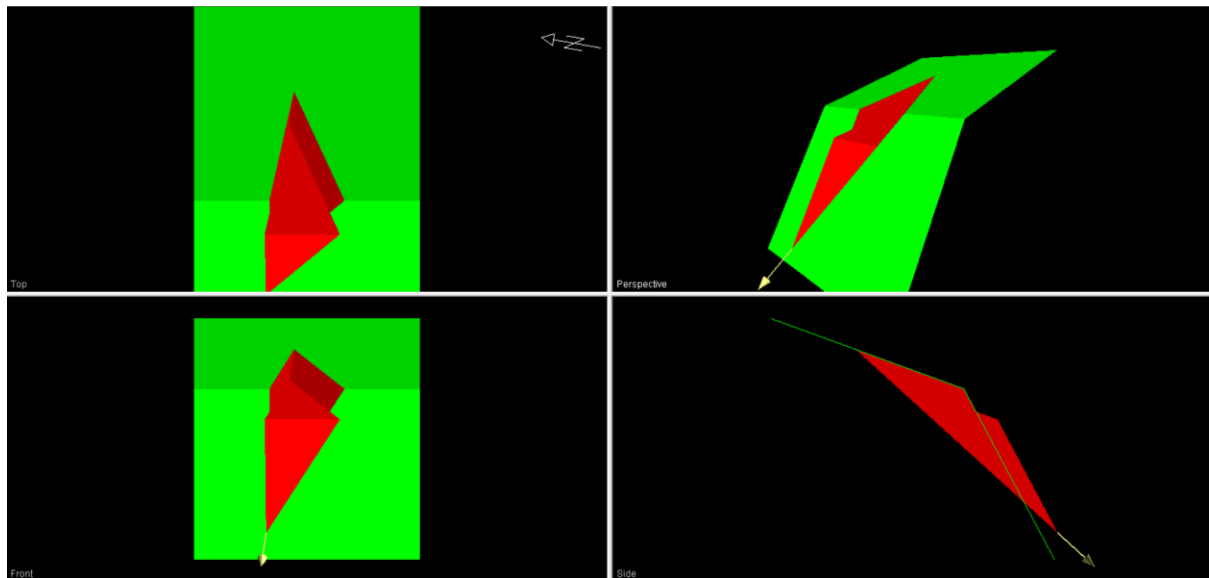
Οι παρακάτω αναλύσεις εφαρμόζονται στα 3 διέδρα που σχηματίζονται. Για την κεκλιμένη επιφάνεια της κορυφής του πρηνούς, λήφθηκαν ως τιμές γωνίας κλίσης 20° και διεύθυνση κλίσης 260°. Οι παραπάνω τιμές είναι θεωρητικές. Η συγκεκριμένη ανάλυση εφαρμόζεται στα διέδρα που σχηματίζονται σε όλο το ύψος του ορύγματος. Ταυτόχρονα, για κάθε διέδρο, πραγματοποιούνται δυο υπολογισμοί συντελεστών ασφαλείας F, ανάλογα με το ποσοστό των πληρωμένων επιφανειών των ασυνεχειών με νερό.

Διέδρο 1



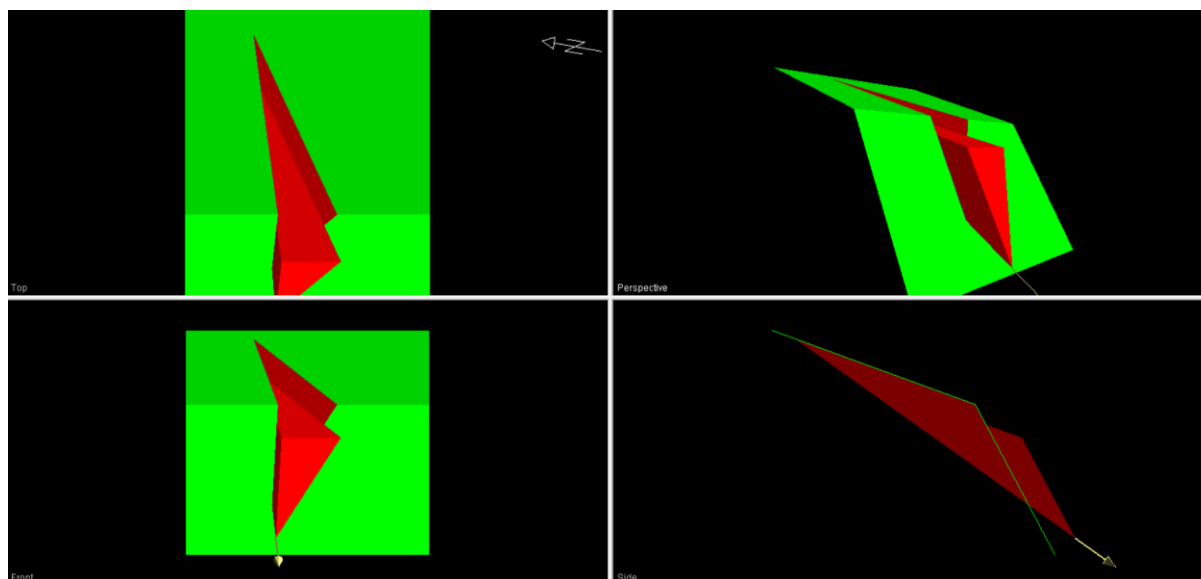
Σχήμα 4.1. Τρισδιάστατη απεικόνιση της σφήνας 1 του ορύγματος στη Χ.Θ. 2+481 του 3^{ου} τμήματος Εχίνος-Μελίβοια, σύμφωνα με το πρόγραμμα Swedge.

Διέδρο 2



Σχήμα 4.2. Τρισδιάστατη απεικόνιση της σφήνας 2 του ορύγματος στη Χ.Θ. 2+481 του 3^{ου} τμήματος Εχίνος-Μελίβοια, σύμφωνα με το πρόγραμμα Swedge.

Διέδρο 3



Σχήμα 4.3. Τρισδιάστατη απεικόνιση της σφήνας 3 του ορύγματος στη Χ.Θ. 2+481 του 3^{ου} τμήματος Εχίνος-Μελίβοια, σύμφωνα με το πρόγραμμα Swedge.

Πίνακας 4.2. Συγκεντρωτικός πίνακας των συντελεστών ασφαλείας F για τις σφήνες που σχηματίζονται στο όρυγμα της Χ.Θ. 2+481 του 3^{ου} τμήματος Εχίνος-Μελίβοια σύμφωνα με το πρόγραμμα Swedge.

Διέδρο	Πληρωμένες επιφάνειες ασυνεχειών με νερό (%)	Συντελεστής ασφαλείας F
1	0	2
	50	1.6
2	0	1
	50	0.9
3	0	1.8
	50	1.6

Συμπερασματικά:

Δεν προβλέπονται αστοχίες για το διέδρο 1 εφ' όσον ο συντελεστής ασφαλείας παραμένει υψηλός. Παρ' όλα αυτά η ευστάθεια επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την παρουσία του νερού.

Ο συντελεστής ασφαλείας για το διέδρο 2 ισούται με 1 σε ξηρές συνθήκες. Με την παρουσία των υδάτων στις επιφάνειες των ασυνεχειών αναμένεται αστοχία σφηνοειδούς μορφής. Οι τιμές του συντελεστή ασφαλείας βρίσκονται κάτω από το όριο των επιτρεπτών τιμών 1.3 (με βάση την ετήσια διακύμανση της στάθμης των υπόγειων υδάτων) ή 1.2 (με βάση την 50-ετία) σύμφωνα με τις Ο.Σ.Μ.Ε.Ο το 2001.

Δεν προβλέπονται αστοχίες για το δίδρο 3 εφ' όσον ο συντελεστής ασφαλείας παραμένει υψηλός. Η ευστάθεια της σφήνας φαίνεται πως επηρεάζεται σε μικρότερο βαθμό από ότι στο δίδρο 1, αλλά παραμένει σημαντική η απομείωση του συντελεστή ασφαλείας ανάλογα με τα νερά.

Η ανάλυση που παρουσιάζεται εδώ είναι μόνο ενδεικτική και έγινε για την παρουσίαση της επίδρασης των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών στην ευστάθεια του πρανούς, δεν αποτελεί λεπτομερή και ενδελεχή ανάλυση όλων παραμέτρων που μπορεί να απαντώνται στο πρανές αυτό και βασίζεται σε κάποιες παραδοχές για την απλοποίηση του μοντέλου. Τα αποτελέσματα είναι ανάλογα αυτών των παραδοχών.

4.2 Έλεγχοι ευστάθειας έναντι κυκλικών ολισθήσεων

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιούνται αναλύσεις ευστάθειας των πρανών έναντι περιστροφικών ολισθήσεων σε κυκλικές επιφάνειες. Οι αναλύσεις πραγματοποιούνται με το λογισμικό SLIDE της Rockscience και αφορούν τα δυο υπό μελέτη πρανή.

Με την εφαρμογή του προγράμματος επιδιώκεται ο προσδιορισμός του συντελεστή ασφαλείας για κάθε πιθανή κυκλική επιφάνεια ξεχωριστά.

Πρανές 1^ο

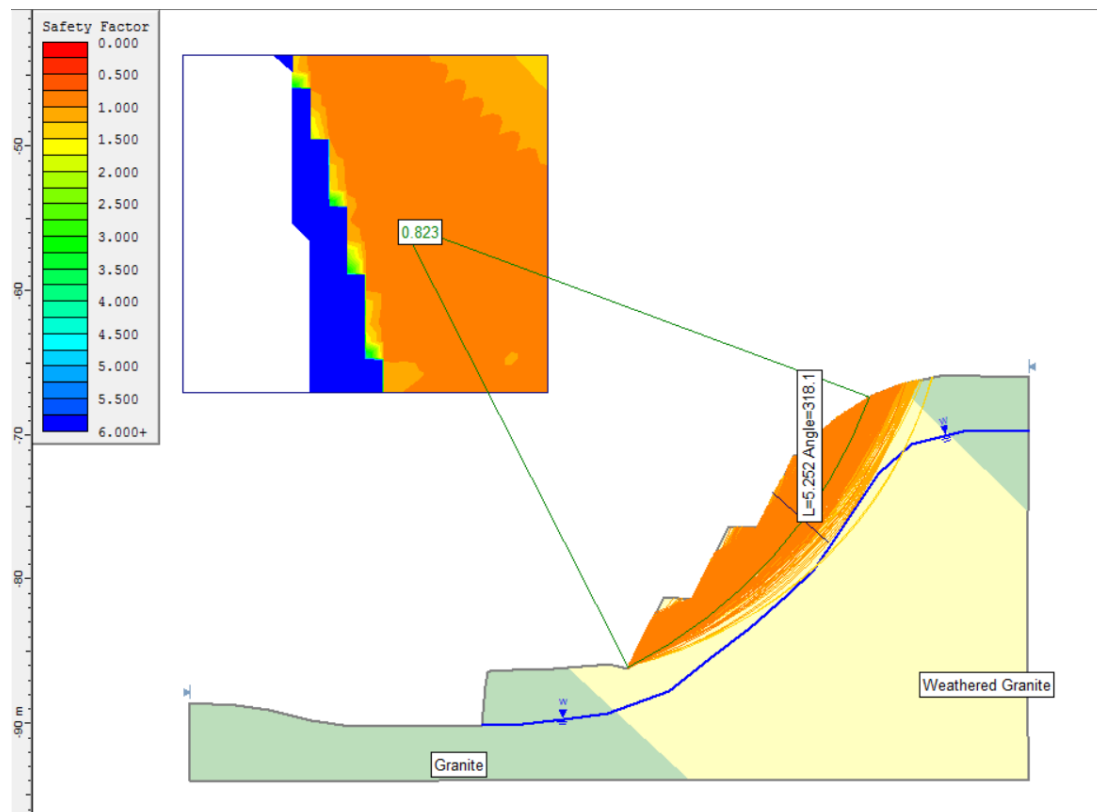
Η ζώνη διάτμησης, με το υλικό που χαρακτηρίστηκε ως GC μετά από τις κοκκομετρικές δοκιμές, προστέθηκε ως ξεχωριστό στρώμα υλικού. Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται στα 4μ. υπό την επιφάνεια του εδάφους.

Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.3. Συγκεντρωτικός πίνακας δεδομένων του προγράμματος Slide για το πρανές 1.

Υλικό	Γωνία τριβής ϕ (°)	Συνοχή c (Kpa)
Εδαφικά υλικά αμμοχαλικώδους σύστασης (GC)	33	4
Αποσαθρωμένος και μέτρια κερματισμένος γρανίτης	58	777

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζονται οι διάφοροι κύκλοι επιφανειών ολίσθησης που προέκυψαν σύμφωνα με το λογισμικό.



Σχήμα 4.4. Οι πιθανές κυκλικές επιφάνειες με τους αντίστοιχους συντελεστές ασφαλείας F. Η ελάχιστη τιμή F ισούται με 0.8.

Η ανάλυση που παρουσιάζεται εδώ είναι μόνο ενδεικτική και έγινε για την παρουσίαση της επίδρασης των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών στην ευστάθεια του πρανούς, δεν αποτελεί λεπτομερή και ενδελεχή ανάλυση όλων παραμέτρων που μπορεί να απαντώνται στο πρανές αυτό και βασίζεται σε κάποιες παραδοχές για την απλοποίηση του μοντέλου. Τα αποτελέσματα είναι ανάλογα αυτών των παραδοχών.

Συμπερασματικά:

Οι κύκλοι ολίσθησης που σχηματίστηκαν έχουν συντελεστές ασφαλείας κάτω από 1.3, με την ελάχιστη τιμή να είναι 0.8. Στην περίπτωση αυτή θεωρήθηκε πως το αποσαθρωμένο υλικό συμπεριφέρεται εξ ολοκλήρου ως εδαφικό αμμοχαλικώδους σύστασης. Οι κύκλοι που έχουν σχηματιστεί εκτείνονται σε όλο το μήκος της επιφάνειας όπου οριοθετήθηκε η ζώνη διάτμησης. Παρατηρώντας τη θέση από κοντά, αντιλαμβανόμαστε πως δεν έχει εκδηλωθεί τέτοιου μεγέθους κατολίσθηση στο πρανές, παρά μόνο μερικές βραχοκαταπτώσεις και σάρες. Συνεπώς, το γρανιτικό υλικό έχει ακόμα χαρακτηριστικά βραχομάζας. Συνεπώς, το γρανιτικό υλικό έχει ακόμα χαρακτηριστικά βραχομάζας και η ζώνη αποσάθρωσης είναι περιορισμένη σε πάχος και ανομοιογενής σε έκταση.

Πρανές 2^ο

Το πρανές αποτελείται από τα υλικά κατολίσθησης που επικάθονται πάνω στο μολασσικό υπόβαθρο. Σύμφωνα με την περιγραφή των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών των γεωυλικών που πραγματοποιήθηκε στην παράγραφο 3.3, τα υλικά κατολίσθησης (LM) έχουν γωνία τριβής $\phi=30^\circ$ και συνοχή $c=0$ Kpa. Το υπόβαθρο ως ηφαιστειακό λατυποπαγές (MO), το οποίο περιγράφεται ως σκληρός τεμαχώδης και μέτρια αποσαθρωμένος βράχος έχει γωνία τριβής $\phi=44^\circ$ και συνοχή $c=912$ Kpa. Σύμφωνα με τη γεώτρηση ΔΟ-24 η στάθμη των υπόγειων υδάτων μεταβάλλεται από 7 έως 25 μ. ανάλογα με τις βροχοπτώσεις.

Το γεωλογικό πρόβλημα παρουσιάζεται στην επαφή των δυο υλικών. Η επαφή αυτή αποτελεί κυκλική επιφάνεια μιας παλαιάς κατολίσθησης και ο προσδιορισμός των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της κρίνεται απαραίτητος. Ο προσδιορισμός της επιφάνειας μπορεί να επιτευχθεί είτε με γεωφυσικές μεθόδους διασκόπησης, είτε με την πραγματοποίηση γεωτρήσεων σε σωστά επιλεγμένες θέσεις. Γνωρίζοντας τη γεωμετρία της παλαιάς κατολίσθησης, μπορούμε να προβλέψουμε το μέγεθος μιας μελλοντικής αστοχίας. Τα παραπάνω έχουν άμεση σχέση με την συμπεριφορά των υλικών κατολίσθησης που αποτελούν το πρανές. Τα υλικά αυτά έχουν μηδενικές αντοχές και η εμφάνιση μιας νέας κατολίσθησης σε περιοχές με μεγάλες κλίσεις, είναι αναπόφευκτο φαινόμενο. Οι έντονες βροχοπτώσεις της περιοχής επιδρούν αρνητικά στην ευστάθεια του πρανούς, αντίθετα η μικρές κλίσεις που παρουσιάζονται στην επιφάνεια του εδάφους ισορροπούν γενικότερα το σύστημα.

Το προβλεπόμενο τεχνητό όρυγμα έχει κλίση 1:2 με 2 αναβαθμούς ύψους 10μ.

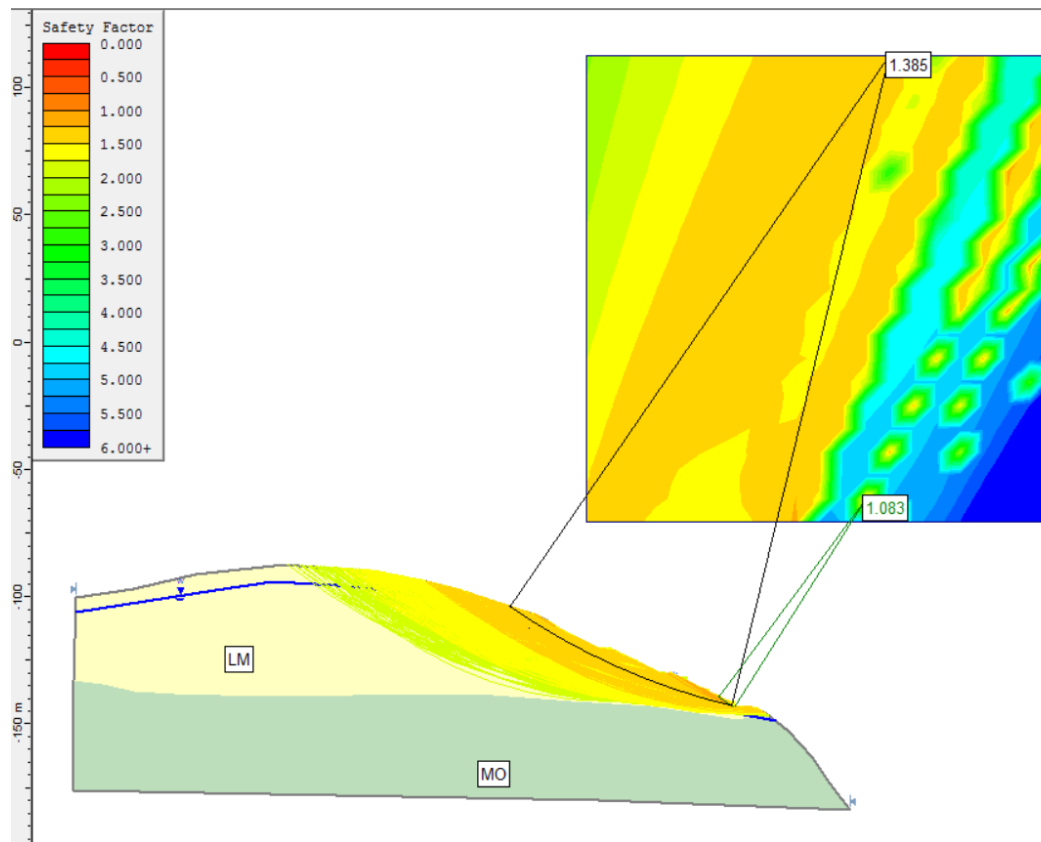
Για τις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω τιμές:

Πίνακας 4.4. Συγκεντρωτικός πίνακας δεδομένων του προγράμματος Slide για το πρανές 2.

Υλικό	Γωνία τριβής ϕ ($^\circ$)	Συνοχή c (Kpa)
Υλικά παλαιών κατολισθήσεων (LM)	30	0
Μολασσικό υπόβαθρο ηφαιστειακής σύστασης (MO)	44	912

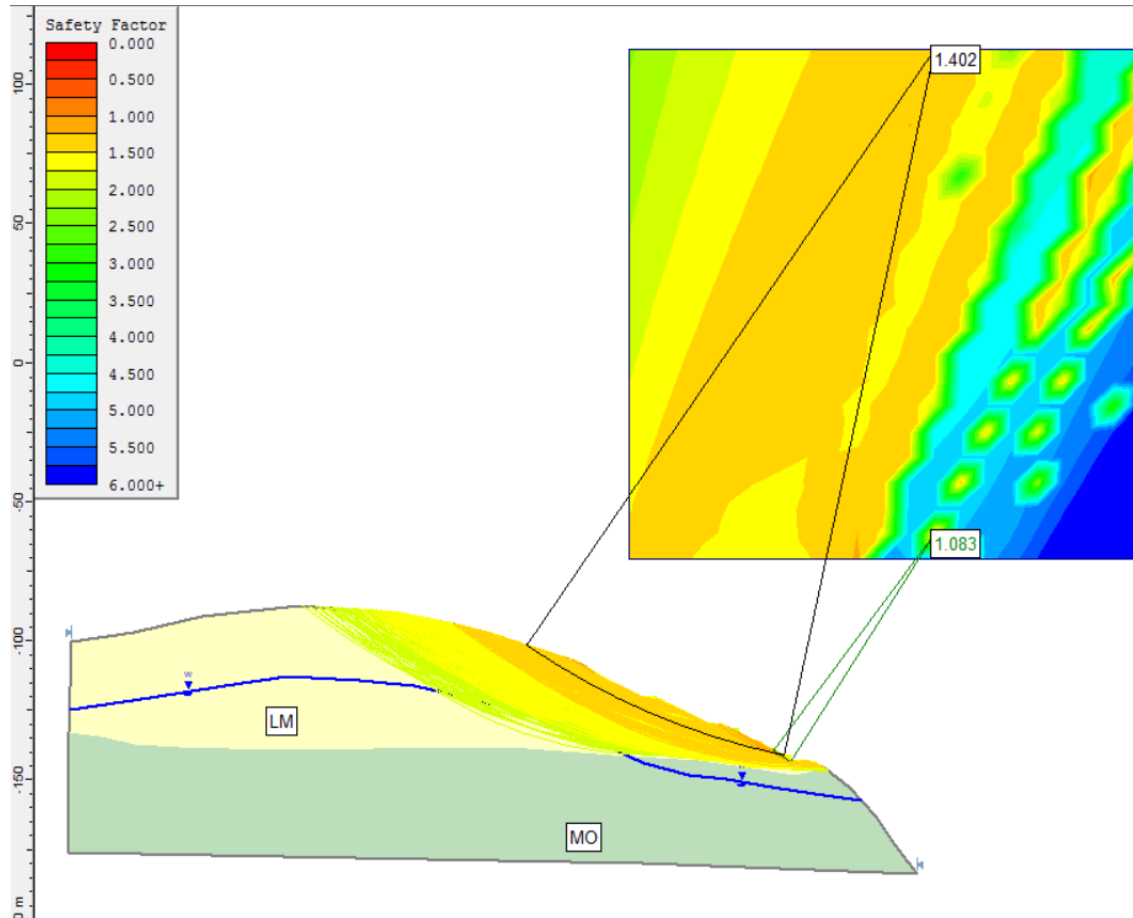
Η ανάλυση του συγκεκριμένου πρανούς χωρίστηκε σε δυο περιπτώσεις ανάλογα με το ύψος της στάθμης των υπόγειων υδάτων. Το βάθος της επιφάνειας επαφής προσδιορίστηκε από το μητρώο της γεώτρησης ΔΟ-24 που πραγματοποιήθηκε στην κορυφή του πρανούς.

1^η Περίπτωση



Σχήμα 4.5. Στο σχήμα παρουσιάζονται οι πιθανές κυκλικές επιφάνειες με τους αντίστοιχους συντελεστές ασφαλείας F ($F < 2$). Ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται στα 7μ. κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.

2^η Περίπτωση



Σχήμα 4.6. Στο σχήμα παρουσιάζονται οι πιθανές κυκλικές επιφάνειες με τους αντίστοιχους συντελεστές ασφαλείας F ($F < 2$). Ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται στα 25μ. κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.

Η ανάλυση που παρουσιάζεται εδώ είναι μόνο ενδεικτική και έγινε για την παρουσίαση της επίδρασης των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών στην ευστάθεια του πρανούς, δεν αποτελεί λεπτομερή και ενδεδειγμένη ανάλυση όλων παραμέτρων που μπορεί να απαντώνται στο πρανές αυτό και βασίζεται σε κάποιες παραδοχές για την απλοποίηση του μοντέλου. Τα αποτελέσματα είναι ανάλογα αυτών των παραδοχών.

Συμπερασματικά:

Η επαφή των κατολισθθέντων υλικών με το μολαστικό υπόβαθρο αποτελεί την παλαιά επιφάνεια κυκλικής ολίσθησης. Ο προσδιορισμός της γεωμετρίας της επιφάνειας επαφής κρίνεται αναγκαίος για την ακριβή ανάλυση της ευστάθειας του πρανούς. Στην προκειμένη περίπτωση, το βάθος της επιφάνειας προσδιορίστηκε από το μητρώο της γεώτρησης ΔΟ-24 που πραγματοποιήθηκε στην κορυφή του τεχνητού ορύγματος. Το μολαστικό υπόβαθρο βρέθηκε στα 25μ. υπό την επιφάνεια του εδάφους. Το τεχνητό όρυγμα έχει συνολικό ύψος 30μ. με 2 αναβαθμούς ύψους 10μ. Η κλίση του ορύγματος είναι 1:2 λόγω των υλικών

κατολίσθησης. Σύμφωνα με τις αναλύσεις, σε καμιά από τις δυο περιπτώσεις που πραγματοποιήθηκαν, ανάλογα με τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, δεν εμφανίζονται κύκλοι ολίσθησης με μικρό συντελεστή ασφαλείας F . Το αποτέλεσμα προκύπτει λόγω της ομαλής γεωμετρίας που εμφανίζει το στρώμα των κατολισθέντων υλικών.

Συγκεκριμένα, οι τιμές των συντελεστών ασφαλείας σε σημαντικού μεγέθους κύκλους ολίσθησης κυμαίνονται κοντά στο 1.4. Το πρυνές ευσταθεί και το όρυγμα είναι ασφαλές.

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να τονιστεί πως τα υλικά της κατολίσθησης χαρακτηρίζονται από μηδενικές φυσικές και μηχανικές ιδιότητες. Αποτελούν υλικά που επηρεάζονται με μεγάλη ευκολία από γεωλογικές διεργασίες όπως είναι η αποσάθρωση, η διάβρωση, η βροχοπτώση και η σεισμική δραστηριότητα. Παρόλου που η περιοχή δεν χαρακτηρίζεται από σεισμούς, παρουσιάζονται πολύ έντονες βροχοπτώσεις που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Από τα παραπάνω κρίνεται σημαντική η συνεχής παρακολούθηση των υλικών με όργανα-αποκλισιόμετρα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της εργασίας ήταν ο καθορισμός των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών των γεωυλικών της περιοχής του έργου. Για την επίτευξη των παραπάνω, αναζητήθηκε σχετική βιβλιογραφία για τη γεωλογία της περιοχής, αξιοποιήθηκαν με στατιστική επεξεργασία τα στοιχεία από εργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές σε δείγματα υλικών των 91 γεωτρήσεων που διενεργήθηκαν, μελετήθηκαν οι διαθέσιμες οριζοντιογραφίες, μηκοτομές, διατομές και οι υφιστάμενες γεωλογικές και γεωτεχνικές μελέτες που παρασχέθηκαν από την εταιρία που έχει αναλάβει το έργο της κατασκευής Εγνατία Οδός Α.Ε. Στη συνέχεια, σύμφωνα με τα προηγούμενα αποτελέσματα, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις ευστάθειας σε δυο επιλεγμένα ορύγματα.

Τα γεωυλικά της περιοχής του έργου κατηγοριοποιήθηκαν σε 6 τεχνικογεωλογικές ενότητες. Συγκεκριμένα, τα υλικά κατολίσθησης με τις πολύ μικρές διατμητικές αντοχές $\phi=30^\circ$ και $c=0$ Kpa ανήκουν στην TE 1. Τα εδαφικά υλικά που χαρακτηρίζονται από αμμώδη σύσταση ανήκουν στην TE 2 και έχουν γωνία τριβής $\phi=33^\circ$ και συνοχή $c=23$ Kpa. Τα εδαφικά υλικά που χαρακτηρίζονται από αργλική σύσταση ανήκουν στην TE 3 και έχουν γωνία τριβής $\phi=28^\circ$ και συνοχή $c=51$ Kpa. Στα υλικά αυτά συμπεριλαμβάνεται και ο μανδύας αποσάθρωσης του υποβάθρου. Η σειρά μιγματιτών-σχιστολίθων-γνευσίων της ενότητας του Σιδηρόνερου χαρακτηρίζεται από πτυχογόνο τεκτονική. Οι σχηματισμοί αυτοί εμφανίζουν χαμηλές τιμές κατά GSI που κυμαίνονται μεταξύ 17 και 35 και ανήκουν στην TE 4. Η TE 5 περιλαμβάνει το μολασσικό ηφαιστειακό υπόβαθρο. Οι σχηματισμοί αυτοί (ηφαιστειακό λατυποπαγές, τόφφοι) παρουσιάζουν μεγάλες τιμές αντοχών αλλά και μεγάλη ευκολία στην αποσάθρωση και διαβρωσιμότητα. Χαρακτηρίζονται από μέτριο βαθμό κερματισμού και τιμές GSI από 40 έως 64. Η TE 6 περιλαμβάνει τα συμπαγή βραχώδη πετρώματα των γρανιτών, των μαρμάρων και των αμφιβολιτών που χαρακτηρίζονται από πολύ μεγάλες αντοχές. Τα πετρώματα αυτά διατέμνονται από πυκνά συστήματα ασυνεχειών αλλά εμφανίζουν ικανοποιητικές τιμές GSI μεταξύ 45 και 80.

Τα παραπάνω στοιχεία εφαρμόστηκαν σε δυο πρηνή προβλεπόμενων τεχνητών ορυγμάτων όπου και εκτιμήθηκε αναλυτικά η τεχνικογεωλογική κατάσταση και πραγματοποιήθηκαν ενδεικτικές γεωτεχνικές αναλύσεις ευστάθειας.

Συγκεκριμένα, το πρώτο πρηνές αποτελείται από υγιή έως αποσθρωμένο γρανιτικό υλικό με μέτριο βαθμό κερματισμού. Οι ασυνέχειες του εμφανίζονται ως μέτριας τραχύτητας με μεγάλες εμμονές. Η ανάλυση ευστάθειας έναντι επίπεδης ολίσθησης προέβλεψε συνθήκες αστοχίας σε δίδρο που σχηματίζεται μεταξύ μιας οικογένειας ασυνεχειών και ενός ρήγματος. Το παραπάνω αποτέλεσμα οφείλεται στις χαμηλές τιμές των διατμητικών αντοχών στις επιφάνειες των ασυνεχειών. Η ανάλυση ευστάθειας έναντι ολίσθησης σε κυκλική επιφάνεια προέβλεψε πολλούς πιθανούς κύκλους ολίσθησης ($F=0.8$) που καταλαμβάνουν ολόκληρη την επιφάνεια του ορύγματος. Οι παραδοχές του συγκεκριμένου πρηνούς αφορούν το αποσθρωμένο υλικό στην θέση της ζώνης διάτμησης. Το υλικό αυτό θεωρήθηκε πως έχει χαρακτηρές αμμοχαλικώδους σύστασης και του αποδόθηκαν μειωμένες τεχνικογεωλογικές ιδιότητες. Το δεύτερο πρηνές αποτελείται από κατολισθέντα υλικά που επικάθονται στο διαταραγμένο μολασσικό υπόβαθρο. Η ανάλυση ευστάθειας έναντι ολίσθησης σε κυκλική επιφάνεια εμφάνισε κάποιους οριακούς κύκλους με $F=1.08$ αλλά περιορισμένους σε βάθος. Αυτό οφείλεται στις εξομαλυμένες κλίσεις του επιφανειακού στρώματος. Οι παραδοχές του συγκεκριμένου πρηνούς αφορούν τη θέση της παλαιάς κατολίσθησης που αποτελεί και

επαφή των δυο γεωυλικών. Το βάθος της επαφής εκτιμήθηκε από τα μητρώα των γεωτρήσεων που διενεργήθηκαν στην περιοχή του ορύγματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

Μουντράκης Δημοσθένης, 2010, Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας, εκδόσεις University Studio Press.

Μαρίνος Β., Μαρίνος Π., και Hoek E. 2004, Γεωλογικός δείκτης αντοχής GSI. Εφαρμογή, συστάσεις, περιορισμοί και πεδία μεταβολών ανάλογα με τον τύπο του. Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, vol. XXXIV no.4, p.1773-1780.

Κοζομπόλης Β.Α., Πλυτάς Κ.Ε., Χλιμίντζας Γ.Ο., 2014, Συνοπτικό Γεωτεχνικό Τυπολόγιο.

Λουπασάκης Κωνσταντίνος, 2013, Σημειώσεις Διαλέξεων μαθήματος «Τεχνική Γεωλογία Ι».

Οδηγίες σύνταξης μελετών έργων οδοποιίας (Ο.Σ.Μ.Ε.Ο.) - Κεφ.4 - Έκδοση Α3, 2001.

Μελέτες έργου

Γιαννάτος Γ., 2014, Οριστική γεωλογική μελέτη – Τεχνική έκθεση Β. έκδοση για το τμήμα Εχίνος-Μελίβοια.

Παπαντώνη Δ., Παναγόπουλος Αν. et al., 2014, Εκπόνηση της οριστικής γεωλογικής μελέτης και των γεωτεχνικών αξιολογήσεων – μελετών στο τμήμα Ξάνθη-Σμίνθη του κάθετου άξονα 70 «Ξάνθη – Εχίνος – Ελληνοβουλγαρικά σύνορα».

Μαυρογεώργης Στ., 2014, Εκπόνηση οριστικής γεωλογικής μελέτης και των γεωτεχνικών αξιολογήσεων – μελετών στο τμήμα Σμίνθη-Εχίνος του κάθετου άξονα 70 «Ξάνθη – Εχίνος – Ελληνοβουλγαρικά σύνορα».

Αλεξίου Μ. Χ., 2014, Εκπόνηση οριστικών μελετών σιράγγων στο τμήμα Μελίβοια-Σύνορα του κάθετου άξονα 70 της Εγνατίας οδού «Ξάνθη-Εχίνος-Ελληνοβουλγαρικά σύνορα».

Ξενόγλωσση

Marinos, V., Marinos, P., Hoek, E., 2005, The geological strength index applications and limitations. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, vol.64 no.1, p.55-65.

Hoek, E., Kaiser, P.K., Bawden, W.F., 1997, Support of Underground excavations in Hard Rock. Rotterdam, Netherlands: A.A. Balkema.

Hoek, E., Marinos, P., Marinos, V., 2004, Characterization and engineering properties of tectonically undisturbed but lithologically varied sedimentary rock masses. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. Vol.42 no.2, p. 277-285

Barton N., et al. 1978, Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in Rock Masses. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, vol. 15, p. 319-368.

Marinos P. and Hoek, E. 2000. GSI – A geologically friendly tool for rock mass strength estimation. Proc. GeoEng2000 Conference, Melbourne. p. 1422-1442

Tsiambaos, G. and Sabatakakis, N. 2004. Considerations on strength of intact sedimentary rocks.vol. 72., p.261-273

ASTM D 2487-85, 1985. Standard test method for classification of soils for engineering purposes: Annual Book of ASTM standards, vol.04.08, p.395-408.

Papadopoulos, G.A., Vassilopoulou, A., (2001), Comninakis, P. and Papazachos, B. C., Comninakis P. E., Karakaisis, G.F., Karakostas, B.G., Papaioannou, Ch.A., Papazachos, C.B. and E.M. Scordilis (2000), A catalogue of earthquake in Greece and surrounding area for the period 550BC-1999, Publ. Geophys. Laboratory, University of Thessaloniki.

Διαδίκτυο

<http://Egnatia.eu>

<http://www.gein.noa.gr/el/>

[Google Earth Pro](#)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1. Οι γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο 4^ο τμήμα του έργου Μελίβοια – Σύνορα.

A/A	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΗΜ/ΝΙΑ	ΒΑΘΟΣ(m)	A/A	ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΗΜ/ΝΙΑ	ΒΑΘΟΣ(m)
1	DA-01	16/09/13	20	47	DS-03	21/09/13	20
2	DA-02	21/09/13	20	48	DS-04	19/09/13	20
3	DA-03	16/09/13	20	49	DT-01	19/10/13	10
4	DA-06	14/09/13	20	50	DT-02	18/10/13	10
5	DE-01	30/09/13	13.5	51	DT-06	09/12/13	10
6	DE-02	10/10/13	16.5	52	DT-09	20/10/13	10
7	DE-03	03/10/13	23.3	53	DT-12	09/12/13	10
8	DE-06	25/09/13	10	54	DT-14	19/10/13	10
9	DE-08	05/10/13	2.5	55	DT-15	15/10/13	10
10	DE-09	02/10/13	1.7	56	DT-17	08/12/13	10
11	DE-11	23/09/13	25	57	DT-18	13/10/13	10
12	DE-12	23/09/13	25	58	DT-19	14/10/13	10
13	DK-01	14/12/14	25	59	DT-21	06/12/13	10
14	DK-02	20/12/13	30	60	DT-23	11/10/13	10
15	DN-01	05/11/13	46	61	DT-24	10/10/13	10
16	DN-02	15/10/13	20	62	DT-25	24/12/13	10
17	DN-03	28/11/13	38	63	DT-27	06/12/13	10
18	DN-04	17/11/13	24	64	DT-28	13/10/14	10
19	DN-05	06/12/13	50	65	DT-29	11/10/13	23.3
20	DN-06	01/11/13	30.7	66	DT-30	10/10/13	10
21	DN-07	09/11/13	40.5	67	DT-32	04/12/13	10
22	DNT-01	17/10/13	11	68	DT-33	09/10/13	10
23	DO-02	03/10/13	30	69	DT-34	08/10/13	18
24	DO-03	18/10/13	40	70	DT-40	10/10/13	10
25	DO-05	12/10/13	10	71	DT-43	09/10/13	10
26	DO-07	06/10/13	10.3	72	DT-44	08/10/13	15
27	DO-09	05/10/13	10	73	DT-46	02/12/13	15
28	DO-10	10/10/13	31	74	DT-48	07/10/13	40.4
29	DO-11	08/10/13	32	75	DT-50	04/10/13	45
30	DO-13	13/10/13	30	76	DNT-06	03/07/14	16
31	DO-14	27/09/13	20	77	DNT-07	03/07/14	15
32	DO-15	26/09/13	27.05	78	DNT-08	02/07/14	12
33	DO-18	27/09/13	18.3	79	DNT-10	01/07/14	15
34	DO-19	28/09/13	25	80	DNT-12	01/07/14	15
35	DO-23	27/09/13	33.7	81	DNT-13	30/06/14	15
36	DO-24	30/09/13	30	82	DNT-14	24/06/14	22
37	DO-28	27/09/13	28	83	DNT-15	22/06/14	15
38	DO-30	29/09/13	23	84	DNT-16	30/06/14	25
39	DO-31	02/10/13	20	85	DNT-17	21/06/14	20
40	DO-32	25/09/13	15	86	DNT-18	24/06/14	20
41	DP-01	29/09/13	15	87	DNT-19	26/06/14	20
42	DP-04	11/10/13	12	88	DNT-20	22/06/14	20
43	DP-06	24/09/10	10	89	DNT-21	20/06/14	20
44	DP-07	17/09/13	15	90	DNT-22	16/06/14	20
45	DS-01	20/09/13	20	91	DNT-24	18/06/14	12.75
46	DS-02	18/09/13	20				

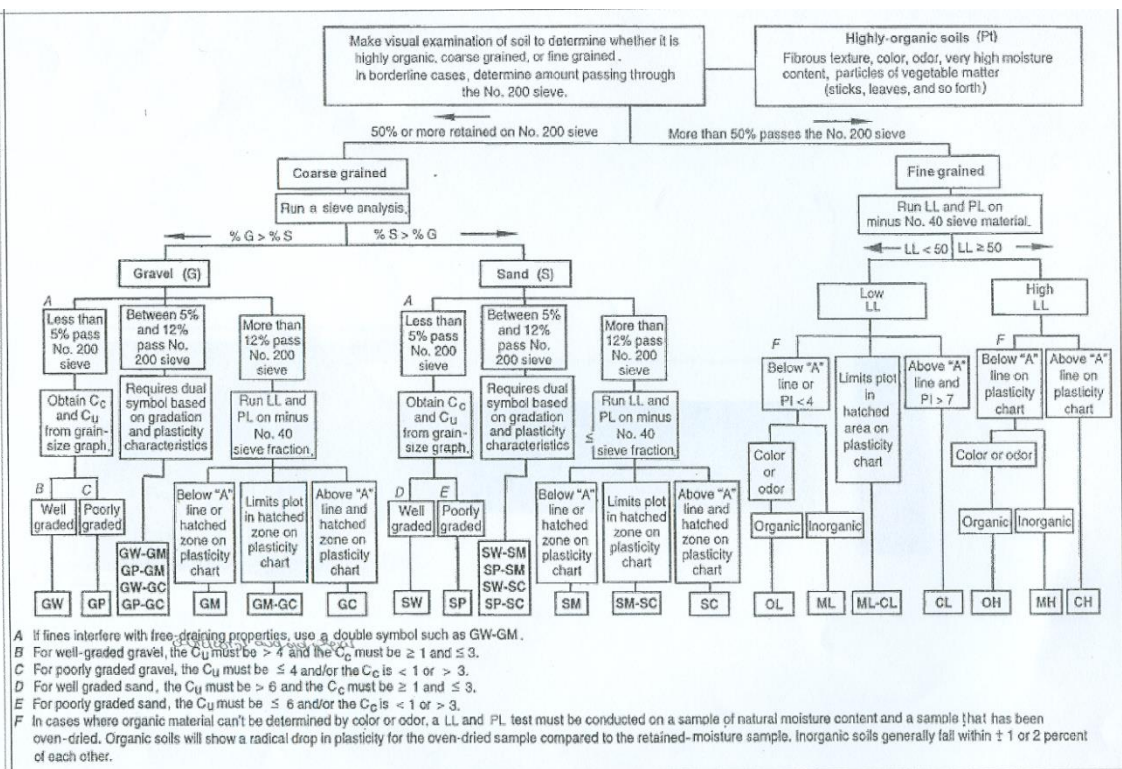


Figure B-1. USCS procedures

Πίνακας 2. Διάγραμμα ταξινόμησης των εδαφικών σχηματισμών. (ASTM D, 1985)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II
ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΔ-1

Τμήμα Έργου: Εχίνος-Μελίβοια

Χιλιομετρική Θέση: 2+481

Λιθολογία: Γρανίτης

Πρανές ελέγχου: 63/260

Τεκτονικό διάγραμμα 1. Χ.Θ. 2+481 του τμήματος Εχίνος-Μελίβοια

A/A	ΕΙΔΟΣ	ΚΛΙΣΗ	Δ/ΝΣΗ ΚΛΙΣΗΣ
1	J	80	180
2	J	85	180
3	J	80	182
4	J	85	176
5	J	80	184
6	J	80	190
7	J	75	190
8	J	80	196
9	J	75	190
10	J	80	188
11	J	30	210
12	J	35	206
13	J	30	210
14	J	30	206
15	J	35	210
16	J	30	216
17	J	35	210
18	J	30	210
19	J	30	210
20	J	35	212
21	J	10	330
22	J	15	336
23	J	10	334
24	J	15	330
25	J	10	326
26	J	15	330
27	J	10	330
28	J	10	334
29	J	10	330
30	J	10	330
31	F	60	180
32	F	50	310
33	F	40	330
34	Z	55	156

Όπου J=διάκλαση, F=ρήγμα, Z=ζώνη διάτμησης, S=σχιστότητα

ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΔ-2

Τμήμα Έργου: Εχίνος-Μελίβοια

Χιλιομετρική Θέση: 2+543

Λιθολογία: Αποσαθρωμένος γρανίτης

Πρανές ελέγχου: 63/260

Τεκτονικό διάγραμμα 2. Χ.Θ. 2+543 του τμήματος Εχίνος-Μελίβοια.

A/A	ΕΙΔΟΣ	ΚΛΙΣΗ	Δ/ΝΣΗ ΚΛΙΣΗΣ
1	J	60	150
2	J	60	150
3	J	60	150
4	J	60	150
5	J	60	150
6	J	60	150
7	J	60	150
8	J	60	150
9	J	60	150
10	J	80	340
11	J	80	340
12	J	80	340
13	J	80	340
14	J	80	340
15	J	80	340
16	J	80	340
17	J	80	340
18	J	80	340
19	J	85	170
20	J	85	180
21	J	85	170
22	J	85	170
23	J	85	170
24	J	85	190
25	J	85	190
26	J	85	190
27	J	85	190
28	J	85	190
29	F	60	170

Όπου J=διάκλαση, F=ρήγμα, Z=ζώνη διάτμησης, S=σχιστότητα