

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

**ΜΕΛΕΤΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΛΕΛΕΙΜΜΕΝΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΡΓΩΝ
ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΣΜΥΡΙΔΑΣ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΝΑΞΟΥ**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΜΑΝΩΛΑΣ Κ. ΦΙΛΙΠΠΟΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Γεώργιος Εξαδάκτυλος, Καθηγητής (Επιβλέπων)

Ζαχαρίας Αγιουτάντης, Καθηγητής

Εμμανουήλ Μανούτσογλου, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΧΑΝΙΑ
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ, 2007

Πρόλογος

Η μελέτη αυτή πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Μελέτης και Σχεδιασμού Εκμεταλλεύσεων του Πολυτεχνείου Κρήτης στο τμήμα των Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.

Αντικείμενο αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη ευστάθειας της οροφής των εγκαταλελειμμένων σμυριδωρυχείων της ορεινής Νάξου. Η επιλογή του θέματος δεν ήταν τυχαία καθώς μέσα από αυτήν προσπάθησα να συνδυάσω τις γνώσεις και το ενδιαφέρον μου για τα υπόγεια έργα με τον τόπο καταγωγής μου και την πολιτιστική κληρονομιά του. Με την ολοκλήρωση της εργασίας νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους συνέβαλαν καθοριστικά στη διεκπεραίωση της.

Ιδιαίτερα θέλω να ευχαριστήσω το Καθηγητή κ. Γεώργιο Εξαδάκτυλο, Διευθυντή του Εργαστηρίου Μελέτης και Σχεδιασμού Εκμεταλλεύσεων και επιβλέποντα καθηγητή, αρχικά για την ανάθεση στο πρόσωπό μου τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, τις πολύτιμες συμβουλές του, τις ποικίλες βιβλιογραφικές αναφορές και τις καθοριστικές παρεμβάσεις του σε όλη την εξέλιξη της εργασίας.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Ζαχαρία Αγιουτάντη, μέλος της εξεταστικής επιτροπής, για τις ποικίλες βιβλιογραφικές αναφορές που μου χορήγησε και για την καθοριστική του αξιολόγηση της εργασίας.

Εν συνεχεία ευχαριστώ πολύ τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Μανούτσογλου Εμμανουήλ, μέλος της εξεταστικής επιτροπής, για την καθοριστική συνεισφορά του στη διόρθωση της εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κύριο Μανώλη Δ. Μανωλά, ο οποίος μου πρόσφερε απλόχερα όλο το προσωπικό του αρχείο γύρω από τα σμυριδωρυχεία Νάξου, για τις συμβουλές και παρατηρήσεις του, για την άψογη φιλοξενία που μας παρείχε κατά τη διαμονή μας στη Νάξο και για το ενδιαφέρον που έδειξε για την εκπόνηση της εργασίας.

Ευχαριστώ επίσης την κοινότητα Κορώνου για τις ανέσεις που μας παρείχε και την ζεστή φιλοξενία της.

Επιπρόσθετα ευχαριστώ θερμά όλους τους συναδέλφους και όλα τα μέλη της ομάδας του Εργαστηρίου Μελέτης και Σχεδιασμού Εκμεταλλεύσεων και συγκεκριμένα, την κ. Αθηνά Σίμου, τον κ. Ιωάννη Σαγκριώτη και ιδιαίτερα τον κ. Γεώργιο Μπαράκο για τη πολύτιμη βοήθεια τους που πρόθυμα μου παρείχαν οποιαδήποτε στιγμή και να τους ζητήθηκε.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τον σημαντικότερο παράγοντα αυτής της εργασίας, την οικογένεια μου, για την πολύτιμη και αδιάκοπη υποστήριξη της ηθικά, ψυχολογικά και οικονομικά καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Χανιά, Οκτώβριος 2007

Φίλιππος Κ. Μανωλάς

Περιεχόμενα

1. Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	1
1.1. Εισαγωγικά	1
2. Κεφάλαιο 2: Εξόρυξη της σμύριδας.....	3
2.1. Εισαγωγή.....	3
2.2. Στοιχεία Μεταλλείου	4
2.2.1. Ονομασία	4
2.2.2. Τοποθεσία.....	4
2.2.3. Ιστορικό	4
2.2.4. Ιδιοκτησιακό καθεστώς.....	9
2.3. Γεωλογικά – Κοιτασματολογικά Στοιχεία.....	10
2.3.1. Γεωλογία.....	10
2.3.2. Κοιτασματολογικά χαρακτηριστικά	12
2.3.3. Ορυκτολογικά στοιχεία.....	15
2.3.4. Γένεση	17
2.3.5. Αποθέματα	17
2.3.6. Σεισμική δραστηριότητα.....	18
2.4. Τεχνικά Χαρακτηριστικά Μεταλλείου.....	19
2.4.1. Είδος μεταλλεύματος που εξορύσσεται.....	19
2.4.2. Κατάσταση μεταλλείου.....	19
2.4.3. Τύπος μεταλλείου	20
2.4.4. Ποιότητα μεταλλεύματος.....	20
2.4.5. Μέθοδος εκμετάλλευσης.....	21
2.4.6. Τρόπος εξόρυξης.....	24
2.4.6.1. Χειρωνακτική όρυξη διατρημάτων	25
2.4.6.2. Μηχανική όρυξη διατρημάτων.....	27
2.4.6.3. Χρήση εκρηκτικών	28
2.4.7. Τρόπος Μεταφοράς.....	29
2.4.7.1. Χερσαία μεταφορά	29
2.4.7.2. Εναέρια μεταφορά	33
2.4.7.3. Μεταφορά στα πλοία.....	39
2.4.8. Βιομηχανικές Μονάδες και Εξοπλισμός.....	42
2.5. Απορρίμματα.....	49
3. Κεφάλαιο 3: Μελέτη των Ασυνεχειών.....	51
3.1. Τρόποι Αστοχίας Σηράγγων	51
3.2. Ιδιότητες Ασυνεχειών	52
3.3. Περιοχή Μελέτης.....	57
3.3.1. Τοποθεσία.....	57
3.3.2. Διάφορα στοιχεία ορυχείου.....	58
3.4. Συλλογή Στοιχείων	59
3.5. Καταγραφή Ασυνεχειών	59

3.5.1. Τεχνικές αποτύπωσης	59
3.5.2. Εξοπλισμός.....	61
3.6. Δημιουργία Βάσης Δεδομένων.....	62
3.7. Στατιστική Επεξεργασία των Ασυνεχειών.....	64
3.7.1. Γραφική παρουσίαση των στοιχείων προσανατολισμού των ασυνεχειών	64

4. Εκτίμηση Δημιουργίας Σφηνών - Επεξεργασία

μετρήσεων	68
4.1. Πρώτο Στάδιο Επεξεργασίας.....	68
4.2. Δεύτερο Στάδιο Επεξεργασίας	72
4.3. Τρίτο Στάδιο Επεξεργασίας	73
4.3.1. Εισαγωγή στο Unwedge 3.0	73
4.3.1.1. Γεωμετρία εκσκαφής.....	74
4.3.1.2. Παραμετρικές ιδιότητες εκσκαφής	75
4.3.1.3. Εισαγωγή ιδιοτήτων των ασυνεχειών	75
4.3.1.4. Εισαγωγή παραμέτρων των ασυνεχειών	76
4.3.1.5. Διαστασιολόγηση σφηνών	78
4.3.1.6. Ανάλυση	79
4.3.1.7. Αποτελέσματα.....	80
4.3.2. Εκτίμηση δημιουργίας σφηνών και εφαρμογή υποστήριξης για το σύνολο της στοάς.....	80
4.3.2.1. Συνδυασμός 1	81
4.3.2.2. Συνδυασμός 2	83
4.3.2.3. Συνδυασμός 3	85
4.3.3. Επεξεργασία και ανάλυση ασυνεχειών με το Unwedge 3.0 για τα επιμέρους τμήματα της στοάς	87
4.3.3.1. Τμήμα 1.....	88
4.3.3.2. Τμήμα 2.....	92
4.3.3.3. Τμήμα 3.....	95
4.3.3.4. Τμήμα 4.....	96
4.3.3.5. Τμήμα 5.....	98
4.3.3.6. Τμήμα 6.....	101
4.3.3.7. Τμήμα 7.....	102
4.3.3.8. Τμήμα 8.....	106
4.3.3.9. Τμήμα 9.....	108
4.3.3.10. Τμήμα 10.....	110
4.4. Συμπεράσματα και Προτάσεις.....	112

Βιβλιογραφία	114
--------------------	-----

Παράρτημα.....	116
----------------	-----

Κατάλογος σχημάτων

2.1. Απόσπασμα από Γεωλογικό Χάρτη 1: 50.000 (ΙΓΜΕ)	11
2.2. Γεωλογικός χάρτης με τις θέσεις των εμφανίσεων σμύριδας	14
2.3. Breast Stope – Όπου ‘Σ’ οι στύλοι μεταλλεύματος	21
2.4. Φόρτωση με συρμό και βαγόνια	22
2.5. Εργαλεία χειρωνακτικής όρυξης διατρημάτων	25
2.6. Όρυξη κατακόρυφου διατρήματος με ράβδο διάτρησης	25
2.7. Όρυξη διατρήματος με στέλεχος και σφύρα	26
2.8. Πλευρικά και μπροστά ανατρεπόμενα βαγόνια	30
2.9. Μηχανισμός ανατροπής βαγονιού	31
2.10. Κεκλιμένο επίπεδο χωρίς πλαίσιο	32
2.11. Η διαδρομή που ακολουθεί ο «εναέριος»	35
2.12. Γενική διάταξη μονοσυρματικής εναέριας μεταφοράς	36
2.13. Τα κύρια χαρακτηριστικά ενός πυλώνα	37
2.14. Δίκτυο σιδηρογραμμών φόρτωσης και μεταφοράς βαγονιών από το απόθεμα στο κύτος του πλοίου	39
2.15. Φόρτωση πλοίου με βαγόνια και αργότερα με μεταφορική ταινία	40
3.1. Μεγάλος κύκλος και οι πόλοι του, που καθορίζουν τον προσανατολισμό ενός επιπέδου ασυνέχειας Π	64
3.2. Κατασκευή της στερεογραφικής προβολής του μέγιστου κύκλου και του πόλου πάνω στο οριζόντιο επίπεδο του κάτω ημισφαιρίου αναφοράς	65
3.3. Τρόπος κατασκευής ισοεπιφανειακής προβολής	66
3.3. Διαδοχικές φάσεις αποτύπωσης και επεξεργασίας επιπέδων ασυνεχειών με το πρόγραμμα DIPS	67
4.1. Απεικόνιση της στοάς σε τμήματα των 10 m	68

Κατάλογος πινάκων

2.1. Τα 32 ορυκτολογικά συστατικά της σμύριδας	15
3.1. Περιγραφή απόστασης ασυνεχειών κατά I.S.R.M. (1981)	53
3.2. Ταξινόμηση της απόστασης κατά I.S.R.M (1981)	53
3.3. Ταξινόμηση του ανοίγματος των ασυνεχειών κατά I.S.R.M (1981)	54
3.4. Υπόδειγμα πίνακα μετρήσεων για ένα δειγματοληπτικό παράθυρο	61
4.1. Προσανατολισμοί ασυνεχειών για το τμήμα 0-10 m	69
4.2. Προσανατολισμοί ασυνεχειών για το τμήμα 11-20 m	69
4.3. Προσανατολισμοί ασυνεχειών για το τμήμα 21-30 m	69
4.4. Προσανατολισμοί ασυνεχειών για το τμήμα 31-40 m	70
4.5. Προσανατολισμοί ασυνεχειών για το τμήμα 41-50 m	70
4.6. Προσανατολισμοί ασυνεχειών για το τμήμα 51-60 m	70

4.7. Προσανατολισμοί ασυνεχειών για το τμήμα 61-70 m.....	71
4.8. Προσανατολισμοί ασυνεχειών για το τμήμα 71-80 m.....	71
4.9. Προσανατολισμοί ασυνεχειών για το τμήμα 81-90 m.....	71
4.10. Προσανατολισμοί ασυνεχειών για το τμήμα 91-100 m.....	71
4.11. Πιθανές κύριες οικογένειες ασυνεχειών σε όλο το μήκος της στοάς.....	72

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1. Εισαγωγικά

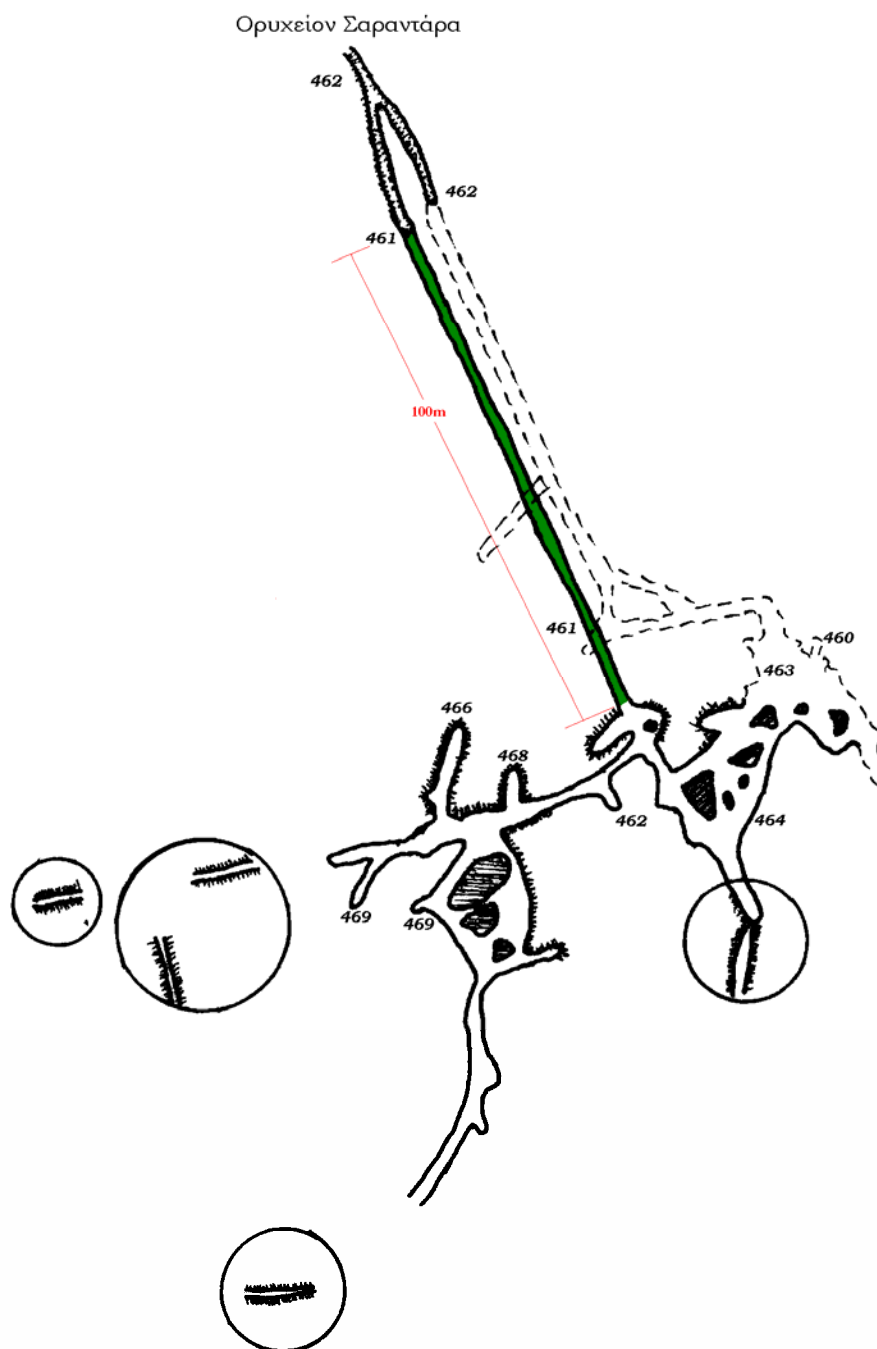
Η εργασία έχει σαν στόχο να μελετήσει και να εξετάσει τον χώρο ενός υπόγειου ορυχείου της ορεινής Νάξου και να αναφέρει τα σημεία και τους χώρους όπου υπάρχει κίνδυνος πτώσης της οροφής λόγω δημιουργίας επικίνδυνων σφηνών. Εστιάζοντας σε αυτά τα σημεία γίνεται αξιολόγηση του προβλήματος και προτείνονται μέτρα για την πρόληψη τέτοιων καταπτώσεων με σκοπό την ασφαλή περιήγηση ανθρώπων στους χώρους των ορυχείων, τα οποία έχουν χαρακτηριστεί από το Υπουργείο Πολιτισμού, με την απόφαση ΥΠ.ΠΟ/ΔΙ.ΛΑΠ/Ι/2986/49087/08-11-89 που δημοσιεύθηκε στο ΦΕΚ 869/2-11-89, ως «**Ιστορικός τόπος και διατηρητέο μνημείο**».

Το πλήθος των ορυχείων είναι μεγάλο και η επεξεργασία και μελέτη όλων των ορυχείων ξεφεύγει από τα όρια της διπλωματικής εργασίας. Έτσι αποφασίστηκε να μελετηθεί και να εξεταστεί ένα ορυχείο ανοίγοντας με αυτόν τον τρόπο το δρόμο για μελλοντικές εργασίες και τεχνικές εκθέσεις για την γύρω περιοχή.

Η εργασία χωρίζεται ουσιαστικά σε δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος γίνεται μια παρουσίαση των σμυριδωρυχείων της Ορεινής Νάξου που περιέχει στοιχεία που αφορούν τον τρόπο και της συνθήκες λειτουργίας τους αλλά και πληροφορίες που αφορούν το μέταλλευμα όπως κοιτασματολογικά και ορυκτολογικά στοιχεία (Κεφάλαιο 2).

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας γίνεται η μελέτη ευστάθειας των σφηνών σε ένα τμήμα του εγκαταλελειμμένου υπόγειου ορυχείου σμύριδας «Σαραντάρια» (βλ. Εικόνα 1.1), που αναφέρεται στην συλλογή των μετρήσεων των ασυνεχειών (Κεφάλαιο 3) και τον υπολογισμό των σφηνών με χρήση του προγράμματος Unwedge 3.0 (Κεφάλαιο 4).

Στο παράρτημα υπάρχει αναλυτική παρουσίαση των επιτόπου μετρήσεων.



Εικόνα 1.1. Στην εικόνα φαίνεται με πράσινο χρώμα το τμήμα του ορυχείου στο οποίο έγινε η μελέτη (1:1000)

Κεφάλαιο 2: Εξόρυξη της Σμύριδας

2.1. Εισαγωγή

Η σμύριδα - «σμουρίγλι» κατά τους ντόπιους - ή η '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. Η «Ναξία σμύρις» στο παρελθόν είχε κατακλύσει τις διεθνείς αγορές χάρη στην εξαιρετική ποιότητά της. Η σμύριδα, ως γνωστό, χρησιμοποιείται ως αποξεστικό και λειαντικό για μέταλλα, κράματα, γυαλί, ξύλο, ορυκτά, πετρώματα, αμμοβολή, καθαριστικό ρυζιού, καθώς και ως αντιολισθηρό σε βιομηχανικά δάπεδα και δρόμους.

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 στιλβωση) και ως προς αυτήν των άλλων Ελληνικών νήσων όπως π.χ. της Σύρου, που έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε κορούνδιο. Τα σμουριδωρυχεία στη Νάξο λειτούργησαν από τους προϊστορικούς χρόνους με ικανοποιητικούς ρυθμούς έως τον Β' Παγκόσμιο πόλεμο. Σήμερα ελάχιστα ορυχεία λειτουργούν, για κοινωνικούς και μόνο λόγους, παράγοντας πολύ περιορισμένη ποσότητα σμύριδας η οποία δεν διατίθεται πλέον παρά ελάχιστα στο εμπόριο. Ο περιορισμός της εξορυκτικής δραστηριότητας και το κλείσιμο των περισσότερων ορυχείων, οφείλεται στο ότι η φυσική σμύριδα έχει ευρέως αντικατασταθεί από άλλα σκληρά υλικά όπως το ανθρακοκορούνδιο (carborundum), από χαλυβδοσμύριδα (steel emery) και από τεχνητό κορούνδιο. Από το 1824 τα σμουριδωρυχεία της Νάξου θεωρούνται κρατική ιδιοκτησία, ενώ μόνο οι κάτοικοι των σμουριδοφόρων περιοχών Κορώνου και Απειράνθου κατέχουν το αποκλειστικό δικαίωμα της εξόρυξης της σμύριδας και παράδοσής της στο Δημόσιο. Στις μέρες μας υπάρχουν 530 περίπου εργάτες ορυχείων (σμουριδεργάτες), υποαπασχολούμενοι για 1-2 μόνο μήνες το χρόνο.

Σήμερα από πολλούς φορείς γίνεται προσπάθεια για να σωθούν από την καταστροφή τα εγκαταλειμμένα ορυχεία και τα κατάλοιπα της τεχνολογικής προπολεμικής βιομηχανίας και να αποδοθούν στο κοινό. Από αυτά ξεχωρίζουν ο «εναέριος» -ένα μεγάλης κλίμακας τεχνικό έργο και ένα από τα ελάχιστα σωζόμενα σήμερα συστήματα εναέριος μεταφοράς- οι κτιριακές εγκαταστάσεις, τα λιμενικά έργα, ο μηχανολογικός εξοπλισμός που αποτελούν βιομηχανική-πολιτιστική κληρονομιά.

2.2. Στοιχεία μεταλλείου

2.2.1. Ονομασία

Σμυριδωρυχεία Νάξου. Πρόκειται για ορυχεία εξόρυξης σμύριδας.

2.2.2 Τοποθεσία

Τα σμυριδωρυχεία της Νάξου βρίσκονται σε μία εκτεταμένη περιοχή στη ΒΑ πλευρά του νησιού, στον Δήμο Δρυμαλίας ο οποίος καταλαμβάνει τα $\frac{3}{4}$ περίπου της συνολικής έκτασης του νησιού και αποτελεί τον πλέον εκτεταμένο Δήμο στις Κυκλάδες. Τα περισσότερα σμυριδωρυχεία είναι αργούντα και έχουν εγκαταλειφθεί. Σήμερα τα εν λειτουργία ορυχεία (αλλά υπό περιοριστικούς όρους λειτουργίας) επικεντρώνονται γύρω από την κοιτασματοφόρο περιοχή των ορεινών περιοχών Κορώνου και Απειράνθου (βλέπε τοπογραφικούς χάρτες 1:200.000, 1:50.000, Εικόνες 1 και 2).

2.2.3. Ιστορικό

Η λειαντική και στιλβωτική ικανότητα της σμύριδας ήταν ήδη γνωστές από την αρχαιότητα, γεγονός που επιβεβαιώνεται από τις ιστορικές αναφορές του Ησίοδου (7^{ος} αιώνας π.Χ.) και του Ηρόδοτου (5^{ος} αιώνας π.Χ.).

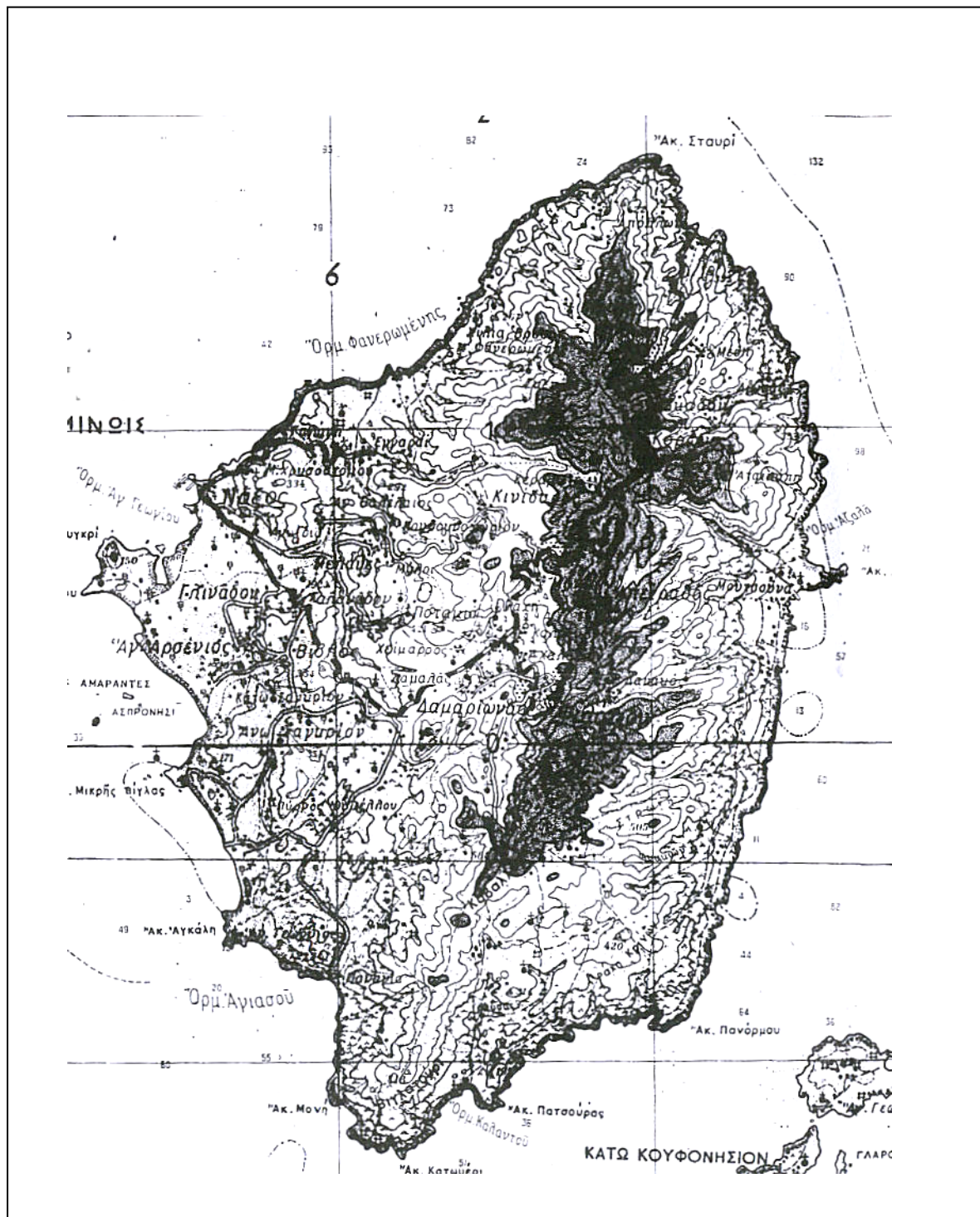
Κατά καιρούς η σμύριδα είχε πολλές εφαρμογές όπως λειαντικό υλικό, διατρητικό υλικό και παλαιότερα στην πολεμική βιομηχανία. Στην οδοποιία ως αντιολισθητικό υλικό σε ασφαλτοτάπητες, στα βιομηχανικά δάπεδα, πεζοδρόμια κ.λπ και γενικότερα όπου απαιτείται υψηλή αντιολισθητική συμπεριφορά και μεγάλη αντοχή στη φθορά, θερμοκρασία και διάβρωση.

Τα σμυριδωρυχεία στη Νάξο λειτούργησαν ήδη από τους προϊστορικούς χρόνους, όπως δείχνουν διάφορες αρχαίες στοές και ευρήματα. Στο λοφίσκο Μάλια μεταξύ Κορώνου και Λυώνα, σύμφωνα με τους αρχαιολόγους, υπάρχουν είσοδοι εγκαταλειμμένων αρχαίων στοών σμυριδωρυχείων. Στο γεωμετρικό νεκροταφείο του Τσικαλαριούς στην κεντρική Νάξο, έχουν βρεθεί ίχνη επεξεργασμένων σμυριδόλιθων. Ναξία σμύριδα βρέθηκε και σε άλλα μέρη της Ελλάδας, όπως π.χ. στην Κρήτη, γεγονός που δείχνει ότι εκτός από εξόρυξη και τοπική διάθεση, γινόταν και σημαντική εμπορία της σμύριδας.

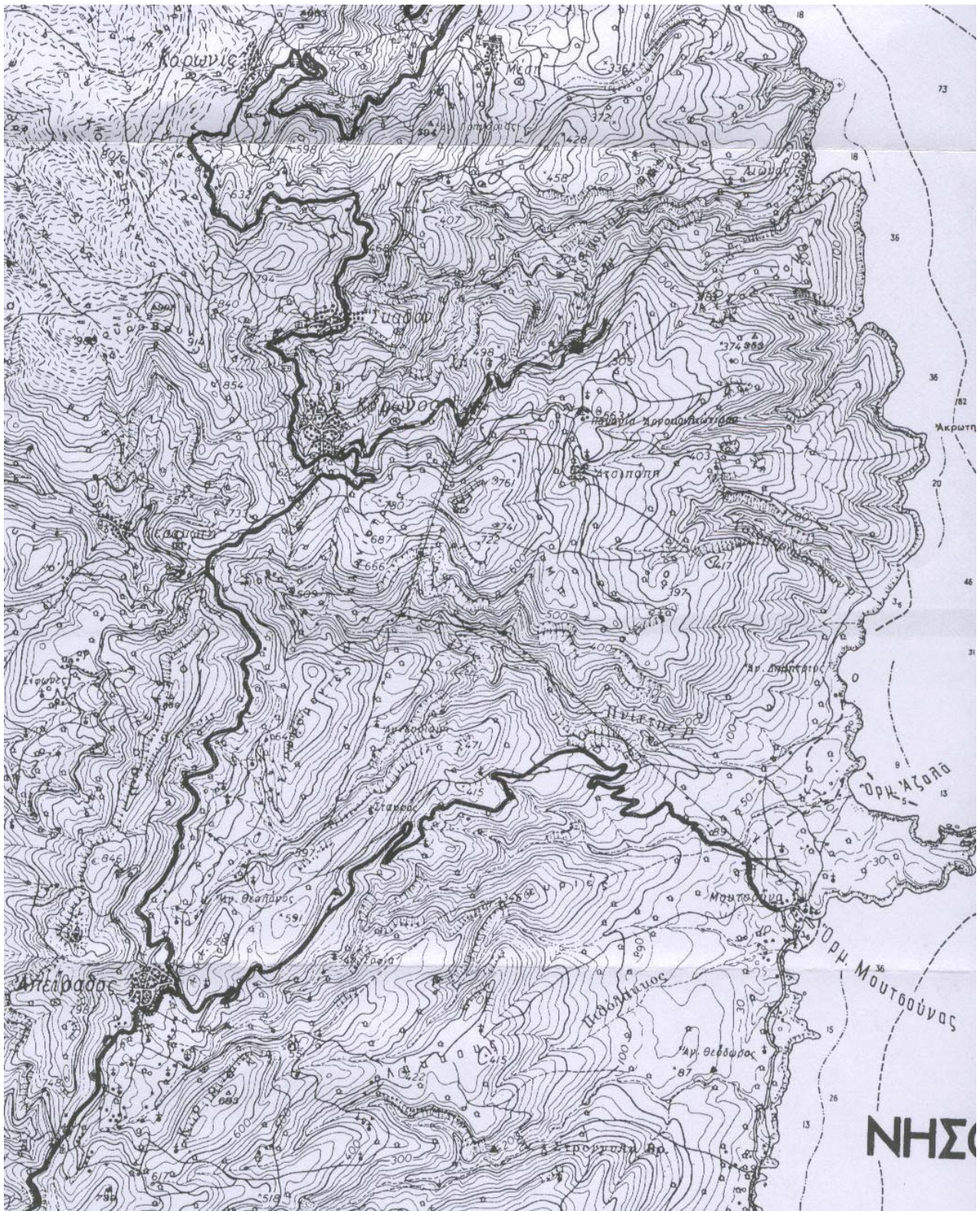
Στα 1877 ψηφίστηκε από το Κράτος κανονισμός «Περί της εν Νάξω υπηρεσίας της Σμύριδας», ο οποίος ρύθμιζε θέματα σχετικά με την εξόρυξη, τη μεταφορά και τη φόρτωση. Παρ' όλα τα προβλήματα (κακές συνθήκες εργασίας, πολύμηνη απεργιακή κινητοποίηση το 1912), παρατηρείται μία ακμή στον τομέα της εκμετάλλευσης και διάθεσης της σμύριδας, κυρίως λόγω της γενικότερης Ευρωπαϊκής βιομηχανικής ανάπτυξης.

Η εντατικοποίηση της εκμετάλλευσης 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. Η κατασκευή διήρκεσε από το 1926 έως το 1929, ενώ η λειτουργία του «εναερίου» ξεκίνησε επίσημα το 1930. Η παραγόμενη σμύριδα ήταν ένα πολύ σημαντικό τοπικό προϊόν (αντιστοιχώντας στο 80% των εισοδημάτων του Ελληνικού Κράτους από εξαγωγές) μέχρι τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο.

Όμως η εξάπλωση της τεχνητής σμύριδας (που είχε ήδη ανακαλυφθεί από το 1890) και η οποία κατέκλυσε τις διεθνείς αγορές, το υψηλό κόστος εξόρυξης της Ναξίας σμύριδας, της κακής κρατικής διαχείρισης, αλλά και των πολέμων που ακολούθησαν (π.χ. Β' Παγκόσμιος πόλεμος, ιταλική και γερμανική κατοχή 1941-1944), οδήγησε στην πτωτική πορεία του μεταλλεύματος. Ο «εναέριος» σταμάτησε να λειτουργεί το 1978.



Εικόνα 2.1: Τοπογραφικός χάρτης Νάξου (1:200.000).



Εικόνα 2.2: Απόσπασμα τοπογραφικού χάρτη Νάξου (1:50.000).

Σήμερα η εξόρυξη της σμύριδας γίνεται σε πολύ περιορισμένη κλίμακα, κυρίως για κοινωνικούς λόγους, και δεν αξιοποιείται πλέον από τη σύγχρονη βιομηχανία. Εργάζονται περίπου 530 εργάτες ορυχείων από 6 χωριά της ορεινής Νάξου, υποαπασχολούμενοι για λίγους μόνο μήνες το χρόνο.

Εδώ και αρκετά χρόνια διάφορες οργανώσεις τοπικής αυτοδιοίκησης και διάφοροι φορείς των σμυριδοφόρων περιοχών της Νάξου, άρχισαν μία σημαντική προσπάθεια για την προστασία και ανάδειξη του ευρύτερου χώρου των αργούντων σμυριδωρυχείων, η οποία και συνεχίζεται. Ήδη από το 1989 τα αργούντα ορυχεία, τα κτίρια, οι εγκαταστάσεις μεταφοράς και φόρτωσης σμύριδας, έχουν χαρακτηριστεί από το Υπουργείο Πολιτισμού, με την Απόφαση ΥΠ.ΠΟ/ΔΙ.ΛΑΠ/Ι/2986/49087/08-11-89 που δημοσιεύθηκε στο ΦΕΚ 869/2-11-89, ως «Ιστορικός τόπος και διατηρητέο μνημείο»



Εικόνα 2.3.
Αποψη μίας εκ
των δύο εισόδων
του ορυχείου
Σαραντάρα.

2.2.4 Ιδιοκτησιακό καθεστώς

α. Το δικαίωμα αναζήτησης, έρευνας και εκμετάλλευσης της σμύριδας Νάξου ανήκει μόνο στο Δημόσιο (άρθρο 143 Μ.Κ.210/1973). Ήδη από το 1824 έως σήμερα τα σμυριδωρυχεία της Νάξου θεωρούνται κρατική ιδιοκτησία. Η δε σχέση του Κράτους (εργοδότης) με τους «σμυριδορύκτες» (εργολάβοι), είναι μία ιδιώνυμος σχέση ειδικών διατάξεων. Οι κάτοικοι των σμυριδοφόρων χωριών Απειράνθου και Κορώνου κατέχουν το αποκλειστικό δικαίωμα της εξόρυξης της σμύριδας και παράδοσής της στο Δημόσιο έναντι ενός συμφωνημένου χρηματικού ποσού (κατά βάρος και ποιότητα παραγόμενης σμύριδας). Το συμφωνηθέν βάρος ανέρχεται σε 8.200 τόνους το χρόνο. Πρόκειται για μία ιδιόμορφη «μίσθωση έργου» κατά την οποία ο εκμισθωτής (σμυριδεργάτης) υποχρεούται όχι μόνο να παράσχει την προσωπική του εργασία αλλά να εξασφαλίζει με δικές του δαπάνες και πρωτοβουλία την έρευνα και την ανεύρεση του ορυχείου, ενώ το μίσθωμα κανονίζει μόνο ο ένας συμβαλλόμενος, το Δημόσιο.

β. Αναφορικά με την κτιριοκτησία και εδαφοκτησία ισχύουν τα εξής:

- Όλα τα κτίσματα στη Μουτσούνα ανήκουν στο Δημόσιο. Τα κτίσματα στην Κόρωνο είναι Δημοτικά και ανήκουν στο Δημοτικό Διαμέρισμα Κορώνου του Δήμου Δρυμαλίας. Δύο κτίσματα στο Λυώνα το ΒΚ25 (100τ.μ.) γνωστό ως «Ταρσανάς» και το ΒΚ98 (3.000τ.μ.) που στεγάζονταν οι υπηρεσίες σμύριδας, πρόσφατα παραχωρήθηκαν από την Κτηματική Υπηρεσία Κυκλάδων στο Δήμο Δρυμαλίας (ΚΕΔ Παραχωρητήριο, απόφαση 17/14.07.2005/Ε.20).

- Βάσει του Κτηματολογίου της Κοινότητας (κατά πληροφορία) ο χώρος γύρω από τα σμυριδωρυχεία Κορώνου, 2.000 στρέμματα, σε ένα σύνολο 10.200 στρεμμάτων, είναι Δημοτικός και ανήκει στο Δημοτικό Διαμέρισμα Κορώνου του Δήμου Δρυμαλίας. Ο αντίστοιχος χώρος γύρω από την Απειράνθο είναι επίσης Δημοτικός και ανήκει στο Δημοτικό Διαμέρισμα Απειράνθου του Δήμου Δρυμαλίας.

2.3. Γεωλογικά – κοιτασματολογικά χαρακτηριστικά

2.3.1. Γεωλογία

Η Νάξος είναι το δέκατο σε μέγεθος ελληνικό νησί και βρίσκεται στο μέσον περίπου της απόστασης ανάμεσα στην Πελοπόννησο και τις Μικρασιατικές ακτές. Έχει ελλειψοειδές σχήμα, του οποίου ο μεγάλος άξονας έχει διεύθυνση Β-Ν.

Γεωλογικά ανήκει στην Αττικοκυκλαδική μάζα και συνίσταται κυρίως από μαγματικά και μεταμορφωμένα πετρώματα. Τα ιζηματογενή είναι σε περιορισμένη έκταση, κυρίως στις λεκάνες και στις παράκτιες περιοχές.

Το κεντρικό τμήμα της νήσου καταλαμβάνεται από το μεταμορφωμένο σύστημα, του οποίου ο πυρήνας αποτελείται από έναν μιγματιτικό-γενευσιακό δόμο, επιμήκους σχήματος με διεύθυνση Β 15° Ε. Το κέντρο του μιγματιτικού αυτού δόμου συνίσταται από γρανίτες εξ ανατήξεως και γνεύσιους. Ραδιοχρονολογήσεις με τη μέθοδο Pb-Sr έδειξαν για τους μιγματιτικούς γνεύσιους παλαιοζωική ηλικία. Ο βαθμός μεταμόρφωσης αυξάνει από την περιφέρεια προς την κεντρική περιοχή του δόμου. Τον μιγματιτικό-γενευσιακό δόμο περιβάλλουν εναλλαγές μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων και μαρμάρων. Μέσα στο μεταμορφωμένο σύστημα περιέχονται επίσης αμφιβολίτες και μεταμορφωμένα υπερβασικά.

Τα μαγματικά πετρώματα αντιπροσωπεύονται από τον γρανοδιορίτη, ανωτριτογενούς ηλικίας, που καταλαμβάνει το δυτικότερο τμήμα του νησιού. Η επαφή μεταξύ γρανοδιορίτη και μεταμορφωμένου συστήματος έχει διεύθυνση Β-Ν. Στο νοτιότερο τμήμα του νησιού ο γρανοδιορίτης διεισδύοντας μέσα στο μεταμορφωμένο σύστημα, έχει δημιουργήσει μία ζώνη μεταμόρφωσης επαφής (skarns). Απλιτοπηγματιτικές φλέβες ξεκινούν από τον γρανοδιορίτη και εισχωρούν στο μεταμορφωμένο σύστημα.

Βορειότερα η επαφή του γρανοδιορίτη με το μεταμορφωμένο σύστημα είναι τεκτονική και καλύπτεται από μη μεταμορφωμένα ιζήματα, διαβάσεις, ηφαιστειακά λατυποπαγή και σερπεντινωμένους περιδοτίτες. Οι σχηματισμοί

Σχήμα 2.1. Απόσπασμα από Γεωλογικό Χάρτη 1: 50.000(Φύλλο χάρτου Νάξος,ΙΓΜΕ)



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

	: μάρμαρα		: μιγματίτης
	: μετα-κροκαλοπαγές εκ μαρμάρου		: μεταμορφωμένα υπερβασικά και γαββρικά πετρώματα
	: μαρμαρυγιοί σχιστόλιθοι και γνεύσιοι		: υπερβασικά και γαββροειδή πετρώματα
	: αμφιβολίτες		: κροκαλοπαγή

αυτοί που καλύπτουν τμήμα της επαφής μάλλον είναι υπολείμματα επώθησης που έλαβε χώρα κατά το μέσο Μειόκαινο.

Πλειστοκαινικά ιζήματα βρίσκονται σε διάφορα σημεία κατά μήκος της ακτής ως πληρώσεις ρωγμών σε μάρμαρα και ως πλευρικά κορήματα. Τα νεότερα ιζήματα συναντώνται κυρίως στην δυτική ακτή, σε παράκτιες πεδιάδες και σπανίως στο εσωτερικό του νησιού (Δήμου 2005).

2.3.2. Κοιτασματολογικά χαρακτηριστικά

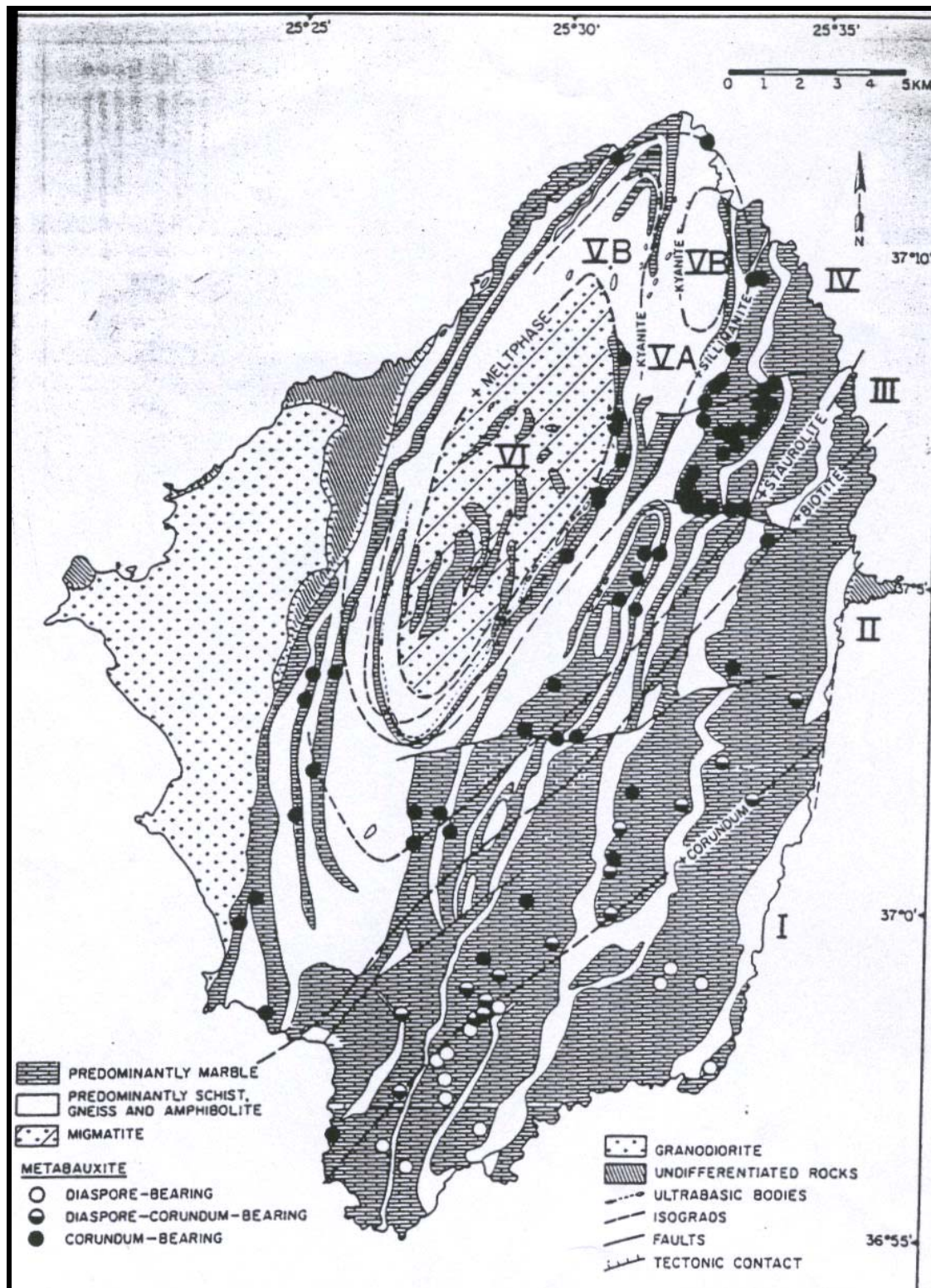
Από γενικής κοιτασματολογικής πλευράς το ενδιαφέρον στην Νάξο επικεντρώνεται στο μάρμαρα. Αφενός γιατί τα Ναξιώτικα μάρμαρα χαρακτηρίζονται σαν από τα καλύτερα σε παγκόσμια κλίμακα και αφετέρου γιατί περιέχουν την σμύριδα. Η εξόρυξη του μαρμάρου χρονολογείται από την αρχαιότητα («Ναξία λίθος») και η Νάξος αναδείχθηκε σε κέντρο πρώιμης γλυπτικής τέχνης. Ορισμένα από τα μεγαλειώδη αγάλματα στην Νάξο ή αλλού (ο Κούρος του Απόλλωνα, τα αγάλματα στη Δήλο), αρχαίοι ναοί στη Νάξο (ο Ναός της Δήμητρας στο Σαγκρί, ο Ναός στα Ηρία μεταξύ Νάξου και Αγ. Αρσεμίου) κατασκευάστηκαν από Ναξιώτικο μάρμαρο. Στις μέρες μας το μάρμαρο εξορύσσεται κυρίως για την παραγωγή χαλικιών και σκόρων, ενώ σπανιότερα μεγάλοι όγκοι καλής ποιότητας χρησιμοποιούνται στη γλυπτική.

Αυτό όμως που παρουσιάζει ιδιαίτερο κοιτασματολογικό ενδιαφέρον είναι η σμύριδα. Τα σμυριδοφόρα κοιτάσματα της Νάξου βρίσκονται στο βορειοανατολικό τμήμα του νησιού, στο χώρο ο οποίος εκτείνεται από τον όρμο του Απόλλωνα μέχρι το Φιλώτι, στις υπώρειες του όρους Ζεϋς και φθάνει μέχρι της ανατολικές ακτές του νησιού. Τα αξιολογότερα από αυτά τα κοιτάσματα (Νέου Παλιομίτατου, Σπήλιου, Κακόρυακα, Ασπαλαθρωπού, 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 λειτουργήσε από το 1930 έως το 1978. Υπάρχουν όμως και άλλα κοιτάσματα σμύριδας που είχαν εξορυχθεί στο παρελθόν όπως της Κωξακής 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 στο σχήμα 2.2 εικονίζονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί και οι θέσεις των κοιτασμάτων-εμφανίσεων σμύριδας (χαρακτηριζόμενοι γενετικά ως μεταβωξίτες).

Τα κοιτάσματα σμύριδας απαντώνται υπό μορφή φακών μέσα στα μάρμαρα και έχουν πάχος 3-10 μέτρα και μήκος-πλάτος μερικές δεκάδες μέτρα. Στα χαμηλότερα σημεία του παλαιοαναγλύφου υπάρχουν στρωματοειδή κοιτάσματα με αυξομειούμενο πάχος μέχρι 2 μέτρα και μήκος-πλάτος μεγαλύτερο από 100 μέτρα.



Σχήμα 2.2: Γεωλογικός χάρτης με τις θέσεις των εμφανίσεων- κοιτασμάτων σμύριδας (Δήμου 2005)

2.3.3. Ορυκτολογικά στοιχεία

Η σμύριδα της Νάξου είναι ένα πέτρωμα με ευρέως κυμαινόμενη ορυκτολογική σύσταση. Πρόκειται για πέτρωμα με κυανότεφρο ή μελανότεφρο χρώμα με κύρια ορυκτολογικά συστατικά το κορούνδιο, ο αιματίτης, ο μαγνητίτης, ο μαργαρίτης, ο τιτανίτης, το χλωριτοειδές, το διάσπορο, ενώ ένα πλήθος άλλων ορυκτών συμμετέχουν ως δευτερεύοντα, που κατά θέσεις γίνονται και κύρια, όπως: τουρμαλίνης, σιλλιμανίτης, κορδιερίτης, διοθενής, μοσχοβίτης κ.ά. Η ναξιακή σμύριδα περιέχει 32 ορυκτά και θεωρείται η καλύτερη στον κόσμο λόγω της υψηλής συμμετοχής του κορούνδιου στη σύνθεση της.

Πίνακας 2.1. Τα 32 ορυκτολογικά συστατικά της σμύριδας

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

Από ιστολογικής πλευράς η σμύριδα παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία. Τα αδιαφανή ορυκτά, που είναι κυρίως αιματίτης-μαγνητίτης, διατάσσονται κατά ταινίες, εκδηλώνοντας έτσι μία εμφανή σχιστότητα στη σμύριδα. Ο ιστός είναι γενικά κοκκοβλαστικός, αλλά σπάνια εντοπίζονται και ίχνη παλαιού πηλολιθικού ιστού.

Η σμύριδα της Νάξου δεν έχει παντού την ίδια ακριβώς σύσταση και η περιεκτικότητα της στα διάφορα ορυκτά ποικίλει σημαντικά ακόμη και μέσα στο ίδιο κοίτασμα. Σε μια καλή σχετικά ποιότητα σμύριδας το κορούνδιο μπορεί να κυμαίνεται από 50 μέχρι 65%, τα οξείδια του σιδήρου (μαγνητίτης,

ιμενίτης) 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 βάση το συνολικό Al_2O_3 .

Το ειδικό βάρος της σμύριδας κυμαίνεται γύρω στο 4 g/cm^3 , η δε σκληρότητα διαμορφώνεται μεταξύ 7 – 9 στην κλίμακα Mohs ανάλογα με την ποιότητα. 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:

Ποιότητα Α = 55 – 65% Al_2O_3

Ποιότητα Β = 50 – 55% Al_2O_3

Ποιότητα Γ = 45% περίπου Al_2O_3

Εμπορεύσιμες ποιότητες είναι μόνο οι δύο πρώτες.

Στη Νάξο όμως, όπως αναφέρθηκε, η κατάταξη της σμύριδας σε ποιότητες γίνεται εμπειρικά από σμυριδεργάτες διαλογείς κυρίως βάσει του χρώματος, της ομοιογένειας της μάζας και του ειδικού βάρους, που βέβαια αυτό ενέχει τον κίνδυνο της παραπλάνησης.

2.3.4. Γένεση

Όσον αφορά στη γένεση της σμύριδας της Νάξου, η επικρατέστερη θεωρία είναι ότι πρόκειται για προϊόν μεταμορφώσεως παλιών βωξιτικών πετρωμάτων (μεταβωξίτες) των οποίων το αργιλικό υλικό αποτέθηκε σε καρστικά έγκοιλα. Ενδείξεις για την παραπάνω θεωρία είναι

- 1) ότι κατά θέσεις στην Νάξο απαντώνται διασπορίτες (ένα στάδιο μεταμορφώσεως πριν την δημιουργία της σμύριδας),
- 2) ότι απαντάται το ορυκτό διάσπορο και μέσα σε κάποιες ποικιλίες σμύριδας της Β' ποιότητας και
- 3) ότι παρατηρείται πολύ σπάνια ένας πηλολιθικός ιστός χαρακτηριστικός των βωξιτών. Πρόκειται δηλαδή για βωξίτες (σε μορφή φακών) που βρίσκονται ανάμεσα σε μάρμαρα. Με επίδραση μεταμορφώσεων ο βωξιτης μετατρέπεται σε σμύριδα και ο ασβεστόλιθος σε μάρμαρο.

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, υπάρχουν η κατώτερη ποιότητα στη Σάμο (με άφθονο διάσπορο), η μεσαία ποιότητα στην Μικρά Ασία (λεπτόκοκκη - σιφρότερη σμύριδα, προτιμητέα για στίλβωση) και η καλύτερη στην Νάξο (πιο αδρόκοκκη σμύριδα, προτιμητέα για λείανση).

2.3.5. Αποθέματα

Επειδή η διάθεση της Κρατικής σμύριδας είναι τώρα σχεδόν μηδαμινή, το Κράτος δεν ενήργησε για λογαριασμό του στον ακριβή προσδιορισμό των βέβαιων αποθεμάτων σμύριδας στη Νάξο. Έτσι οι πληροφορίες προέρχονταν από διάφορους φορείς, ερευνητές, σμυριδεργάτες, που άλλοι αναφέρουν τον εκπληκτικό αριθμό των 35 εκατ. τόνων (περιοδικό «Αγών επιβίωσης» αναφορά από Φραγκίσκο 1990), άλλοι 3 εκατ. τόνοι και άλλοι μόλις 200.000 τόνοι.

Το ΙΓΜΕ έχει εκτελέσει μία σειρά ερευνητικών εργασιών όπως γεωλογικές και κοιτασματολογικές χαρτογραφήσεις, γεωφυσική έρευνα, αναγνωριστικές γεωτρήσεις (14), και προσδιόρισε τα αποθέματα ως εξής:

- 270.000 τόνοι στα υπόγεια, από τα οποία όμως τουλάχιστον τα μισά δεν είναι απολήψιμα.
- 450.000 τόνοι στην περιοχή του Μαύρου Φάραγγα και που θεωρούνται βέβαια
- 1.6εκατομ. τόνοι στην ευρεία περιοχή Αμμόμαξης, που όμως χρειάζονται περαιτέρω έρευνα για επιβεβαίωση.

Μόνο αν το Κράτος αποφασίσει την δραστική εκμετάλλευση και διάθεση της σμύριδας, τότε οι συμπληρωματικές γεωλογικές και κοιτασματολογικές έρευνες θα προσδιορίσουν επ' ακριβώς τα βέβαια αποθέματα της σμύριδας.

2.3.6. 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):

1. Μιας σεισμικής ζώνης διευθύνσεως B-N, στο δυτικότερο τμήμα των Κυκλάδων, το οποίο συμπίπτει με τη ρηχή λεκάνη που χωρίζει το κυκλαδικό πλατώ από το πλατώ ανάμεσα στο νοτιότερο τμήμα της Αττικής και στο νοτιότερο τμήμα της Εύβοιας.
2. 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.

2.4. Τεχνικά χαρακτηριστικά μεταλλείου

2.4.1. Είδος μεταλλεύματος που εξορύσσεται

Το μέταλλευμα που εξορύσσεται είναι η σμύριδα, σε διάφορες ποιότητες που καθορίζονται από την περιεκτικότητά της σε κορούνδιο.

2.4.2. Κατάσταση Μεταλλείου

Υπάρχουν αργούντα και εν λειτουργία ορυχεία. Στοές αργούντων σμυριδωρυχείων βρίσκονται διάσπαρτες σε όλη την ορεινή ανατολική πλευρά της Νάξου, σε πλήρη εγκατάλειψη. Μεγάλες καταστροφές έως πλήρη κατακρήμνιση έχουν υποστεί και οι κτιριακές εγκαταστάσεις (παλιές κατοικίες εργατών, μηχανοστάσια, αποθήκες). Σήμερα υπάρχει παράλληλα και ένας σημαντικός αριθμός λειτουργούντων ορυχείων γύρω από τις σμυριδοφόρες περιοχές των χωριών Κορώνου και Απειράνθου που όμως υπολειπούνται. Αιτία η μη δυνατότητα διάθεσης του προϊόντος στην αγορά, λόγω αντικατάστασής του από τεχνητή σμύριδα.



Εικόνα 2.4. Εσωτερική άποψη αργούντος μεταλλείου Σαραντάρας

2.4.3. Τύπος Μεταλλείου

Επιφανειακό με περιορισμένη εκμετάλλευση, αλλά κυρίως υπόγειο με στοές δια θαλάμων και στύλων.



Εικόνα 2.5. Περιοχή Μαύρου Φάραγγα. Ορυχεία στη σειρά (αργούντα και εν λειτουργία) στο δρόμο Κορώνου-Λυώνα .

2.4.4. Ποιότητα μεταλλεύματος

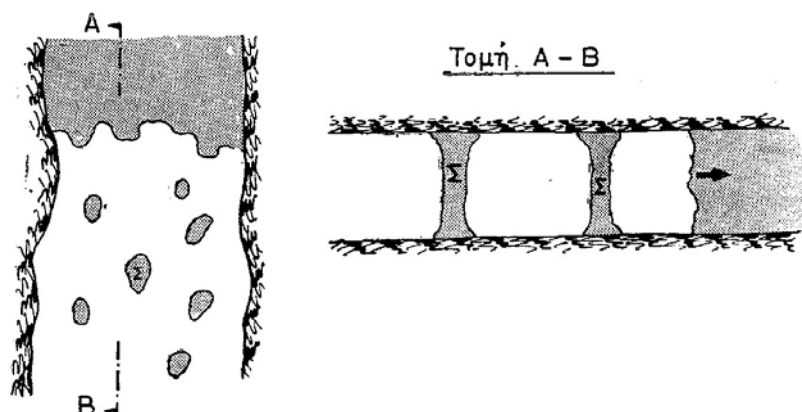
Η σμύριδα είναι ένα πέτρωμα που οφείλει τις λειαντικές και στιλβωτικές ικανότητές της στο περιεχόμενο κορούνδιο. Η συμμετοχή πολλών άλλων ορυκτών κατεβάζουν την ποιότητά της. Ως κύρια συστατικά είναι το κορούνδιο, ο αιματίτης, ο μαγνητίτης, ο ιλμενίτης, ο μαργαρίτης, το χλωριτοειδές, ενώ ως δευτερεύοντα ο τουρμαλίνη, το διάσπορο, ο δισθενής, ο συλλιμανίτης, το ρουτίλιο, ο κορδιερίτης, ο μοσχοβίτης, ο χλωρίτης κ.ά.

Η εξορυσσόμενη σμύριδα από τα εν λειτουργία σμυριδωρυχεία κατατάσσεται εμπειρικά από τους σμυριδεργάτες σε τρεις ποιότητες Α, Β, Γ και κατά αυτόν τον τρόπο αποθηκεύεται και στις αποθήκες. Σύμφωνα όμως με επιστημονικά δεδομένα η Α ποιότητα σμύριδας πρέπει να περιέχει πάνω από 55% κορούνδιο, η Β ποιότητα από 50 έως 55%, ενώ η Γ περίπου 45%. Στην

πράξη όμως αυτό δεν ακολουθείται αφού οι συμυριδεργάτες με το «μάτι» και το «βάρος» εκτιμούν την ποιότητα της σμύριδας.

2.4.5. Μέθοδος εκμετάλλευσης

Η φακοειδής μορφή των κοιτασμάτων, οι μικρές κλίσεις και η ανθεκτικότητα των περιβαλλόντων πετρωμάτων οδήγησαν σε μέθοδο εκμετάλλευσης με θαλάμους και στύλους. Η εξόρυξη του κοιτάσματος της σμύριδας γινόταν σε ένα μόνο θάλαμο, ανώμαλης γεωμετρίας, και αναπτυσσόταν κατά μέτωπο του κοιτάσματος σε όλο του το πλάτος. Η μέθοδος εκμετάλλευσης που επιλέχτηκε ονομάζεται μέθοδος του Breast Stope (Σχήμα 2.3) μετ' εγκατάλειψης στύλων η οποία απαντάται σε εκμεταλλεύσεις οριζόντιων, πλακοειδούς μορφής, κοιτασμάτων σκληρού μεταλλεύματος με καλές μηχανικές ιδιότητες.

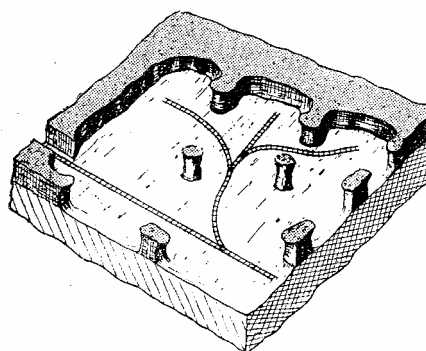


Σχήμα 2.3. Breast Stope - Όπου 'Σ' οι στύλοι μεταλλεύματος (Μούσουλος 1989)

Με αυτή τη μέθοδο το μέταλλευμα αποσπάται από το μέτωπο εργασίας αφήνοντας τοπικά κάποια τμήματα μεταλλεύματος υπό μορφή στύλων για την υποστήριξη της οροφής. Οι στύλοι αυτοί μπορούν να έχουν οποιοδήποτε σχήμα και κατανέμονται έτσι ώστε να μην δυσχεραίνουν την αποκομική του μεταλλεύματος. Ενδεικνύεται μια γεωμετρική διάταξη των στύλων η οποία επιτρέπει καλύτερη υποστήριξη της οροφής. Παρόλο αυτά, η παρουσία μικροδιαρρήξεων μπορούν να προκαλέσουν την απόσπαση όγκων, οπότε είναι απαραίτητο να βρεθεί η πλέον κατάλληλη διάταξη, για λόγους ασφαλείας.

Η εγκάρσια διατομή των στύλων είναι συνήθως κυκλική ή ορθογώνια. Από τις διαστάσεις του στύλου εξαρτάται η μέση κατακόρυφη τάση που παραλαμβάνεται από αυτούς. Για την μείωση αυτής της τάσης μεγαλώνει η διατομή στη κορυφή και στη βάση της (βλ. Εικόνα 2.6). Ωστόσο, πολλές φορές για την αύξηση της αποληψιμότητας του μεταλλεύματος παρουσιάζεται η ανάγκη συμπλήρωσης των φυσικών στύλων με κατασκευή τεχνητών στύλων με τη βοήθεια ξύλινων πασσάλων ή/και σκυροδέματος.

Η φόρτωση και η αποκομιδή του μεταλλεύματος γινόταν αρχικά με τα χέρια ή με μουλάρια και αργότερα με συρμούς και βαγόνια (Σχήμα 2.4).



Σχήμα 2.4. Φόρτωση με συρμό και βαγόνια



Εικόνα 2.6. Διακρίνονται οι θάλαμοι και στύλοι στο ορυχείο της Σαραντάρας

Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα της μεθόδου

Μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η μικρή τιμή κόστους της εκμετάλλευσης ενώ σημαντικό μειονέκτημα είναι η συνθήκες ασφαλείας.

Πλεονεκτήματα

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

Μειονεκτήματα

1. Απώλειες μεταλλεύματος λόγω της ανάγκης εγκατάλειψης στόλων. Επίσης, απώλειες μπορούν να προκύψουν και εξαιτίας των γεωμετρικών ανωμαλιών της οροφής και της στρώσης.
2. Μειονεκτικές συνθήκες ασφαλείας. Οι μεγάλες αποστάσεις των κενών είναι δυσμενής παράγοντας από άποψη ελέγχου της οροφής.

2.4.6. Τρόπος εξόρυξης

Λόγω σκληρότητας και αντοχής του πετρώματος, η εξόρυξη του γινόταν αρχικά με φωτιά (συστολή-διαστολή) λόγω απουσίας εργαλείων ικανών να θραύσουν το υλικό. Η χρήση δυναμίτιδας και πεπιεσμένου αέρα (1964) αρχίζει από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα.

Βάσει παλαιών κειμένων αλλά και προφορικών μαρτυριών από σμυριδεργάτες, διαγράφεται καθαρά η πορεία και ο τρόπος εξόρυξης της σμύριδας έως σήμερα.

Το 1878 ο Α. Κορδελάς (Δήμου 2005) έγραψε για τον τρόπο εξόρυξης της σμύριδας ότι επιτυγχάνεται με θέρμανση του πετρώματος και με τη βοήθεια μοχλών και τάκων (υπομόχλια). Το δικαίωμα εξόρυξης της σμύριδας κατ'αποκοπή το είχαν μόνο οι σμυριδεργάτες των χωριών της Κορώνου και της Απειράνθου οι οποίοι αμείβονταν με 2,5 δρχ ανά στατήρα που θα παρέδιδαν στο λιμάνι.

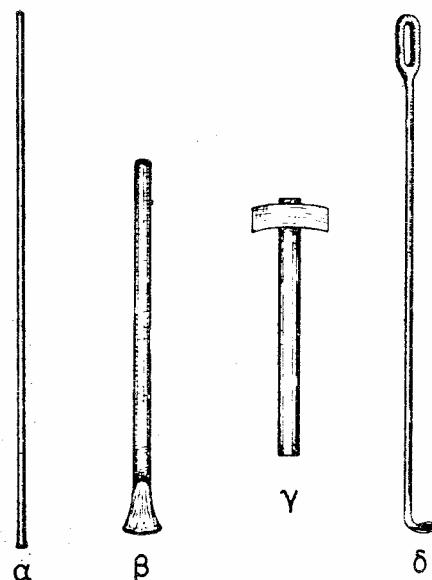
(στατήρας=καντάρι=44 οκάδες=70 kg, 1 οκά=1600γρ).

Όπως φαίνεται στην παλαιά έκθεση του Θεόδωρου Ούφνερ, Ούγγρου μεταλλευτικού συμβούλου και διευθυντού, η σμύριδα εξορύσσονταν με πρωτόγονο τρόπο μέχρι το έτος 1890, θερμαίνοντας το πέτρωμα με καύση των θάμνων που υπήρχαν έξω από το ορυχείο.

Σύμφωνα με τον καθηγητή Α. Ζ. Φραγκίσκο (2003) η σμύριδα πλέον εξορύσσεται από βαθιά ορυχεία, με τη χρησιμοποίηση δυναμίτιδας που τοποθετούν σε ρωγμές ή φλεβίδια μαργαρίτη. Κατόπιν το σπάσιμο της πέτρας γίνεται με βαριές και με τη βοήθεια κάποτε της φωτιάς. Η σμύριδα συγκεντρώνεται σε ορισμένα σημεία στο δρόμο, απ' όπου φορτηγά του Δήμου τη φορτώνουν και τη μεταφέρουν στις αποθήκες της Μουτσούνας.

2.4.6.1 Χειρωνακτική όρυξη διατρημάτων

Λόγω της μεγάλης σκληρότητας του πετρώματος η όρυξη γινόταν με κρούση με τη χρήση της ράβδου διατρήσεως, του στελέχους και της σφύρας.



Σχήμα 2.5. Εργαλεία χειρωνακτικής όρυξης διατρημάτων (Μούσουλος 1956)

α. Ράβδος διάτρησης. - β. Στέλεχος. - γ. Σφύρα. - δ. Αποξεστήρας

Ράβδος διάτρησης (Jumper): Πρόκειται για την «παραμμένα», μια χαλύβδινη ράβδο με κατάλληλα διαμορφωμένα τα άκρα της ώστε στο ένα να υπάρχει μία πεπλατυσμένη κεφαλή και στο άλλο μια ακμή. Η εγκάρσια διατομή είναι κυκλική και αυξάνει ενίοτε στη μέση, στην περιοχή δηλαδή όπου ο εργάτης κρατάει το εργαλείο. Το διάτρημα δημιουργείται χτυπώντας δυνατά το πέτρωμα με το άκρο της ράβδου με την ακμή. Στις υπόγειες εξορύξεις χρησιμοποιούνταν ράβδοι διαμέτρου 1,3–1,9 cm και μήκους 1,2–1,5 m.



Σχήμα 2.6. Όρυξη κατακόρυφου διατρήματος με ράβδο διάτρησης (Μούσουλος 1956)

Στέλεχος και σφύρα (Jumper and sledge): Η όρυξη διατρημάτων περιορισμένου μήκους και μικρής διαμέτρου γίνονταν με κατάλληλα διαμορφωμένα στελέχη και με τη σφύρα. Το στέλεχος είναι μια μικρή χαλύβδινη ράβδος κυκλικής διατομής με μία κοπτική ακμή στο ένα άκρο. Κρατώντας σταθερό το στέλεχος ώστε το κοπτικό άκρο να εφάπτεται του πετρώματος και χτυπώντας το άλλο άκρο με τη σφύρα δημιουργούνται τα διατρήματα αφού μετά από κάθε χτύπημα περιστρέφεται λίγο η παραμίνα (Εικ. 2.5). Η διάμετρος του στελέχους ήταν περίπου 25 mm ενώ η διάμετρος του κοπτικού άκρου 32 mm. Το βάρος της σφύρας ήταν περίπου 3 kg ενώ για μεγαλύτερα σε βάθος διατρήματα χρησιμοποιούσαν την βαριά σφύρα βάρους 5-8 kg.



Σχήμα 2.7. Όρυξη διατρήματος με στέλεχος και σφύρα (Μούσουλος 1956)

Αποξεστήρας: Κατά την όρυξη το υλικό συχνά μπλόκαρε τα διατρήματα τα οποία καθαρίζονταν με ειδικό εργαλείο των αποξεστήρα, μια σιδερένια ράβδος κυκλικής διατομής. Το ένα άκρο σχημάτιζε γωνία 90° με τον εγκάρσιο άξονα ενώ το άλλο άκρο είχε μία τρύπα ώστε να μπορεί να δεθεί ύφασμα με το οποίο συγκεντρώνανε τα νερά μέσα στο διάτρημα.

2.4.6.2. Μηχανική όρυξη διατρημάτων

Διακρίνονται δύο τύποι αεροσφυρών, οι κρουστικές και οι περιστροφικές. Για την όρυξη διατρημάτων στη σμύριδα χρησιμοποιήθηκαν ελαφρές διατρητικές αερόσφυρες (Broomwade 1960). Η ενέργεια προέρχεται από τον πεπιεσμένο αέρα που παράγεται σε κατάλληλη πίεση και ποσότητα από φορητούς αεροσυμπιεστές (βλ. Εικ. 2.7), ο οποίος προκαλεί μηχανικό έργο το οποίο μετατρέπεται κατάλληλα σε παλινδρομική κινητική ενέργεια του εμβόλου της αερόσφυρας. Η κινητική ενέργεια του εμβόλου μεταφέρεται με κρούση στο διατρητικό στέλεχος και μετατρέπεται σε έργο διάτρησης και θερμότητα.



Εικόνα 2.7. Άποψη του κομπρεσέρ της αερόσφυρας που χρησιμοποιήθηκε από τους σμυριδεργάτες. Βρίσκεται σε αποθήκη στην είσοδο του ορυχείου.

2.4.6.3. Χρήση εκρηκτικών

Με την περάτωση της όρυξης του διατρήματος γινόταν η γόμωση του με κατάλληλη εκρηκτική ύλη. Η διαδικασία περιλάμβανε την κατασκευή εναύσματος, την γόμωση και τέλος την πυροδότηση. Οι εκρηκτικές ύλες φυλάσσονταν σε ειδικές αποθήκες

Το πιο διαδεδομένο εκρηκτικό είναι η δυναμίτιδα που αποτελείται από ένα μέρος νιτρογλυκερίνης και ένα μέρος από αδρανές υλικό. Λόγω του σκληρού πετρώματος και της περιορισμένης υγρασίας των ορυχείων τα εκρηκτικά που χρησιμοποιούσαν ήταν μιας φτηνής μορφής ζελατινοδυναμίτιδας. Πρόκειται για δυναμίτιδα όπου μέρος της νιτρογλυκερίνης αντικαθίσταται από νιτρικό αμμώνιο επιτυγχάνοντας έτσι την επιθυμητή ισχύ και ταχύτητα έκρηξης σε συνδυασμό με ένα προσιτό κόστος (Αγιουτάντης 2004).

Από επιτόπιες παρατηρήσεις (Εικόνα 2.8) βρέθηκαν διατρήματα στο παραμέντο της στοάς των οποίων η διάμετρος ήταν της τάξης της 3,5 cm.



Εικόνα 2.8. Διάτρημα στο παραμέντο της στοάς που βρέθηκε στο ορυχείο.

2.4.7. Τρόπος Μεταφοράς

Η σχετικά κοντινή απόσταση των μεταλλοφόρων εμφανίσεων από την παραλία διευκόλυνε τον τρόπο μεταφοράς της σμύριδας. Όρμος, λιμάνι, σκάλα φόρτωσης, φορτηγό πλοίο, απέραντη θάλασσα. Η απόσταση του μεταλλείου και η μορφολογία του εδάφους μπορούσαν να δυσκολέψουν ή να αποτρέψουν την εκμετάλλευση. Ο αυτοκινητόδρομος και το αυτοκίνητο ήταν έξω από κάθε σκέψη και οικονομική δυνατότητα. Γι' αυτό κατέφευγαν σε άλλους τρόπους, με τα μέσα που διέθεταν, αλλά και μέσα στο επιτρεπόμενο κόστος, για να μεταφέρουν το μέταλλευμα στα λιμάνια φόρτωσης. Οι χερσαίες μεταφορές εξυπηρετήθηκαν με υποζύγια, βαγόνια, συρμούς, οριζόντια και κεκλιμένα επίπεδα και τελικά με φορτηγά αυτοκίνητα, ενώ οι εναέρια μεταφορές με συρόμενους κάδους.

2.4.7.1. Χερσαία μεταφορά

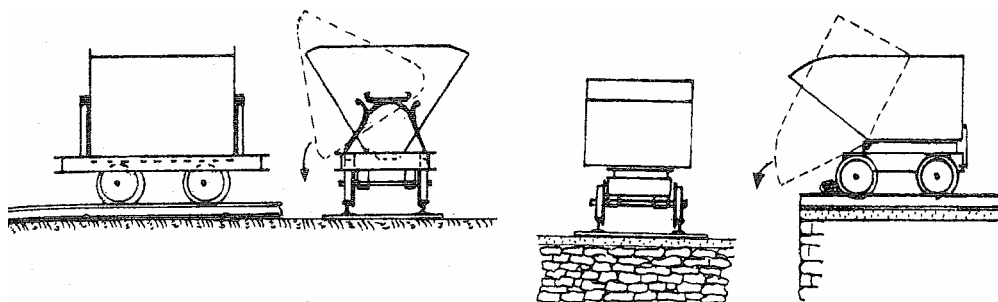
Κατά πρωτόγονο επίσης τρόπο γινόταν, μέχρι το 1928 η μεταφορά της σμύριδας από τα ορυχεία στα λιμάνια, με μουλάρια (Εικόνα 9). Σύμφωνα μάλιστα με μαρτυρίες, κάποιοι σμυριδεργάτες ακόμη παλαιότερα, μη έχοντας πόρους να αγοράσουν ζώα, μετέφεραν με κοφίνια τη σμύριδα στους ώμους τους. Με τους τρόπους αυτούς και για 101 χρόνια μεταφέρθηκαν 390.000 τόνοι σμύριδας. Η μεταφορά με φορτηγά άρχισε από το 1977 και μέχρι σήμερα έχουν μεταφερθεί περίπου 210.000 τόνοι. (Φραγκίσκος 2003). Το κράτος, επειδή είχε σημαντικό πρόσοδο από τη σμύριδα, αποφάσισε να βελτιώσει τη μεταφορά του πετρώματος. Έφερε βαγόνια και σιδηρογραμμές, κατασκεύασε οριζόντια και κεκλιμένα επίπεδα μεταφοράς και εναέριο σιδηρόδρομο («εναέριος»).



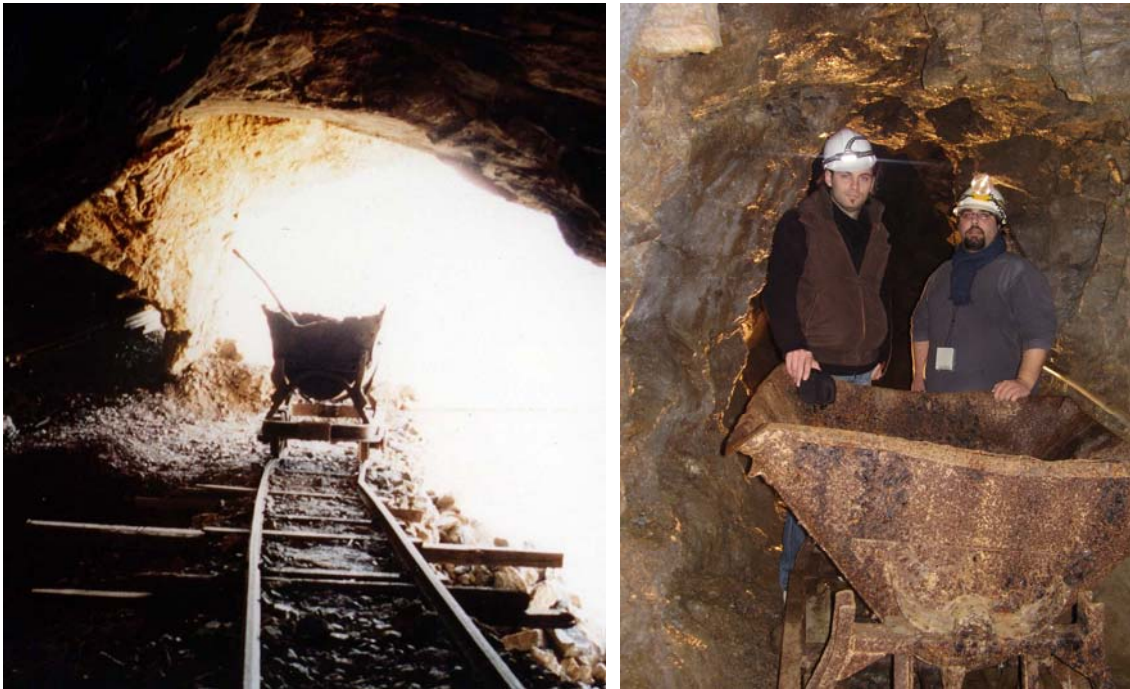
Εικόνα 2.9. Μεταφορά της σμύριδας με μουλάρια από μονοπάτι προς τον όρμο φόρτωσης του Λυώνα (1925).

Τα υποζύγια: Το μουλάρι χρησιμοποιήθηκε έντονα για τη μεταφορά μεταλλευμάτων, ορυκτών ή πλακών, ιδιαίτερα στα πρώτα χρόνια της ανάπτυξης του μεταλλείου. Τα σκληροτράχηλα μουλάρια μεταφέρανε φορτίο μέχρι και 150 κιλά.

Τα ανατρεπόμενα βαγόνια: Τα ανατρεπόμενα βαγόνια και από τις δύο πλευρές (οι λεγόμενες κούνιες) και εκείνα που ανατρέπονται μόνο από μπροστά (σέσουλες).

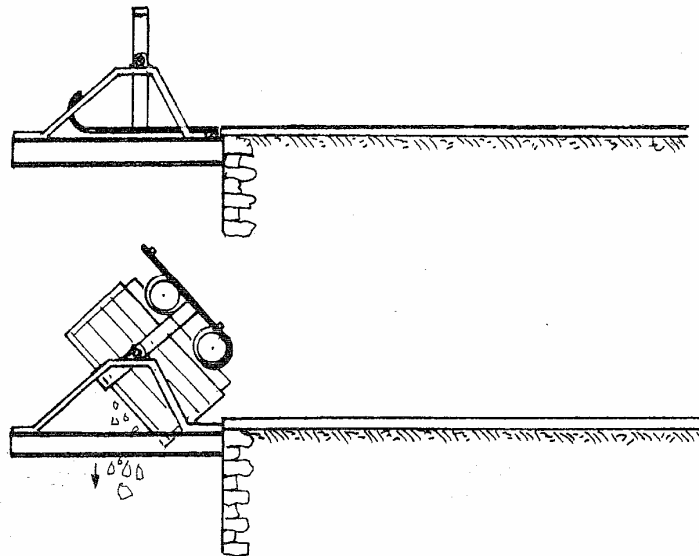


Σχήμα 2.8. Πλευρικά ανατρεπόμενα βαγόνια και μπροστά ανατρεπόμενα βαγόνια (Φραγκίσκος 2003)



Εικόνες 2.10. και 2.11. Ανατρεπόμενα βαγόνια στην είσοδο και στο εσωτερικό του ορυχείου.

Τα μη ανατρεπόμενα βαγόνια: Για να αδειάσουν χρησιμοποιούσαν ανεξάρτητο ανατροπέα, το λεγόμενο «τουμπατόρι» (βλ. Σχήμα 2.7). Αυτά τα βαγόνια ήταν σιδερένια ή ξύλινα.



Σχήμα 2.9. Μηχανισμός ανατροπής βαγονιού (Φραγκίσκος 2003)

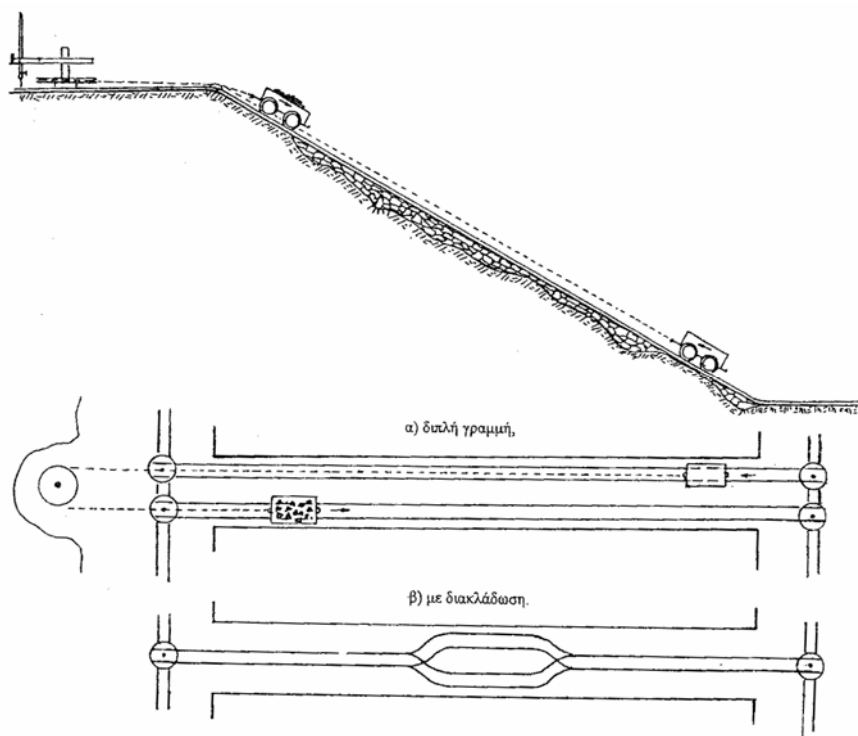
Οι συρμοί: Τα βαγόνια ή οι συρμοί κινούνταν σε οριζόντια επίπεδα –σε μια ισοϋψή- με ελάχιστη κλίση (0,01%), ώστε ο συρμός, ανεξάρτητα με το αν συρόταν με υποζύγιο, να μην αναπτύσσει μεγάλη ταχύτητα.

Στην επίγεια σιδηροδρομική γραμμή διακρίνονται ακόμη οι κόμβοι με δίσκους περιστροφής των βαγονέτων καθώς και πλατφόρμα-ζυγιστήριο του μεταλλεύματος (βλ. Εικόνα 2.22).



Εικόνα 2.12 Κόμβος με δίσκο περιστροφής

Τα κεκλιμένα επίπεδα: Για να κατεβάσουν τα βαγόνια από ένα μεγαλύτερο υψόμετρο σε χαμηλότερο κατασκεύαζαν κεκλιμένα επίπεδα βαρύτητας. Ήταν λιθόκτιστες ευθύγραμμες κεκλιμένες κατασκευές με δύο σιδηρογραμμές (Σχήμα 2.10). Το κατερχόμενο γεμάτο βαγόνι ανέβαζε το άδειο στην αντίστοιχη θέση. Η ταχύτητα καθόδου ρυθμιζόταν με πέδη.



Σχήμα 2.10. Κεκλιμένο επίπεδο χωρίς πλαίσιο (Φραγκίσκος 2003)



Εικόνα 2.13. Το κεκλιμένο με τις σιδηρογραμμές στη Σαραντάρα.

2.4.7.2. Εναέρια μεταφορά

Ο εναέριος σιδηρόδρομος που λειτούργησε από το 1930 μέχρι το 1978 πρόσφερε σημαντική υπηρεσία στον τρόπο άμεσης και ασφαλούς μεταφοράς της σμύριδας, διασχίζοντας περίπου 9 χιλιόμετρα πάνω από βουνά και βαθιές χαράδρες. Είχε δυνατότητα μεταφοράς 140-150 τόνων την ημέρα και τερματική αποθήκη 30.000 τόνων. Η μεταφορά γινόταν με φροντίδα και δαπάνη των σμυριδεργατών μέχρι τους πέντε κοντινούς προς τα ορυχεία σταθμούς, από τους οποίους ο εναέριος σιδηρόδρομος παρελάμβανε και μετέφερε τη σμύριδα στις αποθήκες του όρμου της Μουτσούνας. Βελτίωση υπήρξε και στον τρόπο φόρτωσης, με τη δημιουργία μιας μικρής αποβάθρας που έφθανε μέχρι σ' αυτήν η κεκλιμένη γραμμή «Decauville» για άμεση φόρτωση.

Οι εναέρια μεταφορές αποτελούνται από 72 πυλώνες ποικίλου ύψους εξαρτώμενου από την μορφολογία του εδάφους, συρόμενο συρματόσχοινο κυκλοφορίας μήκους 18 χιλιομέτρων σε 3 «κύκλους», 170 περίπου

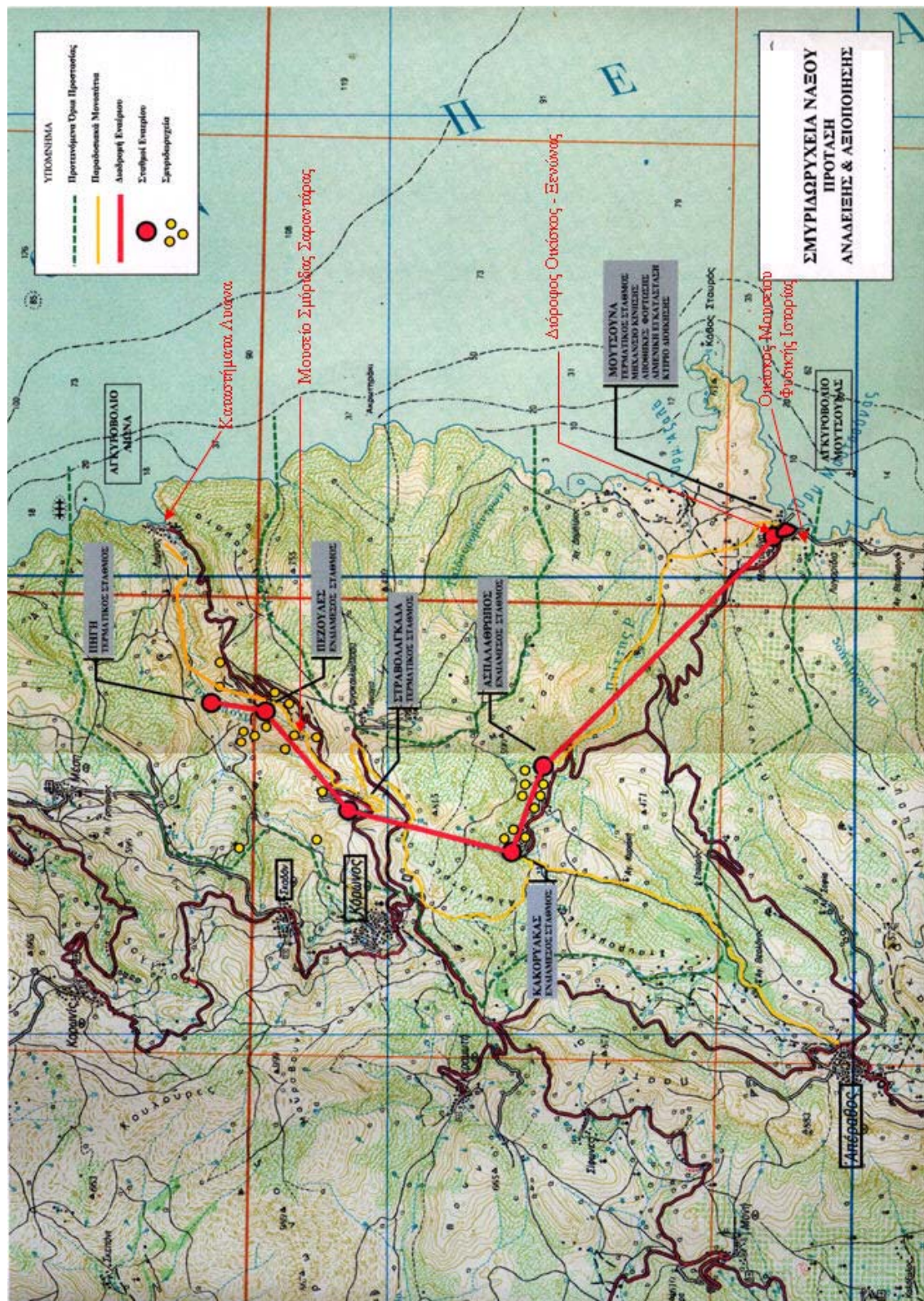
αναρτημένα βαγονέτα, ενδιάμεσες εγκαταστάσεις φόρτωσης, δύο μηχανοστάσια κίνησης στη Μουτσούνα και Στραβολαγκάδα, τον υποστηρικτικό κτιριακό εξοπλισμό, αποθήκες υλικού, εγκαταστάσεις φόρτωσης στο μώλο της Μουτσούνας κ.ά. Τα υλικά κατασκευής του εναερίου είναι πέτρα και μέταλλο, ενώ το μπετόν που χρησιμοποιήθηκε αργότερα είναι πολύ μικρής έκτασης.

Ο «εναέριος» διασχίζει την «σφυριδοφόρο ζώνη» που ανήκει στις κοινότητες Κορώνου και Απειράνθου (σήμερα Δήμος Δρυμαλίας) και εκτείνεται σε μία ζώνη 30 περίπου τετραγωνικών χιλιομέτρων. Η ανάπτυξη της διαδρομής του «εναερίου» είναι περίπου εννέα χιλιόμετρα και έχει πέντε σταθμούς κοντά σε ορυχεία, στις θέσεις Πηγή, Πεζούλες, Ασπαλάθρωπος Στραβολαγκάδα, Κακόρυακας, και καταλήγει στον έκτο σταθμό τη



Μουτσούνα. Οι σταθμοί διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: η πρώτη περιλαμβάνει τους κινητήριους σταθμούς (Μουτσούνα-Στραβολαγκάδα), η δεύτερη τους ενδιάμεσους (Πεζούλες – Ασπαλαθρῶπος - Κακόρυακας) και η τρίτη τους τερματικούς (Μουτσούνα-Πηγή). Ο σταθμός της Πηγής (τερματικός σταθμός) συνδέεται οδικά με τον Όρμο του Λυῶνα απ' όπου απέχει περίπου 2 χιλιόμετρα.

Στο Σχήμα 2.11 εικονίζεται η διαδρομή που ακολουθούσε ο εναέριος.

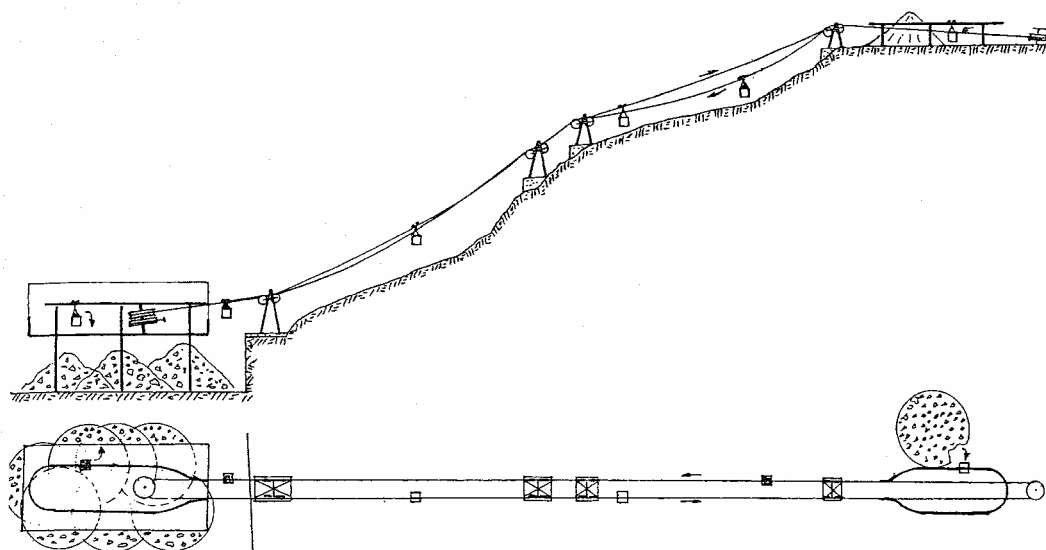


Σχήμα 2.11. Η διαδρομή που ακολουθεί ο «εναέριος» (κόκκινη γραμμή). Με κίτρινη γραμμή το μονοπάτι που ακολουθούσαν με τα μουλάρια οι σμυριδεργάτες, ενώ με κόκκινα γράμματα σημειοδοτούνται οι προταθείσες επεμβάσεις (από 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο «Η Νάξος δια μέσω των Αιώνων», Κόρωνος 2003).

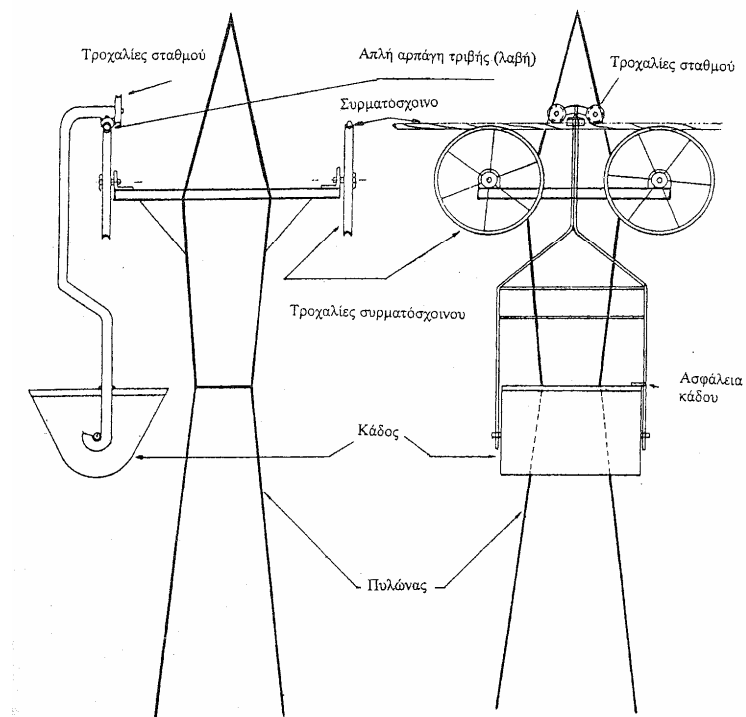


Εικόνα 2.14. Κάδος με μετάλλευμα από την εποχή που λειτουργούσε ο εναέριος

Εκτός από τη λαβή αγκίστρωσης στο συρματόσχοινο, ο κάδος φέρει δυο μικρούς τροχούς για να μπορεί να κυλά, ανεξάρτητα από το συρματόσχοινο, ελεύθερος πάνω σε σιδηρογραμμή στους σταθμούς για να οδηγηθεί στη θέση φόρτωσης ή στη θέση εκφόρτωσης στον τερματικό σταθμό. Ο κάδος είναι αναρτημένος έκκεντρος για να αδειάζει μόνος του, αν αφαιρεθεί η ασφάλεια του.



Σχήμα 2.12. Γενική διάταξη μονοσυρμάτινης εναέριας μεταφοράς (Φραγκίτσος 2003)



Σχήμα 2.13. Τα κύρια χαρακτηριστικά ενός πυλώνα (Φραγκίσκος 2003)



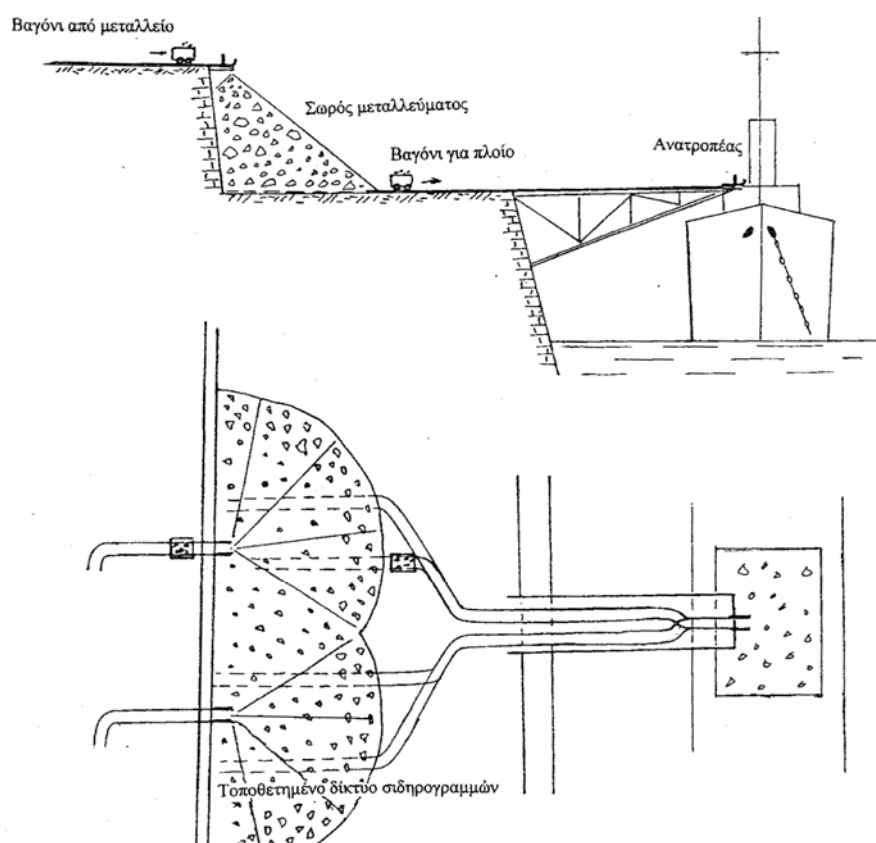
Εικόνα 2.15. Κάδοι του εναερίου που ακολουθούν διαφορετικές κατευθύνσεις



Εικόνα 2.16. «Τα κολωνάκια του Ζεματά» στην υψηλότερη κορυφή του όρους Αμμόμαξη μεταξύ Στραβολαγκάδα και Κακόρυακα.

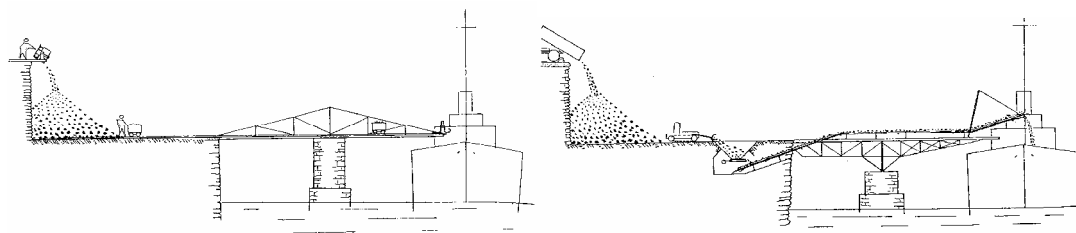
2.4.7.3. Η μεταφορά στα πλοία

Για να φορτωθεί ένα πλοίο έπρεπε η αποβάθρα φόρτωσης να έχει συγκεντρωμένο το αντίστοιχο φορτίο. Η επιλογή της αποβάθρας καθοριζόταν από την απανεμιά του όρμου, το βάθος της θάλασσας στην ακτή και την απόσταση από το μεταλλείο ή τα μεταλλεία. Όταν το πλοίο έμενε σε αγκυροβολία (άροδο), το ύψος της αποβάθρας από τη θάλασσα ήταν 1,5-2 μ. για να φορτώνονται φορτηγίδες (μασούνες) ή 8-10 μ. όταν το πλοίο πλεύριζε τη σκάλα φόρτωσης. Και στις δύο περιπτώσεις τα βαγόνια από το απόθεμα έφθαναν στο σημείο εκφόρτωσης μέσα από μόνιμο δίκτυο σιδηρογραμμών, όπως φαίνεται στο σχήμα.



Σχήμα 2.14. Δίκτυο σιδηρογραμμών φόρτωσης και μεταφοράς βαγονιών από το απόθεμα στο κύτος του πλοίου (Φραγκίσκος 2003)

Στις φορτηγίδες τα βαγόνια άδειαζαν σε μεγάλους κάδους που τα πλοία τους ανέβαζαν για εκφόρτωση με τους δικούς τους γερανούς. Όταν το πλοίο πλεύριζε στη σκάλα φόρτωσης τα βαγόνια άδειαζαν απευθείας στο κύτος (αμπάρι) του πλοίου. Τα τελευταία χρόνια το βαγόνι αντικαταστάθηκε από μεταφορική ταινία. Τα συστήματα φόρτωσης φαίνονται στο σχήμα.



Σχήμα 2.15. Φόρτωση πλοίου με βαγόνια και αργότερα με μεταφορική ταινία
(Φραγκίσκος 2003)

Η σκάλα φόρτωσης είναι κτιστή (όχι πάνω σε πυλώνες) με δύο περιστρεφόμενους γερανούς οι οποίοι ξεχώριζαν τους κάδους από τα βαγονέτα και τους άδειαζαν μέσα σε μαούνες οι οποίες με τη σειρά τους φόρτωναν τα πλοία που ήταν στα ανοικτά (εικόνες: 2.17, 2.18).

Πριν την κατασκευή του εναερίου, η μεν σμύριδα των ορυχείων Απειράνθου μεταφερόταν στο όρμο Μουτσούνας, η δε των ορυχείων Κορώνου στον όρμο του Λυώνα που είναι λιγότερο ασφαλής λόγω των βορείων ανέμων. Σήμερα η υπαίθριος αποθήκη του Λυώνα δεν χρησιμοποιείται ως αποθηκευτικός χώρος, είναι δε γεμάτη από μεγάλους σωρούς σμύριδας ταξινομημένους εμπειρικά κατά ποιότητες.. Επίσης πρωτόγονος, υπήρξε παλαιότερα και ο τρόπος φόρτωσης στα πλοίαρια. Ο σμυριδεργάτης μεταβαλλόταν σε αχθοφόρο και φορτωμένος στη ράχη με δύο και πλέον στατήρες σμύριδας βυθιζόταν μέχρι το στήθος στη θάλασσα για να μεταφέρει τη σμύριδα στη λέμβο. Αυτό το επαναλάμβανε τουλάχιστον τριάντα φορές.



Εικόνα 2.17: Η σκάλα φόρτωσης στη Μουτσούνα. Διακρίνεται η κατάληξη της επίγειας σιδηροδρομικής γραμμής.



Εικόνα 2.18: Μουτσούνα. Η σκάλα φόρτωσης με τους δύο περιστρεφόμενους γερανούς, από άλλη γωνία.

2.4.8. Βιομηχανικές μονάδες και εξοπλισμός

Οι σημαντικότερες βιομηχανικές μονάδες, οι οποίες σώζονται, βρίσκονται στους σταθμούς της Μουτσούνας και της Στραβολαγκάδας.

Το συγκρότημα της Μουτσούνας περιλαμβάνει την απόληξη του «εναερίου», το σύστημα εκφόρτωσης των βαγονέτων, χώρους αποθήκευσης του μεταλλεύματος, την επίγεια μικρή σιδηροδρομική γραμμή για μεταφορά της σμύριδας προς την ακτή, την θαλάσσια προβλήτα φόρτωσης, το μηχανοστάσιο με τη μηχανή κίνησης, το κτίριο διοίκησης και κάποιους βοηθητικούς χώρους, δεξαμενές ψύξης της μηχανής, δύο αυτόματες τηλεφωνικές συσκευές εκστρατείας, μικρή εκκλησία κ.ά.



Εικόνα 2.19: Ο σταθμός της Μουτσούνας το 1928. Δεξιά διακρίνονται οι θυρίδες αποθήκευσης της σμύριδας.



Εικόνα 2.20: Ο σταθμός της Μουτσούνας το 1936 με τον εναέριο σε λειτουργία.

Ο δεύτερος σημαντικός σταθμός είναι αυτός στην Στραβολαγκάδα, όπου υπάρχει και το δεύτερο μηχανοστάσιο με την κινητήρια μηχανή. Περιλαμβάνει, εγκατάσταση φόρτωσης και ζυγιστήρια, υπαίθριους χώρους συλλογής-αποθήκευσης υλικού, γραφείο, δημόσια κτίσματα (δωμάτια για τους εργάτες και αποδυτήρια), δεξαμενές ψύξης της μηχανής κ. ά.





Εικόνα 2.21: Γενική άποψη του σταθμού Στραβολαγκάδα μετά από μερική αποκατάσταση κτιρίων και μονοπατιών, χάρις στο πρόγραμμα LEADER II.



Εικόνα 2.22: Στραβολαγκάδα. Δύο βαγονέτα στην επίγεια σιδηροδρομική γραμμή πάνω από τις θυρίδες αποθήκευσης της ταξινομημένης σμύριδας.



Εικόνα 2.23: Μηχανή κίνησης Blackstone του 1925 (βενζινοκίνητη ισχύος 40Hp) μέσα στο μηχανοστάσιο της Στραβολαγκάδας.



Εικόνα 2.24: Το μηχανοστάσιο και η μηχανή υποστήριξης του εναερίου (τροχαλία) στη Στραβολαγκάδα.

Μεγάλο μέρος του μηχανολογικού εξοπλισμού έχει καταγραφεί, από το ΕΜΠ στα πλαίσια ερευνητικών τους προγραμμάτων και κυρίως εκείνου του εξοπλισμού που βρίσκεται ακόμη στους σταθμούς του εναερίου. Υπάρχει όμως και κάποιος εξοπλισμός εγκαταλειμμένος και ξεχασμένος σε διάφορους σωρούς που είναι στο έλεος της φθοράς του χρόνου όπως η μηχανή θραύσης στη Μουτσούνα, βάσεις βαγονέτων, τροχαλίες, εναέρια βαγονέτα κ.ά. (εικόνες: 2.25, 2.26, 2.27, 2.28, 2.29, 2.30).

Σημείωση: εξαιρετική καταγραφή και αποτίμηση του ιστορικού βιομηχανικού εξοπλισμού πραγματοποίησε το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, βάσει ερευνητικών προγραμμάτων το 1997-1999 (απ' όπου και η άντληση των παραπάνω στοιχείων).



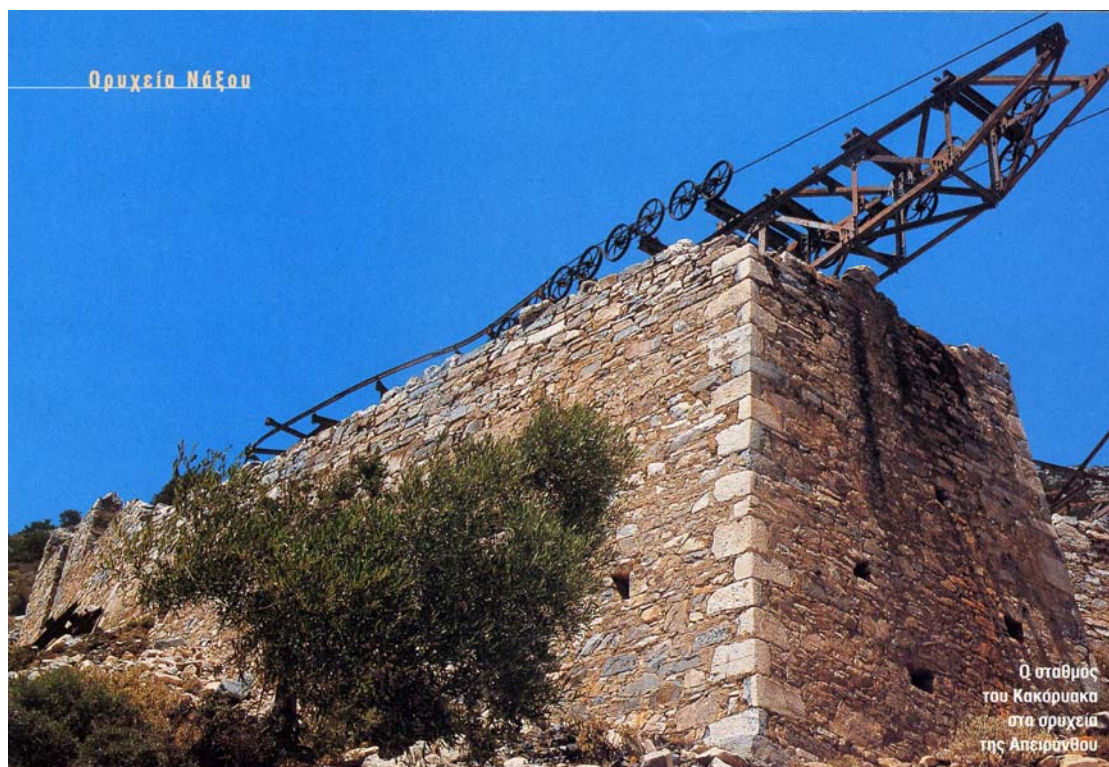
Εικόνα 2.25: Λεπτομέρεια της τροχαλίας στη Στραβολαγκάδα Κορώνου



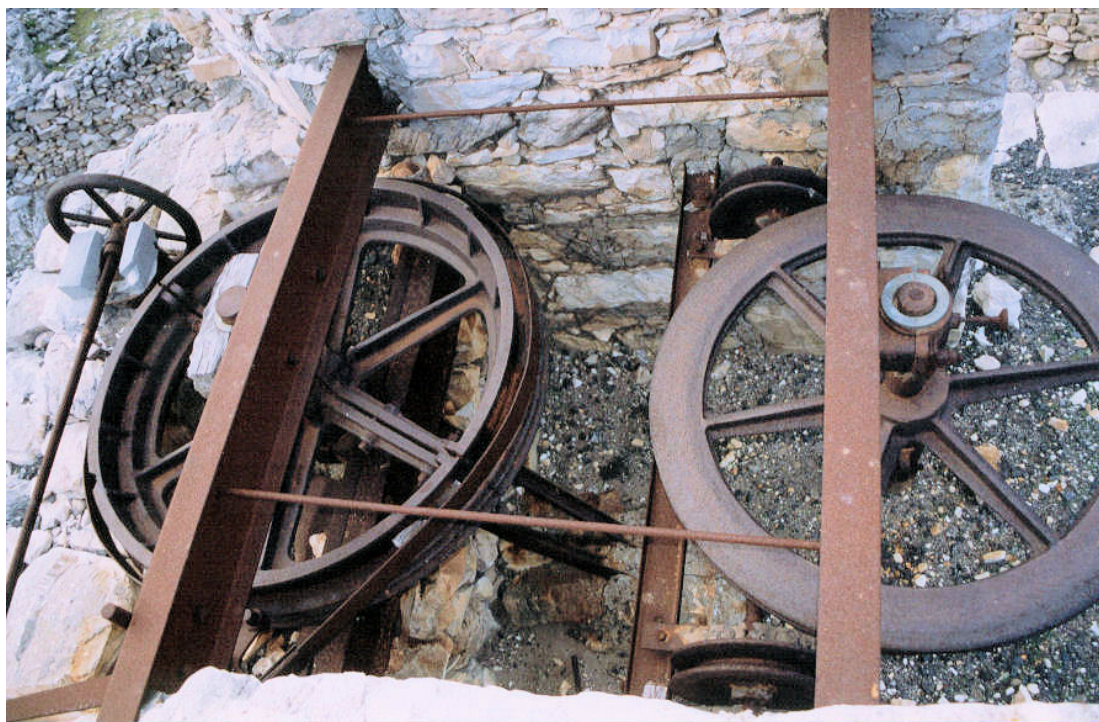
Εικόνα 2.26: ότι απέμεινε από την ζυγαριά της Στραβολαγκάδας. Από έξω περνούσε το βαγόνι και ζυγιζόταν.



Εικόνα 2.27: Βαγόνι στη Στραβολαγκάδα . Στο βάθος η είσοδος της στοάς του ορυχείου επισκευασμένη.



Εικόνα 2.28: Ο σταθμός του Κακόρυακα των ορυχείων της Απειράνθου.



Εικόνα 2.29: Οι τροχαλίες του κεκλιμένου της Σαραντάρας.



Εικόνα 2.30: Μηχανισμός ρυμούλκησης βαγονιών στη Σαραντάρα .

2.5. Απορρίμματα

Μεταλλευτικά απόβλητα ή απορρίμματα παράγονται τόσο κατά τη διάρκεια επιφανειακών όσο και υπόγειων μεταλλευτικών εργασιών, συνήθως από θραύση των πετρωμάτων η οποία προκαλείται με χρήση εκρηκτικών υλών. Η χρήση εκρηκτικών υλών έχει ως αποτέλεσμα την πρωτογενή παραγωγή απορριμμάτων, τα οποία αποτελούνται από τεμάχια μεγάλων διαστάσεων (Κ. Κορνίτσας 2005). Τέτοια απορρίμματα σμύριδας δεν υπάρχουν στη Νάξο. Βεβαίως, όμως, υπάρχουν σωροί από εγκαταλειμμένη σμύριδα η οποία κατά ένα μεγάλο ποσοστό είναι άριστης ποιότητας. Αυτό συμβαίνει γιατί η σμύριδα εξακολουθεί να εξορύσσεται σε μικρή κλίμακα από ορισμένα ορυχεία. Ωστόσο, δεν συνάγει με τον όρο απόρριμμα. Μάλλον πρέπει να χαρακτηρισθούν σαν εγκαταλειμμένα αποθέματα μεταλλεύματος μη αξιοποιούμενα πλήρως (Εικόνα 2.31).

Γεωχημικά δεδομένα από τους σωρούς της σμύριδας για χημική ρύπανση και εκδήλωση όξινης απορροής δεν υπάρχουν. Έχουν όμως αλλοιώσει τουλάχιστον οπτικά το περιβάλλον. Οι μεγαλύτεροι κίνδυνοι για το περιβάλλον και τους ανθρώπους της περιοχής προκύπτουν από την αέρια ρύπανση, η οποία προκαλείται από εκπομπές σκόνης κατά τη διάρκεια εξορυκτικής δραστηριότητας και μεταφοράς της σμύριδας με φορτηγά, και από την ευστάθεια των πρανών που δημιουργούνται επί σειρά χρόνων σε ελεύθερους χώρους.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, το δικαίωμα μεταλλειοκτησίας και η κυριότητα στο προϊόν εξόρυξης (σμύριδα), ανήκουν στο Κράτος. Επομένως το Κράτος πρέπει να υιοθετήσει τρόπους χρησιμοποίησης της σμύριδας και αποκατάστασης του περιβάλλοντος. Μελέτες από διάφορους ερευνητές (Φραγκίσκος 1990) προτείνουν διάφορους τρόπους διάθεσης και χρησιμοποίησης της σμύριδας όπως: τσιμεντοβιομηχανία, πλάκες πεζοδρομίου, τάπητες οδικών αρτηριών, βιομηχανία πυριμάχων και αποξεστικών, παραγωγή ηλεκτροκορουνδίου για διάφορες χρήσεις υψηλής τεχνολογίας, αλλά και απλής διάθεσης κοκκομετρημένης σμύριδας κ.ά.

Έτσι το Κράτος αφενός θα ελαττώσει δραστικά τα ήδη συσσωρευμένα «αποθέματα-απορρίμματα» σμύριδας, αποκαθιστώντας κατά κάποιο τρόπο το περιβάλλον, αφετέρου δεν θα χάνει χρήμα, όπως κάνει έως τώρα, επιδοτώντας την εξόρυξη.



Εικόνα 2.31: Σμύριδα πρώτης ποιότητας.

Κεφάλαιο 3: Μελέτη των ασυνεχειών

3.1. Τρόποι αστοχίας σηράγγων

Η ευστάθεια ασυνεχούς μάζας πετρώματος που αποκαλύπτεται κατά την εκσκαφή υπόγειου έργου εξαρτάται από τον προσανατολισμό, την γεωμετρία και την αντοχή των πιο επίμονων (μεγαλύτερου μήκους, persistent) ασυνεχειών του πετρώματος. Η ανάλυση της ευστάθειας, ο προσδιορισμός της γεωμετρίας της εξόρυξης και η πρόταση για ενδεχόμενα μέτρα υποστήριξης πριν την έναρξη της κατασκευής του υπόγειου έργου βασίζεται στα εξής τρία βήματα:

1. Αποτύπωση των ασυνεχειών στη μάζα του πετρώματος
2. Εκτίμηση καταρχήν αν οι ασυνέχειες μπορούν να αποτμήσουν ογκοτεμάχια πετρώματος και αν ναι τότε αν αυτά είναι δυνητικά ασταθή σύμφωνα με δεδομένους μηχανισμούς αστοχίας
3. Προσδιορισμός της ευστάθειας των δυνητικά ασταθών ογκοτεμαχίων πετρώματος, προσδιορισμός πιθανών μέτρων υποστήριξης και αν είναι δυνατόν τροποποίηση της γεωμετρίας κι του προσανατολισμού της εκσκαφής

Η ευστάθεια ενός πρίσματος ή μιας σφήνας που είναι δυνητικά ασταθής εξαρτάται από:

- ☑ Τις τάσεις που ασκούνται επί των επιφανειών αυτών των ογκοτεμαχίων, οι οποίες εξαρτώνται από τον προσανατολισμό των και από το εντατικό πεδίο πέριξ της εκσκαφής.
- ☑ Τις ιδιότητες τριβής των ασυνεχειών
- ☑ Το βάρος του πρίσματος ή της σφήνας, ήτοι του όγκου του και του μοναδιαίου βάρους του

Η ευστάθεια της βραχομάζας στις θεμελιώσεις, στις υπαίθριες και υπόγειες εκσκαφές εξαρτάται και καθορίζεται κυρίως από την ύπαρξη και τον προσανατολισμό των γεωλογικών ασυνεχειών (στρώση, σχιστότητα, διακλάσεις, ρήγματα). Η καταγραφή, ανάλυση και παρουσίαση των ασυνεχειών αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την όλη διερεύνηση της ευστάθειας ενός τεχνικού έργου σε βραχώδη σχηματισμούς.

3.2. Ιδιότητες των ασυνεχειών

Με το γενικό όρο ασυνέχεια (discontinuity), ορίζεται οποιαδήποτε μηχανική διακοπή στη συνέχεια του πετρώματος, που έχει μηδενική ή χαμηλή αντοχή σε εφελκυσμό. Ο όρος είναι συλλογικός και περιλαμβάνει τις διακλάσεις (joints), τα επίπεδα στρώσης (bedding plane), τον σχισμό (cleavage), την σχιστότητα (schistosity plane), τη φύλλωση (foliation) και τα ρήγματα (faults). Οι ασυνέχειες σχηματίζουν δύο κύριες ομάδες:

1. αυτές που απαντώνται συστηματικά και αποτελούν τα συστήματα ασυνεχειών (discontinuity sets) με παρόμοιο προσανατολισμό, και
2. τις μοναδιαίες που δεν συναντώνται συστηματικά, όπως πχ: τα ρήγματα

Μια επιφάνεια ασυνέχειας του πετρώματος, που ορίζεται με την διεύθυνση και την κλίση της, καλείται συχνά στη βιβλιογραφία «επίπεδο αδυναμίας» (plane of weakness), γιατί κατά κανόνα όλες οι μηχανικές ιδιότητες του πετρώματος στην επιφάνεια αυτή είναι ελαττωμένες σε σχέση με εκείνες του αρρήκτου (αρραγούς) πετρώματος. Από το γεγονός αυτό προκύπτει το ενδιαφέρον για τις ασυνέχειες του πετρώματος.

Παρακάτω δίνεται μια σύντομη περιγραφή αυτών των ιδιοτήτων των ασυνεχειών που επηρεάζουν τη μηχανική συμπεριφορά του πετρώματος.

Ο προσανατολισμός (orientation), ή η κατεύθυνση, μιας ασυνέχειας στο χώρο περιγράφεται από την κλίση της γραμμής μέγιστης κλίσεως του επιπέδου της ασυνέχειας (dip), μετρούμενη από την οριζόντιο και τη διεύθυνση κλίσεως (dip direction) ή το αζιμούθιο (trend) της γραμμής μέγιστης κλίσεως, μετρούμενο δεξιόστροφα από τον πραγματικό βορρά.

Κατά την περιγραφή του προσανατολισμού μιας ασυνέχειας συνηθίζεται η διεύθυνση κλίσεως και η γωνία κλίσης, που μετρώνται σε μοίρες, να δίνονται με τρεις και δύο ακέραιους αριθμούς αντίστοιχα, που διαχωρίζονται με μία γραμμή, με την εξής σειρά πχ: $045^{\circ}/75^{\circ}$, $275^{\circ}/25^{\circ}$. Η εμπειρία έχει δείξει ότι η παρουσίαση και η στατιστική επεξεργασία του προσανατολισμού των επιπέδων των ασυνεχειών μπορεί να γίνει με τη χρήση των σφαιρικών προβολών.

Είναι προφανές ότι οι προσανατολισμοί των ασυνεχειών σε σχέση με την επιφάνεια της εκσκαφής ή το μέτωπο εξόρυξης επιδρούν σημαντικά στην πιθανότητα ασταθών τεμαχίων πετρώματος ή κρίσιμων επιπέδων ολίσθησης.

Η απόσταση μεταξύ των διαδοχικών ασυνεχειών (spacing) αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό της μάζας του πετρώματος, γιατί καθορίζει το μέγεθος των στοιχειωδών όγκων. Εκφράζεται ως πυκνότητα (density) ή συχνότητα των ασυνεχειών (discontinuity frequency) στη μονάδα μήκους της γραμμής αποτυπώσεως (scan line), που είναι συνήθως το ένα μέτρο. Η Ειδική Επιτροπή της Διεθνούς Ενώσεως Μηχανικής Πετρωμάτων (International Society for Rock Mechanics) προτείνει την παρακάτω ορολογία για την περιγραφή των ασυνεχειών με κριτήριο την μεταξύ τους απόσταση.

Η απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών είναι μια παράμετρος που χρησιμοποιείται στις περισσότερες γεωτεχνικές ταξινομήσεις πετρωμάτων.

Πίνακας 3.1. Περιγραφή απόστασης ασυνεχειών κατά I.S.R.M. (1981)

Περιγραφή ασυνεχειών	Απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών (mm)
Πάρα πολύ πυκνές	<20
Πολύ πυκνές	20 - 60
Πυκνές	60 - 200
Ενδιάμεσες	200 - 600
Αραιές	600 - 2000
Πολύ αραιές	2000 - 6000
Πάρα πολύ αραιές	>6000

Συνέχεια ή επιμονή (persistence - continuity) είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει το μέγεθος μιας ασυνέχειας. Μπορεί να εκτιμηθεί χοντρικά με τη μέτρηση του ίχνους μιας ασυνέχειας σε μια εκτιθέμενη επιφάνεια. Είναι μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους της βραχομάζας αλλά και μία από τις πιο δύσκολες για τον ποσοτικό προσδιορισμό της. Τα πιο συχνά συναντώμενα μήκη των ιχνών για κάθε οικογένεια (σετ) ασυνεχειών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατάταξη της επιμονής με βάση τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.2. Ταξινόμηση της απόστασης κατά I.S.R.M (1981)

Περιγραφή ασυνεχειών	Μήκος ίχνους (m)
Πολύ μικρή	<1
Μικρή	1 - 3
Μεσαία	3 - 10
Υψηλή	10 - 20
Πολύ υψηλή	>20

Η τραχύτητα (roughness) είναι ένα μέσο συνυφασμένης καμπυλότητας της επιφάνειας της ασυνέχειας σε σχέση με το μέσο επίπεδο. Η τραχύτητα των τοιχωμάτων της ασυνέχειας ασκεί σημαντική επίδραση στη διατμητική της αντοχή ειδικά στην περίπτωση κλειστών και χωρίς υλικό πλήρωσης ασυνεχειών. Η επίδραση της τραχύτητας μειώνεται όσο το άνοιγμα ή το πάχος του υλικού πληρώσεως και η προϋπάρχουσα μετακίνηση των τοιχωμάτων αυξάνουν.

Είναι συνήθης ο διαχωρισμός μεταξύ μικρής και μεγάλης κλίμακας ανωμαλιών της επιφάνειας της ασυνέχειας. Κάθε ένας από αυτούς τους τύπους τραχύτητας μπορεί να ποσοτικοποιηθεί χρησιμοποιώντας περιγραφικούς όρους κατά την αποτύπωση των ασυνεχειών όπως λεία και τραχεία.

Άνοιγμα (aperture) είναι η κάθετη απόσταση που διαχωρίζει τα παρακείμενα τοιχώματα μιας ανοιχτής ασυνέχειας της οποίας το κενό είναι πληρωμένο με αέρα ή νερό. Μεγάλα ανοίγματα μπορούν να προέλθουν από διατμητική μετακίνηση της ασυνέχειας, από ξέπλυμα του υλικού πληρώσεως, από διαλυτοποίηση ή από εφελκυστικές δυνάμεις. Στις περισσότερες περιπτώσεις το άνοιγμα θα είναι μικρό, πιθανώς μικρότερο από μισό χιλιοστό. Πέρα από τα θεωρητικά παραδείγματα το άνοιγμα στις πραγματικές ασυνέχειες διαφέρει πλατιά κατά μήκος της έκτασης της ασυνέχειας. Η διαφοροποίηση αυτή είναι συνήθως δύσκολο, αν όχι αδύνατο, να προσδιοριστεί.

Είναι φανερό ότι το άνοιγμα και η διαφοροποίηση του θα έχουν μεγάλη επίδραση στη διατμητική αντοχή της ασυνέχειας. Μεγαλύτερη όμως είναι η επίδραση του ανοίγματος στη διαπερατότητα της ασυνέχειας και κατά συνέπεια της βραχομάζας.

Πίνακας 3.3. Ταξινόμηση του ανοίγματος των ασυνεχειών κατά I.S.R.M (1981)

Περιγραφή ασυνεχειών	Άνοιγμα (mm)
Πολύ κλειστές	< 0,1
Κλειστές	0,1 – 0,25
Μερικά ανοικτές	0,25 – 0,5
Ανοικτές	0,5 – 2,5
Μέτρια πλατιές	2,5 – 10
Πλατιές	> 10
Πολύ πλατιές	10 – 100
Εξαιρετικά πλατιές	100 – 1000

Υλικό πληρώσεως (filling) είναι ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει το υλικό που διαχωρίζει τα παρακείμενα τοιχώματα της ασυνέχειας. Τέτοια υλικά μπορεί να είναι ασβεστίτης, χλωρίτης, άργιλος, χαλαζίας πυρίτης κ.ά. Το υλικό πληρώσεως ασκεί σημαντική επίδραση στη διατμητική αντοχή των ασυνεχειών. Με εξαίρεση την περίπτωση που το υλικό πληρώσεως είναι σκληρό και ανθεκτικό (πχ. Ασβεστίτης, χαλαζίας), οι γεμάτες ασυνέχειες θα έχουν χαμηλότερη διατμητική αντοχή από καθαρές και κλειστές ασυνέχειες.

Συνθήκες υπογείου νερού (Seepage). Συνήθως στις υπόγειες εκμεταλλεύσεις υπάρχει μεγάλη πιθανότητα ύπαρξης νερού το οποίο κυκλοφορεί στις ασυνέχειες και μπορεί να προκαλέσει υδραυλικές, μηχανικές και χημικές δράσεις που επηρεάζουν την μηχανική συμπεριφορά της βραχομάζας (αντοχή, παραμορφωσιμότητα, ανθεκτικότητα στο χρόνο κ.λπ.). Η παρουσία υπογείου νερού (seepage) στις ασυνέχειες μπορεί να προκαλέσει:

- ☒ Σημαντική μεταβολή στην ενεργή αντοχή της βραχομάζας
- ☒ Διαβρωτικές δράσεις και γενικά πρόκληση ποιοτικής αλλοίωσης της βραχομάζας.

Υπάρχει η τάση οι ασυνέχειες μιας περιοχής να δύνανται να διαχωριστούν σε ομάδες με παρόμοιο προσανατολισμό και γενικά χαρακτηριστικά. Οι ομάδες αυτές καλούνται **συστήματα ή οικογένειες ασυνεχειών**.

3.3. Περιοχή μελέτης

Ορυχείο Σαραντάρας, Σμυριδωρυχεία Νάξου. Πρόκειται για ορυχείο εξόρυξης σμύριδας.

3.3.1. Τοποθεσία

Το ορυχείο Σαραντάρα βρίσκεται λίγα μόλις χιλιόμετρα μακριά από το χωριό Κόρωνος. Η επιλογή του ορυχείου δεν ήταν τυχαία καθώς πρόκειται για ένα από τα μεγαλύτερα ορυχεία της περιοχής στην είσοδο του οποίου έχει δρομολογηθεί η κατασκευή ενός μουσείου που θα φιλοξενεί εκθέματα και υλικό από τα ορυχεία σμύριδας.



Εικόνα 3.1. Άποψη του εξωτερικού χώρου του ορυχείου της Σαραντάρας όπου έχει δρομολογηθεί η κατασκευή μουσείου σμύριδας



Εικόνα 3.2 Τα κτίρια στην είσοδο του ορυχείου Σαραντάρας τα οποία φιλοδοξούν να φιλοξενήσουν το μουσείο σμύριδας

3.3.2. Διάφορα στοιχεία ορυχείου

Το ορυχείο της Σαραντάρας καταλαμβάνει έκταση περίπου 500 m². Η μελέτη αφορά τμήμα του ορυχείου καθώς η πλήρης μελέτη του είναι αδύνατη για τα δεδομένα μιας διπλωματικής εργασίας. Έτσι, έγινε καταγραφή των πρώτων 100 μέτρων του ορυχείου που οδηγούν σε βάθος 50 μέτρων από την επιφάνεια. Η στοά ήταν σχεδόν οριζόντια με διεύθυνση 155^ο από τον Βορρά και είχε διαστάσεις 2Χ2 μέτρα και σε μερικές περιπτώσεις 1,8Χ1,8 μέτρα. Η θερμοκρασία εντός της στοάς είναι πάντα σταθερή όλο το χρόνο και κυμαίνεται από 16-18^ο Κελσίου. Υπάρχουν δύο οριζόντιες εισοδοί στο ορυχείο με διαφορετικό υψομετρικό επίπεδο ενώ υπάρχει και μια τρίτη σχεδόν κατακόρυφη που οδηγεί στην κορυφή του βουνού.



Εικόνα 3.3: Οι δύο παράλληλοι εισοδοί της Σαραντάρας που απέχουν μεταξύ τους μερικά μόλις μέτρα.

3.4. Συλλογή στοιχείων

Στα πρώτα στάδια της εκμετάλλευσης είναι πιθανό να μην είναι δυνατή η προσπέλαση σε υπόγεια ανοίγματα. Σε αυτή την περίπτωση πληροφορίες για την δομή και τις ιδιότητες της βραχομάζας μπορούν να προέλθουν από επιφανειακές ενδείξεις. Μετρήσεις μπορούν να γίνουν σε φυσικές τομές ή από τα πρηνή επιφανειακών εκσκαφών. Σε ορισμένες περιπτώσεις μια προυπάρχουσα επιφανειακή εκμετάλλευση μπορεί να αποτελέσει μία αξιόλογη πηγή δεδομένων.

Πρέπει πάντως να αναφερθεί ότι οι επιφανειακές τομές μπορεί να έχουν επηρεαστεί από την αποσάθρωση και ότι η ποιότητα της βραχομάζας στην επιφάνεια μπορεί να διαφέρει σημαντικά από την εις βάθος βραχομάζα. Για το λόγο αυτό, τα πρωτογενή στοιχεία που συλλέγονται από την επιφάνεια πρέπει να επιβεβαιώνονται από επακόλουθη εξέταση υπογείων εκτιθέμενων επιφανειών.

3.5. Καταγραφή των ασυνεχειών

3.5.1. Τεχνικές αποτύπωσης

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

- ☒ Η τεχνική δειγματοληπτικών παραθύρων (sampling windows)
- ☒ Η τεχνική φωτογράφησης των τοιχωμάτων της στοάς

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

Σύμφωνα με την τεχνική δειγματοληπτικών παραθύρων, η καταγραφή των χαρακτηριστικών των ασυνεχειών έγινε με λεπτομερή αποτύπωσή τους σε όλη την έκταση μιας επιφάνειας (δειγματοληπτικό παράθυρο). Η τεχνική

αυτή δεν δημιουργεί δυσκολίες στη συστηματοποίηση και στον έλεγχο της αποτύπωσης και δίνει εν γένει πολύ περισσότερες πληροφορίες για την δομή της βραχομάζας. Με χρήση μετροταινιών δημιουργήθηκαν στην περιοχή μελέτης διαδοχικά «παράθυρα» διαστάσεων 1m x 2m (το ύψος της στοάς ήταν 2m) σε όλη την έκταση της στοάς και με την γεωλογική πυξίδα έγινε η καταγραφή των ασυνεχειών. Σε κάθε δειγματοληπτικό παράθυρο έγινε μέτρηση και σχολιασμός των ιδιοτήτων των ασυνεχειών που επηρεάζουν την μηχανική συμπεριφορά του πετρώματος. Ο αριθμός των μετρήσεων ανά «παράθυρο» δεν ήταν πάντα ο ίδιος καθώς σε κάποια από αυτά οι ασυνέχειες δεν ήταν εμφανείς.



Εικόνα 3.4. Δυο διαδοχικά δειγματοληπτικά παράθυρα στα οποία διακρίνονται οι ασυνέχειες του πετρώματος

Τα στοιχεία που λαμβάνονται από τη συγκεκριμένη τεχνική, μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα για τον έλεγχο της ευστάθειας της βραχομάζας. Οι ασυνέχειες είναι δυνατόν να αποτυπωθούν στις ακριβείς θέσεις τους πάνω στην επιφάνεια του ανοίγματος σε ένα χάρτη, υπό κλίμακα κατάλληλη για την επίτευξη της επιθυμητής λεπτομέρειας της αποτύπωσης. Η εργασία μπορεί

να διευκολυνθεί από την χάραξη ενός κανάβου στην επιφάνεια του πετρώματος που αποτυπώνεται.

Παράλληλα με την παραπάνω τεχνική χρησιμοποιήθηκε και η τεχνική αποτύπωσης των ελεύθερων επιφανειών της υπόγειας εκμετάλλευσης με φωτογραφίες και η επεξεργασία αυτών με την μέθοδο της φωτοανάλυσης. Με τη βοήθεια Η/Υ και του λογισμικού AutoCAD, οι φωτογραφίες μετατράπηκαν σε αποτυπώσεις ψηφίδων (pixels).

3.5.2. Εξοπλισμός

Για την αποτύπωση των ασυνεχειών χρησιμοποιήσαμε γεωλογική πυξίδα ενώ η διαστασιολόγηση της στοάς έγινε με μετροταινίες. Για τον φωτισμό του ορυχείου τοποθετήσαμε προβολείς ενώ, κατά την είσοδο στο ορυχείο μας χορηγήθηκαν κράνη και φακοί. Η αποτύπωση των υπογείων την σε έναν παλιό υπόγειο χάρτη της Γ.Ε.Μ.Μ.Ε. (Χάρτης 1).



Εικόνα 2.5. Τα πρώτα μέτρα της εισόδου του ορυχείου Σαραντάρας.

3.6. Δημιουργία βάσης δεδομένων

Από τις επιτόπου μετρήσεις, που καταγράφηκαν σε ειδικά φύλλα κατά την διάρκεια των επί τόπου μετρήσεις, προέκυψε βάση δεδομένων σε Excel spreadsheet που περιλαμβάνει τις μετρήσεις κλίσης και παράταξης κάθε ασυνέχειας και τις γεωμετρικές ιδιότητες των ασυνεχειών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα των μετρήσεων αποτελεί ο πίνακας μετρήσεων (Πίνακας 3.4) που παρατίθεται παρακάτω και στον οποίο καταγράφονται οι μετρήσεις των ασυνεχειών για ένα από τα δειγματοληπτικά παράθυρα του ορυχείου.

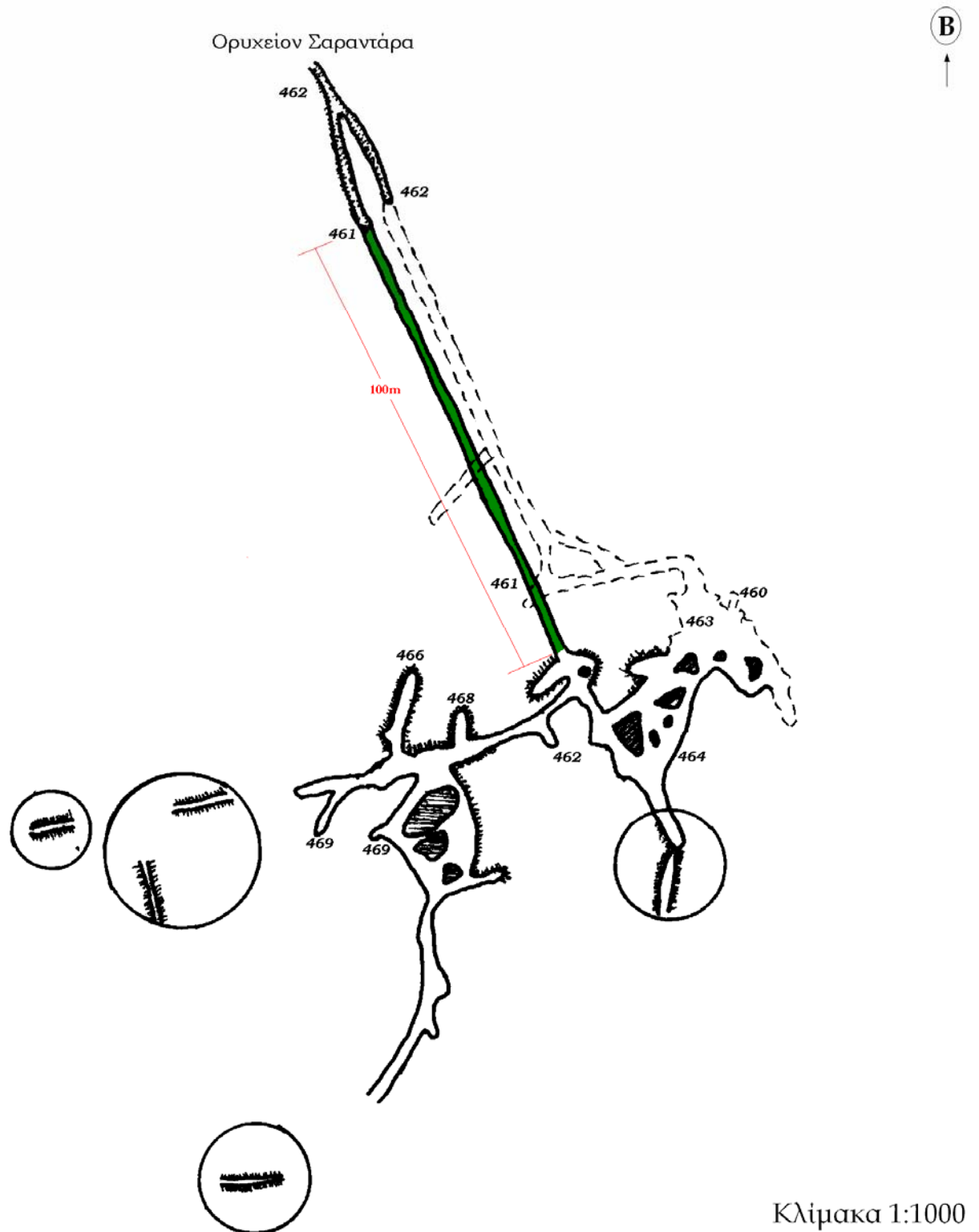
Όνομα: Μανωλάς Φίλιππος, Μπαράκος Γιώργος			Ημερ/νία: 5/1/07		Δειγματοληπτικό παράθυρο: 1-2 m		
Αριθμός Ασυνέχειας	Κλίση (Μοίρες)	Παράταξη (Μοίρες)	Τύπος	Ανοιγμα	Μήκος	Υλικό πλήρωσης	Παρουσία νερού
1	78	195	Διάκλαση	1	2	Όχι	Όχι
2	76	190	Διάκλαση	1	2	Όχι	Όχι
3	77	210	Διάκλαση	1	2	Όχι	Όχι
4	75	095	Διάκλαση	1	2	Όχι	Όχι
5	78	220	Διάκλαση	1	2	Όχι	Όχι
6	85	269	Διάκλαση	1	2	Όχι	Όχι
7	79	263	Διάκλαση	1	2	Όχι	Όχι
8	77	188	Διάκλαση	1	2	Όχι	Όχι
9	75	097	Διάκλαση	1	2	Όχι	Όχι
10	76	190	Διάκλαση	1	2	Όχι	Όχι

Πίνακας 3.4. Υπόδειγμα πίνακα μετρήσεων για ένα δειγματοληπτικό παράθυρο

Για τον παραπάνω πίνακα πρέπει να σημειωθεί ότι οι αριθμητικές τιμές στις στήλες 5 και 6 είναι κωδικοποιημένοι αριθμοί του ανοίγματος και του μήκους των ασυνεχειών αντίστοιχα. Οι κωδικοί περιγραφής των χαρακτηριστικών των ασυνεχειών εμφανίζονται στους πίνακες παρακάτω.

Άνοιγμα ασυνέχειας		
1	Πολύ κλειστή	<0,1 mm
2	Κλειστή	0,1-0,25mm
3	Μερικά Ανοιχτή	0,25-0,5mm
4	Ανοιχτή	0,5-2,5 mm
5	Μερικά πλατιά	2,5-10 mm
6	Πλατιά	>10 mm
7	Πολύ πλατιά	1-10 cm
8	Εξαιρετικά πλατιά	10-100 cm

Μήκος ασυνέχειας		
1	Πολύ μικρό	<1 m
2	Μικρό	1-3 m
3	Μέσο	3-10 m
4	Υψηλό	10-20m
5	Πολύ υψηλό	>20 m



Χάρτης 1. Χάρτης του ορυχείου χάρτης που απεικονίζει την περιοχή μελέτης της εργασίας (πράσινο μέρος)

3.7. Στατιστική Επεξεργασία των Ασυνεχειών

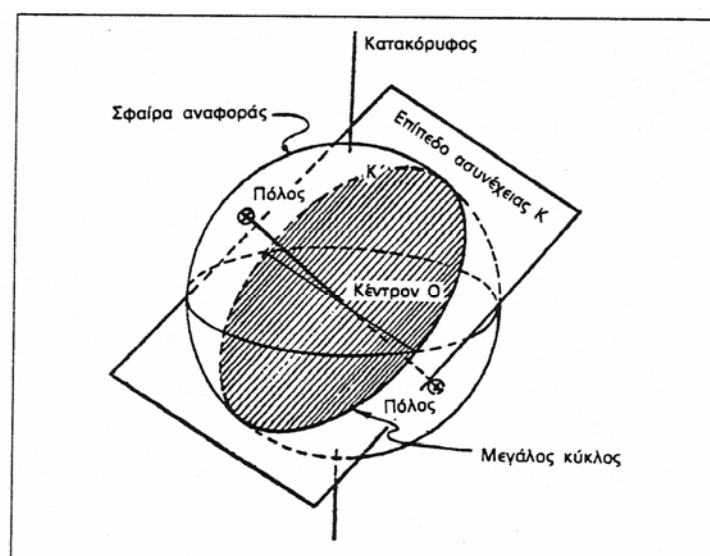
3.7.1. Γραφική παρουσίαση των στοιχείων προσανατολισμού των ασυνεχειών

Για την ορθή ερμηνεία του προσανατολισμού των ασυνεχειών που αποτυπώθηκαν γίνεται χρήση της στερεογραφικής προβολής. Δύο τύποι στερεογραφικής προβολής χρησιμοποιούνται για τη γραφική παρουσίαση των στοιχείων προσανατολισμού των ασυνεχειών. Αυτοί είναι:

- ☑ κυκλογραφική προβολή
- ☑ πολική προβολή

Έστω ένα επίπεδο ασυνέχειας Π , με διεύθυνση α° και κλίση β° και έστω σφαίρα το κέντρο της οποίας διέρχεται από αυτό το επίπεδο. Η τομή του επιπέδου με τη σφαίρα είναι ένας μέγιστος κύκλος. Μια ευθεία που διέρχεται από το κέντρο της σφαίρας με κάθετη διεύθυνση προς το επίπεδο Π τέμνει την σφαίρα στην περιφέρεια της σε δύο διαμετρικά αντίθετα σημεία. Αυτά λέγονται πόλοι του μέγιστου κύκλου.

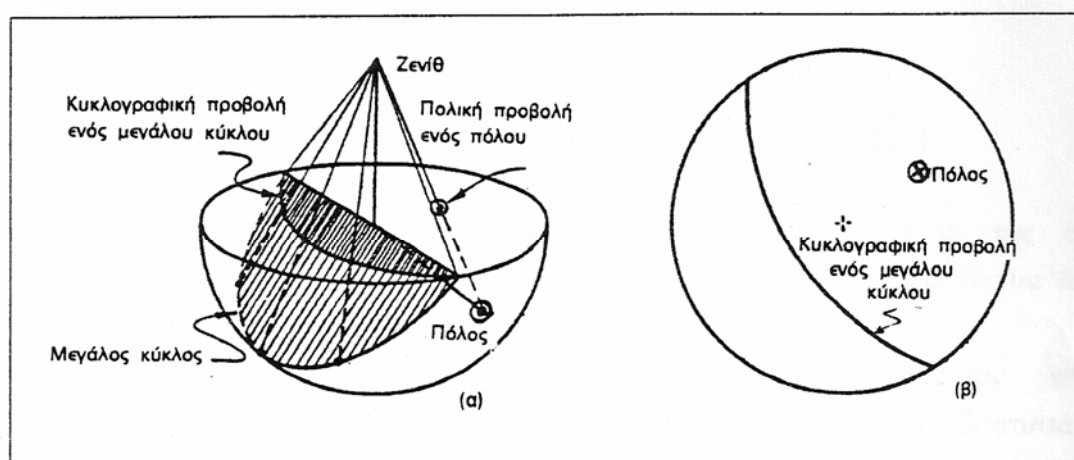
Παρατηρείται το γεγονός, πως ίδια στοιχεία εμφανίζονται στο άνω και κάτω ημισφαίριο του σχήματος 3.1. Συνεπώς αρκεί ένα από αυτά για την απεικόνιση των στοιχείων προσανατολισμού του επιπέδου Π . συνήθως χρησιμοποιείται το νότιο ημισφαίριο (κάτω ημισφαίριο) ως σημείο αναφοράς.



Σχήμα 3.1. Μεγάλος κύκλος και οι πόλοι του, που καθορίζουν τον προσανατολισμό ενός επιπέδου ασυνέχειας Π (Τσουτρέλης 1985)

Η απεικόνιση του πόλου στο οριζόντιο επίπεδο του κάτω ημισφαιρίου γίνεται ενώνοντας το σημείο του πόλου που βρίσκεται στην περιφέρεια του ημισφαιρίου με το ζενίθ της σφαίρας. Η τομή της προαναφερόμενης γραμμής με το οριζόντιο επίπεδο του ημισφαιρίου είναι η πολική προβολή του πόλου.

Με τον ίδιο τρόπο, όλα τα σημεία του μέγιστου κύκλου στο κάτω ημισφαίριο ενώνονται με το ζενίθ της σφαίρας και η τομή των γραμμών αυτών με το οριζόντιο επίπεδο του ημισφαιρίου, αποτελεί την κυκλογραφική προβολή του μέγιστου κύκλου. Τα παραπάνω φαίνονται στο σχήμα 3.2.

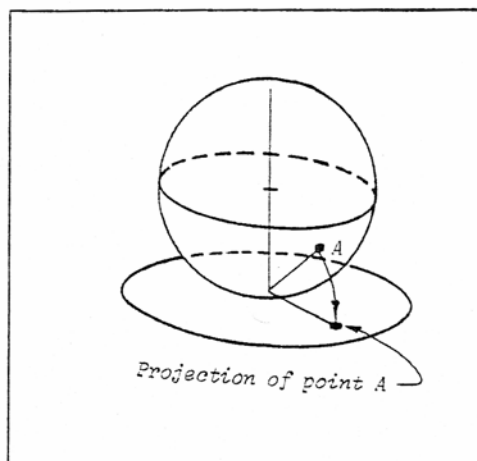


Σχήμα 3.2. Κατασκευή της στερεογραφικής προβολής του μέγιστου κύκλου και του πόλου πάνω στο οριζόντιο επίπεδο του κάτω ημισφαιρίου αναφοράς (Τσουτρέλης 1985)

Οι μέγιστοι κύκλοι παριστάνουν επίπεδα σταθερής κλίσης και κατασκευάζονται σαν κυκλικά τόξα με κέντρο τις προεκτάσεις του άξονα E-W του δικτύου. Στο δίκτυο περιέχονται ακόμα μία σειρά μικρών κύκλων με κέντρο τις προεκτάσεις του άξονα N-S. Η γωνία μεταξύ δύο οποιονδήποτε σημείων ενός μέγιστου κύκλου υπολογίζεται μετρώντας τους μικρούς κύκλους μεταξύ των δύο σημείων κατά μήκος του μέγιστου κύκλου.

Η παραπάνω προβολή είναι γνωστή σαν στερεογραφική προβολή Wulff ή ισογωνιακή προβολή (equal - angle projection). Ένας εναλλακτικός τρόπος προβολής είναι η προβολή Schmidt ή Lambert ή ισοεπιφανειακή προβολή (equal - area projection), η οποία γίνεται με τη μέθοδο που φαίνεται στο σχήμα 3.3. Το οριζόντιο επίπεδο προβολής είναι κύκλος που βρίσκεται κάτω από τη σφαίρα και το κέντρο του ταυτίζεται με το ναδίρ της σφαίρας.

Συγκεκριμένα ένα σημείο A στην περιφέρεια της σφαίρας προβάλλεται στο σημείο B του οριζόντιου επιπέδου της προβολής, περιστρέφοντας αυτό κατά ένα τόξο κύκλου με κέντρο το ναδίρ της σφαίρας και διάμετρο την απόσταση A από το ναδίρ. Αντίστοιχα όλα τα σημεία ενός μέγιστου κύκλου του κάτω ημισφαιρίου προβάλλονται στο επίπεδο προβολής με τον ίδιο τρόπο.

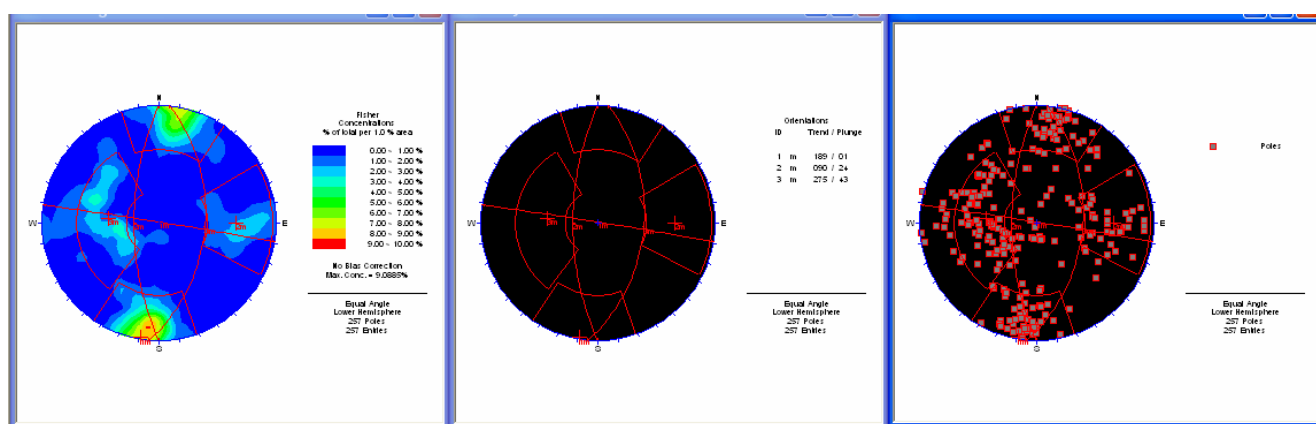


Σχήμα 3.3. Τρόπος κατασκευής ισοεπιφανειακής προβολής (Τσουτρέλης 1985)

Το δίκτυο που προκύπτει έχει μεγαλύτερη διάμετρο από αυτή της σφαίρας συνεπώς για να γίνει ίση με την τελευταία η ακτίνα κάθε σημείου στο δίκτυο διαιρείται με την τετραγωνική ρίζα του δύο.

Για την παρουσίαση και στατιστική επεξεργασία του προσανατολισμού των επιπέδων των ασυνεχειών χρησιμοποιείται το ισοεμβαδικό στερεόδιάγραμμα (δίκτυο Schmidt ή Lambert), καθόσον επιτρέπει την ακριβέστερη σχετικά επεξεργασία μεγάλου αριθμού μετρήσεων. Σκοπός της επεξεργασίας αυτής είναι ο προσδιορισμός του αριθμού των κύριων συστημάτων ασυνεχειών (discontinuity sets) που διατέμνουν τη βραχομάζα καθώς επίσης και ο αντίστοιχος μέσος προσανατολισμός τους.

Η αποτύπωση των πόλων των επιπέδων ασυνεχειών και η στατιστική επεξεργασία τους τα τελευταία χρόνια γίνεται με τη χρήση ειδικών προγραμμάτων σε Η/Υ, που απλοποιούν με τον τρόπο αυτό σε σημαντικό βαθμό την όλη χρονοβόρα διαδικασία αποτύπωσης. Στο σχήμα 3.4 αποτυπώνονται ολοκληρωμένα τα στοιχεία προσανατολισμού 101 μετρήσεων ασυνεχειών ενός συγκεκριμένου πρανούς, η στατιστική επεξεργασία τους και τα εκτιμώμενα επίπεδα των κύριων συστημάτων (η σχεδίαση είναι με το πρόγραμμα DIPS).



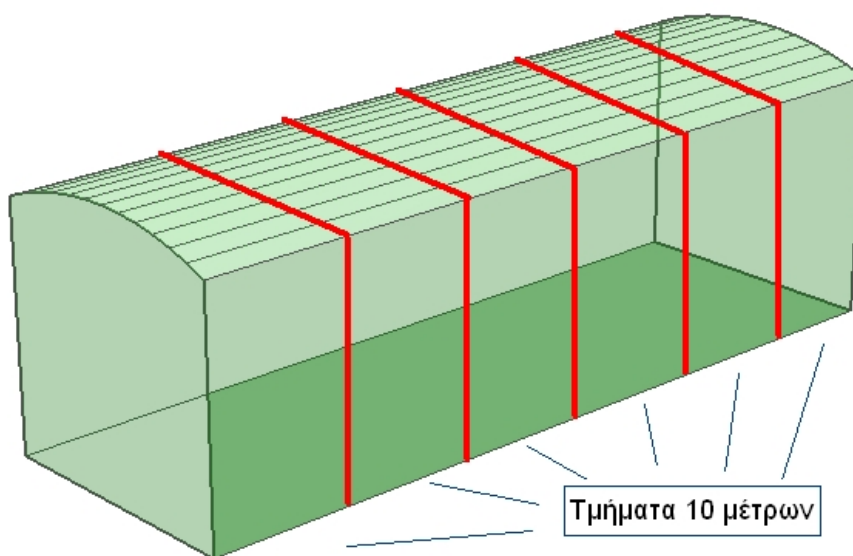
Εικόνα 3.4. Τρόποι παρουσίασης χωρικών δεδομένων ασυνεχειών με το πρόγραμμα DIPS.

Κεφάλαιο 4: Εκτίμηση Δημιουργίας Σφηνών - Επεξεργασία των μετρήσεων

Στην ενότητα αυτή γίνεται η επεξεργασία των μετρήσεων που έγιναν στο ορυχείο. Η επεξεργασία έγινε σε τρία στάδια για ασφαλή και καλύτερα συμπεράσματα.

4.1. Πρώτο στάδιο επεξεργασίας (Τμηματοποίηση της στοάς)

Αρχικά χωρίστηκε η στοά σε 10 τμήματα μήκους 10 μέτρων το καθένα. Έπειτα έγινε η συγκέντρωση των μετρήσεων για κάθε τμήμα και με κατάλληλη επεξεργασία των τιμών της κλίσης και της διεύθυνσης κλίσης βρέθηκαν οι πιθανές οικογένειες ασυνεχειών για κάθε τμήμα. Δηλαδή, από κάθε τμήμα ο μέσος όρος των τιμών με παρόμοια κλίση και διεύθυνση κλίσης δημιουργούσε μία πιθανή οικογένεια ασυνεχειών. Πχ: οι τιμές $71^{\circ}/220^{\circ}$, $78^{\circ}/219^{\circ}$, $75^{\circ}/217^{\circ}$ ανήκουν στην οικογένεια ασυνεχειών με τιμές $75^{\circ}/219^{\circ}$. Φυσικά υπήρξαν και κάποιες τιμές οι οποίες δεν λήφθηκαν υπόψη και χαρακτηρίστηκαν ως λανθασμένες.



Σχήμα 4.1 Απεικόνιση της στοάς σε τμήματα των 10 m.

Παρακάτω δίνονται οι πίνακες με τις ασυνέχειες για κάθε τμήμα όπως προέκυψαν μετά το πρώτο στάδιο επεξεργασίας.

Πίνακας 4.1 Προσανατολισμοί ασυνεχειών για το τμήμα 0-10 m

Ασυνέχεια	Κλίση (°)	Παράταξη (°)
1	85	002
2	15	014
3	83	020
4	72	063
5	41	085
6	90	105
7	53	124
8	18	129
9	76	135
10	43	147
11	82	184
12	81	231
13	73	278
14	44	288

Πίνακας 4.2. Προσανατολισμοί ασυνεχειών για το τμήμα 11-20 m

Ασυνέχεια	Κλίση (°)	Παράταξη (°)
1	85	016
2	41	048
3	21	052
4	38	092
5	74	110
6	55	113
7	61	142
8	83	183
9	18	195
10	75	222
11	79	274
12	15	343

Πίνακας 4.3 Προσανατολισμοί ασυνεχειών για το τμήμα 21-30 m

Ασυνέχεια	Κλίση (°)	Παράταξη (°)
1	71	010
2	81	088
3	39	103
4	65	113
5	76	273
6	70	352

Πίνακας 4.4 Προσανατολισμοί ασυνεχειών για το τμήμα 31-40 m

Ασυνέχεια	Κλίση (°)	Παράταξη (°)
1	69	005
2	48	048
3	60	085
4	68	138
5	81	192
6	60	272

Πίνακας 4.5 Προσανατολισμοί ασυνεχειών για το τμήμα 41-50 m

Ασυνέχεια	Κλίση (°)	Παράταξη (°)
1	76	008
2	50	042
3	39	072
4	61	091
5	68	136
6	57	157
7	50	172
8	87	186
9	54	263

Πίνακας 4.6 Προσανατολισμοί ασυνεχειών για το τμήμα 51-60 m

Ασυνέχεια	Κλίση (°)	Παράταξη (°)
1	87	012
2	64	026
3	78	102
4	69	112
5	76	148
6	52	200

Πίνακας 4.7 Προσανατολισμοί ασυνεχειών για το τμήμα 61-70 m

Ασυνέχεια	Κλίση (°)	Παράταξη (°)
1	82	009
2	49	065
3	61	108
4	57	151
5	67	191
6	84	212
7	65	224
8	51	247
9	64	270
10	76	354

Πίνακας 4.8 Προσανατολισμοί ασυνεχειών για το τμήμα 71-80 m

Ασυνέχεια	Κλίση (°)	Παράταξη (°)
1	83	5
2	68	23
3	20	44
4	88	80
5	64	96
6	89	167
7	75	193
8	34	204
9	38	233
10	54	276
11	76	302
12	17	346
13	84	353

Πίνακας 4.9 Προσανατολισμοί ασυνεχειών για το τμήμα 81-90 m

Ασυνέχεια	Κλίση (°)	Παράταξη (°)
1	66	29
2	36	44
3	61	68
4	37	80
5	75	86
6	65	107
7	6	110
8	72	188
9	44	249
10	77	268
11	51	294
12	25	315
13	71	348

Πίνακας 4.10 Προσανατολισμοί ασυνεχειών για το τμήμα 91-100 m

Ασυνέχεια	Κλίση (°)	Παράταξη (°)
1	83	001
2	89	022
3	12	033
4	67	051
5	85	074
6	53	086
7	77	117
8	22	222
9	85	248
10	31	257
11	45	328
12	70	348

4.2. Δεύτερο στάδιο επεξεργασίας (Υπολογισμός κύριων οικογενειών ασυνέχειας)

Σε δεύτερη φάση έγινε εκτίμηση των οικογενειών που εμφανίζονται σε όλο το μήκος της στοάς (100 μέτρα). Από τις οικογένειες ασυνεχειών που προέκυψαν για κάθε τμήμα της στοάς (πρώτο στάδιο επεξεργασίας) έγινε νέα ομαδοποίηση με στόχο την εύρεση ασυνεχειών που υπάρχουν σε όλα τα τμήματα ή στα περισσότερα από αυτά. Πχ: οι ασυνέχειες $82^{\circ}/184^{\circ}$, $83^{\circ}/183^{\circ}$, $79^{\circ}/194^{\circ}$, $87^{\circ}/186^{\circ}$, $80^{\circ}/189^{\circ}$, $75^{\circ}/193^{\circ}$ και $72^{\circ}/188^{\circ}$ βρίσκονται σε επτά από τα δέκα τμήματα και ο μέσος όρος τους δίνει προσεγγιστικά μια οικογένεια ασυνεχειών με τιμές $80/188$. Έτσι, προέκυψαν οι πιθανές* κύριες οικογένειες ασυνεχειών για όλο το μήκος της στοάς και εμφανίζονται παρακάτω:

Πίνακας 4.11. Κύριες οικογένειες ασυνεχειών σε όλο το μήκος της στοάς

Οικογένεια	Κλίση ($^{\circ}$)	Διεύθυνση κλίσης ($^{\circ}$)
1	80	188
2	82	007
3	44	048
4	45	086
5	68	107
6	67	272
7	64	138
8	78	228
9	74	351

* Σημείωση: Δεν είναι δυνατόν να υπάρχουν και οι εννέα οικογένειες ασυνεχειών όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα. Κάποιες από αυτές έχουν προφανώς προκύψει από λανθασμένες μετρήσεις. Παρόλο αυτά συμπεριλαμβάνονται στο παρών στάδιο.

4.3. Τρίτο στάδιο επεξεργασίας (Πρόβλεψη ευστάθειας οροφής)

Στο στάδιο αυτό γίνεται πρόβλεψη των συνθηκών ευστάθειας των πιθανών σφηνών με την βοήθεια του λογισμικού Unwedge 3.0, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στον υπολογισμό του Συντελεστή Ασφαλείας (Safety Factor) αλλά και της απαιτούμενης υποστήριξης της οροφής και των παρειών των στοών της υπόγειας εκμετάλλευσης σμύριδας στο ορυχείο Σαραντάρα της ορεινής Νάξου.

4.3.1. Εισαγωγή στο Unwedge 3.0

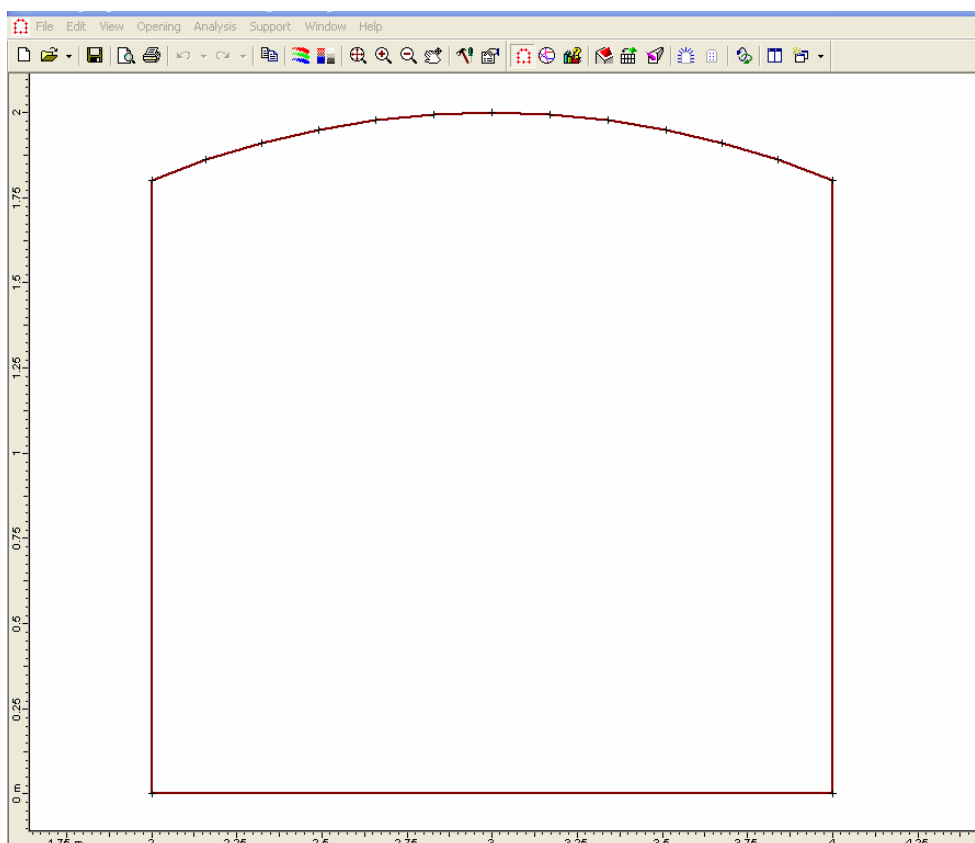
Μέσω του Unwedge 3.0 δίνεται η δυνατότητα, σύμφωνα με τις κλίσεις και τις διευθύνσεις κλίσεων των ασυνεχειών που έχουν μετρηθεί στο πεδίο, να υπολογιστούν οι πιθανές σφήνες που μπορεί να δημιουργηθούν και να ολισθήσουν λόγω της εντατικής κατάστασης (βαρυτιακό πεδίο) με αποτέλεσμα να τίθεται σε κίνδυνο η ευστάθεια της υπόγειας εκμετάλλευσης.

Το λογισμικό έχει την δυνατότητα κάθε φορά να υπολογίζει τις σφήνες (και την επικινδυνότητα ολίσθησης ή κατάρρευσης αυτών) που δημιουργούνται από τα επίπεδα τριών ασυνεχειών. Εάν υπάρχουν παραπάνω από τρία κύρια επίπεδα ασυνεχειών προς ανάλυση, μπορούν να γίνουν συνδυασμοί αυτών. Οι επιφάνειες όλων των ασυνεχειών θεωρούνται ως απολύτως επίπεδες, συνεχείς και εκτείνονται σε όλο τον υπό μελέτη όγκο. Τέλος, οι ασυνέχειες θεωρούνται ότι πληρώνουν όλους τους χώρους της υπό μελέτη βραχομάζας της υπογείου εκμεταλλεύσεως (οροφή, δάπεδο, παρειές).

Η ανάλυση της ευστάθειας βασίζεται στην θεώρηση ότι οι σφήνες υποβάλλονται σε βαρυτιακή φόρτιση, λόγω του βάρους αυτών. Περαιτέρω, μπορεί να εφαρμοστεί επιπρόσθετη φόρτιση που να οφείλεται στο βάρος των υπερκειμένων της εκσκαφής πετρωμάτων.

4.3.1.1. Γεωμετρία της Εκσκαφής

Η γεωμετρία της εκσκαφής (τομή του ανοίγματος της στοάς) δίνεται σε δυο διαστάσεις και εισάγεται από ένα αρχείο *dxf* που δημιουργήθηκε στο AutoCAD. Το μήκος της εκσκαφής εισάγεται σαν αριθμητική παράμετρος κατά την ανάλυση και τον υπολογισμό της ευστάθειας. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή το ύψος της στοάς είναι 2 m, ενώ για το μήκος της στοάς δόθηκε η τιμή 10 m.



Εικόνα 4.1. Παράδειγμα τομής της στοάς

4.3.1.2. Παραμετρικές Ιδιότητες της Εκσκαφής

Οι ιδιότητες της εκσκαφής (όπως κατεύθυνση, βύθιση, προσανατολισμός του άξονα μηκοτομής) εισάγονται με την εντολή **Analysis > Input Data > General**. Η κατεύθυνση (*trend*) για το μοντέλο που εξετάζεται είναι σύμφωνα με επιτόπου μέτρηση 155°, ενώ η βύθιση (*plunge*) είναι 0°. Περαιτέρω ορίζεται και το μοναδιαίο βάρος της βραχομάζας (*rock unit weight*), το οποίο για το μάρμαρο είναι 2.7 ton/m³ ενώ για την σμύριδα είναι 4 ton/m³. Οι τιμές για

το ειδικό βάρος της βραχομάζας εντός της οποίας διαμορφώνονται οι σφήνες θα βρίσκονται κάπου ανάμεσα σε αυτές τις δύο τιμές όσο προχωράμε μέσα στη στοά καθώς σε κάποια σημεία υπάρχει ασβεστόλιθος πάνω απ' την σμύριδα. Μετά από υπολογισμούς προκύπτει ότι το ειδικό βάρος είναι γύρω στους 3 ton/m^3 . Θα χρησιμοποιηθεί αυτή η τιμή έτσι ώστε να έχουμε αποτελέσματα για την χειρότερη εκδοχή που μπορεί να υπάρχει.

Input Data ? ▲ ✕

General | Joint Orientations | Joint Properties

Tunnel Axis Orientation

Trend: 155 ° Plunge: 0 °

Design Factor of Safety

Design Factor of Safety: 1.5

NOTE: used for optimization and filtering of wedges only
(has no effect on the results of the analysis)

Unit Weight

Rock: 3 t/m3

Water: 0.981 t/m3

Seismic Force

Direction: Sliding

Seismic coefficient: 0

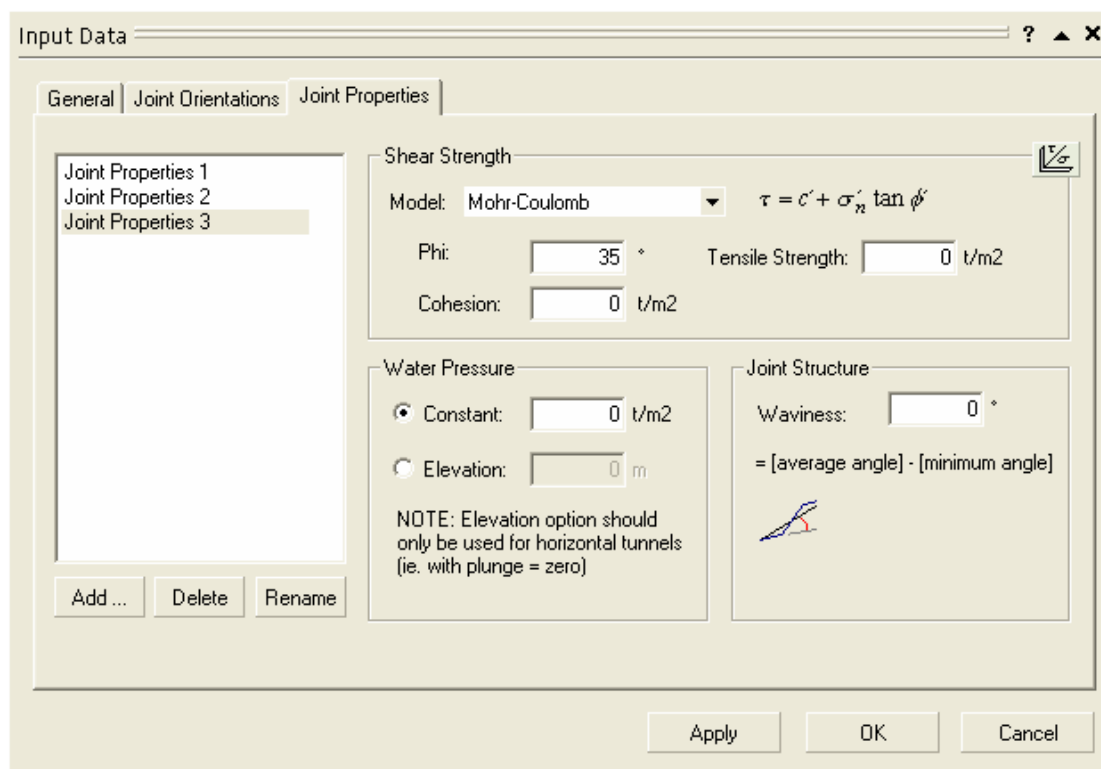
Apply OK Cancel

Εικόνα 4.2. Παράδειγμα εισαγωγής παραμετρικών ιδιοτήτων της εκσκαφής

4.3.1.3. Εισαγωγή ιδιοτήτων των ασυνεχειών

Εδώ ορίζονται οι υπόλοιπες ιδιότητες των ασυνεχειών που σχετίζονται με τις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή εκσκαφής όπως η συνοχή (*cohesion*) και η πίεση νερού (*water pressure*). Η τιμή της συνοχής είναι μηδέν (0 MPa) γιατί οι ασυνέχειες στον χώρο μελέτης δεν είχαν ή είχαν σπάνια υλικό πλήρωσης ενώ η πίεση νερού έχει μηδενική τιμή γιατί υπήρχε ελάχιστη εμφάνιση υπόγειων υδάτων.

Το μέγιστο ύψος των υπερκειμένων πετρωμάτων είναι 50 m. Το μοντέλο θεωρείται ότι υποβάλλεται σε βαρυτική φόρτιση.



Εικόνα 4.3. Εισαγωγή συνθηκών της εκσκαφής

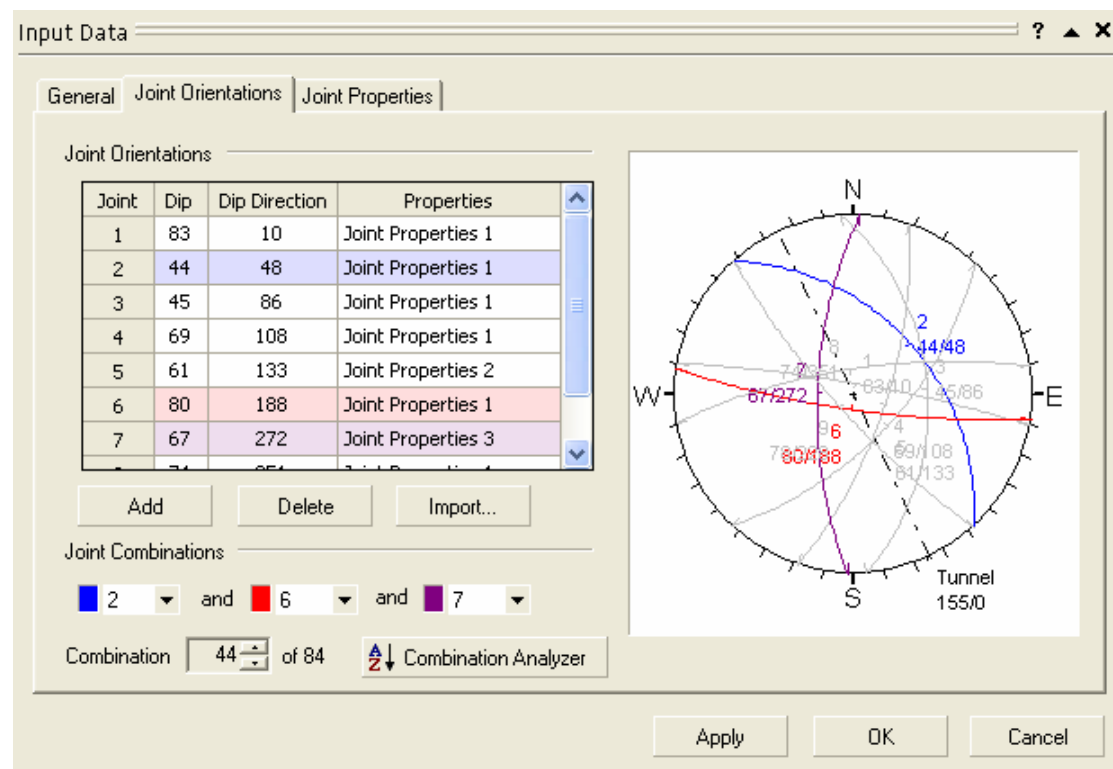
4.3.1.4. Εισαγωγή παραμέτρων των ασυνεχειών

Στην συνέχεια εισάγονται τα δεδομένα που αφορούν τις ασυνέχειες. Από τα προηγούμενα στάδια επεξεργασίας των μετρήσεων προέκυψαν τιμές για την κλίση (*dip*) και την διεύθυνση της κλίσης των ασυνεχειών (*dip direction*). Στο παράθυρο της εντολής **Analysis > Input Data > Joint Orientations** εισάγονται οι τιμές των παραμέτρων των ασυνεχειών, ενώ παράλληλα οι ασυνέχειες προβάλλονται και στο στερεόγραμμα του παραθύρου. Το σύνολο των μετρήσεων που εισήχθησαν φαίνονται στον πίνακα.

Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι πάντα τρεις από το σύνολο των ασυνεχειών μπορούν να επιλεγθούν και να χρωματιστούν με κόκκινο, μπλε και μωβ χρώμα (ένας συνδυασμός), ενώ όσες δεν ανήκουν στον εκάστοτε συνδυασμό έχουν γκρι χρωματισμό στο στερεόγραμμα.

Πίνακας 4.12. Πιθανές κύριες οικογένειες ασυνεχειών σε όλο το μήκος της στοάς

Οικογένεια	Κλίση (°)	Παράταξη (°)
1	80	188
2	82	007
3	44	048
4	45	086
5	68	107
6	67	272
7	64	138
8	78	228
9	74	351



Εικόνα 4.3. Εισαγωγή παραμέτρων των ασυνεχειών και απεικόνιση των στερεογραφικών προβολών των στο πολικό διάγραμμα Schmidt.

4.3.1.5. Διαστασιολόγηση σφηνών

Το μέγεθος των σφηνών υπολογίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα και είναι πάντα το μέγιστο μέγεθος που μπορεί να δημιουργηθεί γύρω από την εκσκαφή. Για να αναπροσαρμοστεί το μέγεθος των σφηνών σύμφωνα με τις επί τόπου παρατηρήσεις (μετρούμενα μήκη των ασυνεχειών), δίνεται η δυνατότητα διαστασιολόγησης των ασυνεχειών.

Σύμφωνα με τις επιτόπιες παρατηρήσεις το σύνολο των ασυνεχειών εκτείνονται σε μήκη της τάξεως του 1 μέτρου. Φυσικά, υπάρχουν και ασυνέχειες με μικρότερο ίχνος αλλά και μεγαλύτερο που φτάνει και τα 2 μέτρα (ύψος στοάς). Για την διαστασιολόγηση των σφηνών πηγαίνουμε στο παράθυρο **Analysis > Scale Wedges** και εισάγουμε τις επιθυμητές τιμές όπως φαίνονται στο σχήμα.

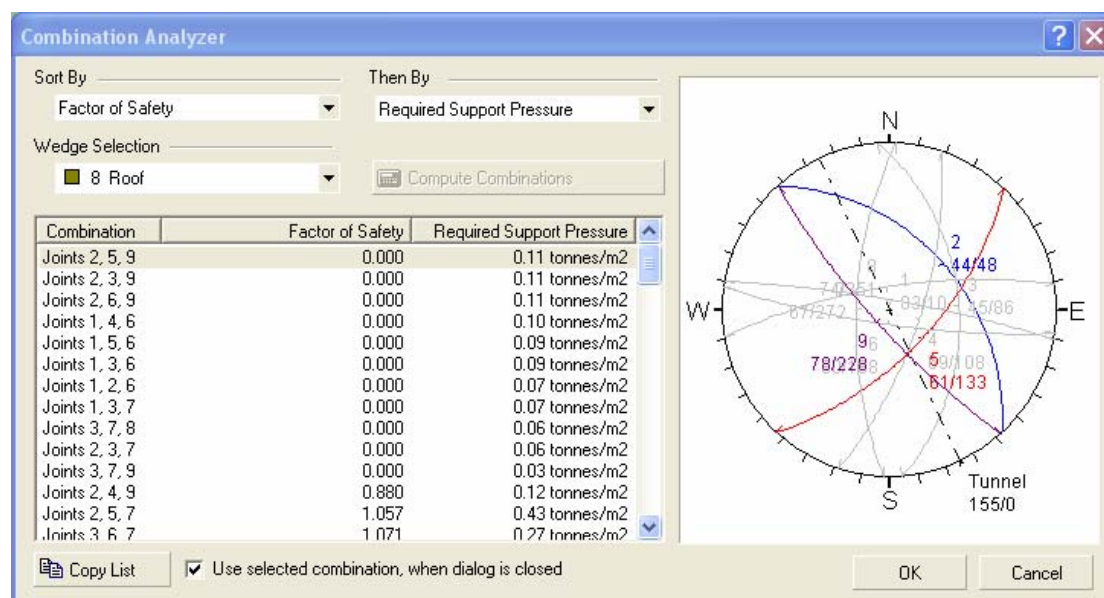
	Current Values	Scaling Values	
Trace Lengths			
<input checked="" type="checkbox"/> Joint 3: 45/086	1.01679	1.5	m
<input checked="" type="checkbox"/> Joint 6: 80/188	1	1	m
<input checked="" type="checkbox"/> Joint 7: 67/272	1	1	m
Maximum Persistence			
<input checked="" type="checkbox"/> Joint 3: 45/086	1.01674	1.5	m
<input checked="" type="checkbox"/> Joint 6: 80/188	1	1	m
<input checked="" type="checkbox"/> Joint 7: 67/272	1	1	m
Wedge Data			
<input type="checkbox"/> Volume:	0.0349766	0.0349766	m3
<input type="checkbox"/> Weight:	0.10493	0.10493	tonnes
<input type="checkbox"/> Face Area:	0.379799	0.379799	m2
<input type="checkbox"/> Apex Height:	0.276277	0.276277	m
<input checked="" type="checkbox"/> Tunnel Length	0.970931	10	m
Wedge to Scale: All Wedges			

Εικόνα 4.4. Διαστασιολόγηση σφηνών

4.3.1.6. Ανάλυση

Από το παράθυρο της εντολής εισαγωγής δεδομένων (**Analysis > Input Data > Joint Orientations**) έγινε μια πρώτη ανάλυση των συνδυασμών των ασυνεχειών (**Combination Analyzer**) αρχικά με βάση τον συντελεστή ασφαλείας και εν συνεχεία με βάση την απαιτούμενη πίεση υποστήριξης (Εικόνα 5).

Όσοι εκ των συνδυασμών έδιναν συντελεστή ασφαλείας μεγαλύτερο του 2 αποκλείονταν. Ιδιαίτερη βάση δόθηκε στους συνδυασμούς που έχουν μεγάλη πίεση υποστήριξης.



Εικόνα 4.5. Ανάλυση των συνδυασμών των ασυνεχειών ανά τριάδες στην οροφή της στοάς με βάση τον συντελεστή ασφαλείας και την απαιτούμενη πίεση υποστήριξης

Η δεύτερη ανάλυση έγινε επίσης με βάση αρχικά τον συντελεστή ασφαλείας και στην συνέχεια με βάση τον όγκο της κάθε σφήνας. Η πιθανότητα εμφάνισης για κάθε συνδυασμό έγκειται στην συχνότητα εμφάνισης μιας ασυνέχειας. Επίσης, το μέγεθος (όγκος, βάρος) κάθε δημιουργουμένης σφήνας είναι ένας σημαντικός παράγοντας που μπορεί να συντελέσει στην κίνηση της σφήνας (ολίσθηση ή πτώση) με αποτέλεσμα να ελλοχεύει ο κίνδυνος ευστάθειας της εκσκαφής.

4.3.1.7. Αποτελέσματα ανάλυσης

Από τα στοιχεία που προέκυψαν από το Combination Analyzer του Unwedge έγινε μελέτη των αποτελεσμάτων σε spreadsheet του excel όπου εντοπίστηκαν οι πιο επικίνδυνοι συνδυασμοί ασυνεχειών για ολόκληρη τη στοά με βάση τον συντελεστή ασφαλείας, την απαιτούμενη υποστήριξη οροφής και το βάρος των σφηνών.

4.3.2. Εκτίμηση Δημιουργίας Σφηνών και Εφαρμογή Υποστήριξης

Έχοντας τα αποτελέσματα της ανάλυσης των στοιχείων είναι δυνατή η παρουσίαση όλων των πιθανών συνδυασμών ασυνεχειών με την επιλογή **Analysis > Input Data > Joint Orientations** και να επιλέξουμε όποια τριάδα ασυνεχειών επιθυμούμε.

Οι συνδυασμοί ασυνεχειών που κρίθηκαν επικίνδυνοι για το σύνολο της στοάς είναι οι παρακάτω:

<u>Συνδυασμός 1:</u>	<u>Συνδυασμός 2:</u>	<u>Συνδυασμός 3:</u>
44°/048°	44°/048°	45°/086°
67°/272°	67°/272°	74°/351°
80°/188°	61°/133°	78°/228°

Βέβαια υπήρχαν και άλλοι συνδυασμοί με μικρό συντελεστή ασφαλείας ωστόσο οι σφήνες που δημιουργούσαν δεν ήταν ανησυχητικές λόγω διαστάσεων.

Στην συνέχεια παρατίθενται απεικονίσεις από πιθανές σφήνες που δημιουργούνται στην οροφή της στοάς από συνδυασμούς ασυνεχειών και υπάρχει κίνδυνος υποχώρησής τους. Επίσης, απεικονίζεται και η εφαρμογή υποστήριξης μέσω αγκυρίου για κάθε περίπτωση:

4.3.2.1. Συνδυασμός 1:

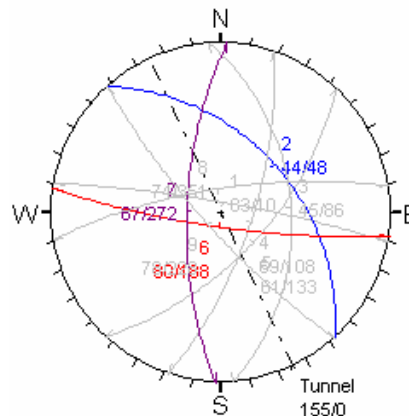
Ο συνδυασμός αφορά τις σφήνες που δημιουργούνται από τις ασυνέχειες με διεύθυνση:

$44^{\circ}/048^{\circ}$

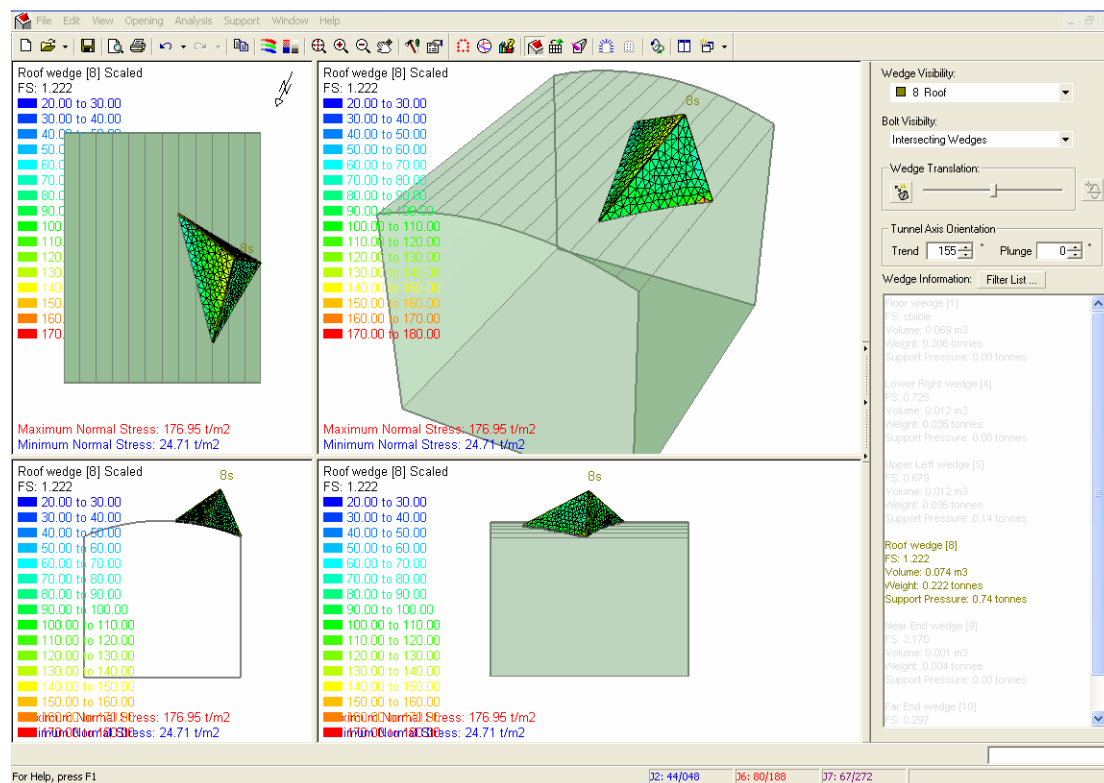
$67^{\circ}/272^{\circ}$

$80^{\circ}/188^{\circ}$

Δεξιά δίδεται η στερεογραφική προβολή όπου προβάλλονται οι ασυνέχειες αυτές.

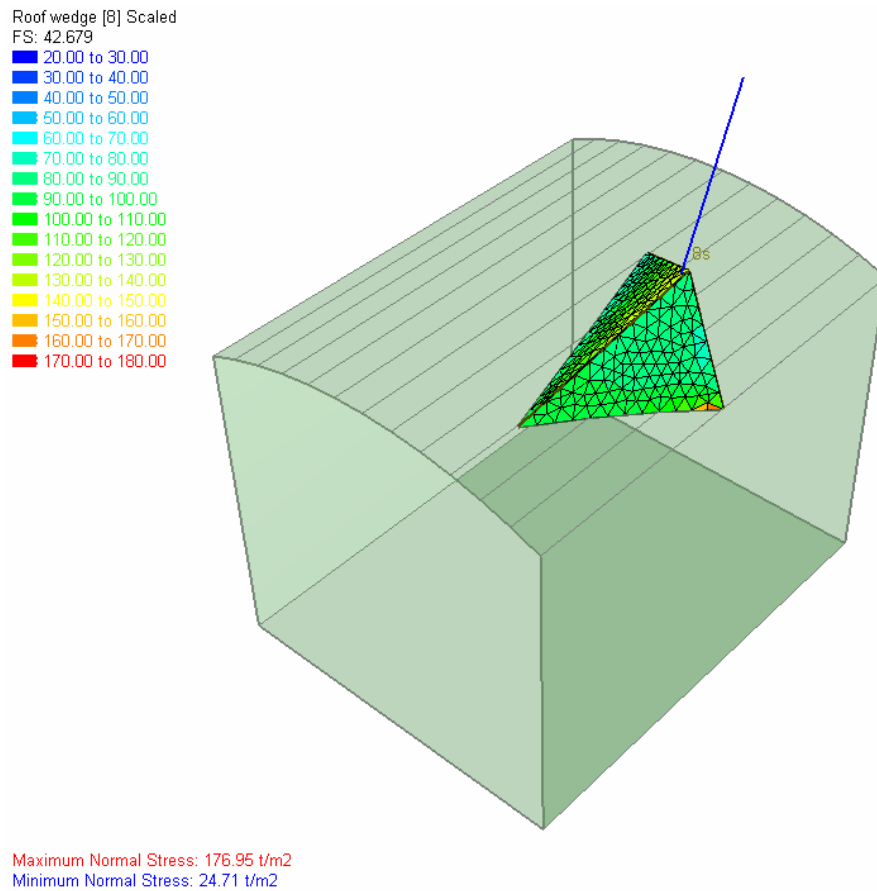


Στην εικόνα 4.6 απεικονίζονται διάφορες απόψεις της σφήνας που δημιουργείται στην οροφή της στοάς, με όγκο $0,074 \text{ m}^3$, βάρος 222 kg , απαιτούμενη πίεση υποστήριξης $0,74 \text{ ton}$ και συντελεστή ασφαλείας $1,2$.



Εικόνα 4.6. Διάφορες απόψεις της σφήνας που δημιουργείται από τον συνδυασμό των ασυνεχειών $44^{\circ}/048^{\circ}$, $80^{\circ}/188^{\circ}$, $67^{\circ}/272^{\circ}$

Στην συνέχεια απεικονίζεται η εφαρμογή αγκυρίου μήκους 1,5m (Εικόνα 4.7). Η εφαρμογή της πίεσης υποστήριξης έχει σαν αποτέλεσμα, ο συντελεστής ασφαλείας να αλλάζει τιμή και από 1,2 το να λαμβάνει την τιμή 42,7.



Εικόνα 4.7. Εφαρμογή πίεσης υποστήριξης με την τοποθέτηση χαλύβδινου αγκυρίου (μπλε χρώμα) στην σφήνα

4.3.2.2. Συνδυασμός 2:

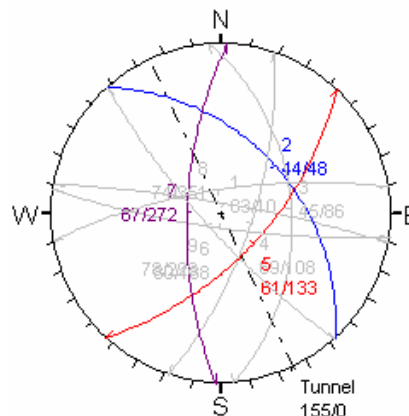
Ο συνδυασμός αφορά τις σφήνες που δημιουργούνται από τις ασυνέχειες με διεύθυνση:

44°/048°

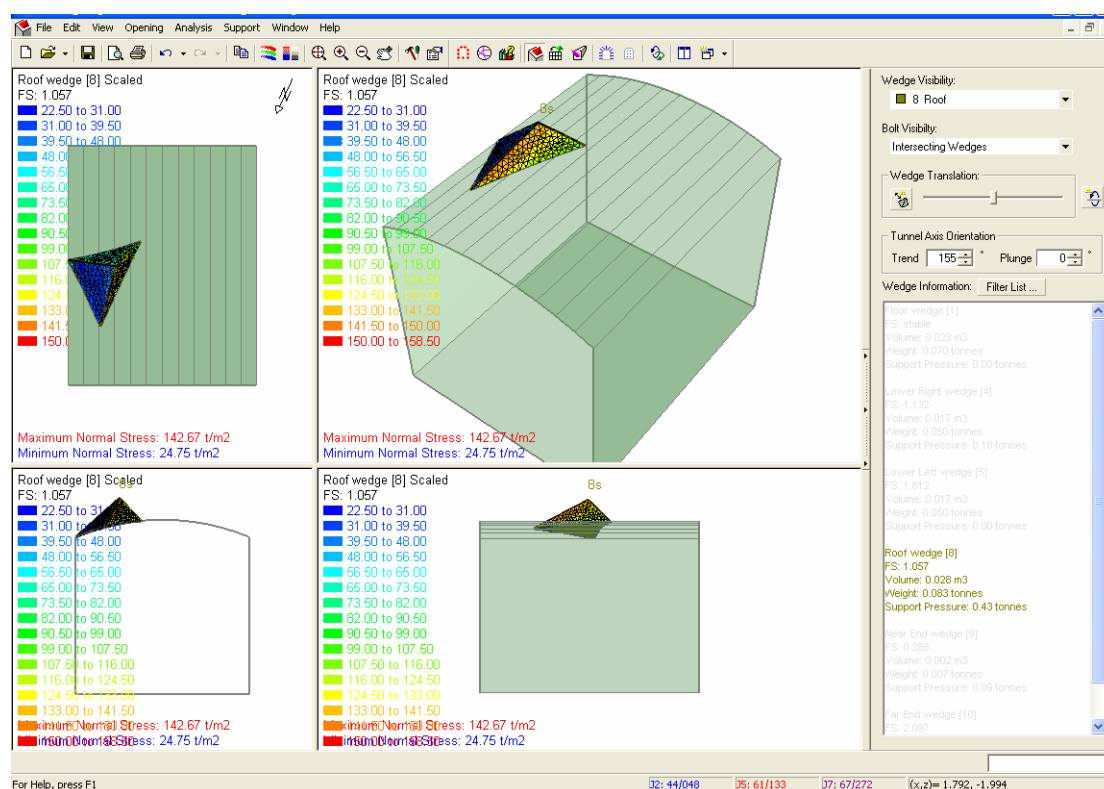
61°/133°

67°/272°

Δεξιά δίδεται η στερεογραφική προβολή όπου προβάλλονται οι ασυνέχειες αυτές.

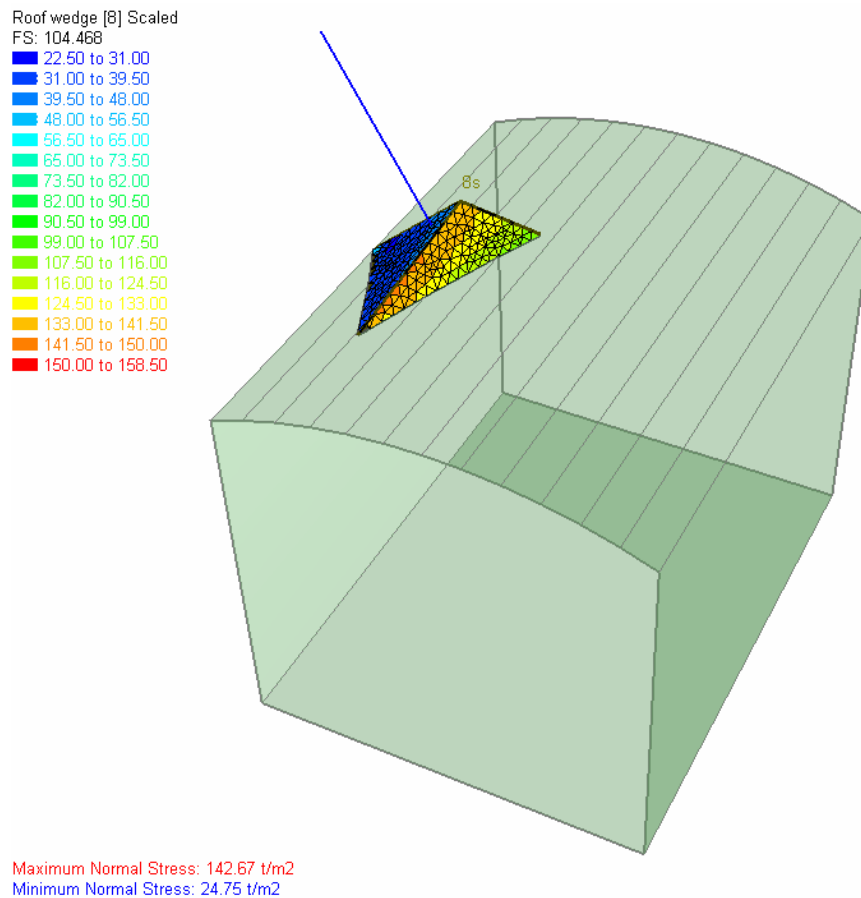


Στην εικόνα 4.8 απεικονίζονται διάφορες απόψεις της σφήνας που δημιουργείται στην οροφή της στοάς, με όγκο 0,028 m³, βάρος 83 kg, απαιτούμενη πίεση υποστήριξης 0,43 ton και συντελεστή ασφαλείας 1.



Εικόνα 4.8. Διάφορες απόψεις της σφήνας που δημιουργείται από τον συνδυασμό των ασυνεχειών 44°/048°, 61°/133°, 67°/272°

Στην συνέχεια απεικονίζεται η εφαρμογή αγκυρίου μήκους 1,5m (Εικόνα 4.9). Η εφαρμογή της πίεσης υποστήριξης έχει σαν αποτέλεσμα, ο συντελεστής ασφαλείας να αλλάζει τιμή και από 1 το να λαμβάνει την τιμή 104,4.



Εικόνα 4.9. Εφαρμογή πίεσης υποστήριξης με την τοποθέτηση χαλύβδινου αγκυρίου (μπλε χρώμα) στην σφήνα.

4.3.2.3. Συνδυασμός 3:

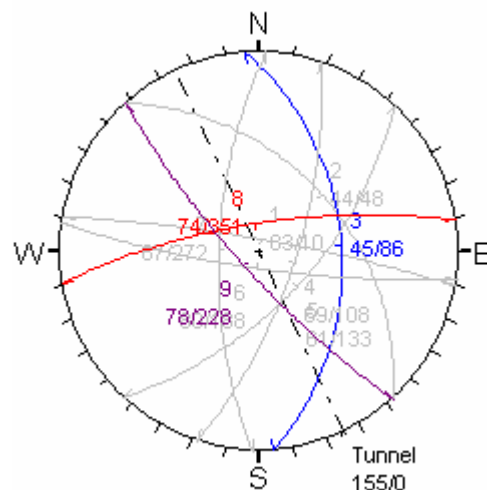
Ο συνδυασμός αφορά τις σφήνες που δημιουργούνται από τις ασυνέχειες με διεύθυνση:

45°/086°

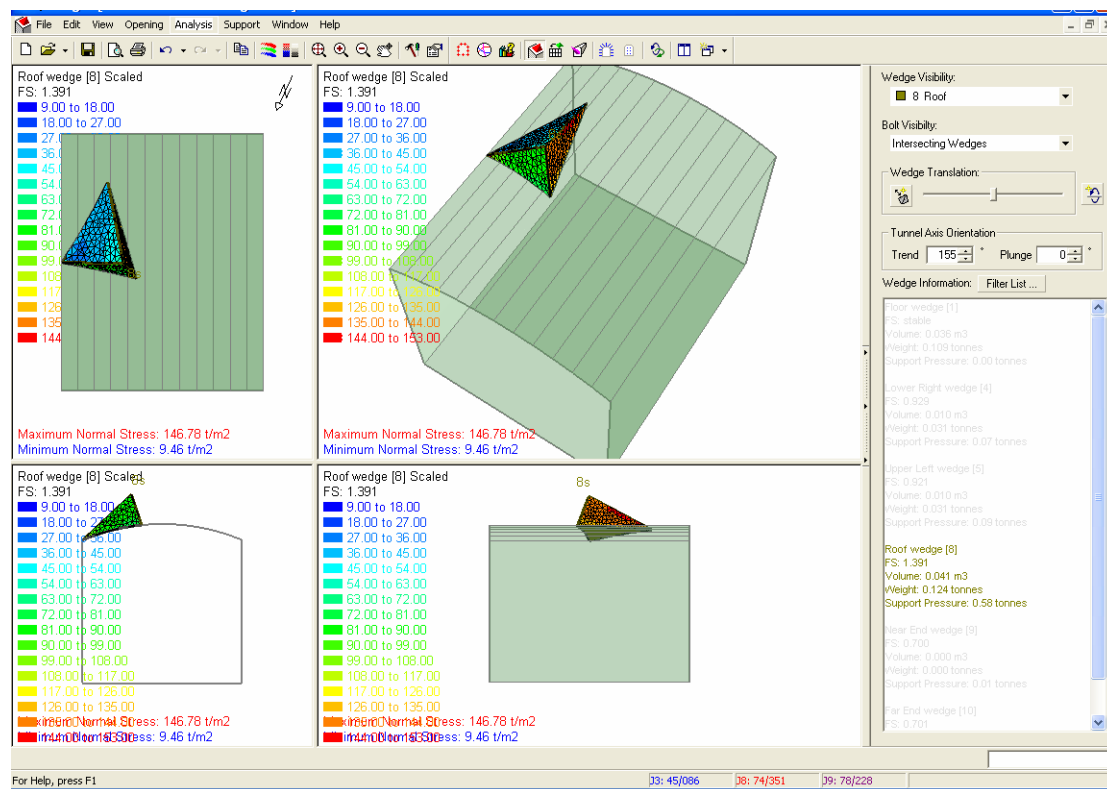
78°/228°

74°/351°

Δεξιά δίδεται η στερεογραφική προβολή όπου προβάλλονται οι ασυνέχειες αυτές.



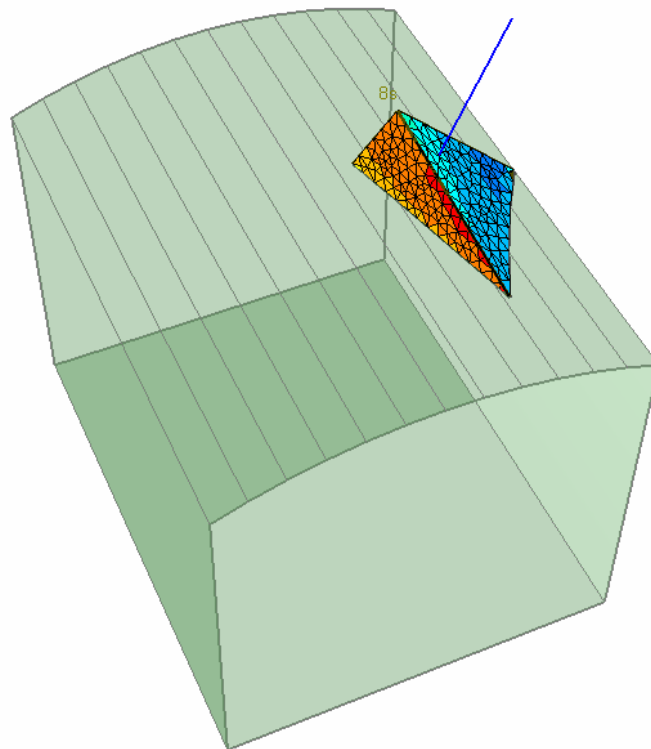
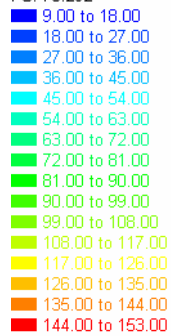
Στην εικόνα 4.10 απεικονίζονται διάφορες απόψεις της σφήνας που δημιουργείται στην οροφή της στοάς, με όγκο 0,041 m³, βάρος 124 kg, απαιτούμενη πίεση υποστήριξης 0,58 ton και συντελεστή ασφαλείας 1,3.



Εικόνα 4.10. Διάφορες απόψεις της σφήνας που δημιουργείται από τον συνδυασμό των ασυνεχειών 45°/086°, 78°/228°, 74°/351°

Στην συνέχεια απεικονίζεται η εφαρμογή αγκυρίου μήκους 1,5m (Εικόνα 4.11). Η εφαρμογή της πίεσης υποστήριξης έχει σαν αποτέλεσμα, ο συντελεστής ασφαλείας να αλλάζει τιμή και από 1,3 το να λαμβάνει την τιμή 73,2.

Roof wedge [8] Scaled
FS: 73.292



Maximum Normal Stress: 146.78 t/m²
Minimum Normal Stress: 9.46 t/m²

Εικόνα 4.11. Εφαρμογή πίεσης υποστήριξης με την τοποθέτηση χαλύβδινου αγκυρίου (μπλε χρώμα) στην σφήνα

4.3.3. Επεξεργασία και ανάλυση ασυνεχειών με το Unwedge 3.0 για τα επιμέρους τμήματα της στοάς

Στο κομμάτι αυτό γίνεται πιο λεπτομερής εκτίμηση των συνδυασμών εστιάζοντας σε κάθε τμήμα της στοάς (10 τμήματα μήκους 10 μέτρων). Με χρήση του λογισμικού Unwedge 3.0 γίνεται εκτίμηση δημιουργίας σφηνών με βάση τις τιμές που προέκυψαν από το πρώτο στάδιο επεξεργασίας που αφορούν τα επιμέρους τμήματα. Με αυτόν τον τρόπο ανάγονται ασφαλέστερα συμπεράσματα για κάθε τμήμα της στοάς και μπορούν να εντοπιστούν τα σημεία όπου υπάρχει μεγάλος κίνδυνος πτώσης οροφής.

Ουσιαστικά γίνεται σύγκριση και επαλήθευση των τιμών των πιθανών κύριων οικογενειών των ασυνεχειών που βρήκαμε για το σύνολο της στοάς με τις τιμές των ασυνεχειών που βρέθηκαν για κάθε τμήμα.

Οι παράμετροι είναι ίδιες, καθώς επικεντρώνεται το ενδιαφέρον σε τμήματα της ίδιας στοάς. Η μόνη παράμετρος που διαφέρει είναι του ειδικού βάρους βραχομάζας που για τα τμήματα μετά τα 70 μέτρα αλλάζει καθώς υπάρχει ένδειξη σμύριδας. Έτσι, για ασφαλέστερα αποτελέσματα το ειδικό βάρος βραχομάζας από $2,7 \text{ ton/m}^3$ γίνεται 3 ton/m^3 .

Παρακάτω δίνονται χαρακτηριστικές περιπτώσεις επικίνδυνων συνδυασμών ασυνεχειών για κάθε τμήμα.

4.3.3.1. Τμήμα 1: 0 – 10 μέτρα

Σε αυτό το πρώτο τμήμα βρέθηκαν αρκετοί επικίνδυνοι συνδυασμοί που προέκυπταν από συγκεκριμένες οικογένειες ασυνεχειών, όπως της οικογένειας $44^{\circ}/288^{\circ}$ και $72^{\circ}/063^{\circ}$. Παρακάτω παρουσιάζονται οι δύο πιο επικίνδυνοι συνδυασμοί με βάση τις διαστάσεις των σφηνών.

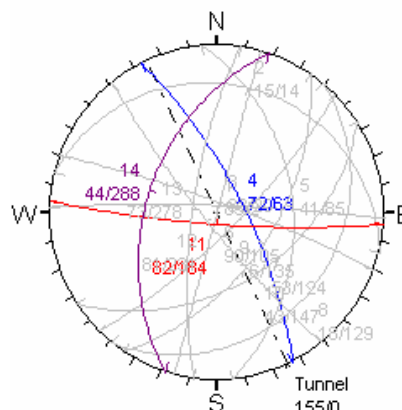
Συνδυασμός 1:

$72^{\circ}/063^{\circ}$

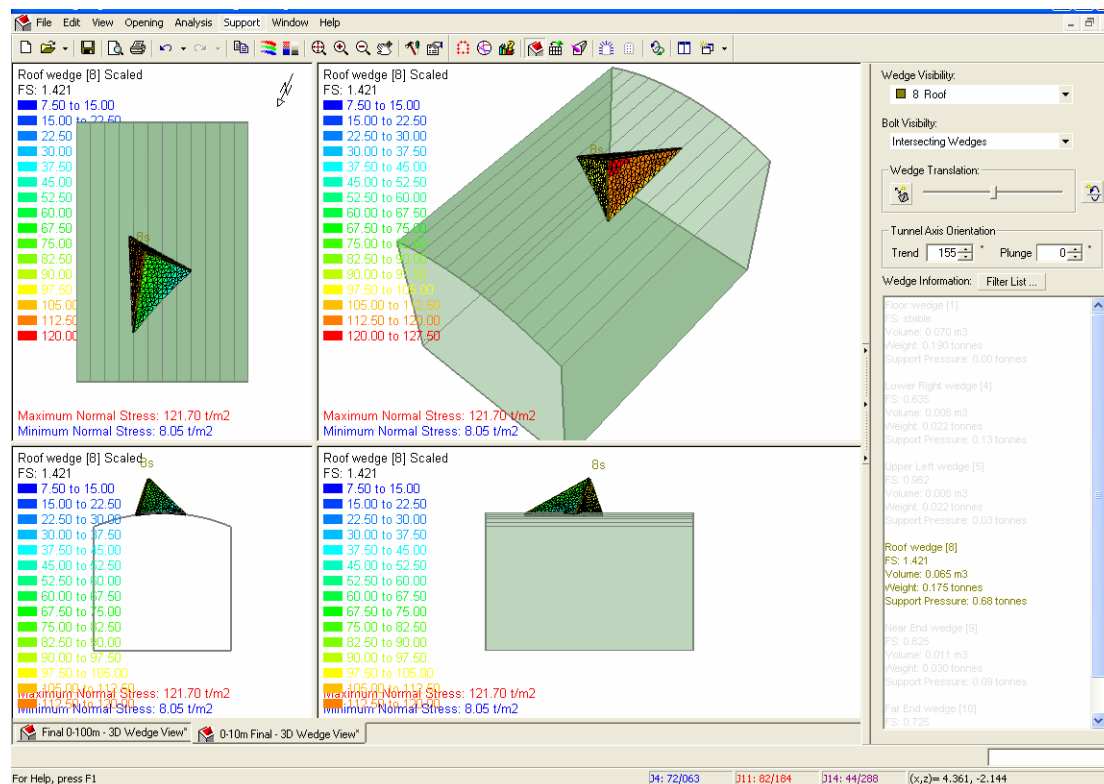
$82^{\circ}/184^{\circ}$

$44^{\circ}/288^{\circ}$

Δεξιά δίδεται η στερεογραφική προβολή όπου προβάλλονται οι ασυνέχειες αυτές.

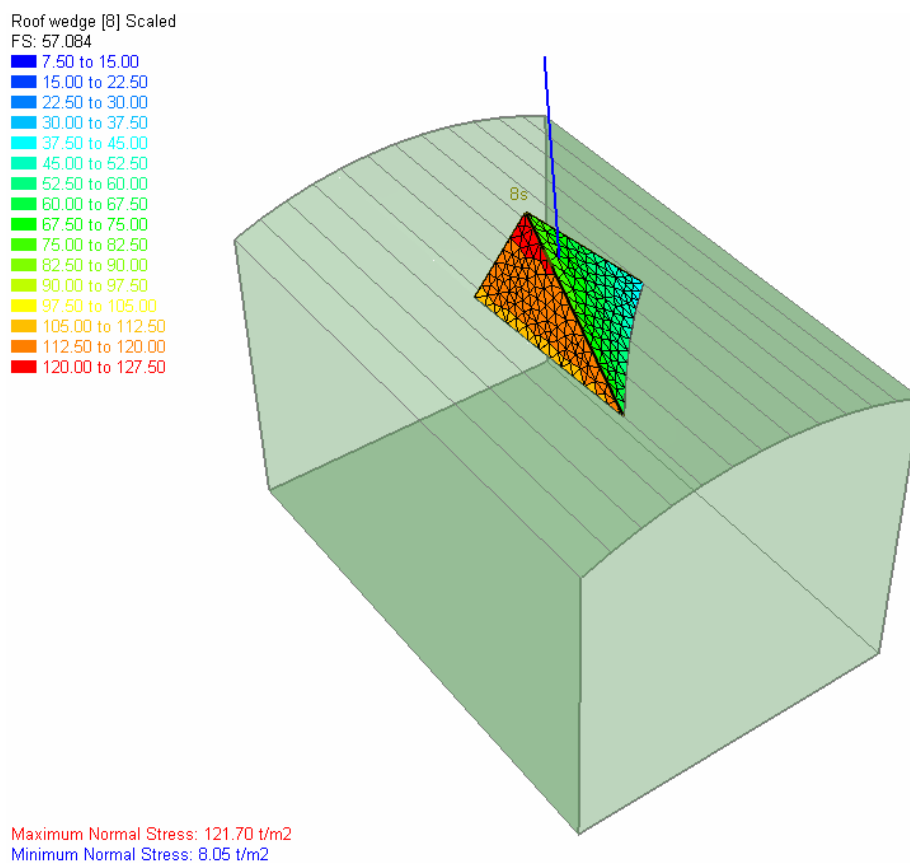


Στην εικόνα 4.12 απεικονίζονται διάφορες απόψεις της σφήνας που δημιουργείται στην οροφή της στοάς, με όγκο $0,065 \text{ m}^3$, βάρος 175 kg , απαιτούμενη πίεση υποστήριξης $0,68 \text{ ton}$ και συντελεστή ασφαλείας $1,4$.



Εικόνα 4.12. Συνδυασμός των ασυνεχειών $72^{\circ}/063^{\circ}$, $82^{\circ}/184^{\circ}$, $44^{\circ}/288^{\circ}$

Στην συνέχεια απεικονίζεται η εφαρμογή αγκυρίου μήκους 1,5m (Εικόνα 4.13). Η εφαρμογή της πίεσης υποστήριξης έχει σαν αποτέλεσμα, ο συντελεστής ασφαλείας να αλλάζει τιμή και από 1,4 το να λαμβάνει την τιμή 57.



Σχήμα 4.13. Εφαρμογή πίεσης υποστήριξης με την τοποθέτηση χαλύβδινου αγκυρίου (μπλε χρώμα) στην σφήνα

Αξιζει να σημειωθεί πως οι οικογένειες που απαρτίζουν αυτόν τον συνδυασμό θα μπορούσαν να βρίσκονται στις κύριες οικογένειες που βρέθηκαν παραπάνω για το σύνολο της στοάς. Πιο συγκεκριμένα:

$$72^{\circ}/063^{\circ} \rightarrow 68^{\circ}/107^{\circ}$$

$$82^{\circ}/184^{\circ} \rightarrow 80^{\circ}/184^{\circ}$$

$$44^{\circ}/288^{\circ} \rightarrow 67^{\circ}/272^{\circ}$$

Η μικρή διαφορά που παρουσιάζουν ενδέχεται να οφείλεται στις επιτόπιες μετρήσεις.

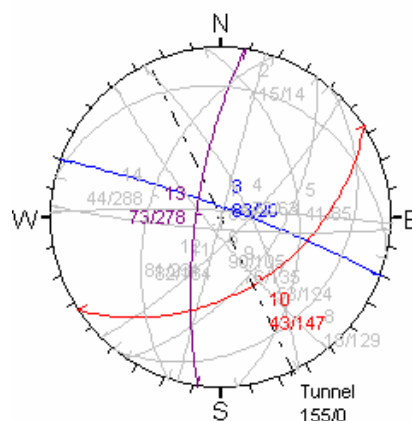
Συνδυασμός 2:

83°/020°

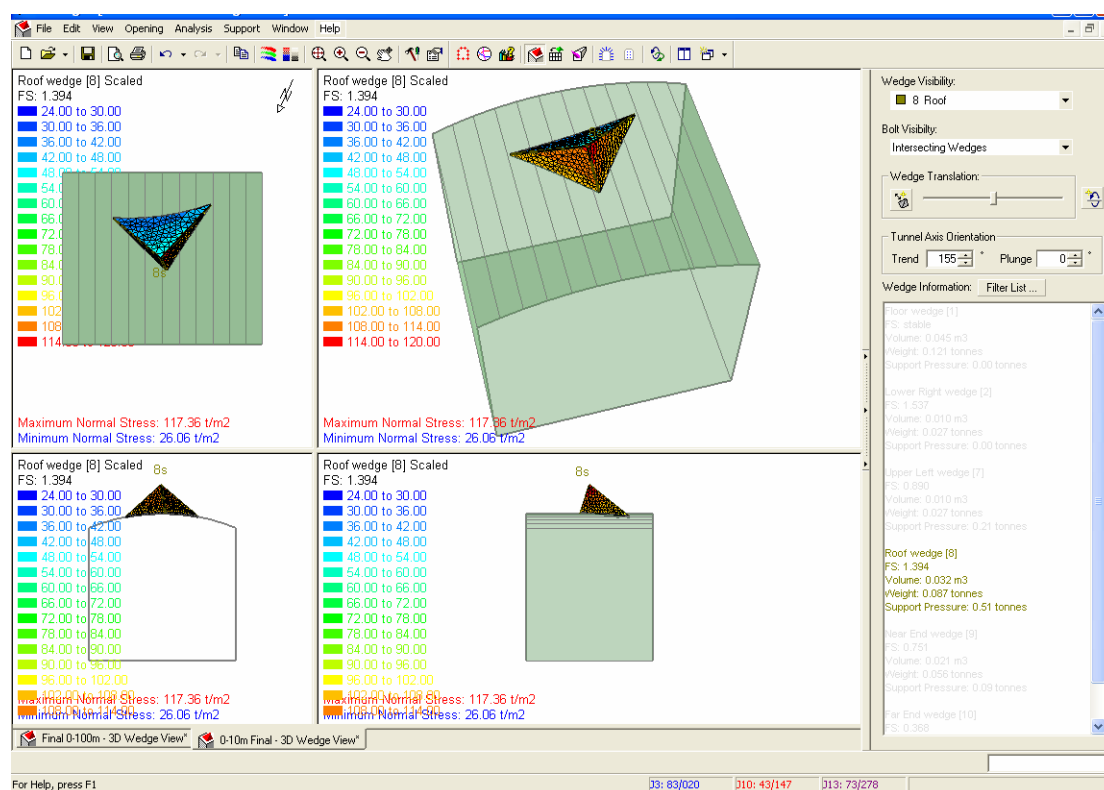
43°/147°

73°/278°

Δεξιά δίδεται η στερεογραφική προβολή όπου προβάλλονται οι ασυνέχειες αυτές.

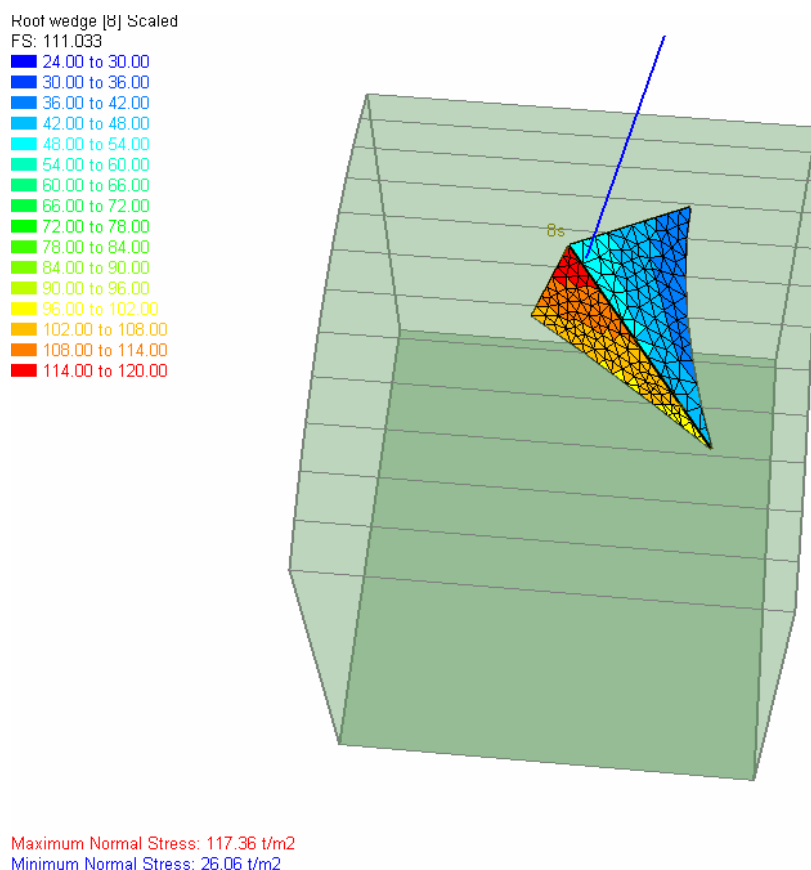


Στην εικόνα 4.14 απεικονίζονται διάφορες απόψεις της σφήνας που δημιουργείται στην οροφή της στοάς, με όγκο 0,032 m³, βάρος 87 kg, απαιτούμενη πίεση υποστήριξης 0,51 ton και συντελεστή ασφαλείας 1,3.



Εικόνα 4.14 Διάφορες απόψεις της σφήνας που δημιουργείται από τον συνδυασμό των ασυνεχειών 83°/020°, 43°/147°, 73°/278°

Στην συνέχεια απεικονίζεται η εφαρμογή αγκυρίου μήκους 1,5m (Εικόνα 4.15). Η εφαρμογή της πίεσης υποστήριξης έχει σαν αποτέλεσμα, ο συντελεστής ασφαλείας να αλλάζει τιμή και από 1,3 το να λαμβάνει την τιμή 111.



Εικόνα 4.15. Εφαρμογή πίεσης υποστήριξης με την τοποθέτηση χαλύβδινου αγκυρίου (μπλε χρώμα) στην σφήνα

Αξιζει να σημειωθεί πως οι οικογένειες που απαρτίζουν αυτόν τον συνδυασμό θα μπορούσαν να βρίσκονται στις κύριες οικογένειες που βρέθηκαν παραπάνω για το σύνολο της στοάς. Πιο συγκεκριμένα:

$$83^{\circ}/020^{\circ} \rightarrow 82^{\circ}/007^{\circ}$$

$$43^{\circ}/147^{\circ} \rightarrow 64^{\circ}/138^{\circ}$$

$$73^{\circ}/278^{\circ} \rightarrow 67^{\circ}/272^{\circ}$$

Η μικρή διαφορά που παρουσιάζουν ενδέχεται να οφείλεται στις επιτόπιες μετρήσεις.

4.3.3.2. Τμήμα 2: 11 –20 μέτρα

Στο δεύτερο κατά σειρά τμήμα δεν υπήρξαν πολλοί επικίνδunami συνδυασμοί. Ωστόσο στο συγκεκριμένο τμήμα βρέθηκε σφήνα οροφής η οποία είχε υποχωρήσει και φαίνεται στις εικόνες 18 και 19. Οι τριάδες των ασυνεχειών που δημιουργούν τις πιο επικίνδυνες σφήνες περιέχουν τις περισσότερες φορές τις εξής οικογένειες ασυνεχειών: 79°/274° και 83°/183°.

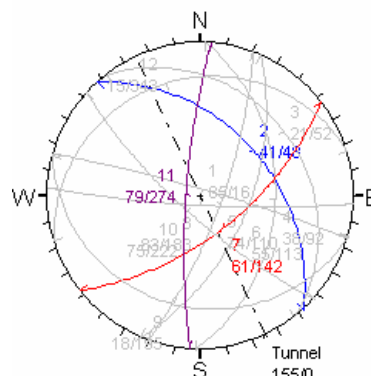
Συνδυασμός:

41°/048°

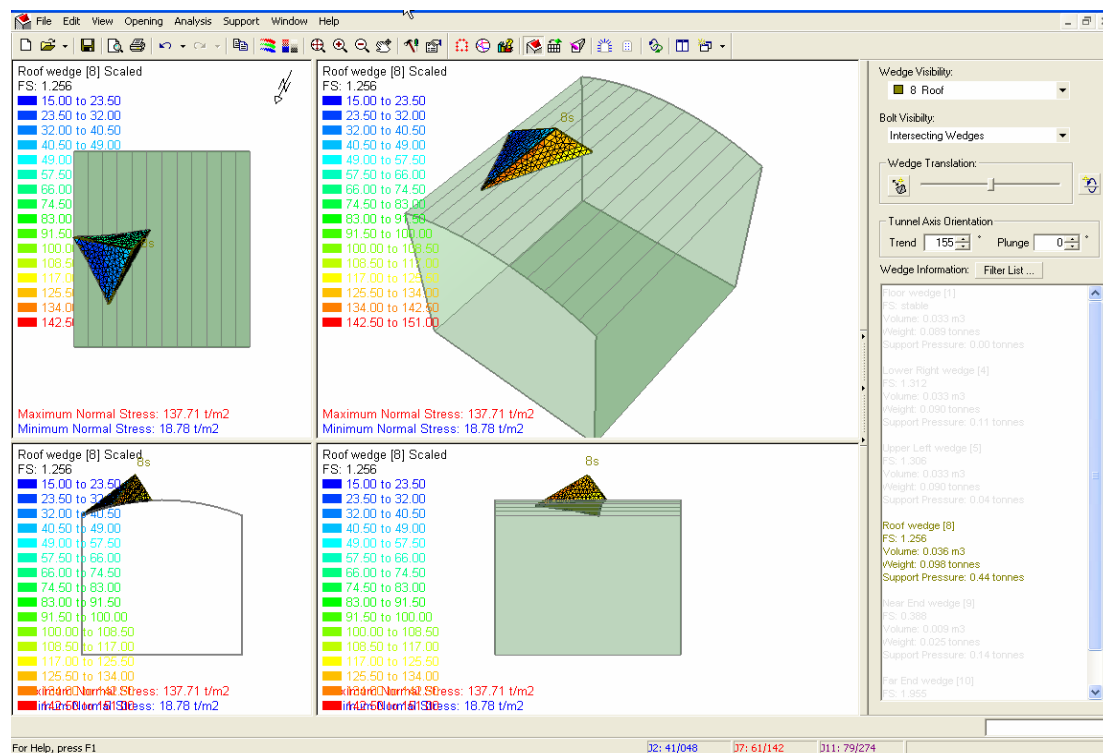
61°/142°

79°/274°

Δεξιά δίδεται η στερεογραφική προβολή όπου προβάλλονται οι ασυνέχειες αυτές.

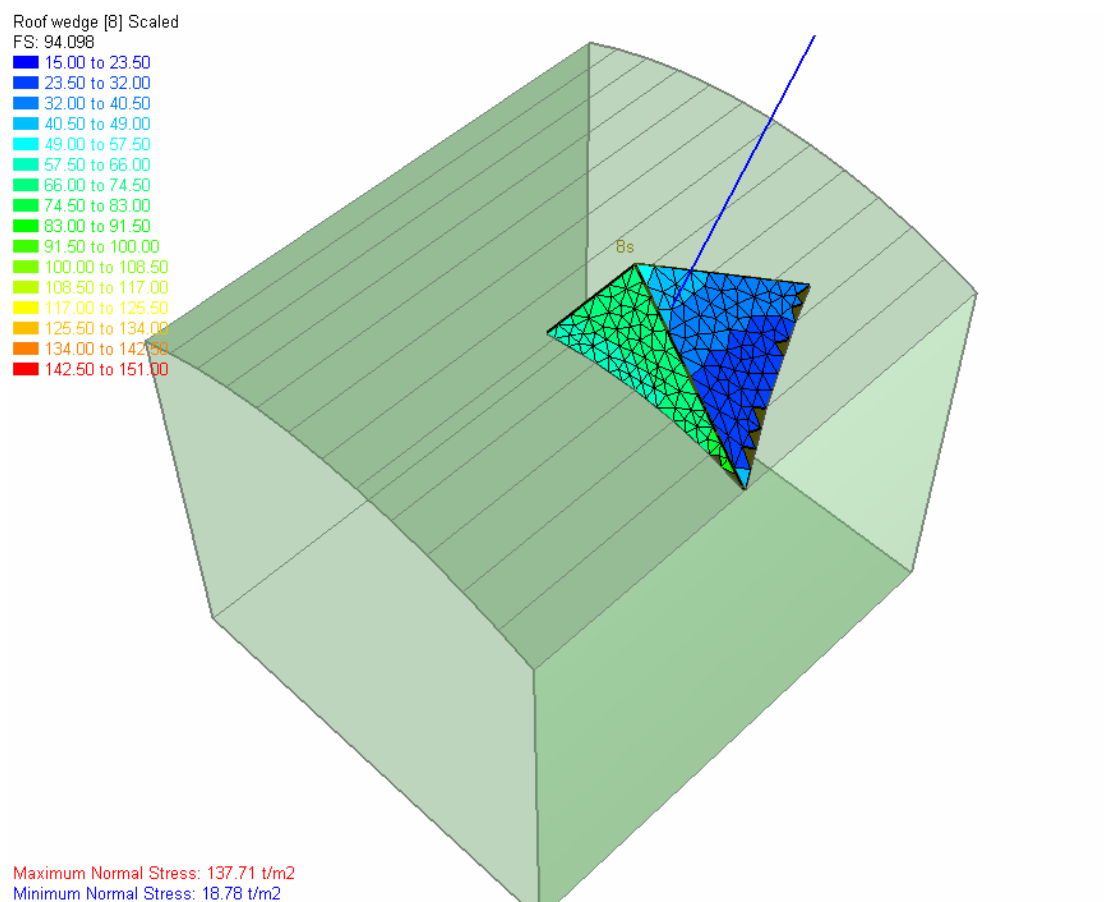


Στην εικόνα 4.16 απεικονίζονται διάφορες απόψεις της σφήνας που δημιουργείται στην οροφή της στοάς, με όγκο 0,036 m³, βάρος 98 kg, απαιτούμενη πίεση υποστήριξης 0,44 ton και συντελεστή ασφαλείας 1,2.



Εικόνα 4.16. Συνδυασμός των ασυνεχειών 41°/048°, 61°/142°, 79°/274°

Στην συνέχεια απεικονίζεται η εφαρμογή αγκυρίου μήκους 1,5m (Εικόνα 4.17). Η εφαρμογή της πίεσης υποστήριξης έχει σαν αποτέλεσμα, ο συντελεστής ασφαλείας να αλλάζει τιμή και από 1,2 το να λαμβάνει την τιμή 111.



Εικόνα 4.17. Εφαρμογή πίεσης υποστήριξης με την τοποθέτηση χαλύβδινου αγκυρίου (μπλε χρώμα) στην σφήνα

Αξίζει να σημειωθεί πως οι οικογένειες που απαρτίζουν αυτόν τον συνδυασμό θα μπορούσαν να βρίσκονται στις κύριες οικογένειες που βρέθηκαν παραπάνω για το σύνολο της στοάς. Πιο συγκεκριμένα:

$$41^{\circ}/048^{\circ} \rightarrow \mathbf{44^{\circ}/048^{\circ}}$$

$$61^{\circ}/142^{\circ} \rightarrow \mathbf{64^{\circ}/138^{\circ}}$$

$$79^{\circ}/274^{\circ} \rightarrow \mathbf{67^{\circ}/272^{\circ}}$$

Η μικρή διαφορά που παρουσιάζουν ενδέχεται να οφείλεται στις επιτόπιες μετρήσεις.



Εικόνα 4.18. Άποψη της σφήνας που υπήρχε στην οροφή της στοάς



Εικόνα 4.19. Άλλη άποψη της σφήνας

4.3.3.3. Τμήμα 3: 21 –30 μέτρα

Σε αυτό το τμήμα της στοάς δεν υπήρξαν πολλοί επικίνδυνοι συνδυασμοί. Αυτό ίσως να οφείλεται σε κακή δειγματοληψία επιτόπιων μετρήσεων. Παρόλο αυτά δίνεται παρακάτω ένας από τους πιο επικίνδυνους συνδυασμούς αυτού του τμήματος.

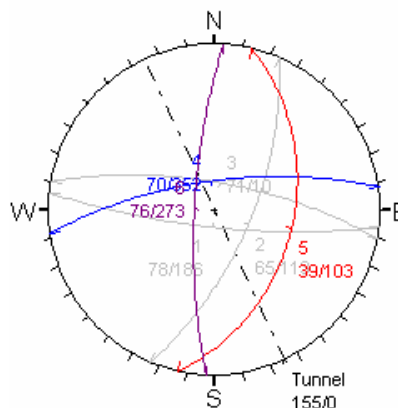
Συνδυασμός:

$39^{\circ}/103^{\circ}$

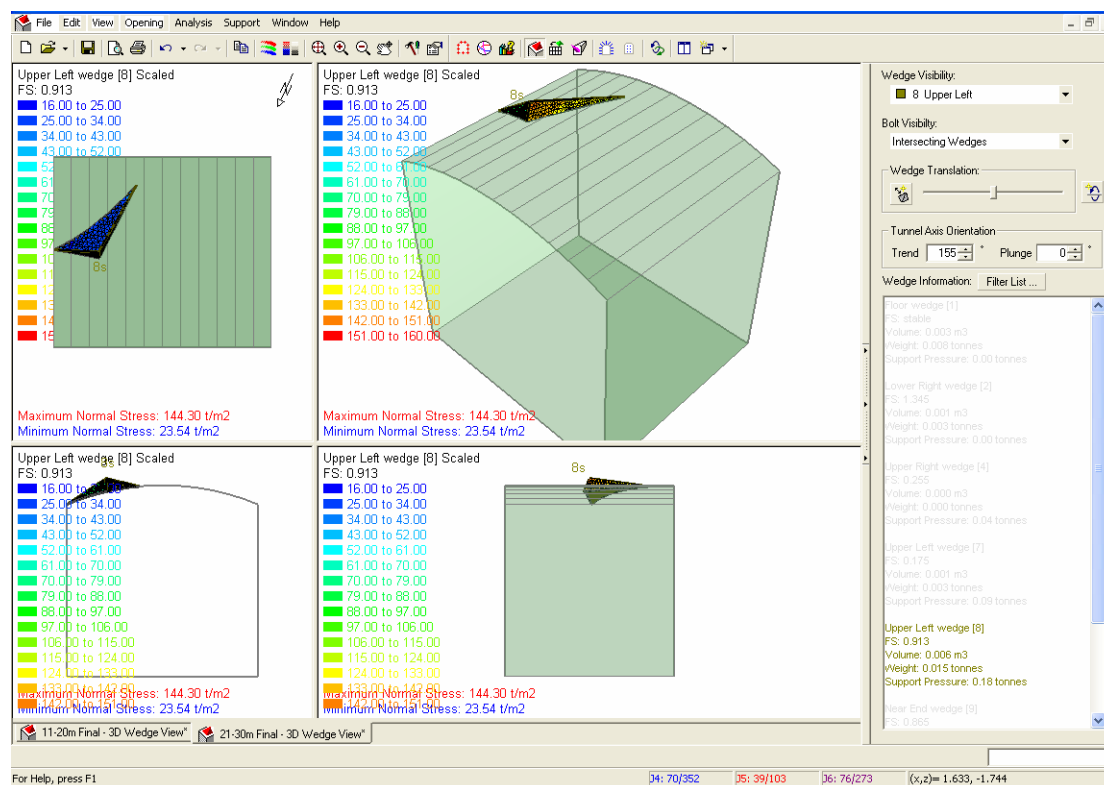
$76^{\circ}/273^{\circ}$

$70^{\circ}/352^{\circ}$

Δεξιά δίδεται η στερεογραφική προβολή όπου προβάλλονται οι ασυνέχειες αυτές.



Στην εικόνα 4.20 απεικονίζονται διάφορες απόψεις της σφήνας που δημιουργείται στην οροφή της στοάς, με όγκο 0,006 m³, βάρος 15 kg, απαιτούμενη πίεση υποστήριξης 0,18 ton και συντελεστή ασφαλείας 0,9.



Εικόνα 4.20. Συνδυασμός των ασυνεχειών $39^{\circ}/103^{\circ}$, $76^{\circ}/273^{\circ}$, $70^{\circ}/352^{\circ}$

4.3.3.4. Τμήμα 4: 31 –40 μέτρα

Στο τμήμα αυτό δεν ήταν δυνατό να αποτυπωθούν πολλές μετρήσεις ασυνεχειών καθώς υπήρχε ένας τοίχος αντιστήριξης (Εικόνα 4.21). Ακριβώς πάνω από τον τοίχο αντιστήριξης υπάρχει ένδειξη παλαιότερης σφήνας η οποία έχει υποχωρήσει.



Εικόνα 4.21. Λιθόκτιστος τοίχος αντιστήριξης. Στην οροφή διακρίνεται ύπαρξη παλαιότερης σφήνας.

Από τις μετρήσεις για το συγκεκριμένο τμήμα προκύπτει ένας επικίνδυνος συνδυασμός ο οποίος ωστόσο δεν φαίνεται να ταιριάζει απόλυτα με τις διαστάσεις της σφήνας. Βέβαια, οι οικογένειες που αφορούν το συνδυασμό αυτό θα μπορούσαν να είναι μέρος άλλων κύριων οικογενειών όπως αυτές που αναφέρθηκαν παραπάνω (βλ. 3.2. Εκτίμηση δημιουργίας σφηνών).

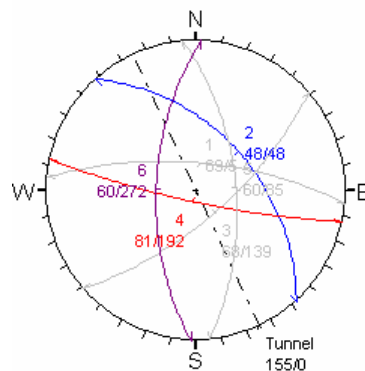
Συνδυασμός

$40^{\circ}/048^{\circ}$

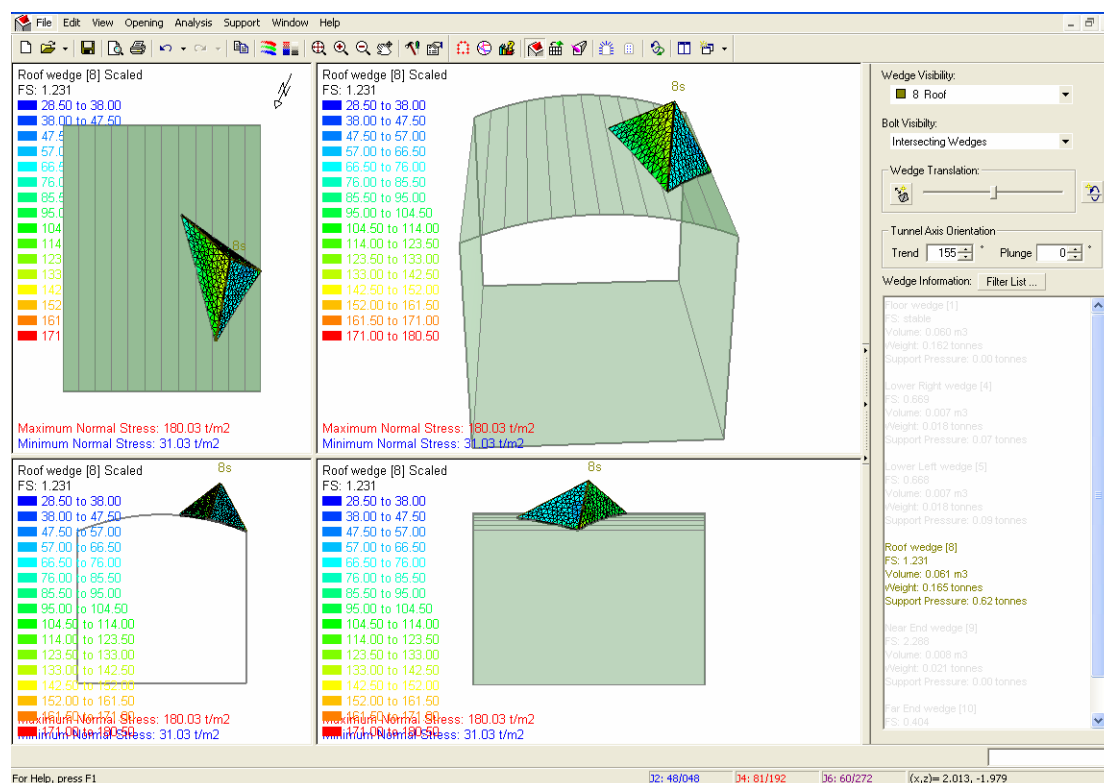
$81^{\circ}/192^{\circ}$

$60^{\circ}/272^{\circ}$

Δεξιά δίδεται η στερεογραφική προβολή όπου προβάλλονται οι ασυνέχειες αυτές.



Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 4.22) απεικονίζονται διάφορες απόψεις της σφήνας που δημιουργείται στην οροφή της στοάς, με όγκο $0,061 \text{ m}^3$, βάρος 165 kg , απαιτούμενη πίεση υποστήριξης $0,62 \text{ ton}$ και συντελεστή ασφαλείας $1,2$.



Εικόνα 4.22. Συνδυασμός των ασυνεχειών $40^{\circ}/048^{\circ}$, $81^{\circ}/192^{\circ}$, $60^{\circ}/272^{\circ}$

4.3.3.5. Τμήμα 5: 41 -50 μέτρα

Στο πέμπτο κατά σειρά τμήμα της στοάς μελέτης υπήρχαν ενδιαφέρουσα αποτελέσματα που συνήθως προέκυπταν από συνδυασμό δυο οικογενειών με κάποια τρίτη. Μεγάλη συχνότητα στην εμφάνιση επικίνδυνων συνδυασμών είχαν οι οικογένειες με τιμές $50^{\circ}/042^{\circ}$ και $54^{\circ}/263^{\circ}$. Επίσης, και στο τμήμα αυτό υπήρχε τοίχος αντιστήριξης 15 μέτρα μετά τον τοίχο αντιστήριξης που συναντήσαμε στο προηγούμενο τμήμα (Εικόνα 4.23).



Εικόνα 4.23. Τοίχος αντιστήριξης

Παρακάτω παρουσιάζεται ο πιο επικίνδυνος συνδυασμός όπως αυτός προκύπτει με βάση τις διαστάσεις τις σφήνας και του συντελεστή ασφαλείας. Αξιίζει να σημειωθεί πως και αυτός ο συνδυασμός μοιάζει πολύ με τον συνδυασμό που προέκυψε στο προηγούμενο τμήμα όπου υπήρξε πτώση σφήνας.

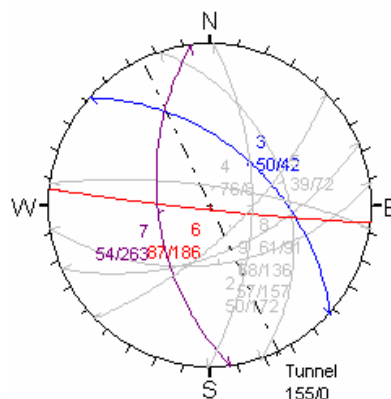
Συνδυασμός

50°/042°

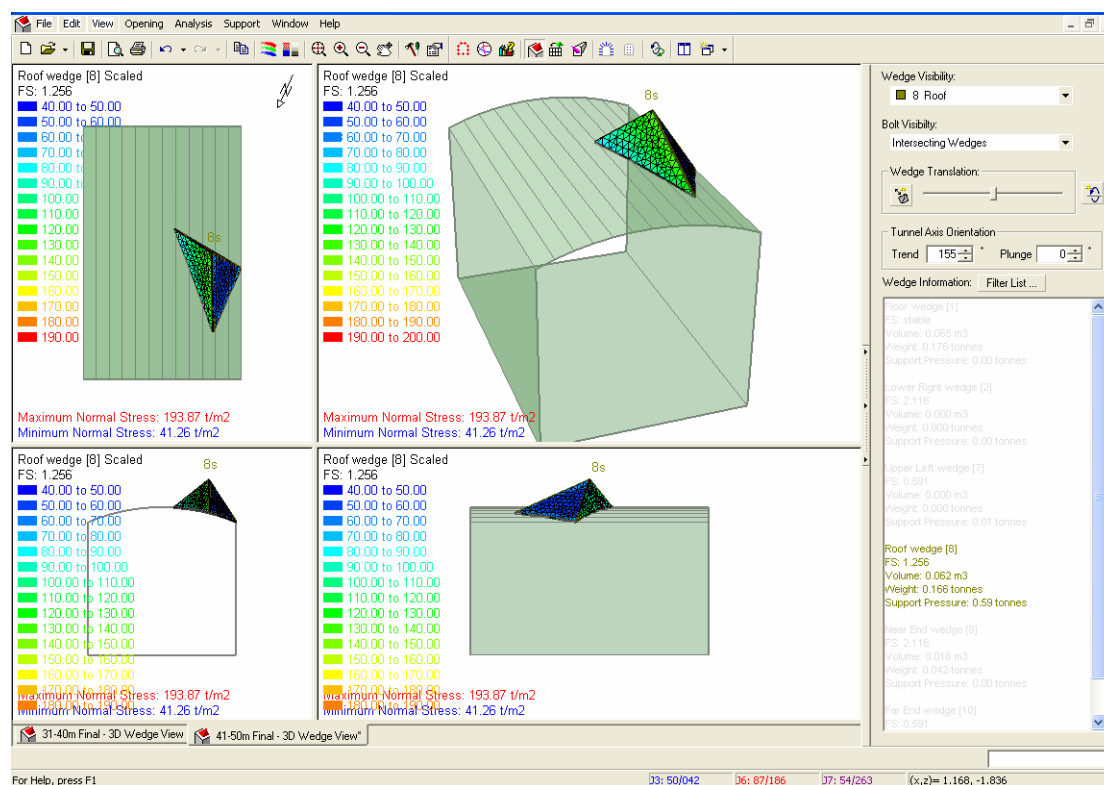
87°/186°

54°/263°

Δεξιά δίδεται η στερεογραφική προβολή όπου προβάλλονται οι ασυνέχειες αυτές.

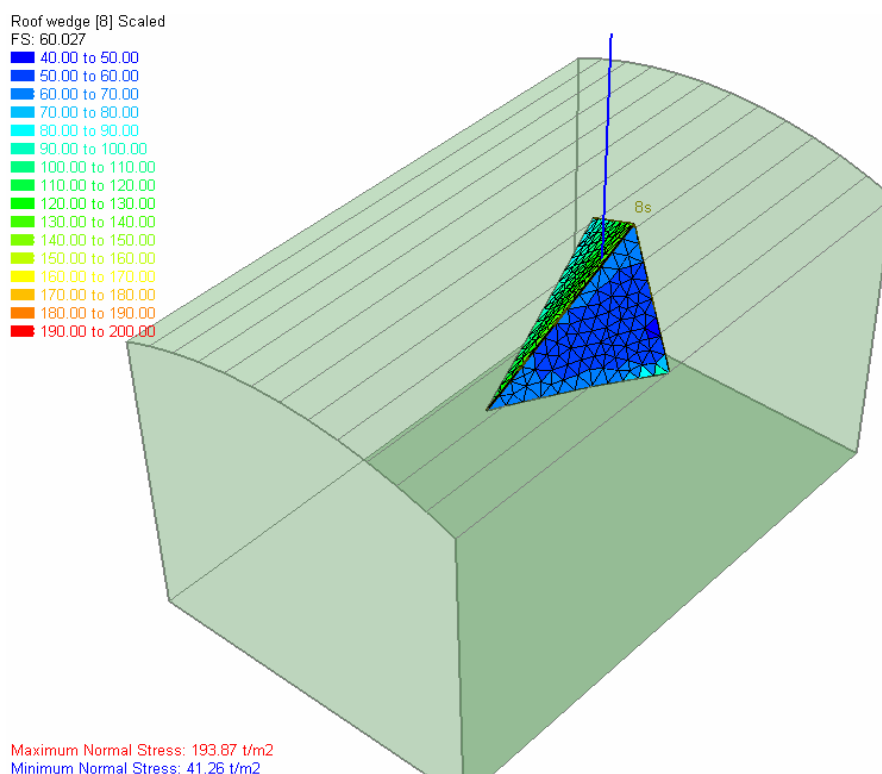


Στην εικόνα 4.24 απεικονίζονται διάφορες απόψεις της σφήνας που δημιουργείται στην οροφή της στοάς, με όγκο 0,062 m³, βάρος 166 kg, απαιτούμενη πίεση υποστήριξης 0,59 ton και συντελεστή ασφαλείας 1,2.



Εικόνα 4.24. Διάφορες απόψεις της σφήνας που δημιουργείται από τον συνδυασμό των ασυνεχειών 50°/042°, 87°/186°, 54°/263°

Στην συνέχεια απεικονίζεται η εφαρμογή αγκυρίου μήκους 1,5m (Εικ. 4.25). Η εφαρμογή της πίεσης υποστήριξης έχει σαν αποτέλεσμα, ο συντελεστής ασφαλείας να αλλάζει τιμή και από 1,2 το να λαμβάνει την τιμή 60.



Εικόνα 4.25. Εφαρμογή πίεσης υποστήριξης με την τοποθέτηση χαλύβδινου αγκυρίου (μπλε χρώμα) στην σφήνα



Εικόνα 4.26. Άποψη της σφήνας που βρίσκεται πάνω από τον τοίχο αντιστήριξης

4.3.3.6. Τμήμα 6: 51 –60 μέτρα

Στο μεγαλύτερο μέρος του τμήματος υπήρχε τοίχος αντιστήριξης (Εικ. 4.27) οπότε οι μετρήσεις ήταν περιορισμένες.



Εικόνα 4.27. Τοίχος αντιστήριξης εκατέρωθεν της στοάς



Από την ανάλυση των μετρήσεων στο πρόγραμμα δεν εμφανίστηκαν ενδιαφέρουσα αποτελέσματα ωστόσο πρέπει να υπήρξε παλιότερα πτώση σφήνας. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται από την ύπαρξη υποστήριξης οροφής με μεταλλικές ράγες (Εικόνα 4.28).

(Αριστερά: Εικόνα 4.28. Άποψη της υποστήριξης οροφής με μεταλλικές ράγες)

4.3.3.7. Τμήμα 7: 61 –70 μέτρα

Σε αυτό το τμήμα βρέθηκαν αρκετοί επικίνδυνοι συνδυασμοί που προέκυπταν από συγκεκριμένες οικογένειες ασυνεχειών, όπως της οικογένειας $64^{\circ}/270^{\circ}$ και $76^{\circ}/354^{\circ}$. Παρακάτω παρουσιάζονται οι δύο πιο επικίνδυνοι συνδυασμοί με βάση τις διαστάσεις των σφηνών.

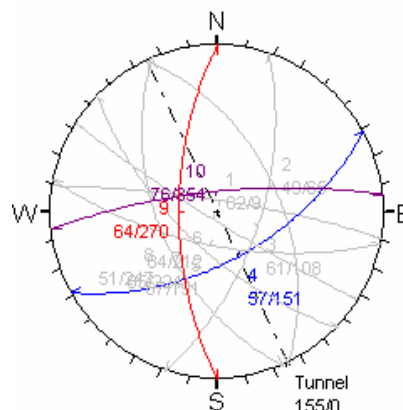
Συνδυασμός 1

$57^{\circ}/151^{\circ}$

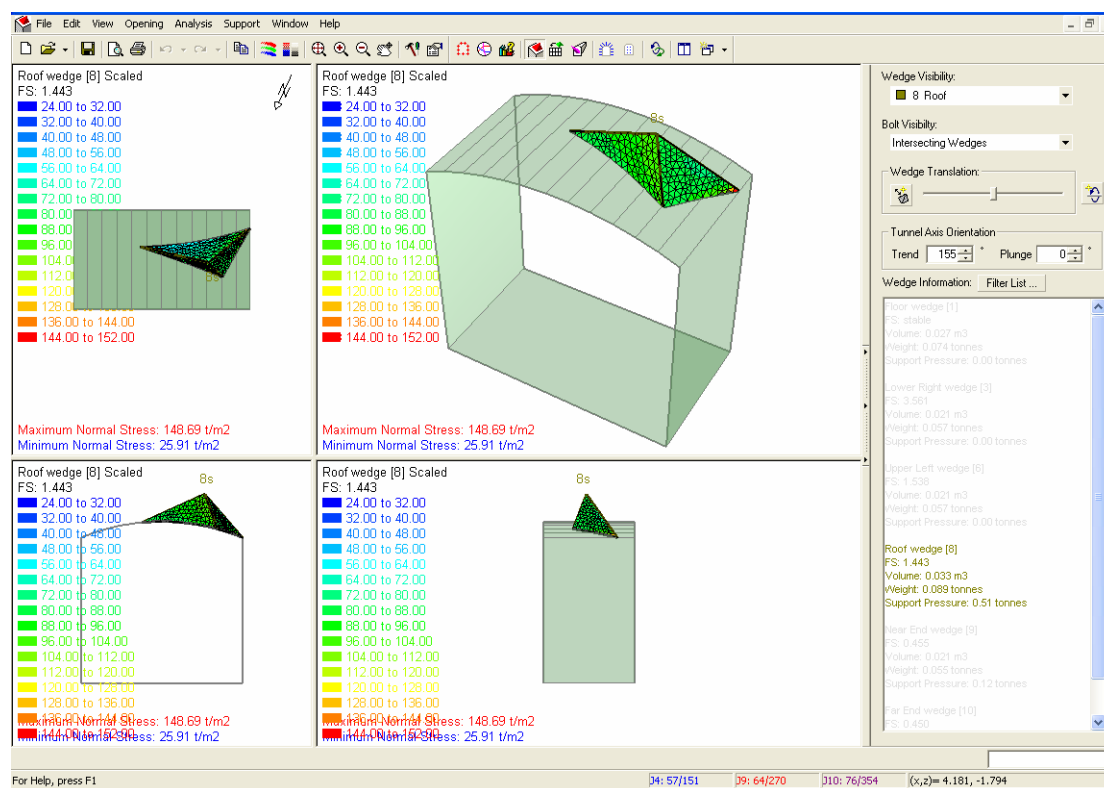
$64^{\circ}/270^{\circ}$

$76^{\circ}/354^{\circ}$

Δεξιά δίδεται η στερεογραφική προβολή όπου προβάλλονται οι ασυνέχειες αυτές.



Στην εικόνα 4.29 απεικονίζονται διάφορες απόψεις της σφήνας που δημιουργείται στην οροφή της στοάς, με όγκο $0,033 \text{ m}^3$, βάρος 89 kg , απαιτούμενη πίεση υποστήριξης $0,51 \text{ ton}$ και συντελεστή ασφαλείας $1,4$.

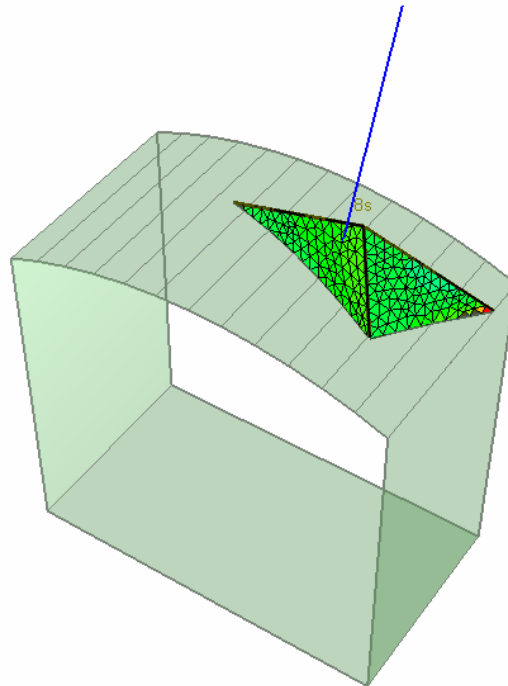


Εικόνα 4.29. Συνδυασμός των ασυνεχειών $57^{\circ}/151^{\circ}$, $64^{\circ}/270^{\circ}$, $76^{\circ}/354^{\circ}$

Στην συνέχεια απεικονίζεται η εφαρμογή αγκυρίου μήκους 1,5m (Εικ. 4.30). Η εφαρμογή της πίεσης υποστήριξης έχει σαν αποτέλεσμα, ο συντελεστής ασφαλείας να αλλάξει τιμή και από 1,4 το να λαμβάνει την τιμή 109,2.

Roof wedge [8] Scaled
FS: 109.259

24.00 to 32.00
32.00 to 40.00
40.00 to 48.00
48.00 to 56.00
56.00 to 64.00
64.00 to 72.00
72.00 to 80.00
80.00 to 88.00
88.00 to 96.00
96.00 to 104.00
104.00 to 112.00
112.00 to 120.00
120.00 to 128.00
128.00 to 136.00
136.00 to 144.00
144.00 to 152.00



Maximum Normal Stress: 148.69 t/m²

Minimum Normal Stress: 25.91 t/m²

Εικόνα 4.30. Εφαρμογή πίεσης υποστήριξης με την τοποθέτηση χαλύβδινου αγκυρίου (μπλε χρώμα) στην σφήνα

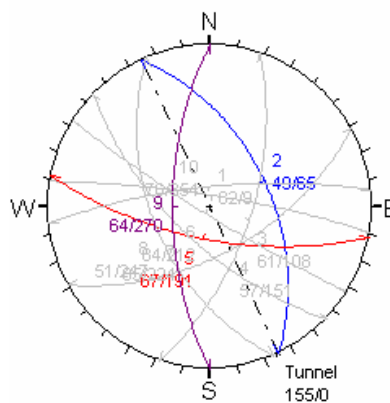
Συνδυασμός 2

49°/065°

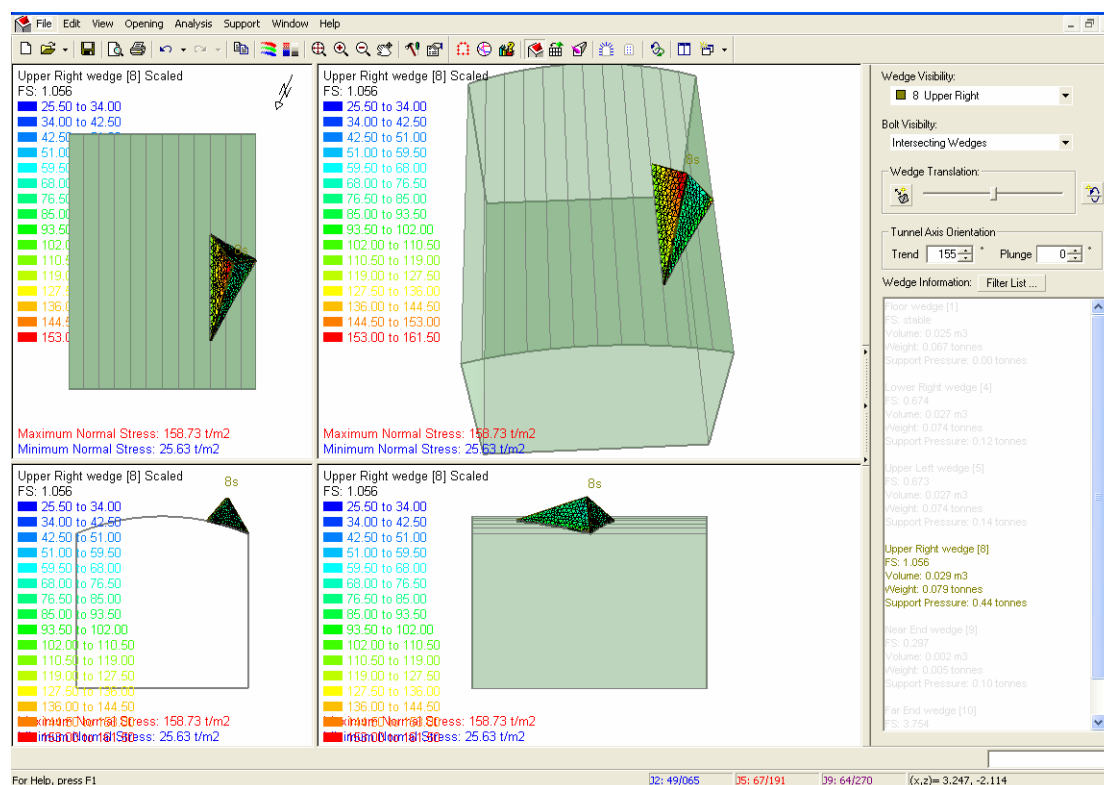
67°/191°

64°/270°

Δεξιά δίδεται η στερεογραφική προβολή όπου προβάλλονται οι ασυνέχειες αυτές.



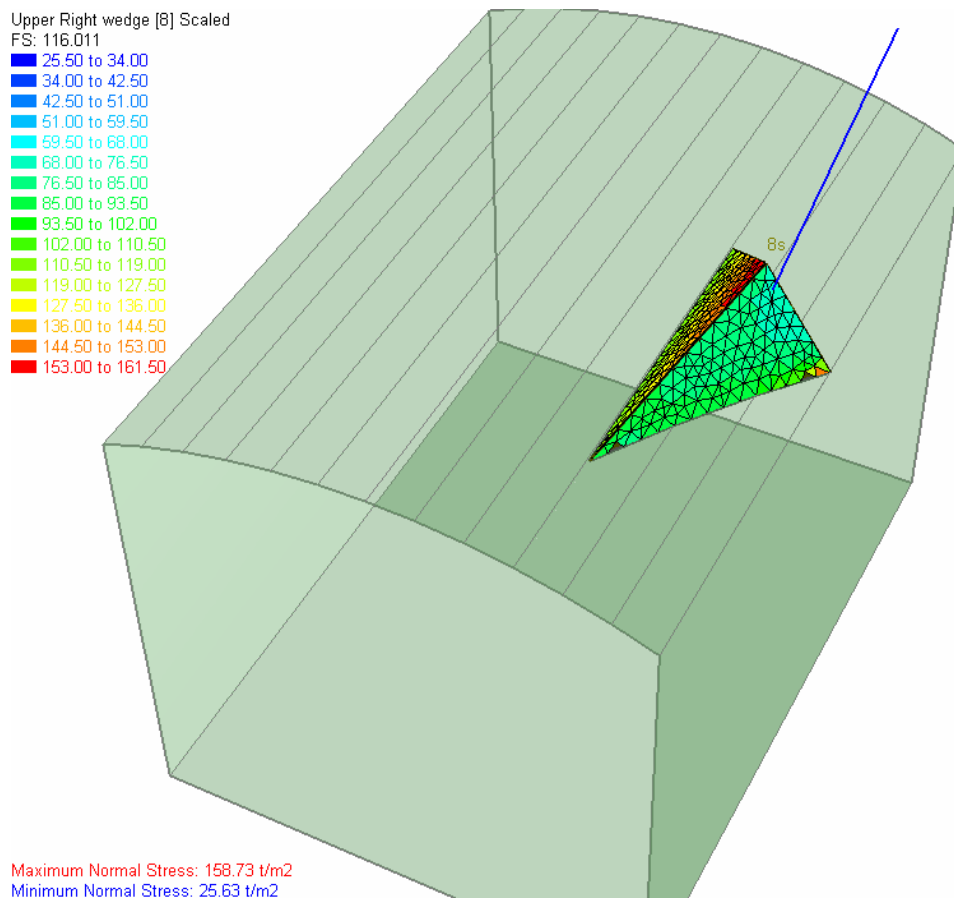
Στην εικόνα 4.31 απεικονίζονται διάφορες απόψεις της σφήνας που δημιουργείται στην οροφή της στοάς, με όγκο 0,029 m³, βάρος 79 kg, απαιτούμενη πίεση υποστήριξης 0,44 ton και συντελεστή ασφαλείας 1.



Εικόνα 4.31. Συνδυασμός των ασυνεχειών 49°/065°, 67°/191°, 64°/270°

Στην συνέχεια απεικονίζεται η εφαρμογή αγκυρίου μήκους 1,5m (Εικόνα 4.32). Η εφαρμογή της πίεσης υποστήριξης έχει σαν αποτέλεσμα, ο

συντελεστής ασφαλείας να αλλάζει τιμή και από 1 το να λαμβάνει την τιμή 116.



Εικόνα 32. Εφαρμογή πίεσης υποστήριξης με την τοποθέτηση χαλύβδινου αγκυρίου (μπλε χρώμα) στην σφήνα

Αξιζει να σημειωθεί πως οι οικογένειες που απαρτίζουν αυτόν τον συνδυασμό θα μπορούσαν να βρίσκονται στις κύριες οικογένειες που βρήκαμε παραπάνω για το σύνολο της στοάς. Πιο συγκεκριμένα:

Συνδυασμός 1	Συνδυασμός 2
57°/151° → 64°/138°	49°/065° → 44°/048°
64°/270° → 67°/272°	67°/191° → 64°/138°
76°/354° → 74°/351°	64°/270° → 67°/272°

Η μικρή διαφορά που παρουσιάζουν ενδέχεται να οφείλεται στις επιτόπιες μετρήσεις.

4.3.3.8. Τμήμα 8: 71 –80 μέτρα

Στο τμήμα αυτό έγινε και η πρώτη εμφάνιση της σμύριδας. Οι επικίνδυνοι συνδυασμοί ήταν αρκετοί. Στους περισσότερους συνδυασμούς υπήρχαν οι οικογένειες ασυνεχειών με τιμές $38^\circ/233^\circ$ και $84^\circ/353^\circ$. Παρακάτω παρουσιάζεται ένας από αυτούς.

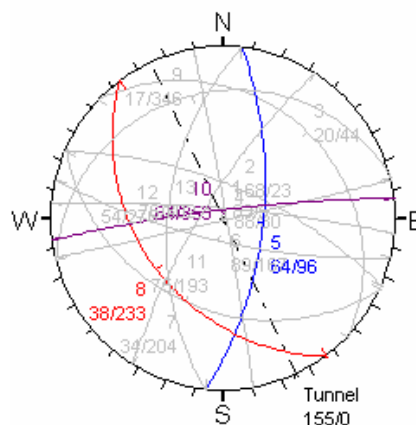
Συνδυασμός 1

$64^\circ/094^\circ$

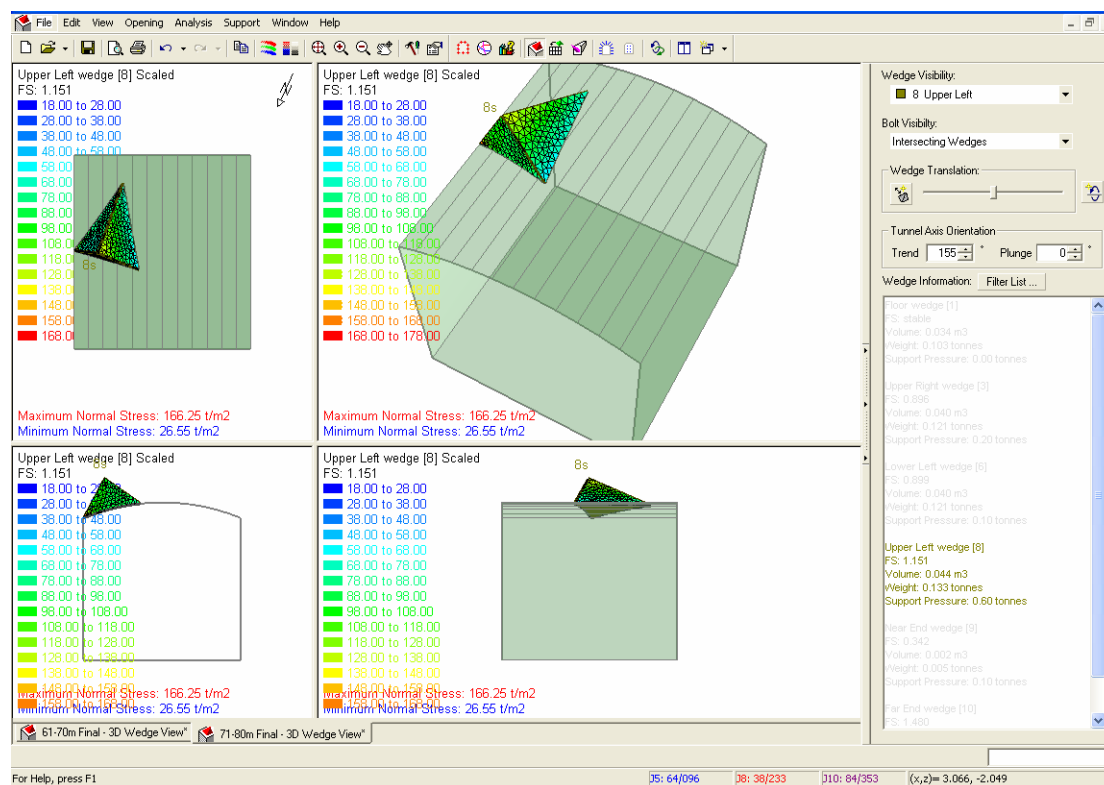
$38^\circ/233^\circ$

$84^\circ/353^\circ$

Δεξιά δίδεται η στερεογραφική προβολή όπου προβάλλονται οι ασυνέχειες αυτές.

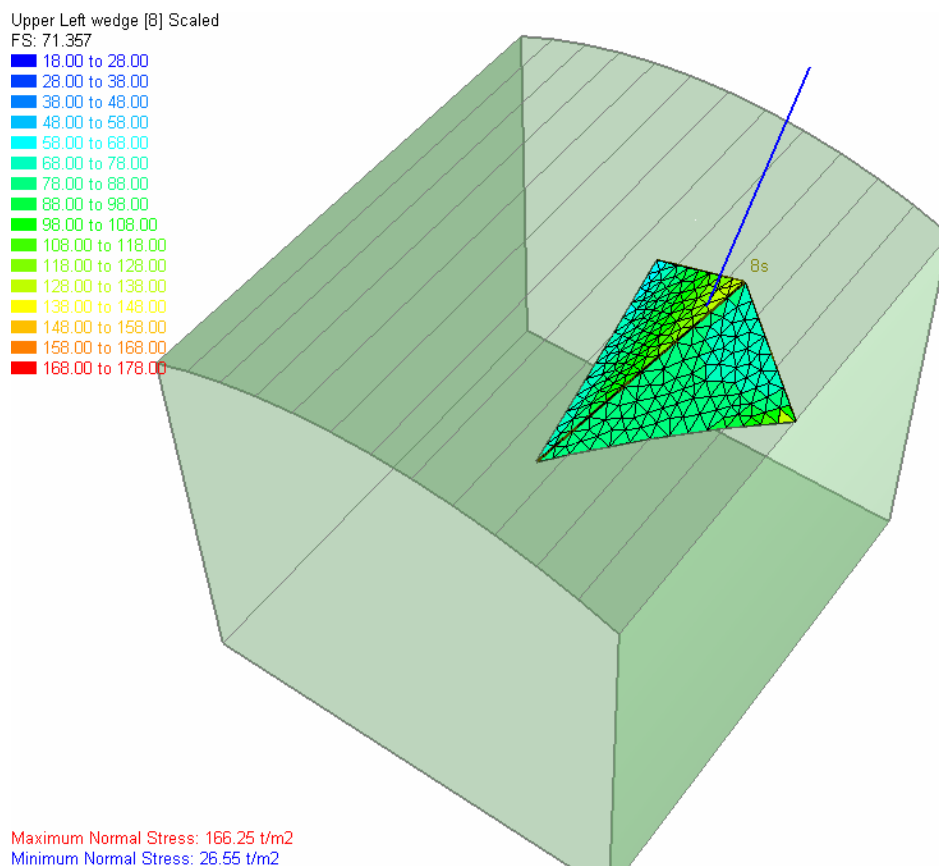


Στην εικόνα 4.33 απεικονίζονται διάφορες απόψεις της σφήνας που δημιουργείται στην οροφή της στοάς, με όγκο $0,044 \text{ m}^3$, βάρος 133 kg , απαιτούμενη πίεση υποστήριξης $0,60 \text{ ton}$ και συντελεστή ασφαλείας $1,1$.

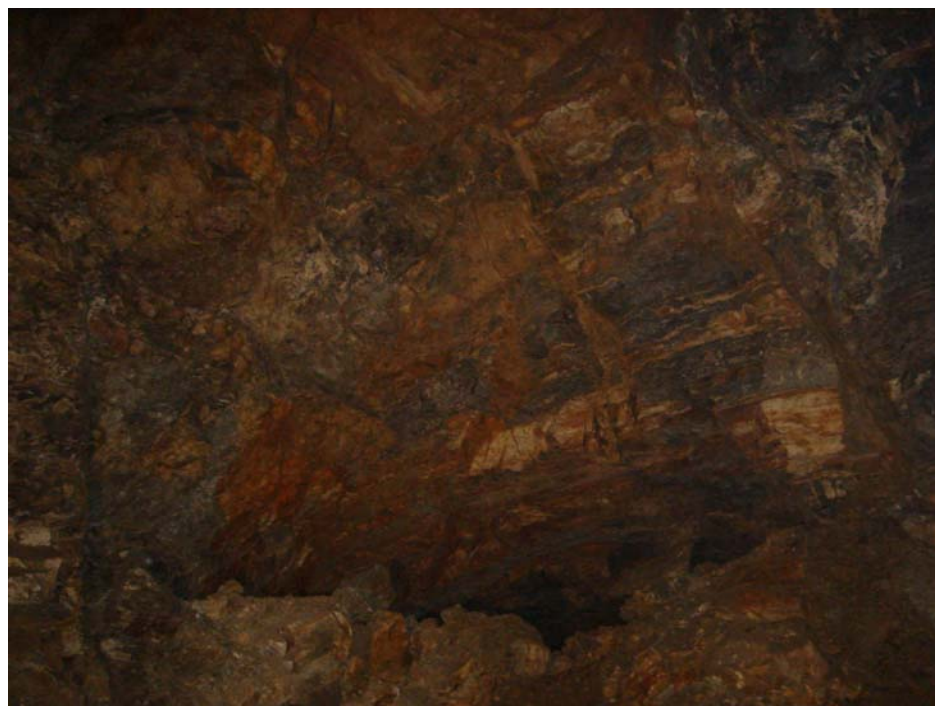


Εικόνα 4.33. Συνδυασμός των ασυνεχειών $64^\circ/094^\circ$, $38^\circ/233^\circ$, $84^\circ/353^\circ$

Στην συνέχεια απεικονίζεται η εφαρμογή αγκυρίου μήκους 1,5m (Εικ. 4.34). Η εφαρμογή της πίεσης υποστήριξης έχει σαν αποτέλεσμα, ο συντελεστής ασφαλείας να αλλάζει τιμή και από 1,1 το να λαμβάνει την τιμή 71,3.



Εικόνα 4.34. Εφαρμογή πίεσης υποστήριξης με την τοποθέτηση χαλύβδινου αγκυρίου (μπλε χρώμα) στην σφήνα



Εικόνα 4.35.
Διακρίνεται
σφήνα η οποία
εμφανίστηκε στο
συγκεκριμένο
τμήμα της στοάς

4.3.3.9. Τμήμα 9: 81 –90 μέτρα

Στο τμήμα αυτό δεν υπήρχαν πολλοί επικίνδunami συνδυασμοί. Από τους συνδυασμούς που προέκυψαν ο πιο επικίνδυνος δίνεται παρακάτω.

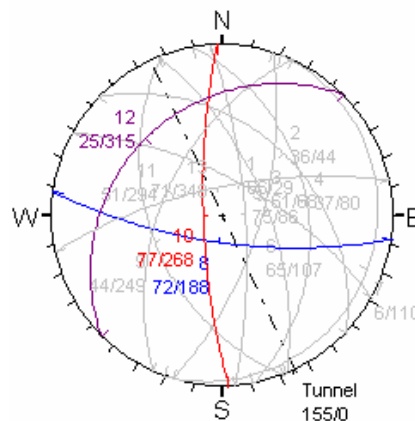
Συνδυασμός

72°/188°

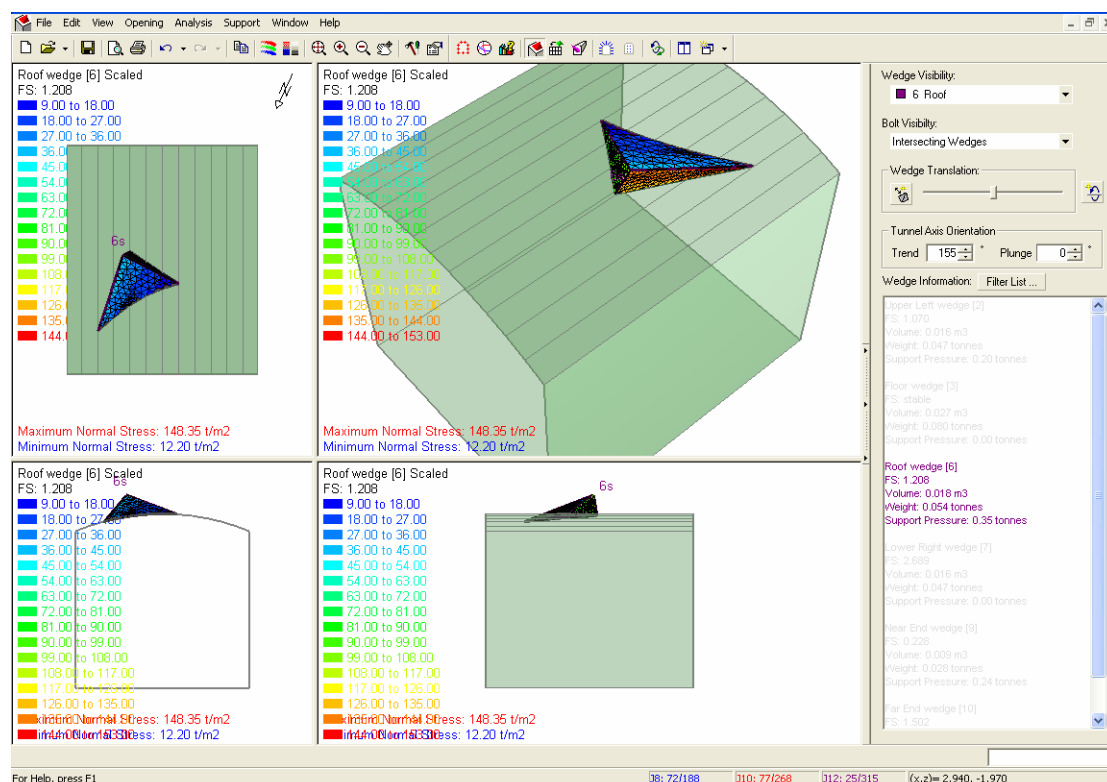
77°/268°

25°/315°

Δεξιά δίδεται η στερεογραφική προβολή όπου προβάλλονται οι ασυνέχειες αυτές.

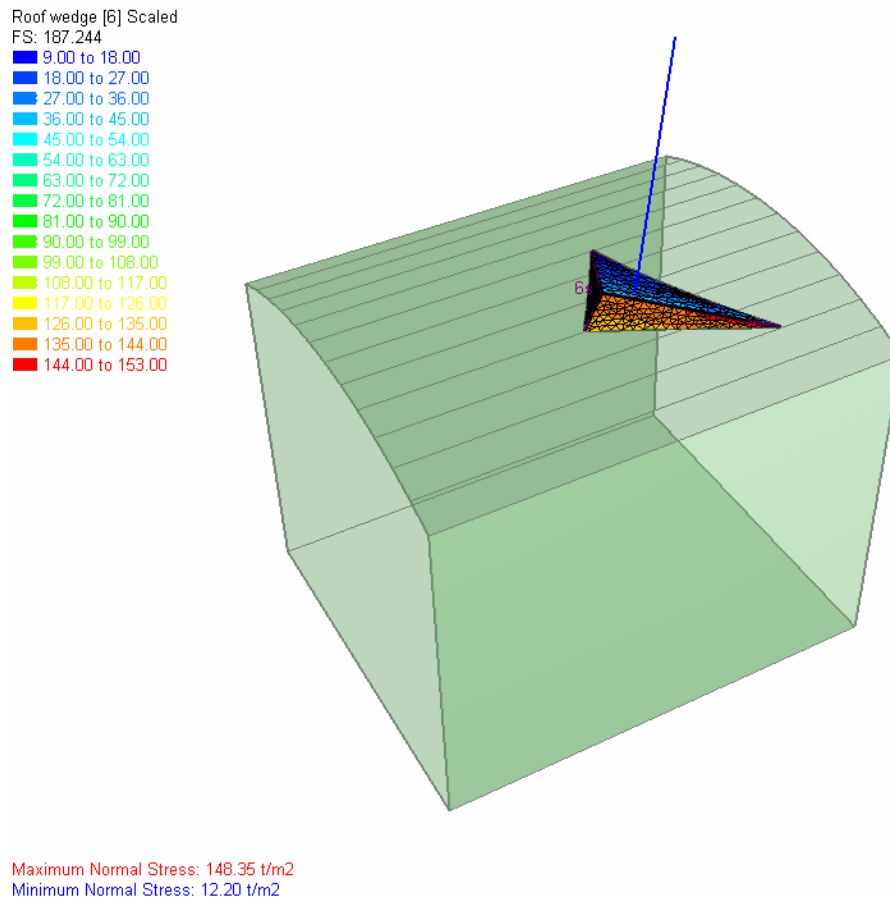


Στην εικόνα 4.36 απεικονίζονται διάφορες απόψεις της σφήνας που δημιουργείται στην οροφή της στοάς, με όγκο 0,018 m³, βάρος 54 kg, απαιτούμενη πίεση υποστήριξης 0,35 ton και συντελεστή ασφαλείας 1,2.



Εικόνα 4.36. Συνδυασμός των ασυνεχειών 72°/188°, 77°/268°, 25°/315°.

Στην συνέχεια απεικονίζεται η εφαρμογή αγκυρίου μήκους 1,5m (Εικόνα 4.37). Η εφαρμογή της πίεσης υποστήριξης έχει σαν αποτέλεσμα, ο συντελεστής ασφαλείας να αλλάζει τιμή και από 1,2 το να λαμβάνει την τιμή 71,3.



Εικόνα 4.37. Εφαρμογή πίεσης υποστήριξης με την τοποθέτηση χαλύβδινου αγκυρίου (μπλε χρώμα) στην σφήνα

4.3.3.10. Τμήμα 10: 91 –100 μέτρα

Στο τελευταίο τμήμα της στοάς μελέτης δεν παρουσιάστηκαν ιδιαίτερα επικίνδυνοι συνδυασμοί, όπως και στο προηγούμενο. Προφανώς η αλλαγή πετρώματος από ασβεστόλιθο σε σμύριδα να ευθύνεται για αυτό το γεγονός. Ο πιο επικίνδυνος συνδυασμός αυτού του τμήματος είναι ο εξής:

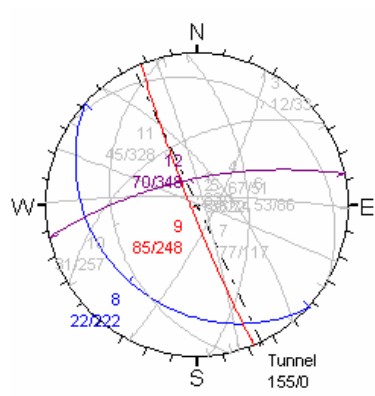
Συνδυασμός

22°/222°

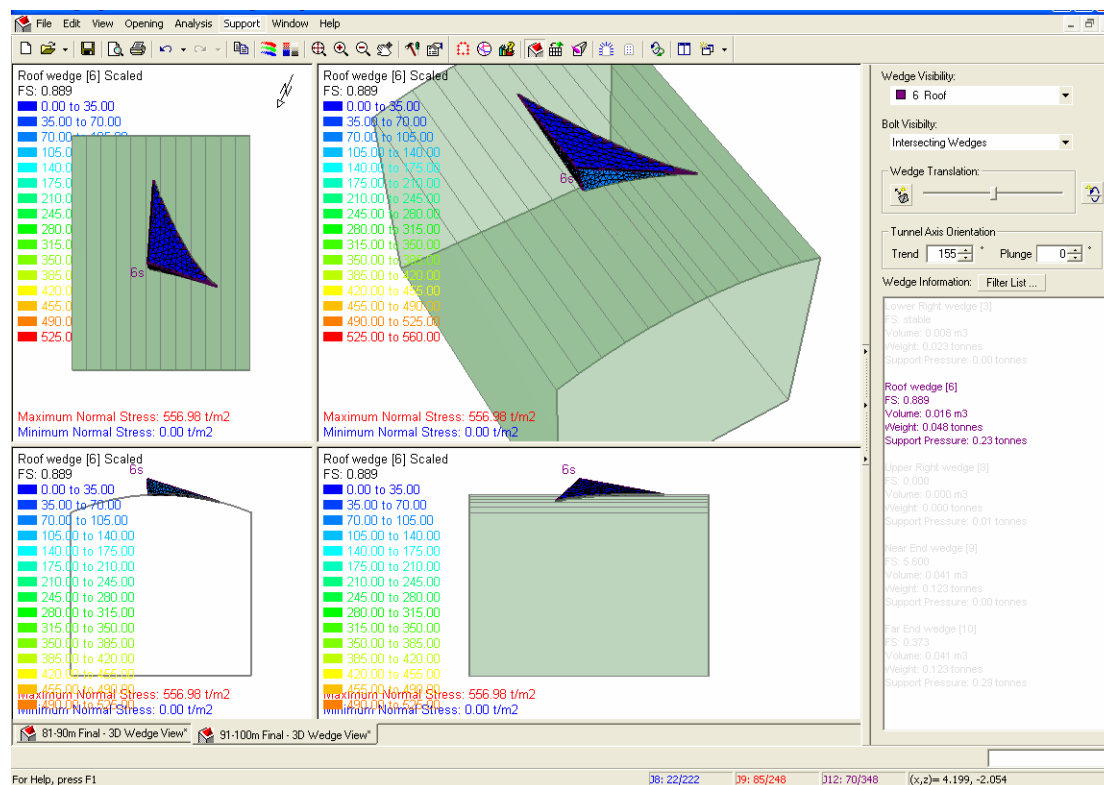
85°/248°

70°/348°

Δεξιά δίδεται η στερεογραφική προβολή όπου προβάλλονται οι ασυνέχειες αυτές.



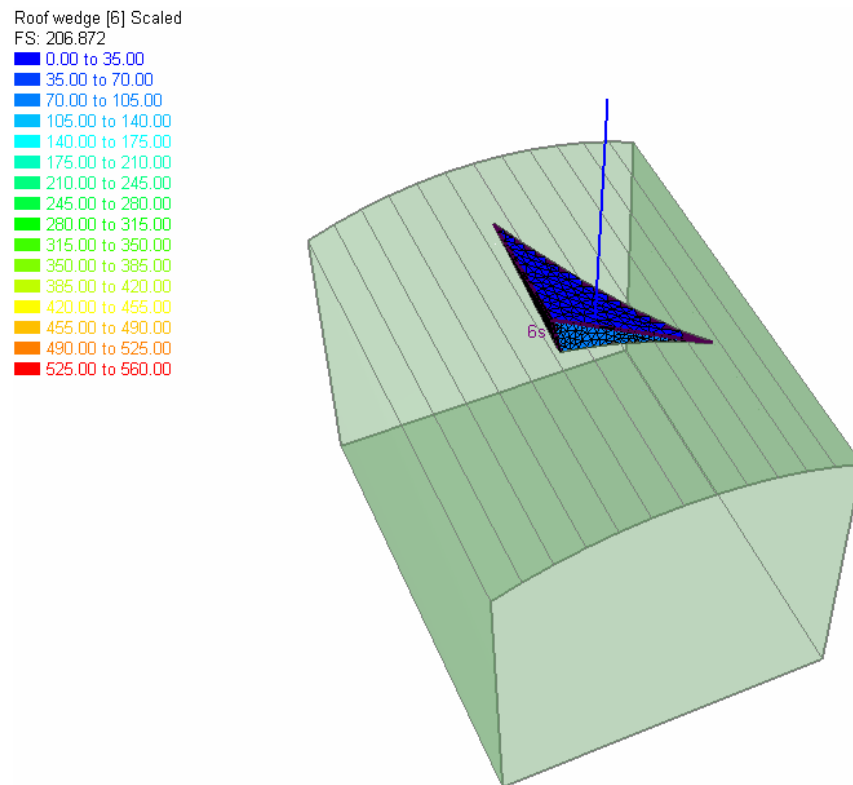
Στην εικόνα 4.38 απεικονίζονται διάφορες απόψεις της σφήνας που δημιουργείται στην οροφή της στοάς, με όγκο 0,016 m³, βάρος 48 kg, απαιτούμενη πίεση υποστήριξης 0,23 ton και συντελεστή ασφαλείας 0,8.



Εικόνα 4.38. Συνδυασμός των ασυνεχιών 22°/222°, 85°/248°, 70°/348°.

Στην συνέχεια απεικονίζεται η εφαρμογή αγκυρίου μήκους 1,5m (Εικόνα 4.39). Η εφαρμογή της πίεσης υποστήριξης έχει σαν αποτέλεσμα, ο

συντελεστής ασφαλείας να αλλάζει τιμή και από 0,8 το να λαμβάνει την τιμή 206,8.



Maximum Normal Stress: 556.98 t/m²
Minimum Normal Stress: 0.00 t/m²

Εικόνα 4.39. Εφαρμογή πίεσης υποστήριξης με την τοποθέτηση χαλύβδινου αγκυρίου (μπλε χρώμα) στην σφήνα

4.4. Συμπεράσματα και προτάσεις

Η συγκεκριμένη διπλωματική εκπονήθηκε με βασικό σκοπό την μελέτη ευστάθειας της οροφής των ορυχείων σμύριδας λόγω δημιουργίας επικίνδυνων σφηνών στην οροφή και τις παρειές της στοάς. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Unwedge 3.0 το οποίο έχει τη δυνατότητα να υπολογίζει τις σφήνες αυτές χρησιμοποιώντας ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά των ασυνεχειών. Από επιτόπου μετρήσεις στο ορυχείο Σαραντάρα και χρήση του αναφερθέντος λογισμικού προέκυψαν πιθανές σφήνες και κάποιες από αυτές παρουσιάζονται στο κεφάλαιο που προηγήθηκε.

Βάση των αποτελεσμάτων διαπιστώθηκε η αρκετά καλή δειγματοληψία των μετρήσεων καθώς εμφανίστηκαν επικίνδυνες σφήνες οι οποίες υπάρχουν στην περιοχή μελέτης και έγινε ταύτιση των με τις επιτόπιες παρατηρήσεις.

Η εκτίμηση των κύριων οικογενειών ασυνεχειών για όλο τον χώρο μελέτης (πίνακας 4.11) εκφράζουν σε γενικές γραμμές τις τιμές των ασυνεχειών που προκαλούν την δημιουργία σφηνών στα διάφορα τμήματα της στοάς, τις περισσότερες φορές με μικρές αποκλίσεις.

Οι πλέον επικίνδυνες οικογένειες ασυνεχειών, όπως αυτές προέκυψαν με το Unwedge 3.0, είναι αυτές με τιμές γύρω στο $67^{\circ}/138^{\circ}$ και $74^{\circ}/351^{\circ}$ 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.

Βέβαια, υπάρχουν και άλλοι επικίνδυνοι συνδυασμοί ωστόσο δεν δύναται να παρατεθούν όλοι στην παρούσα μελέτη. Ωστόσο, σε κάποιες επικίνδυνες περιπτώσεις που αναφέρονται παραπάνω υπάρχουν προτάσεις υποστήριξης της οροφής με αγκύρια. Τα υπάρχοντα έργα υποστήριξης θα πρέπει να επανεξεταστούν και να συμπληρωθούν ενδεχομένως από νέα και πιο αξιόπιστα ώστε να γίνει εφικτή η ασφαλής περιήγηση ανθρώπων εντός της στοάς. Φυσικά αυτό είναι πέρα από τις δυνατότητες αυτής της εργασίας.

Είναι καλό να αναφερθούνε κάποιες παρατηρήσεις που αφορούν την παρούσα εργασία.

Δεν είναι εφικτή η παρουσίαση όλων των πιθανών συνδυασμών ασυνεχειών που μπορούν να προκαλέσουν την πτώση σφήνας από την οροφή του ορυχείου.

Το σύνολο των επιτόπου μετρήσεων των ασυνεχειών (απόστασης, διεύθυνσης, κ.λπ) άγγιξε τις 350, ενδεχομένως να υπήρχε μεγαλύτερη ακρίβεια πρόβλεψης των κύριων οικογενειών ασυνέχειας εάν αυτές οι μετρήσεις ήταν περισσότερες.

Η εργασία επικεντρώθηκε σε ένα μικρό τμήμα του ορυχείου, μήκους 100 μέτρων, μόλις το 1/6 του συνολικού ορυχείου της Σαραντάρας.

Παρόλο αυτά όμως, η εργασία αυτή θα μπορούσε να είναι η αφετηρία μιας ολοκληρωμένης μελέτης ευστάθειας της οροφής του ορυχείου με στόχο να γίνει ασφαλές και επισκέψιμο το ορυχείο μιας και η εκπαιδευτική, πολιτισμική και ιστορική του αξία είναι ανεκτίμητη.

Βιβλιογραφία

- Αγιουτάντης Ζ. (2004) “Διάτρηση ανατίναξη και εισαγωγή στα υπόγεια έργα”
- Αριάδνη Α.Ε. (2002). “Προστασία και Ανάδειξη Σμυριδορυχείων Νάξου”
- Ασβεστάς Γ. (1995) “Ευστάθεια υπόγειου θαλάμου στο κοίτασμα μαρμάρου Διονύσου - Πεντέλης ” Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων
- Γλέζος Π. (1947). “Ελληνικά Θέματα”
- Δήμου Ε (2005). “Τα σμυριδωρυχεία της Νάξου”
- ΕΛΕΒΜΕ (1986). “Προμελέτη εκμετάλλευσης και επεξεργασίας σμύριδας Νάξου”
- Εξαδάκτυλος Γ., Σταυροπούλου Μ. (2001). “Σχεδιασμός και μηχανική των σπράγγων και των υπόγειων έργων”
- Ευελπίδου Ν. (2001). “Γεωλογικές και Περιβαλλοντικές παρατηρήσεις στη νήσο Νάξο με τη χρησιμοποίηση μεθόδων τηλεανίχνευσης και G.I.S.” Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών, τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος
- Κορνίτσας Κ. (2005) “Τεχνολογίες προστασίας και αποκατάστασης περιβάλλοντος”
- Κούκης Γ., Σαμπατάκης Ν. (2002) “Τεχνική Γεωλογία” Εκδόσεις Παπασωτηρίου
- Μούσουλος Λ (1956). “Εξόρυξης των πετρωμάτων” Τόμος Ι.
- Μούσουλος Λ. (1989). “Μέθοδοι εκμετάλλευσης των ματαλλευτικών κοιτασμάτων”
- Ξυνόπουλος Γ. (1927). “Μελέτη περί Ναξίας Σμύριδος”
- Τσουτρέλης Χ. (1985). “Στοιχεία μηχανικής των πετρωμάτων, μέρος Ι: Βασικά θεωρητικά στοιχεία και πειραματικές μέθοδοι”

- Φραγκίσκος Α. (2003). “Η χερσαία μεταφορά μεταλλευμάτων στα νησιά του Αιγαίου στα χρόνια ου «μεταλλευτικού πυρετού»”, *Συνέδριο Ιστορικά μεταλλεία στο Αιγαίο 19^{ος} – 20^{ος} αιώνας*, 2-5 Οκτωβρίου 2003, σελ.189.
- Φραγκίσκος Α. (2003). “Ιστορική αναδρομή στην εκμετάλλευση της Σμύριδας Νάξου”.
- Φραγκίσκος Α. (1990). “Σμύριδα” Άρθρο στα «Απεραθίτικα» 3^ο τεύχος
- Φραγκίσκος Α. (1986) “Σμυριδικό”, 2^ο Παναξιακό Συνέδριο, Αύγουστος 1986, σελ.32.
- Priest S.D. (1980). “The use of inclined hemisphere projection methods for the determination of kinematic feasibility, slide direction and volume of rock blocks” *I.J. Rock Mech. Sci. & Geomech. Abstr.* Vol.17, pp. 1 to 23
- +συνεντεύξεις από παλιούς σμυριδεργάτες

Περιοδικά

- Γεωτρόπιο Τεύχος 89.
- Traveller National Geographic Τεύχος 4.
- Κορωνιδιάτικα Χρονικά Τεύχος 122.

Χάρτης

- Μελέτη για τα σμυριδωρυχεία της Γ.Ε.Μ.Ε.Ε. του 1977