



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΠΑΠΑΔΙΩΤΗ Θ. ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ

Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΒΡΑΧΟΣΦΗΝΩΝ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΡΓΑ
ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΝΕΥΣΙΩΝ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ.

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ 'ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ',

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: 'ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ'

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2020



ΠΑΠΑΔΙΩΤΗ Θ. ΑΛΕΞΑΝΔΡΑ

ΠΤΥΧΙΟΥΧΟΣ ΓΕΩΛΟΓΟΣ

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΒΡΑΧΟΣΦΗΝΩΝ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΡΓΑ
ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΓΝΕΥΣΙΩΝ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΕΛΛΑΔΙΚΟ ΧΩΡΟ.

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας

Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Μαρίνος Βασίλειος, Επίκουρος Καθηγητής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ
(Επιβλέπων)

Χρηστάρας Βασίλειος, Καθηγητής, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Δρ. Θωμάς Μακεδών, Ε.Δι.Π, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής



Μετα την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής θα ήθελα να ευχαριστήσω αρχικά τον Επικ. Καθηγητή κ. Μαρίνο Βασίλειο, για την ανάθεση του θέματος, για την συνεχή και ουσιαστική καθοδήγηση του σε όλες τις φάσεις της παρούσας εργασίας. Επίσης θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον κ. Χρηστάρα Βασίλειο για την συμμετοχή του στην τριμελή εξεταστική επιτροπή αλλά και για τις παρατηρήσεις του. Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Μακεδών Θωμά για τις σημαντικές συμβουλές του αλλά και παρατηρήσεις του για την βελτίωση της παρούσας εργασίας. Θα ήθελα να τονίσω ότι οι γνώσεις που μου προσέφεραν αλλά η βοήθεια τους στην επίλυση προβληματισμών που δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια του μεταπτυχιακού προγράμματος ήταν ιδιαίτερης σημασίας. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, τους φίλους μου για την αμέριστη στήριξη του σε όλη τη διάρκεια του προγράμματος.



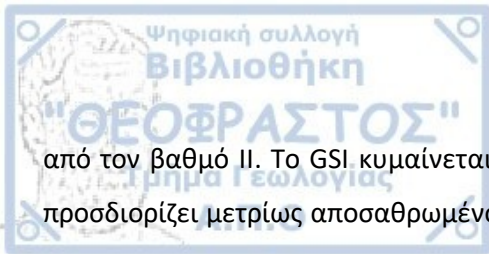
Ο υγιής γνεύσιος χαρακτηρίζεται από υψηλή αντοχή και μαζώδη δομή. Σε αυτές τις περιπτώσεις υπάρχουν ελάχιστα προβλήματα κατά κατασκευή τεχνικών έργων. Η βασική επιφάνεια ασυνέχειας του πετρώματος είναι η γνευσιακή υφή που είναι αποτέλεσμα της μεταμόρφωσης του πετρώματος. Η ποιότητα του απομειώνεται όταν είναι επηρεασμένος από την τεκτονική και την αποσάθρωση που μπορεί να δρα μέσω των τεκτονικών δομών σε μεγαλύτερα βάθη. Η αυξανόμενη επίδραση της αποσάθρωσης στην βραχομάζα περιγράφεται με βαθμούς αποσάθρωσης (I.S.R.M, 1978). Η δομή και τα επίπεδα ασυνεχειών αποτελούν τους σημαντικότερους παράγοντες αστοχίας του σχηματισμού υπό την επίδραση της αποσάθρωσης.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι ο προσδιορισμός της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς των γνευσιακών σχηματισμών και η ευστάθεια βραχοσφηνών που δημιουργούνται από τα γεωμετρικά στοιχεία των ασυνεχειών κατά την εκσκαφή απογείων έργων.

Η περιοχή έρευνας αναφέρεται στο τμήμα της Εγνατίας Οδού, Πολύμυλος - Λευκόπετρα που διασχίζει την δυτική Μακεδονία, καλύπτει μήκος 12,9km και ενώνει την περιοχή με την υπόλοιπη Μακεδονία. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζονται τέσσερις δίδυμες σήραγγες, οι 10, Σ11, Σ12 και Σ13. Η ευρύτερη περιοχή έρευνας ανήκει στην Πελαγονικής ζώνη, η οποία αποτελείται από μεταμορφωμένα και εκρηξιγενή πετρώματα. Οι σχηματισμοί που συναντώνται σε αυτή τη ζώνη είναι γνεύσιοι, γνευσιοσχιστόλιθοι, γνευσιογρανίτες, σχιστογνεύσιοι, γρανιτογνεύσιοι και απλιτογρανίτες. Η τεκτονική δραστηριότητα είναι εμφανής κυρίως μέσω των ζωνών διάρρηξης που εντοπίζονται στην περιοχή.

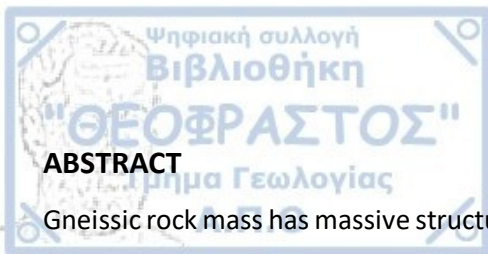
Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από τη βάση δεδομένων «TIAS» και αφορούν εργαστηριακές δοκιμές, γεωτρήσεις και γεωμετρικά στοιχεία ασυνεχειών. Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία, τεκτονικά διαγράμματα και η ανάλυση ευστάθειας.

Η τεχνικογεωλογική αξιολόγηση βασίζεται σε στατιστική επεξεργασία των δεδομένων με την χρήση ιστογραμμάτων και διαγραμμάτων διασποράς. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η τιμές της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής κυμαίνεται για το μεγαλύτερο ποσοστό του σχηματισμού στην κατηγορία 25-50Μρα με την μέση τιμή να είναι $\sigma_{ci}=41$ Μρα. Από την συσχέτιση της δοκιμής προσδιορισμού του δείκτη σημειακής φόρτισης με το σ_{ci} παρατηρείται η ίδια κατηγοριοποίηση. Βάση του δείκτη ποιότητας πετρώματος (RQD%) η ποιότητα των σχηματισμών χαρακτηρίζεται ως πτωχή ενώ η αποσάθρωση για το μεγαλύτερο ποσοστό του κυμαίνεται στους βαθμούς II-IV με το μεγαλύτερο ποσοστό να περιγράφεται



από τον βαθμό II. Το GSI κυμαίνεται σε εύρος 30-40 που με βάση το διάγραμμα GSI για τον γνεύσιο προσδιορίζει μετρίως αποσαθρωμένο σχηματισμό ενώ η περιγραφή αυτή μπορεί να συσχετιστεί με το εύρος τιμών του σ_{ci} . Η κατηγοριοποίηση με βάση το σύστημα ταξινόμησης Q περιγράφει πτωχή ποιότητα βραχομάζας.

Από την τεκτονική ανάλυση των γεωμετρικών στοιχείων των ασυνεχειών βρέθηκαν μέσω στατιστικής ανάλυσης τα βασικά συστήματα ασυνεχειών που επηρεάζουν την περιοχή έρευνας. Χρησιμοποιήθηκε επίσης για την ανάλυση μέση τιμή γωνίας τριβής $\phi_{peak}=35^\circ$ που προσδιορίστηκε από δεδομένα διατμητικής αντοχής ασυνεχειών. Για τον έλεγχο ευστάθειας επισφαλών βραχοσφηνών πραγματοποιήθηκε παραμετρική ανάλυση ως προς της παραμέτρους διατμητικής αντοχής ασυνεχειών με σκοπό να προσδιοριστεί ο συντελεστής ασφάλειας για διαφορετικούς βαθμούς αποσάθρωσης και να προταθούν μετρά υποστήριξης των διαφορετικού όγκου βραχοσφηνών. Τέλος πραγματοποιήθηκε ανάστροφη ανάλυση για τον προσδιορισμό των οριακών παραμέτρων διατμητικής αντοχής ασυνεχειών που χαρακτηρίζουν ευσταθής συνθήκες. Η απομείωση της ποιότητας των ασυνεχειών μέσω της αποσάθρωσης φαίνεται να δημιουργεί δυσμενείς συνθήκες ως προς την ευστάθεια των γνευσιακών σχηματισμών.



Gneissic rock mass has massive structure and it approaches high values of strength. Thus, those cases have minor problems during excavation. The main weakness surface that is contained is foliation, as an outcome of metamorphism. The high quality of the rock mass decreases as a result of tectonism and weathering. Through tectonic structures, weathering has higher impact in greater depths. The increasing influence of weathering had been described by weathering grades by I.S.R.M. The structure and the joint's surface when weathering increases, play a key role on the type of failure, since sliding happens along them.

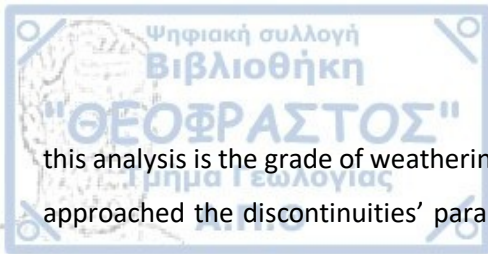
The study focuses at the geotechnical behavior of gneiss and the stability of rock wedges, that have been formed by discontinuities. Those are the two main parameters that have to be examined extensively for the greater understanding of gneissic's rock mass behaviour during underground excavation.

The study area is located along the part of Polymylos - Lefkopetra, Egnatia highway, that crosses west Macedonia, it connects the area with the rest unit, and It covers distance of 12.9km. Moreover, four twin tunnels, S10, S11, S12 and S13, have been examined for the purpose of this study. This area consists of Pelagonian unit formations, such as metamorphic and igneous rocks. More specifically, gneiss, gneiss with a variable percentage of granite or existence of schistose and frequent aplite veins. Tectonic activity was observed through shear zones.

The data that have been used for the analyses are provided by «TIAS» database. The statistical analysis is based on data from laboratory tests and boreholes, while stability analysis is based on the geometrical data of discontinuities' surfaces.

The geotechnical analysis includes statistical analysis and evaluation of laboratory and drilling data. The results show that the uniaxial comprehensive strength ranges from 25-50Mpa with the average value $\sigma_{ci}=41\text{Mpa}$. The correlation of uniaxial comprehensive strength with PLT shows the same observations. Based on the RQD (%), the rock mass is characterized by poor quality while weathering descriptions range from II-IV, but the higher percentage is related to slightly weathered rock mass (II). The GSI estimations range between 30-40 which describes moderately weathered rock mass through GSI table for gneiss and it can be related with the range of σ_{ci} . The values of Q classification indicate as well, poor quality of rock mass.

A tectonic analysis showed the main joint sets that can be form wedge geometry. The friction angle that has been used is $\phi_{\text{peak}}=35^\circ$, based on the shear strength tests of the discontinuities. Finally, a parametrical stability analysis was carried out for the unstable units of the rock mass in order to approach the factor of safety and the support measures that can be used for different volume wedges. The main parameter on

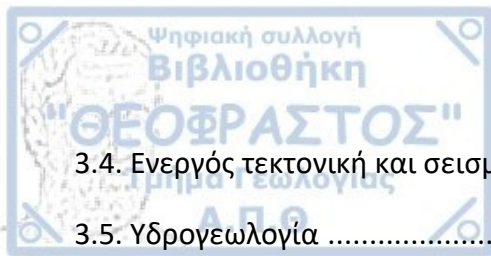


this analysis is the grade of weathering on discontinuities surface. Finally, through back analysis has been approached the discontinuities' parameters c and ϕ that formed wedges can be marginally stable. The stability and back analysis conclude that when weathering increases the factor of safety decreases, leading to instabilities

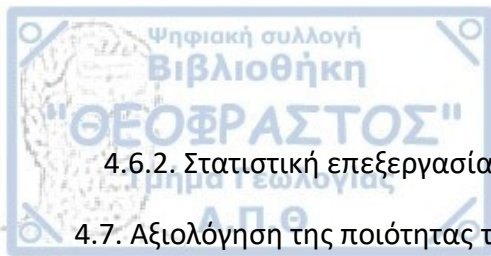


Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ..... Π.Θ.	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ABSTRACT.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο - ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
1.1. Σκοπός.....	10
1.2. Δεδομένα	11
1.3. Μεθοδολογία	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο - ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΝΕΥΣΙΑΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ.....	13
2.1. Γενικά	13
2.2. Τεκτονική καταπόνηση	13
2.2.1. Ασυνέχειες.....	14
2.2.2. Γενικός χαρακτηρισμός ζωνών τεκτονισμού.....	14
2.3. Αποσάθρωση.....	16
2.4. Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά ανά τύπο βραχομάζας	18
2.5. Γεωλογικός δείκτης αντοχής GSI- γνευσιακοί σχηματισμοί.....	26
2.6. Παραδείγματα μείωσης μονοαξονικής αντοχής σχηματισμών σε σχέση με τον βαθμό αποσάθρωσης.....	30
2.7. Συσχέτιση του τύπου του σχηματισμού με την συμπεριφορά του στα υπόγεια έργα	33
2.8. Παραδείγματα αστοχιών - σήραγγες σε γνευσιακούς σχηματισμούς	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο - ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	44
3.1. Γενικά	44
3.2. Γεωμορφολογία.....	46
3.3. Γεωλογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής έρευνας	46



3.4. Ενεργός τεκτονική και σεισμική επικινδυνότητα της ευρύτερης περιοχής	49
3.5. Υδρογεωλογία	51
3.6. Γεωλογική περιγραφή της περιοχής διέλευσης των σήραγγων	51
3.6.1. Γεωλογική περιγραφή της περιοχής διέλευσης σήραγγας Σ10	53
3.6.2. Γεωλογική περιγραφή της περιοχής διέλευσης σήραγγας Σ11	59
3.6.3. Γεωλογική περιγραφή της περιοχής διέλευσης σήραγγας Σ12	61
3.6.4. Γεωλογική περιγραφή της περιοχής διέλευσης σήραγγας Σ13	63
3.7. Ποιότητα βραχομάζας - Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής (GSI)	66
3.7.1. Τεχνικογεωλογικοί τύποι γνευσιακής βραχομάζας στην περιοχή έρευνας	66
3.7.2. Κατηγοριοποίηση με βάση το διάγραμμα Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής (GSI)	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο - ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ	
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ..	69
4.1. Γενικά	69
4.2. Ιδιότητες του άρρηκτου βράχου-Εργαστηριακά δεδομένα	70
4.2.1. Στατιστική επεξεργασία μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής άρρηκτου βράχου(σ_{ci}) ...	70
4.2.2. Στατιστική επεξεργασία ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης (Is_{50})	76
4.2.3. Στατιστική επεξεργασία μέτρου ελαστικότητας άρρηκτου βράχου (E_i)	80
4.2.4. Συσχέτιση μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής (σ_{ci}) – μέτρου ελαστικότητας (E_i), σταθερά παραμορφωσιμότητας (Modulus Ratio-MR).....	82
4.3. Στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων δοκιμής άμεσης διάτμησης ασυνεχειών	83
4.4. Αξιολόγηση του κερματισμού της βραχομάζας – Δείκτης Ποιότητας Πετρώματος (RQD)	84
4.5. Αξιολόγηση της αποσάθρωσης της βραχομάζας	89
4.6. Αξιολόγηση της ποιότητας της βραχομάζας- σύστημα ταξινόμησης Q.....	93
4.6.1. Γεωτεχνική ταξινόμηση με βάση το σύστημα ταξινόμησης Q.....	93



4.6.2. Στατιστική επεξεργασία αξιολογήσεων με βάση το σύστημα ταξινόμησης Q.....	100
4.7. Αξιολόγηση της ποιότητας της βραχομάζας - Γεωλογικός δείκτης αντοχής (GSI)	107
4.7.1. Διαχωρισμός τεχνικογεωλογικών ενοτήτων	112
4.7.2. Εκτίμηση αστοχιών για κάθε τεχνικογεωλογική ενότητα.....	114
4.7.3. Υπολογισμός των παραμέτρων συνοχής, γωνίας τριβής και του μέτρου ελαστικότητας.....	115
4.7.4. Υπολογισμός παραμορφώσεων.....	117
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο - ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΡΑΧΟΣΦΗΝΩΝ.....	119
5.1. Γενικά	119
5.2. Επίδραση των ασυνεχειών στα υπόγεια έργα.....	119
5.3. Στατιστική και τεκτονική ανάλυση επιπέδων ασυνεχειών στην περιοχή έρευνας	122
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο - ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΒΡΑΧΟΣΦΗΝΩΝ.....	139
6.1. Παραμετρική ανάλυση ευστάθειας	139
6.2. Προτεινόμενα Μέτρα υποστήριξης.....	150
6.3. Ανάστροφη ανάλυση όγκου βραχοσφηνών	152
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	154
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	158
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	163

Ο σκοπός της συγκεκριμένης διατριβής είναι η αξιολόγηση των τεχνικογεωλογικών ιδιοτήτων των γνευσιακών σχηματισμών, η αξιολόγηση δηλαδή της επίδρασης της τεκτονικής, της αποσάθρωσης αλλά και της σχιστότητας στην απομείωση των μηχανικών παραμέτρων του πετρώματος και η διαφοροποίηση αυτής της επίδρασης σε σχέση με το βάθος. Με όλα τα παραπάνω δίνεται η δυνατότητα αξιολόγησης της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς του γνευσίου κατά την διάνοιξη σηράγγων. Επίσης μέσω τεκτονικών αναλύσεων αλλά και αναλύσεων ευστάθειας βραχοσφηνών, που αποτελούν τον κύριο τύπο αστοχίας του σχηματισμού αυτού κατά την εκσκαφή σηράγγων, κρίνεται απαραίτητο να προσεγγιστεί ο βαθμός όπου η αποσάθρωση απομειώνει τις παραμέτρους διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών και αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την ευστάθεια τους. Η ανάλυση και αξιολόγηση είναι προσανατολισμένη στην εκσκαφή και κατασκευή υπογείων έργων. Οι εκσκαφές στις οποίες αναφέρονται τα δεδομένα που εξετάζονται αφορούν τέσσερις δίδυμες σήραγγες τις Σ10, Σ11, Σ12 και Σ13 που βρίσκονται στο τμήμα της Εγνατίας Οδού Πολύμυλος-Λευκόπετρα στους Νομούς Κοζάνης και Ημαθίας. Το γεωλογικό περιβάλλον όπου πραγματοποιήθηκε η διάνοιξη χαρακτηρίζεται από γνευσιακούς σχηματισμούς, με έντονη επίδραση διαφορετικών φάσεων τεκτονισμού και αποσάθρωσης.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, αντλήθηκαν από την βάση δεδομένων «TIAS» (V. Marinou et al., 2012). Έτσι αρχικά πραγματοποιείται στατιστική προσέγγιση των ιδιοτήτων της βραχομάζας σύμφωνα με δεδομένα από εργαστηριακές δοκιμές και γεωτρήσεις στην περιοχή έρευνας. Τα δεδομένα εργαστηριακών δοκιμών αφορούν αποτελέσματα δοκιμών μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής (σ_{ci}), δείκτη σημειακής φόρτισης (I_{s50}), μέτρου ελαστικότητας (E_i), ενώ τα δεδομένα γεωτρήσεων αφορούν εκτιμήσεις του Δείκτη Ποιότητας Πετρώματος (RQD) και βαθμού αποσάθρωσης, του Γεωλογικού Δείκτη Αντοχής (GSI) και της Γεωτεχνικής ταξινόμησης με βάση το σύστημα ταξινόμησης Q. Στη συνέχεια πραγματοποιείται στατιστική επεξεργασία των γεωμετρικών στοιχείων των ασυνεχειών με δεδομένα που προέρχονται από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά την εκσκαφή των εξεταζόμενων σηράγγων. Ενώ τέλος για ανάλυση ευστάθειας βραχοσφηνών πραγματοποιήθηκε παραμετρικός προσδιορισμός του συντελεστή ασφαλείας ασταθών τεμαχίων της βραχομάζας. Η παράμετρος που επιλέχθηκε για την τελευταία ανάλυση είναι ο βαθμός που έχει επιδράσει η αποσάθρωση στα επίπεδα των ασυνεχειών, δηλαδή η απομείωση των παραμέτρων διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών. Με βάση αυτή την ανάλυση έγινε επίσης προσπάθεια προσέγγισης των μέτρων υποστήριξης για τις διαφορετικού όγκου περιπτώσεις βραχοσφηνών. Τέλος χρησιμοποιώντας τα στοιχεία των όγκων των βραχοσφηνών που καταγράφηκαν

κατά την εκσκαφή πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο της ανάστροφης ανάλυσης (back analysis) προσδιορισμός των οριακών παραμέτρων διατμητικής αντοχής ασυνεχειών, οι οποίες προσδιορίζουν και την οριακή ευστάθεια των υπό ολίσθηση τεμαχών.

1.2. Δεδομένα

Τα δεδομένα στα οποία βασίζεται η συγκεκριμένη διπλωματική για την έρευνα στις σήραγγες Σ10, Σ11, Σ12 και Σ13 αναφέρονται σε εργαστηριακές δοκιμές και γεωτρήσεις. Αποτελούν δεδομένα μελέτης και κατασκευής του τμήματος Πολύμυλος-Λευκόπετρα της Εγνατίας οδού. Η λήψη των δεδομένων έγινε από τη βάση δεδομένων «TIAS» η οποία περιέχει συγκεντρωμένα στοιχεία από 62 σήραγγες της Εγνατίας Οδού (V. Marinos et al., 2012).

Έτσι τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την τεχνικογεωλογική αξιολόγηση του σχηματισμού αναφέρονται σε μονοαξονική θλιπτική αντοχή (σ_{ci}), δείκτη σημειακής φόρτισης (I_{s50}), μέτρο ελαστικότητας (E_i), εκτιμήσεις του Δείκτη Ποιότητας Πετρώματος (RQD) και βαθμού αποσάθρωσης, του Γεωλογικού Δείκτη Αντοχής (GSI) (V. Marinos, 2007) και της Γεωτεχνικής ταξινόμησης με βάση το σύστημα ταξινόμησης Q (Barton et al., 1974). Για τον έλεγχο της ευστάθειας των τοιχωμάτων και της οροφής των εκσκαφών εξετάστηκαν δεδομένα γεωμετρικών στοιχείων επιφανειών ασυνεχειών και αποτελέσματα δοκιμής άμεσης διάτμησης ασυνεχειών.

1.3. Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ώστε να επιτευχθεί ο σκοπός που έχει οριστεί αποτελείται από διαφορετικά στάδια επεξεργασίας και αξιολόγησης δεδομένων. Για το λόγο αυτό αρχικά πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία δεδομένων από εργαστηριακές δοκιμές και γεωτρήσεις μέσω του υπολογιστικού φύλλου Excel. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων προέρχεται από διαγράμματα διασποράς σε σχέση με το βάθος αλλά και ιστογράμματα. Ο συνολικός αριθμός των δεδομένων που επεξεργάστηκαν αφορά 3,168 τιμές δεδομένων. Από αυτές οι 402 αναφέρονται σε εργαστηριακές δοκιμές, οι 1372 σε στοιχεία γεωτρήσεων ενώ τέλος επεξεργάστηκαν 1394 μετρήσεις γεωμετρικών στοιχείων ασυνεχειών.

Τα διαγράμματα που πραγματοποιήθηκαν από την επεξεργασία δεδομένων εργαστηριακών δοκιμών αφορούν αποτελέσματα δοκιμής μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής (σ_{ci}), δείκτη σημειακής φόρτισης (I_{s50}), μέτρου ελαστικότητας (E_i). Για όλα τα παραπάνω έγινε προβολή σε διαγράμματα διασποράς των τιμών σε σχέση με το βάθος αλλά και ιστογράμματα, ώστε να αποδοθεί η γενικότερη κατανομή των τεχνικογεωλογικών ιδιοτήτων της βραχομάζας στην ευρύτερη περιοχή. Στην περίπτωση των δεδομένων



από γεωτρήσεις ακολουθήθηκε η ίδια στατιστική επεξεργασία για τιμές του Δείκτη Ποιότητας Πετρώματος (RQD) και βαθμού αποσάθρωσης, του Γεωλογικού Δείκτη Αντοχής (GSI) και της Γεωτεχνικής ταξινόμησης με βάση το σύστημα ταξινόμησης Q.

Στη συνέχεια για τους διαφορετικούς τύπους σχηματισμού στην περιοχή έρευνας με βάση αποτελέσματα μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής (σ_{ci}), της σταθεράς m_i , του Γεωλογικού Δείκτη Αντοχής (GSI) και του μέτρου ελαστικότητας (E_i), χρησιμοποιώντας το λογισμικό RocData έγινε προσπάθεια προσδιορισμού των τιμών συνοχής (c), γωνίας τριβής (ϕ) και του μέτρου παραμορφωσιμότητας (E_m).

Πραγματοποιήθηκε ακολούθως τεκτονική ανάλυση των επιπέδων των ασυνεχειών σύμφωνα με τα δεδομένα από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά την φάση της εκσκαφής στα μέτωπα σηράγγων. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε ξεχωριστά για κάθε μέτωπο εκσκαφής των τεσσάρων δίδυμων σηράγγων (Σ10, Σ11, Σ12 και Σ13). Για τον προσδιορισμό του συντελεστή ασφάλειας βραχοσφηνών που κρίθηκαν επισφαλείς αλλά και την προσέγγιση των μέτρων υποστήριξης πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του Unwedge 4.0 και των δεδομένων των γεωμετρικών στοιχείων των ασυνεχειών, παραμετρική ανάλυση με βασικό κριτήριο τον βαθμό αποσάθρωσης των επιφανειών των ασυνεχειών. Με τον τρόπο αυτό προσεγγίζεται η σημαντικότητα της επίδρασης της αποσάθρωσης τόσο στο σχηματισμό όσο και στα επίπεδα των ασυνεχειών του. Ακόμη με τη χρήση του ίδιου λογισμικού προσεγγίστηκαν τα μέτρα υποστήριξης που απαιτούνται για τους διαφορετικούς όγκους βραχοσφηνών που διαφοροποιούνται για διαφορετικό όγκο και ύψος βραχοσφήνας αλλά και διαφορετικά μηχανικά χαρακτηριστικά ασυνεχειών. Τέλος χρησιμοποιώντας τα στοιχεία των όγκων των βραχοσφηνών που καταγράφηκαν κατά την εκσκαφή πραγματοποιήθηκε με την μέθοδο back analysis προσδιορισμός των οριακών παραμέτρων διατμητικής αντοχής ασυνεχειών οι οποίες προσδιορίζουν και την οριακή ευστάθεια των υπό ολίσθηση τεμαχών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο - ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΝΕΥΣΙΑΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

2.1. Γενικά

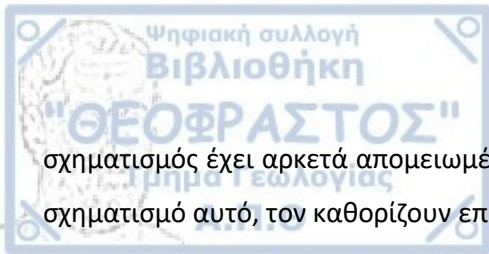
Ο γνεύσιος γενικά είναι πέτρωμα με πολύ υψηλή αντοχή, μαζώδης με κάποιες διακλάσεις να τέμνουν τη δομή του όταν δεν είναι αποσαθρωμένος (V. Marinis et al., 2018). Στο γεωλογικό περιβάλλον οι γνευσιακοί σχηματισμοί συνδέονται με έντονη τεκτονική παραμόρφωση και με την αποσάθρωση που επιδρά στις ιδιότητες του πετρώματος τόσο στην αντοχή του αλλά και γενικότερα στο σύνολό του. Η παρουσία φολίδωσης είναι αισθητή σε κάποιες περιπτώσεις, ενώ η γνευσιακή υφή είναι ευδιάκριτη που δεν αποτελεί επιφάνεια αδυναμίας του πετρώματος όταν δεν έχει επιδράσει στον σχηματισμό η αποσάθρωση.

Η αποσάθρωση ξεκινά από την επιφάνεια και μπορεί να προχωρήσει σε βάθος ανάλογα με τον κερματισμό της βραχομάζας (B. Μαρίνος, 2007). Έτσι αν δεν υπάρχουν συγκεκριμένες ζώνες τεκτονικής διατάραξης που διευκολύνουν την διείσδυση σε βάθος, η αποσάθρωση περιορίζεται κοντά στην επιφάνεια ανάλογα μόνο με το δίκτυο των διακλάσεων. Στις ζώνες αποσάθρωσης εμφανίζονται αργιλικά υλικά πολύ χαμηλής αντοχής. Αργιλικά υλικά από την αποσάθρωση μπορεί να έχουν μεταφερθεί και να έχουν πληρώσει ανοιχτές ασυνέχειες ακόμη και σε περιβάλλον με μη αποσαθρωμένες βραχομάζες, δημιουργώντας μια ιδιότυπη περίπτωση ικανής βραχομάζας με ολισθηρές ασυνέχειες. Το πάχος των ζωνών αποσάθρωσης μπορεί να έχει εύρος από 5-10m όταν η αποσάθρωση περιορίζεται στην επιφάνεια ενώ σε διαταραγμένες ζώνες μπορεί να εκτείνεται σε πολύ σημαντικό βάθος. Η αποσάθρωση είναι πιο έντονη κατά μήκος της γνευσιακής σχιστότητας λόγω του προσανατολισμού των ορυκτών.

Από όλα τα παραπάνω παρατηρείται μεγάλο εύρος ποιότητας βραχομάζας, χαρακτηρίζοντας τον σχηματισμό από καλής έως πολύ φτωχής ποιότητας, ανάλογα με τον βαθμό επίδρασης της τεκτονικής και της αποσάθρωσης. Οι διεργασίες αυτές φαίνεται να διαφοροποιούνται σε σχέση με το βάθος που εξετάζεται.

2.2. Τεκτονική καταπόνηση

Η τεκτονική καταπόνηση αποτελεί ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του σχηματισμού αυτού, αφού επιδρά στην ποιότητα και στον τύπο της δομής της βραχομάζας, ενώ παράλληλα συνδέεται και με τον βαθμό αποσάθρωσής του. Παρόλο που ο σχηματισμός του γνευσίου αποτελεί ένα πολύ συμπαγές πέτρωμα, σε περιπτώσεις όπου είναι έντονα τεκτονισμένος, κερματίζεται η δομή του και απομειώνονται τα μηχανικά τα χαρακτηριστικά του. Στην περίπτωση όπου εξετάζεται έντονα τεκτονισμένο περιβάλλον, ο



σχηματισμός έχει αρκετά απομειωμένη ποιότητα. Οι φάσεις του τεκτονισμού που έχουν επηρεάσει το σχηματισμό αυτό, τον καθορίζουν επηρεάζοντας την ποιότητα του.

Η τεκτονική καταπόνηση είναι εμφανής όταν οι επαφές των σχηματισμών δεν είναι σαφείς, όπως επίσης και σε σημεία που η συνέχεια τους διακόπτεται. Σύμφωνα με τον βαθμό που έχει επιδράσει η τεκτονική στο σχηματισμό, οι γνεύσιοι παρατηρούνται διαρρηγμένοι, με διατμήσεις αλλά και πτυχώσεις.

2.2.1. Ασυνέχειες

Η έντονη τεκτονική καταπόνηση κερματίζει το σχηματισμό δημιουργεί δίκτυο ασυνεχειών σε αυτόν, που ανάλογα με τον βαθμό επίδρασης της μπορεί είναι αρκετά πολύ πυκνό. Βασική επιφάνεια αδυναμίας στα γνευσιακά πετρώματα όμως είναι η γνευσιακή υφή που επηρεάζει και τα μηχανικά του χαρακτηριστικά σε μεγάλο βαθμό με την επίδραση της αποσάθρωσης ενώ δεν τον επηρεάζει σε περιπτώσεις όπου ο σχηματισμός είναι υγιής. Τέλος σημαντική επιφάνεια ασυνέχειας για τον γνεύσιο είναι η σχιστότητα, όπου ο προσανατολισμός της είναι ιδιαίτερης σημασίας. Με την δράση της αποσάθρωσης σε αυτά τα επίπεδα τα στρωματά αποχωρίζονται και μειώνονται τα μηχανικά χαρακτηριστικά των ασυνεχειών, επιτρέπουν στην αποσάθρωση να δράσει σε μεγαλύτερα βάθη ενώ επίσης δημιουργούνται υλικά αποσάθρωσης στις επιφάνειες τους.

Τα βασικά χαρακτηριστικά των ασυνεχειών είναι:

- Η συχνότητα, δηλαδή ο αριθμός των ασυνεχειών σε ένα δείγμα συγκεκριμένου μεγέθους. Η συχνότητα εξαρτάται από την απόσταση των ασυνεχειών αλλά και την εμμονή τους.
- Η πραγματική, δηλαδή η κάθετη απόσταση μεταξύ τους και η φαινόμενη .
- Η εμμονή, δηλαδή το μήκος ανάπτυξης των ασυνεχειών

Ενώ σημαντικοί παράμετροι για την μηχανική περιγραφή των ασυνεχειών είναι:

- Το άνοιγμα
- Η τραχύτητα
- Το υλικό πλήρωσης

2.2.2. Γενικός χαρακτηρισμός ζωνών τεκτονισμού

Οι ζώνες τεκτονισμού αποτελούν ζώνες όπου το υλικό παρουσιάζεται ιδιαίτερα καταπονημένο ή κερματισμένο με διαβάθμιση του βαθμού καταπόνησης. Ο βαθμός αυτός είναι μεγαλύτερος στο κέντρο των ζωνών και μειώνεται προς τα έξω.



Οι τύποι τέτοιων ζωνών είναι (Ramsay and Huber, 1987; Davis and Reynolds, 1996):

- Ζώνες πλαστικής παραμόρφωσης

Οι ζώνες πλαστικής παραμόρφωσης έχουν δομές που δείχνουν μεταμόρφωση και έχουν χαρακτηριστικά από την προηγούμενη δράση μιας ζώνης διάτμησης. Η διάτμηση μέσα σε αυτές τις ζώνες πραγματοποιείται μέσω της πλαστικής παραμόρφωσης των κρυστάλλων και για αυτό επιτυγχάνεται η ελάχιστη διάρρηξη του πετρώματος. Τα πετρώματα αυτά ονομάζονται μυλωνίτες (Passchier and Trouw, 1996).

- Ζώνες ψαθυρής παραμόρφωσης.

Γενικά αποτελούν ζώνες κανονικών ρηγμάτων και περιέχουν διακλάσεις και άλλα χαρακτηριστικά που είναι αποτέλεσμα ψαθυρής θραύσης. Η μετατόπιση συμβαίνει κατά μήκος ενός δικτύου ασυνεχειών. Λόγω του κερματισμού το νερό μπορεί να ρέει πιο εύκολα διαμέσου αυτών και έτσι συνήθως αυξάνεται η διαπερατότητα (e.g. Hulin, 1929; Higgins, 1971; Sibson, 1977; Wise et al., 1984).

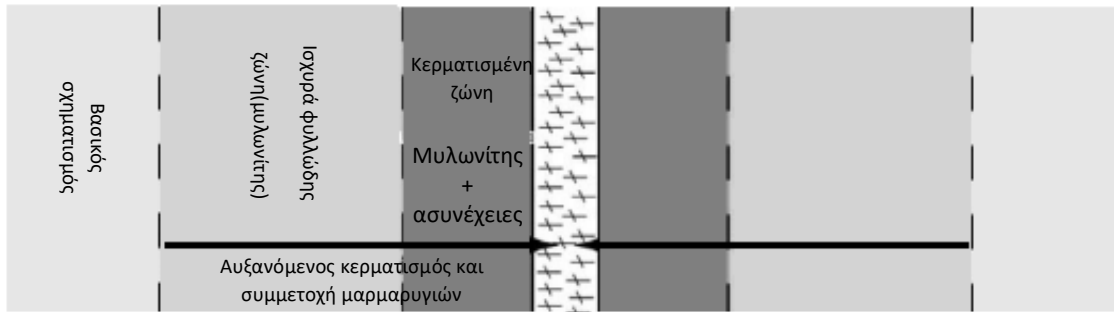
Υπάρχουν επίσης ζώνες που συμπεριφέρονται σαν ζώνες ψαθυρής παραμόρφωσης όπου δημιουργείται κατακλαστίτης αλλά και ζώνες που δείχνουν σημάδια από πλαστική και ψαθυρή παραμόρφωση.

Οι δομές που παρατηρήθηκαν σε ζώνες διάρρηξης ήταν κυρίως ζώνες πλαστικής παραμόρφωσης (Laws et al., 2003). Μια χαρακτηριστική αυξανόμενη μετατροπή του πετρώματος σε μυλωνίτη και κατά θέσεις υψηλότερης μυλωνιτοποίησης παρατηρήθηκε στους σχηματισμούς, στους οποίους υπάρχει χαλάρωση και αντικατάσταση του μητρικού πετρώματος από λεπτόκοκκο υλικό. Το λεπτόκοκκο υλικό αποτελούταν από κρυσταλλωμένα και ανακρυσταλλωμένα ορυκτά.

Οι διακλάσεις που είναι παράλληλες ή σχεδόν παράλληλες με την αρχική δομή του πετρώματος μπορεί να είναι γεμάτες με αργιλικό υλικό πάχους μερικών mm. Η αρχική δομή σχεδόν καταστρέφεται σε αυτές τις ζώνες, ενώ το πάχος των ζωνών είναι μεγαλύτερο σε περιοχές όπου η διάτμηση έχει μεγαλύτερη δυναμική.

Με βάση την αύξηση της πυκνότητας των διακλάσεων και την αύξηση της παρουσίας μαρμαρυγιών, οι ζώνες εμπεριέχουν ζώνες με φυλλοποιημένο υλικό, διατμημένο έως πολύ διατμημένο, ενώ υπάρχουν ζώνες που απουσιάζει η συνοχή. Το πάχος της ζώνης εξαρτάται από την πλαστική ή την ψαθυρή φύση της ζώνης διάτμησης.

Με βάση δείγματα γνευσίου σε ζώνες τεκτονισμού η συμπεριφορά του φαίνεται να μεταβάλλεται από ψαθυρή σε πλαστική, με αύξηση της τεκτονικής καταπόνησης.



Σχήμα 1: Σχηματική απεικόνιση ζώνης πλαστικής παραμόρφωσης (Laws et al., 2003).

2.3. Αποσάθρωση

Τα αποσαθρωμένα μεταμορφωμένα πετρώματα (L.Dobereiner et al., 1993) συχνά διατηρούν κάποια χαρακτηριστικά του μητρικού πετρώματος, και για το λόγο αυτό θεωρείται ότι το βασικό γεωτεχνικό πρόβλημα με αυτούς τους τύπους βραχομάζας σχετίζεται με τις παρακάτω παραμέτρους:

- Δομική πολυπλοκότητα
- Ακανόνιστες επαφές
- Ανισοτροπία υλικού και βραχομάζας

Από τη έρευνα σε αποσαθρωμένους γνευσιακούς σχηματισμούς έχει παρατηρηθεί έντονη δομική πολυπλοκότητα με πτυχές και ρήγματα. Οι γνευσιακές βραχομάζες επίσης εμπεριέχουν διακλάσεις παράλληλες με τη γνευσιακή υφή λόγω εφελκυστικής αδυναμίας και άλλες κάθετες που δημιουργούν ένα εύρος οικογενειών ασυνεχειών (Deere & Patton (1971); Sowers, 1988). Τέτοιες δομές ελέγχουν τη ροή του νερού και συνεπώς την ταχύτητα εκδήλωσης της αποσάθρωσης. Ωστόσο τα χαρακτηριστικά της αποσάθρωσης του γνευσίου δείχνουν σε πολλές περιπτώσεις πιο ετερογενή μορφολογικά χαρακτηριστικά και ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η επαφή μεταξύ εδαφοποιημένου υλικού και βραχώδους.

Η αποσάθρωση σε τροπικά κλίματα φαίνεται να είναι μεγαλύτερη. Σε περιοχές με πιο ήπια κλίματα ο ρυθμός αποσάθρωσης είναι μικρότερος, το πάχος των εδαφοποιημένων στρωμάτων είναι μικρότερο και τα αποσαθρωμένα τμήματα του σχηματισμού φαίνεται να έχουν μικρότερη έκταση. Τα αργιλικά ορυκτά που μπορεί να παραχθούν κατά την αποσάθρωση είναι μοντμοριλλονίτης, καολίνης, με πιο σύνθετες τον ιλλίτη.

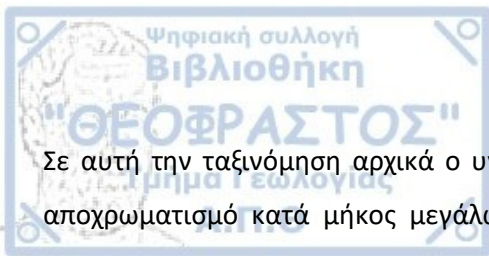
Χαρακτηριστικό είναι ότι σε πετρώματα με ίδια πετρογραφική σύσταση, όπου στο ένα η γνευσιακή υφή τέμνει το πέτρωμα κατακόρυφα και στο άλλο οριζόντια σε ένα ίδιο μορφολογικό περιβάλλον, το βάθος της αποσάθρωσης διαφέρει. Στην περίπτωση όπου η γνευσιακή υφή τέμνει το πέτρωμα κάθετα το βάθος της αποσάθρωσης φτάνει τα 7m, ενώ στην άλλη περίπτωση το βάθος είναι λιγότερο από το μισό. Η αποσάθρωση επηρεάζεται επίσης από τη μορφολογία, αφού σε χαμηλότερα υψόμετρα η αποσάθρωση είναι μεγαλύτερη λόγω της συγκέντρωσης νερού.

Κατά γενικό κανόνα η διαδικασία της αποσάθρωσης ξεκινά από τις ασυνέχειες και οδηγείται προς το βραχώδες υλικό. Υπάρχουν παράγοντες που είναι σημαντικοί για το βαθμό της αποσάθρωσης, όπως ο αποχρωματισμός και τα στίγματα στο πέτρωμα, η αλλαγή στην υφή και στο υλικό, η αποδιοργάνωση και μείωση της αντοχής (Gurta and Rao, 2000). Όταν η βραχομάζα είναι υγιής και οι επιφάνειες των ασυνεχειών είναι σφικτές, υπάρχει μικρή επίδραση της αποσάθρωσης. Όταν οι ασυνέχειες είναι λίγο πιο ανοιχτές αφήνουν την αποσάθρωση να δράσει και ο βαθμός της αυξάνεται, επηρεάζοντας την επιφάνεια της ασυνέχειας και γεμίζοντας το κενό που έχει δημιουργηθεί με όλο και περισσότερα αργιλικά υλικά. (Beavis et al, 1982).

Υπάρχουν διαφοροποιήσεις όσον αφορά στο βαθμό της αποσάθρωσης της βραχομάζας και των ζωνών αποσάθρωσης. Η διαφοροποίηση αυτή είναι βασισμένη στην ταξινόμηση ISRM (1978) σύμφωνα με την οποία υπάρχουν 6 κατηγορίες αποσάθρωσης (Πίνακας 1):

Πίνακας 1: Κατηγορίες πετρωμάτων με βάση το βαθμό αποσάθρωσης (Anonymous, 1981).

Κατηγορία πετρώματος	Περιγραφή	Κατηγορία κατά την ISRM
Υγιές (F)	Χωρίς ίχνη αποσάθρωσης	I
Ελάχιστα αποσαθρωμένο	Η αποσάθρωση περιορίζεται στις επιφάνειες των ασυνεχειών	II
Ολίγον αποσαθρωμένο	Έντονη αποσάθρωση στις επιφάνειες των ασυνεχειών και ελαφριά αποσάθρωση στη μάζα του υλικού	III
Μετρίως αποσαθρωμένο	Εκτεταμένη αποσάθρωση στη μάζα του υλικού, χωρίς το υλικό να παρουσιάζει ευθρυπτότητα	IV
Έντονα αποσαθρωμένο	Εκτεταμένη αποσάθρωση στη μάζα του υλικού, με τοπική ευθρυπτότητα του υλικού	V
Πλήρως αποσαθρωμένο	Πλήρης αποσάθρωση και μεγάλη ευθρυπτότητα του υλικού, με διατήρηση της υφής και της δομής	VI
Έδαφος	Η υφή και η δομή του υλικού έχει καταστραφεί και το υλικό μπορεί να χαρακτηριστεί ως έδαφος (υπολειμματικός σχηματισμός)	-



Σε αυτή την ταξινόμηση αρχικά ο υγιής βράχος δεν έχει σημάδια αποσάθρωσης, μόνο ίσως κάποιο αποχρωματισμό κατά μήκος μεγάλων επιφανειών ασυνεχειών. Ο ελάχιστος αποσαθρωμένος τύπος χαρακτηρίζει βραχομάζες όπου η αποσάθρωση περιορίζεται στις επιφάνειες των ασυνεχειών. Ο βαθμός αποσάθρωσης III περιγράφει σχηματισμούς με έντονη επίδραση της αποσάθρωσης στις επιφάνειες των ασυνεχειών ενώ η βραχομάζα έχει επηρεαστεί ελαφρά επίσης. Για τον βαθμό αποσάθρωσης IV η επίδραση της αποσάθρωσης φαίνεται να επεκτείνεται στην μάζα του σχηματισμού που παρόλα αυτά δεν προσδίδει ευθρυπτότητα στο υλικό. Την κατηγορία του έντονα αποσαθρωμένου πετρώματος παρατηρείται ότι η αύξηση της αποσάθρωσης προσδίδει ακόμα ευθρυπτότητα στο υλικό. Στην κατηγορία όπου το πέτρωμα είναι πλήρως αποσαρωμένο το πέτρωμα διατηρεί την δομή του αλλά η δράση της αλλά είναι πολύ εύθρυπτο. Τέλος, με την επέκταση της αποσάθρωσης περταίρω ο σχηματισμός χαρακτηρίζεται ως έδαφος.

2.4. Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά ανά τύπο βραχομάζας

Για την αξιολόγηση των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών τους οι γνευσιακές βραχομάζες διακριτοποιήθηκαν και ομαδοποιήθηκαν σε συγκεκριμένους τύπους λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω χαρακτηριστικά (B. Μαρίνος, 2007). Οι τύποι των γνευσιακών βραχομαζών όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα είναι συνολικά οκτώ. Ωστόσο, στην περιοχή έρευνας οι τύποι γνευσιακής βραχομάζας που εντοπίστηκαν είναι πέντε. Οι περιγραφές τους δίνονται στον Πίνακα 2 (από B. Μαρίνος, 2007).

Πίνακας 2: Τεχνικογεωλογικοί τύποι γνευσιακής βραχομάζας (Β. Μαρίνος, 2007).



Τύπος I. Μη αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχομάζα (γνεύσιοι, γρανιτογνεύσιοι, γνευσιογρανίτες).

Η βραχομάζα είναι πολύ συμπαγής με ελαφρύ έως μέτριο κερματισμό και υγιής όσον αφορά την αποσάθρωση. Η αντοχή των άρρηκτων γνευσιακών τεμαχών είναι πολύ μεγάλη. Η ποιότητα της βραχομάζας καθορίζεται κυρίως από τον βαθμό του κερματισμού. Η δομή είναι πολύ σφικτή με τις ασυνέχειες να είναι γενικά κλειστές με τραχείες επιφάνειες αλλά και σημαντική εμμονή. Η γνευσιακή υφή αποτελεί επιφάνεια άτυπης ασυνέχειας και λόγω της μηδενικής αποσάθρωσης δεν δημιουργούνται επίπεδα αποχωρισμού. Τα μπλοκ που σχηματίζονται είναι μεγάλα ενώ η γωνία τριβής των ασυνεχειών είναι μεγάλη.

Τύπος II. Ελαφρώς αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχομάζα.

Η βραχομάζα είναι ελαφρώς αποσαθρωμένη με μέτριο έως έντονο κερματισμό. Η αντοχή των άρρηκτων γνευσιακών τεμαχών διατηρείται πολύ μεγάλη και μειώνεται ελάχιστα λόγω της αποσάθρωσης. Η ποιότητα της βραχομάζας καθορίζεται από το βαθμό κερματισμού και λιγότερο από το βαθμό της αποσάθρωσης. Η αποσάθρωση περιορίζεται στις επιφάνειες των ασυνεχειών. Η δομή δεν είναι ιδιαίτερα σφικτή, με τις ασυνέχειες να είναι γενικά ανοικτές με μέτριας έως πτωχής ποιότητας επιφάνειες και να έχουν σημαντική εμμόνη. Η γνευσιακή υφή είναι η βασική επιφάνεια ασυνέχειας καθώς η αποσάθρωση εκτείνεται μόνο κατά μήκος της φύλλωσης με αποτέλεσμα τα επίπεδα να αποχωρίζονται σε μικρό βαθμό.



Εικόνα 1: Ελαφρώς αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχομάζα.

Τύπος III. Ελαφρώς αποσαθρωμένη σχιστώδης γνευσιακή βραχομάζα (σχιστογενέσιοι, γνευσισχιστόλιθοι).

Η βραχομάζα είναι ελαφρώς αποσαθρωμένη με μέτριο έως έντονο κερματισμό ενώ το βασικό της χαρακτηριστικό είναι η έντονη σχιστότητα. Η αντοχή των άρρηκτων γνευσιακών τεμαχών διατηρείται πολύ μεγάλη και μειώνεται ελάχιστα λόγω της αποσάθρωσης. Η ποιότητα της βραχομάζας καθορίζεται από το βαθμό κερματισμού, με βασική ασυνέχεια την σχιστότητα αλλά και το βαθμό της αποσάθρωσης. Η δομή είναι ελαφρά ανοικτή με τις ασυνέχειες να είναι γενικά ανοικτές με μέτριας έως πτωχής

ποιότητας επιφάνειες με σημαντική εμμόνη. Η αποσάθρωση περιορίζεται στις επιφάνειες αλλά αυτές έχουν εξαλλοιωθεί δημιουργώντας ένα πολύ λεπτό υμένα ιλυσιαμώδους υλικού. Η διαφορά με τις μη σχιστογενευσιακές βραχομάζες όπως ο τύπος II, είναι ότι η αποσάθρωση εκτείνεται πιο εύκολα λόγω της πιο συχνής παρουσίας της σχιστότητας που διαχωρίζει τη βραχομάζα σε πιο λεπτά τεμάχια και δημιουργεί με τη μειωμένη τριβή πτωχότερο αλληλοκλείδωμα.



Εικόνα 2: Ελαφρώς αποσαθρωμένη σχιστώδης γενευσιακή βραχομάζα.

Τύπος IV. Αποσαθρωμένη γενευσιακή βραχομάζα

Η βραχομάζα είναι μετρίως αποσαθρωμένη με μέτριο έως πολύ έντονο κερματισμό. Η αντοχή του άρρηκτου βράχου έχει μειωθεί σημαντικά αλλά διατηρεί γενικά μέτριες έως υψηλές τιμές. Η ποιότητα της βραχομάζας καθορίζεται κυρίως από την αποσάθρωση και τις νέες ζώνες και πτωχές επιφάνειες που έχει δημιουργήσει η αργιλοποίηση και λιγότερο από το βαθμό κερματισμού. Η αποσάθρωση εκτείνεται σε όλη τη βραχομάζα χωρίς όμως τα βραχώδη τεμάχια να είναι εύθρυπτα. Η δομή είναι ανοιχτή με τις ασυνέχειες να είναι γενικά ανοικτές με πτωχής έως πολύ πτωχής ποιότητας επιφάνειες, οι οποίες έχουν περιορισμένη εμμόνη λόγω της συχνής διακοπής τους από το αργιλικό υλικό αποσάθρωσης. Η γενευσιακή υφή είναι η βασική επιφάνεια ασυνέχειας καθώς η αποσάθρωση έχει αποχωρίσει τις επιφάνειες σε αργιλικές ζώνες μικρού πάχους (5-10cm).



Εικόνα 3: Αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχομάζα.

Τύπος V. Αποσαθρωμένη σχιστώδης γνευσιακή βραχομάζα

Η βραχομάζα είναι μετρίως αποσαθρωμένη με πολύ έντονο κερματισμό ενώ το βασικό της χαρακτηριστικό είναι η έντονη σχιστότητα που κερματίζει περαιτέρω τη βραχομάζα και μέσω της αποσάθρωσης τη διαχωρίζει σε πιο λεπτές φυλλώσεις.

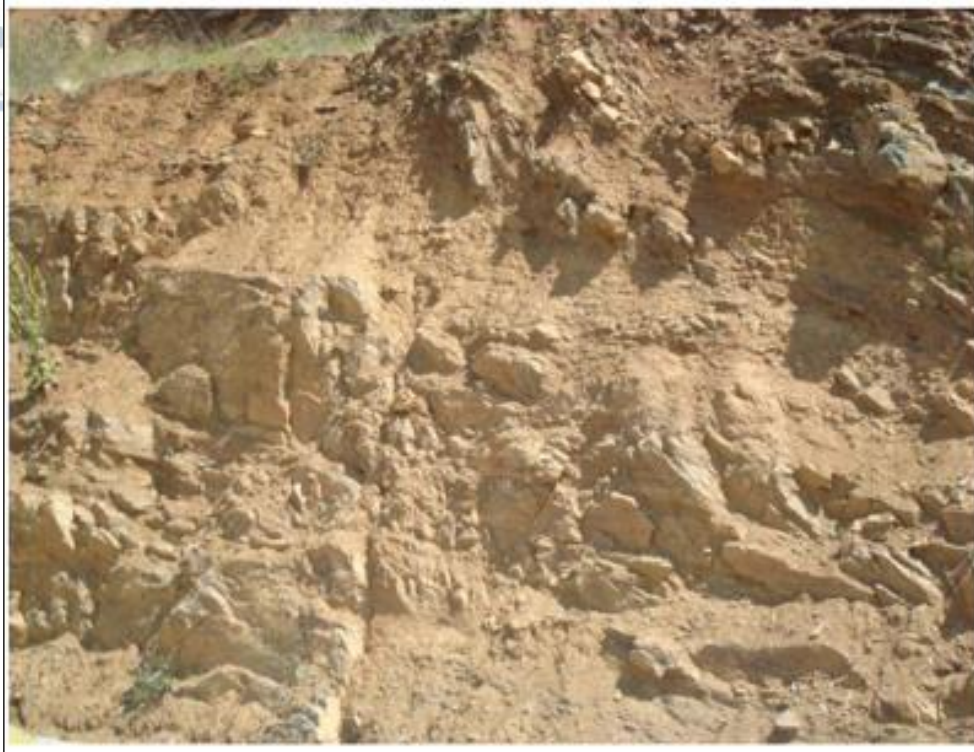
Η αντοχή του άρρηκτου βράχου έχει μειωθεί σημαντικά αλλά διατηρεί ακόμη μέτριες έως υψηλές τιμές. Η ποιότητα της βραχομάζας καθορίζεται από την αποσάθρωση και τις νέες ζώνες σε συνεχή διάταξη και πτωχές επιφάνειες που έχει δημιουργήσει η αργιλοποίηση και από το βαθμό κερματισμού που έτσι και αλλιώς είναι ισχυρός λόγω της έντονης σχιστοποίησης. Η αποσάθρωση εκτείνεται σε όλη τη βραχομάζα χωρίς όμως τα βραχώδη τεμάχια να είναι εύθρυπτα. Η δομή είναι ανοικτή με τις ασυνέχειες να είναι γενικά ανοικτές με πτωχής έως πολύ πτωχής ποιότητας επιφάνειες οι οποίες έχουν περιορισμένη εμμονή λόγω της συχνής διακοπής τους από το αργιλικό υλικό αποσάθρωσης. Η διαφορά με τις μη σχιστογενευσιακές βραχομάζες όπως του τύπου IV, είναι ότι η αποσάθρωση επεκτείνεται πιο εύκολα λόγω της πιο συχνής σχιστότητας.



Εικόνα 4: Αποσαθρωμένη σχιστώδης γνευσιακή βραχομάζα.

Τύπος VI. Πολύ αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχομάζα

Η βραχομάζα είναι πολύ αποσαθρωμένη με έντονο κερματισμό. Η αντοχή του άρρηκτου βράχου έχει μειωθεί σημαντικά λόγω της έντονης αποσάθρωσης. Η ποιότητα της βραχομάζας καθορίζεται κυρίως από την αποσάθρωση και τις νέες ζώνες και πτωχές επιφάνειες που έχει δημιουργήσει η αργιλοποίηση και λιγότερο από το βαθμό κερματισμού. Η αποσάθρωση επεκτείνεται σε όλη τη βραχομάζα έχοντας επιτρέψει τον αποχωρισμό πολλών τεμαχίων και τα βραχώδη τεμάχια είναι εν μέρει εύθρυπτα. Η μικροτεκτονική δομή και σχιστότητα έχουν σε μεγάλο βαθμό διατηρηθεί. Η δομή είναι πολύ ανοικτή με τις ασυνέχειες να είναι ανοικτές με πτωχής έως πολύ πτωχής ποιότητας επιφάνειες αφού διαχωρίζουν με αργιλικό υλικό πλήρωσης τις ταινιωτές λιγότερο αποσαθρωμένες γνευσιακές βραχώδεις μάζες. Οι ασυνέχειες είναι εξαλλοιωμένες με ιλυοαμμώδες υλικό αποσάθρωσης. Η γνευσιακή υφή είναι η βασική επιφάνεια ασυνέχειας καθώς η αποσάθρωση έχει αποχωρίσει τις επιφάνειες σε αργιλικές ζώνες μικρού πάχους της τάξης 10-30cm. Η ενδεχόμενη παρουσία νερού επιδρά δυσμενώς στα μηχανικά χαρακτηριστικά των αργιλικών ζωνών με αποτέλεσμα να μειώνονται τόσο οι ιδιότητες των ασυνεχειών, όσο και της βραχομάζας στο σύνολο.



Εικόνα 5: Πολύ αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχομάζα.

Τύπος VII. Πλήρως αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχομάζα.

Η βραχομάζα είναι πλήρως αποσαθρωμένη με ίχνη κερματισμένων δομών. Η αντοχή του άρρηκτου βράχου είναι χαμηλή, αφού έχει μειωθεί σημαντικά από την έντονη αποσάθρωση. Η ποιότητα της βραχομάζας καθορίζεται από την αποσάθρωση και την έντονη παρουσία αργίλου και ελάχιστα από τον βαθμό κερματισμού (ουσιαστικά η βραχομάζα περιορίζεται στην κατηγορία της αποδιοργανωμένης δομής). Η βραχομάζα έχει αποσυντεθεί σε μεγάλο βαθμό και είναι πολύ εύθρυπτη διατηρώντας όμως χαρακτηριστικά από την αρχική δομή.

Η σχιστότητα εκπεφρασμένη με την ταινιωτή – στρωσιγενή υφή έχουν διατηρηθεί αλλά μεταξύ τους παρεμβάλλεται σημαντικού πάχους αργιλοποιημένης ζώνης. Η δομή είναι έντονα διαταραγμένη – στρωματώδης έως αποδιοργανωμένη ενώ τα μικρά τεμάχια οριοθετούνται και διαχωρίζονται με αργιλικό υλικό αποσάθρωσης. Η ενδεχόμενη παρουσία του νερού επιδρά δυσμενώς στα μηχανικά χαρακτηριστικά των αργιλικών ζωνών με αποτέλεσμα να μειώνονται τόσο οι ιδιότητες των ασυνχειών, όσο και της βραχομάζας στο σύνολο.



Εικόνα 6: Πλήρως αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχομάζα.

Τύπος VIII. Διατμημένη - σχιστώδης γνευσιακή βραχομάζα

Η βραχομάζα είναι έντονα σχιστοποιημένη έως διατμημένη. Η αντοχή του άρρηκτου βράχου είναι γενικά μέτρια. Η αντοχή όμως μπορεί να μειώνεται περαιτέρω λόγω της αυξημένης σχιστοποίησης από τη διάτμηση, αύξηση της συμμετοχής λεπτόκοκκου κλάσματος, μικρής συνοχής του υλικού ανάμεσα στις φυλλώσεις και αύξηση της σύστασης σε φυλλώδη ορυκτά (μαρμαρυγίες).

Η ποιότητα της βραχομάζας είναι πτωχή λόγω της πολύ μικρής διατμητικής αντοχής των επιπέδων των φυλλώσεων. Οι επιφάνειες φύλλωσης, όταν διατηρούν σταθερά γεωμετρικά χαρακτηριστικά επιβάλλουν μια ισχυρή ανισότροπη συμπεριφορά και γενικά έχουν πτωχή έως πολύ πτωχή ποιότητα ασυνεχειών. Η ενδεχόμενη παρουσία του νερού επιδρά δυσμενώς στα μηχανικά χαρακτηριστικά των αργιλοποιημένων ζωνών με αποτέλεσμα να μειώνονται τόσο οι ιδιότητες των ασυνεχειών, όσο και της βραχομάζας στο σύνολο.



Εικόνα 7: Διατμημένη σχιστώδης – γνευσιακή βραχομάζα (Δημαράς, 2006).

2.5. Γεωλογικός δείκτης αντοχής GSI- γνευσιακοί σχηματισμοί

Το σύστημα ταξινόμησης GSI δημιουργήθηκε για να χαρακτηρίσει τη βραχομάζα από γεωλογική άποψη και δίνει πληροφορίες σχετικά με τις ιδιότητες της βραχομάζας που θα είναι χρήσιμες σε μελέτες σχεδιασμού για διαφορά τεχνικά έργα. Αυτό το σύστημα ταξινόμησης καλύπτει ένα μεγάλο εύρος πετρωμάτων και εμπεριέχει το βαθμό που κάποια διεργασία έχει δράσει πάνω στο πέτρωμα. Έτσι το GSI επιτρέπει την παραμετροποίηση της βραχομάζας, αφού επηρεάζει την μεταβολή των μηχανικών παραμέτρων του πετρώματος και μπορεί να περιγράψει τη συμπεριφορά της.

Ο πρώτος παράγοντας που εξετάζεται ως προς τη βαθμονόμηση των σχηματισμών με βάση το GSI είναι η δομή τους. Όταν ο βαθμός τεκτονισμού είναι χαμηλός (V. Marinis et al., 2018), τότε οι διακλάσεις της βραχομάζας δεν είναι τόσο έντονες και συνεπώς η δομή της είναι έως και ελαφρά κερματισμένη, οι τιμές με βάση το GSI είναι υψηλές έως πολύ υψηλές. Χαμηλές τιμές GSI συναντώνται όταν σε βραχομάζες με πολύ καλές μηχανικές παραμέτρους, παρουσιάζονται πολλές τεμνόμενες ασυνέχειες, όπως για παράδειγμα περιπτώσεις στρωματώδους βραχομάζας, με σχιστότητα ή εντός ζωνών ρηγμάτων. Αυτές οι συνθήκες μπορούν να χαρακτηρίσουν την ποιότητα της βραχομάζας έως και πτωχή.

Σε περιοχές όπου υπάρχει επίδραση της τεκτονικής οι τιμές του GSI μειώνονται καθώς η δομή σε αυτές συνήθως διατέμνεται από σημαντικό αριθμό ασυνεχειών. Σε μερικές περιπτώσεις η βραχομάζα είναι εντελώς διατμημένη. Αυτές οι περιπτώσεις βραχομάζας τείνουν να έχουν πλαστική συμπεριφορά, ιδιαίτερα όταν το μητρικό πέτρωμα έχει χαμηλά μηχανικά χαρακτηριστικά.

Για την βαθμονόμηση των γνευσιακών σχηματισμών κρίνεται απαραίτητη η εκτίμηση του βαθμού αποσάθρωσης και για το λόγο αυτό η ταξινόμηση του σχηματισμού με βάση το GSI δίνει ιδιαίτερη σημασία στην επίδραση της διεργασίας αυτής. Σπάνια συναντάται βραχομάζα που δεν έχει επηρεαστεί καθόλου, με εξαίρεση περιπτώσεις όπου η εκσκαφή γίνεται σε πολύ μεγάλο βάθος. Η αποσάθρωση γενικά είναι μια διεργασία που απομειώνει τα μηχανικά χαρακτηριστικά του πετρώματος και επιδρά μέχρι κάποιο συγκεκριμένο βάθος χωρίς να εισχωρεί σε μεγάλα βάθη.

Υπό την επίδραση της αποσάθρωσης, οι επιφάνειες των ασυνεχειών αποκτούν πιο πτωχά χαρακτηριστικά και το αλληλοκλειδώμα των τεμαχίων του βράχου μειώνεται. Η δομή μπορεί να μην είναι πάρα πολύ επηρεασμένη στην περίπτωση όπου ο βαθμός αποσάθρωσης δεν είναι πολύ υψηλός. Τα βασικά χαρακτηριστικά των βραχομαζών σε σχέση με τον βαθμό αποσάθρωσης σύμφωνα με το ISRM (1981) και Geological Society of London (Anon, 1995) χωρίζονται σε κατηγορίες W-I -W-VI από μη επηρεασμένη βραχομάζα μέχρι αργιλοποιημένο ή αμμώδες έδαφος.

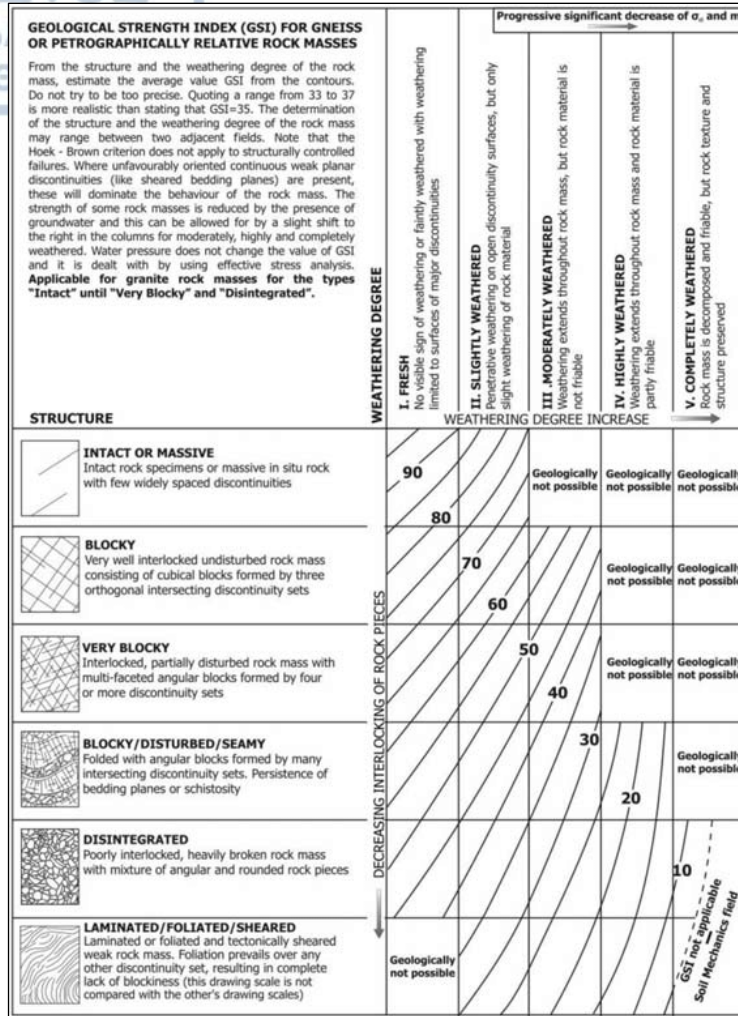
Σύμφωνα με αυτές τις περιγραφές η μηχανική και η χημική αποσάθρωση του άρρηκτου βράχου έχουν ως αποτέλεσμα εκτός από τη μεταβολή του υλικού της βραχομάζας, και την επίδραση σε παραμέτρους όπως το σ_{ci} και m_i με αποτέλεσμα την απομείωση του αλληλοκλειδώματος και των δεσμών των κόκκων των ορυκτών του σκελετού του πετρώματος. Έτσι διαμορφώνεται συντελεστής απομείωσης της μονοαξονικής αντοχής του άρρηκτου βράχου (σ_{ci}) για κάθε βαθμό αποσάθρωσης, ενώ η σταθερά m_i για τον σχηματισμό του γνευσίου κυμαίνεται από 28+5 έως 28-5, όπου για πολύ καλή ποιότητα βραχομάζας οι τιμές της είναι >28 ενώ για φτωχής ποιότητας βραχομάζα οι τιμές που λαμβάνει είναι <28.

Στην προσπάθεια να χαρακτηριστεί ο σχηματισμός ως προς το GSI με βάση όσων αναφέρθηκαν πιο πάνω, φαίνεται ότι ο γνεύσιος στην υγιή του κατάσταση αποτελεί ένα πολύ καλής ποιότητας πέτρωμα με πολύ καλή συμπεριφορά σε τεχνικά έργα. Παρόλα αυτά σε συγκεκριμένες γεωλογικές συνθήκες μπορεί να έχει πολύ πτωχή ποιότητα λόγω της αποσάθρωσης στην οποία είναι επιρρεπής, αλλά και της δράσης της τεκτονικής που επιδρούν μέχρι κάποιο συγκεκριμένο βάθος. Σε τέτοιες περιπτώσεις η δομή του άρρηκτου βράχου αλλά και η αντοχή του μεταβάλλονται με το βάθος, δημιουργώντας συνθήκες πολύ καλής έως πολύ δύσκολα αντιμετωπίσιμης συμπεριφοράς.



Η αποσάθρωση χαλαρώνει τη βραχομάζα και σταδιακά την αποδιοργανώνει, γεγονός που επιτρέπει στα χαρακτηριστικά αδυναμίας του γνευσίου να είναι καθοριστικά για τη συμπεριφορά του. Στο βάθος, υπό κανονικές γεωλογικές συνθήκες, οι γνευσιακές βραχομάζες έχουν πολύ σφικτή δομή. Σε περιπτώσεις όπου η βραχομάζα είναι αποσαθρωμένη παρατηρούνται υλικά αποσάθρωσης, ενώ αναπτύσσεται απόσταση μεταξύ ασυνχειών. Σε εντελώς αποσαθρωμένες περιπτώσεις βραχομάζας, η δομή καταστρέφεται, η παρουσία αργιλικών υλικών είναι σημαντική και διακρίνονται τμήματα του πετρώματος. Αυτές οι μάζες έχουν πολύ χαμηλή αντοχή σε διάτμηση. Σε λιγότερο αποσαθρωμένες περιπτώσεις υπάρχει η παρουσία μεγαλύτερων τεμαχίων που χαρακτηρίζονται από καλό αλληλοκλείδωμα και συνεπώς μεγαλύτερη τριβή. Όταν το πέτρωμα είναι σχιστοποιημένο και φυλλοποιημένο η αποσάθρωση είναι έντονη και η βραχομάζα αποχωρίζεται σε λεπτότερα κομμάτια δημιουργώντας μικρότερα τεμάχια.

Για την διερεύνηση γνευσιακών πετρωμάτων που έχουν επηρεαστεί από την αποσάθρωση χρησιμοποιείται ειδικά διαμορφωμένο διάγραμμα 1. Η διαφορά έγκειται στο ότι στην κατακόρυφη κλίμακα όπου στο διάγραμμα με το οποίο εξετάζονται οι γνευσιακοί σχηματισμοί περιγράφονται οι βαθμοί αποσάθρωσης και έτσι απομειώνεται η τιμή του GSI σύμφωνα με την αποσάθρωση που επιδρά στην ποιότητα του σχηματισμού. Οι γραμμές σε αυτό το διάγραμμα έχουν αντικατασταθεί με καμπύλες. Όταν ο βαθμός αποσάθρωσης αυξάνεται προς τα δεξιά η κάμψη των γραμμών αυξάνεται επίσης, ενώ στα αριστερά οι γραμμές είναι ευθείες. Η ελάττωση του GSI ξεκινά όταν η βραχομάζα είναι ελαφρά αποσαθρωμένη και καταλήγει σε πολύ χαμηλές τιμές για εντελώς αποσαθρωμένες βραχομάζες όπου η δομή τους είναι στρωματώδης ή αποδιοργανωμένη.



Διάγραμμα 1: Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής (GSI) για αποσαθρωμένες γνευσιακές βραχομάζες (V.Marinos, 2007).

Ο αρχικός προσδιορισμός του GSI εμπεριείχε τον τρόπο όπου προσδιορίζονται οι ιδιότητες του πετρώματος με κατηγορίες και περιγραφές της βραχομάζας ως προς το πέτρωμα και τη δομή του σε αντιστοιχία με παράγοντες απομείωσης των παραμέτρων αντοχής του.

Στο πίνακα 3 (V.Marinos et al., 2018) φαίνεται ο βαθμός επίδρασης της αποσάθρωσης και οι αλλαγές στην ορυκτολογική σύσταση που επιφέρει. Προσδιορίζονται επίσης οι παράγοντες που αντιστοιχούν στη μείωση της αντοχής για κάθε βαθμό αποσάθρωσης. Σημειώνεται ακόμη ότι στον βαθμό αποσάθρωσης W-III η κατάσταση του υλικού δεν είναι ακόμη εύθρυπτη όπως στον τύπο W-IV. Η αλλαγή από τον ένα τύπο στον άλλο είναι σημαντική, καθώς εκτός από τη μεγάλη αλλαγή στις ιδιότητες της βραχομάζας, σημαντικό είναι ότι συχνά μέχρι και το 50% της βραχομάζας είναι εκτεθειμένο σε συνθήκες αποσάθρωσης. Το GSI επίσης μπορεί να επηρεαστεί με την απομείωση της δομής του πετρώματος.

Πίνακας 3: Μεταβολή GSI και αντοχής άρρηκτου βράχου για κάθε βαθμό αποσάθρωσης (V. Marinov et al., 2018).




Βαθμός αποσάθρωσης	Περιγραφή	Συντελεστής Μείωσης σ_{ci}	Περιγραφή GSI
VI	Μετατροπή σε έδαφος	N/A	Δε χαρακτηρίζεται με βάση τη βραχομηχανική
V	Όλο το βραχώδες υλικό έχει αποδιοργανωθεί, έχει μετατραπεί σε έδαφος. Η αρχική δομή του πετρώματος είναι εμφανής. Το υλικό θρυμματίζεται.	0.001-0.004	Περιοχή όπου το GSI οριακά μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Η δομή έχει καταπονθθεί ιδιαίτερα και το αλληλοκλείδωμα των ασυνεχιών έχει χαθεί. Αργιλοαμμώδεις ζώνες ακολουθούν την αλλοιωμένη δομή. Η ποιότητα των ασυνεχιών είναι πτωχή.
IV	Περισσότερο από το μισό της βραχομάζας έχει αποδιοργανωθεί και εδαφοποιηθεί. Έντονη αποσάθρωση στις επιφάνειες. Υγής ή αποχρωματισμένος βράχος. Τα τεμάχια έχουν εύθραυστη δομή	0.04	Η δομή είναι πολύ καταπονθμένη και το αλληλοκλείδωμα των ασυνεχιών έχει σχεδόν χαθεί. Αργιλοαμμώδη υλικά έχουν γεμίσει τις ασυνέχειες. Η ποιότητα των ασυνεχιών είναι πολύ πτωχή. Το GSI μετακινείται κάτω και δεξιά στο διάγραμμα.
III	Λιγότερο από το μισό της βραχομάζας έχει εδαφοποιηθεί. Υψηλή έως έντονη αποσάθρωση στις επιφάνειες. Υγής έως αποχρωματισμένος σχηματισμός. Η δομή είναι σφικτή.	0.1	Το αλληλοκλείδωμα των ασυνεχιών φαίνεται να μην είναι τόσο ισχυρό. Η επιφάνεια του πετρώματος είναι αποσαθρωμένη και θρυμματισμένο υλικό γεμίζει τις ασυνέχειες. Η ποιότητα των ασυνεχιών είναι πτωχή. Το GSI μετακινείται προς την πιο πτωχή δομή και δεξιά ως προς την αποσάθρωση.
II	Ο αποχρωματισμός δείχνει αποσάθρωση της βραχομάζας και των ασυνεχιών. Όλο το βραχώδες υλικό μπορεί να είναι αποχρωματισμένο από την αποσάθρωση. Η αντοχή είναι μικρότερη από αυτή του υγιούς σχηματισμού.	0.4	Η δομή δεν έχει αλλάξει σε αντίθεση με τις επιφάνειες των ασυνεχιών. Το GSI μειώνεται προς συνθήκες ελαφριάς αποσάθρωσης.
I	Δεν υπάρχουν ενδείξεις αποσάθρωσης, ίσως κάποιες φορές ελαφρύς αποχρωματισμός σε κύριες επιφάνειες ασυνεχιών.	1.00	Υγής βράχος που γενικά είναι μαζώδης. Η ποιότητα των ασυνεχιών είναι πολύ καλή. Τεμάχια και επιφάνειες έχουν καλό αλληλοκλείδωμα. Η βραχομάζας μπορεί να έχει ασυνέχειες στο βάθος αλλά στην περίπτωση π.χ. ρήγματος εκεί η αποσάθρωση μπορεί να δράσει. Σπάνια οι επιφάνειες του πετρώματος δεν έχουν επηρεαστεί καθόλου.

2.6. Παραδείγματα μείωσης μονοαξονικής αντοχής σχηματισμών σε σχέση με τον βαθμό αποσάθρωσης

Όπως αναφέρθηκε η αποσάθρωση επηρεάζει τα μηχανικά χαρακτηριστικά των γνευσιακών σχηματισμών. Έτσι σε δοκιμές μονοαξονικής αντοχής, η αντοχή του γνευσιακού σχηματισμού μειώνεται

με την αύξηση του βαθμού αποσάθρωσης. Η γενική κατάταξη των αποσαθρωμένων βραχομαζών (Hoek and Brown, 1997; BS 5930, 1999; ISRM, 2015) φαίνεται στον πίνακα 4.

Πίνακας 4: Βαθμοί αποσάθρωσης αρρήκτου βράχου (J. P. Monticelli 2019, Hoek and Brown 1997; BS 5930 1999; ISRM 2015).

Βαθμός αποσάθρωσης	Περιγραφή δειγμάτων	UCS (MPa)	
W1(I-II)	Υγιής έως ελαφρά αποσαθρωμένος όπου μακροσκοπικά σχεδόν δεν φαίνεται η επίδραση της αποσάθρωσης. Τα ορυκτά του πετρώματος έχουν χαρακτηριστική λάμψη. Αποχωρίζεται σε μεγάλα τεμάχια με πολλά χτυπήματα με το γεωλογικό σφυρί, ενώ δεν χαράσσεται με το νύχι ούτε παραμορφώνεται με πίεση με το χέρι.		100-200
W2(III)	Φαίνονται σημάδια αποσάθρωσης στα ορυκτά. Τα ορυκτά χάνουν την λάμψη τους και αποχρωματίζονται, ενώ κάποιες φορές παρουσιάζονται στο πέτρωμα επιφάνειες κίτρινου χρώματος, πιθανότατα λόγω οξειδωσης. Σπάει με μερική δυσκολία με γεωλογικό σφυρί. Χαράσσεται με μαχαίρι αντιστέκεται στην παραμόρφωση με το χέρι.		50-100
W3(IV-V)	Το πέτρωμα και τα ορυκτά είναι ιδιαίτερα αποσαθρωμένα και είναι εύθρυπτα. Τα ορυκτά δεν έχουν λάμψη και είναι πολύ αποχρωματισμένα λόγω οξειδώσεων. Σπάει εύκολα με το γεωλογικό σφυρί για τον τύπο IV. Δεν αντιστέκεται στην πίεση με το χέρι για τον τύπο V.		12.5-50 (IV) 1.25-12.5 (V)

Με βάση την βιβλιογραφική αναζήτηση, από τις δοκιμές μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής για γνευσίους σε σχέση με τον βαθμό αποσάθρωσης προέκυψαν οι παρακάτω πίνακες. Οι πίνακες αναφέρονται σε διαφορετικούς τύπους γνευσίου που εντοπίζονται σε διαφορετικά περιβάλλοντα.

Πίνακας 5: Μονοαξονική αντοχή σε δείγματα «Massiac» γνευσίου (L.Dobereiner et al., 1993).

Βαθμός αποσάθρωσης	UCS (MPa)
I	117
II	100
III	13.38
IV	7.36

Πίνακας 6: Μονοαξονική αντοχή και τιμές από δοκιμές point load σε δείγματα σε γνευσιακά πετρώματα του Rio de Janeiro.

Βαθμός αποσάθρωσης	AUGEN		KINZIGNITE		LEPTINITE	
	UCS (MPa)	Is ₅₀	UCS (MPa)	Is ₅₀	UCS (MPa)	Is ₅₀
I	76	2.46	98.25	5.57	105.55	2.56
II	30.35	1.68	43.75	1.96	77.1	1.89
III	18.86	1.06	15.55	1.42	22.6	0.56
IV	6.4	0.24	-	0.22	-	-

Πίνακας 7: Μονοαξονική αντοχή σε δείγματα για τις ανάγκες σήραγγας Monte Sero (J. P. Monticelli et al., 2020).

Βαθμός αποσάθρωσης	UCS (MPa)
I	>140
II	140-100
III	100-300
IV	30-10
V	<10

Σύμφωνα με τα συμπεράσματα από έρευνα σε γνευσιακά πετρώματα (Dobereiner, 1993) κατά τη διάρκεια εργαστηριακών δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν με φόρτιση παράλληλα στη γνευσιακή υφή,

τα αποτελέσματα έδωσαν πολύ μικρότερες τιμές για παρόμοια επίπεδα τάσης σε σχέση με δοκιμές όπου η φόρτιση εφαρμόστηκε κάθετα σε αυτήν. Τα δείγματα που φορτίστηκαν παράλληλα στη γνευσιακή υφή δείχνουν μεγαλύτερο μέγεθος αστοχίας λόγω του σημαντικού ανοίγματος των ασυνεχειών που σχετίζονται με τη γνευσιακή υφή. Η μεγαλύτερη διαφορά παρατηρήθηκε στην παραμόρφωση που φαίνεται μεγαλύτερη στα δείγματα που εξετάστηκαν κάθετα. Τέλος παρατηρείται ότι η επίδραση της ανισοτροπίας είναι μεγαλύτερη όσο αυξάνεται ο βαθμός της αποσάθρωσης και οι μικρορωγμές του πετρώματος αυξάνονται.

2.7. Συσχέτιση του τύπου του σχηματισμού με την συμπεριφορά του στα υπόγεια έργα

Για τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς των διαφορετικών τύπων γνευσίου στα υπόγεια έργα δίνονται οι παρακάτω περιγραφές, όπου προσδιορίζουν τον τύπο της αστοχίας αλλά και την περατότητα των σχηματισμών με βάση τον βαθμό αποσάθρωσης και την δομή του σχηματισμού. (B. Μαρίνος, 2007):

Τύπος I. Μη αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχομάζα (γνεύσιοι, γρανιτογνεύσιοι, γνευσιογρανίτες)

Ο χαρακτηρισμός τη δομής, ο κερματισμός, ο προσδιορισμός του βαθμού αποσάθρωσης και της αντοχής του τύπου γνευσίου αποδίδουν τα βασικά τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά που κρίνουν την ευστάθεια της βραχομάζας σε αυτή την περίπτωση. Σε περιπτώσεις όπου ο κερματισμός χαρακτηρίζεται ως μέτριος, η ευστάθειά του ελέγχεται από την περίπτωση ολίσθησης κάποιων μπλοκ ή από ελεύθερη πτώση τμήματος του σχηματισμού. Ενώ όταν παρατηρούνται συνθήκες πολύ χαμηλού κερματισμού ο σχηματισμός είναι ευσταθής.

Τα στοιχεία που μπορεί να προσδώσουν αστάθεια του τύπου αυτού είναι τα στοιχεία της γνευσιακής υφής κατά μήκος της οποίας μπορούν να ολισθήσουν μεγάλοι πάχους μπλοκ τα οποία όμως έχουν πολύ υψηλή αντοχή και άρρηκτη δομή. Σε περιπτώσεις σηράγγων σε βάθη μεγαλύτερα των 100m υπάρχει πιθανότητα εκτίναξης βράχων.

Ο σχηματισμός του γνευσίου χαρακτηρίζεται από πολύ χαμηλή περατότητα που εξαρτάται από το δευτερογενές πορώδες των ρωγμών. Επίσης ανεξαρτήτως της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, εκτός από περιπτώσεις ζωνών ρηγμάτων και κερματισμού, δεν αναμένεται εισχώρηση υδάτων.

Τύπος II. Ελαφρώς αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχομάζα

Σε περιπτώσεις όπου ο κερματισμός χαρακτηρίζεται ως μέτριος, η ευστάθειά του ελέγχεται από την περίπτωση ολίσθησης κάποιων μπλοκ ή από ελεύθερη πτώση τμήματος του σχηματισμού. Ενώ όταν παρατηρούνται συνθήκες πολύ χαμηλού κερματισμού ο σχηματισμός είναι ευσταθής με κάποιες

πιθανότητες να λάβουν χώρα μικρού μεγέθους αστοχίες. Κατά κύριο λόγο σε αυτόν τον τύπο του σχηματισμού, η οποιαδήποτε αστοχία προέρχεται από την απομείωση των διατμητικών χαρακτηριστικών της γνευσιακής υφής λόγω αποσάθρωσης.

Η περατότητα όπως προαναφέρθηκε χαρακτηρίζεται πολύ χαμηλή και εξαρτάται από το δευτερογενές πορώδες των ρωγμών. Επίσης ανεξαρτήτως της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, εκτός από περιπτώσεις ζωνών ρηγμάτων και κερματισμού, δεν αναμένεται εισχώρηση υδάτων.

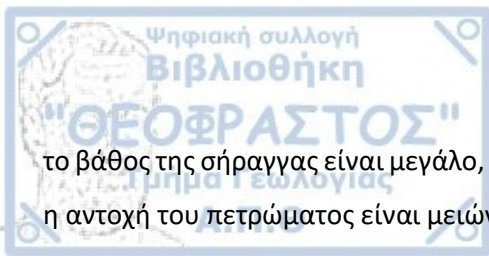
Τύπος III. Ελαφρώς αποσαθρωμένη σχιστώδης γνευσιακή βραχομάζα (σχιστογνεύσιοι, γνευσιοσχιστόλιθοι)

Στην περίπτωση αυτού του τύπου γνευσίου η αντοχή του σχηματισμού παραμένει υψηλή ενώ ο κερματισμός χαρακτηρίζεται ως μέτριος, η ευστάθειά του ελέγχεται από τα μικρού πάχους γνευσιακά μπλοκ αλλά και μικρές σφήνες όπου δημιουργούνται λόγω πυκνότερου δικτύου ασυνεχειών της σχιστώδους δομής που τον διέπει. Η απομείωση των διατμητικών χαρακτηριστικών αυτών των ασυνεχειών μπορούν να δημιουργήσουν συνθήκες για καταπτώσεις τύπου καμινάδας όταν δεν υπάρχει ικανοποιητική πλευρική πίεση. Ενώ όταν παρατηρούνται συνθήκες πολύ χαμηλού κερματισμού ο σχηματισμός είναι ευσταθής με κάποιες πιθανότητες μικρού μεγέθους αστοχιών.

Η περατότητα όπως προαναφέρθηκε χαρακτηρίζεται πολύ χαμηλή και εξαρτάται από το δευτερογενές πορώδες των ρωγμών. Επίσης ανεξαρτήτως της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, εκτός από περιπτώσεις ζωνών ρηγμάτων και κερματισμού, δεν αναμένεται εισχώρηση υδάτων.

Τύπος IV. Αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχομάζα

Η αποσάθρωση σε αυτόν τον τύπο φαίνεται να επηρεάζει το σχηματισμό επιφέροντάς του πτωχή δομή αλλά και δημιουργώντας αργιλοποιημένες ζώνες. Η αποσάθρωση δρα επίσης στις επιφάνειες των ασυνεχειών απομειώνοντας τα χαρακτηριστικά τους και μαζί με την δημιουργία αργιλοποιημένων ζωνών προκύπτει η δομική αστάθεια του σχηματισμού. Η σχετικά απομειωμένη αντοχή, λόγω της αποσάθρωσης ελέγχει την ευστάθεια σε περιπτώσεις όπου τα υπερκείμενα είναι μικρότερα των 100m. Η όποια αστάθεια των ευρυτέρων ζωνών που έχουν δημιουργηθεί από την αποσάθρωση μπορεί να δημιουργήσει συνθήκες για καταπτώσεις τύπου καμινάδας αλλά και στο μέτωπο. Το σημαντικότερο σε αυτό τον τύπο γνευσίου είναι η αυξημένη αποσάθρωση σε συνδυασμό με την ύπαρξη σχηματισμού καλύτερης ποιότητας σε ένα τμήμα της διατομής, η ύπαρξη δηλαδή μεικτού μετώπου. Σε αυτή την περίπτωση η συμπεριφορά αναμένεται να είναι ανισότροπη με καταπτώσεις από την μια πλευρά και στη συνέχεια ύπαρξη μηδενικής στήριξης για το πέτρωμα όπου παρατηρείται καλύτερη ποιότητα. Όταν



το βάθος της σήραγγας είναι μεγάλο, λόγω της πτωχής της δομής παρατηρούνται παραμορφώσεις αφού η αντοχή του πετρώματος είναι μειώνεται.

Η περατότητα όπως προαναφέρθηκε χαρακτηρίζεται πολύ χαμηλή και εξαρτάται από το δευτερογενές πορώδες των ρωγμών. Επίσης ανεξαρτήτως της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, εκτός από περιπτώσεις ζωνών ρηγμάτων και κερματισμού, δεν αναμένεται εισχώρηση υδάτων.

Τύπος V. Αποσαθρωμένη σχιστώδης γνευσιακή βραχομάζα

Στο συγκεκριμένο τύπο η ευστάθεια του σχηματισμού ελέγχεται από τα απομειωμένα λόγω της αποσάθρωσης διατμητικά χαρακτηριστικά του πυκνού δικτύου ασυνεχειών, που προσδίδει η σχιστότητα. Στην συνέχεια επηρεάζεται από την παρουσία πολύ πυκνών αργιλοποιημένων ζωνών αλλά και την παρουσία λεπτών γνευσιακών πάγκων, για το λόγο αυτό υπάρχουν αυξημένες πιθανότητες εκδήλωσης καταπτώσεων τύπου καμινάδας.

Ένα βασικό χαρακτηριστικό που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι λόγω του ότι ο σχηματισμός διατηρεί παρά την αποσάθρωση την αντοχή του, σε περιπτώσεις μέτριων υπερκείμενων μπορεί να παραμένει ευσταθής. Αυξανόμενου του βάθους αυξάνεται και ο κίνδυνος για παραμορφώσεις.

Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δοθεί στην ύπαρξη αυξημένης αποσάθρωσης σε συνδυασμό με την ύπαρξη σχηματισμού καλύτερης ποιότητας σε ένα τμήμα της διατομής, η ύπαρξη δηλαδή μεικτού μετώπου. Σε αυτή την περίπτωση η συμπεριφορά αναμένεται να είναι ανισότροπη με καταπτώσεις από την μια πλευρά και στη συνέχεια ύπαρξη μηδενικής αυτοϋποστήριξης για το πέτρωμα όπου παρατηρείται καλύτερη ποιότητα.

Η περατότητα όπως προαναφέρθηκε χαρακτηρίζεται πολύ χαμηλή και εξαρτάται από το δευτερογενές πορώδες των ρωγμών. Επίσης ανεξαρτήτως της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, εκτός από περιπτώσεις ζωνών ρηγμάτων και κερματισμού, δεν αναμένονται εισροές.

Τύπος VI. Πολύ αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχομάζα

Στην περίπτωση αυτού του τύπου γνευσίου με δεδομένο τον υψηλό βαθμό αποσάθρωσης και κερματισμού, η συμπεριφορά του εξαρτάται από την ευστάθεια ευρύτερων ζωνών ενώ υπάρχουν εξαιρετικά αυξημένες πιθανότητες εκδήλωσης καταπτώσεων τύπου καμινάδας. Το βάθος της σήραγγας φαίνεται να έχει καθοριστικό ρόλο καθώς σε μέτριο βάθος λόγω της παρουσίας αργιλοποιημένων ζωνών αλλά και της απομειωμένης αντοχής του πετρώματος είναι δυνατό να έχουμε την εκδήλωση παραμορφώσεων. Αυξανόμενου του βάθους οι παραμορφώσεις αναμένεται να είναι μεγαλύτερες αν

και βραχομάζες τέτοιου τύπου περιορίζονται σε μικρότερα βάθη. Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δοθεί στην ύπαρξη αυξημένης αποσάθρωσης σε συνδυασμό με την ύπαρξη σχηματισμού καλύτερης ποιότητας σε ένα τμήμα της διατομής, η ύπαρξη δηλαδή μεικτού μετώπου. Σε αυτή την περίπτωση η συμπεριφορά αναμένεται να είναι ανισότροπη με καταπτώσεις από την μια πλευρά και στη συνέχεια ύπαρξη μηδενικής στήριξης για το πέτρωμα όπου παρατηρείται καλύτερη ποιότητα με αποτέλεσμα να υπάρξει αστάθεια σε όλη τη διατομή.

Η περατότητα όπως προαναφέρθηκε χαρακτηρίζεται πολύ χαμηλή και εξαρτάται από το δευτερογενές πορώδες των ρωγμών. Επίσης ανεξαρτήτως της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, εκτός από περιπτώσεις ζωνών ρηγμάτων και κερματισμού, δεν αναμένονται εισροές.

Τύπος VII. Πλήρως αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχομάζα

Στην περίπτωση αυτή όπου ο βαθμός αποσάθρωσης είναι πολύ υψηλός και πλέον αναφερόμαστε σε αποδιοργανωμένη δομή και αργιλοποιημένο υλικό με γνευσιακά τεμάχια, η ευστάθειά του εξαρτάται από το σύνολο της μάζας αυτής όπου είναι στην περιοχή των στομιών σπράγγων, και είναι πολύ πιθανή η εκδήλωση καταπτώσεων τύπου καμινάδας. Παραμορφώσεις επίσης είναι πιθανό να εκδηλωθούν ακόμη και σε μικρού βάθους εκσκαφές αφού έχουμε την παρουσία αργιλοποιημένων υλικών αλλά και εξαιρετικά απομειωμένη αντοχή του σχηματισμού. Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δοθεί στην ύπαρξη αυξημένης αποσάθρωσης σε συνδυασμό με την ύπαρξη σχηματισμού καλύτερης ποιότητας σε ένα τμήμα της διατομής, η ύπαρξη δηλαδή μεικτού μετώπου. Σε αυτή την περίπτωση η συμπεριφορά αναμένεται να είναι ανισότροπη με καταπτώσεις από την μια πλευρά και στη συνέχεια ύπαρξη μηδενικής στήριξης για το πέτρωμα όπου παρατηρείται καλύτερη ποιότητα με αποτέλεσμα να υπάρξει αστάθεια σε όλη τη διατομή.

Η περατότητα όπως προαναφέρθηκε χαρακτηρίζεται πολύ χαμηλή και εξαρτάται από το δευτερογενές πορώδες των ρωγμών. Επίσης ανεξαρτήτως της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, δεν αναμένονται εισροές. Όμως γενικά η παρουσία νερού επιδρά αρνητικά στις περιπτώσεις ύπαρξης αργιλικών υλικών ενώ επίσης η παρουσία ζωνών ρηγμάτων και κερματισμού μπορεί να δημιουργήσει δυσμενείς συνθήκες.

Τύπος VIII. Διατμημένη - σχιστώδης γνευσιακή βραχομάζα

Στην περίπτωση αυτή λόγω της πολύ πτωχής δομής, το βάθος της εκσκαφής είναι ιδιαίτερης σημασίας καθώς σε μικρό βάθος δεν αναμένεται να παρατηρηθούν μεγάλες παραμορφώσεις λόγω της σχετικά υψηλής αντοχής των τεμαχίων του σχηματισμού, ενώ σε μεγαλύτερα βάθη απαντώνται συνθήκες σύνθλιψης.

Η περατότητα όπως προαναφέρθηκε χαρακτηρίζεται πολύ χαμηλή και εξαρτάται από το δευτερογενές πορώδες των ρωγμών. Επίσης ανεξαρτήτως της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, δεν αναμένονται εισροές. Όμως γενικά η παρουσία νερού επιδρά αρνητικά στις περιπτώσεις ύπαρξης αργιλικών υλικών ενώ επίσης η παρουσία ζωνών ρηγμάτων και κερματισμού μπορεί να δημιουργήσει δυσμενείς συνθήκες..

2.8. Παραδείγματα αστοχιών - σήραγγες σε γνευσιακούς σχηματισμούς

Khimti headrace tunnel

Η σήραγγα αυτή έχει μήκος 7,9km με διάμετρο 4-4.3m ενώ η διάνοιξή της έγινε με εκσκαφή και ανατίναξη. Η εκσκαφή έγινε μέσα σε σύμπλεγμα γνευσίου των Ιμαλαίων που εμπεριέχει αυγεν γνεύσιο, μαζώδη γνεύσιο και γρανιτογνεύσιο με παρουσία εναλλαγών χλωριτικού ταλκικού μαρμαρυγιακού σχιστόλιθου. Η παρεμβολή αυτή του σχιστόλιθου σε κάποιες θέσεις είναι πιο συχνή για περίπου 5-15m στο κάτω μέρος του μετώπου αλλά και στο πάνω. Επειδή η σήραγγα βρίσκεται μέσα σε επώθηση υπάρχουν δυο διευθύνσεις κλίσης της γνευσιακής υφής. Στο κάτω μέρος η γωνία είναι 45-60° προς το βορρά, ενώ στο πάνω μέρος του μετώπου η γωνία είναι πολύ μικρή. Το αποτέλεσμα από τα παραπάνω είναι, βραχομάζα με 3 οικογένειες ασυνεχειών, που είναι επιρρεπής στην παραμόρφωση και είναι πολύ αποσαθρωμένη. Οι περισσότερες περιπτώσεις αστάθειας στο μέτωπο της σήραγγας προκλήθηκαν λόγω μικρής αντοχής και έντονης σχιστότητας του σχιστόλιθου αλλά και του σχιστοποιημένου μαρμαρυγιακού γνευσίου. Επίσης σημαντικός παράγοντας για τις αστοχίες είναι η δυσμενής διεύθυνση των ασυνεχειών που αναφέρθηκαν σε σχέση με τον άξονα της εκσκαφής.

Τα βασικά στοιχεία στις περιοχές όπου υπήρχαν τα μεγαλύτερα προβλήματα είναι αρχικά σε θέση όπου τα υπερκείμενα σε μέσο όρο αγγίζουν τα 100m. Ο γνεύσιος ήταν αρκετά έως πολύ αποσαθρωμένος, φυλλοποιημένος και διατμημένος ενώ ο σχιστόλιθος είναι επίσης πολύ αποσαθρωμένος. Τον σημαντικότερο ρόλο σε αυτή την περίπτωση τον παίζει ο σχιστόλιθος στην ευστάθεια της οροφής αλλά και των τοιχωμάτων ενώ ενδιάμεσα υπάρχει και ένα τμήμα γνευσίου. Η ποιότητα των σχηματισμών είναι πολύ φτωχή, με χαμηλή αντοχή που δικαιολογεί το ενδεχόμενο συγκλίσεων. Στις περιπτώσεις όπου η ποιότητα του πετρώματος ήταν ακόμη πιο φτωχή εφαρμόστηκε προσωρινή υποστήριξη της βραχομάζας με οπλισμένο σκυρόδεμα 100mm αλλά και αγκύρια μήκους 3 m σε κάναβο κατά περιπτώσεις 1-1,5m, ενώ αργότερα στις περιοχές όπου υπήρχαν προβλήματα έγινε επιπλέον υποστήριξη.

Στην ίδια διάνοιξη συναντήθηκαν επίσης δυο περιοχές με μεγάλα προβλήματα ευστάθειας. Η πρώτη περίπτωση αφορά αστοχία που προέκυψε λόγω πίεσης των υπερκείμενων, μεγάλου πάχους, πολύ

αποσαθρωμένων και διατμημένων σχηματισμών χλωριτικού και ταλκικού μαρμαρυγιακού σχιστόλιθου, σε εναλλαγές με μεγάλης αντοχής γνεύσιο που όμως στη δομή του είχε αρκετές ασυνέχειες, με αποτέλεσμα να επιτραπεί ροή νερού μέσω των στρωμάτων. Η δεύτερη περίπτωση αφορά ροή νερού μέσω των ασυνεχειών του γνευσίου. Μια τέτοια ροή μπορεί επίσης να προκαλέσει προβλήματα ευστάθειας της εκσκαφής και να απομειώσει την ήδη πτωχή ποιότητα των συγκεκριμένων σχηματισμών.



Εικόνα 8: Προβλήματα ευστάθειας της εκσκαφής, αστοχία μετά την εφαρμογή μέτρων υποστήριξης (αριστερά), ασυνέχειες γνευσιακής βραχομάζας (δεξιά).

Lötschberg Base Tunnel

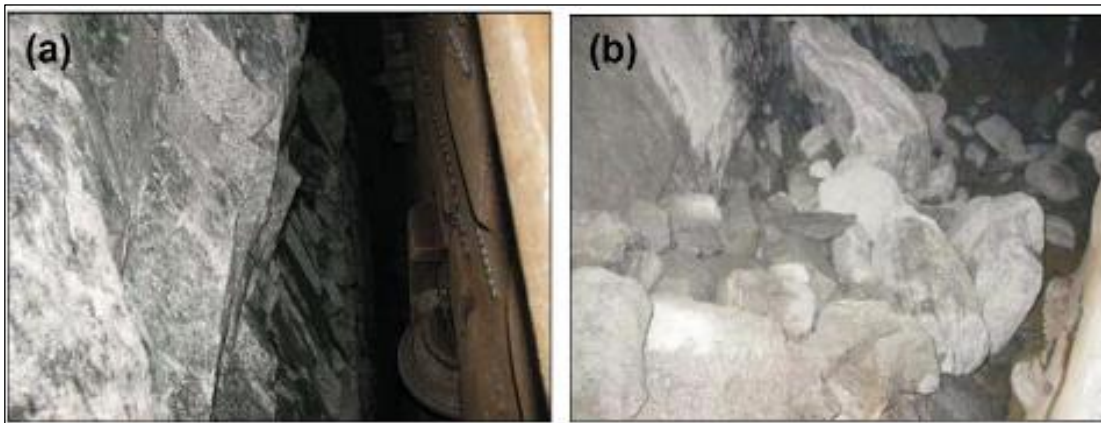
Η σήραγγα αυτή αποτελεί σιδηροδρομική σήραγγα στην Ελβετία και οι αστοχίες στην εκσκαφή της προέκυψαν από τη διερεύνηση των Delisio et al., (2013). Έχει μήκος 36,4km και διάμετρο 9,43m και η εκσκαφή της έγινε με χρήση TBM. Η νότια πλευρά της συναντά δυο τεκτονικές δομές οι οποίες είναι οι Autochthon Gampel-Balts-chieder και Aar Massif. Από τα νότια προς τα βόρεια η σήραγγα συναντά σχηματισμούς πτυχωμένου γνευσίου ενώ στη συνέχεια συναντήθηκαν ιζηματογενή πετρώματα. Αυτή η εναλλαγή μεταξύ κρυσταλλικών πετρωμάτων και ιζηματογενών οφείλεται στην τεκτονική δραστηριότητα της περιοχής.

Στη συνέχεια της εκσκαφής παρατηρήθηκε γνεύσιος και γρανοδιορίτης, γρανίτης, αμφιβολίτης, γρανιτογνεύσιος αλλά και ενότητες με μεγάλα μπλοκ σχιστογνευσίου. Το ύψος των υπερκειμένων κυμαίνεται από 0-1950m φτάνοντας το μέγιστο στην ενότητα που χαρακτηρίζεται από γρανιτογνεύσιο και για αυτό η διακύμανση των τάσεων που ασκούνται στην εκσκαφή είναι πολύ σημαντική.

Όσον αφορά τα πετρώματα που συναντήθηκαν, το εύρος τιμών μονοαξονικής αντοχής τους είναι μεταξύ 108-220MPa από τις οποίες προκύπτει ότι η εκσκαφή έγινε σε πολύ καλής ποιότητας πετρώματα. Στις περιπτώσεις όπου η γνευσιακή υφή στα πετρώματα ήταν πολύ ευκρινής, παρατηρήθηκε ανισότροπη συμπεριφορά και συνεπώς υπήρχαν διαφορές στην μονοαξονική τους αντοχή υπό διαφορετικές γωνίες.

Κατά την εκσκαφή εντοπίστηκαν 4 κύριες οικογένειες ασυνεχιών που οι τρεις ήταν σχεδόν κατακόρυφες και η μια σχεδόν οριζόντια.

Μεγάλες αστάθειες παρατηρήθηκαν στο μέτωπο της εκσκαφής λόγω σχεδόν οριζόντιων ασυνεχιών αλλά και της γνευσιακής υφής στην περίπτωση του σχιστοποιημένου γνευσίου. Με βάση αυτές τις συνθήκες υπήρχαν δυο τύποι μηχανισμών αστοχίας. Ο πρώτος χαρακτηρίζεται από αστοχίες τεμαχών του σχηματισμού που δημιουργούνται από αλληλοτεμνόμενες ασυνέχειες. Ο δεύτερος αφορούσε τμήματα του πετρώματος που ολισθαίνουν πάνω στο επίπεδο ασυνέχειας μεγάλης γωνίας κλίσης.



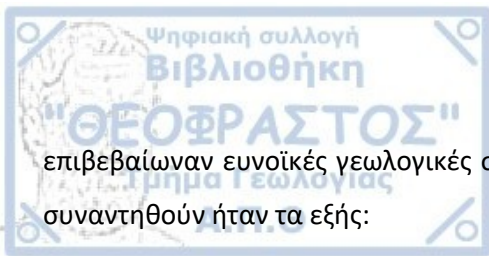
Εικόνα 9: Αστοχία στο μέτωπο της εκσκαφής (αριστερά), αστοχία κατά μήκος ασυνεχιών του γνευσίου (δεξιά)
(μετα από Ziegler et al., 2008).

Σχετικά με τις επιφάνειες των ασυνεχιών παρατηρείται ένα μεγάλο εύρος καλής έως πτωχής ποιότητας και παρατηρήθηκε ότι οι περισσότερες περιπτώσεις αστάθειας εντοπίζονται στις περιπτώσεις όπου οι επιφάνειες των ασυνεχιών ήταν καλυμμένες από χλωρίτη. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι παρατηρήθηκαν κατά την εκσκαφή και μικρές ασυνέχειες πολύ καλής ποιότητας που όμως πιθανότατα δημιουργήθηκαν από τις τάσεις που δέχτηκε η βραχομάζα.

Gotthard Base Tunnel

Από βορρά προς νότο η σήραγγα Gotthard (Rehbock et al., 2018) διέρχεται από κρυσταλλικούς σχηματισμούς που διακόπτονται από στενές τεκτονικές ζώνες με ιζηματογενείς σχηματισμούς. Οι ενότητες που συνάντησε η διάνοιξη αποτελούνται κυρίως από υψηλής αντοχής πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα. Περισσότερο από το 90% του συνολικού μήκους της σήραγγας διανοίχθηκε σε αυτούς τους σχηματισμούς, με το μέγιστο ύψος υπερκειμένων να φτάνει τα 2350m.

Στην περιοχή εκσκαφής της σήραγγας Fadio αρχικά αναμενόταν να συναντηθεί ο γνεύσιος που χαρακτηρίζεται ως καλής ποιότητας. Εμπειρίες από εκσκαφές στην ίδια περιοχή αλλά και γεωτρήσεις



επιβεβαίωσαν ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες. Στην ενότητα αυτή τα προβλήματα που αναμενόταν να συναντηθούν ήταν τα εξής:

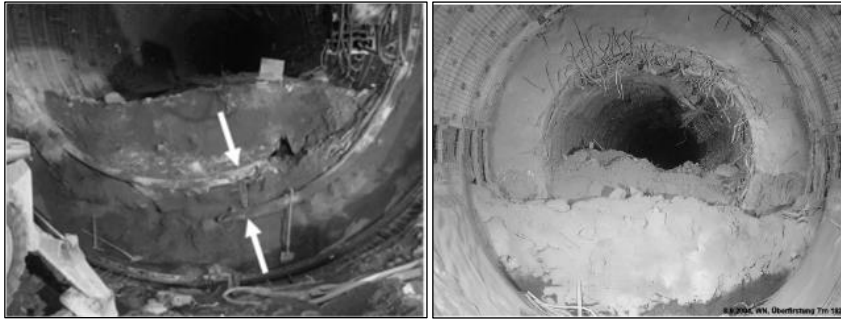
1. Βαρυτικές αστοχίες με κίνδυνο για πτώση σφηνών ο οποίος εξαρτάται από την συχνότητα, την απόσταση και την ποιότητα των ασυνεχειών της βραχομάζας.
2. Χαλάρωση σε πολύ διατμημένες βραχομάζες η οποία μπορεί να επηρεάσει την περιοχή του θόλου της σήραγγας. Η χαλαρωμένη βραχομάζα επιπροσθέτως επιφορτίζει τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης.
3. Συγκλίσεις λόγω πλαστικής συμπεριφοράς που αναμένεται να υπάρξει σε ζώνες όπου ο σχηματισμός είναι μυλωνιτωμένος, δηλαδή σε ζώνες υπό την επίδραση τεκτονικών δομών.
4. Εκτινάξεις βράχων λόγω ψαθυρής συμπεριφοράς.

Οι δυσκολίες που αντιμετωπίστηκαν κατά την εκσκαφή τμήματος που τέμνει εγκάρσια την κύρια σήραγγα είναι αρχικά η αστοχία ζώνης χαλαρού χαλαζίτη στην οροφή του που σχημάτισε κοιλότητα με ύψος 8m. Ταυτόχρονα σοβαρά προβλήματα εμφανίστηκαν στο μέτωπο της νότιας πλευράς αυτής της εκσκαφής. Οι εργασίες στο μέτωπο σταμάτησαν λόγω της αστάθειας της βραχομάζας. Αυτή η αστοχία μετώπου πραγματοποιήθηκε στο τμήμα όπου έπρεπε να υπάρχει διασταύρωση μεταξύ των κύριων σηράγγων. Επομένως εκτελεστήκαν ερευνητικές γεωτρήσεις και σεισμική έρευνα κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Τα αποτελέσματα από αυτές τις έρευνες εντόπισαν ένα άγνωστο μέχρι τότε ρήγμα με εντελώς θρυμματισμένο βραχώδες υλικό στην περιοχή επίδρασης του ρήγματος. Στα ανατολικά του ρήγματος βρέθηκε εύθρυπτος γνεύσιος ενώ δυτικά του ρήγματος εντοπίστηκε γνεύσιος με λιγότερο ψαθυρή συμπεριφορά. Ως αποτέλεσμα όλων των παραπάνω ερευνών, αποφασίστηκε η αλλαγή χάραξης της σήραγγας με σκοπό να τοποθετηθούν οι μικρότερες εκσκαφές σε καλύτερης ποιότητας υλικό.

Εκτός από την αλλαγή χάραξης, οι γεωλογικές συνθήκες που συναντήθηκαν έκαναν αναγκαία την αναπροσαρμογή των μέτρων προσωρινής υποστήριξης στις συγκεκριμένες διατομές. Η υποστήριξη που χρησιμοποιήθηκε ήταν αντίστοιχη με αυτή που εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου οι πιέσεις που ασκούνται είναι πάρα πολύ μεγάλες ή περιπτώσεις όπου πρέπει να προστατευτεί το εργατικό δυναμικό από αστοχίες που μπορεί να πραγματοποιηθούν.

Παρόλα αυτά πραγματοποιήθηκαν συγκλίσεις αμέσως μετά την εκσκαφή στο ανακατασκευασμένο τμήμα, σε μήκος 250m από την διασταύρωση, ενώ υπήρξε επιφόρτιση της υποστήριξης που προκάλεσε συγκλίσεις έως και 1m. Έτσι προέκυψε σοβαρή αστοχία του συστήματος υποστήριξης (εικόνα 10) και το

Τμήμα αυτό έπρεπε να κατασκευαστεί ξανά με διευρυμένη ακτίνα 1,5m ώστε να επιτρέπει ενδεχόμενες νέες παραμορφώσεις, ενώ η υποστήριξη έπρεπε να περιλαμβάνει πιο εύκαμπτα μέτρα.



Εικόνα 10: Αστοχία των μέτρων υποστήριξης (αριστερά), αστοχία της εκσκαφής λόγω συγκλίσεων (δεξιά).

Για την κατανόηση των μηχανισμών αστοχίας στην περιοχή πραγματοποιήθηκαν περαιτέρω έρευνες. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική ανακατανομή των τάσεων λόγω της εκσκαφής των σηράγγων και συγκέντρωσή τους σε βραχομάζα καλής ποιότητας δίπλα στο ρήγμα.

Επίσης μεταξύ Μαρτίου 2004 και Ιουνίου 2005 παρατηρήθηκε σεισμική δραστηριότητα στην περιοχή της εκσκαφής Faïdo, ενώ η περιοχή χαρακτηριζόταν γενικά από χαμηλή σεισμικότητα. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου το μόνιμο σεισμικό δίκτυο που είχε εγκατασταθεί κατέγραψε 10 σεισμικά συμβάντα με τοπικά μεγέθη 0,9-1,9. Η δραστηριότητα αυτή συνδέθηκε με τις τρέχουσες κατασκευαστικές εργασίες που προκάλεσαν ανακατανομή των τάσεων. Παράλληλα αρχίσαν να συμβαίνουν συχνά εκτινάξεις βράχων στο όριο της ζώνης του ρήγματος, δείχνοντας ότι υπήρχε εκτόνωση τάσης (γεγονότα μικρής έντασης) αλλά και μεγαλύτερα γεγονότα εκτόνωσης στην περιοχή λόγω μηχανισμών οριζόντιας μετατόπισης του ρήγματος (Ortlepp and Stacey, 1994 και Kaiser and Cai, 2013).

Κατά τη διάρκεια εκσκαφής του βορειοανατολικού τμήματος πραγματοποιήθηκε μεγάλος αριθμός εκτινάξεων τεμαχών. Το 75% των περιπτώσεων συνέβησαν στο μέτωπο τις πρώτες 3 ώρες μετά την ολοκλήρωση των εργασιών, ενώ τον Μάιο του 2004 υπήρξε εκτίναξη τεμαχών για πρώτη φορά πλευρικά σε εκσκαφή που είχε ολοκληρωθεί. Προήλθε ξαφνική χαλάρωση της βραχομάζας και υπήρξε παραμόρφωση του θόλου σε μήκος 30m. Τις επόμενες μέρες πραγματοποιήθηκε ένα μεγαλύτερο γεγονός παρόμοιας φύσης σε άλλο τμήμα καταστρέφοντας την επιφάνεια του σκυροδέματος που είχε τοποθετηθεί (εικόνα). Τα δυο γεγονότα αυτά συνέβησαν μετά από μικρού μεγέθους σεισμικές καταγραφές.

Έτσι η παρουσία μιας μεγάλης τεκτονικής δομής έχει δυο δυσμενείς επιπτώσεις για το πεδίο των τάσεων κοντά στη σήραγγα:

- 1) Διατάραξη στο κύριο πεδίο τάσεων και δημιουργία σημείων εκτόνωσης της τάσης μέσω των ζωνών διάτμησης.
- 2) Ανώμαλη αλλαγή της κατανομής των τάσεων, λόγω της ύπαρξης του ρήγματος.

Όπως φαίνεται εδώ η ύπαρξη ενός μεγάλου ρήγματος μπορεί να επιδρά στην γύρω περιοχή και να έχει μεγάλες επιπτώσεις ιδιαίτερα όταν βρίσκεται κοντά στην εκσκαφή. Με βάση την έρευνα που έγινε με σεισμικές μεθόδους φαίνεται ότι όλα τα σεισμικά γεγονότα είναι αποτέλεσμα συγκέντρωσης τάσεων που προκλήθηκαν από την εκσκαφή. Αυτή η αλλαγή της κατανομής ήταν αρκετή για να προκαλέσει μικρά σεισμικά γεγονότα μέχρι να φτάσει όλο το σύστημα σε ισορροπία.



Εικόνα 11: Περίπτωση αστοχίας μέτρων υποστήριξης (αριστερά), αστοχία μετά από σεισμικό συμβάν M2.4 (δεξιά).

Pinheiros cavern

Η κίτρινη γραμμή του μετρό στο São Paulo στη Βραζιλία έχει μήκος 12,5km και συνδέει το κέντρο της πόλης με τα δυτικά προάστια έχοντας 4 σταθμούς. Ο σταθμός Pinheiros κατασκευάστηκε με την μέθοδο NATM (40m διάμετρος σε βάθος 36m από την επιφάνεια) ενώ πραγματοποιήθηκε εκσκαφή τεσσάρων μικρότερων σηράγγων. Το περιστατικό στον σταθμό Pinheiros συνέβη στις 12 Ιανουάριου του 2007 (B. Indraratna et al., 2010) κατά τη διάρκεια εκσκαφής μιας μικρότερης σήραγγας του σταθμού. Η αστοχία πραγματοποιήθηκε όταν η εκσκαφή είχε σχεδόν ολοκληρωθεί. Στην επιφάνεια φαινόταν η κατάρρευση της οροφής και η καταστροφή του δρόμου Carri.



Εικόνα 12: Αστοχία σταθμού του μετρό στο São Paulo.

Από την έρευνα αυτής της αστοχίας φάνηκε ότι η εκσκαφή βασίστηκε σε μελέτη που δεν έδινε ιδιαίτερη σημασία στη δομή του πετρώματος, η οποία συνέβαλε στην κινηματική αστοχία. Έτσι η επιλογή του συστήματος υποστήριξης δεν θα μπορούσε να ανταποκριθεί στις πραγματικές συνθήκες. Επιπλέον δεν είχε ληφθεί υπόψη η παρουσία υλικού πλήρωσης στις ασυνέχειες, που όμως η ύπαρξή του διαπιστώθηκε κατά τη διάρκεια της εκσκαφής.

Προκειμένου να μελετηθεί η πιθανή κινηματική ανάλυση κατάρρευσης πραγματοποιήσαν 3D ανάλυση. Για το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε λήφθηκαν δεδομένα για τα στοιχεία του σταθμού ως προς το σχεδιασμό του αλλά και την υποστήριξη, στοιχεία της σφήνας που δημιουργήθηκε στην οροφή αλλά και ότι οι ασυνέχειες ήταν πληρωμένες.

Οι γεωλογικές συνθήκες στον σταθμό Pinheiros χαρακτηρίζονται από υψηλά επίπεδα ετερογένειας και ανισοτροπία κυρίως λόγω των ασυνεχειών. Το πάχος των διαφορετικών υλικών ποικίλει (εδαφικά υλικά, αποσαθρωμένα πετρώματα και υγιή πετρώματα) σε όλη την σήραγγα. Επιπλέον ο σταθμός βρίσκεται σε γνωστή ζώνη διάτμησης με αποτέλεσμα να εμπεριέχει κατακερματισμένο υλικό. Τα βασικά πετρώματα που παρατηρήθηκαν ήταν βιοτικικός γνεύσιος γρανιτογνεύσιος, ενώ οι βαθμοί αποσάθρωσης τους ήταν II, III, IV, V.

Με βάση την έρευνα της περίπτωσης αυτής κατανοείται το πόσο σημαντική είναι η διερεύνηση της δομής των πετρωμάτων. Η περιγραφή της ποιότητας των ασυνεχειών αλλά και η γενικότερη αξιολόγησή τους οδηγεί σε πιο σαφή συμπεράσματα για τον τρόπο που θα συμπεριφερθεί η βραχομάζα. Έτσι η δομή του πετρώματος και η ποιότητα των ασυνεχειών έχουν τον κυριότερο ρόλο για τη αποφυγή τέτοιου τύπου αστοχιών αλλά και για την επιλογή των κατάλληλων μέτρων υποστήριξης για την κάθε ξεχωριστή περίπτωση.

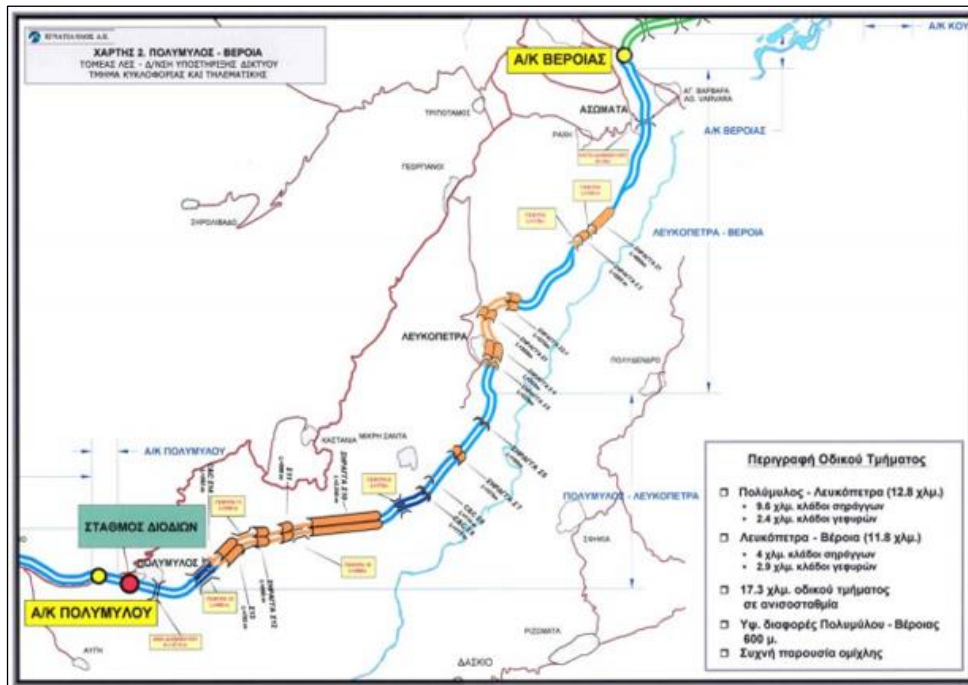
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο - ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

3.1. Γενικά

Οι εξεταζόμενες σήραγγες βρίσκονται στον αυτοκινητόδρομο της Εγνατίας Οδού (Α2) που γενικότερα αποτελεί τμήμα της Ευρωπαϊκής Οδού 90 (Ε90) του Διεθνούς Δικτύου Εθνικών Οδών. Όσον αφορά το ευρύτερο αυτό τμήμα της Εγνατίας οδού που διασχίζει την κεντρική Μακεδονία, εκτείνεται από τον Πολύμυλο μέχρι τον Στρυμόνα με συνολικό μήκος 191 χλμ.

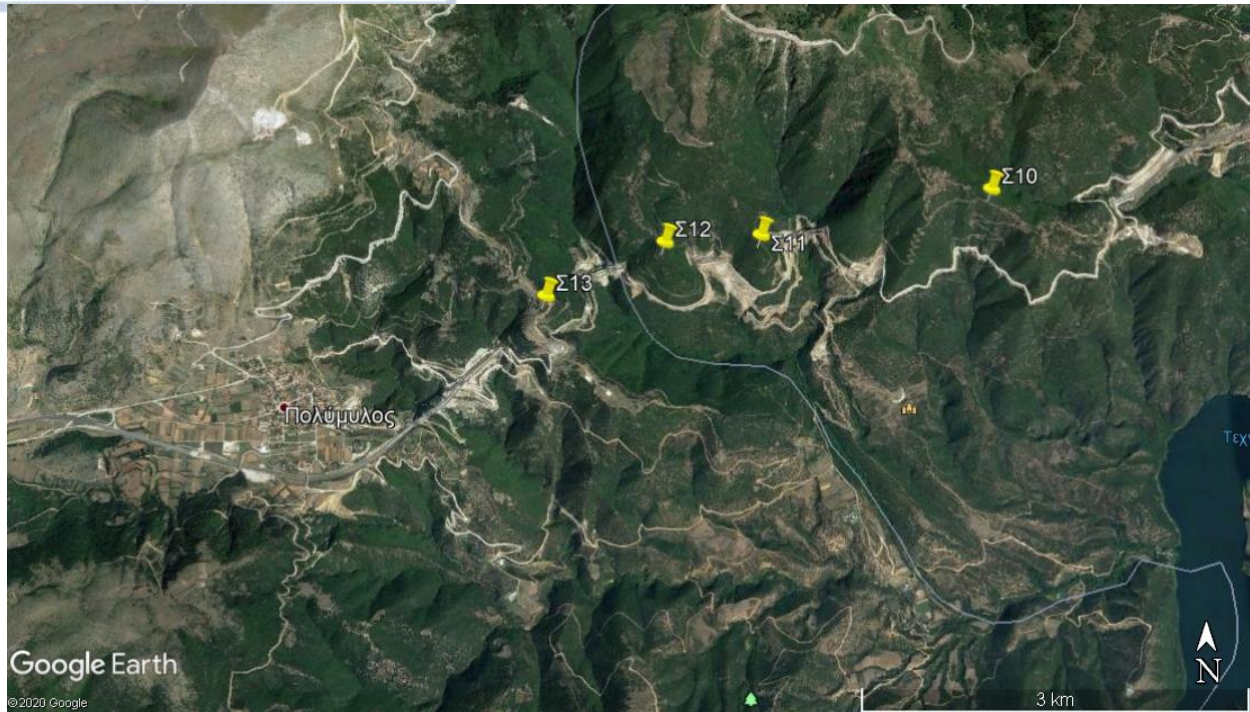
Το τμήμα που εξετάζεται εκτείνεται από τον Πολύμυλο έως τη Λευκόπετρα και βρίσκεται στους Νομούς Κοζάνης και Ημαθίας ενώ αποτελεί την παράκαμψη της Καστανιάς. Οι εκσκαφές που εξετάζονται είναι: οι Σ10, Σ11, Σ12 και Σ13, και αποτελούν 4 δίδυμες σήραγγες. Το συνολικό μήκος του τμήματος αυτού είναι 12,9 χλμ. (Χ.Θ. 21+000 έως 33+907,88). Ο συνολικός αριθμός των σηράγγων που κατασκευάστηκαν στο τμήμα ευρύτερο τμήμα είναι εννέα, εκ των οποίων οι έξι με τη μέθοδο της διάτρησης και οι τρεις (3) με ανοικτή εκσκαφή και επανεπίχωση (Cut and Cover).

Ο συνολικός προϋπολογισμός του τμήματος αυτού αγγίζει τα 243.580.000€. ενώ η ολοκλήρωση της κατασκευής του αποκλίνει από τον αρχικό προγραμματισμό για την παράδοση του. Το έργο παραδόθηκε στην κυκλοφορία το 2005, ένωσε την δυτική με την υπόλοιπη Μακεδονία και μείωσε τον χρόνο διαδρομής προς Θεσσαλονίκη τουλάχιστον κατά 30 λεπτά. Επίσης με τον αυτοκινητόδρομο αυτό η Κοζάνη, τα Γρεβενά, η Φλώρινα και η Καστοριά καθίστανται περιφερειακοί πόλοι ανάπτυξης της Θεσσαλονίκης.



Σχήμα 2: Οδικό τμήμα Πολύμυλου-Βέροιας.

Στον παρακάτω χάρτη φαινονται οι θέσεις των σηράγγων που θα εξεταστούν στην παρούσα εργασία.



Χάρτης 1: Περιοχή έρευνας (Google Earth).

Οι χιλιομετρικές θέσεις που δίνονται στον πίνακα 8 περιγράφουν την ακριβή χιλιομετρική θέση των στομιών των σηράγγων στην Εγνατία Οδό αλλά και την απόσταση που καλύπτουν οι σήραγγες αυτές.

Πίνακας 8: Χιλιομετρικές θέσης στομίου εισόδου - εξόδου των εξεταζόμενων σηράγγων.

ΣΗΡΑΓΓΑ	Χ.Θ. ΑΡΧΗΣ ΑΡΙΣΤΕΡΟΥ ΚΛΑΔΟΥ	Χ.Θ. ΑΡΧΗΣ ΔΕΞΙΟΥ ΚΛΑΔΟΥ	Χ.Θ. ΠΕΡΑΤΟΣ ΑΡΙΣΤΕΡΟΥ ΚΛΑΔΟΥ	Χ.Θ. ΠΕΡΑΤΟΣ ΔΕΞΙΟΥ ΚΛΑΔΟΥ	ΜΗΚΟΣ
Σ10	26 + 247	26 + 247	28 + 488	28 + 488	2.241m
Σ11	28 + 868	28 + 872	29 + 356	29 + 332	488m
Σ12	29 + 535	29 + 533	30 + 020	30 + 015	485m
Σ13	30 + 380	30 + 388	31 + 158	31 + 154	808



Ο αυτοκινητόδρομος έχει δύο λωρίδες κυκλοφορίας και μια λωρίδα έκτακτης ανάγκης (ΛΕΑ) ανά κατεύθυνση, όπως επίσης υπάρχει διαχωρισμός των δύο κλάδων με κεντρική νησίδα. Οι σήραγγες διανοίχθηκαν σύμφωνα με την Νέα Αυστριακή Μέθοδο Όρυξης Σηράγγων (NATM) και η εκσκαφή τους έγινε σε δυο φάσεις.

3.2. Γεωμορφολογία

Κατάντη της Καστανιάς στο όρος Βέρμιο σε περιοχή όπου χαρακτηρίζεται από ορεινό ανάγλυφο, έγινε η κατασκευή των σηράγγων που μελετώνται στην παρούσα εργασία. Η εκσκαφή και κατασκευή των σηράγγων αυτών πραγματοποιήθηκε παράλληλα στις κλιτύες του ορεινού όγκου.

Το υψόμετρα στα οποία κυμαίνεται το φυσικό ανάγλυφο είναι 630m έως 850m, με το φυσικό ανάγλυφο να παρουσιάζεται ως απότομο με κλίσεις 25° έως 35° .

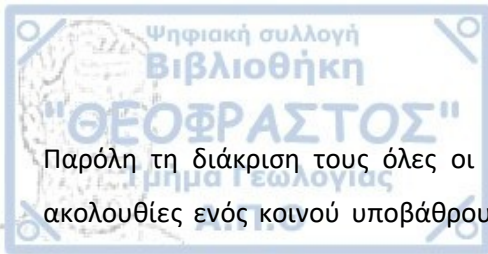
Ο ποταμός Αλιάκμονας συνδράμει στο υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής και βρίσκεται προς τα κατάντη της χάραξης με σχεδόν παράλληλη διεύθυνση. Σε αυτό το υδρογραφικό δίκτυο υπάρχει εγκάρσια παρουσία δευτερευόντων κλάδων οι οποίοι έχουν δημιουργήσει χαραδρώσεις. Οι κλάδοι του υδρογραφικού δικτιού φαίνεται να έχουν διευρυνθεί λόγω τεκτονικής δραστηριότητας.

Στην περιοχή του έργου υπάρχουν υδατορρέυματα εποχιακής απορροής που όμως δεν συναντήθηκαν εντός των εκσκαφών. Όπως για παράδειγμα το ρέμα Στριγκάνη το οποίο βρίσκεται στην σήραγγα Σ10 λίγο πριν την είσοδο της σήραγγας από Χ.Θ. 26 + 200 έως Χ.Θ. 26 + 780 ενώ παρουσιάζει παράλληλη διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ με τη σήραγγα.

3.3. Γεωλογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής έρευνας

Η ευρύτερη περιοχή έρευνας ανήκει στην Πελαγονική ζώνη, η οποία συγκροτείται (Mountrakis, 2010) από το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο, τους γνευσιωμένους γρανίτες, τα ημιμεταμορφωμένα Περμο-Τριαδικά πετρώματα, τα δυο ανθρακικά καλύμματα Τριαδικού – Ιουρασικού, τους οφειόλιθους και τα Ανωκρητιδικά επικλυσιογενή ιζήματα. (Σχήμα 3).

Τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα του υποβάθρου έχουν πολύ μεγάλη εξάπλωση στο χώρο της Πελαγονικής και αποτελούν το κύριο δομικό στοιχείο της ζώνης. Στις διάφορες περιοχές της ζώνης το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο δεν είναι ομοιογενές και ενιαίο και αποτελείται από πολλές ενότητες πετρωμάτων που συνιστούν αλληπάλλληλα τεκτονικά λείπια. Τέτοιες ενότητες έχουν διακριθεί στο Βορά, στο Βέρνο, στο Λιβιάδι των Πιερίων, στα Υψηλά Πιέρια.



Παρόλη τη διάκριση τους όλες οι ενότητες αυτές θεωρούνται παράλληλες κρυσταλλοσχιστώδεις ακολουθίες ενός κοινού υποβάθρου. Οι οποίες έχουν παρόμοια λιθολογική ανάπτυξη και οι οποίες δημιουργήθηκαν σε όμοιες συνθήκες στο παλαιοζωικό.

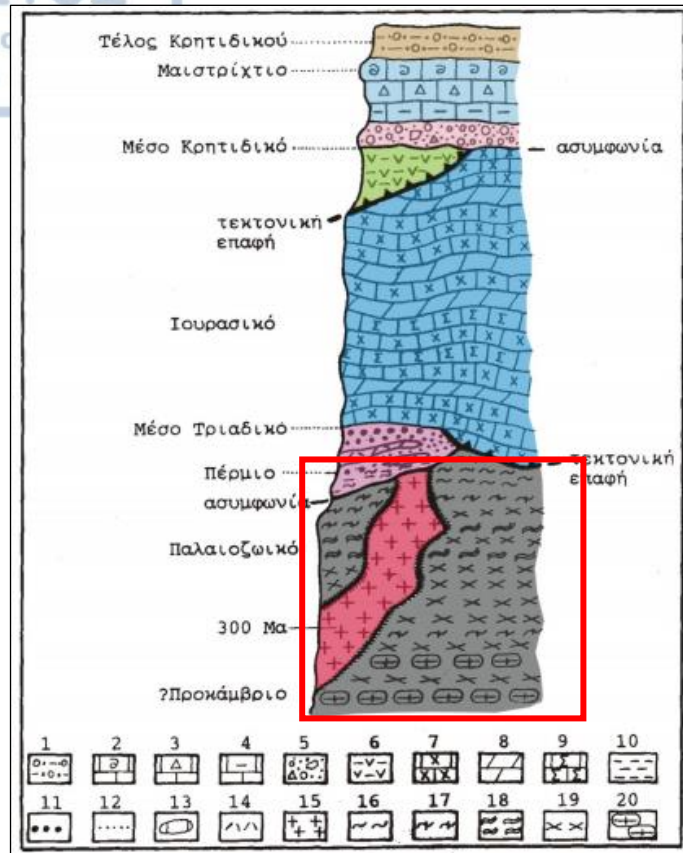
Κάθε μια από τις παραπάνω ενότητες αποτελείται:

- Γνευσίους βιοτιτικούς ομφαλμοειδείς – προέλευσης.
- Μιγματιτικούς γνευσίους
- Γνευσίους ταινιωτούς, μοσχοβιτικούς παρα - προέλευσης
- Αμφιβολίτες και αμφιβολιτικούς – βιοτιτικούς σχιστολίθους
- Γρανατούχους διμαρμαρυγικούς σχιστολίθους
- Εναλλαγές αμφιβολιτικών σχιστολίθων, μαρμαρυγικών σχιστολίθων, επιδοτιτικών σχιστολίθων με παρεμβολές απλιτογνευσίων.

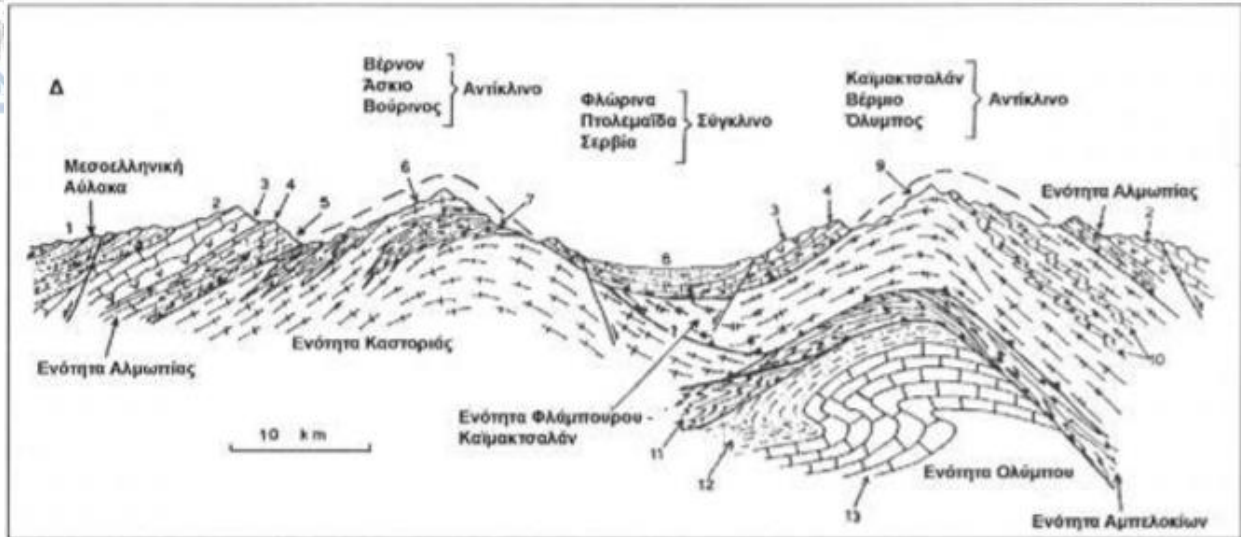
Η πρώτη μεταμόρφωση του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου έγινε σε συνθήκες αμφιβολιτικής φάσης και έλαβε χώρα στο παλαιοζωικό πριν το Ανω Λιθανθρακοφόρο.

Μέσα στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα του υποβάθρου σε όλη την έκταση της Πελαγονικής παρεμβάλλονται πλουτωνικοί όγκοι οι γρανίτες αυτοί είναι μαγματικές διεισδύσεις μέσα στο υπόβαθρο και έχουν προκαλέσει φαινόμενα μεταμόρφωσης επαφής στα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα. Η ηλικία τους καθορίστηκε ως Ανω Λιθανθρακοφόρος.

Στην μεγαλύτερη μάζα τους οι γρανίτες εμφανίζονται γνευσιωμένοι διότι υπεστήκαν την αλπική μεταμόρφωση, στο Ανω Ιουρασικό – Κάτω Κρητιδικό σε συνθήκες χαμηλής πρασινοσχιστολιθικής φάσης. Εμφανίζονται επίσης πολύπλοκα συμπυκνωμένοι με τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα. Έχουν βέβαια παρατηρηθεί τμήματα όπου δεν έχουν επηρεαστεί από τη μεταμόρφωση ενώ υπάρχει και θεώρηση για περισσότερα από ένα γεγονότα μεταμόρφωσης. Έτσι η ποιότητα των πετρωμάτων της ενότητας αυτής έχει επηρεαστεί κατά πολύ από την τεκτονική που έχει επιφέρει διατμήσεις.



Σχήμα 3: Συνοπτική λιθοστρωματογραφική-τεκτονική στήλη της Πελαγονικής ζώνης. (1-5): Επικλυσιγενή ιζήματα Μέσου-Άνω Κρητιδικού. 1: Φλύσσης Άνω Μαιστριχτίου-Κάτω Παλαιοκαίνου. 2: ασβεστόλιθος Μαιστριχτίου, 3: μικρο-λατυποπαγείς ασβεστόλιθοι, 4: μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, 5: κροκαλολατυποπαγή της βάσης, 6: οφειόλιθοι και συνοδά πελαγικά ιζήματα, (7-9): πετρώματα των δύο ανθρακικών καλυμμάτων Τριαδικού-Ιουρασικού, 7: κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι και μάρμαρα, 8: δολομίτες, 9: σιπολίτες, (10-14): πετρώματα της μετακλαστικής σειράς Περμίου - Κάτω Τριαδικού, 10: μετπελίτες, φυλλίτες, 11: χαλαζιακά μετά-κροκαλοπαγή, 12: μετάψαμμίτες, μετά-αρκόζες, 13: φακοί ασβεστόλιθων, 14: μετάρυόλιθοι, μετά-τόφφοι, 15: γνευσιωμένοι γρανίτες Άνω Λιθανθρακοφόρου, (16-20): πετρώματα του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου Παλαιοζωικής ή και προ-Κάμβριας ηλικίας, 16: σχιστόλιθοι (χλωριτικοί, μαρμαρυγιακοί, αμφιβολιτικοί, επιδοτιτικοί), 17: διμαρμαρυγιακοί - γραντατούχοι σχιστόλιθοι, 18: αμφιβολίτες, 19: γνεύσιοι, 20: οφθαλμογνεύσιοι. (Mountrakis 2010).



Σχήμα 4: Γεωλογικό πρότυπο γνευσιακού περιβάλλοντος. Διακρίνονται οι μεγάλες επωθήσεις και οι υπολεπιώσεις που έχουν υποβαθμίσει την ποιότητα των γνευσιακών (σηματισμός 9) δομών (περιοχή Βερμίου, Βόρεια Ελλάδα)(Μαρίνος, 2007)(Από Παπανικολάου, 1986).

3.4. Ενεργός τεκτονική και σεισμική επικινδυνότητα της ευρύτερης περιοχής

Τα πετρώματα της ευρύτερης περιοχής που εξετάζεται έχουν υποστεί την επίδραση διαφόρων διαδοχικών φάσεων τεκτονισμού. Αποτέλεσμα της έντονης τεκτονικής καταπόνησης της περιοχής είναι η διάρρηξη των γεωλογικών σχηματισμών και η δημιουργία ζωνών κερματισμού.

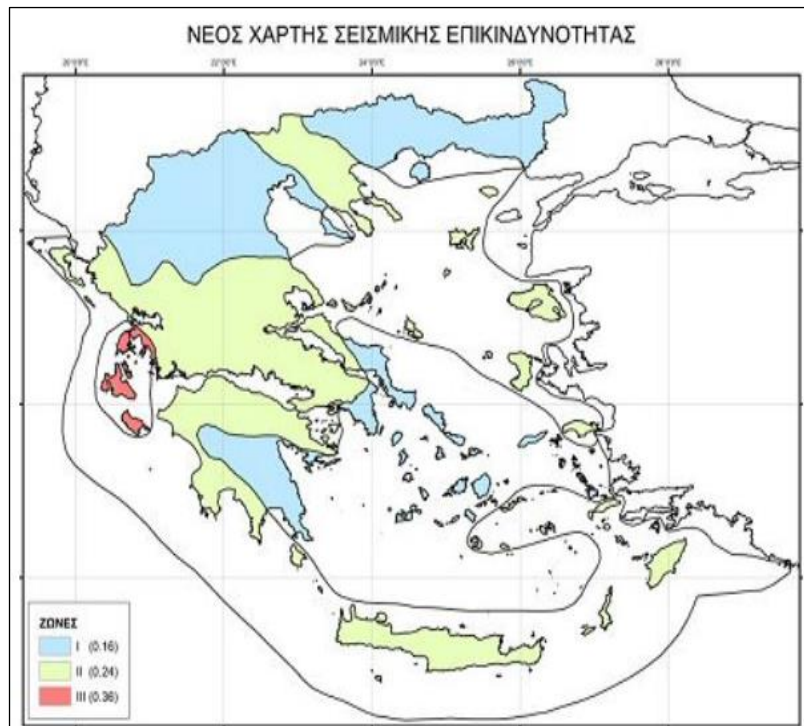
Η περιοχή διέλευσης της σήραγγας Σ10 έχει επηρεαστεί από έντονη τεκτονική δράση με αποτέλεσμα τον κερματισμό, που χαρακτηρίζεται ως ελαφρύς σε κάποιες θέσεις ενώ υπάρχει και ελαφριά πτύχωση των σχηματισμών. Οι διευθύνσεις των τεκτονικών δομών που φαίνεται να επηρεάζουν τους σχηματισμούς είναι ΒΒΑ-ΝΝΔ διεύθυνσης έως Α-Δ. Ενώ επίσης παρατηρήθηκαν μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες με ΒΔ-ΝΑ κατεύθυνση.

Τα κύρια συστήματα ρηγμάτων στην περιοχή διέλευσης των υπόλοιπων σηράγγων είναι δυο, ενώ παράλληλα σε αυτά αναπτύσσονται διάφορες μορφολογικές δομές. Με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ παρατηρείται το πρώτο σύστημα στην περιοχή που είναι υπό την επίδραση της μεγάλης ρηξιγενούς ζώνης του Αλιάκμονα στην οποία βρίσκεται και το ενεργό ρήγμα των Σερβίων.

Οι άξονες των μεγάλων ρεμάτων στην περιοχή διέλευσης των σηράγγων αποτελούν κατά κανόνα ρηξιγενείς ζώνες.

Τα μεγαλύτερα ρήγματα που επηρεάζουν την περιοχή όπου έχουν κατασκευαστεί οι σήραγγες εντοπίζονται στην είσοδο της Σ11 στις εξόδους των Σ12 και Σ13.

Ο Νέος Χάρτης Σεισμικής Επικινδυνότητας της Ελλάδας που ισχύει από το 2004 κατανέμει τον ελλαδικό χώρο σε τρεις ζώνες, δίνοντας μια τιμή σεισμικής επιτάχυνσης σχεδιασμού. Η Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας ανήκει στην πρώτη ζώνη με τιμή ενεργού εδαφικής επιτάχυνσης σχεδιασμού 0,16 g.



Χάρτης 2: Σεισμικής επικινδυνότητας (www.oasp.gr).

Η περιοχή που εξετάζεται όπως και όλη η Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας βασισμένη στα σεισμολογικά στοιχεία των τελευταίων δεκαετιών χαρακτηρίζεται ως ασεισμική ή πολύ χαμηλής σεισμικότητας με αποτέλεσμα να εντάσσεται στη ζώνη χαμηλότερης σεισμικότητας του νέου αντισεισμικού κανονισμού. Παρόλα τα παραπάνω πρέπει να αναφερθεί ότι στη Δυτική Μακεδονία έχουν χαρτογραφηθεί κατά την γεωλογική και νεοτεκτονική έρευνα ρήγματα με δράση στο αρκετά πρόσφατο παρελθόν, τα οποία θα μπορούσαν να θεωρηθούν πιθανά ενεργά ή ενεργά, δηλαδή οι σεισμοί μπορούν τα αγγίξουν τα μεγέθη 6 έως 7. Ένα τέτοιο ρήγμα είναι το ρήγμα Σερβίων που ανήκει στην ενεργή ρηξιγενή ζώνη του Αλιάκμονα, η οποία κατά το πολύ πρόσφατο παρελθόν έχει δώσει σεισμό μεγέθους 6,6.

Σύμφωνα με τη σεισμολογική αναφορά της ΔΕΗ Α.Ε. αναφορικά με το φράγμα του Ιλαρίωνα, προσδιόρισε ότι το αναμενόμενο μέγεθος σεισμού που πιθανά να συμβεί σε χρονικό διάστημα 80 ετών για την περιοχή υπολογίζεται στα 6,6.

3.5. Υδρογεωλογία

Η υδρογεωλογική συμπεριφορά των γνευσιακών και γρανιτικών σχηματισμών από τους οποίους διέρχονται οι σήραγγες Σ10, Σ11, Σ12 και Σ13 χαρακτηρίζεται από πολύ μικρή περατότητα. Με βάση τα στοιχεία των γεωτρήσεων παλιότερων ερευνών δεν συναντήθηκε στάθμη υπογείου ύδατος.

Όμως υπάρχουν θέσεις που πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία όπως στη Σ10, καθώς η κοίτη του ρέματος διαμορφώνεται πιο πάνω από την ερυθρά 2-35m και σε αποστάσεις από την σήραγγα Σ10 έως και 70m οι θέσεις αυτές είναι από Χ.Θ. 26 + 350 έως Χ.Θ. 26 + 600. Υπάρχει επίσης και άλλο ρέμα στην έξοδο της ίδιας σήραγγας με διεύθυνση σχεδόν Β-Ν.

Επίσης ο ελουβιακός μανδύας αποσάθρωσης των γνευσιακών και γρανιτικών σχηματισμών παρουσιάζει κάποια διαπερατότητα, που όμως μειώνεται από την παρουσία αργιλικών υλικών και δημιουργεί συνθήκες ώστε μικρές ποσότητες νερού να μπορούν να κατεισδύσουν. Οι μικρές αυτές ποσότητες αποστραγγίζονται στην κοίτη των ρεμάτων αφού κινηθούν παράλληλα προς τα πρηνή.

Ακόμη στις ζώνες τεκτονικής καταπόνησης αναμένονται να κατεισδύουν μικρές ποσότητες νερού που όμως δεν αναμένεται να κινηθεί προς τα βαθύτερα επίπεδα λόγω αργιλικής σύστασης του υλικού που συναντάται σε αυτές. Η υγρασία στα επιφανειακά στρώματα και πιο συγκεκριμένα στον αποσαθρωμένο μανδύα και στις ζώνες των ρηγμάτων δημιουργεί συνθήκες αστάθειας λόγω της διαβροχής των αργίλων στις θέσεις αυτές. Τέλος γενικά κατά την έρευνα εκτιμήθηκε ότι κατά τη διάνοιξη των σηράγγων η υπόγεια στάθμη που ενδεχομένως να συναντηθεί δεν θα είχε αξιόλογη παροχή υδάτων.

3.6. Γεωλογική περιγραφή της περιοχής διέλευσης των σηράγγων

Κατά την υπαίθρια επίσκεψη στην περιοχή όπου έχουν διανοιχθεί οι εξεταζόμενες σήραγγες συναντήθηκαν γενικότερα μεταμορφωμένα και εκρηξιγενή πετρώματα, γνευσιακής και γρανιτικής σύστασης όπως γνεύσιοι σχιστογνεύσιοι, γρανίτες.

Όσον αφορά τα πετρώματα που αναφέρονται παραπάνω θα γίνει περιγραφή τους σχετικά με τον βαθμό κερματισμού και/ή αποσάθρωσης, αφού η αποσάθρωση και ο κερματισμός είναι οι βασικές διεργασίες απομείωσης των μηχανικών χαρακτηριστικών τους. Τα όρια μεταξύ των σχηματισμών δεν είναι σαφή ενώ παρατηρήθηκε συνεχής μετάβαση από ένα υλικό καλύτερης ποιότητας σε ένα υλικό χαμηλότερης ποιότητας. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι καθώς η αξιολόγηση έγινε σε πρηνή της περιοχής η αποσάθρωση και ο κερματισμός μπορεί να έχουν επηρεάσει λιγότερο τους σχηματισμούς που αντιμετωπίστηκαν κατά την εκσκαφή.



Οι σχηματισμοί που παρατηρήθηκαν είναι οι εξής:

- Γνεύσιοι

Ο σχηματισμός των γνευσίων καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος στην περιοχή όπου πραγματοποιήθηκε η εκσκαφή των σηράγγων. Οι γνεύσιοι της περιοχής είναι συνήθως λευκοκρατικοί ενώ παρουσιάζουν σαφή προσανατολισμό των ορυκτών αλλά και σχιστότητα. Σημαντικός παράγοντας για τους γνευσίους είναι τα γεωμετρικά στοιχεία της σχιστότητας αφού είναι εκτός από την γνευσιακής υφή το βασικό σύστημα ασυνεχειών που επηρεάζει τη βραχομάζα.

- Γρανίτες

Οι γρανίτες της περιοχής έρευνας εμφανίζονται συνήθως με τη μορφή γρανιτικών διεισδύσεων. Συνήθως είναι αδροκρυσταλλικοί ενώ σε κάποιες περιπτώσεις παρουσιάζουν προσανατολισμό των ορυκτών τους και ατελή σχιστότητα. Οι γρανίτες θεωρούνται καλύτερης ποιότητας από τους γνευσιακούς σχηματισμούς.

- Σχιστογνεύσιοι

Ο σχηματισμός αυτός εντοπίζεται σε περιορισμένα σημεία ιδιαίτερα μέσα στους γνευσίους. Το βασικό χαρακτηριστικό του είναι η έντονη σχιστότητα η οποία έχει την ικανότητα να διαχωρίζει το πέτρωμα. Ο προσανατολισμός της είναι ιδιαίτερης σημασίας αφού μπορεί να επηρεάσει πάρα πολύ την εκσκαφή ενός υπογείου έργου αλλά και να προκαλέσει σημαντικές αστοχίες.

- Ζώνη κερματισμού

Η παρουσία των ζωνών αυτών οφείλεται στη διατάραξη του πετρώματος όπως για παράδειγμα λόγω τεκτονισμού και γρανιτικών διεισδύσεων. Σε αυτές τις ζώνες ως αργιλικό υλικό μπορεί να παρουσιάζεται ο καολίνης από την εξαλλοίωση αστρίων. Στις ζώνες αυτές το υλικό παρουσιάζεται καταπονημένο σε σχέση με την υγιή κατάσταση.

- Ζώνη αποσάθρωσης

Στην περιοχή έρευνας όπως διαπιστώθηκε υπάρχει έντονη παρουσία μανδύα αποσάθρωσης των σχηματισμών. Στις περιοχές που το πέτρωμα παρατηρήθηκε αποσαθρωμένο και φαίνεται να διατηρεί την δομή του αρχικού σχηματισμού, αναμένεται στο βάθος η αποσάθρωση να είναι μειωμένη σε σχέση με την επιφάνεια με αποτέλεσμα η εκσκαφή να συναντά καλύτερης ποιότητας σχηματισμό.



- Ζώνη μυλωνιτίωσης

Παρουσιάζεται σε μεγάλου μήκους ρηξιγενείς επιφάνειες ενώ στις ζώνες αυτές το πέτρωμα παρουσιάζεται θρυμματισμένο και εντελώς αποδιοργανωμένο. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό είναι η έντονη παρουσία αργιλικών υλικών και θραυσμάτων του πετρώματος.

- Αμφιβολίτες και αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι

Οι σχηματισμοί αυτοί παρατηρούνται σε εναλλαγές με γνευσίους. Στις θέσεις όπου υπάρχουν αυτές οι εναλλαγές το υλικό είναι πάρα πολύ εύθρυπτο και παρουσιάζει φτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά πράγμα που ευνοεί τις συνθήκες για καταπτώσεις.

3.6.1. Γεωλογική περιγραφή της περιοχής διέλευσης σήραγγας Σ10

Από την επιτόπου έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή που έχουν κατασκευαστεί οι εξεταζόμενες σήραγγες, κατά μήκος των δρόμων προσπέλασης παρατηρήθηκε ότι, το μεγαλύτερο μέρος της εκσκαφής από την είσοδο προς της έξοδο φαίνεται να έγινε σε γρανιτογνευσίους ή γνευσιογρανίτες κατά θέσεις, όπως και σε γνευσίους με απλιτικές φλέβες. Κοντά στην είσοδο της σήραγγας παρουσιάζονται γνευσιοσχιστόλιθοι αλλά και γνεύσιοι με απλιτικές φλέβες.

Στην εικόνα 13 δεξιά φαίνεται σχηματισμός γρανιτογνεύσιου με την παρουσία σχιστότητας και η δράση ενός νεότερου κανονικού ρήγματος που δημιουργεί μια ζώνη σημαντικού πάχους με υλικό εξαιρετικά καταπονημένο. Επίσης παρουσιάζονται και παλιότερα αναστροφα ρήγματα. Έτσι συμπεραίνεται ότι η τεκτονική καταπόνηση του υλικού είναι μεγάλη λόγω της έντονης παρουσία αργιλικού υλικού στην ζώνη επίδρασης των ρηγμάτων αυτών αλλά και του κερματισμού του σχηματισμού. Πρέπει να τονιστεί ότι η αποσάθρωση, στα σημεία όπου η τεκτονική έχει επιδράσει σε μεγαλύτερο βαθμό φαίνεται να είναι μεγαλύτερη.



Εικόνα 13: Μετρίως αποσαθρωμένους (III) γρανιτογενέσιους, χαρακτηρίζεται από GSI 35-45(αριστερά), υψηλά αποσαθρωμένους (IV) γρανιτογενέσιους, GSI 15-25 (δεξιά)με παρουσία σχιστότητας υπό την επίδραση τεκτονικής.

Ο σχηματισμός γρανιτογενευσίου ή γνευσιογρανίτη γενικότερα παρατηρήθηκε σε μεγάλη έκταση. Χαρακτηριστικό του είναι η ατελής σχιστότητα που παρουσιάζει σε κάποιες θέσεις ενώ σε κάποιες άλλες φαίνεται αρκετά εξαλλοιωμένος. Στις θέσεις όπου φαίνεται να έχει πολύ φτωχή ποιότητα η παρουσία σχεδόν αργιλοποιημένου υλικού είναι πολύ έντονη.



Εικόνα 14: Υψηλά αποσαθρωμένους (IV) γνευσιογρανίτης, χαρακτηρίζεται από GSI 15-25 στην περιοχή έρευνας.

Στην περιοχή διέλευσης της σήραγγας Σ10 η τεκτονική δείχνει την επίδρασή της σε αρκετές θέσεις. Με την έντονη παρουσία θρυμματισμένου υλικού στις ζώνες μυλωνιτίωσης, το υλικό φαίνεται να έχει υποστεί ιδιαίτερη καταπόνηση που σε συνδυασμό με την επίδραση της αποβάθρας παρουσιάζεται σχεδόν αργιλοποιημένο.



Εικόνα 15: Ζώνη μυλωνιτίωσης, κάτω το υλικό είναι σχεδόν αργιλοποιημένο ενώ πάνω παρατηρείται γνευσιογρανίτης μετρίως αποσαθρωμένος (III) χαρακτηρίζεται από GSI 35-45.



Εικόνα 16: Ζώνη μυλωνιτίωσης, αμφιβολιτικός σχηματισμός επάνω και κάτω καταπονημένος γνευσιογρανίτης.

Στην θέση της φωτογραφίας (Εικόνα 16) παρατηρήθηκε αμφιβολιτικός σχηματισμός που στην περιοχή κατά την υπαίθρια έρευνα εμφανίστηκε σε λίγες περιπτώσεις. Στο πρηνές ίδιας εικόνας και μόνο στην συγκεκριμένη περίπτωση παρατηρήθηκε επίσης παρουσία νερού.

Συνεχίζοντας υπάρχει ο σχηματισμός γνευσίου με χαρακτηριστικό προσανατολισμό των ορυκτών, ενώ έντονη είναι και η παρουσία απλιτικών φλεβών. Στις εικόνες 17, 18 φαίνεται ότι η τεκτονική καταπόνηση του υλικού είναι έντονη αφού οι ζώνες διάρρηξης είναι συχνές κατά θέσεις ενώ σε άλλες περιπτώσεις υπάρχει ελαφριά πτύχωση.



Εικόνα 17: Ανάστροφο ρήγμα. Ελαφρά αποσαθρωμένος (II) γνεύσιος GSI 50-60 (πάνω), μετρίως αποσαθρωμένος (III) γνεύσιος GSI 30-40.



Εικόνα 18: Ελαφριά πτύχωση γνευσίου. Μετρίως αποσαθρωμένος (III) γνεύσιος, GSI 30-40.

Παρόλα αυτά ο σχηματισμός δεν είναι τόσο τεκτονικά καταπονημένος σε όλες τις θέσεις και η αποσάθρωση είναι το βασικό στοιχείο που τον καθορίζει. Το εύρος των βαθμών αποσάθρωσης ποικίλει σε όλο το μήκος των πρηνών που εξετάστηκαν ενώ όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω οι εναλλαγές ήταν πολύ συχνές. Το μεγαλύτερο μέρος των παρατηρήσεων αφορά μετρίως αποσαθρωμένο γνεύσιο και γνευσιογρανίτη. Οι θέσεις όπου οι σχηματισμοί είναι περισσότερο αποσαθρωμένοι είναι λιγότερες και χωρίζουν ενότητες μετρίως αποσαθρωμένων σχηματισμών. Σε μια περίπτωση σε όλο το μήκος παρατηρήθηκε ζώνη πολύ αποσαθρωμένου γνευσίου με σημαντικό πάχος. Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι σε κάποιες θέσεις ο γνεύσιος χαρακτηρίζεται από αρκετά σφικτή δομή, με μικρό αριθμό συνεχειών και ελαφριά επίδραση της αποσάθρωσης.



Εικόνα 19: Πολύ αποσαθρωμένος (VI) γνεύσιος, GSI 15-25.



Εικόνα 20: Ελαφρά έως μέτρια (II-III) αποσαθρωμένος γνεύσιος, GSI 45-55.



Εικόνα 21: Πολύ αποσαθρωμένος (IV) γνεύσιος κοντά στο στόμιο εξόδου, GSI 30-40.

3.6.2. Γεωλογική περιγραφή της περιοχής διέλευσης σήραγγας Σ11

Το μεγαλύτερο μέρος της εκσκαφής της σήραγγας Σ11 φαίνεται να έγινε σε γνεύσιο και γρανιτογνεύσιο με μέτρια επιρροή από την αποσάθρωση ενώ οι σχηματισμοί αυτοί σε κάποιες θέσεις χαρακτηρίζονται από ελαφριά σχιστότητα. Χαρακτηριστικές είναι και εδώ οι απλιτικές φλέβες. Ένα άλλο χαρακτηριστικό που επηρεάζει την ποιότητα του σχηματισμού και πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία κατά το σχεδιασμό υπογείων έργων είναι οι ασυνέχειες που παρατηρήθηκαν κατά θέσεις. Οι ασυνέχειες αυτές φαίνεται να είναι ανοιχτές, ενώ κάποιες είναι πληρωμένες και με αργιλικό υλικό.

Στο στόμιο εισόδου ο σχηματισμός του γνευσίου που παρατηρείται είναι αρκετά καλής ποιότητας αφού είναι ελαφρά αποσαθρωμένος ενώ κοντά στο στόμιο εξόδου παρατηρείται γρανιτογνεύσιος πάρα πολύ αποσαθρωμένος.



Εικόνα 22: Μετρίως αποσαθρωμένος (III) γνεύσιος, GSI 35-45.



Εικόνα 23: Ασυνέχειες με αργιλικό υλικό.



Εικόνα 24: Σχηματισμός υπό της επίδραση ζώνης διάτμησης.

Η δράση της τεκτονικής με ζώνες διάτμησης μικρής κλίσης όπου το υλικό είναι μυλωνιτωμένο είναι και εδώ εμφανής αλλά σε λιγότερες θέσεις λόγω και της μικρότερης απόστασης που καλύπτει η σήραγγα.

3.6.3. Γεωλογική περιγραφή της περιοχής διέλευσης σήραγγας Σ12

Το μεγαλύτερο μέρος της εκσκαφής φαίνεται να έγινε σε γνεύσιο και γρανιτογνεύσιο μετρίως αποσαθρωμένο. Κοντά στο στόμιο εισόδου της εκσκαφής, η βραχομάζα έχοντας σημαντικό πάχος παρατηρείται να μην έχει επηρεαστεί τόσο πολύ από την αποσάθρωση. Πιο συγκεκριμένα η αποσάθρωση είναι εμφανής αλλά παρόλα αυτά δεν είναι τόσο έντονη.



Εικόνα 25: Ελαφρώς έως μέτρια (II-III) αποσαθρωμένος γνεύσιος, GSI 45-55.



Εικόνα 26: Μετρίως αποσαθρωμένος (III) γνεύσιος, GSI 35-45.

Η παρουσία ζωνών όπου το υλικό είναι σχεδόν αργιλοποιημένο είναι συχνή, όπως επίσης υπάρχουν και θέσεις όπου το υλικό είναι διατμημένο σχιστοποιημένο με γρανιτικές διεισδύσεις που είναι πολύ εύθρυπτο, όμως διατηρεί την αρχική του δομή.



Εικόνα 27: Διατμημένος, σχιστώδης γνεύσιος με γρανιτική διείσδυση, GSI 15-25.

Ακόμη υπάρχουν και εδώ ζώνες διάρρηξης σχετικά μικρής γωνίας όπου το υλικό είναι μωλυντιωμένο, εξαιρετικά εύθρυπτο και σχεδόν αργιλοποιημένο. Σε αυτή τη θέση παρατηρήθηκαν επίσης φλέβες χαλαζία (Εικόνα 28).



Εικόνα 28: Ζώνη διάρρηξης σε γνεύσιο με χαλαζιακές φλέβες και γνευσιογρανίτη.

3.6.4. Γεωλογική περιγραφή της περιοχής διέλευσης σήραγγας Σ13

Το βασικό χαρακτηριστικό που επικρατεί στους σχηματισμούς που έγινε η διάνοιξη τη Σ13 είναι η αποσάθρωση. Σε κάποιες θέσεις υπάρχουν εναλλαγές του γνευσίου με αμφιβολιτικοί σχιστόλιθους. Στις ζώνες όπου υπάρχουν εναλλαγές γνευσίου με αμφιβολιτικούς σχηματισμούς το υλικό είναι πολύ εύθρυπτο σχεδόν αργιλοποιημένο, μωλωνιτωμένο λόγω των ζωνών διάρρηξης που υπάρχουν ανάμεσά τους.

Οι διεισδύσεις αφορούν γρανιτικές και απλιτικές φλέβες. Επίσης στους γνευσίους παρατηρείται ελαφριά σχιστότητα σε κάποιες θέσεις. Οι ζώνες που περιέχουν αργιλικό υλικό με γνευσιακά τεμάχια υπάρχουν και στην αξιολόγηση που πραγματοποιήθηκε για αυτή την εκσκαφή.



Εικόνα 29: Επαφή αμφιβολιτικού σχιστόλιθου με γνευσιογρανίτη υψηλά αποσαθρωμένο (IV) σε ζώνη διάρρηξης, GSI 15-25.



Εικόνα 30: Πλήρως αποσαθρωμένος (V) γνεύσιος με κατά τόπους γνευσιακά τεμάχη, GSI 5-15.

Γενικότερα η διάνοιξη αυτής της σήραγγας φαίνεται να γίνεται σε ελαφρά αποσαθρωμένους γνευσίους και γρανιτογνευσίους στα στόμια. Από την είσοδο προς την έξοδο παρατηρείται γνευσιογρανίτης σύσταση ενώ στη συνέχεια παρατηρήθηκε γρανιτογνεύσιος. Ως προς την αποσάθρωση παρατηρείται στο μεγαλύτερο μέρος από ελαφρά αποσαθρωμένους μέχρι μετρίως αποσαθρωμένους σχηματισμός.

Παρόλα αυτά θέσεις που η αποσάθρωση είναι εντονότερη χαρακτηρίζοντας τον σχηματισμό έως και εντελώς αποσαθρωμένος υπάρχουν και στα πρανή αυτής της εκσκαφής.

Οι ζώνες διάρρηξης είναι αρκετές και σε αυτή την σήραγγα καθώς παρουσιάζονται ρήγματα κανονικά και ζώνες όπου το υλικό είναι μωλυνιτωμένο θρυμματισμένο έως αργιλικό. Τέλος παρατηρείται και ελαφριά πτύχωση του σχηματισμού σε κάποιες θέσεις.



Εικόνα 31: Ζώνη διάτμησης με χαρακτηριστική επίδραση μωλυνιτώσης, (πάνω) μετρίως αποσαθρωμένος (III) γρανιτογενεύσιος, GSI 35-45.



Εικόνα 32: Ελαφρά (II) αποσαθρωμένος γενεύσιος, GSI 45-55.

3.7. Ποιότητα βραχομάζας - Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής (GSI)

3.7.1. Τεχνικογεωλογικοί τύποι γνευσιακής βραχομάζας στην περιοχή έρευνας

Η κατηγοριοποίηση αυτή βασίζεται στην περιγραφή των γνευσιακών τεχνικογεωλογικών τύπων που επικρατούν στην περιοχή έρευνας. Τα δεδομένα που επεξεργάστηκαν για την κατηγοριοποίηση αυτή προκύπτουν από την υπαίθρια αξιολόγηση του Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής (GSI), σύμφωνα με την ποιότητα και δομή της βραχομάζας. Οι συνεχείς εναλλαγές των σχηματισμών είναι εμφανείς στην περιοχή έρευνας και συμβαίνουν σε πολύ μικρές αποστάσεις όπως παρατηρήθηκαν από τα πρηνή εκτός των εκσκαφών. Αναφέρονται παρακάτω οι τύποι του γνευσίου που παρατηρήθηκαν στην περιοχή έρευνας.

- Τύπος II. Ελαφρώς αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχομάζα με ελαφρύ κερματισμό.
- Τύπος III. Ελαφρώς αποσαθρωμένη σχιστώδης γνευσιακή βραχομάζα με ελαφρύ κερματισμό (σχιστογενέσιοι, γνευσιοσχιστόλιθοι).
- Τύπος IV. Αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχομάζα με έντονο κερματισμό.
- Τύπος V. Αποσαθρωμένη σχιστώδης γνευσιακή βραχομάζα με έντονο κερματισμό.
- Τύπος VI. Πολύ αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχομάζα.
- Τύπος VII. Πλήρως αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχομάζα.
- Τύπος VIII. Διατμημένη - σχιστώδης γνευσιακή βραχομάζα.

3.7.2. Κατηγοριοποίηση με βάση το διάγραμμα Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής (GSI)

Με βάση την αξιολόγηση της δομής του πετρώματος αλλά και την ποιότητα των ασυνεχειών η κατάταξη του σχηματισμού με βάση το διάγραμμα Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής (GSI) φαίνεται στους παρακάτω πίνακες ξεχωριστά για την κάθε εκσκαφή.

Πίνακας 9: Εύρος GSI για τους διαφορετικούς τύπους γνευσίου στην περιοχή διέλευσης της Σ10.

Τύπος	GSI
II.	55-65
III.	50-60
IV.	35-45



V	30-40
VI	15-25
VII	5-15
VIII	15-25

Στη συνέχεια θα παρατεθούν πίνακες με τους τύπους βραχομάζας που παρατηρήθηκαν στην κάθε μια εκσκαφή αλλά και την βαθμονόμηση με βάση την τιμή (GSI) που δόθηκε σε κάθε τύπο. Εκτός από μια γενική εικόνα της περιοχής ο πίνακας 9 εκφράζει και τις συνθήκες της Σ10 λόγω του ότι οι αλλαγές ήταν πολύ συχνές αλλά και λόγω της μεγαλύτερης απόστασης που καλύπτει η συγκεκριμένη εκσκαφή.

- Σήραγγα Σ11

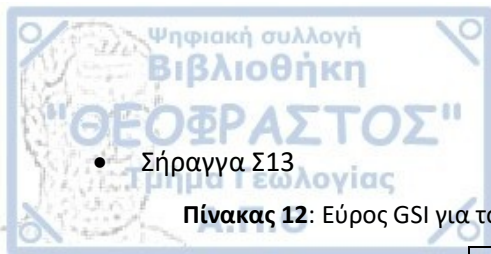
Πίνακας 10: Εύρος GSI για τους διαφορετικούς τύπους γνευσίου στην περιοχή διέλευσης της Σ11.

Τύπος	GSI
II	55-65
IV	35-45
VI	15-25
VII	5-15

- Σήραγγα Σ12

Πίνακας 11: Εύρος GSI για τους διαφορετικούς τύπους γνευσίου στην περιοχή διέλευσης της Σ12.

Τύπος	GSI
II	55-65
IV	35-45
VI	15-25



- Σήραγγα Σ13

Πίνακας 12: Εύρος GSI για τους διαφορετικούς τύπους γνευσίου στην περιοχή διέλευσης της Σ13.

Τύπος	GSI
II.	55-65
III.	50-60
IV	35-45
V	30-40
VI	15-25
VII	5-15
VIII	15-25

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο - ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

4.1. Γενικά

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο αναλύονται δεδομένα εργαστηριακών δοκιμών και δεδομένα γεωτρήσεων για τους γεωλογικούς σχηματισμούς που συναντήθηκαν στην περιοχή έρευνας. Τα δεδομένα αυτά αντλήθηκαν από την βάση δεδομένων «TIAS» (V. Marinos et al., 2012). Ο συνολικός αριθμός των δεδομένων αποτελείται από 3.168 τιμές και αναφέρονται στην ευρύτερο τμήμα της Εγνατίας Οδού που ανήκουν οι εξεταζόμενες σήραγγες. Οι τιμές των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών δοκιμών ανέρχονται στις 402 ενώ οι παρατηρήσεις γεωτρήσεων αφορούν 1.372 παρατηρήσεις ενώ οι μετρήσεις των γεωμετρικών στοιχείων των ασυνεχειών αποτελούνται από 1.394 παρατηρήσεις. Για τα δεδομένα αυτά πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία με σκοπό την παραμετροποίηση των σχηματισμών που συναντήθηκαν κατά την εκσκαφή.

Σχετικά με τις εργαστηριακές δοκιμές οι παράμετροι που εξετάζονται αφορούν τη μονοαξονική θλιπτική αντοχή (σ_{ci}), του δείκτη σημειακής φόρτισης (I_{s50}), το μέτρο ελαστικότητας (E_i) όπως επίσης και αποτελέσματα από τη δοκιμή άμεσης διάτμησης ασυνεχειών. Οι παράμετροι που αναφέρθηκαν εξετάζονται τόσο μεμονωμένα όσο και μεταξύ τους, ενώ γίνεται προσπάθεια να εξεταστούν σε σχέση με το βάθος.

Στη συνέχεια όσον αφορά τα δεδομένα που προέρχονται από τις γεωτρήσεις και σχετίζονται με τον κερματισμό αλλά και την ποιότητα της βραχομάζας, αυτά αναφέρονται στον Δείκτη Ποιότητας Πετρώματος (RQD) και στον Γεωλογικό Δείκτη Αντοχής (GSI). Εξετάζεται η συνολική τους κατανομή όπως επίσης γίνεται και προσπάθεια να συσχετίσουν με το βάθος στην περίπτωση του RQD, ενώ στην περίπτωση του GSI γίνεται προσπάθεια συσχέτισης των τιμών με τους σχηματισμούς που εξεταστήκαν για την βαθμονόμηση. Τέλος επεξεργάστηκαν στοιχεία που χαρακτηρίζουν τις παραμέτρους του συστήματος ταξινόμησης Q αλλά και η συνολική βαθμονόμηση του που περιγράφει τους σχηματισμούς.

Η στατιστική επεξεργασία πραγματοποιήθηκε με σκοπό την διάκριση των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών των σχηματισμών που συναντώνται στην περιοχή έρευνας.

4.2. Ιδιότητες του άρρηκτου βράχου-Εργαστηριακά δεδομένα

4.2.1. Στατιστική επεξεργασία μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής άρρηκτου βράχου(σ_c)

Το διάγραμμα διασποράς και τα ιστογράμματα που παρουσιάζονται σε αυτό το υποκεφάλαιο προέκυψαν από την στατιστική επεξεργασία των τιμών μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής άρρηκτου βράχου (σ_c). Τα ιστογράμματα παρουσιάζουν την ποσοστά εμφάνισης των κατηγοριών ταξινόμησης του βραχώδους υλικού με βάση την μονοαξονική θλιπτική αντοχή ενώ στην περίπτωση του διαγράμματος διασποράς γίνεται συσχέτιση των τιμών με το βάθος.

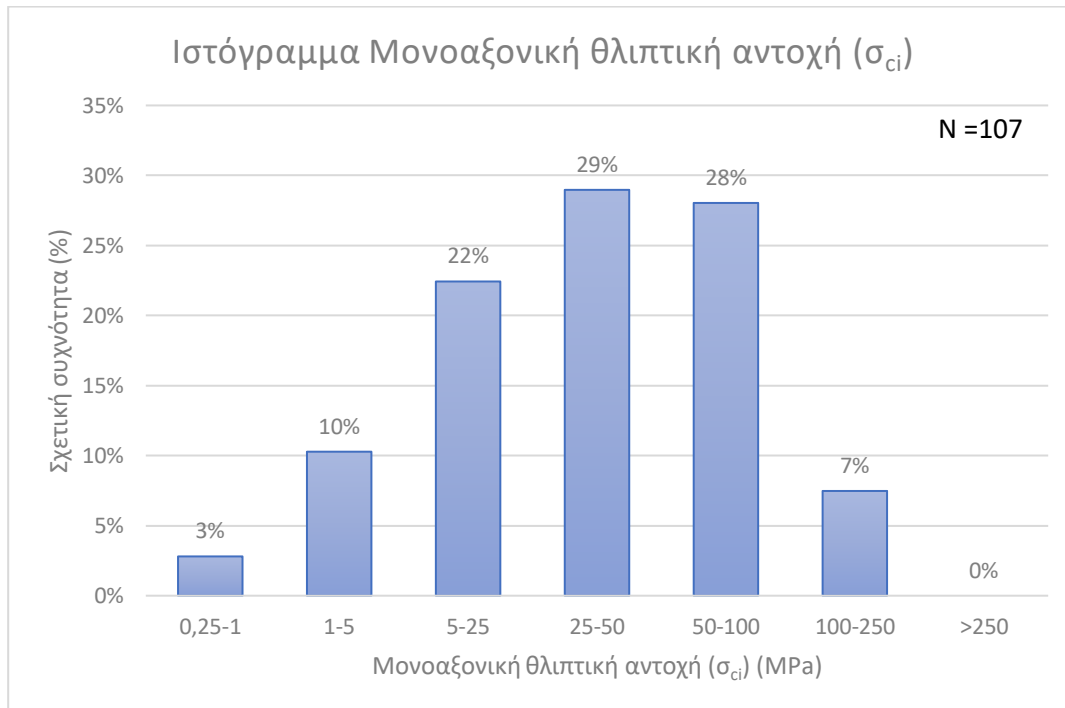
Ο αριθμός των παρατηρήσεων είναι 107, ενώ το βάθος που αντιστοιχούν οι τιμές αυτές φτάνει μέχρι και τα 203m. Σύμφωνα με την ταξινόμηση του βραχώδους υλικού ως την αντοχή του σε μονοαξονική αντοχή (I.S.R.M. 1981) έγινε διαχωρισμός των τιμών μονοαξονικής αντοχής σε κλάσεις ώστε να χαρακτηριστούν οι σχηματισμοί με βάση την αντοχή τους. Οι κατηγορίες αναφέρονται στον πίνακα 13. Με βάση την στατιστική ανάλυση προέκυψε διάγραμμα σχετικών συχνοτήτων εμφάνισης της κάθε κατηγορίας μονοαξονικής αντοχής.

Πίνακας 13: Ταξινόμηση βραχώδους υλικού με βάση την αντοχή του σε μονοαξονική θλίψη (I.S.R.M. 1981).

Κατάταξη πετρώματος	Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (MPa)
Εξαιρετικά υψηλής αντοχής	>250
Πολύ υψηλής αντοχής	100-250
Υψηλής αντοχής	50-100
Μέσης αντοχής	25-50
Χαμηλής αντοχής	5-25
Πολύ χαμηλής αντοχής	1-5
Εξαιρετικά χαμηλής αντοχής	0,25-1

Στο ιστόγραμμα (Διάγραμμα 2) παρουσιάζονται τα ποσοστά σχετικής συχνότητας για τα διάφορα εύρη που έχουν καθοριστεί ώστε να χαρακτηριστεί ο σχηματισμός που μελετάται. Παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό (29%) των τιμών ανήκει στην κατηγορία 25-50 MPa χαρακτηρίζοντας τους σχηματισμούς ως μέσης αντοχής, ενώ η κατηγορία 50-100 MPa που χαρακτηρίζει τους σχηματισμούς ως υψηλής αντοχής έχει επίσης σημαντικό ποσοστό (28%). Αξίζει να σημειωθεί επίσης ότι το ποσοστό που χαρακτηρίζει τους σχηματισμούς ως χαμηλής αντοχής (50-100 MPa) είναι 22%. Τέλος παρατηρούνται τιμές πολύ υψηλής αλλά και που χαμηλής αντοχής με μικρότερα ποσοστά. Η μέγιστη

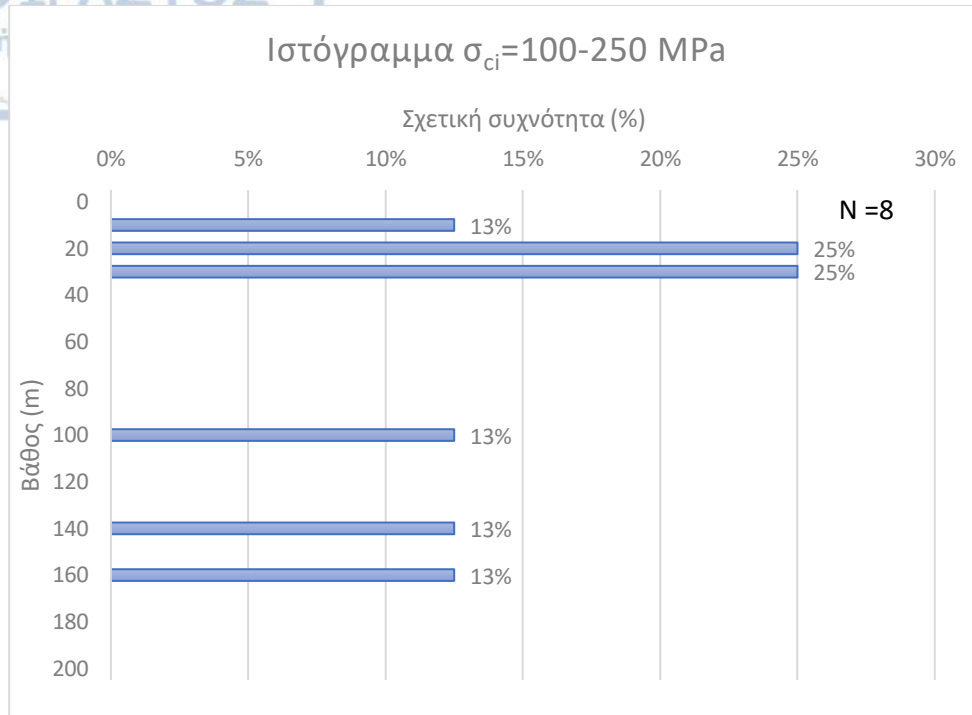
τιμή (max) που εξετάστηκε αναφέρεται στα 162,1 MPa, η ελάχιστη 0,9 MPa, ενώ ο μέσος όρος των τιμών (average) είναι 41,22 MPa και η τυπική απόκλιση (STDEVP) είναι 33,2 MPa.



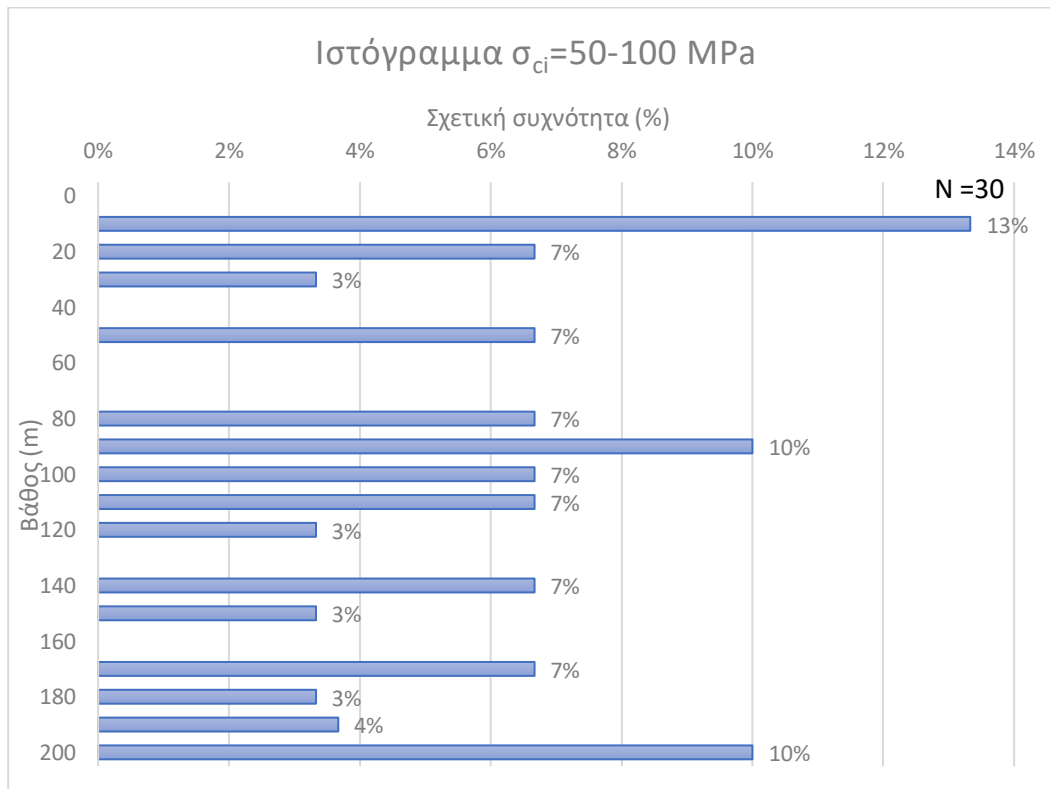
Διάγραμμα 2: Ποσοστά σχετικής συχνότητας Μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής (σ_{ci}).

Στη συνέχεια έγινε στατιστική επεξεργασία και ιστογράμματα για την κάθε μια κατηγορία μονοαξονικής αντοχής ξεχωριστά σε σχέση με το βάθος, ώστε εντοπιστεί το βάθος όπου βρίσκεται το μεγαλύτερο ποσοστό των μετρήσεων κάθε κατηγορίας αντοχής.

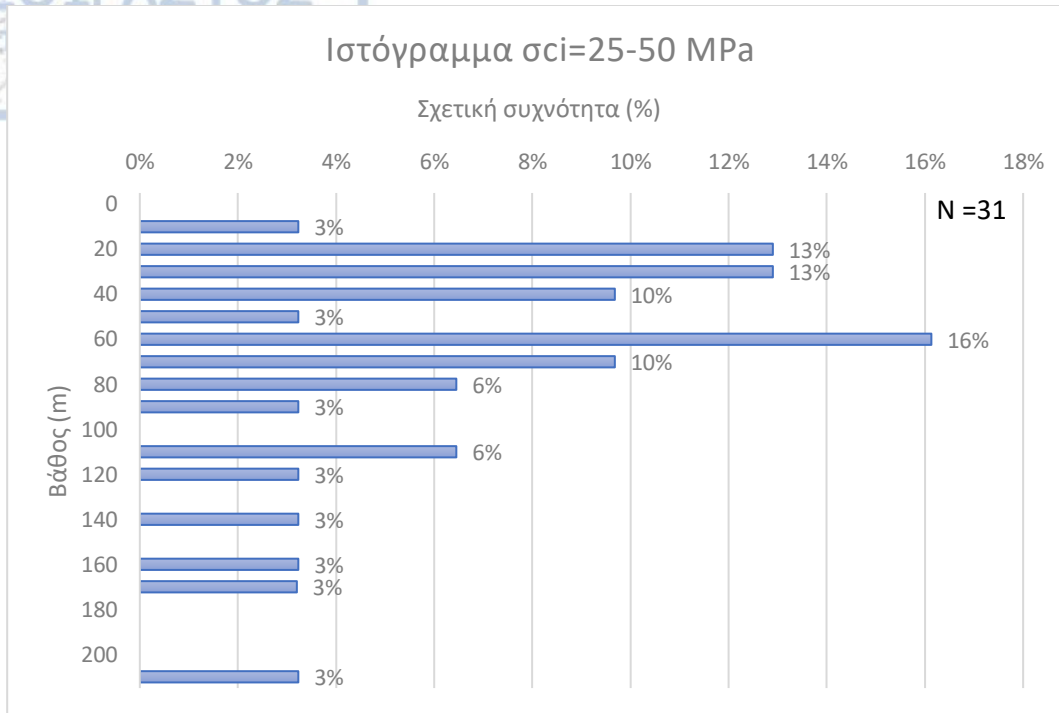
Έτσι τα υψηλότερα ποσοστά της ομάδας που χαρακτηρίζει σχηματισμούς πολύ υψηλής αντοχής (100-250 MPa) εντοπίζονται στην επιφάνεια, ενώ υπάρχουν τιμές και σε μεγάλα βάθη. Οι τιμές αντοχής για σχηματισμούς υψηλής αντοχής (50-100 MPa) παρατηρείται να κατανέμονται σε όλο το βάθος των γεωτρήσεων. Η ομάδα όπου ανήκουν σχηματισμοί μέσης αντοχής (25-50 MPa) εντοπίζεται κατά κύριο λόγο μέχρι και τα 70m, ενώ τα ποσοστά σε μεγαλύτερα βάθη είναι πολύ χαμηλά. Οι τιμές σχηματισμών χαμηλής (5-25 MPa) και πολύ χαμηλής αντοχής (1-5 MPa) εντοπίζονται κοντά στην επιφάνεια.



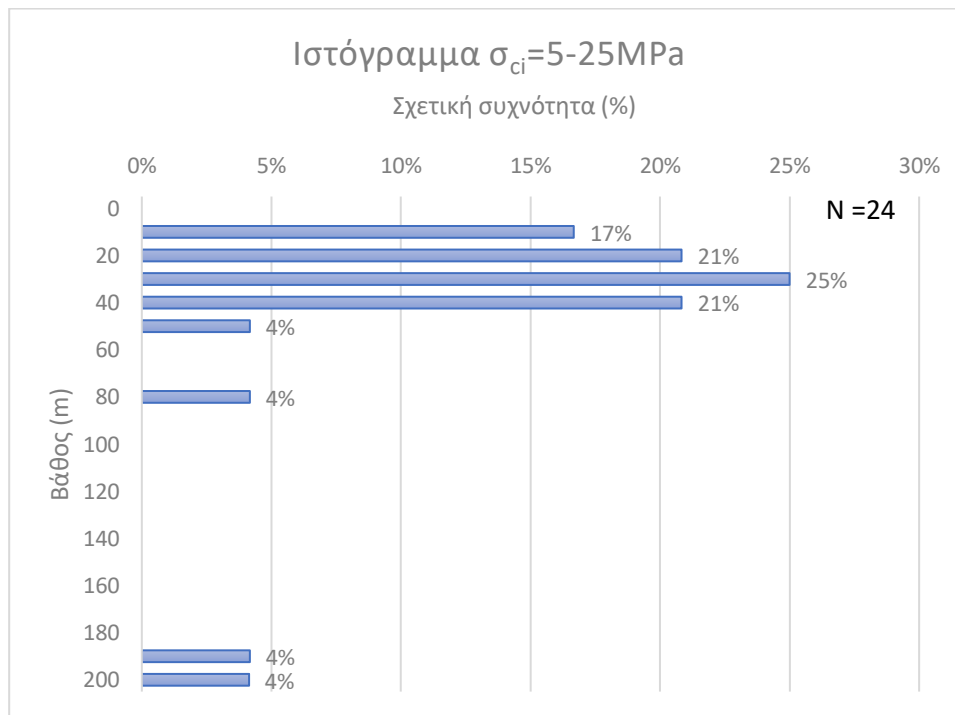
Διάγραμμα 3: Ποσοστά σχετικής συχνότητας μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής ($\sigma_{ci}=100-250$ MPa) – βάθος (m).



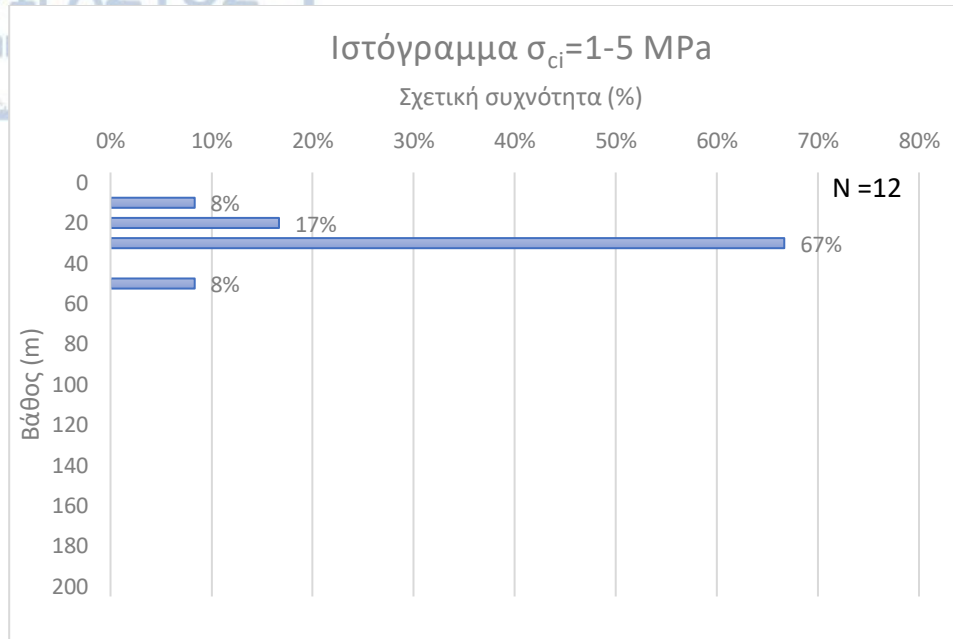
Διάγραμμα 4: Ποσοστά σχετικής συχνότητας μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής ($\sigma_{ci}=50-100$ MPa) – βάθος (m).



Διάγραμμα 5: Ποσοστά σχετικής συχνότητας μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής ($\sigma_{ci}=25-50$ MPa) – βάθος (m).

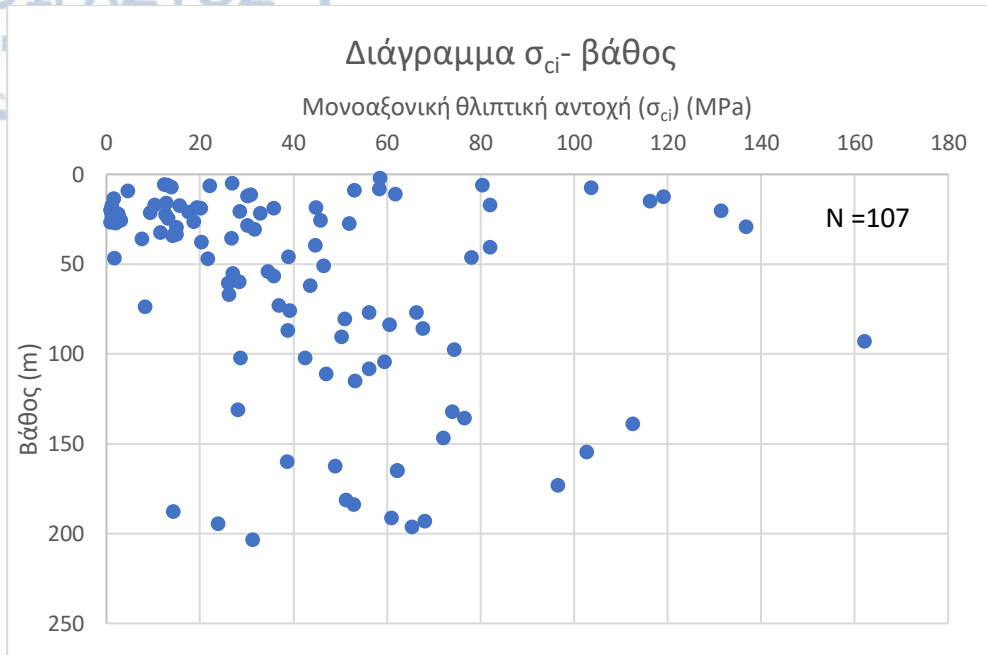


Διάγραμμα 6: Ποσοστά σχετικής συχνότητας μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής ($\sigma_{ci}=5-25$ MPa) – βάθος (m).

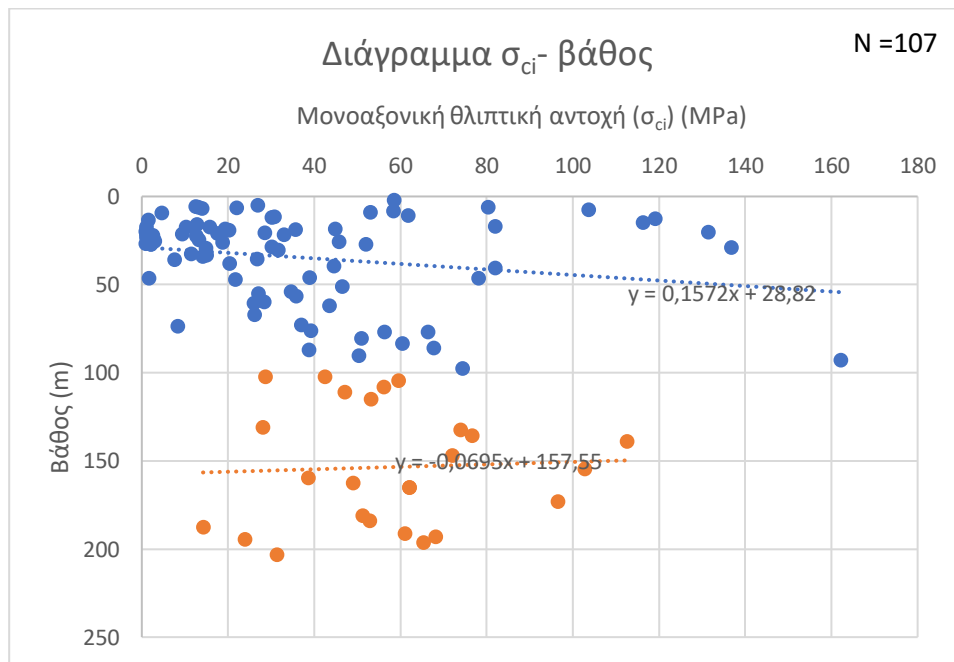


Διάγραμμα 7: Ποσοστά σχετικής συχνότητας μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής ($\sigma_{ci}=1-5$ MPa) – βάθος (m).

Το διάγραμμα 8 παρουσιάζει τη διασπορά των τιμών μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής των σχηματισμών της ευρύτερης περιοχής έρευνας σε σχέση με το βάθος. Από το διάγραμμα προκύπτει ότι μεγάλος αριθμός μετρήσεων είναι συγκεντρωμένος σε βάθη έως και 100m και αναφέρεται σε τιμές χαμηλής έως μέσης μονοαξονικής αντοχής (έως 50 MPa), ενώ όσο το βάθος αυξάνεται οι τιμές της μονοαξονικής αντοχής φαίνεται να διατηρούν τιμές μέσης έως υψηλής αντοχής (25-100 MPa) με την απουσία βέβαια πολύ χαμηλών τιμών. Πρέπει να σημειωθεί ότι τιμές πολύ υψηλής αντοχής παρατηρούνται κοντά στην επιφάνεια.



Διάγραμμα 8: Μονοαξονική θλιπτική αντοχή (σ_{ci})-βάθος.



Διάγραμμα 9: Διαφοροποίηση της συσχέτισης μονοαξονική θλιπτική αντοχή (σ_{ci})-βάθος.

4.2.2. Στατιστική επεξεργασία ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης (I_{s50})

Το διάγραμμα διασποράς αλλά και τα ιστογράμματα που παρατίθενται σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρονται σε τιμές του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης (I_{s50}). Πιο συγκεκριμένα στο ιστογράμμα αναλύονται τα ποσοστά σχετική συχνότητα των κατηγοριών που διαχωρίζονται οι τιμές του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης (Bieniawski, 1975) και χαρακτηρίζουν τους σχηματισμούς ενώ στο διάγραμμα διασποράς δίνεται η κατανομή του δείκτη σε σχέση με το βάθος. Ο πίνακας με τα εύρη των τιμών παρατίθεται στη συνέχεια.

Πίνακας 14: ταξινόμηση του ακέραίου πετρώματος με βάση το δείκτη σημειακής φόρτισης (I_{s50}) (Bieniawski, 1975).

Χαρακτηρισμός αντοχής	Δείκτης σημειακής φόρτισης I_{s50} (MPa)
Πολύ υψηλής αντοχής	>8
Υψηλής αντοχής	4-8
Μέσης αντοχής	2-4
Χαμηλής αντοχής	1-2
Πολύ χαμηλής αντοχής	<1

Από τον προσδιορισμό του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης γίνεται δυνατός ο προσδιορισμός της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής (σ_{ci}). Ο προσδιορισμός αυτός μπορεί να προσδιοριστεί από την εύρεση σχέσης που συνδέει τις δυο δοκιμές. Αρχικά από αναζήτηση στη βιβλιογραφία εντοπίστηκε η πρώτη προσπάθεια να δημιουργηθεί μια τέτοια σχέση από τους D' Andrea et al.,(1964), οι οποίοι πραγματοποίησαν πειράματα μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής και σημειακής φόρτισης. Στη συνέχεια έρευνα πάνω σε αυτό το θέμα πραγματοποιήθηκε και από τον Reichmuth (1968) ο οποίος πρόσθεσε σαν παράμετρο τις διαστάσεις των δοκιμίων. Με βάση τη συγκεκριμένη έρευνα προτάθηκε για τη συσχέτιση των δυο δοκιμών ότι ο λόγος της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής προς τον ανηγμένο δείκτη σημειακής φόρτισης είναι ίσος με 24 για διάμετρο δοκιμίων ίση με 50mm (Broch and Franklin, 1972). Επίσης από τους Hassani et al.,(1980) προτάθηκε η τιμή 29. Η Διεθνής Ένωση Βραχομηχανικής ορίζει τις τιμές που αποδίδονται στον συγκεκριμένο λόγο μεταξύ 20-25 (ISRM, 1985) με εξαίρεση την περίπτωση ανισότροπων υλικών (τιμές από 15 έως 50).

Επιπλέον, από την έρευνα και τον συνυπολογισμό βιβλιογραφικών δεδομένων, ο Norbury (1986) αναφέρει ότι ο λόγος μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής προς τον ανηγμένο δείκτη σημειακής φόρτισης ορίζεται από 8 ως 54. Το εύρος αυτό φαίνεται να εξετάζει ιζηματογενή πετρώματα (ψαμμίτες, ιλυόλιθοι, μάργες, ασβεστόλιθοι και γύψοι).

Από τους Τσιαμπάο και Σαμπατακάκη (2004) πραγματοποιήθηκε έρευνα για ασβεστόλιθους, μάργες και ψαμμίτες και προτείνεται ότι ο συντελεστής που εκφράζει πετρώματα χαμηλής αντοχής πρέπει να λαμβάνεται ίσος με 13. Ενώ από τους Sabatakakis et al. (2008) βασισμένοι στο ότι ο συντελεστής αυτού του λόγου πρέπει να χρησιμοποιείται με βάση το εύρος τιμών ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης, δίνουν 3 τιμές στον συντελεστή αυτό:

- $I_{s50} < 2$, $K=13$
- $2 < I_{s50} < 5$, $K=24$
- $I_{s50} > 5$, $K=28$

Τέλος σύμφωνα με έρευνα στη βιβλιογραφία παρατηρείται ότι η μονοαξονική θλιπτική αντοχή συσχετίζεται με το I_{s50} τόσο γραμμικά όσο εκθετικά για όλους τους τύπους πετρωμάτων. Στον πίνακα 15 παρουσιάζονται οι σχέσεις αυτές.

Πίνακας 15: Σχέσεις που περιγράφουν τους διαφορετικούς τύπους πετρωμάτων. (Tziallas et al., 2011).

Rock Type	N	Equation	r ²
All rock types	323	$\sigma_c = 14.49 I_{s(50)}$	0.62
		$\sigma_c = 10.58 I_{s(50)}^{1.14}$	0.66
Sedimentary	257	$\sigma_c = 13.55 I_{s(50)}$	0.48
		$\sigma_c = 10.46 I_{s(50)}^{1.12}$	0.61
Sandstone	61	$\sigma_c = 15.70 I_{s(50)}$	0.62
		$\sigma_c = 5.69 I_{s(50)}^{1.58}$	0.79
Metamorphic	25	$\sigma_c = 18.15 I_{s(50)}$	0.78
		$\sigma_c = 12.36 I_{s(50)}^{1.14}$	0.75
Igneous	34	$\sigma_c = 14.40 I_{s(50)}$	0.88
		$\sigma_c = 6.65 I_{s(50)}^{1.34}$	0.91

Ο συνολικός αριθμός των μετρήσεων που συμπεριλαμβάνονται στην επεξεργασία ανέρχεται στις 255. Ο ανηγμένος δείκτης σημειακής φόρτισης έχει προσδιοριστεί σε βάθη όπου δεν έχει προσδιοριστεί η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη.

Στο ιστόγραμμα (Διάγραμμα 10) παρουσιάζονται τα ποσοστά σχετικής συχνότητας των κατηγοριών του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης. Παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό ανήκει σε σχηματισμούς όπου χαρακτηρίζονται ως πολύ χαμηλής αντοχής. Ακολουθούν τα ποσοστά χαμηλής και μέσης αντοχής με σχεδόν τα ίδια ποσοστά. Τέλος υπάρχει και ένα ποσοστό που χαρακτηρίζει τους σχηματισμούς ως υψηλής αντοχής. Η μέγιστη τιμή (max) που εξετάστηκε αναφέρεται στα 14,82 MPa, η

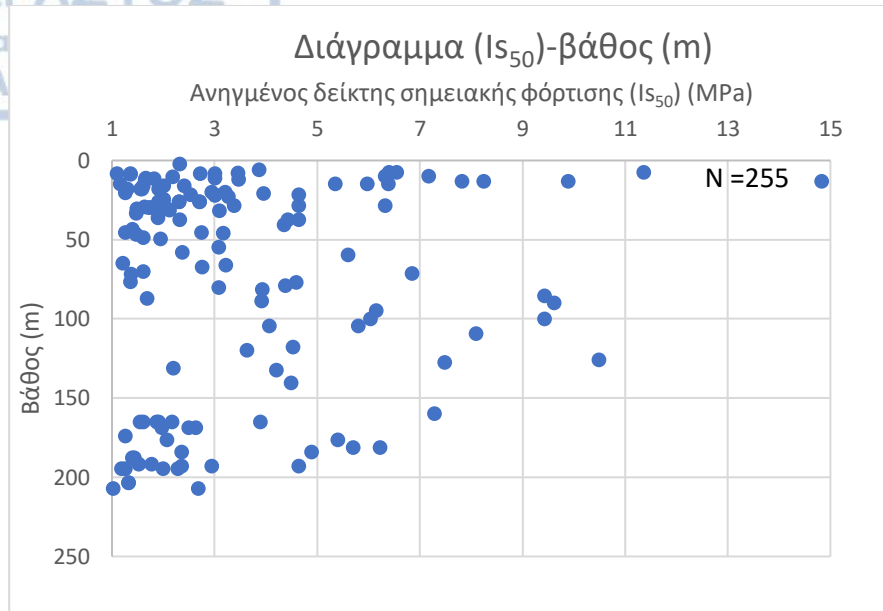
ελάχιστη 0,1 MPa, ενώ ο μέσος όρος των τιμών (average) είναι 2,1 MPa και η τυπική απόκλιση (STDEVP) 2,4 MPa.

Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων που αναφέρονται στον ανηγμένο δείκτη σημειακής φόρτισης με την γραμμική σχέση $\sigma_{ci} = 24 \times I_{s50}$ (Broch and Franklin, 1972), υπολογίζεται η μονοαξονική θλιπτική αντοχή (σ_{ci}). Έτσι η μέση τιμή μονοαξονικής αντοχής που προκύπτει για τους σχηματισμούς είναι 48,02 MPa.

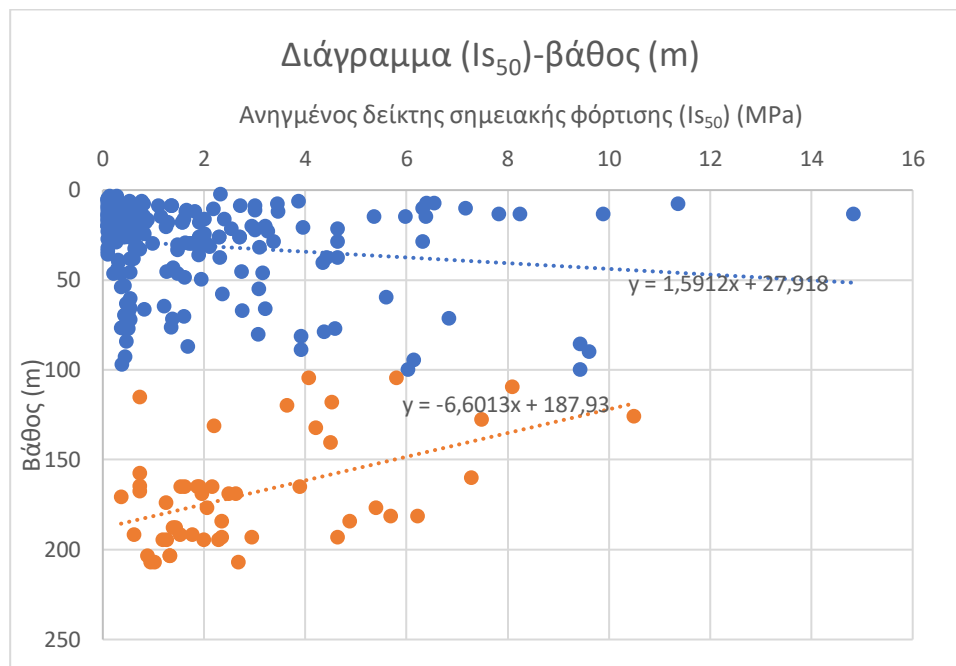


Διάγραμμα 10: Ποσοστά σχετικής συχνότητας ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης (I_{s50}).

Από το διάγραμμα διασποράς φαίνεται ότι σε βάθη μέχρι 100m οι τιμές του ανηγμένου δείκτη σημειακής φόρτισης είναι χαμηλής έως και μέσης αντοχής (1-4 MPa). Ενώ παρόμοιος αριθμός παρατηρήσεων χαρακτηρίζει σχηματισμό χαμηλής αντοχής (1-2 MPa) σε μεγάλο βάθος. Παρόλα αυτά υπάρχουν και υψηλές τιμές που χαρακτηρίζουν τους σχηματισμούς υψηλής αντοχής (4-8 MPa).

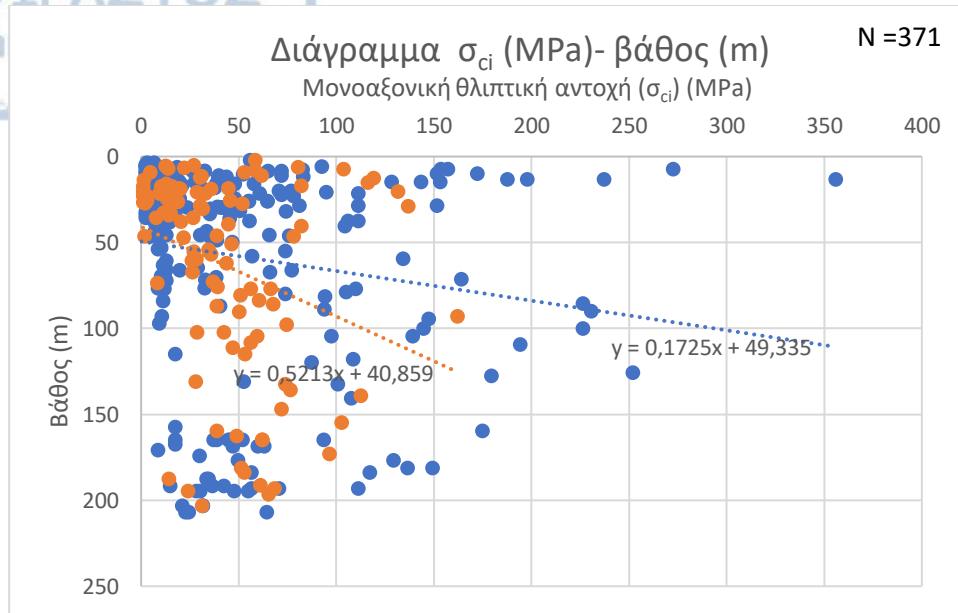


Διάγραμμα 11: Ανηγμένος δείκτης σημειακής φόρτισης (I_{s50})-βάθος (m).



Διάγραμμα 12: Διαφοροποίηση της συσχέτισης Ανηγμένου δείκτη σημειακή φόρτιση (I_{s50})-βάθος (m).

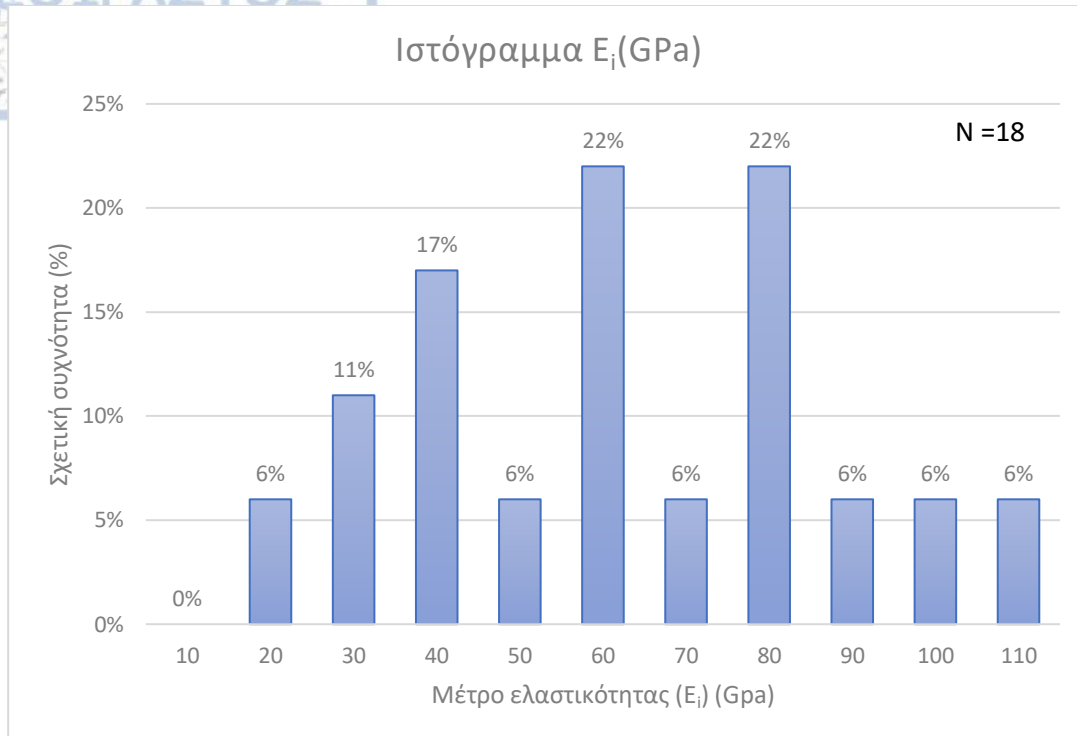
Στη συνέχεια δίνεται διάγραμμα διασποράς που αποδίδει τις τιμές τιμών μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής άρρηκτου βράχου (σ_{ci}) και τις τιμές σ_{ci} που υπολογίστηκαν μέσω της σχέσης: $\sigma_{ci} = 24 \times I_{s50}$ (Broch and Franklin, 1972).



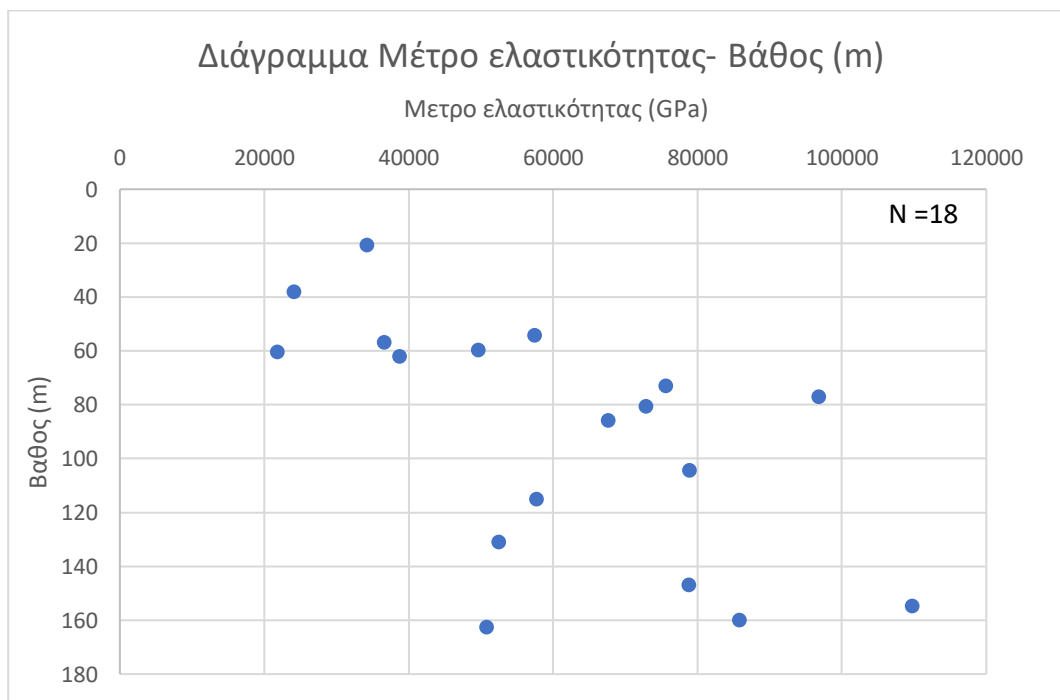
Διάγραμμα 13: Συσχέτιση τιμών σ_{ci} εργαστηριακών δοκιμών και προσέγγιση σ_{ci} μέσω του δείκτη σημειακής φόρτισης (I_{s50})-βάθος (m).

4.2.3. Στατιστική επεξεργασία μέτρου ελαστικότητας άρρηκτου βράχου (E_i)

Σε αυτό το υποκεφάλαιο γίνεται στατιστική επεξεργασία του μέτρου ελαστικότητας. Αρχικά δίνεται ένα ιστόγραμμα ποσοστών σχετικής συχνότητας, ενώ στη συνέχεια διάγραμμα διασποράς όπου φαίνεται η κατανομή με το βάθος. Οι τιμές του μέτρου ελαστικότητας που επεξεργάστηκαν είναι 18, με τη μέγιστη τιμή (max) που εξετάστηκε να φτάνει τα 109,7GPa, η ελάχιστη 21,8GPa, ενώ ο μέσος όρος των τιμών (average) είναι 58,4GPa και η τυπική απόκλιση (stdevp) 25GPa.



Διάγραμμα 14: Ποσοστά σχετικής συχνότητας μέτρου ελαστικότητας (E_i).



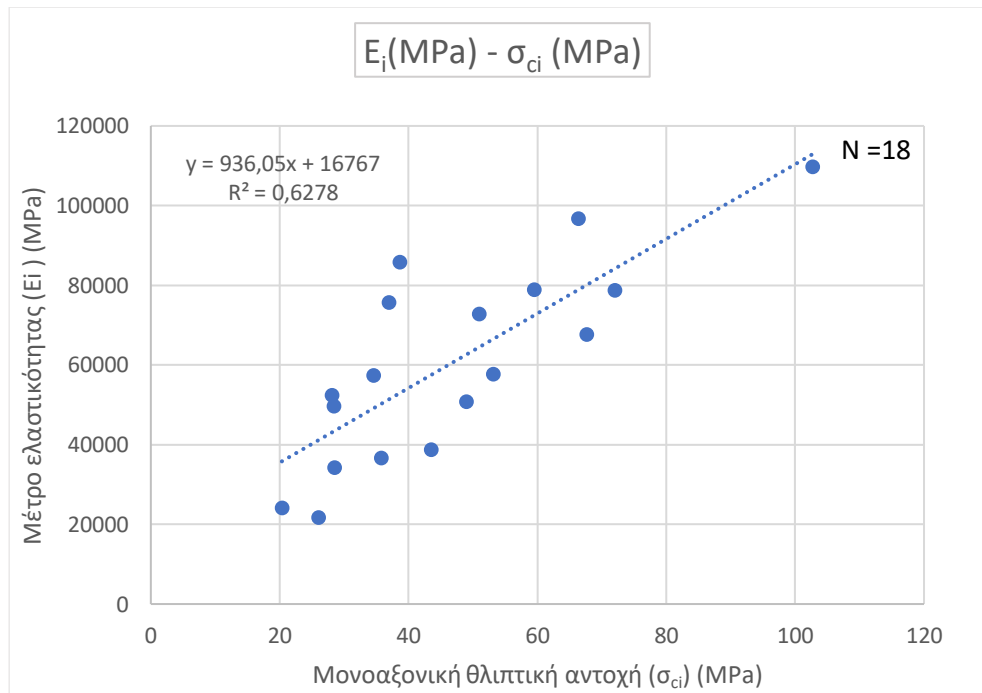
Διάγραμμα 15: Μέτρο ελαστικότητας (GPa) – βάθος (m).

4.2.4. Συσχέτιση μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής (σ_{ci}) – μέτρου ελαστικότητας (E_i), σταθερά παραμορφωσιμότητας (Modulus Ratio-MR)

Για την συσχέτιση των δυο μεταβλητών, μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής (σ_{ci}) και του μέτρου ελαστικότητας (E_i) πραγματοποιήθηκε η κατασκευή του διαγράμματος 16.

Αρχικά σύμφωνα με τα δεδομένα των τιμών για τις παραμέτρους αυτές κατασκευάζεται διάγραμμα και φέρεται ευθεία της μορφής: $y = ax$, όπου αναφέρεται για το y σε τιμές του μέτρου ελαστικότητας (E_i) και για το x σε τιμές μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής (σ_{ci}). Το a αποτελεί την κλίση της ευθείας και αποτελεί το MR (Modulus Ratio) (Deere, 1968) όπου χαρακτηρίζεται από διαφορετική τιμή για κάθε γεωλογικό σχηματισμό. Με την κατασκευή του διαγράμματος μπορεί να προσδιοριστεί η τιμή MR για τους σχηματισμούς στην περιοχή έρευνας.

Έτσι η τιμή του MR για τους σχηματισμούς που εξετάζονται είναι 936,05 όπως φαίνεται από την εξίσωση της ευθείας στο παρακάτω διάγραμμα. Η τιμή που προτείνεται για το MR σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Deere, 1964 και Palmstrom et al., 2001) για τους γνευσιακούς σχηματισμούς είναι 525 ± 225 που όμως διαφέρει αρκετά από την τιμή που προέκυψε από την επεξεργασία των δεδομένων.



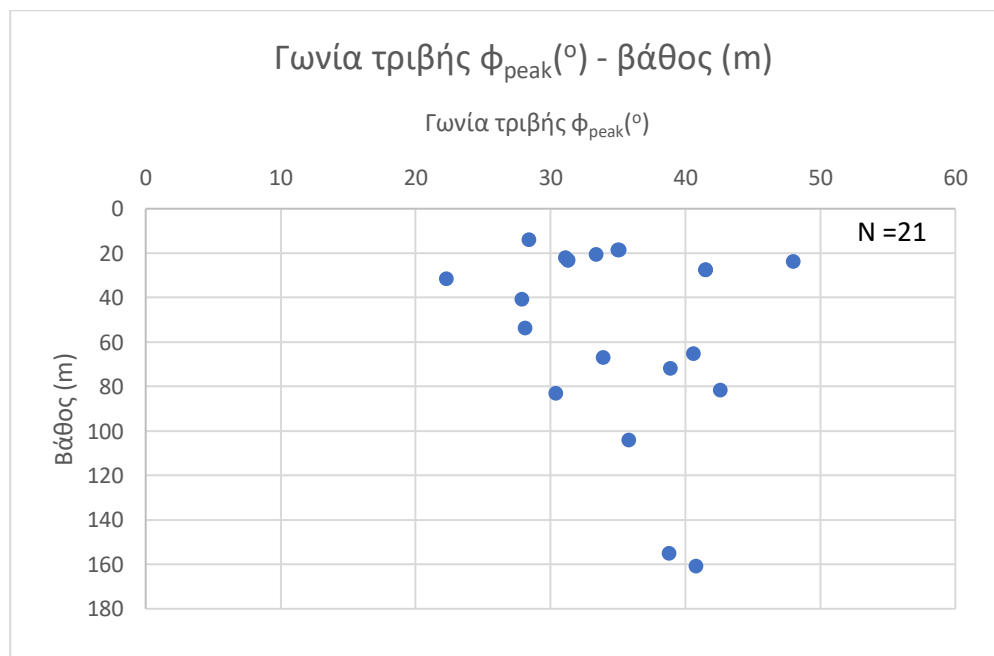
Διάγραμμα 16: Μέτρο ελαστικότητας (E_i)-μονοαξονική θλιπτική αντοχή (σ_{ci}).

4.3. Στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων δοκιμής άμεσης διάτμησης ασυνεχειών

Τα δεδομένα που επεξεργάστηκαν για την περίπτωση των διαγραμμάτων αυτού του υποκεφαλαίου αφορούν μέγιστες τιμές διατμητικής αντοχής ασυνεχειών. Οι μετρήσεις με αυτή την προσέγγιση φαίνεται να είναι αποτελεσματικότερες καθώς εμπεριέχουν και τον παράγοντα της τραχύτητας των ασυνεχειών.

Για τον προσδιορισμό γωνίας τριβής αντιπροσωπευτικής για τις ασυνέχειες των σχηματισμών της ευρύτερης περιοχής έρευνας κατασκευάστηκε διάγραμμα κατανομής των τιμών με το βάθος αλλά και ιστόγραμμα ποσοστών σχετικών συχνοτήτων. Οι τιμές αφορούν 21 μετρήσεις.

Από το διάγραμμα διασποράς με το βάθος, παρατηρείται ότι κοντά στην επιφάνεια οι τιμές της γωνίας τριβής είναι μικρότερες από βαθύτερα σημεία. Από αυτό συμπεραίνεται ότι τα τοιχώματα των ασυνεχειών κοντά στην επιφάνεια έχουν επηρεαστεί από τη διεργασία της αποσάθρωσης ή ακόμη μπορεί να περιέχουν υλικό πλήρωσης. Στην περίπτωση όπου οι τιμές που εξετάζονται στο βάθος χαρακτηρίζονται από υψηλότερες τιμές ενδεχομένως αναφέρεται σε επιφάνειες ασυνεχειών που χαρακτηρίζονται ως υγιείς χωρίς η αποσάθρωση να έχει επιδράσει σε αυτές. Η διαφοροποίηση των τιμών επίσης είναι και αποτέλεσμα των διαφορετικών σχηματισμών που εξετάζονται στην περιοχή αλλά και στην επίδραση της τεκτονικής.



Διάγραμμα 17: Γωνία τριβής ϕ_{peak} (o) - βάθος (m).

Η μέγιστη τιμή (max) των αποτελεσμάτων είναι 48°, η ελάχιστη τιμή (min) είναι 22,3°, ενώ ο μέσος όρος (average) των τιμών προσδιορίστηκε στις 35,08°, η τυπική απόκλιση (STDEV.P) είναι 6,08°.

4.4. Αξιολόγηση του κερματισμού της βραχομάζας – Δείκτης Ποιότητας Πετρώματος (RQD)

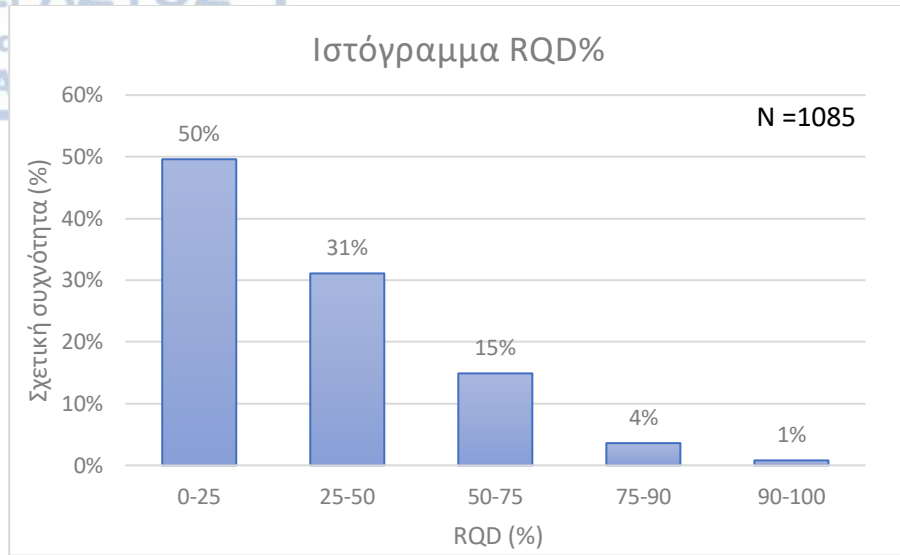
Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο δίνονται διαγράμματα τα οποία στόχο έχουν τον προσδιορισμό της κατανομής των κατηγοριών που διαχωρίζεται ο Δείκτης Ποιότητας Πετρώματος (RQD), για την περιγραφή των σχηματισμών στην ευρύτερη περιοχή. Αυτό επιτυγχάνεται αρχικά με τη χρήση ιστογράμματος κατανομής και στη συνέχεια με διάγραμμα διασποράς των τιμών με το βάθος. Οι τιμές που επεξεργάστηκαν ώστε να προκύψουν τα διαγράμματα που περιγράφουν την ποιότητα του πετρώματος είναι 1085.

Οι κατηγορίες όπου ο Δείκτης Ποιότητας Πετρώματος (RQD) περιγράφει την ποιότητα των σχηματισμών παρατίθενται στον πίνακα 16.

Πίνακας 16: Ταξινόμηση ποιότητας πετρώματος Deere et al., (1963).

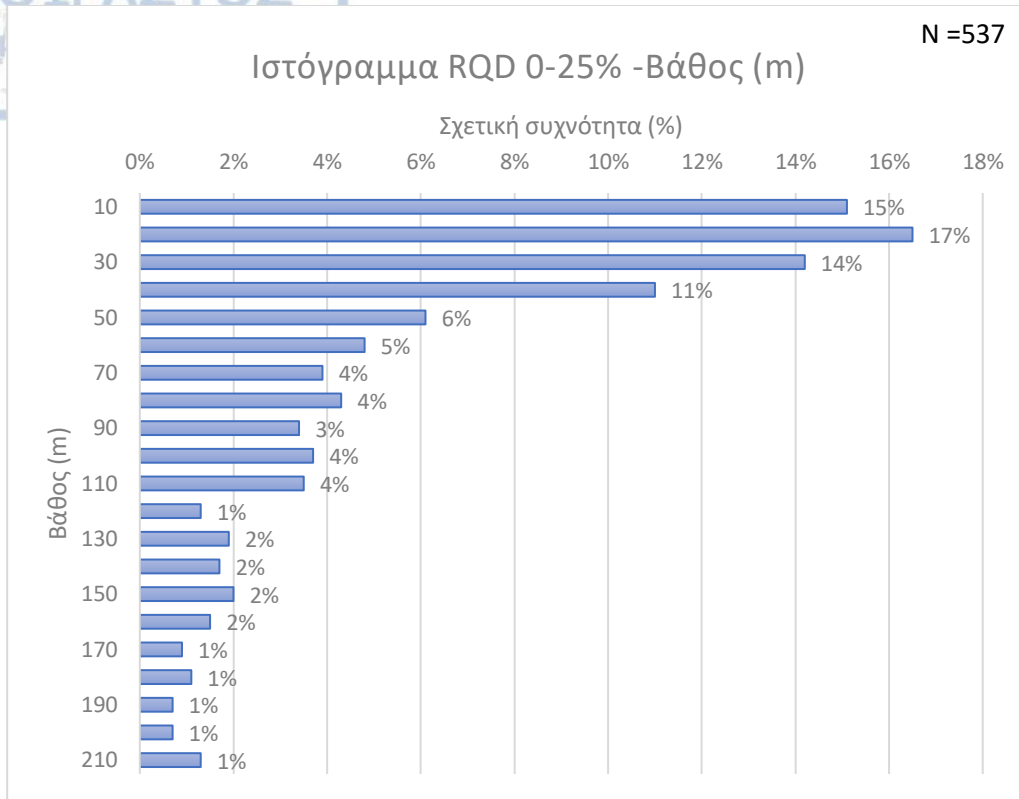
R.Q.D. (%)	Ποιότητα πετρώματος
0-25	Πολύ πτωχή
25-50	Πτωχή
50-75	Μέτρια
75-90	Καλή
90-100	Εξαιρετική

Από το ιστόγραμμα των ποσοστών σχετικών συχνοτήτων των κατηγοριών του Δείκτη Ποιότητας Πετρώματος (RQD%) παρατηρείται ότι γενικότερα οι τιμές που εξετάστηκαν σε μεγαλύτερο ποσοστό (50%) αφορούν ποιότητα πετρώματος από πολύ πτωχή (0-25%) έως πτωχή (25-50%) αφού συνολικά εντοπίζονται σε ποσοστό περίπου 80%. Το τρίτο μεγαλύτερο ποσοστό αφορά μέτρια ποιότητα πετρώματος (50-75%).

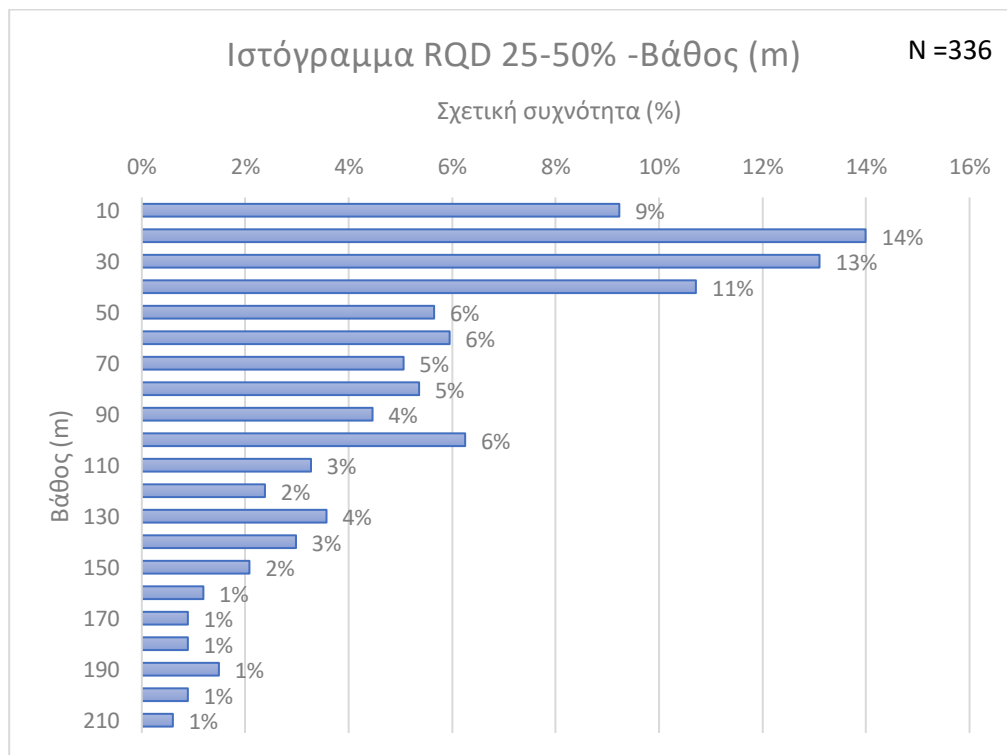


Διάγραμμα 18: Ποσοστά σχετικής συχνότητας RQD (%).

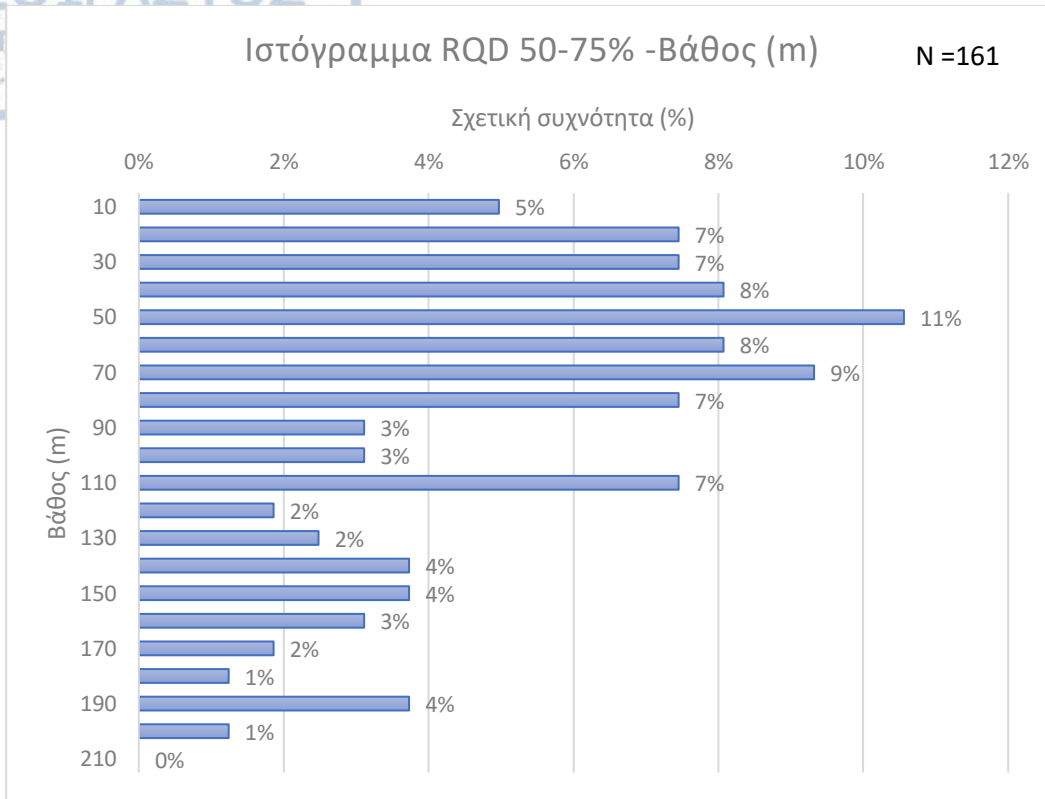
Για να δοθεί μια σαφέστερη εικόνα για την κατανομή των ομάδων που χαρακτηρίζουν την ποιότητα του πετρώματος, προέκυψαν διαγράμματα σε σχέση με το βάθος. Για την ομάδα με RQD% από 0-25% παρατηρείται ότι τα μεγαλύτερα ποσοστά βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια σε βάθος μέχρι και 40m, όπως επίσης και για την ομάδα με ποσοστά RQD% 25-50% που χαρακτηρίζει πετρώματα πτωχής ποιότητας. Για την κατηγορία με ποσοστά 50-75 RQD% που χαρακτηρίζει πετρώματα μέτριας ποιότητας παρατηρείται ότι η συχνότητα εμφάνισης της είναι μεγαλύτερη σε μεγαλύτερα βάθη σε σχέση με τα βάθη που εντοπίζονται οι δυο προηγούμενες κατηγορίες. Ενώ τέλος για τις δυο τελευταίες κατηγορίες όπου χαρακτηρίζουν καλής και πολύ καλής ποιότητας σχηματισμούς δεν παρατηρούνται υψηλά ποσοστά σε μεγάλα βάθη.



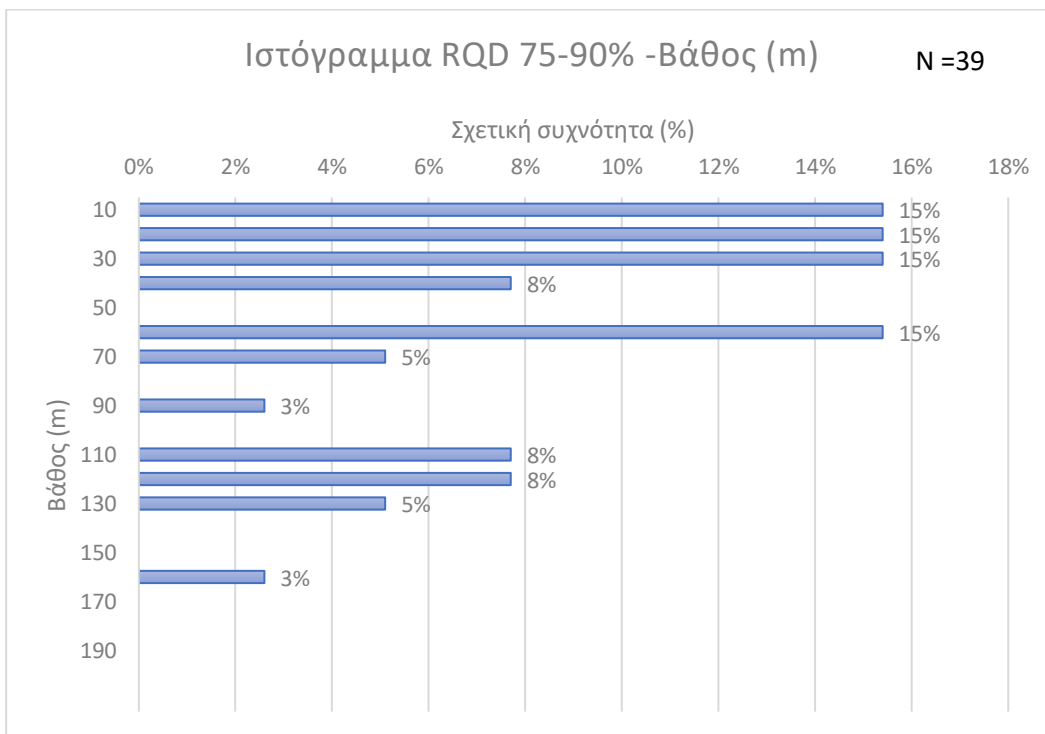
Διάγραμμα 19: Ποσοστά σχετικής συχνότητας RQD 0-25% -Βάθος (m).



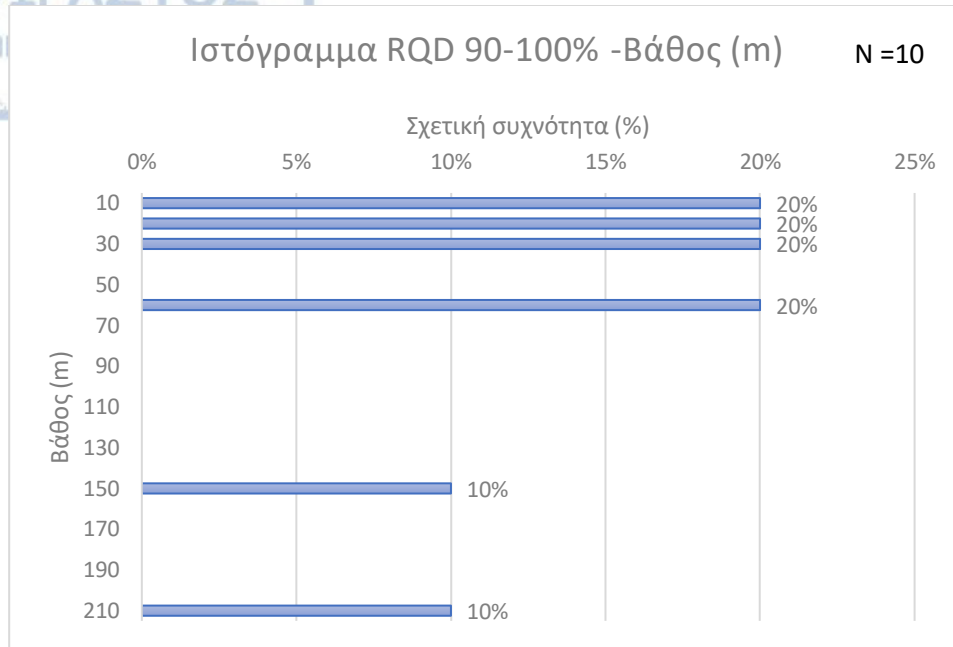
Διάγραμμα 20: Ποσοστά σχετικής συχνότητας RQD 25-50% -Βάθος (m).



Διάγραμμα 21: Ποσοστά σχετικής συχνότητας RQD 50-75% -Βάθος (m).

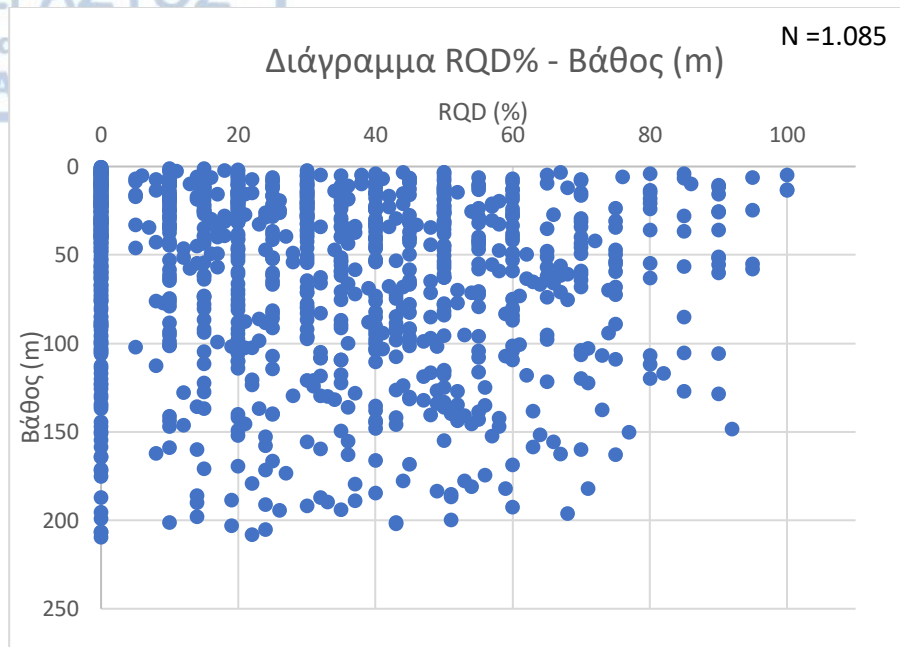


Διάγραμμα 22: Ποσοστά σχετικής συχνότητας RQD 75-90% -Βάθος (m).



Διάγραμμα 23: Ποσοστά σχετικής συχνότητας RQD 90-100% -Βάθος (m).

Από το διάγραμμα διασποράς των ποσοστών του Δείκτη Ποιότητα Πετρώματος με το βάθος παρατηρείται ότι η ποιότητα που πετρώματος στην επιφάνεια καλύπτει όλο το εύρος των κατηγοριών με τις περισσότερες τιμές να χαρακτηρίζονται από ποιότητα πολύ πτωχή (0-25%) έως πτωχή (25-50%). Σε μεγαλύτερα βάθη εξακολουθεί να ακολουθείται αυτή η κατηγοριοποίηση, δείχνοντας ότι για τους σχηματισμούς, όσο το βάθος που εξετάζεται αυξάνεται δεν δημιουργούνται ευνοϊκότερες συνθήκες. Υψηλές τιμές που χαρακτηρίζουν καλύτερης ποιότητας πετρώματα (RQD>75%) υπάρχουν και κατανέμονται από την επιφάνεια μέχρι το μεγαλύτερο βάθος στο οποίο αναφέρονται τα δεδομένα. Έτσι οι τιμές που χαρακτηρίζουν καλύτερης ποιότητας πέτρωμα δεν συγκεντρώνονται μόνο σε μεγαλύτερα βάθη, επομένως αποδεικνύεται ότι όσο αυξάνεται το βάθος η ποιότητα των σχηματισμών στην περιοχή έρευνας είναι καλύτερη.



Διάγραμμα 24: RQD (%)- Βάθος (m) .

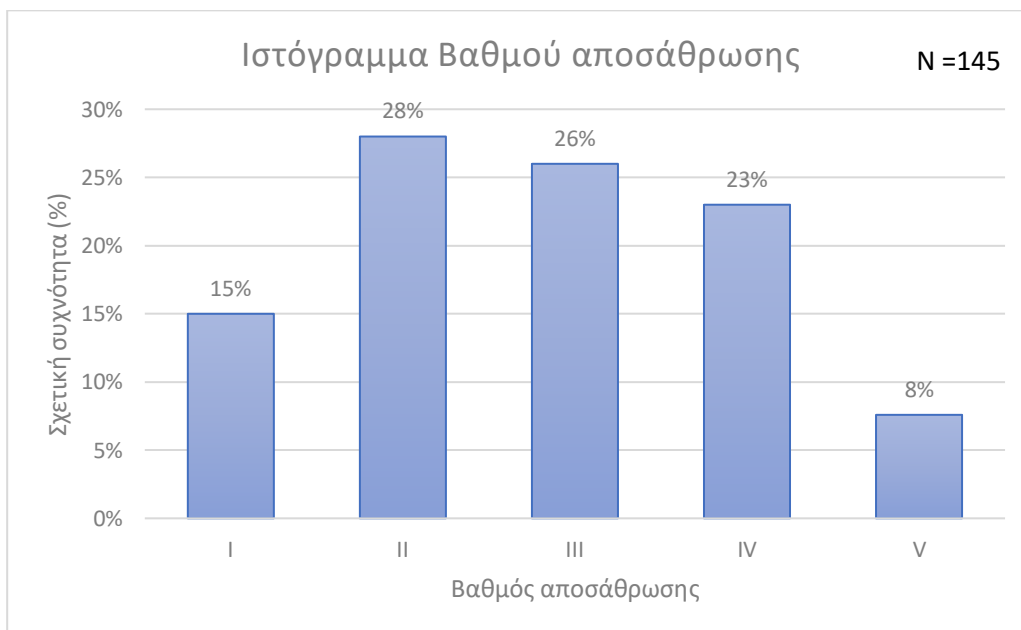
4.5. Αξιολόγηση της αποσάθρωσης της βραχομάζας

Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο δίνονται διαγράμματα τα οποία εξετάζουν την αποσάθρωση των σχηματισμών τόσο ως προς την συχνότητα εμφάνισης των διαφορετικών βαθμών αποσάθρωσης που εντοπίζονται στην περιοχή όσο και η παρουσία αυτών των βαθμών απόρθωσης σε σχέση με το βάθος. Τα δεδομένα που επεξεργάστηκαν ώστε να προκύψουν τα παρακάτω διαγράμματα αφορούν 145 παρατηρήσεις.

Πίνακας 17: Κατηγορίες πετρωμάτων με βάση το βαθμό αποσάθρωσης (Anonymous,1981).

Κατηγορία πετρώματος	Περιγραφή	Κατηγορία κατά την ISRM
Υγιές (F)	Χωρίς ίχνη αποσάθρωσης	I
Ελάχιστα αποσαθρωμένο	Η αποσάθρωση περιορίζεται στις επιφάνειες των ασυνεχειών	II
Ολίγον αποσαθρωμένο	Έντονη αποσάθρωση στις επιφάνειες των ασυνεχειών και ελαφριά αποσάθρωση στη μάζα του υλικού	III
Μετρίως αποσαθρωμένο	Εκτεταμένη αποσάθρωση στη μάζα του υλικού, χωρίς το υλικό να παρουσιάζει ευθρυπτότητα	IV
Έντονα αποσαθρωμένο	Εκτεταμένη αποσάθρωση στη μάζα του υλικού, με τοπική ευθρυπτότητα του υλικού	V
Πλήρως αποσαθρωμένο	Πλήρης αποσάθρωση και μεγάλη ευθρυπτότητα του υλικού, με διατήρηση της υφής και της δομής	VI
Έδαφος	Η υφή και η δομή του υλικού έχει καταστραφεί και το υλικό μπορεί να χαρακτηριστεί ως έδαφος (υπολειμματικός σχηματισμός)	-

Αρχικά από την προβολή της κατηγοριοποίησης των δεδομένων των βαθμών αποσάθρωσης παρατηρείται ότι τα μεγαλύτερα ποσοστά αφορούν τις ομάδες βαθμών αποσάθρωσης II-IV ενώ μικρά ποσοστά συναντώνται στους τύπους I και V. Το 28% που είναι και το μεγαλύτερο ποσοστό αναφέρεται σε ελαφρά αποσαθρωμένους (II) σχηματισμούς, το 26% αναφέρεται σε μετρίως αποσαθρωμένους (III) σχηματισμούς ενώ το 23% αναφέρεται σε υψηλά αποσαθρωμένους (IV). Έτσι παρατηρείται ότι οι διαφορές μεταξύ των ποσοστών είναι μικρές ενώ αυτό το εύρος κατηγοριών αποσάθρωσης φαίνεται να εμφανίζεται περισσότερο στην περιοχή έρευνας.

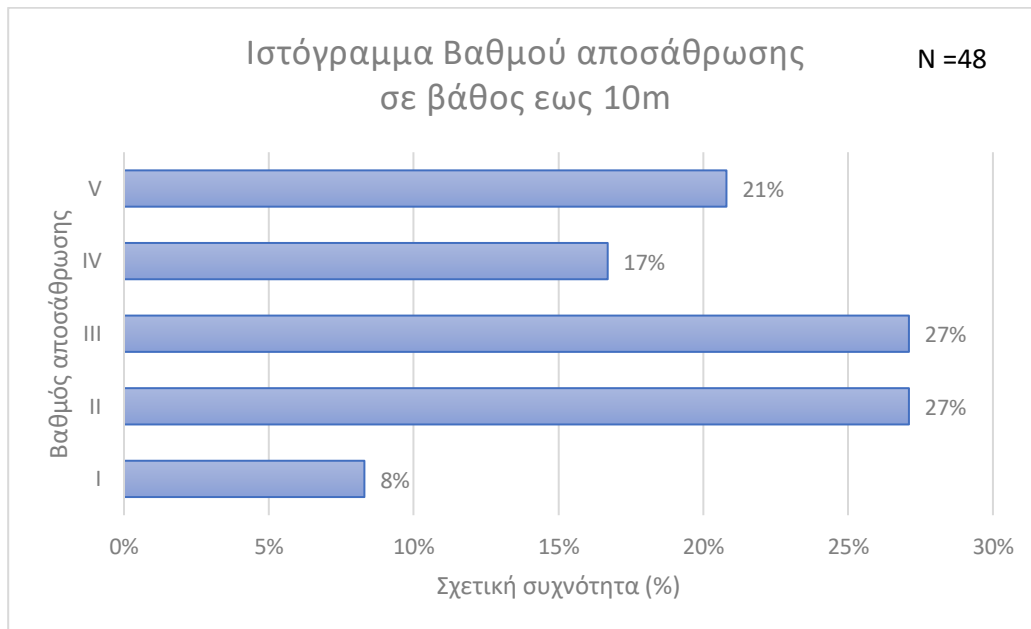


Διάγραμμα 25: Ποσοστά σχετικής συχνότητας βαθμών αποσάθρωσης.

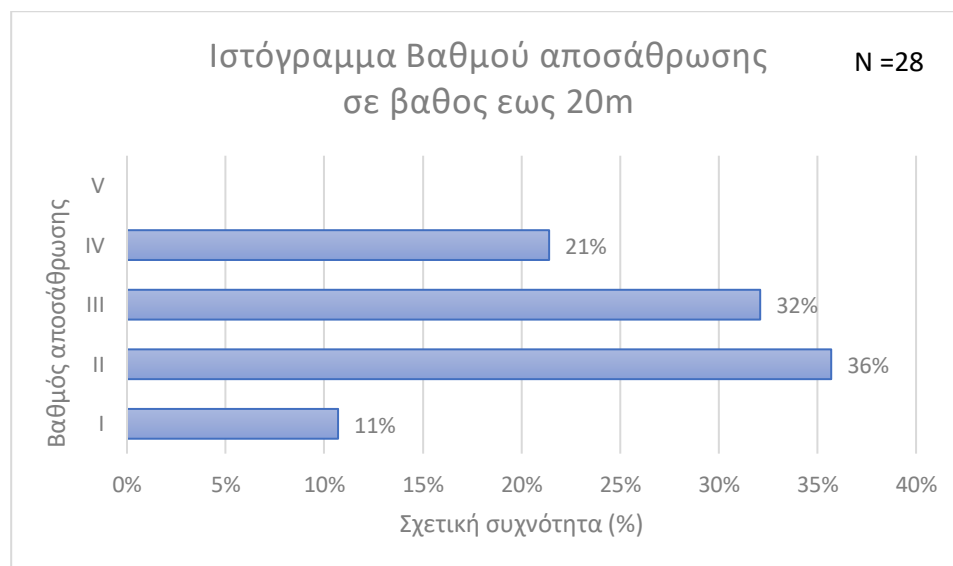
Για τον σαφέστερο προσδιορισμό των κατηγοριών αποσάθρωσης που συναντήθηκαν σε σχέση με το βάθος, διαχωρίστηκαν τα βάθη που εξετάστηκαν σε κατηγορίες. Δίνεται ιδιαίτερη σημασία σε σχετικά μικρά βάθη όπου η αποσάθρωση αναμένεται να είναι και πιο έντονη. Στην περίπτωση των διαγραμμάτων μεγαλύτερων βαθμών δόθηκε ένα μεγαλύτερο εύρος βάθους ώστε οι διαθέσιμες παρατηρήσεις να αποδώσουν μια γενικότερη εικόνα της αποσάθρωσης.

Έτσι σε βάθη ως και 10m το μεγαλύτερο ποσοστό κατηγοριών αποσάθρωσης αναφέρεται στον τύπο II και III ενώ υπάρχει και ποσοστό 21% που αφορά τον τύπο αποσάθρωσης V. Σε βάθη ως και 20m οι τύποι II, III φαίνεται να συνεχίζουν να έχουν μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης ενώ υπάρχει απουσία του τύπου V σε αυτό το εύρος βάθους. Στο συγκεκριμένο βάθος το ποσοστό 21% χαρακτηρίζει τον τύπο IV.

Ενώ και στις δυο περιπτώσεις εύρους βάθους υπάρχει ποσοστό περίπου 10% που χαρακτηρίζεται με τύπο αποσάθρωσης I.



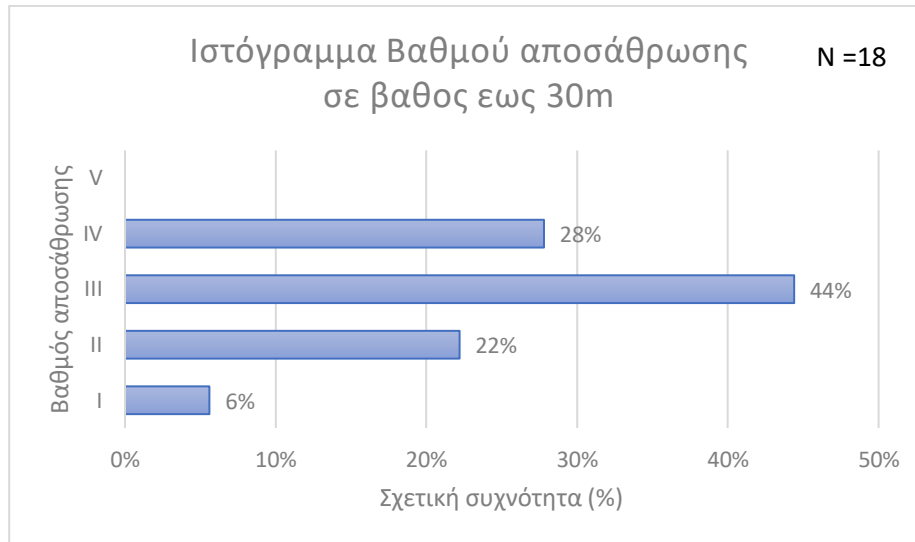
Διάγραμμα 26: Ποσοστά σχετικής συχνότητας βαθμών αποσάθρωσης σε βάθος έως 10m.



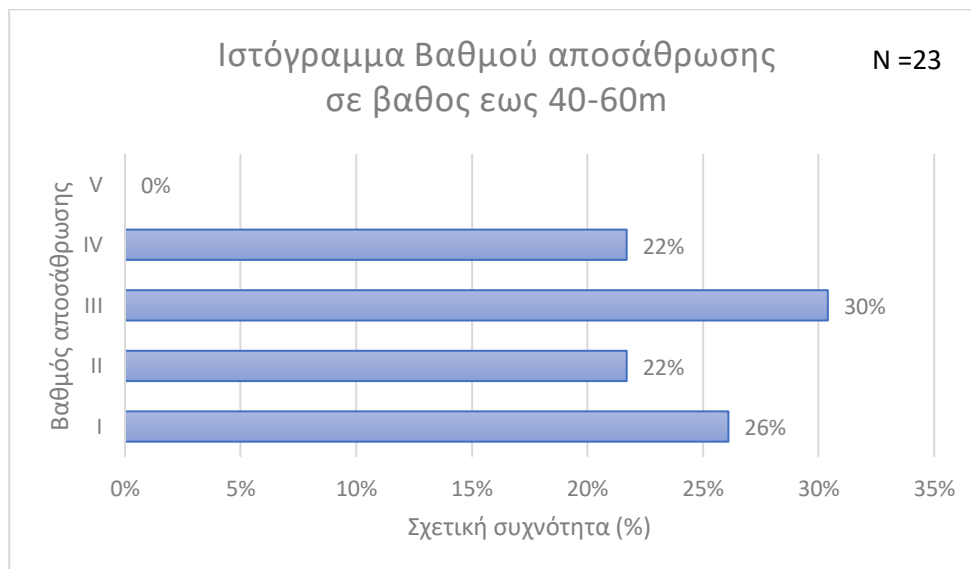
Διάγραμμα 27: Ποσοστά σχετικής συχνότητας βαθμών αποσάθρωσης σε βάθος έως 20m.

Στην περίπτωση εύρους βάθους από 20 έως 30m το 44% των παρατηρήσεων αφορά ελαφρώς αποσαθρωμένους σχηματισμούς. Στον τύπο IV αναφέρεται το 28% των παρατηρήσεων ενώ το 22% αναφέρεται στον τύπο II.

Για βάθη από 40 έως 60m παρατηρείται ότι και εδώ ελαφριά αποσάθρωση των σχηματισμών με μεγαλύτερο ποσοστό εμφάνισης, ενώ τα ποσοστά όπου χαρακτηρίζουν χαμηλότερους βάθους αποσάθρωσης φαίνονται αυξημένα σε σχέση με τα εύρη βαθών που εξετάστηκαν στα προηγούμενα διαγράμματα. Όμως ακόμη και σε αυτό το βάθος ο τύπος αποσάθρωσης IV κατέχει ποσοστό κοντά στο 20%.



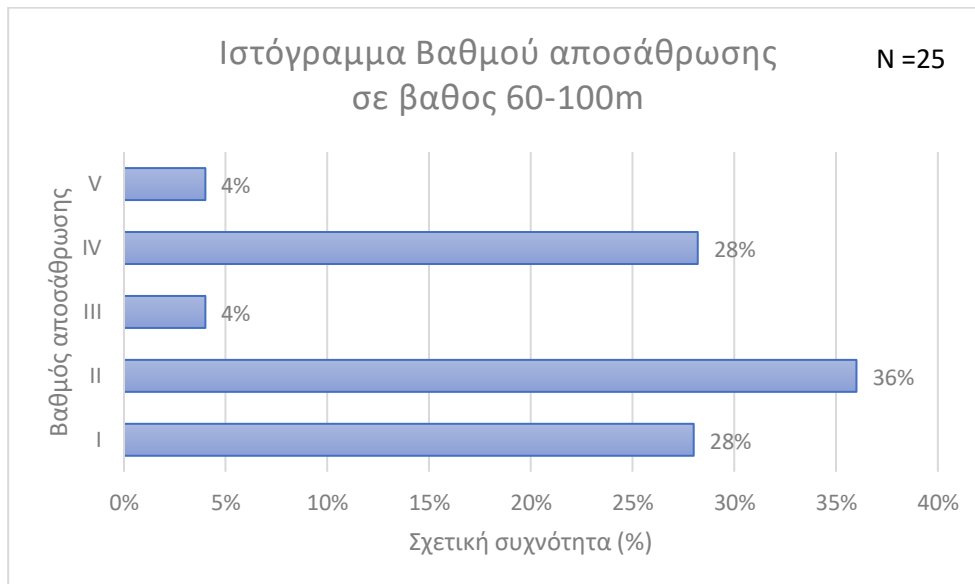
Διάγραμμα 28: Ποσοστά σχετικής συχνότητας βαθμών αποσάθρωσης σε βάθος έως 30m.



Διάγραμμα 29: Ποσοστά σχετικής συχνότητας βαθμών αποσάθρωσης σε βάθος 40-60m.

Στο εύρος βάθους από 60 έως 100m παρατηρείται ότι οι κατηγορίες που χαρακτηρίζουν μικρή επίδραση της αποσάθρωσης κατέχουν μεγαλύτερα ποσοστά. Ο τύπος αποσάθρωσης IV σε αυτό το εύρος βάθους ακολουθεί με ποσοστό 28%. Ενώ οι τύποι III και V έχουν πολύ χαμηλό ποσοστό εμφάνισης.

Γενικότερα παρατηρείται μια μείωση της αποσάθρωσης με το βάθος. Όμως στην περίπτωση του εύρους που αναφέρεται σε σχετικά μεγάλα βάθη, το εύρος είναι αρκετά μεγάλο ώστε να δώσει μια σαφή εικόνα. Έτσι παρατηρείται ότι η αποσάθρωση έχει μια μικρή μείωση με το βάθος αλλά φαίνεται να εντοπίστηκαν όλοι οι τύποι αποσάθρωσης σχεδόν εξίσου.



Διάγραμμα 30: Ποσοστά σχετικής συχνότητας βαθμών αποσάθρωσης σε βάθος 60-100m.

4.6. Αξιολόγηση της ποιότητας της βραχώμαζας- σύστημα ταξινόμησης Q

4.6.1. Γεωτεχνική ταξινόμηση με βάση το σύστημα ταξινόμησης Q

Το σύστημα Q αναπτύχθηκε με σκοπό να αποτελέσει ένα βοηθητικό εργαλείο για ταξινομήσεις βραχομαζών και εδαφών, εκτίμηση της απαιτούμενης υποστήριξης σε υπόγειες εκσκαφές. Η πρώτη επίσημη αναφορά πραγματοποιήθηκε από τους N. Barton, R. Lien και J. Lunde (1974). Αργότερα, συμπεριέλαβε ως βασικό παράγοντα την «Νορβηγική μέθοδο διάνοιξης σηράγγων» (NMT), το συμπλήρωμα της NATM (Νέας Αυστριακής Μεθόδου Διάνοιξης Σηράγγων).

Η ποιότητα της βραχώμαζας που εκτιμάται με τη μέθοδο Q θεωρείται αποτέλεσμα τριών βασικών παραμέτρων:

- I. Του σχετικού μεγέθους βραχωδών όγκων (RQD/Jn) όπου αντιπροσωπεύει τη δομή της βραχόμαζας και λαμβάνει δύο ακραίες τιμές, τις 100/0,5 και 10/20) χωρίς να παίρνει τιμές πάνω από 400.
- II. Της διατμητικής αντοχής μεταξύ βραχωδών όγκων (Jr/Ja), αντιπροσωπεύει τα χαρακτηριστικά τριβής των ασυνεχειών και τη σκληρότητα με ή χωρίς υλικό πλήρωσης. Η επαφή των βραχωδών τεμαχίων μπορεί να είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας μετά από μικρές διατμητικές μετατοπίσεις για την αποτροπή αστοχιών κατά την εκσκαφή. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει επαφή μεταξύ των βραχωδών τεμαχίων, δημιουργούνται συνθήκες που συμβάλουν στην αστάθεια των σηράγγων. Ο λόγος Jr/Ja περιγράφει την κατάσταση των ασυνεχειών. Ο προσδιορισμός του γίνεται από αναγνωρίσιμα χαρακτηριστικά των ασυνεχειών.
- III. Των δρωσών (Jw/SRF): Πρόκειται για μια εμπειρική αναλογία που αφορά δύο βασικές παραμέτρους. Δεν είναι δυνατό να συνδυαστούν αυτές οι δύο παράμετροι για τον υπολογισμό της εσωτερικής τάσης των βραχωδών τεμαχίων, καθώς έχει παρατηρηθεί ότι μια υψηλή τιμή τάσης μπορεί σε κάποιες περιπτώσεις να σημαίνει μικρότερο ποσοστό ευστάθειας σε σχέση με την περίπτωση χαμηλή τάσης, ενώ υπάρχει υψηλή τιμή διατμητικής τάσης (Hoek, 2004).

Οι παράμετροι που αναφέρονται πιο πάνω συνδυάζονται, και εκφράζουν την ποιότητα της βραχόμαζας. Ο υπολογισμός του Q δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$Q = (RQD/Jn)(Jr/Ja)(Jw/SRF)$$

Οι παράγοντες χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του δείκτη Q είναι:

- RQD
- Jn = συντελεστής που περιγράφει από τον αριθμό των συστημάτων διακλάσεων παίρνει τιμές με εύρος 0,5-20. Ο συντελεστής συμπεριλαμβάνει τις περιπτώσεις συμπαγούς βραχόμαζας χωρίς διακλάσεις και θρυμματισμένης βραχόμαζας (έδαφος).
- Jr = συντελεστής τραχύτητας των τοιχωμάτων των ασυνεχειών, παίρνει τιμές με εύρος 1-4. Οι ασυνέχειες βάσει της τραχύτητας των τοιχωμάτων τους χωρίζονται σε έξι κατηγορίες που καλύπτουν το εύρος περιγραφής ασυνεχειών ασυνεχείς και τραχείες - ολισθηρές και επίπεδες. Συμπεριλαμβάνει επίσης ρηξιγενείς και διατμητικές ζώνες.

- J_a = συντελεστής αποσάθρωσης των τοιχωμάτων των ασυνεχειών ή του υλικού πλήρωσής τους κυμαίνεται στο εύρος τιμών 0,75-20. Ο συντελεστής αυτός εξαρτάται από την αποσάθρωση, την παρουσία του υλικού πλήρωσης, ενώ συνυπολογίζει την γωνία τριβής των επιφανειών.

- J_w = συντελεστής παρουσίας του νερού στις ασυνέχειες κυμαίνεται στο εύρος 0,05- 1. Η βαθμονόμησή του αφορά την παροχή και την πίεση νερού που διέρχεται από τις διακλάσεις. Μικρές ροές νερού ($J_w \geq 0,5$) επιδρούν αρνητικά στις εκσκαφές, όμως δεν έχουν σημαντική επίδραση στον καθορισμό υποστήριξης. Για ροές νερού όπου $J_w < 0,5$, περιορίζεται η χρήση σκυροδέματος καθώς το νερό επιδρά αρνητικά σε αυτό. Οι ασυνέχειες, οι ρωγμές και η ανακατανομή των τάσεων έχουν Αποτέλεσμα την μείωση υδροστατικών πιέσεων.

SRF = συντελεστής μείωσης των τάσεων κυμαίνεται σε εύρος τιμών 0,5-15 (Barton, 1983). Ο συντελεστής συμπεριλαμβάνει αρκετούς παράγοντες. Αυτοί αναφέρονται στο πεδίο τάσεων, στη δομή της βραχομάζας, στο βάθος εκσκαφής, στον τεκτονικό καθεστώς της περιοχής και έμμεσα τη θλιπτική αντοχή του πετρώματος. Ο συντελεστής αποτελεί μέτρηση:

- χαλάρωσης σε ασθενείς ζώνες / ρήγματα
- τάσεις του βράχου
- φορτία πίεσης για πλαστικά πετρώματα
- φορτία διόγκωσης που προκαλούνται από το νερό

Βάσει της τιμής του Δείκτη Ποιότητας Q χαρακτηρίζεται η βραχομάζα από εξαιρετικά καλή, έως εξαιρετικά φτωχή.

Πίνακας 18: Γεωτεχνική ταξινόμηση σύμφωνα με το σύστημα Q.

ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ RQD	RQD
Πολύ φτωχή	0-25
Φτωχή	25-50
Μέτρια	50-75
Καλή	75-90
Άριστη	90-100

1. Όταν το RQD αναφέρεται ή μετράται ≤ 10 , τότε μία τιμή ίση με 10 χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του Q. 2. Διαφορές RQD=5 π.χ.90,95,100 κτλ. Είναι επαρκώς ακριβείς	
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΡΙΘΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΔΙΑΚΛΑΣΕΩΝ	Jn
Συμπαγές, χωρίς ή με λίγες διακλάσεις	0,5 - 1,0
Ένα σύστημα διακλάσεων	2,0
Ένα σύστημα διακλάσεων και επί πλέον τυχαίες	3,0
Δύο συστήματα διακλάσεων	4,0
Δύο συστήματα διακλάσεων και επί πλέον τυχαίες	6,0
Τρία συστήματα διακλάσεων	9,0
Τρία συστήματα διακλάσεων και επί πλέον τυχαίες	12,0
Τέσσερα ή περισσότερα συστήματα διακλάσεων, τυχαίες	15,0
Ισχυρά διακλασμένο, «κύβοι ζάχαρης», κτλ.	20,0
Θρυμματισμένα πέτρωμα με μορφή εδαφικού σχηματισμού	
1. Για διασταυρώσεις: 3Jn 2. Για εισόδους: 2Jn	
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΔΙΑΚΛΑΣΕΩΝ	Jr
(α) Τοιχώματα βράχων σε επαφή (β) Τοιχώματα βράχων σε επαφή πριν από διάτμηση 10cm	
Ασυνεχείς διακλάσεις	4,0
Τραχείες ή κυματώδεις, ακανόνιστες	3,0
Λείες, κυματώδεις	2,0
Ολισθηρές, επίπεδες	1,5
Τραχείες ή ακανόνιστες, επίπεδες	1,5
Λείες, επίπεδες	1,0
Ολισθηρές, επίπεδες	0,5

(γ) Τοιχώματα βράχων χωρίς επαφή κατά τη διάτμηση		
Ζώνη με ορυκτά αργίλου αρκετού πάχους ώστε να μην εφάπτονται τα τοιχώματα		1,0
Αμμώδεις, χαλικώδεις ή θραυστές ζώνες αρκετού πάχους ώστε να εμποδίζεται η επαφή των τοιχωμάτων του πετρώματος		1,0
<p>1. Προστίθεται 1,0 αν η μέση απόσταση του κύριου συστήματος διακλάσεων είναι μεγαλύτερη από 3m</p> <p>2. $J_r = 0,5$ δυνατόν να χρησιμοποιηθεί για επίπεδες ολισθηρές διακλάσεις με προσανατολισμένες γραμμώσεις κατά τη διεύθυνση της ελάχιστης αντοχή</p>		
ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ ΔΙΑΚΛΑΣΕΩΝ	Φ(ο)	Ja
(α) Χωρίς ουσιαστικό υλικό πλήρωσης, επαφή τοιχωμάτων		
«Πληρωμένες» υγιείς, σκληρές, αδιαπέρατο υλικό πλήρωσης όπως χαλαζίας ή επίδοτο	-	0,75
Ελαφριά αποσαθρωμένα τοιχώματα, δεν υπάρχει αποσάθρωση	25-35	1,0
Ελαφρά αποσαθρωμένα τοιχώματα διακλάσεων. Μη μαλακές επιστρώσεις ορυκτών, αμμώδεις κόκκοι, μη αργιλώδες αποσυντεθημένο πέτρωμα	25-30	2,0
Ιλυώδεις ή αμμώδεις επιστρώσεις αργίλου, μικρό κλάσμα αργίλου	20-25	3,0
Μαλακές η μικρής τριβής φ επιστρώσεις από αργιλικά ορυκτά (καολινίτης, μαρμαρυγίες), επίσης τάλκης, χλωρίτης, γύψος, γραφίτης, και μικρές ποσότητες από διογκούμενες αργίλου	8-16	4,0
(β) Με υλικό πλήρωσης, τοιχώματα σε επαφή 10cm πριν από διάτμηση		
Αμμώδεις κόκκοι, χωρίς άργιλο, θρυμματισμένο πέτρωμα	25-30	4,0
Ισχυρά υπερστερεοποιημένα μη μαλακά αργιλικά ορυκτά ως υλικό πλήρωσης (συνεχείς διακλάσεις, πάχους < 5mm)	16-24	6,0
Μέσα ή χαμηλά υπερστερεοποιημένα μαλακά αργιλικά ορυκτά ως υλικό πλήρωσης (συνεχείς διακλάσεις, πάχους	12-16	8,0
Διογκούμενη άργιλος πλήρωσης όπως μοντμοριλονίτης, (συνεχείς, πάχους < 5mm). Οι τιμές του Ja εξαρτώνται από το ποσοστό του μεγέθους των διογκούμενων αργιλικών κόκκων και την πρόσβαση σε νερό	6-12	8,0-12,0
(γ) Τοιχώματα βράχων χωρίς επαφή κατά τη διάτμηση		

Ζώνες ή τμήμα από αποσυντεθημένο ή θρυμματισμένο πέτρωμα και άργιλο (ανάλογα με τον τύπο του αργιλικού υλικού, βλέπε G,H,I)	6-24	6,0, 8,0 ή 8,0-12,0
Ζώνες ή τμήμα από ιλυώδη ή αμμώδη άργιλο, μικρή ποσότητα μη μαλακής αργίλου	-	
Από στιφρή άργιλο > 5mm πάχους, συνεχείς	6-24	10,0
Από μαλακή άργιλο > 5mm πάχους, συνεχείς		13,0
Από διογκούμενη άργιλο > 5mm πάχους, συνεχείς		13,0-20,0
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΝΕΡΟΥ ΤΩΝ ΔΙΑΚΛΑΣΕΩΝ	Πίεση νερού (kg/cm²)	Jw
Ξηρή εκσκαφή με λίγες εισροές (τοπικά <5l/min)	<1.0	1.0
Μέση εισροή νέου ή πίεση, περιστασιακή έκπλυση του υλικού πλήρωσης των διακλάσεων	1-2.5	0.66
Μεγάλη εισροή ή υψηλή πίεση σε ρωγμές χωρίς υλικό πλήρωσης	2.5-10	0.5
Μεγάλη εισροή ή υψηλή πίεση (ρωγμές με υλικό πλήρωσης που αποπλένεται σημαντικά)	2.5-10	0.33
Εξαιρετικά υψηλή εισροή ή πίεση υπό εκτόνωση με προοδευτική μείωση με το χρόνο	>10	0.2-0.1
Εξαιρετικά υψηλή συνεχής παροχή ή πίεση που δεν μειώνεται με το χρόνο	>10	0.1-0.05
1. Αύξηση Jw αν υπάρχει αποστράγγιση. Οι συντελεστές C-F υπολογίστηκαν χωρίς επεξεργασία 2. Δεν έχουν ληφθεί υπόψη ειδικά προβλήματα από σχηματισμό πάγου		
ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΑΣΕΩΝ	SRF	
(α) Ασθενούς αντοχής ζώνες που τέμνουν την εκσκαφή και που μπορούν να προκαλέσουν χαλάρωση της βραχώμαζας κατά την διάνοιξη της σήραγγας .		
Πολλαπλές εμφανίσεις ασθενών ζωνών με αργιλικό υλικό ή χημικών, αλλοιωμένο πέτρωμα, πολύ χαλαρό περιβάλλον πέτρωμα (για οποιοδήποτε βάθος)		10
Μεμονωμένες ασθενείς ζώνες με αργιλικό υλικό ή χημικών, αλλοιωμένο πέτρωμα, (βάθος εκσκαφής < 50m)		5.0
Μεμονωμένες ασθενείς ζώνες όπως παραπάνω (βάθος εκσκαφής > 50m)		2.5

Πολλαπλές ζώνες διάτμησης σε συμπαγές πέτρωμα, χωρίς αργιλικό υλικό πλήρωσης, χαλαρό περιβάλλον πέτρωμα (για οποιοδήποτε βάθος)				7.5
Μεμονωμένες ζώνες διάτμησης σε συμπαγές πέτρωμα, χωρίς αργιλικό υλικό πλήρωσης (βάθος εκσκαφής <50m)				5.0
Μεμονωμένες ζώνες διάτμησης σε συμπαγές πέτρωμα, χωρίς αργιλικό υλικό πλήρωσης (βάθος εκσκαφής >50m)				2.5
Χαλαρές ανοιχτές ασυνέχειες, έντονα διακλασμένο μάζα ή «κύβοι ζάχαρης» (για οποιοδήποτε βάθος) ²				5.0
(β) Συμπαγές πέτρωμα, πέτρωμα με προβλήματα τάσεων ³	σc/σ1	στ/σ1		
Χαμηλές τάσεις, κοντά στην επιφάνεια	>200	>13		2.5
Μέσες τάσεις	200-10	13-0.66		1.0
Υψηλές τάσεις, πολύ «συμπαγής» δομή (συνήθως ευνοϊκή επίδραση στην ευστάθεια, δυνατή όμως δυσμενή επίδραση στην ευστάθεια των τοιχωμάτων)	10-5	0.66-0.33		0.5-2.0
Ελαφρά «εκτίναξη» συμπαγούς πετρώματος	5-2.5	0.33-0.16		5-10
Έντονη «εκτίναξη» συμπαγούς πετρώματος	<2.5	<0.16		10-20
(γ) Συμπιεστό πέτρωμα, πλαστική ροή όλκιμου πετρώματος κάτω από υψηλές πιέσεις				
Μέτρια πίεση από τη συμπιεστότητα				5-10
Μεγάλη πίεση από τη συμπιεστότητα				10-20
(δ) Διογκούμενο πέτρωμα, «χημική» διόγκωση σε συνάρτηση με την πίεση του νερού				
Μέτρια πίεση από διόγκωση				5-10
Μεγάλη πίεση από διόγκωση				10-15
<p>1. Οι τιμές του SRF μειώνονται κατά 25-50% όταν οι ασθενείς ζώνες διάτμησης δεν τέμνουν την εκσκαφή αλλά απλώς την επηρεάζουν. 2. Σε έντονα ανισότροπο πεδίο (αν μετρηθεί): α) όταν $5 \leq \sigma_1 / \sigma_3 \leq 10$ μειώνεται η σc και στ κατά 40%, όπου σc: αντοχή στη μοναξονική θλίψη, στ: αντοχή στον εφελκυσμό (φόρτιση αιχμής), σ_1 και σ_3: μέγιστη και ελάχιστη κύρια τάση 3. Η σc και στ πρέπει να αντιστοιχούν στη διεύθυνση που είναι δυσμενής για την ευστάθεια σε περίπτωση ανισότροπου πετρώματος. 4. Οι συγγραφείς (Barton et al, 1974) δεν έχουν στοιχεία από πραγματικές περιπτώσεις όταν η σήραγγα βρίσκεται σε βάθος μικρότερο από το εύρος της, προτείνουν τότε μια αύξηση του SRF από 2,5 σε 5</p>				

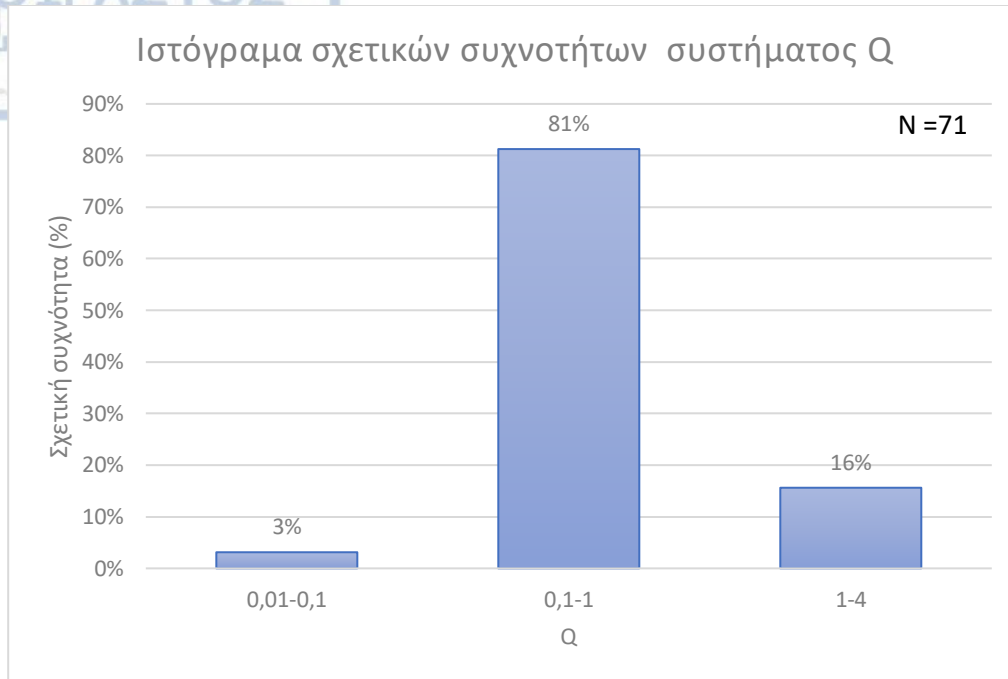
Πίνακας 19: Χαρακτηρισμός ποιότητας βραχώμαζας κατά Q System (Barton et al, 1974).

Q	P (kg/cm ²)	Χαρακτηρισμός ποιότητας για σήραγγες
0,001-0,01	12.0	Εξαιρετικά φτωχή
0,01-0,1	6.0	Πάρα πολύ φτωχή
0,1-1,0	2.25-3.0	Πολύ φτωχή
1-4	1.5	Φτωχή
4-10	1.0	Μέτρια
10-40	0.5	Καλή
40-100	0.25	Πολύ καλή
100-400	0.05	Πάρα πολύ καλή
400-1000	0.01	Εξαιρετικά καλή

4.6.2. Στατιστική επεξεργασία αξιολογήσεων με βάση το σύστημα ταξινόμησης Q

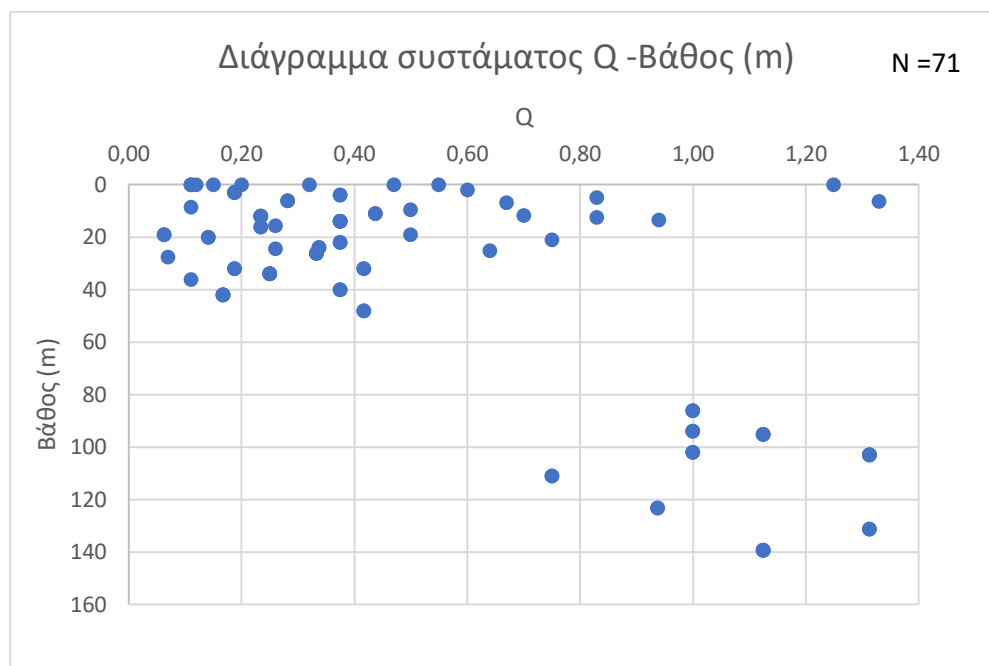
Σύμφωνα με τα δεδομένα που επεξεργάστηκαν για την αξιολόγηση των σχηματισμών της ευρύτερης περιοχής με βάση το σύστημα ταξινόμησης Q δημιουργήθηκε ιστόγραμμα το οποίο αποδίδει το ποσοστό σχετικής συχνότητας κάθε κατηγορίας ποιότητας αλλά και διάγραμμα στο οποίο φαίνεται η κατανομή του στο βάθος. Οι τιμές των δεδομένων που επεξεργάστηκαν είναι 71.

Συμφώνα με το ιστόγραμμα στο οποίο παρουσιάζονται τα ποσοστά σχετικής συχνότητας φαίνεται ότι το 81% των σχηματισμών χαρακτηρίζεται από πολύ πτωχή ποιότητα. Το ποσοστό αυτό είναι αρκετά μεγάλο και χαρακτηριστικό ώστε να εκτιμηθεί η ποιότητα των σχηματισμών. Το 16% των σχηματισμών φαίνεται να έχει καλύτερη ποιότητα η οποία χαρακτηρίζεται ως πτωχή. Τέλος το 3% των τιμών που εξετάστηκαν ανήκει στην κατηγορία με τον χαρακτηρισμό πάρα πολύ πτωχής ποιότητας. Με βάση αυτά τα ποσοστά οι σχηματισμοί στην περιοχή έρευνας χαρακτηρίζονται ως πολύ πτωχής ποιότητας.



Διάγραμμα 31: Ποσοστά σχετικής συχνότητας Q .

Από το διάγραμμα διασποράς του συστήματος με το βάθος φαίνεται ότι κοντά στην επιφάνεια οι σχηματισμοί διαχωρίζονται σε τρεις κατηγορίες. Αυτές οι κατηγορίες χαρακτηρίζουν την ποιότητα των σχηματισμών από πάρα πολύ πτωχή έως πτωχή. Σε μεγαλύτερα βάθη η ποιότητα των σχηματισμών χαρακτηρίζεται από πολύ πτωχή έως πτωχή.



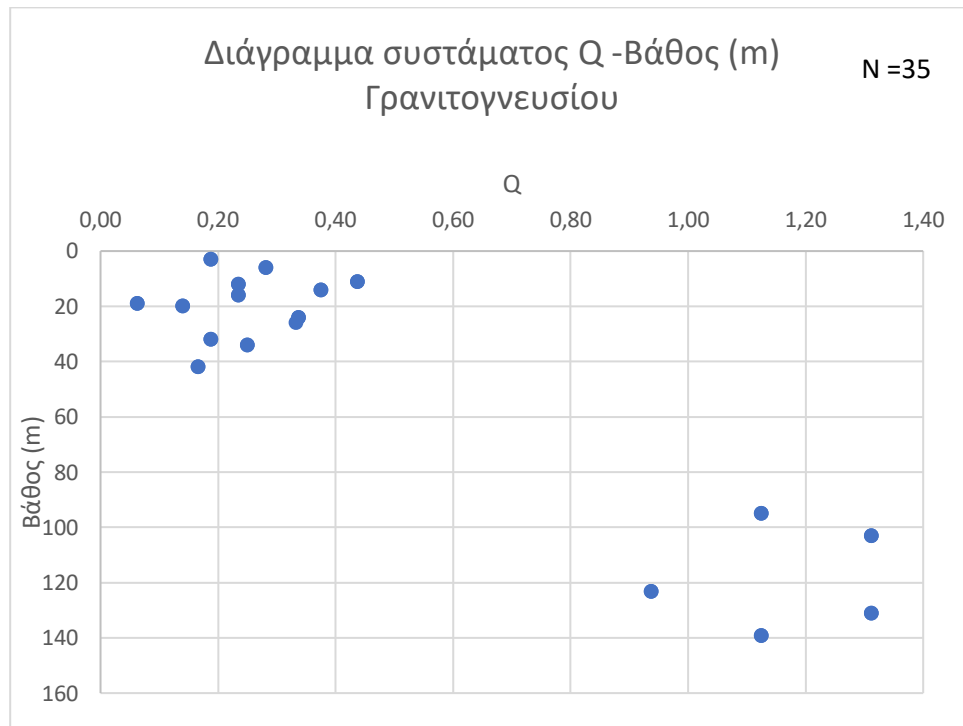
Διάγραμμα 32: Σύστημα ταξινόμησης Q – Βάθος (m).

Αφού πραγματοποιήθηκε γενικότερη επεξεργασία για την κατανόηση της ποιότητας των σχηματισμών έγινε διαχωρισμός των τιμών με τις οποίες αυτοί έχουν βαθμονομηθεί με βάση τον σχηματισμό που χαρακτηρίζουν. Διακρίθηκαν τρεις διαφορετικοί σχηματισμοί. Αυτοί είναι:

- Γρανιτογενεύσιος
- Γνεύσιος
- Γρανίτης

Η βαθμονόμηση του γρανιτογενευσίου αφορά 35 παρατηρήσεις ενώ ο σχηματισμός του γνευσίου αφορά 34 παρατηρήσεις. Ο σχηματισμός του γρανίτη αφορά μόνο μια παρατήρηση και για τον λόγο αυτό δεν είναι δυνατό να επεξεργαστεί περισσότερο ώστε να παρατηρηθεί σαφής εικόνα για την ποιότητα του.

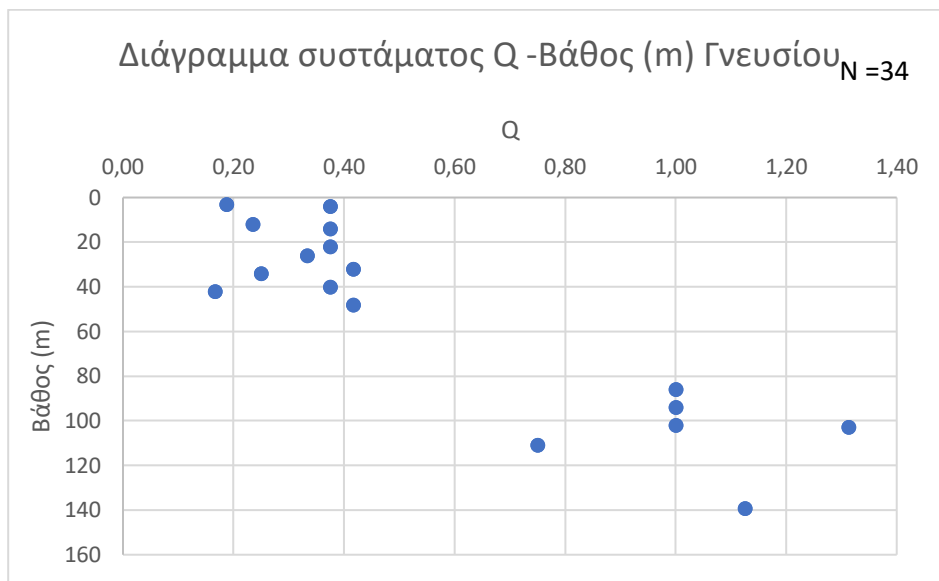
Έτσι για τον σχηματισμό του γρανιτογενευσίου από το διάγραμμα διασποράς των τιμών που χαρακτηρίζουν την ποιότητα του με το βάθος παρατηρήθηκε ότι για τις τιμές που του έχουν αποδοθεί κοντά στην επιφάνεια, ο σχηματισμός χαρακτηρίζεται από πολύ πτωχή ποιότητα ενώ σε μεγάλα βάθη η ποιότητά του χαρακτηρίζεται ως πτωχή. Σημαντικό είναι να σημειωθεί ότι απουσιάζουν οι παρατηρήσεις που χαρακτηρίζουν ενδιάμεσα βάθη.



Διάγραμμα 33: Σύστημα ταξινόμησης Q (Γρανιτογενεύσιος) – Βάθος (m).

Στην περίπτωση του σχηματισμού του γνευσίου φαίνεται ότι επίσης κοντά στην επιφάνεια χαρακτηρίζεται ως ένας σχηματισμός πολύ πτωχής ποιότητας ενώ στο βάθος η ποιότητά του φαίνεται

να γίνεται ελαφρώς καλύτερης. Επίσης και στην περίπτωση αυτού του σχηματισμού απουσιάζουν παρατηρήσεις για τον σχηματισμό σε ενδιάμεσα βάθη.



Διάγραμμα 34: Σύστημα ταξινόμησης Q (Γνεύσιος) – Βάθος (m).

Από την γενικότερη προσπάθεια κατηγοριοποίησης της ποιότητας των σχηματισμών αυτών με το βάθος φαίνεται ότι υπάρχουν εναλλαγές όσο το βάθος αυξάνεται μεταξύ πτωχής και πολύ πτωχής ποιότητας.

Από την αναλυτικότερη επεξεργασία των παραμέτρων από τις οποίες γίνεται η αξιολόγηση των σχηματισμών για το σύστημα ταξινόμησης Q για την περίπτωση του σχιστογνευσίου αλλά και του γνευσίου εξετάστηκαν οι παρατηρήσεις για τον δείκτη ποιότητα πετρώματος (RQD%), τον αριθμό των συστημάτων ασυνεχειών (Jr), την τραχύτητα των ασυνεχειών (Jr), το υλικό πλήρωσης και την αποσάθρωση των τοιχωμάτων (Ja), την κατάσταση από πλευράς υδάτων (Jw) αλλά και τον συντελεστή απομείωσης τάσεων (SRF).










Συντελεστής RQD

Σύμφωνα με την βαθμονόμηση και των δυο σχηματισμών όσον αφορά το δείκτη ποιότητας πετρώματος, παρατηρείται ότι και οι δυο σχηματισμοί χαρακτηρίζονται από πολύ πτωχή έως πτωχή ποιότητα με RQD% 0-25 και 25-50 αντίστοιχα. Παρατηρούνται επίσης εναλλαγές των κατηγοριών αυτών με το βάθος γεγονός που δείχνει ότι η ποιότητα των σχηματισμών δεν ευνοείται από την αύξηση του βάθους. Η διαφορά τους έγκειται στο ότι ο σχηματισμός του γνευσίου χαρακτηρίζεται σε ελάχιστα μεγαλύτερο ποσοστό ως πτωχής ποιότητας, δείχνοντας καλύτερη ποιότητα από τον σχηματισμό του σχιστογνευσίου.

Από την βαθμονόμηση του συντελεστή που εκφράζει τον αριθμό των συστημάτων ασυνεχειών παρατηρείται μείωση αυτών, όσο το βάθος αυξάνεται. Σε βάθη μέχρι και 50m παρατηρούνται περισσότερα συστήματα ασυνεχειών από ότι σε βαθύτερα σημεία όπου ο συντελεστής βαθμονομήθηκε φτάνοντας μέχρι και τα τρία συστήματα ασυνεχειών. Έτσι κοντά στην επιφάνεια οι σχηματισμοί αναμένεται να είναι αρκετά κερματισμένοι

Συντελεστής J_r

Ο συντελεστής που περιγράφει την τραχύτητα των ασυνεχειών στο μεγαλύτερο μέρος των παρατηρήσεων δείχνει ασυνέχειες ολισθηρές - κυματοειδής, τραχείες ή ακανόνιστες. Παρατηρούνται ακόμη κάποιες ζώνες σε βάθος 14-20m, και για τους δυο σχηματισμούς, τραχείες ή ακανόνιστες-κυματοειδείς διακλάσεις. Έτσι σε αυτή το εύρος βάθους αναμένονται πιο τραχείες επιφάνειες ασυνεχειών.

Relation between J_r and JRC_n		J_r	JRC_{20}	JRC_{100}
I	Rough 	4	20	11
II	Smooth 	3	14	9
III	Slickensided  Stepped	2	11	8
IV	Rough 	3	14	9
V	Smooth 	2	11	8
VI	Slickensided  Undulating	1.5	7	6
VII	Rough 	1.5	2.5	2.3
VIII	Smooth 	1.0	1.5	0.9
IX	Slickensided  Planar	0.5	0.5	0.6

Σχήμα 5: Σχέση μεταξύ του παράγοντα J_r του συστήματος Q με το JRC_n για δείγματα 200mm και 1000mm (Barton, 1987).

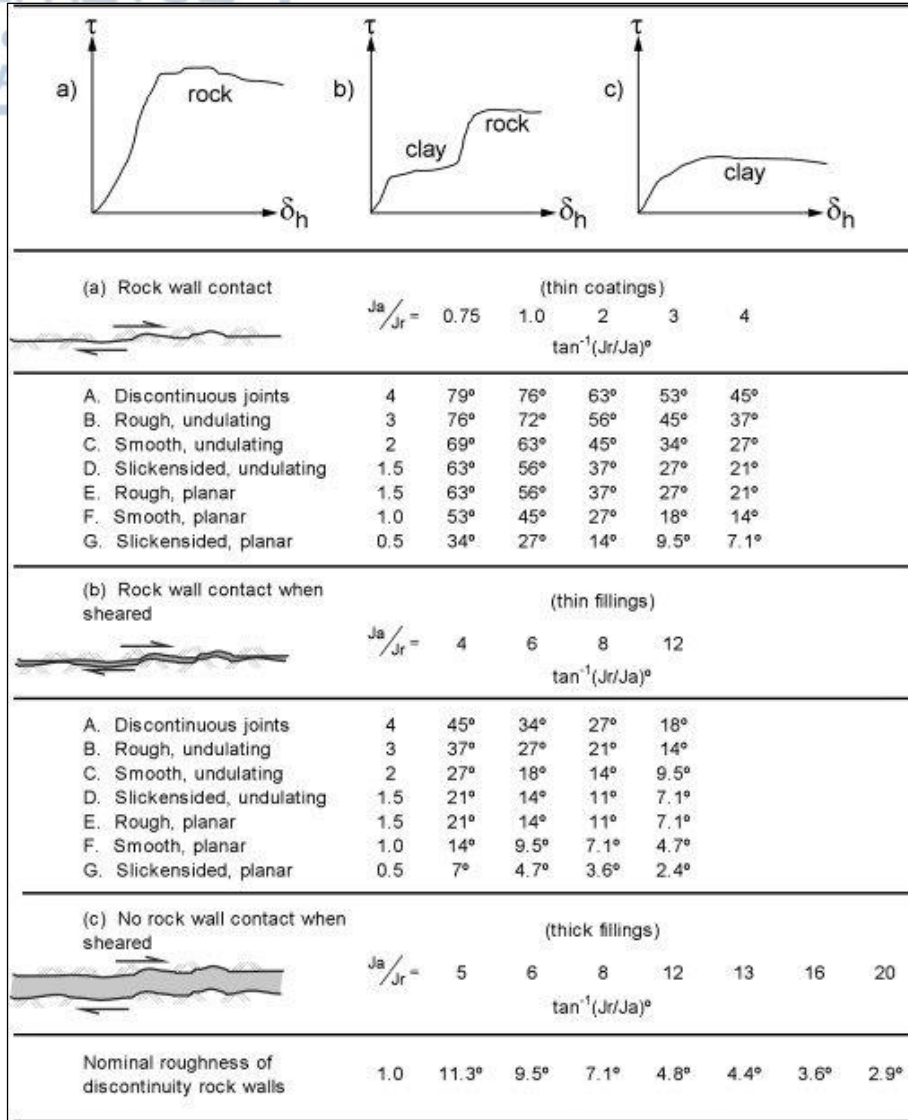


Βάσει της βαθμονόμησης του παράγοντα J_r του συστήματος ταξινόμησης Q γίνεται δυνατός ο προσδιορισμός της παραμέτρου JRC όπου αποτελεί τον συντελεστή τραχύτητας για τις ασυνέχειες. Έτσι από την επεξεργασία 71 τιμών για την παράμετρο αυτή, οι περισσότερες παρατηρήσεις (78%) χαρακτηρίζονται με $J_r=1.5$ ενώ οι υπόλοιπες χαρακτηρίζονται με $J_r=3$. Έτσι το JRC_{20} της πρώτης περίπτωσης παίρνει την τιμή 7 ενώ της δεύτερης παίρνει την τιμή 14. Για τις τιμές αυτές στη συνέχεια πρέπει να γίνει αναγωγή στην κλίμακα JRC_0 .

$$JRC_n = JRC_0 (L_n/L_0)^{0.02JRC_0}$$

Συντελεστής J_a

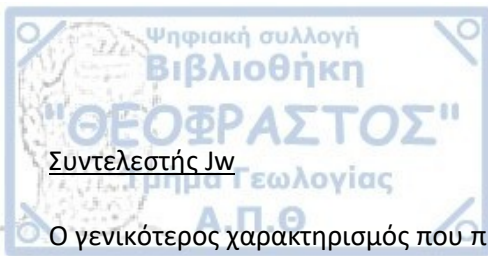
Στην περίπτωση του συντελεστή που περιγράφει το υλικό πλήρωσης και την αποσάθρωση των τοιχωμάτων παρατηρείται ότι κοντά στην επιφάνεια οι σχηματισμοί χαρακτηρίζονται από την κατηγορία που περιγράφει στιφρό υμένα από αμμώδη ή ιλυώδη άργιλο. Όσο το βάθος αυξάνεται παρατηρούνται ελαφρά αποσαθρωμένα τοιχώματα δηλαδή καλύτερη ποιότητα ασυνεχειών όπου και σε αυτό των χαρακτηρισμό ανήκει το μεγαλύτερο μέρος των παρατηρήσεων. Τέλος υπάρχουν λίγες παρατηρήσεις που δείχνουν ότι τα τοιχώματα των ασυνεχειών δεν έχουν υποστεί την επίδραση τα αποσάθρωσης.



Σχήμα 6: Προσδιορισμός της γωνίας τριβής μέσω του λόγου των παραμέτρων J_r και J_a του συστήματος (Q N. Barton, 2002).

Από την επεξεργασία της βαθμονόμησης του συντελεστή J_a το μεγαλύτερο ποσοστό (83%) χαρακτηρίζεται με την τιμή 2 η οποία περιγράφει ελαφρά αποσαθρωμένα τοιχώματα ασυνεχειών ενώ για την τιμή αυτή υπολογίζεται $\phi_r = 25^\circ - 30^\circ$. Όσον αφορά τις υπόλοιπες τιμές το 10% βαθμονομείται με $J_a = 3$ και αφορά περιπτώσεις σχετικά κοντά την επιφάνεια, ενώ για την τιμή αυτή προσδιορίζεται $\phi_r = 20^\circ - 25^\circ$. Τέλος με το εύρος της ϕ_r μεταξύ $25^\circ - 35^\circ$ αλλά η περίπτωση αυτή χαρακτηρίζει πολύ λίγες παρατηρήσεις.

Τέλος από τον λόγο των δυο αυτών παραγόντων ($J_r - J_a$) προκύπτει γωνία τριβής 36.9° για το 75% των παρατηρήσεων ενώ το 14% αφορά γωνία 65° ενώ το 10% γωνία τριβής 26.6° .



Ο γενικότερος χαρακτηρισμός που προκύπτει από την βαθμονόμηση αυτού του συντελεστή είναι ότι η κατάσταση από πλευράς υδάτων παρατηρήθηκε πολύ ευνοϊκή αφού κατατάσσεται στην κατηγορία όπου χαρακτηρίζει την εκσκαφή ως στεγνή.

Συντελεστής SRF

Ο χαρακτηρισμός του συντελεστή όπου περιλαμβάνει την απομείωση των τάσεων παρατηρείται διαφοροποίηση από την επιφάνεια μέχρι το βάθος των 50m σε σχέση με τα βάθη των υπολοίπων παρατηρήσεων. Διαχωρίζονται έτσι δυο κατηγορίες.

Όσον αφορά ασθενείς ζώνες παρατηρούνται μέχρι το βάθος των 50m μεμονωμένες ζώνες, ζώνες διάτμησης και χαλαρές ανοιχτές ασυνέχειες, βραχομάζα έντονα διακλασμένη. Ενώ σε μεγαλύτερα βάθη παρατηρούνται επίσης τέτοιου τύπου ζώνες που όπως ο παράγοντας του βάθους τις κάνει να διαφοροποιούνται από πλευράς τάσεων.

4.7. Αξιολόγηση της ποιότητας της βραχομάζας - Γεωλογικός δείκτης αντοχής (GSI)

Σύμφωνα με τα δεδομένα που επεξεργαστήκαν για την αξιολόγηση των σχηματισμών με βάση τον Γεωλογικό Δείκτη Αντοχής (GSI) φαίνεται να βαθμονομούνται 9 διαφορετικοί σχηματισμοί. Αυτοί διακρίνονται σε:

- Μάρμαρο,
- Σχιστογενέσιο,
- Γνεύσιο,
- Γνεύσιο σε επαφή με μάρμαρο,
- Γνευσιοσχιστόλιθο,
- Γρανίτη με απλιτικές φλέβες,
- Γρανίτη,

ενώ παρατηρούνται και ενότητες υπό την επίδραση της τεκτονικής όπως:

- τεκτονικό λατυποπαγές-μυλωνίτης και
- ζώνη διάρρηξης-κατακερματισμένη ζώνη.

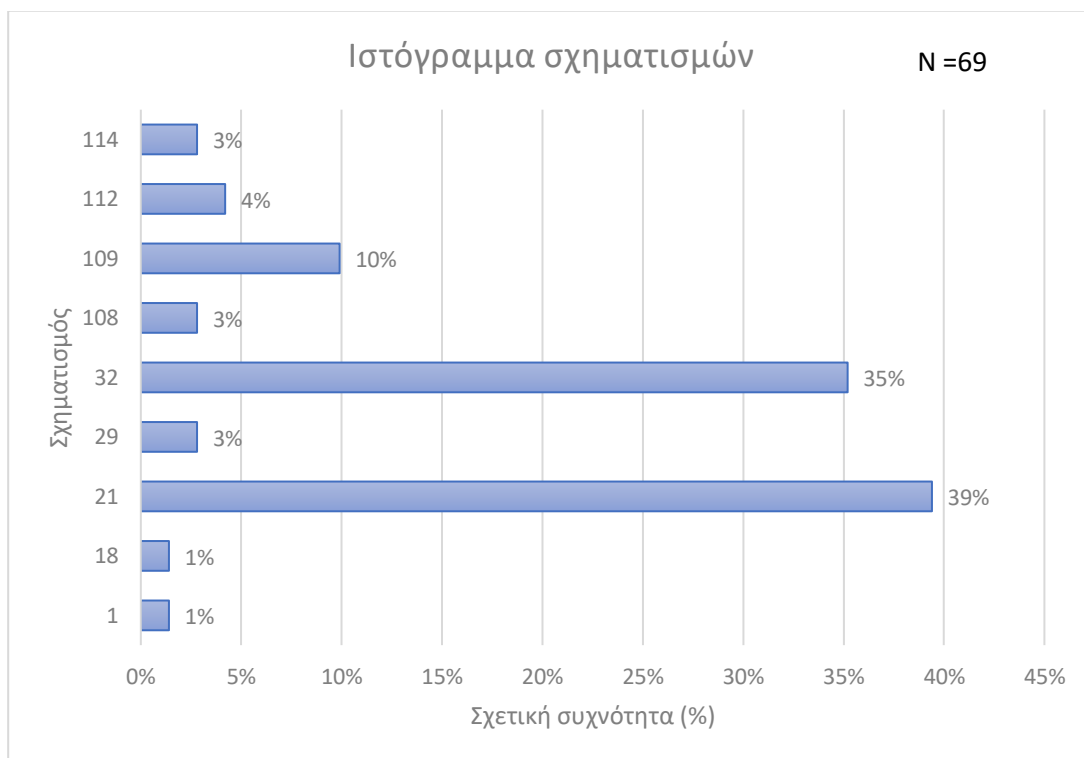
Στις ενότητες αυτές έχει αποδοθεί συγκεκριμένος κωδικός και με αυτόν αναφέρονται στην βάση δεδομένων «TIAS» ενώ για τις ανάγκες διαχωρισμού τους, δόθηκε επίσης ένας αριθμός που όμως έχει

άμεση σχέση με την αρχική κατηγοριοποίηση. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί αλλά και η ομαδοποίησή τους αναφέρεται στον πίνακα 20.

Πίνακας 20: Γεωλογικοί σχηματισμοί.

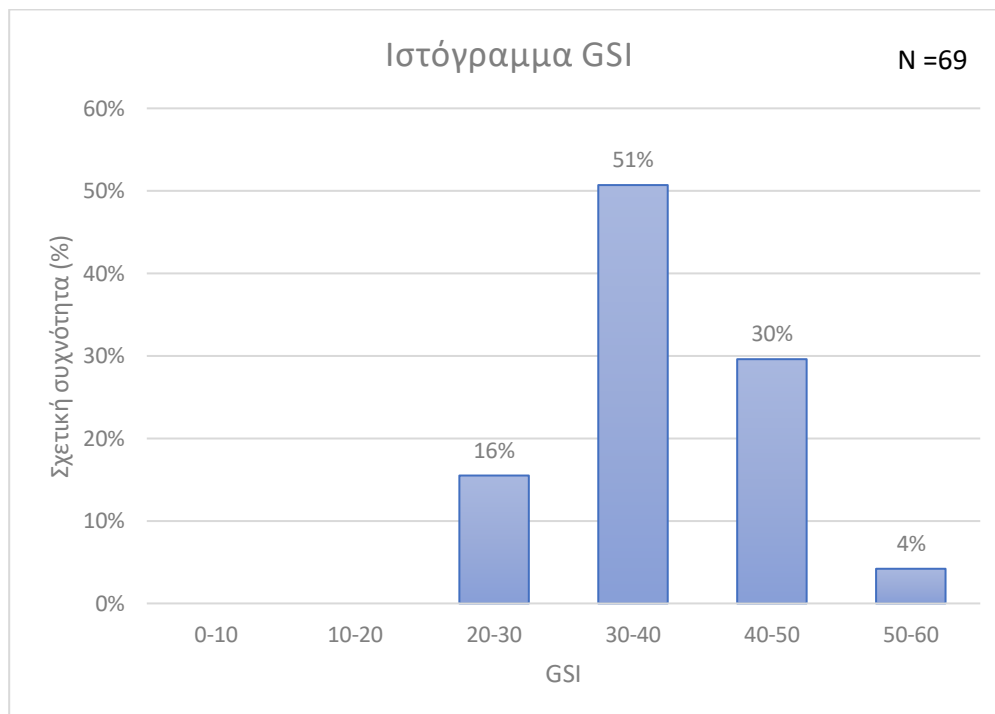
1	Μάρμαρο
18	Σχιστογενεύσιος
21	Γνεύσιος
29	Γνεύσιος σε επαφή με μάρμαρα
32	Γνευσιοσχιστόλιθος
108	Γρανίτης με απλιτικές φλέβες
109	Γρανίτης
112	Τεκτονικό λατυποπαγές - μυλωνίτης
114	Ζώνη διάρρηξης - κατακερματισμένη ζώνη

Γενικότερα τα περισσότερα στοιχεία που επεξεργάστηκαν αφορούν σε ποσοστό 39% σχηματισμούς γνευσίου, σε ποσοστό 35% γνευσιοσχιστόλιθο ενώ το 10% αφορά σχηματισμό γρανίτη. Τα ποσοστά των υπολοίπων σχηματισμών κυμαίνονται στο 1-4% των παρατηρήσεων που εξετάστηκαν.



Διάγραμμα 35: Ποσοστά σχετικής συχνότητας εμφάνισης σχηματισμών.

Με αρχικό σκοπό να δημιουργηθεί διάγραμμα στο οποίο να απεικονίζονται τα ποσοστά εμφάνισης των τιμών όπου χαρακτηρίζουν του σχηματισμούς γενικότερα διαχωρίστηκε η βαθμονόμηση του GSI σε κλάσεις ανά 10 βαθμούς. Παρατηρείται μετά από αυτή την επεξεργασία ότι το 51% των σχηματισμών βαθμονομείται με τιμές GSI που έχουν εύρος από 30-40 δείχνοντας ότι ο σχηματισμός είναι μετρίως αποσαθρωμένος. Στη συνέχεια ακολουθεί με 30% το εύρος με τιμές που αντιστοιχούν σε GSI 40-50 όπου ο σχηματισμός χαρακτηρίζεται ως ελαφρά αποσαθρωμένος ενώ το 16% αναφέρεται στο εύρος τιμών GSI 20-30 και δείχνει υψηλή αποσάθρωση. Τέλος παρατηρείται ότι το 4% χαρακτηρίζεται με τις υψηλότερες τιμές GSI στην περιοχή και το εύρος αυτό αντιστοιχεί σε GSI 50-60. Οι τιμές που εξεταστήκαν αφορούν 69 αξιολογήσεις, με μέγιστη τιμή (max) GSI 60 με ελάχιστη τιμή (min) GSI 22, ο μέσος όρος (average) υπολογίστηκε να φτάνει την τιμή GSI 39 και η τυπική απόκλιση (stdev.p) είναι 9.

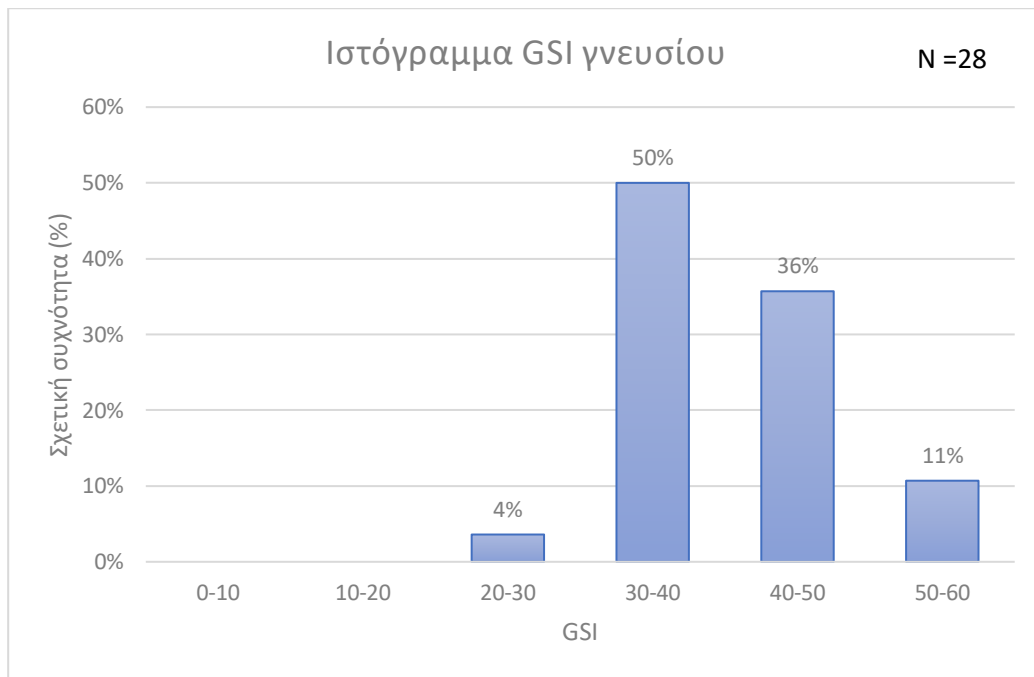


Διάγραμμα 36: Ποσοστά σχετικής συχνότητας GSI.

Για την περαιτέρω ανάλυση και κατανόηση των σχηματισμών της περιοχής έγινε διαχωρισμός των τριών σχηματισμών που εξετάστηκαν και φαίνεται να δομούν το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής έρευνας. Οι σχηματισμοί αυτοί αναφέρονται στον γνεύσιο, τον γνευσιοσχιστόλιθο και τον γρανίτη.

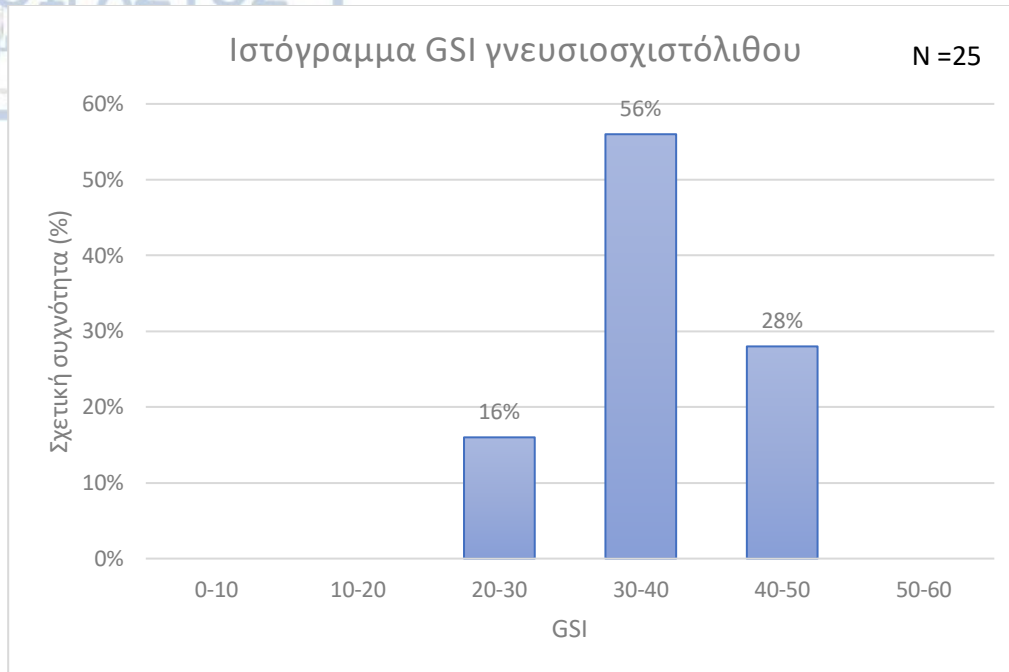
Έτσι από το ιστόγραμμα για τον σχηματισμό του γνευσίου το μεγαλύτερο ποσοστό συχνότητας εμφάνισης (50%) αναφέρεται στην κλάση με GSI 30-40 (μετρίως αποσαθρωμένο σχηματισμό) ενώ με 36% ακολουθεί η κλάση με εύρος όπου χαρακτηρίζει τον σχηματισμό ως καλύτερης ποιότητας (GSI 40-50) και

δείχνει ελαφριά αποσάθρωση. Το 10% περίπου ανήκει στην κλάση με την υψηλότερη βαθμονόμηση που χαρακτηρίζει ακόμη καλύτερη ποιότητα πετρώματος, ενώ το 4% αφορά τιμές GSI 20-30 και δείχνει υψηλά αποσαθρωμένο σχηματισμό. Περιπτώσεις όπου ο γνεύσιος να χαρακτηρίστηκε με πολύ χαμηλές τιμές GSI δεν παρατηρήθηκαν.



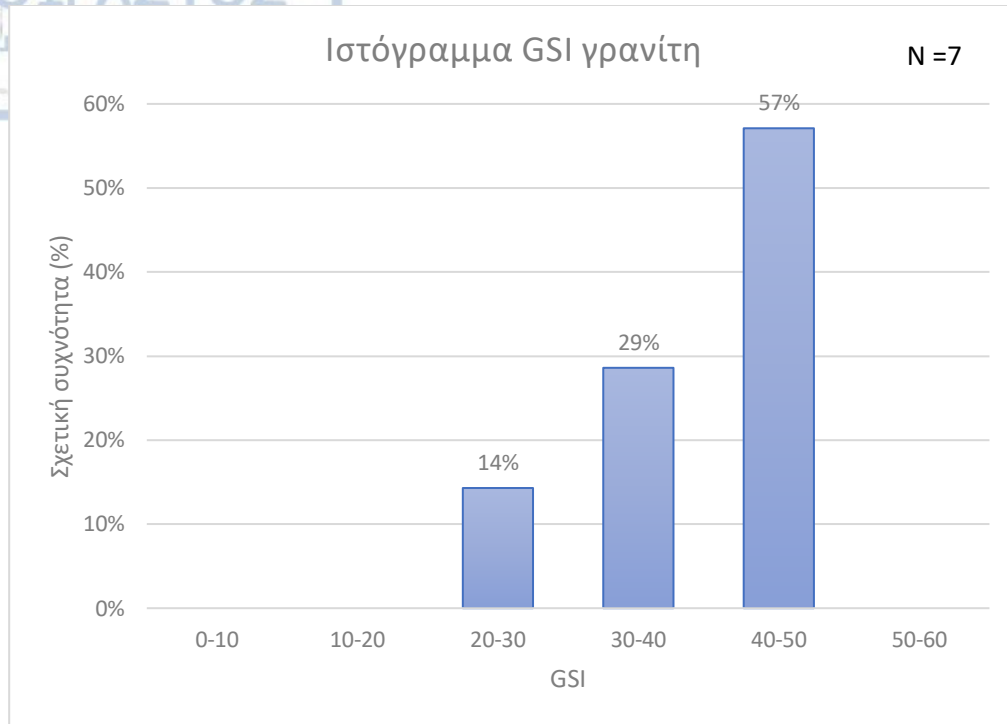
Διάγραμμα 37: Ποσοστά σχετικής συχνότητας GSI γνευσίου.

Στο ιστόγραμμα για τον σχηματισμό του γνευσιοσχιστόλιθου το μεγαλύτερο ποσοστό συχνότητας αναφέρεται στο 56% και οι τιμές GSI που έχουν αποδοθεί σε αυτό το ποσοστό είναι 30-40 (μετρίως αποσαρωμένο σχηματισμό). Το 28% του σχηματισμού αναφέρεται σε GSI 40-50 προσδιορίζεται ελαφρά αποσαθρωμένος σχηματισμός, ενώ τέλος το 16% στις χαμηλότερες τιμές που έχουν αποδοθεί σε αυτό το σχηματισμό δηλαδή GSI 20-30.



Διάγραμμα 38: Ποσοστά σχετικής συχνότητας GSI γνευσιοσχιστόλιθου.

Στο ιστόγραμμα για τον σχηματισμό του γρανίτη το μεγαλύτερο ποσοστό συχνότητας (57%) αναφέρεται στο εύρος GSI 40-50 από το οποίο συμπεραίνεται ότι ο σχηματισμός αυτός χαρακτηρίζεται γενικότερα ως καλύτερης ποιότητας και είναι ελαφρά αποσαθρωμένος όμως ο αριθμός των παρατηρήσεων που εξετάστηκαν για τον σχηματισμό αυτόν είναι μικρός για να βγουν ασφαλή συμπεράσματα. Τα ποσοστά που ακολουθούν αναφέρονται 29% του σχηματισμού που χαρακτηρίζεται με τιμές GSI 30-40 ενώ το 14% αυτού χαρακτηρίζεται με τιμές GSI 20-30.



Διάγραμμα 39: Ποσοστά σχετικής συχνότητας GSI γρανίτη.

4.7.1. Διαχωρισμός τεχνικογεωλογικών ενότητων

Με βάση τα δεδομένα που περιγράφουν τις μηχανικές παραμέτρους των σχηματισμών στην περιοχή έρευνας, πραγματοποιήθηκε διαχωρισμός τους σε τεχνικογεωλογικές ενότητες με σκοπό την κατηγοριοποίηση και ομαδοποίηση τους με βάση τις παραμέτρους που τους χαρακτηρίζουν. Η τεχνικογεωλογική ενότητα 1 αφορά τον καλύτερης ποιότητας σχηματισμό ενώ η 5, την ενότητα με τα πτωχότερα μηχανικά χαρακτηριστικά.

Πίνακας 21: Σχηματισμών και γεωτεχνικών παραμέτρων.

Σχηματισμός	GSI	m_i	σ_{ci} (MPa)
Ζώνη διάρρηξης – κατακερματισμένη ζώνη	33	11	25
α)Τεκτονικό λατυποπαγές – μυλωνίτης	22	6	15
β)Τεκτονικό λατυποπαγές – μυλωνίτης	39	15	43

Γρανίτης	47	30	69
Γνευσιοσχιστόλιθος	30	8	7
α) Γνεύσιος	47	25	44
β) Γνεύσιος	60	15	20
γ) Γνεύσιος	40	15	15
Σχιστογνεύσιος	39	15	43

Με βάση τον παραπάνω πίνακα κρίθηκε απαραίτητος ο προσδιορισμός τεχνικογεωλογικών ενοτήτων ώστε να εξεταστεί αναλυτικά η ποιότητα των σχηματισμών που εξετάζονται. Έτσι διαχωρίστηκαν 5 διαφορετικές τεχνικογεωλογικές ενότητες. Η διάκριση φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 22: Διαχωρισμός τεχνικογεωλογικών ενοτήτων για τους σχηματισμούς στην περιοχή έρευνας.

Σχηματισμός	GSI	m_i	σ_{ci} (MPa)	T.E.
Ζώνη διάρρηξης – κατακερματισμένη ζώνη	33	11	25	3
α) Τεκτονικό λατυποπαγές – μυλωνίτης	22	6	15	4
β) Τεκτονικό λατυποπαγές – μυλωνίτης	39	15	43	2
Γρανίτης	47	30	69	1
Γνευσιοσχιστόλιθος	30	8	7	5
α) Γνεύσιος	47	25	44	2
β) Γνεύσιος	60	15	20	3
γ) Γνεύσιος	40	15	15	3
Σχιστογνεύσιος	39	15	43	2

4.7.2. Εκτίμηση αστοχιών για κάθε τεχνικογεωλογική ενότητα

Χρησιμοποιώντας το διάγραμμα TBC (Tunnel Chart Behavior) (V.Marinos, 2010) γίνεται προσπάθεια να εκτιμηθούν οι τύποι των αστοχιών που αναμένονται ανά τύπο τεχνικογεωλογική ενότητα. Τα στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση αστοχιών είναι:

- η δομή του πετρώματος,
- η μονοαξονική θλιπτική αντοχή σ_{ci} ,
- η σταθερά του πετρώματος m_i .

Πίνακας 23: Τεχνικογεωλογική συμπεριφορά της βραχώμαζας κατά την διάνοιξη- TBC (Tunnel Behaviour Chart) (V.Marinos, 2010).

TUNNEL BEHAVIOUR CHART (TBC)	OVERBURDEN			
	Low thickness (H<<)		High thickness (H>>)	
	INTACT ROCK STRENGTH (σ_{ci})			
ROCK MASS STRUCTURE (BASED TO GSI)	$\sigma_{ci}<<$	$\sigma_{ci}>>$	$\sigma_{ci}<<$	$\sigma_{ci}>>$
INTACT OR MASSIVE Intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	1 St	2 St	3 Sh	4 St
BLOCKY Very well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three orthogonal intersecting discontinuity sets	5 Wg	6 Wg	7 Sh-Wg	8 Wg
VERY BLOCKY Interlocked, partially disturbed rock mass with multi-faceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets	9 Wg-Ch Sh	10 Wg-Ch	11 Sh	12 Wg
BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	13 Ch-Wg Sh	14 Ch-Wg	15 S(Sh-Sq) Ch	16 Ch-Sh
DISINTEGRATED Poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	17 Sh-Rv	18 Rv	19 Sq-Ch	20 Ch-Sh
LAMINATED/FOLIATED/SHEARED Laminated or foliated and tectonically sheared weak rock mass. Foliation prevails over any other discontinuity set, resulting in complete lack of blockiness (this drawing scale is not compared with the other's drawing scales)	21 S(Sh-Sq)	22 Sh-Ch	23 Sq	24 Sq

Tunnel rock mass behaviour types without any support	
St (Stable): Stable tunnel section with local gravity failures	Ch (Chimney failure): "Chimney" type failure
Wg (Wedge failure): Wedge sliding or gravity driven failures	Rv (Ravelling ground): Ravelling ground
Sq (Squeezing ground): Large deformations, due to oversteering with the development of shear failures in an extended perimeter around the tunnel	Sh (Shearing failures in shallow zone around the tunnel perimeter): Minor to medium deformations, with the development of shear failures in a close perimeter around the tunnel
The engineering geological behaviour may be also controlled by two or three different mechanisms (e.g. Sh-Ch)	
Notes:	
* There are no quantified limits-ranges of the uniaxial compressive strength (σ_{ci}) of the intact rock and overburden thickness (H), but only qualitative high and low values are done to avoid standardization from a non experience user. The scope of this diagram is to provide the logic and failure mechanism of several rock mass types often met in nature. However a indicative initial value of σ_{ci} can be 15Mpa	
* The overburden limits, where deformations develop are not the same for every rock mass type and changes according to the structure. These limits are 150m for the "good" structures ("Intact" and "Blocky"), 100m for the medium ("Very Blocky") and around 70m for the poor to very poor structures ("Blocky Disturbed", "Disintegrated" and "Sheared")	
* The discontinuity surface conditions, the second composite of GSI system, mainly affect the intensity of the failure phenomenon	
* High clay presence along the discontinuities or as zone in the rock mass may shift the gravity driven behaviour types to the vertical axis of the chart (e.g. from Wg[9] to Ch [13])	
* Groundwater presence mainly affects the factor of safety and not the behaviour type. Though, in some cases, like in "Blocky-Disturbed" & "Disintegrated" rockmass, the groundwater presence may "shift" a Chimney (Ch) or Ravelling (Rv) behaviour type to Flowing ground (Ff)	
* The chart is not referred to very large H (e.g. lot of hundreds or >1000m)	

Σύμφωνα με την διάκριση των αστοχιών:

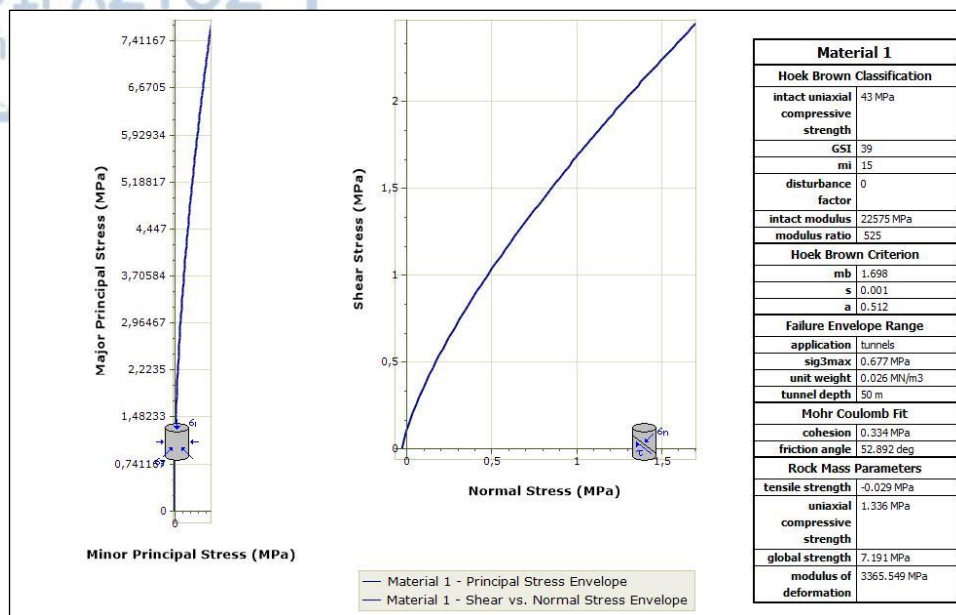
- St: Ευσταθής διατομή με τοπικές μόνο βαρυτικές αστοχίες
- Wg: Σφηνοειδείς ολισθήσεις ή πτώσεις τεμαχών λόγω βαρύτητας. Ασήμαντες παραμορφώσεις.
- Ch: Κατάπτωση τύπου καμινάδας.
- Rv: Καταρροή βραχώμαζας
- Sh: Μικρές έως μέτριες παραμορφώσεις με την εκδήλωση διατμητικών αστοχιών σε ζώνη μικρής έκτασης περιμετρικά της σήραγγας
- Sq: Σημαντικές παραμορφώσεις λόγω υπερφόρτισης από την εκδήλωση διατμητικών αστοχιών σε εκτεταμένη ζώνη περιμετρικά της σήραγγας.

Πίνακας 24: Εκτιμήσεις αστοχιών των διαφορετικών τεχνικογεωλογικών ενοτήτων

T.E.	GSI	m_i	σ_{ci} (MPa)	Χαμηλά υπερκείμενα	Υψηλά υπερκείμενα
1	30	30	69	WG-CH	WG
2	47-39	25-15	43-44	CH-WG	CH-SH
3	33-60	15	20-25	CH-WG	CH-SH
4	22	6	30	RV	CH-SH
5	30	8	7	CH-WG SH	S(SH-SQ) CH

4.7.3. Υπολογισμός των παραμέτρων συνοχής, γωνίας τριβής και του μέτρου ελαστικότητας

Χρησιμοποιώντας τις γεωτεχνικές παραμέτρους που αναφέρθηκαν με τη χρήση του λογισμικού RocData της Rocscience έγινε υπολογισμός των παραμέτρων συνοχής, γωνίας τριβής και μέτρου παραμορφωσιμότητας. Για τους υπολογισμούς αυτούς σημαντικός παράγοντας είναι το βάθος όπου θα συναντηθούν και για το λόγο αυτό εξεταστήκαν περιπτώσεις. Οι περιπτώσεις αυτές αφορούν το βάθος των 5m, των 50m και περιπτώσεις όπου θα συναντηθούν σε βάθη μεγαλύτερα των 100m. Παράδειγμα από την εφαρμογή του RocData δίνεται στην εικόνα 33, όπως επίσης και ο πίνακας 25, στον οποίο παρατίθενται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή για όλους τους σχηματισμούς.



Εικόνα 33: Παράδειγμα χρήσης του λογισμικού RocData .

Πίνακας 25: Αποτελέσματα επεξεργασίας γεωτεχνικών παραμέτρων μέσω του προγράμματος RocData.

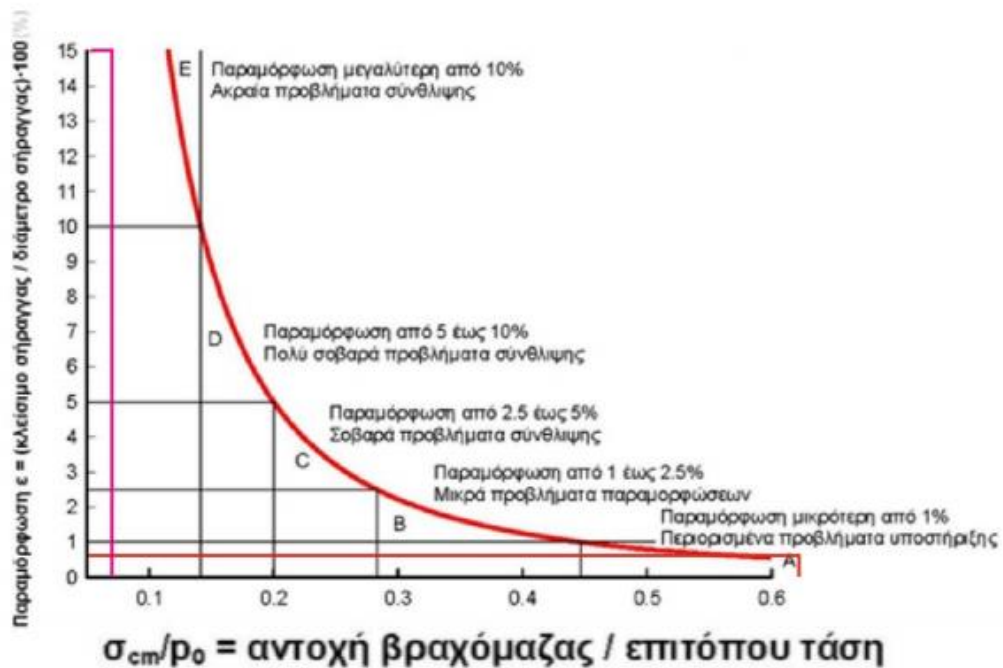
Βάθος (m)	Σχηματισμός	GSI	mi	σ_{ci} (Mpa)	c (Mpa)	ϕ (o)	E_m (Mpa)
5	Ζώνη διάρρηξης – κατακερματισμένη ζώνη	33	11	25	0,071	59,4	13300,777
50					0,215	44,55	
>100					0,349	38,55	
5	α)Τεκτονικό λατυποπαγές – μυλωνίτης	22	6	15	0,031	47,35	398,74
50					0,109	31,03	
>100					0,177	25,53	
5	β)Τεκτονικό λατυποπαγές – μυλωνίτης	39	15	43	0,136	65,27	3365,549
50					0,334	52,89	
>100					0,53	47,30	
5	Γρανίτης	47	30	69	0,255	72,01	9227,429
50					0,56	62,7	
>100					0,875	58,09	
5	Γνευσιοσχιστόλιθος	30	8	7	0,029	48,13	299,083
50					0,111	31,06	

>100					0,181	25,36	
5					0,113	70,77	
50	α) Γνεύσιος	47	25	44	0,397	69,32	3343,271
>100					0,663	54,16	
5	β) Γνεύσιος	60	15	20	0,23	64,08	5460
50					0,405	52,97	
>100					0,596	47,49	
5	γ) Γνεύσιος	40	15	15	0,067	60,67	1257,261
50					0,222	45,62	
>100					0,363	39,55	
5	Σχιστογνεύσιος	39	15	43	0,136	65,27	3365,549
50					0,334	52,89	
>100					0,53	47,30	

4.7.4. Υπολογισμός παραμορφώσεων

Χρησιμοποιώντας διαγράμματα έγινε προσπάθεια προσδιορισμού των παραμέτρων όπου οδηγούν στην εξέταση πιθανότητας ύπαρξης παραμορφώσεων σε υπόγειες εκσκαφές. Έτσι προέκυψαν οι τιμές σ_{cm} , ρ_0 και οι περιπτώσεις παραμόρφωσης που εντοπίστηκαν είναι μόνο τρεις. Οι περιπτώσεις αυτές αφορούν σχηματισμούς γνευσιοσχιστόλιθου αλλά και υλικό που βρίσκεται σε ζώνες μωλυνιτοποίησης. Στο σχηματισμό του γνευσιοσχιστόλιθου υπολογίστηκαν παραμορφώσεις μετά τα 50m βάθος ενώ στη ζώνη μωλυνιτοποίησης σε βάθη μεγαλύτερα των 100m.

Ο υπολογισμός της τάσης υπερκειμένων ρ_0 έγινε με τη χρήση διαγράμματος που συνδέει την παράμετρο ρ_0 (MPa) με το φαινόμενο βάρος (MN/m^3) του υλικού και το βάθος (m).



Σχήμα 7: Παραμόρφωση βραχώμαζας που περιβάλλει μια σήραγγα σε σχέση με το λόγο της γενικευμένης αντοχής της προς το μέγεθος των επιτόπου τάσεων (Hoek and Marinos, 2000).

Πίνακας 26: Υπολογισμός παραμέτρων αντοχής βραχομάζας (σ_{cm}), τάσης πεδίου (ρ_o) και παραμορφώσεων. εκσκαφής.

Βάθος (m)	Σχηματισμός	GSI	m_i	σ_{ci}	σ_{cm}	ρ_o	Παραμόρφωση
5	Τεκτονικό λατυποπαγές – μυλωνίτης	22	6	15	0,75	0,2	
50						1	
>100						2	1-2,5%
5	Γνευσιοσχιστόλιθος	30	8	7	0,56	0,2	
50						1	<1%
>100						2	2,5-5%

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο - ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΡΑΧΟΣΦΗΝΩΝ

5.1. Γενικά

Στις περιπτώσεις όπου ο γνεύσιος δεν είναι αποσαθρωμένος φαίνεται γενικά να μην δημιουργεί προβλήματα ως προς τη γεωτεχνική του συμπεριφορά κατά την εκσκαφή σηράγγων, οι αστοχίες που μπορούν να πραγματοποιηθούν είναι εκτινάξεις βράχων στις περιπτώσεις όπου η εκσκαφή γίνεται σε μεγάλα βάθη. Παρόλα αυτά κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες όπως αποσάθρωσης και τεκτονισμού δημιουργούνται ευμενής συνθήκες για δομικές αστοχίες του σχηματισμού. Οι γνευσιακοί σχηματισμοί τέμνονται από τη γνευσιακή υφή που υπό την επίδραση της αποσάθρωσης μπορεί να αποτελέσει επιφάνεια αδυναμίας του πετρώματος και χαρακτηρίζονται από σχιστώδη δομή. Η σχιστότητα αποτελεί την ασυνέχεια του σχηματισμού με την μεγαλύτερη εμμονή. Επίσης όταν ο βαθμός επίδρασης της τεκτονικής στον σχηματισμό μπορεί να δημιουργήσει πυκνό δίκτυο ασυνεχειών και ρήγματα. Όλα τα παραπάνω συντελούν σε δομικές αστοχίες του σχηματισμού. Τα γεωμετρικά και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των ασυνεχειών ελέγχουν την ευστάθεια τεμαχών με γεωμετρικές βραχοσφήνας που δημιουργούν τα επίπεδα των ασυνεχειών. Για την στατιστική και τεκτονική ανάλυση των γεωμετρικών στοιχείων των ασυνεχειών χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις από τα μέτωπα των τεσσάρων δίδυμων σηράγγων που εξετάζονται. Τα δεδομένα των μετρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από την βάση δεδομένων «ΤΙΑΣ» (V. Marinis et al., 2012). Ο αριθμός των μετρήσεων που επεξεργάστηκαν είναι 1394 και προέρχονται από καταγραφές στα μέτωπα των εκσκαφών που πραγματοποιήθηκαν κατά την εκσκαφή.

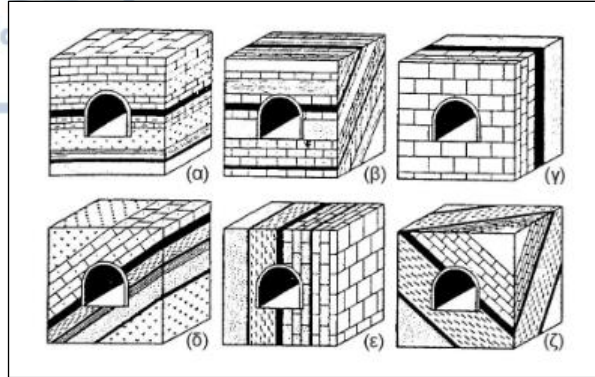
5.2. Επίδραση των ασυνεχειών στα υπόγεια έργα

Επίδραση της στρώσης στη διατομή

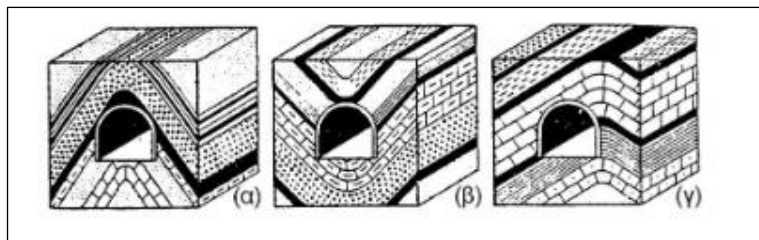
Ο προσανατολισμός των στρωμάτων του σχηματισμού μέσα στον οποίο γίνεται η εκσκαφή σε σχέση με τον άξονά της επηρεάζει την κατανομή των τάσεων που επιδρούν σε αυτή.

Μονόκλινα: στην περίπτωση αυτή οι πιέσεις που ασκούνται είναι ομοιόμορφες.

Αντίκλινα και σύγκλινα: στην περίπτωση που ο άξονας της σήραγγας συμπίπτει με τον άξονα του αντικλίνου έχουμε πλευρική εκτόνωση των πιέσεων. Ενώ στην περίπτωση σύγκλινου έχουμε συγκέντρωση των τάσεων, ενώ αναμένεται συγκέντρωση νερού και εισροή στην σήραγγα. Στα σύγκλινα τα κατώτερα στρώματα έχουν περισσότερες εφελκυστικές ρωγμές από τα ανωτέρα ενώ στα αντίκλινα συμβαίνει το αντίθετο.



Σχήμα 8: Επίδραση της στρώσης των στρωμάτων στη διατομή των σηράγγων (DESIO 1973).



Σχήμα 9: Επίδραση συγκλίνου και αντικλίνου στη διατομή των σηράγγων (DESIO 1973).

Επίδραση του προσανατολισμού των ασυνεχειών

Η γεωμετρία των ασυνεχειών και τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά είναι πολύ σημαντικοί παράγοντες για τις υπόγειες εκσκαφές καθώς είναι αυτές που ελέγχουν την ευστάθεια της οροφής των τοιχωμάτων αλλά και το μέγεθος της υπερεκσκαφής. Ένα απαραίτητο στοιχείο για να καταπέσει ένα πέτρωμα από την οροφή της σήραγγας είναι να τέμνεται από τρία συστήματα ασυνεχειών έτσι μέσω των στερεογραφικών προβολών εξετάζονται τα παρακάτω:

Στην στερεογραφική προβολή όταν το κέντρο του κύκλου περιβάλλεται από τους μέγιστους κύκλους των επιπέδων των ασυνεχειών τότε αναμένεται ελεύθερη πτώση από την οροφή βραχύδους τεμάχους χωρίς ολίσθηση.

Στην περίπτωση όπου το κέντρο της προβολής δεν περιβάλλεται από τους μέγιστους κύκλους των κύριων επιπέδων των ασυνεχειών ενώ τουλάχιστον ένας από τους μέγιστους κύκλους τέμνει τον κύκλο της γωνίας τριβής τότε έχουμε κατάπτωση από την οροφή αλλά με ολίσθηση κατά μήκος της επιφάνειας αυτής της ασυνέχειας.

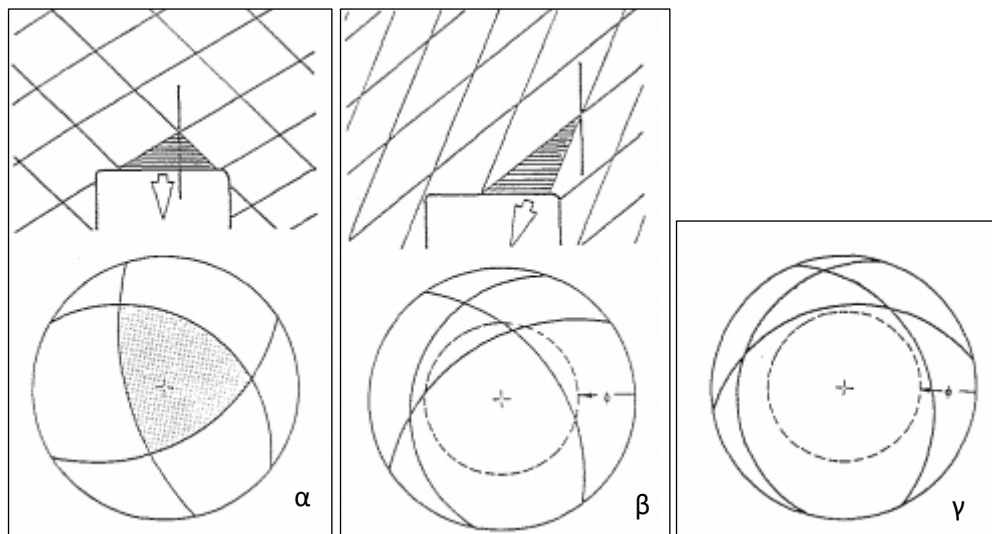
Όταν όμως τα επίπεδα των τριών αυτών συστημάτων βρίσκονται εκτός του κύκλου δεν αναμένεται αστοχία.

Επίσης στην περίπτωση ασυνεχειών με μικρή κλίση του επιπέδου τους που είναι παράλληλες με τον άξονα του έργου έχουμε αποκόλληση τεμαχών από την οροφή.

Όταν η διεύθυνση των ασυνεχειών είναι κάθετη στον άξονα του έργου και η κλίση τους είναι πολύ μικρή, υπάρχουν καταπτώσεις μεγάλων τεμαχών από την οροφή ενώ τα τοιχώματα φαίνεται να μην επηρεάζονται.

Στην περίπτωση που ο άξονας τέμνει μεγάλης κλίσης έως και κατακόρυφα στρώματα έχουμε την δράση των στρωμάτων ως αντηρίδες.

Σε παράλληλο άξονα με τη διεύθυνση κατακόρυφων στρωμάτων παρατηρείται απομείωση των χαρακτηριστικών του πετρώματος από την τριβή των επιπέδων στρώσης.



Σχήμα 10: Δυνητική αστάθεια της οροφής της σήραγγας λόγω της παρουσίας ασυνέχειας στη βραχομάζα) συνθήκες ελεύθερης πτώσης βραχώδους τεμαχούς, β) συνθήκες ολίσθησης βραχώδους τεμαχούς, γ) συνθήκες ευστάθειας (Hoek and Brown, 1980).

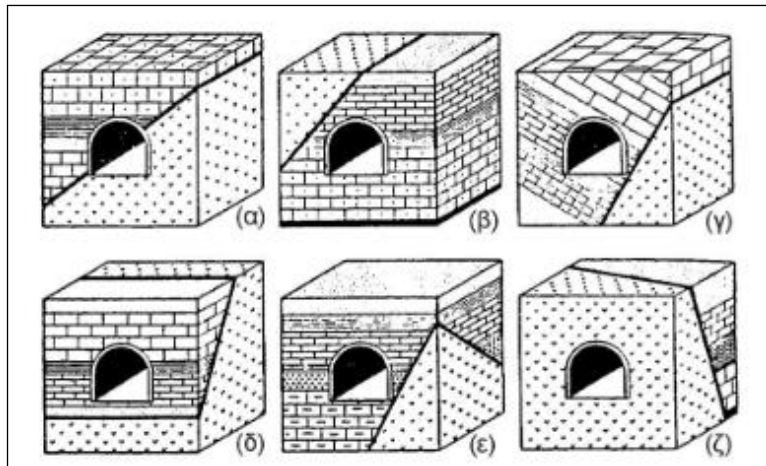
Σήραγγες σε ζώνη διάρρηξης

Στο σχήμα 11 φαίνεται η θέση της εκσκαφής σε σχέση με κάποιο ρήγμα. Στο σχήμα α η σήραγγα βρίσκεται μέσα στη ζώνη διάρρηξης με άξονα παράλληλο προς αυτή. Στα β και γ βρίσκεται στο άνω και το κάτω τέμαχος του ρήγματος. Στα δ και ζ το ρήγμα εγκάρσια ενώ στην περίπτωση ε η σήραγγα βρίσκεται έξω από τη ζώνη διάρρηξης.

Είναι σχεδόν αδύνατη η προστασία της κατασκευής όταν η σήραγγα συναντά ρήγμα και έτσι προτείνεται η αλλαγή της χάραξης όπου είναι δυνατό σε κάθε άλλη περίπτωση πρέπει να παρθούν μέτρα που θα παραλάβουν τις σεισμικές μετακινήσεις.

Όταν η σήραγγα συναντά ενεργό ρήγμα υπό οξεία γωνία τότε, το μήκος της σήραγγας που επηρεάζεται είναι μεγάλο. Σε αυτή την περίπτωση πάλι προτείνεται η αλλαγή της χάραξης ενώ όπου δεν είναι δυνατό διευρύνεται η διατομή ώστε σε ενδεχόμενη αστοχία να μπορεί να επισκευαστεί το τεχνικό.

Παρόλα αυτά γενικά η εκσκαφή θα πρέπει να προφυλάσσεται από ζώνες διάρρηξης καθώς το υλικό τους έχει χαμηλά μηχανικά χαρακτηριστικά λόγω της δράσης των ρηγμάτων και μπορεί να αποτελέσει πάρα πολύ σημαντικό πρόβλημα ακόμη και για εισροή υδάτων, διογκώσεων υλικού κ.α. το ρήγμα ακόμη δημιουργεί προβλήματα και στην κατανομή των τάσεων που επιδρούν στην σήραγγα.



Σχήμα 11: Διαφορετικές θέσεις σήραγγας σε σχέση με την παρουσία ζώνης διάρρηξης (DESIO 1973).

Υλικά αποσάθρωσης

Η διάνοιξη σήραγγας μέσα σε υλικά αποσάθρωσης είναι αρκετά προβληματική καθώς στα υλικά αυτά έχουν απογειωθεί τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους. Οι ζώνες αποσάθρωσης πρέπει να προσδιορίζονται κατά την έρευνα και μελέτη ενός έργου γιατί μπορεί να αποτελέσουν σημαντικό πρόβλημα κατά τη διάρκεια της εκσκαφής αν συναντηθούν.

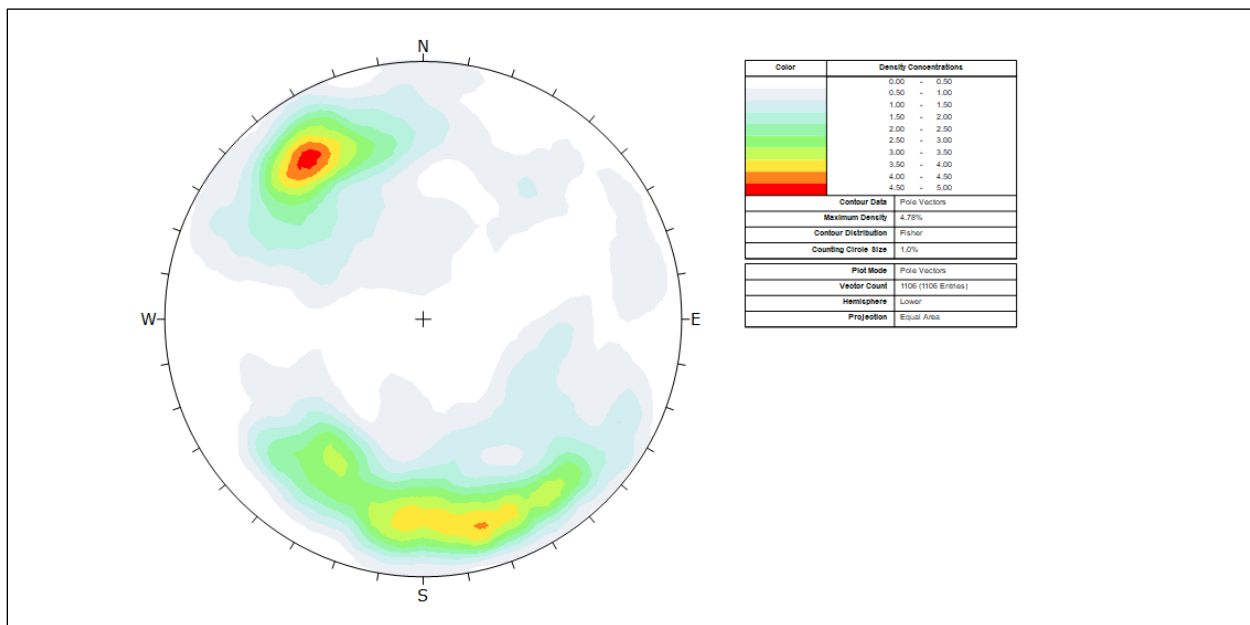
5.3. Στατιστική και τεκτονική ανάλυση επιπέδων ασυνεχειών στην περιοχή έρευνας

Όπως αναλύθηκε παραπάνω ένας σχηματισμός ο οποίος διατρέχεται από ασυνέχειες είναι σύνθετες αν βρεθεί σε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις είτε να καταρρεύσει με γεωμετρία σφήνας από την οροφή ή να ολισθήσει από τα πλάγια τοιχώματα της εκσκαφής. Για την δημιουργία γεωμετρίας σφήνας απαραίτητη συνθήκη είναι τα συστήματα ασυνεχειών να τέμνονται μεταξύ τους. Έτσι προκύπτουν

συνθήκες για ολίσθηση κατά μήκος μιας επιφάνειας ασυνέχειας ή στην τομή δυο ασυνεχειών ή ελεύθερη πτώση σφηνών από την οροφή. Τα φαινόμενα αυτά εξετάζονται καθώς είναι επικίνδυνα για την ευστάθεια του υπογείου έργου.

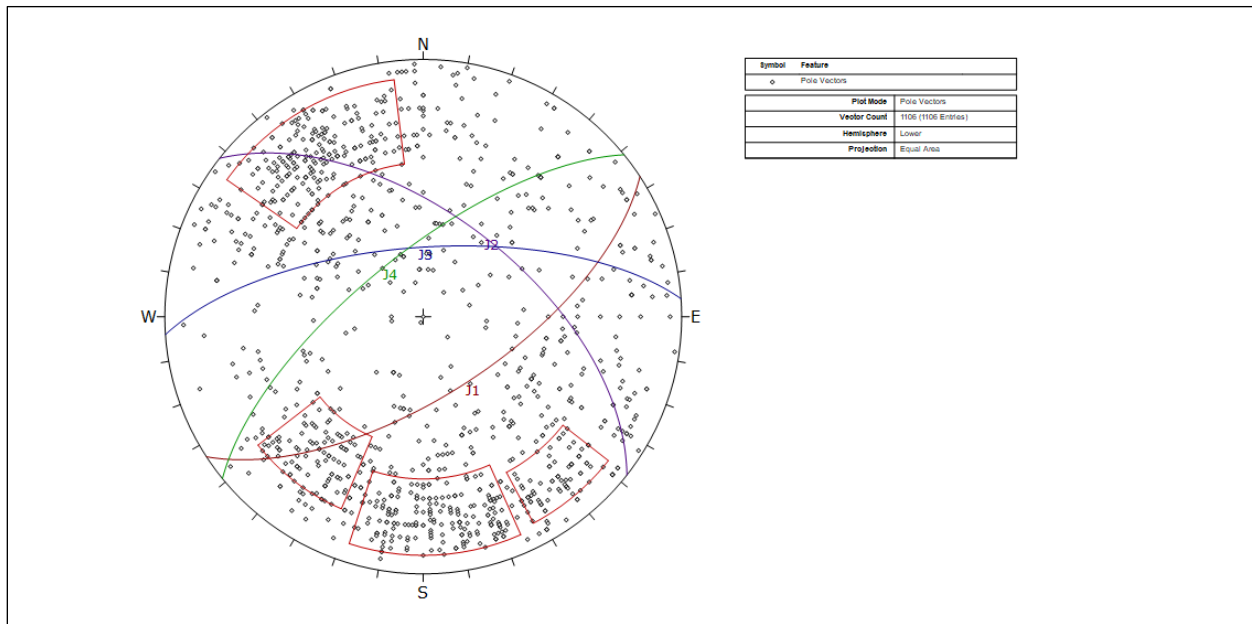
Για την στατιστική και τεκτονική ανάλυση των συστημάτων ασυνεχειών που τέμνουν την βραχομάζα στην περιοχή του Πολύμυλου όπου πραγματοποιήθηκε η εκσκαφή των εξεταζόμενων τεσσάρων δίδυμων σηράγγων σηράγγων χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις γεωμετρικών στοιχείων ασυνεχειών που αντλήθηκαν από την βάση δεδομένων «TIAS». Τα δεδομένα αυτά αποτελούν μετρήσεις ασυνεχειών που πραγματοποιήθηκαν στα μέτωπα των εκσκαφών και αφορούν στοιχεία των ασυνεχειών, της σχιστότητας και των ρηγμάτων. Η στατιστική επεξεργασία έγινε με το λογισμικό «DIPS 7.0», με σκοπό να εκτιμηθούν οι κύριες επιφάνειες των ασυνεχειών και να προκύψουν τεκτονικά διαγράμματα που να περιγράφουν της συνθήκες. Στο παράρτημα δίνονται τα γεωμετρικά στοιχεία των ασυνεχειών που επεξεργάστηκαν και δημιουργούν συνθήκες επισφαλών βραχοσφηνών, καθώς και οι χιλιομετρικές θέσεις των μετώπων όπου παρατηρήθηκαν. Στην συνέχεια θα παρατεθεί η στατιστική ανάλυση και τα τεκτονικά διαγράμματα με τα στοιχεία από τα κύρια συστήματα ασυνεχειών που εμφανίζονται να τέμνουν την βραχομάζα. Επίσης παρατίθενται ενδεικτικά τεκτονικά διαγράμματα για συγκεκριμένες Χ.Θ. που αφορούν μέτωπα σε κάθε μια από τις εξεταζόμενες σήραγγες.

Έτσι για τη σήραγγα Σ10 από την στερεογραφική προβολή της πύκνωσης των πόλων των ασυνεχειών προέκυψε το σχήμα 12.

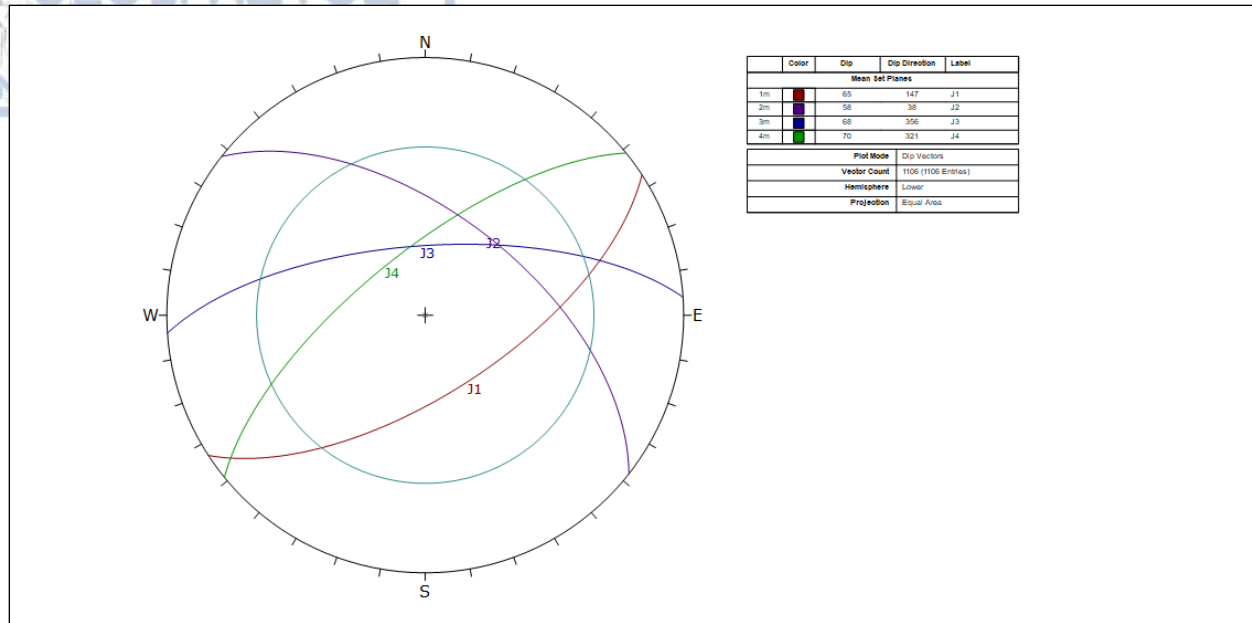


Σχήμα 12: Στερεογραφική προβολή της πύκνωσης των πόλων των ασυνεχειών για της σήραγγα Σ10.

Από την προβολή των γεωμετρικών στοιχείων των ασυνεχειών και την ομαδοποίηση αυτών προέκυψαν οι παρακάτω οικογένειες ασυνεχειών που φαίνονται στο σχήμα 13. Γίνεται επίσης η προβολή αυτών στο σχήμα με γωνία τριβής $\phi=35^\circ$ αφού από το μέσο όρο των μετρήσεων της δοκιμής άμεσης διάτμησης ασυνεχειών προέκυψε γωνία τριβής $35,08^\circ$ και από την ταξινόμηση Q προσδιορίστηκε γωνία τριβής στο μεγαλύτερο μέρος των παρατηρήσεων μέσω του παράγοντα που περιγράφει τη γωνία τριβής (J_r/J_a) μεγαλύτερη των 36° ενώ η ανάλυση σύμφωνα με την μελέτη του έργου περιγράφει ασυνέχειες με γωνία τριβής 35° .



Σχήμα 13: Στερεογραφική προβολή ομαδοποίησης των γεωμετρικών στοιχείων των ασυνεχειών.



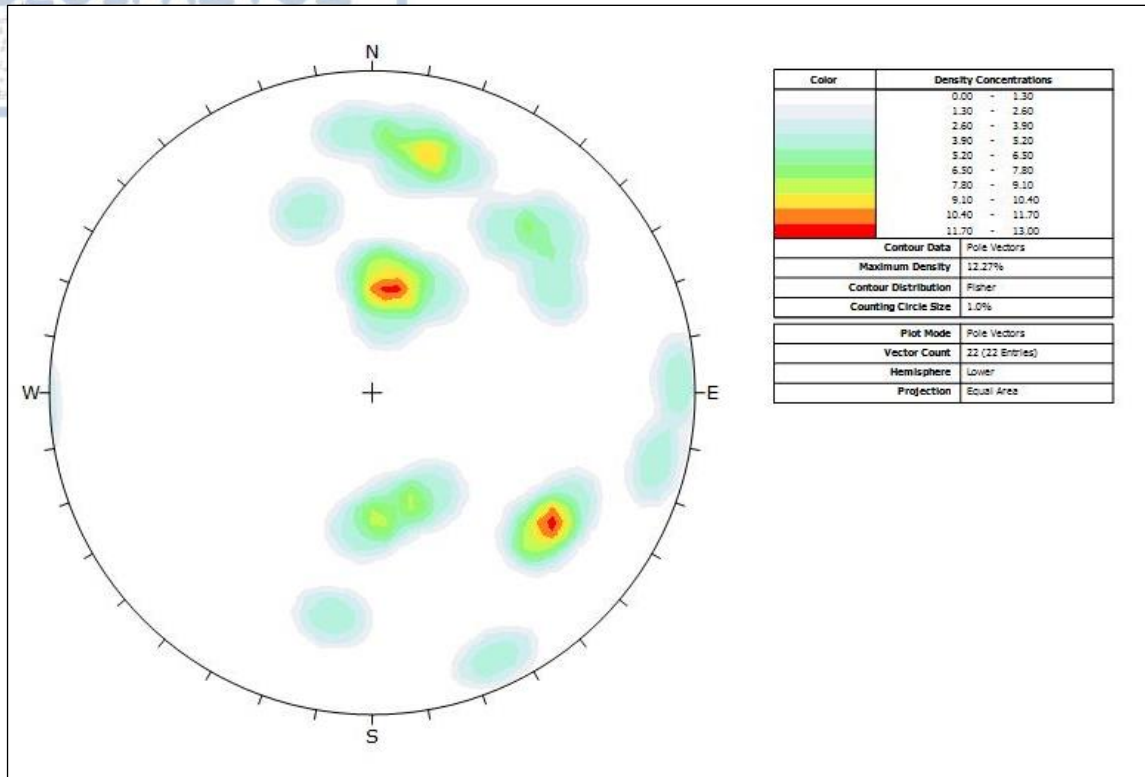
Σχήμα 14: Στερεογραφική προβολής γεωμετρικών στοιχείων επιπέδων των ασυνεχειών.

Οι οικογένειες ασυνεχειών που προέκυψαν από την ομαδοποίηση αυτή είναι 4 και τα γεωμετρικά τους στοιχεία δίνονται στον πίνακα 27.

Πίνακας 27: Κύρια συστήματα ασυνεχειών στην θέση της εκσκαφής Σ10.

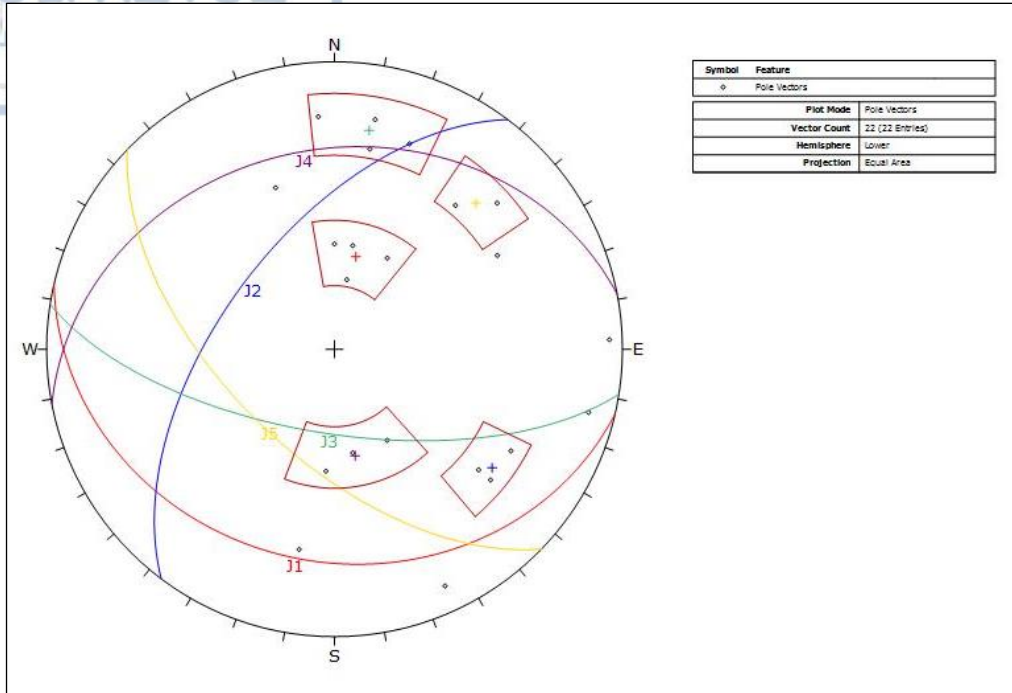
Ασυνέχεια	Γωνία κλίσης (°)	Διεύθυνση κλίσης (°)
J1	65	147
J2	58	38
J3	68	356
J4	70	321

Για τη σήραγγα Σ11 από την στερεογραφική προβολή της πύκνωσης των πόλων των ασυνεχειών προέκυψε το σχήμα 15.

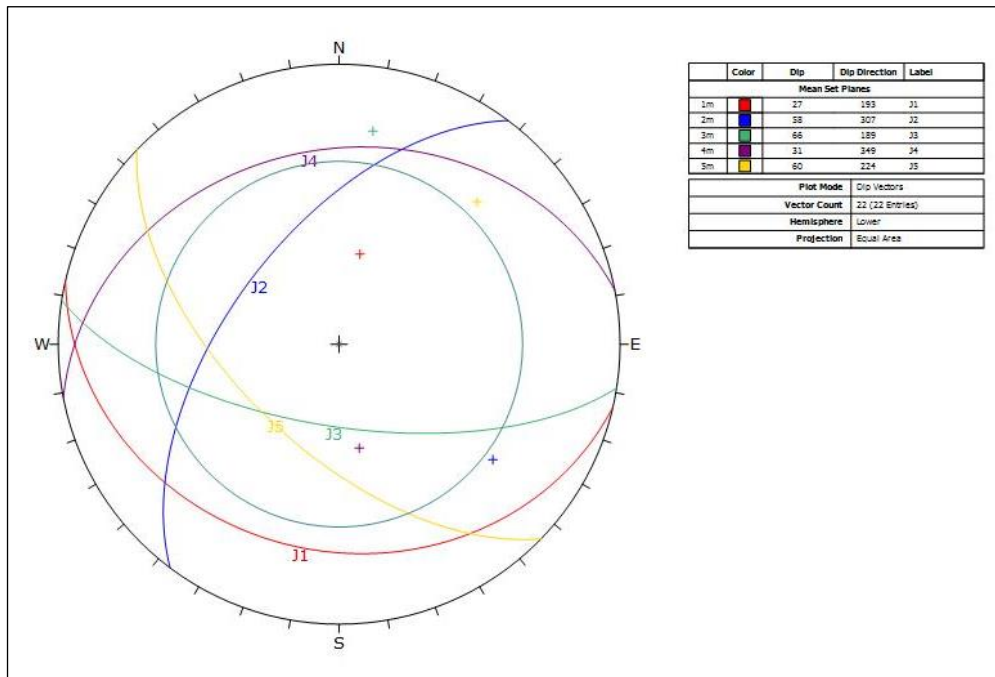


Σχήμα 15: Στερεογραφική προβολή της πυκνωσης των πόλων των ασυνεχειών για της σήραγγα Σ11.

Από την προβολή των γεωμετρικών στοιχείων των ασυνεχειών και την ομαδοποίηση αυτών προέκυψαν οι παρακάτω οικογένειες ασυνεχειών που φαίνονται στο σχήμα 16. Γίνεται επίσης η προβολή αυτών στο σχήμα με γωνία τριβής $\phi=35^\circ$.



Σχήμα 16: Στερεογραφική προβολή ομαδοποίησης των γεωμετρικών στοιχείων των ασυνεχειών.



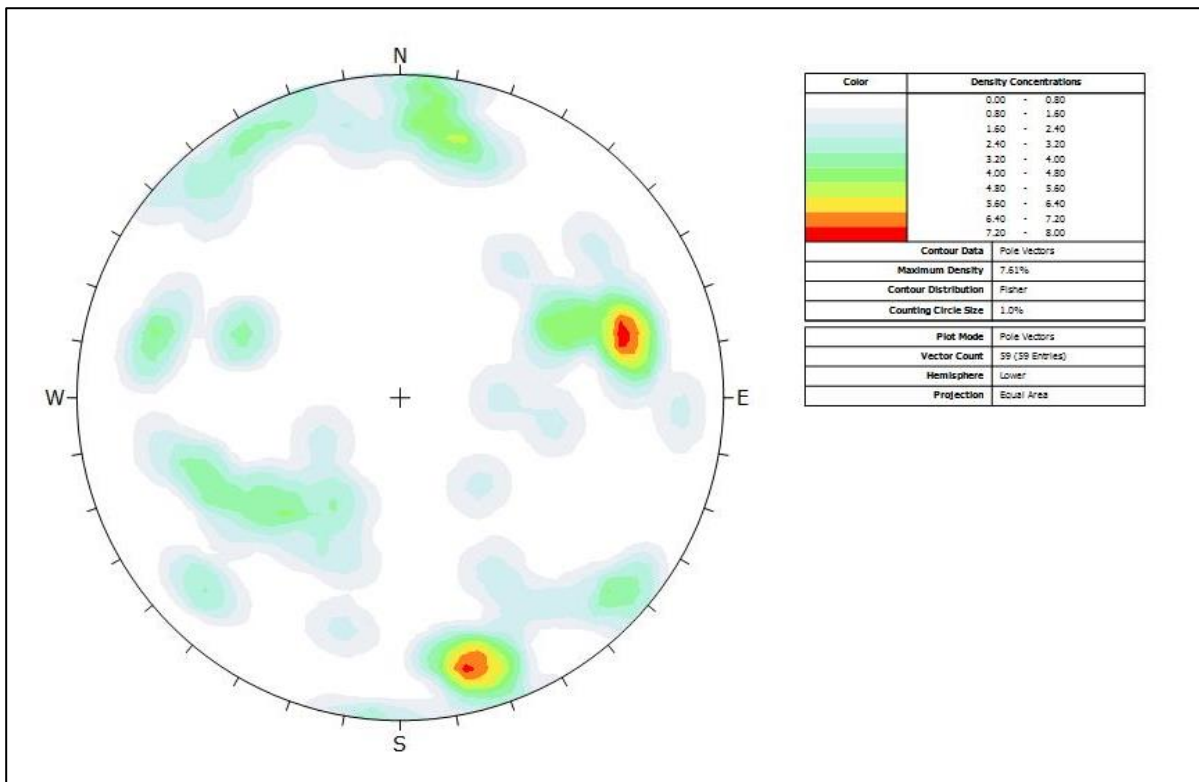
Σχήμα 17: Στερεογραφική προβολή γεωμετρικών στοιχείων των ασυνεχειών.

Οι οικογένειες ασυνεχειών που προέκυψαν από την ομαδοποίηση αυτή είναι 5 και τα γεωμετρικά τους στοιχεία δίνονται στον πίνακα 28.

Πίνακας 28: Κύρια συστήματα ασυνεχιών στην θέση της εκσκαφής Σ11

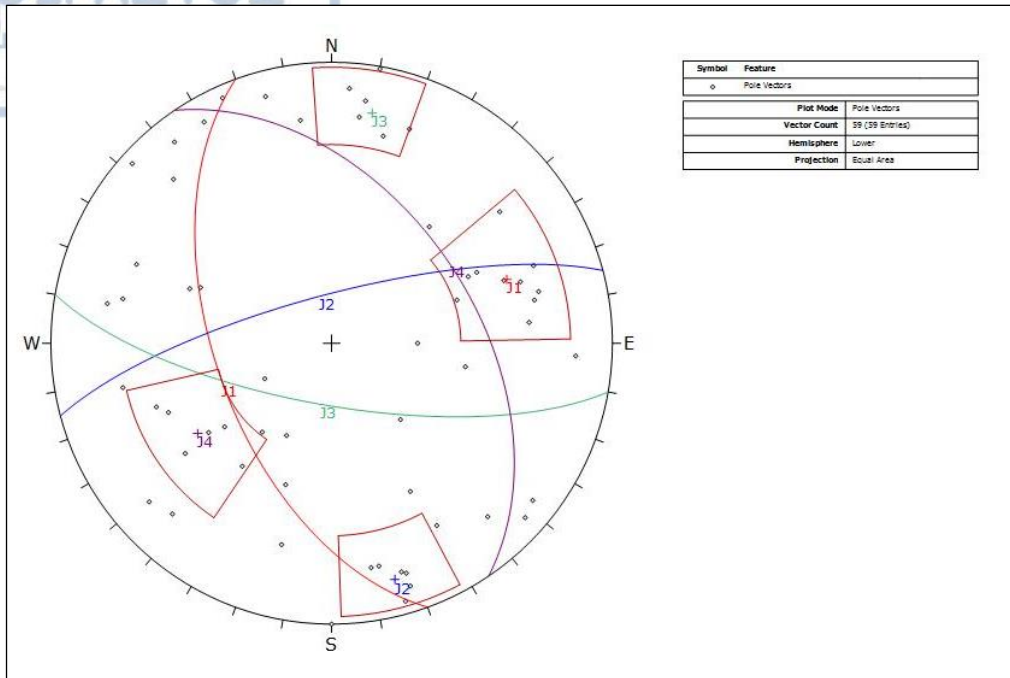
Ασυνέχεια	Γωνία κλίσης (°)	Διεύθυνση κλίσης (°)
J1	27	190
J2	58	307
J3	66	189
J4	31	349
J5	60	224

Για τη σήραγγα Σ12 από την στερεογραφική προβολή της πύκνωσης των πόλων των ασυνεχιών προέκυψε το σχήμα 18.

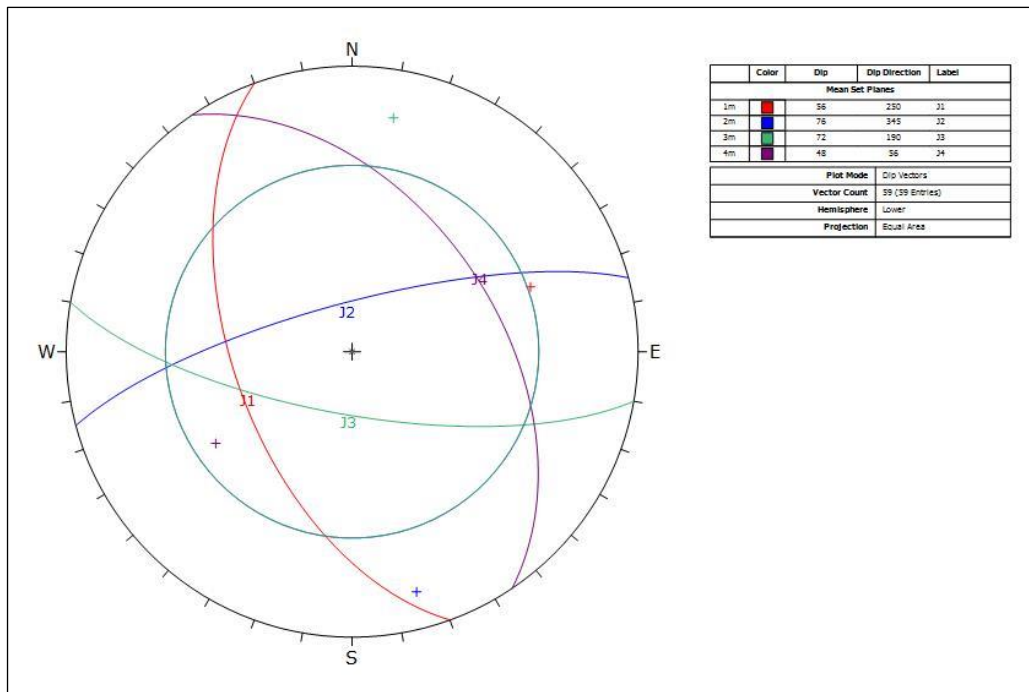


Σχήμα 18: Στερεογραφική προβολή της πύκνωσης των πόλων των ασυνεχιών για της σήραγγα Σ12.

Από την προβολή των γεωμετρικών στοιχείων των ασυνεχιών και την ομαδοποίηση αυτών προέκυψαν οι παρακάτω οικογένειες ασυνεχιών που φαίνονται στο σχήμα 19. Γίνεται επίσης η προβολή αυτών στο σχήμα με γωνία τριβής $\phi=35^\circ$.



Σχήμα 19: Στερεογραφική προβολή ομαδοποίησης των γεωμετρικών στοιχείων των ασυνεχειών.



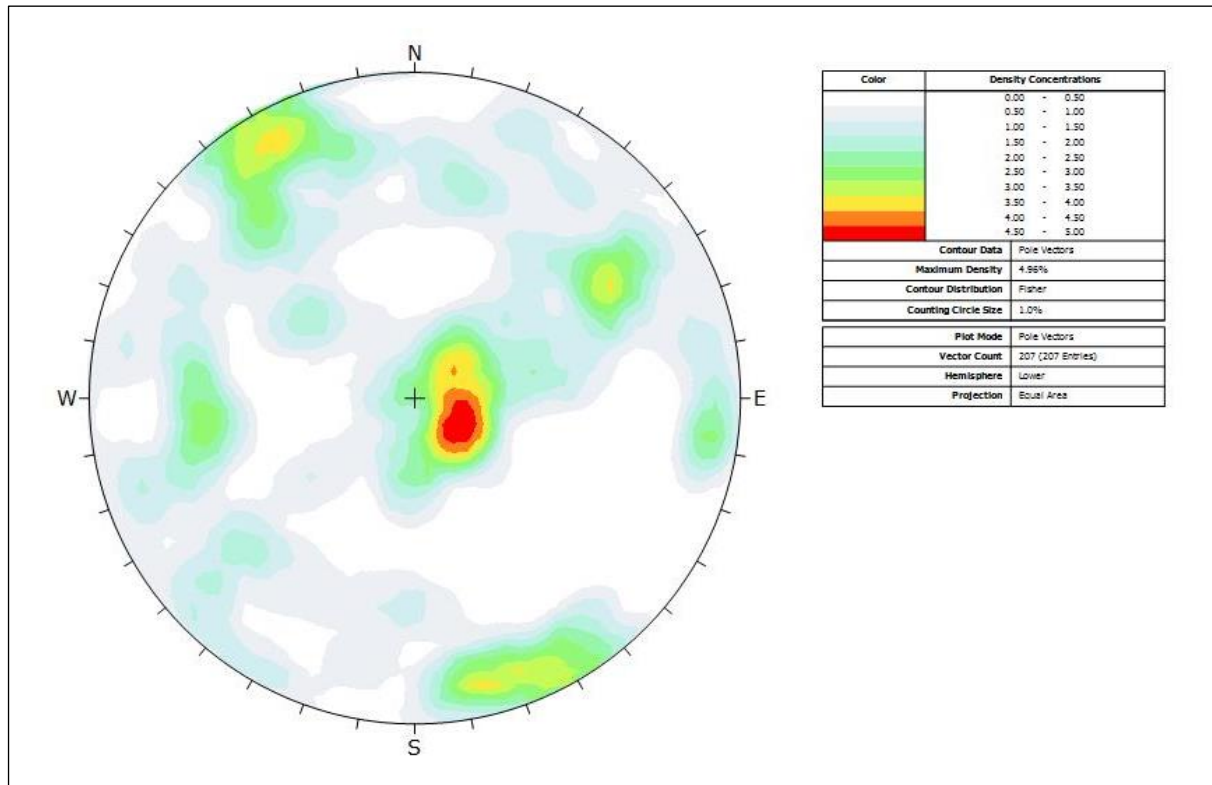
Σχήμα 20: Στερεογραφική προβολή γεωμετρικών στοιχείων των ασυνεχειών.

Οι οικογένειες ασυνεχειών που προέκυψαν από την ομαδοποίηση αυτή είναι 4 και τα γεωμετρικά τους στοιχεία δίνονται στον πίνακα 29.

Πίνακας 29: Κύρια συστήματα ασυνεχειών στην θέση της εκσκαφής Σ12

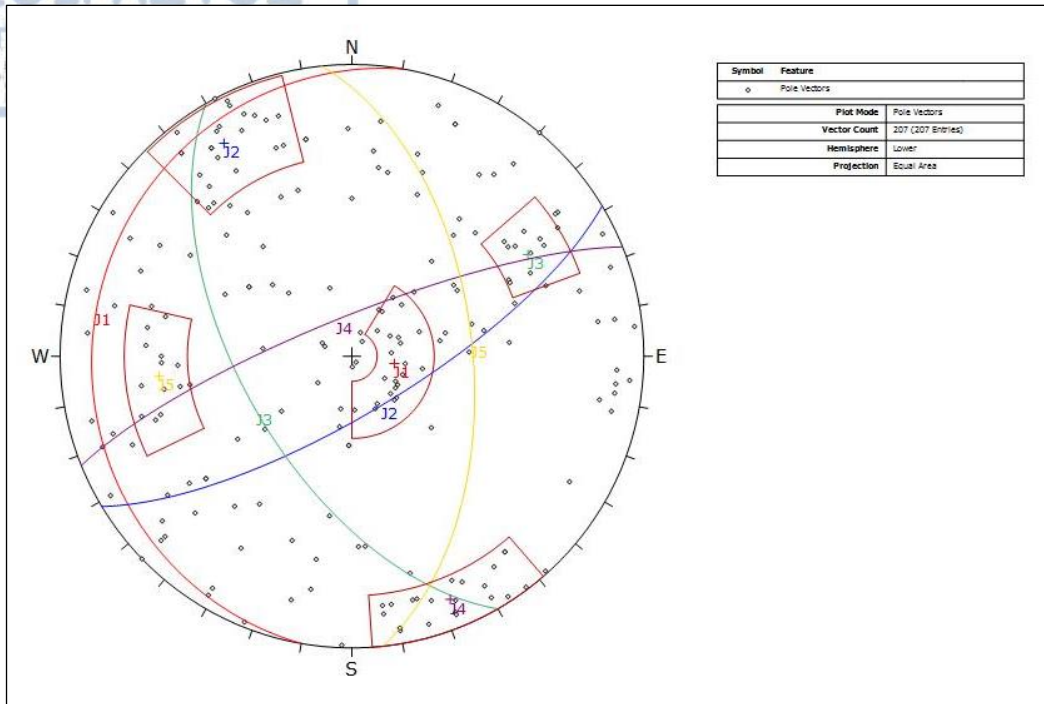
Ασυνέχεια	Γωνία κλίσης (°)	Διεύθυνση κλίσης(°)
J1	56	250
J2	76	345
J3	72	190
J4	48	56

Για τη σήραγγα Σ13 από την στερεογραφική προβολή της πύκνωσης των πόλων των ασυνεχειών προέκυψε το σχήμα 21.

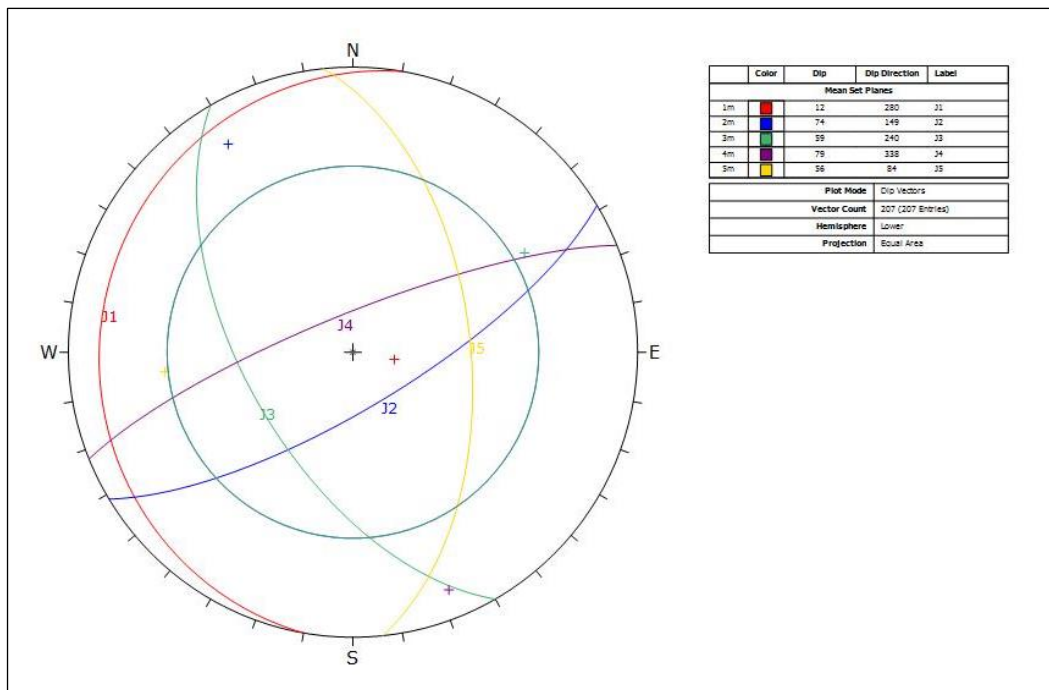


Σχήμα 21: Στερεογραφική προβολή της πύκνωσης των πόλων των ασυνεχειών για της σήραγγα Σ13.

Από την προβολή των γεωμετρικών στοιχείων των ασυνεχειών και την ομαδοποίηση αυτών προέκυψαν οι παρακάτω οικογένειες ασυνεχειών που φαίνονται στο σχήμα 22. Γίνεται επίσης η προβολή αυτών στο σχήμα με γωνία τριβής $\phi=35^\circ$.



Σχήμα 22: Στερεογραφική προβολή ομαδοποίησης των γεωμετρικών στοιχείων των ασυνεχειών.



Σχήμα 23: Στερεογραφική προβολή γεωμετρικών στοιχείων των ασυνεχειών.

Οι οικογένειες ασυνεχειών που προέκυψαν από την ομαδοποίηση αυτή είναι 4 και τα γεωμετρικά τους στοιχεία δίνονται στον πίνακα 30.

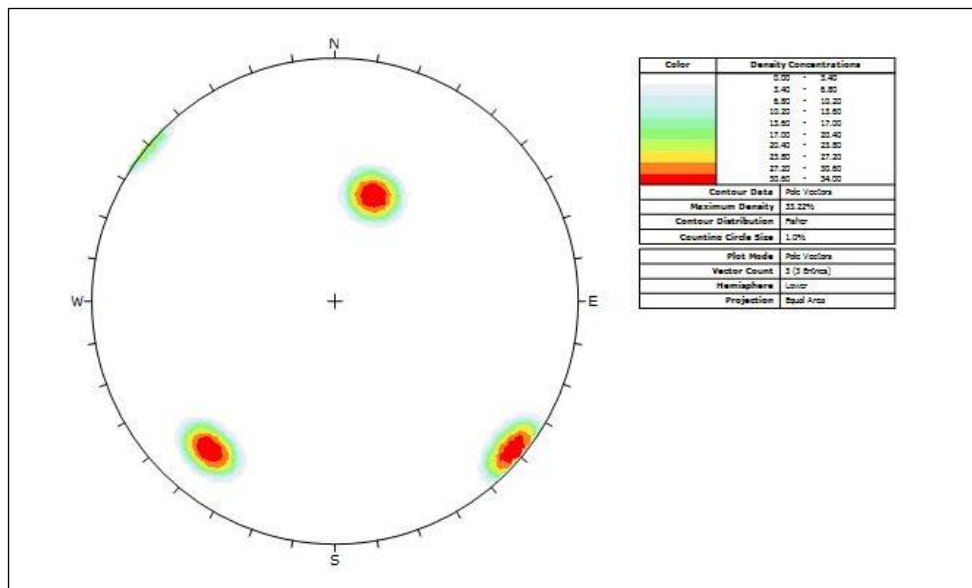
Πίνακας 30: Κύρια συστήματα ασυνεχιών στην θέση της εκσκαφής Σ13.

Ασυνέχεια	Γωνία κλίσης (°)	Διεύθυνση κλίσης (°)
J1	12	280
J2	74	149
J3	59	240
J4	79	338
J5	56	84

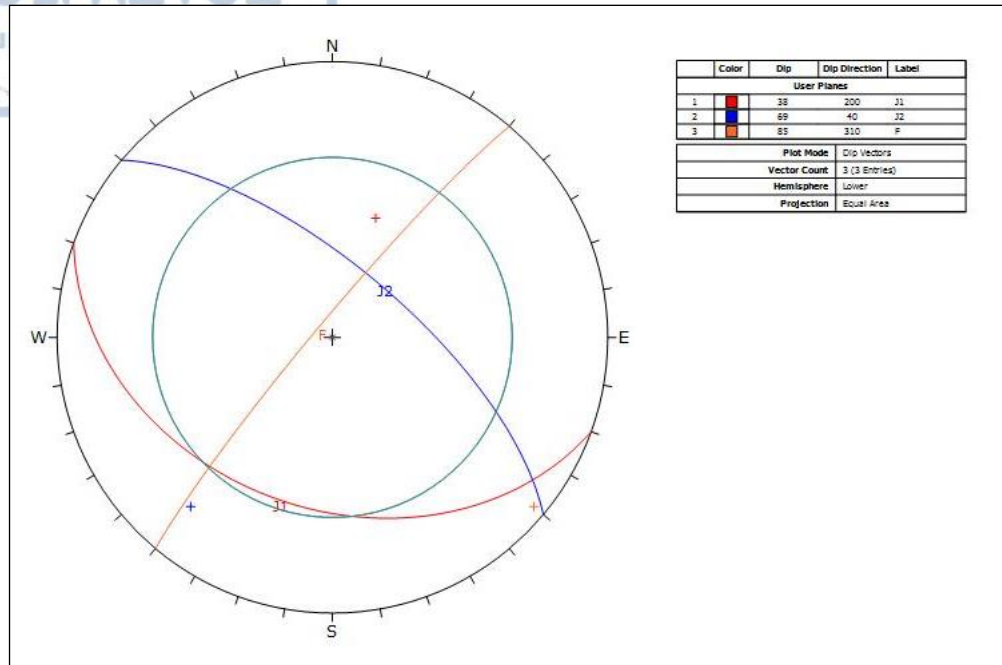
Ενδεικτικές στερεογραφικές προβολές και τεκτονικά διαγράμματα των επιπέδων των ασυνεχιών σε τέσσερα μέτωπα μέτωπα που αφορούν ξεχωριστά την κάθε εκσκαφή.

Μετά την επεξεργασία του συνόλου των γεωμετρικών στοιχείων των ασυνεχιών για κάθε σήραγγα έγινε επεξεργασία των γεωμετρικών στοιχείων των ασυνεχιών για κάθε μέτωπο με βάση τις καταγραφές που έγιναν κατά την εκσκαφή. Έτσι θα παρουσιαστούν παρακάτω ενδεικτικά τέσσερα μέτωπα που το κάθε ένα θα αντιπροσωπεύει μια σήραγγα και οι χιλιομετρικές θέσεις αυτών.

Έτσι για την σήραγγα Σ10 από την Χ.Θ 26+453 έως 26+462 από την στερεογραφική προβολή της πύκνωσης των πόλων των ασυνεχιών προέκυψε το σχήμα 24.



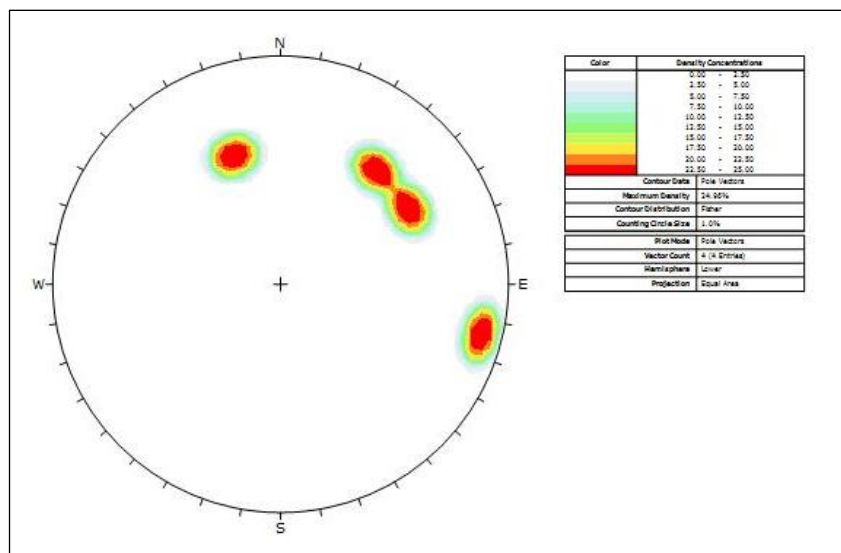
Σχήμα 24: Στερεογραφική προβολή της πύκνωσης των πόλων των ασυνεχιών σε μέτωπο της Σ10.



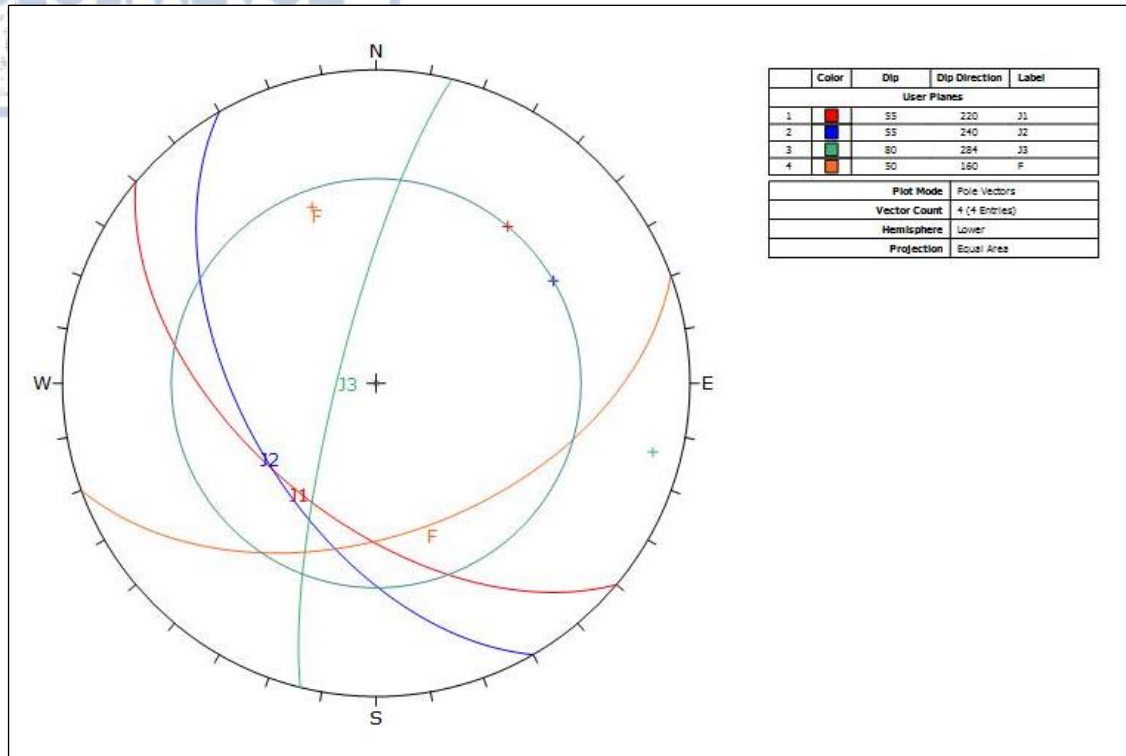
Σχήμα 25: Στερεογραφική προβολή γεωμετρικών στοιχείων των επιπέδων των ασυνεχειών σε μέτωπο της Σ11.

Τα στοιχεία των ασυνεχειών που επεξεργάστηκαν (Σχήμα 25) είναι : J1(32°/200°), J2(69°/40°) και F(85°/310°). Όπως φαίνεται από το σχήμα να δημιουργείται σφήνα μεταξύ των ασυνεχειών J1 και του ρήγματος αλλά και μεταξύ της J2 και του ρήγματος εντός του κύκλου που αντιπροσωπεύει τη γωνία τριβής.

Έτσι για την σήραγγα Σ11 από την Χ.Θ 28+880,57 από την στερεογραφική προβολή της πύκνωσης των πόλων των ασυνεχειών προέκυψε το σχήμα 26.



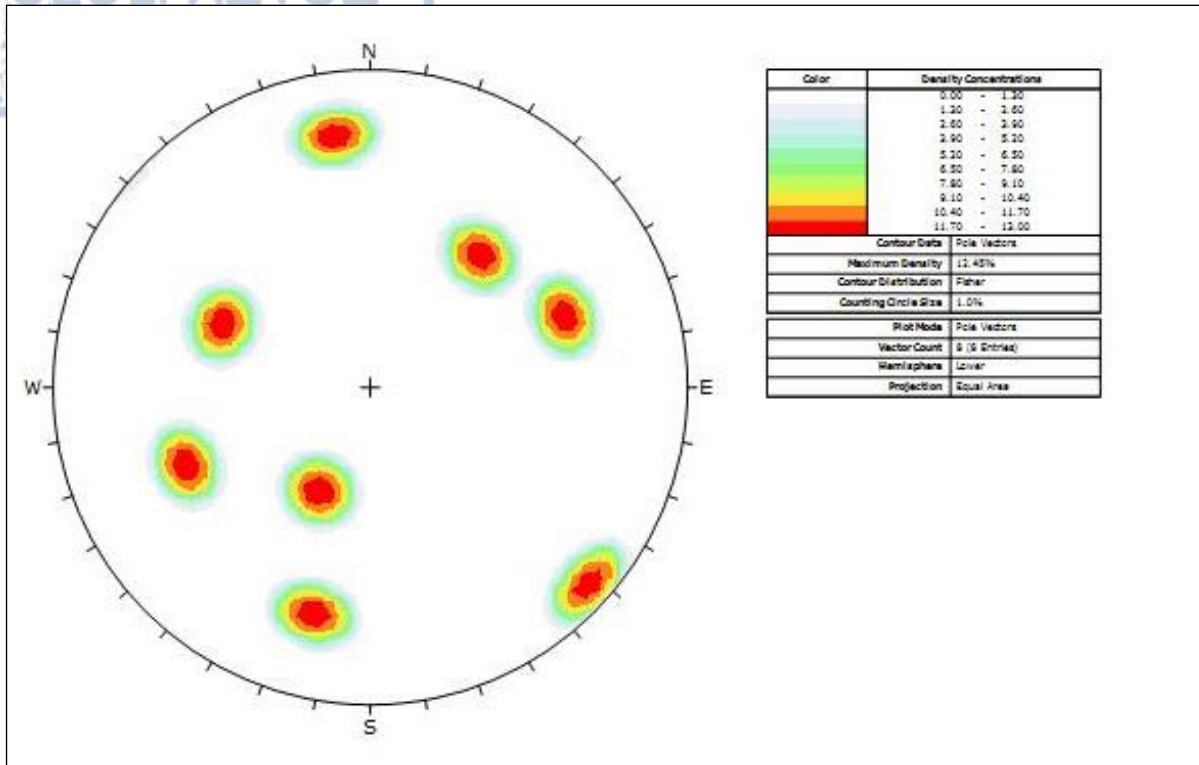
Σχήμα 26: Στερεογραφική προβολή της πύκνωσης των πόλων των ασυνεχειών σε μέτωπο της Σ11.



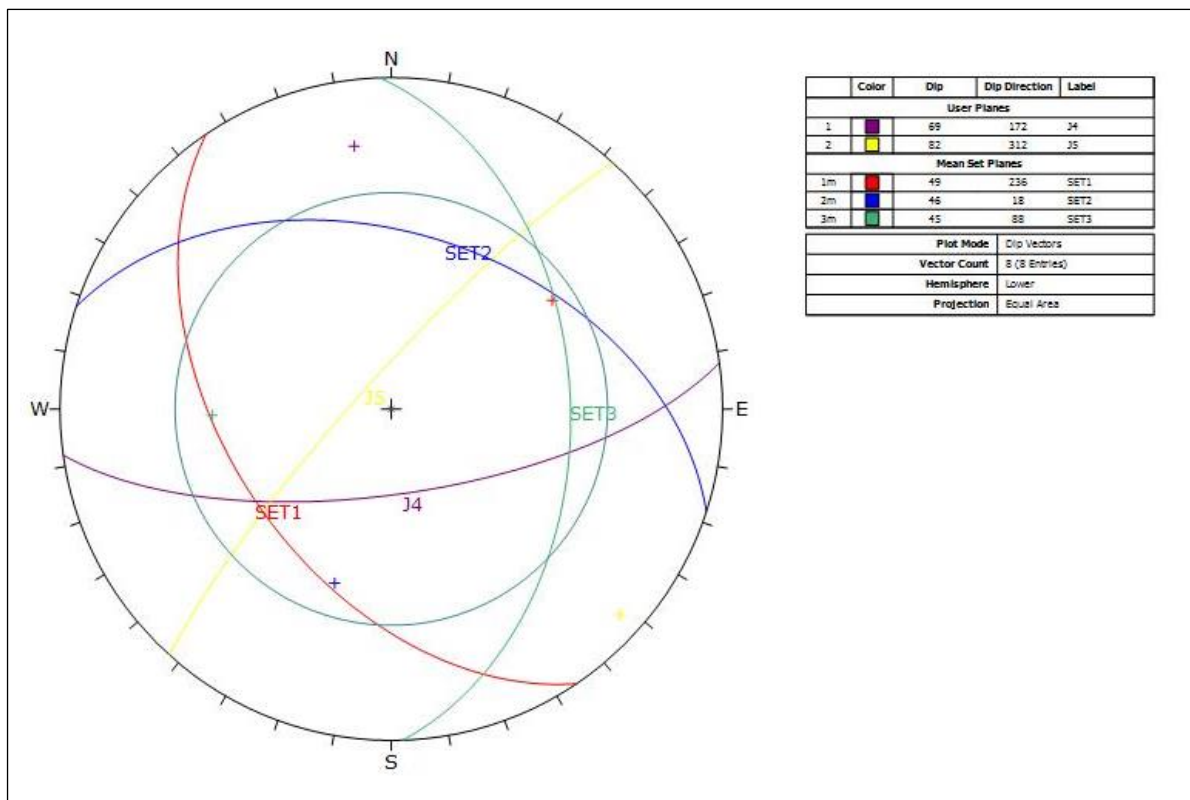
Σχήμα 27: Στερεογραφική προβολή γεωμετρικών στοιχείων των επιπέδων των ασυνεχειών σε μέτωπο της Σ11.

Τα στοιχεία των ασυνεχειών που επεξεργάστηκαν (Σχήμα 27), αναφέρονται ασυνέχειες : J1(55°/220°), J2(55°/240°), J3(80°/284°) και F(50°/ 160°). Όπως φαίνεται από το σχήμα να δημιουργούνται σφήνες μεταξύ και των τεσσάρων ασυνεχειών καθώς αναμένουμε και ελεύθερη πτώση από την εκσκαφή πέραν της ολίσθησης κατά μήκος ασυνέχειας.

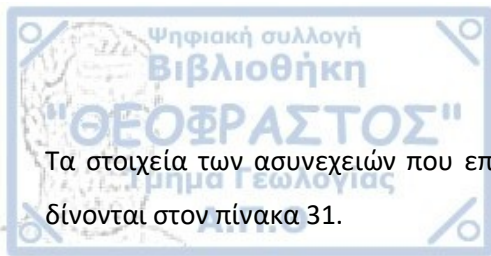
Έτσι για την σήραγγα Σ12 από την Χ.Θ 29+922,35 από την στερεογραφική προβολή της πύκνωσης των πόλων των ασυνεχειών προέκυψε το σχήμα 28.



Σχήμα 28: Στερεογραφική προβολή της πύκνωσης των πόλων των ασυνεχειών σε μέτωπο της Σ12.



Σχήμα 29: Στερεογραφική προβολή γεωμετρικών στοιχείων των επιπέδων των ασυνεχειών σε μέτωπο της Σ12.



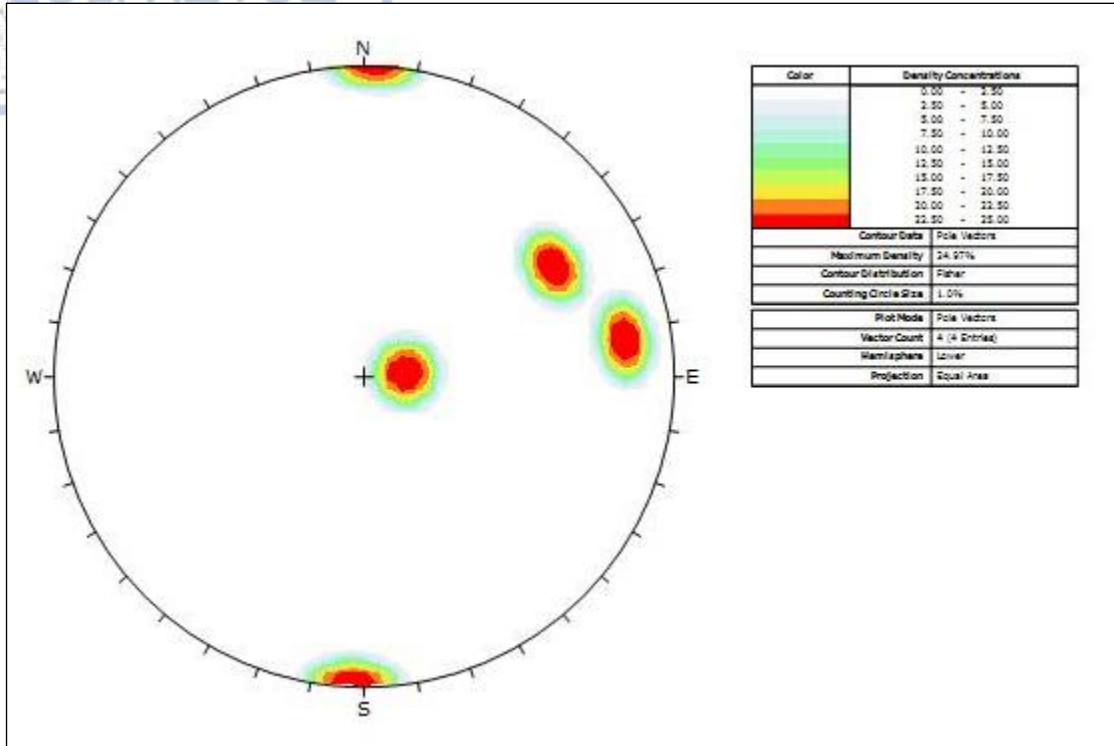
Τα στοιχεία των ασυνεχειών που επεξεργάστηκαν στην συγκεκριμένη θέση αφορούν διακλάσεις και δίνονται στον πίνακα 31.

Πίνακας 31: Στοιχεία γωνίας κλίσης και διεύθυνσης κλίσης επιπέδων ασυνεχειών.

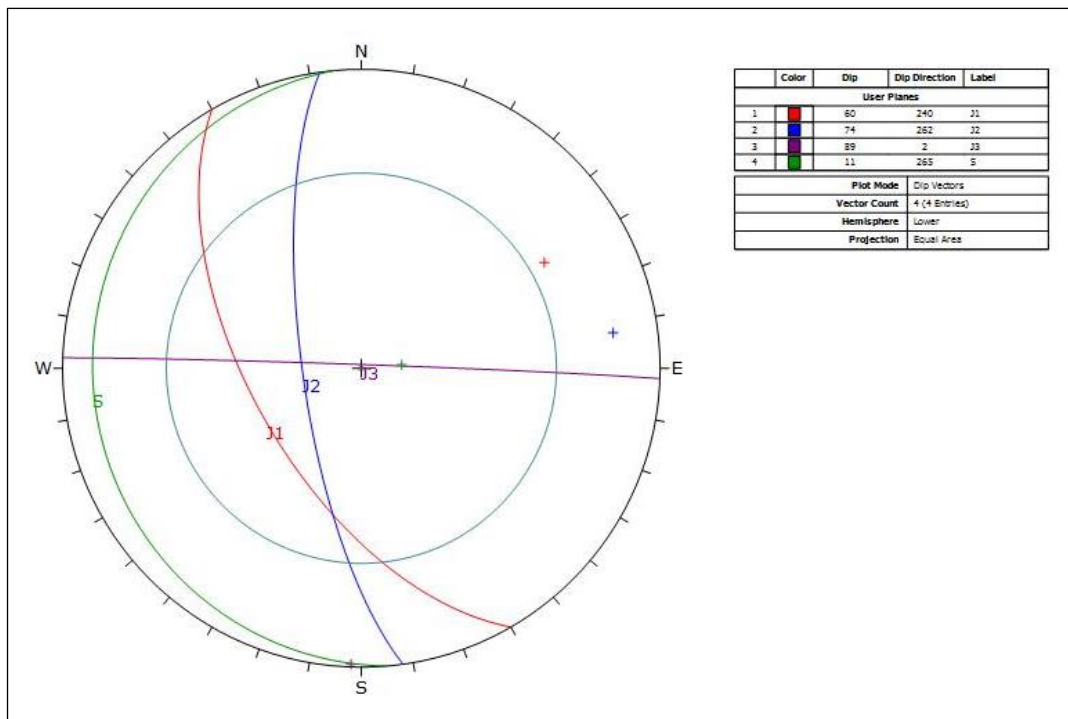
Γωνία κλίσης (°)	Διεύθυνση κλίσης (°)
30	26
42	113
45	220
53	67
55	250
63	14
69	172
82	312

Οι ασυνέχειες αυτές ομαδοποιήθηκαν και προέκυψαν τα εξής στοιχεία: SET1(49°/236°), SET2(46°/018°), SET3 (45°/088°). Η περαιτέρω ομαδοποίηση δεν πραγματοποιήθηκε καθώς φαίνεται να αλλάζει τα πραγματικά δεδομένα, οι ασυνέχειες επεξεργάστηκαν με τα στοιχεία που δοθήκαν. Τα στοιχεία των J4(69°/172°) και J5(82°/312°) φαίνεται να δημιουργούν συνθήκες για ελεύθερη πτώση από την οροφή της εκσκαφής εκτός του ότι δημιουργούνται συνθήκες για ολίσθηση σφηνών σε γενικότερο επίπεδο.

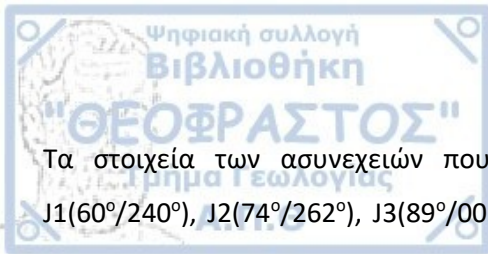
Έτσι για την σήραγγα Σ13 από την Χ.Θ 30+434,29 από την στερεογραφική προβολή της πύκνωσης των πόλων των ασυνεχειών προέκυψε το σχήμα 30.



Σχήμα 30: Στερεογραφική προβολή της πυκνωσης των πόλων των ασυνεχειών σε μέτωπο της Σ13.



Σχήμα 31: Στερεογραφική προβολή γεωμετρικών στοιχείων των επιπέδων των ασυνεχειών σε μέτωπο της Σ13.



Τα στοιχεία των ασυνεχειών που επεξεργάστηκαν (Σχήμα 31), αναφέρονται στις ασυνέχειες: J1(60°/240°), J2(74°/262°), J3(89°/002°) και S(11°/ 265°). Όπως φαίνεται από το σχήμα εκτός του ότι δημιουργούνται συνθήκες για ολίσθηση σφηνών μεταξύ και των τριών διακλάσεων J1, J2 και J3 από την επεξεργασία των στοιχείων τους φαίνεται να δημιουργούνται και συνθήκες για ελεύθερη πτώση υλικού από την οροφή της εκσκαφής.

Από την συνολική επεξεργασία όλων των γεωμετρικών στοιχείων των ασυνεχειών για κάθε εκσκαφή και κάθε μέτωπο αυτής προέκυψαν 88 μέτωπα όπου χρειάζεται περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων, αφού φαίνεται να δημιουργούνται συνθήκες είτε για ολίσθηση σφηνών από τα τοιχώματα της εκσκαφής είτε για ελεύθερη πτώση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο - ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΒΡΑΧΟΣΦΗΝΩΝ

6.1. Παραμετρική ανάλυση ευστάθειας

Για την προσέγγιση των μεγεθών, όγκου και ύψους αλλά και του συντελεστή ασφαλείας βραχοσφηνών που στην προηγούμενη ανάλυση χαρακτηρίζονται επισφαλείς πραγματοποιήθηκε έλεγχος ευστάθειας με το λογισμικό Unwedge 4.0 της εταιρίας Rocscience Inc. Η ανάλυση αφορά τέσσερις διατομές όπου αναφέρονται σε τέσσερις διαφορετικούς κλάδους. Για την κάθε μια διατομή εξετάζονται αρχικά τρεις διαφορετικές περιπτώσεις όπου περιγράφουν την ποιότητα των επιπέδων των ασυνεχειών μέσω του κριτηρίου Mohr – Coulomb. Έτσι γίνεται ανάλυση για:

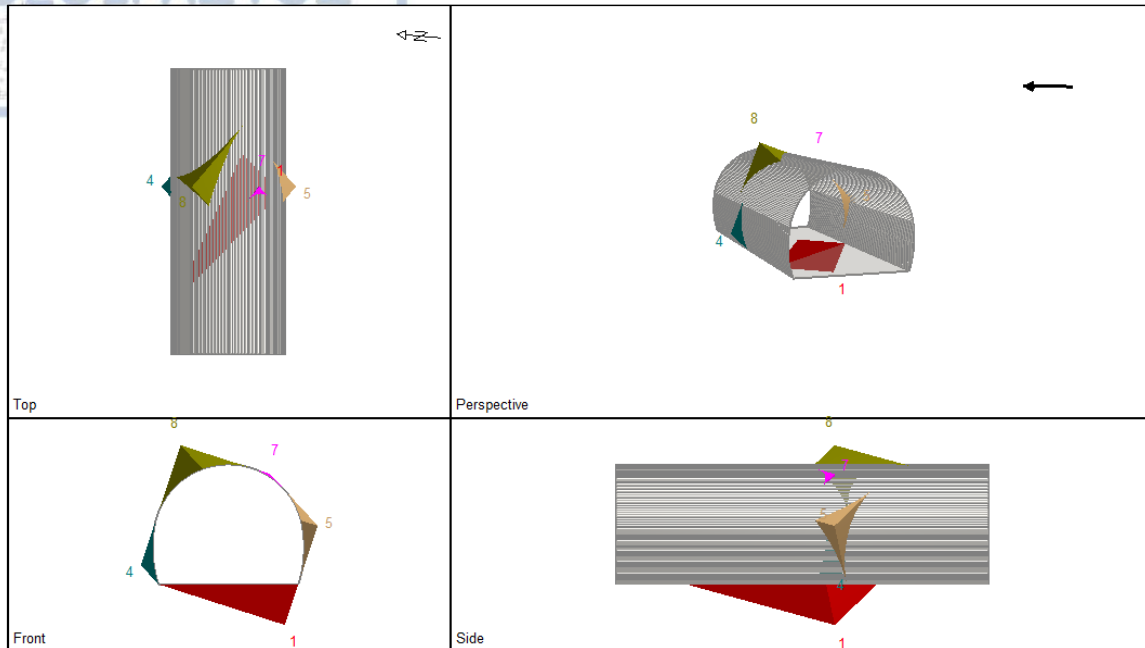
- $\phi=35^\circ$ και $c=100\text{kPa}$ (υγιείς επιφάνειες επιπέδων ασυνεχειών)
- $\phi=30^\circ$ (ελαφρά έως μέτρια αποσαθρωμένες επιφάνειες ασυνεχειών)
- $\phi=25^\circ$ (ασυνέχειες πληρωμένες με άργιλο λόγω αποσάθρωσης)

Γενικότερα το λογισμικό που χρησιμοποιείται για την ανάλυση της ευστάθειας εξετάζει την περίπτωση βραχοσφηνών με την μεγαλύτερη δυνατή εμμόνη που μπορεί να εξεταστεί και έτσι εξετάζει τους μεγαλύτερους όγκους βραχοσφηνών που μπορούν να ολισθήσουν κατά την διάρκεια της εκσκαφής. Για το λόγο αυτό μια άλλη παράμετρος που κρίθηκε αναγκαίο να εξεταστεί είναι η εμμόνη ώστε να εξεταστούν περιπτώσεις πιο ρεαλιστικών συνθηκών. Έτσι ορίστηκαν δύο περιπτώσεις, μέγιστης εμμόνης, 3m και 5m και εξεταστήκαν για τις δύο διαφορετικές περιπτώσεις όπου οι ασυνέχειες είναι ελαφρά έως μέτρια αποσαθρωμένες ή είναι πληρωμένες με αργιλικό υλικό.

Τμήμα σήραγγας Σ10, Χ.Θ. 26+453.

Τα γεωμετρικά στοιχεία των ασυνεχειών που εξετάστηκαν στην συγκεκριμένη ανάλυση ευστάθειας αφορούν της ασυνέχειες με στοιχεία κλίσης και διεύθυνσης κλίσης:

- J1: $38^\circ / 200^\circ$
- J2: $69^\circ / 040^\circ$
- J3: $85^\circ / 310^\circ$



Σχήμα 32: Αναπαράσταση των βραχοσφηνών που δημιουργούνται σε διατομή της σήραγγας Σ10.

Πίνακας 32: Εκτίμηση όγκου ύψους και επιπέδου ασυνέχειας που πραγματοποιείται η ολίσθηση.

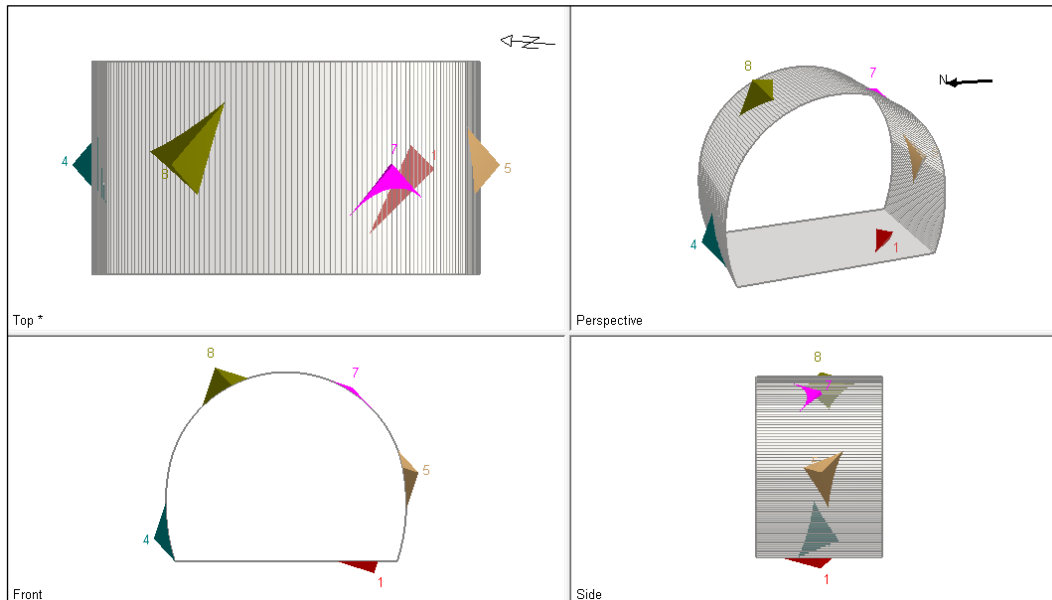
Εκτιμώμενα Μεγέθη	Αριθμός βραχοσφήνας			
	4	5	7	8
Όγκος (m ³)	1,655	2,911	0,049	10,754
Ύψος (m)	1,03	1,22	0,2	2,42
Επίπεδο ολίσθησης	38/200	69/040 & 85/310	85/310	38/200

Πίνακας 33: Συσχέτιση εξεταζόμενης γωνίας τριβής και συντελεστή ασφαλείας

Γωνία τριβής (°)	Αριθμός βραχοσφήνας			
	4	5	7	8
	Συντελεστής ασφαλείας			
35	6,484	8,656	8,19	0
30	0,523	0,197	0,037	0
25	0,423	0,159	0,03	0

Ενώ με τον περιορισμό της εμμονής των επιπέδων των ασυνεχιών που εξετάζονται υπάρχει μεταβολή των όγκων των βραχοσφηνών που δημιουργούνται καθώς και μεταβολή του συντελεστή ασφάλειας.

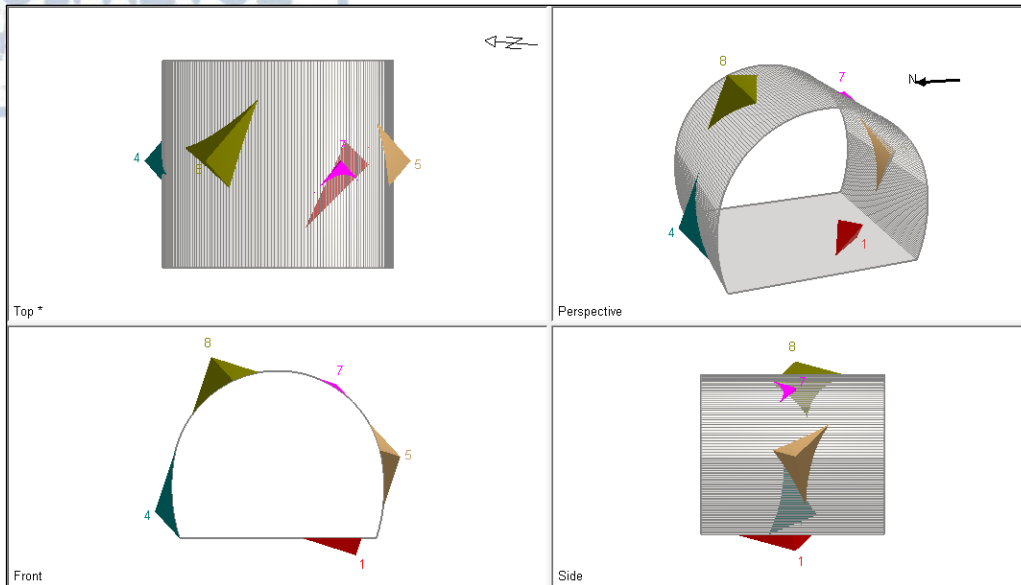
Το βήμα εκσκαφής που προσδιορίζεται για τις βραχοσφηνές που εξετάζονται σε αυτή την περίπτωση όπου η εμμονή περιορίζεται έως 3m είναι 2.11m.



Σχήμα 33: Αναπαράσταση των βραχοσφηνών που δημιουργούνται σε διατομή της σήραγγας Σ10 με εμμονή ασυνεχιών έως και 3m.

Πίνακας 34: Αποτελέσματα ανάλυσης για εμμονή επιπέδων ασυνεχιών έως 3m

	Αριθμός βραχοσφήνας			
	4	5	7	8
Συντελεστής ασφάλειας 30°	0,523	0,197	0,037	0
Συντελεστής ασφάλειας 25°	0,423	0,159	0,03	0
Όγκος (m ³)	0,617	0,57	0,049	1,102
Ύψος (m)	0,75	1,22	0,2	2,42

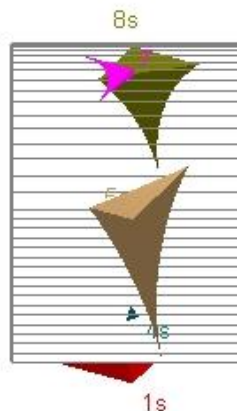


Σχήμα 34: Αναπαράσταση των βραχοσφηνών που δημιουργούνται σε διατομή της σήραγγας Σ10 με εμμονή ασυνεχειών έως και 5m.

Πίνακας 35: Αποτελέσματα ανάλυσης για εμμονή επιπέδων ασυνεχειών έως 5m.

	Αριθμός βραχοσφήνας			
	4	5	7	8
Συντελεστής ασφάλειας 30°	0,523	0,197	0,037	0
Συντελεστής ασφάλειας 25°	0,423	0,159	0,03	0
Όγκος (m ³)	1,627	1,772	0,049	3,918
Ύψος (m)	1,03	1,05	0,2	1,77

Από τη μείωση της εμμονής των ασυνεχειών παρατηρείται μείωση του όγκου των βραχοσφηνών. Σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται ότι η μείωση της εμμονής των ασυνεχειών από 5m σε 3m μειώνει τους όγκους των βραχοσφηνών στο μισό. Το βήμα εκσκαφής που προσδιορίζεται για την μεταβολή αυτή της παραμέτρου της εμμονής είναι μικρότερο από 3m.



Side - Wedges 1, 4, 5, 8 Scaled *

Σχήμα 35: Αναπαράσταση των βραχοσφηνών που δημιουργούνται σε διατομή της σήραγγας Σ10 για απόσταση μεταξύ επιπέδων ασυνεχειών έως 0,5m

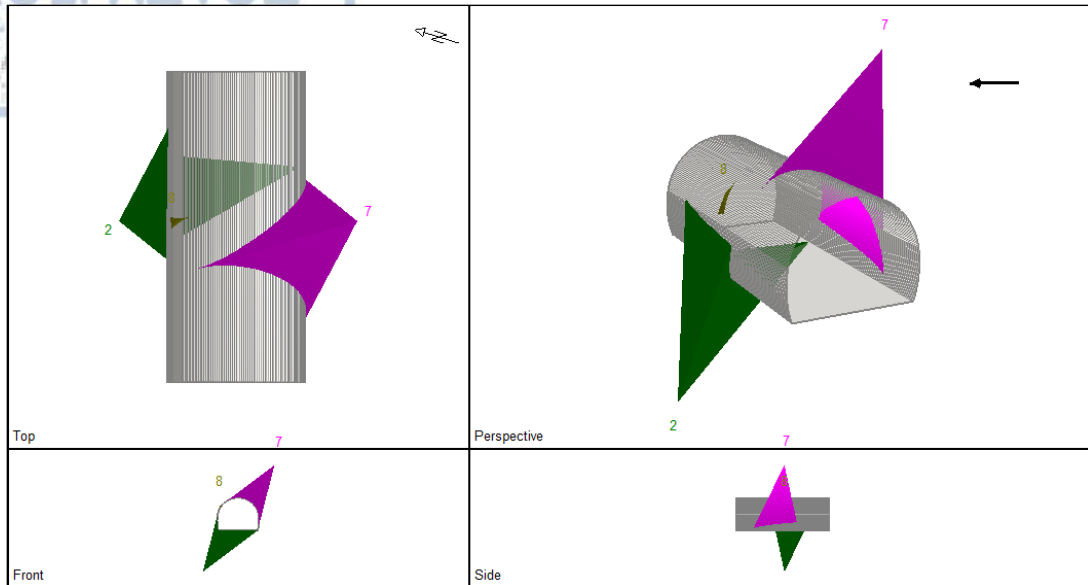
Πίνακας 36: Αποτελέσματα ανάλυσης για απόσταση μεταξύ επιπέδων ασυνεχειών έως 0,5m.

	Αριθμός βραχοσφήνας			
	4	5	7	8
Συντελεστής ασφάλειας 30°	0,654	0,247	0,047	0
Συντελεστής ασφάλειας 25°	0,53	0,2	0,04	0
Όγκος (m ³)	0,004	1,74	0,08	1,77
Ύψος (m)	0,14	1,04	0,20	1,34

Τμήμα σήραγγας Σ12, Χ.Θ. 29+941.

Τα γεωμετρικά στοιχεία των ασυνεχειών που εξετάστηκαν στην συγκεκριμένη ανάλυση ευστάθειας αφορούν τις ασυνέχειες με κλίση και διεύθυνση κλίσης:

- J1: 63° /258°
- J2: 72° /43°
- J3: 75° /342°



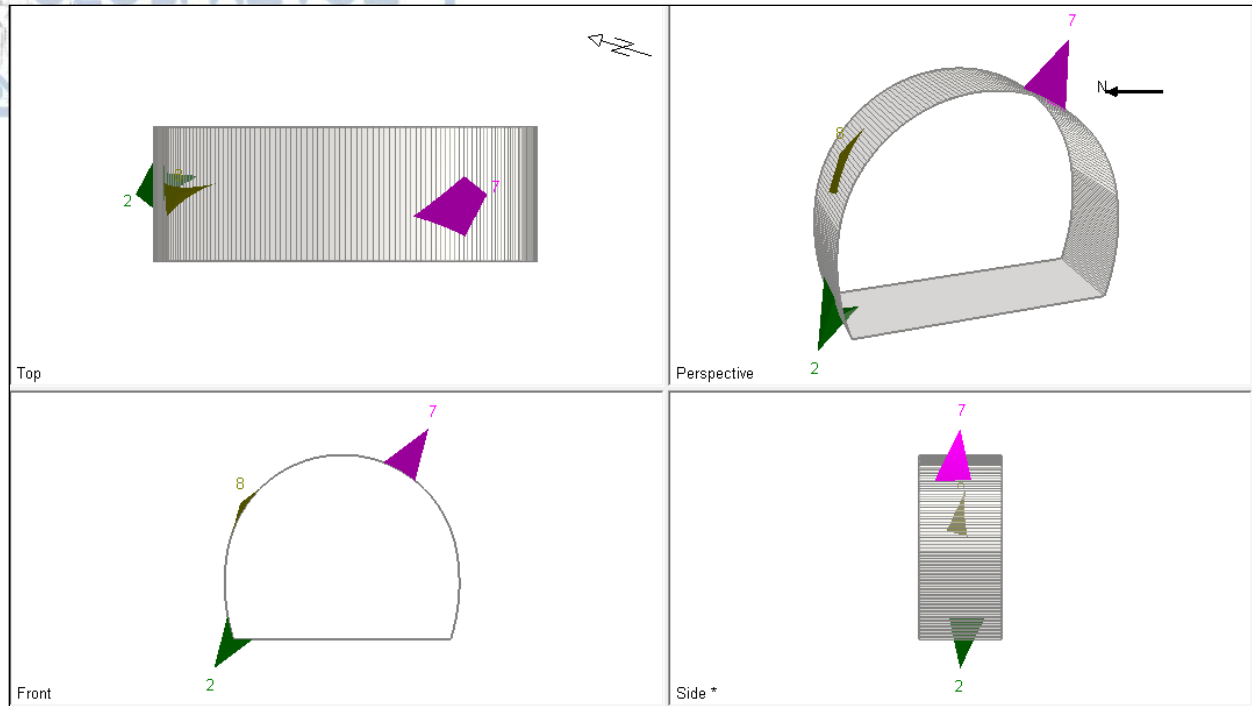
Σχήμα 36: Αναπαράσταση των βραχοσφηνών που δημιουργούνται σε διατομή της σήραγγας Σ12

Πίνακας 37: Εκτίμηση όγκου ύψους και επιπέδου ασυνέχειας που πραγματοποιείται η ολίσθηση.

Εκτιμώμενα Μεγέθη	Αριθμός βραχοσφήνας	
	7	8
Όγκος (m ³)	205,812	0,121
Ύψος (m)	12,57	0,34
Επίπεδο ολίσθησης	75/342	

Πίνακας 38: Συσχέτιση εξεταζόμενης γωνίας τριβής και συντελεστή ασφαλείας.

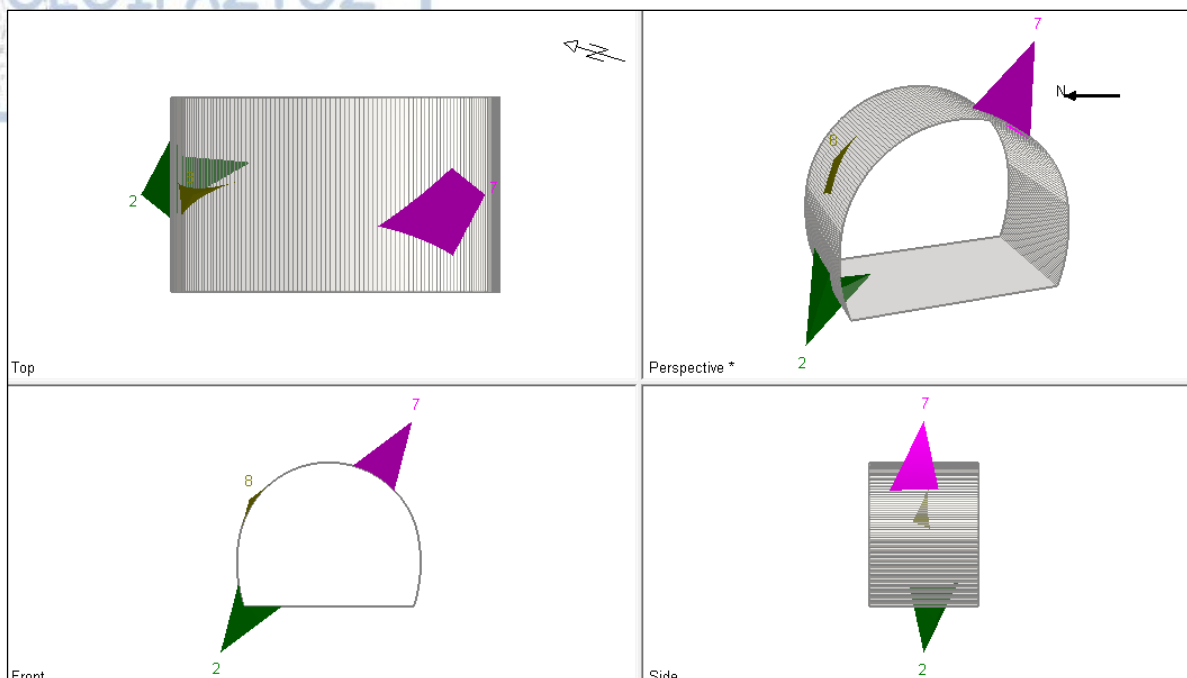
Γωνία τριβής (°)	Αριθμός βραχοσφήνας	
	7	8
	Συντελεστής ασφαλείας	
35	1,653	0
30	0,114	0
25	0,092	0



Σχήμα 37: Αναπαράσταση των βραχοσφηνών που δημιουργούνται σε διατομή της σήραγγας Σ12 με εμμονή ασυνεχειών έως και 3m.

Πίνακας 39: Αποτελέσματα ανάλυσης για εμμονή επιπέδων ασυνεχειών έως 3m.

	Αριθμός βραχοσφήνας	
	7	8
Συντελεστής ασφάλειας 30°	0,114	0
Συντελεστής ασφάλειας 25°	0,092	0
Όγκος (m ³)	1,470	0,101
Ύψος (m)	2,59	0,32
ασυνέχεια	49/200	



Σχήμα 38: Αναπαράσταση των βραχοσφηνών που δημιουργούνται σε διατομή της σήραγγας Σ12 με εμμόνη ασυνεχειών έως και 5m.

Πίνακας 40: Αποτελέσματα ανάλυσης για εμμόνη επιπέδων ασυνεχειών έως 5m.

	Αριθμός βραχοσφήνας	
	7	8
Συντελεστής ασφάλειας 30°	0,114	0
Συντελεστής ασφάλειας 25°	0,092	0
Όγκος (m ³)	6,912	0,121
Ύψος (m)	4,31	0,34

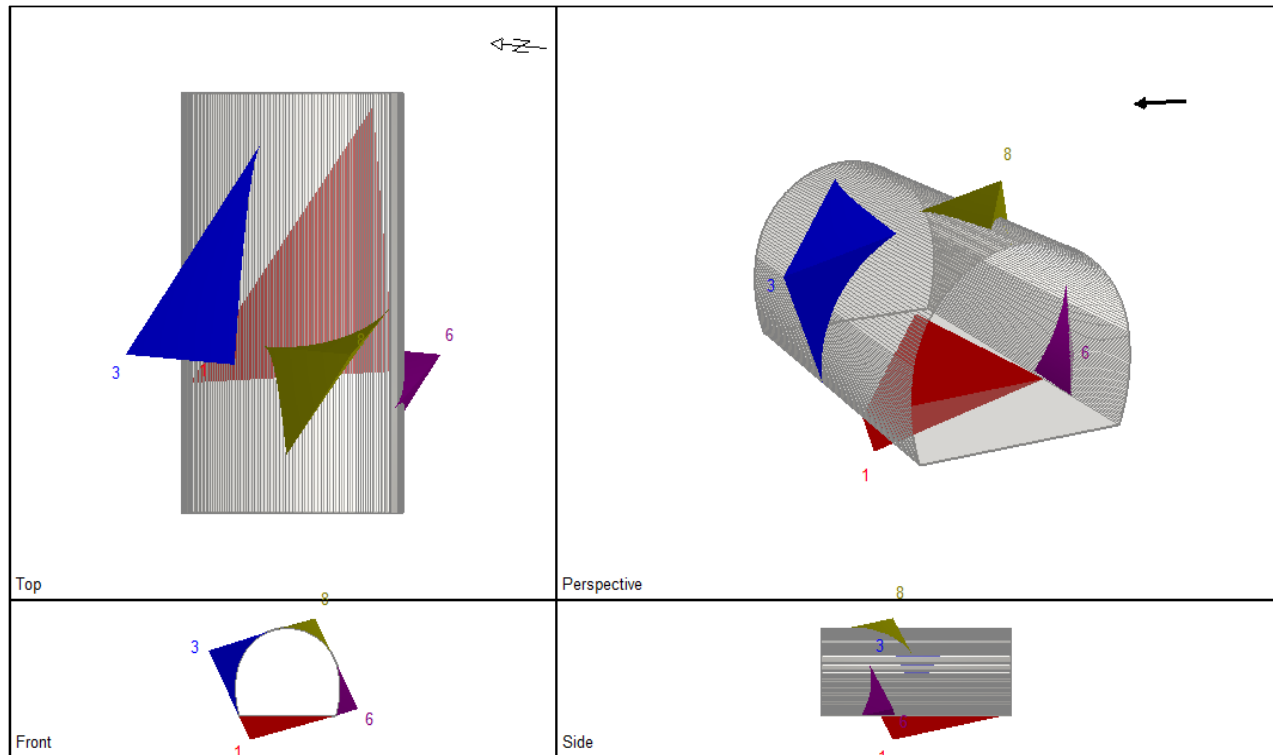
Με την απομείωση της εμμόνης και σε αυτή την διατομή παρατηρείται αρκετά μεγάλη διαφοροποίηση τους όγκους που προκύπτουν από τα συστήματα ασυνεχειών. Ενώ η ανάλυση με δεδομένα που δεν περιορίζουν την εμμόνη και την απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών έχει ως αποτέλεσμα σε αυτή την περίπτωση τον έλεγχο ευστάθειας ενός πολύ μεγάλου όγκου βραχοσφήνας. Το βήμα εκσκαφής που προσδιορίζεται για την μεταβολή αυτή της παραμέτρου της εμμόνη είναι μικρότερο από 3m.

Ενώ στην περίπτωση μείωσης την απόστασης μεταξύ ασυνεχειών στα 0,5m ώστε να προσεγγιστεί ένα πυκνό δίκτυο ασυνεχειών, οι όγκοι των βραχοσφηνών προσεγγίζουν πάρα πολύ χαμηλές τιμές και επομένως πολύ μικρές ενδεχόμενες αστοχίες.

Τμήμα σήραγγας Σ13, Χ.Θ. 30+408.

Τα γεωμετρικά στοιχεία των ασυνεχειών που εξετάστηκαν στην συγκεκριμένη ανάλυση ευστάθειας αφορούν τις ασυνέχειες με κλίση και διεύθυνση κλίσης:

- J1: 62° /82°
- J2: 15° /350°
- J3: 85° /210°



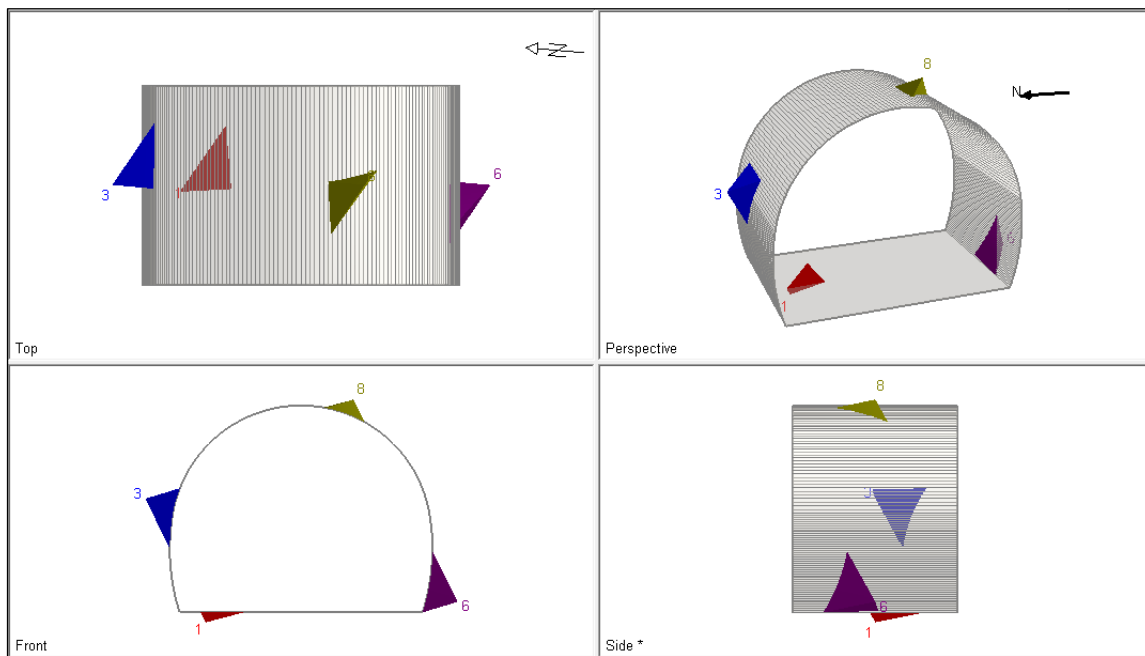
Σχήμα 39: Αναπαράσταση των βραχοσφηνών που δημιουργούνται σε διατομή της σήραγγας Σ13.

Πίνακας 41: Εκτίμηση όγκου ύψους και επιπέδου ασυνέχειας που πραγματοποιείται η ολίσθηση.

Εκτιμώμενα Μεγέθη	Αριθμός βραχοσφήνας		
	3	6	8
Όγκος (m ³)	36,222	6,145	6,808
Ύψος (m)	3,74	2,22	1,73
Επίπεδο ολίσθησης	62/082 & 85/210	15/350	

Πίνακας 42: Συσχέτιση εξεταζόμενης γωνίας τριβής και συντελεστή ασφαλείας.

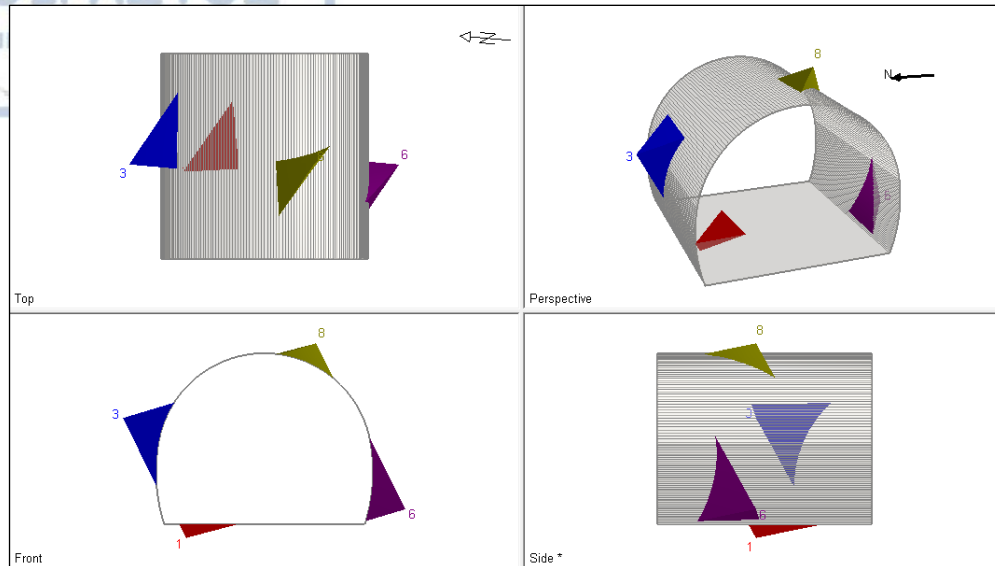
Γωνία τριβής (°)	Αριθμός βραχοσφήνας		
	3	6	8
35	4,747	8,847	0
30	0,585	1,317	0
25	0,472	1,064	0



Σχήμα 40: Αναπαράσταση των βραχοσφηνών που δημιουργούνται σε διατομή της σήραγγας Σ13 με εμμονή ασυνεχειών έως και 3m.

Πίνακας 43: Αποτελέσματα ανάλυσης για εμμονή επιπέδων ασυνεχειών έως 3m.

	Αριθμός βραχοσφήνας		
	3	6	8
Συντελεστής ασφάλειας 30°	0,585	1,317	0
Συντελεστής ασφάλειας 25°	0,472	1,064	0
Όγκος (m ³)	1,416	1,55	0,437
Ύψος (m)	1,38	1,43	0,72



Σχήμα 41: Αναπαράσταση των βραχοσφηνών που δημιουργούνται σε διατομή της σήραγγας Σ13 με εμμονή ασυνεχειών έως και 5m.

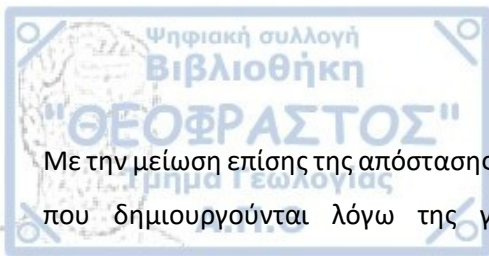
Πίνακας 44: αποτελέσματα ανάλυσης για εμμονή επιπέδων ασυνεχειών έως 5m.

	Αριθμός βραχοσφήνας		
	3	6	8
Συντελεστής ασφάλειας 30°	0,585	1,317	0
Συντελεστής ασφάλειας 25°	0,472	1,064	0
Όγκος (m ³)	6,401	4,354	1,754
Ύψος (m)	2,25	1,99	1,15

Από την σύγκριση της εμμονής των ασυνεχειών και σε αυτή τη διατομή παρατηρείται σημαντική μείωση του όγκου των βραχοσφηνών. Το βήμα εκσκαφής που προσδιορίζεται ώστε να σχηματιστούν βραχοσφήνες με εμμονή μεταξύ 3-5m δεν είναι μεγαλύτερο από 4m.

Ενώ και για την ανάλυση αυτού του μετώπου της σήραγγας Σ13, στην περίπτωση μείωσης την απόστασης μεταξύ ασυνεχειών στα 0,5m ώστε να προσεγγιστεί ένα πυκνό δίκτυο ασυνεχειών, οι όγκοι των βραχοσφηνών προσεγγίζουν πάρα πολύ χαμηλές τιμές και επομένως πολύ μικρές ενδεχόμενες αστοχίες.

Με την απομείωση της εμμονής και σε αυτή την διατομή παρατηρείται αρκετά μεγάλη διαφοροποίηση τους όγκους που προκύπτουν από τα συστήματα ασυνεχειών. Στις τρεις περιπτώσεις που εξετάστηκαν φαίνεται η απομείωση τους σχεδόν στο μισό για κάθε ανάλυση.



Με την μείωση επίσης της απόστασης μεταξύ των ασυνεχειών αναμένεται περεταίρω μείωση των όγκων που δημιουργούνται λόγω της γεωμετρίας των ασυνεχειών. Επομένως είναι σημαντικό να προσδιορίζονται οι παράμετροι εμμονής και απόστασης μεταξύ ασυνεχειών ώστε η ανάλυση ευστάθειας να είναι πιο αποτελεσματική στον υπολογισμό προτεινόμενων μέτρων για την υποστήριξη των εξεταζόμενων βραχοσφηνών.

6.2. Προτεινόμενα Μέτρα υποστήριξης

Μετά από τον προσδιορισμό των μέγιστων βραχοσφηνών που πραγματοποιήθηκαν για τρία μέτωπα των εξεταζόμενων σηράγγων με τη χρήση του Unwedge 4.0 της εταιρίας Rockscience Inc., δίνεται η δυνατότητα προσομοίωσης των μέτρων υποστήριξης. Στην περίπτωση της βραχοσφήνας No 8 προσδιορίζεται σε όλες τις αναλύσεις μηδενικός συντελεστής ασφαλείας και λόγω επίδρασης του βάρους της αναμένεται να αστοχήσει.

Στις περιπτώσεις όπου ο όγκος των βραχοσφηνών που εκτιμήθηκαν είναι μεγάλος η δομή την βραχομάζας αναμένεται να είναι ελάχιστα κερματισμένη. Στις περιπτώσεις όπου παρατηρείται μικρός όγκος βραχοσφηνών η βραχομάζα αναμένεται να είναι πολύ κερματισμένη.

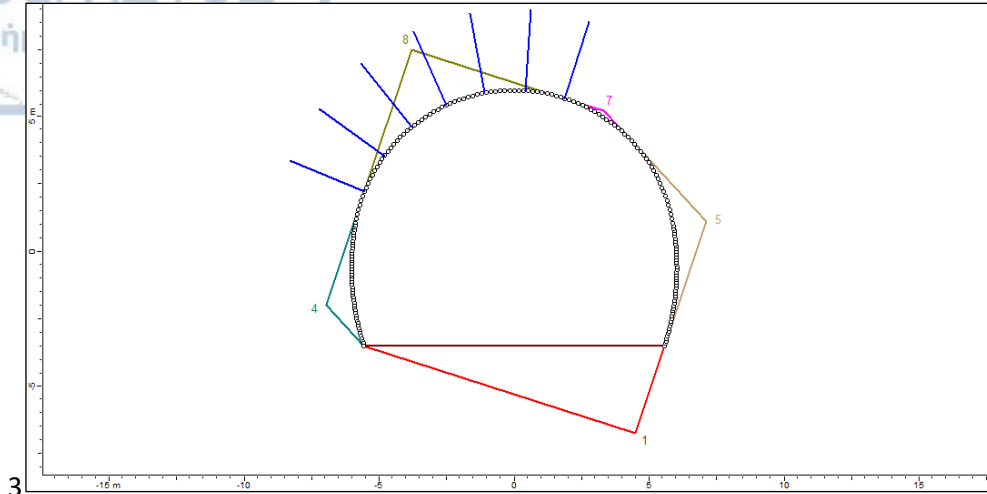
Με την εφαρμογή μέτρων υποστήριξης σε βραχοσφήνες της διατομής με την χρήση αυτού του λογισμικού, οι συντελεστές ασφάλειας που προκύπτουν είναι υπερτιμημένοι καθώς τα προτεινόμενα μετρά υπερεκτιμούν κάποιες παραμέτρους της υποστήριξης, υπερ της ασφάλειας των υπογείων εκσκαφών. Επίσης σημαντικός παράγοντας είναι ότι το λογισμικό αυτό δίνει την δυνατότητα τοποθέτησης εκτοξευόμενου σκυροδέματος και αγκυρίων με χαρακτηριστικά που υπάρχει δυνατότητα να προσδιοριστούν από τον χρήστη.

Στην συνέχεια παρατίθεται ένα παράδειγμα προσέγγισης της τοποθέτησης μέτρων υποστήριξης σε μια συγκεκριμένη διατομή.

Στην συνέχεια παρατηρείται ένα παραδειγμα προσεγγισης της τοποθετησης μετρων υποστηριξης σε μια συγκεκριμένη διατομή

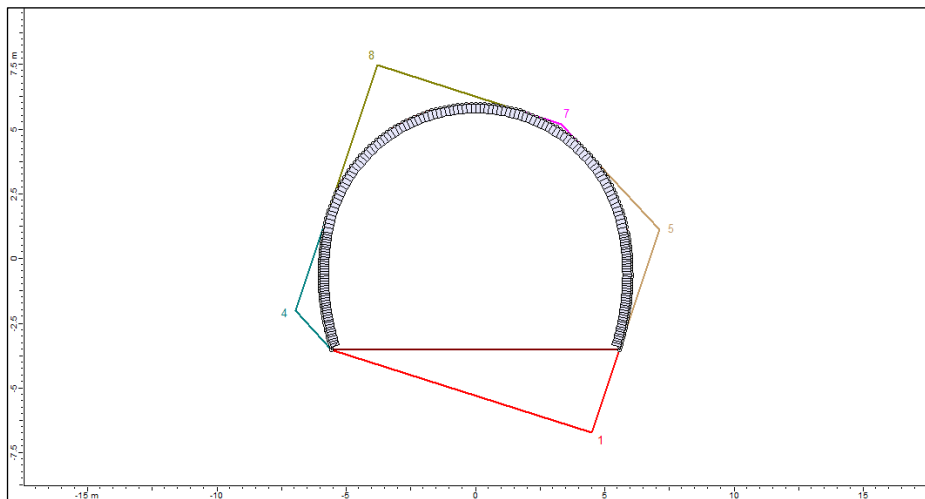
Τμήμα σήραγγας Σ10, Χ.Θ. 26+453.

Για την περίπτωση όπου η ανάλυση έγινε με παραμέτρους του κριτηρίου Mohr- Coulomb, γωνία τριβής $\phi=35^\circ$ και $c=100\text{kPa}$, επιλέχθηκε για την υποστήριξη της βραχοσφήνας που δημιουργείται στην οροφή, κάρναβος αγκυρίων $1,5 \times 1,5$ ενώ το μήκος αυτών είναι 3m.



Σχήμα 42: Προσέγγιση μέτρων υποστήριξης για ανάλυση με παραμέτρους $\phi=35^\circ$ και $c=100\text{kPa}$.

Στη συνέχεια για τις περιπτώσεις όπου η ανάλυση έγινε για γωνίες τριβής $\phi=30^\circ$ και $\phi=25^\circ$ χωρίς τον παράγοντα της συνοχής, παρατηρείται ότι ο συντελεστής ασφάλειας και για τις υπόλοιπες βραχοσφήνες που δημιουργούνται στην διατομή, μειώνεται με τη μείωση της γωνίας τριβής και την απώλεια της συνοχής. Έτσι στην περίπτωση αυτή για την υποστήριξη της συνολικής διατομής παρατηρήθηκε ότι, πάχος σκυροδέματος 3cm μπορεί να είναι αποτελεσματικό για την υποστήριξη επισφαλών βραχοσφηνών.



Σχήμα 43: Προσέγγιση μέτρων υποστήριξης για ανάλυση με παραμέτρους $\phi=30^\circ$ και $\phi=25^\circ$.

6.3. Ανάστροφη ανάλυση όγκου βραχοσφηνών

Για τον προσδιορισμό των παραμέτρων διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών (συνοχής και γωνίας τριβής) όπου παρατηρείται οριακή ευστάθεια των υπό ολίσθηση όγκων, κρίθηκε χρήσιμος ο έλεγχος με την μέθοδο ανάστροφης ανάλυσης (back analysis).

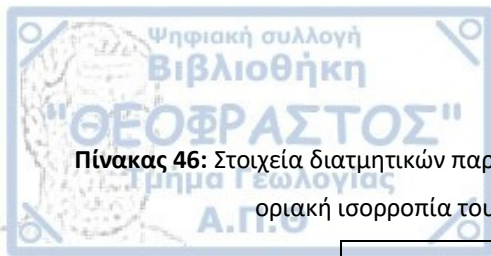
Ο έλεγχος με τη χρήση αυτής της μεθόδου δίνει την δυνατότητα προσδιορισμού των οριακών μηχανικών χαρακτηριστικών των ασυνεχειών, για τα οποία αναμένεται ολίσθηση τμημάτων του σχηματισμού με γεωμετρία βραχοσφήνας. Τα μεγέθη των όγκων (min, max και average) των βραχοσφηνών που καταγράφηκαν για κάθε εκσκαφή δίνονται για κάθε σήραγγα στον πίνακα 45 και παρατηρείται ότι προσεγγίζουν πολύ υψηλές τιμές.

Πίνακας 45: Μεγέθη (min, max και average) όγκων βραχοσφηνών εξεταζόμενων σηράγγων.

Εκτιμώμενα Μεγέθη	Σ10	Σ11	Σ12	Σ13
Min (m ³)	2,90	1,50	1,92	1,29
Max (m ³)	766,18	39,54	50,70	393,67
Average (m ³)	30,36	9,55	10,80	20,83

Για την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, χρησιμοποιήθηκαν τα γεωμετρικά στοιχεία των ασυνεχειών από τις διατομές που εξετάστηκαν για τον έλεγχο ευστάθειας. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με περιορισμό στο βήμα εκσκαφής (3m) ενώ οι όγκοι που εξετάστηκαν αφορούν τιμές από 1,7 έως 0,22m³. Μόνο στην περίπτωση της διατομής στην σήραγγα Σ12 ο όγκος της βραχοσφήνας που εξετάστηκε είναι 8,1m³. Από αυτό προκύπτει ότι συγκριτικά με τις καταγραφές αστοχιών από την φάση της εκσκαφής υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση. Η διαφοροποίηση αυτή προκύπτει λόγω του περιορισμού του βήματος εκσκαφής για την ανάλυση. Επομένως κατά την κατασκευή των εξεταζόμενων σηράγγων το βήμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν αρκετά μεγάλο. Με τη χρήση μεγάλου βήματος προχώρησης υπάρχει δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών για την κατάπτωση μεγαλύτερου όγκου τεμαχών, όταν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ασυνεχειών ευνοούν τον σχηματισμό μεγάλων υπερεκσκαφών.

Η διαφοροποίηση των όγκων αποδίδει μικρές αποκλίσεις όσον αφορά τις μηχανικές παραμέτρους ασυνεχειών (συνοχής και γωνίας τριβής) αλλά και στις παραμέτρους που εξετάζουν την εμμονή και την συχνότητα των ασυνεχειών.



Πίνακας 46: Στοιχεία διατμητικών παραμέτρων (c και ϕ), εμμονής και συχνότητας ασυνεχειών που αφορούν οριακή ισορροπία του μέσου ορού όγκου βραχοσφηνών για κάθε εκσκαφή.

Εκτιμώμενα Μεγέθη	Σ10	Σ12	Σ13
c (kPa)	6	25	7
ϕ (°)	32	32	33
Εμμονή (m)	4.5	6,5	3
Συχνότητα (m)	5	4,6	3.1

Ο στόχος της παρούσας διατριβής είναι η τεχνικογεωλογική αξιολόγηση και εξέταση της ευστάθειας βραχοσφηνών κατά τη διάνοιξη σηράγγων σε περιβάλλοντα γνευσιακής βραχομάζας. Τις εξεταζόμενες σήραγγες αποτελούν οι Σ10, Σ11, Σ12 και Σ13 και βρίσκονται στο τμήμα της Εγνατίας Οδού, Πολύμυλος – Λευκόπετρα. Για την αξιολόγηση των μηχανικών παραμέτρων του σχηματισμού χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις από εργαστηριακές δοκιμές και γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά την μελέτη και κατασκευή, ενώ για τον έλεγχο ευστάθειας χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις των γεωμετρικών στοιχείων των ασυνεχειών που προέρχονται από τα μέτωπα των εκσκαφών. Η άντληση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε από τη βάση δεδομένων «TIAS» (V. Marinou et al., 2012) και ο συνολικός αριθμός τους είναι 3.168 τιμές.

Αρχικά μέσω βιβλιογραφικής αναζήτησης αποδόθηκε μια γενικότερη περιγραφή των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών των γνευσιακών σχηματισμών. Ο σχηματισμός αυτός αποτελεί γενικότερα πέτρωμα με πολύ υψηλή αντοχή και άρρηκτη δομή, τα γεωλογικά περιβάλλοντα που αυτός παρατηρείται χαρακτηρίζονται από έντονη τεκτονική δραστηριότητα που ευνοεί την επίδραση της αποσάθρωσης στην μάζα του, απομειώνοντας έτσι τα μηχανικά χαρακτηριστικά του. Επίπεδο αδυναμίας του σχηματισμού είναι η γνευσιακή υφή όταν αυτός είναι αποσαθρωμένος, ενώ η ασυνέχεια που τέμνει την δομή του και έχει την μεγαλύτερη εμμονή είναι η σχιστότητα.

Η εκσκαφή των σηράγγων αυτών έγινε σε σχηματισμούς της Πελαγονικής ζώνης και πιο συγκεκριμένα σε γνευσίους, γνευσιοσχιστόλιθους, γνευσιογρανίτες, σχιστογενεύσιους, γρανιτογνευσίους και απλιτογρανίτες. Η τεκτονική δραστηριότητα στην περιοχή μελέτης επίσης είναι εμφανής από την ύπαρξη ζωνών κερματισμού αλλά και ζωνών μωλυντιώσεως.

Από την υπαίθρια μελέτη κατά μήκος των οδών προσπέλασης, παρατηρήθηκε η συνεχής εναλλαγή της ποιότητας του σχηματισμού. Σε θέσεις όπου ο σχηματισμός παρατηρήθηκε έντονα κερματισμένος, η επίδραση της αποσάθρωσης είναι μεγάλη. Ενώ οι θέσεις όπου οι σχηματισμοί στην περιοχή μελέτης έχουν επηρεαστεί από ζώνες μωλυνιτοποίησης είναι συχνές. Το υλικό σε αυτές τις θέσεις παρατηρείται θρυμματισμένο και σε μερικές περιπτώσεις προσεγγίζει χαρακτηριστικά εδαφικού σχηματισμού.

Για την ανάλυση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση δεδομένων από γεωτρήσεις και εργαστηριακές δοκιμές. Τα δεδομένα αυτά αφορούν:

- μονοαξονική θλιπτική αντοχής άρρηκτου βράχου (σ_{ci}),
- δείκτη σημειακής φόρτισης (I_{s50}),



- μέτρου ελαστικότητας (E_i),
- αποτελέσματα δοκιμής άμεσης διάτμησης ασυνεχειών,
- εκτιμήσεις του Δείκτη Ποιότητας Πετρώματος (RQD),
- εκτιμήσεις βαθμού αποσάθρωσης, χαρακτηρισμούς με βάση τον Γεωλογικό Δείκτη Αντοχής (GSI) και
- χαρακτηρισμούς με βάση το σύστημα ταξινόμησης Q.

Από τις παραπάνω αναλύσεις προέκυψε ότι:

- Το μεγαλύτερο ποσοστό του σχηματισμού (29%) σε σχέση με την αντοχή του σε μονοαξονική αντοχή ανήκει στην κατηγορία μέσης αντοχής με εύρος τιμών 25-50MPa. Ενώ τα παρόμοια ποσοστά ακολουθούν οι κατηγορίες κατάταξης υψηλής και χαμηλής αντοχής. Τα παραπάνω δείχνουν ότι η αποσάθρωση για τον σχηματισμό κυμαίνεται σε βαθμούς (ISRM) II-IV. Τα εύρη των τιμών δεν φαίνεται να διαφοροποιούνται με το βάθος.
- Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων του δείκτη σημειακής φόρτισης (Is_{50}) όπου έχει προσδιοριστεί σε βάθη που δεν έχει προσδιορίσει το σ_{ci} ο σχηματισμός χαρακτηρίζεται ως πολύ χαμηλής αντοχής. Ενώ από την συσχέτιση του Is_{50} με το σ_{ci} η μέση τιμή δείχνει να ακολουθεί την κατηγοριοποίηση που αναφέρεται παραπάνω για την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη του σχηματισμού.
- Η μέση τιμή γωνίας τριβής ϕ_{peak} που προσδιορίστηκε για τους σχηματισμούς είναι 35.08° . Με την αύξηση του βάθους οι τιμές όπου αυτή προσδιορίζεται είναι υψηλές και εκτιμάται ότι αναφέρονται σε μη αποσαθρωμένο σχηματισμό, ενώ κοντά στην επιφάνεια οι τιμές είναι χαμηλότερες, δείχνοντας ότι στα επίπεδα των ασυνεχειών έχει επιδράσει η διεργασία της αποσάθρωσης, απομειώνοντας τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους. Επίσης οι χαμηλότερες τιμές μπορεί να αναφέρονται σε πληρωμένες ασυνέχειες με αργιλικό υλικό.
- Από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων RQD%, εκτιμήσεων GSI και του βαθμού αποσάθρωσης όπου το RQD χαρακτηρίζεται από το εύρος 0-25% στο μεγαλύτερο ποσοστό του, το GSI 30-40 και ο βαθμός αποσάθρωσης κυμαίνεται από II έως IV. Παρατηρείται ότι ο σχηματισμός είναι πτωχής ποιότητας και έντονο κερματισμό και μετρίως αποσαθρωμένος.
- Με βάση τα στοιχεία GSI, σ_{ci} και m_i πραγματοποιήθηκε διαχωρισμός σε τεχνικογεωλογικές ενότητες και προσδιορίστηκαν οι τύποι αστοχιών που αναμένονται. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι περιγραφές τους:

Πίνακας 47: Περιγραφή τεχνικογεωλογικών ενοτήτων.

T.E.	GSI	m_i	σ_{ci} (MPa)	Χαμηλά υπερκείμενα	Υψηλά υπερκείμενα
1	30	30	69	WG-CH	WG
2	47-39	25-15	43-44	CH-WG	CH-SH
3	33-60	15	20-25	CH-WG	CH-SH
4	22	6	30	RV	CH-SH
5	30	8	7	CH-WG SH	S(SH-SQ) CH

- Σύμφωνα με τα δεδομένα που επεξεργάστηκαν για την αξιολόγηση των σχηματισμών της ευρύτερης περιοχής με βάση το σύστημα ταξινόμησης Q, το μεγαλύτερο ποσοστό, 81% των σχηματισμών χαρακτηρίζεται από πολύ πτωχή ποιότητα και η ποιότητα των ασυνεχειών εκτιμάται ως ελαφρά αποσαθρωμένη.

Για την ανάλυση ευστάθειας βραχοσφηνών:

- Μέσω στατιστικής και τεκτονικής ανάλυσης με το πρόγραμμα Dips 7.0, προέκυψαν τα κύρια συστήματα ασυνεχειών που τέμνουν την βραχομάζα σε κάθε εκσκαφή, ενώ από την ανάλυση σε κάθε μέτωπο προέκυψαν 88 θέσεις όπου υπάρχει δημιουργία επισφαλών βραχοσφηνών.
- Για την προσέγγιση των μεγεθών, όγκου και ύψους αλλά και του συντελεστή ασφαλείας βραχοσφηνών που στην προηγούμενη ανάλυση χαρακτηρίζονται επισφαλείς, πραγματοποιήθηκε παραμετρικός έλεγχος ευστάθειας με το λογισμικό Unwedge 4.0. της εταιρίας Rocscience Inc. Εξετάστηκαν 3 διαφορετικές περιπτώσεις μέσω του κριτηρίου Mohr – Coulomb:
 - $\phi=35^\circ$ και $c=100\text{kPa}$ (υγιείς επιφάνειες επιπέδων ασυνεχειών)
 - $\phi=30^\circ$ (ελαφρά έως μέτρια αποσαθρωμένες επιφάνειες ασυνεχειών)
 - $\phi=25^\circ$ (ασυνέχειες πληρωμένες με άργιλο λόγω αποσάθρωσης)
- Στην προηγούμενη ανάλυση προσεγγίστηκαν περιπτώσεις με διακύμανση της εμμονής και της απόστασης μεταξύ των ασυνεχειών με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μικρότεροι όγκοι

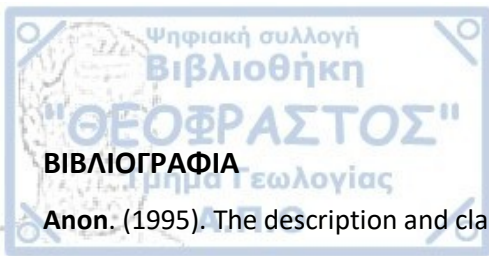


βραχοσφηνών με μεγαλύτερο συντελεστή ασφαλείας. Η ανάλυση αυτή όμως περιγράφει και μεγαλύτερο κερματισμό της βραχομάζας.

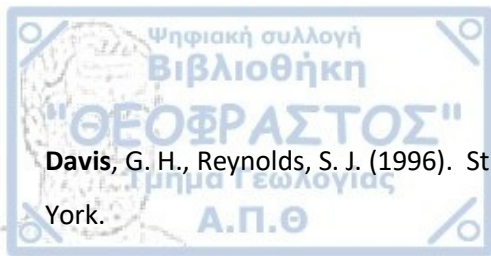
Τέλος με την μέθοδο ανάστροφης ανάλυσης προσδιορίστηκαν οι μηχανικές παράμετροι των επιπέδων των ασυνεχειών για κάθε διατομή, όπου πραγματοποιήθηκε ανάλυση. Ο περιορισμός που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την ανάλυση, ήταν βήμα εκσκαφής 3m. Τα αποτελέσματα περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 48: Στοιχεία διατμητικών παραμέτρων (c και ϕ), εμμονής και συχνότητας ασυνεχειών που αφορούν οριακή ισορροπία του μέσου όρου όγκου βραχοσφηνών για τις εκσκαφές Σ10, Σ12 και Σ13.

Εκτιμώμενα Μεγέθη	Σ10	Σ12	Σ13
c (kPa)	6	25	7
ϕ (°)	32	32	33
Εμμονή (m)	4.5	6,5	3
Συχνότητα (m)	5	4,6	3.1



- Anon.** (1995). The description and classification of weathered rocks for engineering purposes. Geological Society Engineering. Group Working Party Report. Quarterly Journal of Engineering Geology, 28, 207-242.
- Barton, N., Lien., R., Lunde, J.** (1974). Engineering classification of rock masses for the design of rock support. Rock Mechanics 6, 1974, pp.89-116.
- Barton, N.** (1983). Application of Q-system and index tests to estimate shear strength and deformability of rock masses. Intern. Symp. On Eng. Geol. And Underground Construction, II, pp.51-70.
- Barton, N.R.** (1987). Predicting the behaviour of underground openings in rock. Manuel Rocha Memorial Lecture, Lisbon. Oslo: Norwegian Geotech. Inst
- Barton N.,** (2002). Some new Q-value correlations to assist in site characterization and tunnel design. Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. nr. 39, pp. 185-216.
- Barton, N.** (1973). Review of a new shear strength criterion for rock joints. Engng. Geol.;7(4):287–332
- Barton, N.** (1976). The shear strength of rock and rock joints. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts;13(10), 1-24
- Barton, N., Choubey, V.** (1977). The shear strength of rock joints in theory and practice. RockMechanics;10(1/2):1–54.
- Barton, N., Bandis, S. C.** (1990). Review of predictive capabilities pf JRC-JCS model in engineering practice. Rock Joints, 603-610.
- Barton, N., Choubey, V.** (1977). The shear strength, of rock joints in theory and practice. Rock Mechanics, vol. 10, b 1, pp. 1-54
- Beavis, F.C., Roberts, I., Minskaya, L.,** (1982). Engineering aspects of weathering of low grade metapelites in an arid climatic zone. Q. J. Engng Geol. 15, 29–45
- Bieniawski, Z.T.** (1975). “The point load test in geotechnical practice”. Engng. Geology,9. pp. 1-11
- Broch, E., Franklin, J., A.** (1972). Point-load strength test. Int J Rock Mech Min Sci 9(6):669–697
- BS 5930** (1999). Code of practice for site investigations. British Standard. British Standards Institution, London



Davis, G. H., Reynolds, S. J. (1996). Structural geology of rocks and regions, 2nd edition. John Wiley, New York.

Deere, D.U., Patton, F. D. (1971). Slope stability in residual soils. Prea.: 4th Pan-American Conf. on Soil Mech. Found. Eng., Puerto Rico. VI. 87-170.

Deere, D.U. (1963). "Technical description of rock cores for engineering purposes", In Rock mechanics and engineering geology 1(1): 18. Vienna: Springer.

Delisio, A., Zhao, J., Einstein, H.H. (2013). Analysis and prediction of TBM performance in blocky rock conditions at the Löttschberg Base Tunnel. Tunnelling and Underground Space Technology, (33), 131-142.

Desio, A. (1973). "Geologia applicata alla ingegneria". Hoepli, Milano, p, 1194

Dobereiner, L., Porto, C.G., (1993). Consideration on the weathering of gneissic rocks. In: Cripps, J.C., Coulthard, J.M., Culshaw, M.G., Forster, A., Hencher, S.R., Moon, C.F. (ds.), The Engineering Geology of Weak Rocks, Proc. 26th Annual Conf. of Engg. Grp. of the Geol. Soc. Leeds, 193–205

Dobereiner, L., Durville, J., L., Restituto, J. (1993) Weathering of the Massiac Gneiss (Massif Central, France). Bull Int Assoc Eng Geol 47:79–96

D'Andrea, D., V., Fisher, R., L., Fogelson, D., E. (1964). Prediction of compression strength from other rock properties, Colorado School of Mines Quarterly, 59(4B), 623-40.

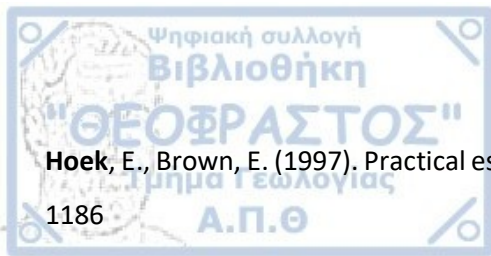
Gupta, A.S., Rao, K., S. (2000). Weathering effects on the strength and deformational behaviour of crystalline rocks under uniaxial compression state. Engineering Geology 56 (3-4), 257-274

Hassani, F., P., Scoble, M., J., Whittaker, B., N. (1980). Application of point load index test to strength determination of rock and proposals for new size-correction chart. In: Summers DA (ed) Proceedings of the 21st US symposium on rock mechanics. University of Missouri Press, Rolla, pp 543–564

Higgins, M. W. (1971). Cataclastic rocks. Professional Paper, U.S. Geological Survey #687.

Hoek, E. (2004). Rockmass classification. Hoek's Corner < www.rockscience.com > (accessed December 2004)

Hoek, E., Marinos, P. (2000). Predicting tunnel squeezing problems in weak heterogeneous rock masses. Tunnels and Tunnelling International, Part 1-November 2000, Part 2-December 2000.



Hoek, E., Brown, E. (1997). Practical estimates of rock mass strength. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* 34:1165–1186

Hoek, E., Brown, E. T. (1980). "Underground excavations in rock". London: Inst. Min. and Metall. p. 527

Hulin, C. D. (1929). Structural control of ore deposition. *Economic Geol.* 24, 15–49.

ISRM (2015). The ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 2007-2014. Springer International Publishing, Cham.

ISRM (1985). ISRM suggested methods. Suggested method for determining point-load strength. *Int J Rock Mech Min Sci* 22: 53–60

ISRM, (1981). Rock characterization, testing and monitoring—ISRM suggested methods. In: Brown, E.T. (Ed.), *International Society of Rock Mechanics*. Pergamon, Oxford.

ISRM, (1978). International Society for Rock Mechanics. Suggested methods for determining tensile strength of rock materials. *Int. J. Roch Mech. & Min. Sci. Geomech. Abs* 15:99-103

Kaiser, P.K., Cai, M., (2013). Keynote lecture on rockburst damage mechanisms and support design principles. *Proceedings of RaSiM 2008*.

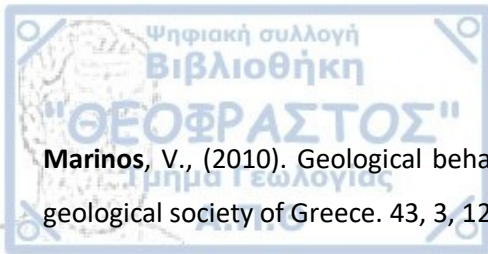
Laws, S., Eberhardt, E., Loew, S., Descoedres F. (2003). Geomechanical Properties of Shear Zones in the Eastern Aar Massif, Switzerland and their Implication on Tunnelling. *Rock Mech. Rock Engng.* 36 (4), 271–303

Marinos, V., Prountzopoulos, G., Fortsakis P., Koumoutsakos D., Korkaris, K., Papouli, D. (2012). "Tunnel Information and Analysis System": A Geotechnical Database for Tunnels. In: *J Geotech Geol Eng*, special issue "Information Technology for Geotechnical Engineering"

Marinos, V. Applications of the GSI system to the classification of soft rocks

Marinos, V., Carter, T., G. (2018). Maintaining geological reality in application of GSI for design of engineering structures in rock. *Engineering Geology* 239, 282-297

Marinos, V. (2007). Geotechnical classification and engineering geological behaviour of weak and complex rock masses in tunneling, Doctoral thesis, School of Civil Engineering, Geotechnical Engineering Department, National Technical University of Athens (NTUA), Athens. (In greek)



Marinos, V., (2010). Geological behaviour of rock masses in underground excavations. Bulletin of the geological society of Greece. 43, 3, 1238-1247.

Monticelli, J., P., Ribeiro, R., Futai, M. (2020). Relationship between durability index and uniaxial compressive strength of a gneissic rock at different weathering grades. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 79, pages1381–1397

Mountrakis, D. (2010). "Geology and geotectonic evolution of Greece. University Studio Press, Thessaloniki".

Norbury, D., R. (1986). The point load test. In: Hawkins AB (ed) Site investigation practice: assessing BS 5930, Geological Society, pp 325–329.

Ortlepp, W.D., Stacey, T.R. (1994). Rockburst Mechanisms in Tunnels and Shafts 55-65

Passchier, C. W., Trouw, R. A. J. (1996). Microtectonics. Springer, Berlin, 289 p.

Ramsay, J. G., Huber, M. (1987). The techniques of modern structural geology, Vol. II. Academic Press, London

Rehbock-Sander, M., Jesel, T. (2018). Fault induced rock bursts and micro-tremors—Experiences from the Gotthard Base Tunnel. Tunnelling and Underground Space Technology, vol. 81, pp. 358–366.

Reichmuth, D., R., (1968). Point load testing of brittle materials to determine tensile strength and relative brittleness. In: Grosvener NE, Paulding BW (eds) Proceedings of the 9th US symposium on rock mechanics. Port City Press, Baltimore, pp 134–159

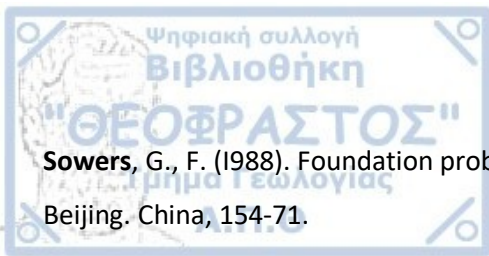
Sabatakakis, N., Koukis, G., Tsiambaos, G., Papakli, S. (2008). Index properties and strength variations controlled by microstructure for sedimentary rocks. Engineering Geology, 97(1-2), 80-90.

Saratsis, G., Stavropoulou, M. (2013). São Paulo cavern-shaft collapse viewed as a trap-door problem.

Shrestha, P., K., Panthi, K., K. (2014). Analysis of the plastic deformation behavior of schist and schistose mica gneiss at Khimti headrace tunnel, Nepal. Bull Eng Geol Environ, 73, 759-773.

Sibson, R. H. (1977). Fault rocks and fault mechanisms. J. Geol. Soc. London 133, 191–213.

Smith, J. V., (2018). Rock structure characterization of a magnetite gneiss with foliation-parallel discontinuities for footwall slope design. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 108:105–117.



Sowers, G., F. (1988). Foundation problems in residual soils. Int. Conf. on Eng. Problems of Regional Soils, Beijing, China, 154-71.

Tsiambaos, G., Sabatakakis, N. (2004). Considerations on strength of intact sedimentary rocks. Engng. Geol. 72, pp. 261 – 273.

Tziallas, G., Tsiambaos, G., Sarglou, H., (2009). Determination of rock strength and deformability of intact rocks. Electronic Journal of Geotechnical Engineering,; 14: 1–12.

Wise, D. U., Dunn, D. E., Engelder, J. T., Geiser, P. A., Hatcher, R. D., Kish, S. A., Odom, A. L., Schamel, S. (1984). Fault-related rocks: suggestions for terminology. Geology 12, 391–394.

Ziegler, H.J., Giovanoli, F., Isler, A., (2008). Basis tunnel Steg/Raron Geologischer Bericht. Raron-Ferden, Lötshberg Basis tunnel Schlussdokumentation. Unpublished Report.142A. Delisio et al./Tunnelling and Underground Space Technology 33 (2013) 131–142

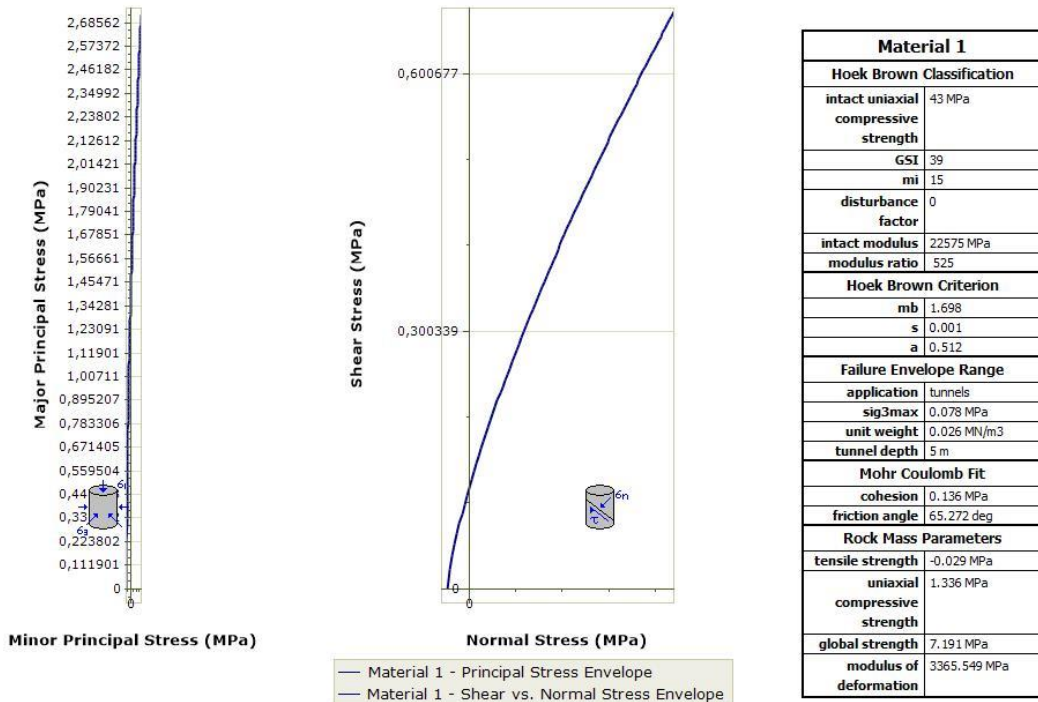
Κούκης, Γ., Σαμπατακάκης, Ν. (2007). Γεωλογία Τεχνικών Έργων.

Κούκης, Γ., Σαμπατακάκης, Ν. (2002). "Τεχνική Γεωλογία". Εκδόσεις Παπασωτηρίου

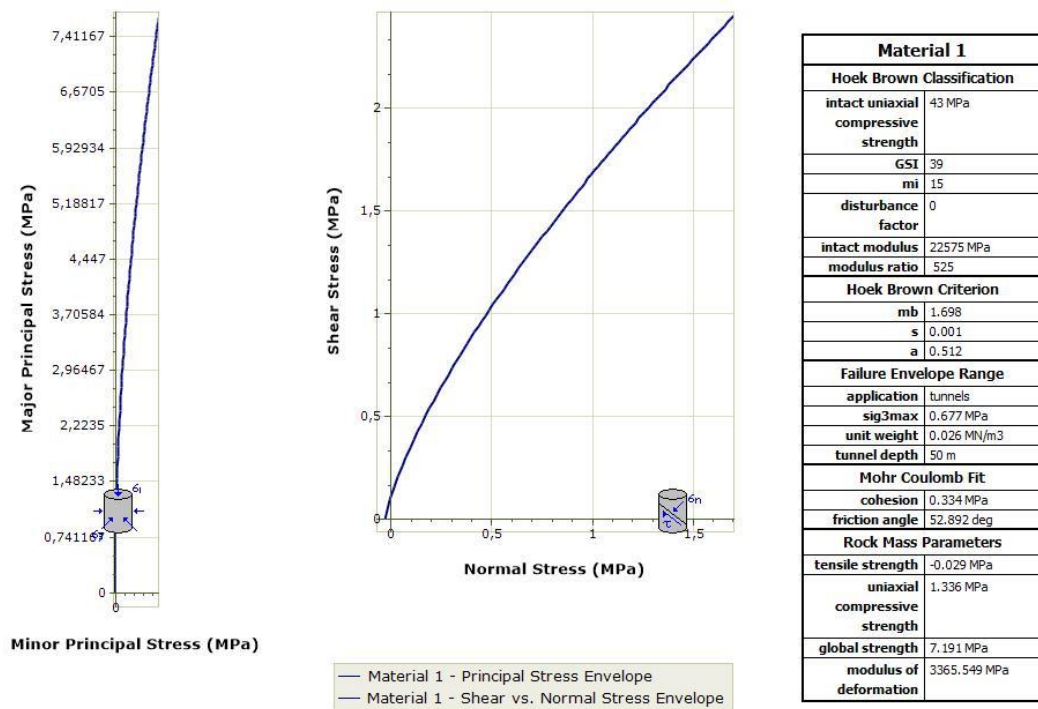
Σεφέρογλου, Κ., Ντούλης, Γ. (1999). Διημερίδα "ΟΙ ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΤΗΣ ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ" σήραγγες τμήματος 5.1 σε γνευσιακά/σχιστογνευσιακά πετρώματα

Τιτίρλα, Μ., Δ., (2018). Προσεγγίσεις με χρήση τεχνητών νευρωνικών δικτύων στο χρονικό προγραμματισμό τεχνικών έργων

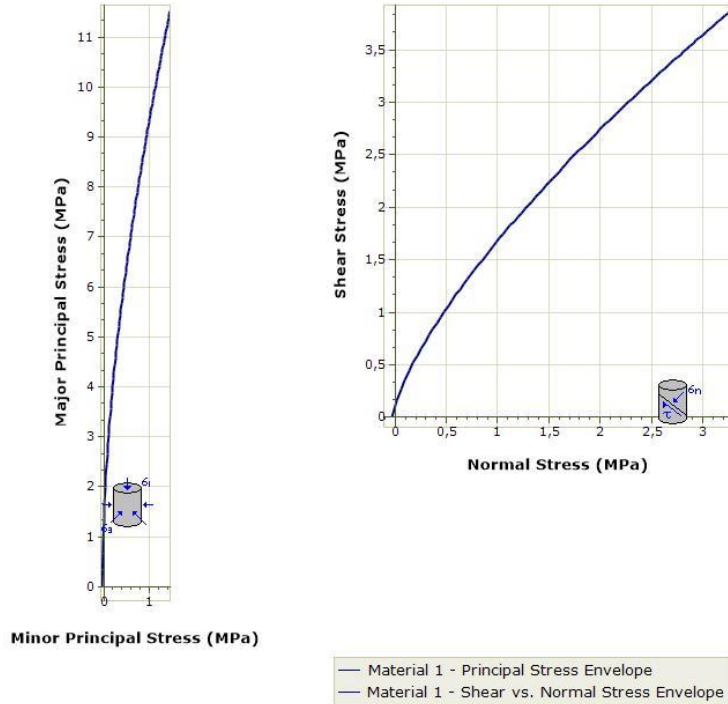
<http://www.egnatia.gr/page/default.asp?la=1&id=69&pl=363&pk=31&ap=362>



Εικόνα 34: Εφαρμογή του προγράμματος RocData για το υλικό 18 σε βάθος 5m.

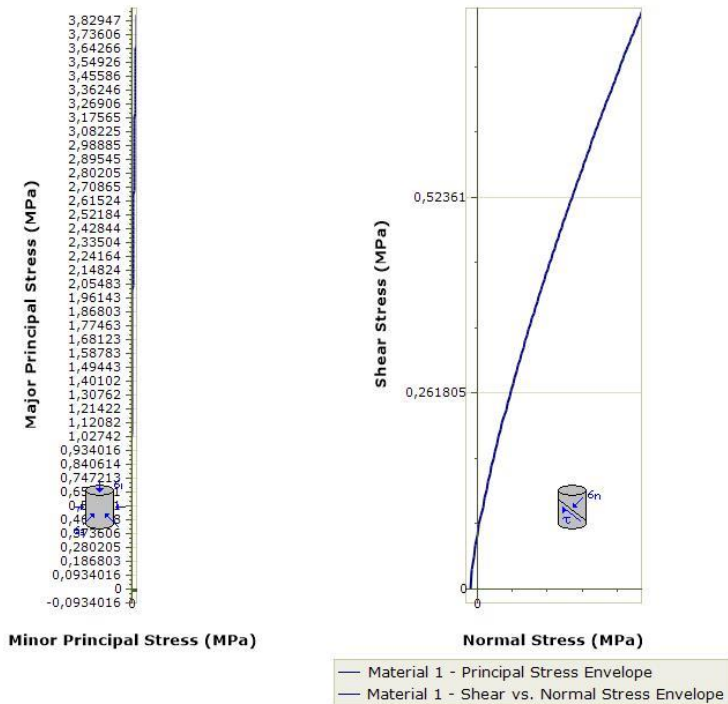


Εικόνα 35: Εφαρμογή του προγράμματος RocData για το υλικό 18 σε βάθος 50m.



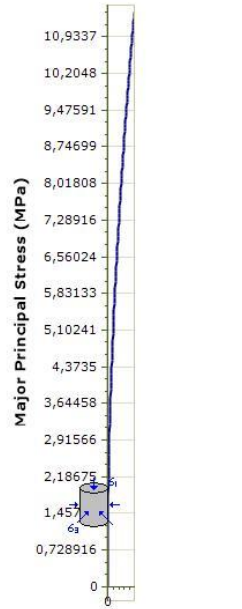
Material 1	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	43 MPa
GSI	39
mi	15
disturbance factor	0
intact modulus	22575 MPa
modulus ratio	525
Hoek Brown Criterion	
mb	1.698
s	0.001
a	0.512
Failure Envelope Range	
application	tunnels
sig3max	1.421 MPa
unit weight	0.026 MN/m ³
tunnel depth	110 m
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	0.53 MPa
friction angle	47.301 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0.029 MPa
uniaxial compressive strength	1.336 MPa
global strength	7.191 MPa
modulus of deformation	3365,549 MPa

Εικόνα 36: Εφαρμογή του προγράμματος RocData για το υλικό 18 σε βάθος 100m.

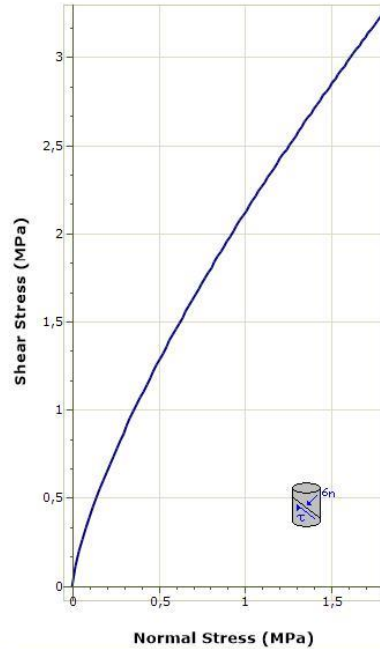


Material 1	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	25 MPa
GSI	47
mi	44
disturbance factor	0
intact modulus	13125 MPa
modulus ratio	525
Hoek Brown Criterion	
mb	6.628
s	0.003
a	0.507
Failure Envelope Range	
application	tunnels
sig3max	0.079 MPa
unit weight	0.026 MN/m ³
tunnel depth	5 m
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	0.113 MPa
friction angle	70.771 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0.01 MPa
uniaxial compressive strength	1.262 MPa
global strength	8.478 MPa
modulus of deformation	3343,271 MPa

Εικόνα 37: Εφαρμογή του προγράμματος RocData για το υλικό 21a σε βάθος 5m.



Minor Principal Stress (MPa)

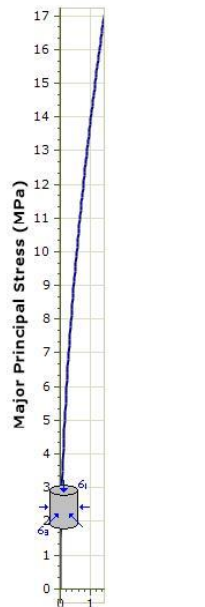


Normal Stress (MPa)

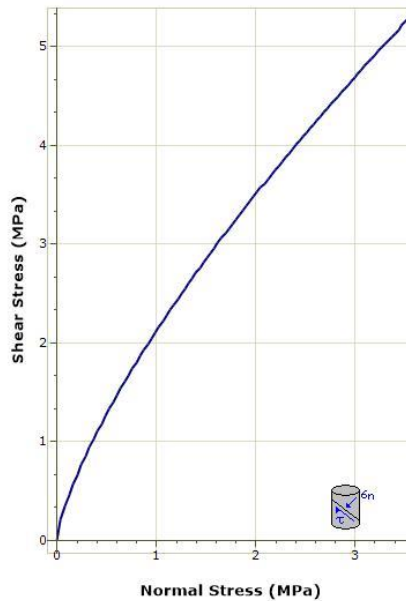
— Material 1 - Principal Stress Envelope
— Material 1 - Shear vs. Normal Stress Envelope

Material 1	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	25 MPa
GSI	47
mi	44
disturbance factor	0
intact modulus	13125 MPa
modulus ratio	525
Hoek Brown Criterion	
mb	6.628
s	0.003
a	0.507
Failure Envelope Range	
application	tunnels
sig3max	0.684 MPa
unit weight	0.026 MN/m ³
tunnel depth	50 m
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	0.397 MPa
friction angle	59.324 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0.01 MPa
uniaxial compressive strength	1.262 MPa
global strength	8.478 MPa
modulus of deformation	3343.271 MPa

Εικόνα 38: Εφαρμογή του προγράμματος RocData για το υλικό 21a σε βάθος 50m.



Minor Principal Stress (MPa)

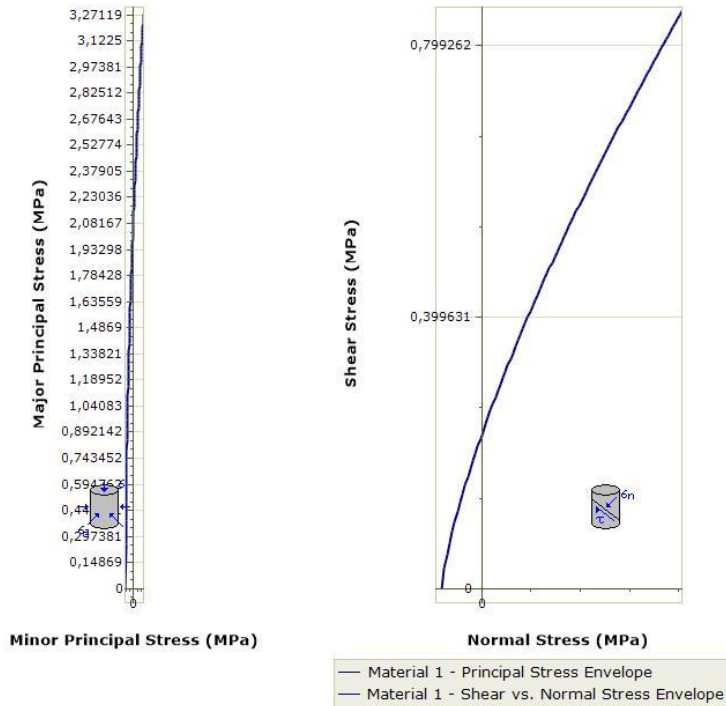


Normal Stress (MPa)

— Material 1 - Principal Stress Envelope
— Material 1 - Shear vs. Normal Stress Envelope

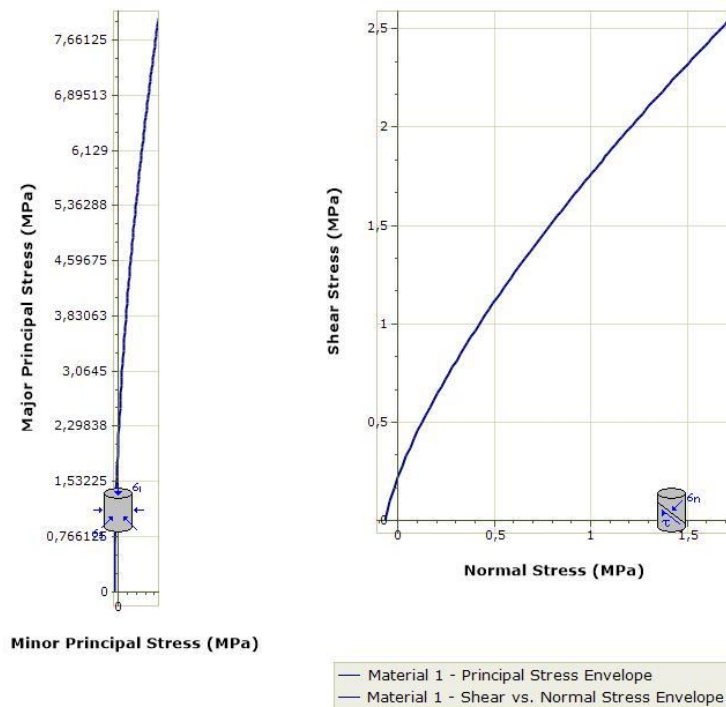
Material 1	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	25 MPa
GSI	47
mi	44
disturbance factor	0
intact modulus	13125 MPa
modulus ratio	525
Hoek Brown Criterion	
mb	6.628
s	0.003
a	0.507
Failure Envelope Range	
application	tunnels
sig3max	1.435 MPa
unit weight	0.026 MN/m ³
tunnel depth	110 m
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	0.663 MPa
friction angle	54.162 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0.01 MPa
uniaxial compressive strength	1.262 MPa
global strength	8.478 MPa
modulus of deformation	3343.271 MPa

Εικόνα 39: Εφαρμογή του προγράμματος RocData για το υλικό 21a σε βάθος 100m.



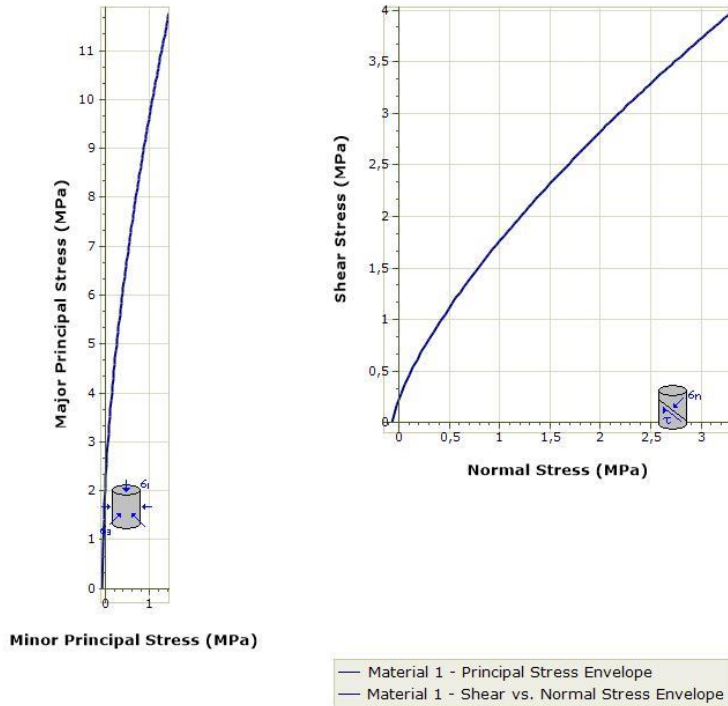
Material 1	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	20 MPa
GSI	60
mi	15
disturbance factor	0
intact modulus	10500 MPa
modulus ratio	525
Hoek Brown Criterion	
mb	3.595
s	0.012
a	0.503
Failure Envelope Range	
application	tunnels
sig3max	0.076 MPa
unit weight	0.026 MN/m ³
tunnel depth	5 m
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	0.23 MPa
friction angle	64.083 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0.065 MPa
uniaxial compressive strength	2.14 MPa
global strength	5.241 MPa
modulus of deformation	5460 MPa

Εικόνα 40: Εφαρμογή του προγράμματος RocData για το υλικό 21b σε βάθος 5m.



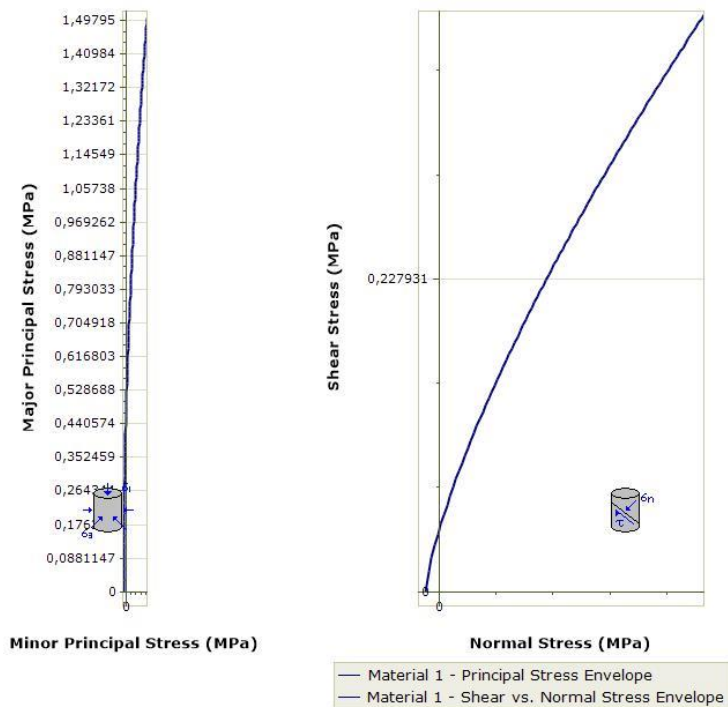
Material 1	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	20 MPa
GSI	60
mi	15
disturbance factor	0
intact modulus	10500 MPa
modulus ratio	525
Hoek Brown Criterion	
mb	3.595
s	0.012
a	0.503
Failure Envelope Range	
application	tunnels
sig3max	0.664 MPa
unit weight	0.026 MN/m ³
tunnel depth	50 m
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	0.405 MPa
friction angle	52.969 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0.065 MPa
uniaxial compressive strength	2.14 MPa
global strength	5.241 MPa
modulus of deformation	5460 MPa

Εικόνα 41: Εφαρμογή του προγράμματος RocData για το υλικό 21b σε βάθος 50m.



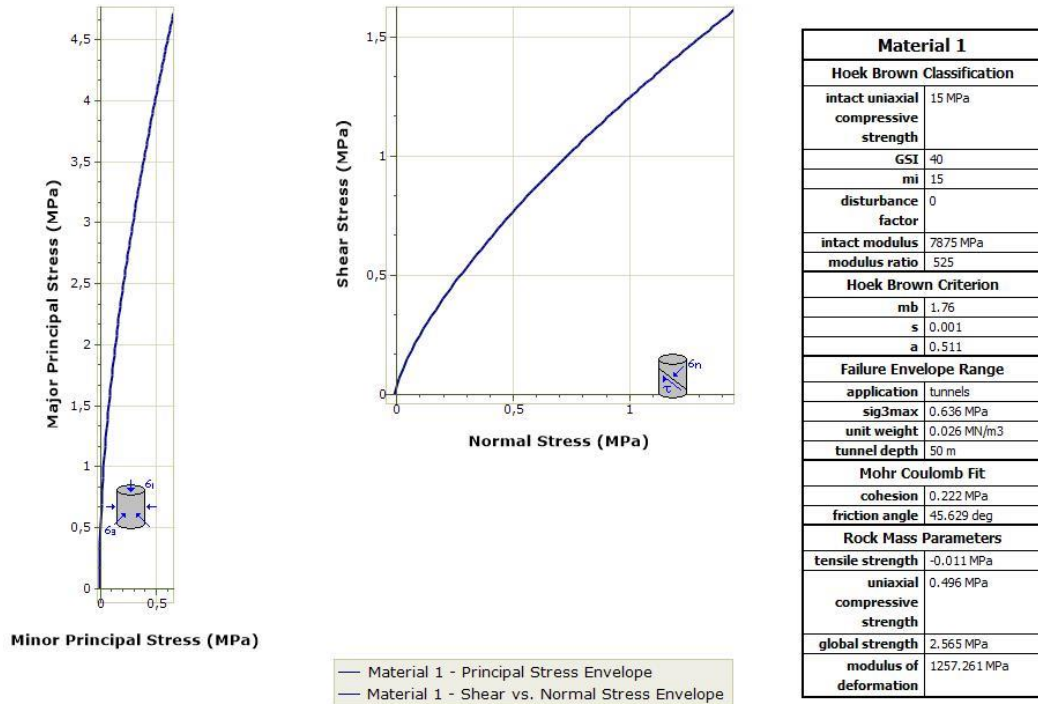
Material 1	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	20 MPa
GSI	60
mi	15
disturbance factor	0
intact modulus	10500 MPa
modulus ratio	525
Hoek Brown Criterion	
mb	3.595
s	0.012
a	0.503
Failure Envelope Range	
application	tunnels
sig3max	1.394 MPa
unit weight	0.026 MN/m ³
tunnel depth	110 m
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	0.596 MPa
friction angle	47.489 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0.065 MPa
uniaxial compressive strength	2.14 MPa
global strength	5.241 MPa
modulus of deformation	5460 MPa

Εικόνα 42: Εφαρμογή του προγράμματος RocData για το υλικό 21b σε βάθος 100m.

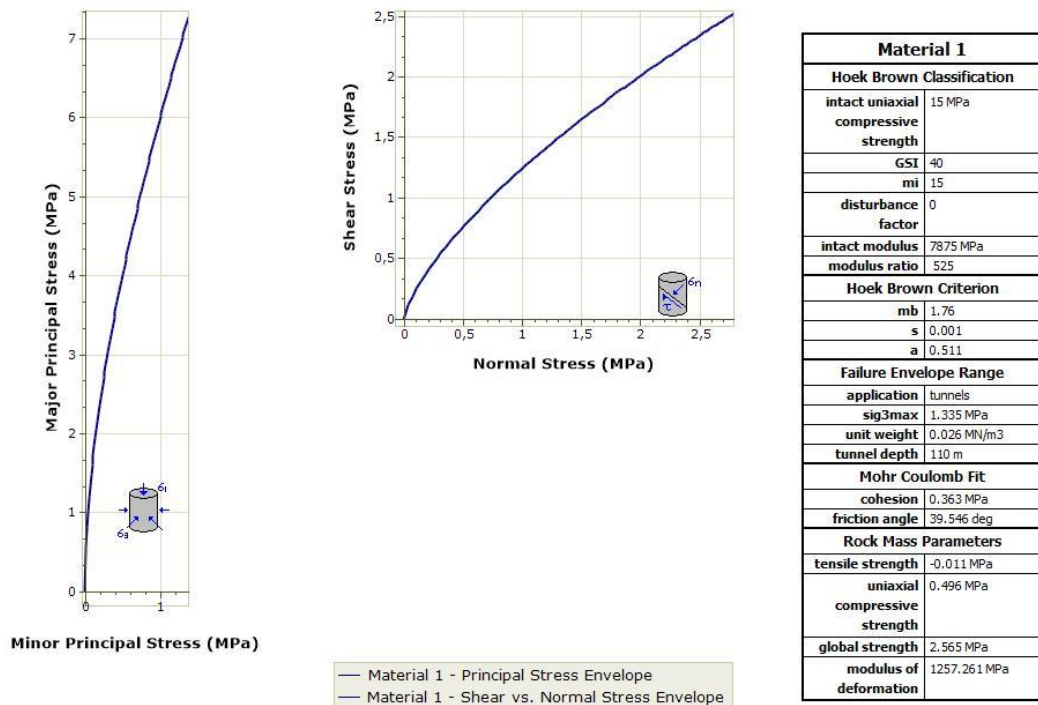


Material 1	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	15 MPa
GSI	40
mi	15
disturbance factor	0
intact modulus	7875 MPa
modulus ratio	525
Hoek Brown Criterion	
mb	1.76
s	0.001
a	0.511
Failure Envelope Range	
application	tunnels
sig3max	0.073 MPa
unit weight	0.026 MN/m ³
tunnel depth	5 m
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	0.067 MPa
friction angle	60.671 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0.011 MPa
uniaxial compressive strength	0.496 MPa
global strength	2.565 MPa
modulus of deformation	1257.261 MPa

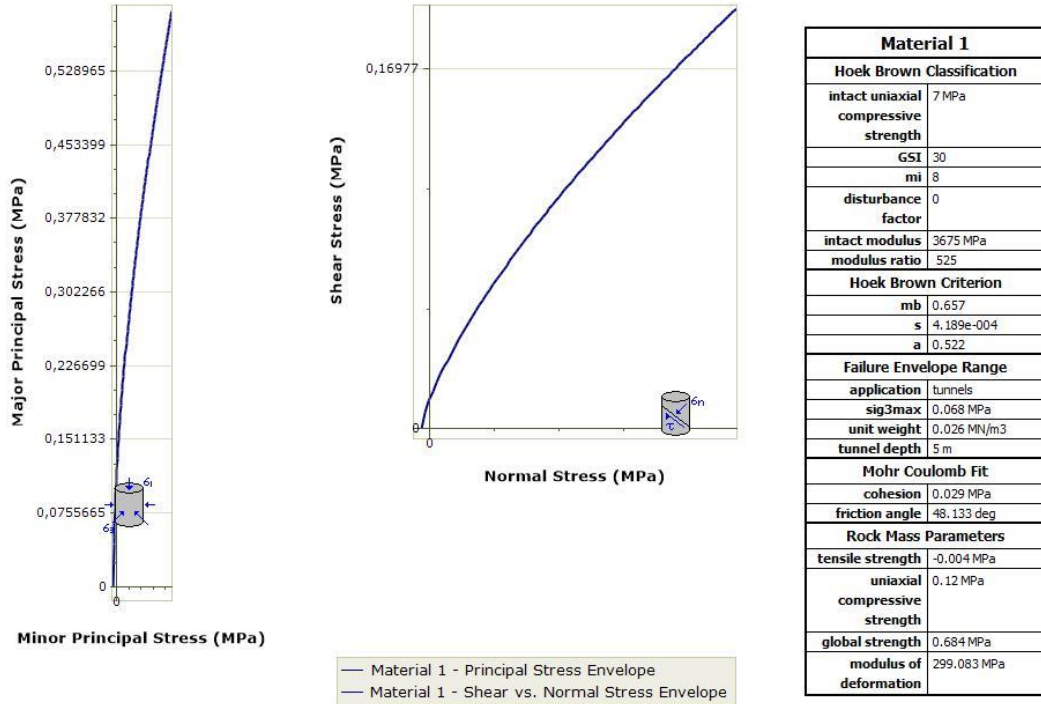
Εικόνα 43: Εφαρμογή του προγράμματος RocData για το υλικό 21c σε βάθος 5m.



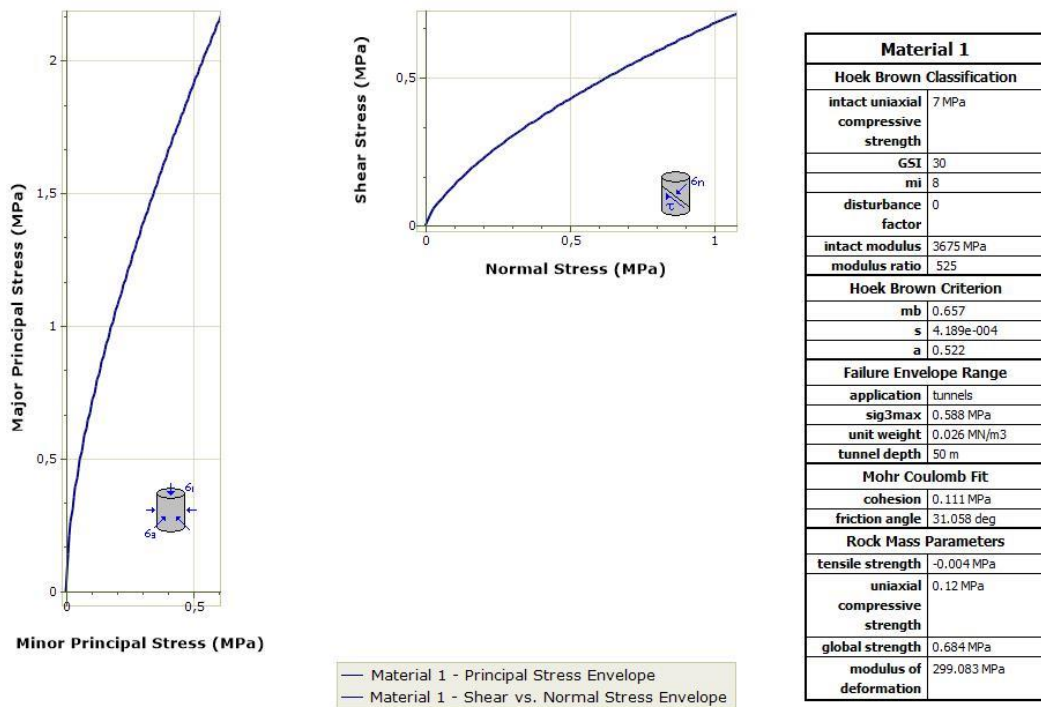
Εικόνα 44: Εφαρμογή του προγράμματος RocData για το υλικό 21c σε βάθος 50m.



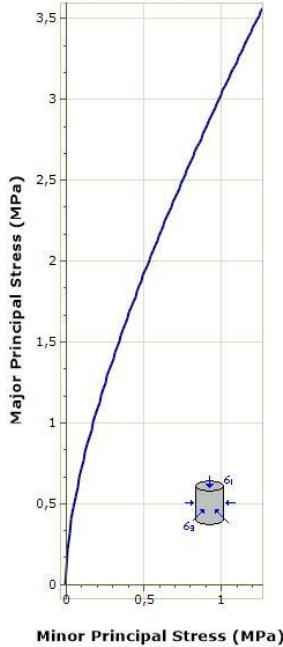
Εικόνα 45: Εφαρμογή του προγράμματος RocData για το υλικό 21c σε βάθος 100m.



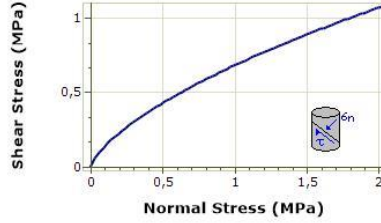
Εικόνα 46: Εφαρμογή του προγράμματος RocData για το υλικό 21 σε βάθος 5m.



Εικόνα 47: Εφαρμογή του προγράμματος RocData για το υλικό 21 σε βάθος 50m.



Minor Principal Stress (MPa)

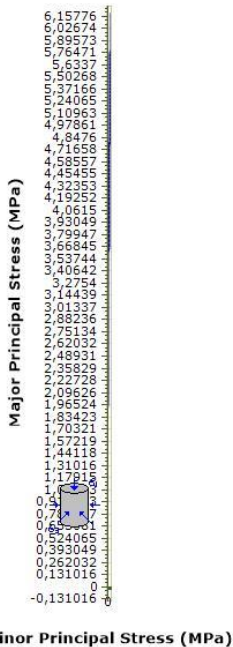


Normal Stress (MPa)

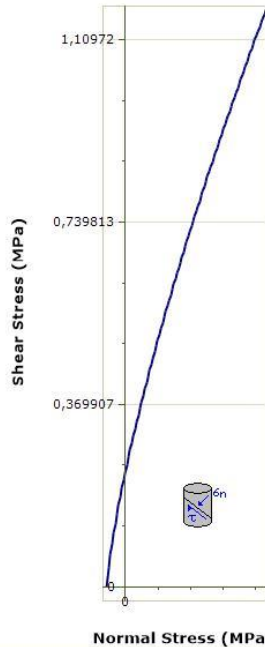
— Material 1 - Principal Stress Envelope
— Material 1 - Shear vs. Normal Stress Envelope

Material 1	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	7 MPa
GSI	30
mi	8
disturbance factor	0
intact modulus	3675 MPa
modulus ratio	525
Hoek Brown Criterion	
mb	0.657
s	4.189e-004
a	0.522
Failure Envelope Range	
application	tunnels
sig3max	1.234 MPa
unit weight	0.026 MN/m ³
tunnel depth	110 m
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	0.181 MPa
friction angle	25.364 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0.004 MPa
uniaxial compressive strength	0.12 MPa
global strength	0.684 MPa
modulus of deformation	299.083 MPa

Εικόνα 48: Εφαρμογή του προγράμματος RocData για το υλικό 21 σε βάθος 100m.



Minor Principal Stress (MPa)



Normal Stress (MPa)

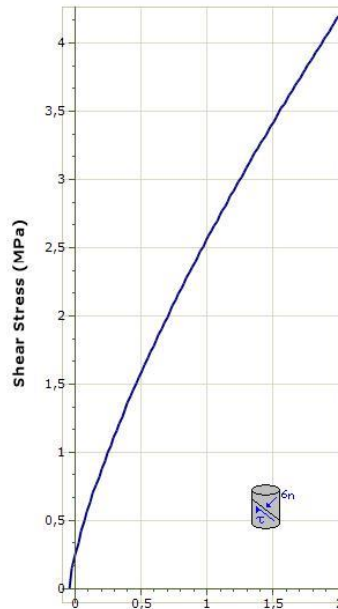
— Material 1 - Principal Stress Envelope
— Material 1 - Shear vs. Normal Stress Envelope

Material 1	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	69 MPa
GSI	47
mi	30
disturbance factor	0
intact modulus	36225 MPa
modulus ratio	525
Hoek Brown Criterion	
mb	4.519
s	0.003
a	0.507
Failure Envelope Range	
application	tunnels
sig3max	0.082 MPa
unit weight	0.026 MN/m ³
tunnel depth	5 m
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	0.255 MPa
friction angle	72.011 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0.042 MPa
uniaxial compressive strength	3.484 MPa
global strength	19.323 MPa
modulus of deformation	9227.429 MPa

Εικόνα 49: Εφαρμογή του προγράμματος RocData για το υλικό 109 σε βάθος 5m.



Minor Principal Stress (MPa)



Normal Stress (MPa)

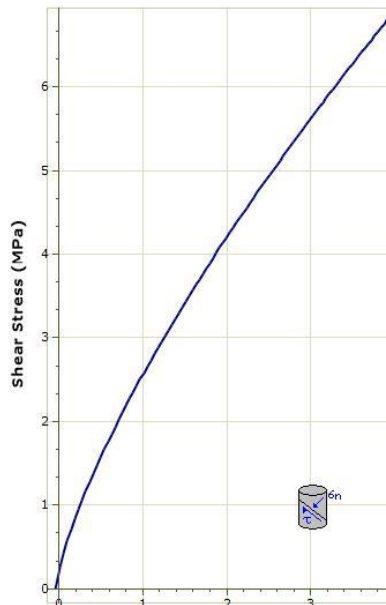
— Material 1 - Principal Stress Envelope
— Material 1 - Shear vs. Normal Stress Envelope

Material 1	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	69 MPa
GSI	47
mi	30
disturbance factor	0
intact modulus	36225 MPa
modulus ratio	525
Hoek Brown Criterion	
mb	4.519
s	0.003
a	0.507
Failure Envelope Range	
application	tunnels
sig3max	0.718 MPa
unit weight	0.026 MN/m ³
tunnel depth	50 m
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	0.56 MPa
friction angle	62.704 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0.042 MPa
uniaxial compressive strength	3.484 MPa
global strength	19.323 MPa
modulus of deformation	9227.429 MPa

Εικόνα 50: Εφαρμογή του προγράμματος RocData για το υλικό 109 σε βάθος 50m.



Minor Principal Stress (MPa)

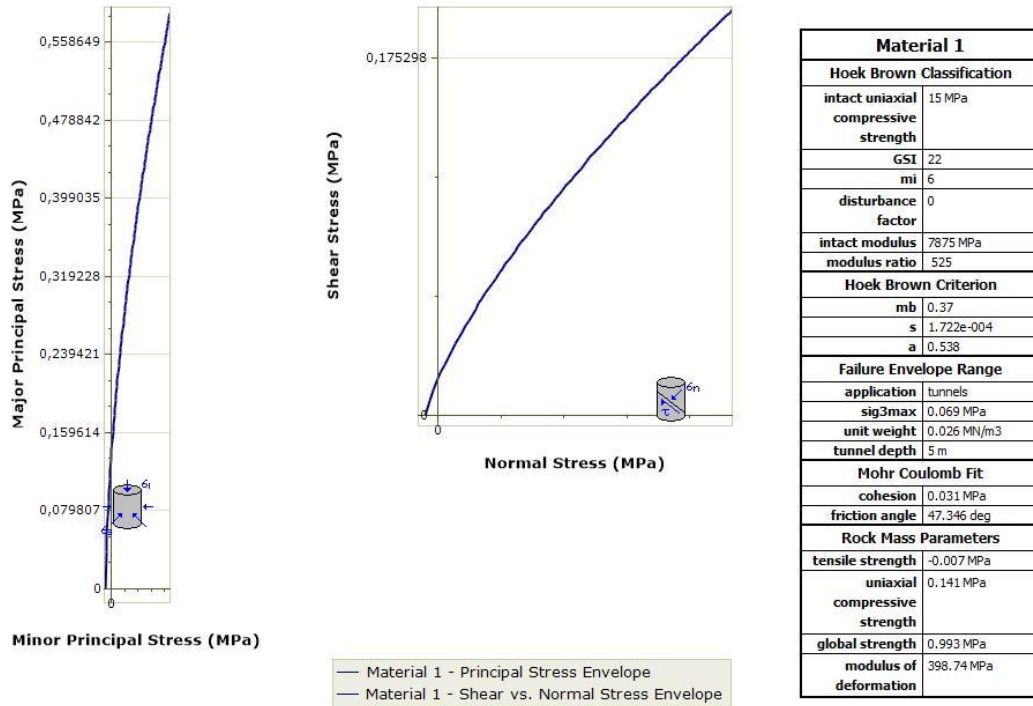


Normal Stress (MPa)

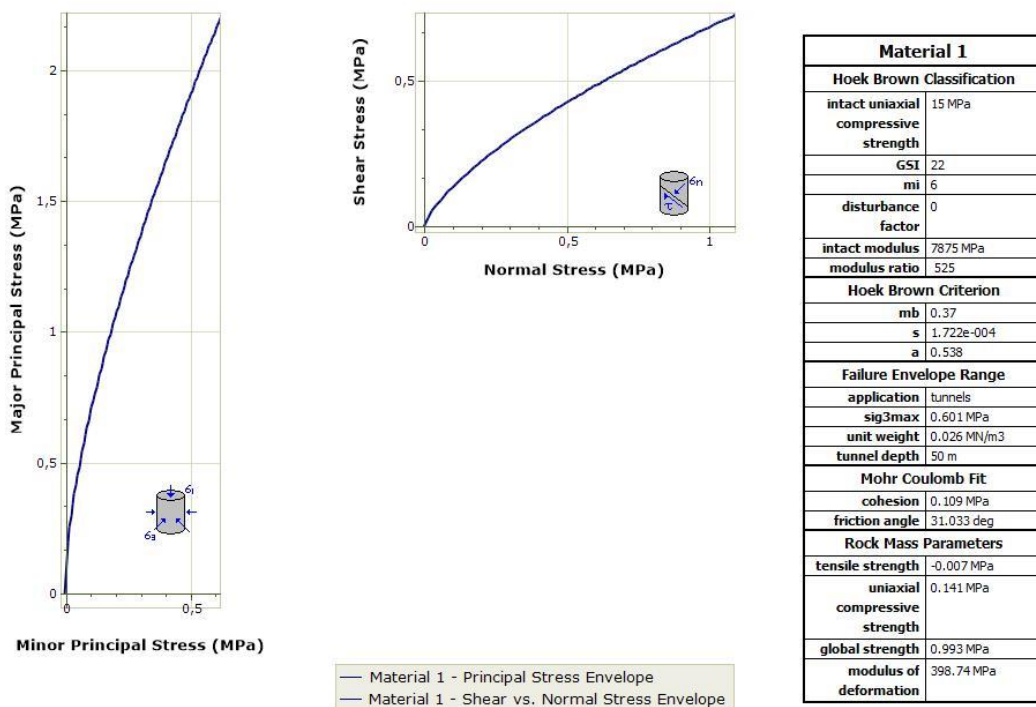
— Material 1 - Principal Stress Envelope
— Material 1 - Shear vs. Normal Stress Envelope

Material 1	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	69 MPa
GSI	47
mi	30
disturbance factor	0
intact modulus	36225 MPa
modulus ratio	525
Hoek Brown Criterion	
mb	4.519
s	0.003
a	0.507
Failure Envelope Range	
application	tunnels
sig3max	1.507 MPa
unit weight	0.026 MN/m ³
tunnel depth	110 m
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	0.875 MPa
friction angle	58.096 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0.042 MPa
uniaxial compressive strength	3.484 MPa
global strength	19.323 MPa
modulus of deformation	9227.429 MPa

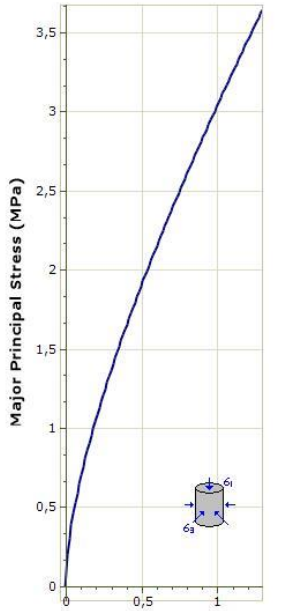
Εικόνα 51: Εφαρμογή του προγράμματος RocData για το υλικό 109 σε βάθος 100m.



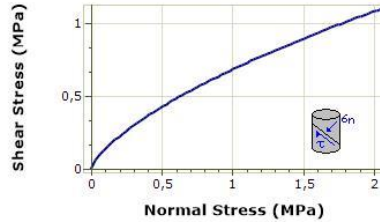
Εικόνα 52: Εφαρμογή του προγράμματος RocData για το υλικό 112 σε βάθος 5m.



Εικόνα 53: Εφαρμογή του προγράμματος RocData για το υλικό 112 σε βάθος 50m.



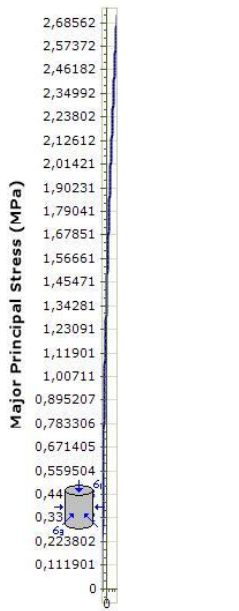
Minor Principal Stress (MPa)



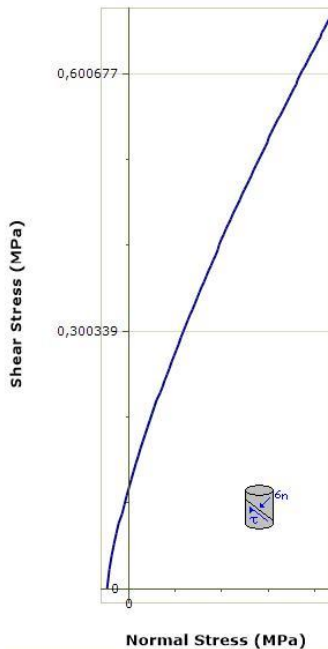
— Material 1 - Principal Stress Envelope
— Material 1 - Shear vs. Normal Stress Envelope

Material 1	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	15 MPa
GSI	22
mi	6
disturbance factor	0
intact modulus	7875 MPa
modulus ratio	525
Hoek Brown Criterion	
mb	0.37
s	1.722e-004
a	0.538
Failure Envelope Range	
application	tunnels
sig3max	1.262 MPa
unit weight	0.026 MN/m ³
tunnel depth	110 m
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	0.177 MPa
friction angle	25.539 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0.007 MPa
uniaxial compressive strength	0.141 MPa
global strength	0.993 MPa
modulus of deformation	398.74 MPa

Εικόνα 54: Εφαρμογή του προγράμματος RocData για το υλικό 112 σε βάθος 100m.



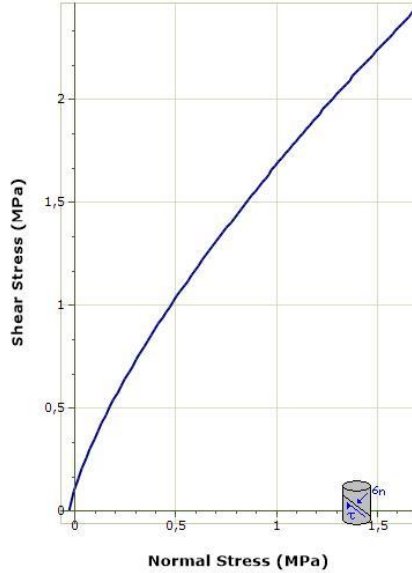
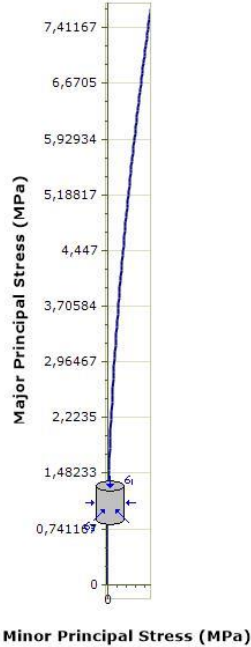
Minor Principal Stress (MPa)



— Material 1 - Principal Stress Envelope
— Material 1 - Shear vs. Normal Stress Envelope

Material 1	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	43 MPa
GSI	39
mi	15
disturbance factor	0
intact modulus	22575 MPa
modulus ratio	525
Hoek Brown Criterion	
mb	1.698
s	0.001
a	0.512
Failure Envelope Range	
application	tunnels
sig3max	0.078 MPa
unit weight	0.026 MN/m ³
tunnel depth	5 m
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	0.136 MPa
friction angle	65.272 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0.029 MPa
uniaxial compressive strength	1.336 MPa
global strength	7.191 MPa
modulus of deformation	3365.549 MPa

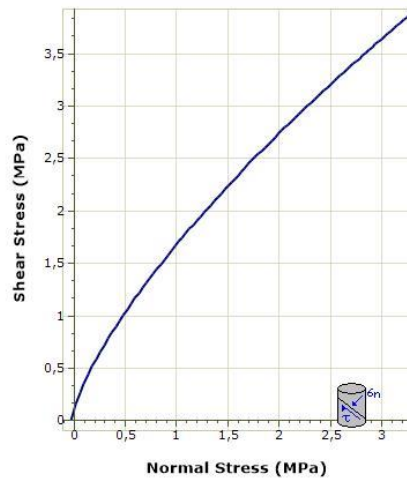
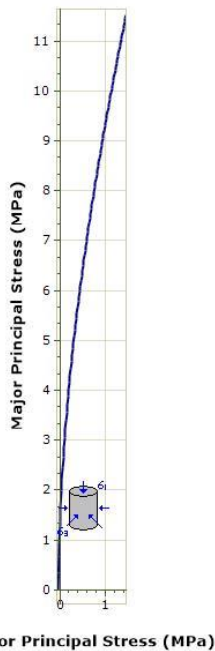
Εικόνα 55: Εφαρμογή του προγράμματος RocData για το υλικό 112b σε βάθος 5m.



— Material 1 - Principal Stress Envelope
— Material 1 - Shear vs. Normal Stress Envelope

Material 1	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	43 MPa
GSI	39
mi	15
disturbance factor	0
intact modulus	22575 MPa
modulus ratio	525
Hoek Brown Criterion	
mb	1.698
s	0.001
a	0.512
Failure Envelope Range	
application	tunnels
sig3max	0.677 MPa
unit weight	0.026 MN/m ³
tunnel depth	50 m
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	0.334 MPa
friction angle	52.892 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0.029 MPa
uniaxial compressive strength	1.336 MPa
global strength	7.191 MPa
modulus of deformation	3365,549 MPa

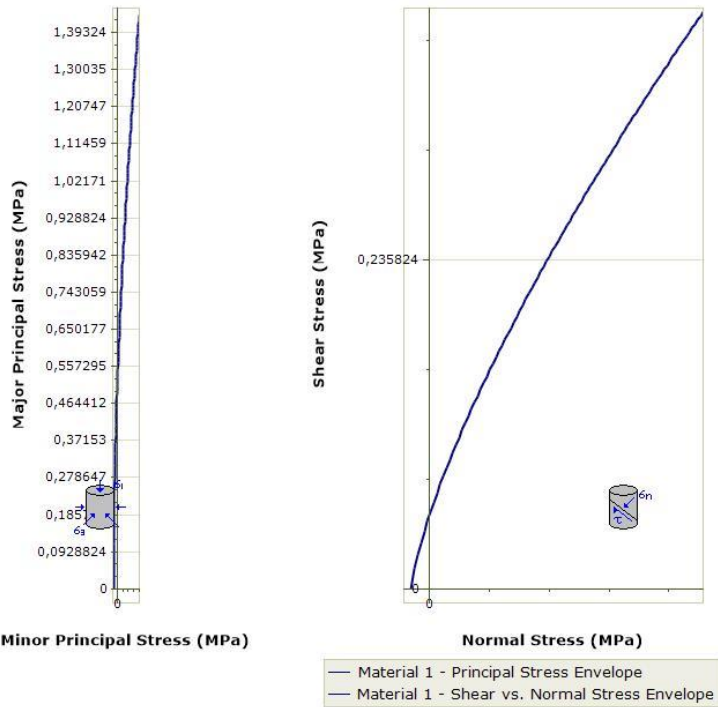
Εικόνα 56: Εφαρμογή του προγράμματος RocData για το υλικό 112b σε βάθος 50m.



— Material 1 - Principal Stress Envelope
— Material 1 - Shear vs. Normal Stress Envelope

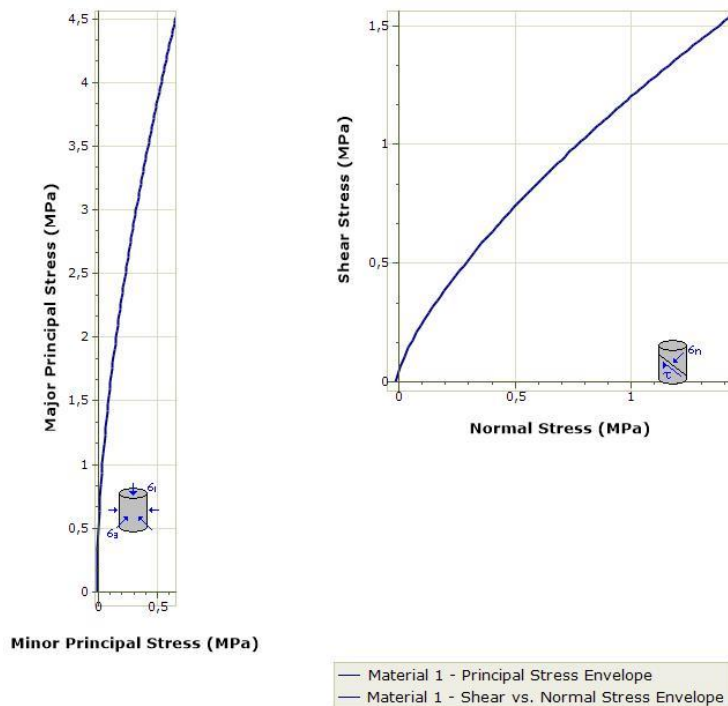
Material 1	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	43 MPa
GSI	39
mi	15
disturbance factor	0
intact modulus	22575 MPa
modulus ratio	525
Hoek Brown Criterion	
mb	1.698
s	0.001
a	0.512
Failure Envelope Range	
application	tunnels
sig3max	1.421 MPa
unit weight	0.026 MN/m ³
tunnel depth	110 m
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	0.53 MPa
friction angle	47.301 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0.029 MPa
uniaxial compressive strength	1.336 MPa
global strength	7.191 MPa
modulus of deformation	3365,549 MPa

Εικόνα 57: Εφαρμογή του προγράμματος RocData για το υλικό 112b σε βάθος 100m.



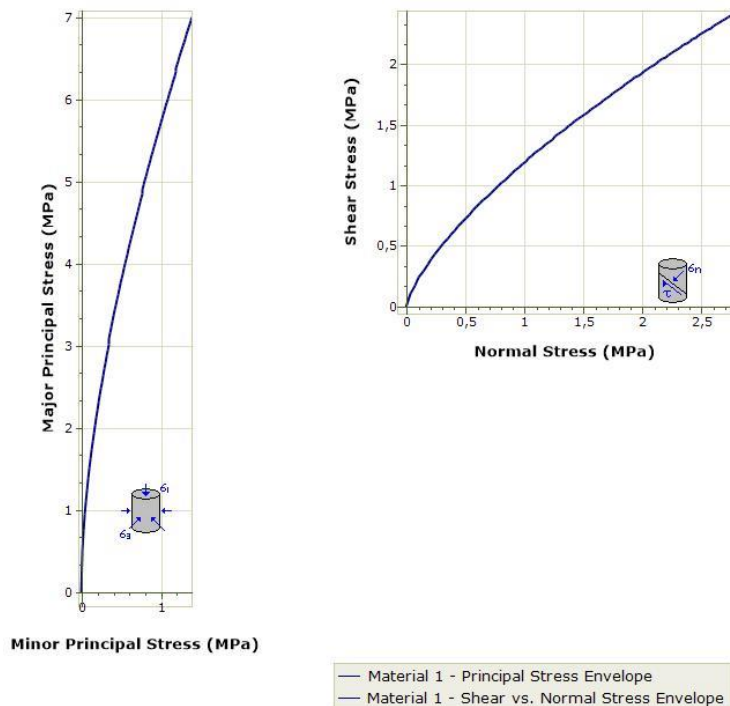
Material 1	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	25 MPa
GSI	33
mi	11
disturbance factor	0
intact modulus	13125 MPa
modulus ratio	525
Hoek Brown Criterion	
mb	1,005
s	5.847e-004
a	0,518
Failure Envelope Range	
application	tunnels
sig3max	0,074 MPa
unit weight	0,026 MN/m ³
tunnel depth	5 m
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	0,071 MPa
friction angle	59,405 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0,015 MPa
uniaxial compressive strength	0,528 MPa
global strength	3,106 MPa
modulus of deformation	1300,777 MPa

Εικόνα 58: Εφαρμογή του προγράμματος RocData για το υλικό 114 σε βάθος 5m.



Material 1	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	25 MPa
GSI	33
mi	11
disturbance factor	0
intact modulus	13125 MPa
modulus ratio	525
Hoek Brown Criterion	
mb	1,005
s	5.847e-004
a	0,518
Failure Envelope Range	
application	tunnels
sig3max	0,644 MPa
unit weight	0,026 MN/m ³
tunnel depth	50 m
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	0,215 MPa
friction angle	44,555 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0,015 MPa
uniaxial compressive strength	0,528 MPa
global strength	3,106 MPa
modulus of deformation	1300,777 MPa

Εικόνα 59: Εφαρμογή του προγράμματος RocData για το υλικό 114 σε βάθος 50m.



Material 1	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	25 MPa
GSI	33
mi	11
disturbance factor	0
intact modulus	13125 MPa
modulus ratio	525
Hoek Brown Criterion	
mb	1.005
s	5.847e-004
a	0.518
Failure Envelope Range	
application	tunnels
sig3max	1.351 MPa
unit weight	0.026 MN/m ³
tunnel depth	110 m
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	0.349 MPa
friction angle	38.555 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0.015 MPa
uniaxial compressive strength	0.528 MPa
global strength	3.106 MPa
modulus of deformation	1300.777 MPa

Εικόνα 60: Εφαρμογή του προγράμματος RocData για το υλικό 114 σε βάθος 100m.

Πίνακας 49: Μετρήσεις κλίσης και διεύθυνσης κλίσης για τις Χ.Θ. της Σ10.

Από Χ.Θ	Έως Χ.Θ	Κλάδος	Είδος ασυνέχειας	Κλίση ασυνέχειας	Φορά μέγιστης κλίσης ασυνέχειας
26453	26462	Δεξιός	Διάκλαση	38	200
26453	26462	Δεξιός	Διάκλαση	69	40
26453	26462	Δεξιός	Ρήγμα	85	310
26717,25	26722,25	Δεξιός	Διάκλαση	25	340
26717,25	26722,25	Δεξιός	Διάκλαση	42	43
26717,25	26722,25	Δεξιός	Διάκλαση	50	276
26717,25	26722,25	Δεξιός	Διάκλαση	85	270
26722,25	26727,25	Δεξιός	Διάκλαση	45	340
26722,25	26727,25	Δεξιός	Διάκλαση	60	10
26722,25	26727,25	Δεξιός	Διάκλαση	70	114
26722,25	26727,25	Δεξιός	Διάκλαση	74	292
26748,84	26753,84	Αριστερός	Διάκλαση	75	326
26748,84	26753,84	Αριστερός	Διάκλαση	80	256
26748,84	26753,84	Αριστερός	Σχιστότητα	35	60
26753,84	26758,84	Αριστερός	Διάκλαση	65	40
26753,84	26758,84	Αριστερός	Διάκλαση	70	220
26753,84	26758,84	Αριστερός	Σχιστότητα	70	316
26768,84	26773,84	Αριστερός	Διάκλαση	65	330

26768,84	26773,84	Αριστερός	Διάκλαση	70	290
26768,84	26773,84	Αριστερός	Σχιστότητα	45	200
26882,25	26887,25	Δεξιός	Διάκλαση	65	256
26882,25	26887,25	Δεξιός	Διάκλαση	70	151
26882,25	26887,25	Δεξιός	Διάκλαση	70	152
26882,25	26887,25	Δεξιός	Διάκλαση	88	246
26887,25	26892,25	Δεξιός	Διάκλαση	45	280
26887,25	26892,25	Δεξιός	Διάκλαση	55	288
26887,25	26892,25	Δεξιός	Διάκλαση	73	270
26887,25	26892,25	Δεξιός	Ρήγμα	45	348
26887,25	26892,25	Δεξιός	Ρήγμα	75	30
26892,25	26897,25	Δεξιός	Διάκλαση	52	264
26892,25	26897,25	Δεξιός	Διάκλαση	60	284
26892,25	26897,25	Δεξιός	Διάκλαση	75	252
26892,25	26897,25	Δεξιός	Διάκλαση	75	284
26903,84	26908,84	Αριστερός	Διάκλαση	30	340
26903,84	26908,84	Αριστερός	Διάκλαση	75	346
26903,84	26908,84	Αριστερός	Διάκλαση	83	252
26907,25	26912,25	Δεξιός	Διάκλαση	20	280
26907,25	26912,25	Δεξιός	Διάκλαση	30	300
26907,25	26912,25	Δεξιός	Διάκλαση	65	120
26907,25	26912,25	Δεξιός	Διάκλαση	80	218
26913,84	26918,84	Αριστερός	Διάκλαση	60	300
26913,84	26918,84	Αριστερός	Διάκλαση	80	225
26913,84	26918,84	Αριστερός	Διάκλαση	80	240
26923,84	26928,84	Αριστερός	Διάκλαση	20	140
26923,84	26928,84	Αριστερός	Διάκλαση	45	33
26923,84	26928,84	Αριστερός	Διάκλαση	76	120
26932,25	26937,25	Δεξιός	Διάκλαση	65	52
26932,25	26937,25	Δεξιός	Διάκλαση	65	110
26932,25	26937,25	Δεξιός	Σχιστότητα	20	22
26938,84	26943,84	Αριστερός	Διάκλαση	60	35
26938,84	26943,84	Αριστερός	Διάκλαση	60	112
26938,84	26943,84	Αριστερός	Σχιστότητα	20	210
26948,84	26953,84	Αριστερός	Διάκλαση	46	42
26948,84	26953,84	Αριστερός	Διάκλαση	60	158
26948,84	26953,84	Αριστερός	Ρήγμα	40	42
26962,25	26967,25	Δεξιός	Διάκλαση	60	220
26962,25	26967,25	Δεξιός	Διάκλαση	70	100
26962,25	26967,25	Δεξιός	Σχιστότητα	2	22
26967,25	26972,25	Δεξιός	Διάκλαση	50	44
26967,25	26972,25	Δεξιός	Διάκλαση	50	266
26967,25	26972,25	Δεξιός	Σχιστότητα	40	74
26977,25	26982,25	Δεξιός	Διάκλαση	50	322
26977,25	26982,25	Δεξιός	Διάκλαση	60	40
26977,25	26982,25	Δεξιός	Σχιστότητα	20	162
26983,84	26988,84	Αριστερός	Διάκλαση	60	10
26983,84	26988,84	Αριστερός	Διάκλαση	60	182

26983,84	26988,84	Αριστερός	Σχιστότητα	50	352
26992,25	26997,25	Δεξιός	Διάκλαση	44	220
26992,25	26997,25	Δεξιός	Διάκλαση	80	118
26992,25	26997,25	Δεξιός	Σχιστότητα	35	194
26993,84	26998,84	Αριστερός	Διάκλαση	15	192
26993,84	26998,84	Αριστερός	Διάκλαση	45	30
26993,84	26998,84	Αριστερός	Διάκλαση	75	2
27000	27005	Δεξιός	Διάκλαση	65	240
27000	27005	Δεξιός	Διάκλαση	70	100
27000	27005	Δεξιός	Σχιστότητα	15	186
27010	27015	Δεξιός	Διάκλαση	70	118
27010	27015	Δεξιός	Διάκλαση	82	0
27010	27015	Δεξιός	Σχιστότητα	15	136
27065	27070	Αριστερός	Διάκλαση	45	62
27065	27070	Αριστερός	Διάκλαση	49	274
27065	27070	Αριστερός	Διάκλαση	70	160
27125	27130	Δεξιός	Διάκλαση	58	270
27125	27130	Δεξιός	Διάκλαση	65	48
27125	27130	Δεξιός	Διάκλαση	73	349
27180	27185	Δεξιός	Διάκλαση	80	8
27180	27185	Δεξιός	Διάκλαση	85	210
27180	27185	Δεξιός	Διάκλαση	85	262
27190	27195	Δεξιός	Διάκλαση	63	49
27190	27195	Δεξιός	Διάκλαση	70	138
27190	27195	Δεξιός	Διάκλαση	80	34
27225	27230	Αριστερός	Διάκλαση	42	166
27225	27230	Αριστερός	Διάκλαση	45	132
27225	27230	Αριστερός	Διάκλαση	70	148
27255	27260	Δεξιός	Διάκλαση	32	8
27255	27260	Δεξιός	Διάκλαση	52	22
27255	27260	Δεξιός	Διάκλαση	60	140
27305	27310	Δεξιός	Διάκλαση	55	155
27305	27310	Δεξιός	Διάκλαση	70	42
27305	27310	Δεξιός	Σχιστότητα	20	120
27385	27390	Δεξιός	Διάκλαση	60	44
27385	27390	Δεξιός	Διάκλαση	70	300
27385	27390	Δεξιός	Ρήγμα	51	138
27400	27405	Αριστερός	Διάκλαση	65	52
27400	27405	Αριστερός	Διάκλαση	80	150
27400	27405	Αριστερός	Διάκλαση	85	128
27400	27405	Αριστερός	Ρήγμα	55	158
27430	27435	Αριστερός	Διάκλαση	64	240
27430	27435	Αριστερός	Ρήγμα	49	224
27430	27435	Αριστερός	Σχιστότητα	40	280
27450	27455	Δεξιός	Διάκλαση	35	125
27450	27455	Δεξιός	Διάκλαση	55	38
27450	27455	Δεξιός	Διάκλαση	78	150
27490	27495	Αριστερός	Διάκλαση	50	45

27490	27495	Αριστερός	Διάκλαση	65	172
27490	27495	Αριστερός	Διάκλαση	70	320
27500	27505	Δεξιός	Διάκλαση	65	30
27500	27505	Δεξιός	Διάκλαση	85	212
27500	27505	Δεξιός	Ρήγμα	67	284
27905	27910	Δεξιός	Διάκλαση	45	132
27905	27910	Δεξιός	Διάκλαση	70	4
27905	27910	Δεξιός	Διάκλαση	73	328
28305	28310	Δεξιός	Διάκλαση	55	315
28305	28310	Δεξιός	Διάκλαση	60	152
28305	28310	Δεξιός	Διάκλαση	72	330
28325	28330	Αριστερός	Διάκλαση	35	122
28325	28330	Αριστερός	Διάκλαση	52	22
28325	28330	Αριστερός	Διάκλαση	85	158
28325	28330	Δεξιός	Διάκλαση	54	229
28325	28330	Δεξιός	Διάκλαση	65	337
28325	28330	Δεξιός	Διάκλαση	75	332
28340	28345	Δεξιός	Διάκλαση	35	244
28340	28345	Δεξιός	Διάκλαση	47	340
28340	28345	Δεξιός	Διάκλαση	50	218
28365	28370	Αριστερός	Διάκλαση	40	142
28365	28370	Αριστερός	Διάκλαση	50	298
28365	28370	Αριστερός	Διάκλαση	74	358
28390	28395	Δεξιός	Διάκλαση	55	78
28390	28395	Δεξιός	Διάκλαση	60	308
28390	28395	Δεξιός	Διάκλαση	66	54
28435	28440	Αριστερός	Διάκλαση	47	35
28435	28440	Αριστερός	Διάκλαση	82	10
28435	28440	Αριστερός	Σχιστότητα	38	72
28435	28440	Δεξιός	Διάκλαση	60	316
28435	28440	Δεξιός	Διάκλαση	78	155
28435	28440	Δεξιός	Σχιστότητα	55	75
28470	28475	Δεξιός	Διάκλαση	65	72
28470	28475	Δεξιός	Διάκλαση	67	50
28470	28475	Δεξιός	Διάκλαση	70	140
28480	28485	Αριστερός	Διάκλαση	54	94
28480	28485	Αριστερός	Διάκλαση	60	219
28480	28485	Αριστερός	Διάκλαση	64	24
28485	28491,6	Αριστερός	Διάκλαση	70	308

Πίνακας 50: Μετρήσεις κλίσης και διεύθυνσης κλίσης για τις Χ.Θ. της Σ11.

Από Χ.Θ	Έως Χ.Θ	Κλάδος	Είδος ασυνέχειας	Κλίση ασυνέχειας	Φορά μέγιστης κλίσης ασυνέχειας
28880.57	0	Αριστερός	Διάκλαση	55	220
28880.57	0	Αριστερός	Διάκλαση	55	240

28880.57	0	Αριστερός	Διάκλαση	80	284
28880.57	0	Αριστερός	Ρήγμα	50	160
28886.87	0	Αριστερός	Διάκλαση	65	228
28886.87	0	Αριστερός	Διάκλαση	85	268
29021.65	0	Δεξιός	Διάκλαση	35	4
29021.65	0	Δεξιός	Διάκλαση	55	310
29021.65	0	Δεξιός	Διάκλαση	65	200

Πίνακας 51: Μετρήσεις κλίσης και διεύθυνσης κλίσης για τις Χ.Θ. της Σ12.

Από Χ.Θ	Έως Χ.Θ	Κλάδος	Είδος ασυνέχειας	Κλίση ασυνέχειας	Φορά μέγιστης κλίσης ασυνέχειας
29910.15	0	Δεξιός	Διάκλαση	33	38
29910.15	0	Δεξιός	Διάκλαση	45	244
29910.15	0	Δεξιός	Διάκλαση	65	256
29910.15	0	Δεξιός	Διάκλαση	80	308
29922.35	0	Δεξιός	Διάκλαση	30	26
29922.35	0	Δεξιός	Διάκλαση	42	113
29922.35	0	Δεξιός	Διάκλαση	45	220
29922.35	0	Δεξιός	Διάκλαση	53	67
29922.35	0	Δεξιός	Διάκλαση	55	250
29922.35	0	Δεξιός	Διάκλαση	63	14
29922.35	0	Δεξιός	Διάκλαση	69	172
29922.35	0	Δεξιός	Διάκλαση	82	312
29924.87	0	Δεξιός	Διάκλαση	45	36
29924.87	0	Δεξιός	Διάκλαση	64	330
29924.87	0	Δεξιός	Διάκλαση	75	49
29924.87	0	Δεξιός	Διάκλαση	76	273
29924.87	0	Δεξιός	Διάκλαση	80	342
29939.7	0	Αριστερός	Διάκλαση	22	62
29939.7	0	Αριστερός	Διάκλαση	39	251
29939.7	0	Αριστερός	Διάκλαση	44	18
29939.7	0	Αριστερός	Διάκλαση	48	244
29939.7	0	Αριστερός	Διάκλαση	65	78
29939.7	0	Αριστερός	Διάκλαση	65	194
29939.7	0	Αριστερός	Διάκλαση	65	232
29939.7	0	Αριστερός	Διάκλαση	70	187
29939.7	0	Αριστερός	Διάκλαση	76	188
29939.7	0	Αριστερός	Διάκλαση	80	165
29939.7	0	Αριστερός	Διάκλαση	85	132
29941.85	0	Αριστερός	Διάκλαση	63	258

29941.85	0	Αριστερός	Διάκλαση	72	43
29941.85	0	Αριστερός	Διάκλαση	75	342
29943.55	0	Αριστερός	Διάκλαση	45	111
29943.55	0	Αριστερός	Διάκλαση	55	53
29943.55	0	Αριστερός	Διάκλαση	60	252
29943.55	0	Αριστερός	Διάκλαση	66	249
29943.55	0	Αριστερός	Διάκλαση	70	348
29943.55	0	Αριστερός	Διάκλαση	72	318
29943.55	0	Αριστερός	Διάκλαση	74	343
29943.55	0	Αριστερός	Διάκλαση	85	156
29943.55	0	Αριστερός	Διάκλαση		
29965.23	0	Δεξιός	Διάκλαση	40	52
29965.23	0	Δεξιός	Διάκλαση	40	280
29965.23	0	Δεξιός	Διάκλαση	45	54
29965.23	0	Δεξιός	Διάκλαση	85	344
29965.23	0	Δεξιός	Διάκλαση	90	0
29981	0	Δεξιός	Διάκλαση	25	270
29981	0	Δεξιός	Διάκλαση	60	264
29981	0	Δεξιός	Ρήγμα	70	200
29981	0	Δεξιός	Ρήγμα	70	350

Πίνακας 52: Μετρήσεις κλίσης και διεύθυνσης κλίσης για τις Χ.Θ. της Σ13.

Από Χ.Θ	Έως Χ.Θ	Κλάδος	Είδος ασυνέχειας	Κλίση ασυνέχειας	Φορά μέγιστης κλίσης ασυνέχειας
30408.26	0	Δεξιός	Διάκλαση	62	82
30408.26	0	Δεξιός	Διάκλαση	85	350
30408.26	0	Δεξιός	Σχιστότητα	15	210
30432.7	0	Δεξιός	Διάκλαση	50	87
30432.7	0	Δεξιός	Διάκλαση	87	142
30432.7	0	Δεξιός	Σχιστότητα	11	304
30434.29	0	Αριστερός	Διάκλαση	60	240
30434.29	0	Αριστερός	Διάκλαση	74	262
30434.29	0	Αριστερός	Διάκλαση	89	2
30434.29	0	Αριστερός	Σχιστότητα	11	265
30445.83	0	Δεξιός	Διάκλαση	75	220
30445.83	0	Δεξιός	Διάκλαση	83	104
30445.83	0	Δεξιός	Σχιστότητα	3	358
30453.25	0	Αριστερός	Διάκλαση	50	225
30453.25	0	Αριστερός	Διάκλαση	55	88
30453.25	0	Αριστερός	Διάκλαση	60	72

30453.25	0	Αριστερός	Διάκλαση	65	120
30453.25	0	Αριστερός	Διάκλαση	80	140
30455.84	0	Αριστερός	Διάκλαση	46	8
30455.84	0	Αριστερός	Διάκλαση	57	236
30455.84	0	Αριστερός	Διάκλαση	80	330
30455.84	0	Αριστερός	Διάκλαση	85	121
30455.84	0	Αριστερός	Σχιστότητα	7	200
30455.84	0	Αριστερός	Σχιστότητα	14	255
30471.42	0	Δεξιός	Διάκλαση	55	233
30471.42	0	Δεξιός	Διάκλαση	72	238
30471.42	0	Δεξιός	Διάκλαση	75	353
30471.42	0	Δεξιός	Διάκλαση	78	158
30471.42	0	Δεξιός	Διάκλαση	78	353
30471.42	0	Δεξιός	Ρήγμα	64	74
30471.42	0	Δεξιός	Σχιστότητα	15	278
30471.42	0	Δεξιός	Σχιστότητα	16	336
30485.02	0	Δεξιός	Διάκλαση	40	116
30485.02	0	Δεξιός	Διάκλαση	75	163
30507.06	0	Αριστερός	Διάκλαση	60	93
30507.06	0	Αριστερός	Διάκλαση	80	273
30507.06	0	Αριστερός	Διάκλαση	84	338
30507.06	0	Αριστερός	Σχιστότητα	2	326
30512.37	0	Αριστερός	Διάκλαση	55	90
30512.37	0	Αριστερός	Διάκλαση	65	160
30512.37	0	Αριστερός	Διάκλαση	70	254
30512.37	0	Αριστερός	Διάκλαση	80	337
30512.37	0	Αριστερός	Σχιστότητα	20	250
30514.92	0	Αριστερός	Διάκλαση	47	80
30514.92	0	Αριστερός	Διάκλαση	50	244
30514.92	0	Αριστερός	Διάκλαση	75	345
30514.92	0	Αριστερός	Διάκλαση	84	350
30514.92	0	Αριστερός	Διάκλαση	88	327
30514.92	0	Αριστερός	Σχιστότητα	33	268
30516.1	0	Δεξιός	Διάκλαση	50	156
30516.1	0	Δεξιός	Διάκλαση	55	102
30516.1	0	Δεξιός	Διάκλαση	55	356
30516.1	0	Δεξιός	Διάκλαση	75	72
30516.1	0	Δεξιός	Σχιστότητα	15	302
30516.1	0	Δεξιός	Σχιστότητα	27	256
30516.1	0	Δεξιός	Σχιστότητα	30	312
30527.45	0	Αριστερός	Διάκλαση	45	180

30527.45	0	Αριστερός	Διάκλαση	65	140
30527.45	0	Αριστερός	Διάκλαση	65	215
30527.45	0	Αριστερός	Διάκλαση	66	345
30527.45	0	Αριστερός	Διάκλαση	80	46
30527.45	0	Αριστερός	Διάκλαση	85	154
30527.45	0	Αριστερός	Σχιστότητα	15	314
30529.95	0	Αριστερός	Διάκλαση	85	275
30529.95	0	Αριστερός	Ρήγμα	51	144
30529.95	0	Αριστερός	Ρήγμα	65	162
30529.95	0	Αριστερός	Σχιστότητα	15	332
30531.52	0	Αριστερός	Διάκλαση	60	186
30531.52	0	Αριστερός	Διάκλαση	62	234
30531.52	0	Αριστερός	Διάκλαση	67	112
30531.52	0	Αριστερός	Διάκλαση	80	278
30531.52	0	Αριστερός	Διάκλαση	82	31
30531.52	0	Αριστερός	Διάκλαση	88	22
30531.52	0	Αριστερός	Σχιστότητα	12	242
30535.24	0	Αριστερός	Διάκλαση	54	191
30535.24	0	Αριστερός	Διάκλαση	65	240
30535.24	0	Αριστερός	Διάκλαση	75	160
30535.24	0	Αριστερός	Διάκλαση	75	334
30535.24	0	Αριστερός	Σχιστότητα	20	162
30535.74	0	Δεξιός	Διάκλαση	60	250
30535.74	0	Δεξιός	Διάκλαση	75	118
30535.74	0	Δεξιός	Διάκλαση	77	342
30535.74	0	Δεξιός	Διάκλαση	80	276
30535.74	0	Δεξιός	Διάκλαση	85	31
30535.74	0	Δεξιός	Σχιστότητα	20	280
30543.14	0	Δεξιός	Διάκλαση	50	245
30543.14	0	Δεξιός	Διάκλαση	70	140
30543.14	0	Δεξιός	Διάκλαση	75	280
30543.14	0	Δεξιός	Διάκλαση	85	344
30543.14	0	Δεξιός	Σχιστότητα	15	290
30550.83	0	Δεξιός	Διάκλαση	50	162
30550.83	0	Δεξιός	Διάκλαση	70	68
30550.83	0	Δεξιός	Διάκλαση	73	336
30550.83	0	Δεξιός	Διάκλαση	75	146
30550.83	0	Δεξιός	Διάκλαση	85	244
30550.83	0	Δεξιός	Διάκλαση	85	338
30550.83	0	Δεξιός	Σχιστότητα	20	10
30552.72	0	Αριστερός	Διάκλαση	32	50

30552.72	0	Αριστερός	Διάκλαση	35	124
30552.72	0	Αριστερός	Διάκλαση		
30552.72	0	Αριστερός	Διάκλαση	50	32
30552.72	0	Αριστερός	Διάκλαση		
30552.72	0	Αριστερός	Διάκλαση	55	50
30552.72	0	Αριστερός	Διάκλαση		
30552.72	0	Αριστερός	Διάκλαση	65	168
30552.72	0	Αριστερός	Διάκλαση	74	322
30552.72	0	Αριστερός	Διάκλαση		
30552.72	0	Αριστερός	Διάκλαση	76	204
30552.72	0	Αριστερός	Διάκλαση		
30552.72	0	Αριστερός	Σχιστότητα	25	2
30552.72	0	Αριστερός	Σχιστότητα	25	2
30573.45	0	Αριστερός	Διάκλαση	57	245
30573.45	0	Αριστερός	Διάκλαση	60	138
30573.45	0	Αριστερός	Διάκλαση	78	46
30573.45	0	Αριστερός	Διάκλαση	90	152
30573.45	0	Αριστερός	Σχιστότητα	5	215
30612.19	0	Δεξιός	Διάκλαση	40	54
30612.19	0	Δεξιός	Διάκλαση	64	135
30612.19	0	Δεξιός	Διάκλαση	67	179
30612.19	0	Δεξιός	Διάκλαση	80	95
30612.19	0	Δεξιός	Διάκλαση	80	199
30612.19	0	Δεξιός	Σχιστότητα	14	300
30655.58	0	Δεξιός	Διάκλαση	65	30
30655.58	0	Δεξιός	Διάκλαση	89	318
30655.58	0	Δεξιός	Σχιστότητα	10	225
30694.48	0	Δεξιός	Διάκλαση	68	218
30694.48	0	Δεξιός	Διάκλαση	75	351
30694.48	0	Δεξιός	Διάκλαση	79	149
30694.48	0	Δεξιός	Διάκλαση	80	150
30694.48	0	Δεξιός	Διάκλαση	81	76
30694.48	0	Δεξιός	Σχιστότητα	15	306
30703.02	0	Αριστερός	Διάκλαση	55	38
30703.02	0	Αριστερός	Διάκλαση	75	154
30703.02	0	Αριστερός	Διάκλαση	90	46
30703.02	0	Αριστερός	Ρήγμα	25	52
30740.2	0	Δεξιός	Διάκλαση	68	53
30740.2	0	Δεξιός	Διάκλαση	75	146
30740.2	0	Δεξιός	Διάκλαση	80	156
30740.2	0	Δεξιός	Σχιστότητα	38	259

30772.98	0	Δεξιός	Διάκλαση	64	148
30772.98	0	Δεξιός	Διάκλαση	71	146
30772.98	0	Δεξιός	Διάκλαση	90	220
30772.98	0	Δεξιός	Σχιστότητα	35	220
30772.98	0	Δεξιός	Σχιστότητα	35	238
30772.98	0	Δεξιός	Σχιστότητα	45	220
31019.81	0	Αριστερός	Διάκλαση	56	18
31019.81	0	Αριστερός	Διάκλαση	60	104
31019.81	0	Αριστερός	Διάκλαση	72	102
31019.81	0	Αριστερός	Διάκλαση	75	235
31019.81	0	Αριστερός	Διάκλαση	85	330
31019.81	0	Αριστερός	Σχιστότητα	15	12
31019.81	0	Αριστερός	Σχιστότητα	15	357
31033.07	0	Δεξιός	Διάκλαση	30	132
31033.07	0	Δεξιός	Διάκλαση	45	265
31033.07	0	Δεξιός	Διάκλαση	60	52
31033.07	0	Δεξιός	Διάκλαση	75	14
31033.07	0	Δεξιός	Διάκλαση	80	70
31033.07	0	Δεξιός	Διάκλαση	80	140
31036.25	0	Αριστερός	Διάκλαση	25	95
31036.25	0	Αριστερός	Διάκλαση	35	255
31036.25	0	Αριστερός	Διάκλαση	50	134
31036.25	0	Αριστερός	Διάκλαση	74	235
31036.25	0	Αριστερός	Διάκλαση	76	326
31036.25	0	Αριστερός	Σχιστότητα	25	260
31126.63	0	Δεξιός	Διάκλαση	50	202
31126.63	0	Δεξιός	Διάκλαση	55	188
31126.63	0	Δεξιός	Διάκλαση	87	264
31134	0	Δεξιός	Διάκλαση	50	218
31134	0	Δεξιός	Διάκλαση	55	122
31134	0	Δεξιός	Διάκλαση	80	262
31142.63	0	Δεξιός	Διάκλαση	60	10
31142.63	0	Δεξιός	Διάκλαση	85	60
31142.63	0	Δεξιός	Ρήγμα	15	214