



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

**«ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ ΣΜΥΡΙΑΔΑΣ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΝΑΞΟ»**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Λαθουράκης Νικόλαος

Επιβλέπων: Μπενάρδος Ανδρέας, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Απρίλιος 2020



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΕΥΤΙΚΗΣ

«ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ ΣΜΥΡΙΑΔΑΣ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΝΑΞΟ»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Λαθουράκης Νικόλαος

Επιβλέπων: Μπενάρδος Ανδρέας, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή της .../.../ 20....

Μπενάρδος Ανδρέας, Αναπληρωτής Καθηγητής.....

Δημήτριος Δαμίγος, Καθηγητής.....

Μενεγάκη Μαρία, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια.....

Αθήνα, Απρίλιος 2020

Copyright©, Λαθουράκης Νικόλαος 2020

Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά την αποτύπωση των βασικών παραμέτρων ενός σύγχρονου σχεδιασμού υπόγειας εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων σμύριδας στη νήσο Νάξο. Για το σκοπό αυτό σχεδιάζεται και αναπτύσσεται μία πρότυπη υπόγεια εκμετάλλευση βάσει της οποίας αναλύονται οι διάφορες φάσεις εργασίας, εκτιμώνται οι πόροι που απαιτούνται για την εκτέλεση τους και πραγματοποιείται η εκτίμηση του σχετικού τους κόστους. Βασικός σκοπός της εργασίας είναι η επίτευξη μίας ορθολογικής επιστημονικά εκμετάλλευσης όπου αφενός θα πετύχει υψηλό ποσοστό παραγωγικότητας και εκμηχάνισης, αφετέρου θα συμβάλλει σε ασφαλέστερο περιβάλλον εργασίας για τους σμυριδωρύχους.

Στο πλαίσιο της παρούσης εργασίας παρουσιάζεται αναλυτικά το νέο προτεινόμενο μοντέλο των εκμεταλλεύσεων και καθορίζονται οι παράμετροι του κύκλου εργασίας, σχεδιάζονται οι μορφές των έργων προσπέλασης και περιχάραξης, γίνεται έρευνα για τις υφιστάμενες υπόγειες εκμεταλλεύσεις, παρουσίαση της δοκιμής σημειακής φόρτισης, υπολογίζονται τα χαρακτηριστικά του εξοπλισμού και τέλος, παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις κόστους λειτουργίας εξόρυξης της σμύριδας. Αναλυτικότερα:

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά για τις χρήσεις της σμύριδας καθώς και για την ιστορία των νεότερων χρόνων.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην γεωλογία της νήσου Νάξου και πιο συγκεκριμένα για το βορειοανατολικό τμήμα του νησιού, όπου και αποτελεί την περιοχή εμφάνισης της σμύριδας. Συγκεκριμένα παρέχονται στοιχεία όσον αφορά την γεωλογική δομή και κοιτασματολογία της περιοχής εμφάνισης, καθώς και της ορυκτολογικής σύστασης και ιδιοτήτων της σμύριδας.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση στατιστικής έρευνας που έγινε στο πλαίσιο της εργασίας για τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των υφιστάμενων εκμεταλλεύσεων σμύριδας 116 ορυχείων.

Το τέταρτο κεφάλαιο αφορά την ταξινόμηση της βραχώμαζας. Αυτή γίνεται για τα πετρώματα της σμύριδας αλλά και για το δολομιτικό μάρμαρο που αποτελεί το στείρο πέτρωμα της εκμετάλλευσης. Γίνεται προσδιορισμός του δείκτη RMR, GSI, καθώς και του δείκτη Q μέσω συσχέτισης των άλλων δύο δεικτών (RMR, GSI). Η ταξινόμηση της σμύριδας γίνεται βασισμένη στην δοκιμή σημειακής φόρτισης που έγινε στο εργαστήριο τεχνολογίας διάνοιξης σηράγγων του ΕΜΠ.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, επιλέγεται η μέθοδος εκμετάλλευσης αναλύοντας τα χαρακτηριστικά των υπό εξέταση κοιτασμάτων (την θέση, γεωμηχανικά χαρακτηριστικά, ποιότητα-αξία και κόστος του παραγόμενου υλικού, προστασία του περιβάλλοντος). Η επιλογή που γίνεται είναι η μέθοδος των θαλάμων και στύλων. Στην συνέχεια του κεφαλαίου υπολογίζονται τα βέλτιστα γεωμετρικά

χαρακτηριστικά της μεθόδου, με τρόπο ώστε να πετυχαίνεται ο προβλεπόμενος συντελεστής ασφάλειας σε συνδυασμό με τον μεγαλύτερο δυνατό συντελεστή απόληψης σμύριδας.

Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφονται αναλυτικά όλες οι εξορυκτικές εργασίες που επιτελούνται τόσο κατά τη φάση της προσπέλασης όσο και στη φάση της παραγωγής. Δίνονται τα σχέδια διάτρησης και πυροδότησης των μετώπων σμύριδας και δολομιτικού μαρμάρου, υπολογίζονται οι απαιτούμενες ποσότητες των εκρηκτικών υλών, υπολογίζεται η πυκνότητα κοχλίωσης της οροφής και το απαιτούμενο μήκος των αγκυρρίων και αναφέρονται λεπτομέρειες για τις διαδικασίες του αερισμού, του ξεσκαρώματος, της φόρτωσης και της μεταφοράς. Τέλος, υπολογίζονται χρονικά επακριβώς όλες οι εξορυκτικές εργασίες κατά τη διάρκεια της βάρδιας.

Το έβδομο κεφάλαιο αφορά τον υπολογισμό του κόστους της υπόγειας εκμετάλλευσης. Το κόστος παραγωγής υποδιαιρείται σε λειτουργικές δαπάνες, δαπάνες προσωπικού, και απρόβλεπτα έξοδα. Επίσης γίνεται αναφορά στην διάθεση του προϊόντος στην διεθνή αγορά.

Abstract

The present thesis concerns the mapping of the basic parameters of a modern underground mining operation of emery deposits on the island of Naxos. For this purpose, a standard underground exploitation is planned and developed on the basis of which the various phases of work are analyzed, the resources required for their execution are calculated and the assessment of their relative costs is carried out. The main purpose of the work is to achieve a rational scientific exploitation where on one hand it will achieve a high rate of productivity and mechanization, and on the other it will contribute to a safer work environment for the emery miners.

In the context of the present work, the new proposed model of operations is presented in detail and the parameters of the work cycle are determined, the forms of access and enclosure projects are designed, and research on existing underground farms is carried out. Finally, the operation cost estimates of the emery are presented. In detail:

The first chapter deals with the uses of emery as well as its history up to modern times.

The second chapter refers to the geology of the island of Naxos and more specifically to the northeastern part of the island, which is the area where the emery appears. Specifically, data is provided regarding the geological structure and deposits of the area of occurrence, as well as the mineralogical composition and properties of the emery.

The third chapter presents a statistical survey conducted in the context of the work on the characteristics of the 116 existing emery mines.

The fourth chapter concerns the classification of rock mass. This is done for the emery rocks but also for the dolomite marble. The RMR, GSI, and Q indicators are determined by correlation between the other two indicators (RMR, GSI). The emery is classified based on the point charge test performed in the NTUA tunnel drilling technology laboratory.

In the fifth chapter, the exploitation method is selected by analyzing the characteristics of the deposits under examination (location, geotechnical characteristics, quality-value and cost of the material produced, environmental protection). The choice made is the method of chambers and poles. Next in the chapter, the optimal characteristics of the method are calculated, in such a way that the expected safety factor may be achieved in combination with the highest possible emission rate.

The sixth chapter describes in detail all the mining operations that are performed during the access and production phase. The drilling and firing plans of the emery and dolomite marble

fronts are provided, the required quantities of explosives are calculated, the density of the roof support and the required length of the bolts are calculated and details are given about the procedures of aeration, ventilation, excavation and transporting. Finally, all mining operations are accurately calculated timewise during the shift.

The seventh chapter deals with the calculation of the cost of underground exploitation. Production costs are subdivided into operating costs, staff costs, and unforeseen expenses. Reference is also made to the offering the product on the international market.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	4
1. Εισαγωγικά	11
1.1 Η Σμύριδα Νάξου.	11
1.2 Ιστορικά στοιχεία.....	11
2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑ	16
2.1 Γεωμορφολογία.....	16
2.2 Γεωλογικά στοιχεία	16
2.3 Γεωλογική δομή.....	19
2.4 Τεκτονικά στοιχεία	20
Η τεκτονική ενότητα του Ζα	21
Η τεκτονική ενότητα του Λιωνά και Δανακού.....	21
Η τεκτονική ενότητα της Αμμόμαξας	22
Η τεκτονική ενότητα της Κεραμωτής	22
2.5 Σμυριδοφορία	24
2.6 Γενική ορυκτολογική σύσταση	26
2.7 Ιστός.....	26
2.8 Ιδιότητες.....	27
2.9 Σεισμική δραστηριότητα.....	28
3. Υφιστάμενες εκμεταλλεύσεις σμύριδας.....	31
3.1 Διάμετρος στύλων υποστήριξης.....	35
3.2 Μήκος θαλάμων	37
3.3 Εμβαδόν ορυχείων.	40
3.4 Προσπελαστικές στοές.....	41
3.5 Μήκος δευτερευουσών προσπελάσεων.	44
3.6 Εμβαδόν ορυχείων χωρίς στύλους.....	45
4. Ταξινόμηση Βραχόμαζας	47
4.1 Στοιχεία για τα χαρακτηριστικά των ασυνεχειών της εξεταζόμενης βραχόμαζας.....	47

4.2 Το σύστημα ταξινόμησης RMR	49
4.2.1 Υπολογισμός δείκτη RQD	50
4.3 Ο Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής GSI.....	51
4.4 Συσχετίσεις μεταξύ των γεωτεχνικών ταξινομήσεων.....	52
4.5 Γεωτεχνική ταξινόμηση Δολομιτικού Μαρμάρου Νάξου	53
4.5.1 Προσδιορισμός δείκτη RMR Δολομιτικού Μαρμάρου Νάξου	53
4.5.2 Προσδιορισμός δείκτη GSI Δολομιτικού Μαρμάρου Νάξου.....	54
4.5.3 Προσδιορισμός δείκτη Q Δολομιτικού Μαρμάρου Νάξου.	55
4.6 Δοκιμή σημειακής φόρτισης (point load test).....	55
4.7 Εργαστηριακές δοκιμές σημειακής φόρτισης (point load test).....	62
4.8 Συμπεράσματα από δοκιμή σημειακής φόρτισης.....	66
4.9 Γεωτεχνική Ταξινόμηση Σμύριδας Νάξου.....	67
4.9.1 Προσδιορισμός δείκτη RMR Σμύριδας Νάξου.....	67
4.9.2 Προσδιορισμός δείκτη GSI Σμύριδας Νάξου.....	68
4.9.3 Προσδιορισμός δείκτη Q Σμύριδας Νάξου.	69
5. Προτεινόμενη μέθοδος υπόγειας εκμετάλλευσης	70
5.1 Σχεδιασμός θαλάμων και στύλων.....	73
5.1.1 Φόρτιση που αναπτύσσεται στους στύλους.....	74
5.1.2 Αντοχή των στύλων.....	75
5.1.3 Συντελεστής ασφαλείας.....	75
5.1.4 Απόληψη κοιτασμάτων.	76
5.2 Υπολογισμός διαστάσεων της μεθόδου θαλάμων και στύλων	76
6. Εργασίες εκμετάλλευσης.....	80
6.1 Προτεινόμενες θέσεις εκμετάλλευσης.....	81
6.2.1 Όρυξη διατηρημάτων.	81
6.2.2 Γόμωση – Πυροδότηση – Ανατίναξη.....	85
6.2.3 Αερισμός.....	87
6.2.4 Ξεσκάρωμα	88
6.2.5 Φόρτωση – Μεταφορά.	88

6.2.6 Υποστήριξη.....	90
6.3 Χρονικός προγραμματισμός εργασιών	94
6.3.1 Χρονική διάρκεια διάτρησης	94
6.3.2 Χρονική διάρκεια γόμωσης	95
6.3.3 Χρονική διάρκεια ανατίναξης και αερισμού	96
6.3.4 Χρονική διάρκεια φόρτωσης και μεταφοράς.....	96
6.3.5 Χρονική διάρκεια ξεσκαρώματος	98
6.3.6 Χρονική διάρκεια υποστήριξης	98
7. Εκτίμηση κόστους υπόγειας εκμετάλλευσης.....	103
7.1 Κόστος Επένδυσης	103
7.2 Ανάλυση κόστους.....	104
7.3 Λειτουργικό κόστος εκμετάλλευσης	105
7.3.1 Κόστος διάτρησης	105
7.3.2 Κόστος υποστήριξης	108
7.3.3 Κόστος γόμωσης	110
7.3.4 Κόστος φόρτωσης - μεταφοράς	112
7.3.5 Κόστος αερισμού	112
7.4 Δαπάνες προσωπικού.....	117
7.5 Απόσβεση Κεφαλαίου.....	117
7.6 Διάφορα έξοδα.....	121
7.7 Συνολικό κόστος εξόρυξης	121
7.8 Κόστος διαμόρφωσης υφιστάμενων στοών	122
7.9 Διάθεση προϊόντων.....	123
Συμπεράσματα	124
Βιβλιογραφία.....	126
Παράρτημα 1	129
Παράρτημα 2	131
Παράρτημα 3	134

1. Εισαγωγικά

1.1 Η Σμύριδα Νάξου.

Η σμύριδα – «σφυρίγλι» κατά τους ντόπιους - ή νάξια λίθος όπως ονομαζόταν στην αρχαιότητα, είναι αυτό που σήμερα ονομάζεται φυσικό ακόνι. Η Νάξος είναι παγκοσμίως γνωστή για τη σμύριδα που περιέχει στο υπέδαφός της, όπου στο παρελθόν είχε κατακλύσει τις διεθνείς αγορές χάρη στην εξαιρετική ποιότητά της. Η σμύριδα χρησιμοποιείται ως αποξεστικό και λειαντικό για μέταλλα, κράματα, γυαλί, ξύλο, ορυκτά, πετρώματα, αμμοβολή, καθαριστικό ρυζιού, καθώς και ως αντιολισθητικό υλικό σε ασφαλοτάπητες, στα βιομηχανικά δάπεδα, πεζοδρόμια κλπ. Η λειαντική και στιλβωτική ικανότητα της σμύριδας, οφείλεται στη μεγάλη σκληρότητα των κρυστάλλων κορουνδίου που περιέχει. Στον ευρύτερο χώρο του Αιγαίου η σμύριδα της Νάξου υπερτερεί σε ποιότητα (αδρόκοκκη, κυρίως για λείανση) ως προς αυτήν της Τουρκίας (λεπτόκοκκη, κυρίως για στίλβωση) και ως προς αυτήν των άλλων Ελληνικών νήσων όπως π.χ. της Σύρου, που έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε κορούνδιο. (Λιάσκος & Μοσχοβέλης, ΙΓΜΕ 2016)



Εικόνα 1.1 Σμύριδα Νάξου

1.2 Ιστορικά στοιχεία.

Η Ναξιακή σμύριδα υπήρξε ένα από τα σημαντικότερα Ελληνικά ορυκτά για μια μεγάλη περίοδο (Πρωτοπαπαδάκης, 1903). Κατά καιρούς η σμύριδα είχε πολλές εφαρμογές όπως λειαντικό υλικό, διατηρητικό υλικό και παλαιότερα στην πολεμική βιομηχανία. Για τον αρχαίο κυκλαδίτη η χρήση της σμύριδας χρησίμευσε ως λειαντικό μέσο στην κατασκευή εργαλείων και όπλων, συμβάλλοντας επίσης και στην ανάπτυξη της τέχνης καθώς καθιστούσε εύκολο το πριόνισμα ή το τρύπημα του μαρμάρου.

Οι παλαιότερες αναφορές για το εμπόριο ναξιακής σμύριδας είναι την περίοδο Φραγκοκρατίας (1207 -1566). Το δικαίωμα εκμετάλλευσής της το είχαν οι φεουδάρχες, οι οποίοι ήταν οι απόλυτοι κύριοι των ορυκτών που εξορύσσονταν και των νερών που πήγαζαν από τα βουνά της επικράτειάς τους (Κωτσάκης, 2001). Η τουρκική κατάκτηση του Νησιού (1566) δεν μετέβαλε και διατήρησε ακόμη το ίδιο φεουδαρχικό καθεστώς. Με την κατάργηση των φεουδαρχικών δικαιωμάτων το 1721 – 1736 μετά από πολλούς αγώνες των ντόπιων χωρικών, το δικαίωμα εκμετάλλευσής της σμύριδας παραχωρήθηκε στις κοινότητες, που νοίκιαζαν σε εμπόρους το δικαίωμα συλλογής και πώλησής της. Το έτος 1824 η Ελληνική κυβέρνηση, έχοντας ανάγκη χρηματικών πόρων και θεωρώντας τα έσοδα από την σμύριδα σημαντικά, πήρε υπό την κατοχή της τα κοιτάσματα σμύριδας και έτσι ενοικίαζε πλέον εκείνη το δικαίωμα εκμετάλλευσής τους (Μεγάλη-Ελληνική-Εγκυκλοπαίδεια). Μετά την δημιουργία του Ελληνικού κράτους η σμύριδα φθάνει βαθμιαία να θεωρείται ως ένα από τα κυριότερα εξαγωγικά προϊόντα. Με νόμους που ξεκινούν από το 1852 ορίζεται ότι η σμύριδα εξορύσσεται και διατίθεται αποκλειστικά για λογαριασμό του δημοσίου μέσω του Ελληνικού Μονοπωλίου. Στους κατοίκους των γύρω χωριών δίνεται το αποκλειστικό δικαίωμα να μαζεύουν ή να εξορύσσουν για λογαριασμό του δημοσίου τη σμύριδα αντί χρηματικού ποσού που θα τους καταβάλλεται και θα προσδιορίζεται από την ποσότητα της σμύριδας που θα παραδίδουν.

Το 1877 ψηφίστηκε από το Κράτος νόμος «Περὶ τῆς ἐν Νάξῳ ὑπηρεσίας τῆς Σμύριδος», ο οποίος ρύθμιζε θέματα σχετικά με την εξόρυξη, την μεταφορά και την φόρτωση. Παρ' όλα τα προβλήματα (κακές συνθήκες εργασίας, πολύμηνη απεργιακή κινητοποίηση το 1912), παρατηρείται μία ακμή στον τομέα της εκμετάλλευσής και διάθεσής της σμύριδας, κυρίως λόγω της γενικότερης ευρωπαϊκής βιομηχανικής ανάπτυξης. Η εντατικοποίηση της εκμετάλλευσής και η μεγάλη ζήτηση της σμύριδας, προκάλεσε την εισαγωγή στο νησί νέων τεχνολογιών στον τομέα της εξόρυξης και μεταφοράς του μεταλλεύματος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η κατασκευή του εναερίου σιδηροδρόμου «Εναέριος» για την μεταφορά της σμύριδας από τα ορυχεία στο λιμάνι εξαγωγής της, τη Μουτσούνα. Μεγάλο έργο βιομηχανικής υποδομής που έγινε με σκοπό τη μείωση του κόστους μεταφοράς του σμυριγιλιού στα πλοία. Περιελάμβανε 5 σταθμούς φόρτωσης, 72 χαλύβδινους πυλώνες ύψους έως και 50 μέτρων, κεκλιμένα επίπεδα και μηχανοστάσια. Ξεκινούσε από τη θέση Πηγή στην περιοχή της Κορώνου, είχε δύο σταθμούς στις Πεζούλες και στη Στραβολαγγάδα, δρασκέλιζε στη συνέχεια το βουνό Αμμόμαξη στην θέση Αλωνίστρες, περνούσε από δύο ακόμη σταθμούς, και κατέληγε στον όρμο της Μουτσούνας έχοντας καλύψει μια διαδρομή 15 χιλιομέτρων. Είχε τη δυνατότητα μεταφοράς 15 τόνων σμύριδας την ώρα και μετακινούσε 220 κουβάδες–βαγονέτα. Η κατασκευή διήρκεσε από το 1926 έως το 1929, ενώ η λειτουργία του «εναερίου» ξεκίνησε επίσημα το 1930. Λειτουργήσε ως το 1978, οπότε και καταργήθηκε ως αντιοικονομικός για να αντικατασταθεί από φορτηγά αυτοκίνητα και απενεργοποιήθηκε οριστικά το 1985. (Αρχοντάκης & Γιαννούλης, 2001). Η παραγόμενη σμύριδα ήταν ένα πολύ σημαντικό τοπικό προϊόν μέχρι τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Κατά την διάρκεια της Κατοχής, τα σμυριδωρυχεία παραχωρούνται στην ιταλική κυβέρνηση όπου σταματάει την λειτουργία των ορυχείων. Ο Ιταλός κυβερνήτης θα

εξουσιοδοτήσει και θα στείλει στην Ιταλία και τη Γερμανία τις ποσότητες του σμυριγλιού που υπήρχαν στο προαύλιο της Μουτσούνας.



Εικόνα 1.2 Εναέριος σιδηρόδρομος ο «Εναέριος» (Κατεγάκη, 2017).



Εικόνα 1.3 Εναέριος σιδηρόδρομος ο «Εναέριος».



Εικόνα 1.4 Σμυριδωρύχοι φωτογραφίζονται στον «Εναέριο» (Κατεχάκη, 2017).



Εικόνα 1.5 Μουτσούνα. Η σκάλα φόρτωσης με τους δύο περιστρεφόμενους γερανούς.

Από την μεταπολεμική περίοδο μέχρι σήμερα αρχίζει σταδιακά η μείωση της εξαγόμενης ποσότητας σμύριδας, ως τα μέσα της δεκαετίας του 1990, όπου εκτοπίστηκε από την διεθνή αγορά. Αιτία για αυτό δεν πρέπει να θεωρηθεί μόνο η ανακάλυψη της τεχνητής σμύριδας (τεχνητού κορουνδίου), αλλά η διείσδυση του τουρκικού σμυριγλιού στην αγορά, που σταδιακά εκτόπισε το Ναζιώτικο σμυρίγλι, όπως και η αδιαφορία του ελληνικού Δημοσίου να προωθήσει το ορυκτό στην αγορά.

Η σμύριδα εξορύσσεται ακόμα και σήμερα όπου είναι αποκλειστικό προνόμιο των κατοίκων των χωριών της ορεινής Νάξου. Οι σμυριδεργάτες παραδίδουν το σμυρίγλι που εξορύσσουν στο κράτος για να διατεθεί στο εμπόριο, αλλά παράλληλα για να εξασφαλίσουν τα απαραίτητα ένσημα για ασφάλιση και συνταξιοδότηση. Οι σμυριδεργάτες είναι ασφαλισμένοι στο ΙΚΑ με βάση την ποσότητα της σμύριδας που παραδίδουν. Τα ασφάλιστρα πληρώνει το κράτος. Το ΙΚΑ διατηρεί ειδική κατηγορία ασφαλισμένων μέχρι και σήμερα, (Σμυριδεργάτες- Σμυριδοένσημα) (Λιάσκος & Μοσχοβέλης, ΙΓΜΕ 2016).

2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

2.1 Γεωμορφολογία

Η Νάξος είναι το δέκατο σε μέγεθος ελληνικό νησί και βρίσκεται στο μέσον περίπου της απόστασης ανάμεσα στην Πελοπόννησο και τις Μικρασιατικές ακτές. Έχει σχήμα ελλειψοειδές και γεωμορφολογικά διακρίνεται στην ορεινή Νάξο (ανατολική και βόρεια) και την πεδινή Νάξο (δυτική και νότια). Από Β προς Ν την τέμνει μία ορεινή ράχη σχηματίζοντας δύο κορυφές (όρη) τον Ζα (ή Ζευς) και το όρος Κόρωνος.

Οι διαφοροποιημένες γεωμορφολογικές ενότητες της Νάξου χαρακτηρίζονται από το διαφορετικό ανάγλυφο του εδάφους. Στη δυτική πεδινή ζώνη, η οποία αντιπροσωπεύει το 30% περίπου της συνολικής έκτασης του νησιού, το ανάγλυφο είναι ήπιο και οι κλίσεις εδάφους μικρές, της τάξης του 5%. Το ανάγλυφο στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα του νησιού έχει κλίσεις που κυμαίνονται από 10% έως 30%, οι οποίες καταλήγουν στα παράλια σε ζώνες κλίσεων 5% έως 10%. Διάσπαρτες, κύρια προς το ΒΑ άκρο και τις δυτικές πλαγιές των βουνών Ζας και Κόρωνος σε υψόμετρο πάνω από 800 μ., εντοπίζονται περιοχές με κλίσεις που υπερβαίνουν το 30%.

2.2 Γεωλογικά στοιχεία

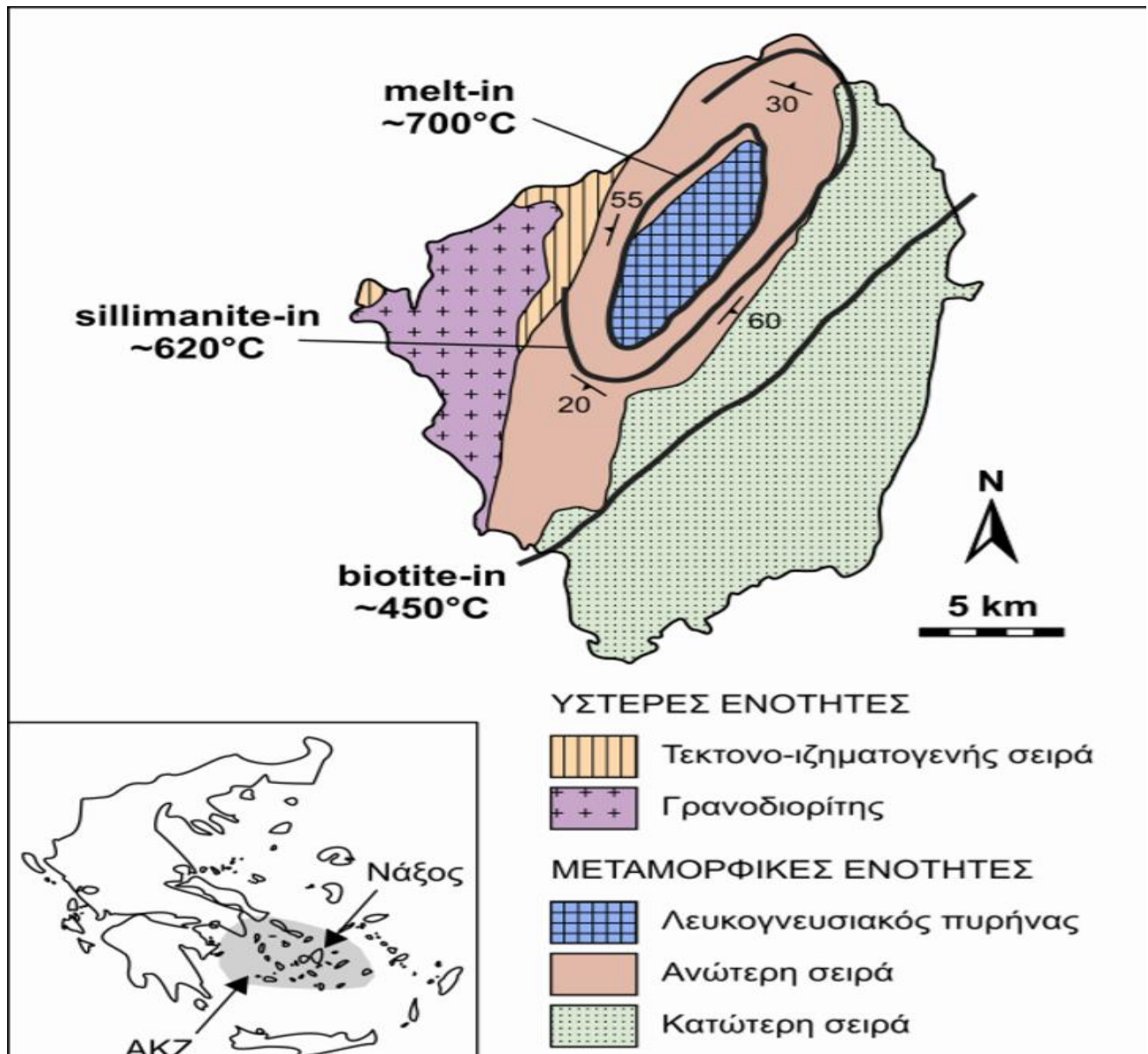
Η νήσος αποτελεί τμήμα της Αττικοκυκλαδικής ζώνης και σε γενικές γραμμές μπορεί να περιγραφεί ως ένας ελλειπτικός δόμος, κύριας διεύθυνσης Β15°Α, ο οποίος αποτελείται κατά κύριο λόγο από σχιστόλιθους, γνεύσιους και μάρμαρα. Στον πυρήνα του δόμου αυτού βρίσκεται η μιγματική διείδυση. Ο μιγματίτης της Νάξου περιβάλλεται από μια πολυπτυχωμένη σειρά μαρμάρων σχιστόλιθων και γνεύσιων, σε εναλλαγές. Η σειρά αυτή στα κατώτερα τμήματά της, κοντά δηλαδή στο μιγματικό δόμο, έχει έντονα πτυχωμένα πετρώματα αμφιβολιτικής σύστασης, φακούς και μετα-υπερβασίτες. Στα ανώτερα τμήματά της συναντώνται μετακροκαλοπαγή και κοιτάσματα σμύριδας (μεταβωξίτες).

Το εσωτερικό του μιγματίτη, όπως υποδηλώνουν μετρήσεις με ισότοπα Rb/Sr, έδειξαν για τους μιγματικούς γνευσίους παλαιοζωική ηλικία. Στο κέντρο του μιγματικού αυτού δόμου εμφανίζονται υπολείμματα μαρμάρων, σχιστόλιθων και αμφιβολιτών. Ο βαθμός μεταμόρφωσης αυξάνει από την περιφέρεια προς την κεντρική περιοχή του δόμου.

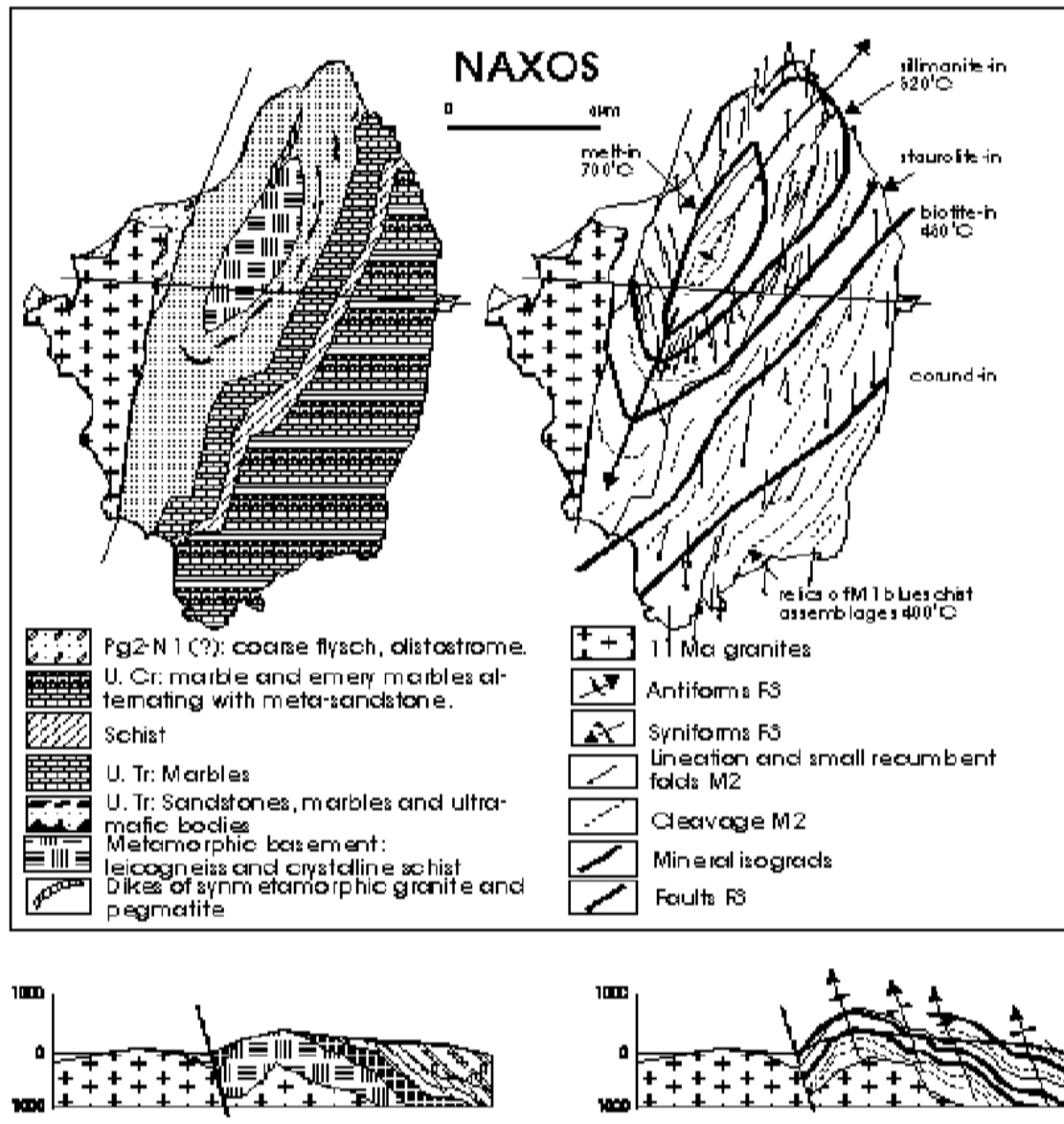
Εκτός από την κυριαρχούσα αντικλινοριακή δομή, που έχει ως κεντρικό άξονα τη διεύθυνση Β15°Α του μιγματικού δόμου, συναντώνται δευτερεύοντες άξονες πτυχών και γραμμώσεων με διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ. Όλες οι τεκτονικές αυτές γραμμές είναι αποτέλεσμα της ανάπτυξης του δόμου και της τεκτονικής δραστηριότητας που τοποθετείται στα 25m.a. με συνθήκες πίεσης 6 Kbars.

Όλα σχεδόν τα πετρώματα που περιβάλλουν το μιγματικό δόμο έχουν ιζηματογενή χαρακτήρα (μεταμορφωμένα ανθρακικά, μάργες, πηλίτες, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή). Σε μικρή απόσταση από το μιγματικό δόμο επικρατούν εναλλασσόμενοι μεταπηλίτες με μάρμαρα. Η εναλλαγή αυτή οφείλεται στην καθολικής κλίμακας ισοκλινή πτύχωση, ηλικίας Ηωκαίνου. Στη βάση αυτής της εναλλαγής εμφανίζονται φλέβες αμφιβολιτών, μετα-υπερβασικά πετρώματα, ασβεστοπυριτικά πετρώματα και χαλαζιτικοί απλίτες. Τα μετα-υπερβασικά πετρώματα απαντώνται κυρίως κοντά στο μιγματίτη και είναι ολισθόλιθοι, οι οποίοι εμφανίζονται με τη μορφή περιδοτικής σύστασης ξενόλιθων, μέσα σε βασαλτικής σύστασης λάβες που αντιπροσωπεύουν την επιφάνεια ολίσθησης μιας πιθανής επώθησης.

Πάνω από τις μεταμορφωμένες σειρές συναντώνται υπολείμματα μη μεταμορφωμένων πετρωμάτων που είναι τμήματα από τα Πελαγονικά καλύμματα, τα οφιολιθικά καλύμματα και τη Μεσοελληνική μολάσσα.



Εικόνα 2.1 Γεωλογικός χάρτης Νήσου Νάξου (Matthews, Matthey, & Baker, 2002)



Εικόνα 2.2 Γεωλογικός - τεκτονικός χάρτης Νήσου Νάξου και αντίστοιχες τομές (Jansen 1973, Henzen-Kunst, Kreuzer 1982, van der Maar, Jansen, 1983) (Κανακάρης, 2016).

2.3 Γεωλογική δομή

Γεωλογικός η ερευνηθείσα περιοχή συνίσταται σχεδόν εξ ολοκλήρου από μεταμορφωμένους σχηματισμούς. Τα απαντώμενα είδη είναι μάρμαρα και σχιστόλιθοι.

Μάρμαρα: Η μεγαλύτερη έκταση της χαρτογραφημένης περιοχής καταλαμβάνεται από τα μάρμαρα. Αυτά είναι κυρίως παχυπλακώδη λευκά έως λευκότεφρα και το πάχος τους αρκετά σημαντικό. Στο εσωτερικό τους βρίσκονται τα κοιτάσματα της σμύριδας σε μορφή στρωματοειδών φακών. Τα μάρμαρα στην σμυριδοφόρο περιοχή είναι χονδροκρυσταλλικά και

καθίστανται στην περιοχή στην επαφή με την σμύριδα αρκετά χονδρόκοκκα (κοινώς αλατόνερο από τους σμυριδωρύχους). Χαρακτηριστικό των μαρμάρων είναι ο αποχωρισμός τους κατά ορθογώνια παραλληλεπίπεδα που οφείλεται σε τεκτονικές πιέσεις όπως και ο αποχωρισμός παράλληλα προς τη στρώση. Επίσης, συχνή είναι η παρουσία εντός αυτών ενστρώσεων από μαρμαρυγιάκους σχιστόλιθους. Σε ορισμένες θέσεις όπως στις περιοχές μεταξύ των χωριών Σκαδού και Μέσης, βόρεια του χωριού Κόρωνος και αλλού τα μάρμαρα διασχίζονται από πηγματικές φλέβες και κοίτες μεγάλου πάχους που περιέχουν σε μεγάλη αναλογία βελονοειδείς κρυστάλλους τουρμαλίνη και φυλλάρια μοσχοβίτη. Εκτός των φλεβών αυτών απαντώνται σε ορισμένες θέσεις απλιτικές και χαλαζιακές φλέβες.

Σχιστόλιθοι: Αυτοί απαντώνται κυρίως υπό τη μορφή των διμαρμαρυγιάκων, μοσχοβιτικών σχιστόλιθων και συνήθως εντός αυτών παρατηρούνται ενστρώσεις αμφιβολιτών όπως και βιοτιτικών σχιστόλιθων. Το πάχος τους ποικίλει ανά θέσεις αλλά η έκταση τους είναι πολλή μικρότερη από την έκταση των μαρμάρων. Συχνά παρουσιάζονται και εντός των σχιστόλιθων πηγματιτικές φλέβες με τουρμαλίνη όπως και ενστρώσεις μαρμάρων.

2.4 Τεκτονικά στοιχεία

Από τη γεωλογική χαρτογράφηση της επιφάνειας της περιοχής που ερευνούμε γίνεται φανερή η παρουσία εναλλασσόμενων στρωμάτων μεγάλου πάχους μαρμάρων και σχιστόλιθων. Σύμφωνα με τις απόψεις ειδικών ερευνητών οι οποίοι έχουν ασχοληθεί με το θέμα της σμύριδας, στην περιοχή της νήσου Νάξου έχουν λάβει χώρα επωθητικές κινήσεις μεγάλης κλίμακας. Ίχνη όμως τέτοιων κινήσεων δεν κατέστη δυνατόν να εντοπισθούν τουλάχιστον στην χαρτογραφηθείσα περιοχή. Η ερευνηθείσα περιοχή αποτελεί τεκτονικώς το ανατολικό τμήμα ενός μεγάλου αντικλίνου του οποίου ο άξονας έχει διεύθυνση BBA-NNΔ. Η παρουσία ρηγμάτων και μεταπτώσεων είναι αρκετά συνήθης. Απαντώνται δύο συστήματα ρηγμάτων τα οποία έχουν διεύθυνση BBA-NNΔ και ΒΔΔ-ΝΑΑ. Τα ρήγματα αυτά συμπίπτουν πολλές φορές με τους άξονες χαραδρώσεων της περιοχής. Πάντως δεν λείπουν και ρήγματα που παρεκκλίνουν από τις ανωτέρω διευθύνσεις.

Επίσης, να ληφθεί υπόψη ότι στο βόρειο κυρίως τμήμα της χαρτογραφηθείσας περιοχής εντοπίστηκαν και μικροπτυχώσεις, οι οποίες έχουν δημιουργήσει συγκλινικές και αντικλινικές μορφές. Συχνά οι αντικλινικές αυτές μικροπτυχές αποτελούν και θέσεις εντοπίσεως κοιτασμάτων σμύριδας.

Από το τεκτονικό υπερκείμενο προς το υποκείμενο διακρίνονται οι εξής πέντε τεκτονικές ενότητες:

- Τεκτονική ενότητα του Ζα
- Τεκτονική ενότητα του Λιώνα και Δανακού
- Τεκτονική ενότητα του Φαναρίου

- Τεκτονική ενότητα της Αμμόμαζας
- Τεκτονική ενότητα της Κεραμωτής

Η τεκτονική ενότητα του Ζα

Την ενότητα συνθέτουν δύο ορίζοντες γκριζομπλέ έως γκρι, πλακωδών, λεπτοκρυσταλλικών μαρμάρων, πάχους 100-150μ και οι δύο ορίζοντες δολομιτών, πάχους 150-200μ. Ο κατώτερος δολομιτικός ορίζοντας αποσφηνώνεται προς Ν σε μία σχεδόν παράλληλη προς τη στρώση Ζώνη επωθήσεως και επιπτεύσεως. Υπάρχουν ομοιότητες μεταξύ των οριζόντων των μαρμάρων, όπως επίσης μεταξύ των οριζόντων των μαρμάρων, όπως επίσης μεταξύ των δολομιτικών οριζόντων. Παραμένει ακόμα άλυτο το πρόβλημα εάν προέρχονται οι δύο ορίζοντες μαρμάρων και δολομιτών εξαιτίας πτυχωσιγενούς τεκτονικής και λεπιώσεως από αντίστοιχα έναν ορίζοντα μαρμάρων και ένα δολομιτών. Το ανώτερο τμήμα της σειράς του Ζα δομείται από τους σχιστόλιθους του Μουτσούνα, οι οποίοι παρόλο που φαίνονται να επικάθονται σε συμφωνία παρουσιάζουν έντονη εσωτερική καταπόνηση. Επί των σχιστόλιθων αυτών επικάθεται προς το νότο και εκτός της χαρτογραφηθείσας περιοχής, η ανθρακική σειρά του Πανόρμου. Στο υποκείμενο της σειράς του Ζα εμφανίζεται, διαχωριζόμενη από μία Ζώνη τεκτονικής καταπόνησεως παράλληλη προς τη στρώση, η τεκτονική ενότητα του Λιώνα και του Δανακού.

Η τεκτονική ενότητα του Λιωνά και Δανακού

Στην τεκτονική ενότητα Λιωνά και Δανακού διακρίνονται δύο στρωματογραφικές σειρές.

Η σειρά Λιωνά

Τη συνθέτουν τρεις χαρακτηριστικοί ορίζοντες μαρμάρων: ένας γκρί έως γκριμπλέ, ένας λευκός και ένας ανοιχτόχρωμος δολομιτικός. Οι τρεις ορίζοντες διαχωρίζονται μεταξύ τους με δύο παρεμβalλόμενους, μικρού πάχους ορίζοντες σχιστόλιθων. Ιδιαίτερα χαρακτηριστικός είναι ο κατώτερος ορίζοντας μαρμάρων, που παρουσιάζει το μεγαλύτερο πάχος από τους τρεις ορίζοντες έχει απόχρωση ανοιχτόχρωμη, κατά θέσεις κυανόλευκη και εμπεριέχει ακανόνιστα αποσφηνούμενες παρεμβολές δολομιτικού υλικού. Έντονα κατακερματισμένα και επωθημένα αντίστοιχα τεμάχια της σειράς Λιωνά παρατηρούνται και στο υποκείμενο των δολομιτικών λεπιών του υψώματος 458μ NNA της Μέσης, όπως επίσης στο υποκείμενο του δολομιτή του όρους Ζα, Αμμόμαζας και νοτιότερα του σημείου αυτού, στο λιγότερο τεκτονικά καταπονημένο επωθημένο τεμάχιο του Καστρίου.

Η σειρά Δανακού

Στο υποκείμενο των σχιστόλιθων της βάσεως της σειράς Λιωνά ακολουθούν σε συμφωνία μεγάλου πάχους, σκούρα μπλε, τραπεζώδη, μάρμαρα της σειράς Δανακού, που παρουσιάζονται πτυχωμένα και σχηματίζουν ένα μικρής κλίσεως αντίκλινο φοράς. Στον πυρήνα του αντικλίνου ακολουθεί ο κατώτατος ορίζοντας της ενότητας Δανακού-Λιωνά, δηλαδή τα μετακροκαλοπαγή, τα οποία εμφανίζονται σε 4 θέσεις του διαβρωμένου πυρήνα του αντικλίνου. Τα δυτικά περιθώρια της σειράς Δανακού καταλαμβάνονται από μία Ζώνη επωθήσεως, δυτικής φοράς που στο νότιο της τμήμα εμφανίζει κλίσεις σχεδόν 90°, ενώ στο βόρειο της τμήμα εμφανίζει κλίσεις σαφώς μικρότερες.

Η τεκτονική ενότητα του Φαναριού

Η τεκτονική ενότητα του Φαναρίου δομείται, όπως και οι υπόλοιπες τέσσερις από εναλλαγές διαφόρων μαρμάρων, δολομιτών και σχιστόλιθων. Κύριο χαρακτηριστικό της είναι η έντονη ισοκλινή πτύχωση. Η σύνθεση μιας εύκολα διακρινόμενης στρωματογραφικής ανθρακικής σειράς δεν έχει ακόμη επιτευχθεί. Στο υποκείμενο της ενότητας Φαναριού παρουσιάζεται νότια του δρόμου Απειράνθου-Σταυρού και αμέσως βόρεια του Απειράνθου, μια λωρίδα μαρμάρων-δολομίτη με σαφή δομή αντικλίνου, που ανήκει πιθανώς στην ενότητα Αμμόμαξας.

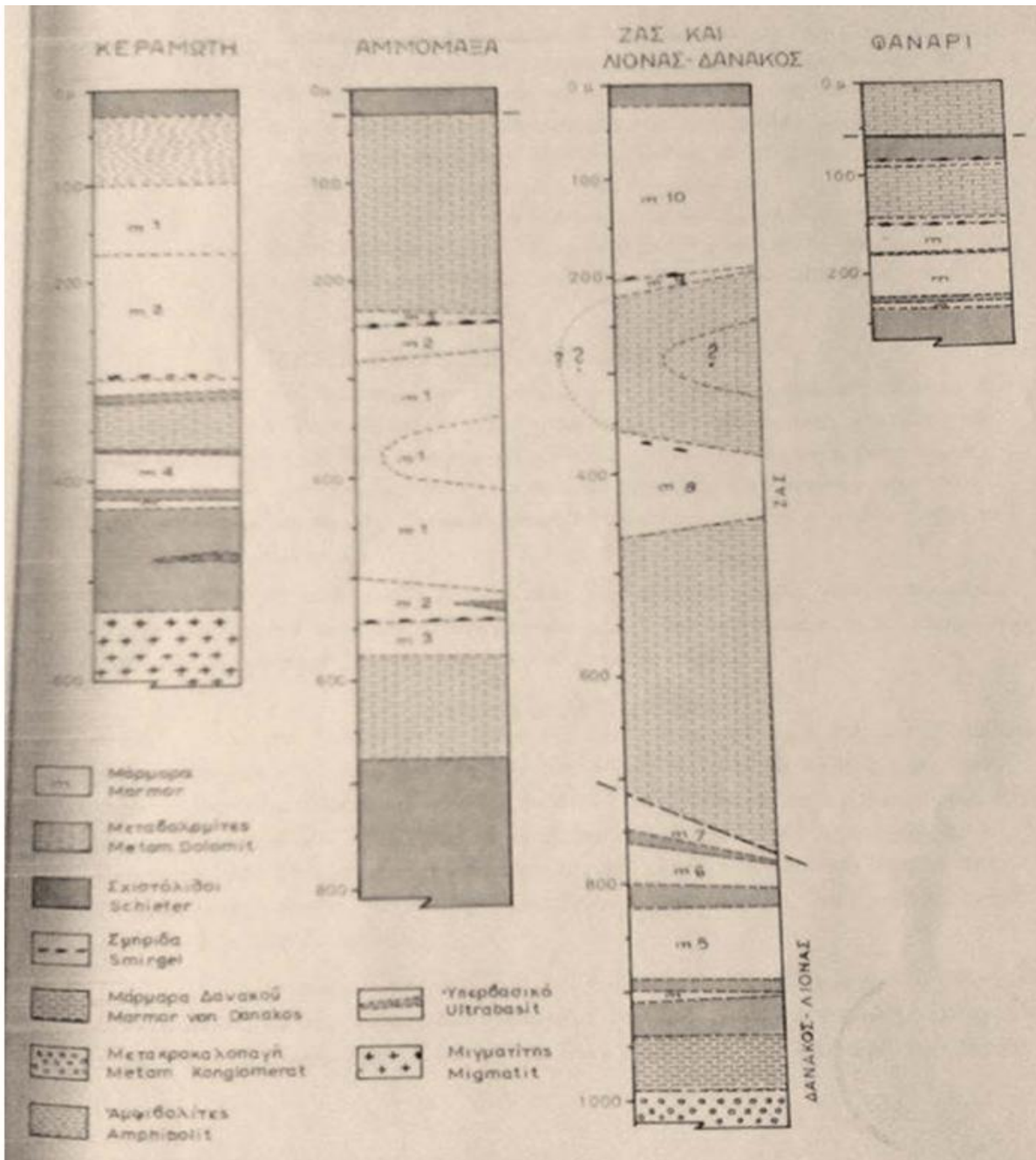
Η τεκτονική ενότητα της Αμμόμαξας

Η τεκτονική ενότητα της Αμμόμαξας δομείται από δύο πανομοιότυπες ακολουθίες Μαρμάρου-Δολομίτη, που σχηματίστηκαν από το δυτικής φοράς αντίκλινο του Μαχαιρά (αναπτύσσεται σε μήκος χιλιομέτρων), και προέρχονται από μία μόνο πρωταρχική ανθρακική σειρά. Η στρωματογραφική σύνθεση της ανώτερης και κατώτερης σειράς Αμμόμαξας διαφαίνεται στη στυλοειδή τομή της. Και οι δύο σειρές της Αμμόμαξας είναι πλούσιες σε σμύριδα. Εμφανίζονται σε δύο μεγαλόπρεπες φυσικές τομές κατά μήκος των Α-Δ διευθύνσεως λεκανών του Ρουτζουνά και του Λιώνα. Τα όρια της ενότητας της Αμμόμαξας προς τα ανατολικά είναι η επωθημένη ενότητα Λιωνά-Δανακού και προς τα δυτικά οι υποκείμενοι σχιστόλιθοι του Κορωνού. Νότια της μεγάλης ΔΝΔ διευθύνσεως μετάπτωσης του Σταυρού η ενότητα Αμμόμαξας βυθίζεται κάτω από τις ενότητες Λιωνά και Φαναριού, καθώς και κάτω από τους σχιστόλιθους του Απειράνθου, που τουλάχιστον τμηματικά, αντιπροσωπεύουν τους σχιστόλιθους της βάσεως της ενότητας Λιωνά. Προς το βορρά η ενότητα της Αμμόμαξας αναπτύσσεται και πέρα της Μέσης.

Η τεκτονική ενότητα της Κεραμωτής

Η ενότητα αυτή που μοιάζει στη δομή της με αυτήν της Αμμόμαξας, αποτελεί τη βαθύτερη τεκτονική ενότητα. Θεωρείται πολύ πιθανή η προέλευση της, λόγω ισοκλινούς πτυχώσεως και

λεπιώσεως, από την ίδια αρχική ιζηματογενή σειρά, όπως και στην περίπτωση της ενότητας Αμμόμαξα.



Εικόνα 2.3 Στρωματογραφικές στήλες των τεκτονικών ενότητων (Χέχτ & Βακόντιο, ΙΓΜΕ 1979).

2.5 Συμριδοφορία

Η επικρατέστερη θεωρία για την γένεση της σμύριδας της Νάξου είναι ότι πρόκειται για προϊόν μεταμορφώσεως παλιών βωξιτών (μεταβωξίτες) των οποίων το αργιλικό υλικό αποτέθηκε σε καρστικά έγκοιλα. Η μεταμόρφωση των βωξιτών υπολογίζεται ότι έλαβε χώρα κατά την αλπική ορογένεση (75.000.000-25.000.000 χρόνια πριν) κάτω από ειδικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Ενδείξεις για την παραπάνω θεωρία είναι ότι:

- 1) κατά θέσεις στην Νάξο απαντώνται διασπορίτες (ένα στάδιο μεταμορφώσεως πριν την δημιουργία της σμύριδας)
- 2) απαντάται το ορυκτό διάσπορο και μέσα σε κάποιες ποικιλίες σμύριδας της Β ποιότητας
- 3) παρατηρείται πολύ σπάνια ένας πηλολιθικός ιστός χαρακτηριστικός των βωξιτών.

Ο βαθμός μεταμόρφωσης των βωξιτών είναι επομένως αυτός που καθορίζει και την δημιουργία διασπορίτη ή σμύριδας. Έτσι συγκρινόμενες μεταξύ τους οι εμφανίσεις «σμύριδας» στον ευρύτερο χώρο του Αιγαίου, έχουμε την κατώτερη ποιότητα στην Σάμο (με άφθονο διάσπορο), την μεσαία ποιότητα στην Μικρά Ασία (λεπτόκοκκη - στιφρότερη σμύριδα, προτιμητέα για στίλβωση) και την καλύτερη στην Νάξο (πιο αδρόκοκκη σμύριδα, προτιμητέα για λείανση).

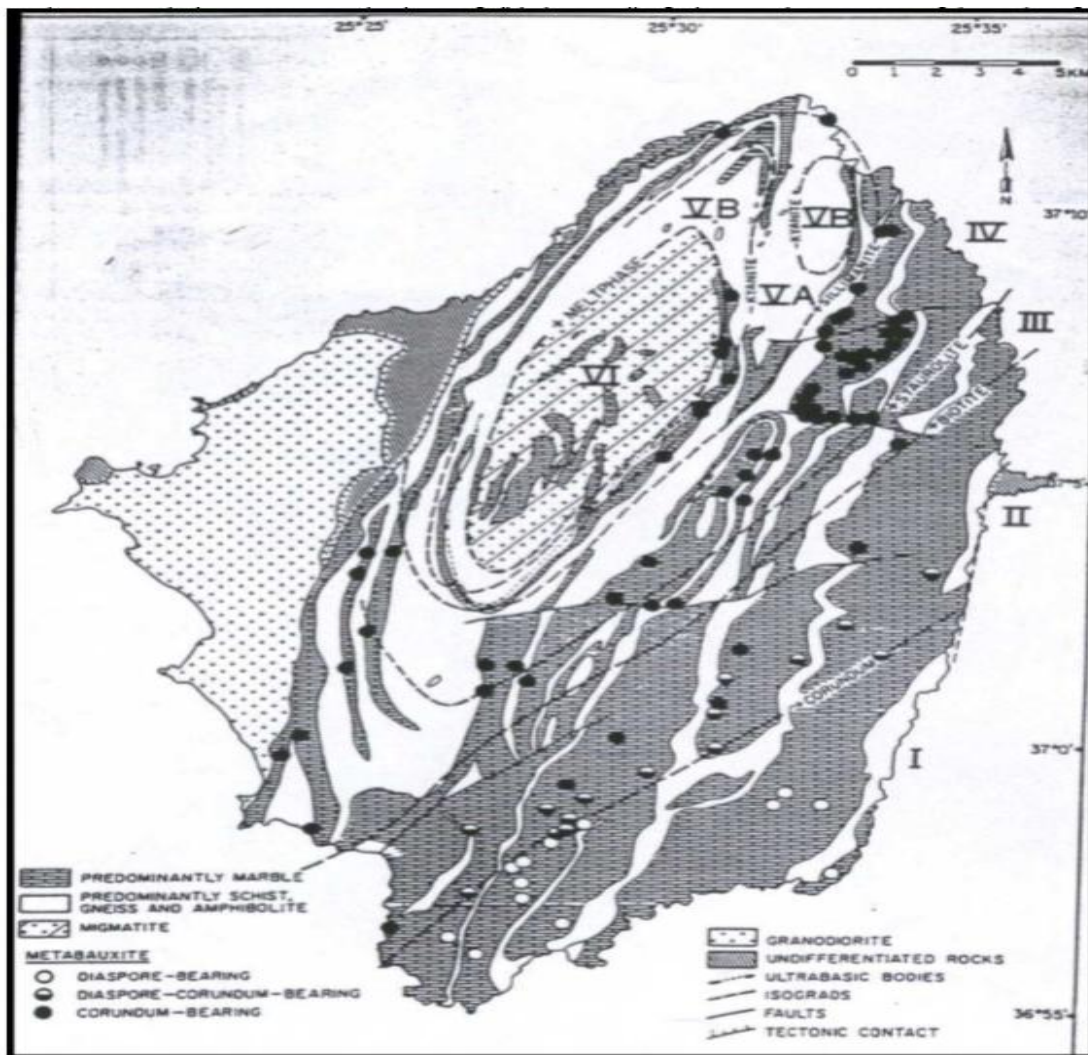
Τα συμριδοφόρα κοιτάσματα εντοπίζεται στο εσωτερικό των βουνών της Νάξου, στο βορειοανατολικό τμήμα του νησιού. Τα κοιτάσματα σμύριδας απαντώνται υπό μορφή στρωματοειδών φακών ακλουθώντας τις διευθύνσεις στρώσεως των μαρμάρων, ενώ σε σπάνιες περιπτώσεις παρατηρήθηκαν φλεβικοί σχηματισμοί. Οι φακοί σμύριδας έχουν πάχος 1-10 μέτρα και μήκος-πλάτος μερικές δεκάδες μέτρα, με κλίσεις μικρότερες των 30° (Χέχτ & Βακόνδιο, ΙΓΜΕ 1979). Στα χαμηλότερα σημεία του παλαιοαναγλύφου υπάρχουν στρωματοειδή κοιτάσματα με αυξομειούμενο πάχος μέχρι 2 μέτρα και μήκος-πλάτος μεγαλύτερο από 100 μέτρα. Εμφανίζονται σε βάθη μεταξύ 30-100 m (Λιάσκος & Μοσχοβέλης, ΙΓΜΕ 2016).

Τα μάρμαρα που βρίσκονται κοντά στη σμύριδα λόγω ανακρυστάλλωσης παρουσιάζονται χονδροκρυσταλλικά και αρκετά εύθρυπτα. Η σμύριδα απαντάται σε κοιτάσματα ποικίλου μεγέθους από βολβούς μέχρι κοίτες 80.000 τόνων, ακανόνιστα διασπαρμένων εντός του μαρμάρου. Συνεπώς, ο υπολογισμός αποθεμάτων μέσω γεωλογικών μεθόδων καθίσταται αδύνατος, διότι ούτε ο αριθμός, ούτε το μέγεθος των κοιτασμάτων μπορούν να υπολογιστούν. Συχνή είναι η παρουσία στην επαφή των μαρμάρων με τη σμύριδα ορυκτών δευτερογενούς προέλευσης με επικρατούντα τον μαργαρίτη (ασβεστούχος μαρμαρυγίας). Αρκετά συνηθισμένη είναι η παρουσία στην επαφή των κοιτασμάτων σμύριδας και περιβάλλοντος μαρμάρου ζώνης που προέρχεται από μεταγενέστερες επιδράσεις υδροθερμικών διαλυμάτων επί των ήδη σχηματισμένων κοιτασμάτων σμύριδας και περιβαλλόντων μαρμάρων, και αποτελείται από πλήθος ορυκτών με σπουδαιότερα τους κυανίτη, μαργαρίτη και μοσχοβίτη.

Τα αξιολογότερα κοιτάσματα (Νέου Παλιομίτατου, Σπήλιου, Μαλίων, Κακόρυακα, Ασπαραθροπού, Στραβολαγκάδας, Πεζουλών, Πηγής) εντοπίζονται στις πλαγιές του όρους

Αμμόμαξη και σε υψόμετρο 400-500 μέτρων. Στις πέντε τελευταίες θέσεις υπήρξαν και οι σταθμοί του εναέριου σιδηροδρόμου μεταφοράς της σμύριδας που λειτούργησε από το 1929 έως το 1985. Υπάρχουν όμως και άλλα κοιτάσματα σμύριδας που είχαν εξορυχθεί στο παρελθόν όπως της Κωξακής στο Φιλώτι και Κολαντζί πάνω από την Απείρανθο.

Επίσης υπάρχουν μέσα στα «μάρμαρα Ζα» όπως του Αγ. Αρτεμίου και Καβαλλάρα, που περιέχουν μεν λιγότερο κορούνδιο αλλά σε μεγάλους κόκκους. Σήμερα τα ορυχεία που εκμεταλλεύονται περιορίζονται στη νότια και βόρεια πλαγιά του όρους Αμμόμαξης, όπου τα δικαιώματα εξόρυξης κατέχουν οι κάτοικοι των χωριών Απειράνθου και Κορώνου αντίστοιχα. Στον γεωλογικό χάρτη από Urai J- Feenstra A. εικονίζονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί και οι θέσεις των κοιτασμάτων-εμφάνισεων σμύριδας (χαρακτηριζόμενοι γενετικά ως μεταβωξίτες).



Εικόνα 2.4 Γεωλογικός χάρτης εμφάνισης σμύριδας, (Urai & Feenstra, 2001).

2.6 Γενική ορυκτολογική σύσταση

Τα κυριότερα ορυκτά της σμύριδας Νάξου είναι το κορούνδιο , ο μαγνητίτης, ο αιματίτης, ο μαρμαρυγίας και ο τουρμαλίνης. Από τα υπόλοιπα ορυκτά, που συνοδεύουν τα παραπάνω βασικά, αναφέρονται το διάσπορο, ο κυανίτης, ο ιλμενίτης, ο χλωριτοειδής, ο λειμωνίτης, το ρουτίλιο, ο σιδηροπυρίτης, ο σπινέλλιος, ο σιλλιμανίτης, κ.λπ. Από τα παραπάνω ορυκτά άλλα ανευρίσκονται πάντοτε σε όλες τις ορυκτολογικές αναλύσεις δειγμάτων σμύριδας και άλλα όχι.

Al	Fe	Al+Fe
Κορούνδιο	Μαγνητίτης	Σταυρόλιθος
Διάσπορο	Αιματίτης	Τουρμαλίνης
Υδραργυλλίτης	Λειμωνίτης	Χλωριτοειδής
Σιλλιμανίτης	Ολίγιστο	Βεζουβιανός
Κυανίτης	Γκαιτίτης	Γρανάτης
Μαργαρίτης	Σιδηροπυρίτης	Άλλα ορυκτά
Μοσχοβίτης	Μαρκασίτης	Ρουτίλιο
Χλωρίτης	Ιλμενίτης	Χαλαζίας
Άστριος	Χαλκοπυρίτης	Τάλκης
Καολινίτης	Βιοτίτης	Σφαλλερίτης
Σπινέλιος	Απατίτης	Γαληνίτης

Πίνακας 2.1 Πίνακας Ορυκτών που περιέχει η ναξιακή σμύριδα, (Λιάσκος & Μοσχοβέλης, ΙΓΜΕ 2016).

2.7 Ιστός

Ο ιστός της σμύριδας διαφέρει όχι μόνο από κοίτασμα σε κοίτασμα, αλλά και από σημείο σε σημείο του ίδιου κοιτάσματος. Οι καλές ποιότητες (Α) και (Β) της σμύριδας παρουσιάζουν κοκκώδη έως λεπτοκοκκώδη (στιφρό) ιστό, ενώ οι υπόλοιπες ποιότητες παρουσιάζουν σχιστώδη ή σπανιότερα πηλολιθικό ιστό. Από την άποψη της μηχανικής επεξεργασίας και του εμπλουτισμού, το κορούνδιο παρουσιάζεται υπό μορφή μικρών κόκκων, μέσου μεγέθους 0,2 χιλιοστών , οι οποίοι είναι στενά συνδεδεμένοι κυρίως με το μαγνητίτη και τον αιματίτη, και

δευτερευόντως με τα υπόλοιπα ορυκτά. Οι κόκκοι του κορουνδίου συνήθως περιέχουν εγκλείσματα ή απομίξεις σιδηρούχων ορυκτών.

Η αποδέσμευση του κορουνδίου από τα υπόλοιπα κυρίως σιδηρούχα ορυκτά είναι ιδιαίτερα δύσκολη, δεδομένου, ότι θα πρέπει να λειοτριβηθεί η σμύριδα σε ιδιαίτερα μικρά κοκκομετρικά κλάσματα. Κάτι τέτοιο όμως ανεβάζει ψηλά το κόστος επεξεργασίας και καθιστά το προϊόν εμπορεύσιμο μόνο στα μικρά κοκκομετρικά κλάσματα τα οποία αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό των εμπορικά διακινούμενων ποσοτήτων σμύριδας.

2.8 Ιδιότητες

Χρησιμοποιείται ως αποξεστικό και λειαντικό για μέταλλα, γυαλί, ξύλο, ορυκτά, αμμοβολή και καθαριστικό για το ρύζι. Έχει χρησιμοποιηθεί ακόμα και σε οδοντόκρεμες. Επίσης χρησιμοποιείται ως αντιολισθητικό σε βιομηχανικά δάπεδα και σε πυρίμαχα δάπεδα χυτηρίων, σε ράμπες φόρτωσης και σε πεζοδρόμια. Αποδείχθηκε ότι είναι το καλύτερο για ασφαλοτάτητες σε επικίνδυνα σημεία των αυτοκινητοδρόμων.

Η σμύριδα είναι ένα πέτρωμα που οφείλει τις λειαντικές και στιλβωτικές ικανότητές της στο περιεχόμενο κορούνδιο. Σε μια καλή σχετικά ποιότητα σμύριδας το κορούνδιο μπορεί να κυμαίνεται από 50 μέχρι 65%, τα οξείδια του σιδήρου (μαγνητίης, ιλμενίτης) από 15 μέχρι 30% και τα υπόλοιπα ορυκτά γύρω στο 20%. Όμως η περιεκτικότητα σε οξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3) ποικίλει ασχέτως από την ποιότητα της σμύριδας. Αυτό συμβαίνει γιατί το Al_2O_3 συμμετέχει εκτός από το κορούνδιο και σε άλλα δευτερεύοντα ορυκτά όπως διάσπορο, μαρμαρυγία, χλωριτοειδές. Έτσι π.χ. μια μικρότερη αναλογία Al σε ένα δείγμα δεν σημαίνει απαραίτητα και μικρότερη αναλογία σε κορούνδιο.

Επειδή όμως η περιεκτικότητα σε κορούνδιο είναι δύσκολο να υπολογιστεί, στο εμπόριο η ποιότητα της σμύριδας υπολογίζεται χημικά με βάσει το συνολικό Al_2O_3 . Η λειαντική της ικανότητα εξαρτάται κυρίως από την περιεκτικότητα της σε κορούνδιο, από την ομοιογένεια της μάζας και από την κοκκομετρία της (κοκκώδης, λεπτοκοκκώδης ιστός). Διακρίνονται τρεις ποιότητες σμύριδας στην Νάξο, η Α, η Β και η Γ, που η περιεκτικότητα της κάθε μιας σε Al_2O_3 είναι (Λιάσκος & Μοσχοβέλης, ΙΓΜΕ 2016):

Ποιότητα Α= 55 - 65% Al_2O_3

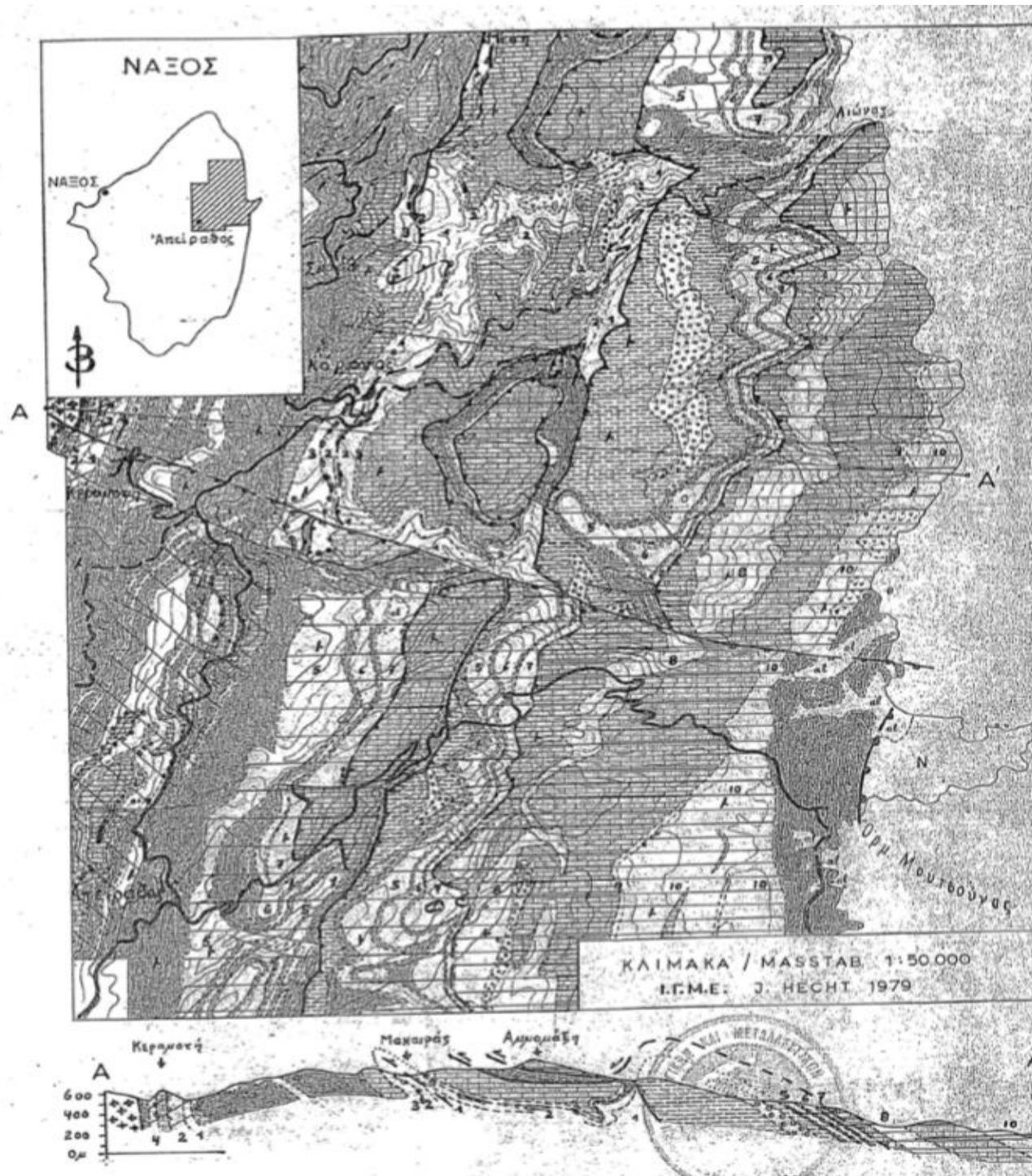
Ποιότητα Β= 50 - 55% Al_2O_3

Ποιότητα Γ= 45% περίπου Al_2O_3

Το ειδικό βάρος της σμύριδας κυμαίνεται γύρω στο 3.8 tn/m^3 , η δε σκληρότητα διαμορφώνεται μεταξύ 7 - 9 στην κλίμακα Μοσ ανάλογα με την ποιότητα.

2.9 Σεισμική δραστηριότητα

Μελέτη της σεισμικής δραστηριότητας έχει καθορίσει ομάδες ρηγμάτων που δρουν κάτω από τις πρόσφατες τεκτονικές τάσεις και τις έχει συσχετίσει με προϋπάρχουσες ανάμεσα στα μεταμορφωμένα πετρώματα. Τα αποτελέσματα της μελέτης αυτής δείχνουν την ύπαρξη δυο κύριων ομάδων ρηγμάτων (Ευελπίδου 2001): Μιας σεισμικής ζώνης διεύθυνσεως Β-Ν, στο δυτικότερο τμήμα των Κυκλάδων, το οποίο συμπίπτει με τη ρηγή λεκάνη που χωρίζει το κυκλαδικό πλατώ από το πλατώ ανάμεσα στο νοτιότερο τμήμα της Αττικής και στο νοτιότερο τμήμα της Εύβοιας, και μία σεισμική περιοχή ανάμεσα στις κεντρικές Κυκλάδες, όπου γίνονται μόνο μικρής έντασης δονήσεις. Η σεισμική συμπεριφορά των Κυκλάδων θα μπορούσε να οφείλεται στην ύπαρξη διεισδυτικής μορφής μέσα στη ζώνη των μεταμορφωμένων, που εκτονώνει την ενέργεια.

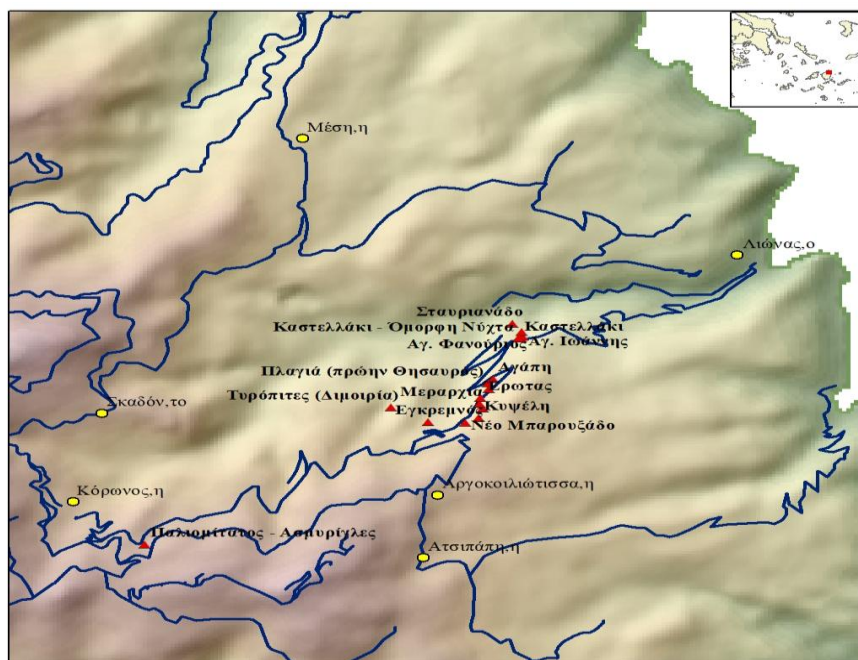


Εικόνα 2.5 Γεωλογικός χάρτης της σμυριδοφόρου περιοχής μεταξύ Απειράθου και Κορώνου (Χέχτ & Βακόνδιο, ΙΓΜΕ 1979).

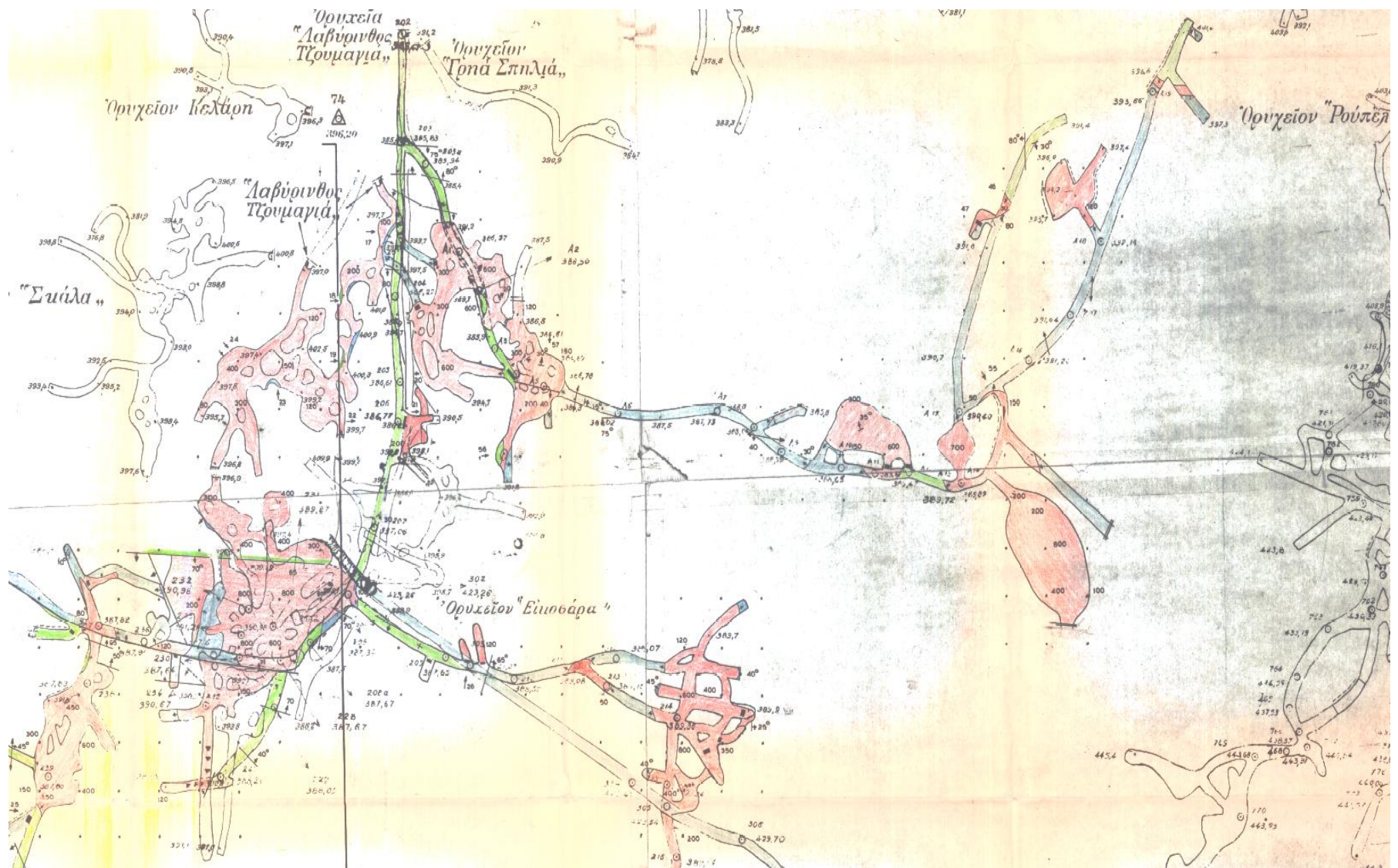
3. Υφιστάμενες εκμεταλλεύσεις σμύριδας

Η εκμετάλλευση της σμύριδας έχει αποτελέσει σημαντικό κεφάλαιο όχι μόνο στην μεταλλευτική ιστορία της χώρας, αλλά και οικονομικό στήριγμα σε δύσκολες περιόδους αυτής. Σήμερα δυστυχώς η εκμετάλλευση της σμύριδας έχει παρακμάσει, με την παραγωγή πλέον να κινείται σε χαμηλά επίπεδα και οι εργασίες να είναι ερασιτεχνικής κυρίως φύσης. Οι εργασίες μπορούν να χαρακτηριστούν ως μικρής κλίμακας και χαμηλής εκμηχάνισης εκμετάλλευσης (Artisanal and Small Scale Mining - ASM), αντιστοιχώντας στα κριτήρια των ASM (Hentschel, Hruschka, & Priester, 2002):

- Υποτυπώδης εκμηχάνιση και χαμηλό επίπεδο τεχνολογίας εξόρυξης, βασιζόμενο σε απλές τεχνικές και χειρονακτική εργασία.
- Λειτουργία των εκμεταλλεύσεων μέσα σε ένα παρωχημένο νομικό καθεστώς που δεν παρέχει τη δυνατότητα ουσιαστικής αναβάθμισης της παραγωγής.
- Χαμηλή παραγωγικότητα των μονάδων εκμετάλλευσης.
- Εποχική κυρίως λειτουργία των μεταλλείων από μη μόνιμο προσωπικό με και έντονες εξάρσεις παραγωγής εξαρτώμενες από τις τιμές πώλησης ή εν προκειμένω από τα καθοριζόμενα όρια των ασφαλιστικών καλύψεων.
- Απουσία ή ελάχιστη πρόβλεψη για μέτρα ασφάλειας των εργαζομένων και της προστασίας του περιβάλλοντος.

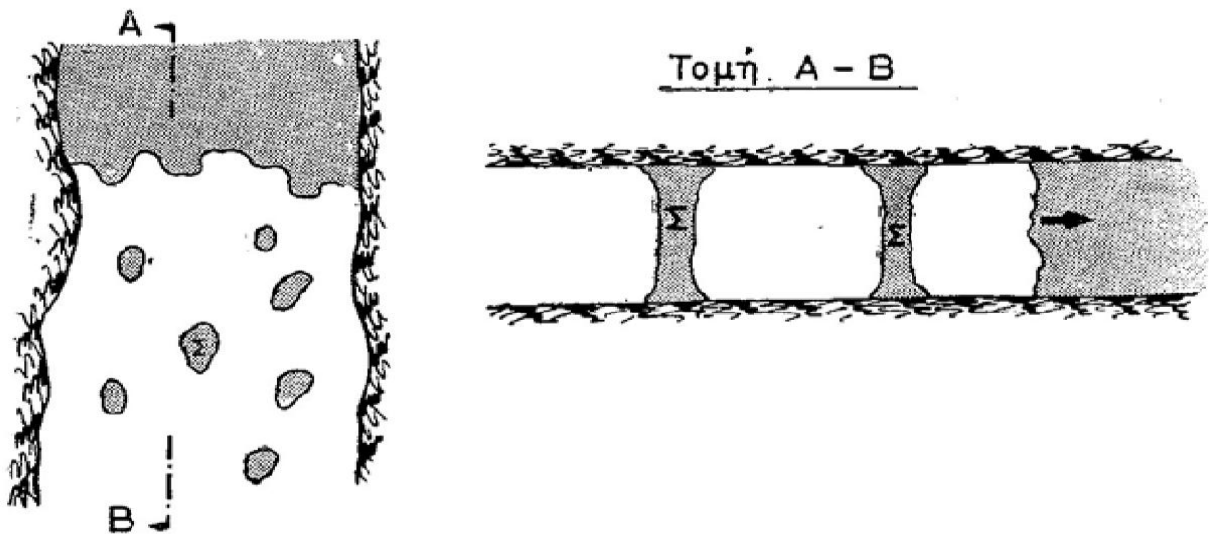


Εικόνα 3.1 Θέσεις ανάπτυξης υφιστάμενων υπογείων εκμεταλλεύσεων σμύριδας.



Εικόνα 3.2 Απεικόνιση της ανάπτυξης υπογεωίων εκμεταλλεύσεων σμύριδας. Με κόκκινο σημειώνεται η εμφάνιση σμύριδας ενώ με μπλε και πράσινο η εμφάνιση στειρών (Χέχτ & Βακόνδιο, ΙΓΜΕ 1979).

Η μέθοδος εκμετάλλευσης που ακολουθείται είναι αυτή της κατά μέτωπο προσβολής (breast stopping), μέθοδος που συμβαδίζει με τα χαρακτηριστικά του κοιτάσματος που έπρεπε να αντιμετωπιστεί, δηλαδή, μικρές κλίσεις, μικρά βάθη εμφάνισης και η ικανοποιητική αντοχή της σμύριδας. Με τη μέθοδο αυτή γίνεται η προσβολή και εκμετάλλευση του κοιτάσματος αφήνοντας τμήματα μητρικού πετρώματος κατά θέσεις ώστε να υποστυλώνουν το χώρο (στύλοι υποστήριξης). Η θέση και το μέγεθος των στύλων γίνονται εμπειρικά κατά θέσεις που εκτιμώνται ότι χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή.

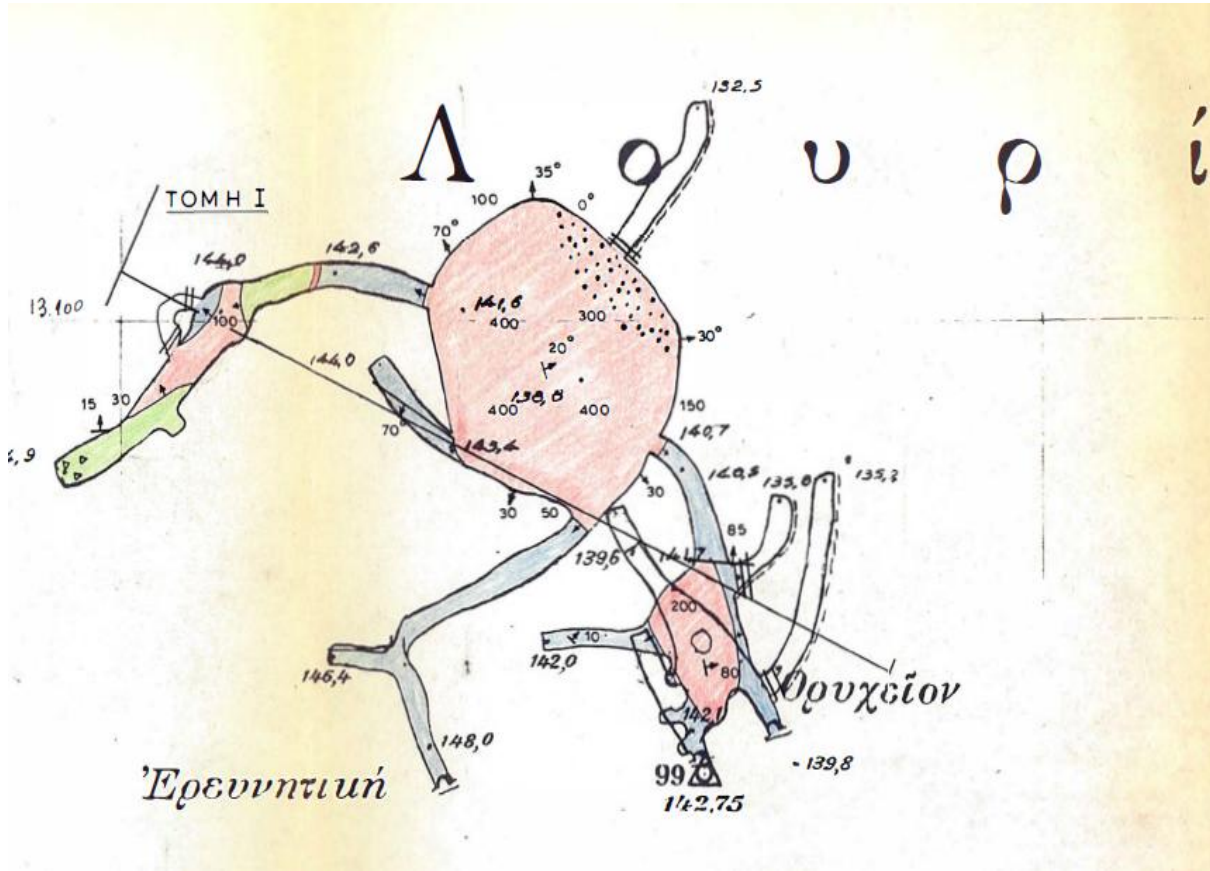


Εικόνα 3.3 Σχηματική απεικόνιση της μεθόδου κατά μέτωπο προσβολής (breast stopping) όπου με (Σ) διακρίνονται οι στύλοι υποστήριξης. (Μούσουλος, 1989).

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται μία στατιστική έρευνα για 116 σμυριδορυχεία της Νάξου, που κατανέμονται σε 2 ευρύτερες περιοχές ανάπτυξής τους, στην περιοχή Κορώνου και στην περιοχή Απειράνθου. Αυτή η στατιστική έρευνα βασίστηκε στη «Τεχνική μελέτη εκμετάλλευσης Δημοσίων σμυριδορυχείων Νάξου» (Λιάσκος et al., 2016). Στην εν λόγω μελέτη έγινε ψηφιοποίηση των χαρτών του ΙΓΜΕ όπου αποτυπώνονται 116 υπόγειες εκμεταλλεύσεις (ενεργές και ανενεργές). Με βάση την συγκεκριμένη ψηφιοποίηση έγινε μέτρηση των εξής χαρακτηριστικών των ορυχείων :

1. Διάμετρος στύλων υποστήριξης.
2. Μήκος θαλάμων.
3. Εμβαδόν ορυχείων.
4. Προσπελαστικές στοές (αρχική προσπέλαση).
5. Μήκος δευτερεύουσων προσπελάσεων (μεγαλύτερα ορυχεία όπου έγιναν παραπάνω από μία προσπέλαση για την εκμετάλλευση κοιτάσματος).
6. Εμβαδόν ορυχείων χωρίς στύλους.

Χαρακτηριστικά μπορεί κανείς να διακρίνει τις στοές οι οποίες χαρακτηρίζονται από μια γραμμική μορφή και ανάπτυξη, ενώ τα έργα εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων σμύριδας εμφανίζονται με αυξημένες πλευρικές αναπτύξεις σχηματίζοντας μεγάλες εκσκαφές (Εικόνες 3.2 και 3.4).



Εικόνα 3.4 Απεικόνιση της ανάπτυξης μικρού υπόγειου μεταλλείου (Χέχτ & Βακόνδιο, ΙΓΜΕ 1979).

Μετρώντας αυτά τα χαρακτηριστικά έγιναν αντίστοιχα ιστογράμματα κατανομής. Επίσης έγιναν ορισμένες στατιστικές μετρήσεις όπως μέγιστη και ελάχιστη τιμή, διάμεση τιμή, την πιο συχνά εμφανιζόμενη τιμή, την μέση τιμή.

3.1 Διάμετρος στύλων υποστήριξης

Για τους στύλους μετρήθηκε η διάμετρος τους, όπου καταγράφηκαν 402 μετρήσεις. Σε αυτές βρέθηκε ότι η μέγιστη τιμή διαμέτρου ήταν 12m ενώ η ελάχιστη 0.8m. Όσον αφορά την μέγιστη τιμή των 12m, αυτή ερμηνεύεται πιθανότατα ως μεγάλο κομμάτι στείρων όπου η εκμετάλλευση του θα θεωρείτο αντικοινωνική. Αντιθέτως όσον αφορά την ελάχιστη τιμή των 0.8m , αυτή ερμηνεύεται ως έναν πλούσιο στύλο σε σμύριδα , όπου η απόσπαση μέρους του κρίθηκε αναγκαία(φάση εξόφλησης). Η πιο συχνά εμφανιζόμενη τιμή στύλου ήταν 1.6m , όπου καλύπτει το 43% των συνολικών μετρήσεων, τιμή που συμμορφώνεται με τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων.



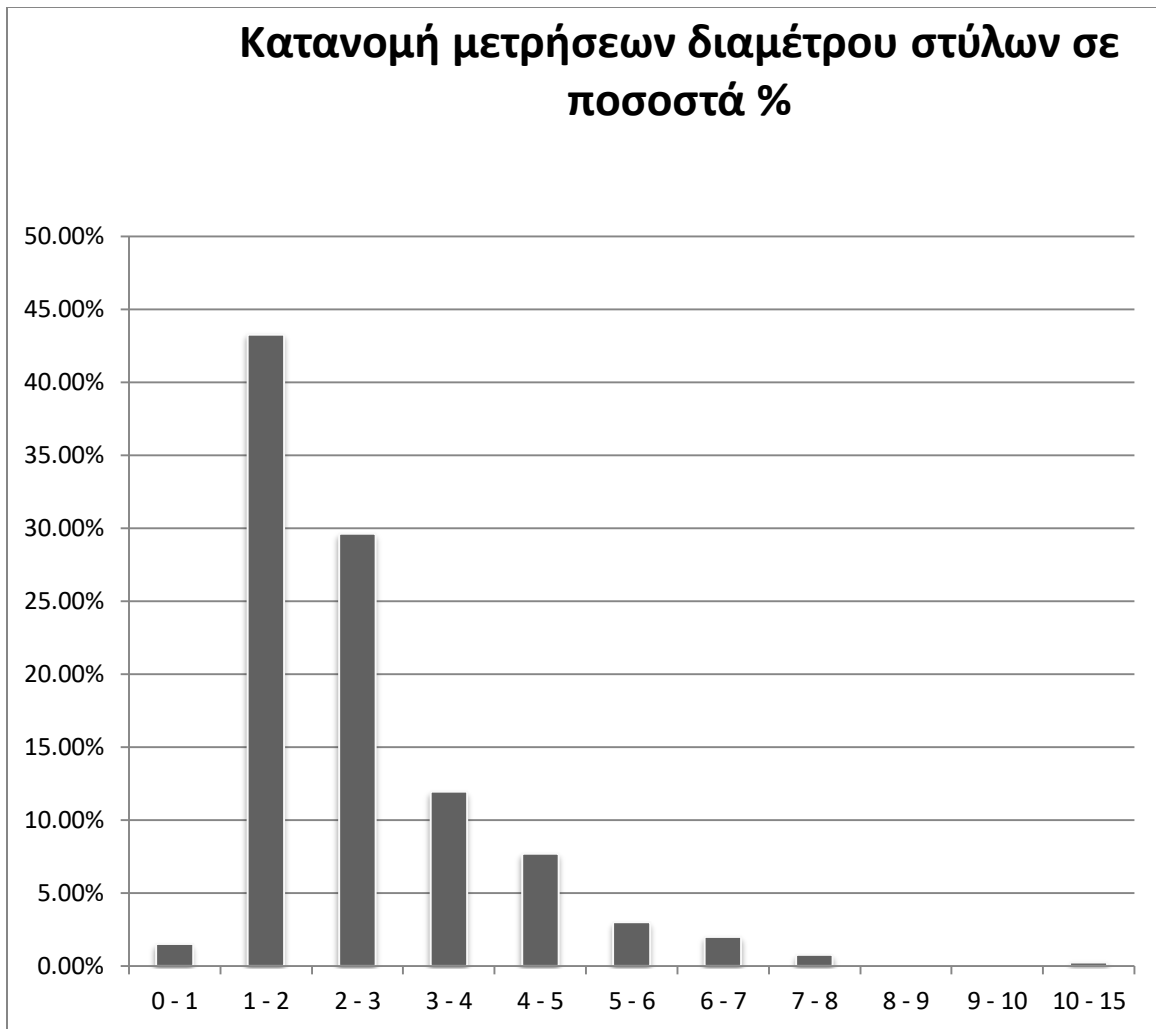
Εικόνα 3.5 Στύλος σε ορυχείο της σμύριδας στην ορεινή Νάξο (Κολοβού, 2015).

Παρακάτω παρουσιάζεται πίνακας, όπου έγινε κατανομή των μετρήσεων της διαμέτρου των στύλων υποστήριξης, σε κλάσεις ανά ένα μέτρο. Παρουσιάζονται επίσης και τα αντίστοιχα ποσοστά της κάθε κλάσης.

Κλάσεις (m)	Κατανομή Μετρήσεων διαμέτρου στύλων	Κατανομή μετρήσεων διαμέτρου στύλων σε ποσοστά %
0 - 1	6	1.49
1 - 2	174	43.28
2 - 3	119	29.60
3 - 4	48	11.94
4 - 5	31	7.71
5 - 6	12	2.99
6 - 7	8	1.99
7 - 8	3	0.75
8 - 9	0	0.00
9 - 10	0	0.00
10 - 15	1	0.25

Πίνακας 3.1 Κατανομή των μετρήσεων της διαμέτρου των στύλων.

Στην συνέχεια έγινε Ιστόγραμμα με βάση τον παραπάνω Πίνακα όπου στον άξονα x είναι οι τιμές των κλάσεων, ενώ στον άξονα y τα ποσοστά % των μετρήσεων που αντιστοιχούν σε κάθε κλάση.



Σχήμα 3.1 Ποσοστιαίο Ιστόγραμμα Κατανομής των μετρήσεων της διαμέτρου των στύλων.

3.2 Μήκος θαλάμων

Για το μήκος θαλάμων μετρήθηκαν οι αποστάσεις μεταξύ των στύλων υποστήριξης και των άκρων του μεταλλείου. Από αυτές η μέγιστη τιμή μήκους θαλάμου που καταγράφηκε είναι 12m. Αυτό υποδεικνύει ότι ο συγκεκριμένος χώρος ήταν πλούσιος σε σμύριδα, και έτσι κρίθηκε η ολοκληρωτική εξόρυξη του, δίχως να αφεθούν στύλοι υποστήριξης. Η ελάχιστη τιμή που καταγράφηκε μήκους θαλάμου που καταγράφηκε είναι 0.5m, όπου υποδεικνύει αφαίρεση τμήματος ενός πλούσιου σε σμύριδα μεγάλου στύλου. Η πιο συχνά εμφανιζόμενη τιμή μήκους θαλάμου είναι τα 1.2m σε ποσοστό 41% των συνολικών μετρήσεων, ενώ η μέση τιμή των μετρήσεων που καταγράφηκαν είναι τα 2.43m.

Παρακάτω παρουσιάζεται πίνακας, όπου έγινε κατανομή των μετρήσεων του μήκους των θαλάμων σε κλάσεις ανά ένα μέτρο. Παρουσιάζονται επίσης και τα αντίστοιχα ποσοστά της

κάθε

κλάσης.

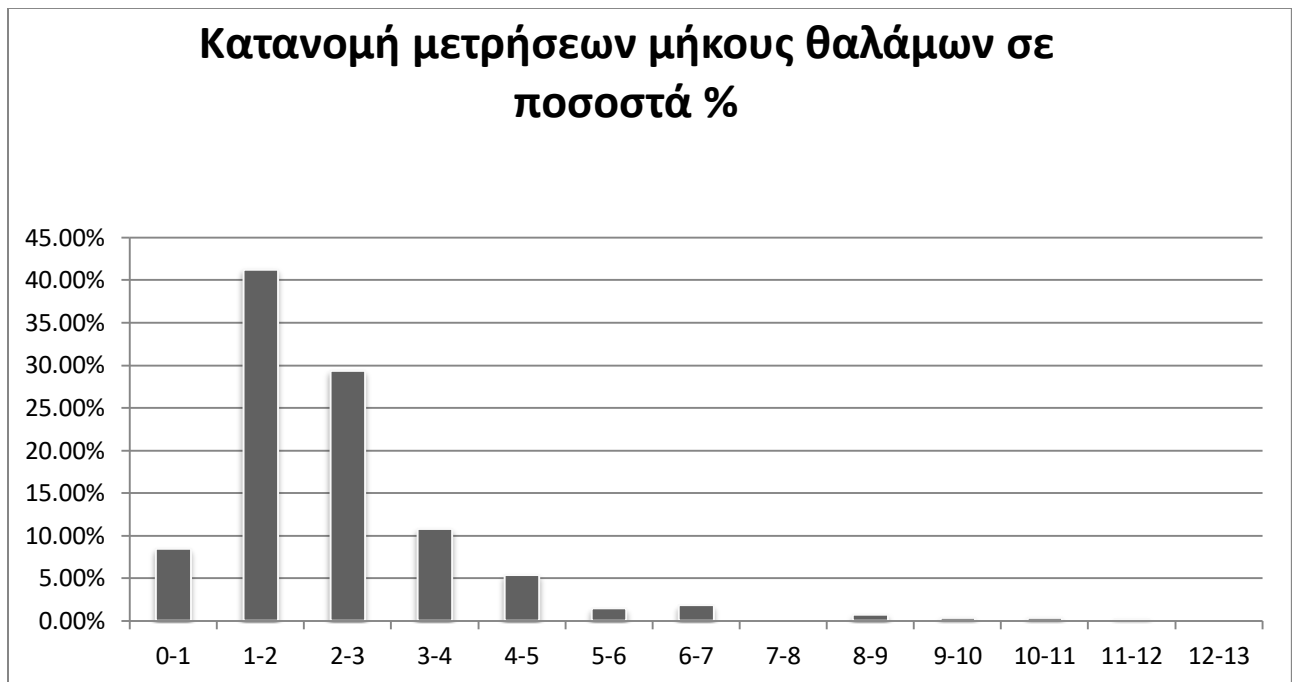
Κλάσεις (m)	Κατανομή μετρήσεων μήκους θαλάμων	Κατανομή μετρήσεων μήκους θαλάμων σε ποσοστά %
0-1	47	8.45
1-2	229	41.19
2-3	163	29.32
3-4	60	10.79
4-5	30	5.40
5-6	8	1.44
6-7	10	1.80
7-8	0	0.00
8-9	4	0.72
9-10	2	0.36
10-11	2	0.36
11-12	1	0.18
12-13	0	0.00

Πίνακας 3.2 Κατανομή των μετρήσεων μήκους θαλάμων.



Εικόνα 3.6 Μεταφορά εξορυγμένης σμύριδας, όπου διακρίνεται επίσης και το πλάτος της στοάς (greekNatureFotoPress).

Στην συνέχεια έγινε Ιστόγραμμα με βάση τον παραπάνω Πίνακα όπου στον άξονα x είναι οι τιμές των κλάσεων, ενώ στον άξονα y τα ποσοστά % των μετρήσεων που αντιστοιχούν σε κάθε κλάση.



Σχήμα 3.2 Ποσοστιαίο Ιστόγραμμα Κατανομής των μετρήσεων του μήκους των θαλάμων.

3.3 Εμβαδόν ορυχείων.

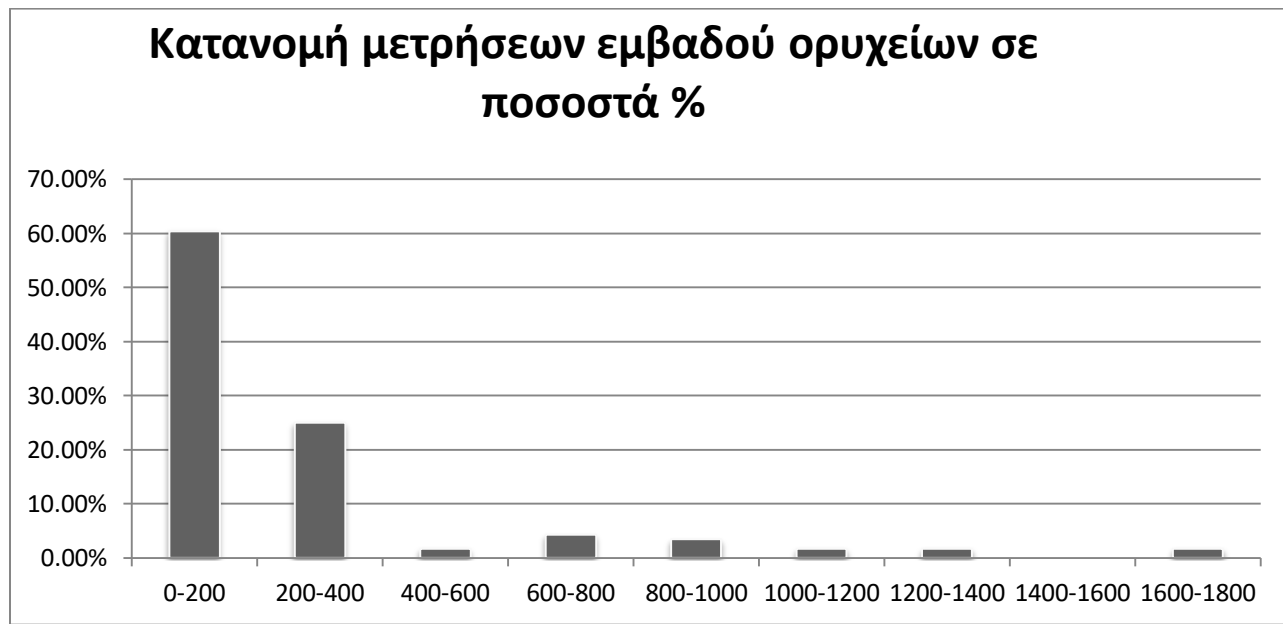
Για το εμβαδόν των ορυχείων μετρήθηκε η συνολική επιφάνεια κάθε ορυχείου και καταγράφηκαν 116 μετρήσεις. Από τις μετρήσεις αυτές το μεγαλύτερο εμβαδόν ορυχείου είναι $1789 m^2$. Το ελάχιστο εμβαδόν ορυχείου που βρέθηκε είναι $12 m^2$ όπου ίσως να είναι αναγνωριστική εκσκαφή όπου δεν βρέθηκε σμύριδα και οι προσπάθειες συνέχισης σταμάτησαν ή ένα μικρό ορυχείο από τα πολλά στην περιοχή που έγινε συνοικιακά από λίγα άτομα. Η πιο συχνά εμφανιζόμενη τιμή είναι τα $55m^2$. Από την προαναφερθείσα τιμή γίνεται κατανοητό ότι το μεγαλύτερο ποσοστό ορυχείων αποτελείται από μικρά ορυχεία της τάξης των $0-200m^2$ που αποτελούν το 60% των συνολικών μετρήσεων. Αυτό γίνεται αφενός λόγω της φύσης των κοιτασμάτων που είναι φακοειδή και αφετέρου της τάσης των κατοίκων των γύρω περιοχών να εκμεταλλεύονται διάφορα κοιτάσματα ατομικά και μη ορθολογικά δημιουργώντας πολλά μικρά ορυχεία. Μέση τιμή του εμβαδόν των ορυχείων είναι τα $259,57m^2$.

Παρακάτω παρουσιάζεται πίνακας, όπου έγινε κατανομή των μετρήσεων του εμβαδόν των ορυχείων ανά $200 m^2$. Παρουσιάζονται επίσης και τα αντίστοιχα ποσοστά της κάθε κλάσης.

Κλάσεις	Κατανομή μετρήσεων εμβαδού ορυχείων	Κατανομή μετρήσεων εμβαδού ορυχείων σε ποσοστά %
0-200	70	60.34
200-400	29	25.00
400-600	2	1.72
600-800	5	4.31
800-1000	4	3.45
1000-1200	2	1.72
1200-1400	2	1.72
1400-1600	0	0.00
1600-1800	2	1.72

Πίνακας 3.3 Κατανομή των μετρήσεων εμβαδού των ορυχείων

Στην συνέχεια έγινε Ιστόγραμμα με βάση τον παραπάνω Πίνακα όπου στον άξονα x είναι οι τιμές των κλάσεων, ενώ στον άξονα y τα ποσοστά % των μετρήσεων που αντιστοιχούν σε κάθε κλάση.



Σχήμα 3.3 Ποσοστιαίο Ιστόγραμμα Κατανομής των μετρήσεων του εμβαδού των ορυχείων.

3.4 Προσπελαστικές στοές.

Για τις προσπελαστικές στοές μετρήθηκε το μήκος των στοών που ανοίχτηκαν ώσπου να ξεκινήσει η εξόρυξη, όπου καταγράφηκαν 68 μετρήσεις. Από τις μετρήσεις αυτές η μέγιστη τιμή που βρέθηκε είναι τα 229m ενώ η ελάχιστη τα 1.6m. Η μέγιστη τιμή ερμηνεύεται ως μία ερευνητική στοά όπου εντόπισε κάποιον φακό σμύριδας. Η πιο συχνά εμφανιζόμενη τιμή είναι τα 34m. Η μέση τιμή είναι τα 29.1m.



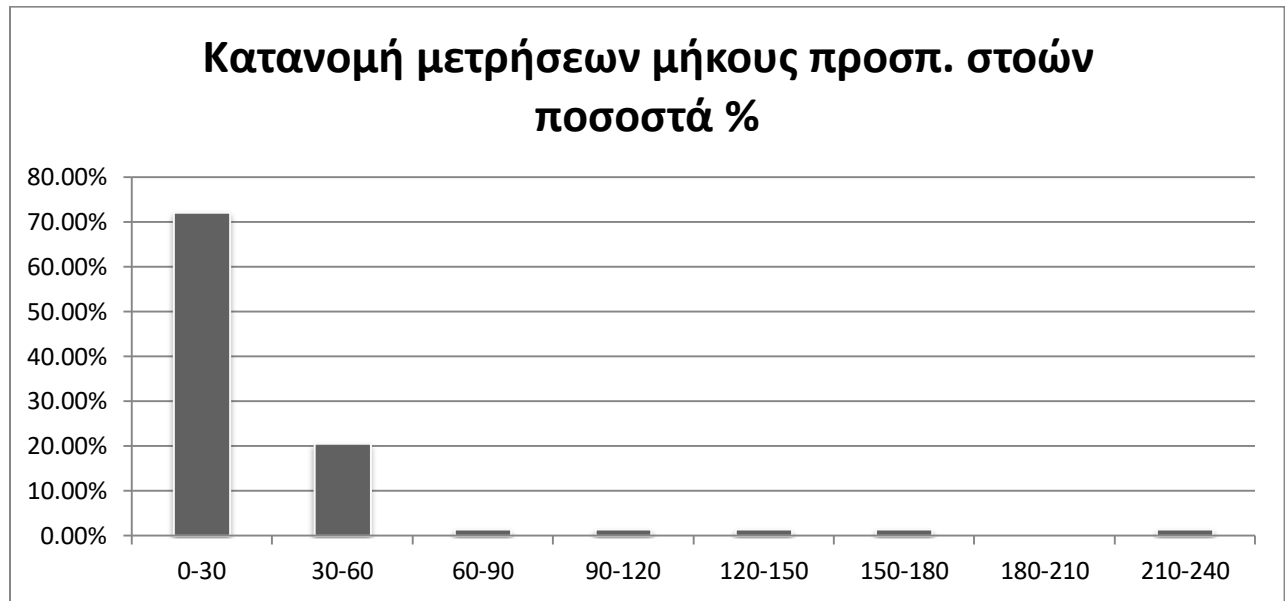
Εικόνα 3.7 Στοά ορυχείου σμύριδας.

Παρακάτω παρουσιάζεται πίνακας, όπου έγινε κατανομή των μετρήσεων του μήκους των προσπελαστικών στοών σε κλάσεις ανά 30 μέτρα. Δίνονται και τα αντίστοιχα ποσοστά της κάθε κλάσης.

Κλάσεις	Κατανομή μετρήσεων μήκους προσπ. στοών	Κατανομή μετρήσεων μήκους προσπ. στοών ποσοστά %
0-30	49	72.06
30-60	14	20.59
60-90	1	1.47
90-120	1	1.47
120-150	1	1.47
150-180	1	1.47
180-210	0	0.00
210-240	1	1.47

Πίνακας 3.4 Κατανομή του μήκους των προσπελαστικών στοών.

Στην συνέχεια έγινε Ιστόγραμμα με βάση τον παραπάνω Πίνακα όπου στον άξονα x είναι οι τιμές των κλάσεων, ενώ στον άξονα y τα ποσοστά % των μετρήσεων που αντιστοιχούν σε κάθε κλάση.



Σχήμα 3.4 Ποσοστιαίο Ιστόγραμμα Κατανομής των μετρήσεων του μήκους των προσπελαστικών στοών.



Εικόνα 3.8 Εσωτερική άποψη μεταλλείου Σαραντάρας (Μανωλάς, 2007).

3.5 Μήκος δευτερευουσών προσπελάσεων.

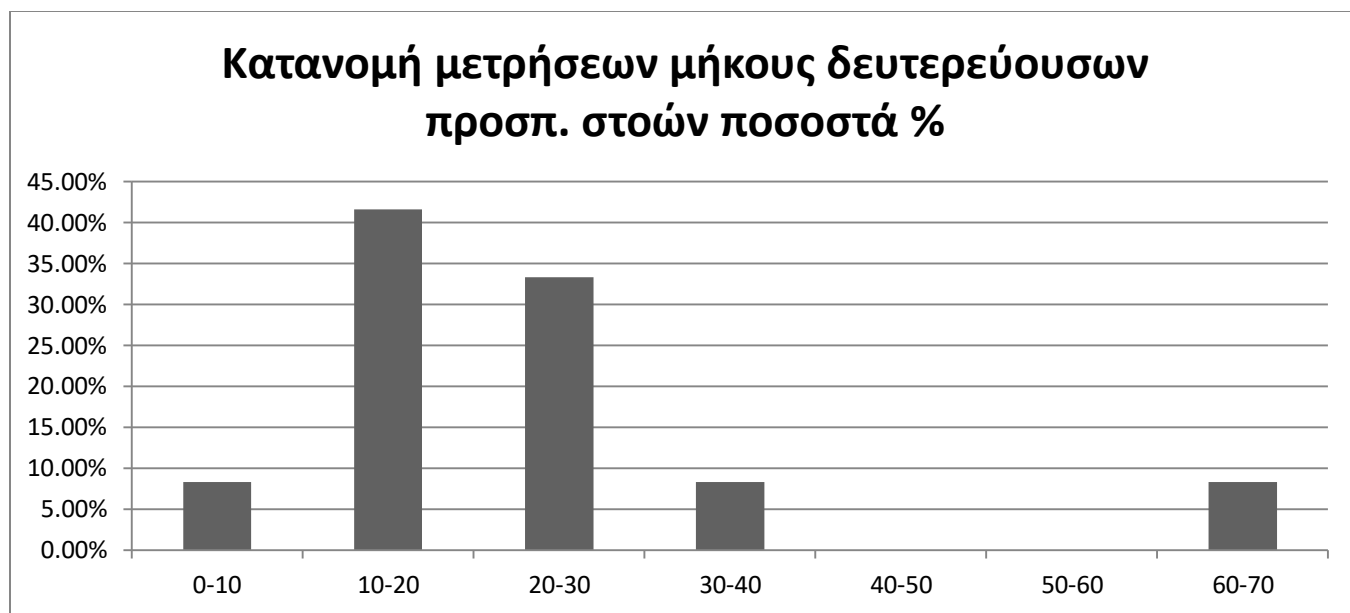
Για το μήκος των δευτερευουσών προσπελάσεων μετρήθηκε το μήκος των προσπελάσεων που ανοίχτηκαν ώστε να συνεχιστεί η εκμετάλλευση επόμενου μέρους του κοιτάσματος, όπου συναντάται στα ορυχεία μεγαλύτερων διαστάσεων. Επίσης είναι το είδος του φακοειδούς κοιτάσματος της σμύριδας που χρειάζεται να γίνουν και δευτερεύουσες προσπελάσεις. Η μέγιστη τιμή μήκους δευτερευουσών προσπελάσεων είναι 66m. Η ελάχιστη τιμή δευτερευουσών προσπελάσεων είναι 6m. Η πιο συχνά εμφανιζόμενη τιμή είναι 15m, ενώ η μέση τιμή είναι 23.4m.

Παρακάτω παρουσιάζεται πίνακας όπου έγινε κατανομή των μετρήσεων του μήκους των δευτερευουσών προσπελάσεων στοών σε κλάσεις ανά 10 μέτρα. Δίνονται και τα αντίστοιχα ποσοστά της κάθε κλάσης.

Κλάσεις	Κατανομή μετρήσεων μήκους δευτερεύουσων προσπ. Στοών	Κατανομή μετρήσεων μήκους δευτερεύουσων προσπ. στοών ποσοστά %
0-10	2	8.33
10-20	10	41.67
20-30	8	33.33
30-40	2	8.33
40-50	0	0.00
50-60	0	0.00
60-70	2	8.33

Πίνακας 3.5 Κατανομή του μήκους των δευτερευουσών προσπελαστικών στοών.

Στην συνέχεια έγινε Ιστόγραμμα με βάση τον παραπάνω Πίνακα όπου στον άξονα x είναι οι τιμές των κλάσεων, ενώ στον άξονα y τα ποσοστά % των μετρήσεων που αντιστοιχούν σε κάθε κλάση.



Σχήμα 3.5 Ποσοστιαίο Ιστόγραμμα Κατανομής των μετρήσεων του μήκους των δευτερευουσών προσπελαστικών στοών.

3.6 Εμβαδόν ορυχείων χωρίς στύλους

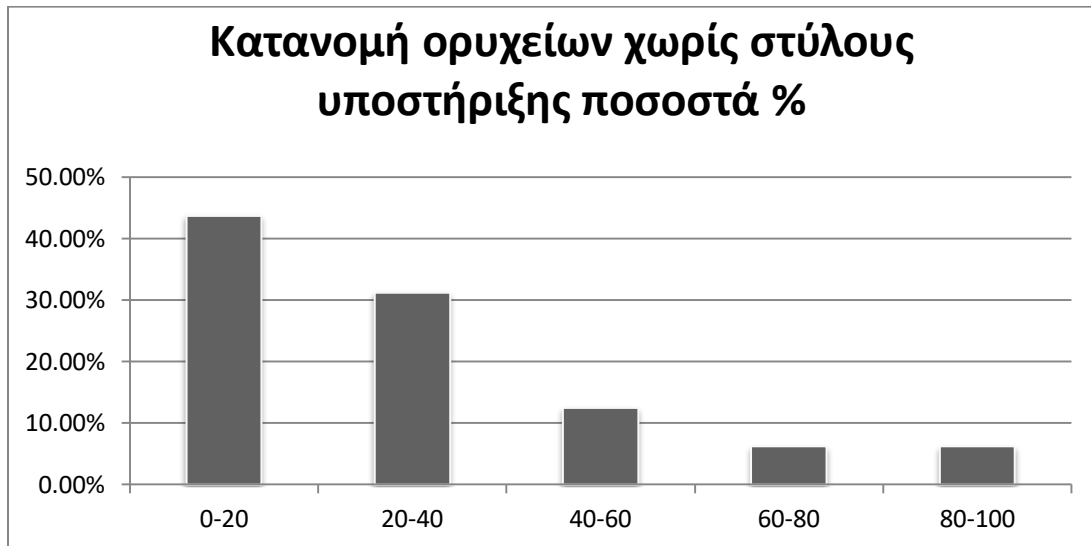
Καταγράφηκαν 16 μετρήσεις ορυχείων χωρίς στύλους υποστήριξης. Το μέγιστο εμβαδόν αυτών $98m^2$ ενώ η ελάχιστη $5m^2$. Η πιο συχνά εμφανιζόμενη τιμή είναι $20m^2$. Η μέση τιμή είναι $31.1m^2$.

Παρακάτω παρουσιάζεται πίνακας, όπου έγινε κατανομή των μετρήσεων του μήκους των δευτερευουσών προσπελάσεων στοών σε κλάσεις ανά $20 m^2$. Δίνονται και τα αντίστοιχα ποσοστά της κάθε κλάσης.

Κλάσεις	Κατανομή ορυχείων χωρίς στύλους υποστήριξης	Κατανομή ορυχείων χωρίς στύλους υποστήριξης ποσοστά %
0-20	7	43.75
20-40	5	31.25
40-60	2	12.50
60-80	1	6.25
80-100	1	6.25

Πίνακας 3.6 Κατανομή των ορυχείων χωρίς στύλους υποστήριξης.

Στην συνέχεια έγινε Ιστόγραμμα με βάση τον παραπάνω Πίνακα όπου στον άξονα x είναι οι τιμές των κλάσεων, ενώ στον άξονα y τα ποσοστά % των μετρήσεων που αντιστοιχούν σε κάθε κλάση.



Σχήμα 3.6 Ποσοστιαίο Ιστόγραμμα Κατανομής των μετρήσεων ορυχείων χωρίς στύλους υποστήριξης.

4. Ταξινόμηση Βραχόμαζας

Οι γεωτεχνικές ταξινομήσεις της βραχόμαζας συνδυάζουν τις σημαντικότερες παραμέτρους, που επηρεάζουν τη μηχανική της συμπεριφοράς τους, ώστε να διαχωρίσουν την βραχόμαζα σε κατηγορίες ποιότητας με κοινά (ή περίπου κοινά) μηχανικά χαρακτηριστικά. Μέσω των γεωτεχνικών ταξινομήσεων είναι δυνατή η συσχέτιση παρόμοιων γεωτεχνικών συνθηκών σε διαφορετικές περιοχές και η μεταφορά της εμπειρίας από προηγούμενα κατασκευασμένα έργα για την κατασκευή νέων έργων σε πετρώματα. Κατά τον (Bieniawski Z. T., 1989), η προσπάθεια συλλογής δεδομένων για την γεωτεχνική ταξινόμηση της βραχόμαζας βελτιώνει και την ποιότητα της γεωτεχνικής έρευνας, ενώ δίνει τη δυνατότητα κατανόησης των βασικών χαρακτηριστικών της κάθε κατηγορίας βραχόμαζας.

Σήμερα, οι γεωτεχνικές ταξινομήσεις χρησιμοποιούνται συχνά για τον εμπειρικό προσδιορισμό των παραμέτρων αντοχής της βραχόμαζας, κυρίως λόγω του κόστους και της δυσκολίας εκτέλεσης επιτόπου δοκιμών προσδιορισμού των μηχανικών ιδιοτήτων της. Επιπλέον, ορισμένες γεωτεχνικές ταξινομήσεις παρέχουν και πρακτικές οδηγίες για τα απαιτούμενα μέτρα στήριξης του πετρώματος ανάλογα με την κατηγορία της βραχόμαζας. Εντούτοις, καμία ταξινόμηση δεν θα πρέπει να θεωρείται ως υποκατάστατο του τεχνικού σχεδιασμού, ούτε θα πρέπει να χρησιμοποιείται χωρίς την πλήρη κατανόηση των γεωλογικών κινδύνων και των πιθανών μηχανισμών αστοχίας της βραχόμαζας (Νομικός, 2015).

4.1 Στοιχεία για τα χαρακτηριστικά των ασυνεχειών της εξεταζόμενης βραχόμαζας

Για την γεωτεχνική ταξινόμηση της βραχόμαζας απαιτείται η συλλογή και μελέτη στοιχείων για τα χαρακτηριστικά των ασυνεχειών.

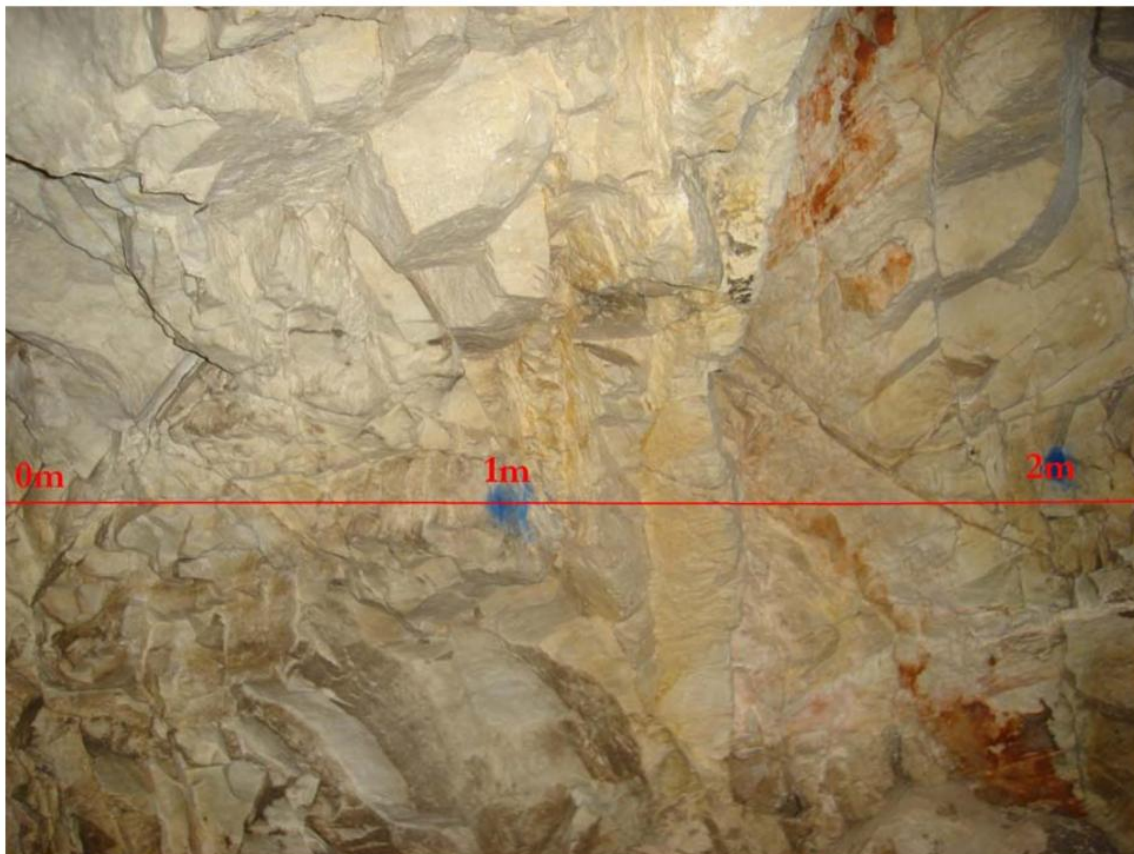
Η Διπλωματική εργασία του (Μανωλάς, 2007), είχε ως θέση το Ορυχείο Σαραντάρας, που πρόκειται για ένα από τα μεγαλύτερα ορυχεία εξόρυξης σμύριδας της περιοχής και βρίσκεται λίγα μόλις χιλιόμετρα μακριά από το χωριό Κόρωνος.

Στο πλαίσιο της εν λόγω Διπλωματικής εργασίας έγινε καταγραφή των ασυνεχειών στα πρώτα 100 μέτρα του ορυχείου Σαραντάρα.

Για την αποτύπωση των ασυνεχειών στους χώρους της υπόγειας εκμετάλλευσης σμύριδας στο ορυχείο της ορεινής Νάξου χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω τεχνικές:

- Η τεχνική δειγματοληπτικών παραθύρων (sampling windows).
- Η τεχνική φωτογράφισης των τοιχωμάτων της στοάς.

Η αποτύπωση των ασυνεχειών έγινε με τη χρήση γεωλογικής πυξίδας, μετροταινίας και φωτογραφικής μηχανής.



Εικόνα 4.1 Δύο διαδοχικά δειγματοληπτικά παράθυρα στα οποία διακρίνονται οι ασυνέχειες του πετρώματος (Μανωλάς, 2007).

Η διπλωματική εργασία του (Μανωλάς, 2007) αποτελεί σημαντική πηγή δεδομένων για την συγγραφή της παρούσης διπλωματικής εργασίας, και μπορούμε να αντλήσουμε τις εξής πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά των ασυνεχειών :

- Στα 100 μέτρα στοάς που εξετάστηκαν βρέθηκαν 9 οικογένειες ασυνεχειών, γεγονός που δεν είναι δυνατόν και έχει προκύψει από λανθασμένες μετρήσεις. Δύο οικογένειες από αυτές σε συνδυασμό με άλλες τυχαίες θεωρήθηκαν πολύ επικίνδυνες καθώς συχνά εμφάνιζαν σε συνδυασμό με κάποια άλλη οικογένεια ασυνεχειών δημιουργία επικίνδυνων σφηνών που ενδέχεται να υποχωρήσουν ή έχουν ήδη υποχωρήσει όπως φάνηκε σε κάποια τμήματα. Πέραν αυτών δεν λαμβάνουμε στοιχεία για τον ακριβή αριθμό οικογενειών των ασυνεχειών.
- Το άνοιγμα των ασυνεχειών χαρακτηρίστηκε ως ‘πολύ κλειστό’, με άνοιγμα <0.1 χιλιοστών.

- Το μήκος των ασυνεχειών ήταν της τάξης των 1-2 μέτρων, όπου η πλειοψηφία ήταν της τάξης του 1 μέτρου.
- Οι ασυνέχειες στον χώρο μελέτης δεν είχαν ή είχαν σπάνια υλικό πλήρωσης.
- Υπήρχε ελάχιστη εμφάνιση υπόγειων υδάτων.
- Η εργασία του Μανωλά δεν δίνει ξεκάθαρα στοιχεία όσον αφορά τις αποστάσεις μεταξύ των ασυνεχειών. Προσέγγιση της τιμής απόστασης μεταξύ των ασυνεχειών μπορεί να γίνει μέσω του αριθμού ασυνεχειών που έλαβε υπόψη ώστε να γίνει η ανάλυση στο Unwedge, από ένα παράδειγμα δειγματοληπτικού παραθύρου 2 μέτρων όπου μετρήθηκαν 10 ασυνέχειες και από φωτογραφίες της εργασίας του. Επίσης γίνεται φανερό ότι όταν στο πεδίο μετρήσεων έγινε εμφάνιση σμύριδας δεν υπήρχαν επικίνδυνοι συνδυασμοί ασυνεχειών και λιγότερες ασυνέχειες στο σύνολό τους. Οπότε μπορούμε να προσεγγίσουμε τις αποστάσεις μεταξύ των ασυνεχειών μεταξύ των 0.2 – 0.6 m, άρα περίπου 2 με 5 ασυνέχειες ανά μέτρο.

4.2 Το σύστημα ταξινόμησης RMR

Το σύστημα ταξινόμησης RMR (Rock Mass Rating system – (Bieniawski Z. T., 1989) λαμβάνει υπόψη έξι παραμέτρους :

- **R1 - Την αντοχή του άρρηκτου πετρώματος**, η βραχόμαζα λαμβάνει βαθμό (rating) από 0 έως 15 ανάλογα με την μονοαξονική θλιπτική αντοχή C_0 ή τον δείκτη σημειακής φόρτισης (point load index) του πετρώματος.
- **R2 - Τον δείκτη RQD**, η βραχόμαζα λαμβάνει βαθμό (rating) από 0 έως 20.
- **R3 - Την απόσταση των ασυνεχειών**, η βραχόμαζα λαμβάνει βαθμό (rating) από 0 έως 20.
- **R4 - Την κατάσταση των επιφανειών των ασυνεχειών**, η βραχόμαζα λαμβάνει βαθμό (rating) από 0 έως 30.
- **R5 - Τις συνθήκες υπόγειου νερού**, η βραχόμαζα λαμβάνει βαθμό (rating) από 0 έως 15.

Το άθροισμα των πέντε πρώτων παραμέτρων δίνει τη βασική τιμή του δείκτη RMR_{BASIC} (από 0 έως 100):

$$RMR_{BASIC} = R1 + R2 + R3 + R4 + R5$$

Η τιμή RMR_{BASIC} θα πρέπει στη συνέχεια να διορθωθεί, ώστε να ληφθεί υπόψη η επίδραση του προσανατολισμού των ασυνεχειών σε ένα συγκεκριμένο έργο. Για την διόρθωση αυτή η βραχόμαζα βαθμονομείται ως προς την παράμετρο **R6** με βάση ποιοτικές περιγραφές της επίδρασης του προσανατολισμού των ασυνεχειών (πολύ δυσμενής, δυσμενής, ευμενής κλπ.). Όσον αφορά ορυχεία η τιμή αυτή είναι $R6 = 0$ για ασυνέχειες πολύ ευνοικά προσανατολισμένες σε σχέση με την κατεύθυνση διάνοιξης. Αντίθετα, για πολύ δυσμενώς προσανατολισμένες

ασυνέχειες η τιμή γίνεται $R_6 = -12$. Με τη διόρθωση αυτή προκύπτει η τιμή RMR της βραχώμαζας (από 0 έως 100) για ένα συγκεκριμένο έργο:

$$RMR = RMR_{BASIC} + R_6$$

Η τιμή RMR που προκύπτει από τη βαθμονόμηση της βραχώμαζας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατάταξη της βραχώμαζας σε κατηγορίες ποιότητας (very good, good, fair, poor, very poor) όπως φαίνεται στο Παράρτημα Ι.

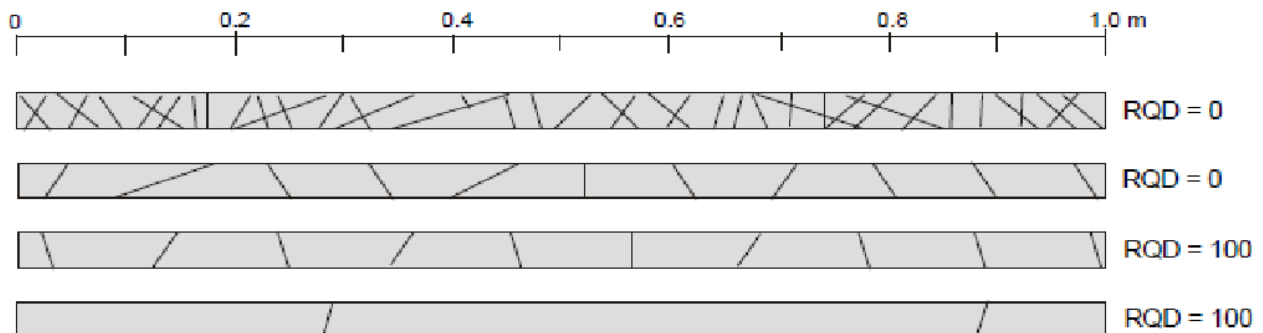
Κατηγορίες ποιότητας	Ποιότητα I-Πολύ καλή	Ποιότητα II- Καλή	Ποιότητα III-Μέτρια	Ποιότητα IV-Πτωχή	Ποιότητα V-Πού πτωχή
Τιμή δείκτη	100-81	80-61	60-41	40-21	20-0

Πίνακας 4.1 Προσδιορισμός ποιότητας βραχώμαζας ανάλογα με την τιμή του δείκτη RMR (Bieniawski Z. T., 1989).

4.2.1 Υπολογισμός δείκτη RQD

Ο δείκτης RQD είναι το ποσοστό των αδιατάρακτων τεμαχών πετρώματος με μήκος μεγαλύτερο από 100 mm στο συνολικό μήκος διάτρησης με πυρηνοληψία (Deere, 1989).

RQD	Rock mass quality
<25%	very poor
25-50%	Poor
50-75%	Fair
75-90%	Good
90-100%	Excellent



Σχήμα 4.1 Ποιότητα βραχώμαζας ανάλογα με την τιμή του δείκτη RQD μαζί με παραδείγματα πυρηνοληψίας (Deere, 1989).

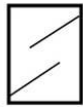
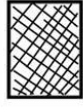




Δυστυχώς δεν υπάρχει έρευνα που να έχει γίνει πυρηνοληψία ώστε να υπολογιστεί ο δείκτης RQD, που αποτελεί σημαντικό δείκτη για τον υπολογισμό του δείκτη RMR. Επομένως ο δείκτης RQD θα προσεγγιστεί μέσω της σχέσης των (Hudson & Priest, 1979), όπου συσχετίζουν τον εν λόγω δείκτη με τον αριθμό ασυνεχειών ανά μέτρο (λ) όπως φαίνεται παρακάτω.

$$\mathbf{RQD = 100 * e^{(-0.1\lambda)} * (1+0.1\lambda)}$$

Για λ ίσο με 2 και 5 το RQD διαμορφώνεται σε 96% και 90% αντίστοιχα. Παρόλο που οι τιμές αυτές αντιστοιχούν στο εύρος 90 – 100 %, για τον προσδιορισμό του δείκτη RMR θα επιλεγεί RQD στο εύρος 75 – 90 %. Αυτή η επιλογή γίνεται λόγω της έλλειψης ξεκάθαρων στοιχείων για την απόσταση των ασυνεχειών, ώστε να καλύψει περιπτώσεις όπου ο αριθμός των ασυνεχειών ανά μέτρο είναι μεγαλύτερος.

4.3 Ο Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής GSI.

Ο Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής (Geological Strength Index, GSI) αποτελεί έναν περιγραφικό δείκτη χαρακτηρισμού της ποιότητας της βραχώμαζας, με βάση τη δομή και την κατάσταση των ασυνεχειών της. Αναπτύχθηκε από τους Hoek et al. (1992) για σκληρά πετρώματα, και επεκτάθηκε ώστε να συμπεριλάβει επιπλέον ασθενείς και ετερογενείς βραχώμαζες από τους Marinos & Hoek (2000), όπου έλαβε και την πιο γνωστή σημερινή του μορφή. Για την εξαγωγή του δείκτη η βραχώμαζα εξετάζεται οπτικά, ώστε να διαπιστωθούν τα χαρακτηριστικά της (δομή και κατάσταση ασυνεχειών). Στη συνέχεια βαθμονομείται συγκρίνοντας τη δομή της και την κατάσταση των ασυνεχειών της με τις τυπικές περιγραφές και τα αντίστοιχα σκαριφήματα του διαγράμματος GSI (Marinos & Hoek 2000), τόσο η δομή της βραχώμαζας όσο και η κατάσταση των ασυνεχειών δίνονται περιγραφικά και όχι ποσοτικά.

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS		SURFACE CONDITIONS					
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR	
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →					
	INTACT OR MASSIVE—intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES ↓	90				
	BLOCKY—well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets		80				
	VERY BLOCKY—interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		70				
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY—folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity		60				
	DISINTEGRATED—poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces		40				
	LAMINATED/SHEARED—Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes		20				
						10	

Σχήμα 4.2 Το βασικό διάγραμμα του Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής GSI (Μαρίνος,Π., Μαρίνος,Β., & Hoek, 2014).

4.4 Συσχετίσεις μεταξύ των γεωτεχνικών ταξινομήσεων.

Τα διάφορα συστήματα ταξινόμησης λαμβάνουν υπόψη τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της βραχώμαζας, τα οποία επηρεάζουν τη μηχανική της συμπεριφορά, ώστε να τη διαχωρίσουν σε κατηγορίες ποιότητας. Βαθμονομώντας τη βραχώμαζα για κάθε ένα από αυτά τα χαρακτηριστικά και συνδυάζοντας τις επιμέρους βαθμονομήσεις καταλήγουν σε έναν ποσοτικό δείκτη ποιότητας της βραχώμαζας. Καθώς τα χαρακτηριστικά που λαμβάνουν υπόψη οι διάφορες ταξινομήσεις είναι τουλάχιστον εν μέρει κοινά, οι δείκτες ποιότητας είναι δυνατόν να συσχετίζονται μεταξύ τους.

- $RMR = 9 \cdot \ln Q + 44$, (Bieniawski Z. , 1976) (Σχέση 4.1).
- $RMR = 15 \cdot \log Q + 50$, (Barton A. , 1995) (Σχέση 4.2).

4.5 Γεωτεχνική ταξινόμηση Δολομιτικού Μαρμάρου Νάξου

Στην διαδικασία της εξόρυξης το μάρμαρο θα αποτελεί την οροφή της εκμετάλλευσης, πράγμα που καθιστά αναγκαίο την ανάλυση των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών του για την ταξινόμηση της βραχώμαζας του πεδίου ενδιαφέροντος.

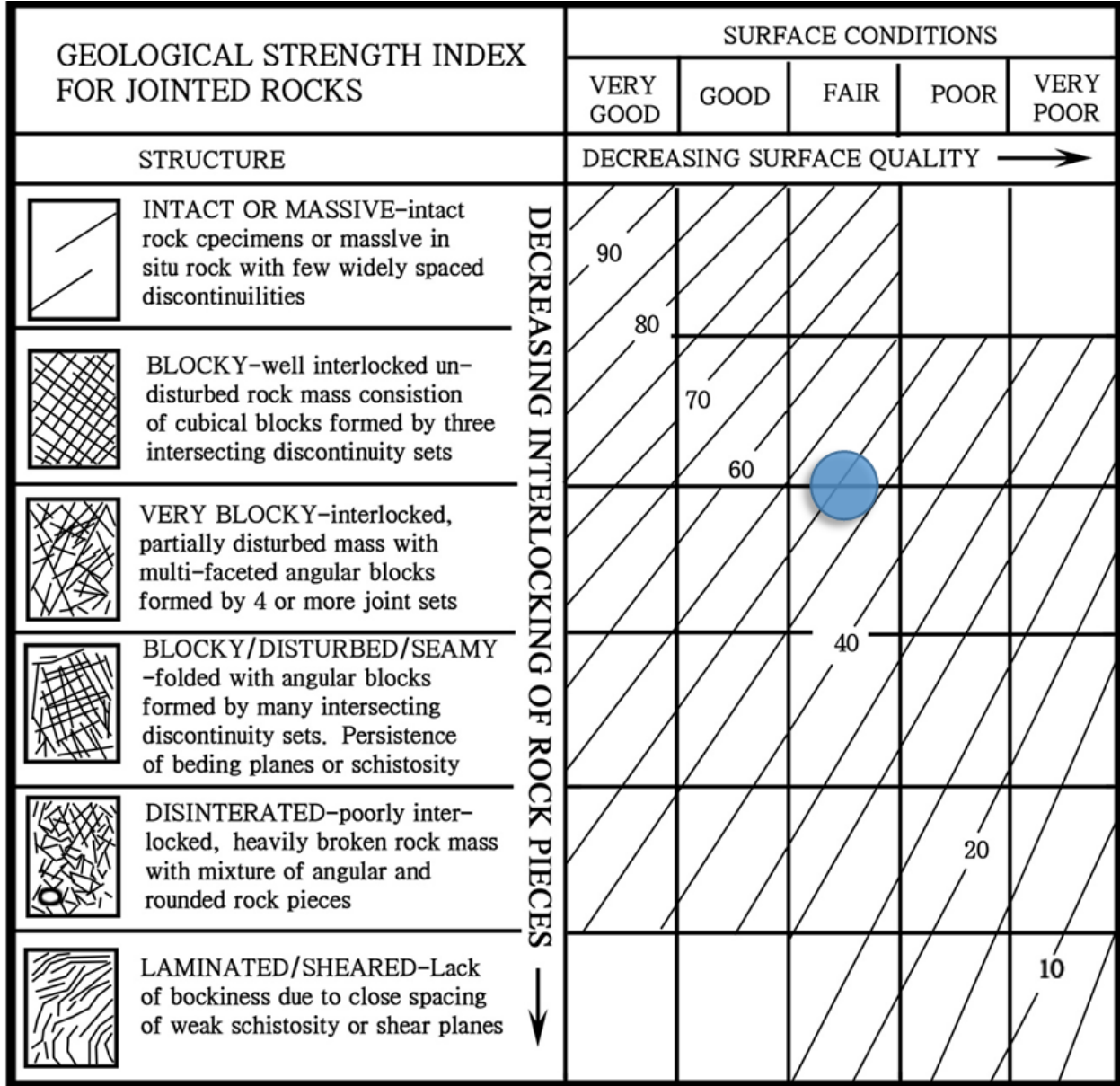
4.5.1 Προσδιορισμός δείκτη RMR Δολομιτικού Μαρμάρου Νάξου

	Αιτιολογία	Τιμή δείκτη
R1	Η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη του δολομιτικού μαρμάρου Νάξου προσδιορίζεται σε 89 MPa (ΑΦΟΙ ΚΑΡΠΙΟΝΤΙΝΗ -), όπου αντιστοιχεί στο εύρος τιμών (50-100) MPa.	7
R2	Στην περίπτωση του δολομιτικού μαρμάρου, όπως αναλύθηκε στο υποκεφάλαιο 4.2.1 ο δείκτης RQD κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 75– 90.	17
R3	Οι αποστάσεις μεταξύ των ασυνεχειών κυμαίνονται στο εύρος των 200 - 600 χιλιοστών(mm).	10
R4	Πολύ κλειστές ασυνέχειες με άνοιγμα μικρότερο των 0.1 χιλιοστών, σχετικά τραχιές σε περιπτώσεις από ελαφρά έως αρκετά αποσαθρωμένες, ελάχιστες περιπτώσεις εμφάνισης υλικού πλήρωσης και μήκος της τάξεις του 1 – 3 m.	10
R5	Υπάρχει ελάχιστη εμφάνιση υπόγειων υδάτων.	15
RMR_{basic}	Βασική τιμή του δείκτη ταξινόμησης βραχώμαζας RMR.	59
R6	Επιλέγεται μία μέτρια κατάσταση προσανατολισμού των ασυνεχειών σε σχέση με την στοά για την διόρθωση της βασικής τιμής του RMR.	-5
RMR	Η ποιότητα της βραχώμαζας αντιστοιχεί σε ποιότητα III – μέτρια ποιότητα βραχώμαζας.	54

Πίνακας 4.2 Υπολογισμός RMR δολομιτικού μαρμάρου.

4.5.2 Προσδιορισμός δείκτη GSI Δολομιτικού Μαρμάρου Νάξου.

Σύμφωνα με τα στοιχεία για την κατάσταση των ασυνεχειών, καθώς και από την ποιότητα της εξεταζόμενης βραχόμαζας προκύπτει ότι **GSI = 50**.



Σχήμα 4.3 Εκτίμηση του δείκτη Γεωλογικής Αντοχής GSI δολομιτικού μαρμάρου.

4.5.3 Προσδιορισμός δείκτη Q Δολομιτικού Μαρμάρου Νάξου.

Ο προσδιορισμός του δείκτη Q για το δολομιτικό μάρμαρο δυστυχώς δεν μπορεί να γίνει με ακριβή τρόπο μέσω του Πίνακα που παρατίθενται στο Παράρτημα 3 διότι δεν υπάρχουν στοιχεία που να προσδιορίζουν αριθμό οικογενειών ασυνεχειών για την βραχώμαζα. Έτσι θα γίνει προσδιορισμός του δείκτη Q μέσω τύπων συσχέτισης που λαμβάνουν υπόψη τους δείκτες RMR και GSI.

Q	P (kg/cm ²)	Χαρακτηρισμός ποιότητας για σήραγγες
0,001-0,01	12,0	Εξαιρετικά πτωχή
0,01-0,1	6,0	Πάρα πολύ πτωχή
0,1-1,0	2,25-3,0	Πολύ πτωχή
1-4	1,5	Πτωχή
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

Πίνακας 4.3 Προσδιορισμός ποιότητας βραχώμαζας ανάλογα με την τιμή του δείκτη Q (Barton, Lien, & Lunde, Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support, 1974).

Μέσω της σχέσης 4.1 και 4.2 λύνοντας ως προς Q και για τιμή RMR = 54 προκύπτει:

$$Q = e^{\frac{(RMR-44)}{9}} \Rightarrow \mathbf{Q = 3.03}$$

$$Q = 10^{\frac{(RMR-50)}{15}} \Rightarrow \mathbf{Q = 1.81}$$

Υπολογίζοντας τον δείκτη Q μέσω των τύπων συσχέτισης με το RMR φαίνεται ότι και οι δύο τιμές αντιστοιχούν στο εύρος τιμών Q = 1 – 4 όπου εκφράζεται σε πτωχή ποιότητα βραχώμαζας σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1.

4.6 Δοκιμή σημειακής φόρτισης (point load test)

Στη δοκιμή σημειακής φόρτισης, κατάλληλα διαμορφωμένα δοκίμια πετρώματος φορτίζονται σημειακά, μέχρι τη θραύση τους, από ένα ζεύγος χαλύβδινων ορθών κώνων με σφαιρικά

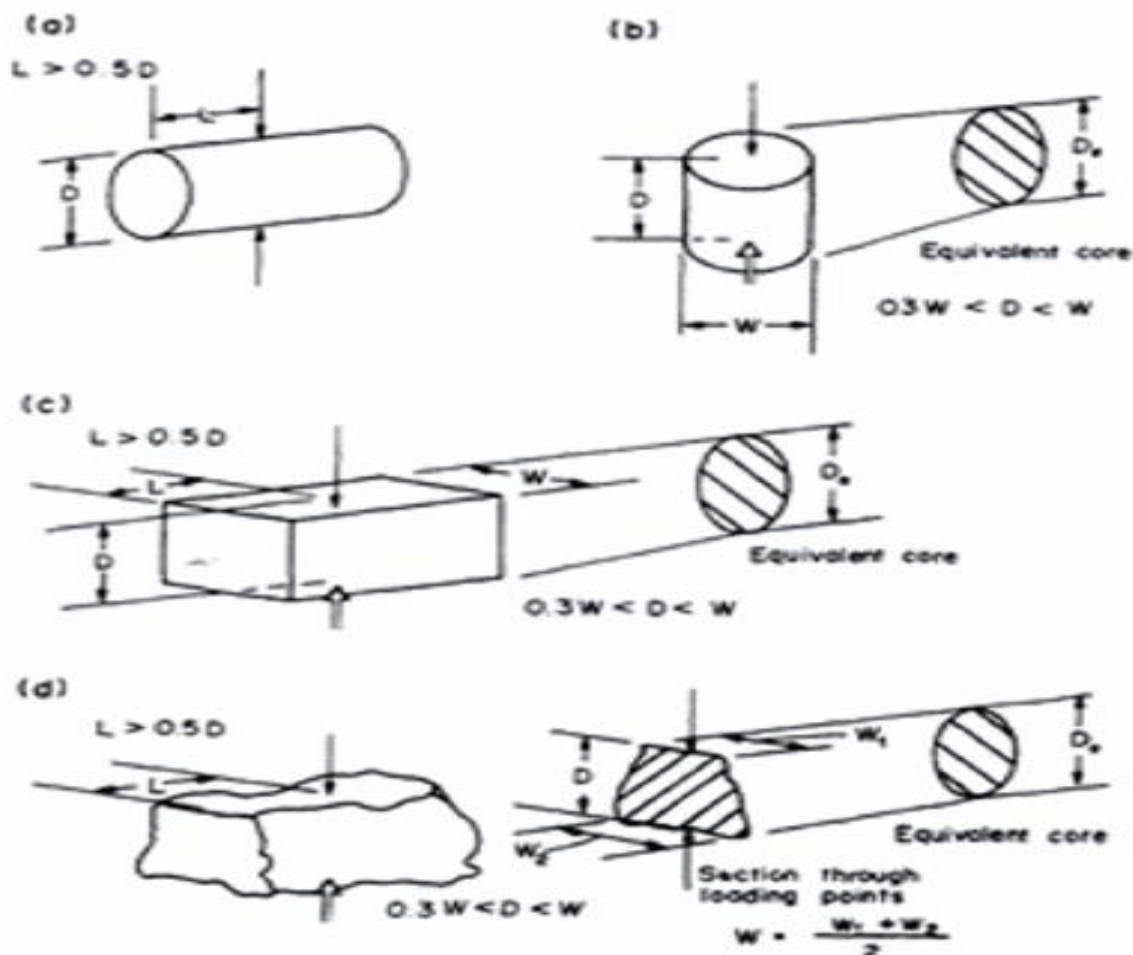
στρογγυλεμένες κορυφές. Η δοκιμή εκτελείται στο φορητό εξοπλισμό ή στο εργαστήριο με συσκευή εφοδιασμένη με ελαφρύ πλαίσιο φόρτισης, όπως αυτή στην Εικόνα 4.2 (Νομικός, 2015).

Η δοκιμή μπορεί να πραγματοποιηθεί σε κυλινδρικά δοκίμια πετρώματος φορτίζοντας είτε παράλληλα με μία διάμετρο της κυκλικής διατομής τους(διαμετρική διατομή, Εικόνα 4.3 a) είτε παράλληλα προς τον άξονα τους (αξονική δοκιμή , Εικόνα 4.3 b). Επίσης πραγματοποιείται σε πρισματικά δοκίμια μεγέθους 50 ± 35 mm (δοκιμή πρισματικού δοκιμίου , Εικόνα 4.3 c) ή σε ακανόνιστης μορφής δοκίμια παρόμοιου μεγέθους (Εικόνα 4.3 d).

Για δοκίμια ακανόνιστης μορφής το υπολογιζόμενο πλάτος W είναι ο μέσος όρος των δύο εκάστοτε πλευρών δηλαδή $W = \frac{W_1 + W_2}{2}$.



Εικόνα 4.2 Συσκευή σημειακής φόρτισης του Εργαστηρίου Τεχνολογίας Διάνοιξης Σηράγγων ΕΜΠ.



Εικόνα 4.3 (α) Διαμετρική δοκιμή, (β) αξονική δοκιμή, (γ) δοκιμή πρισματικού δοκιμίου, (δ) δοκιμή ακανόνιστης μορφής δοκιμίου (ISRM, 1985).

Η δοκιμή εκτελείται σύμφωνα με την προτεινόμενη μέθοδο της (ISRM, 1985). Σύμφωνα με αυτή, τα δοκίμια πρέπει να τηρούν συγκεκριμένες παραμέτρους οι οποίες καθορίζονται ανάλογα με το σχήμα τους. Για δοκίμια ακανόνιστης μορφής πρέπει :

- Το μέσο μήκος L να είναι μεγαλύτερο από το μέσο του ύψους D ($L > \frac{D}{2}$)
- Το ύψος D να είναι μικρότερο από πλάτος W και μεγαλύτερο του πλάτους W πολλαπλασιαζόμενο με 0.3 ($W > D > 0.3 * W$)



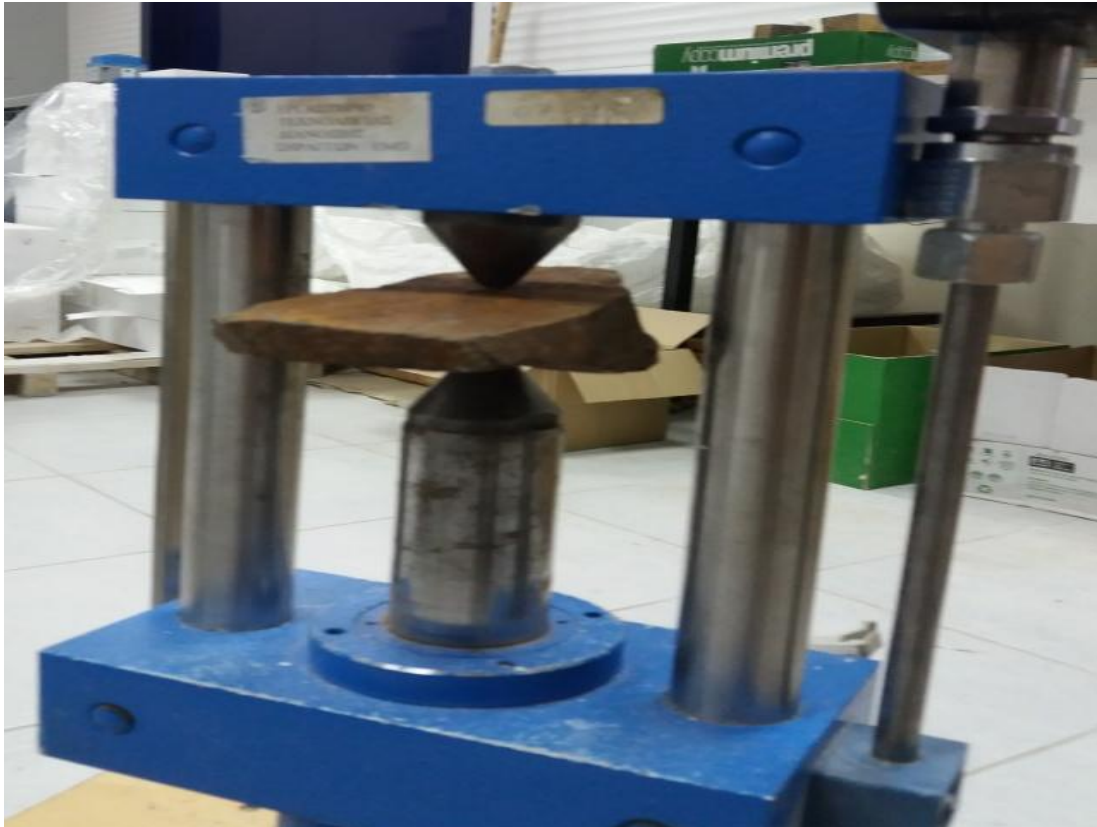
Εικόνα 4.4 Ενδεικτική φωτογραφία κάτωψης δοκιμίου που τηρεί τις παραμέτρους για να πραγματοποιηθεί σε αυτό δοκιμή σημειακής φόρτισης.



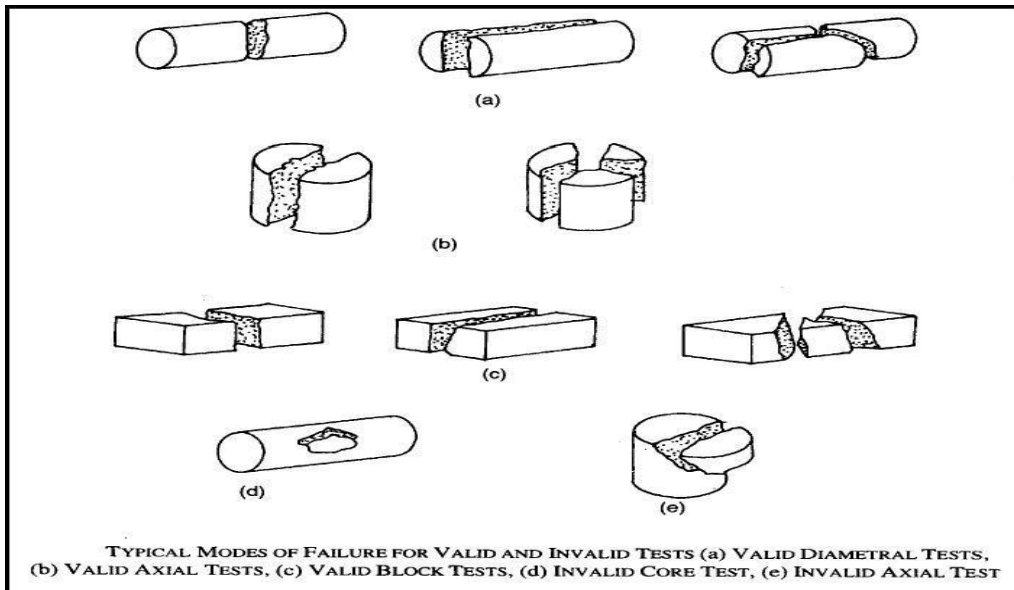
Εικόνα 4.5 Ενδεικτική φωτογραφία πλάγιας όψης δοκιμίου που τηρεί τις παραμέτρους για να πραγματοποιηθεί σε αυτό δοκιμή σημειακής φόρτισης.

Το δοκίμιο τοποθετείται μεταξύ των κώνων φόρτισης, έτσι ώστε η φόρτιση να γίνεται στο μέσο μήκος του δοκιμίου και κατά διάμετρο. Η φόρτιση γίνεται βαθμιαία και με σταθερή ταχύτητα μέχρι την θραύση του δοκιμίου. Σύμφωνα με την προδιαγραφή της ISRM η θραύση του

δοκιμίου θα πρέπει να συμβεί στο διάστημα 10-60 sec. Η πίεση του μανομέτρου ή το αντίστοιχο φορτίο κατά τη θραύση, αναγράφεται στο δελτίο αποτελεσμάτων. Οι συνθήκες υγρασίας του δοκιμίου κατά τη δοκιμή πρέπει να αντιπροσωπεύουν τις πραγματικές επιτόπου συνθήκες. Η δοκιμή θεωρείται αποδεκτή, εάν η επιφάνεια της θραύσης διέρχεται και από τα δύο σημεία φόρτισης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.6 και Εικόνα 4.7.



Εικόνα 4.6 Ορθή τοποθέτηση δοκιμίου μεταξύ των κώνων φόρτισης.



Εικόνα 4.7 (a , b , c) Αποδεκτές θραύσης δοκιμίων , (d , e) Μη αποδεκτές θραύσης δοκιμίων.



Εικόνα 4.8 Φωτογραφία σε κάτοψη αποδεκτής δοκιμής σημειακής φόρτισης.

Από τη δοκιμή υπολογίζεται ο δείκτης αντοχής σημειακής φόρτισης I_s σύμφωνα με την σχέση:

$$I_s = \frac{P}{De^2}$$

Ενώ η ονομαζόμενη ισοδύναμη διάμετρος για ακανόνιστης μορφής δοκίμιου υπολογίζεται με την σχέση:

$$D_e = \sqrt{\frac{4 * W * D}{\pi}}$$

Όπου οι μεταβλητές για τις παραπάνω σχέσεις:

P	Φορτίο θραύσης (kN).
D	Η απόσταση των ακμών φόρτισης πριν την έναρξη της δοκιμής (mm).
W	Το πλάτος της διατομής του δοκιμίου στο αναμενόμενο επίπεδο της θραύσης.

Για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα δοκιμών σε διάφορες διαμέτρους απαιτείται διόρθωση του δείκτη I_s , ο οποίος είναι συνάρτηση της ισοδύναμης διαμέτρου D_e του δοκιμίου. Ο διορθωμένος δείκτης αντοχής σημειακής φόρτισης $I_{s(50)}$ ορίζεται ως η τιμή του I_s που θα είχε υπολογισθεί για μία διαμετρική δοκιμή σε δοκίμιο διαμέτρου 50 mm. Κατά την ISRM (1985), οι δοκιμές πρέπει κατά προτίμηση να εκτελούνται σε δοκίμια με διάμετρο περίπου 50 mm, οπότε δεν απαιτείται διόρθωση του δείκτη I_s ή αυτή θα είναι μικρή. Εναλλακτικά προτείνεται η εκτέλεση δοκιμών για ένα εύρος τιμών της ισοδύναμης διαμέτρου και η εκτίμηση του δείκτη $I_{s(50)}$ με παρεμβολή (ή με επέκταση εάν αυτό είναι αναγκαίο).

Όταν τα ανωτέρω δεν είναι εφικτά, η ISRM προτείνει τη διόρθωση του δείκτη I_s σύμφωνα με την σχέση:

$$I_{s(50)} = F * I_s$$

F είναι ο συντελεστής διόρθωσης μεγέθους, ο οποίος δίνεται από τη σχέση:

$$F = \left(\frac{De}{50}\right)^{0.45}$$

Σύμφωνα με τις οδηγίες της ISRM η παραπάνω διόρθωση μεγέθους είναι εφαρμόσιμη ανεξάρτητα από την ύπαρξη ανισοτροπίας στο πέτρωμα και από τη διεύθυνση της φορτίσεως σε σχέση με τα επίπεδα αδυναμίας του πετρώματος.

Η μέση τιμή του δείκτη $I_{s(50)}$ υπολογίζεται ως η μέση τιμή 10 ή περισσότερων δοκιμών, όπου οι δύο μεγαλύτερες και οι δύο μικρότερες δεν λαμβάνονται υπόψη.

Για την συσχέτιση του δείκτη αντοχής σημειακής φόρτισης με την αντοχή του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη έχουν προταθεί διάφορες σχέσεις, οι οποίες έχουν συνήθως τη μορφή :

$$C_0 = \alpha * I_{s(50)}$$

Όπου α είναι σταθερά συσχέτισης, η οποία εξαρτάται κυρίως από τη γεωλογική προέλευση του πετρώματος, την ορυκτολογική του σύσταση και την κατάσταση από πλευράς αποσάθρωσης.

4.7 Εργαστηριακές δοκιμές σημειακής φόρτισης (point load test)

Στο πλαίσιο την παρούσης διπλωματικής εργασίας έγινε δοκιμή σημειακής φόρτισης στο εργαστήριο τεχνολογίας διάνοιξης σηράγγων ΕΜΠ. Η δοκιμή ήταν απαραίτητη διότι δεν βρέθηκε στη βιβλιογραφία κάποια μελέτη που να έχει προσδιορίσει εργαστηριακά την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη για πετρώματα σμύριδας. Τα δοκίμια προς εξέταση προήλθαν από το ορύχειο Καμπί στην Νάξο μέσω χειροδιαλογής από διάφορα σημεία του ορυχείου. Αυτό οδήγησε σε δοκίμια διαφορετικής ποιότητας, οπότε είχαν διαφορετικά επίπεδα μεταμόρφωσης και διαφορετική περιεκτικότητα σε κορούνδιο.

Τα δοκίμια που συλλέχθηκαν ήταν ακανόνιστης μορφής και αριθμούσαν σε είκοσι ένα, από τα οποία δεκαπέντε τελικά τήρησαν τις παραμέτρους και συμπεριλήφθηκαν στον υπολογισμό της σημειακής φόρτισης.

Από τα έξι δοκίμια που απορρίφθηκαν τα δύο δεν τηρούσαν τις απαραίτητες παραμέτρους των διαστάσεων. Τα υπόλοιπα τέσσερα τηρούσαν μεν τις απαραίτητες παραμέτρους των διαστάσεων, αλλά ο μορφοτροπέας πίεσης δεν κατάφερε να εμφανίσει κάποια ένδειξη για το φορτίο θραύσης που ασκήθηκε κατά το σπάσιμο του δοκιμίου. Αυτό συνέβη διότι τα συγκεκριμένα τέσσερα δοκίμια χαρακτηρίζονται από υψηλή περιεκτικότητα σε κορούνδιο, που φαίνεται αρχικά από το χρώμα, το ειδικό βάρος τους και αυτό τα καθιστά να έχουν υψηλή αντοχή σε θλίψη συγκριτικά με τα υπόλοιπα δοκίμια που εξετάστηκαν. Παρόλο που τελικά έσπασαν με αποδεκτό τρόπο, επειδή η πίεση που χρειάστηκαν ήταν πάνω από τα αποδεκτά όρια της συγκεκριμένης μηχανής δεν καταγράφηκε μέτρηση. Φωτογραφίες των δοκιμίων που πραγματοποιήθηκε η δοκιμή σημειακής φόρτισης παρατίθενται στο Παράρτημα II.

Δοκίμια	L (mm)	W(mm)	D(mm)
1	55	70.5	30
2	42.5	65	42
3	60	65	38
4	55	42	33
5	41.5	53.5	22
6	45	77.5	29
7	37.5	68	43
8	57.5	35.5	32
9	50	33	30
10	37.5	48.5	40
11	52.5	60.5	47
12	28	41	32
13	44.5	40.5	40
14	29	39	29
15	42	40.5	29

Πίνακας 4.4 Πίνακας διαστάσεων δοκιμίων που εξετάστηκαν.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται για το κάθε δοκίμιο:

- το φορτίο θραύσης P σε Newton.
- ο δείκτης D_e^2 σε mm^2 και D_e σε mm.
- ο δείκτης σημειακής φόρτισης I_s σε MPa.
- ο συντελεστής διόρθωσης μεγέθους F.
- ο διορθωμένος συντελεστής σημειακής φόρτισης $I_{s(50)}$ σε MPa.

Δοκίμια	P	D_e	D_e^2	I_s	F	$I_{s(50)}$	C_0
1	12445	51.91	2694.27	4.62	1.017	4.70	94.0
2	5995	58.97	3477.71	1.72	1.077	1.86	37.1
3	5995	56.09	3146.50	1.91	1.053	2.01	40.1
4	8925	42.02	1765.61	5.05	0.925	4.67	93.5
5	33880	38.72	1499.36	22.60	0.891	20.14	402.8
6	7170	53.51	2863.06	2.50	1.031	2.58	51.6
7	1045	61.03	3724.84	0.28	1.094	0.31	6.1
8	22805	38.04	1447.13	15.76	0.884	13.93	278.7
9	4250	35.51	1261.15	3.37	0.857	2.89	57.8
10	44000	49.71	2471.34	17.80	0.997	17.76	355.2
11	13510	60.19	3622.29	3.73	1.087	4.05	81.1
12	11010	40.88	1671.34	6.59	0.913	6.02	120.3
13	21165	45.43	2063.69	10.26	0.958	9.82	196.5
14	28895	37.96	1440.76	20.06	0.883	17.72	354.3
15	23565	38.68	1496.18	15.75	0.891	14.03	280.6

Πίνακας 4.5 Αποτελέσματα της δοκιμής σημειακής φόρτισης.

Στην τελευταία στήλη υπολογίζεται η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη όπου όπως έχει αναφερθεί, είναι το γινόμενο του $I_{s(50)}$ με την σταθερά συσχέτισης α . Στην περίπτωση μας δεν έχουμε

βιβλιογραφική τιμή που να προσδιορίζει την σταθερά συσχέτισης α για το πέτρωμα της σμύριδας. Κατά (ISRM, 1985) η τιμή α για διάφορα πετρώματα λαμβάνει την τιμή στο εύρος 20 – 25, ενώ κατά (Singh, Kainthola, & Venkatesh, 2012) στο εύρος 14-24. Επομένως επιλέγεται σταθερά συσχέτισης ίση με $\alpha = 20$.

Με βάση τα αποτελέσματα του Πίνακα 3.2 μπορούμε να ταξινομήσουμε την βραχώμαζα, κάνοντας κατανομή των αποτελεσμάτων σε κλάσεις, βασιζόμενοι στον Πίνακα 3.3 που παρατίθεται παρακάτω.

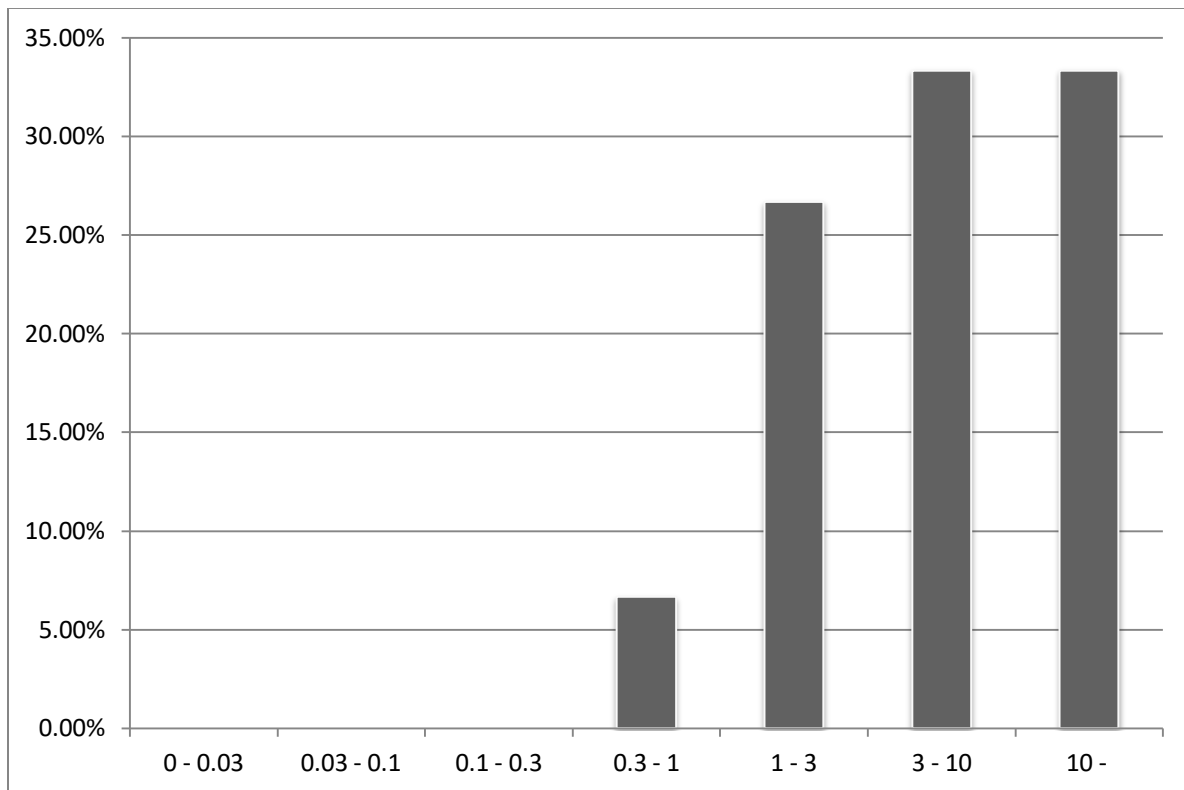
Is50 (MPa)	Strength classification
< 0.03	Extremely low
0.03 – 0.1	Very low
0.1 – 0.3	Low
0.3 – 1.0	Medium
1.0 – 3.0	High
3.0 – 10	Very high
> 10	Extremely high

Πίνακας 4.6 Χαρακτηρισμός βραχώμαζας ανάλογα με τον δείκτη $I_{s(50)}$ (Broch & Franklin, 1979).

Στην συνέχεια στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών του $I_{s(50)}$ που βρέθηκαν για τα εξεταζόμενα δοκίμια, καθώς και μία διαγραμματική απεικόνιση αυτού (Σχήμα 4.3).

Κλάσεις	Ποσοστιαία κατανομή δεικτών $I_{s(50)}$
0 - 0.03	0.00%
0.03 - 0.1	0.00%
0.1 - 0.3	0.00%
0.3 - 1	6.67%
1 - 3	26.67%
3 - 10	33.33%
>10	33.33%

Πίνακας 4.7 Ποσοστιαία κατανομή αποτελεσμάτων δοκιμής σημειακής φόρτισης.



Σχήμα 4.5 Ιστόγραμμα του ποσοστού των αποτελεσμάτων δοκιμής σημειακής φόρτισης.

4.8 Συμπεράσματα από δοκιμή σημειακής φόρτισης.

- Όπως φαίνεται από αυτήν την κατανομή το δοκίμιο με την μικρότερη τιμή $I_{s(50)}$ είναι στο διάστημα 0.3-1 που αντιστοιχεί σε μέτρια ποιότητα βραχώμαζας.
- Το 93.33% των δοκιμών έχει τιμές $I_{s(50)}$ μεγαλύτερες του 1 που αντιστοιχεί σε υψηλή μέχρι εξαιρετικά υψηλή ποιότητα. Έτσι γίνεται γνωστό ότι έχουμε να διαχειριστούμε πολύ καλής ποιότητας βραχώμαζα. Συνδυάζοντας και το γεγονός των τεσσάρων δοκιμών που δεν καταγράφηκε η τιμή θραύσης του λόγω την υψηλής αντοχής τους όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, μπορούμε να δούμε ότι έχουμε να διαχειριστούμε εξαιρετική ποιότητα βραχώμαζας.
- Στην συνέχεια υπολογίζεται ο μέσος όρος αντοχής σε μονοαξονική θλίψη των δοκιμών που εξετάστηκαν χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι δύο μικρότερες και μεγαλύτερες τιμές που αντιστοιχούν στα δοκίμια με αριθμό 2, 7 και 5, 10.
- Με τις έντεκα μετρήσεις που απομένουν προκύπτει ότι ο μέσος όρος του διορθωμένου δείκτη σημειακής φόρτισης είναι $I_{s(50) \text{ average}} = 7.5$
- Άρα η μέση τιμή αντοχής σε μονοαξονική θλίψη των δοκιμών είναι **$C_0 = 150 \text{ MPa}$.**

4.9 Γεωτεχνική Ταξινόμηση Σμύριδας Νάξου

Έχοντας προσδιορίσει την μέση τιμή μονοαξονικής θλίψης μέσω της δοκιμής σημειακής φόρτισης σε συνδυασμό με τα στοιχεία για την κατάσταση των ασυνεχειών της παραγράφου 4.4 μπορεί να γίνει προσδιορισμός των δεικτών Q, RMR, GSI.

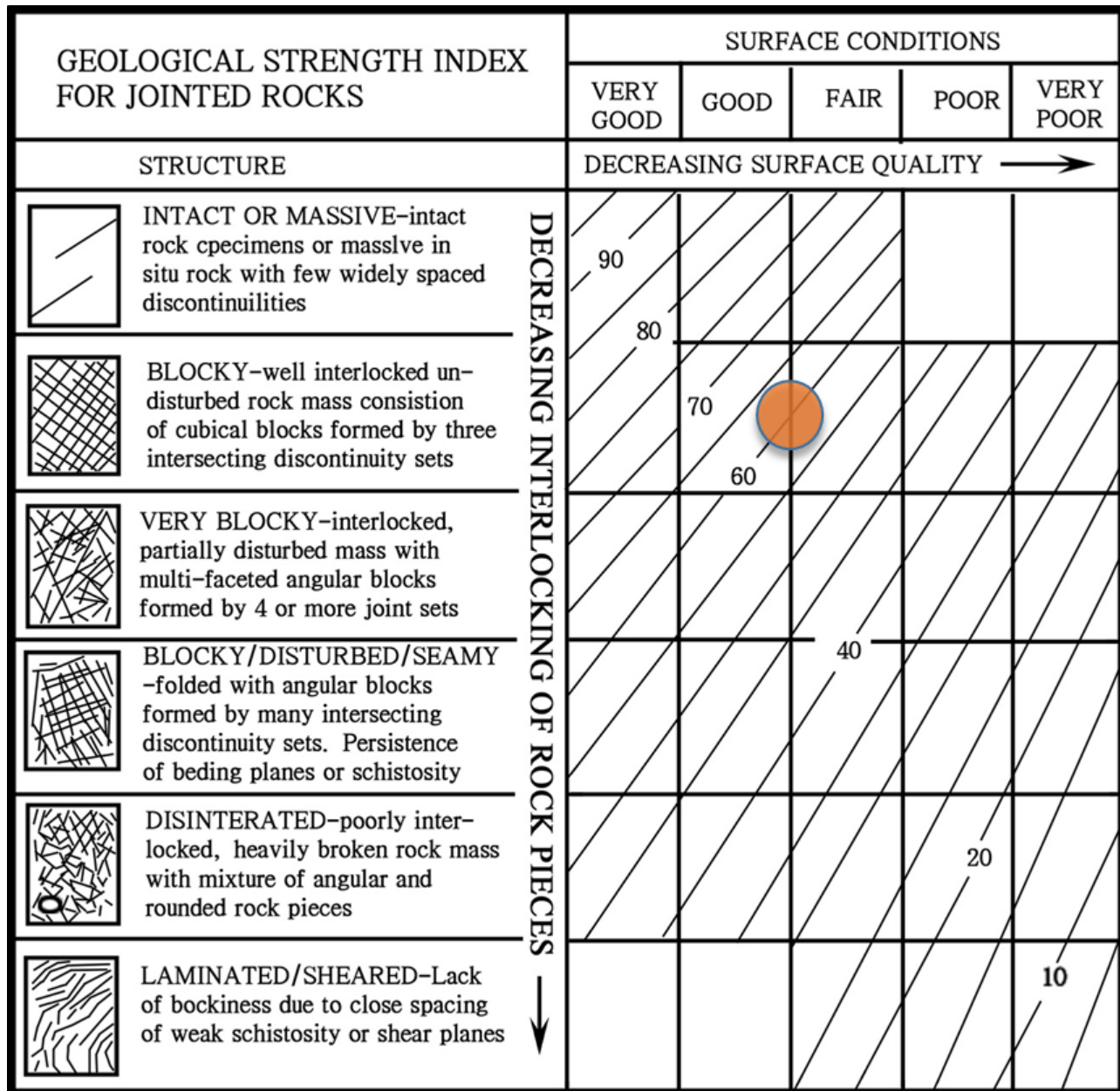
4.9.1 Προσδιορισμός δείκτη RMR Σμύριδας Νάξου

	Αιτιολογία	Τιμή δείκτη
R1	Η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη της σμύριδας Νάξου είναι ίση με 150 Mpa, όπου αντιστοιχεί στο εύρος τιμών 100-250 Mpa.	12
R2	Στην περίπτωση της σμύριδας Νάξου, όπως αναλύθηκε στο υποκεφάλαιο 4.2.1 ο δείκτης RQD κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 75– 90.	17
R3	Οι αποστάσεις μεταξύ των ασυνεχειών κυμαίνονται στο εύρος των 200 - 600 χιλιοστών(mm).	10
R4	Πολύ κλειστές ασυνέχειες με άνοιγμα μικρότερο των 0.1 χιλιοστών, τραχείες ελαφρά αποσαθρωμένες, ελάχιστες περιπτώσεις εμφάνισης υλικού πλήρωσης και μήκος της τάξεις του 1 – 3 m.	20
R5	Υπάρχει ελάχιστη εμφάνιση υπόγειων υδάτων.	15
RMR_{basic}	Βασική τιμή του δείκτη ταξινόμησης βραχόμαζας RMR.	69
R6	Επιλέγεται μία μέτρια κατάσταση προσανατολισμού των ασυνεχειών σε σχέση με την στοά για την διόρθωση της βασικής τιμής του RMR.	-5
RMR	Η ποιότητα της βραχόμαζας αντιστοιχεί σε ποιότητα II – καλή ποιότητα βραχόμαζας.	64

Πίνακας 4.8 Υπολογισμός RMR σμύριδας.

4.9.2 Προσδιορισμός δείκτη GSI Σμύριδας Νάξου

Σύμφωνα με τα στοιχεία για την κατάσταση των ασυνεχειών, καθώς και από την ποιότητα της εξεταζόμενης βραχώμαζας προκύπτει ότι **GSI = 65**.



Σχήμα 4.6 Εκτίμηση του δείκτη Γεωλογικής Αντοχής GSI σμύριδας.

4.9.3 Προσδιορισμός δείκτη Q Σμύριδας Νάξου.

Όπως και στην περίπτωση του δολομιτικού μαρμάρου, ο προσδιορισμός του δείκτη Q για τη σμύριδα δυστυχώς δεν μπορεί να είναι ακριβής διότι δεν υπάρχουν στοιχεία που να προσδιορίζουν αριθμό οικογενειών ασυνεχειών για την βραχόμαζα. Έτσι θα γίνει προσδιορισμός του δείκτη Q μέσω τύπων συσχέτισης που λαμβάνουν υπόψη τους δείκτες RMR και GSI.

Μέσω της σχέσης 4.1 και 4.2 λύνοντας ως προς Q και για τιμή RMR = 69 προκύπτει:

$$Q = e^{\frac{(RMR-44)}{9}} \Rightarrow \underline{\mathbf{Q = 15.9}}$$

$$Q = 10^{\frac{(RMR-50)}{15}} \Rightarrow \underline{\mathbf{Q = 18.2}}$$

Υπολογίζοντας τον δείκτη Q μέσω των τύπων συσχέτισης με το RMR φαίνεται ότι και οι δύο τιμές αντιστοιχούν στο εύρος τιμών Q = 10 - 40 όπου εκφράζεται σε καλή ποιότητα βραχόμαζας σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1.

5. Προτεινόμενη μέθοδος υπόγειας εκμετάλλευσης.

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο την επίτευξη μίας ορθολογικής επιστημονικά εκμετάλλευσης όπου έρχεται σε αντίθεση με την κατάσταση που επικρατεί. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να επιτευχθεί υψηλό ποσοστό εκμηχάνισης όπου θα αυξήσει την παραγωγικότητα της εκμετάλλευσης και θα δημιουργήσει ασφαλέστερο περιβάλλον εργασίας.

Η επιλογή της μεθόδου εκμετάλλευσης ενός κοιτάσματος επηρεάζεται κυρίως από τους ακόλουθους παράγοντες (Μπενάρδος, 2014):

- Την θέση του κοιτάσματος στον χώρο και τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά (σχήμα, μέγεθος, κλίση)
- Τα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά του κοιτάσματος και των περιβαλλόντων πετρωμάτων
- Την ποιότητα και γενικότερα την αξία του κοιτάσματος
- Τους επιθυμητούς ρυθμούς παραγωγής
- Το κόστος του παραγόμενου προϊόντος
- Την προστασία του περιβάλλοντος

Τα υπό εξέταση κοιτάσματα σμύριδας έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Μικρή σχετικά κλίση ($<30^\circ$), εκτός από περιοχές που τα στρώματα που βρίσκονται σε πτυχές και εφιπτεύσεις
- Η εμφάνιση των κοιτασμάτων βρίσκεται σε μικρά σχετικά βάθη υπό μορφή φακών σε μικρή ή μεγαλύτερη έκταση και με πάχη που κυμαίνονται περί τα 4 m.
- Η αντοχή της σμύριδας είναι πολύ ικανοποιητική και γενικά δεν φαίνεται να υπάρχει έντονη ρηγμάτωσή της
- Τα δολομιτικά μάρμαρα της οροφής είναι ικανοποιητικής αντοχής, όμως έχουν υποστεί κατά θέσεις έντονο τεκτονισμό
- Οι ασβεστόλιθοι του δαπέδου είναι σε ασυμφωνία με τη σμύριδα.

Σύμφωνα με τα παραπάνω για την εξόρυξη των κοιτασμάτων σμύριδας προτείνεται η μέθοδος των θαλάμων και στύλων (room and pillars).

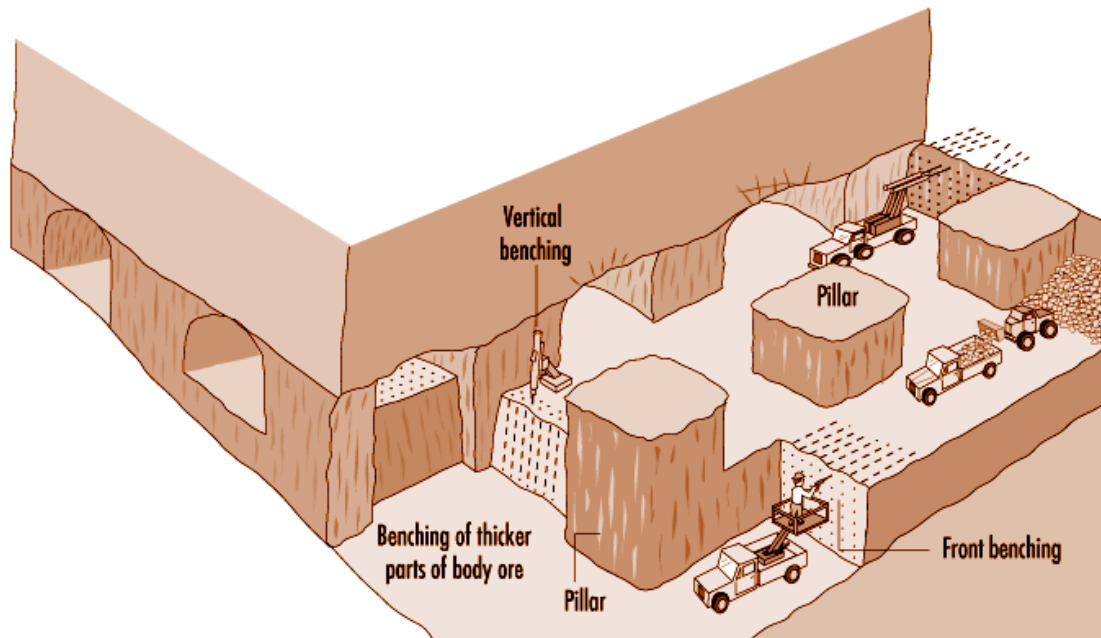
Προϋποθέσεις εφαρμογής μεθόδου θαλάμων και στύλων (Τερεζόπουλος, 2003):

- Ανθεκτικό μέταλλευμα, με περιβάλλοντα ανθεκτικά πετρώματα σε μικρό σχετικά βάθος.
- Ομαλό γεωμετρικό σχήμα και ιδίως κανονικό, κατά το δυνατό, δάπεδο.
- Πάχος κοιτάσματος που δεν υπερβαίνει τα 7 μέτρα. Κλίση από 0 μέχρι 40 μοίρες, το μέγιστο.

- Μετάλλευμα μικρής αξίας, έτσι ώστε να γίνεται παραδεκτή η σημαντική απώλεια που προκύπτει από την εγκατάλειψη στύλων.

Έτσι γίνεται φανερό ότι οι προϋποθέσεις της μεθόδου των θαλάμων και στύλων συμβαδίζουν με τα χαρακτηριστικά των υπό εξέταση κοιτασμάτων σμύριδας.

Παραδοσιακά λόγω αυτών των χαρακτηριστικών, όπως είδαμε και στο Κεφάλαιο 3, οι εκμεταλλεύσεις ακολούθησαν τη μέθοδο της κατά μέτωπο προσβολής του κοιτάσματος (breast stopping). Η μέθοδος των θαλάμων και στύλων ουσιαστικά αποτελεί εξέλιξη του breast stopping με βασική διαφορά την διάταξη των στύλων στο χώρο, που ήταν ακανόνιστη χωρίς κάποια προσπάθεια συμμετρικής ανάπτυξης. Στην εκμετάλλευση των κοιτασμάτων σμύριδας προτείνεται η εφαρμογή της μεθόδου θαλάμων και στύλων με κανονική κατανομή στύλων ώστε οι τάσεις να κατανέμονται ομαλά. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται καλύτερος έλεγχος της οροφής, μεγαλύτερη ασφάλεια, καθώς και διαμόρφωση ευθύγραμμων οδών κίνησης που βοηθούν στην ευχερή κίνηση του αυτοκινούμενου εξοπλισμού.



Εικόνα 5.1 Σχηματική απεικόνιση της μεθόδου θαλάμων και στύλων (Τερεζόπουλος, 2003).

Τόσο η διάταξη των στύλων στο χώρο, όσο και η διατομή τους μπορεί να είναι κανονική (τετραγωνική ή ορθογωνική) ή ακανόνιστη. Στην μεταλλευτική εφαρμογή της μεθόδου, η ύπαρξη στύλων από το ίδιο το κοίτασμα αποτελεί απώλεια χρήσιμου υλικού. Για το λόγο αυτό συχνά η εκμετάλλευση συνεχίζεται με τη φάση της μείωσης των διαστάσεων των στύλων (φάση εξόφλησης), με σκοπό τη μεγιστοποίηση του συντελεστή απόληψης. Χρειάζεται επομένως να

υπάρξει κατάλληλη επιλογή των χαρακτηριστικών της εκμετάλλευσης ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις για αυξημένο χώρο, χωρίς όμως να διακυβεύεται η ασφάλεια του ίδιου του χώρου.



Εικόνα 5.2 Φάση εξόφλησης στύλου (Κατεχάκη, 2017).

Γενικά τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου των θαλάμων και στύλων (Τερεζόπουλος, 2003):

Πλεονεκτήματα

- Υψηλή απόδοση κατά την εξόρυξη και αποκομιδή του υλικού χάρη στην δυνατότητα αποτελεσματικής μηχανοποιήσεως
- Ελάχιστη η παρουσία τεχνητής υποστήριξης και μεγάλη παραγωγικότητα ανά μονάδα επιφάνειας του κοιτάσματος
- Ευχέρεια εναποθέσεως των όποιων παραγόμενων στείρων κατά τη διάρκεια της εξόρυξης
- Ουσιαστικός περιορισμός των έργων προπαρασκευής, τα οποία τοποθετούνται εντός του κοιτάσματος.
- Δυνατότητα εκλεκτικής εξόρυξης και αποτελεσματικής διαλογής εντός του μετώπου.

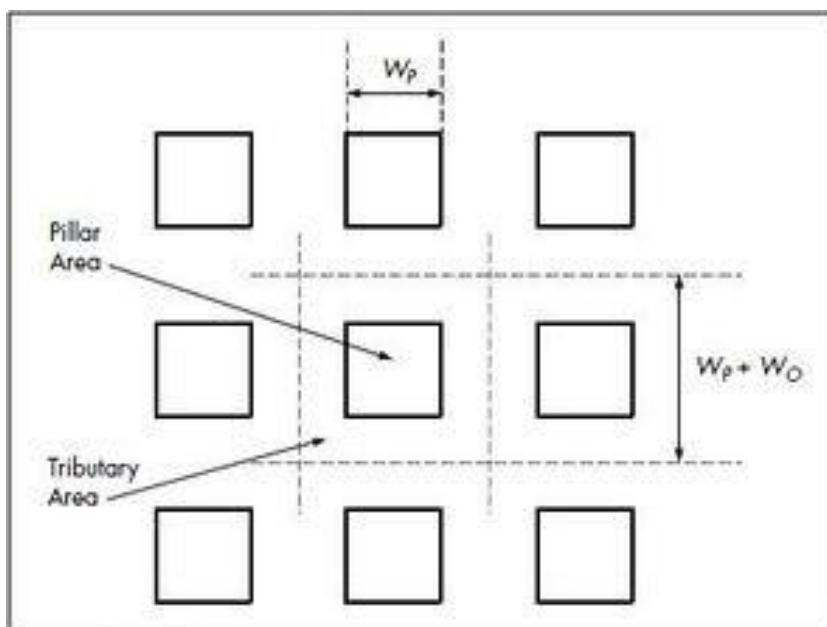
Μειονεκτήματα

- Απώλειες μεταλλεύματος λόγω της ανάγκης εγκατάλειψης στύλων.
- Επίσης, απώλειες μπορούν να προκύψουν και εξαιτίας των γεωμετρικών ανωμαλιών της οροφής και της στρώσης.
- Μειονεκτικές συνθήκες ασφαλείας.

5.1 Σχεδιασμός θαλάμων και στύλων

Ο σχεδιασμός των θαλάμων και στύλων έχει βασικό στόχο των προσδιορισμό αυτών των δύο μεγεθών με τρόπο ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ασφάλεια των εργαζομένων και του έργου και την ίδια στιγμή αυξημένη απόληψη του κοιτάσματος.

Στη γενική εφαρμογή της μεθόδου θαλάμων και στύλων, το πέτρωμα εξορύσσεται μέσω ενός συστήματος παράλληλων θαλάμων οι οποίοι διαχωρίζονται από στύλους. Οι θάλαμοι ορύσσονται ως στοές και οι άξονες τους συνήθως ισαπέχουν. Στη συνέχεια ορύσσονται νέες στοές κάθετα ή με κάποια κλίση ως προς τις πρώτες. Με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται στύλοι πετρώματος που στηρίζουν την οροφή. Η ευστάθεια δηλαδή των θαλάμων επιτυγχάνεται χάρη στους στύλους και συγκεκριμένα χάρη στην εκμετάλλευση της φέρουσας ικανότητας αυτών.



Εικόνα 5.3 Κάτοψη της διάταξης των θαλάμων και στύλων. Η περιοχή ανάμεσα στον στύλο και τις διακεκομμένες αποτελεί την συνεισφέρουσα επιφάνεια του στύλου.

Η μαθηματική προσέγγιση της θεωρίας της συνεισφέρουσας επιφάνειας δίνεται ακολούθως. Αν (A_R ή A_0) η επιφάνεια που αντιστοιχεί σε κάθε στύλο (τμήμα ανάμεσα στον στύλο και τις διακεκομμένες) και (A_p) η επιφάνεια του στύλου, τότε το άθροισμα των δύο παραπάνω επιφανειών (A_t) είναι :

$$A_t = A_R + A_p$$

Οι βέλτιστες διαστάσεις των στύλων υπολογίζονται κυρίως με βάση δύο παράγοντες:

- Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του πετρώματος (από το οποίο αποτελούνται οι στύλοι), τα οποία συνήθως προσδιορίζονται με εργαστηριακές δοκιμές.
- Τις ασκούμενες από τα υπερκείμενα στρώματα τάσεις στους στύλους.

Χρειάζεται επομένως να οριστούν τα μεγέθη

1. της φόρτισης του στύλου (σ_p).
2. της αντοχής του στύλου (C_p).
3. ο συντελεστή ασφαλείας (SF) του στύλου.

5.1.1 Φόρτιση που αναπτύσσεται στους στύλους.

Η γενική σχέση που περιγράφει την τάση στον στύλο δίνεται από την εξίσωση:

$$\sigma_p = S_v * \frac{A_t}{A_p}$$

Όσον αφορά στην φόρτιση, για την περίπτωση στύλων τετραγωνικής διατομής η μέση ορθή τάση του στύλου δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma_p = \gamma * h * \left(1 + \frac{WR}{WP}\right)^2$$

Όπου:

γ	το ειδικό βάρος των υπερκείμενου πετρώματος (t/m^3).
----------	--

h	το ύψος των υπερκείμενων (απόσταση βάρους από επιφάνεια) (m).
W_R	το πλάτος του θαλάμου μεταξύ δύο διαδοχικών στύλων (m).
W_P	το πλάτος του στύλου (m).

5.1.2 Αντοχή των στύλων.

Για την εκτίμηση της αντοχής των στύλων χρησιμοποιείται ο εμπειρικός τύπος των Obert & Duvall (1967), στον οποίο έχει γίνει η κατάλληλη απομείωση κατά 50% της αντοχής του άρρηκτου πετρώματος (UCS) ώστε να ληφθεί υπόψη η επίδραση της κλίμακας/μεγέθους στην τελική τιμή της αντοχής:

$$C_p = C_1 * (0.778 + 0.222 * \frac{W_P}{H_P}) = 0.5 * UCS * (0.778 + 0.222 * \frac{W_P}{H_P})$$

Όπου:

C_p	αντοχή στύλου (MPa).
C₁	αντοχή κυβικού δοκιμίου (D/H=1) (MPa).
H_P	ύψος στύλου (m).
UCS	αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (MPa).

5.1.3 Συντελεστής ασφαλείας.

Ο προσδιορισμός του συντελεστή ασφαλείας γίνεται μέσω του πηλίκου της αντοχής των στύλων και της τάσης που αναπτύσσεται στους στύλους. Η σχέση που προσδιορίζει τον συντελεστή ασφαλείας :

$$SF = \frac{C_p}{\sigma_p}$$

Το κατώτατο αποδεκτό όριο του συντελεστή ασφαλείας αλλάζει τις περισσότερες φορές ανάλογα με τον τύπο εκτίμησης της αντοχής των στύλων. Συνήθως λαμβάνεται συντελεστής ασφαλείας μεγαλύτερος του 1.6 – 1.8. Στην περίπτωση μας το κατώτατο αποδεκτό όριο είναι SF=2.

5.1.4 Απόληψη κοιτασμάτων.

Το ποσοστό απόληξης (R) που είναι η σχέση μεταξύ της εκμεταλλευθείσης επιφάνειας ως προς την ολική επιφάνεια του κοιτάσματος υπολογίζεται μέσω της σχέσης :

$$R = 1 - \frac{W_p^2}{(W_p + W_R)^2}$$

5.2 Υπολογισμός διαστάσεων της μεθόδου θαλάμων και στύλων

Για να γίνει ο υπολογισμός των βασικών σχέσεων της εκμετάλλευσης με την μέθοδο θαλάμων και στύλων πρέπει να καθοριστούν ή να οριοθετηθούν οι τιμές των σταθερών όρων. Αρχικά ο σημαντικότερος όρος που πρέπει να οριοθετήσουμε είναι αυτός του συντελεστή ασφαλείας, όπου σε όλες τις περιπτώσεις πρέπει να είναι μεγαλύτερος του δύο (**SF > 2**). Εξίσου σημαντικό όρος που πρέπει να στοχοποιηθεί είναι αυτός του μήκους του θαλάμου της εκμετάλλευσης. Η τιμή που πρέπει να διατηρηθεί κατά την εκμετάλλευση είναι αυτή των τεσσάρων μέτρων (**W_R = 4m**), διότι αυτό είναι το απαιτούμενο άνοιγμα ώστε να γίνεται άνετη η διακίνηση του μηχανοκίνητου εξοπλισμού. Παρακάτω δίνεται συγκεντρωτικός πίνακας όπου παρουσιάζονται οι υπόλοιπες τιμές μεταβλητών όπου είναι αναγκαίες για τον υπολογισμό των σχέσεων της εκμετάλλευσης με την μέθοδο θαλάμων και στύλων, καθώς και σχόλια για την αιτιολογία της επιλογής τους.

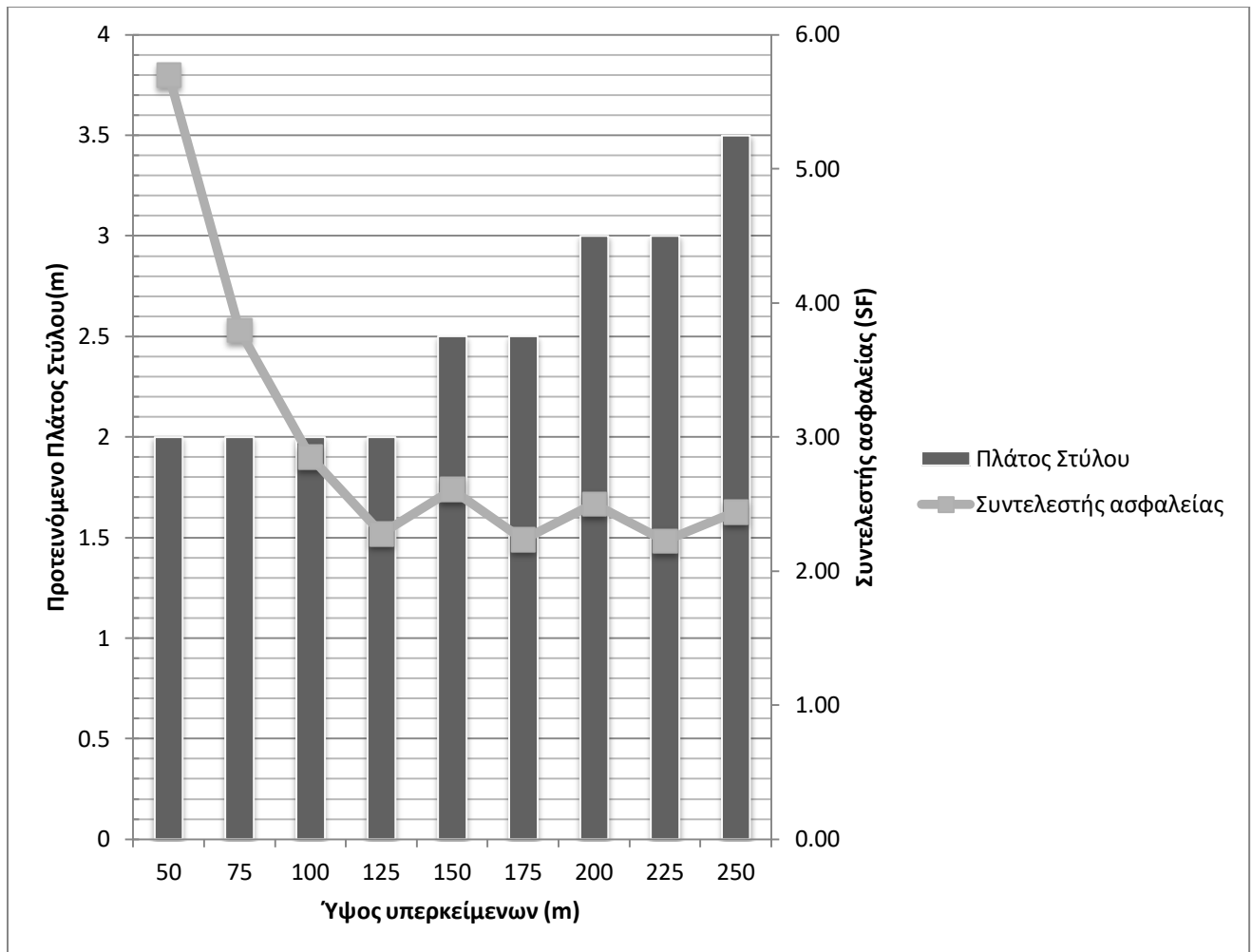
Τιμές μεταβλητών	Αιτιολογία
$SF > 2$	Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η τιμή του συντελεστή ασφαλείας πρέπει να διατηρηθεί σε όλες περιπτώσεις αυστηρά μεγαλύτερη ή ίση του 2.
$W_R = 4m$	Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η τιμή του μήκους θαλάμου πρέπει να διατηρηθεί σε όλες περιπτώσεις ίση με 4m.
$H_p = 4m$	Το ύψος του στύλου θα ισούται με 4m, όπου αντιστοιχεί στη συνήθη τιμή πάχους που εμφανίζονται τα εξεταζόμενα κοιτάσματα σμύριδας και σε αυτό θα βασιστούν οι υπολογισμοί σε αυτό το κεφάλαιο.
$W_P = 2m$	Αρχική τιμή επιλογής για το πλάτος του στύλου υποστήριξης είναι τα 2m, τιμή όπου θα μεταβληθεί κατά +0.5m όταν ο συντελεστής ασφαλείας έχει τιμή μικρότερη από 2.
$\gamma = 2.6 \text{ t/m}^3$	Το ειδικό βάρος (γ) των υπερκείμενων πετρωμάτων, δηλαδή του δολομιτικό μάρμαρο είναι $\gamma = 2.6 \text{ t/m}^3$.
$UCS_{\text{σμπρ.}} = 150 \text{ MPa.}$	Η αντοχή της σμύριδας όπως υπολογίστηκε στο υποκεφάλαιο 4.8 παίρνει την τιμή 150MPa.

Πίνακας 5.1 Τιμές μεταβλητών για τον υπολογισμό σχέσεων της εκμετάλλευσης με την μέθοδο θαλάμων και στύλων.

Στην συνέχεια παρατίθενται πίνακας όπου γίνεται υπολογισμός της φόρτισης (σ_p), της αντοχής (C_p), του συντελεστή ασφαλείας (SF) του στύλου, καθώς και το ποσοστό απόληψης του κοιτάσματος. Ο υπολογισμός πραγματοποιείται για τιμές ύψους υπερκείμενων πετρωμάτων (h) που κυμαίνονται σε ένα εύρος από 50m έως 250m.

Ύψος υπερκείμενων (m)	Πλάτος στύλου (m)	Συντελεστής ασφαλείας SF	Φόρτιση στύλων (MPa)	Αντοχή στύλων (MPa)	Ποσοστό απόληψης R
50	2	5.70	11.70	66.68	88.89
75	2	3.80	17.55	66.68	88.89
100	2	2.85	23.40	66.68	88.89
125	2	2.28	29.25	66.68	88.89
150	2.5	2.61	26.36	68.76	85.21
175	2.5	2.24	30.76	68.76	85.21
200	3	2.50	28.31	70.84	81.63
225	3	2.22	31.85	70.84	81.63
250	3.5	2.44	29.85	72.92	78.22

Πίνακας 5.2 Συγκεντρωτικός πίνακας υπολογισμού μεγεθών για τον σχεδιασμό της μεθόδου θαλάμων και στύλων για εύρος τιμών ύψους υπερκείμενων από 50m μέχρι 250m.



Σχήμα 5.1 Εκτίμηση SF σε σχέση με το προτεινόμενο πλάτος στύλου (WP) για διάφορες τιμές υπερκείμενων (πλάτος θαλάμου WR=4m).

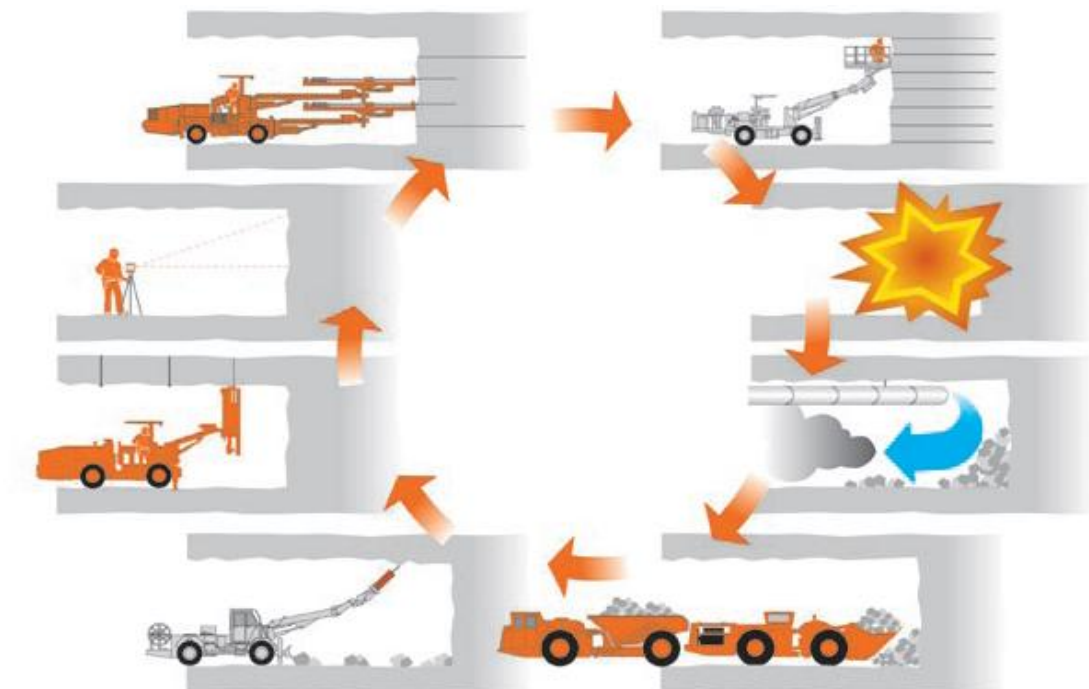
6. Εργασίες εκμετάλλευσης

Για την εκκίνηση της εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων σμύριδας δεν χρειάζονται πολλά προπαρασκευαστικά έργα. Στα αρχικά στάδια της εκμετάλλευσης η προσπέλαση θα γίνει μέσω δύο στοών ή φρεάτων ή συνδυασμού αυτών, με σκοπό την μεταφορά του μεταλλεύματος όσο και την δημιουργία του κατάλληλου κυκλώματος αερισμού.

Για την περιχάραξη και την ανάπτυξη της εκμετάλλευσης αρχικά ορύσσονται ορισμένες στοές για την επικοινωνία του τμήματος της εκμετάλλευσης με τις στοές βάσης με σκοπό τη μεταφορά του μεταλλεύματος. Στη συνέχεια το ρόλο αυτό τον εξυπηρετούν οι θάλαμοι που δημιουργούνται κατά την εκμετάλλευση.

Η εξόρυξη ακολουθεί το συμβατικό κύκλο όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 6.1 :

1. Όρυξη διατρημάτων
2. Γόμωση – Πυροδότηση – Ανατίναξη
3. Αερισμός
4. Φόρτωση
5. Μεταφορά
6. Ξεσκάρωμα
7. Τοπικής υποστήριξης του ανοίγματος



Εικόνα 6.1 Κύκλος εργασιών για την εξόρυξη (Μπενάρδος, 2014).

6.1 Προτεινόμενες θέσεις εκμετάλλευσης.

Πρώτο βήμα που θα πρέπει να ακολουθήσει οποιοσδήποτε εκμεταλλευτής επιθυμεί να ασχοληθεί με τα εν λόγω κοιτάσματα σμύριδας, είναι να γίνει σαφής προσδιορισμός θέσεων των κοιτασμάτων καθώς και ιεράρχηση αυτών, ώστε να σχεδιαστούν οι βέλτιστες περιπτώσεις εκμετάλλευσης. Αυτό θα επιτευχθεί μέσω νέων συστηματικών γεωτρήσεων που οι θέσεις και η πυκνότητα τους θα βασιστεί στις 7 αναγνωριστικές γεωτρήσεις που είχαν γίνει το 1979 από το ΙΓΜΕ (5 στο Μαύρο Φάραγγα και 2 στο Μαχαιρά), καθώς και στις εκμεταλλεύσεις που ήδη έχουν γίνει.

Όσον αφορά τον σχεδιασμό, προτείνεται να υπάρξει προτεραιότητα στις υφιστάμενες θέσεις εκμετάλλευσης, καθώς θα μπορεί να γίνει χρήση των υφιστάμενων υποδομών που έχουν δημιουργηθεί όπως για παράδειγμα ορισμένα έργα προσπελάσεων. Για την χρήση αυτών των έργων θα πρέπει να γίνει αναδιαμόρφωση και βελτίωση τους ώστε να τηρούν τα νέα δεδομένα εκμετάλλευσης. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να επιτευχθεί μείωση του κόστους, ειδικά για τα πρώτα χρόνια της εκμετάλλευσης μέχρι να υπάρξει σαφής αξιολόγηση των κοιτασμάτων.

6.2.1 Όρυξη διατρημάτων.

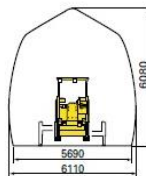
Το σχέδιο ανατίναξης σε μέτωπο-στοά περιλαμβάνει τις εργασίες διάτρησης-γόμωσης-ανατίναξης, με αυτή τη συγκεκριμένη σειρά.

Διάτρηση ονομάζεται η εργασία όρυξης διατρημάτων στο πέτρωμα. Στα διατρήματα αυτά τοποθετείται στη συνέχεια η εκρηκτική ύλη, η διαδικασία αυτή ονομάζεται γόμωση. Μετά την γόμωση των διατρημάτων ακολουθεί η πυροδότηση που έχει ως αποτέλεσμα την ανατίναξη του μετώπου. Μέχρι σήμερα, η όρυξη διατρημάτων στα κοιτάσματα σμύριδας της περιοχής πραγματοποιούνταν με την χρήση αερόσφυρων χωρίς την ύπαρξη υποστάτη. Για την αναβάθμιση της όρυξης διατρημάτων προτείνεται η χρήση ειδικού φορείου όρυξης (jumbo διάτρησης), με μία σφύρα/βραχίονα διάτρησης (μούμα) τύπου Rocket Boomer 281 (Εικόνα 6.2) ή αντίστοιχου. Με την αλλαγή αυτή επιτυγχάνεται αύξηση του ρυθμού διάτρησης και ταυτόχρονα βελτίωση των συνθηκών εργασίας.

Rocket Boomer 281
Typical min. drift width 2.7 m



Coverage
8 - 31 m²

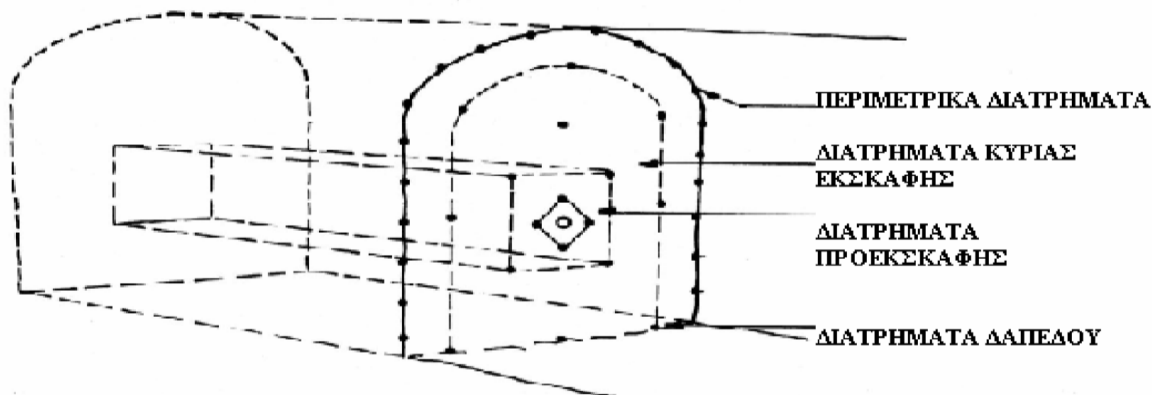


Main Specifications

Rock drill	1 x COP 1838ME/COP 1838HF
Feed	1 x BMH 2831 - BMH 2849
Boom	1 x BUT 28
Drilling system	DCS
Length	11700 mm (with BMH 2843)
Width	1700
Height	2100 mm (2800 mm roof up)
Turning radius	2800/4400 mm
Weight	9300 kg

Εικόνα 6.2 Χαρακτηριστικά ελαφρού φορείου διάτρησης (jumbo).

Η ανάπτυξη που παρατηρήθηκε την τελευταία 15ετία στην τεχνολογία της όρυξης διατρημάτων και του αντίστοιχου διατρητικού εξοπλισμού, οδήγησε στην καθιέρωση της όρυξης διατρημάτων παράλληλων προς τον άξονα προχώρησης της σήραγγας, με εξαίρεση, για πρακτικούς λόγους, τα διατρήματα που διαμορφώνουν την περίμετρο της διατομής της σήραγγας, τα οποία έχουν ελαφρά κλίση προς τα έξω (γωνία εκτροπής 3° που αντιστοιχεί σε απόκλιση του διατρήματος 5cm ανά m διάτρησης). Στην Εικόνα 6.3 παρουσιάζονται οι διάφοροι τύποι διατρημάτων που συγκροτούν το σχέδιο ανατίναξης μετώπου σήραγγας.

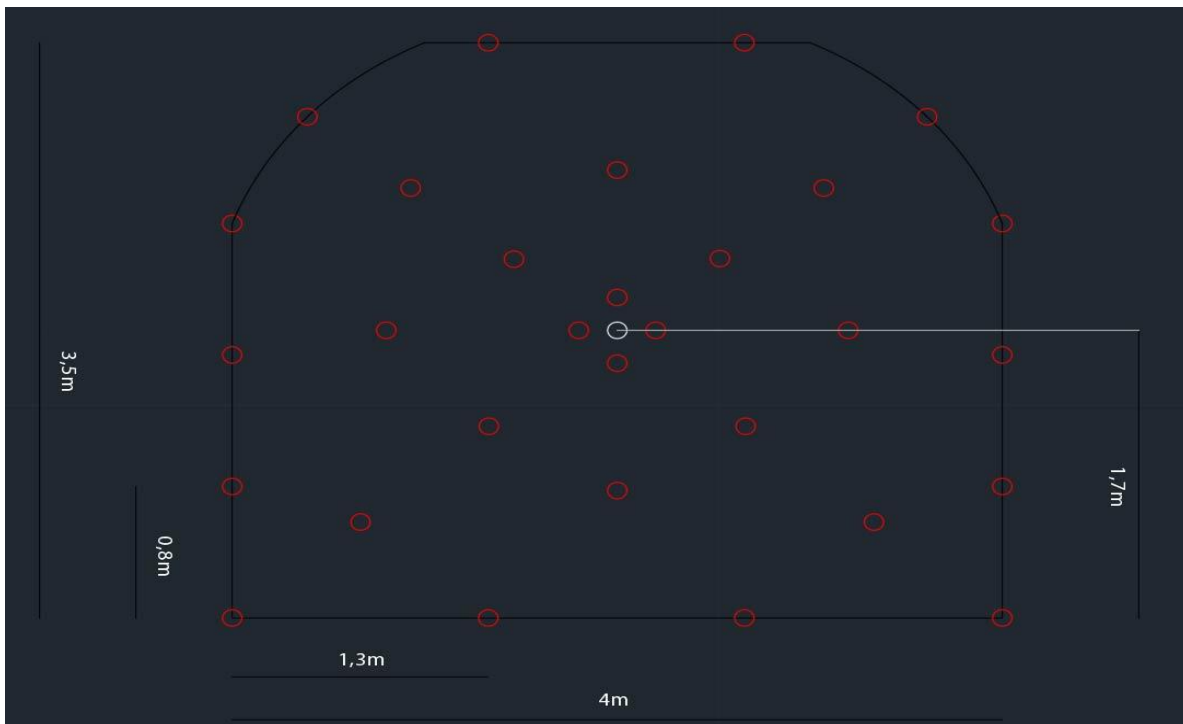


Εικόνα 6.3 Τύποι διατρημάτων για την ανατίναξη μετώπου σήραγγας (Παναγιώτου, 2015).

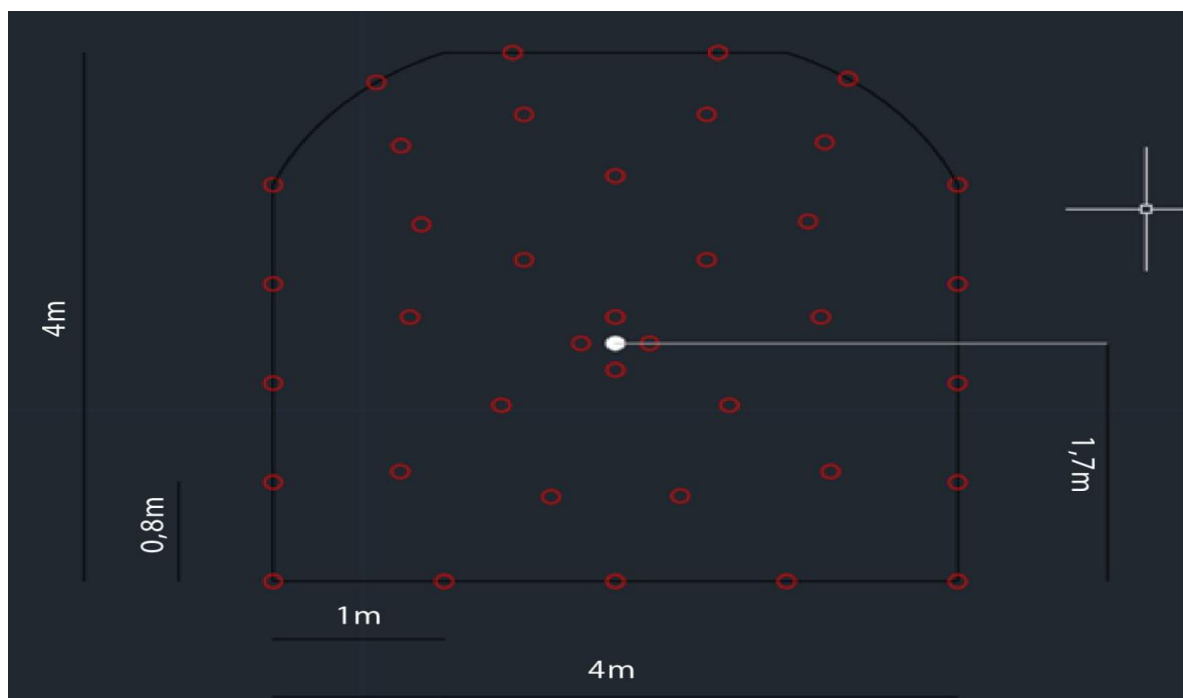
Η προχώρηση του μετώπου σε κάθε κύκλο ανατίναξης, στην καλύτερη των περιπτώσεων και για διατρήματα που παρουσιάζουν απόκλιση από την ευθυγραμμία μέχρι 2%, δεν υπερβαίνει το 95% του μήκους των διατρημάτων. Στην Εικόνα 6.4 παρουσιάζεται η συσχέτιση μεταξύ του μήκους των διατρημάτων (H), της διαμέτρου του κενού διατρήματος (D_0) και της αναμενόμενης προχώρησης του μετώπου.

Τα προτεινόμενα σχέδια ανατίναξης για την εξόρυξη των κοιτασμάτων σμύριδας είναι τρία:

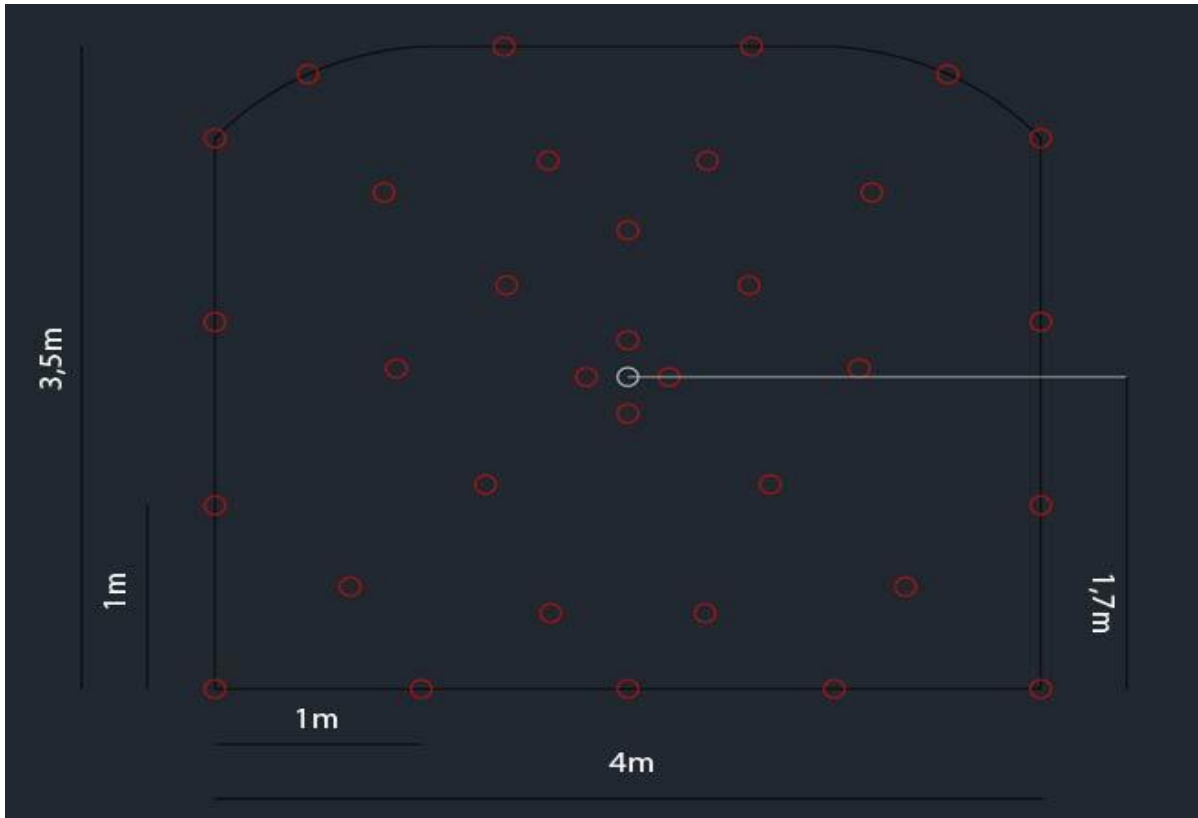
- Για προσπελαστική στοά μέσα από τις στείρες ζώνες του μαρμάρου όπου ορύσσονται 31 διατρήματα.
- Για παραγωγική στοά εξόρυξης σμύριδας διαστάσεων 3.5x4 όπου ορύσσονται 35 διατρήματα.
- Για παραγωγική στοά εξόρυξης σμύριδας διαστάσεων 4x4 όπου ορύσσονται 39 διατρήματα.



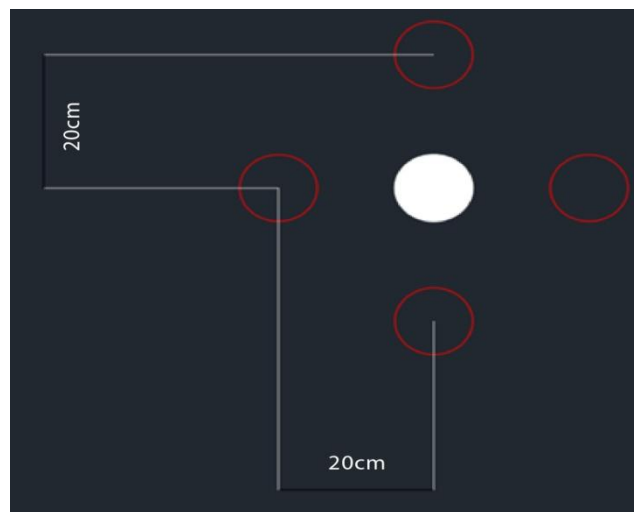
Σχήμα 6.1 Σκαρίφημα προτεινόμενης διάταξης διατρημάτων (30+1) για την όρυξη προσπελάσεων και στείρων στοών.



Σχήμα 6.2 Σκαρίφημα προτεινόμενης διάταξης διατρημάτων (38+1) για την όρυξη παραγωγικών στοών ύψους 4,0 m.



Σχήμα 6.3 Σκαρίφημα προτεινόμενης διάταξης διατρημάτων (34+1) για την όρυξη παραγωγικών στοών ύψους 3,5 m.



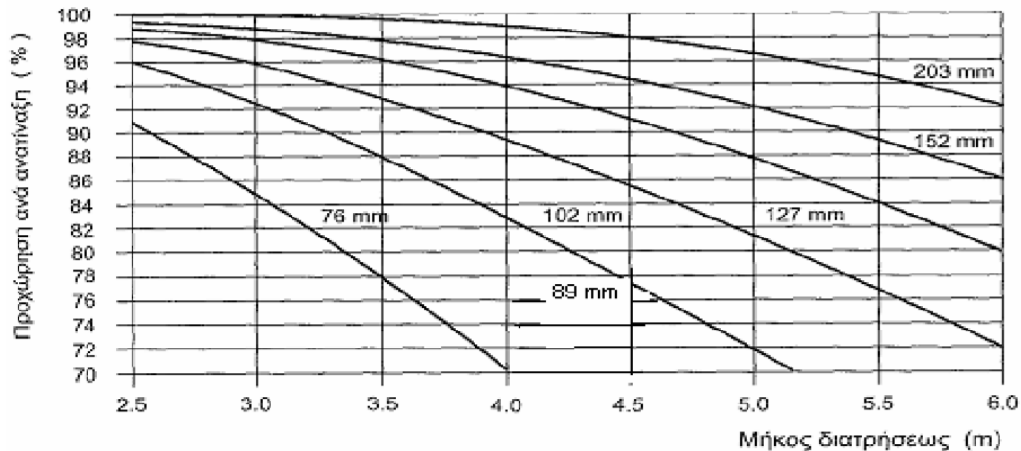
Σχήμα 6.4 Σκαρίφημα των διατρημάτων προεσκαφής, όμοιο και για τα τρία σκαριφήματα.

Σε περιπτώσεις όπου το πάχος του κοιτάσματος ξεπερνά τα 4m μπορεί να γίνει διεύρυνση διατομής της στοάς ώστε να εκμεταλλευτεί σε μία φάση όλη η περιοχή του μετώπου. Σε άλλη περίπτωση όπου το πάχος είναι ιδιαίτερα αυξημένο η εξόρυξη αυτού μπορεί να επιτευχθεί με όρυξη διατρημάτων υπό κλίση στην οροφή. Εναλλακτικά, για να υπάρχουν καλύτερες συνθήκες υποστήριξης της οροφής υπάρχει η δυνατότητα να ακολουθηθεί ως «οδηγός» η επαφή του

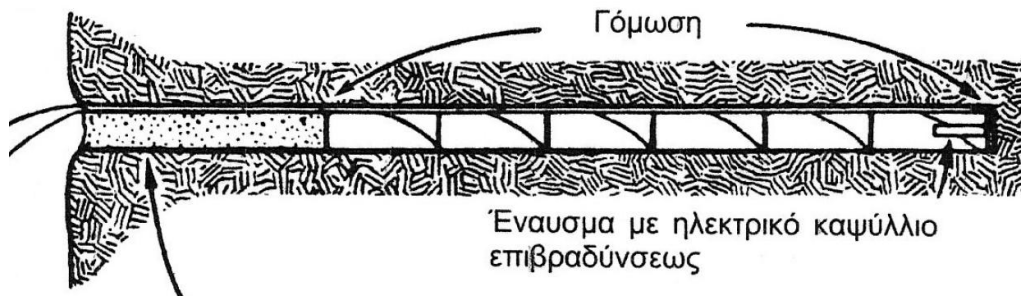
κοιτάσματος και των υπερκειμένων (ταβάνι) και εν συνεχεία να γίνει η διεύρυνση της εκμετάλλευσης προς τους βαθύτερους ορίζοντες (στρώσεις).

6.2.2 Γόμωση – Πυροδότηση – Ανατίναξη

Όπως προαναφέρθηκε, μετά την όρυξη των διατρημάτων, συνέχεια έχει η εργασία γόμωσης αυτών. Το περιεχόμενο της γόμωσης θα είναι η ζελατινοδυναμίτιδα, κατάλληλη για ανατινάξεις σε σκληρά πετρώματα. Τα φυσίγγια ζελατινοδυναμίτιδας έχουν διαστάσεις 38×395 mm και βάρος 625gr ή 0,625kg. Στο διάτρημα των 3m, θα τοποθετηθούν 5 φυσίγγια που θα καλύψουν σχεδόν τα 2m αυτού. Το υπόλοιπο 1m θα αποτελέσει την επιγόμωση, όπου θα γομωθεί με χαλίκια από τα στείρα της εξόρυξης. Η υπολογισθέντα πραγματική προχώρηση του μετώπου (Σχήμα 6.5), για διάτρημα 3m και κενού διατρήματος της προεκκαφής $D_0=89\text{mm}$ θα είναι περίπου 2.7m, δηλαδή γύρω στο 90% του μήκους του διατρήματος (των 3m).



Σχήμα 6.5 Προσδιορισμός της προχώρησης του μετώπου ως συνάρτηση του μήκους των διατρημάτων και της διαμέτρου του κενού διατρήματος της προεκκαφής, για διαμέτρους $D_0 = 76, 89, 102, 127, 152$ και 203 mm (Παναγιώτου, 2015).



Εικόνα 6.4 Τυπική άποψη γόμωσης διατρήματος όπου διακρίνεται το ηλεκτρικό καψύλλιο, τα φυσίγγια εκρηκτικής ύλης και η επιγόμωση.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ	-	ΑΡΙΘΜΟΣ	ΔΙΑΤΡΗΜΑΤΑ (45mm)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΙΑΤΡ.	Τεμάχια ζελατοδυναμίτιδας
Διατομή (3,5 x 4 m)	m ²	14	Προεσκαφής	4	20
Μήκος Διάτρησης	m	3	Περιμετρικά	9	45
Υπολογισθείσα προχώρηση	m	2.7	Δαπέδου	4	20
Όγκος (θεωρ. ανά βήμα)	m ³	37.8	Κύριας εκσκαφής	13	65
Αριθμός Διατρημάτων	-	30+1	ΣΥΝΟΛΟ τεμ.	30	150
Συνολική Διάτρηση	m	90	ΣΥΝΟΛΟ Kgr	-	93.75
Ειδική Διάτρηση	m/m ³	2.38			
Ειδική Γόμωση	Kgr/m ³	2.48			

Πίνακας 6.1 Δεδομένα γόμωσης διατρημάτων για στοά προσπέλασης (3,5x4m).

ΔΕΔΟΜΕΝΑ	-	ΑΡΙΘΜΟΣ	ΔΙΑΤΡΗΜΑΤΑ (45mm)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΙΑΤΡ.	Τεμάχια ζελατοδυναμίτιδας
Διατομή (4 x 4 m)	m ²	16	Προεσκαφής	4	20
Μήκος Διάτρησης	m	3	Περιμετρικά	13	65
Υπολογισθείσα προχώρηση	m	2.7	Δαπέδου	5	25
Όγκος (θεωρ. ανά βήμα)	m ³	43.2	Κύριας εκσκαφής	16	75
Αριθμός Διατρημάτων	-	38+1	ΣΥΝΟΛΟ	38	185
Συνολική Διάτρηση	m	114	ΣΥΝΟΛΟ Kgr	-	115.63
Ειδική Διάτρηση	m/m ³	2.64			
Ειδική Γόμωση	Kgr/m ³	2.68			

Πίνακας 6.2 Δεδομένα γόμωσης διατρημάτων για στοά παραγωγής (4x4m).

ΔΕΔΟΜΕΝΑ	-	ΑΡΙΘΜΟΣ	ΔΙΑΤΡΗΜΑΤΑ (45mm)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΙΑΤΡ.	Τεμάχια ζελατοδυναμίτιδας
Διατομή (3,5 x 4 m)	m ²	14	Προεσκαφής	4	20
Μήκος Διάτρησης	m	3	Περιμετρικά	10	50
Υπολογισθείσα προχώρηση	m	2.7	Δαπέδου	5	25
Όγκος (θεωρ. ανά βήμα)	m ³	37.8	Κύριας εκσκαφής	15	75
Αριθμός Διατρημάτων	-	34+1	ΣΥΝΟΛΟ	34	170
Συνολική Διάτρηση	m	105	ΣΥΝΟΛΟ Kgr	-	106.25
Ειδική Διάτρηση	m/m ³	2.78			
Ειδική Γόμωση	Kgr/m ³	2.81			

Πίνακας 6.3 Δεδομένα γόμωσης διατρημάτων για στοά παραγωγής (3,5x4m).

Το κύκλωμα της ηλεκτρικής πυροδότησης αποτελείται από τα ηλεκτρικά καψύλλια, τους αγωγούς του ηλεκτρικού ρεύματος (καλώδια) και την μονάδα παραγωγής/παροχής ηλεκτρικού ρεύματος στο κύκλωμα (power source). Μαζί με το πρώτο φυσίγγιο εισάγεται και ηλεκτρικό καψύλλιο, που αποτελεί την τελική σύνδεση με την τελική γραμμή πυροδότησης. Κάθε καψύλλιο έχει ένα διαφορετικό χρόνο έναυσης και ανατίναξης σε μια προσπάθεια να διαμορφωθούν ελεύθερες επιφάνειες ανά χρόνο ώστε να ανακλαστεί πάνω της το εκρηκτικό κύμα και να προκληθεί η μεγαλύτερη δυνατή ζημιά στο πέτρωμα. Διατίθενται καψύλλια με επιβράδυνση μισού δευτερολέπτου (hs – half second delay caps) ή χιλιοστού του δευτερολέπτου (ms – millisecond delay caps). Για τον έλεγχο του κυκλώματος χρησιμοποιούνται όργανα όπως ωμόμετρα, τα οποία είναι πιστοποιημένα για χρήση σε κυκλώματα ηλεκτρικής πυροδότησης. Η πυροδότηση γίνεται μετά τον έλεγχο του κυκλώματος και την απομάκρυνση του προσωπικού με τη χρήση δυναμοεκρηκτήρα.

6.2.3 Αερισμός

Κύριος σκοπός του αερισμού είναι η αραίωση και απομάκρυνση των διαφόρων ουσιών (αερίων, κονιορτών) που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα των μεταλλείων, οι οποίες μπορεί να καταστούν

επικίνδυνες για την υγεία και την ασφάλεια του προσωπικού και κατά επέκταση την ασφάλεια των έργων.

Ο επαρκής αερισμός των εργασιών εκμετάλλευσης εξασφαλίζεται μέσω της διάνοιξης των προσπελαστικών στοών (είσοδος – έξοδος). Η διαδικασία που προτείνεται είναι να αφήνεται για περίπου τριάντα λεπτά (30 min) ο χώρος αμέσως μετά την ανατίναξη, ώστε να απομακρυνθούν τα καπναέρια στις εξόδους του μεταλλείου.

Προς ενίσχυση της ροής του φυσικού ρεύματος αέρα (φυσικός ελκυσμός), προβλέπεται τεχνητός αερισμός με τη βοήθεια ηλεκτροκίνητων ανεμιστήρων. Οι ανεμιστήρες θα τοποθετηθούν στην επιφάνεια, στις στοές εισόδου του αέρα. Για να ανανεώνεται ο αέρας στις στοές και στα μέτωπα εργασίας εντός των υπογείων, θα υπάρχει ροή μέσω επεκτεινόμενων πλαστικών κυλινδρικών αεραγωγών, ενώ το ρεύμα θα κατευθύνεται προς τις θέσεις εργασίας με κατάλληλα διαφράγματα.

Σύμφωνα με το άρθρο 75 του (Κ.Μ.Λ.Ε.) απαιτείται παροχή αέρα ίση με $2,3 \text{ m}^3 / \text{min}$ ανά εγκατεστημένο ίππο και $5,66 \text{ m}^3 / \text{min}$ ανά εργαζόμενο. Στην διαδικασία της εξόρυξης απασχολούνται, 1 διατηρητικό φορείο Rocket Boomer ιπποδύναμης 75hp, 1 φορτωτής υπογείων Scooptram ST3.5 ιπποδύναμης 232hp, καθώς και 9 εργαζόμενοι.

Με αυτά τα δεδομένα έχουμε συνολική ιπποδύναμη από τα μηχανήματα ίση με 307 hp, όπου η παροχή αέρα που απαιτείται ισούται με $706 \text{ m}^3 / \text{min}$, ενώ για τους 9 εργαζόμενους απαιτείται $51 \text{ m}^3 / \text{min}$. Έτσι η συνολική παροχή αέρα που απαιτείται είναι $757 \text{ m}^3 / \text{min}$ ή αλλιώς $12.5 \text{ m}^3 / \text{sec}$. Λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες αέρα που προσδιορίζονται ως 10% της παροχής του αέρα η τελική τιμή διαμορφώνεται σε **$13.75 \text{ m}^3 / \text{sec}$** .

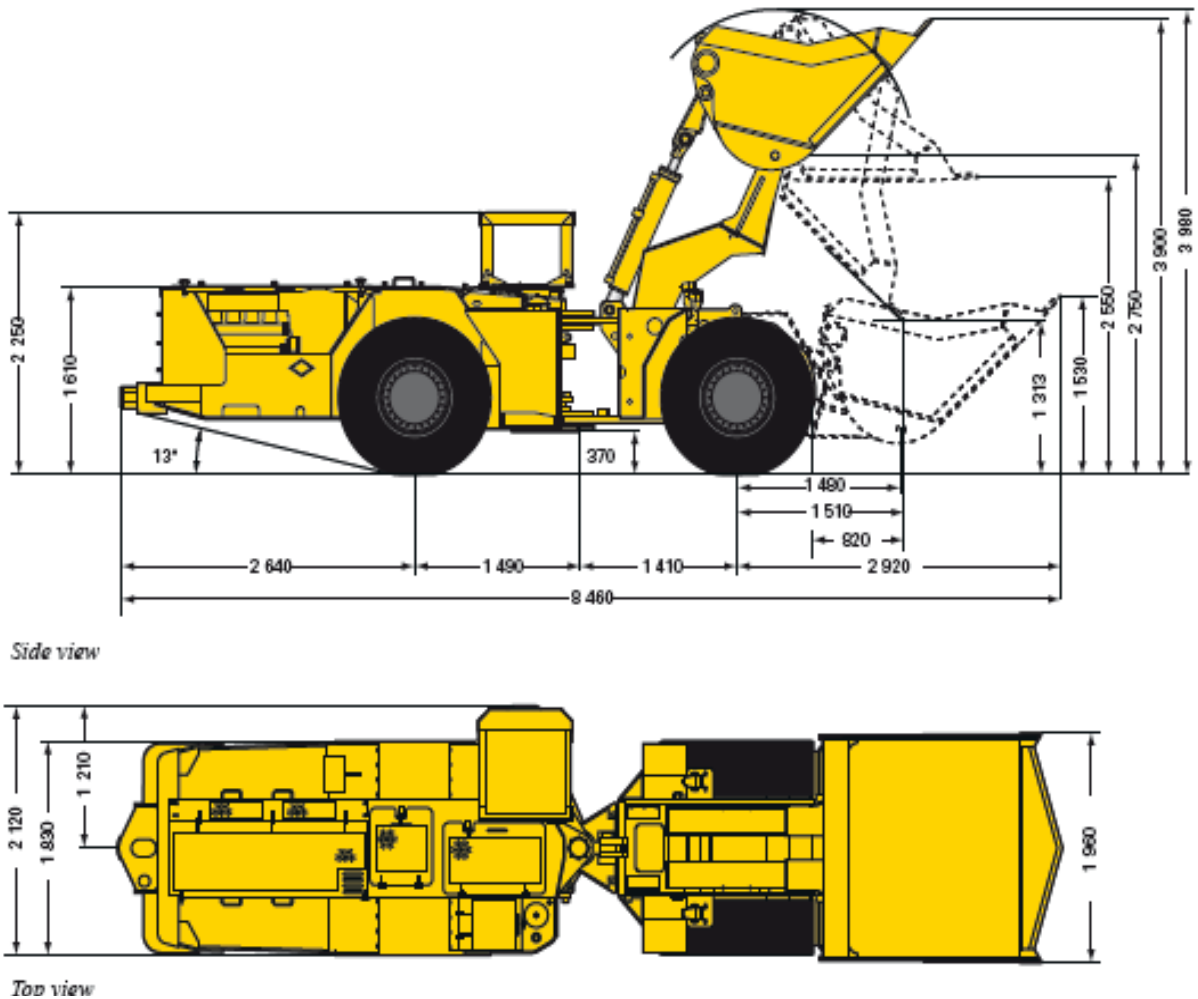
6.2.4 Ξεσκάρωμα

Ξεσκάρωμα ονομάζεται η διαδικασία με την οποία γίνεται αποκόλληση τεμαχίων πετρώματος που βρίσκονται σε συνθήκες ασταθούς ισορροπίας από την οροφή και τα τοιχώματα της στοάς όπου έγινε η ανατίναξη. Η διαδικασία γίνεται κάνοντας χρήση ειδικών μεταλλικών ράβδων με ειδικά διαμορφωμένα άκρα και με ικανό μήκος και αντοχή. Παρόλο που το ξεσκάρωμα δεν διαρκεί πάνω από τριάντα λεπτά, αυξάνει κατά πολύ την ασφάλεια των εργαζομένων και των μηχανημάτων.

6.2.5 Φόρτωση – Μεταφορά.

Οι εργασίες φόρτωσης και μεταφοράς αφορούν στην αποκομιδή των στείρων υλικών ή του μεταλλεύματος προς την επιφάνεια. Για την φόρτωση και μεταφορά στην εκμετάλλευση της

σμύριδας προτείνεται η χρήση μονάδας LHD (Load-Haul-Dump) η οποία είναι ικανή να προσφέρει μεταφορικό έργο για μεσαίες αποστάσεις, όπου σύμφωνα με τα υφιστάμενα χαρακτηριστικά των εκμεταλλεύσεων μία μέση απόσταση μεταφοράς είναι της τάξης των 200 m. Ο φορτωτής θα διαθέτει κουβά δυναμικότητας 3,1 m³ και ικανότητας μεταφοράς 6 t, τύπου Scooptram ST3.5.



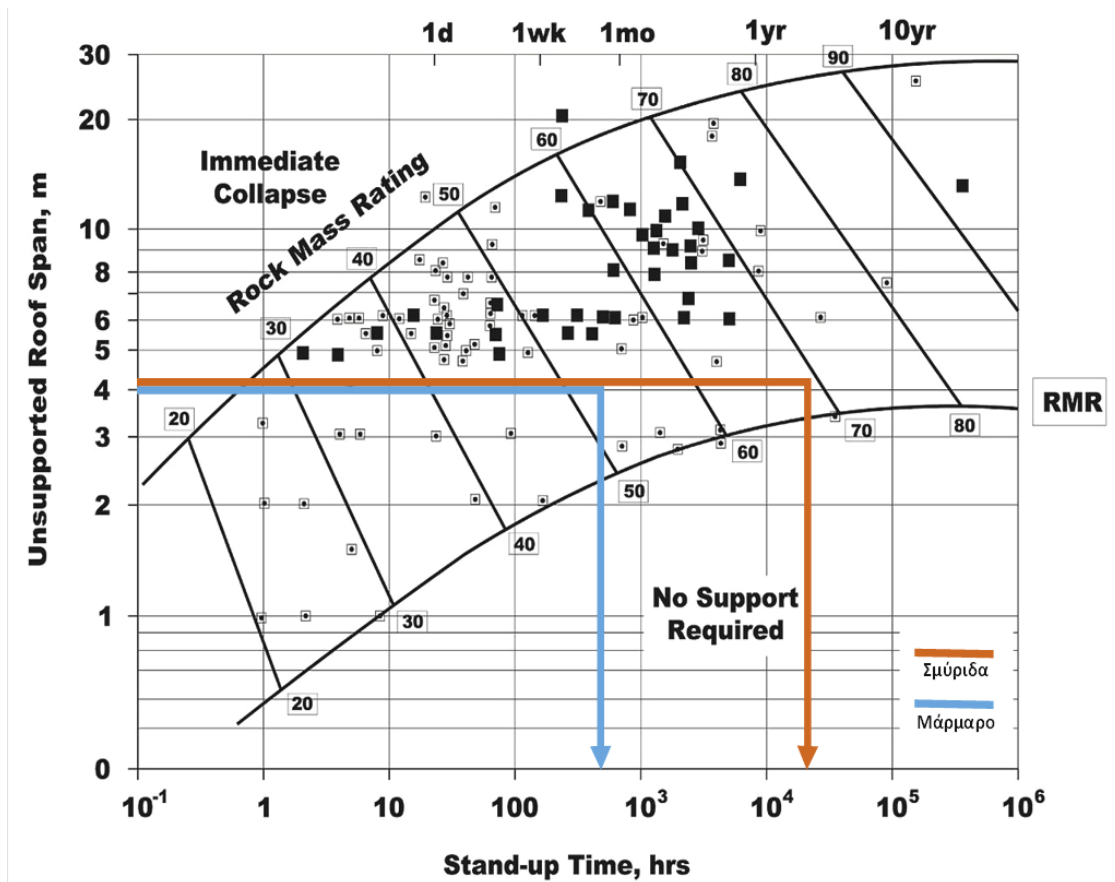
Εικόνα 6.5 Άποψη των διαστάσεων και χαρακτηριστικών του φορτωτή υπογείων (LHD) Scooptram ST3.5.

6.2.6 Υποστήριξη.

Η διάνοιξη της σήραγγας έχει ως συνέπεια την αναπόφευκτη σύγκλιση της βραχώμαζας προς το εσωτερικό της σήραγγας και την έκταση της ζώνης χαλάρωσης, η υποστήριξη έχει ως σκοπό την ανάσχεση αυτών των συνεπειών. Μέσω του διαγράμματος (Σχήμα 6.6), μπορεί να γίνει προσδιορισμός του χρόνου αυτοϋποστήριξης σε συνάρτηση του δείκτη RMR όπου έχει προσδιοριστεί στο κεφάλαιο 4 της παρούσης.

Χρόνος αυτοϋποστήριξης είναι ο δείκτης όπου γίνεται εκτίμηση της ικανότητας των σχηματισμών να ανθίστανται στις τάσεις που τείνουν να οδηγήσουν σε κατάρρευση του ανοίγματος, εκφρασμένες σε χρόνο.

Στην περίπτωση των υπό μελέτη σχηματισμών για την διάνοιξη εκσκαφής πλάτους 4m, ο χρόνος αυτοϋποστήριξης ξεπερνά της εκατό ώρες στην περίπτωση του δολομιτικού μαρμάρου, όπου αποτελεί την δυσμενέστερη περίπτωση.



Σχήμα 6.6 Εκτίμηση του χρόνου αυτοϋποστήριξης για το μάρμαρο και την σμύριδα μέσω του δείκτη RMR (Bieniawski Z. T., 1989).

Κατάταξη Βραχόμαζας	Εκσκαφή	Αγκύρια Βράχου (Διαμέτρου 20mm, πληρωμένα με σκυρόδεμα)	Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα	Μεταλλικά Πλαίσια
I - Πολύ καλή βραχόμαζα RMR: 81-100	Όλο το μέτωπο Βήμα προχώρησης: 3m	Γενικά δεν απαιτούνται μέτρα υποστήριξης εκτός από τοπικές αγκυρώσεις βράχου		
II - Καλή βραχόμαζα RMR: 61-80	Όλο το μέτωπο Βήμα προχώρησης: 1-1,5m Ολοκληρωμένη υποστήριξη 20m από το μέτωπο	Τοπικά, αγκύρια βράχου στον θόλο μήκους 3m, απόστασης 2,5m, περιστασιακά με	50mm στο θόλο όταν απαιτείται	Κανένα
III - Μέτρια βραχόμαζα RMR: 41-60	A' φάση και B' φάση Βήμα προχώρησης: 1,5-3m Εκκίνηση τοποθέτησης μέτρων υποστήριξης αμέσως μετά την εκσκαφή Ολοκληρωμένη υποστήριξη 20m από το μέτωπο	Συστηματικές αγκυρώσεις βράχου μήκους 4m, απόστασης 1,5-2m στο θόλο και τα τοιχώματα, με συρματόσχοινα στο θόλο	50-100mm στο θόλο και 30mm στα τοιχώματα	Κανένα
IV - Πτωχή βραχόμαζα RMR: 21-40	A' φάση και B' φάση Βήμα προχώρησης: 1-1,5m Τοποθέτηση μέτρων υποστήριξης ταυτόχρονα με την εκσκαφή Ολοκληρωμένη υποστήριξη 10m από το μέτωπο	Συστηματικές αγκυρώσεις βράχου μήκους 4-5m, απόστασης 1-1,5m στο θόλο και τα τοιχώματα, με συρματόσχοινα	100-150mm στο θόλο και 100mm στα τοιχώματα	Ελαφρές έως μέτριες υποστηρίξεις ανά 1,5 m, όπου απαιτείται
V - Πολύ πτωχή βραχόμαζα RMR: <20	Πολλαπλά στάδια εκσκαφής στην A' φάση Βήμα προχώρησης: 0,5-1,5m Τοποθέτηση μέτρων υποστήριξης ταυτόχρονα με την εκσκαφή Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος όσο το δυνατόν ταχύτερα	Συστηματικές αγκυρώσεις βράχου μήκους 5-6m, απόστασης 1-1,5m στο θόλο και τα τοιχώματα, με συρματόσχοινα Αγκύρωση ανάστροφου τόξου	150-200mm στο θόλο, 150mm στα τοιχώματα και 50mm στο μέτωπο	Μέτριες έως βαριές υποστηρίξεις ανά 0,75 m, με επένδυση από γαλυβδόφυλα αν απαιτείται Κλείσιμο του ανάστροφου τόξου.

Πίνακας 6.4 Προτεινόμενος τρόπος υποστήριξης ανάλογα με την τιμή του δείκτη RMR (Bieniawski 1989).

6.2.6.1 Επιλογή μέσων υποστήριξης μέσω του δείκτη Q

Στο κεφάλαιο 4.9.3 της παρούσης έγινε προσδιορισμός του δείκτη Q για το δολομιτικό μάρμαρο, όπου αντιστοιχεί στο εύρος τιμών $Q = 1 - 4$.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.6 πρέπει να γίνει προσδιορισμός και του ESR μέσω του Πίνακα 6.5. Για μόνιμα ανοίγματα μεταλλείου λαμβάνεται η τιμή $ESR = 1.6$. Το ύψος της στοάς είναι $H = 4m$, οπότε προκύπτει $\frac{H}{ESR} = 2.5$.

Σύμφωνα με τα παραπάνω προτείνεται χρήση συστηματικής κοχλίωσης.

6.2.6.2 Επιλογή μέσων υποστήριξης μέσω του δείκτη RMR

Στο κεφάλαιο 4.9.1 της παρούσης έγινε προσδιορισμός του δείκτη RMR για το δολομιτικό μάρμαρο, όπου αντιστοιχεί στην τιμή RMR=54, δηλαδή σε ποιότητα III – μέτρια ποιότητα βραχώμαζας.

Σύμφωνα με τον Πίνακα 6.4 , με βάση την τιμή RMR που προσδιορίστηκε η προτεινόμενη μέθοδος υποστήριξης με συστηματική κοχλίωση με αποστάσεις των αγκυριών να είναι 1.5m – 2m.

6.2.6.3 Προτεινόμενη μέθοδος υποστήριξης.

Συγκρίνοντας τις επιλογές μεθόδου βάση των δεικτών Q και RMR, προκύπτουν τα ίδια αποτελέσματα δηλαδή, συστηματική κοχλίωση για την υπό εξέταση βραχώμαζα.

Η όρυξη των διατρημάτων των κοχλιών θα γίνεται με τη χρήση αερόσφυρων όπου μπορούν εύκολα να διατρήσουν τον σχηματισμού του δολομιτικού μαρμάρου και στην συνέχεια θα τοποθετούνται σε αυτές οι κοχλίες. Ο βασικός τύπος αστοχίας που αναμένεται να προκύψει κατά την εξόρυξη είναι με την δημιουργία σφηνών ογκοτεμαχίων στην οροφή, στους στύλους ή στις ορθές βαθμίδες εξαιτίας των ασυνεχειών και των τεχνητών κοπών, είναι πιθανές για τα λειτουργούντα υπόγεια σμυριδωρυχεία.

Προτείνεται η χρήση κοχλιών διαστελόμενου κελύφους (με προένταση), αποτελεσματική επιλογή για την δημιουργία σφηνών. Σε σημεία όπου διατρέχεται κίνδυνος καταπτώσεων μικρών ογκοτεμαχίων από την οροφή ή τις παρειές των θαλάμων μπορεί να αποφευχθεί με χρήση μεταλλικού πλέγματος (τύπου T188 ή αντίστοιχου). Το μήκος κοχλίωσης (L) σε μια πρώτη προσέγγιση μπορεί να υπολογιστεί εμπειρικά από τον τύπο:

$$L = 1.4 + 0.184*d$$

Όπου, d = πλάτος του ανοίγματος στοάς (m).

Οπότε για άνοιγμα στοάς ίσο με 4 m το μήκος κοχλίωσης προσεγγίζεται σε τουλάχιστον L = 2.1 m.

Σχηματίζοντας κάνναβο κοχλίωσης διαστάσεων 1.3 × 1.3, και με υπολογιζόμενο μήκος προχώρησης 2.7m. Θα τοποθετούνται 7 κοχλίες ανά βήμα προχώρησης που υπολογίζεται ως:

$$\kappa = \frac{E}{\varepsilon} \approx 7 \text{ κοχλίες}$$

Όπου :

κ	ο αριθμός κοχλιών ανά μέτωπο
E	η έκταση του υπόγειου χώρου που δημιουργείται (m ²)
ε	η επιφάνεια που υποστηρίζει κάθε κοχλίας (m ²)

6.3 Χρονικός προγραμματισμός εργασιών

Η αναγνώριση του χρόνου εκτέλεσης του κύκλου εργασιών είναι βασικό στοιχείο όπου προσδιορίζεται:

- Το ύψος της παραγωγής
- Το ποσοστό προχώρησης που επιτυγχάνεται
- Η παραγωγικότητα της αξιοποίησης του εξοπλισμού
- Λειτουργικό κόστος της εκμετάλλευσης.

Στο πλαίσιο της παρούσης εργασίας έχει γίνει λόγος για τρεις περιπτώσεις στοών, παραγωγική στοά με διαστάσεις 4x4m², παραγωγική στοά 3.5x4m² και προσπελαστική στοά μέσω των στείρων ζωνών 3.5x4m². Οι υπολογισμοί που παρουσιάζονται στο συγκεκριμένο κεφάλαιο με αναλυτική παράθεση των παραδοχών και στοιχείων για την πραγματοποίησή τους αφορούν την παραγωγική στοά με διαστάσεις 4x4m². Παρατίθενται και τα αποτελέσματα των δύο άλλων στοών για κάθε περίπτωση υπολογισμού.

6.3.1 Χρονική διάρκεια διάτρησης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στο μέτωπο της παραγωγικής στοάς με διαστάσεις 4x4 διανοίγονται 38 διατρήματα μήκους 3m. Συνεπώς το συνολικό μήκος της ημερήσιας διάτρησης ανά μέτωπο

ισοδυναμεί με 114m. Για τις ανάγκες της εργασίας λαμβάνεται μέση ταχύτητα διάτρησης jumbo στο πέτρωμα της σμύριδας είναι ίση με 1,6 m/min και 1 min/διάτρημα για την επανατοποθέτηση του βραχίονα στη θέση για την όρυξη του επόμενου διατρήματος. Όλα τα παραπάνω υποδηλώνουν ότι ο συνολικός χρόνος λειτουργίας του διατρητικού συστήματος jumbo με ένα βραχίονα υπολογίζεται ως:

$$T_{\text{διάτρησης}} = \frac{L}{U_{\text{όρυξης}}} + t_{\text{επανατοποθέτησης}} * \delta = 180 \text{ min}$$

Δηλαδή περί των 3h.

Όπου:

T_{διάτρησης}	ο συνολικός χρόνος λειτουργίας του διατρητικού συστήματος jumbo (min)
L	το μήκος της ημερήσιας διάτρησης ανά μέτωπο (m)
U_{όρυξης}	η ταχύτητα όρυξης διατρήματος (m/min)
t_{επανατοποθέτησης}	ο χρόνος επανατοποθέτησης του βραχίονα (min/διάτρημα)
δ	ο αριθμός των διατρημάτων

Με τον ίδιο τρόπο, στην περίπτωση παραγωγικής στοάς με διαστάσεις 3.5x4 ο χρόνος διάτρησης είναι ίσος με 2.6 h, ενώ για στείρα στοά διαστάσεων 3.5x4 είναι ίσος με 1.7h.

6.3.2 Χρονική διάρκεια γόμωσης

Η δεύτερη φάση του καθημερινού και επαναλαμβανόμενου κύκλου εργασιών αφορά την γόμωση των διατρημάτων που διανοίχθηκαν προηγουμένως. Σε μία βάρδια εργάζονται 2 ειδικευμένοι εργάτες. Εμπειρικοί υπολογισμοί έχουν δείξει ότι ο χρόνος εργασίας που απαιτείται για την γόμωση ενός διατρήματος ανά ένα εργαζόμενο ισοδυναμεί με 2 min. Ο συνολικός χρόνος διεξαγωγής της διαδικασίας της γόμωσης σε κάθε μέτωπο παραγωγής είναι:

$$T_{\text{γόμεσης}} = \frac{\text{τεργασίας} * \delta}{\text{περγατών}} = 39\text{min}$$

Δηλαδή περί των 0.7h.

Όπου:

T_{γόμεσης}	ο συνολικός χρόνος της γόμεσης (min)
t_{τεργασίας}	ο χρόνος εργασίας που απαιτείται για την γόμεση ενός διατρήματος ανά ένα εργαζόμενο (min)
δ	τα διατρήματα προς γόμεση
n_{περγατών}	Ο αριθμός των εργαζόμενων

Με τον ίδιο τρόπο, στην περίπτωση παραγωγικής στοάς με διαστάσεις 3.5x4 ο χρόνος γόμεσης είναι ίσος με 0.6 h, ενώ για στείρα στοά διαστάσεων 3.5x4 είναι ίσος με 0.5h.

6.3.3 Χρονική διάρκεια ανατίναξης και αερισμού

Ο χρόνος αναμονής από την ανατίναξη έως ότου επιστρέψουν οι εργαζόμενοι στα πόστα εργασίας και να συνεχιστεί ο κύκλος εργασιών, για την εκκαθάριση της ατμόσφαιρας από την σκόνη και τις αναθυμιάσεις εξαρτάται από τη ταχύτητα κινήσεως του αέρα μέσω του φυσικού εξαερισμού και την αποτελεσματικότητα του υπόγειου συστήματος αερισμού. Μια μέση διάρκεια απομάκρυνσης των τοξικών αερίων και του καπνού που δημιουργείται από την έκρηξη σε υπόγειες εκμεταλλεύσεις ανέρχεται στα 30 min για κάθε παραγωγικό μέτωπο.

6.3.4 Χρονική διάρκεια φόρτωσης και μεταφοράς

Εν συνεχεία της ανατίναξης και του «ξεκαπνίσματος», ο εξορυσσόμενος όγκος της σμύριδας φορτώνεται και μεταφέρεται στις θέσεις απόθεσης. Ο όγκος της θραυσμένης σμύριδας ισούται με:

$$V_1 = b * \gamma * \text{Συντελεστής επιπλήσματος} = 221.6 \text{ t}$$

Σειρά έχει ο υπολογισμός των συνολικών μέτρων που θα εκτελέσει ο φορτωτής υπογείων, ώστε να φορτώσει – απορρίψει την θραυσμένη σμύριδα. Η μέση απόσταση (s) μεταξύ του μετώπου και των χώρων απόθεσης υπολογίζεται στα 225m.

$$Y = z * s = 11.872 \text{ m}$$

Όπου:

$$z = \frac{VI}{C * D} = 53 \text{ διαδρομές}$$

Ο χρόνος προκειμένου να μεταφερθεί η σμύριδα που εξορύχτηκε ύστερα από ανατίναξη στο μέτωπο παραγωγής τελικώς, υπολογίζεται ως:

$$T_{\text{μεταφοράς}} = \frac{Y}{U_{\text{φορτωτή}}} + \frac{z * (t_{\text{φόρτωσης}} + t_{\text{απόρριψης}})}{2} = 97 \text{ min}$$

Δηλαδή περί των 1.6 h.

Όπου:

V₁	Το βάρος του θραυσμένου υλικού ανά ανατίναξη (t)
b	ο όγκος του άθραυστου υλικού ανά ανατίναξη (m ³)
γ	Το ειδικό βάρος της σμύριδας $\frac{t}{m^3}$

Συντελεστή επιπλήσματος	ο λόγος του όγκου του υλικού μετά την εκσκαφή (χαλαρό υλικό) προς τον όγκο που καταλαμβάνει η ίδια ποσότητα υλικού στη φυσική της θέση (συμπυκνωμένο υλικό).
Y	συνολικά μέτρα που θα εκτελέσει ο φορτωτής
z	οι διαδρομές του φορτωτή
s	η απόσταση του μετώπου από τους χώρους απόθεσης του μεταλλεύματος (m)
C	η χωρητικότητα του κάδου του φορτωτή (m ³)
D	οι πληρότητα του κάδου του φορτωτή (%)
T_{μεταφοράς}	ο χρόνος κύκλου του φορτωτή (min)
U_{φορτωτή}	η μέση ταχύτητα κινήσεως του φορτωτή (m/min)
t_{φόρτωσης}	Ο μέσος χρόνος φόρτωσης του θραυσμένου υλικού
t_{απόρριψης}	Ο μέσος χρόνος απόρριψης του θραυσμένου υλικού

Με τον ίδιο τρόπο, στην περίπτωση παραγωγικής στοάς με διαστάσεις 3.5x4 ο χρόνος φόρτωσης είναι ίσος με 1.4h, ενώ για στείρα στοά διαστάσεων 3.5x4 είναι ίσος με 1h.

6.3.5 Χρονική διάρκεια ξεσκάρωματος

Η αφαίρεση των επισφαλών όγκων από την οροφή και τις παρειές του μετώπου είναι μία διαδικασία που δύναται να διαρκέσει από μηδενικό χρόνο έως και αρκετές ώρες ανάλογα με τις απαιτήσεις σε ξεσκάρωμα. Σε ένα τυπικό κύκλο εργασιών, για την υπόγεια εκμετάλλευση σμύριδας, το ξεσκάρωμα διαρκεί περίπου $T_{\text{ξεσκάρωματος}} = 15 \text{ min}$.

6.3.6 Χρονική διάρκεια υποστήριξης

Ο καθημερινός κύκλος εργασιών ολοκληρώνεται με την υποστήριξη του νέου υπόγειου χώρου που δημιουργήθηκε από τις εργασίες που προηγήθηκαν. Σε κάθε παραγωγικό μέτωπο το μέγεθος του υπόγειου αυτού χώρου ανέρχεται σε 10.8 m². Κατά το πρώτο στάδιο της υποστήριξης πραγματοποιείται η όρυξη των διατηρημάτων για την τοποθέτηση των κοχλιών. Όπως έχει ήδη αναφερθεί η επιφάνεια της οροφής που υποστηρίζει κάθε κοχλία αντιστοιχεί σε 1.7 m². Συνεπώς, σε κάθε μέτωπο τοποθετούνται:

$$\kappa = \frac{E}{\varepsilon} \approx 7 \text{ κοχλίες}$$

Όπου :

κ	ο αριθμός κοχλιών ανά μέτωπο
E	η έκταση του υπόγειου χώρου που δημιουργείται (m ²)
ε	η επιφάνεια που υποστηρίζει κάθε κοχλία (m ²)

Τα διατρήματα που διανοίγονται με την αερόσφυρα έχουν μήκος 2 m, η ταχύτητα όρυξης κάθε διατρήματος εκτιμάται στα 1m/min. Ακολούθως, γίνεται η τοποθέτηση κάθε κοχλία σε χρόνο 2.5 min.

$$T_{\text{αερόσφυρας}} = \left(\frac{\text{Ιδιατρήματος}}{U_{\text{αερόσφυρας}}} \right) * \kappa = 12 \text{ min}$$

Όπου:

T_{αερόσφυρας}	Χρόνος διάτρησης αερόσφυρας (min)
Ιδιατρήματος	Μήκος διατρήματος (m)
U_{αερόσφυρας}	Ταχύτητα διάτρησης αερόσφυρας (m/min)

Ακολούθως, γίνεται η τοποθέτηση κάθε κοχλία σε χρόνο 2.5 min.

$$T_{\text{κοχλίωσης}} = t_{\text{τοποθέτησης}} * \kappa = 15 \text{ min}$$

Όπου:

$T_{\text{κοχλίωσης}}$	Ο χρόνος κοχλίωσης (min)
$t_{\text{τοποθέτησης}}$	Ο χρόνος τοποθέτησης ενός κοχλίου (min)

Το προστατευτικό μεταλλικό πλέγμα, που αγκυρώνεται σε όλη την έκταση του νέου υπόγειου χώρου, τοποθετείται σε 20 min ($T_{\text{πλέγματος}}$). Επομένως ο συνολικός χρόνος υποστήριξης ισούται:

$$T_{\text{υποστήριξης}} = T_{\text{αερόσφυρας}} + T_{\text{κοχλίωσης}} + T_{\text{πλέγματος}} = 50 \text{ min}$$

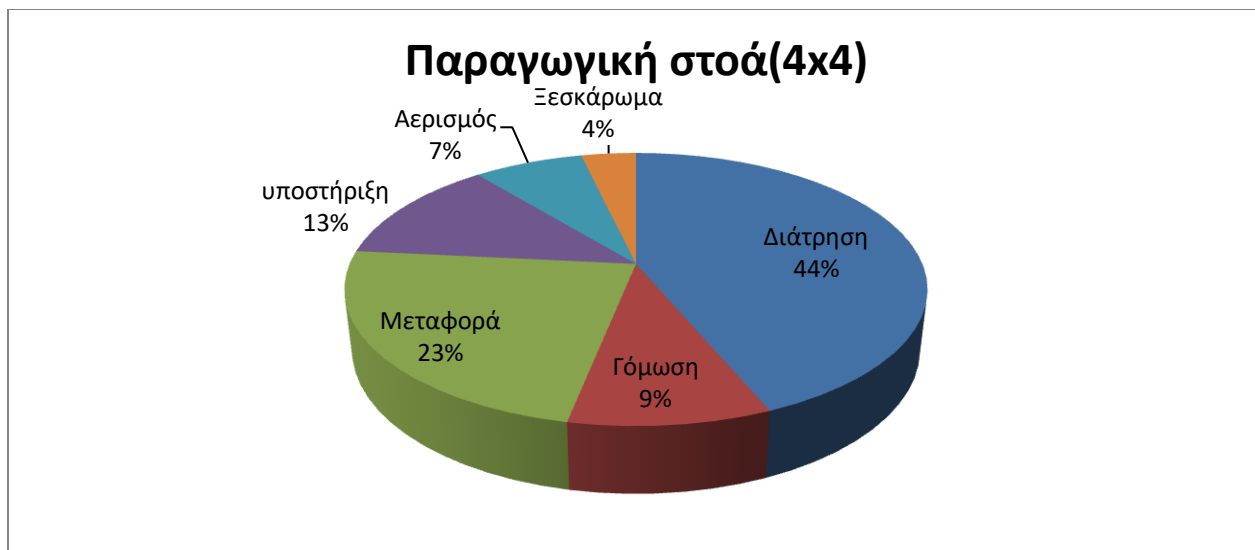
Δηλαδή περί των 0.9 h.

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία προκύπτει ότι ο μέγιστος συνολικός χρόνος του κύκλου εργασιών είναι ο ακόλουθος:

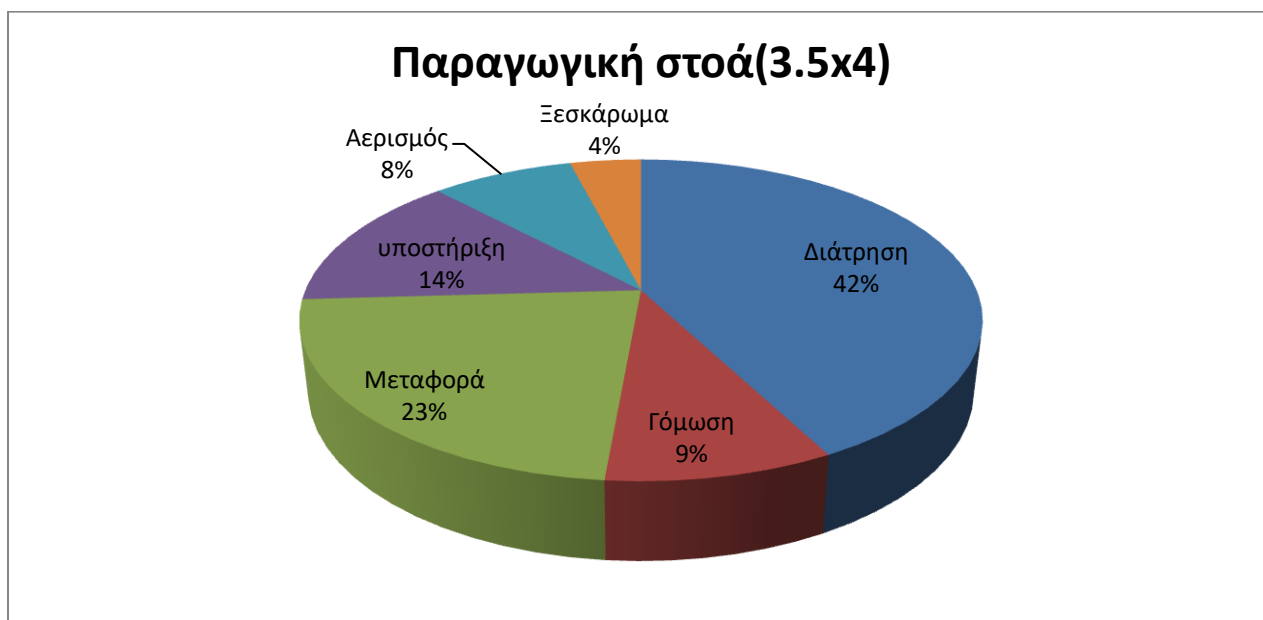
- **Παραγωγική στοά (4x4m): 7h και 10min.**
- **Παραγωγική στοά (3,5x4m): 6h και 20 min.**
- **Προσπελαστική στοά (3,5x4m): 5h.**

Συνεπώς μέσα στην 8-ωρη βάρδια μπορεί να υπάρξει η πλήρης προχώρηση ενός μετώπου και η αντίστοιχη παραγωγή σμύριδας / στείρου υλικού. Στην περίπτωση στις παραγωγικές στοάς (4x4m) όπου προκύπτει ο μεγαλύτερος χρόνος κύκλου εργασιών, έχοντας καθυστερήσεις της τάξεως των 20 – 50 min, ακόμα γίνεται η προχώρηση του μετώπου εντός μίας βάρδιας.

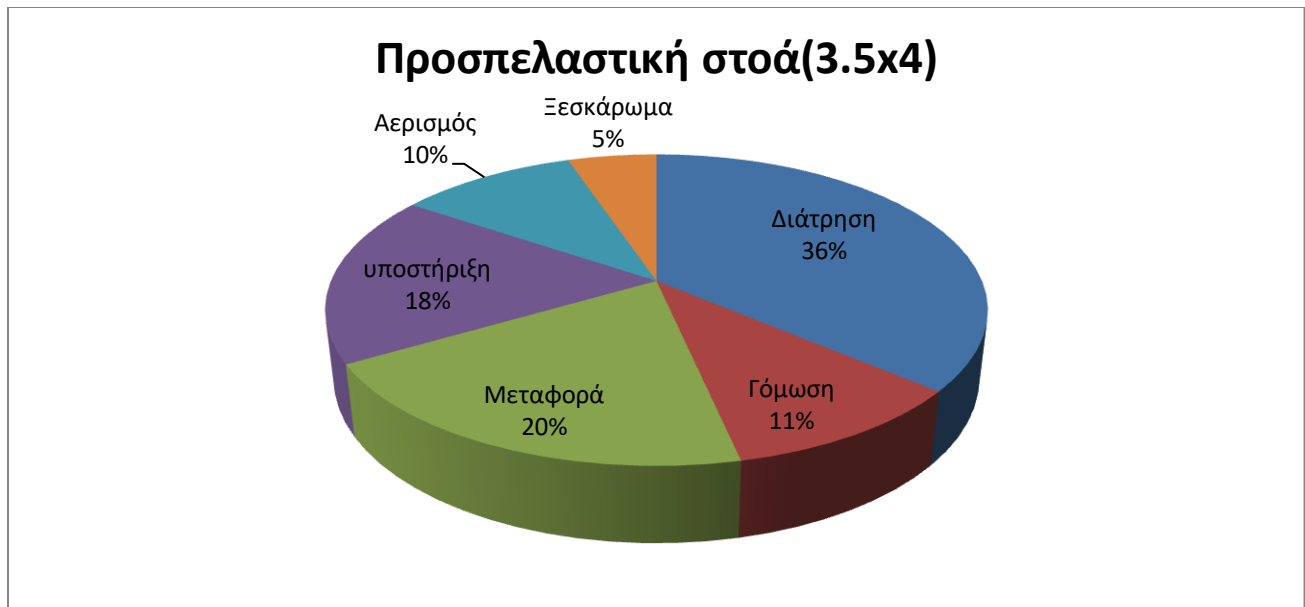
Στην συνέχεια παρουσιάζεται διαγραμματικά το χρονικό ποσοστό κάθε εργασίας που συμπληρώνει τον κύκλο εργασιών.



Σχήμα 6.7 Σχηματική απεικόνιση των ποσοστών του χρόνου που απαιτείται για την εκτέλεση κάθε εργασίας που αποτελεί τον κύκλο εργασιών παραγωγικής στοάς 4x4.



Σχήμα 6.8 Σχηματική απεικόνιση των ποσοστών του χρόνου που απαιτείται για την εκτέλεση κάθε εργασίας που αποτελεί τον κύκλο εργασιών παραγωγικής στοάς 3.5x4.



Σχήμα 6.9 Σχηματική απεικόνιση των ποσοστών του χρόνου που απαιτείται για την εκτέλεση κάθε εργασίας που αποτελεί τον κύκλο εργασιών προσπελαστικής στοάς 3.5x4.

7. Εκτίμηση κόστους υπόγειας εκμετάλλευσης

Ο υπολογισμός του κόστους εξόρυξης αποτελεί κυρίαρχο στοιχείο του οικονομικού σχεδιασμού και η ελαχιστοποίηση του συνιστά βασικό στόχο κάθε εκμετάλλευσης.

Ο υπολογισμός του κόστους ενός έργου πραγματοποιείται στη βάση της ακόλουθης σχέσης (Ανδρέας Μπενάδρος - Δημήτριος Καλιαμπάκος, 2010) :

$$\frac{\text{Τι πόρους διαθέτω και ποια είναι η δαπάνη τους}}{\text{Ποιο είναι το αποτέλεσμα απο τη χρήση τους}}$$

Οι πόροι αφορούν τα στοιχεία που απαιτούνται για την πραγματοποίηση της εργασίας όπως, υλικά, μηχανήματα, εργαζόμενοι, και αναφέρονται σε χρηματικές μονάδες. Το αποτέλεσμα της χρήσης των πόρων αφορά στην παραγωγή του τελικού προϊόντος που αναφέρεται σε τn εκσκαφής.

Η πραγματοποίηση του υπολογισμού του κόστους προϋποθέτει τη γνώση ή τον προσδιορισμό ενός αριθμού βασικών παραμέτρων. Οι παράμετροι αυτές είναι (Ανδρέας Μπενάδρος - Δημήτριος Καλιαμπάκος, 2010):

- Ο όγκος των προς εξόρυξη υλικών.
- Η χρονική διάρκεια εκτέλεσης του έργου, δηλαδή των επιμέρους εργασιών το συγκροτούν.
- Η παραγωγική διαδικασία που θα ακολουθηθεί (π.χ. όρυξη με διάτρηση – ανατίναξης ή με μηχανήσα ολομέτωπης κοπής).
- Το κόστος κτήσης και λειτουργίας των πόρων που θα χρησιμοποιηθούν.

7.1 Κόστος Επένδυσης

Ο κύκλος εργασιών που αναλύθηκε στο κεφάλαιο 6 απαιτεί την ύπαρξη ενός οργανωμένου συνεργείου με εξειδικευμένο προσωπικό. Ο εξοπλισμός που πρέπει να χρησιμοποιηθεί δεν είναι διαθέσιμος στο νησί, οπότε η επένδυση για την αγορά τους αποτελεί μονόδρομο και υπολογίζεται σε 692.000 € ,όπου αναλυτικά φαίνεται στον Πίνακα 7.1 .

Είδος μηχανήματος	Τεμάχια	Κόστος (€)
Διατρητικό φορείο (jumbo)	1	250.000
Φορτωτής υπογείων (LHD)	1	350.000
Διατρητικές αερόσφυρες	2	7.000
Ανεμιστήρας	2	40.000
Αεροσυμπιεστής	1	30.000
Κόστος γραφείων / συνεργείων	1	15.000
ΣΥΝΟΛΟ:		692.000 €

Πίνακας 7.1 Επένδυση αγοράς εξοπλισμού.

7.2 Ανάλυση κόστους.

Η ανάλυση αυτή αποτελείται από την κοστολογική ανάλυση των εργασιών που αποτελούν τον κύκλο της εξόρυξης με την χρήση εκρηκτικών (διάτρηση – ανατίναξη). Ο υπολογισμός γίνεται σε ημερήσια βάση σε αντιστοιχία με την ημερήσια παραγωγή (τη παραγωγής).

Η διαδικασία υπολογισμού του συνολικού κόστους εξόρυξης απλοποιείται αν αναλυθεί το συνολικό, στα επί μέρους κόστη, σύμφωνα με τις αρχές τις ανιούσας εκτίμησης (Ανδρέας Μπενάδρος - Δημήτριος Καλιαμπάκος, 2010). Έτσι διακρίνονται τα εξής κόστη:

- Λειτουργικό κόστος εκμετάλλευσης.
- Δαπάνες προσωπικού.
- Απόσβεση κεφαλαίου.
- Διάφορα έξοδα.

Στην ανάλυση κόστους που ακολουθεί δεν υπολογίζεται το κόστος της απόσβεσης του κεφαλαίου, διότι δεν μπορεί να γίνει ακριβής προσδιορισμός της ετήσιας δυναμικότητας της παραγωγής λόγω της φακοειδής μορφής των κοιτασμάτων σε συνδυασμό με την έλλειψη συστηματικών γεωτρήσεων.

7.3 Λειτουργικό κόστος εκμετάλλευσης

Τα επί μέρους κόστη υπολογίζονται λαμβάνοντας υπόψη το λειτουργικό κόστος του μηχανήματος (π.χ. κόστος καυσίμων, συντήρησης, κ.ά.) και των αναλωσίμων τμημάτων που απαιτούνται για την ολοκλήρωση της εργασίας. Σημειώνεται πως ο υπολογισμός του κόστους λειτουργίας των μηχανημάτων γίνεται χρησιμοποιώντας το κόστος λειτουργίας του μηχανήματος ανά ώρα λειτουργίας (Ανδρέας Μπενάδρος - Δημήτριος Καλιαμπάκος, 2010).

7.3.1 Κόστος διάτρησης

Το κόστος της φάσης της διάτρησης περιλαμβάνει:

- Κόστος κοπτικών άκρων
- Κόστος στελεχών
- Κόστος λειτουργίας διατρητικού μηχανήματος

Στο πλαίσιο της παρούσης εργασίας έχει γίνει λόγος για τρεις περιπτώσεις στοών, παραγωγική στοά με διαστάσεις 4x4m², παραγωγική στοά 3.5x4m² και προσπελαστική στοά μέσω των στείρων ζωνών 3.5x4m². Οι υπολογισμοί που παρουσιάζονται στο συγκεκριμένο κεφάλαιο με αναλυτική παράθεση των παραδοχών και στοιχείων για την πραγματοποίησή τους αφορούν την παραγωγική στοά με διαστάσεις 4x4m² όπου η ημερήσια παραγωγή (Π) είναι ίση με 164.2 t. Δίνονται και τα αποτελέσματα των δύο άλλων στοών για κάθε περίπτωση υπολογισμού.

- **Κόστος κορώνας**

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή ο συγκεκριμένος τύπος κοπτικού άκρου που χρησιμοποιείται δύναται να ορύσσει έως 500 m στις παρούσες γεωλογικές συνθήκες, ενώ το κόστος αγοράς του ανέρχεται στα 300 €. Τα μέτρα διάτρησης που απαιτούνται για τα 39 διατρήματα της στοάς με διαστάσεις 4x4 είναι 117m.

$$K_K = \frac{N \cdot C_K}{\Pi} = 0,43 \text{ €/t}$$

Όπου:

$$N = \frac{a}{L_k}$$

Και:

K_k	κόστος της κορώνας (€/t)
N	ο αριθμός κοπτικών που απαιτούνται
C_k	το κόστος αγοράς της κορώνας €/τεμ
L_k	η διάρκεια ζωής της κορώνας (m)
a	τα μέτρα διάτρησης (m)
Π	η ημερήσια παραγωγή (t)

Με τον ίδιο τρόπο, στην περίπτωση παραγωγικής στοάς με διαστάσεις 3.5x4 το κόστος κορώνας είναι ίσο με 0.44 €/t, ενώ για σείρα στοά διαστάσεων 3.5x4 είναι ίσο με 0.6€/t.

- **Κόστος διατηρητικού στελέχους**

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία υπολογίζεται και το συνολικό κόστος κτήσης των κυρίως στελεχών των βραχιόνων του υπόγειου διατηρητικού συστήματος jumbo. Το στέλεχος ορύσσει ημερήσια 117 m, το κόστος ανέρχεται στα 1000 €, ενώ έχει διάρκεια ζωής 4.000 m. Συμπερασματικά, το συνολικό κόστος αγοράς όλων των στελεχών ανέρχεται στα:

Αν και (m), τότε :

$$K_{\Sigma} = \frac{N * C_{\Sigma}}{\Pi} = 0.18 \text{ €/t}$$

Όπου:

$$N = \frac{a}{L_{\Sigma}}$$

Και:

K_Σ	Κόστος διατηρητικού στελέχους (€/t)
C_Σ	το κόστος αγοράς του διατηρητικού στελέχους (€/τεμ)
L_Σ	η διάρκεια ζωής του στελέχους (m)
N	ο αριθμός στελεχών που απαιτούνται

Με τον ίδιο τρόπο, στην περίπτωση παραγωγικής στοάς με διαστάσεις 3.5x4 το κόστος στελέχους είναι ίσο με 0.18 €/t, ενώ για στείρα στοά διαστάσεων 3.5x4 είναι ίσο με 0.2 €/t.

- **Κόστος λειτουργίας διατηρητικού**

Ο συγκεκριμένος τρόπος υπολογισμού βασίζεται σε οικονομικά στοιχεία που προέρχονται από αρκετές ώρες λειτουργίας των μηχανημάτων και στην εμπειρία από την συντήρηση αυτών. Το κόστος λειτουργίας του υπόγειου διατηρητικού μηχανήματος jumbo ανέρχεται στα 55 €/h και παραμένει 3h έως ότου ολοκληρώσει τις προγραμματισμένες εργασίες. Το λειτουργικό κόστος απλοποιείται σύμφωνα με τη σχέση:

$$K_{\Delta} = \frac{T_{\Delta} \cdot C_{\Delta}}{\pi} = 1 \text{ €/t}$$

όπου:

K_Δ	Κόστος λειτουργίας διατηρητικού (€/t)
C_Δ	το ωριαίο κόστος λειτουργίας του διατηρητικού το οποίο συμπεριλαμβάνει τη συντήρηση (€/h)
T_Δ	οι ώρες λειτουργίας (h)

Με τον ίδιο τρόπο, στην περίπτωση παραγωγικής στοάς με διαστάσεις 3.5x4 το κόστος λειτουργίας του διατηρητικού είναι ίσο με 1 €/t, ενώ για στείρα στοά διαστάσεων 3.5x4 είναι ίσο με 1 €/t.

Τελικά το κόστος διάτρησης προκύπτει αθροίζοντας όλα τα παραπάνω κόστη :

$$K_{\text{διάτρησης}} = K_K + K_{\Sigma} + K_{\Delta} = 1.61 \text{ €/t}$$

Στην περίπτωση παραγωγικής στοάς με διαστάσεις 3.5x4 το κόστος διάτρησης είναι ίσο με **1.62 €/t**, ενώ για στείρα στοά διαστάσεων 3.5x4 είναι ίσο με **1.8 €/t**.

7.3.2 Κόστος υποστήριξης

Το κόστος υποστήριξης αναλύεται στο κόστος λειτουργίας της αερόσφυρας, καθώς και στο κόστος των στοιχείων υποστήριξης που χρησιμοποιούνται.

- **Κόστος λειτουργίας αερόσφυρας**

Οι καθημερινές δραστηριότητες ολοκληρώνονται με την υποστήριξη του νέου υπόγειου χώρου που δημιουργήθηκε. Με χρήση αερόσφυρας ορύσσονται 7 διατρήματα μήκους 2 m και ο χρόνος χρήσης της είναι περί τη 0.23h. Το ωριαίο κόστος λειτουργίας της αερόσφυρας, τότε υπολογίζεται ως:

$$K_{\Delta\Delta} = \frac{\Omega K_{\Delta} + T}{\pi} = 0.01 \text{ €/tn}$$

Όπου:

K_{ΔΔ}	Κόστος λειτουργίας αερόσφυρας (€/t)
ΩK_Δ	Ωριαίο κόστος λειτουργίας του αεροσυμπιεστή (€/h)
T	ώρες λειτουργίας της αερόσφυρας (h)

Με τον ίδιο τρόπο, στην περίπτωση παραγωγικής στοάς με διαστάσεις 3.5x4 το κόστος

λειτουργίας της αερόσφυρας είναι ίσο με 0.01 €/t, ενώ για στείρα στοά διαστάσεων 3.5x4 είναι ίσο με 0.02 €/t.

- **Κόστος κοχλίωσης**

Ακολουθώς, γίνεται η τοποθέτηση του κοχλία και του πλακιδίου υποστήριξης στη βάση του. Η τιμή αγοράς των κοχλιών μαζί με τα πλακάκια ανέρχεται στα 25 € ανά τεμάχιο. Το κόστος της κοχλίωσης για τα 7 διατρήματα υποστήριξης υπολογίζεται ως:

τότε :

$$K_{KO} = \frac{N_{KO} * C_{KO}}{\pi} = 0.77 \text{ €/tn}$$

Όπου:

K_{KO}	Κόστος κοχλίωσης (€/t)
N_{KO}	ο αριθμός των κοχλιών που θα χρησιμοποιηθούν
C_{KO}	το κόστος του κάθε κοχλία με πλακάκι (€ /τεμ)

Με τον ίδιο τρόπο, στην περίπτωση παραγωγικής στοάς με διαστάσεις 3.5x4 το κόστος λειτουργίας της αερόσφυρας είναι ίσο με 0.88 €/t, ενώ για στείρα στοά διαστάσεων 3.5x4 είναι ίσο με 1.28 €/t.

- **Κόστος μεταλλικού πλέγματος**

Κατά τη δεύτερη φάση της υποστήριξης τοποθετείται το μεταλλικό πλέγμα, τύπου T188, ώστε να μην υπάρξει η παραμικρή κατάπτωση λίθων από τη χαλαρωμένη ζώνη του πετρώματος. Η τοποθέτηση του γίνεται σε όλη την επιφάνεια που κοχλιώθηκε, δηλαδή στα 10.2 m², και το κόστος του είναι:

τότε :

$$K_{\Pi} = \frac{A * C_{\Pi}}{\pi} = 0.16 \text{ €/tn}$$

Όπου:

A	η επιφάνεια της οροφής που θα τοποθετηθεί το μεταλλικό πλέγμα (m ²)
C_Π	το κόστος αγοράς πλέγματος (€/m ²)
K_Π	Το κόστος του μεταλλικού πλέγματος (€/t)

Με τον ίδιο τρόπο, στην περίπτωση παραγωγικής στοάς με διαστάσεις 3.5x4 το κόστος του μεταλλικού πλέγματος είναι ίσο με 0.19 €/t, ενώ για στείρα στοά διαστάσεων 3.5x4 είναι ίσο με 0.27 €/t.

Τελικά το κόστος υποστήριξης προκύπτει αθροίζοντας όλα τα παραπάνω κόστη :

$$K_{\text{υποστήριξης}} = K_{\text{ΛΑ}} + K_{\text{ΚΟ}} + K_{\text{Π}} = 0.94 \text{ €/tn}$$

Στην περίπτωση παραγωγικής στοάς με διαστάσεις 3.5x4 το κόστος υποστήριξης είναι ίσο με **1.08 €/t**, ενώ για στείρα στοά διαστάσεων 3.5x4 είναι ίσο με **1.58 €/t**.

7.3.3 Κόστος γόμωσης.

- *Κόστος εκρηκτικών υλών*

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η γόμωση των διατρημάτων περιλαμβάνει πέντε φυσίγγια ζελατινοδυναμίτιδας, όπου το καθένα ζυγίζει 0.625kg και κοστίζει 2.5€/kg. Το κόστος της γόμωσης υπολογίζεται από το κόστος των εκρηκτικών υλών και των καψυλλίων που χρησιμοποιούνται, ως:

$$K_{\text{ΕΥ}} = \frac{V * \text{CEΥ}}{\Pi} = 1.81 \text{ (€/tn)}$$

Όπου:

C_{EY}	Κόστος εκρηκτικής ύλης (€/kg)
V	Ποσότητα εκρηκτικής ύλης (kg)
K_{EY}	Κόστος εκρηκτικών υλών (€/t)

Με τον ίδιο τρόπο, στην περίπτωση παραγωγικής στοάς με διαστάσεις 3.5x4 το κόστος των εκρηκτικών υλών είναι ίσο με 1.85 €/t, ενώ για στείρα στοά διαστάσεων 3.5x4 είναι ίσο με 2.38 €/t.

- **Κόστος καψυλλίων**

Ο αριθμός των καψυλλίων που θα χρησιμοποιηθούν είναι ίσος με τον αριθμό των γομούμενων διατρημάτων, ενώ η τιμή του ανέρχεται στο 1€/καψύλλιο, το κόστος τότε υπολογίζεται ως:

$$K_{KA\Psi} = \frac{A_{\text{διατρ}} * C_{KA\Psi}}{\pi} = 0.23 \text{ (€/tn)}$$

Όπου:

$K_{KA\Psi}$	Κόστος καψυλλίων (€/t)
$A_{\text{διατρημάτων}}$	Αριθμός διατρημάτων
$C_{\text{καψυλλίων}}$	Κόστος καψυλλίων (€/τεμ)

Με τον ίδιο τρόπο, στην περίπτωση παραγωγικής στοάς με διαστάσεις 3.5x4 το κόστος των καψυλλίων είναι ίσο με 0.24 €/t, ενώ για στείρα στοά διαστάσεων 3.5x4 είναι ίσο με 0.31 €/t.

Το συνολικό κόστος γόμωσης προκύπτει με το άθροισμα :

$$K_{\text{γόμωσης}} = K_{EY} + K_{KA\Psi} = 2.04 \text{ €/t}$$

Στην περίπτωση παραγωγικής στοάς με διαστάσεις 3.5x4 το κόστος υποστήριξης είναι ίσο με **2.09 €/t**, ενώ για στείρα στοά διαστάσεων 3.5x4 είναι ίσο με **2.69 €/t**.

7.3.4 Κόστος φόρτωσης - μεταφοράς

Ο συγκεκριμένος τρόπος υπολογισμού όπως και στην περίπτωση του διατρητικού φορείου jumbo, βασίζεται σε οικονομικά στοιχεία που προέρχονται από αρκετές ώρες λειτουργίας των μηχανημάτων και στην εμπειρία από την συντήρηση αυτών. Το κόστος λειτουργίας του υπόγειου φορτωτή ανέρχεται στα 70 €/h και παραμένει 1.6h έως ότου ολοκληρώσει τις προγραμματισμένες εργασίες. Το λειτουργικό κόστος απλοποιείται σύμφωνα με τη σχέση :

$$K_{\Phi} = \frac{T_{\Phi} * C_{\Phi}}{\Pi} = 0,68 \text{ (€/tn)}$$

Όπου:

K_Φ	Κόστος φόρτωσης μεταφοράς (€/t)
C_Φ	το ωριαίο κόστος λειτουργίας του διατρητικού το οποίο συμπεριλαμβάνει και τη συντήρηση (€/h)
T_Φ	οι ώρες λειτουργίας (h)

Με τον ίδιο τρόπο, στην περίπτωση παραγωγικής στοάς με διαστάσεις 3.5x4 το κόστος φόρτωσης και μεταφοράς είναι ίσο με **0.68 €/t**, ενώ για στείρα στοά διαστάσεων 3.5x4 είναι ίσο με **0.71 €/t**.

7.3.5 Κόστος αερισμού

Για τον αερισμό της εκμετάλλευσης θα χρησιμοποιηθούν δύο ανεμιστήρες ισχύος 45kW, ενώ το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας είναι ίσο με 0.11€/kWh. Οι ανεμιστήρες θα λειτουργούν 8h. Το κόστος του αερισμού υπολογίζεται ως:

Το κόστος του αερισμού ισούται με το κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος που καταναλώνουν οι ανεμιστήρες. Αν, , και Π η ετήσια παραγωγή, τότε:

$$K_A = \frac{(W_A * T * C_E) * 2}{\pi} = 0.48 \text{ (€/tn)}$$

Όπου:

K_A	Κόστος αερισμού(€/t)
W_A	η ισχύς των ανεμιστήρων (kW)
C_E	το κόστος της ηλεκτρικής κιλοβατόρας (€/kWh)
T	οι ώρες λειτουργίας (h)

Με τον ίδιο τρόπο, στην περίπτωση παραγωγικής στοάς με διαστάσεις 3.5x4 το κόστος αερισμού είναι ίσο με **0.55 €/t**, ενώ για στείρα στοά διαστάσεων 3.5x4 είναι ίσο με **0.8 €/t**.

Επομένως, οι συνολικές λειτουργικές δαπάνες υπολογίζονται ως το άθροισμα των επιμέρους υπολογισμών κόστους :

$$K_1 = K_{\text{διάτρησης}} + K_{\text{υποστήριξης}} + K_{\text{γόμωσης-πυροδότησης}} + K_{\text{φόρτωσης-μεταφοράς}} + K_{\text{αερισμού}} = 5.76€/t$$

Στην περίπτωση παραγωγικής στοάς με διαστάσεις 3.5x4 το κόστος υποστήριξης είναι ίσο με **6.01 €/t**, ενώ για στείρα στοά διαστάσεων 3.5x4 είναι ίσο με **7.54 €/t**.

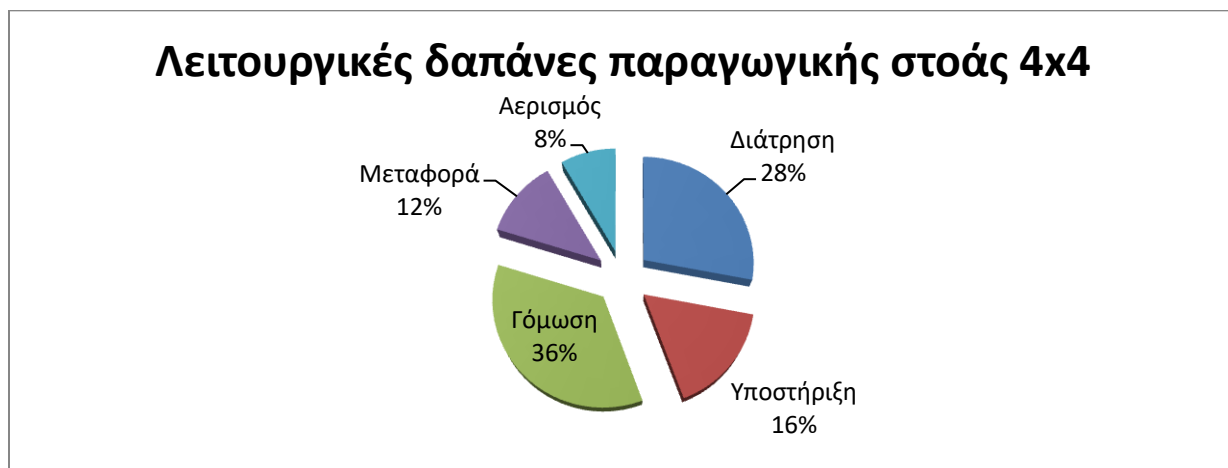
Στην συνέχεια δίνονται πίνακες όπου παρουσιάζονται συνολικά το κόστος των δραστηριοτήτων που αποτελούν τις λειτουργικές δαπάνες για των τριών τύπων στοών που έγινε η ανάλυση. Επίσης δίνονται και διαγράμματα όπου παρουσιάζεται η ποσοστιαία κατανομή του λειτουργικού κόστους στις διάφορες δραστηριότητες που το απαρτίζουν.

Την μεγαλύτερη επιβάρυνση στο τελικό κοστολόγιο, από μεριάς λειτουργικών δαπανών, έχει η εργασία της γόμωσης των διατηρημάτων και εν συνεχεία της διάτρησης τους. Αυτό οφείλεται στην υψηλή αντοχή του πετρώματος της σμύριδας, απαιτώντας υψηλά ποσά ενέργειας για να

θρυμματιστεί. Εξίσου υψηλή δαπάνη θεωρείται και αυτή της υποστήριξης του υπόγειου χώρου. Όλα αυτά εικονίζονται και στα παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 7.1 – 7.3).

ΕΡΓΑΣΙΑ	ΚΟΣΤΟΣ (€/t)
A1. Κόστος διάτρησης	1.61
Κόστος κορώνας	0.43
Κόστος διατρητικού στελέχους	0.18
Κόστος διατρητικού	1.0
A2. Κόστος υποστήριξης	0.94
Κόστος αερόσφυρας	0.01
Κόστος κοχλίωσης	0.77
Κόστος μεταλλικού πλέγματος	0.16
A3. Κόστος γόμωσης πυροδότησης	2.04
Κόστος εκρηκτικών υλών	1.81
Κόστος καυσλλίων	0.23
A4. Κόστος φόρτωσης - μεταφοράς	0.68
A5. Κόστος αερισμού	0.48
A. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ	5.76

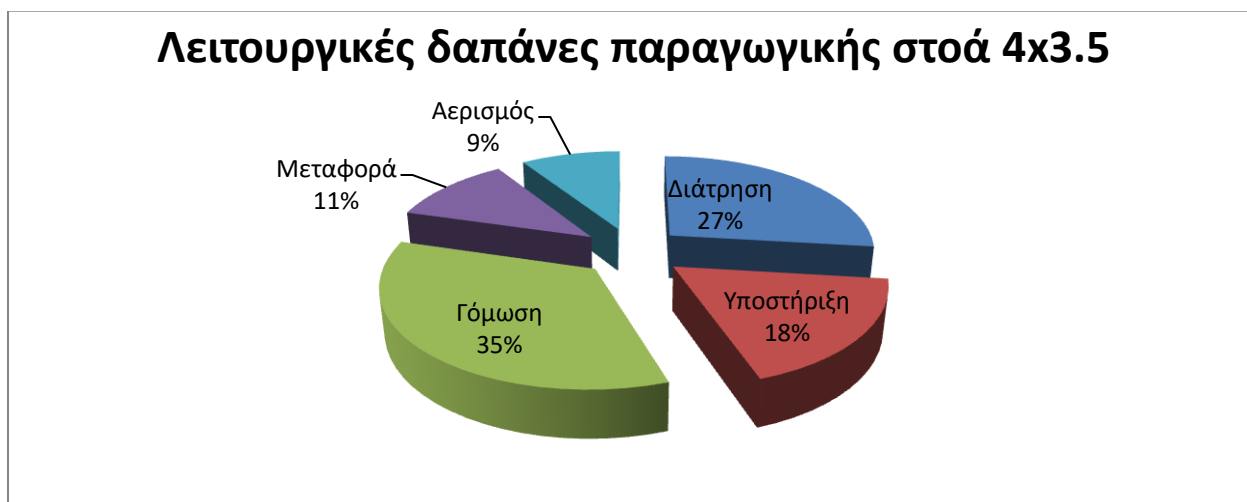
Πίνακας 7.2 Κόστος λειτουργικών δαπανών παραγωγικής στοάς 4x4.



Σχήμα 7.1 Ποσοστιαία κατανομή λειτουργικών δαπανών παραγωγικής στοάς 4x4.

ΕΡΓΑΣΙΑ	ΚΟΣΤΟΣ (€/t)
A1. Κόστος διάτρησης	1.62
Κόστος κορώνας	0.44
Κόστος διατρητικού στελέχους	0.18
Κόστος διατρητικού	1.00
A2. Κόστος υποστήριξης	1.08
Κόστος αερόσφυρας	0.01
Κόστος κοχλίωσης	0.88
Κόστος μεταλλικού πλέγματος	0.19
A3. Κόστος γόμωσης πυροδότησης	2.09
Κόστος εκρηκτικών υλών	1.85
Κόστος καψυλίων	0.24
A4. Κόστος φόρτωσης - μεταφοράς	0.68
A5. Κόστος αερισμού	0.55
A. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ	6.01

Πίνακας 7.3 Κόστος λειτουργικών δαπανών παραγωγικής στοάς 3.5x4.



Σχήμα 7.2 Ποσοστιαία κατανομή λειτουργικών δαπανών παραγωγικής στοάς 3.5x4.

ΕΡΓΑΣΙΑ	ΚΟΣΤΟΣ (€/t)
A1. Κόστος διάτρησης	1.76
Κόστος κορώνας	0.57
Κόστος διατρητικού στελέχους	0.24
Κόστος διατρητικού	0.95
A2. Κόστος υποστήριξης	1.58
Κόστος αερόσφυρας	0.02
Κόστος κοχλίωσης	1.28
Κόστος μεταλλικού πλέγματος	0.27
A3. Κόστος γόμωσης πυροδότησης	2.69
Κόστος εκρηκτικών υλών	2.38
Κόστος καψυλίων	0.31
A4. Κόστος φόρτωσης - μεταφοράς	0.71
A5. Κόστος αερισμού	0.81
A. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΑΠΑΝΕΣ	7.54

Πίνακας 7.4 Κόστος λειτουργικών δαπανών προσπελαστικής στοάς 3.5x4.



Σχήμα 7.3 Ποσοστιαία κατανομή λειτουργικών δαπανών προσπελαστικής στοάς 3.5x4.

7.4 Δαπάνες προσωπικού

Ο κύκλος εργασιών που αναλύθηκε απαιτεί την ύπαρξη ενός εξειδικευμένου προσωπικού. Οι ειδικότητες και το σύνολο των εργαζομένων αναλυτικά θα πρέπει να είναι:

- 1 χειριστής διατρητικού φορείου (jumbo)
 - 1 χειριστής φορτωτή υπογείων (LHD)
 - 2 γομωτές
 - 1 χειριστή αερόσφυρας – υποστήριξης
 - 1 εργάτες τοποθέτησης υποστήριξης
 - 1 εργάτη – βοηθητικό προσωπικό
 - 1 μηχανικό
 - 1 εργοδηγό
- **Σύνολο: 9 εργαζόμενοι.**

Με βάση το ωρομίσθιο E των εργαζομένων καθώς και τις ώρες απασχόλησης τους T_{EP} , τότε οι δαπάνες του προσωπικού υπολογίζονται ως:

$$K_{EP} = \frac{E \cdot T_{EP}}{\Pi} = 8 \text{ (€/tn)}$$

Με τον ίδιο τρόπο, στην περίπτωση παραγωγικής στοάς με διαστάσεις 3.5x4 οι δαπάνες προσωπικού ισούνται με **9 €/t**, ενώ για στείρα στοά διαστάσεων 3.5x4 είναι ίσο με **13.19 €/t**.

7.5 Απόσβεση Κεφαλαίου.

Η απόσβεση είναι το λογιστικό εργαλείο που χρησιμοποιείται για να κατανείμει τη δαπάνη ενός κεφαλαιουχικού παγίου σε ολόκληρη τη διάρκεια ζωής του, ανάλογα με το κόστος κτήσης του. Έτσι, το κόστος απόσβεσης συνδέεται με τη μείωση της αξίας ενός παγίου καθώς η ηλικία του αυξάνεται.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα κόστη κτήσης των διαφόρων μηχανημάτων που χρειάζονται για την υλοποίηση την εκμετάλλευση και οι ποσότητες αυτών.

Είδος μηχανήματος	Τεμάχια	Κόστος (€)
Διατρητικό φορείο (jumbo)	1	250.000
Φορτωτής υπογείων (LHD)	1	350.000
Διατρητικές αερόσφυρες	2	7.000
Ανεμιστήρας	2	40.000
Αεροσυμπιεστής	1	30.000
ΣΥΝΟΛΟ:		677.000 €

Πίνακας 7.5 Κόστη κτήσης μηχανημάτων

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές των κατασκευαστών ο χρόνος ζωής του φορείου διάτρησης, του φορτωτή υπογείων, ανέρχεται στις 25.000 hr, ενώ για τον ανεμιστήρα, την αερόσφουρα και τον αεροσυμπιεστή στις 40.000 hr.

Ο υπολογισμός των λογιστικών αποσβέσεων υπολογίζεται ως :

$$A_K = \frac{C \cdot T_y}{L_t \cdot \Pi} \text{ (€/tn)}$$

Όπου:

A_K	Λογιστικές αποσβέσεις (€/tn)
T_y	Ο ημερήσιος χρόνος λειτουργίας (hr)
L_t	Ο χρόνος ζωής του μηχανήματος (hr)
C	Το κόστος κτήσης του μηχανήματος (€)
Π	Η ημερήσια παραγωγή (tn)

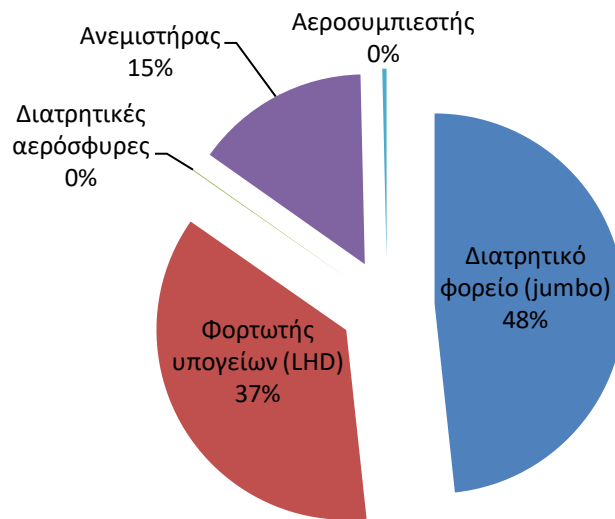
Παρακάτω παρουσιάζεται πίνακας όπου φαίνονται τα αποτελέσματα υπολογισμού των αποσβέσεων κεφαλαίου για τις τρεις περιπτώσεις στοών που αναλύονται στην εργασία.

Όνομα μηχανήματος	Παραγωγική στοά 4x4 (€/tn)	Παραγωγική στοά 3.5x4 (€/tn)	Προσπελαστική στοά 3.5x4 (€/tn)
Διατρητικό φορείο (jumbo)	0.1827	0.1812	0.1729
Φορτωτής υπογείων (LHD)	0.1364	0.1366	0.1424
Διατρητικές αερόσφυρες	0.0003	0.0003	0.0005
Ανεμιστήρας	0.0487	0.0557	0.0814
Αεροσυμπιεστής	0.0012	0.0014	0.0020
ΣΥΝΟΛΟ:	0.37	0.38	0.40

Πίνακας 7.6 Υπολογισμός λογιστικών αποσβέσεων για τις 3 περιπτώσεις στοών.

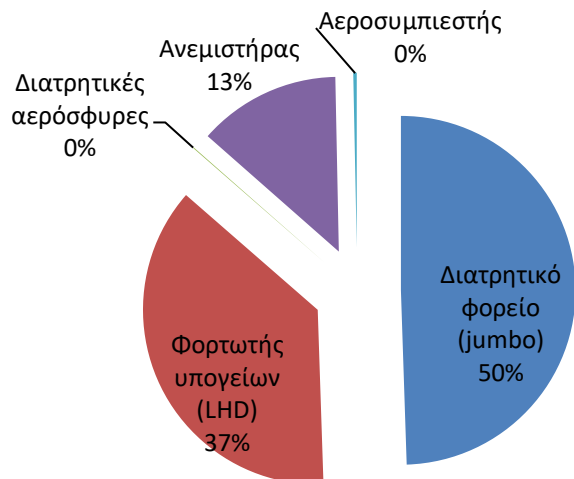
Υψηλότερο κόστος εμφανίζουν οι δαπάνες για την απόσβεση του διατρητικού φορείου και του φορτωτή υπογείων που είναι λογικό καθώς έχουν αρκετά αυξημένο κόστος κτήσης και πολλές ώρες λειτουργίας. Αντίθετα, οι χαμηλότερες δαπάνες απόσβεσης αφορούν την απόσβεση της αερόσφυρας και του αεροσυμπιεστή, αφού κοστολογούνται αρκετά χαμηλά. Όλα αυτά εικονίζονται και στα παρακάτω διαγράμματα (Σχήμα 7.4-7.6).

Αποσβέσεις εξοπλισμού για την παραγωγική στοά 3.5x4.



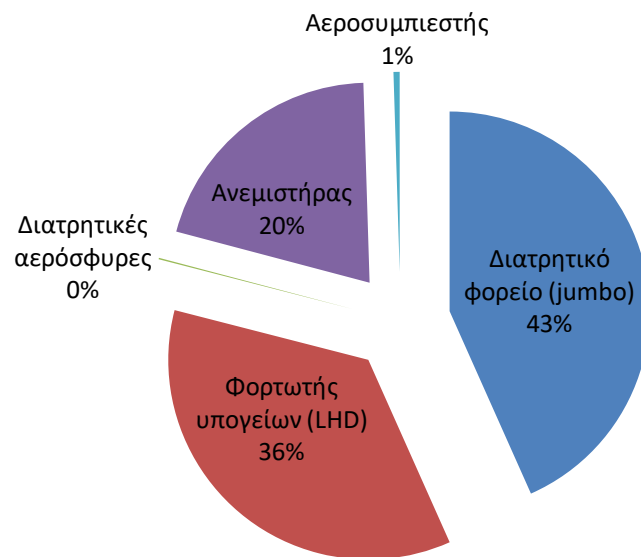
Σχήμα 7.4 Ποσοστιαία κατανομή δαπανών αποσβέσεων παραγωγικής στοάς 4x4.

Αποσβέσεις εξοπλισμού για την παραγωγική στοά 4x4.



Σχήμα 7.5 Ποσοστιαία κατανομή δαπανών αποσβέσεων παραγωγικής στοάς 3.5x4.

Αποσβέσεις εξοπλισμού για την προσπελαστική στοά 4x4.



Σχήμα 7.6 Ποσοστιαία κατανομή δαπανών αποσβέσεων προσπελαστικής στοάς 3.5x4.

7.6 Διάφορα έξοδα

Τα διάφορα έξοδα περιλαμβάνουν γενικά έξοδα λειτουργίας και διάφορα κόστη κτιριακών εγκαταστάσεων (ενοίκια, θέρμανση κτλ.), όπου υπολογίζονται ως το 10% των λειτουργικών εξόδων και των δαπανών του προσωπικού.

7.7 Συνολικό κόστος εξόρυξης

Το συνολικό κόστος εξόρυξης ανά τόνο από τις εργασίες όρυξης προκύπτει από το άθροισμα των λειτουργικών δαπανών της εκμετάλλευσης, των δαπανών προσωπικού, της απόσβεσης κεφαλαίου και των λοιπών εξόδων.

Συνηθέστερα, στο τελικό κόστος συμπεριλαμβάνεται και ένα κόστος για απρόβλεπτα, δηλαδή, για την αντιμετώπιση συνθηκών που πιθανώς δεν έχουν εκτιμηθεί σωστά και απαιτήσουν επιπρόσθετο κόστος θεραπείας, το οποίο κυμαίνεται περί το 10%.

Τύπος στοάς	Συνολικό κόστος εξόρυξης (€/t)	Συνολικό κόστος εξόρυξης με επιπρόσθετο κόστος θεραπείας 10% (€/t)
Παραγωγική στοά 4x4	14.6	16.1
Παραγωγική στοά 3.5x4	16	17.6
Προσπελαστική(στείρα) στοά 3.5x4	21.9	24.1

Πίνακας 7.5 Συνολικό κόστος εξόρυξης για τις τρεις περιπτώσεις στοών.

Λόγω της φύσης των κοιτασμάτων σμύριδας που εμφανίζονται σε μορφή φακών μέσα στα πετρώματα μαρμάρου, η όρυξη στοών μέσω αυτών των στείων ζωνών είναι αναπόφευκτη. Έχοντας υπολογίσει σε 23.6€/t την όρυξη τέτοιων στοών, επιβάλλεται μία προσαύξηση περί του 30-40% στην τιμή του κόστους παραγωγής σμύριδας. Συνεπώς, με βάση τις παραπάνω παραδοχές προκύπτει μια προσαύξηση περί τα 5.6 €/t (16.1€/t σμύριδας x 35% = 5.6 €/t) για παραγωγική στοά 4x4 και 6 €/t (17.6€/t σμύριδας x 35% = 6.1 €/t) για παραγωγική στοά 3.5x4, διαμορφώνοντας το τελικό μέσο κόστος υπόγειας εκμετάλλευσης σμύριδας στα **21.7 €/t και 23.7 €/t αντίστοιχα.**

7.8 Κόστος διαμόρφωσης υφιστάμενων στοών

Όπως έχει ήδη αναφερθεί προτείνεται να υπάρξει προτεραιότητα στις υφιστάμενες θέσεις εκμετάλλευσης, καθώς θα μπορεί να γίνει χρήση των υφιστάμενων υποδομών που έχουν δημιουργηθεί. Όσον αφορά τις προσπελαστικές στοές, από την έρευνα που έγινε για τα χαρακτηριστικά των υφιστάμενων εκμεταλλεύσεων σμύριδας στην παρούσα εργασία, προκύπτει ότι η μέση τιμή μήκους αυτών των στοών είναι περί τα 30m. Η επιφάνεια των υφιστάμενων στοών είναι περίπου 6m²(3m x 2m), οπότε απαιτείται η προσβολή των υπόλοιπων 8m² ώστε να διαμορφωθεί η τελική μορφή της στοάς (3.5m x 4m). Έχοντας υπολογίσει το κόστος προσπέλασης σε στείες ζώνες σε 24.1€/t ή αλλιώς 63€/m³, το κόστος διαμόρφωσης υφιστάμενων στοών μήκους 30m είναι :

$$K_{\text{διαμόρφωσης}} = 8\text{m}^2 \times 30\text{m} \times 63\text{€/m}^3 = 15120 \text{ €}$$

7.9 Διάθεση προϊόντων

Τα τελευταία χρόνια η ζήτηση έχει αυξηθεί ως αποτέλεσμα νέων χρήσεων σμύριδας και έχουν διατεθεί σχεδόν όλα τα συσσωρευμένα αποθέματα των τελευταίων δεκαετιών από τις αποθήκες του Δημοσίου. Τέτοιες χρήσεις περιλαμβάνουν την σμύριδα ως προσθετική ύλη στην κατασκευή βιομηχανικών δαπέδων, αντλιοσταθιακών πλακών πεζοδρομίου κλπ όπου τα συνθετικά υλικά δεν μπορούν να ανταγωνισθούν τη σμύριδα λόγω του υψηλού κόστους ακόμη και ως αδρανές υλικό σε αντλιοσταθιακά οδοστρώματα.

Τελευταίες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί όσον αφορά την διάθεση της σμύριδας στην διεθνή αγορά όπως αυτή από ECHMES Ltd. (Ιούλιος 2018), η ετήσια παγκόσμια ζήτηση επεξεργασμένης σμύριδας κυμαίνεται από 50.000 τόνους ως 60.000 τόνους, με την Τουρκία να κατέχει το 70% - 80% αυτής της αγοράς. Τα επίπεδα τιμής πώλησης σμύριδας κυμαίνονται μεταξύ 275 - 285 \$/τόνο (στοιχεία 2015) για κοκκομετρικά κλάσματα από 1 mm ως 5 mm και με περιεκτικότητα σε $\text{Al}_2\text{O}_3 > 60\%$.

Η ελληνική σμύριδα, ποιοτικώς εφάμιλλη με την τουρκική, μπορεί να εισαχθεί εύκολα στην διεθνή αγορά. Λόγω όμως της περιορισμένης διεθνούς παρουσίας της Σμύριδας Νάξου τα τελευταία χρόνια, μία έκπτωση στην τιμή πώλησης της θα ενίσχυε την εισαγωγή της στην διεθνή αγορά.

Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο τον σχεδιασμό πρότυπης υπόγειας εκμετάλλευσης για τα κοιτάσματα σμύριδας της νήσου Νάξου, καθώς και των παραμέτρων που την διέπουν. Επιλέγεται η πλήρης αναδιοργάνωση της παραγωγικής διαδικασίας όπου πετυχαίνεται με χρήση σύγχρονου εξοπλισμού διάτρησης και μεταφοράς υλικών, χρησιμοποιώντας εκρηκτικά για την απόσπαση του υλικού από το μητρικό πέτρωμα, με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η παραγωγικότητα της εκμετάλλευσης δημιουργώντας καλύτερες συνθήκες ασφάλειας για τους εργαζόμενους. Η αναδιοργάνωση αυτή έρχεται σε αντίθεση με την έως τώρα διαδικασία παραγωγής όπου η απόσπαση της σμύριδας γινόταν χειρωνακτικά ή με χρήση μηχανικών μέσων.

Στο πλαίσιο της εργασίας πραγματοποιήθηκε δοκιμή σημειακής φόρτισης σε ακανόνιστης μορφής δοκίμια σμύριδας όπου προσδιορίστηκε η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη σε $C_{\text{σμύριδας}} = 150 \text{ MPa}$. Επίσης έγινε γεωτεχνική ταξινόμηση της σμύριδας προσδιορίζοντας τους δείκτες RMR, GSI, Q όπου προέκυψε καλή ποιότητα του πετρώματος. Όσον αφορά το δολομιτικό μάρμαρο που αποτελεί την οροφή της σχεδιαζόμενης εκμετάλλευσης μέσα από τον προσδιορισμό των ίδιων δεικτών προκύπτει μία μέτρια ποιότητα πετρώματος.

Οι γεωλογικές συνθήκες της εξεταζόμενης περιοχής καθώς και η φύση των υπό εξέταση κοιτασμάτων, οδηγεί στην επιλογή της μεθόδου των θαλάμων και στύλων για την εξόρυξη της σμύριδας. Το πλάτος του θαλάμου επιλέγεται να είναι 4m ώστε να είναι άνετη η διακίνηση του εξοπλισμού ενώ η τετραγωνική δομή των στύλων υποστήριξης ισούται με 2m x 2m και ύψος περί τα 4m, όπου αντιστοιχεί στη συνήθης τιμή πάχους που εμφανίζονται τα εξεταζόμενα κοιτάσματα σμύριδας. Η υψηλή αντοχή της σμύριδας δημιουργεί υψηλής αντοχής στύλους υποστήριξης, πετυχαίνοντας ποσοστό απόληψης άνω του 80% για βάθη από 50-225m, με την τιμή του συντελεστή ασφαλείας να είναι άνω του 2 ($SF > 2$).

Σύμφωνα με τον χρονικό προγραμματισμό της εξόρυξης, μέσα στην 8-ωρη βάρδια μπορεί να υπάρξει η πλήρης προχώρηση ενός μετώπου και η αντίστοιχη παραγωγή σμύριδας / στείρου υλικού. Συγκεκριμένα για :

- Παραγωγική στοά με διαστάσεις 4x4 η ημερήσια παραγωγή αγγίζει τους 164.2tn, ενώ ο συνολικός χρόνος του κύκλου εργασιών που προκύπτει είναι 7h και 10min.
- Παραγωγική στοά με διαστάσεις 3.5x4 η ημερήσια παραγωγή αγγίζει τους 143.5tn, ενώ ο συνολικός χρόνος του κύκλου εργασιών που προκύπτει είναι 6h και 20 min.
- Προσπελαστική στείρα στοά η ημερήσια παραγωγή στείρων αγγίζει τους 98.3tn, ενώ ο συνολικός χρόνος του κύκλου εργασιών που προκύπτει είναι 5h.

Το συνολικό κόστος της εξόρυξης υπολογίζεται σε 16.1 €/t, 17.6 €/t και 24.1 €/t για τις παραγωγικές στοές 4x4, 3.5x4 και προσπελαστική στείρα στοά 3.5x4 αντίστοιχα. Η όρυξη στείρων στοών ώστε να προσεγγιστούν τα κοιτάσματα σμύριδας μας οδηγεί σε μία προσαύξηση περί του 30-40% στην τιμή του κόστους παραγωγής σμύριδας. Έτσι οι τελικές τιμές του κόστους εξόρυξης σμύριδας διαμορφώνονται σε 21.7 €/t για την παραγωγική στοά 4x4 και 23.7 για παραγωγική στοά 3.5x4.

Βασική στρατηγική που προτείνεται, είναι η εκμετάλλευση υφιστάμενων υποδομών και έργων εκμεταλλεύσεων, με χρήση του υπάρχοντος μηχανολογικού εξοπλισμού όπου κρίνεται αυτό εφικτό. Αυτό θα επιτρέψει την μείωση του κόστους παραγωγής και την συνέχεια της παραγωγής με μια ομαλή μετάβαση στο νέο παραγωγικό μοντέλο, εγκλιματίζοντας συγχρόνως το υφιστάμενο προσωπικό σε αυτό. Η αναδιαμόρφωση μίας υφιστάμενης στείρας στοάς μήκους 30m και επιφάνειας 6m² στην προτεινόμενη διάσταση των 14m² κοστολογείται σε περίπου 15000 €.

Οι τιμές του κόστους που υπολογίζονται στην εργασία αφορούν την ανάλυση μέχρι την έξοδο του μεταλλεύματος στην πλατεία του μεταλλείου. Η έλλειψη στοιχείων όσον αφορά τα συνολικά αποθέματα των κοιτασμάτων καθώς και του κόστους επεξεργασίας της σμύριδας για την διαμόρφωση της σε τελικό προϊόν προς πώληση, είναι κάτι που απαιτείται για να μπορέσει να εκτιμηθεί η βιωσιμότητα μίας μελλοντικής υπόγειας εκμετάλλευσης. Προφανώς βέβαια θα πρέπει να πλαισιώνεται από μία εμπειριστατωμένη έρευνα αγοράς η οποία θα εκτιμήσει το είδος, την ποσότητα και πιθανές τιμές πώλησης για τα τελικά διατεθέντα προϊόντα.

Βιβλιογραφία

Barton, A. (1995). The Influence Of Joint Properties In Modelling Jointed Rock Masses. *8th ISRM Congress*, (pp. 1023-1032). Tokyo.

Barton, N., & Grimstad, E. (1994). Rock mass conditions dictate choice between NMT and NATM.

Barton, N., Lien, R., & Lunde, J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock mechanics 6* , pp. 189-236.

Bieniawski, Z. (1976). Rock Mass Classification in Rock Engineering. *Symposium Proceedings of Exploration for Rock Engineering*, (pp. 97-106). Johannesburg.

Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications*. Νέα Υόρκη.

Broch, & Franklin. (1979). The point load strenght test. *Int J Rock Mech Min Sci 9* , pp. 669-697.

Deere, D. (1989). *Deere, D.U., 1989. Rock quality designation (RQD) after 20 years*. Vicksburg, MS.

greekNatureFotoPress. *Τα σμυριδορυχεια της ορεινης Ναξου*.

Hentschel, T., Hruschka, F., & Priester. (2002). *Global Report on Artisanal & Small-Scale Mining*.

Hudson, J. A., & Priest, S. (1979). *Discontinuities and rock mass geometry*.

ISRM. (1985, April). Suggested method for determining point load strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts 22(2)* , pp. 51-60.

Κ.Μ.Λ.Ε. Κανονισμός Μεταλλευτικών Και Λατομικών Εργασιών.

Matthews, A., Matthey, P., & Baker, J. (2002). *Hightemperature metamorphism in marbles as a consequence of volatile release from crystallizing anatectic melts, Naxos, Greece*.

Palmstorm, A., & Broch, E. (2006). Use and misuse of rock mass classification systems with particular reference to the Q-system. *Tunnelling and Underground Space Technology 21(6)* , pp. 575-593.

Singh, T., Kainthola, A., & Venkatesh, A. (2012). Correlation between point load index and uniaxial compressive strength for different rock types. *Rock Mech Rock Eng 45* , pp. 259-264.

Urai, J., & Feenstra, A. (2001). *Weakening associated with the diaspore–corundum dehydration reaction in metabauxites: an example from Naxos (Greece)*.

Ανδρέας Μπενάρδος - Δημήτριος Καλιαμπάκος, Α. 2. (2010). *Υπόγεια Έργα*. Αθήνα.

Αρχοντάκης, Μ., & Γιαννούλης, Γ. (2001). *Ποίηση χαραγμένη στην πέτρα. Κοινωνική μνήμη και ποιητική με θέμα του σμυρίγλι από τ' Απεράθου και την Κόρωνο της Νάξου*. Αθήνα.

ΑΦΟΙ ΚΑΡΠΟΝΤΙΝΗ -, Ν. (n.d.).

<https://www.karpontinibros.gr/products.php?menu=30&lang=el> , (πρόσβαση 21/4/2020).

Κανακάρης. (2016). <https://docplayer.gr/5311558-A3-e-omena-toy-horoy-kai-toy-perivallontos.html> , (πρόσβαση 21/4/2020).

Κατεχάκη, Β. (2017). Τα ορυχεία όπου ζει η παράδοση. *Καθημερινή* .

Κολοβού, Α. (2015, Μάρτιος 17). Η άγνωστη ιστορία των σμυριδεργατών της ορεινής Νάξου. www.lifo.gr .

Κωτσάκης, Α. (2001). Η Νάξος κατά την Ενετοκρατία.

Λιάσκος, Ι., & Μοσχοβέλης, Α. (ΙΓΜΕ 2016). *ΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΣΜΥΡΙΔΩΡΥΧΕΙΩΝ ΝΑΞΟΥ*. Βόλος.

Μανωλάς, Κ. Φ. (2007). *ΜΕΛΕΤΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΛΕΛΕΙΜΜΕΝΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΣΜΥΡΙΔΑΣ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΝΑΞΟΥ*. Χανιά.

Μαρίνος.Π., Μαρίνος.Β., & Hoek, E. (2014). *Γεωλογικός δείκτης GSI. Εφαρμογή, συστάσεις, περιορισμοί και πεδία μεταβολών ανάλογα με τον τύπο του πετρώματος*. Θεσσαλονίκη.

Μεγάλη-Ελληνική-Εγκυκλοπαίδεια. λήμμα: κορούνδιο, σμύρις.

Μούσουλος, Λ. (1989). *Μέθοδοι εκμετάλλευσης των ματαλλευτικών κοιτασμάτων*. Αθήνα.

Μπενάρδος, Α. (2014). *Μέθοδοι υπόγειας εκμετάλλευσης – Ελληνικές εκμεταλλεύσεις*. Αθήνα.

Νομικός, Π. Π. (2015). *Εισαγωγή στη Μηχανική των Πετρωμάτων*. Αθήνα .

Παναγιώτου, Γ. (2015). ΣΧΕΔΙΟ ΑΝΑΤΙΝΑΞΗΣ ΣΕ ΜΕΤΩΠΟ ΣΤΟΑΣ - ΣΗΡΑΓΓΑΣ, <http://mycourses.ntua.gr/document/document.php?cmd=exChDir&file=> ,Σημειώσεις Διδάσκοντος (πρόσβαση 24/4/2020).

Πρωτοπαπαδάκης, Π. (1903). *Μονογραφία περί Ναξίας σμύριδος*. Αθήνα.

Τερεζόπουλος, Ν. Γ. (2003). *Μέθοδοι Υπόγειων Εκμεταλλεύσεων*. Αθήνα.

Χέχτ, & Βακόνδιο. (ΙΓΜΕ 1979). *Πρόδρομη έκθεση πάνω στην ερευνητική δραστηριότητα για τη σύριδα στη Νάξο το 1978* Χέχτ, Βακόνδιο, ΙΓΜΕ Απρίλιος 1979. Αθήνα.

Παράρτημα 1

Πίνακας ταξινόμησης του δείκτη RMR

A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS									
Parameter			Range of values						
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index	>10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	For this low range - uniaxial compressive test is preferred		
		Uniaxial comp. strength	>250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 1 MPa
	Rating	15	12	7	4	2	1	0	
2	Drill core Quality <i>RQD</i>		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	Rating		20	17	13	8	3		
3	Spacing of discontinuities		> 2 m	0.6 - 2 . m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
	Rating		20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities (See E)		Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1-5 mm Continuous	Soft gouge >5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous		
	Rating		30	25	20	10	0		
5	Groundwater	Inflow per 10 m tunnel length (l/m)	None	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		(Joint water press)/ (Major principal σ)	0	< 0.1	0.1, - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	Rating		15	10	7	4	0		

B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS (See F)						
Strike and dip orientations		Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very Unfavourable
Ratings	Tunnels & mines	0	-2	-5	-10	-12
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25
	Slopes	0	-5	-25	-50	
C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS						
Rating		100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	< 21
Class number		I	II	III	IV	V
Description		Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock
D. MEANING OF ROCK CLASSES						
Class number		I	II	III	IV	V
Average stand-up time		20 yrs for 15 m span	1 year for 10 m span	1 week for 5 m span	10 hrs for 2.5 m span	30 min for 1 m span
Cohesion of rock mass (kPa)		> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100
Friction angle of rock mass (deg)		> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15
E. GUIDELINES FOR CLASSIFICATION OF DISCONTINUITY conditions						
Discontinuity length (persistence)		< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
Rating		6	4	2	1	0
Separation (aperture)		None	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
Rating		6	5	4	1	0
Roughness		Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Slickensided
Rating		6	5	3	1	0
Infilling (gouge)		None	Hard filling < 5 mm	Hard filling > 5 mm	Soft filling < 5 mm	Soft filling > 5 mm
Rating		6	4	2	2	0
Weathering		Unweathered	Slightly weathered	Moderately weathered	Highly weathered	Decomposed
Ratings		6	5	3	1	0
F. EFFECT OF DISCONTINUITY STRIKE AND DIP ORIENTATION IN TUNNELLING**						
Strike perpendicular to tunnel axis			Strike parallel to tunnel axis			
Drive with dip - Dip 45 - 90°	Drive with dip - Dip 20 - 45°		Dip 45 - 90°		Dip 20 - 45°	
Very favourable	Favourable		Very unfavourable		Fair	
Drive against dip - Dip 45-90°	Drive against dip - Dip 20-45°		Dip 0-20 - Irrespective of strike°			
Fair	Unfavourable		Fair			

Παράρτημα 2



Δοκίμιο υπ' αριθμόν 1. Φωτογραφία μετά την θραύση του.



Δοκίμιο υπ' αριθμόν 15. Φωτογραφία μετά την θραύση του.



Δοκίμιο υπ' αριθμόν 15. Φωτογραφία πριν την θραύση του.



Δοκίμιο υπ' αριθμόν 14. Φωτογραφία πρίν την θραύση του.



Δοκίμιο υπ' αριθμόν 14. Φωτογραφία μετά την θραύση του.

Παράρτημα 3

Γεωτεχνική ταξινόμηση κατά (Barton, Lien, & Lunde, Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support, 1974) Q SYSTEM

(ΝΟΡΒΗΓΙΚΟΥ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΥ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟΥ N.G.I.)

$$Q = (RQD/J_n) * (J_r/J_a) * (J_w/SRF)$$

RQD = Δείκτης κατακερματισμού. Όταν δεν υπάρχουν πυρήνες γεωτρήσεων χρησιμοποιείται η σχέση:

$RQD = 115 - 3,3 J_n$ (J_n είναι ο ολικός αριθμός διακλάσεων ανά m^3).

J_n = συντελεστής που εξαρτάται από τον αριθμό των συστημάτων διακλάσεων και κυμαίνεται από 0,5-20 (Priest & Hudson, 1976)

J_r = συντελεστής τραχύτητας των διακλάσεων και κυμαίνεται από 1-4

J_a = συντελεστής αποσάθρωσης των τοιχωμάτων των διακλάσεων ή του υλικού πλήρωσής τους και κυμαίνεται από 0,75-20

J_w = συντελεστής παρουσίας του νερού στις διακλάσεις και κυμαίνεται από 0,05-1

SRF = συντελεστής αναγωγής της εντατικής κατάστασης (ή μείωσης των τάσεων) που λαμβάνει υπόψη το πεδίο των τάσεων, τον τεκτονισμό της περιοχής και έμμεσα τη θλιπτική αντοχή του πετρώματος και κυμαίνεται από 0,5-15 (Barton, 1983).

1.	Δείκτης ποιότητας RQD		RQD
A.	Πολύ πτωχή		0-25
B.	Πτωχή		25-50
C.	Μέτρια		50-75
D.	Καλή		75-90
E.	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.		
2.	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΡΙΘΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΔΙΑΚΛΑΣΕΩΝ		J_n
A.	Συμπαγές, χωρίς ή με λίγες διακλάσεις		0,5-1,0
B.	Ένα σύστημα διακλάσεων		2,0
C.	Ένα σύστημα διακλάσεων και επί πλέον τυχαίες		3,0
D.	Δύο συστήματα διακλάσεων		4,0
E.	Δύο συστήματα διακλάσεων και επί πλέον τυχαίες		6,0
F.	Τρία συστήματα διακλάσεων		9,0
G.	Τρία συστήματα διακλάσεων και επί πλέον τυχαίες		12,0
H.	Τέσσερα ή περισσότερα συστήματα διακλάσεων, τυχαίες, ισχυρά διακλασμένο, «κύβιοι ζάχαρης», κτλ.		15,0
J.	Κονιορτοποιημένο πέτρωμα με μορφή εδαφικού σχηματισμού		20,0
	1. Για διασταυρώσεις: $3J_n$		
	2. Για εισόδους: $2J_n$		
3.	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΔΙΑΚΛΑΣΕΩΝ		J_r
	<i>(α) Τοιχώματα βράχων σε επαφή</i>		
	<i>(β) Τοιχώματα βράχων σε επαφή πριν από διάτμηση 10cm</i>		
A.	Ασυνεχείς διακλάσεις		4,0
B.	Τραχείες ή κυματώδεις, ακανόνιστες		3,0
C.	Λείες, κυματώδεις		2,0
D.	Ολισθηρές, επίπεδες		1,5
E.	Τραχείες ή ακανόνιστες, επίπεδες		1,5
F.	Λείες, επίπεδες		1,0
G.	Ολισθηρές, επίπεδες		0,5
	<i>(γ) Τοιχώματα βράχων χωρίς επαφή κατά τη διάτμηση</i>		
H.	Ζώνη με ορυκτά αργίλου πάχους αρκετού ώστε να μην εφάπτονται τα τοιχώματα		1,0
J.	Αμμώδεις, χαλικώδεις ή θραυστές ζώνες αρκετού πάχους ώστε να εμποδίζεται η επαφή των τοιχωμάτων του πετρώματος		1,0
	1. Προστίθεται 1,0 αν η μέση απόσταση του κύριου συστήματος διακλάσεων είναι μεγαλύτερη από 3m		
	2. $J_r = 0,5$ δυνατόν να χρησιμοποιηθεί για επίπεδες ολισθηρές διακλάσεις με προσανατολισμένες γραμμώσεις κατά τη διεύθυνση της ελάχιστης αντοχής.		

4.	ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ ΔΙΑΚΛΑΣΕΩΝ		J_a
	<i>(α) Χωρίς ουσιαστικό υλικό πλήρωσης, επαφή τοιχωμάτων</i>	Φ (ένδειξη)	
A.	«Πληρωμένες» υγείες, σκληρές, αδιαπέρατο υλικό πλήρωσης όπως χαλαζίας ή επίδοτο	-	0,75
B.	Επιφανειακά «λεκιασμένα» μόνο τοιχώματα, δεν υπάρχει αποσάθρωση	(25°-35°)	1,0
C.	Ελαφρά αποσαθρωμένα τοιχώματα διακλάσεων. Μη μαλακές επιστρώσεις ορυκτών, αμμώδεις κόκκοι, μη αργιλώδες αποσυντεθημένο πέτρωμα	(25°-30°)	2,0
D.	Ιλυώδεις ή αμμώδεις επιστρώσεις αργίλου, μικρό κλάσμα αργίλου	(20°-25°)	3,0
E.	Μαλακές η μικρής τριβής φ επιστρώσεις από αργιλικά ορυκτά (καολινίτης, μαρμαρυγίες), επίσης τάλκης, χλωρίτης, γύψος, γραφίτης, και μικρές ποσότητες από διογκούμενες αργίλους	(8°-16°)	4,0
	<i>(β) Με υλικό πλήρωσης, τοιχώματα σε επαφή 10cm πριν από διάτμηση</i>		
F.	Αμμώδεις κόκκοι, χωρίς άργιλο, κονιορτοποιημένο πέτρωμα	(25°-30°)	4,0
G.	Ισχυρά υπερστερεοποιημένα μη μαλακά αργιλικά ορυκτά ως υλικό πλήρωσης (συνεχεί, πάχους < 5mm)	(16°-24°)	6,0
H.	Μέσα ή χαμηλά υπερστερεοποιημένα μαλακά αργιλικά ορυκτά ως υλικό πλήρωσης (συνεχείς, πάχους < 5mm)	(12°-16°)	8,0
J.	Διογκούμενη άργιλος πλήρωσης όπως μοντμοριλλονίτης, (συνεχείς, πάχους < 5mm). Οι τιμές του J_a εξαρτώνται από το ποσοστό του μεγέθους των διογκούμενων αργιλικών κόκκων και την πρόσβαση σε νερό.	(6°-12°)	8,0-12,0
	<i>(γ) Τοιχώματα βράχων χωρίς επαφή κατά τη διάτμηση</i>		
K,L,M.	Ζώνες ή τμήματα από αποσυντεθημένο ή θρυμματισμένο πέτρωμα και άργιλο (ανάλογα με τον τύπο του αργιλικού υλικού, βλέπε G,H,J)	(6°-24°)	6,0, 8,0 ή 8,0-12,0
N.	Ζώνες ή τμήματα από ιλυώδη ή αμμώδη άργιλο, μικρή ποσότητα μη μαλακής αργίλου	-	5,0
O.	Από στιφρή άργιλο > 5mm πάχους, συνεχείς	(6°-24°)	10,0
P.	Από μαλακή άργιλο > 5mm πάχους, συνεχείς		13,0
R.	Από διογκούμενη άργιλο > 5mm πάχους, συνεχείς		13,0-20,0
5.	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΝΕΡΟΥ ΤΩΝ ΔΙΑΚΛΑΣΕΩΝ	Πίεση νερού (kg/cm ²)	J_w
A.	Ξηρή εκσκαφή με λίγες εισροές (τοπικά <5l/min)	<1,0	1,0
B.	Μέση εισροή νεού ή πίεση, περιστασιακή έκπλυση του	1-2,5	0,66

	υλικού πλήρωσης των διακλάσεων			
C.	Μεγάλη εισροή ή υψηλή πίεση σε ρωγμές χωρίς υλικό πλήρωσης	2,5-10		0,5
D.	Μεγάλη εισροή ή υψηλή πίεση (ρωγμές με υλικό πλήρωσης που αποπλένεται σημαντικά)	2,5-10		0,33
E.	Εξαιρετικά υψηλή εισροή ή πίεση υπό εκτόνωση με προοδευτική μείωση με το χρόνο	>10		0,2-0,1
F.	Εξαιρετικά υψηλή συνεχής παροχή ή πίεση που δεν μειώνεται με το χρόνο	>10		0,1-0,05
	1. Αύξηση J_w αν υπάρχει αποστράγγιση. Οι συντελεστές C-F υπολογίστηκαν χωρίς επεξεργασία			
	2. Δεν έχουν ληφθεί υπόψη ειδικά προβλήματα από σχηματισμό πάγου			
6.	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΑΣΕΩΝ			SRF
	<i>(α) Ασθενούς αντοχής ζώνες που τέμνουν την εκσκαφή και που μπορούν να προκαλέσουν χαλάρωση της βραχομάζας κατά την διάνοιξη της σήραγγας¹.</i>			
A.	Πολλαπλές εμφανίσεις ασθενών ζωνών με αργιλικό υλικό ή χημικών αλλοιωμένο πέτρωμα, πολύ χαλαρό περιβάλλον πέτρωμα (για οποιοδήποτε βάθος)			10
B.	Μεμονωμένες ασθενείς ζώνες με αργιλικό υλικό ή χημικών αλλοιωμένο πέτρωμα, (βάθος εκσκαφής < 50m)			5,0
C.	Μεμονωμένες ασθενείς ζώνες όπως παραπάνω (βάθος εκσκαφής > 50m)			2,5
D.	Πολλαπλές ζώνες διάτμησης σε συμπαγές πέτρωμα, χωρίς αργιλικό υλικό πλήρωσης, χαλαρό περιβάλλον πέτρωμα (για οποιοδήποτε βάθος)			7,5
E.	Μεμονωμένες ζώνες διάτμησης σε συμπαγές πέτρωμα, χωρίς αργιλικό υλικό πλήρωσης (βάθος εκσκαφής <50m)			5,0
F.	Μεμονωμένες ζώνες διάτμησης σε συμπαγές πέτρωμα, χωρίς αργιλικό υλικό πλήρωσης (βάθος εκσκαφής >50m)			2,5
G.	Χαλαρές ανοιχτές ασυνέχειες, έντονα διακλάσμενη μάζα ή «κύβοι ζάχαρης» (για οποιοδήποτε βάθος) ²			5,0
	<i>(β) Συμπαγές πέτρωμα, πέτρωμα με προβλήματα τάσεων³</i>	σ_v/σ_1	σ_t/σ_1	
H.	Χαμηλές τάσεις, κοντά στην επιφάνεια	>200	>13	2,5
J.	Μέσες τάσεις	200-10	13-0,66	1,0
K.	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

L.	Ελαφρά «εκτίναξη» συμπαγούς πετρώματος	5-2,5	0,33-0,16	5-10
M.	Έντονη «εκτίναξη» συμπαγούς πετρώματος	<2,5	<0,16	10-20
	<i>(γ) Συμπιεστό πέτρωμα, πλαστική ροή όγκιμου πετρώματος κάτω από υψηλές πιέσεις</i>			
N.	Μέτρια πίεση από τη συμπιεστότητα			5-10
O.	Μεγάλη πίεση από τη συμπιεστότητα			10-20
	<i>(δ) Διογκούμενο πέτρωμα, «χημική»διόγκωση σε συνάρτηση με την πίεση του νερού</i>			
P.	Μέτρια πίεση από διόγκωση			5-10
R.	Μεγάλη πίεση από διόγκωση			10-15
	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 $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 < 10$ μειώνεται η σ_c και σ_t κατά 20%, β) όταν $\sigma_1/\sigma_3 > 10$ μειώνεται η σ_c και σ_t κατά 40%, όπου σ_c : αντοχή στη μονοαξονική θλίψη, σ_t : αντοχή στον εφελκυσμό (φόρτιση αιχμής), σ_1 και σ_3 : μέγιστη και ελάχιστη κύρια τάση			
	3. Η σ_c και σ_t πρέπει να αντιστοιχούν στη διεύθυνση που είναι δυσμενής για την ευστάθεια σε περίπτωση ανισότροπου πετρώματος.			
	4. Οι συγγραφείς 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 (βλέπε Η).			

Q	P (kg/cm ²)	Χαρακτηρισμός ποιότητας για σήραγγες
0,001-0,01	12,0	Εξαιρετικά πτωχή
0,01-0,1	6,0	Πάρα πολύ πτωχή
0,1-1,0	2,25-3,0	Πολύ πτωχή
1-4	1,5	Πτωχή
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