

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Διπλωματική Εργασία

ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥ
ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ LIDAR ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ
ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ

ΓΟΥΛΑ ΕΥΜΟΡΦΙΑ

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Διπλώματος του Γεωλόγου

Θεσσαλονίκη

2016

ΓΟΥΛΑ ΕΥΜΟΡΦΙΑ

ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥ ΜΕ ΤΗ
ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ LIDAR ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ
ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ

Υποβλήθηκε στο τμήμα Γεωλογίας

Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωλογίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Βασίλειος Μαρίνος

Επ. Καθηγητής ΑΠΘ

© Γούλα Ευμορφία, Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Οκτώβριος 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥ ΜΕ ΤΗ
ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ LIDAR ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ
ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ

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

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

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή.....	6
1.1.Αντικείμενο μελέτης	6
1.2.Μεθοδολογία-εργαλεία έρευνας.....	6
2. Γεωλογικές συνθήκες	7
2.1.Γενικά.....	7
2.2.Γεωλογικές συνθήκες της Πάρου.....	8
2.3.Περί Λυχνίτη και εκμετάλλευση.....	11
2.4.Το λατομείο των Νυμφών.....	14
3. Τεχνικογεωλογικές συνθήκες.....	18
3.1.Γενικά.....	18
3.2.Εκτίμηση διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών.....	18
3.3.Γεωτεχνική ταξινόμηση GSI.....	21
3.4.Γεωτεχνική ταξινόμηση RMR.....	26
4. Κινηματική ανάλυση.....	29
4.1.Στόμια.....	29
4.1.1. Στόμιο στοάς 1.....	29
4.1.2. Στόμιο στοάς 2.....	30
4.2.Στοές.....	31
4.2.1. Στοά 1.....	32
4.2.2. Στοά 2	34
5. Ανάλυση μηχανισμών αστοχίας στα στόμια και στα υπόγεια ανοίγματα.....	36

5.1.Ανάλυση μηχανισμών αστοχίας στα στόμια.....	36
5.2.Ανάλυση μηχανισμών αστοχίας στα υπόγεια ανοίγματα.....	41
6. Σύνοψη.....	50
7. Βιβλιογραφία.....	51
8. Παράρτημα.....	52

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Αντικείμενο Μελέτης

Κύριο αντικείμενο αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η αποτύπωση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών, των διαφόρων συστημάτων ασυνεχειών που αναπτύσσονται τόσο στο εσωτερικό, όσο και στα στόμια των στοών του λατομείου των Νυμφών, με την εκτέλεση τρισδιάστατης απεικόνισης με τη χρήση επίγειου σαρωτή Lidar και ανάλυση της ευστάθειας των υπόγειων ανοιγμάτων. Σκοπός είναι η δημιουργία του γεωλογικού μοντέλου των κύριων συστημάτων ασυνεχειών που θα προκύψουν, τόσο από τις επί τόπου μετρήσεις, όσο και από την τρισδιάστατη απεικόνιση και ο εντοπισμός θέσεων που δύνανται να αστοχήσουν, έπειτα από την ανάλυση της ευστάθειας των υπόγειων στοών με τη χρήση ειδικών λογισμικών, αλλά και η εκτίμηση των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών αντοχής τόσο της βραχομάζας όσο και των ασυνεχειών.

1.2. Μεθοδολογία – Εργαλεία Έρευνας

Οι εργασίες οι οποίες εκτελέστηκαν για την εκτέλεση αυτής της μελέτης είναι:

- Εργασία πεδίου. Πραγματοποιήθηκε πολυήμερη επίσκεψη στην περιοχή έρευνας, όπου και έγινε συλλογή επί τόπου μετρήσεων και τρισδιάστατη απεικόνιση των στοών με τη χρήση του επίγειου σαρωτή Lidar. Ακόμη έγιναν μετρήσεις της μονοαξονικής αντοχής JCS με σφύρα Schmidt και αποτύπωση των προφίλ των ασυνεχειών με τη χρήση προφιλόμετρου για την εκτίμηση του συντελεστή τραχύτητας JRC.
- Καθορισμός προσανατολισμού ασυνεχειών – τεκτονική ανάλυση και δημιουργία τεκτονικών διαγραμμάτων – σύγκριση με τα αποτελέσματα των μετρήσεων που προέκυψαν από το Lidar. Για την επεξεργασία των ασυνεχειών των υπόγειων στοών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Dips (Rocscience corp.)
- Ταξινόμηση της ποιότητας της βραχομάζας με τη χρήση του συστήματος γεωτεχνικής ταξινόμησης GSI και RMR.
- Κινηματική ανάλυση και ανάλυση της ευστάθειας των υπόγειων ανοιγμάτων και των εισόδων των στοών με τη χρήση των λογισμικών Dips, Swedge και Unwedge (Rocscience Inc.)

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

2.1. Γενικά

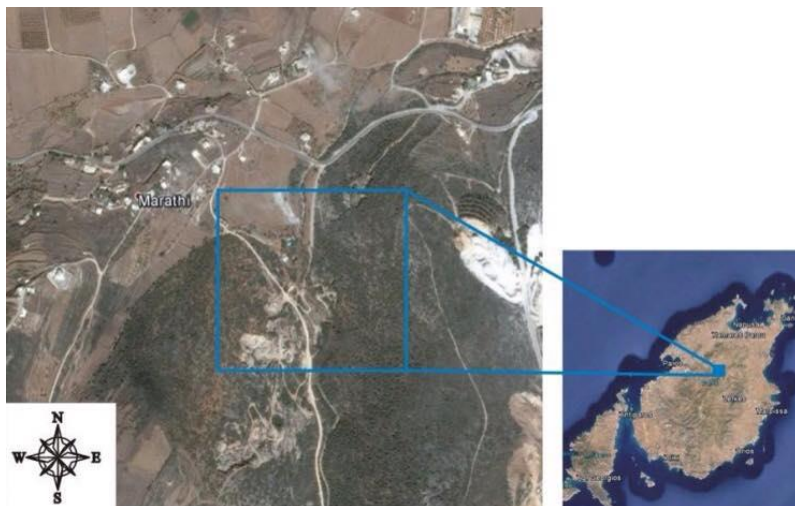
Σύμφωνα με τον U. Schilardi ο όρος μάρμαρο, κατά την ελληνική αρχαιότητα, αναφερόταν στα λευκά κρυσταλλικά πετρώματα που χρησιμοποιούνταν στον τομέα της γλυπτικής και της αρχιτεκτονικής. Η λέξη προέρχεται από το ρήμα μαρμαίρω που σημαίνει αστράφτω, λάμπω, σπινθηρίζω, στίλβω. Στη γεωλογία ο όρος μάρμαρο χρησιμοποιείται για να περιγράψει ανθρακικά κρυσταλλικά πετρώματα, δηλαδή πετρώματα που προέκυψαν από την ανακρυστάλλωση ανθρακικών ιζημάτων σε συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας. Στην Ελλάδα σημειώνονται πολλές περιοχές με σημαντική εξόρυξη μαρμάρου κατά την αρχαιότητα, όπως είναι τα μάρμαρα της Θάσου, το Πεντελικό, το κυανότεφρο του Υμηττού, το τεφρόμαυρο Λέσβου, το λευκό και αδροκρυσταλλικό μάρμαρο των Φιλίππων Καβάλας, το λευκό έως κυανότεφρο της Μαγνησίας, ο λυχνίτης της Πάρου κ.α.

Το λευκό μάρμαρο της Πάρου είχε ποικίλες χρήσεις κατά την αρχαιότητα με κύριες εφαρμογές τόσο στην γλυπτική όσο και στην αρχιτεκτονική. Τα πρώτα ορυχεία ξεκίνησαν να λειτουργούν κατά την πρωτοκυκλαδική εποχή (3200 - 1900 π.Χ.) και αποτέλεσαν σημαντική πηγή ανάπτυξης και πλούτου για το νησί από τον 7ο αι. π.Χ. όπου άρχισε η εντατική υπόγεια εκμετάλλευση του μαρμάρου. Τον τελευταίο αιώνα ο όρος «Πάριο μάρμαρο» χρησιμοποιείται για να δηλώσει την άριστη ποιότητα Παριανού μαρμάρου, τον λυχνίτη (φωτοδιαπερατότητα 3 – 3.5cm μέχρι 12cm στο λατομείο των Νυμφών). Ο λυχνίτης ο οποίος είχε αρχίσει ήδη να εξορύσσεται από τον πρώιμο 6ο αι. π.Χ., χρησιμοποιήθηκε από μεγάλους γλύπτες της αρχαιότητας για την κατασκευή έργων μεγάλης σπουδαιότητας όπως ο Ερμής του Πραξιτέλη και η Αφροδίτη της Μήλου αλλά και μεγάλων αρχιτεκτονικών κτισμάτων, όπως ο ναός VI του Απόλλωνα στους Δελφούς και το Πεισιστράτιο Εκατόμπεδο.

Σήμερα γνωρίζουμε την ύπαρξη τριών τουλάχιστον κοιτασμάτων μαρμάρου στην Πάρο τα οποία έχουν οριστεί από την γεωλογική και αρχαιολογική έρευνα ως εξής:

- Πάρος- 1 ή λυχνίτης του Μαραθίου. Πρόκειται για εξαιρετικής ποιότητας μάρμαρο με επιτρεπόμενη διείσδυση φωτός έως και 35χιλ. βάθος, η εξόρυξη του οποίου γινόταν στα υπόγεια λατομεία των σπηλαίων του Πανός και των Νυμφών.
- Πάρος- 2. Πρόκειται για ένα σύνολο 20 περίπου θέσεων εξορύξεως που εντοπίζονται στη θέση Λάκκοι και αποτελούνται από τύπους μαρμάρου μεταξύ καθαρού λευκού έως κυανού – γκριζού και πιο χονδρόκοκκους σχετικά με τον λυχνίτη.
- Πάρος- 3. Στα βόρεια του Αγίου Μηνά με εμφανίσεις μαρμάρων καθαρού λευκού έως γκριζού – κυανού χρώματος που ανήκει μάλλον στον ίδιο γεωλογικό σχηματισμό με της θέσης Πάρος- 2.

Πέρα από τις μεμονωμένες κατά τόπους εξορύξεις, η κύρια εκμετάλλευση του λυχνίτη της Πάρου ήταν υπόγεια κι επομένως σε περιορισμένη έκταση, γεγονός που δικαιολογεί το στενότερο ισοτοπικό του πεδίο άρα και την υπεροχή του έναντι των υπολοίπων μαρμάρων, χάρις στα ιστολογικά του χαρακτηριστικά. Κατά την εξόρυξη του λυχνίτη χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι. Σε περιοχές μικρών κλίσεων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των θαλάμων και των στηλών, ενώ στις θέσεις όπου το στρώμα του μαρμάρου παρουσίαζε μεγάλες κλίσεις χρησιμοποιήθηκε άλλη μέθοδος, με την κατασκευή υπογείων ορθών βαθμίδων.



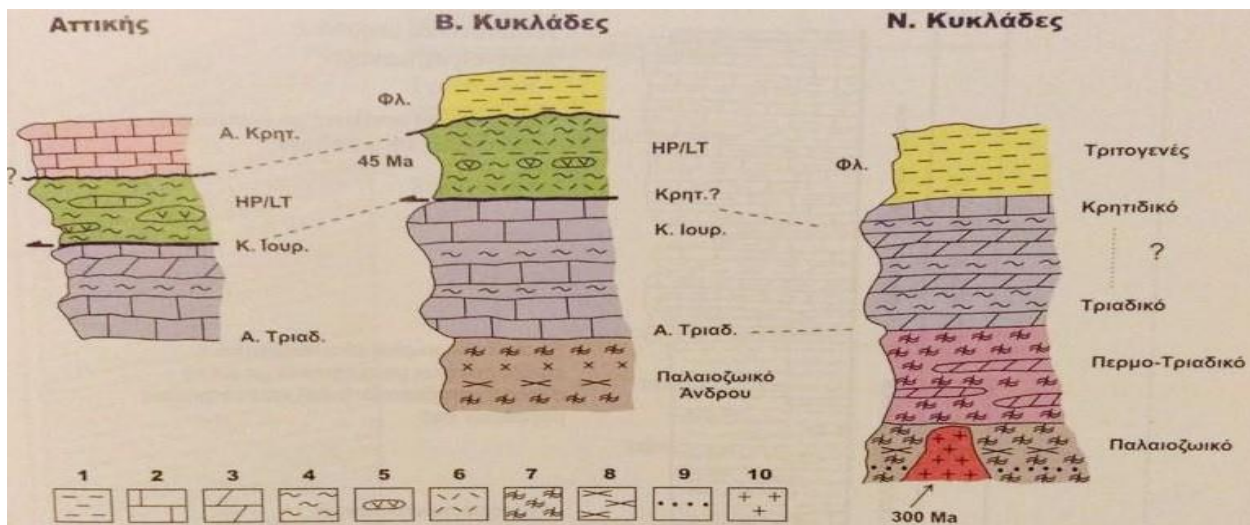
Εικόνα 1. Θέση εκμετάλλευσης Πάρος-1 (Google Earth).

2.2. Γεωλογικές συνθήκες της Πάρου

Η Πάρος, όπως και το σύνολο των νησιών των Κυκλάδων, γεωλογικά τοποθετείται στην Αττικοκυκλαδική Ζώνη. Πρόκειται για μια ζώνη ετερογενούς σύστασης, που αποτελείται από διάφορες ενότητες σχηματισμών με τεκτονικές μεταξύ τους σχέσεις (Μουντράκης, 2010). Αυτές οι ενότητες ουσιαστικά προήλθαν από τις επωθήσεις τεκτονικών καλυμμάτων με τη συμπιεστική τεκτονική της Τριτογενούς ορογένεσης και την κατάρρευση του ορογενούς που είχε δημιουργηθεί με κανονικά ρήγματα αποκόλλησης από τον εφελκυσμό, που οδήγησε στην αποκάλυψη κατώτερων ενοτήτων υπό μορφή μεταμορφωμένων πυρήνων. Κατά το Πλειστόκαινο με την τελική βύθιση της Αιγίδας τα επωθημένα καλύμματα εμφανίζονται ως απομονωμένες τεκτονικές ενότητες.

Με βάση την παραπάνω διάκριση το νησί της Πάρου ανήκει στην ενότητα των Νοτίων Κυκλάδων. Κοινό χαρακτηριστικό αυτής της ενότητας είναι η παρουσία κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων με κυρίαρχη την αμφιβολιτική μεταμόρφωση του Παλαιοζωικού. Στην Πάρο παρατηρείται το Παλαιοζωικό υπόβαθρο αποτελούμενο κυρίως από γρανίτες και ορθογνεύσιους, αμφιβολίτες, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους και μάρμαρα Άνω Παλαιοζωικής ηλικίας, μάρμαρα,

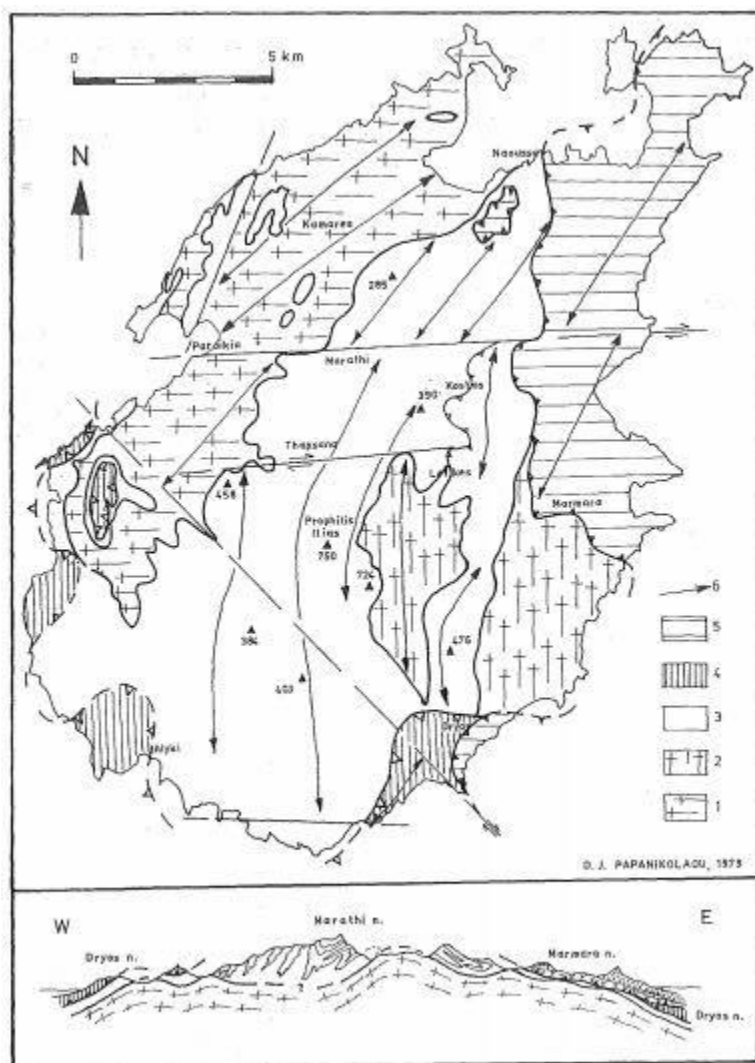
φυλλίτες και μεταφαιστειακά Περμοτριάδικής ηλικίας και τέλος επικείμενη οφειολιθική σειρά με το επικλυσιογενές Άνω κρητιδικό κάλυμμα (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Σχηματικές λιθοστρωματογραφικές στήλες των τριών κύριων Ενοτήτων της Αττικοκυκλαδικής. 1: μετα-φλύσχης 2: ασβεστόλιθοι Κρητιδικού, 3: μάρμαρα και δολομίτες Τριαδικού Ιουρασικού, (4-6): πετρώματα του «γλαυκοφανιτικού ορίζοντα», 4: σχιστόλιθοι γλαυκοφανιτικοί, χλωριτικοί, μαρμαρυγιοκοί, 5: μεταβασίτες, σερπεντινίτες, 6: μετατόφοι, (7-10): πετρώματα παλαιοζωικά, 8: γνεύσιοι, 9: αμφιβολίτες, 10: γρανίτες Άνω Λιθανθρακοφόρο (Μουνράκης, 2010).

Κατά τον Παπανικολάου (1980), η γεωλογική δομή της Πάρου περιλαμβάνει τρία τεκτονικά καλύμματα (σχήμα 2):

- Το κατώτερο κάλυμμα στην περιοχή Μαράθι, το οποίο υπέστη αμφιβολιτική μεταμόρφωση και διακρίνεται από δύο ομάδες οι οποίες χωρίζονται με μια τεκτονική επαφή. Η κατώτερη περιλαμβάνει ορθογνευσίους και η ανώτερη περιλαμβάνει έναν κατώτερο σχηματισμό από αμφιβολίτες και έναν ανώτερο από μάρμαρα.
- Το ενδιάμεσο, χαμηλής μεταμόρφωσης, κάλυμμα του Δρυού με φυλλίτες, μάρμαρα και μετά-διαβάσεις.
- Το ανώτερο κάλυμμα των μαρμάρων, το οποίο περιλαμβάνει οφειολίθους, επικλυσιογενείς ασβεστόλιθους και μολάσσα και από το οποίο απουσιάζει η μεταμόρφωση.



Σχήμα 2. Ενδεικτικός γεωλογικός χάρτης της Πάρου (Παπανικολάου, 1980), όπου 1. Γενέσιοι Παροιτιάς, 2. Γενέσιοι Λευκών, 3. Μάρμαρα, Αμφιβολίτες και Μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι ενότητας Μαράθι, 4. Κάλυμμα Δρυός, 5. Κάλυμμα Μαρμάρων, 6. Άξονες πτυχών.

Η περιοχή στην οποία έλαβε χώρα η εκμετάλλευση του λυχνίτη, νότια του οικισμού Μαράθι, αποτελείται από εναλλασσόμενες ενστρώσεις αμφιβολιτικών γενευσιοσχιστολίθων με διάφορους τύπους μαρμάρων. Τα πετρώματα αυτά καλύπτονται επιφανειακά από προσχώσεις, πλευρικά κορήματα και στείρα εκμεταλλεύσεων μαρμάρου. Ο λυχνίτης δεν εμφανίζεται επιφανειακά αλλά υπόγεια στο φυσικό σπήλαιο των Νυμφών, που έδωσε τη δυνατότητα ανακαλύψεως του κοιτάσματος του.

Τα μάρμαρα εμφανίζονται με την μορφή τραπεζών ή λεπτών ενστρώσεων μέσα στο σύστημα των κρυσταλλοσχιστωδών στρωμάτων. Το κοίτασμα του μαρμάρου αυτών των τραπεζών στους κατώτερους ορίζοντες παρουσιάζεται χονδρόκοκκο, λευκό και σπανίως εμφανίζει επιφάνειες στρώσης. Αντιθέτως, στους ανώτερους ορίζοντες των τραπεζών αυτών, το μάρμαρο είναι χαμηλότερης ποιότητας καθώς εμφανίζεται λιγότερο χονδρόκοκκο και τεφρό.

Από τεκτονικής πλευράς, οι εμφάνιση του μαρμάρου στην περιοχή της υπόγειας εκμετάλλευσης του λυχνίτη, παρουσιάζει πτύχωση με τη μορφή μικρού αντικλίνου, όπου το ανώτερο τμήμα του έχει διαβρωθεί σχηματίζοντας μικρή κοιλάδα με την απόθεση των κορημάτων. Στην ανατολική πτέρυγα του αντικλίνου βρίσκεται το σπήλαιο των Νυμφών, ενώ στη δυτική πλευρά άλλη υπόγεια εκμετάλλευση.



Εικόνα 2. Σχηματική γεωλογική τομή θέσεων εκμετάλλευσης λυχνίτη κατά Ι.Αναστόπουλο.

2.3. Περί Λυχνίτη και εκμετάλλευσής του

Αρχικά η εκμετάλλευση του καλού μαρμάρου, στα σημεία όπου τέμνεται από τον χείμαρρο, ήταν επιφανειακή. Το αυξημένο όμως κόστος για την απομάκρυνση ολοένα και μεγαλύτερων υπερκείμενων μαζών, καθώς προχωρούσε βαθύτερα, είχε ως μόνη λύση, η συνέχιση της εργασίας να γίνεται υπόγεια. Κοινά γνωρίσματα αυτής της υπόγειας εκμετάλλευσης όπως και κάθε τέτοιου έργου είναι η μεγάλη, συχνά επί εκατοντάδες μέτρα, εκτατική ανάπτυξη, η κατά διαστήματα διατήρηση άτμητων μαζών, οι οποίες λειτουργούσαν ως υποστυλώματα της οροφής, οι λιθογομώσεις (σωρεύσεις λιθαριών και λατύπης) και οι μεταξύ των λιθοστοιβών διάδρομοι.

Ταυτόχρονα με την εξάπλωση του λατομείου, οι κενοί χώροι που δημιουργούνταν μετά την απόληψη του πετρώματος, πληρώνονταν με λιθογόμωση. Το γεγονός αυτών των διαδοχικών επεκτάσεων και καταργήσεων χώρων με λιθογόμωση, καθιστούσε δύσκολο ακόμα και για τους ίδιους τους εργαζομένους να γνωρίζουν την πραγματική έκταση του έργου.

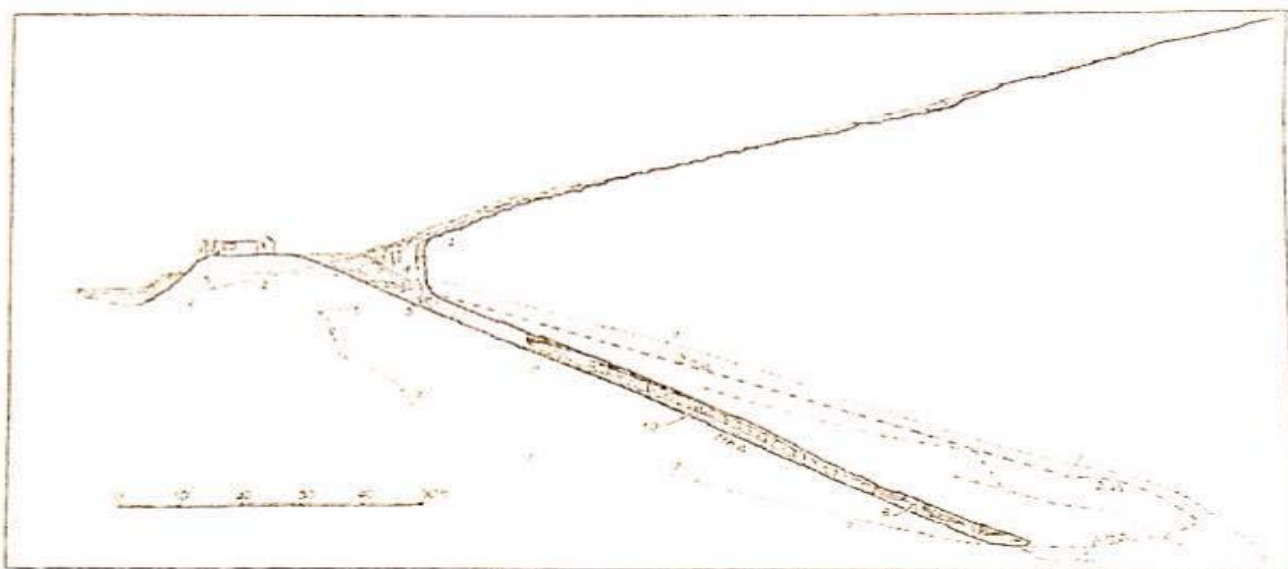
Κατά την αρχαία υπόγεια λατομεία ακολουθούνταν τα παρακάτω στάδια, όπως μαρτυρούν σωζόμενες φάσεις στο σπήλαιο των Νυμφών και του Πανός (Μ. Κορρές):

- Φάση 1: Προετοιμασία του μετώπου εργασίας στο βάθος του λατομείου
- Φάση 2: Εκσκαφή του ορύγματος αποκάλυψης ενός χαμηλού χώρου προεκτείνοντας την οροφή του λατομείου επάνω από το ακόμη άσκαφο μέρος του καλού στρώματος μαρμάρου. Σε αυτή τη φάση οι λατόμοι έπρεπε συχνά να εργάζονται σε πολύ άβολες θέσεις.
- Φάση 3: Εκσκαφή τάφρων ή αυλακών πλευρικού ορισμού του εξορυσσόμενου όγκου. Κατερχόμενα πλήγματα με ελαφρό τύκο.
- Φάση 4: Εκσκαφή τάφρου ή αύλακος οπίσθιου ορισμού του εξορυσσόμενου όγκου. Πλήγματα με ελαφρό τύκο.
- Φάση 5: Λάξευση περιμετρικής εγκοπής στο κάτω μέρος του εξορυσσόμενου όγκου. Πλήγματα με πολύ ελαφρό τύκο ή με σφύρα και κοπέα.
- Φάση 6: Λάξευση σειράς φωλεών σφηνών στο βάθος της εγκοπής τουλάχιστον κατά μήκος της μεγάλης πρόσθιας πλευράς του όγκου. Εργασία με σφύρα και κοπέα.
- Φάση 7: Τοποθέτηση και επίκρουση σιδηρών σφηνών. Απόσπαση του όγκου από το πέτρωμα.
- Φάση 8: Πρώτη μετακίνηση με μοχλούς, ανατροπή με μοχλούς και περαιτέρω μόρφωση του όγκου με ελαφρό τύκο πριν από την ανέλκυσή του έξω από το λατομείο.

Ύστερα από την απομάκρυνση ορισμένων ακόμη όγκων από το άνω μέρος του στρώματος και μετά την απελευθέρωση αρκετού χώρου, διευκολύνονταν οι εργασίες των λατόμων, ενώ με την εξάντληση του πάχους του στρώματος έπρεπε να επαναληφθούν τα παραπάνω στάδια με διαδοχική σειρά.

2.4. Το λατομείο των Νυμφών

Η σημερινή κατάσταση του λατομείου των Νυμφών είναι αποτέλεσμα των εργασιών της Βελγικής καθώς και της Ελληνικής εταιρίας μαρμάρων της Πάρου. Οι εργασίες αυτές συντέλεσαν στην ανακάλυψη ενός μεγάλου ελεύθερου χώρου στο υπόγειο μέρος του λατομείου και κατέστησαν δυνατή την εξερεύνηση του μεγαλύτερου τμήματός του. Το λατομείο ακολουθούσε την στρώση του λυχνίτη που βρίσκονταν ανάμεσα σε μία κυανή και μία άλλη στρώση λευκού αλλά όχι τόσο καθαρού μαρμάρου. Η κλίση αυτών των στρωμάτων είναι 80-85% προς Α, ενώ ο υπόγειος χώρος εκτείνεται σε 190 μ. μήκος με ύψος 3-4 μ. Το πάχος της υπερκείμενης μάζας που φτάνει μέχρι την επιφάνεια της πλαγιάς αυξάνει από ΝΔ προς ΒΑ από 20 μ. σε 100 μ. Σύμφωνα με έρευνα του Α.Κορδέλλα το νοτιότερο μέρος το λατομείου των Νυμφών πρέπει να είναι το αρχαιότερο και το βορειότερο το νεότερο, ενώ λαμβάνοντας υπόψη την κακή ποιότητα, το κακό σχήμα των μαρμάρων με τις λατινικές επιγραφές και τα εγκαταλελειμμένα τμήματα στο τελευταίο μέρος του λατομείου, συμπεραίνουμε ότι το έργο βρισκόταν στη δύση του περί τα μέσα του 2ου αιώνα.



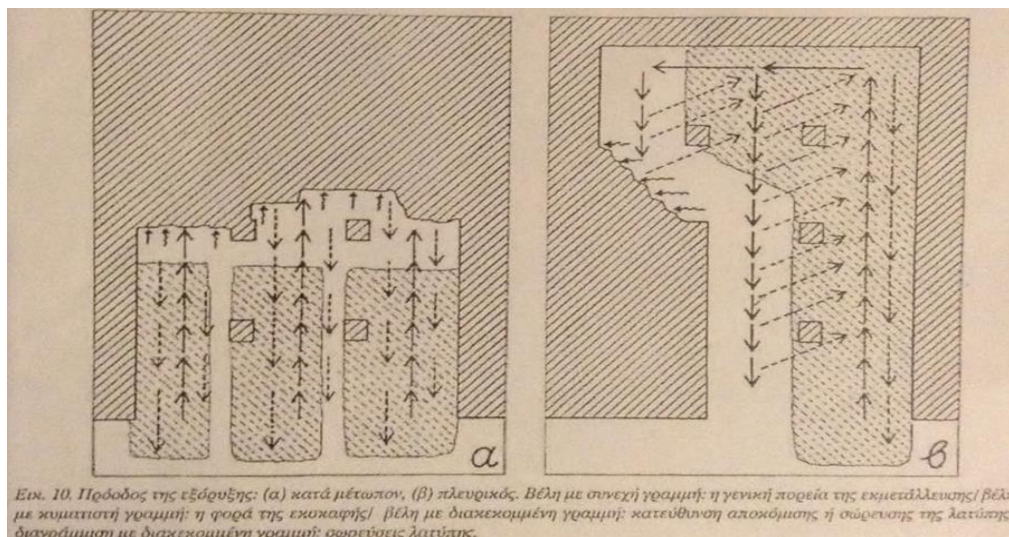
Εικόνα 4. Το λατομείο των Νυμφών, παρούσα κατάσταση. Τομή κατά μήκος του νοτίου διαδρόμου (Μ. Κορρές, 1900).

Ένα σύστημα παράλληλων και κάθετων γραμμών στην οροφή του νότιου διαδρόμου μας δίνουν πληροφορίες για τη χρησιμοποίηση ενός συστήματος σχεδιασμού της εξόρυξης, ενώ διάφορες σημάνσεις στο βράχο πιθανώς σχετίζονται με τη διαίρεση του λατομείου σε τομείς κλπ. Εξέχουσα θέση μεταξύ των ζητημάτων της διαχείρισης των υπόγειων λατομείων, κατείχε ο

σχεδιασμός του τρόπου ανάπτυξης της εκμετάλλευσης για να είναι βιώσιμη η επιχείρηση. Σχετικά με την πρόοδο της εξόρυξης υπήρχαν δύο τρόποι:

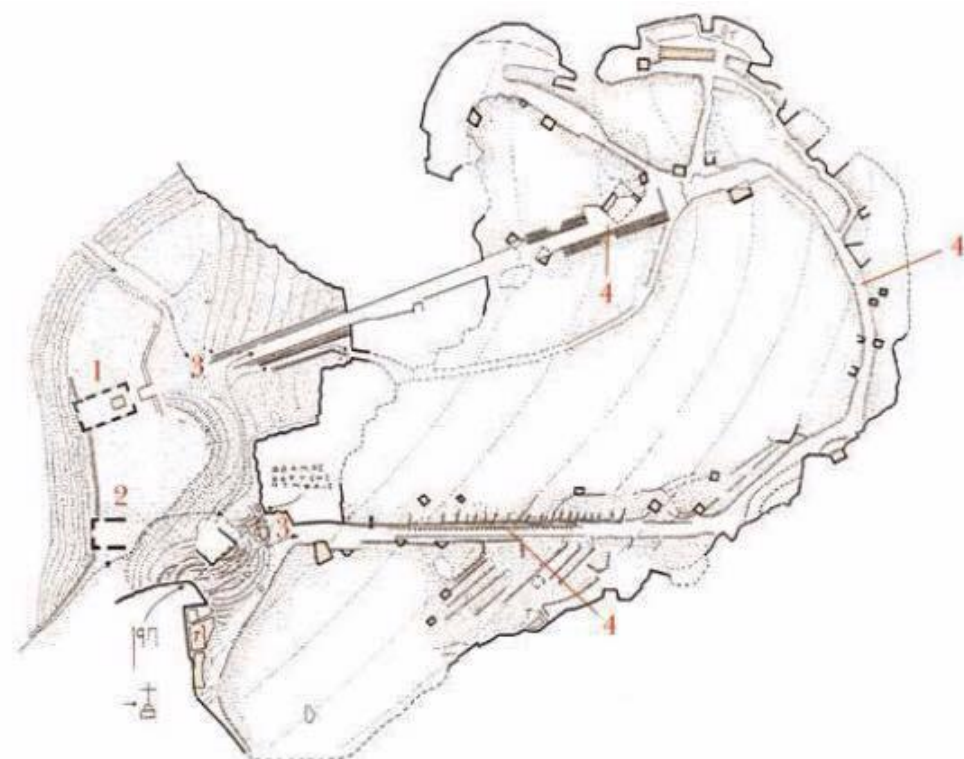
- *Ο κατά μέτωπο*, δηλαδή η πρόοδος επί ενός μετώπου σε όλο το πλάτος του λατομείου με ταυτόχρονη σώρευση λατύπης στο πίσω μέρος.
- *Ο πλευρικός*, δηλαδή η πρόοδος επί ενός μικρού μετώπου, αλλά έως το τεχνικοοικονομικά μέγιστο βάθος και στη συνέχεια πρόοδος της εκμετάλλευσης προς την αντίθετη φορά, με σώρευση της λατύπης στους κενούς χώρους.

Ο πρώτος τρόπος είναι πιο αποτελεσματικός σε μικρές επιχειρήσεις και επιτρέπει μια πιο άμεση παραγωγή, ενώ ο δεύτερος είναι τεχνικά σωστότερος αλλά προϋποθέτει παρέλευση ικανού χρόνου και μακρόπνοο προγραμματισμό. Σε πολλές περιπτώσεις φαίνεται ότι εφαρμόζονταν τόσο ο πρώτος όσο και ο δεύτερος τρόπος εκμετάλλευσης.



Εικόνα 5. Πρόοδος της εξόρυξης: (α) κατά μέτωπο, (β) πλευρικός (Μ. Κορρές, 1900).

Χαρακτηριστικό γνώρισμα του λατομείου των Νυμφών ήταν η συνεχής προς Β μετάθεση του μετώπου της εκμετάλλευσης, που είναι όμως σαφές ότι σε κάποια στιγμή αυτή συνεχίστηκε προς Ν, κατά μήκος μίας μόνον ζώνης, με εφαρμογή του πλευρικού τρόπου διάνοιξης, από το μέσον του βάθους και συνεχίζοντας προς τα πάνω, σταματώντας λίγα μέτρα πριν την επιφάνεια και σχηματίζοντας μια κλειστή γωνία στα δεξιά του εισερχομένου από την κύρια είσοδο. Η εργασία προχωρούσε επάνω από νέες προς εξόρυξη εκτάσεις, πριν ακόμη ολοκληρωθεί η πλήρης απόληψη του πάχους του πετρώματος στις θέσεις που είχαν ήδη αποκαλυφθεί. Έτσι κατά αυτών τον τρόπο επιτρέπονταν η κατά βαθμίδες εξόρυξη, με δυνατότητα ταυτόχρονης παραγωγής σε περισσότερες στάθμες. Για τον υπολογισμό του όγκου της παραγωγής κατά την αρχαιότητα λαμβάνονταν υπόψιν ο συνολικός όγκος του εξορυχθέντος υλικού σε συνδυασμό με την ποσότητα της λατύπης στο εσωτερικό του λατομείου αλλά και έξω από αυτό, με την εφαρμογή απλών μαθηματικών σχέσεων και προσεγγιστικών υπολογισμών.



Εικόνα 6. Το Λατομείο των Νυμφών, 1883 (Α. Κορδέλλας, 1884).



Εικόνα 7. Στοά 1 στο λατομείο των Νυμφών.



Εικόνα 8. Στοά 2 στο λατομείο των Νυμφών

3. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

3.1. Γενικά

Τα χαρακτηριστικά της βραχομάζας του μαρμάρου των υπόγειων ανοιγμάτων είναι σχετικά τα ίδια τόσο στα στόμια όσο και κατά μήκος του εσωτερικού των στοών. Η ποιότητα της βραχομάζας χαρακτηρίζεται γενικά ως καλή, με ελαφρύ κερματισμό και χωρίς έντονα κερματισμένες ζώνες. Αξιοσημείωτη είναι η παρουσία στην οροφή και των δύο στοών, ασυνέχειας με στοιχεία $70^\circ/310^\circ$, η οποία πιθανώς να αποτελεί ρήγμα και κατά μήκος της οποίας σχηματίζονται καρστικά κενά, μικρού σχετικά εύρους, όπου παρατηρείται και μικρή κυκλοφορία νερού (20-30%). Ακόμη, κατά μήκος αυτής της ζώνης παρατηρείται μαλακό αργιλικό υλικό, το οποίο από την κυκλοφορία του νερού καταλήγει στα τοιχώματα των στοών.

Η αντοχή της βραχομάζας του μαρμάρου είναι γενικά υψηλή καθώς χαρακτηρίζεται από ελαφρύ κερματισμό, επομένως για τον καθορισμό της ευστάθειας των υπόγειων ανοιγμάτων και των στομιών των στοών, είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός του προσανατολισμού των ασυνεχειών, της διατμητικής αντοχής, της εμμονής και της απόστασης τους και στη συνέχεια η σύγκριση με τον προσανατολισμό των αντίστοιχων τοιχωμάτων. Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται τα στοιχεία εκείνα, που ελήφθησαν από επί τόπου μετρήσεις, με σκοπό την εκτίμηση της διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών, του συντελεστή τραχύτητας JRC, της μονοαξονικής αντοχής JCS και την γεωτεχνική ταξινόμηση της βραχομάζας με τη χρήση του συστήματος ταξινόμησης GSI και RMR.

3.2. Εκτίμηση διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών

Για την ανάλυση της ευστάθειας των πρανών των υπόγειων ανοιγμάτων, είναι απαραίτητος ο υπολογισμός της διατμητικής αντοχής (τ) όλων των επιπέδων των ασυνεχειών που εντοπίστηκαν στο μάρμαρο. Για την παρούσα εργασία λάβαμε ένα μέσο όρο όλων των μετρήσεων που ελήφθησαν με τη χρήση προφίλομέτρου και σφύρας Schmidt. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο αστοχίας του Barton & Bandis για την βραχομάζα:

$$\tau = \sigma_n \tan \left[\phi_b + JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right]$$

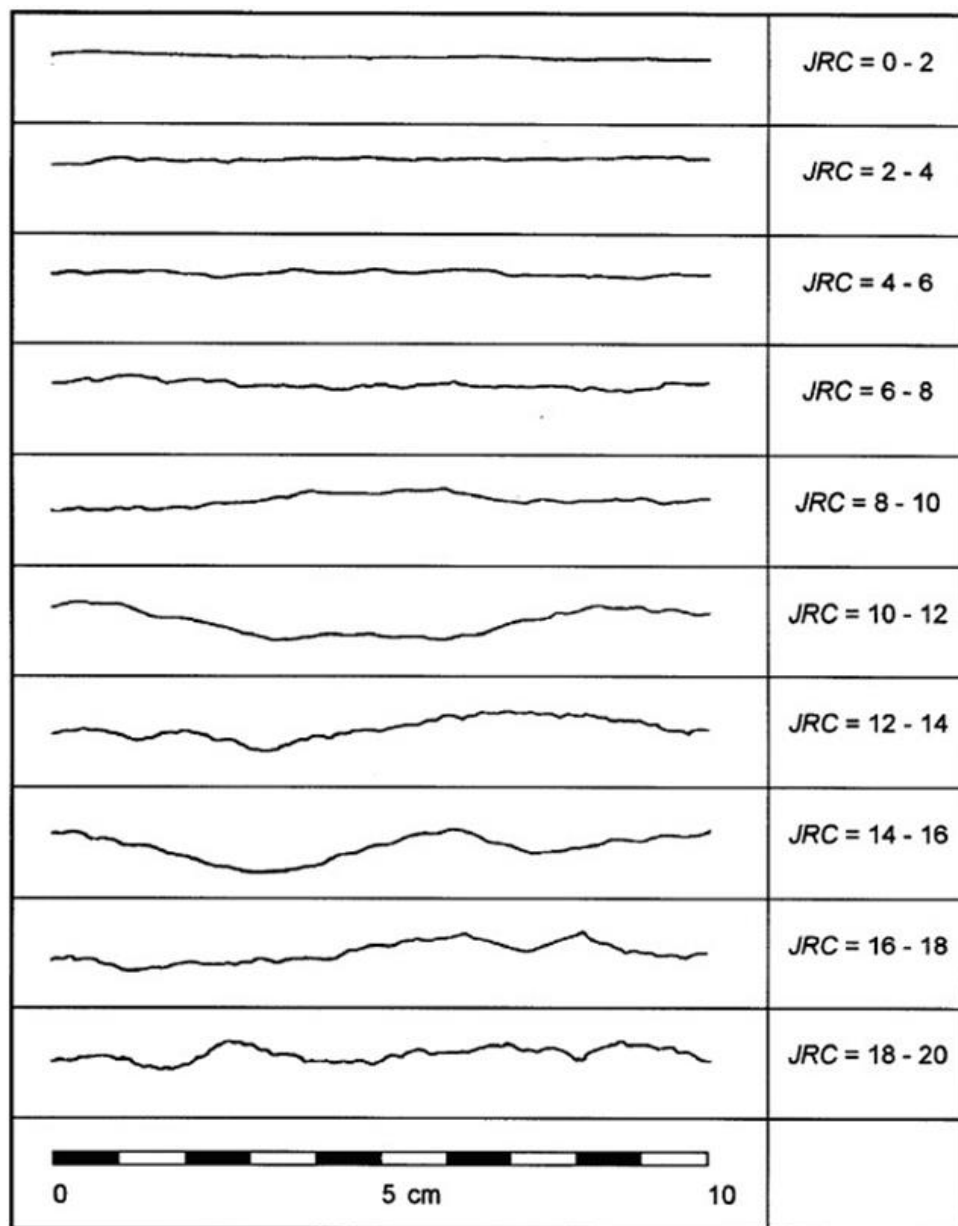
Όπου ϕ_b η βασική γωνία τριβής της επιφάνειας αστοχίας, JRC ο συντελεστής τραχύτητας της επιφάνειας και JCS η μονοαξονική αντοχή της επιφάνειας της ασυνέχειας (Barton, 1973, 1976).

Σύμφωνα με επί τόπου μετρήσεις με προφίλόμετρο που έγιναν πάνω στις ασυνέχειες του μαρμάρου, ο συντελεστής τραχύτητας εκτιμάται 10-14. Αντίστοιχες επί τόπου μετρήσεις με σφύρα Schmidt, έδωσαν τιμές που κυμαίνονται από 36-52, ανάλογα με τη διεύθυνση που έγινε η

φόρτιση. Η τιμή JCS που εκτιμάται από το διάγραμμα Deer-Miller είναι περίπου 100-120 MPa για ειδικό βάρος 27 KN/m^3 . Η βασική γωνία τριβής (ϕ_b) για το μάρμαρο είναι ίση με 30° . Από τη λύση του κριτηρίου αστοχίας τοποθετώντας τις αντίστοιχες παραμέτρους προκύπτει ότι η γωνία τριβής των ασυνεχειών είναι ίση με 45° . Στο παράρτημα παραθέτονται και οι επί τόπου μετρήσεις με σφύρα Schmidt και προφιλόμετρο.



Εικόνα 9. Εκτίμηση μονοαξονικής αντοχής επιφάνειας ασυνέχειας JCS από τις μετρήσεις αναπήδησης Σφύρας Schmidt.



Εικόνα 10. Συντελεστής τραχύτητας JRC (Barton & Chubey 1977).



Εικόνα 11. Αποτύπωση προφίλ με τη χρήση προφίλομέτρου στις επιφάνειες των ασυνεχειών του μαρμάρου.

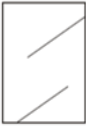
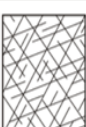
3.3. Γεωτεχνική ταξινόμηση GSI

Ο Γεωλογικός δείκτης αντοχής (Geological Strength Index, GSI), χρησιμοποιείται ευρέως στη χώρα μας. Ο δείκτης GSI έχει ευρύτατη χρήση σήμερα στη μηχανική των πετρωμάτων, καθώς η ποσοτικοποίηση των γεωλογικών χαρακτηριστικών μειώνει την μηχανική αβεβαιότητα και βοηθάει στο να ερμηνευθεί με μεγαλύτερη σαφήνεια η συμπεριφορά μιας βραχομάζας. Εισήχθη από τους Hoek, Wood και Shah (1992), ενώ οι Hoek και Brown εισήγαγαν την αναγκαιότητα των γεωλογικών παρατηρήσεων για την ορθότερη εφαρμογή του κριτηρίου αστοχίας της βραχομάζας. Επομένως, ο δείκτης αποτελεί σημαντικό στοιχείο στην επίλυση του κριτηρίου θραύσης Hoek and Brown και συμβάλει σημαντικά στον προσδιορισμό των παραμέτρων, που είναι απαραίτητοι για τον σχεδιασμό έργων σε περιβάλλον ρωγματομένων βράχων. Από το 1998, το κριτήριο επεκτάθηκε για τις ασθενείς βραχομάζες από τους Hoek και Marinos, ασχολούμενοι με εξαιρετικά δύσκολα υλικά.

Ο δείκτης GSI έχει ευρύτατη χρήση στη μηχανική των πετρωμάτων, καθώς η ποσοτικοποίηση των γεωλογικών χαρακτηριστικών μειώνει τη μηχανική αβεβαιότητα και βοηθάει στο να ερμηνευθεί με μεγαλύτερη σαφήνεια η συμπεριφορά μιας βραχομάζας. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, λοιπόν, διακρίνονται δύο τύποι βραχομάζας σύμφωνα με την ταξινόμηση GSI. Ο πρώτος τύπος χαρακτηρίζεται ως τεμαχώδης με καλή ποιότητα ασυνεχειών (τραχείες, ελαφρά αποσαθρωμένες και οξειδωμένες επιφάνειες) και τιμή GSI 65, ενώ ο δεύτερος τύπος χαρακτηρίζεται ως πολύ τεμαχώδης με μέτρια ποιότητα ασυνεχειών (λείες, μετρίως αποσαθρωμένες και εξαλλοιωμένες επιφάνειες) και τιμή GSI 45-50.



Εικόνα 12. Πρώτος τύπος. Τεμαχώδης με καλή ποιότητα ασυνεχειών (τραχείες, ελαφρά αποσαθρωμένες και οξειδωμένες επιφάνειες) και τιμή GSI 65.

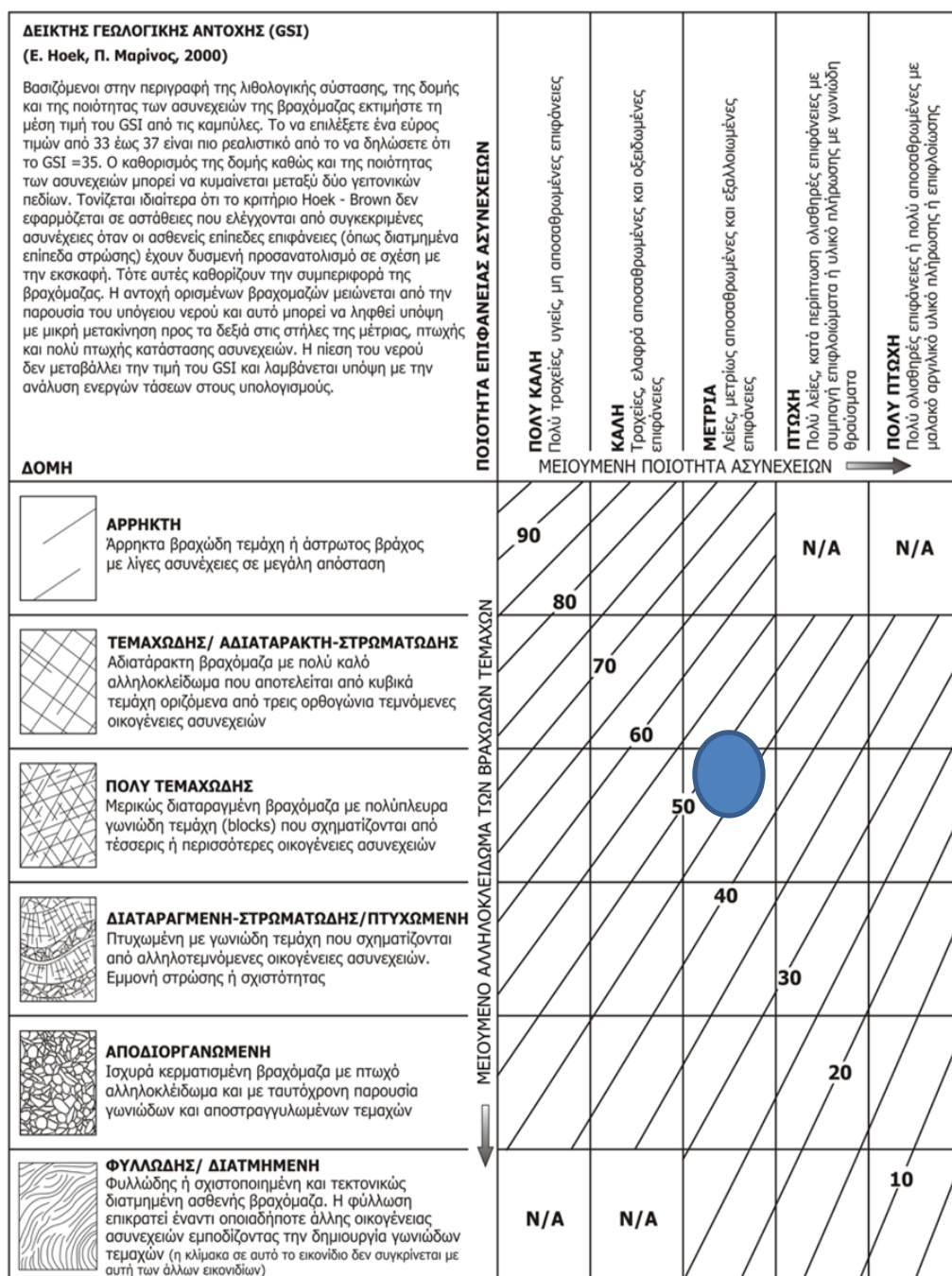
ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI) (E. Hoek, Π. Μαρίνος, 2000)		ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ				
Βασίζονται στην περιγραφή της λιθολογικής σύστασης, της δομής και της ποιότητας των ασυνεχειών της βραχόμαζας εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI από τις καμπύλες. Το να επιλέξετε ένα εύρος τιμών από 33 έως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι το GSI =35. Ο καθορισμός της δομής καθώς και της ποιότητας των ασυνεχειών μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ δύο γειτονικών πεδίων. Τονίζεται ιδιαίτερα ότι το κριτήριο Hoek - Brown δεν εφαρμόζεται σε αστάθεις που ελέγχονται από συγκεκριμένες ασυνέχειες όταν οι ασθενείς επίπεδες επιφάνειες (όπως διατμημένα επίπεδα στρώσης) έχουν δυσμενή προσανατολισμό σε σχέση με την εκσκαφή. Τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχόμαζας. Η αντοχή ορισμένων βραχομαζών μειώνεται από την παρουσία του υπόγειου νερού και αυτό μπορεί να ληφθεί υπόψη με μικρή μετακίνηση προς τα δεξιά στις στήλες της μέτριας, πτωχής και πολύ πτωχής κατάστασης ασυνεχειών. Η πίεση του νερού δεν μεταβάλλει την τιμή του GSI και λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων στους υπολογισμούς.		ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχείες, υγείες, μη αποσπασθριμμένες επιφάνειες ΚΑΛΗ Τραχείες, ελαφρώς αποσπασθριμμένες και οξειδωμένες επιφάνειες ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσπασθριμμένες και εξαλλοιωμένες επιφάνειες ΠΤΩΧΗ Πολύ λείες, κατά περίπτωση ολισθηρές επιφάνειες με σημαντική επιφύλαξη ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Πολύ ολισθηρές επιφάνειες ή πολύ αποσπασθριμμένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης ή επιφύλαξης				
ΔΟΜΗ		ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ				
 ΑΡΡΗΚΤΗ Άρρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άστρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση		90				
 ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ/ ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ Αδιάταρακτη βραχόμαζα με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών		80	70		N/A	N/A
 ΠΟΛΥ ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ Μερικώς διαταραγμένη βραχόμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών			60	50		
 ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ/ΠΤΥΧΩΜΕΝΗ Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας				40	30	
 ΑΠΟΔΙΟΡΓΑΝΩΜΕΝΗ Ισχυρά κερματισμένη βραχόμαζα με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιώδων και αποστραγγυλωμένων τεμαχίων					20	
 ΦΥΛΛΩΔΗΣ/ ΔΙΑΤΜΗΜΕΝΗ Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθενής βραχόμαζα. Η φύλλωση επικρατεί έναντι οποιαδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιώδων τεμαχίων (η κλίμακα σε αυτό το εικονίδιο δεν συγκρίνεται με αυτή των άλλων εικονιδίων)		N/A	N/A			10

Εικόνα 13. Διάγραμμα για τις εκτιμήσεις του GSI από τις επιτόπου γεωλογικές παρατηρήσεις (Hoek and Marinos, 2000). Εδώ για τον πρώτο τύπο βραχομάζας το GSI=65.



Εικόνα 14. Δεύτερος τύπος βραχομάζας. Πολύ τεμαχώδης με μέτρια ποιότητα ασυνεχειών (λείες, μετρίως αποσαθρωμένες και εξαλλοιωμένες επιφάνειες) και τιμή GSI 45-50.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: «ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ LIDAR ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ»



Εικόνα 15. Διάγραμμα για τις εκτιμήσεις του GSI από τις επιτόπου γεωλογικές παρατηρήσεις (Hoek and Marinos, 2000). Εδώ για τον δεύτερο τύπο βραχομάζας το GSI=45-50.

3.4. Γεωτεχνική ταξινόμηση RMR

Το σύστημα RMR προτάθηκε από τον Bieniawski (1973,1976) για να λάβει την τελική μορφή του, δίχως ωστόσο σημαντικές διαφοροποιήσεις, από τον Bieniawski (1989). Η τιμή του δείκτη RMR προκύπτει από το άθροισμα μιας σειράς επιμέρους δεικτών και κυμαίνεται από 0 μέχρι 100.

$$RMR = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R6$$

Οι παράμετροι και οι αντίστοιχοι δείκτες που χρησιμοποιούνται στο σύστημα RMR είναι οι εξής:

- Δείκτης R1: Αντοχή άρρηκτου βράχου σ_{ci} . Στη περίπτωση του μαρμάρου κυμαίνεται από 100 έως 200.
- Δείκτης R2 : RQD. Εδώ έχουμε δύο τύπων βραχομάζες με τη δεύτερη να εμφανίζεται πιο τεμαχώδης. Έτσι θα μπορούσαμε να πούμε ότι για τον πρώτο τύπο βραχομάζας είναι RQD είναι 65 και για τον δεύτερο 75.
- Δείκτης R3: Απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών που εκτιμάται $< 0,06$ m.
- Δείκτης R4: Κατάσταση των επιφανειών των ασυνεχειών όπου στον πρώτο τύπο είναι τραχείες ενώ στον δεύτερο πιο λείες.
- Δείκτης R5: συνθήκες υπόγειου νερού.
- Δείκτης R6: Προσανατολισμός των ασυνεχειών σε σχέση με τη φορά διάνοιξης της σήραγγας.

Εδώ ο δείκτης RMR χρησιμοποιείται για την ποσοτικοποίηση των παραμέτρων της βραχομάζας και λαμβάνονται υπόψη μόνο οι τέσσερις πρώτοι όροι. Έτσι με βάση τους παραπάνω δείκτες και κατά αντιστοιχία με τους επόμενους πίνακες έχουμε:

- Τύπος βραχομάζας 1:

$RMR = 13 + 15 + 5 + 25 + 15 = 73$ και αντιστοιχεί στην κατηγορία βραχομάζας 2 (καλή).

- Τύπος βραχομάζας 2:

$RMR = 13 + 17 + 5 + 10 + 15 = 60$ και αντιστοιχεί στην κατηγορία βραχομάζας 3 (μέτρια).

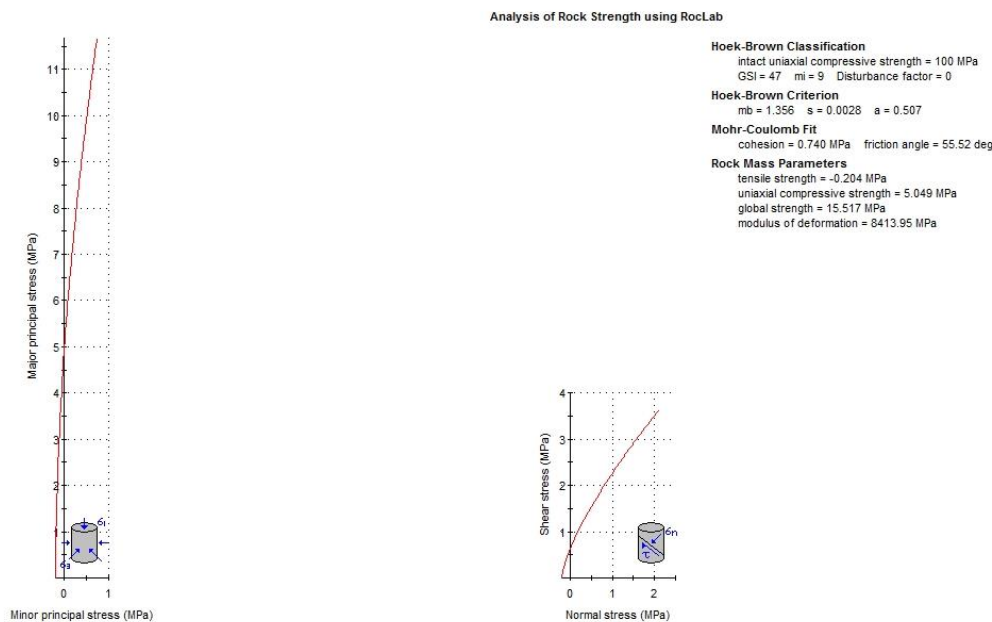
1. Αντοχή του "συμπαγούς" πετρώματος σε μοναξονική θλίψη (σ_{ci})	
Αντοχή σ_{ci} (MPa)	Δείκτης R1
> 250	15
100 - 250	12 - 15
50 - 100	7 - 12
25 - 50	4 - 7
5 - 25	2 - 4
1 - 5	1 - 2
< 1	0
2. Δείκτης κερματισμού της βραχομάζας (RQD)	
RQD (%)	Δείκτης R2
> 90	20
75 - 90	17 - 20
50 - 75	13 - 17
25 - 50	8 - 13
< 25	3
3. Απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών	
Απόσταση (m)	Δείκτης R3
> 2	20
0.6 - 2	15 - 20
0.2 - 0.6	10 - 15
0.06 - 0.2	8 - 10
< 0.06	5
4. Κατάσταση των επιφανειών των ασυνεχειών	
Κατάσταση επιφανειών ασυνεχειών	Δείκτης R4
Πολύ τραχείες, χωρίς εξαλλοίωση	30
Ελαφρώς τραχείες, ελαφρά εξαλλοιωμένες, υλικό πλήρωσης < 1mm	25
Ελαφρώς τραχείες, πολύ εξαλλοιωμένες, υλικό πλήρωσης < 1mm	20
Λείες ή γυαλιστερές (slickensided), υλικό πλήρωσης 1-5mm	10
Υλικό πλήρωσης πάχους άνω των 5mm	0
5. Παρουσία υπόγειου νερού	
Παρουσία υπόγειου νερού	Δείκτης R5
Καθόλου νερό	15
Παρουσία υγρασίας	10
Υγρές επιφάνειες	7
Στάγδην	4
Με ροή	0

Εικόνα 16. Εκτίμηση δεικτών RMR (Bieniawski 1988)

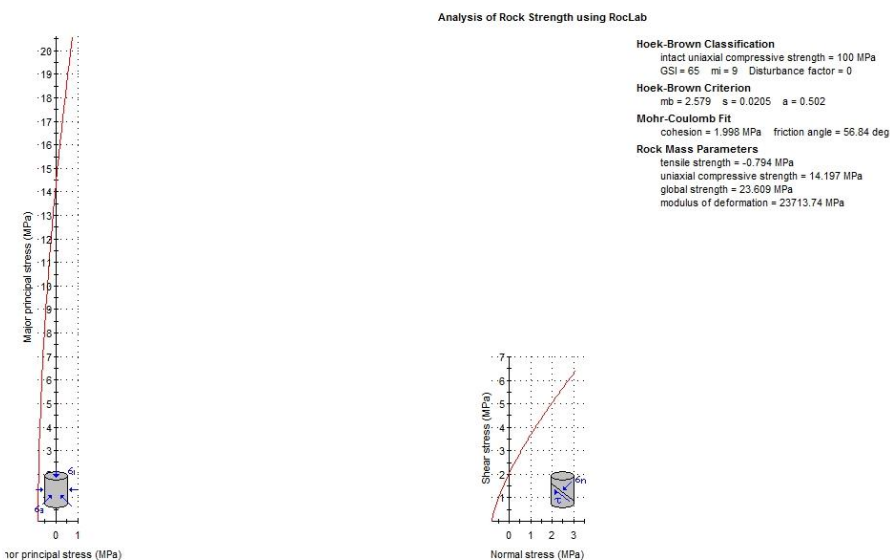
Περιγραφή Βραχομάζας	Κατηγορία Βραχομάζας	Τιμές RMR
Πολύ Καλή	I	81-100
Καλή	II	61-80
Μέτρια	III	41-60
Φτωχή	IV	21-40
Πολύ Φτωχή	V	0-20

Εικόνα 17. Πίνακας τελικής κατάταξης ποιότητας βραχομάζας ανάλογα με την τελική εκτίμηση του RMR (Bieniawski, 1988).

Εφόσον έγινε η γεωτεχνική ταξινόμηση των δύο τύπων βραχομάζας που εντοπίστηκαν, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Roclab της Rocscience Corp. για την ανάλυση των κύριων τάσεων σε κάθε βραχομάζα ξεχωριστά και την μεταβολή την διατμητικής αντοχής σε συνάρτηση με τη φόρτιση, αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα.



Εικόνα 18. Ανάλυση τάσεων για τον πρώτο τύπο βραχομάζας με GSI 45-50.



Εικόνα 19. Ανάλυση τάσεων για τον δεύτερο τύπο βραχομάζας με GSI 65.

4. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

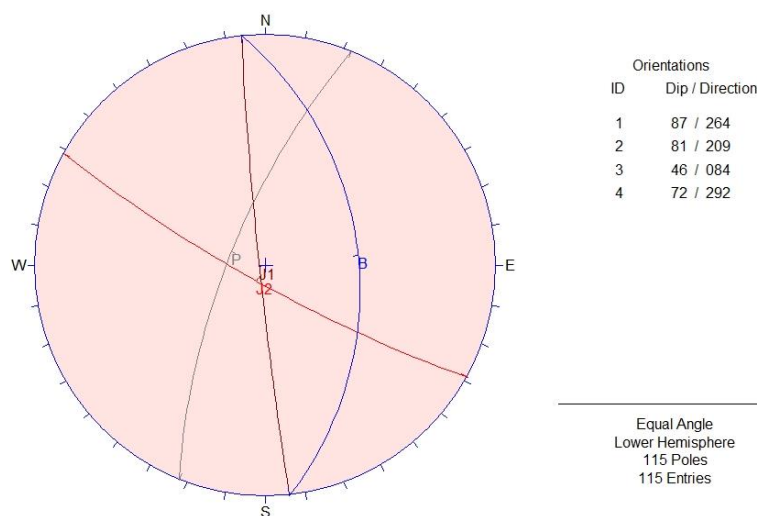
Για την ανάλυση της τεκτονικής κατάστασης λήφθηκαν μετρήσεις τόσο κατά τις εργασίες υπαίθρου με τη χρήση της γεωλογικής πυξίδας, όσο και με τη χρήση του επίγειου σαρωτή Lidar. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την επεξεργασία των μετρήσεων και την αποτύπωση των κύριων ασυνεχειών που προέκυψαν από την ανάλυση σε δίκτυο Schmidt με τη μορφή μέγιστων κύκλων. Οι μετρήσεις έγιναν στο εσωτερικό των στοών και στα στόμια.

4.1. Στόμια

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι ασυνέχειες που προκύπτουν από την ανάλυση των μετρήσεων που ελήφθησαν με τη γεωλογική πυξίδα, έπειτα από την επεξεργασία τους με τη χρήση του λογισμικού Dips (Rocscience corp.). Τα στόμια διαχωρίζονται στο στόμιο της στοάς1 και στο στόμιο της στοάς2, το οποίο διαιρείται επιπλέον σε στόμιο2^α και στόμιο2^β.

4.1.1. Στόμιο Στοάς 1

Από την επεξεργασία των τεκτονικών στοιχείων στο στόμιο της 1ης στοάς, προέκυψε ότι οι διακλάσεις που κυριαρχούν είναι τρεις εκ των οποίων η μία είναι η στρώση. Συγκεκριμένα τα στοιχεία τους είναι J1:87°/264°, J2:81°/209°, B:46°/084° , ενώ ο προσανατολισμός του ανοίγματος έχει στοιχεία 72°/292°. Διακρίνεται και μία τρίτη ασυνέχεια με στοιχεία όμοια με του πρανούς με το οποίο και ταυτίζεται.



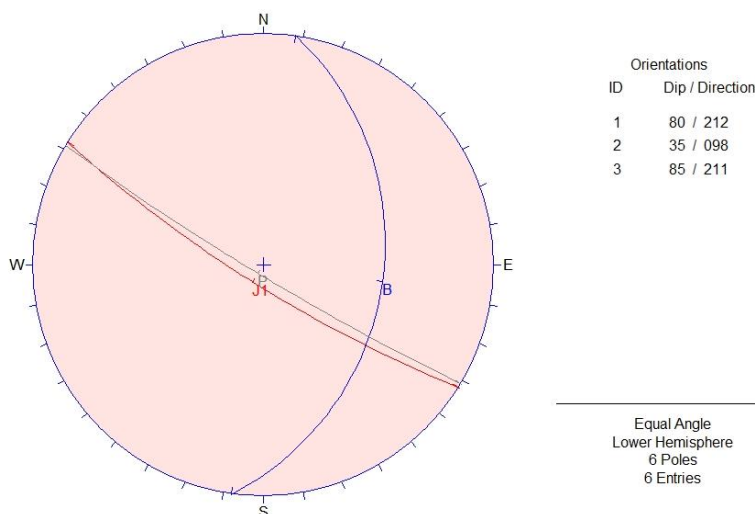
Εικόνα 20. Στερεογραφική προβολή των επιφανειών διακλάσεων στο στόμιο1.

Πίνακας 1. Συγκεντρωτικά στοιχεία ασυνεχειών στη θέση στόμιο1.

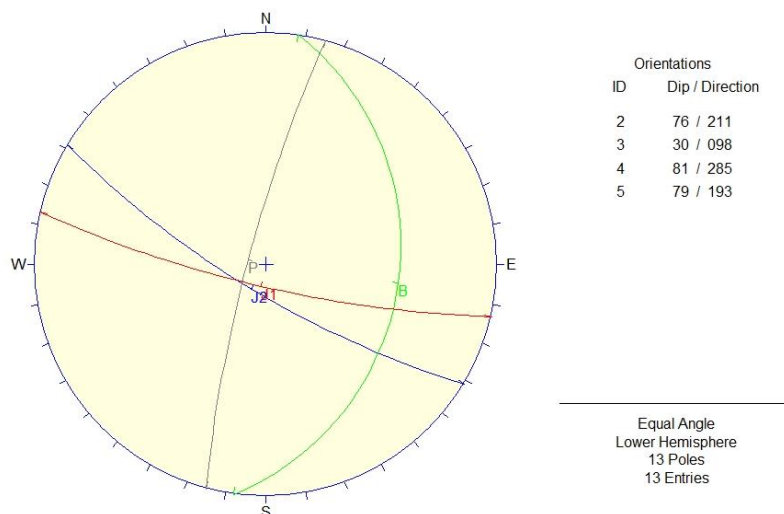
Τύπος ασυνέχειας	Κλίση / διεύθυνση κλίσης
Στρώση (Bedding)	46°/084°
Joint 1	87°/264°
Joint 2	81°/209°
Joint 3 (πρανές)	72°/292°

4.1.2. Στόμιο Στοάς 2

Από την επεξεργασία των τεκτονικών στοιχείων στο στόμιο της 2ης στοάς και συγκεκριμένα στη θέση στόμιο2^α, προέκυψε ότι κυριαρχεί ένα σύστημα ασυνεχειών το J1:80°/212°. Επίσης, εμφανίζεται η στρώση του σχηματισμού με τεκτονικά στοιχεία 35°/098°. Αντίθετα στη θέση 2^β διακρίνονται τρία κύρια συστήματα ασυνεχειών εκ τω οποίων το ένα είναι η επιφάνεια στρώσης. Τα στοιχεία προσανατολισμού τους είναι J1:79°/193°, J2:76°/211°, B:30°/285° ενώ το πρανές έχει διεύθυνση και κλίση 81°/285°.



Εικόνα 21. Στερεογραφική προβολή των διακλάσεων στη θέση στόμιο 2^α



Εικόνα 22. Στερεογραφική προβολή των διακλάσεων στο στόμιο 2^β

Πίνακας 2. Συγκεντρωτικά στοιχεία ασυνεχειών στο στόμιο της Στοάς 2.

Ασυνέχεια	Στόμιο 2 ^α (κλίση / διεύθυνση κλίσης)	Στόμιο 2 ^β (κλίση / διεύθυνση κλίσης)
Πρανές (slope)	85°/211°	81°/285°
στρώση Bedding	35°/098°	30°/098°
Joint 1	80°/212°	79°/193°
Joint 2	-	76°/211°

4.2. Στοές

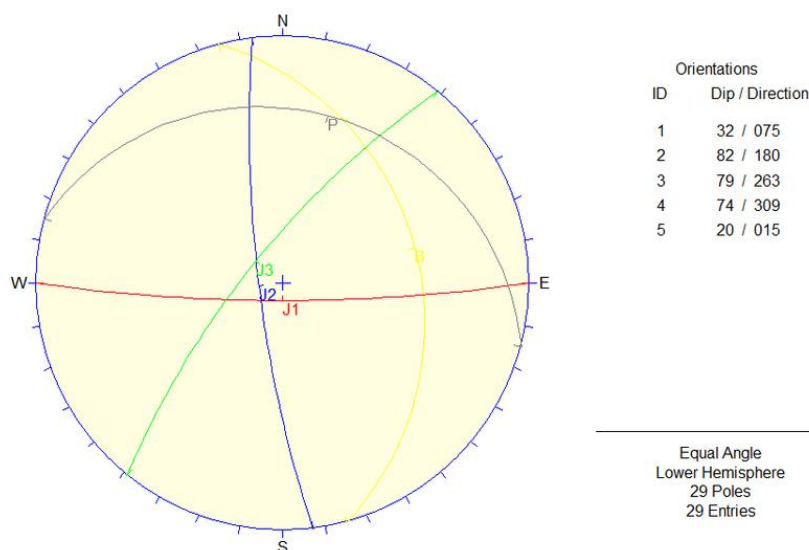
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι ασυνέχειες που προκύπτουν από την ανάλυση των μετρήσεων που ελήφθησαν με τη γεωλογική πυξίδα, όπως ακριβώς και στην προηγούμενη ενότητα, αλλά αυτή τη φορά για τα υπόγεια ανοίγματα, δηλαδή για τη Στοά1 και Στοά2 αντίστοιχα. Τα συστήματα των ασυνεχειών προέκυψαν και εδώ από τη στερεογραφική προβολή τους στο δίκτυο Schmidt με τη χρήση του λογισμικού Dips (Rocscience corp.). Ακόμη παρουσιάζονται και οι στερεογραφικές απεικονίσεις των ασυνεχειών που προέκυψαν από τα δεδομένα που ελήφθησαν με τη χρήση του επίγειου σαρωτή Lidar.

4.2.1. Στοά1

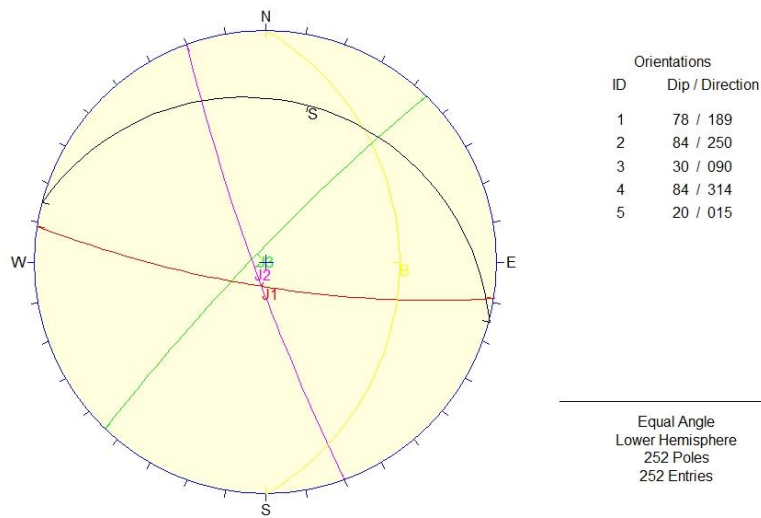
Από την επεξεργασία των τεκτονικών στοιχείων στο εσωτερικό της πρώτης στοάς, προέκυψε ότι επικρατούν τρία συστήματα ασυνεχειών και η στρώση με στοιχεία $32^{\circ}/075^{\circ}$. Συγκεκριμένα σημειώνονται οι ασυνέχειες J1: $82^{\circ}/180^{\circ}$, J2: $79^{\circ}/263^{\circ}$ και η J3: $74^{\circ}/309^{\circ}$. Τα συστήματα ασυνεχειών που προκύπτουν από την ανάλυση των δεδομένων που εξήχθησαν από τη χρήση του επίγειου σαρωτή, βλέπουμε ότι δεν αποκλίνουν σημαντικά από αυτά που προέκυψαν από τις επί τόπου μετρήσεις.

Πίνακας 3. Συγκεντρωτικά στοιχεία ασυνεχειών στο εσωτερικό της Στοάς1.

Τύπος ασυνέχειας	Κλίση / διεύθυνση κλίσης
Στρώση (Bedding)	$32^{\circ}/075^{\circ}$
Joint 1	$82^{\circ}/180^{\circ}$
Joint 2	$79^{\circ}/263^{\circ}$
Joint 3	$74^{\circ}/309^{\circ}$
Πρανές (slope)	$20^{\circ}/015^{\circ}$



Εικόνα 23. Στερεογραφική προβολή των διακλάσεων στη Στοά 1.



Εικόνα 24. Στερεογραφική προβολή των διακλάσεων στη Στοά 1 με τη χρήση των δεδομένων που προέκυψαν από το Lidar.



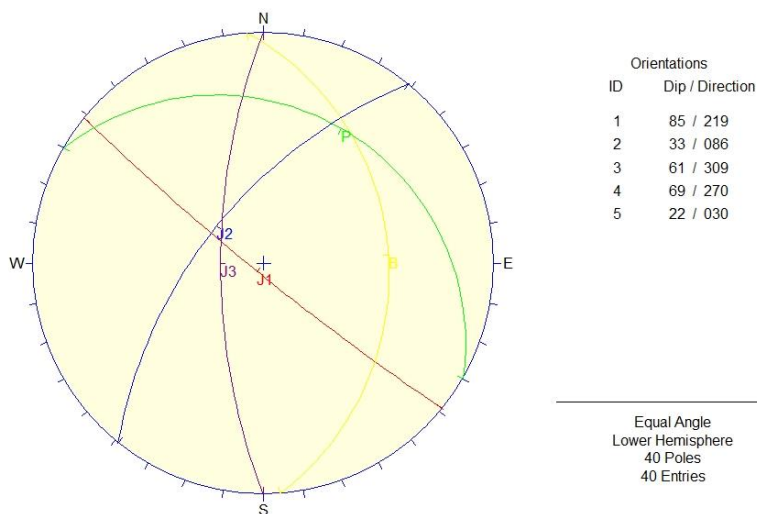
Εικόνα 25. Εσωτερικό της Στοάς1

4.2.2. Στοά2

Οι οικογένειες ασυνεχειών που προκύπτουν από την επεξεργασία των τεκτονικών στοιχείων τα οποία χαρτογραφήθηκαν στο εσωτερικό της δεύτερης στοάς, όπως προκύπτουν από τη στερεογραφική προβολή τους στο δίκτυο Schmidt παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα. Επίσης, στο εσωτερικό της σήραγγας χαρτογραφήθηκε πιθανό ρήγμα με στοιχεία $69^{\circ}/270^{\circ}$.

Πίνακας 4. Συγκεντρωτικά στοιχεία ασυνεχειών στο εσωτερικό της Στοάς2.

Τύπος ασυνέχειας	Κλίση / διεύθυνση κλίσης
Στρώση (Bedding)	$85^{\circ}/219^{\circ}$
Joint 1	$33^{\circ}/086^{\circ}$
Joint 2	$61^{\circ}/309^{\circ}$
Joint 3 (πιθανό ρήγμα.)	$69^{\circ}/270^{\circ}$
Πρανές (slope)	$22^{\circ}/030^{\circ}$



Εικόνα 26. Στερεογραφική προβολή των διακλάσεων στη Στοά 2.



Εικόνα 27. Εσωτερικό Στοάς2.



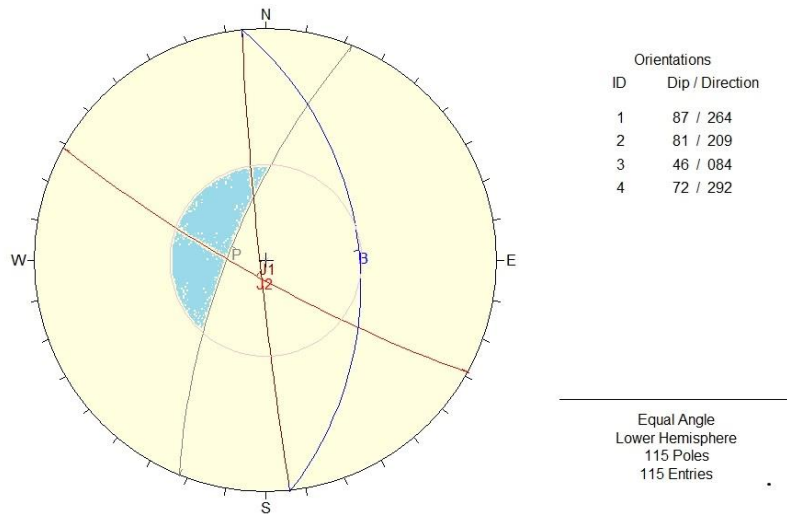
Εικόνα 28. Αργιλικό υλικό που συναντάται κατά μήκος ζώνης ρήγματος στο εσωτερικό της Στοάς2.

5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΣΤΑ ΣΤΟΜΙΑ ΚΑΙ ΣΤΑ ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ

5.1. Ανάλυση Μηχανισμών Αστοχίας Στα Στόμια

Η ανάλυση των μηχανισμών αστοχίας στα δύο στόμια στηρίζεται αρχικά στην προβολή των συστημάτων ασυνεχειών και των επιφανειών του πρανούς στο δίκτυο Schmidt υπό μορφή μέγιστων κύκλων, καθώς και στην προβολή του κύκλου που αντιστοιχεί στην γωνία τριβής ϕ° η οποία υπολογίστηκε με βάση το κριτήριο Barton-Bandis ίση με 45° . Στη συνέχεια με εφαρμογή των κατάλληλων προϋποθέσεων εξετάζεται η δυνητική κίνηση κατά επίπεδο ολίσθησης ή κατά μήκος της τομής των ασυνεχειών με τη δημιουργία σφηνοειδών αποκολλήσεων.

Συγκεκριμένα, στη θέση στόμιο1 δεν διακρίνονται επιφάνειες με υψηλή επιδεκτικότητα σε αστοχία όπως φανερώνει και το παρακάτω σχήμα. Παρόλα αυτά όμως, κατά την υπαίθρια παρατήρηση μας, εντοπίστηκαν κάποια ασταθή σημεία τα οποία καταλήξαμε ότι μπορεί να οφείλονται σε διεργασίες υποσκαφής.

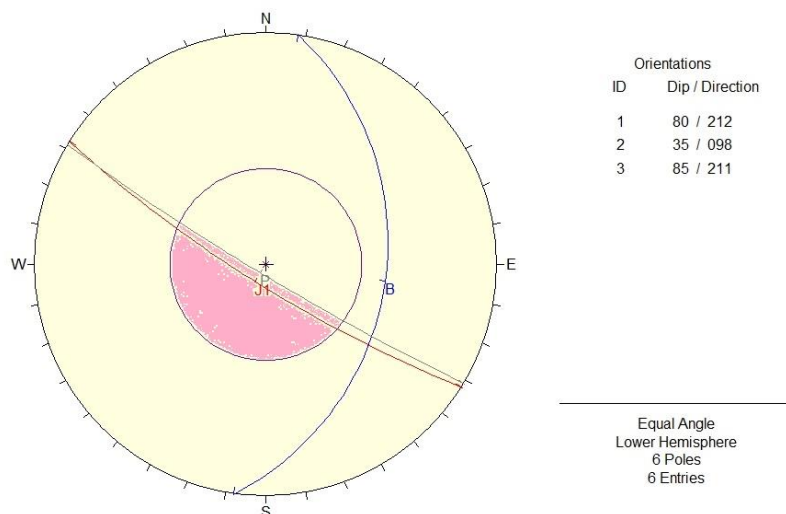


Εικόνα 29. Εξέταση δυνητικών αστοχιών στη θέση στόμιο 1

Όσον αφορά τους μηχανισμούς αστοχίας στην περιοχή της εισόδου της δεύτερης στοάς, αυτή τη χωρίσαμε παραπάνω στις θέσεις μελέτης Στοά2α και Στοά2β. Στην πρώτη περιοχή επικρατεί το σύστημα ασυνεχειών joint 1 με στοιχεία $80^\circ/212^\circ$ που εμφανίζεται σχεδόν παράλληλο με το πρανές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται επίπεδες ολισθήσεις με πλακώδη σώματα τα οποία βυθίζονται ομόρροπα με το πρανές. Το γεγονός αυτό μπορεί να επιβεβαιωθεί και κατά την υπαίθρια παρατήρηση.

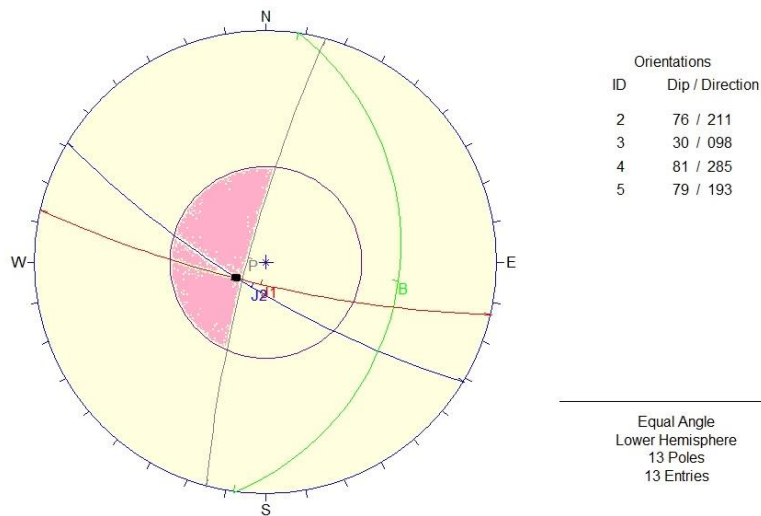


Εικόνα 30. Αποσπώμενο τέμαχος στη θέση στόμιο2α λόγω επίπεδης ολίσθησης.

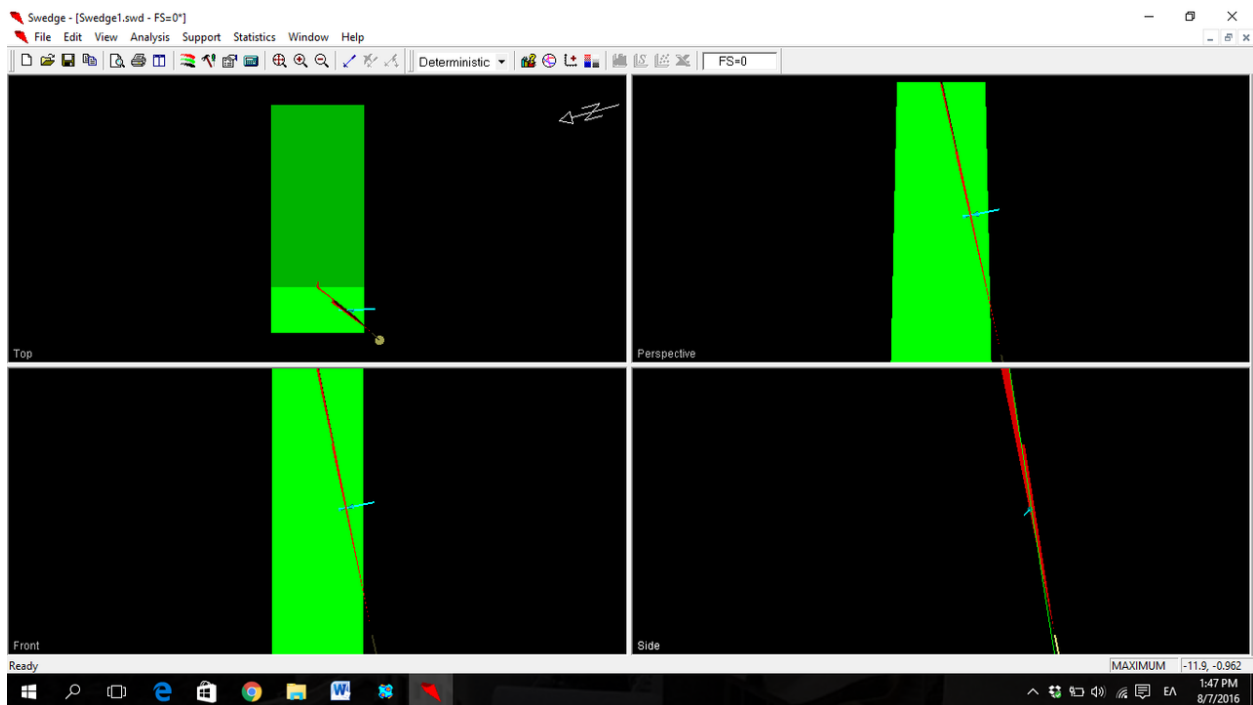


Εικόνα 31. Εξέταση δυνητικών αστοχιών στη θέση στόμιο2α.

Στην περιοχή στόμιο 2β διακρίνουμε κυβοειδή σώματα τα οποία δημιουργούνται λόγω της τομής των ασυνεχειών J1 και J2. Τα δύο αυτά συστήματα φαίνεται πως δημιουργούν σφήνες μικρού σχετικά μεγέθους οι οποίες έχουν αποκολληθεί και βρίσκονται στην είσοδο της στοάς. Πιο συγκεκριμένα όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, η τομή των ασυνεχειών J1($79^{\circ}/193^{\circ}$) και J2($76^{\circ}/211^{\circ}$), προβάλλεται μέσα στη περιοχή που σχηματίζεται από τον μέγιστο κύκλο του πρηνούς και του κύκλου που σχεδιάστηκε με βάση τη γωνία εσωτερικής τριβής 45° και επομένως είναι δυνατή η αστοχία τύπου σφήνας με ολίσθηση κατά μήκος της τομής των δύο ασυνεχειών (για συνθήκες υγρασίας 30% και με πιθανή παρουσία σεισμού). Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκε και το λογισμικό Swedge (Rocscience corp.). Τα παραπάνω διαπιστώνονται και κατά την υπαίθρια παρατήρηση.



Εικόνα 32. Εξέταση δυνητικών αστοχιών στη θέση στόμιο2β.



Εικόνα 33. Απεικόνιση σφηνών όπως προκύπτουν από την ανάλυση με το λογισμικό Swedge (Rocscience corp.)



Εικόνα 34. Στόμιο 2β όπου διαπιστώνεται η παρουσία ογκόλιθων που έχουν αποκολληθεί από το πρανές.

5.2. Ανάλυση Μηχανισμών Αστοχίας Στα Υπόγεια Ανοίγματα

Για την ανάλυση της ευστάθειας των υπόγειων ανοιγμάτων έγινε χρήση του λογισμικού Unwedge της Rocscience Corp. σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των επί τόπου μετρήσεων και τον προσδιορισμό των συστημάτων ασυνεχειών.

Χρησιμοποιήσαμε το συγκεκριμένο λογισμικό με σκοπό τον προσδιορισμό των δυνητικών σφηνοειδών αποκολλήσεων που είναι δυνατό να προκύψουν εντός της στοάς, λόγω τομής των ασυνεχειών του βράχου, λαμβάνοντας υπόψιν τον εκτιμώμενο συντελεστή ασφαλείας ($F=1$). Για την εκτίμηση αυτών των ασυνεχειών υπολογίστηκαν βασικές παράμετροι όπως ο προσανατολισμός των ασυνεχειών, ο συντελεστής τραχύτητας (JRC) και η μονοαξονική αντοχή των επιφανειών (JCS), ενώ για τον υπολογισμό της αντοχής, εντός του λογισμικού, χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο αστοχίας Mohr-Coulomb, καθώς δεν ληφθήκαν οι απαιτούμενες μετρήσεις για τον υπολογισμό της παραμέτρου ϕ_r που είναι απαραίτητη για το κριτήριο Barton-Bandis. Για την συνοχή των ασυνεχειών ληφθήκαν τιμές της τάξεως 70-80 ενώ στη ζώνη του ρήγματος, λόγω αργιλικού υλικού πλήρωσης $c=50$ MPa.

Παρόλα αυτά δεν ήταν δυνατή η μέτρηση της εμμονής των ασυνεχειών, απαραίτητης παραμέτρου άμεσα συνδεδεμένης με το μέγεθος των δημιουργούμενων σφηνών. Για το λόγο αυτό έπρεπε να γίνουν κάποιες εύλογες παραδοχές σχετικά με την εμμονή και το μήκος των ασυνεχειών, βάση των επί τόπου παρατηρήσεων εντός των στοών, καθώς διαπιστώθηκε ότι

λαμβάνοντας για αυτές τις παραμέτρους τις μέγιστες δυνατές τιμές οδηγούμαστε σε παραπλανητικά αποτελέσματα με πολύ μεγάλους όγκους σφηνών. Έτσι για όλες τις ασυνέχειες λήφθηκε μια εμμονή της τάξεως 1-2 m, ενώ μόνο για τη στρώση η εμμονή θεωρείται η μέγιστη δυνατή.

Βάση των παραπάνω και παίρνοντας όλους τους πιθανούς συνδυασμούς των τομών των ασυνεχειών παίρνουμε έναν αριθμό ασταθών σφηνών, για τις οποίες θα πρέπει να ληφθούν κατάλληλα μέτρα. Η εμφάνιση ζώνης μαρμάρου στην οροφή χωρίς να έχουν εκδηλωθεί καταπτώσεις μας δίνει μια εικόνα γενικότερης ευστάθειας των δύο στοών. Από την ανάλυση παρατηρήθηκε ότι οι αστάθειες που αναμένονται εντός της στοάς 1 έχουν πολύ μικρό όγκο και απαντώνται στην οροφή της στοάς. Ακόμη στο τέλος της στοάς υπάρχουν εγκάρσιες μικρές στοές οι οποίες είναι γεμάτες με στείρα υλικά και στην οροφή τους έχουν εκδηλωθεί καταπτώσεις τύπου σφήνας μικρών διαστάσεων, που ίσως δημιουργήθηκαν κατά τη διάνοιξή τους. Πέρα από αυτές όμως υπάρχει και μια εγκάρσια στοά που οδηγεί προς την στοά 2, η οποία στην οροφή της εμφανίζει μπλοκ που δύνανται να αποκολληθούν. Για αυτό το λόγο συνίσταται η απομάκρυνση τους, έτσι ώστε να επιτευχθεί η ευστάθεια.

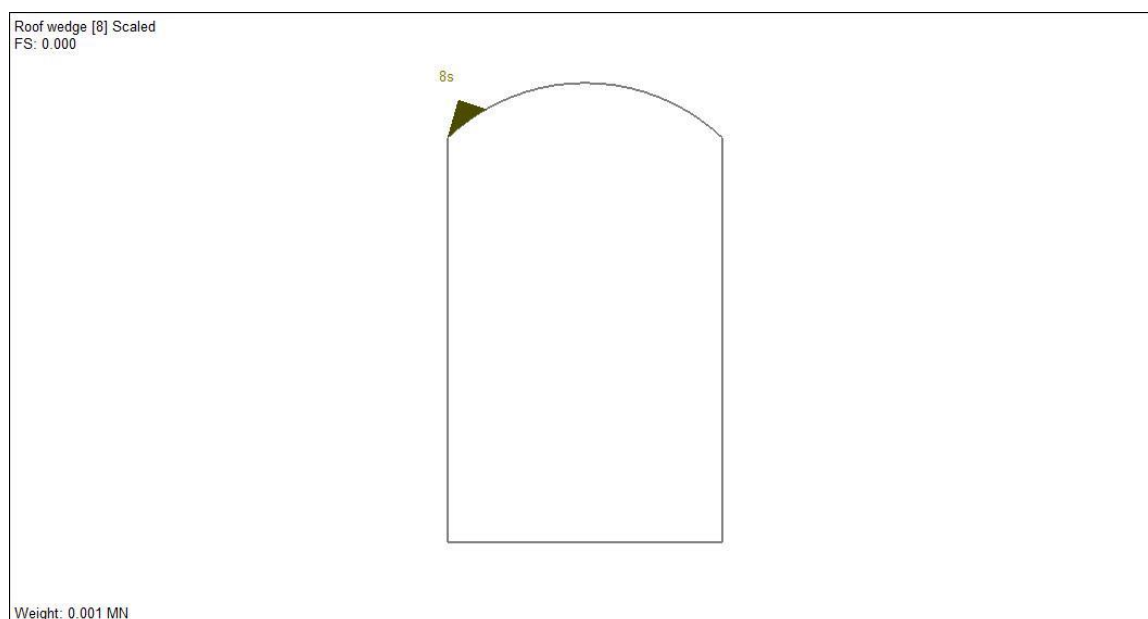


Εικόνα 35. Συμπαγής πάγκος μαρμάρου στην οροφή που δηλώνει μια γενική ευστάθεια των στοών.

Πίνακας 5. Πίνακας ασταθών Σφηνών στην Στοά 1

Ασυνέχεια Α	Ασυνέχεια Β	Ασυνέχεια C	Αριθμός Σφηνών < Αποδεκτό συντελεστή ασφαλείας FOS (1)	Όγκος σφήνας (m ³)
----------------	----------------	----------------	---	-----------------------------------

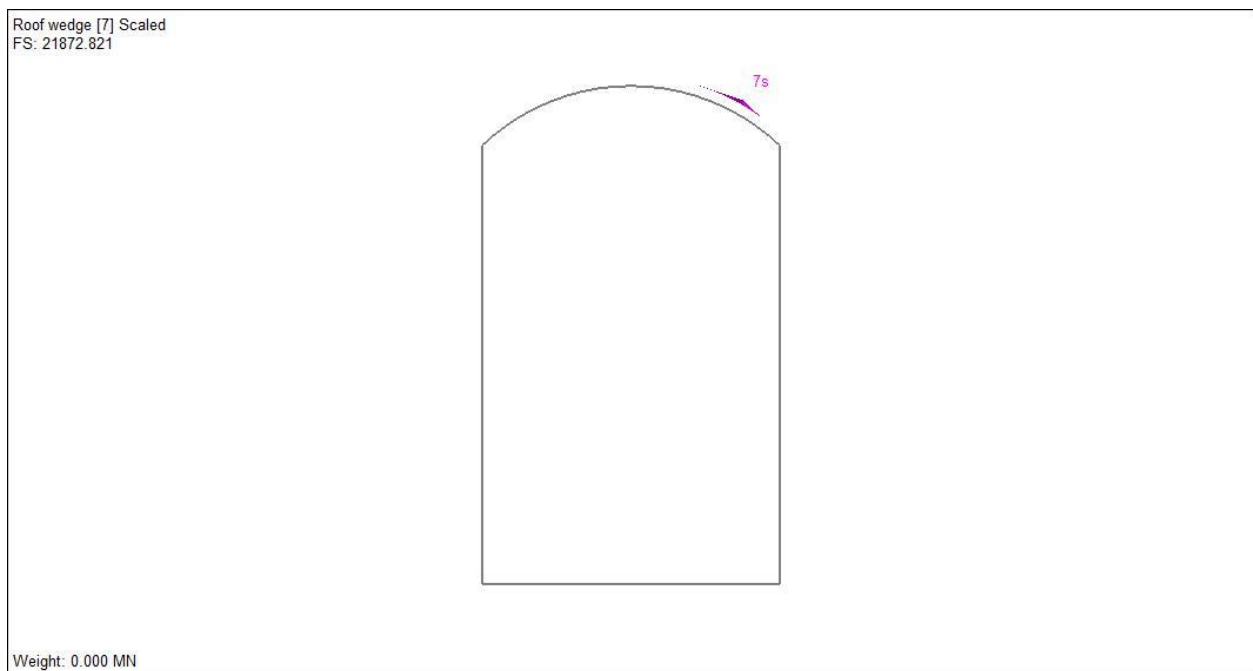
1	3	4	1	0.028762031
1	2	4	1	0.015702800
1	2	3	0	0.02701452
2	3	4	0	0.014076173



Εικόνα 36. Κατά μήκος της στοάς 1 διαπιστώθηκαν μικρού όγκου σφηνοειδείς καταπτώσεις (σφήνα 8) στην αριστερή πλευρά της οροφής της στοάς.



Εικόνα 37. Κατά μήκος της στοάς 1 διαπιστώθηκαν μικρού όγκου σφηνοειδείς καταπτώσεις (σφήνα 8) στην αριστερή πλευρά της οροφής της στοάς.



Εικόνα 38. Κατά μήκος της στοάς 1 διαπιστώθηκαν μικρού όγκου σφηνοειδείς καταπτώσεις (σφήνα 7) στην δεξιά πλευρά της οροφής της στοάς.



Εικόνα 39. Μικρού όγκου σφηνοειδείς καταπτώσεις (σφήνα 7) στη δεξιά πλευρά της οροφής της στοάς.



Εικόνα 40. Μικρού όγκου σφήνα στην οροφή της στοάς προς το τέλος της στην είσοδο δευτερεύουσας εγκάρσιας στοάς.



Εικόνα 41. Εγκάρσια στοά προς την στοά 2, στην οροφή της οποίας απαντώνται τεμάχια που πρέπει να απομακρυνθούν μηχανικά.



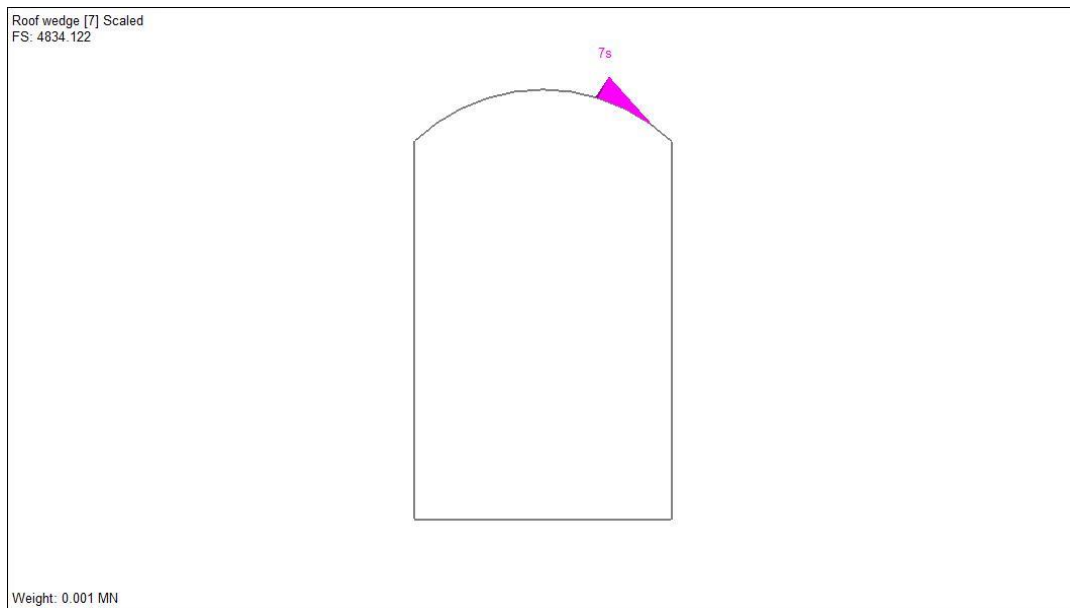
Εικόνα 42. Εγκάρσια στοά, στη στοά 1

Κατά μήκος της στοάς 2 δεν αναμένονται σημαντικά προβλήματα σφηνοειδών αποκολλήσεων καθώς δημιουργούνται σφήνες πολύ μικρού όγκου (μέχρι περίπου $0,1 \text{ m}^3$). Επιπρόσθετα, τα τοιχώματα της στοάς αποτελούνται από στείρα υλικά τα οποία στηρίζονται από τοιχίο σε όλο το μήκος τους. Σε ορισμένες θέσεις απαντώνται τεμάχια τα οποία έχουν αποσπασθεί από το ίδιο το τοιχίο και επομένως θα πρέπει να ληφθούν μέτρα για την αποκατάσταση της ευστάθειας του, αυξάνοντας τις στατικές του δυνάμεις.

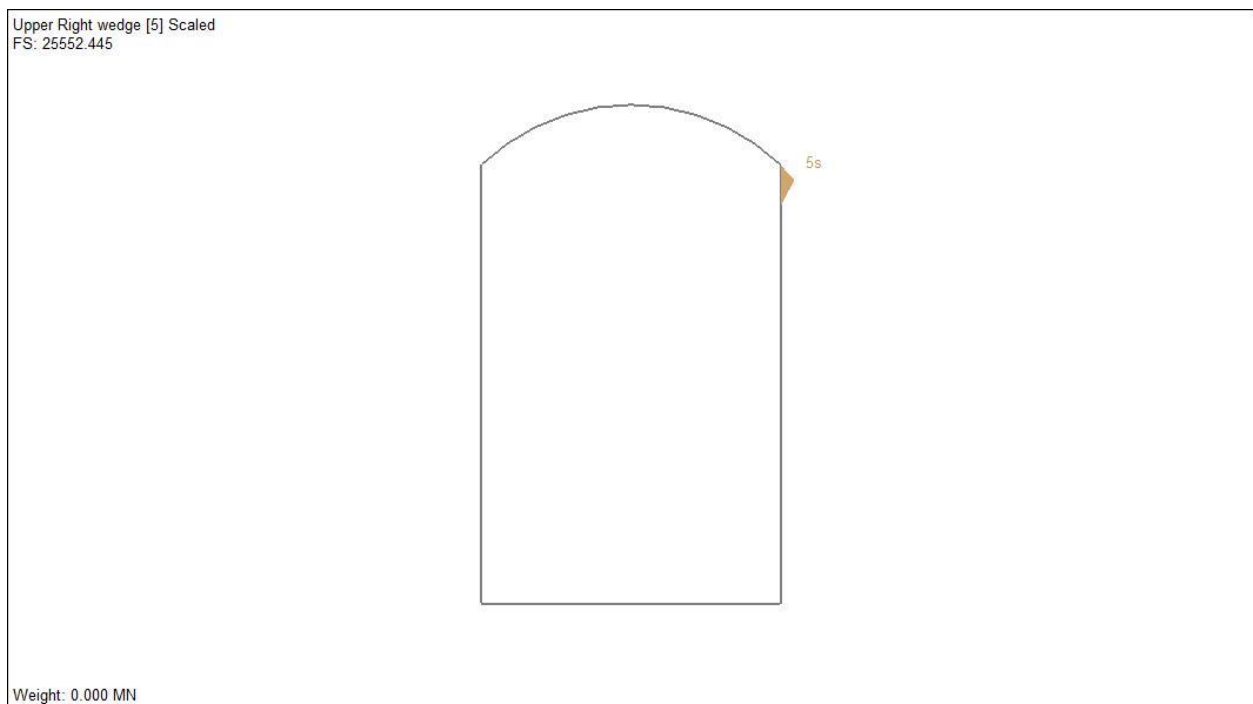
Το βασικό πρόβλημα στη στοά 2 είναι η παρουσία ρήγματος πληρωμένο με αργιλικό υλικό, στην οροφή της στοάς, το οποίο εμφανίζει καρστική διάλυση ενώ υπάρχει και μικρή ποσότητα νερού της τάξεως του 20%. Για το λόγο αυτό, για να επιτευχθεί ευστάθεια πρέπει η ζώνη αυτή να κλείσει σε όλα τα σημεία μέσα στη στοά όπου εμφανίζεται. Καρτικά έγκυλα μικρών διαστάσεων απαντώνται και κατά μήκος της στοάς 1 σε ορισμένες μόνο θέσεις.

Πίνακας 7. Πίνακας ασταθών Σφηνών στην Στοά 2

Ασυνέχεια Α	Ασυνέχεια Β	Ασυνέχεια C	Αριθμός Σφηνών < Αποδεκτό συντελεστή ασφαλείας FOS (1)	Όγκος σφήνας (m^3)
1	2	3	3	0.045037763853
2	3	4	2	0.0430584783648
1	2	4	1	0.1097636093303
1	3	4	0	0.0078048660708



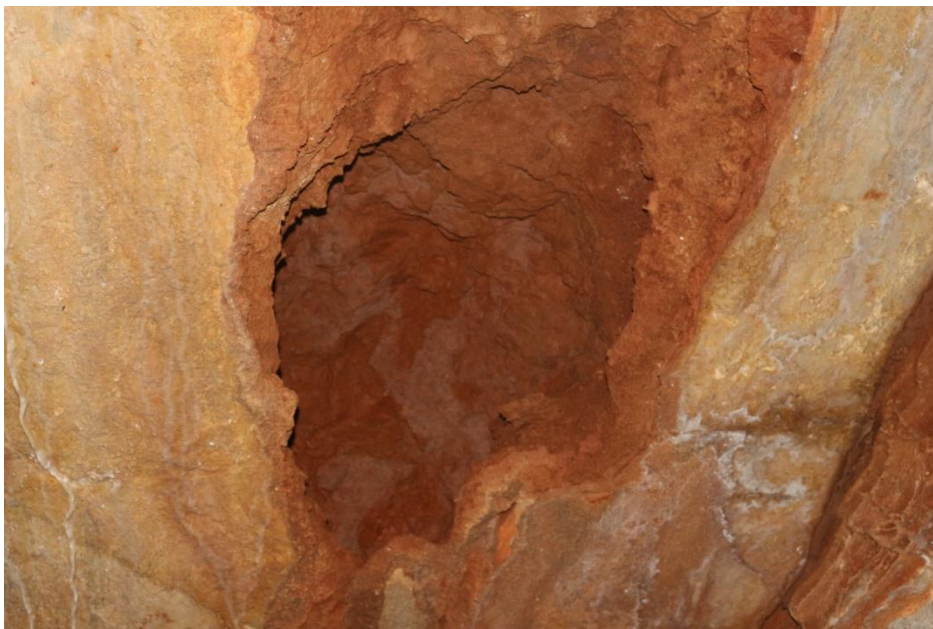
Εικόνα 43. Κατά μήκος της στοάς 2 διαπιστώθηκαν πολύ μικρού όγκου σφηνοειδείς καταπτώσεις (σφήνα 7).



Εικόνα 44. Κατά μήκος της στοάς 2 διαπιστώθηκαν πολύ μικρού όγκου σφηνοειδείς καταπτώσεις (σφήνα 5).



Εικόνα 45. Στείρα υλικά τα οποία συγκρατούνται από τοίχιο (βέλος) και τα οποία εμφανίζουν αστάθεια σε ορισμένες θέσεις.



Εικόνα 46. Καρστικά έγκυλα τα οποία εμφανίζονται και στις δύο στοές.



Εικόνα 47. Αργιλικό υλικό το οποίο έχει αποπλυνθεί από τη ζώνη ρήγματος στην οροφή της στοάς 2.

6. ΣΥΝΟΨΗ

Αντικείμενο αυτής της διπλωματικής εργασίας ήταν η ανάλυση της ευστάθειας των υπόγειων λατομείων του λυχνίτη της Πάρου, με τη χρήση και του επίγειου σαρωτή LIDAR και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων. Για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκαν εξειδικευμένα λογισμικά της Rocscience Corp. Σκοπός ήταν ο εντοπισμός, τόσο στο εσωτερικό των στοών, όσο και στα στόμια, σημείων που παρουσιάζουν κάποια επικινδυνότητα με βάση τον προσανατολισμό, τη γεωμετρία των συστημάτων ασυνεχειών και τη διεύθυνση των στοών. Για τον προσδιορισμό των απαραίτητων παραμέτρων πραγματοποιήθηκε μία πολυήμερη εργασία υπαίθρου στο νησί της Πάρου όπου ελήφθησαν επιτόπου μετρήσεις, αλλά και μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του επίγειου σαρωτή LIDAR. Τα δεδομένα που προέκυψαν και από τις δύο μεθόδους παρατηρήθηκε ότι δεν αποκλίνουν σημαντικά.

Σύμφωνα με αυτές τις μετρήσεις και με τη χρήση κατάλληλων λογισμικών, πραγματοποιήθηκε στερεογραφική προβολή των κύριων συστημάτων ασυνεχειών και στη συνέχεια εκτελέστηκε ανάλυση ευστάθειας στα υπόγεια ανοίγματα και στα στόμια αυτών. Από την ανάλυση προκύπτει ένας αριθμός δυνητικών σφηνοειδών αποκολλήσεων, για όλους τους συνδυασμούς των τομών των διαφόρων ασυνεχειών. Κατά μήκος της οροφής των στοών εντοπίζεται συμπαγής πάγκος μαρμάρου, γεγονός που δηλώνει μία γενικότερη ευστάθεια, ενώ οι περισσότερες αστάθειες αναμένονται στην οροφή, αλλά είναι μικρού όγκου.

Δευτερεύουσες στοές, συναντώνται εγκάρσια στη στοά1, οι οποίες όμως έχουν πληρωθεί με στείρα υλικά και γι' αυτόν τον λόγο δεν είναι προσβάσιμες. Στην οροφή τους, όπως παρατηρήθηκε κι επιτόπου, έχουν πραγματοποιηθεί μικρές σφηνοειδείς αποκολλήσεις ενώ στην οροφή δευτερεύουσας στοάς προς την στοά2 εντοπίστηκαν ασταθή μπλοκ μαρμάρου έτοιμων να πέσουν τα οποία θα πρέπει να απομακρυνθούν μηχανικά.

Στη στοά2 δεν αναμένονται σοβαρά προβλήματα, καθώς ο όγκος των σφηνών είναι πολύ μικρός και σε όλο σχεδόν το μήκος της τα τοιχώματα της αποτελούνται από στείρα τα οποία στηρίζονται από τοιχίο. Το τοιχίο αυτό κατά θέσεις εμφανίζει φτωχή συναρμογή και γι' αυτόν τον λόγο πρέπει να γίνει έλεγχος και αποκατάσταση των θέσεων κακής στατικότητας. Θέματα αστάθειας όμως, στη στοά2 μπορεί να προκύψουν από την παρουσία ζώνης ρήγματος στην οροφή, η οποία παρουσιάζει καρστική διάλυση και είναι πληρωμένη με αργιλικό υλικό. Η ζώνη αυτή επομένως θα πρέπει να σφραγιστεί. Παρόμοια καρστικά υλικά εμφανίζονται και στη στοά1, τα οποία μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα και πρέπει επίσης να κλείσουν.

Τέλος, στην είσοδο της στοάς1 δεν εντοπίζονται επιφάνειες υψηλής επικινδυνότητας και τα διάφορα τεμάχια που έχουν αποσπαστεί, όπως παρατηρήσαμε κατά την υπαίθρια εργασία, πιθανώς οφείλονται σε διαδικασίες υποσκαφής. Παρόλα αυτά θα πρέπει όπου υπάρχει πρόβλημα αστάθειας να γίνει αντιστήριξη με αγκύρια ή συρμάτινο πλέγμα. Αντίθετα στο στόμιο της στοάς1 απαντώνται ασταθείς όγκοι οι οποίοι πρέπει να αγκυρωθούν.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Μουντράκης, Δ. (2010). Γεωλογία και Γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας, University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σελ. 373
- Ευστάθιος Χιώτης και Λαμπρινή Χιώτη. Ο ρόλος του λίθου κατά την εξέλιξη του πολιτισμού
- Δημήτριος Σκιλάρντι και Ντόρα Κατσωνοπούλου (2000). Παριά Λίθος, λατομεία, μάρμαρο και εργαστήρια γλυπτικής της Πάρου. Πρακτικά Α΄ Διεθνούς Συνεδρίου Αρχαιολογίας Πάρου και Κυκλάδων, Παροιτιά, Πάρος 2-5 Οκτωβρίου 1997.
- Κορρές, Μ. (1997). Υπόγεια Λατομεία της Πάρου, Παριά Λίθος, Πρακτικά Α΄ Συνεδρίου Αρχαιολογίας Πάρου και Κυκλάδων, Κατσωνοπούλου, Σκιλάρντι (editors)

- Papanikolaou, D. (1980). Contribution to the Geology of Aegean Sea: The island of Paros, Annales Geologiques des Pays Helleniques
- V.Marinos (2005). The geological strength index: applications and limitations, National Technical University of Athens.
- Β.Μαρίνος, Δεκέμβριος 2015. Τρισδιάστατη απεικόνιση των υπόγειων λατομείων της Πάρου με τη χρήση επίγειου σαρωτή Lidar και ανάλυση ευστάθειας των υπόγειων ανοιγμάτων, ΙΓΜΕ Θεσσαλονίκη 2015.
- Bandis, S.C. (1993). Engineering properties and characterization of rock discontinuities. In: Comprehensive Rock Engineering: Principles, Practice and Projects (ed. J.A. Hudson) Vol. 1, Pergamon Press, Oxford, pp. 155-83.
- Barton, N.R. (1973). Review of a new shear strength criterion for rock joints. Engng Geol. 7, 287-332.
- Barton, N.R. (1976). The shear strength of rock and rock joints. Int. J. Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 13(10), 1-24.
- Barton, N.R. and Bandis, S. (1990). Review of predictive capabilities of JRC-JCS model in engineering practice. In Rock joints, proc. int. symp. on rock joints, Loen, Norway, (eds N. Barton and O. Stephansson), 603-610. Rotterdam: Balkema.
- Barton, N. and Choubey, V., 1977. The shear strength of rock joints in theory and practice. Rock Mechanics, 10(1-2), pp. 1-54.
- Barton, N.R., Lien, R., Lunde, J., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics, 6(4), pp. 189-239.
- Bieniawski, Z.T., 1988. Rock mass classification as a design in tunnelling. Tunnels and Tunnelling, July issue, pp. 19-22.

Διαδίκτυο:

- Google Earth
- geo.auth.gr

Παράρτημα 1:

Μετρήσεις Τεκτονικών Στοιχείων από το Lidar αλλά και από την Γεωλογική πυξίδα

- Τεκτονικά στοιχεία 1^{ης} στοάς

Όπου J: ασυνέχεια, B: στρώση και F: πιθανό ρήγμα

Μετρήσεις με γεωλογική πυξίδα

A/A	ΕΙΔΟΣ ΑΣΥΝ.	ΚΛΙΣΗ	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΛΙΣΗΣ	Παρατηρήσεις
-----	-------------	-------	------------------	--------------

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: «ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ LIDAR ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ»

1	B	35	075	
2	J	55	009	Τραχείες - λείες (ελαφρά αποσαθρωμένες)
3	J	75	215	
4	J	85	179	
5	J	80	265	
6	J	75	233	
7	J	90	333	
8	J	88	124	
9	J	85	356	
10	B	27	069	
11	B	40	042	
12	J	89	187	
13	J	85	354	
14	J	80	307	
15	J	35	095	
16	J	34	108	
17	J	35	082	
18	J	50	070	
19	J	30	105	
20	J	65	309	
21	J	88	225	
22	J	66	278	
23	J	65	009	
24	J	59	015	
25	B	35	75	
26	J	75	313	
27	J	65	156	Σφήνα σε αποσαθρωμένες επιφάνειες στη διασταύρωση με τη Δ. Στοά
28	J	75	328	Σφήνα σε αποσαθρωμένες επιφάνειες στη διασταύρωση με τη Δ. Στοά
29	J	80	260	Σφήνα σε αποσαθρωμένες επιφάνειες στη διασταύρωση με τη Δ. Στοά

• **Μετρήσεις που προέκυψαν από την επεξεργασία με τη χρήση Lidar**

α/α	ΚΛΙΣΗ	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΛΙΣΗΣ
1	86	334
2	73	167
3	66	151
4	69	133
5	61	133
6	39	304
7	62	137
8	72	152
9	22	78
10	36	123
11	84	224
12	58	57
13	42	109
14	33	105
15	54	116
16	53	112
17	44	105
18	74	85
19	82	64
20	66	133
21	87	266
22	82	243
23	86	311
24	81	335
25	9	277
26	83	197
27	68	122
28	25	110
29	37	100
30	27	247
31	73	38
32	89	113
33	75	138
34	75	191
35	83	68
36	79	69
37	79	68

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: «ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ LIDAR ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ»

38	84	39
39	8	272
40	22	69
41	47	199
42	89	299
43	85	312
44	86	215
45	81	57
46	69	66
47	64	63
48	69	63
49	68	50
50	69	80
51	65	66
52	76	70
53	84	59
54	74	57
55	74	55
56	80	52
57	79	68
58	65	315
59	77	73
60	71	301
61	68	299
62	83	358
63	79	287
64	65	281
65	86	182
66	80	178
67	70	174
68	78	186
69	46	288
70	79	69
71	78	67
72	56	63
73	76	307
74	86	183
75	82	173
76	79	279
77	48	74
78	72	1

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: «ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ LIDAR ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ»

79	62	78
80	80	184
81	45	88
82	34	242
83	83	185
84	78	185
85	59	254
86	71	185
87	88	191
88	40	268
89	23	58
90	87	74
91	50	339
92	36	114
93	78	251
94	79	360
95	89	68
96	73	254
97	37	38
98	86	330
99	30	3
100	38	353
101	85	204
102	85	173
103	85	145
104	83	143
105	22	83
106	22	71
107	23	66
108	57	312
109	74	356
110	77	65
111	56	341
112	83	193
113	34	51
114	26	58
115	27	73
116	66	40
117	36	31
118	89	184
119	86	165

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: «ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ LIDAR ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ»

120	23	58
121	30	39
122	29	28
123	24	64
124	24	74
125	78	6
126	32	109
127	28	62
128	86	220
129	84	188
130	85	107
131	88	181
132	84	305
133	26	227
134	27	85
135	85	62
136	84	311
137	79	116
138	83	297
139	69	27
140	62	24
141	86	246
142	82	127
143	88	133
144	33	31
145	85	63
146	88	201
147	82	224
148	79	161
149	81	168
150	81	43
151	82	57
152	80	225
153	73	45
154	82	141
155	77	322
156	67	39
157	29	15
158	86	325
159	47	46
160	49	186

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: «ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ LIDAR ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ»

161	77	196
162	82	147
163	51	323
164	27	335
165	28	301
166	23	314
167	55	48
168	24	357
169	32	346
170	74	151
171	74	47
172	29	335
173	72	37
174	74	348
175	21	52
176	55	11
177	52	58
178	50	68
179	32	89
180	43	252
181	85	298
182	75	75
183	64	54
184	38	116
185	28	114
186	14	61
187	16	100
188	20	102
189	18	327
190	22	81
191	82	137
192	26	97
193	52	58
194	60	270
195	80	97
196	24	106
197	51	113
198	53	279
199	77	287
200	72	65
201	56	302

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: «ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ LIDAR ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ»

202	55	275
203	58	282
204	84	41
205	87	185
206	43	60
207	79	229
208	39	18
209	74	178
210	77	194
211	19	92
212	83	343
213	38	56
214	29	86
215	28	53
216	23	74
217	35	100
218	64	188
219	27	98
220	47	99
221	48	3
222	65	55
223	46	83
224	28	58
225	26	33
226	20	10
227	48	274
228	74	76
229	66	163
230	71	313
231	89	323
232	19	56
233	76	69
234	33	94
235	32	106
236	27	98
237	36	13
238	48	343
239	43	359
240	69	56
241	21	123
242	71	239

243	34	89
244	27	92
245	53	106
246	83	247
247	77	7
248	80	139
249	72	132
250	35	57
251	25	80
252	74	34

- Τεκτονικά στοιχεία 2^{ης} στοάς (αίθουσα Νυμφών)

Όπου J: ασυνέχεια, B: στρώση και F: πιθανό ρήγμα

Παράρτημα 2: Τεκτονικά στοιχεία 2^{ης} στοάς

	ΕΙΔΟΣ ΑΣΥΝ.	ΚΛΙΣΗ	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΛΙΣΗΣ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
1	B	29	064	
2	B	30	060	
3	J	89	035	
4	J	65	140	
5	J	83	220	
6	J	89	040	
7	J	75	096	
8	J	89	105	
9	J	70	298	
10	J	89	040	Μικρή εμμόνη 30-40 cm
11	J	45	100	
12	J	80	221	
13	B	30	081	
14	J	85	253	
15	J	61	323	
16	B	44	094	
17	J	66	335	
18	J	84	032	
19	J	85	170	

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: «ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ LIDAR ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ»

20	J	49	094	Μικρή εμμόνη 30-40 cm
21	J	40	328	
22	J	84	116	ΒΔ-ΝΑ, ζώνη κάρστ, μεγάλο μήκος, πιθανό ρήγμα.
23		79	298	ΒΔ-ΝΑ, ζώνη κάρστ, μεγάλο μήκος, πιθανό ρήγμα.
24	J	46	110	
25	B	34	071	
26	J	58	325	
27	J	79	027	
28	J	76	028	
29	B	25	047	
30	J	48	272	
31	J	65	049	
32	J	86	144	
33	F	70	270	Ρήγμα
34	F	60	308	Ρήγμα
35	B	41	080	
36	J	74	260	
37	J	69	298	
38	B	29	071	
39	J	80	020	
40	B	39	092	

• **Τεκτονικά στοιχεία θέσης Στόμιο 1**

α/α	ΚΛΙΣΗ	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΛΙΣΗΣ
1	85	82
2	86	78
3	86	78
4	24	82
5	41	111
6	85	258

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: «ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ LIDAR ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ»

7	89	264
8	87	83
9	50	90
10	79	77
11	52	88
12	89	73
13	45	88
14	86	93
15	86	204
16	87	86
17	82	269
18	82	269
19	87	264
20	84	92
21	88	90
22	85	261
23	65	197
24	86	259
25	77	92
26	89	270
27	65	195
28	88	86
29	87	265
30	89	267
31	84	88
32	84	91
33	81	90
34	83	97
35	76	261
36	88	268
37	47	79
38	62	305
39	52	72
40	82	259
41	77	92
42	74	291
43	59	276
44	65	267
45	72	264
46	80	214
47	53	85
48	54	94

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: «ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ LIDAR ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ»

49	80	210
50	89	197
51	83	216
52	67	297
53	69	304
54	73	281
55	72	204
56	78	204
57	89	209
58	71	260
59	73	276
60	63	268
61	72	292
62	66	199
63	70	201
64	76	303
65	66	205
66	70	275
67	76	273
68	76	298
69	71	264
70	82	200
71	76	298
72	75	276
73	47	105
74	65	300
75	86	206
76	81	207
77	58	300
78	81	214
79	72	292
80	74	256
81	86	215
82	84	277
83	76	258
84	89	282
85	64	203
86	78	259
87	35	075
88	55	009
89	75	215
90	85	179

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: «ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΑΡΩΤΗ LIDAR ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ»

91	80	265
92	75	233
93	90	333
94	88	124
95	85	356
96	27	069
97	40	042
98	89	187
99	85	354
100	80	307
101	35	095
102	34	108
103	35	082
104	50	070
105	30	105
106	65	309
107	88	225
108	66	278
109	65	009
110	59	015
111	35	75
112	75	313
113	65	156
114	75	328
115	80	260

• **Τεκτονικά στοιχεία θέσης Στόμιο 2α**

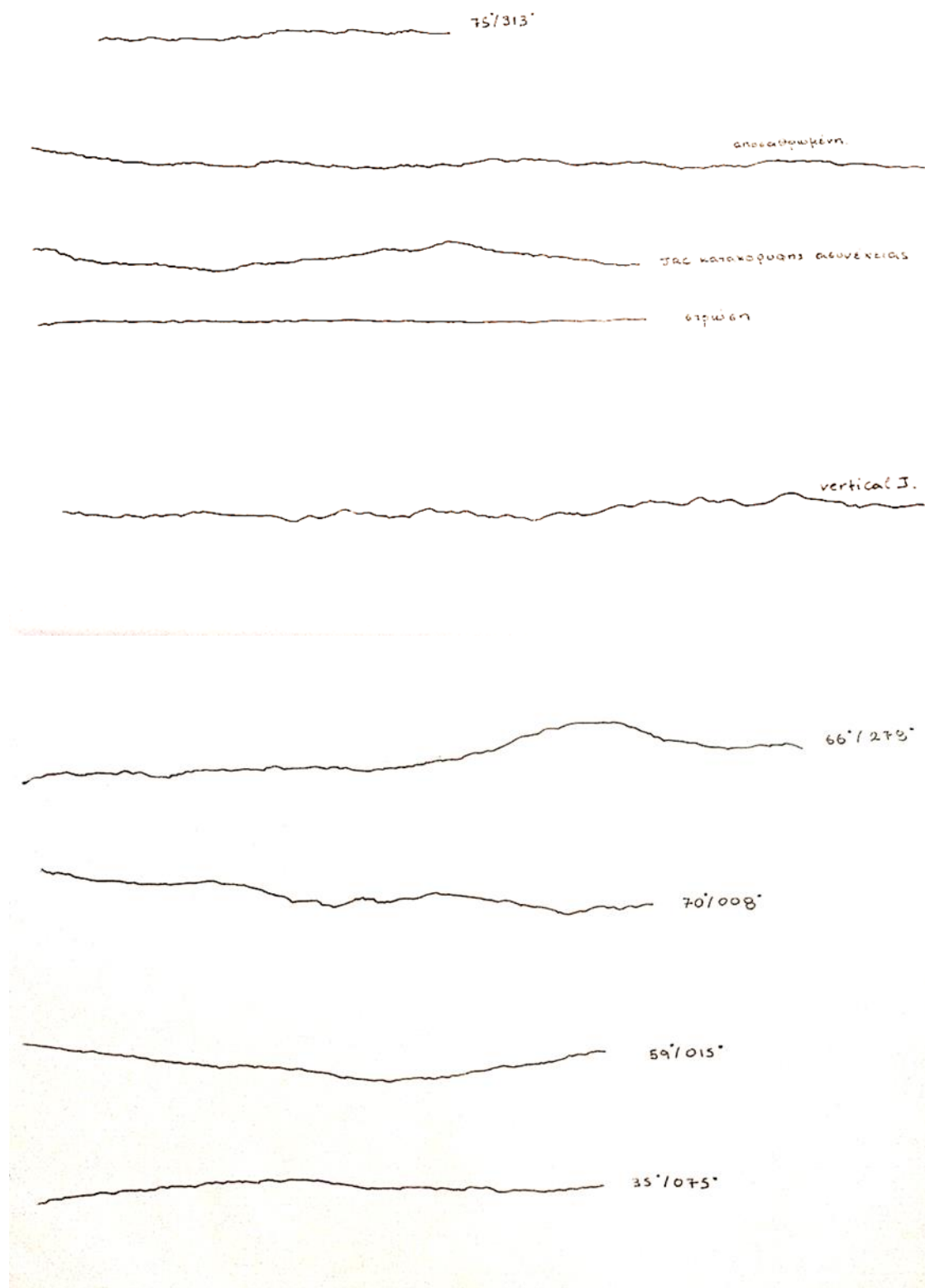
α/α	ΚΛΙΣΗ	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΛΙΣΗΣ
1	86	204
2	80	218
3	76	211
4	81	036
5	85	212
6	36	099

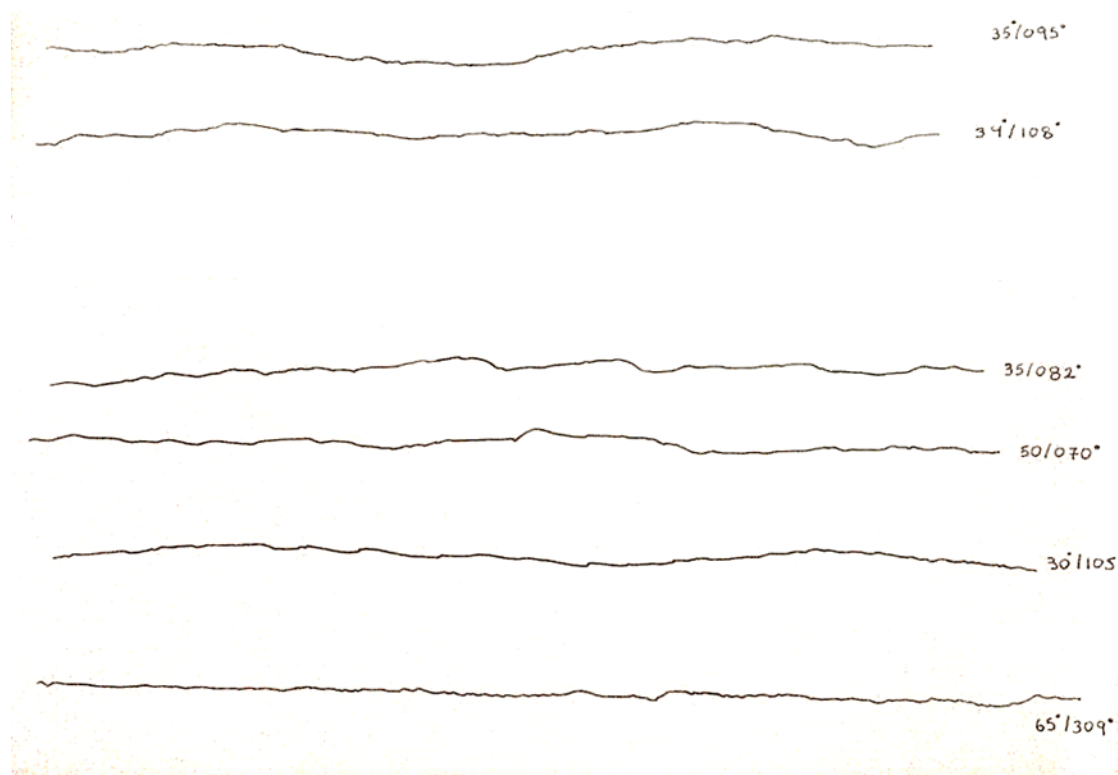
• **Τεκτονικά στοιχεία θέσης Στόμιο 2β**

α/α	ΚΛΙΣΗ	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΛΙΣΗΣ
1	71	226
2	77	187
3	80	194
4	80	199
5	79	190
6	68	298
7	81	285
8	31	101
9	86	204
10	80	218
11	76	211
12	81	036
13	85	212

Παράρτημα 2:

Αποτύπωση προφίλομετρήσεων στις επιφάνειες των ασυνεχειών του μαρμάρου





Παράρτημα 3:

Τιμές αναπήδησης με τη Σφύρα Schmidt στις επιφάνειες των ασυνεχειών

Τιμή αναπήδησης Σφύρας Schmidt	Διεύθυνση φόρτισης	Θέση
36	Προς τα κάτω υπό κλίση	Στοά Ι
56	Προς τα κάτω υπό κλίση	Στοά Ι
56	Προς τα κάτω υπό κλίση	Στοά Ι
42	Προς τα κάτω υπό κλίση	Στοά Ι
38	Προς τα κάτω υπό κλίση	Στοά Ι
52	Προς τα κάτω υπό κλίση	Στοά Ι
52	Προς τα κάτω υπό κλίση	Στοά Ι
38	Προς τα κάτω υπό κλίση	Στοά Ι
42	Προς τα κάτω υπό κλίση	Στοά Ι

52	Προς τα κάτω υπό κλίση	Στοά Ι
60	Προς τα κάτω υπό κλίση	Στοά Ι
38	Προς τα κάτω υπό κλίση	Στοά Ι
58	Προς τα κάτω υπό κλίση	Στοά Ι
54	Προς τα κάτω υπό κλίση	Στοά Ι
54	Προς τα κάτω υπό κλίση	Στοά Ι
28	Προς τα κάτω υπό κλίση	Στοά Ι
14	Κατακόρυφη φόρτιση	Στοά Ι
32	Κατακόρυφη φόρτιση	Στοά Ι
18	Κατακόρυφη φόρτιση	Στοά Ι
49	Κατακόρυφη φόρτιση	Στοά Ι
45	Κατακόρυφη φόρτιση	Στοά Ι
53	Κατακόρυφη φόρτιση	Στοά Ι
37	Κατακόρυφη φόρτιση	Στοά Ι
47	Κατακόρυφη φόρτιση	Στοά Ι
48	Κατακόρυφη φόρτιση	Στοά Ι
34	Κατακόρυφη φόρτιση	Στοά Ι
48	Κατακόρυφη φόρτιση	Στοά Ι
48	Κατακόρυφη φόρτιση	Στοά Ι
44	Κατακόρυφη φόρτιση	Στοά Ι
32	Κατακόρυφη φόρτιση	Στοά Ι
32	Οριζόντια φόρτιση	Στοά Ι
48	Οριζόντια φόρτιση	Στοά Ι
34	Οριζόντια φόρτιση	Στοά Ι
44	Οριζόντια φόρτιση	Στοά Ι
48	Οριζόντια φόρτιση	Στοά Ι
34	Οριζόντια φόρτιση	Στοά Ι
50	Προς τα πάνω υπό κλίση	Στοά Ι
29	Προς τα πάνω υπό κλίση	Στοά Ι
22	Προς τα πάνω υπό κλίση	Στοά Ι
43	Προς τα κάτω υπό κλίση	Στοά ΙΙ
46	Προς τα κάτω υπό κλίση	Στοά ΙΙ

35	Κατακόρυφη φόρτιση	Στοά II
45	Κατακόρυφη φόρτιση	Στοά II
52	Κατακόρυφη φόρτιση	Στοά II
50	Κατακόρυφη φόρτιση	Στοά II
48	Κατακόρυφη φόρτιση	Στοά II
48	Κατακόρυφη φόρτιση	Στοά II
38	Κατακόρυφη φόρτιση	Στοά II
31	Οριζόντια φόρτιση	Στοά II
35	Οριζόντια φόρτιση	Στοά II
22	Οριζόντια φόρτιση	Στοά II
47	Οριζόντια φόρτιση	Στοά II
48	Οριζόντια φόρτιση	Στοά II
34	Οριζόντια φόρτιση	Στοά II
54	Οριζόντια φόρτιση	Στοά II
30	Οριζόντια φόρτιση	Στοά II
48	Οριζόντια φόρτιση	Στοά II
46	Οριζόντια φόρτιση	Στοά II
52	Οριζόντια φόρτιση	Στοά II
52	Οριζόντια φόρτιση	Στοά II
34	Οριζόντια φόρτιση	Στοά II
28	Οριζόντια φόρτιση	Στοά II
22	Οριζόντια φόρτιση	Στοά II
38	Οριζόντια φόρτιση	Στοά II
24	Οριζόντια φόρτιση	Στοά II
33	Οριζόντια φόρτιση	Στοά II
40	Οριζόντια φόρτιση	Στοά II

