

## **Ευχαριστίες**

Πρίν από την παρουσίαση αυτής της εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους συνέβαλαν για τη πραγματοποίηση της και ιδιαίτερα:

Τον καθηγητή κ. Αλέξανδρο Σοφιανό για τη βοήθεια και τις πολύτιμες συμβουλές του καθόλη τη διάρκεια αυτής της εργασίας.

Το λέκτορα κ. Παύλο Νομικό για την υπομονή και το χρόνο που διέθεσε για την επεξεργασία των δεδομένων, έχοντας πολύ λίγα στοιχεία.

Το προσωπικό του εργαστηρίου διάνοιξης σηράγγων και τεχνικής γεωλογίας για τη βοήθειά τους στις εργαστηριακές δοκιμές που εκτελέστηκαν.

Τη διδάκτορα κ. Περράκη Μαρία για την πολύτιμη βοήθειά της στη μελέτη των τομών στο πολωτικό και ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

Την εταιρεία Δελφοί – Δίστομον ΑΜΕ για τα στοιχεία που μου δόθηκαν και ιδιαίτερα τον εργοδηγό και υπεύθυνο ασφαλείας της εταιρείας κ. Γιαννακόπουλο Δημήτρη για τη εγκάρδια βοήθεια και συλλογή όλων των στοιχείων.

Και τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους γονείς μου για την ηθική και υλική συμπαράσταση που μου πρόσφεραν όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου, καθώς και για την υπομονή τους.

## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	6
---------------	---

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> Υπόγεια εκμετάλλευση**

1.1 Ιστορία των εκμεταλλεύσεων .....	8
1.2 Γενικά στοιχεία-Σημασία εκμετάλλευσης ορυκτών .....	10
1.3 Εκμετάλλευση βωξιτών στην περιοχή Παρνασσού-Γκιώνας .....	11
1.3.1 Εταιρίες που δραστηριοποιούνται στην περιοχή .....	11
1.4 Γεωλογικά στοιχεία της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας.....	13

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> Μέθοδοι υπόγειας εκμετάλλευσης**

2.1 Αρχές σχεδιασμού έργων υπόγειας εκμετάλλευσης .....	21
2.1.1 Προσπέλαση υπογείων έργων.....	21
2.1.1.1 Γενικά στοιχεία.....	21
2.1.1.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την υπόγεια προσπέλαση .....	22
2.1.1.3 Επιλογή της θέσης των έργων προσπέλασης.....	28
2.1.1.4 Επιλογή του αριθμού των έργων προσπέλασης.....	31
2.1.1.5 Επιλογή της μορφής και της διατομής των έργων προσπέλασης.....	32
2.2 Υποστήριξη των υπογείων.....	33
2.2.1 Γενικά στοιχεία .....	33
2.2.2 Υποστήριξη με κοχλίωση της οροφής.....	36
2.3 Μέθοδος εκμετάλλευσης.....	40
2.3.1 Γενικά στοιχεία .....	40
2.3.2 Επιλογή της μεθόδου εκμετάλλευσης.....	40
2.4 Περιγραφή μεθόδων εκμετάλλευσης.....	43
2.4.1 Μέθοδος Θαλάμων και Στύλων .....	46
2.4.2 Γενική Περιγραφή Μεθόδου .....	47
2.4.3 Βασικές Θεωρητικές Αρχές Σχεδιασμού .....	48
2.4.4 Ασκούμενες Τάσεις.....	49
2.4.5 Αστοχία Στύλων.....	50
2.5 Σχεδιασμός Στύλων και Θαλάμων .....	51

2.5.1 Υπολογισμός Διαστάσεων Στύλων .....	51
2.5.2 Υπολογισμός Διαστάσεων Θαλάμων.....	54
2.6 Εκμετάλλευση σε οριζόντια κοιτάσματα.....	57
2.7 Εκμετάλλευση σε κεκλιμένα κοιτάσματα.....	58
2.8 Αρχές λειτουργίας και δράσης των εφαρμοζόμενων συστημάτων κοχλίωσης σε υπόγειες βωξιτικές εκμεταλλεύσεις .....	60
2.8.1 Εισαγωγή .....	60
2.8.2 Εφαρμοζόμενα συστήματα κοχλίωσης.....	62
2.8.3 Ειδικά συστήματα.....	64
2.9 Κοχλίες αναπτυσσόμενου κελύφους.....	64
2.10 Κοχλίες ολόσωμης πάκτωσης με ρητίνη .....	67
2.11 Κοχλίες πλήρους μηχανικής επαφής, αγκυριζόμενοι με τριβή .....	70
2.11.1 Γενικά.....	70
2.11.2 Χαρακτηριστικά - Πλεονεκτήματα συστήματος αγκύρωσης swellex..	79
2.11.3 Εξοπλισμός διογκώσεως αγκυρίων swellex .....	81
2.11.4 Ηλεκτρική αντλία .....	81
2.11.5 Πνευματική αντλία .....	82
2.12 Τρόποι εδράσεως αγκυρώσεων .....	82
2.13 Εξοπλισμός κοχλίωσης της οροφής.....	85
<b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> Υπόγεια εκμετάλλευση του κοιτάσματος &lt;Σίλας 3&gt;</u></b>	
3.1 Γενικά χαρακτηριστικά περιοχής εκμετάλλευσης .....	90
3.1.1 Γεωγραφική θέση, έκταση, διοικητική υπαγωγή .....	90
3.1.2 Υφισταμένη μορφή χρήσης, χαρακτηρισμός έκτασης, ιδιοκτησιακό καθεστώς.....	90
3.2 Περιγραφή του χώρου επέμβασης.....	94
3.2 Ανάλυση και επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων.....	97
3.2.1 Ψηφιοποίηση πρωτογενών δεδομένων στο CAD Overlay 2000. ....	97
3.2.2 Αναπαράσταση του κοιτάσματος σε τρεις διαστάσεις με χρήση του προγράμματος Surpac.....	104
3.2.2.1 Έργα προσπέλασης του κοιτάσματος «Σίλας 3».....	104
3.2.2.2 Αναπαράσταση του κοιτάσματος σε τρεις διαστάσεις με χρήση του προγράμματος AutoCAD 2007.....	110
3.2.2.3 Προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά την επεξεργασία των δεδομένων.....	117

3.2.2.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων της επεξεργασίας των δεδομένων της Δελφοί-Δίστομον ΑΜΕ και της παρούσας εργασίας.....	117
3.3 Υποστήριξη βωξιτικών κοιτασμάτων της εταιρείας Δελφοί-Δίστομον ΑΜΕ.....	118
3.3.1 Κοχλίες ρητίνης που χρησιμοποιούνται στην εταιρεία Δελφοί-Δίστομον ΑΜΕ .....	118
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> Πρότυπες δοκιμές του πετρώματος της οροφής</b>	
4.1 Δοκιμή Σημειακής Φόρτισης .....	127
4.1.1 Γενικά.....	127
4.1.2 Θεωρία της δοκιμής .....	128
4.2 Συσχέτιση $I_{s(50)}$ με την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη .....	132
4.2.1 Ιστορικό .....	133
4.3 Πρότυπη διαδικασία .....	137
4.3.1 Πειραματικός εξοπλισμός .....	141
4.3.2 Εκτέλεση δοκιμής.....	143
4.3.3 Αποτελέσματα δοκιμής σημειακής φόρτισης .....	147
4.4 Συσχέτιση συντελεστή σημειακής φόρτισης ( $I_{s(50)}$ ) και αντοχής του πετρώματος ( $\sigma_c$ ) σε μονοαξονική θλίψη.....	150
4.5 Μελέτη των ασβεστολίθων οροφής του «Σίλας 3», με τη βοήθεια πολωτικού και ηλεκτρονικού μικροσκοπίου.....	154
4.5.1 Μελέτη στο πολωτικό μικροσκόπιο .....	154
4.5.2 Μελέτη στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο .....	159
4.5.2.1 Γενικά στοιχεία.....	159
4.5.2.2 Προετοιμασία δείγματος .....	160
4.5.2.3 Αποτελέσματα – Παρατηρήσεις.....	161
4.6 Συσχέτιση της αντοχής του πετρώματος και των διαστάσεων των στύλων για το υπόγειο κοίτασμα ‘Σίλας 3’ .....	165
4.7 Δοκιμή Εξόλκευσης.....	169
4.7.1 Δοκιμή Εξόλκευσης ήλων στο εργοτάξιο .....	169
4.7.1.1 Σκοπός .....	169
4.7.1.2 Εξοπλισμός .....	170
4.7.1.3 Διαδικασία .....	171
4.7.1.4 Δοκιμη .....	172
4.7.1.5 Υπολογισμοί.....	173

4.7.1.6 Αναφορά αποτελεσμάτων.....	175
4.7.1.7 Σχόλια.....	175
4.7.2 Δοκιμή εξόλκευσης ήλων στο πρόγραμμα FLAC 2D .....	176
4.7.2.1 Εισαγωγή δεδομένων στο πρόγραμμα FLAC 2D και αποτελέσματα .....	177
<b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> Αποκατάσταση περιβάλλοντος</u></b>	
5.1 Γενικά στοιχεία αποκατάστασης υπόγειων μεταλλείων .....	183
5.2 Αποκατάσταση βωξιτικού κοιτάσματος «Σίλας 3» .....	184
5.2.1 Μέριμνα για την αποφυγή ή τον περιορισμό των δυσμενών επιπτώσεων από τη δημιουργία έργων υποδομής. ....	184
5.2.2 Προτεινόμενη διαμόρφωση χώρου επεμβάσεως.....	184
5.3 Διαμόρφωση χώρου αποθέσεως στείρων, στερεών απορριμάτων και φυτικής γης.....	187
5.4 Εργασίες αποκαταστάσεως χώρου επεμβάσεως .....	189
5.5 Αναγκαίο οδικό δίκτυο .....	195
5.6 Μέθοδος κατεργασίας εμπλουτισμού ή άλλης κατεργασίας .....	195
5.7 Εγκαταστάσεις.....	195
5.8 Ανάγκες σε νερό και τρόπος κάλυψής τους.....	196
5.9 Εκτίμηση της χρονικής διάρκειας της επέμβασης.....	196
5.10 Πρόσθετα μέτρα ασφαλείας.....	196
5.11 Χαρακτηριστικά Φυσικού Περιβάλλοντος .....	196
5.12 Έδαφος .....	197
5.13 Υδρολογικά στοιχεία.....	198
5.14 Κλιματολογικά στοιχεία-Κλίμα .....	198
5.15 Τοπιολογικά στοιχεία .....	200
5.16 Άλλα στοιχεία.....	202
5.17 Κοινωνικά και οικονομικά στοιχεία.....	202
5.18 Κόστος αποκατάστασης.....	202
5.19 Δημιουργία υποδομής αποκατάστασης.....	203
5.20 Δυσχέρειες και νέα τεχνολογία .....	204
<b><u>Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup> Συμπεράσματα</u></b> .....	205
Βιβλιογραφία.....	207
Εικόνες & ιστοσελίδες στο διαδίκτυο.....	209

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία, πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών "Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων", των τμημάτων Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών-Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των υπογείων κοιτασμάτων βωξίτη που βρίσκονται στη ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, καθώς και η μελέτη των ασβεστολίθων οροφής των κοιτασμάτων αυτών. Αφού έγινε αναφορά στις τεχνικές εκμετάλλευσης των βωξιτικών κοιτασμάτων, το ενδιαφέρον επικεντρώθηκε στα ελληνικά κοιτάσματα βωξίτη και στις εταιρείες που ασχολούνται με την εξόρυξη αυτού.

Για το λόγο αυτό συλλέχθηκαν στοιχεία και χάρτες από το βωξιτικό κοιτάσμα «Σίλας 3», ώστε αφού γίνει η ψηφιοποίησή του στα σχεδιαστικά προγράμματα AutoCad και Surpac, να αναπαρασταθεί το κοιτάσμα τριδιάστατα και να γίνουν οι απαραίτητες τομές.

Εν συνεχεία μελετήθηκαν δείγματα από τον ασβεστόλιθο οροφής του κοιτάσματος. Τα δείγματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν ώστε να υπολογιστεί η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη έμμεσα με τη δοκιμή σημειακής φόρτισης. Μέσω της δοκιμής αυτής υπολογίστηκε ο συντελεστής σημειακής φόρτισης  $Is_{(50)}$  και κατ' επέκταση η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη του πετρώματος. Η δυσκολία εξαγωγής πυρήνων στο εργαστήριο, οδήγησε στη μελέτη των ασβεστολίθων με τη βοήθεια πολωτικού και ηλεκτρονικού μικροσκοπίου. Μέσω αυτών μελετήθηκε η σύσταση των ασβεστολίθων και η ύπαρξη οξειδίων, όπως του σιδήρου.

Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας χρησίμευσαν στην μελέτη της υποστήριξης της οροφής του συγκεκριμένου κοιτάσματος. Η υποστήριξη του εν λόγω κοιτάσματος εξαιρώντας τους στύλους που προήλθαν από τη μέθοδο εκμετάλλευσής του, έγινε με τη βοήθεια αγκυρίων ολόσωμης πάκτωσης με

ρητινικό ένεμα. Στο εργοτάξιο διεξήχθη δοκιμή εξόλκευσης αγκυρίων ώστε να καταγραφούν οι μετατοπίσεις που πραγματοποιούνται κάτω από συγκεκριμένα φορτία. Τα αποτελέσματα αυτά έγινε προσπάθεια να προσομοιωθούν στο πρόγραμμα FLAC 2D, με αρκετά μεγάλη ταύτιση, λόγω της έλλειψης στοιχείων – παραμέτρων. Επιπλέον πραγματοποιήθηκε και έλεγχος της ευστάθειας των στύλων με τη βοήθεια εξισώσεων και προτάθηκαν μέτρα ενίσχυσής τους.

Τέλος παρουσιάστηκαν τα μέτρα περιβαλλοντικής αποκατάστασης μετά τις εργασίες εξόρυξης του συγκεκριμένου κοιτάσματος και υπολογίστηκε το κόστος αυτών, λαμβάνοντας υπόψιν γεωμορφολογικά και κλιματολογικά στοιχεία της περιοχής.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## Υπόγεια Εκμετάλλευση

---

### 1.1 Ιστορία των εκμεταλλεύσεων

Η ιστορία της μεταλλευτικής ξεκινά ταυτόχρονα ή σχεδόν ταυτόχρονα με την ιστορία της γεωργίας. Από την στιγμή που ο άνθρωπος χρειάστηκε εργαλεία, στράφηκε προς την γη για να βρει τις κατάλληλες πέτρες που θα χρησιμοποιούσε είτε για μύτες στα βέλη του είτε για να αλέσει το σιτάρι.

Με την ανακάλυψη αυτοφυών μετάλλων, όπως ο χαλκός, ο χρυσός και ο άργυρος, ο άνθρωπος πέρασε από την λίθινη εποχή στην εποχή των μετάλλων. Από το 5000 π.Χ. περίπου αρχίζει η Εποχή του Χαλκού και ακολουθεί η Εποχή του Σιδήρου (1500 π.Χ έως 1780 μ.Χ. περίπου), η Βιομηχανική Επανάσταση (ή «Εποχή του Χάλυβα»: 1780–1945) και η Πυρηνική Εποχή (1945 έως σήμερα).

Πολλά σημαντικά σημεία στην ανθρώπινη ιστορία συνδέονται με την αναζήτηση ορυκτών ή την εύρεση νέων μεθόδων χρήσης αυτών των ορυκτών, από το ταξίδι του Μάρκο Πόλο στην Κίνα και την ανακάλυψη του Νέου Κόσμου τον 16ο αι., έως την εποίκηση της Αυστραλίας και τον Πυρετό του Χρυσού που έφερε χιλιάδες χρυσοθήρες στο Γιούκον του Καναδά.

Στα τέλη του 18ου και τις αρχές του 19ου αι., έκανε την εμφάνισή της η επιστήμη της γεωλογίας. Σχεδόν ταυτόχρονα εμφανίστηκαν και οι πρώτες σχολές μηχανικών μεταλλείων για να καλυφθούν οι ανάγκες της βιομηχανικής επανάστασης σε ειδικευμένους επιστήμονες: το 1716 η Σχολή Μεταλλείων



στο Γιοακίμσταλ (Joachimsthal) της Βοημίας (Γιάχιμοφ της σημερινής Τσεχίας), το 1765 η Ακαδημία Μεταλλείων της Φραιβέργης (Bergakademie Freiberg) στην Σαξονία, το 1777 η Ακαδημία Μεταλλείων της Ισπανίας (Academia de Minas, Almadén), το 1783 η Σχολή Μεταλλείων του Παρισιού (École des mines), το 1792 το Βασιλικό Κολέγιο Μεταλλευτικής της Πόλης του Μεξικού (Real Seminario de Minería), κ.ά.



Εικόνα 1.1: Παιδιά-εργάτες και μουλάρια σε υπόγειο ανθρακωρυχείο των ΗΠΑ το 1908.

Κατά τον 20ό αι., η εκμετάλλευση ορυκτών πρώτων υλών πήρε τεράστιες διαστάσεις, χάρη στην ανακάλυψη της δυναμίτιδας (1866) και την μηχανοποίηση της εξόρυξης, αλλά και εξαιτίας της δραματικής αύξησης της κατανάλωσης από τον άνθρωπο. Πολλές μεταλλευτικές επιχειρήσεις — κυρίως αμερικανικών και ευρωπαϊκών συμφερόντων — απέκτησαν μεγάλη οικονομική ισχύ και απλώθηκαν σε όλον τον κόσμο. Η στυγνή έως ληστρική εκμετάλλευση του ορυκτού πλούτου χωρών του Τρίτου Κόσμου από αυτές τις εταιρείες οδήγησε σε εκρηκτικές καταστάσεις με δραματικές συνέπειες. Τέτοιες καταστάσεις ήταν, για παράδειγμα, το ρατσιστικό καθεστώς απαρχαίντ στην Νότιο Αφρική, οι αδιάκοπες ταραχές στο Ζαΐρ (σημερινή Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό) για τα μεταλλεία της Κατάνγκα, η δικτατορία στην Χιλή το 1973 μετά την εθνικοποίηση των χαλκωρυχείων, και οι μεγάλες

πετρελαϊκές κρίσεις στην δεκαετία του 1970 μετά την απότομη αύξηση των τιμών του αργού πετρελαίου από το καρτέλ του ΟΠΕΚ.

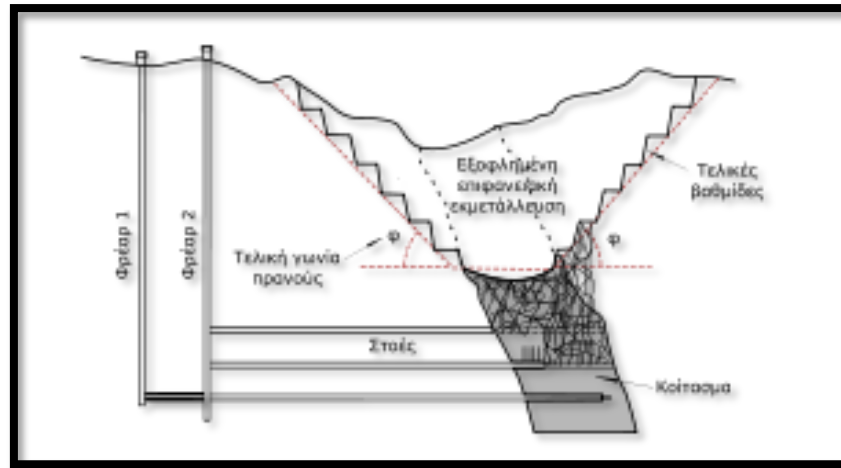
Η μεγάλη κατανάλωση πρώτων υλών οδήγησε επίσης σε εξάντληση πολλών αποθεμάτων. Τα μεταλλεύματα προς εκμετάλλευση άρχισαν να γίνονται ολοένα και πιο φτωχά. Ήδη ο ορίζοντας της πλήρους εξάντλησης των κοιτασμάτων πετρελαίου τοποθετείται γύρω στο 2100. Αναγκαστικά ο άνθρωπος στρέφεται προς την ανακύκλωση και τη χρήση λιγότερο ενεργοβόρων τεχνολογιών. Παρ' όλα αυτά, η μεταλλευτική θα εξακολουθήσει να παίζει πρωτεύοντα ρόλο στην ζωή του ανθρώπου, γιατί σχεδόν όλα τα ανθρώπινα δημιουργήματα προέρχονται από τη γη.

## **1.2 Γενικά στοιχεία-Σημασία εκμετάλλευσης ορυκτών**

Από την προϊστορική εποχή η εκμετάλλευση των ορυκτών αποτελούσε αναπόσπαστο τμήμα της συνεχούς προόδου του πολιτισμού. Στην προκειμένη περίπτωση ο όρος εκμετάλλευση χρησιμοποιείται με την ευρεία έννοια που περιλαμβάνει την εξόρυξη από τη Γή όλων των ορυκτών πόρων ανεξαρτήτως φάσης, δηλαδή στερεών, υγρών και αερίων.

Συχνά γίνεται ένας διαχωρισμός ως προς τον όρο μεταλλείο που αναφέρεται κυρίως στην υπόγεια εκμετάλλευση μεταλλευμάτων και τον όρο επιφανειακή εκμετάλλευση που αναφέρεται στην επιφανειακή εκμετάλλευση βιομηχανικών ορυκτών ή μεταλλευμάτων.

Με τον όρο εκμετάλλευση ενός κοιτάσματος ή απλώς εκμετάλλευση νοείται η οικονομική απόληψη του χρήσιμου μεταλλεύματος ή ορυκτού από το γεωλογικό σχηματισμό στον οποίο περιέχεται. Η οικονομικότητα μιας εκμετάλλευσης συνδέεται άμεσα με το κόστος της εκμετάλλευσης και την τιμή πώλησης του προϊόντος. Για τη διαπίστωση της οικονομικότητας μιας εκμετάλλευσης απαιτείται μια ολοκληρωμένη τεχνοοικονομική μελέτη ανάπτυξης του κοιτάσματος στο χώρο και στο χρόνο, η οποία απαιτεί πλήρη γνώση των θεμάτων της μεταλλευτικής τεχνολογίας και της μεταλλευτικής οικονομίας.



Εικόνα 1.2: Σχηματική αναπαράσταση υπογείων εκμεταλλεύσεων.

### **1.3 Εκμετάλλευση βωξιτών στην περιοχή Παρνασσού-Γκιώνας**

#### **1.3.1 Εταιρίες που δραστηριοποιούνται στην περιοχή**

Η ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας είναι γνωστή στον ελλαδικό χώρο για τα κοιτάσματα βωξίτη που απαντώνται εκεί. Η εκμετάλλευση των κοιτασμάτων αυτών ξεκινά αρκετές δεκαετίες πριν από τις εταιρίες που δραστηριοποιούνταν τότε, όπως οι Ελληνικοί Βωξίτες Διστόμου (Γαλλική Εταιρία) και η εταιρία του Γ. Μπάρλου.

Σήμερα οι εταιρίες που ασχολούνται με την εύρεση και κατ'έπείκταση την εκμετάλλευση των βωξιτικών κοιτασμάτων στην περιοχή Παρνασσού-Γκιώνας είναι τρεις. Με βάση την ετήσια παραγωγή σε βωξίτη οι εταιρίες είναι:

- 1) S&B
- 2) Δελφοί-Δίστομον ΑΜΕ
- 3) ELMIN

Οι εταιρίες S&B και Δελφοί-Δίστομον ΑΜΕ επικεντρώνουν την κύρια δραστηριότητά τους στην εξόρυξη του βωξίτη μέσω υπογείων στοών και στην διάθεσή του στο εργοστάσιο «Αλουμίνιο της Ελλάδος» που βρίσκεται

στην Παραλία Διστόμου. Επίσης ένα μέρος της παραγωγής εξάγεται απευθείας από το λιμάνι της Ιτέας. Στον πίνακα 1.1 παρατίθενται στοιχεία για κάθε μία από τις δραστηριοποιούμενες εταιρείες.

Εταιρείες	Δελφοί-Δίστομον ΑΜΕ	S&B	ELMIN	ΣΥΝΟΛΑ
Ετήσια παραγωγή (2005)	812.000 tn	1.364.000 tn	323.000 tn	2.499.000 tn
Παράδοση στην Α.τ.Ε (2005)	812.000 tn	400.000 tn	193.000 tn	1.405.000 tn
Παραγωγή που εξάγεται (2005)	-	1.023.000 tn	130.000 tn	1.153.000 tn
Κύκλος εργασιών	21.000.000 €	40.000.000 €	9.400.000 €	70.400.000 €
Προσωπικό	230 άτομα	350 άτομα	200 άτομα	780 άτομα
Μισθοί, αμοιβές, δαπάνες που αφορούν την τοπική κοινωνία	12.000.000 €	25.000.000 €	8.000.000 €	45.000.000 €
Φορτηγά δημόσιας χρήσης	56	65	17	138
Έκταση παραχωρήσεων	430 km <sup>2</sup>	350 km <sup>2</sup>	474 km <sup>2</sup>	1.254 km <sup>2</sup>
Εγκριθείσα επιφάνεια επέμβασης	2.800 στρέμματα	9.240 στρέμματα	165,5 στρέμματα	12.205,5 στρέμματα
Πραγματικώς θιγείσα επιφάνεια	2.800 στρέμματα	5.900 στρέμματα	165,5 στρέμματα	8465,5 στρέμματα
Αποκαταστημένες και σε εξέλιξη αποκατάστασης επιφάνειες	2.290 στρέμματα	3.500 στρέμματα	Η εκμετάλλευση άρχισε το 2000 και η αποκατάσταση προβλέπεται να αρχίσει στο εγγύς μέλλον	5.790 στρέμματα
Αποκαταστάσεις σε παλαιές εκμεταλλεύσεις	400 στρέμματα (έως και το 2005)	1.651 στρέμματα (έως και το 2005)	-	2.051 στρέμματα

Φυτεύσεις	900.000 φυτά (έως και το 2005)	1.000.000 φυτά(έως και το 2005)	-	1.900.000 φυτά
Δαπάνες αποκατάστασης	4.200.000 € (έως και το 2005)	12.000.000€ (έως κα το 2005)	-	16.200.000 €
Μήκος διανοιχθέντων δασομεταλλευτικών δρόμων	210 km	650 km	90 km	950 km

**Πίνακας 1.1:** Συγκεντρωτικά στοιχεία των εταιριών που δραστηριοποιούνται στην περιοχή Παρνασσού-Γκιώνας (Τζιμόπουλος, 2006).

#### 1.4 Γεωλογικά στοιχεία της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας

Η εξεταζόμενη περιοχή, στην οποία ανήκει το προς μελέτην κοίτασμα είναι η ζώνη Παρνασσού όπως διακρίθηκε ή υποζώνη Παρνασσού όπως ονομάστηκε από τον A. Philippson (1898). Η ζώνη αυτή ονομάστηκε αργότερα από τον C. Renz (1940) ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας. Η ζώνη αυτή συναντάται στις περιοχές Παρνασσού, Γκιώνας, Οίτης και Ελικώνα.

Στη στρωματογραφική σειρά της ζώνης του Παρνασσού ιδιαίτερο χαρακτηριστικό αποτελεί ο ορίζοντας των βυσσινόχρωμων πηλίων, που αναφέρεται και ως 'Ερυθρά Σειρά', και απαντάται επίσης με τα ίδια χαρακτηριστικά και στη σειρά σχηματισμών της Ενότητας των Βαρδουσιών, μεταβαίνει δε αυτή βαθμιαία και στις δύο ενότητες, των Βαρδουσιών και του Παρνασσού, προς τα πάνω σε τυπικά ιζήματα του φλύσχη που καταλαμβάνουν σχεδόν εξ ολοκλήρου τη μεταξύ των βουνών Βαρδούσια και Γκιώνα περιοχή του Λιδωρικού.



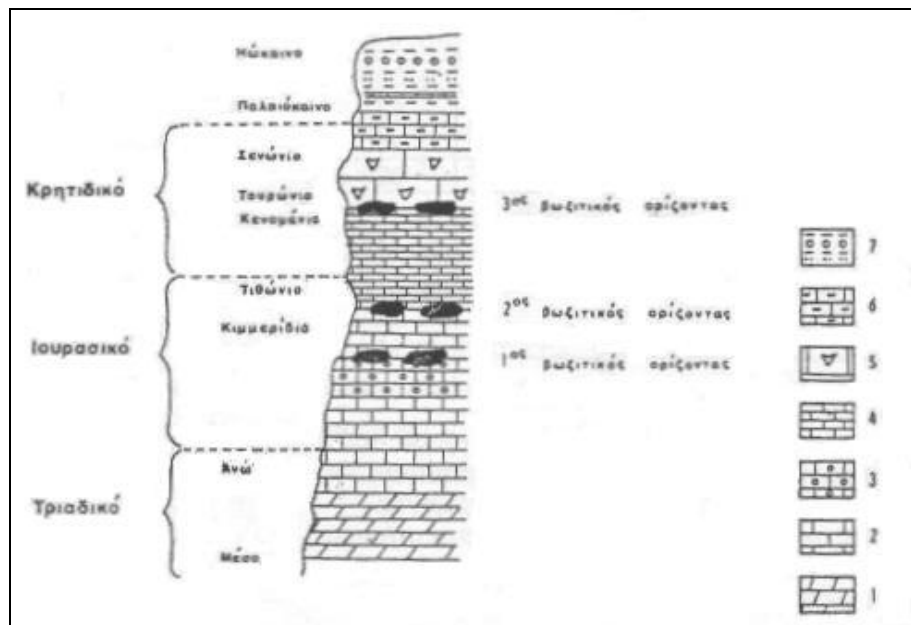
Εικόνα 1.3: Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας.

Λεπτομερέστερες έρευνες, σχετικά με την παραπάνω ασυμφωνία έδειξαν ότι σε πολλές θέσεις, πάνω στην υποκείμενη σειρά των ασβεστολίθων, υπέρκειται ασύμφωνα ένας ορίζοντας συμπυκνωμένης πελαγικής ιζηματογένεσης, με μορφή ερυθρωπής κρούστας (hard ground).

Στον ορίζοντα αυτό βρέθηκε μία πελαγική μικροπανίδα, που αντιπροσωπεύει το σύνολο σχεδόν των μεσοκαμπάνιων-μαιστριχτίων πελαγικών ασβεστολίθων στις οποίες απουσιάζουν από τις περιοχές που παρατηρείται η ασυμφωνία αυτή.

Στη στρωματογραφική σειρά σχηματισμών της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας, εκτός από την παραπάνω ασυμφωνία, παρατηρούνται και τρεις άλλες στρωματογραφικές ασυμφωνίες, μικρού γενικά στρωματογραφικού κενού, οι οποίες συνοδεύονται από την παρουσία βωξιτικών κοιτασμάτων, μεγάλης οικονομικής αξίας. Πρόκειται για τους βωξιτικούς ορίζοντες B1, B2 και B3 που χαρακτηρίζουν τη ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας. Από τους ορίζοντες αυτούς ο B1 εμφανίζεται μεταξύ του Μέσου και ανώτερου Ιουρασικού (με υπερκείμενο ασβεστολίθους του Κιμμεριδίου-Τιθωνίου), ο B2 εμφανίζεται μεταξύ των ασβεστολίθων του Κιμμεριδίου-Τιθωνίου και του Τιθωνίου (τοπικά) – Κατώτερου Κρητιδικού και τέλος ο B3 αναπτύσσεται μεταξύ του Κατώτερου και του Ανώτερου Κρητιδικού. Τα βωξιτικά αυτά κοιτάσματα έχουν φακοειδή-στρωματοειδή μορφή και βρίσκονται πάντοτε ασύμφωνα πάνω στους υποκείμενους ασβεστολίθους, ενώ είναι σύμφωνα προς τους υπερκείμενους.(Κατσικάτσος, 1992).

Η τυπική στρωματογραφική στήλη που απεικονίζει τη ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας παρατίθεται στο σχήμα 1.4 .



Σχήμα 1.4: Σχηματική στρωματογραφική στήλη της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας 1: δολομίτες, 2: ασβεστόλιθοι παχυστρωματώδεις σκοτεινού τεφρού χρώματος, 3: ασβεστόλιθοι ωολιθικοί, 4: ενδιάμεσοι λευκοί ασβεστόλιθοι, 5: ρουδιστοφόροι ασβεστόλιθοι, 6:ασβεστόλιθοι κονδυλώδεις, 7:φλύσχης.

Σχετικά με τις πάνω τρεις στρωματογραφικές ασυμφωνίες στη σειρά της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας, που συνδέονται από αντίστοιχα βωξιτικά κοιτάσματα, πρέπει να σημειωθεί ότι αυτές οφείλονται κυρίως στις ορογενετικές κινήσεις που έλαβαν χώρα στο χώρο των Εσωτερικών ζωνών και είχαν έντονη απήχηση στο χώρο της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας, η οποία μαζί με τη Βοιωτική ζώνη, βρίσκονται σε εσωτερικό περιθώριο των Εξωτερικών ζωνών. Τέλος σχετικά με τη γένεση των βωξιτικών κοιτασμάτων, σήμερα είναι παραδεκτό ότι τα υλικά από τα οποία τα κοιτάσματα αυτά έχουν σχηματιστεί προέρχονται από το χώρο των Εσωτερικών ζωνών και συγκεκριμένα από άργιλο-οφιολοθικούς σχηματισμούς του χώρου αυτού. Αντίθετα, η παλιά άποψη ότι τα βωξιτικά κοιτάσματα έχουν προέλθει από υλικά διάλυσης ανθρακικών πετρωμάτων δεν είναι σήμερα παραδεκτή.

Η ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, μαζί με την Ενότητα των Βαρδουσιών, μετά τον ορογενετικό τους τεκτονισμό, που έλαβε χώρα κατά το τέλος του Ανώτερου Ηωκαίνου, βρίσκονται και οι δύο, ως ένα ενιαίο σύνολο, επωθημένες προς τα δυτικά, πάνω στην ενότητα Πεντεορέων και στον Αιτωλικό φλύσχη της ζώνης της Πίνδου, χωρίς να παρατηρείται επώθηση του ορεινού όγκου της Γκιώνας, πάνω στο φλύσχη της περιοχής του Λιδωρικίου.

Πάνω στη ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, η οποία χαρακτηρίζεται από μεγάλο εύρους πτυχές, που σε πολλές περιπτώσεις είναι διαρρηγμένες, βρίσκονται επωθημένοι σχηματισμοί της Βοιωτικής και της Πελαγονικής ζώνης. Πιο συγκεκριμένα η σειρά της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας της οποίας τα ανθρακικά πετρώματα έχουν πάχος μεγαλύτερο από τα 1500 μέτρα, από κάτω προς τα πάνω, έχει ως ακολούθως (Κατσίκατσος, 1992):

- Η σειρά της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας αρχίζει με λευκότεφρους έως λευκούς κρυσταλλικούς δολομίτες χωρίς απολιθώματα, που προς τα πάνω εναλλάσσονται με δολομιτικούς ασβεστόλιθους και ασβεστόλιθους με Φύκη (*Gyroporella*, *Griphoporella* κ.α) και *Megalodon*, του οποίου Ανώτερου Τριαδικού, ορατού πάχους 300 μέτρων περίπου.
- Ακολουθούν σκοτεινόχρωμοι ασβεστόλιθοι, βιτουμενιούχοι, πολλές φορές ωλιθικοί, με μικρά *Megalodon* (στη βάση τους), *Rinidae*, Γαστερόποδα, Φύκη και Κοράλλια, του Κατώτερου-Μέσου Ιουρασικού, πάχους περίπου 400 μέτρων.
- Βωξιτικά κοιτάσματα του 1<sup>ου</sup> βωξιτικού ορίζοντα (B1), των οποίων το μέταλλευμα είναι κυρίως πισσολιθικό και διασπορικού τύπου.
- Ασβεστόλιθοι σκοτεινόχρωμοι, μέσο έως παχυστρωματώδεις, με το χαρακτηριστικό απολίθωμα *Cladocoropsis mirabilis* του Κιμμεριδίου και ασβεστόλιθοι με Κοράλλια του Πορτλανδίου-Τιθωνίου (Ανώτερο Ιουρασικό), που υπέρκεινται ασύμφωνα των ασβεστολίθων του προηγούμενου ορίζοντα, συνολικού πάχους 300 μέτρων περίπου.



- Βωξίτικα κοιτάσματα του 2<sup>ου</sup> βωξίτικου οριζοντα (B2), των οποίων το μετάλλευμα είναι βαιμιτικού τύπου.
- Ασβεστόλιθοι μεσοστρωματώδεις, που υπέρκεινται ασύμφωνα των ασβεστολίθων του προηγούμενου οριζοντα. Στη βάση τους είναι ερυθρωποί και με μαργαϊκοί με *Nerinea*, *Ellipsactinia* κ.α., του Τιθωνίου (τοπικά) – *Orbitolina* του Κενομανίου. Οι ασβεστόλιθοι, που το συνολικό τους πάχος φτάνει τα 400 μέτρα ονομάζονται 'Ενδιάμεσοι Ασβεστόλιθοί', επειδή παρεμβάλλονται μεταξύ των δύο βωξίτικών οριζόντων, του 2<sup>ου</sup> και του 3<sup>ου</sup>, που μόνο αυτοί ήταν γνωστοί, όταν τους δόθηκε το όνομα 'Ενδιάμεσοι Ασβεστόλιθοί'.
- Βωξίτικα κοιτάσματα του 3<sup>ου</sup> βωξίτικου οριζοντα, που κατά κανόνα είναι μεγάλων διαστάσεων.
- Ασβεστόλιθοι παχυστρωματώδεις, τεφροί και κατά θέσεις σκουρόχρωμοι, με Ρουδιστές του Τουρωνίου-Κατώτερου Καμπανίου, πάχους 200 μέτρων περίπου.
- Ασβεστόλιθοι *Globotrucana*, λεπτό έως μεσοστρωματώδες, ανοικτόφαιοι, ερυθρωποί ή υποπράσινοι, του Ανώτερου Καμπανίου-Μαιστριχτίου, πάχους 150-200 μέτρων.
- Ορίζοντας βυσσινόχρωμων πηλιτών και μαργών του Παλαιοκαίνου, στον οποίο μερικές φορές εγκλείονται διάσπαρτες λατύπες ή παρεμβάλλονται σ' αυτόν στρώματα ασβεστολιθικών λατυποπαγών. Το πάχος του οριζοντα αυτού κυμαίνεται από λίγα έως 50 μέτρα. Σε πολλές περιοχές της ζώνης του Παρνασσού, ο πηλιτικός αυτός ορίζοντας βρίσκεται ασύμφωνα πάνω σε βαθύτερους στρωματογραφικούς ορίζοντες της ζώνης αυτής.
- Ιζήματα τυπικού φλύσχη, πάχους 1500 μέτρων περίπου, που αρχίζουν από το Παλαιόκαινο και φτάνουν στο Πριαμπόνιο (Ανώτερο Ηώκαινο). Τα ιζήματα αυτά είναι κυρίως ψαμμίτες και στο ανώτερο τμήμα τους κροκαλοπαγή.

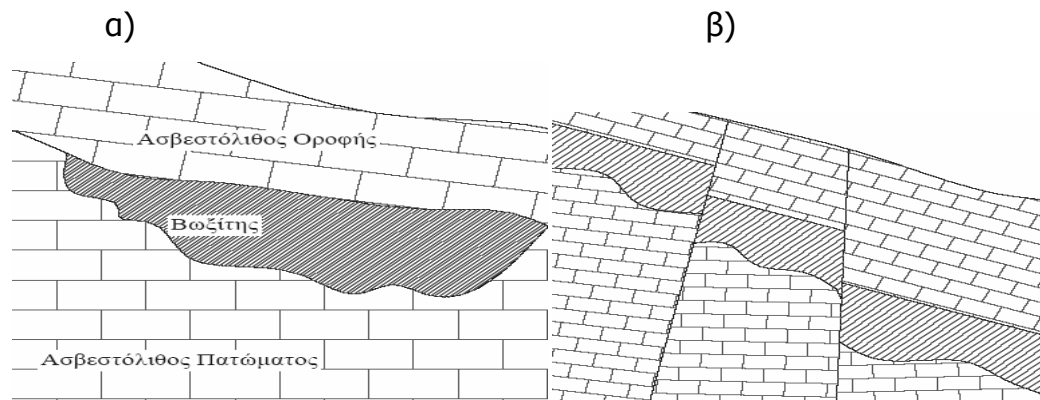
Η περιοχή εμφάνισης του κοιτάσματος ανήκει στη γεωτεκτονική ζώνη Παρνασσού – Γκιώνας. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντώνται στην περιοχή των μεταλλείων βωξίτη Παρνασσού - Γκιώνας είναι: φλύσχης, συμπαγείς έως και κρυσταλλικοί βιτουμενιούχοι ασβεστόλιθοι του Σενωνίου και Τουρωνίου, ενδιάμεσοι ασβεστόλιθοι του Κενομανίου και Τιθωνίου, σκοτεινόχρωμοι ασβεστόλιθοι του Κενομανίου και Τιθωνίου, και σκοτεινόχρωμοι ασβεστόλιθοι του Κιμεριδίου.

Η σειρά των πετρωμάτων που αφορούν τη περιοχή εκμετάλλευσης είναι (Κατσικάτσος, 1992):

- Φλύσχης (Παλαιογενές).
- Λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι (Σενώνιο – Παλαιογενές).
- Συμπαγείς (ή κρυσταλλικοί) βιτουμενιούχοι ασβεστόλιθοι (Τουρώνιο- Σενώνιο).
- Βωξίτης ανώτερου βωξιτικού ορίζοντα.
- Ενδιάμεσοι ασβεστόλιθοι (Τιθώνιο- Κενομάνιο) – (Υποκείμενος ασβεστόλιθος).

Η οροφή των κοιτασμάτων είναι επίπεδη και διαταράσσεται μόνο από τεκτονικές ανωμαλίες, ενώ αντιθέτως το δάπεδο είναι ανώμαλο και παρουσιάζονται σημαντικές εξάρσεις των πατωμάτων εντός του βωξίτη λόγω των καρστικών σχηματισμών. (Τσούρλος κ.α 2005)

Τυπικές μορφές εμφάνισης βωξιτικών κοιτασμάτων απεικονίζονται στα σχήματα 1.5 α,β.



Σχήμα 1.5: α) τυπική μορφή (κατακόρυφη τομή κατά μέγιστη κλίση) κοιτάσματος βωξίτη περιοχής Παρνασσού-Γκιώνας, β) τυπική μορφή κοιτάσματος βωξίτη με τεκτονισμούς (Τσούρλος κ.α, 2005).

Η μορφή που απαντάται συχνότερα είναι αυτή της δολίνας. Το σχήμα της είναι οβάλ έως κυκλικό, σπανιότερα δε με ακανόνιστη περίμετρο. Τα τοιχώματα της δολίνας είναι συνήθως μεγάλης κλίσης (πάνω από  $50^\circ$ ) ενώ συχνά εμφανίζονται και κατακόρυφα. Ο πυθμένας της δολίνας είναι ανώμαλος, με τυπικά καρστικά "δόντια" που δίνουν την εντύπωση καναλιών. Μία χαρακτηριστική περίπτωση κοιτάσματος βωξίτη φαίνεται στο Σχ. 1.5α. Σε πολλές περιπτώσεις η μετάβαση από τον βωξίτη στον ασβεστόλιθο, γίνεται σταδιακά με την παρεμβολή στρωμάτων μικρού συνήθως πάχους "γκρι βωξίτη" που είναι καλής ποιότητας με μεγάλη περιεκτικότητα σε  $Al_2O_3$  και πολύ μικρή περιεκτικότητα σε  $Fe_2O_3$ . Βωξίτης ανάλογης ποιότητας εμφανίζεται και κοντά σε τεκτονισμούς από τους οποίους έχουν κυκλοφορήσει υπόγεια ύδατα. Οι ποσότητες τέτοιου βωξίτη είναι μικρές, αλλά λόγω της εξαιρετικής ποιότητας δεν αφήνονται ανεκμετάλλευτες.

#### **Ένα μέσο δείγμα ελληνικού βωξίτη περιέχει:**

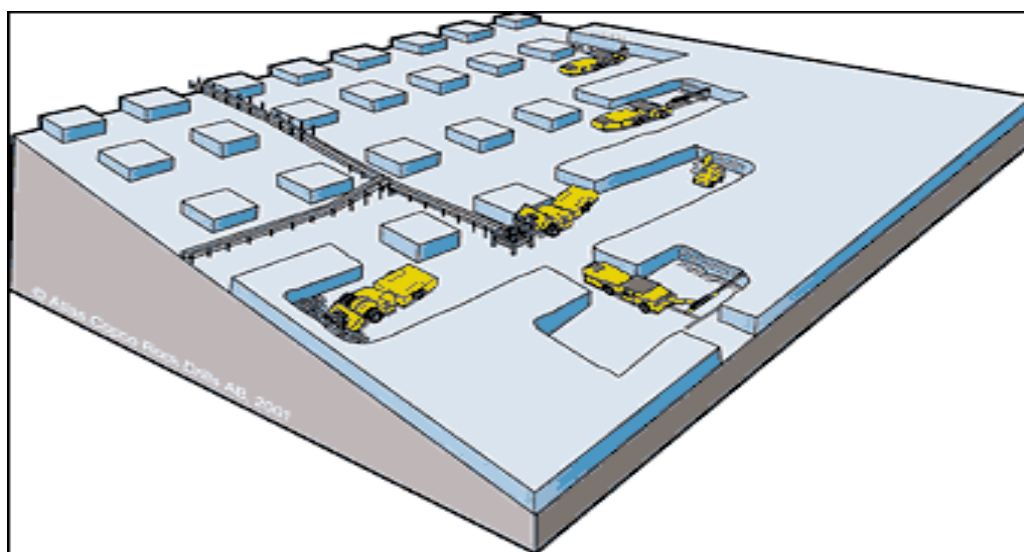
- 50 – 60% οξείδιο του αλουμινίου (αλουμίνα) ( $Al_2O_3 \cdot H_2O$ )
- 18 – 25% οξείδιο του σιδήρου ( $Fe_2O_3$ )
- 2 – 4% οξείδιο του πυριτίου ( $SiO_2$ )
- 2 – 4% οξείδιο του τιτανίου ( $TiO_2$ )
- 1 – 3% ανθρακικό ασβέστιο ( $CaCO_3$ )
- 6 – 10% νερό ( $H_2O$ )

Χαρακτηριστικό των βωξίτων αυτού του τύπου (διασπορικού) που συναντώνται και σε άλλες χώρες π.χ Κίνα, Γαλλία, Ουγγαρία είναι η δυσκολία επεξεργασίας τους που οφείλεται κυρίως στη σκληρότητά τους.

Τεράστια κοιτάσματα βωξίτη υπάρχουν επίσης στην Αφρική (Γουινέα) Αυστραλία, Ινδία, Τζαμάικα, Βραζιλία. Σε όλο το κόσμο εξορύσσονται ετήσια δεκάδες εκατομμύρια τόνοι βωξίτη που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για την παραγωγή αλουμίνας. Μικρές σχετικά ποσότητες χρησιμοποιούνται στη μεταλλουργία και για την παραγωγή ειδικών τσιμέντων.

Η γενική παράταξη των στρωμάτων είναι Α – Δ και η κλίση τους είναι περίπου 20 grad N. Από άποψη τεκτονικής δομής επικρατούν συστήματα εφιππεύσεων με διεύθυνση σχεδόν παράλληλη σε αυτή της παράταξης των στρωμάτων, καθώς και ρήγματα με διεύθυνση κάθετη στη παράταξη και με εμφανείς τάσεις «ψαλιδισμού» παρουσιάζοντας μεγαλύτερο άλμα πτώσης νοτιότερα (Σχ. 1.5β). Γενικά η κατάσταση εξαλλοίωσης των τοιχωμάτων των ασυνεχειών κρίνεται καλή, αν και κατά τόπους παρουσιάζονται εμφανίσεις ζωνών με πηλούς και αργίλους. Η παρουσία υπόγειου νερού στις επιφάνειες των ασυνεχειών είναι μέτρια, ενώ σποραδικά παρουσιάζεται σχετικά υψηλή.

Η μέθοδος εξόρυξης που εφαρμόζεται είναι η μηχανοποιημένη μέθοδος των θαλάμων και στύλων με λιθογόμωση.



Εικόνα 1.6: Μέθοδος θαλάμων και στύλων.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

## Μέθοδοι υπόγειας εκμετάλλευσης

---

### 2.1 Αρχές σχεδιασμού έργων υπόγειας εκμετάλλευσης

#### 2.1.1 Προσπέλαση υπογείων έργων

##### 2.1.1.1 Γενικά στοιχεία

Τα έργα προσπέλασης μιας υπόγειας εκμετάλλευσης αποτελούν τον τρόπο επικοινωνίας της εκμετάλλευσης με την επιφάνεια. Μερικές από τις βασικές λειτουργίες που εξυπηρετούν τα έργα αυτά είναι (Οικονομόπουλος, 1989):

- η μεταφορά του προσωπικού προς και από τα μέτωπα εργασίας
- η μεταφορά του εξοπλισμού και των υλικών προς τα μέτωπα εργασίας
- η μεταφορά του εξορυσσομένου προϊόντος στην επιφάνεια
- ο αερισμός των μετώπων
- η εγκατάσταση δικτύων ύδρευσης, ηλεκτρικής ενέργειας και πεπιεσμένου αέρα.
- η άντληση υπογείων υδάτων.

Με βάση τα παραπάνω, εύκολα συμπεραίνεται ότι η προσπέλαση αποτελεί ένα από τα βασικότερα τμήματα μιας μελέτης με σκοπό την εκμετάλλευση ενός κοιτάσματος και θα πρέπει να δοθεί η δέουσα προσοχή

όσο αναφορά το σχεδιασμό και την κατασκευή των έργων προσπέλασης, διότι η σημασία των τμημάτων αυτών είναι ζωτική για την διεκπεραίωση ολόκληρης της εκμετάλλευσης. Εν τούτοις αποτελεί λανθασμένη εντύπωση το ότι η κατασκευή των έργων προσπέλασης είναι μια απλή και ευχερής εργασία χωρίς πολλά προβλήματα, κινδύνους και απρόοπτα. Η εμπειρία έχει αποδείξει ότι απαιτείται η δέουσα προσοχή στην κατασκευή προσπελαστικών έργων, επίσης η απαιτούμενη προσπάθεια, ενημέρωση και υψηλής στάθμης τεχνολογία και τεχνογνωσία για να στεφθεί από επιτυχία το έργο τόσο από οικονομικής όσο και από τεχνικής πλευράς.

### **2.1.1.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την υπόγεια προσπέλαση**

Για το σχεδιασμό των έργων προσπέλασης είναι απαραίτητο οι μηχανικοί εκμετάλλευσης να προτείνουν οικονομικά και τεχνικά βιώσιμες λύσεις όσον αφορά στα ακόλουθα θέματα (Αγιουτάντης, 2005):

- στον τρόπο εκμετάλλευσης
- στη θέση των έργων προσπέλασης
- στη μορφή και το μέγεθος των έργων προσπέλασης

Γενικά υπάρχουν οι παρακάτω τρόποι υπόγειας προσπέλασης:

- μέσω στοών
- μέσω οριζόντιων στοών
- μέσω κεκλιμένων στοών [ράμπες] (κλίση  $10^\circ$ )
- μέσω φρεάτων
- μέσω κεκλιμένων (κλίση  $45^\circ$ )
- μέσω συνδυασμό των δύο τελευταίων ή μέσω φρέατος ορυσσομένου κατ' αρχήν κατακόρυφα και λαμβάνοντας στη συνέχεια κλίση μικρότερη των  $90^\circ$ .

Πέρα όμως από τους τρόπους υπόγειας προσπέλασης και τις παραμέτρους που λαμβάνονται για το σχεδιασμό της υπόγειας προσπέλασης,

υπάρχουν και κάποιοι άλλοι παράγοντες που επιδρούν δυσχεραίνοντας την προσπέλαση και γενικά τις εργασίες προσπέλασης.

Η αντιμετώπιση των προβλημάτων που σχετίζονται με τον τρόπο προσπέλασης, καθώς και τη θέση και το μέγεθος των έργων προσπέλασης, βρίσκεται σε άμεση συνάρτηση με ορισμένους παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν κατά περίπτωση, άλλος λιγότερο και άλλος περισσότερο, την τελική απόφαση που επρόκειτο να ληφθεί. Οι παράγοντες αυτοί είναι κυρίως (Οικονομοπουλος, 1989):

- η γεωμετρία του κοιτάσματος, ιδιαίτερα δε η κλίση αυτού
- το βάθος στο οποίο επιδιώκεται η προσπέλαση του κοιτάσματος
- το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής
- η γεωλογική δομή της περιοχής
- η αναμενόμενη παραγωγή του μεταλλείου
- το κόστος κατασκευής και εκμετάλλευσης των έργων προσπέλασης
- η εφαρμοσμένη μέθοδος εκμετάλλευσης
- η μελλοντική προοπτική του μεταλλείου

Όσον αφορά τη γεωμετρία του κοιτάσματος και ιδιαίτερως την κλίση αυτού είναι προφανές ότι μπορούν να επηρεάσουν αποφασιστικά την επιλογή του τρόπου προσπέλασης. Οριζόντια, κατακόρυφα, ή μεγάλης κλίσης κοιτάσματα φαίνεται ότι είναι προτιμότερο να προσπελασθούν μέσω φρεάτων. Αντίθετα, μικρά ή μέσης κλίσης κοιτάσματα είναι προτιμότερο να προσπελασθούν μέσω κεκλιμένων. Ωστόσο και στις δύο περιπτώσεις το βάθος στο οποίο επιδιώκεται η προσπέλαση μπορεί να ανατρέψει την εμφανιζόμενη ως πιο σωστή μέθοδο προσπέλασης. Πράγματι, σε μικρό βάθος πιθανόν να πλεονεκτεί η προσπέλαση μέσω κεκλιμένο, ενώ για μεγαλύτερο βάθος προτιμάται η όρυξη φρέατος.

Το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής είναι δυνατόν, συναρτήσει και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του κοιτάσματος, να καθορίσει τον τρόπο προσπέλασης. Έτσι σε περίπτωση οριζόντιου εδάφους, η προσπέλαση

οριζοντίων ή πολύ μικρής κλίσεως κοιτασμάτων, μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο μέσω όρυξης φρεάτων. Λοφώδεις όμως ή ορεινές περιοχές προσφέρουν συνήθως τη δυνατότητα προσπελάσεως μέσω στοών ή κεκλιμένων, με την προϋπόθεση ότι μέσω αυτών εξασφαλίζεται η απόληψη ικανού όγκου κοιτάσματος.

Επιπροσθέτως, το τοπογραφικό ανάγλυφο και γενικότερα η τοπογραφική διαμόρφωση της υπερκείμενης περιοχής του κοιτάσματος, επηρεάζει και τη θέση των κυρίων έργων προσπελάσεως, δεδομένου ότι απαιτείται η ύπαρξη όχι μόνο κατάλληλου αλλά και σημαντικής επιφανειακής έκτασης στην οποία θα ανεγερθούν οι απαραίτητες εγκαταστάσεις. Γενικώς επιδιώκεται η 'εκμετάλλευσή' του τοπογραφικού ανάγλυφου, με σκοπό την εύρεση του άριστου συνδυασμού των έργων προσπέλασης και αν είναι δυνατόν να αποφευχθεί η ανέλκυση του μεταλλεύματος, είτε μέσω φρεάτων, είτε μέσω κεκλιμένων.

Η γεωλογική δομή της περιοχής ασκεί σημαντική επιρροή στον καθορισμό της θέσης των έργων προσπέλασης και κατά κύριο λόγο των έργων ανάπτυξης, ιδιαίτερα δε εφ' όσον από αυτά επιδιώκονται συγχρόνως και ερευνητικοί σκοποί. Τόσο, ο τρόπος, όσο και η θέση των έργων προσπέλασης πρέπει να επιλέγονται κατάλληλα ώστε να αποφεύγεται ο κίνδυνος και οι δαπάνες διέλευσης μέσω τεκτονικών ζωνών, μεταπτώσεων, υδροφόρων σχηματισμών, ή εξαιρετικώς ασταθών πετρωμάτων. Δεν πρέπει να λησμονείται ότι τα έργα προσπέλασης διαρκούν από πλευράς χρόνου ζωής, όσο και το μεταλλείο και συνεπώς πρέπει να ορύσσονται, κατά το δυνατόν, μέσα σε ευσταθή πετρώματα, έστω και αν αυτό συνεπάγεται την όποια αύξηση των δαπανών της εκμετάλλευσης του κοιτάσματος, με τη λογική ότι θα αποφευχθούν οι όποιοι κίνδυνοι θα εκδηλωθούν ενδεχομένως αργότερα.

Η επιδιωκόμενη παραγωγή του μεταλλείου, επηρεάζει ευθέως το μέγεθος των έργων προσπέλασης των κοιτασμάτων. Και άλλοι παράγοντες υπεισέρχονται καθοριστικά, όπως το βάθος εκμετάλλευσης, η μέθοδος και ο εξοπλισμός μεταφοράς και ανέλκυσης, η ποσότητα του απαιτούμενου προς



διοχέτευση αέρα, τα χαρακτηριστικά των συναντώμενων πετρωμάτων, ο αριθμός των υπόγειων εργαζομένων κλπ., χωρίς να σημαίνει ότι όσα αναγράφηκαν αποτελούν και σειρά αξιολόγησης των εν λόγω παραγόντων.

Υπό την προϋπόθεση ότι από πλευράς εξυπηρέτησης της εκμετάλλευσης οποιοσδήποτε τρόπος προσπέλασης (στοά, φρέαρ, κεκλιμένο) είναι αποδεκτός, δεδομένου ότι η σύγκριση των αντίστοιχων δαπανών της κατασκευή των διαφόρων έργων μπορεί να οδηγήσει στη λήψη της σχετικής απόφασης. Απαιτείται επομένως να ληφθούν παράλληλα υπόψιν οι δαπάνες του εξοπλισμού και λειτουργίας των έργων, εξετάζοντας σε κάθε περίπτωση αν αυτές επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα το τελικό κόστος του παραγόμενου προϊόντος.

Χαρακτηριστικά σημειώνεται ότι το κόστος ανέλκυσης μέσω φρεάτων είναι σημαντικά μικρότερο απ' ότι μέσω κεκλιμένων, τα οποία υστερούν συγχρόνως και σε δυναμικότητα ανέλκυσης. Από πλευράς ορύξεως και υπό αυτές τις συνθήκες είναι προφανές ότι η κατασκευή στοάς μπορεί να επιτευχθεί ταχύτερα και οικονομικότερα σε σύγκριση με το κεκλιμένο ή το κατακόρυφο φρέαρ. Τυχόν ύπαρξη υδροφορίας επιτείνει τα πλεονεκτήματα της στοάς, ως συνέπεια της φυσικής αποστράγγισης των υδάτων μέσα από τη στοά.

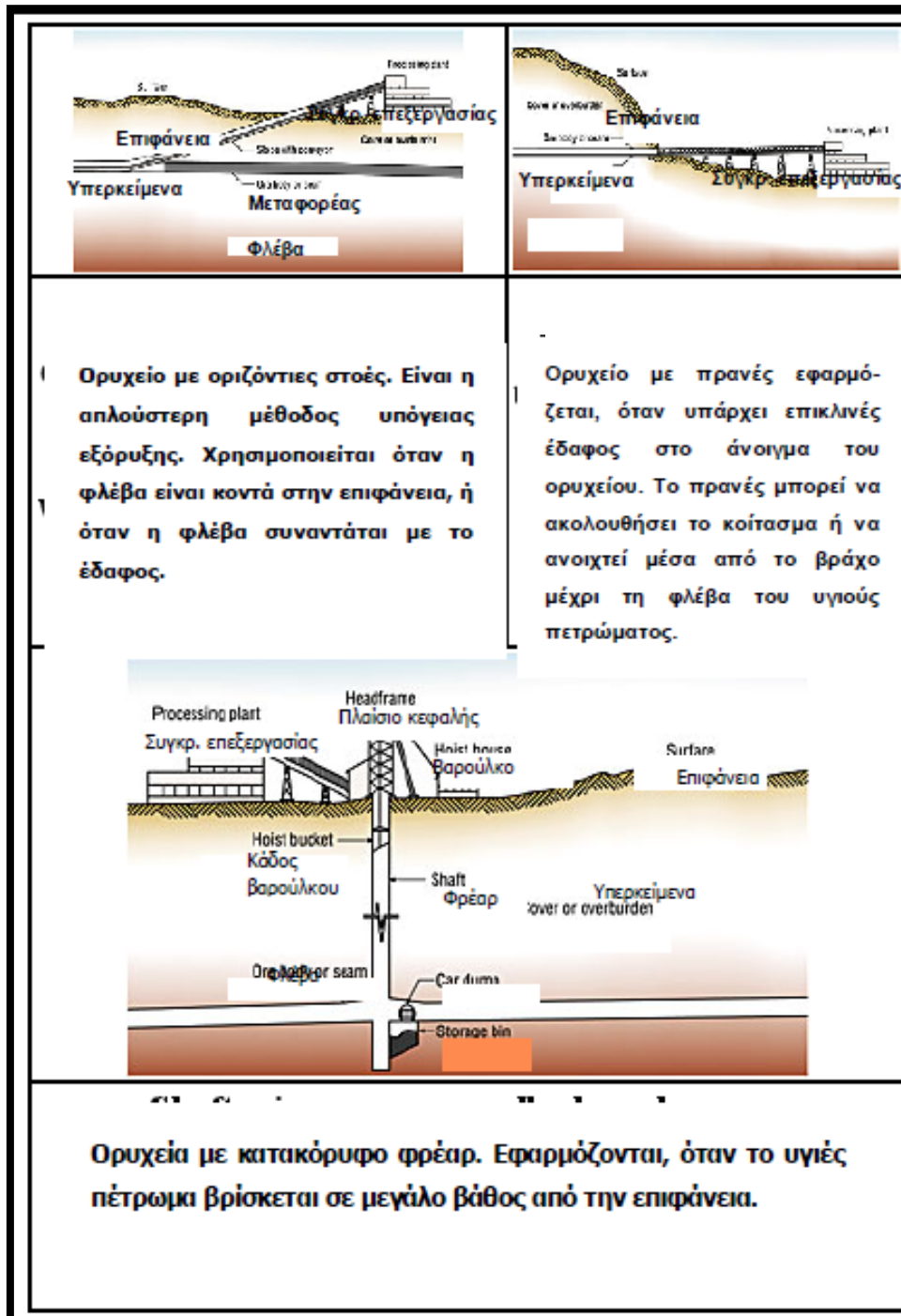
Από την πλευρά σύγκρισης φρέατος και κεκλιμένου αποβαίνει συνήθως υπέρ του δεύτερου. Εν τούτοις, θα πρέπει να σημειωθεί ότι αυξανόμενης της κλίσης πέρα από τις 65° το κεκλιμένο χάνει ορισμένα από τα πλεονεκτήματά του κατά την όρυξή του, ενώ συγχρόνως δεν αποκτά και τα πλεονεκτήματα της όρυξης του φρέατος. Έτσι σε μεγάλες κλίσεις η υπέρ του κεκλιμένου διαφορά είναι δυνατόν να μηδενισθεί και να καταστεί αρνητική, οπότε η όρυξη φρέατος εμφανίζεται ως περισσότερο συμφέρουσα. (Οικονομόπουλος, 1989)

Χαρακτηριστικό παράδειγμα στοάς εκμετάλλευσης και μεθόδων εξορύξεων παρουσιάζονται στην εικόνα 2.1 και στο σχήμα 2.2 αντίστοιχα.

Στον πίνακα 2.1 , παρουσιάζονται οι τρόποι προσπέλασης και οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή του καταλληλότερου τρόπου κάθε φορά.



Εικόνα 2.1: Στοά εκμετάλλευσης



Σχήμα 2.2 : Μέθοδοι εξορύξεων (Εφραιμίδης, 2002)

**Πίνακας 2.1:** Στοιχεία για την επιλογή έργων υπόγειας εκμετάλλευσης (Οικονομόπουλος, 1989).

Επιφάνεια εδάφους	Βάθος προσπέλασης	Κλίση κοιτάσματος	Συνήθης τρόπος προσπέλασης
<b>σχεδόν οριζόντια</b>	μικρό, μέσο, μεγάλο	μικρή σχεδόν οριζόντιο	φρέαρ
<b>σχεδόν οριζόντια</b>	μικρό, μέσο	μέση	φρέαρ, κεκλιμένο, ελικοειδές κεκλιμένο
<b>σχεδόν οριζόντια</b>	μεγάλο	μέση	φρέαρ
<b>σχεδόν οριζόντια</b>	μικρό, μέσο	μεγάλη (σχεδόν κατακόρυφη)	φρέαρ, κεκλιμένο, ελικοειδές κεκλιμένο
<b>σχεδόν οριζόντια</b>	μεγάλο	μεγάλη	φρέαρ
<b>κεκλιμένη (με σημαντικό ανάγλυφο)</b>	μικρό, μέσο	μικρή, μέση, μεγάλη	στοά, κεκλιμένο
<b>Κεκλιμένη (με σημαντικό ανάγλυφο)</b>	μεγάλο	μικρή, μέση, μεγάλη	φρέαρ

### 2.1.1.3 Επιλογή της θέσης των έργων προσπέλασης

Η επιλογή της θέσης των έργων προσπέλασης αποτελεί ίσως το σημαντικότερο σημείο του σχεδιασμού μιας εκμετάλλευσης. Καθώς τα έργα αυτά θεωρούνται μόνιμα επηρεάζουν τις αποφάσεις για την κατασκευή βοηθητικών εγκαταστάσεων (συνεργεία επισκευής, κτίρια διοίκησης) και του τυχόν εργοστασίου θραύσης ή επεξεργασίας του προϊόντος. Οι κυριότεροι

παράγοντες που υπεισέρχονται στη μελέτη του προβλήματος αυτού είναι (Αγιουτάντης, 2005):

- η μορφολογία της επιφάνειας του εδάφους που υπέρκειται του κοιτάσματος
- η ευκολία μεταφοράς του προϊόντος στην αγορά και των υλικών στο μεταλλείο μέσω υπάρχοντων συγκοινωνιακών δικτύων
- η επίδραση του κλίματος στη λειτουργία της εκμετάλλευσης
- η μέθοδος εκμετάλλευσης (τα μόνιμα έργα προσπέλασης πρέπει να μην επηρεάζονται από την ανάπτυξη της εκμετάλλευσης)
- η μελλοντική προοπτική ανάπτυξης του έργου
- το κόστος ανάπτυξης δηλαδή το κόστος μέχρι τη λειτουργική προσπέλαση των μετώπων εξόρυξης του μεταλλεύματος, σε σχέση με το κόστος λειτουργίας του μεταλλείου.

Η βέλτιστη θέση των έργων προσπέλασης καθορίζεται στις περισσότερες περιπτώσεις από τους ακόλουθους παράγοντες (Αγιουτάντης 2005):

- την ασφάλεια της εκμετάλλευσης
- την ταχεία και οικονομική προσπέλαση του κοιτάσματος
- την ταχεία έναρξη παραγωγής μεταλλεύματος
- την ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς του προϊόντος
- την ελαχιστοποίηση των δαπανών αερισμού, άντλησης υδάτων, διακίνησης προσωπικού κλπ.

Όσο αναφορά την θέση των κύριων μεταλλευτικών έργων, εξαρτάται βασικά από τον τρόπο προσπέλασης ο οποίος τελικά θα υιοθετηθεί από το τοπογραφικό ανάγλυφο της επιφάνειας όπως και των εν γένει συνθηκών εκμετάλλευσης. Ιδιαίτερος το τοπογραφικό ανάγλυφο και γενικότερα η τοπογραφική διαμόρφωση της υπερκείμενης του κοιτάσματος επιφανειακής περιοχής επηρεάζει και τη θέση της αφετηρίας των κύριων έργων προσπέλασης από τη πλευρά της προφύλαξης τους έναντι των πλημμύρων και της εξασφάλισης της απαραίτητης έκτασης με σκοπό την ανέγερση των

διαφόρων εγκαταστάσεων, στα οποία περιλαμβάνονται συχνά και εργοστάσια εμπλουτισμού του παραγόμενου μεταλλεύματος. Είναι προφανές ότι η ευχερής σύνδεση των εν λόγω εγκαταστάσεων, είναι μεγάλης σημασίας και πρέπει να εξετάζεται με ιδιαίτερη προσοχή.

Αναφορικά με τις συνθήκες εκμετάλλευσης και πέρα της εφαρμοζόμενης μεθόδου, εξαιρετική σημασία πρέπει να δοθεί στη μεταφορά των εξορυσσόμενων προϊόντων και αυτό υπό την έννοια ότι η θέση του κύριου έργου προσπέλασης, ενός φρέατος για παράδειγμα, πρέπει να είναι τέτοια ώστε η μεταφορά του μεταλλεύματος μέχρι την επιφάνεια να εκτελείται με τον πλέον οικονομικότερο τρόπο.

Συνεπώς και ανεξάρτητα της επιρροής άλλων παραγόντων, πρέπει να επιζητείται η επιλογή της βέλτιστης θέσης του φρέατος, μέσω της οποίας θα επιτυγχάνεται η ελαχιστοποίηση του προβλεπόμενου συνολικού μεταφορικού έργου, ή αλλιώς των προς εκτέλεση απαιτούμενων δαπανών (Οικονομόπουλος, 1989).

Είναι λοιπόν ενδεχόμενο η βέλτιστη θέση του φρέατος, με βάση τα παραπάνω, να μη μπορεί να πραγματοποιηθεί για διάφορους λόγους και πιο συγκεκριμένα επειδή κάποιος άλλος παράγοντας επιδρά τόσο αποφασιστικά ώστε να απαγορεύει την υλοποίηση των συμπερασμάτων που προέκυψαν από την μελέτη εκμετάλλευσης και προσπέλασης με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς του μεταλλεύματος.

Δεδομένου ότι η επίδραση των διαφόρων παραγόντων είναι μεταβλητή, το πρόβλημα μπορεί να καταστεί αρκετά πολύπλοκο. Μελετώντας όσο το δυνατόν περισσότερες παραλλαγές και αναλύοντας τις επιρροές των παραγόντων για τους οποίους μιλάμε από πλευράς ασφάλειας, επενδύόμενου κεφαλαίου, έναρξης χρόνου εκμετάλλευσης, κόστους παραγόμενου προϊόντος κλπ, οδηγούμαστε στον καθορισμό της θέσεως, η οποία προκύπτει από τον ευνοϊκό συγκερασμό των αντίστοιχων επιπτώσεων, και τη οποία θεωρηθεί ως βέλτιστη, με βάση τις δεδομένες συνθήκες.



Εικόνα 2.3: Μεταλλεία εκμετάλλευσης βωξίτη.

#### **2.1.1.4 Επιλογή του αριθμού των έργων προσπέλασης**

Σε κάθε υπόγεια εκμετάλλευση επιβάλλεται η δημιουργία δύο τουλάχιστον οδών επικοινωνίας με την επιφάνεια για λόγους ασφαλείας και για τη δημιουργία του κυκλώματος αερισμού. Παρόλο που συνήθως τα έργα προσπέλασης διακρίνονται σε κύρια και δευτερεύοντα, είναι απαραίτητο να γίνει εξαρχής πλήρης μελέτη για την όρυξη όλων των έργων προσπέλασης, καθώς αυτά αποτελούν μόνιμα έργα απαραίτητα για την απρόσκοπτη λειτουργία ενός μεταλλείου.

Καθώς αυξάνει η οριζόντια εξάπλωση των έργων ανάπτυξης και εκμετάλλευσης του κοιτάσματος είναι πιθανόν να απαιτηθεί η όρυξη νέων έργων επικοινωνίας με την επιφάνεια για να εξυπηρετηθεί καλύτερα το κύκλωμα αερισμού και η διακίνηση προσωπικού και υλικών προς τα νέα μέτωπα εκμετάλλευσης. Σε σπάνιες περιπτώσεις όμως μεταβάλλεται η κύρια θέση μεταφοράς του εξορυσσόμενου προϊόντος στην επιφάνεια, καθώς (Οικονομόπουλος, 1989):

- η θέση αυτή συνήθως συνδέεται με υπόγειες εγκαταστάσεις θραύσης ή και αποθήκευσης και με επιφανειακές εγκαταστάσεις επεξεργασίας.
- το αρχικό κόστος εγκατάστασης ενός μόνιμου συστήματος μεταφοράς είναι αρκετά υψηλό.

#### **2.1.1.5 Επιλογή της μορφής και της διατομής των έργων προσπέλασης**

Το μέγεθος των έργων προσπέλασης ενός κοιτάσματος, καθώς και η μορφή της διατομής τους, επηρεάζεται κυρίως από του ακόλουθους παράγοντες (Αγιουτάντης, 2005):

- το ύψος της παραγωγή του μεταλλείου
- το βάθος εκμετάλλευσης
- τη μέθοδο και τον εξοπλισμό μεταφοράς/ανέλκυσης
- την ποσότητα του απαιτούμενου αέρα και τη μέγιστη επιτρεπτή ταχύτητα κίνησης του αέρα αυτού.
- τις γεωλογικές και υδρολογικές συνθήκες
- τις απαιτήσεις δικτύων ηλεκτρισμού, άντλησης των υπογείων υδάτων, λιθογόμωσης κλπ.
- τον αριθμό των εργαζομένων
- το κόστος λειτουργίας και συντήρησης των έργων

Συνοπτικά η μορφή της εκσκαφής είναι συνάρτηση του τύπου και του τρόπου κατασκευής του ανοίγματος και πρέπει να εξασφαλίζει οικονομική και άνετη όρυξη της εκσκαφής, να προσαρμόζεται στα χαρακτηριστικά και τον τύπο του πετρώματος και να εξυπηρετεί με ευχέρεια τη διακίνηση του προσωπικού, του εξοπλισμού και του αέρα.

Όσο αναφορά την προσπέλαση με στοά, οι μορφές των διατομών των υπόγειων ανοιγμάτων, οι οποίες χρησιμοποιούνται συνήθως είναι η τραπεζοειδής, η ελλειψοειδής ή η κυκλική, καθώς και μερικές φορές



παρалаγές των δύο τελευταίων κατηγοριών (όπως η ημικυκλική, η ημιελλειψοειδής κλπ.) ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των περιβαλλόντων πετρωμάτων, τον τύπο της υποστήριξης και τις ανάγκες της εκμετάλλευσης.

Από την άλλη μεριά, στην προσπέλαση με φρέαρ, οι μορφές των διατομών οι οποίες χρησιμοποιούνται συνήθως είναι η κυκλική και η ορθογωνική ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκμετάλλευσης. Η κυκλική διατομή είναι δυνατόν να εξυπηρετεί καλύτερα τις ανάγκες αερισμού και να έχει καλύτερη συμπεριφορά όσο αναφορά στη σταθερότητα των τοιχωμάτων, ενώ η ορθογωνική είναι συχνά καλύτερη όσον αφορά στην αξιοποίηση του ωφέλιμου χώρου.

## **2.2 Υποστήριξη των υπογείων**

### **2.2.1 Γενικά στοιχεία**

Ο σχεδιασμός της υποστήριξης των υπογείων έργων και ειδικότερα των μεταλλευτικών εκσκαφών περιγράφεται συχνά τόσο ως **‘τέχνη’** όσο και ως **‘επιστήμη’**. Η εν λόγω αντιμετώπιση μπορεί να θεωρηθεί αφενός μεν ως θετική κριτική δεδομένου ότι κατά το σχεδιασμό εμπλέκεται η κρίση του μηχανικού-σχεδιαστή, όμως αφετέρου μπορεί να χαρακτηριστεί ως αρνητική κριτική με δεδομένο το επίπεδο των γνώσεων που υπάρχει σήμερα διεθνώς επί των θεμάτων της υποστήριξης υπογείων εκσκαφών. Παρά το γεγονός ότι τα τελευταία 30 χρόνια έχει σημειωθεί ανάπτυξη και έρευνα στα θέματα σχεδιασμού της υποστήριξης, τόσο στις αναλυτικές όσο και στις υπολογιστικές μεθόδους οι οποίες απαιτούν τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή, η εφαρμογή των εμπειρικών τεχνικών σχεδιασμού εξακολουθεί να είναι ευρεία, και ιδιαίτέρως στη μεταλλευτική.

Η διαδικασία σχεδιασμού της υποστήριξης των υπογείων εκσκαφών σήμερα θεωρείται συχνά ως ιδιαίτερα πολύπλοκη εξαιτίας της έλλειψης επαρκών στοιχείων επί του γεωλογικού περιβάλλοντος του υπό κατασκευή έργου, καθώς επίσης και επί του εντατικού πεδίου το οποίο υφίσταται στο χώρο όρυξης της υπόγειας εκσκαφής. Η εν λόγω έλλειψη στοιχείων ή το γεγονός ότι δεν είναι συχνά εφικτό, εντός των διαθέσιμων χρονικών και

οικονομικών περιθωρίων να προσδιορισθούν ποσοτικά ορισμένες παράμετροι οι οποίες υπεισέρχονται στο σχεδιασμό της υποστήριξης, αντισταθμίζεται από τη χρησιμοποίηση ενός κατάλληλου συντελεστή ασφαλείας. Με τον εν λόγω συντελεστή επιτυγχάνεται η κάλυψη όλων των ασαφειών και παραδοχών που έγιναν κατά τη φάση καθορισμού των τιμών των υπεισερχομένων παραμέτρων στο σχεδιασμό.

Κατά την ανάπτυξη του σχεδίου εξέλιξης των εργασιών εξόρυξης και των εργασιών υποστήριξης διεξάγονται συνήθως υποκειμενικές εκτιμήσεις επί του υφιστάμενου εντατικού πεδίου. Γίνεται διάκριση μεταξύ των περιπτώσεων όπου το εντατικό πεδίο χαρακτηρίζεται από χαμηλές τιμές τάσεων και εκείνων κατά τις οποίες το εντατικό πεδίο χαρακτηρίζεται από υψηλές τιμές τάσεων. Η ανωτέρω διάκριση σχετίζεται αφενός μεν με το βάθος στο οποίο θα διενεργηθούν οι εκσκαφές και αφετέρου δε με το μέσο επίπεδο του τασικού πεδίου το οποίο οφείλεται σε γενικότερα και ευρύτερα γεωλογικά φαινόμενα τα οποία σχετίζονται με τη γεωγραφική περιοχή στην οποία προγραμματίζονται τα υπόγεια έργα. Η εν λόγω διάκριση σε εντατικό περιβάλλον χαμηλών και υψηλών τιμών τάσεων σχετίζεται με τους μηχανισμούς οι οποίοι έχουν κυρίαρχο ρόλο στη συμπεριφορά της μάζας του πετρώματος εντός τη οποίας πρόκειται να διενεργηθεί εξόρυξη. Πιο συγκεκριμένα στις περιπτώσεις κατά τις οποίες το εντατικό πεδίο είναι χαμηλών τάσεων η συμπεριφορά της μάζας του πετρώματος καθορίζεται και ελέγχεται από τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της, όπως για παράδειγμα οι ασυνέχειες, οι στρώσεις, τα ρήγματα κ.α ή άλλα επίπεδα αδυναμίας. Υπό το πρίσμα αυτό θα πρέπει να γίνει ο σχεδιασμός των μέτρων υποστήριξης, τα οποία θα πρέπει να αποσκοπούν στη διατήρηση και ισχυροποίηση της αντοχής της μάζας του πετρώματος στα επίπεδα αδυναμίας. Αντιθέτως, στις περιπτώσεις κατά τις οποίες το εντατικό πεδίο της εκσκαφής είναι υψηλών τάσεων, η συμπεριφορά της μάζας του πετρώματος καθορίζεται κατά κύριο λόγο αυτό, ενώ ο σχεδιασμός των μέσων υποστήριξης θα πρέπει να στοχεύει στον περιορισμό της έκτασης και στην υποστήριξη των διακριτών ζωνών αστοχίας της μάζας του πετρώματος στην περιφέρεια του ανοίγματος.

Η εκδήλωση αστοχιών της μάζας του πετρώματος, που περιβάλλει μία υπόγεια εκσκαφή, αποτελεί μια διαρκή απειλή τόσο για την ασφάλεια των εργαζομένων, όσο και για το ίδιο το έργο και τον χρησιμοποιούμενο σε αυτό μηχανικό εξοπλισμό. Επιπροσθέτως και ειδικότερα σε ότι αφορά τα μεταλλεία, εξαιτίας της ``μόλυνσης`` του μεταλλεύματος η οποία συντελείται λόγω των πτώσεων των στείρων όγκων περιβαλλόντων πετρωμάτων η απόδοση της εκμετάλλευσης περιορίζεται σημαντικά. Για του ανωτέρω λόγους είναι σκόπιμο και απαραίτητο να εντοπισθούν οι μηχανισμοί αστοχίας της μάζας του πετρώματος και να εφαρμοσθούν τα πλέον ενδεδειγμένα μέτρα υποστήριξης με τα οποία θα περιορισθούν ή θα εξαλειφθούν εντελώς τα όποια προβλήματα αστάθειας των περιβαλλόντων της εκσκαφής πετρωμάτων.

Η κατάσταση και η φύση του κοιτάσματος και του περιβάλλοντος αυτού πετρώματος, το εντατικό πεδίο, η γεωμετρία των εκσκαφών και η αλληλουχία των εργασιών έχουν σημαντική επίδραση επί της γενικότερης ευστάθειας των υπόγειων εκσκαφών. Τα ανωτέρω πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό ενός υπογείου έργου και κυρίως ενός υπόγειου μεταλλείου το οποίο συνίσταται από πληθώρα και ποικιλία εκσκαφών, ώστε να περιορίζονται στο ελάχιστο οι απαιτήσεις υποστήριξης. Παρά την πρόοδο η οποία έχει σημειωθεί στο σχεδιασμό των εκσκαφών, υπεισέρχεται μεγάλος αριθμός αστάθμητων παραγόντων, χαρακτηριζομένων από υψηλή μεταβλητότητα, ώστε να είναι κανόνας η εφαρμογή, σε μικρή ή σε μεγαλύτερη έκταση, υποστήριξης όλων των υπόγειων μεταλλευτικών και μη εκσκαφών προς αντιμετώπιση των διαφόρων προβλημάτων αστάθειας της εκσκαφής.

Το πρόβλημα του σχεδιασμού των μέτρων υποστήριξης τα οποία απαιτούνται σε κάθε περίπτωση προς αντιμετώπιση των ανωτέρω προβλημάτων προσεγγίζεται με διάφορες μεθόδους και τεχνικές όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως. Όμως γενικά εκείνο το οποίο χαρακτηρίζει το εν λόγω πρόβλημα είναι η σχετική ανεπάρκεια στοιχείων τα οποία υπεισέρχονται στους υπολογισμούς. Από την έως σήμερα καταγεγραμμένη εμπειρία

διαφαίνεται ότι προκειμένου να εκπονηθεί ο σχεδιασμός της υποστήριξης ενός υπογείου έργου θα πρέπει να ακολουθήσουν βήματα που διακρίνονται στο σχήμα 2.4.

### **2.2.2 Υποστήριξη με κοχλίωση της οροφής**

Μία εκ των ευρέως χρησιμοποιούμενων κατηγοριών μέσων υποστήριξης των υπόγειων εκσκαφών είναι τα συστήματα κοχλίωσης. Η ιστορία των εν λόγω συστημάτων ξεκινάει από τα τέλη του 19ου αιώνα, ενώ η εφαρμογή τους σε, περιορισμένη μεν αλλά, βιομηχανική κλίμακα εντοπίζεται στην αρχή του 20ου αιώνα. Έκτοτε η χρήση των συστημάτων κοχλίωσης τόσο στη μεταλλευτική όσο και σε τεχνικά έργα κατέσπει ευρεία διεθνώς, ενώ η ετήσια κατανάλωση συστημάτων κοχλίωσης φθάνει τις εκατοντάδες εκατομμύρια τεμάχια.

Από τη διεθνή βιβλιογραφία προκύπτει ότι η εφαρμογή των συστημάτων κοχλίωσης διενεργήθει καταρχήν σε ανθρακωρυχεία της Άνω Σιλεσίας περί το 1918, ενώ αργότερα, στα 1927, αναφέρεται πιο εκτεταμένη και συστηματική εφαρμογή της κοχλίωσης σε μεταλλεία της εταιρείας St Joseph Head Co στο Missouri των ΗΠΑ, καθώς επίσης και στις στοές αερισμού των μετώπων εκμετάλλευσης στα μεταλλεία της εταιρείας Anaconda Copper Mining Co στην Montana των ΗΠΑ.

Στα επόμενα χρόνια το εύρος των εφαρμογών των συστημάτων κοχλίωσης διευρύνθηκε σημαντικά, κυρίως χάρη στην πρόοδο την οποία γνώρισε η επιστήμη της μηχανικής των πετρωμάτων, η οποία είχε ως αποτέλεσμα την κατανόηση των μηχανισμών αστοχίας της μάζας του πετρώματος και τον προσδιορισμό των απαιτήσεων σε υποστήριξη και στην αύξηση της τάσης υποστήριξης των υπογείων εκσκαφών με περισσότερα σύγχρονα μέσα υποστήριξης. Επιπλέον, η ανάπτυξη νέων συστημάτων κοχλίωσης και η εξέλιξη-βελτίωση των υφισταμένων, οδήγησε στην αποδοχή τους στη μεταλλευτική βιομηχανία και στη συνεχώς αυξανόμενη κατανάλωσή τους.

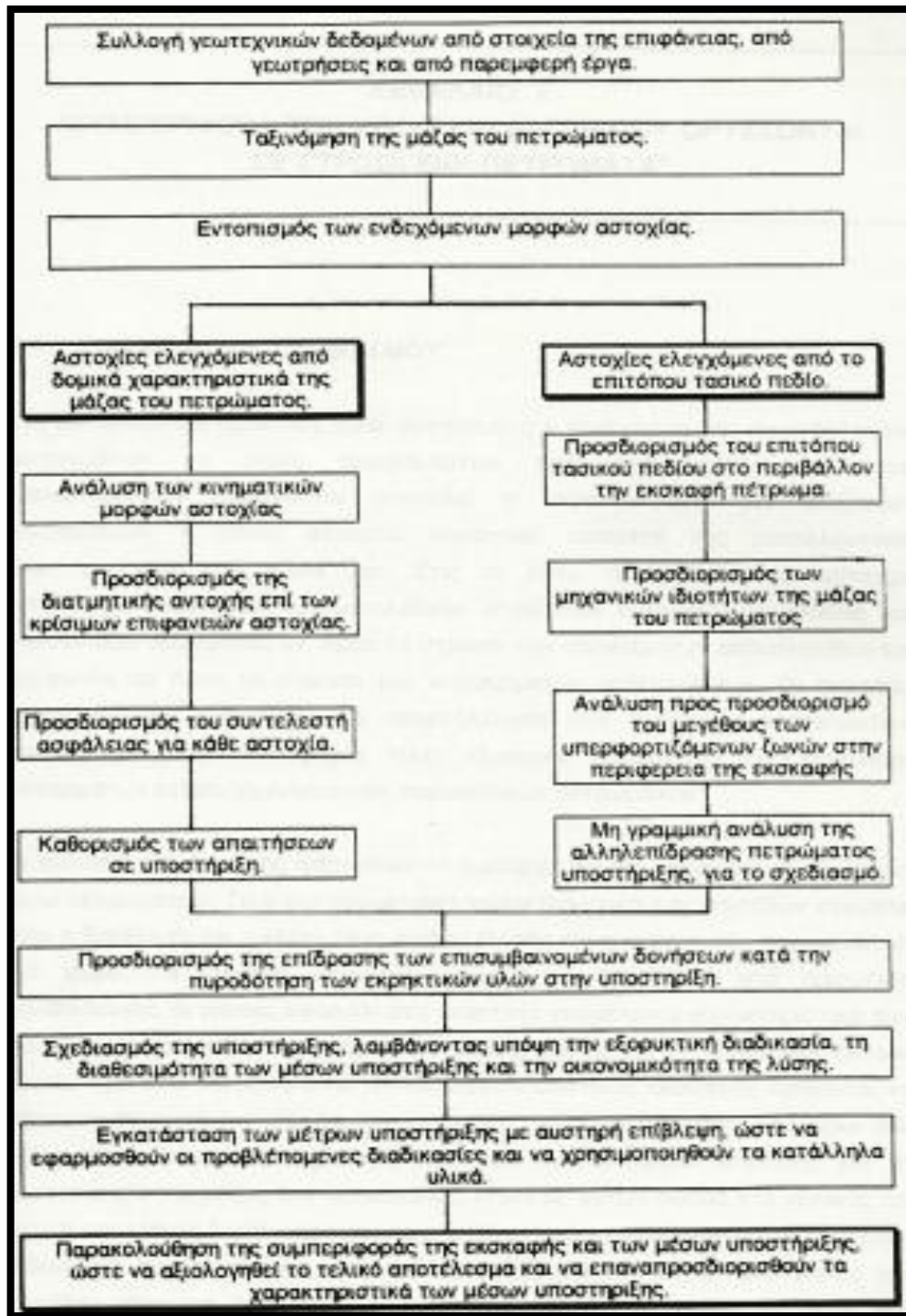
Σήμερα, τα συστήματα κοχλίωσης αποτελούν ένα από τα πλέον διαδεδομένα μέσα υποστήριξης των υπογείων έργων, αφενός μεν διότι εξυπηρετούν σε ικανοποιητικό βαθμό τις απαιτήσεις προς υποστήριξη των περιβαλλόντων πετρωμάτων και αφετέρου γιατί αποτελούν πιο οικονομικό σύστημα υποστήριξης συγκριτικά με άλλα παραδοσιακά συστήματα όπως είναι τα ξύλινα πλαίσια. Η ευρύτατη εφαρμογή των συστημάτων κοχλίωσης στη μεταλλευτική οφείλεται επιπροσθέτως στα ακόλουθα χαρακτηριστικά της:

1. Τοποθετούνται σε οποιασδήποτε γεωμετρίας διατομή χωρίς προηγούμενη κατάλληλη επεξεργασία τους.
2. Είναι εύχρηστα συστήματα χάρη στο μικρό κατά κανόνα βάρος τους.
3. Δεν προκαλούν μείωση της διατομής εκσκαφής.
4. Δεν επιβαρύνει τις συνθήκες αερισμού των υπογείων έργων.
5. Εφαρμόζονται κατά κανόνα για την προσωρινή υποστήριξη υπογείων εκσκαφών, ενώ συχνά συμμετέχουν και στη μόνιμη.
6. Συνδυάζονται αποτελεσματικά με άλλα συστήματα υποστήριξης.
7. Επιτρέπουν την άμεση τοποθέτησή τους πλησίον του μετώπου εργασίας και αμέσως μετά την προχώρησή του.
8. Στα περισσότερα συστήματα κοχλίωσης η διαδικασία τοποθέτησης μπορεί να χαρακτηριστεί ως απλή και ταχεία.
9. Η πλειοψηφία των συστημάτων κοχλίωσης επιδέχεται πλήρη εκμηχάνιση.
10. Ο απαιτούμενος χώρος αποθήκευσης είναι σημαντικά περιορισμένος σε σχέση με άλλα συστήματα.
11. Η διακίνησή τους εντός του μεταλλείου είναι εύκολη.
12. Προσδίδουν ευελιξία στο σχεδιασμό της υποστήριξης, δεδομένου ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο προς αντιμετώπιση μεμονωμένων περιπτώσεων όσο και να εφαρμοστούν σε συστηματική βάση.
13. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλο εύρος συνθηκών, με κατάλληλες και απλές μεταβολές στην πυκνότητα εγκατάστασης και τα τεχνολογικά τους χαρακτηριστικά.

14. Με ορθολογικό σχεδιασμό της υποστήριξης και προγραμματισμό των εργασιών εγκατάστασης, το κόστος τους είναι σχετικά χαμηλό.
15. Υπάρχουν εύχρηστοι και άμεσοι μέθοδοι ελέγχου της αποτελεσματικής και ορθής τοποθέτησης των συστημάτων κοχλίωσης.

Το σύνολο σχεδόν των ανωτέρω χαρακτηριστικών των συστημάτων κοχλίωσης αποτελούν συγκριτικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων συστημάτων υποστήριξης. Το γεγονός αυτό καθιστά, στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, πρώτη επιλογή για την υποστήριξη των υπογείων μεταλλευτικών εκσκαφών. Όμως είναι επιβεβλημένο, προκειμένου να αποφευχθούν δυσάρεστες συνέπειες, να επιλέγεται προσεκτικά και με σωστό σχεδιασμό ο κατάλληλος τύπος συστήματος κοχλίωσης, οποίος παρουσιάζει τη βέλτιστη συμπεριφορά στις εκάστοτε συνθήκες και επιπλέον να διενεργούνται επιτόπου δοκιμές ελέγχου με τις οποίες να τεκμηριώνεται και να πιστοποιείται η αποτελεσματικότητα της λειτουργίας του.

Ο μηχανικός ο οποίος επωμίζεται της ευθύνης του σχεδιασμού της υποστήριξης και ειδικότερα του συστήματος κοχλίωσης και των χαρακτηριστικών του, αντιμετωπίζει πλέον τη συνεχώς αυξανόμενη απαίτηση βελτιστοποίησης του σχεδιασμού υπό το πρίσμα της επαρκούς ασφάλειας και της οικονομικότητας. Για την επίτευξη των ανωτέρω είναι απαραίτητη η γνώση της συμπεριφοράς της μάζας του πετρώματος, καθώς επίσης και τα χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες των διαθέσιμων μέτρων υποστήριξης. Τα ανωτέρω επιβάλλουν τη διενέργεια συστηματικής παρακολούθησης της συμπεριφοράς της μάζας του πετρώματος, καθώς επίσης και του συστήματος κοχλίωσης. Επιπροσθέτως, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και το γεγονός ότι η εργασία της κοχλίωσης και της υποστήριξης γενικότερα, συνδυάζεται και αλληλεπιδρά με την εργασία της μηχανικής απόσπασης επισφαλών όγκων, η οποία σχετίζεται άμεσα με τη συμπεριφορά της μάζας του πετρώματος και την κατάστασή της.



Σχήμα 2.4: Προτεινόμενα στάδια για την εκπόνηση του σχεδιασμού της υποστήριξης υπογείων έργων (Δελφοί-Δίοτομον, 2001).

## **2.3 Μέθοδος εκμετάλλευσης**

### **2.3.1 Γενικά στοιχεία**

Ένα από τα βασικότερα στοιχεία μιας οικονομικοτεχνικής μελέτης είναι και η μέθοδος εκμετάλλευσης των κοιτασμάτων. Πέρα από τα έργα προσπέλασης τα οποία έχουν μόνιμο χαρακτήρα και πρέπει να δίνεται η απαιτούμενη προσοχή και σημασία τόσο στην μελέτη όσο και στον σχεδιασμό τους, και η μέθοδος εκμετάλλευσης έχει καθοριστική σημασία για την ολοκλήρωση του έργου. Κι αυτό διότι αποτελεί μεν τη διαδικασία κατά την οποία λαμβάνονται τα αποθέματα του εκάστοτε κοιτάσματος, αλλά πρέπει δε να εξασφαλίζει και τις απαιτούμενες συνθήκες ασφαλείας στους εργαζομένους, οι οποίοι απασχολούνται για αρκετές ώρες κάτω από την επιφάνεια. Επίσης θα πρέπει να εξασφαλίζει και τις απαιτούμενες συνθήκες υγιεινής, όπως είναι για παράδειγμα ο αερισμός των υπογείων, έτσι ώστε οι συνθήκες εργασίας να είναι παράλληλα και ευνοϊκές προς τους εργαζόμενους και αποδοτικότερες για την μεταλλιοκτήτρια εταιρία.

### **2.3.2 Επιλογή της μεθόδου εκμετάλλευσης**

Ο αντικειμενικός στόχος της επιλογής μιας μεθόδου εκμετάλλευσης, είναι η σχεδίαση ενός συστήματος εξόρυξης που θα είναι το καταλληλότερο για το δεδομένο κοίτασμα. Μερικοί από τους κυριότερους παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή της καταλληλότερης μεθόδου εκμετάλλευσης είναι (Οικονομόπουλος, 1989):

- η υψηλή αποδοτικότητα
- το επιθυμητό ποσοστό απόληψης του μεταλλεύματος
- το επιθυμητό ποσοστό αραίωσης του μεταλλεύματος
- η εκλεκτική εκμετάλλευση
- η ασφάλεια
- το επενδυτικό και λειτουργικό κόστος
- ο απαιτούμενος χρόνος για την ανάπτυξη των έργων



Σε ορισμένες περιπτώσεις οι συνθήκες εμφάνισης ενός κοιτάσματος υπαγορεύουν καθαρά την εφαρμογή μιας μεθόδου ή αποκλείουν αμέσως την εφαρμογή ορισμένων μεθόδων. Σε πολλές περιπτώσεις απαιτείται η συγκριτική αξιολόγηση δύο ή περισσότερων μεθόδων τροποποιημένων κατάλληλα ώστε να ταιριάζουν στη συγκεκριμένη εκμετάλλευση με σκοπό να επιλεγεί η προσφορότερη. Επίσης είναι συνήθως επιθυμητό ο σχεδιασμός μιας εκμετάλλευσης να περιλαμβάνει στοιχεία που να επιτρέπουν μια ευελιξία και να αφήνουν περιθώριο για ανάπτυξη (αύξηση παραγωγής, εκμετάλλευση νέων οριζόντων κ.λ.π).

Ορισμένοι από τους γεωμετρικούς και γεωλογικούς παράγοντες που υπεισέρχονται στο σχεδιασμό είναι οι ακόλουθοι (Οικονομόπουλος, 1989):

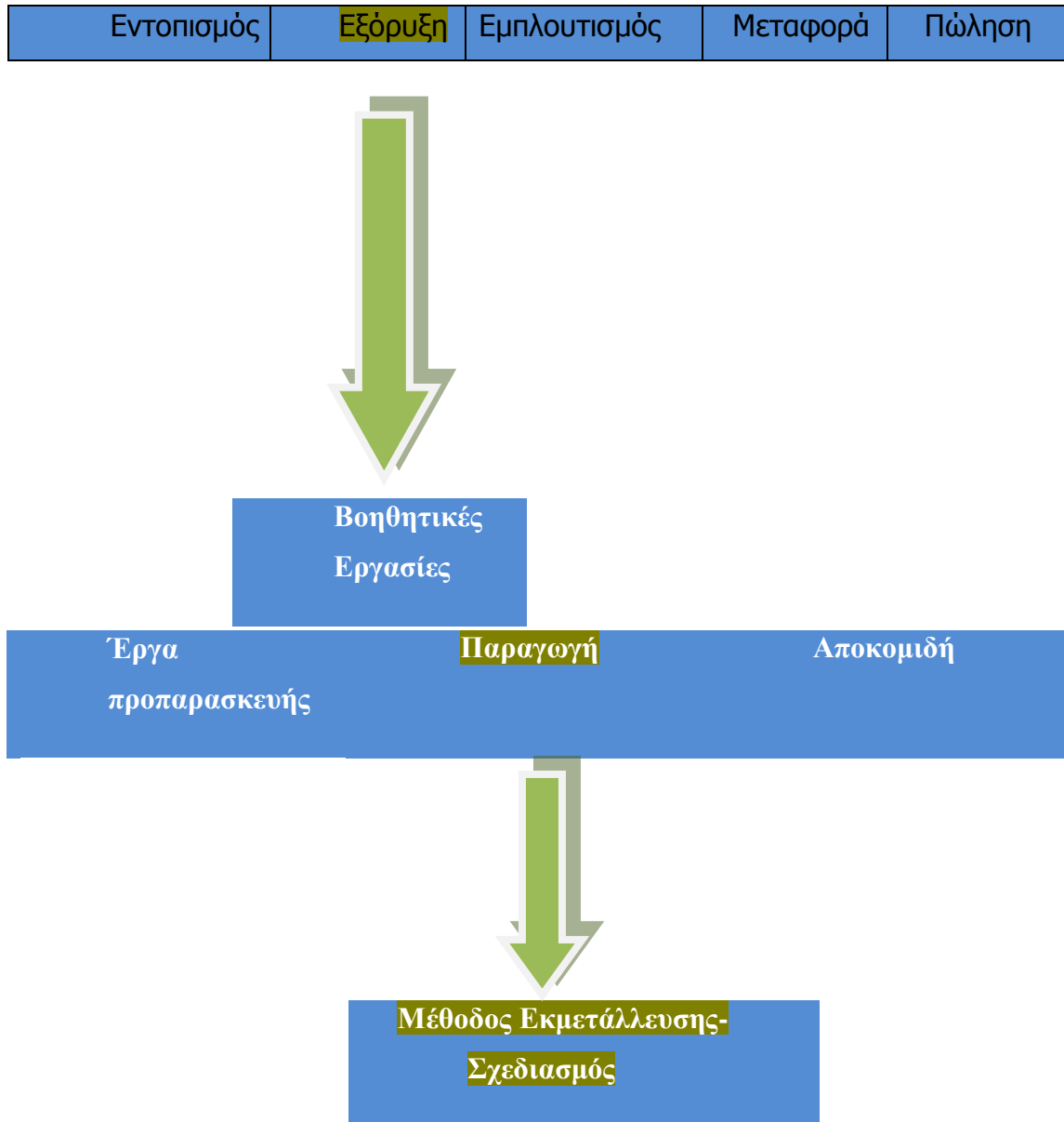
- η κλίση του κοιτάσματος
  - i. κοιτάσματα μικρής κλίσης, οριζόντια ή σχεδόν οριζόντια κοιτάσματα  $0-20^{\circ}$  .
  - ii. κοιτάσματα μέσης κλίσης  $20^{\circ} -50^{\circ}$
  - iii. κοιτάσματα μεγάλης κλίσης, σχεδόν κατακόρυφα ή κατακόρυφα  $50^{\circ}-90^{\circ}$  .
- η αντοχή των πετρωμάτων
  - i. η αντοχή του κοιτάσματος
  - ii. η αντοχή των περιβαλλόντων σχηματισμών
- η γεωμετρία των ορίων του κοιτάσματος
- το πάχος του κοιτάσματος

Η σταθερότητα της αγοράς (κυρίως όσον αφορά την τιμή πώλησης του μεταλλεύματος) είναι σημαντική καθώς είναι δυνατόν να απαιτείται αντίστοιχη μεταβολή των παραμέτρων παραγωγής μεταλλεύματος. Ορισμένες μέθοδοι μπορούν να απορροφήσουν τις ενδεχόμενες αυξομειώσεις στην παραγωγή, ενώ άλλες έχουν σταθερό ρυθμό παραγωγής (π.χ μέθοδος του συμπυκνωμένου μετώπου). Κάτω από αυτό το πρίσμα είναι δυνατόν να είναι επιθυμητή μια μέθοδος η οποία εκτός των άλλων να προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία.

Γενικά μπορεί να αναφερθεί ότι στην περίπτωση λειτουργούντων εκμεταλλεύσεων, η προτεινόμενη μέθοδος εφαρμόζεται και περιορίζεται από τον ήδη υπάρχοντα σχεδιασμό της εκμετάλλευσης. Η μέθοδος εκμετάλλευσης αποτελεί ένα πολύ σημαντικό στοιχείο στην εξέλιξη της μελέτης εκμετάλλευσης. Παρ' ότι η μέθοδος εκμετάλλευσης αποτελεί υποστοιχείο της μελέτης εκμετάλλευσης είναι πολύ σημαντική για την εξέλιξη της.

Ο τρόπος που επηρεάζει η επιλογή της μεθόδου εκμετάλλευσης τη μελέτη σκοπιμότητας είναι δυναμικός και αμφίδρομος. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα στα οποία στηρίζεται η μελέτη σκοπιμότητας την κατευθύνουν στην επιλογή της μεθόδου.

Αντίστροφα, ο καθορισμός της μεθόδου εκμετάλλευσης υπάγεται στο συνεχή έλεγχο της μελέτης σκοπιμότητας. Πρέπει να τονιστεί ότι η μέθοδος εκμετάλλευσης όταν εφαρμοστεί είναι μη αντιστρεπτή διαδικασία και κάθε σφάλμα που φέρει καθορίζει τον όγκο των αποθεμάτων που θα ληφθούν και τη ζωή του μεταλλείου, την ασφάλεια των εργασιών, και γενικότερα την οικονομικότητα της. Στο σχήμα 2.5 παρουσιάζεται η σημασία και η θέση της μεθόδου εκμετάλλευσης μέσα στο μεταλλευτικό σύστημα.



Σχήμα 2.5: Σχηματική απεικόνιση της θέσεως της μεθόδου εκμεταλλεύσεως εντός του μεταλλευτικού συστήματος (Εξαδάκτυλος, 2005).

#### **2.4 Περιγραφή μεθόδων εκμετάλλευσης**

Για την εξόρυξη μεταλλεύματος από το υπέδαφος πρέπει να κατασκευασθούν υπόγεια έργα προσπέλασης προς τη ζώνη μεταλλοφορίας, έργα ανάπτυξης, και εξόφλησης για την απόσπαση του μεταλλεύματος και έργα μεταφοράς στην επιφάνεια. Χρειάζονται εκκαφές διαφόρων γεωμετριών, μεγεθών, προσανατολισμών και λειτουργιών για την υποστήριξη της σειράς των εργασιών που αποτελούν όλη τη μεταλλευτική διαδικασία.

Διακρίνονται τρεις τύποι εκσκαφών, οι οποίοι είναι (Οικονομόπουλος, 1989):

- τα μέτωπα
- τα έργα προσπέλασης προς τα μέτωπα ή έργα ανάπτυξης
- τα μόνιμα έργα προσπέλασης

Ανεξαρτήτως της εφαρμοζόμενης μεθόδου εκμετάλλευσης ενός κοιτάσματος, υπάρχουν πολλές ομοιότητες μεταξύ των λειτουργιών και των απαιτούμενων γεωμηχανικών συμπεριφορών των διαφόρων μη – παραγωγικών εκσκαφών.

Το μέτωπο είναι το τμήμα εκείνο της εκμετάλλευσης που λαμβάνει χώρα η εξόρυξη και παραγωγή μεταλλεύματος από ένα κοίτασμα. Το σύστημα των μετώπων που διαμορφώνεται κατά την εξόρυξη του μεταλλεύματος συνήθως αντιπροσωπεύει τον μεγαλύτερο όγκο των εκσκαφών που θα δημιουργηθεί κατά τη διάρκεια μια εκμετάλλευσης. Ο πυρήνας της μεταλλευτικής διαδικασίας, βρίσκεται στη διάνοιξη των μετώπων, την απόσπαση του μεταλλεύματος από τη φυσική του θέση και την απομάκρυνσή του από αυτά. Είναι προφανές ότι ο έλεγχος της γεωμηχανικής συμπεριφοράς του κοιτάσματος και των περιβαλλόντων στείων πετρωμάτων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα στην αποδοτική γεωμηχανική και οικονομική συμπεριφορά ενός εκάστου των μετώπων, αλλά και του συστήματος εκμετάλλευσης συνολικά.

Το ότι το μέγεθος των μετώπων είναι σημαντικό, σημαίνει ότι η ζώνη επιρροής τους είναι μεγάλη σε σχέση με όλους τους άλλους τύπους εκσκαφών. Επομένως ο ρόλος σχεδιασμού των μετώπων είναι σημαντικός επί του σχεδιασμού και της λειτουργικότητας των άλλων εκσκαφών που υποστηρίζουν μια μεταλλευτική δραστηριότητα.

Ο δεύτερος τύπος μεταλλευτικών εκσκαφών είναι τα έργα ανάπτυξης. Αυτά μπορεί να είναι ράμπες, λούκια μεταλλεύματος, εγκάρσιες στοές, κεκλιμένα αερισμού, μεταφοράς υλικών και προσωπικού, χοάνες, στοές υποσκαφής κ.α. Αυτές οι εκσκαφές ορύσσονται είτε εντός του

μεταλλεύματος είτε στο περιβάλλον στείρο πέτρωμα. Η λειτουργική ζωή αυτών των υπογείων έργων είναι περίπου ίση με αυτή των παραγωγικών μετώπων. Λόγου χάριν οι διευθυντικές στοές που διαιρούν τμήμα του κοιτάσματος σε υποορόφους ' ' καταναλώνονται ' ' κατά την εξόφληση του κοιτάσματος. Η τοποθεσία των έργων ανάπτυξης στη ζώνη γεωμηχανικής επιρροής των παραγωγικών μετώπων ή διαφορετικά περιοχή πέριξ των μετώπων και των σχετιζόμενων μ'αυτά έργα ανάπτυξης, μπορεί να προκαλέσει αντίξοες εντατικοπαραμορφωσιακές τοπικές συνθήκες στη μάζα του πετρώματος με προφανή αρνητικά αποτελέσματα στην ασφάλεια των εργαζομένων και του μηχανολογικού εξοπλισμού του μεταλλείου.

Με σκοπό την αποφυγή τέτοιων φαινομένων είναι αναγκαία:

- η κατανόηση των αιτιών της αστάθειας της βραχομάζας
- η λήψη κατάλληλων σχεδιαστικών μέτρων για την εξάλειψη ή ελαχιστοποίηση τέτοιων προβλημάτων με προφανή αρνητικά αποτελέσματα στην ασφάλεια των εργαζομένων και του μηχανολογικού εξοπλισμού του μεταλλείου.

Γί αυτό το σκοπό ο σχεδιασμός αυτών των έργων προϋποθέτει λεπτομερή γεωτεχνική μελέτη της διαταραχής του εντατικού πεδίου στο περιβάλλον πέτρωμα λόγω της εξόρυξης των μετώπων σε αυτό. Για το σκοπό απρόσκοπτης και ασφαλούς λειτουργίας των έργων αυτών χρειάζεται να ληφθεί υπόψιν (Οικονομόπουλος, 1989):

- i. η γεωμετρία των μετώπων
- ii. η θέση των μετώπων
- iii. η ενδεχόμενη υποστήριξη των έργων ανάπτυξης πέριξ των μετώπων
- iv. οι γεωμηχανικές ιδιότητες των περιβαλλόντων πετρωμάτων
- v. η παρουσία του νερού

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι ταξινόμηση των υπογείων μεθόδων εκμετάλλευσης. Ο συνηθέστερος τρόπος ταξινόμησης ακολουθεί το Αγγλοσαξωνικό Σύστημα Ταξινόμησης που βασίζεται στις μηχανικές ιδιότητες του περιβάλλοντος πετρώματος και του μεταλλεύματος.

Έτσι οι μέθοδοι εκμετάλλευσης υπογείων ταξινομούνται στις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες (Οικονομόπουλος, 1989):

- οι μέθοδοι με ανοίγματα τα οποία δε χρειάζονται πρόσθετη υποστήριξη (naturally supported stopes) που περιλαμβάνουν τη μέθοδο των Θαλάμων και Στύλων, την μέθοδο του Ανεστραμμένου Κρατήρα, τη μέθοδο των Διαδοχικών Ορόφων κ.λ.π.
- οι μέθοδοι με ανοίγματα που χρειάζονται πρόσθετη υποστήριξη (artificially supported stopes), που περιλαμβάνουν τη μέθοδο του Συμπυκτωμένου Μετώπου, τη μέθοδο των Διαδοχικών Κοπών και Λιθογομώσεων, τη μέθοδο του Επιμήκους Μετώπου με Λιθογόμωση κ.λ.π.
- οι μέθοδοι με κατακρήμιση οροφής (caving methods) που λαμβάνει χώρα ταυτόχρονα με την εξόφληση και περιλαμβάνουν τη μέθοδο των Διαδοχικών Ορόφων με Κατακρήμιση, τη μέθοδο της Κατακρήμισης Οροφής, τη μέθοδο του Επιμήκους Μετώπου με Κατακρήμιση της Οροφής κ.λ.π.
- οι μέθοδοι με την κατακρήμιση της οροφής να γίνεται σε δεύτερη φάση και περιλαμβάνουν τη μέθοδο Θαλάμων και Στύλων με Κατακρήμιση τη Οροφής, τη μέθοδο των Διαδοχικών Ορόφων με κατακρήμιση σε δεύτερη φάση κ.λ.π.

Οι επιλεκτικές μέθοδοι εκμετάλλευσης σχεδιάζονται για υψηλή ανάκτηση του μεταλλεύματος με ελάχιστη αραιώση, ενώ οι μέθοδοι κατακρήμισης της οροφής ή του πατώματος αποδέχονται απώλειες και αραιώση του μεταλλεύματος.

#### **2.4.1 Μέθοδος Θαλάμων και Στύλων**

Η μέθοδος θαλάμων και στύλων (rooms and pillars) ανήκει στην κατηγορία των μεθόδων εκμετάλλευσης με κενά μέτωπα (open stopes), δηλαδή χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι ο κενός χώρος που δημιουργείται,

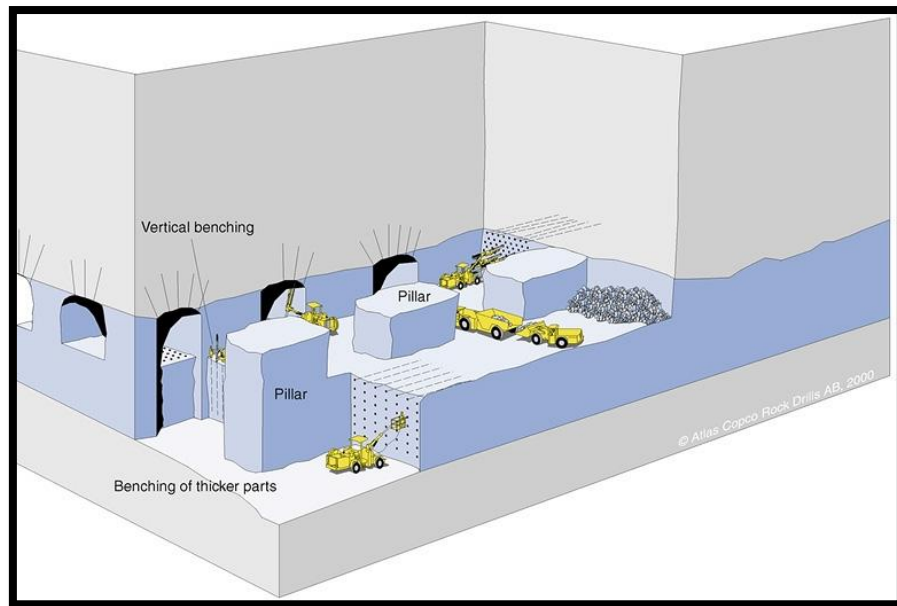
διατηρείται ανοικτός με τη βοήθεια φυσικής υποστήριξης. Το πεδίο εφαρμογής της μεθόδου είναι τα οριζόντια ως μέτριας κλίσης στρωσιγενή κοιτάσματα, μικρού ή μεγάλου πάχους, τα οποία εντοπίζονται σε μικρό ως μέσο βάθος τα οποία έχουν ανθεκτική οροφή. Συγκεκριμένα, η κλίση των στρωμάτων πρέπει να είναι μικρότερη των  $30^\circ$ , το δε πάχος φθάνει συνήθως τα 10-12 m, μπορεί όμως να είναι και πολύ παραπάνω (Τερεζόπουλος, 2000).

#### **2.4.2 Γενική Περιγραφή Μεθόδου**

Στη γενική εφαρμογή της μεθόδου θαλάμων και στύλων, το πέτρωμα εξορύσσεται μέσω ενός συστήματος παράλληλων θαλάμων οι οποίοι διαχωρίζονται από στύλους.

Οι θάλαμοι ορύσσονται ως στοές και οι άξονες τους συνήθως ισαπέχουν. Στη συνέχεια ορύσσονται νέες στοές κάθετα ή με κάποια κλίση ως προς τις πρώτες. Με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται στύλοι πετρώματος που στηρίζουν την οροφή.

Η ευστάθεια των θαλάμων επιτυγχάνεται χάρη στους στύλους και συγκεκριμένα χάρη στην εκμετάλλευση της φέρουσας ικανότητας αυτών. Τόσο η διάταξη των στύλων στο χώρο, όσο και η διατομή τους μπορεί να είναι κανονική (τετραγωνική ή ορθογωνική) ή ακανόνιστη. Όταν το προς εκμετάλλευση κοιτάσμα έχει μεγάλο ύψος ή ζητείται η δημιουργία χώρου μεγάλου ύψους, η εξόρυξη του πετρώματος είναι δυνατόν πραγματοποιηθεί με τη χρήση βαθμίδων εκμετάλλευσης. Στην μεταλλευτική εφαρμογή της μεθόδου, η ύπαρξη στύλων από το ίδιο το κοιτάσμα αποτελεί απώλεια χρήσιμου υλικού. Για το λόγο αυτό, συχνά η εκμετάλλευση συνεχίζεται με τη φάση της μείωσης των διαστάσεων των στύλων (φάση εξόφλησης), με σκοπό τη μεγιστοποίηση του συντελεστή απόληψης. Στην περίπτωση κατά την οποία επιλογή είναι η δημιουργία / παραγωγή υπόγειου χώρου, η συγκεκριμένη φάση είτε δεν υφίσταται είτε υπόκειται σε αρκετούς περιορισμούς, καθώς η μείωση της διατομής των στύλων συνεπάγεται και μείωση της αντοχής τους. Χρειάζεται επομένως να υπάρξει κατάλληλη επιλογή των χαρακτηριστικών της εκμετάλλευσης ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις για αυξημένο χώρο, χωρίς όμως να διακυβεύεται η ασφάλεια του ίδιου του χώρου.



Εικόνα 2.6: Σχηματική απεικόνιση της μεθόδου θαλάμων και στύλων (Atlas Copco, 2001).

### **2.4.3 Βασικές Θεωρητικές Αρχές Σχεδιασμού**

Ο σχεδιασμός μιας εκμετάλλευσης αποτελεί πάντα ένα σύνθετο πρόβλημα. Συχνά κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού, τουλάχιστον κατά το αρχικό στάδιο, γίνονται ορισμένες παραδοχές, προκειμένου να είναι δυνατή η μοντελοποίηση αυτού. Στη συνέχεια και όσο η εκμετάλλευση προχωρεί, οι παραδοχές αυτές αξιολογούνται μέσα από την πραγματική συμπεριφορά των πετρωμάτων και ανάλογα μεταβάλλονται.

Στην παραδοσιακή μεταλλευτική, στόχος του σχεδιασμού είναι ουσιαστικά ο προσδιορισμός των βέλτιστων διαστάσεων των στύλων, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ταυτόχρονα ασφάλεια, εκμετάλλευση και λειτουργικότητα χώρου. Τα ίδια ακριβώς κριτήρια πρέπει να πληρούνται και στην περίπτωση δημιουργίας ενός υπόγειου συγκροτήματος, με τη διαφορά ότι η διασφάλιση της λειτουργικότητας προέχει της εκμετάλλευσης. Οι βέλτιστες διαστάσεις των στύλων υπολογίζονται κυρίως με βάση δύο παράγοντες:



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

#### **2.4.4 Ασκούμενες Τάσεις**

Οι τάσεις που ασκούνται στα πετρώματα διακρίνονται σε λιθοστατικές και τεκτονικές. Οι πρώτες οφείλονται στη βαρύτητα και είναι ανάλογες του βάθους. Οι δεύτερες οφείλονται σε ιδιαίτερα χαρακτηριστικά (γεωλογικά, τεκτονικά, κ.τ.λ.) της κάθε περιοχής. Συνήθως, στο πρώτο στάδιο του σχεδιασμού οι γνώσεις για τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και τον τρόπο επίδρασής τους στο τασικό πεδίο είναι σχετικά περιορισμένες. Για το λόγο αυτό, ο αρχικός σχεδιασμός θεωρεί ότι στους στύλους ασκούνται μόνο λιθοστατικές τάσεις (Παναγιώτου, 1982). Προφανώς, στην πορεία του έργου αν τα δεδομένα μεταβληθούν, τότε οι αλλαγές λαμβάνονται υπόψη για τη διαφοροποίηση παραμέτρων του σχεδιασμού.

Στις λιθοστατικές τάσεις διακρίνουμε την κατακόρυφη τάση και την οριζόντια τάση. Η κατακόρυφη τάση ( $\sigma_v$ ) που ασκείται σε ένα τμήμα του κοιτάσματος δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma_v = \gamma \cdot H \quad (1)$$

όπου  $\gamma$ : το ειδικό βάρος του υπερκείμενου πετρώματος

H: το βάθος από την επιφάνεια του εδάφους

Η οριζόντια τάση ( $\sigma_h$ ) που ασκείται στο ίδιο τμήμα δίνεται από τη σχέση:

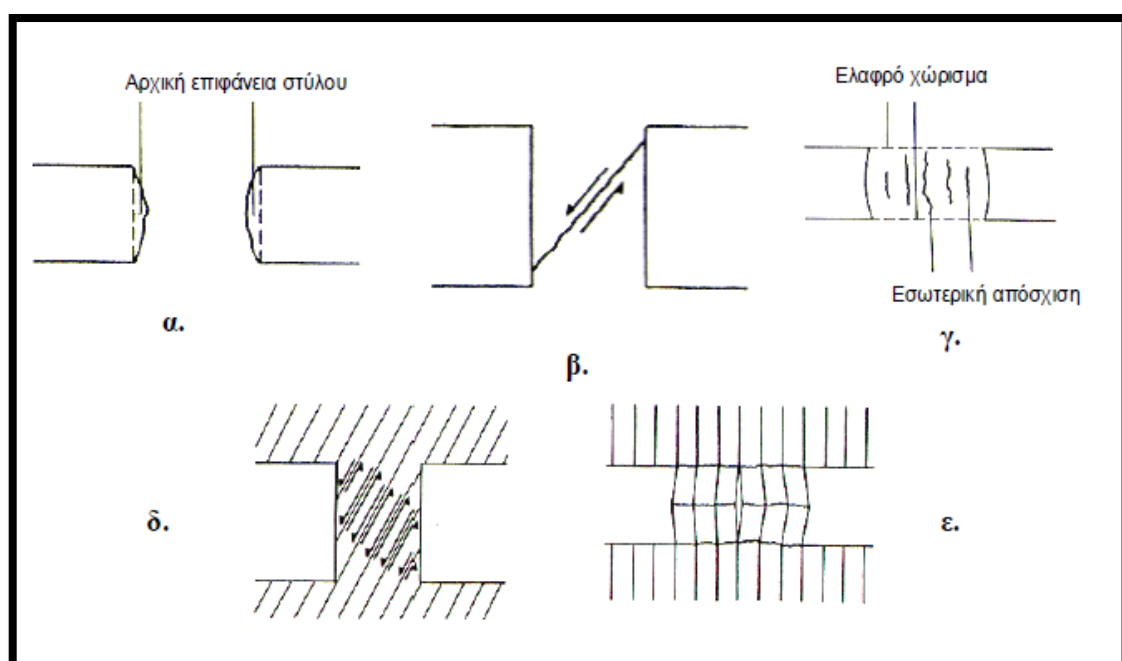
$$\sigma_h = \frac{\nu}{1-\nu} \cdot \sigma_v \quad (2)$$

όπου  $\nu$ : ο λόγος του Poisson του πετρώματος, συνήθως μεταξύ 0,2 και 0,33.

### 2.4.5 Αστοχία Στύλων

Οι συνήθεις τρόποι αστοχίας των στύλων δίνονται στο σχήμα (Brady&Brown, 1985).

Έτσι, προκύπτει αστοχία σε διάτμηση αν υπάρχει ένα ή περισσότερα επίπεδα ασυνεχειών (Σχήμα 2.7α, β) και αστοχία λόγω μείωσης της ενεργού διατομής του στύλου οφειλόμενη στην απόσχιση πετρώματος πλευρικά (Σχήμα 2.7γ). Τέλος, αστοχία συμβαίνει και στην περίπτωση πλευρικής διόγκωσης του στύλου με παράλληλη ανάπτυξη κατακόρυφων ρωγμών στο κέντρο του στύλου (Σχήμα 2.7δ,ε). Γενικά, διακρίνουμε αστοχία του στύλου σε θλίψη και σε διάτμηση.



Εικόνα 2.7: Συνήθεις τρόποι αστοχίας στύλων (Καλιαμπάκος Δ., Μπενάρδος Α., 2009 )

Οι στύλοι αστοχούν σε θλίψη όταν η ασκούμενη σε αυτούς θλιπτική τάση ( $\sigma_p$ ) υπερβεί την αντοχή τους σε μονοαξονική θλίψη ( $C_p$ ). Το κριτήριο εκφράζεται από τη σχέση:

$$\sigma_p \geq \frac{C_p}{F} \quad (3)$$

όπου F: ο συντελεστής ασφαλείας σε θλίψη.

Ο συντελεστής ασφαλείας των στύλων κυμαίνεται τις περισσότερες φορές μεταξύ 2 και 4 (Salomon, 1992). Η ακριβής τιμή του εξαρτάται από την ύπαρξη ή μη ασυνεχειών, καθώς και από τη μονιμότητα του έργου. Στην περίπτωση υπογείων έργων που κατασκευάζονται για την εγκατάσταση χρήσεων μέσα σε αυτά, ο συντελεστής ασφαλείας θα πρέπει να λαμβάνεται στα υψηλότερα όρια του διαστήματος αυτού.

Η αστοχία του στύλου σε διάτμηση περιγράφεται από το κριτήριο του Coulomb τόσο σε περίπτωση παρουσίας, όσο και μη παρουσίας επιπέδου ασυνέχειας. Σε κάθε περίπτωση, η σχέση είναι:

$$\tau_p \geq S_p + \sigma_n \cdot \mu_f \Rightarrow \tau_p \geq S_p + \sigma_n \cdot \tan \varphi_f \quad (4)$$

όπου,  $\tau_p$  : η διατμητική τάση στο επίπεδο αστοχίας ή ασυνέχειας

$S_p$  : η αντοχή σε διάτμηση του πετρώματος ή του επιπέδου ασυνέχειας

$\sigma_n$  : η κάθετη τάση στο επίπεδο αστοχίας ή ασυνέχειας

$\mu_f$  : ο συντελεστής εσωτερικής τριβής του πετρώματος ή του επιπέδου ασυνέχειας

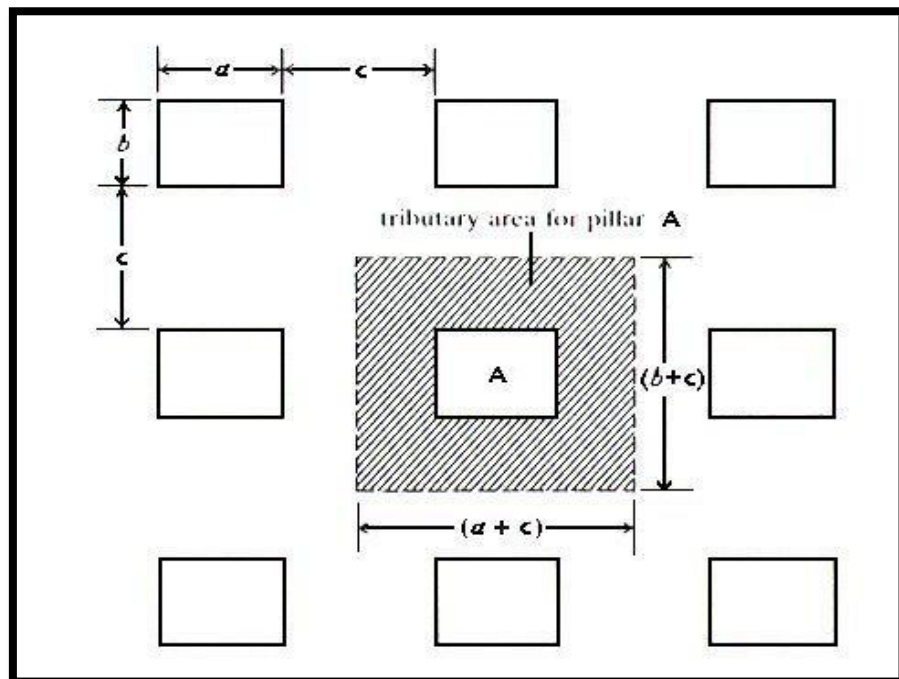
$\varphi_f$  : η γωνία εσωτερικής τριβής του πετρώματος ή του επιπέδου ασυνέχειας.

## **2.5 Σχεδιασμός Στύλων και Θαλάμων**

### **2.5.1 Υπολογισμός Διαστάσεων Στύλων**

Ο σχεδιασμός των στύλων στη συγκεκριμένη μέθοδο μπορεί να γίνει αρκετά απλά με βάση τη θεωρία της συνεισφέρουσας επιφάνειας (tributary load area). Όπως φαίνεται στο σχήμα, σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, κάθε στύλος φέρει το φορτίο του πετρώματος που βρίσκεται μέσα στο κατακόρυφο ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο, του οποίου γενέτειρα είναι οι άξονες που χωρίζουν στη μέση τους διαδρόμους που περιβάλλουν το στύλο. Η οριζόντια αυτή επιφάνεια ονομάζεται συνεισφέρουσα. Τα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι:

- Χρειάζονται περιορισμένες πληροφορίες όσον αφορά το σχεδιασμό, κύρια τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των στύλων, το ύψος και το ειδικό βάρος των υπερκειμένων, κάτι που την κάνει ιδιαίτερα εύχρηστη κατά τον αρχικό σχεδιασμό τέτοιων έργων.
- Προσφέρει πολύ γρήγορα τα αποτελέσματα της ανάλυσης, είναι πολύ απλή και σε περιπτώσεις ομοιόμορφων εκσκαφών δίνει αρκετά μεγάλη ακρίβεια.
- Υπολογίζεται η μέγιστη φόρτιση που μπορεί να εφαρμοστεί στους στύλους, οπότε δίνει τα πιο συντηρητικά και ασφαλή αποτελέσματα. Στα μειονεκτήματα της μεθόδου καταγράφεται το γεγονός ότι λαμβάνει υπόψη της το τασικό πεδίο και ιδιαίτερα τις κατακόρυφες τάσεις που υφίσταται πριν τη δημιουργία της εκσκαφής, δεν μπορεί να δώσει ακριβή αποτελέσματα σε περιπτώσεις μη ομοιόμορφων στύλων και τέλος πολλές φορές μπορεί να είναι υπέρ του δέοντος συντηρητική.



Εικόνα 2.8: Κάτοψη της τελικής διάταξης των θαλάμων και στύλων. Η γραμμοσκιασμένη περιοχή αποτελεί τη συνεισφέρουσα επιφάνεια του στύλου (Καλιαμπάκος Δ., Μπενάρδος Α., 2009).

Η μαθηματική προσέγγιση της θεωρίας της συνεισφέρουσας επιφάνειας δίνεται ακολούθως. Αν ( $A_R$ ) η επιφάνεια που αντιστοιχεί σε κάθε στύλο (γραμμοσκιασμένο τμήμα) και ( $A_p$ ) η επιφάνεια του στύλου, τότε το άθροισμα των δυο παραπάνω επιφανειών ( $A_t$ ) είναι:

$$A_t = A_R + A_p \quad (5)$$

Η τάση ( $\sigma_p$ ) που ασκείται σε ένα στύλο δίνεται από εξίσωση της μορφής:

$$\sigma_p = f(H, W_p, W_R) \quad (6)$$

όπου,  $H$  : το βάθος στο οποίο πραγματοποιείται η εκμετάλλευση

$W_p$  : το πλάτος του στύλου

$W_R$  : το πλάτος του θαλάμου μεταξύ δύο διαδοχικών στύλων

Στην πιο απλή περίπτωση όπου οι στύλοι έχουν κανονική διάταξη και τετραγωνική διατομή, η μέση ορθή τάση που αναπτύσσεται σε αυτούς δίνεται από την εξίσωση (7).

Αντίστοιχα, σε περιπτώσεις ορθογωνίων στύλων η τάση δίνεται στη σχέση (8).

$$\sigma_p = S_v \cdot \frac{A_t}{A_p} \Rightarrow \sigma_p = \gamma \cdot H \cdot \frac{(W_R + W_p)^2}{W_p^2} \Rightarrow \sigma_p = \gamma \cdot H \cdot \left(1 + \frac{W_R}{W_p}\right)^2 \quad (7)$$

$$\sigma_p = \gamma \cdot H \cdot \left(1 + \frac{W_R}{W_p}\right) \cdot \left(1 + \frac{L_R}{L_p}\right) \quad (8)$$

όπου  $L_p$  : το μήκος του στύλου

$L_R$  : το μήκος του θαλάμου μεταξύ δύο διαδοχικών στύλων

Για τον υπολογισμό της αντοχής του στύλου σε θλίψη ( $C_p$ ) έχουν διατυπωθεί αρκετές εμπειρικές σχέσεις, κυρίως έπειτα από έρευνες για συγκεκριμένες περιπτώσεις. Φαίνεται όμως ότι η γενική μορφή της μαθηματικής έκφρασης της αντοχής δίνεται από την εξίσωση (9) (Holland & Gaddy, 1957), στην

οποία εκτός από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του στύλου και την αντοχή αδιατάρακτου πετρώματος συμμετέχουν και οι σταθερές  $\alpha, \beta$ . Οι τιμές των σταθερών αυτών υπολογίζονται σε:  $\alpha = 0,85 \div 1,0$  και  $\beta = 0,5$ .

$$C_p = C_1 \cdot \frac{W^\beta}{H^\alpha} \quad \xrightarrow{\alpha = 1, \beta = 0,5} \quad C_p = C_1 \cdot \frac{\sqrt{W}}{H} \quad (9)$$

Άλλες εμπειρικές σχέσεις υπολογισμού της αντοχής στύλων δίνονται στη συνέχεια:

Salamon & Munro (1967):

$$C_p = C_1 \cdot \left( \frac{W_p^{0,46}}{H_p^{0,66}} \right) \quad (10)$$

Bieniawski (1967):

$$C_p = C_1 \cdot \left( 0,64 + 0,36 \cdot \frac{W_p}{H_p} \right) \quad (11)$$

Obert και Duvall (1967):

$$C_p = C_1 \cdot \left( 0,778 + 0,222 \cdot \frac{W_p}{H_p} \right) \quad (11)$$

όπου  $C_1$ : η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη δοκιμίου του πετρώματος τετραγωνικής διατομής ( $d/h=1$ ).

Ο λόγος  $W_p / H_p$  πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 4. Η αύξηση του λόγου αυτού οδηγεί και στην βελτίωση της αντοχής των στύλων (Iannacchione, 1999) και συνήθως επιλέγεται να παίρνει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας, δηλαδή  $(W/H) \geq 1$ .

### 2.5.2 Υπολογισμός Διαστάσεων Θαλάμων

Ο υπολογισμός του πλάτους των θαλάμων γίνεται αφού πρώτα γίνει ο διαχωρισμός των πετρωμάτων μέσα στα οποία κατασκευάζεται το έργο σε

«συμπαγή» (competent) πετρώματα και σε «στρωσιγενή» πετρώματα. Η διαδικασία υπολογισμού ανά περίπτωση δίνεται συνοπτικά παρακάτω (Dunai, 1977).

Για τον σχεδιασμό θαλάμων σε συμπαγή πετρώματα δεν έχει καθιερωθεί μια θεωρητική διαδικασία που να υπολογίζει τις μέγιστες δυνατές διαστάσεις μιας εκσκαφής ώστε να είναι ασφαλής. Αυτή η διαδικασία γίνεται με βάση κυρίως την εμπειρία από όρυξη εκσκαφών σε παρόμοια πετρώματα. Η βασική εργασία είναι ο προσδιορισμός των μέγιστων συγκεντρώσεων τάσεων γύρω από την εκσκαφή και στη συνέχεια η σύγκριση με τις αντίστοιχες τάσεις που προβλέπονται από τα κριτήρια αστοχίας:

$$\sigma_t < \frac{T_o}{F_t} \quad (12)$$

$$\sigma_c < \frac{C_o}{F_c} \quad (13)$$

όπου:  $\sigma_t$ : η μέγιστη εφελκυστική τάση γύρω από την εκσκαφή

$T_o$ : η αντοχή του πετρώματος σε εφελκυσμό

$F_t$ : ο συντελεστής ασφαλείας για εφελκυσμό, από 4 ως 8

$\sigma_c$ : η μέγιστη θλιπτική τάση γύρω από την εκσκαφή

$C_o$ : η αντοχή του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη

$F_c$ : ο συντελεστής ασφαλείας για θλίψη, από 2 ως 4

Όσον αφορά στα στρωσιγενή πετρώματα, το πλάτος των θαλάμων θα υπολογισθεί σύμφωνα με τη θεωρία των αμφίπακτων δοκών. Σε αυτή την περίπτωση ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$n_{\max} = \frac{\gamma \cdot L^4}{32 \cdot E \cdot t^2} \quad (14)$$

$$\tau_{\max} = \frac{3 \cdot \gamma \cdot L}{4} \quad (15)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{\gamma \cdot L^2}{2 \cdot t} \quad (16)$$

όπου,  $n_{\max}$ : η μέγιστη κάμψη

$\tau_{\max}$ : η μέγιστη διατμητική τάση

$\sigma_{\max}$ : η μέγιστη εφελκυστική / θλιπτική τάση

L: το πλάτος του θαλάμου

t: το πάχος του στρώματος

E: το μέτρο ελαστικότητας του πετρώματος

$\gamma$ : το ειδικό βάρος του πετρώματος

Από τις δύο τελευταίες σχέσεις (15) και (16) προκύπτει ότι:

$$\frac{\sigma_{\max}}{\tau_{\max}} = \frac{2L}{3t} \quad (17)$$

Η μέγιστη κάμψη παρατηρείται στο μέσο του θαλάμου. Η μέγιστη διατμητική, εφελκυστική και θλιπτική τάση παρατηρούνται στα άκρα του θαλάμου, όπου οι εφελκυστικές τάσεις αναπτύσσονται στο κάτω μέρος του θαλάμου, ενώ οι θλιπτικές στο άνω. Αντίστοιχα, στο μέσο του θαλάμου η διατμητική τάση μηδενίζεται ενώ το κάτω μέρος του στρώματος εφελκύεται και το πάνω θλίβεται. Λαμβάνοντας υπόψη ότι η αντοχή των πετρωμάτων σε θλίψη είναι μεγαλύτερη από ότι σε εφελκυσμό, προκύπτει ότι, η αστοχία της οροφής θα ξεκινήσει από το άνω μέρος του στρώματος στα άκρα του θαλάμου.

Όταν η τιμή του λόγου του πλάτους του θαλάμου προς το πάχος του στρώματος της οροφής είναι μεγαλύτερη από 5:1 (στρωσιγενείς σχηματισμοί), δηλ.  $L/t > 5$ , η εφελκυστική τάση που αναπτύσσεται στα άκρα του στρώματος είναι περισσότερο από τρεις φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη διατμητική ( $\sigma_{\max} > 3\tau_{\max}$ ). Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η αντοχή των πετρωμάτων σε εφελκυσμό είναι συνήθως μικρότερη από ότι σε διάτμηση και πολύ μικρότερη από την αντίστοιχη σε θλίψη, οδηγεί στην εκλογή της μέγιστης εφελκυστικής τάσης ως παράμετρο σχεδιασμού των θαλάμων.



Επομένως, η σχέση (17) γίνεται:

$$L = \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma_{\max} \cdot t}{\gamma \cdot F_t}} \quad (18)$$

Στις περιπτώσεις όπου η άμεση οροφή αποτελείται από δύο ή περισσότερες στρώσεις και οι λεπτότερες στρώσεις είναι πάνω από τις παχύτερες, τότε για το σχεδιασμό χρειάζεται να συμπεριληφθεί το επιπλέον βάρος που δέχεται η άμεση της οροφής στρώση.

Αυτό γίνεται υπολογίζοντας ένα προσαρμοσμένο ειδικό βάρος ( $\gamma_a$ ) σύμφωνα με τον τύπο:

$$\gamma_a = \frac{E_1 \cdot t_1^2 \cdot \sum_{v=1}^n (\gamma_n \cdot t_n)}{\sum_{v=1}^n (E_n \cdot t_n^3)} \quad (19)$$

όπου n: ο αριθμός των στρώσεων

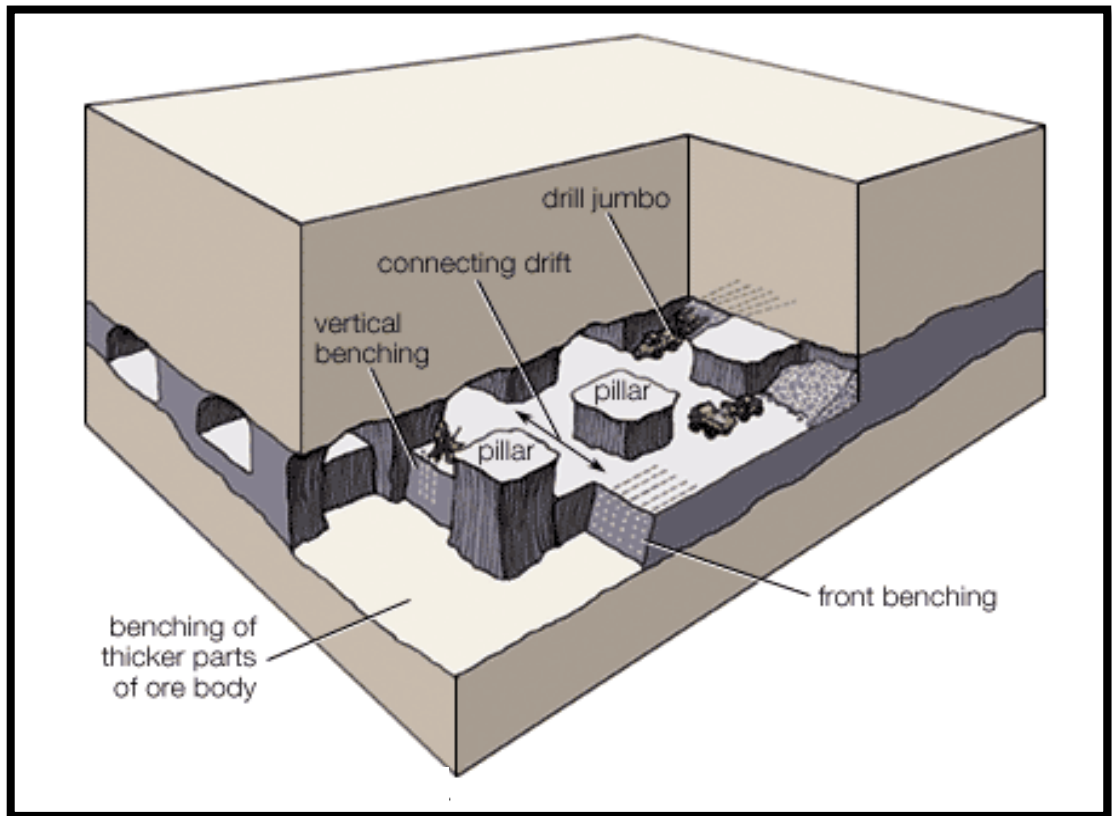
## **2.6 Εκμετάλλευση σε οριζόντια κοιτάσματα**

Στην εκμετάλλευση οριζόντιων ή σχεδόν οριζόντιων κοιτασμάτων δεν απαιτούνται πολλά προπαρασκευαστικά έργα (Εικόνα 2.9). Αρχικά απαιτείται η όρυξη ορισμένων στοών για την επικοινωνία του τμήματος εκμετάλλευσης με τις στοές βάσης που εξυπηρετούν τη μεταφορά του μεταλλεύματος, αλλά στη συνέχεια τον ρόλο αυτό εξυπηρετούν οι θάλαμοι που ορύσσονται για την εκμετάλλευση. Η παραγωγή είναι δυνατόν να ακολουθεί το συμβατικό κύκλο εξόρυξης (διάτρηση, ανατίναξη, φόρτωση, μεταφορά, υποστήριξη).

Η μεταφορά του μεταλλεύματος στην περίπτωση του συμβατικού κύκλου εκμετάλλευσης, γίνεται με νηζελοκίνητα οχήματα τύπου LHD τα

οποία λειτουργούν είτε αυτόνομα είτε σε συνδυασμό με φορτηγά αν αυτό είναι επιτρεπτό από τις διαστάσεις του ανοίγματος.

Καθώς η εκμετάλλευση εκτείνεται σε περισσότερα από ένα μέτωπα είναι απαραίτητο να εξασφαλισθεί η εύκολη μετακίνηση του εξοπλισμού από το ένα μέτωπο στον άλλο για την επίτευξη υψηλής παραγωγικότητας.



Εικόνα 2.9: Μέθοδος Θαλάμων και Στύλων σε οριζόντια κοιτάσματα.

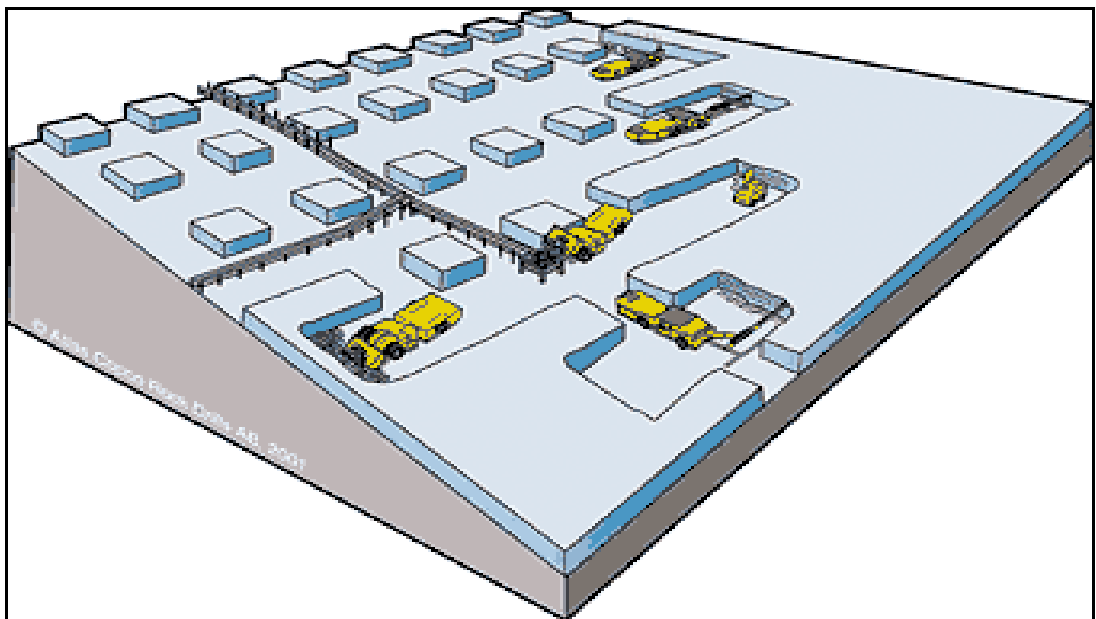
## **2.7 Εκμετάλλευση σε κεκλιμένα κοιτάσματα**

Στην εκμετάλλευση κεκλιμένων κοιτασμάτων διακρίνονται δύο περιπτώσεις ανάλογα με το αν η εκμετάλλευση θα γίνει σε κεκλιμένο επίπεδο (inclined room and pillar mining) ή θα γίνει σε «βαθμίδες» επάνω στο κεκλιμένο επίπεδο (step room and pillar mining). Στην πρώτη περίπτωση λόγω της μεγάλης κλίσης αποκλείεται η χρήση ελαστικοφόρου αυτοκινούμενου μηχανικού εξοπλισμού, ενώ η δεύτερη μέθοδος αναπτύχθηκε για να επιτρέψει τη μηχανοποίηση της εκμετάλλευσης.

Στην περίπτωση της εφαρμογής της πρώτης μεθόδου όπου αποκλείεται η χρήση αυτοκινούμενου εξοπλισμού, τότε για την

προπαρασκευή του κεκλιμένου κοιτάσματος απαιτείται η ανάπτυξη οριζόντιων ανοιγμάτων σε ορισμένες κάθετες αποστάσεις που εξυπηρετούν την πρόσβαση προς τα μέτωπα και τη διακίνηση του εξορυγμένου υλικού. Λόγω των υψηλών απαιτήσεων της μεθόδου αυτής σε εργατικό δυναμικό και της έλλειψης μηχανοποίησης, η εφαρμογή της μεθόδου έχει περιορισθεί σημαντικά.

Στις σύγχρονες εκμεταλλεύσεις κεκλιμένων κοιτασμάτων με τη μέθοδο των Θαλάμων και Στύλων εφαρμόζεται η δεύτερη μέθοδος που επιτρέπει τη λειτουργία αυτοκινούμενου εξοπλισμού στα κεκλιμένα μέτωπα. Για το σκοπό αυτό από τη στοά βάσης ορύσσονται ανωφερικές διαγώνιες στοές μέχρι το ανώτατο σημείο του τμήματος εκμετάλλευσης, έτσι ώστε η κλίση του να ταιριάζει με τα χαρακτηριστικά του εξοπλισμού. Στη συνέχεια η εξόφληση γίνεται μέσω οριζοντίων στοών που ορύσσονται από τις αρχικές διαγώνιες. Η εκμετάλλευση προχωρά από το ανώτατο προς το κατώτατο σημείο του τμήματος, από όπου γίνεται και η αποκομιδή του προϊόντος (Εικόνα 2.10).



Εικόνα 2.10: Μέθοδος Θαλάμων και Στύλων σε κεκλιμένο κοιτάσμα.

## **2.8 Αρχές λειτουργίας και δράσης των εφαρμοζόμενων συστημάτων κοχλίωσης σε υπόγειες βωξιτικές εκμεταλλεύσεις**

### **2.8.1 Εισαγωγή**

Στην ανάλυση του προβλήματος της υποστήριξης των υπόγειων μεταλλευτικών έργων που ορύσσονται στα πλαίσια της εκμετάλλευσης των βωξιτικών κοιτασμάτων, πέρα από την ανάλυση της συμπεριφοράς της μάζας του πετρώματος και τον προσδιορισμό των μηχανισμών που τη διέπουν, είναι σκόπιμο να είναι γνωστά επίσης τα βασικά χαρακτηριστικά και οι θεμελιώδεις αρχές λειτουργίας και δράσης των εφαρμοζόμενων συστημάτων κοχλίωσης. Για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των προβλημάτων που συναντώνται και την επιτυχή επιλογή και εφαρμογή των καταλληλότερων συστημάτων κοχλίωσης, είναι απαραίτητο να είναι γνωστά και σε επαρκή λεπτομέρεια στοιχεία, τα οποία αφορούν στη μάζα του πετρώματος, στα τεχνολογικά χαρακτηριστικά των συστημάτων κοχλίωσης, στις αρχές λειτουργίας και μηχανισμούς δράσης τους. Όσον αφορά στη μάζα το πετρώματος, εντός της οποίας εντοπίζονται τα βωξιτικά κοιτάσματα, αναφέρεται ότι είναι στρωσιγενείς ασβεστολιθικές σειρές. Στον παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα βασικά τεχνολογικά χαρακτηριστικά των συστημάτων κοχλίωσης στις υπόγειες βωξιτικές εκμεταλλεύσεις. Στη συνέχεια κρίνεται σκόπιμη η παρουσίαση των βασικών αρχών που διέπουν τη λειτουργία των συστημάτων κοχλίωσης, τα οποία χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη των υπόγειων βωξιτικών εκμεταλλεύσεων.

Σε κάθε υπόγεια εκσκαφή διαπιστώνεται μια χρονικά εξελισσόμενη τάση ελάττωσης της διατομής της, η οποία εκδηλώνεται με την πραγματοποίηση συγκλίσεων και χαλάρωσης των περιβαλλόντων πετρωμάτων. Η εν λόγω τάση ελάττωσης της διατομής της εκσκαφής, παρουσιάζεται με διαφορετική ένταση και ρυθμό εξέλιξης στο εκάστοτε πέτρωμα, εξαρτώμενη από τα φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά του, τη μηχανική του συμπεριφορά, το αρχικό τασικό πεδίο και άλλες παραμέτρους.

Ανάλογη συμπεριφορά παρουσιάζουν και τα ανοίγματα τα οποία δημιουργούνται εντός των στρωσιγενών ασβεστολιθικών πετρωμάτων, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται εκδηλώσεις συγκλίσεων των στρώσεων της οροφής, των παρειών και υπό ειδικές συνθήκες του δαπέδου. Τα συστήματα κοχλίωσης, τα οποία εφαρμόζονται αποσκοπώντας στη διατήρηση της μορφής και της γεωμετρίας των υπόγειων εκσκαφών, έσω της υποστήριξης της μάζας του πετρώματος και της ανάσχεσης των συγκλίσεων, χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στις υπόγειες βωξιτικές εκμεταλλεύσεις. Η χρήση τους αποσκοπεί στο να βοηθήσουν τη μάζα του πετρώματος να αντισταθεί στις αναπτυσσόμενες πιέσεις των υπερκειμένων πετρωμάτων και σε αυτές που δημιουργούνται λόγω της ανακατανομής των τάσεων μετά τη δημιουργία της εκσκαφής. Τα παραπάνω επιτυγχάνονται αφενός μεν με τη βελτίωση της ικανότητας του ίδιου του πετρώματος ώστε να παραλάβει μεγαλύτερα φορτία και αφετέρου μέσω κάποιων μηχανισμών με τους οποίους εκτονώνονται οι αναπτυσσόμενες πιέσεις, όταν αυτές γίνονται αρκετά υψηλές, ελέγχοντας έτσι την εκδήλωση των συγκλίσεων και της χαλάρωσης.

Τα επιθυμητά αποτελέσματα των συστημάτων κοχλίωσης επιτυγχάνονται με διαφορετικούς μηχανισμούς, ανάλογα με την κατηγορία στην οποία εντάσσεται το κάθε σύστημα. Είναι γεγονός ότι δεν είναι εφικτή η εφαρμογή όλων των συστημάτων σε όλους τους τύπους των πετρωμάτων. Το κάθε σύστημα κοχλίωσης παρουσιάζεται πιο αποτελεσματικό και αποδοτικό σε ορισμένα πετρώματα. Η συγκεκριμένη διαφοροποίηση οφείλεται στο γεγονός ότι ο μηχανισμός δράσης του κάθε συστήματος κοχλίωσης έχει σχεδιαστεί βάσει της συμπεριφοράς της συγκεκριμένης κατηγορίας πετρώματος, τα φυσικομηχανικά του χαρακτηριστικά, το επιτόπου τασικό πεδίο κ.α. εξαιτίας εσφαλμένων επιλογών και σχεδιασμού, ή συχνότερα εξαιτίας της δράσης ορισμένων αστάθμητων ή/και απροσδιόριστων παραγόντων, πραγματοποιούνται αστοχίες στα συστήματα κοχλίωσης. Επιπλέον περιγράφονται για κάθε τύπο χρησιμοποιούμενου κοχλία, οι συνηθέστερες μορφές αστοχίας τους.

### **2.8.2 Εφαρμοζόμενα συστήματα κοχλίωσης**

Στη διεθνή αγορά διατίθενται σήμερα μεγάλος αριθμός συστημάτων κοχλίωσης, διαφορετικών τύπων, χαρακτηριστικών, ικανοτήτων και λοιπών ιδιοτήτων, οι οποίοι είναι δυνατόν να εφαρμοσθούν σε κατάλληλες περιπτώσεις. Η επιλογή ενός συστήματος κοχλίωσης, εκ του συνόλου των διατιθέμενων στην αγορά, το οποίο θα παρουσιάζει τη βέλτιστη συμπεριφορά σε μια συγκεκριμένη εφαρμογή, αποτελεί σχετικά δύσκολη υπόθεση. Οι εν λόγω δυσκολίες δεν οφείλονται τόσο στη μεγάλη ποικιλία συστημάτων που διατίθενται, αλλά κυρίως στο ότι η συμπεριφορά του κάθε συστήματος μεταβάλλεται ανάλογα με τις επικρατούσες επιτόπου συνθήκες. Οι επιτόπου συνθήκες καθορίζονται από τα φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά της μάζας του πετρώματος, τη δομή της, το υφιστάμενο τασικό πεδίο, την υδροφορία, το εάν το περιβάλλον είναι έντονα διαβρωτικό κ.α. Η μεταβλητότητα των ανωτέρω παραμέτρων έχει αποδειχτεί στην πράξη αρκετά μεγάλη, τόσο βέβαια μεταξύ διαφορετικών περιοχών, αλλά ακόμη και στο χώρο που καταλαμβάνουν οι εκσκαφές ενός υπόγειου μεταλλείου.

Για τις συνθήκες που επικρατούν στις υπόγειες βωξιτικές εκμεταλλεύσεις και ειδικότερα αυτών που διενεργούνται στη χώρα μας, έχει αποδειχθεί ότι ορισμένοι μόνο τύποι συστημάτων κοχλίωσης παρουσιάζουν ικανοποιητική συμπεριφορά και υψηλή απόδοση. Η εφαρμογή των συγκεκριμένων τύπων είναι πλέον καθολική και καλύπτουν το μεγαλύτερο ποσοστό των αναγκών υποστήριξης. Ωστόσο, διενεργούνται ερευνητικές εργασίες προσδιορισμού κατάλληλων μεταβολών στα χαρακτηριστικά των χρησιμοποιούμενων συστημάτων, ώστε να επιτευχθούν βελτιώσεις στη συμπεριφορά και στην απόδοσή τους. Ο κυριότερος σκοπός των εν λόγω ερευνητικών εργασιών είναι να καθορίζονται προδιαγραφές των συστημάτων κοχλίωσης για τις οποίες να επιτυγχάνονται πρακτικά εφαρμόσιμες και οικονομικά αποδεκτές λύσεις υποστήριξης.

Εν γένει, τα συστήματα κοχλίωσης διακρίνονται μεταξύ τους με βάση τον τρόπο αγκύρωσής τους στο πέτρωμα. Βάσει αυτού του κριτηρίου διακρίνονται επιμέρους κατηγορίες, στις οποίες είναι δυνατόν να ενταχθούν

όλοι οι διαθέσιμοι τύποι κοχλιών σήμερα, ενώ υπάρχουν και ορισμένοι ειδικοί τύποι κοχλιών οι οποίοι συνιστούν μια ξεχωριστή κατηγορία. Επίσης, α συστήματα κοχλίωσης παρουσιάζουν διαφορετικές ιδιότητες και συμπεριφορά με διαφοροποίηση των ιδιοτήτων των υλικών κατασκευής τους. Έχοντας υπόψη τα παραπάνω, παρατίθενται στη συνέχεια οι βασικές κατηγορίες των συστημάτων κοχλίωσης και οι βασικότεροι τύποι αυτών. Η εν λόγω διάκριση των κατηγοριών των κοχλιών βασίζεται στον τρόπο αγκύρωσής τους και εκτιμάται ότι αποτελεί την πιο αντιπροσωπευτική και αναλυτική ταξινόμηση.

A. Κοχλίες αγκυριζόμενοι με μηχανικές διατάξεις. Τοποθέτηση με προένταση

- Κοχλίες με εγκοπή και σφήνα
- Κοχλίες αναπτυσσόμενου κελύφους

B. Κοχλίες αγκυριζόμενοι με μηχανικές διατάξεις, υποβοηθούμενοι με συγκολλητικές ύλες. Τοποθέτηση με προένταση.

Γ. Κοχλίες αγκυριζόμενοι με συγκολλητικές ύλες. Τοποθέτηση με προένταση.

- Κοχλίες αγκυριζόμενοι με ρητίνη.
- Κοχλίες αγκυριζόμενοι με ένεμα.
- Κοχλίες συρματοσχοίνων.

Δ. Κοχλίες αγκυριζόμενοι με συγκολλητικές ύλες. Τοποθέτηση χωρίς προένταση.

- Κοχλίες αγκυριζόμενοι με ρητίνη
- Κοχλίες αγκυριζόμενοι με ένεμα
- Σύστημα Perfo
- Συστήματα συρματοσχοίνων

E. Κοχλίες πλήρους μηχανικής επαφής, αγκυριζόμενοι με τριβή.

- Συστήματα Swellex
- Συστήματα Split – Set

### **2.8.3 Ειδικά συστήματα.**

Στην εν λόγω κατηγορία υπαγόνται διάφοροι τύποι συστημάτων κοχλίωσης ειδικών εφαρμογών και χαρακτηριστικών (π.χ κοχλίας Worley), καθώς επίσης και όσοι συνδυασμοί επιμέρους συστημάτων κοχλίωσης έχουν παρουσιασθεί κατά καιρούς.

Από τους παραπάνω τύπους συστημάτων κοχλίωσης στις βωξιτικές εκμεταλλεύσεις της χώρας μας εφαρμόζονται οι πρακτάω:

- Κοχλίες αναπτυσσόμενου κελύφους
- Κοχλίες ρητίνης

Πρέπει να σημειωθεί όμως ότι τα χαρακτηριστικά εφαρμογής τους είναι ποικίλα, με αποτέλεσμα να εγκαθίστανται και χωρίς αρχική προένταση, ενώ οι κοχλίες ρητίνης εφαρμόζονται είτε αγκυριζόμενοι σε όλο τους το μήκος είτε σε τμήμα τους.

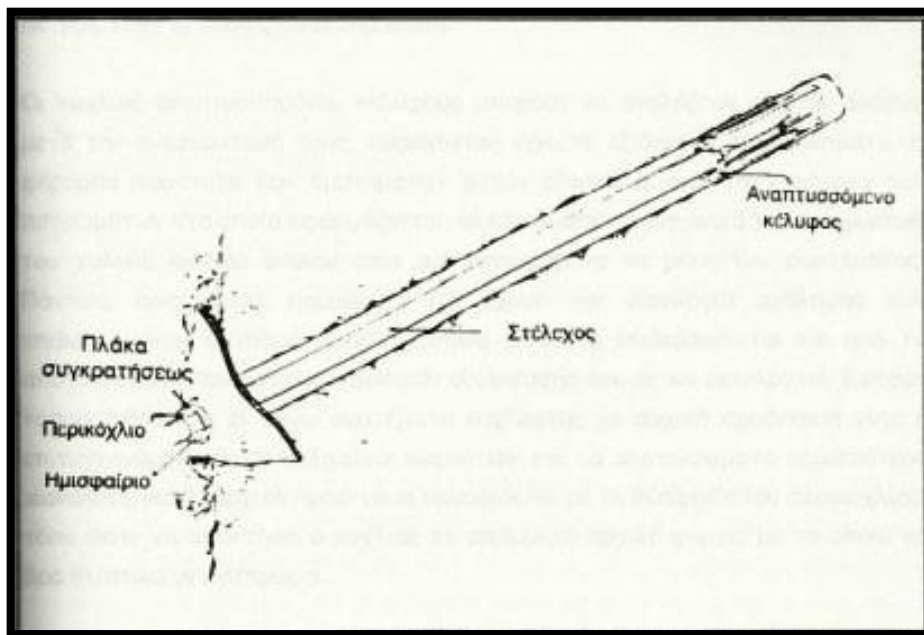
Οι εν λόγω τύποι κοχλιών εφαρμόζονται για την κάλυψη των αναγκών της συστηματικής υποστήριξης των υπογείων βωξιτικών εκμεταλλεύσεων. Ακολούθως παρουσιάζονται συνοπτικά τα συστήματα κοχλίωσης που γνωρίζουν ευρύτετη εφαρμογή στη μεταλλευτική βιομηχανία στη χώρα μας.

### **2.9 Κοχλίες αναπτυσσόμενου κελύφους**

Ο εν λόγω τύπος κοχλιών αποτελεί εξέλιξη του παλαιότερου τύπου κοχλιών με εγκοπή και σφήνα. Οι κοχλίες αναπτυσσόμενου κελύφους αναπτύχθηκαν με σαφή στόχο την κάλυψη των αναγκών υποστήριξης υπόγειων εκσκαφών ορυσομένων σε ένα αρκετά ευρύ φάσμα συνθηκών, τόσο από πλευράς της ποιότητας της μάζας του πετρώματος, όσο και από της πλευράς του υφιστάμενου τασικού πεδίου. Επίσης, επιδίωξη ήταν η ανάπτυξη ενός συστήματος το οποίο να παρουσιάζει αυξημένη αξιοπιστία σε σχέση με το προϋπάρχον σύστημα κοχλίωσης (κοχλίας με εγκοπή και σφήνα). Μέχρι του παρόντος έχουν αναπτυχθεί αρκετοί τύποι κοχλιών αναπτυσσόμενου κελύφους, ο καθένας εκ των οποίων προορίζεται να καλύψει συγκεκριμένες



περιπτώσεις πετρωμάτων. Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται ένας τυπικός κοχλίας αναπτυσσόμενου κελύφους.



Σχήμα 2.11: Κοχλίας αναπτυσσόμενου κελύφους (Δελφοί-Δίστομον, 2001).

Οι κοχλίες αναπτυσσόμενου κελύφους συνίστανται από ακόλουθα επιμέρους στοιχεία:

- Το στέλεχος ή σώμα
- Το αναπτυσσόμενο κέλυφος
- Την πλάκα συγκράτησης
- Το ημισφαίριο προσαρμογής
- Το περικόχλιο

Το κάθε ένα από τα παραπάνω επιμέρους στοιχεία που απαρτίζουν τους κοχλίες αναπτυσσόμενου κελύφους, επιδρά σε διαφορετικό βαθμό, επί της συμπεριφοράς του συστήματος. Η επιτυχή επιλογή ενός συστήματος κοχλίωσης αναπτυσσόμενου κελύφους, εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τον ορθό καθορισμό των χαρακτηριστικών των επιμέρους στοιχείων που το συνιστούν. Η μορφή του αναπτυσσόμενου κελύφους είναι ένα από τα στοιχεία που διακρίνουν τους κοχλίες της εν λόγω κατηγορίας σε επιμέρους τύπους κοχλίων. Γενικά, το αναπτυσσόμενο κέλυφος αποτελείται από ένα

κώνο, ο οποίος κατά την εγκατάσταση-περιστροφή του κοχλία βιδώνεται στο στέλεχος και συγχρόνως εκτείνει τα μέρη του κελύφους. Αξιοσημείωτη είναι η συμμετοχή στο σύστημα του ημισφαιρίου προσαρμογής, η μορφή του οποίου είναι τέτοια ώστε να είναι εφικτή και αποτελεσματική η τοποθέτηση κοχλιών ακόμα και σε επιφάνειες πετρωμάτων οι οποίες είναι υπό κλίση.

Οι κοχλίες αναπτυσσόμενου κελύφους μπορούν να αναλάβουν φορτία αμέσως μετά την εγκατάστασή τους, παρέχοντας αρκετά αξιόπιστα αποτελέσματα. Η φέρουσα ικανότητα των συστημάτων αυτών εξαρτάται από την ποιότητα των πετρωμάτων στα οποία εφαρμόζονται, αλλά και από τα μηχανικά χαρακτηριστικά του χάλυβα εκ του οποίου είναι κατασκευασμένα τα μέρη του συστήματος. Πάντως, είναι κοινά παραδεκτό ότι έχουν την ικανότητα ανάληψης των επιβαλλόμενων συνήθως φορτίων. Εφόσον τοποθετηθούν τα εν λόγω συστήματα κοχλίωσης με αρχική προένταση τότε η επιτυγχανόμενη υποστήριξη είναι αμεσότερη και τα αποτελέσματα περισσότερο ικανοποιητικά. Η αρχική προένταση, προσδίδεται με τη σύσφιξη του περικοχλίου, τόσο ώστε να αποκτήσει ο κοχλίας το επιθυμητό αρχικό φορτίο με το οποίο δρά θλιπτικά στο πέτρωμα.

Οι κοχλίες αναπτυσσόμενου κελύφους δεν είναι ιδιαίτερα ακριβά συστήματα κοχλίωσης οροφής, συγκριτικά με άλλα ανάλογων δυνατοτήτων. Επίσης, είναι σκόπιμο να διενεργείται η εγκατάστασή τους από έμπειρο προσωπικό το οποίο όμως δεν απαιτείται να είναι ιδιαίτερα εξειδικευμένο. Συνίσταται ακόμη η στενή επίβλεψη και καθοδήγηση των εργασιών εγκατάστασης, προκειμένου να επιτυγχάνονται καλύτερα αποτελέσματα. Η αποτελεσματικότητα του συγκεκριμένου συστήματος κοχλίωσης οροφής σε μεγάλο εύρος συνθηκών, επιβεβαιώνεται από το γεγονός ότι εκτός της ευρείας εφαρμογής του σε μεταλλευτικές εργασίες, χρησιμοποιείται εξίσου και σε τεχνικά έργα. Χρησιμοποιείται δηλαδή τόσο για την υποστήριξη εκσκαφών που έχουν προσωρινό χαρακτήρα (εκσκαφές εκμετάλλευσης), όσο και για περισσότερο μόνιμα έργα, όπως είναι συνήθως τα τεχνικά έργα, ως προσωρινή και μόνιμη υποστήριξη.

Τα βασικά τεχνολογικά χαρακτηριστικά των κοχλιών αναπτυσσόμενου κελύφους και οι τυπικές τιμές αυτών δίδονται στον Πίνακα 2.2.

**Πίνακας 2.2:** Τυπικά τεχνολογικά χαρακτηριστικά των κοχλιών αναπτυσσόμενου κελύφους (Δελφοί-Δίοστομον, 2001).

<b>ΤΥΠΙΚΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ</b>	
<b>Ποιότητα χάλυβα</b>	700 MPa
<b>Διάμετρος ράβδου</b>	16 mm
<b>Όριο διαρροής χάλυβα</b>	140 kN
<b>Φορτίο θραύσης χάλυβα</b>	180 kN
<b>Ποσοστό αξονικής επιμήκυνσης</b>	14 %
<b>Μήκος κοχλία</b>	Όσο απαιτείται
<b>Διάμετρος διατρήματος</b>	35 – 38 mm

### **2.10 Κοχλίες ολόσωμης πάκτωσης με ρητίνη**

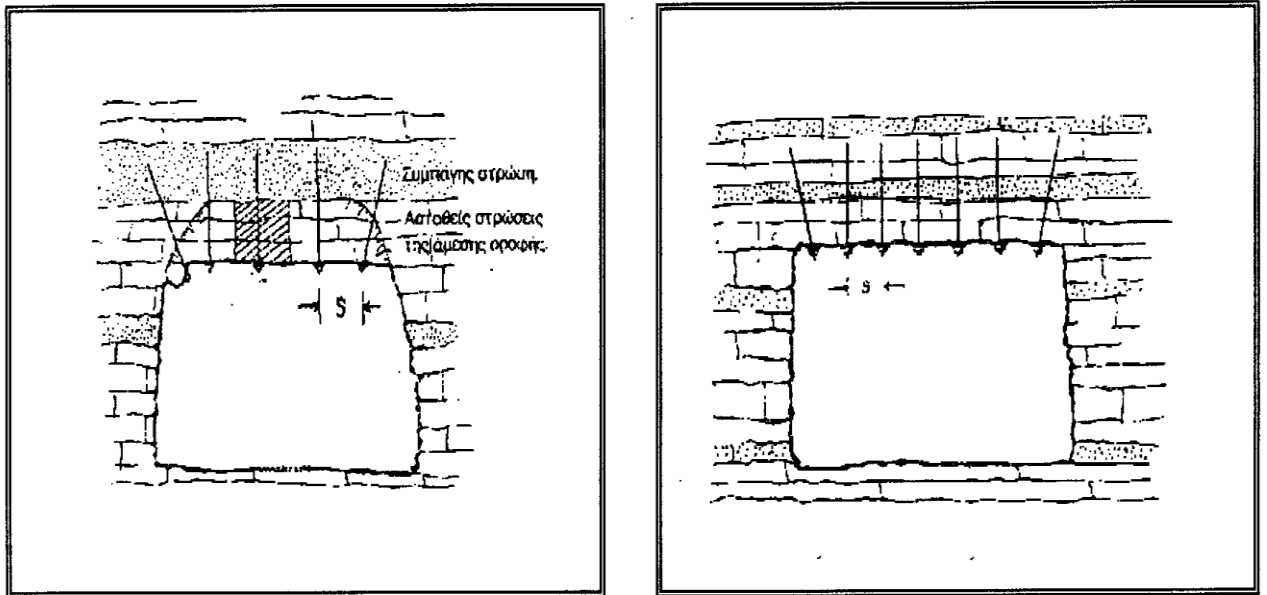
Οι εν λόγω κοχλίες βρίσκονται σε πλήρη επαφή με το πέτρωμα σε όλους τους μήκος μέσω της μάζας της ρητίνης με το οποίο περιβάλλεται το στέλεχος του κοχλία. Εξαιτίας αυτού, κατά της εκδήλωση μετακινήσεων στις στρώσεις της βραχόμαζας, σε οποιαδήποτε θέση κατά μήκος του κοχλία, αναπτύσσονται επί της διεπιφάνειας των τοιχωμάτων του διατρήματος και της ρητίνης διατμητικές δυνάμεις, οι οποίες μεταβιβάζονται μέσω της διεπιφάνειας ρητίνης-στελέχους στον κοχλία. Με τον εν λόγω μηχανισμό αναπτύσσονται από τον κοχλία δυνάμεις αντίδρασης στις δυνάμεις που ασκούνται από τις μετακινήσεις του πετρώματος, με αποτέλεσμα να παρεμποδίζεται ο αποχωρισμός των στρώσεων του πετρώματος. Οι διατμητικές δυνάμεις οι οποίες αναπτύσσονται στη διεπιφάνεια μεταξύ της ρητίνης και του πετρώματος με την ανακατανομή των αναπτυσσόμενων τοπικών φορτίων, παρέχουν κύρια τη δράση για τη συγκράτηση του πετρώματος στη θέση του και την ανάσχεση περαιτέρω χαλάρωσης.

Η εκδήλωση των όποιων μετακινήσεων αντιμετωπίζονται επιτόπου και άμεσα, περιορίζοντας έτσι την επίδραση της χαλάρωσης στις υποκείμενες

στρώσεις. Θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι η κάθε μία στρώση υποστηρίζεται χωριστά. Για την περίπτωση πολλών λεπτών στρώσεων, οι κοχλίες που αγκυρώνονται με ρητίνη σε όλο τους το μήκος επιτυγχάνουν αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα, δεδομένου ότι με την εφαρμογή των εν λόγω συστημάτων πραγματοποιείται συνεργασία των επιμέρους στρώσεων, προς σχηματισμό ενιαίας δοκού ή πλάκας, με βελτιωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά στο σύνολό της.

Επιπροσθέτως, με την εφαρμογή των εν λόγω κοχλιών επιτυγχάνεται η αύξηση της ικανότητας του πετρώματος να ανθίσταται στην εκδήλωση διατμητικών κινήσεων επί των επιπέδων στρώσης. Χάρη στους μηχανισμούς δράσης των κοχλιών αυτού του τύπου, περιορίζονται οι κατακόρυφες σχετικές κινήσεις μεταξύ των στρώσεων του πετρώματος, ενώ παρεμποδίζονται και οι οριζόντιες κινήσεις. Οι ανωτέρω μηχανισμοί δράσης των συγκεκριμένων κοχλιών δρουν συγχρόνως και συνδυασμένα στη βραχόμαζα, γεγονός το οποίο καθιστά δύσκολη τη διάγνωση σε κάθε περίπτωση του κυρίαρχου μηχανισμού και του βαθμού επίδρασης των υπολοίπων.

Εξαιτίας του ότι η δράση των υπόψη κοχλιών επί του πετρώματος είναι συνεχής και σε όλο το μήκος του διατμήματος, σε οποιαδήποτε θέση και αν εμφανιστεί αποκόλληση των στρώσεων από την υπόλοιπη μάζα θα υπάρξει άμεση και "επιτόπου" επέμβαση του κοχλία. Κάτι τέτοιο δεν υφίσταται στην περίπτωση των κοχλιών αγκυρούμενου άκρου οι οποίοι δρουν στο πέτρωμα μέσω δύο "σημείων".



Σχήμα 2.12. (α) Ανάρτηση στρώσεων από υπερκείμενη συμπαγή και επαρκούς πάχους στρώση. (β) Κοχλίωση στρώσεων προς σχηματισμό πλάκας (Οικομομόπουλος Ι., Κορωνάκης Ν. 1992).

Αναφορικά με τη αρχική προένταση σε σχέση με τους κοχλίες ρητίνης που αγκυρώνονται σε όλο τους το μήκος σημειώνεται ότι το επιβαλλόμενο φορτίο μειώνεται προοδευτικά, σύμφωνα και με τη θεωρητική ανάλυση, εντός μικρού μήκους του αγκυρούμενου στελέχους. Κατά συνέπεια η δράση του εν λόγω μεγέθους στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι περιορισμένη αν όχι αμελητέα. Η συνεισφορά της αρχικής προέντασης στην υποστήριξη της βραχόμαζας, εφόσον αυτή διενεργείται με κοχλίες ρητίνης που αγκυρώνονται σε όλο τους το μήκος, είναι ασήμαντη σε σχέση με τη συνεισφορά του ίδιου μεγέθους όταν εφαρμόζονται κοχλίες σημειακής αγκύρωσης. Επομένως η επιβολή συστηματικής αρχικής προέντασης σε κοχλίες ολόσωμης πάκτωσης με ρητίνη δεν αποφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα, επιβαρύνοντας συγχρόνως τη διαδικασία της εγκατάστασής τους, εκτός εάν τοποθετηθεί στον πυθμένα του διατρήματος ρητίνη ταχύτερου χρόνου πήξης.

## **2.11 Κοχλίες πλήρους μηχανικής επαφής, αγκυριζόμενοι με τριβή**

### **2.11.1 Γενικά**

Στην εν λόγω κατηγορία των συστημάτων κοχλίωσης, συμπεριλαμβάνονται τα συστήματα κοχλίωσης **Split – Set** και **Swellex**, τα οποία αποτελούν δύο από τις πλέον πρόσφατες εξελίξεις στο χώρο των συστημάτων κοχλίωσης οροφής υπόγειων εκσκαφών. Αφορούν κοχλίες η λειτουργία των οποίων συνίσταται κυρίως στην άσκηση πλευρικών – ακτινικών δυνάμεων στο πέτρωμα, καθόλο το μήκος του κοχλία. Εξαιτίας αυτών των δυνάμεων, αφενός μεν αναπτύσσονται δυνάμεις τριβής μεταξύ του πετρώματος και του κοχλία όταν το πρώτο αρχίσει να χαλαρώνει και να μετακινείται, και αφετέρου συμπιέζονται τα επιμέρους ογκοτεμάχια του πετρώματος, προκαλώντας τη μηχανική αλληλεμπλοκή και συγχρόνως την αύξηση των δυνάμεων τριβής στις διεπιφάνειες των επιμέρους ογκοτεμαχίων πετρώματος. Για όσο χρόνο οι αναπτυσσόμενες δυνάμεις τριβής υπερβαίνουν το φορτίο που επιβάλλεται στο σύστημα εξαιτίας της χαλάρωσης του πετρώματος η εκσκαφή παραμένει ευσταθής και δεν αντιμετωπίζονται προβλήματα αστοχιών του πετρώματος.

Οι κανονικοί τύποι των συστημάτων κοχλίωσης της εν λόγω κατηγορίας είναι σχετικά ευαίσθητοι σε διαβρωτικό περιβάλλον, αφού ο χάλυβας είναι εντελώς εκτεθειμένος στην επίδραση των διαβρωτικών παραγόντων και δεν μπορεί να υπάρχει κάποιο προστατευτικό κάλυμμα, όπως συμβαίνει για παράδειγμα στην περίπτωση των συστημάτων με συγκολλητικές ύλες. Για το λόγο αυτό, όταν χρησιμοποιούνται ως συστήματα μόνιμης υποστήριξης θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το ενδεχόμενο διάβρωσής τους και η απώλεια ουσιαστικά της ικανότητάς τους να υποστηρίζουν την οροφή.

Ειδικότερα για κάθε ένα εκ των συστημάτων κοχλίωσης της εν λόγω κατηγορίας αναφέρονται τα ακόλουθα:

#### A. Σύστημα κοχλίωσης Split – Set

Το εν λόγω σύστημα κοχλίωσης εμφανίστηκε χρονικά νωρίτερα έναντι των υπολοίπων συστημάτων της εν λόγω κατηγορίας. Αναπτύχθηκε από τον J. Scott σε συνεργασία με την εταιρεία Ingersoll – Rand, το 1977. Παρά το γεγονός ότι αποτελεί πρόσφατη σχετικά εξέλιξη στα συστήματα κοχλίωσης, έχει κερδίσει την εμπιστοσύνη των μεταλλευτικών επιχειρήσεων και εφαρμόζεται σε αρκετές περιπτώσεις, είτε δοκιμαστικά είτε συστηματικά.

Ο εν λόγω κοχλίας αποτελείται από ένα χαλύβδινο σωλήνα υψηλής αντοχής, ο οποίος φέρει εγκοπή σε όλο του το μήκος, όπως διακρίνεται στο σχήμα που ακολουθεί. Εφαρμόζεται σε διατρήματα μικρότερης διαμέτρου από τη διάμετρο του σωλήνα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να εξασκεί πίεση σε όλο το μήκος των τοιχωμάτων του διατρήματος. Μάλιστα με την πάροδο του χρόνου, η πίεση αυτή αυξάνεται.



Εικόνα 2.13: Αγκύριο τριβής split-set.

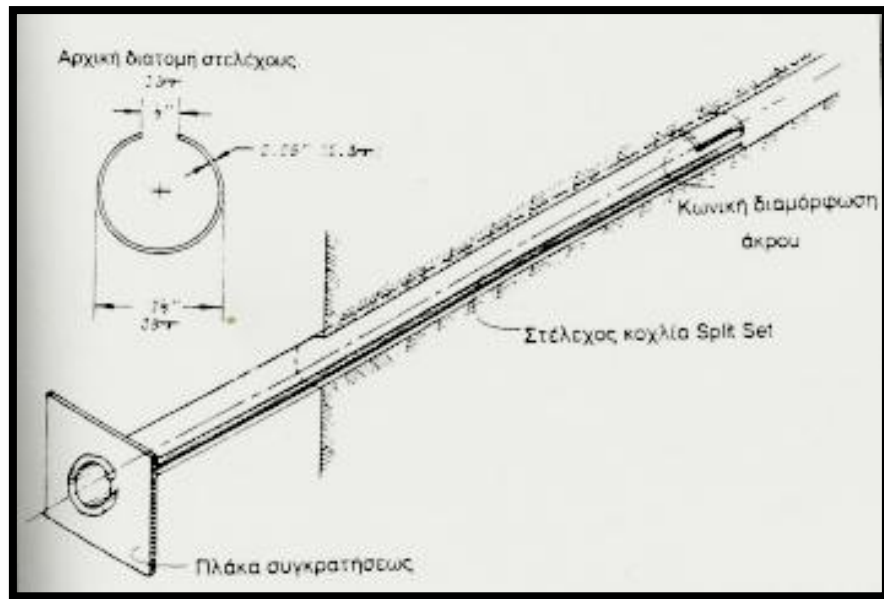
Για να διευκολύνεται η τοποθέτηση του κοχλίου το άκρο το οποίο οδηγείται εντός του διατρήματος έχει διαμορφωθεί με ελαφρά κωνικότητα. Στο άλλο του άκρο προσαρμόζεται κατάλληλα η απαραίτητη πλάκα συγκράτησης.

Όπως γίνεται φανερό, από τις σχετικές διαστάσεις των διαμέτρων του κοχλίου και του διατρήματος, οι οποίες δίδονται στον Πίνακα 2.3 που ακολουθεί, ο κοχλίας έχει μεγαλύτερη διάσταση. Συνεπώς κατά την

τοποθέτησή του στο διάτρημα αναγκάζεται να περιοριστεί. Την ανάγκη αυτή εξυπηρετεί η εγκοπή, η ύπαρξη της οποίας επιτρέπει στον κοχλία να ελαττώσει τη διάμετρό του διατηρώντας συνεχώς κυκλική σχεδόν διατομή. Είναι σημαντικό η εν λόγω παραμόρφωση του κοχλία να είναι εντός ελαστικής περιοχής του χάλυβα που χρησιμοποιήθηκε και όχι στην πλαστική. Μόνο έτσι είναι δυνατή η λειτουργία του συστήματος. Εξαιτίας της ελαστικής παραμόρφωσης του χάλυβα του κοχλία αναπτύσσονται ακτινικές πιέσεις στο πέτρωμα, αποτέλεσμα των οποίων είναι η ανάπτυξη σημαντικών δυνάμεων τριβής κατά την έναρξη εκδήλωσης συγκλίσεων, οι οποίες αποτρέπουν την ολίσθηση του πετρώματος προς τον ως προς τον κοχλία. Οι εν λόγω δυνάμεις τριβής αυξάνουν όταν η εξωτερική επιφάνεια του σωλήνα είναι οξειδωμένη εξαιτίας της καλύτερης συνάφειας που επιτυγχάνεται μεταξύ του κοχλία και του πετρώματος.

Το σύστημα κοχλίωσης Split – Set είναι ιδιαίτερα απλό στον τρόπο τοποθέτησής του, ενώ χρειάζεται συγκριτικά λιγότερος συνολικός χρόνος για την τοποθέτησή του έναντι άλλων συστημάτων. Για την τοποθέτηση του κοχλία μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ελαφριά αερόσφουρα είτε κατάλληλα εξοπλισμένο διατρητικό φορείο, ενώ από την κατασκευάστρια εταιρεία διατίθενται συγκεκριμένα διατρητικά φορεία κοχλιώσεως για τους υπόψιν κοχλίες.

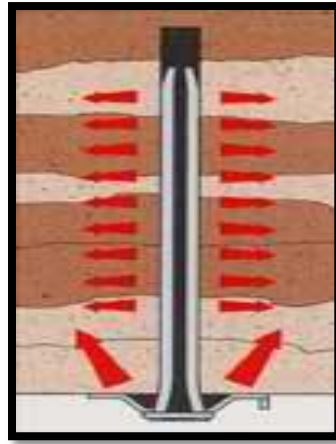




Σχήμα 2.14: Σύστημα κοχλίωσης *Split Set* (Δελφοί-Δίστομον, 2001).

Οι κατασκευαστές του ισχυρίζονται ότι αποτελεί οικονομικότερο σύστημα κοχλίωσης σε σχέση με αντίστοιχης ικανότητας συστήματα της κατηγορίας κοχλιών αγκυριζομένων μηχανικώς ή με συγκολλητικές ύλες, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις δυσμενών συνθηκών, η ανάλυση κόστους-οφέλους αποβαίνει σαφώς υπέρ των συστημάτων *Split-Set*. Ένα επίσης σημαντικό χαρακτηριστικό του συστήματος αυτού, είναι η αμεσότητα στην ανάληψη φορτίων μετά την εγκατάστασή του.

Πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι ότι δίνει κατανεμημένη αγκύρωση αμέσως μετά την τοποθέτηση η οποία είναι απλή και δεν απαιτεί ιδιαίτερο εξοπλισμό. Το κύριο πλεονέκτημά τους είναι ότι αναλαμβάνουν φορτία πολύ γρήγορα επειδή δεν απαιτούν την πήξη του ενέματος για την επίτευξη πρόσφυσης.



Εικόνα 2.15: Λειτουργία αγκυρίου τριβής split set

Μειονεκτήματα είναι το κόστος που είναι σχετικά αυξημένο και η αδυναμία χρήσης της υποστήριξης για μεγάλο χρονικό διάστημα αν δε ληφθούν ειδικά μέτρα προστασίας κατά της οξείδωσης.



Εικόνα 2.16: Τμήματα αγκυρίων τριβής split set

**Πίνακας 2.3:** Τεχνολογικά χαρακτηριστικά των συστημάτων *Split-Set*.

ΤΥΠΙΚΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	
<b>Διάμετρος σωλήνα</b>	39 mm
<b>Όριο διαρροής χάλυβα</b>	90 kN
<b>Φορτίο θραύσης χάλυβα</b>	110 kN
<b>Ποσοστό αξονικής επιμήκυνσης</b>	16 %
<b>Μήκος κοχλία</b>	0,9 – 3 mm
<b>Διάμετρος διατρήματος</b>	35 - 38 mm

Εξαιτίας του τρόπου λειτουργίας του εν λόγω συστήματος, δεν είναι δυνατόν να επιβληθεί αρχική προένταση στον κοχλία και συνεπώς ο συγκεκριμένος κοχλίας ενεργοποιείται με τη μετακίνηση του πετρώματος, όπως ακριβώς συμβαίνει και με τα συστήματα ολόσωμης αγκύρωσης με συγκολλητικές ύλες, χωρίς αρχική προένταση. Για το λόγο αυτό και προκειμένου να αποφευχθούν όσο το δυνατόν μεγαλύτερες παραμορφώσεις – συγκρίσεις των περιβαλλόντων, είναι σκόπιμο οι κοχλίες Split – Set να τοποθετούνται πλησίον του μετώπου. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται και στη διάμετρο του διατρήματος, η οποία θα πρέπει να εναρμονίζεται με τη διάμετρο του κοχλία. Η διάμετρος του διατρήματος είναι το πιο κρίσιμο μέγεθος στο εν λόγω σύστημα κοχλίωσης και έχει παρατηρηθεί ότι οι περισσότερες αστοχίες κατά την εγκατάσταση του κοχλία οφείλονται στο ότι το διάτρημα είναι μεγαλύτερης ή μικρότερης διαμέτρου από τη απαιτούμενη. Επιπροσθέτως, πρέπει να σημειωθεί ότι εξαιτίας της άμεσης επαφής του χάλυβα με το περιβάλλον στο οποίο τοποθετείται, δέχεται την επίδραση των ρεόντων υδάτων, οπότε είναι ενδεχόμενο να παρουσιάσει σημαντική διάβρωση. Συνεπώς, εξαιτίας της οξειδωσής του είναι δυνατόν μετά από σημαντικό χρονικό διάστημα να πάψει να λειτουργεί και να επέλθει αστοχία του. Με δεδομένο ότι η προστασία των κοχλιών Split – Set με διάφορα ενέματα δεν είναι εφικτή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ορισμένοι ειδικοί τύποι κοχλιών όταν προβλέπεται να λειτουργήσουν για ιδιαίτερα μεγάλο χρονικό διάστημα. Για παράδειγμα, έχουν χρησιμοποιηθεί κοχλίες

κατασκευασμένοι από ανοξείδωτο χάλυβα ή από χάλυβα αυξημένης αντοχής στη διάβρωση από συγκεκριμένους παράγοντες, όμως το κόστος κτήσης τους αυξάνεται πλέον σημαντικά. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι μερική και επιφανειακή οξείδωση του στελέχους των εν λόγω κοχλίων επιτρέπει την ανάπτυξη καλύτερης συνάφειας με το πέτρωμα και η προσφερόμενη υποστήριξη να είναι περισσότερο ικανοποιητική.

#### B. Σύστημα κοχλίωσης Swellex.

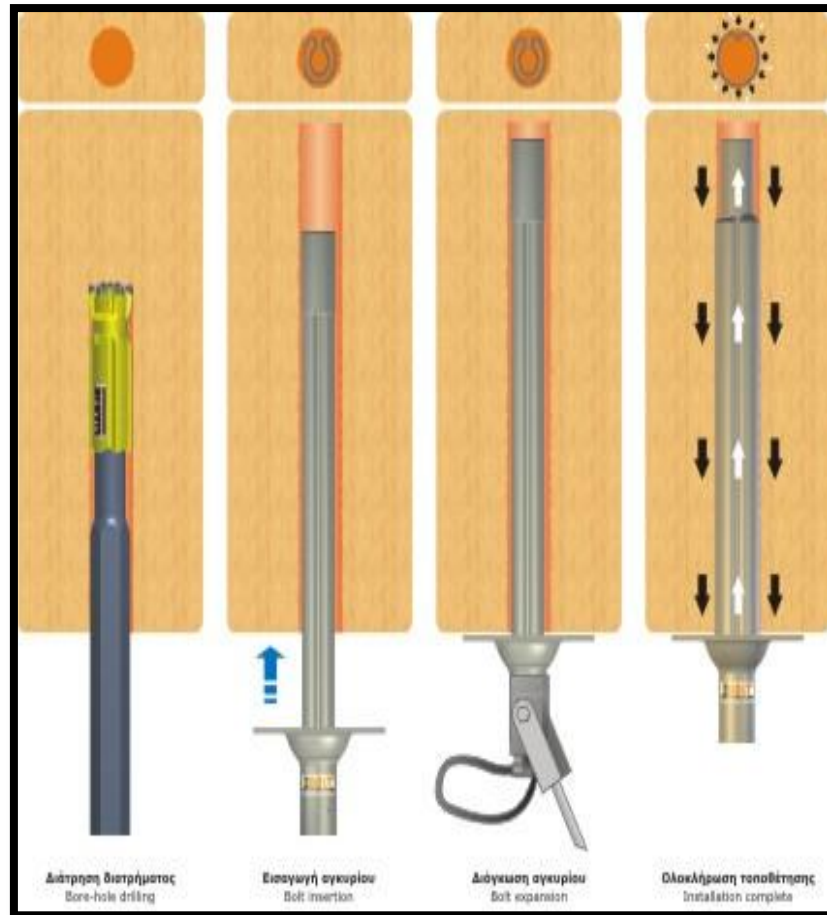
Ένας πιο σύγχρονος τύπος κοχλία πλήρους μηχανικής επαφής, αγκυριζόμενος με τριβή είναι ο κοχλίας Swellex, ο οποίος αναπτύχθηκε από τη Σουηδική εταιρεία Atlas Corco. Ο εν λόγω τύπος κοχλία διαφέρει από τον προηγούμενο τύπο στον τρόπο λειτουργίας του. Θεωρείται ότι ο κοχλίας Split – Set ενεργεί αποκλειστικά με δυνάμεις τριβής, ενώ ο κοχλίας Swellex επιπλέον των δυνάμεων τριβής που αναπτύσσει, εμπλέκεται με το πέτρωμα παρεμποδίζοντας και με αυτή του τη δράση τις μετακινήσεις των περιβαλλόντων πετρωμάτων.

Ο κοχλίας Swellex αποτελείται από ένα χαλύβδινο σωλήνα λεπτών τοιχωμάτων, ο οποίος διαμορφώνεται σε διατομή όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα, ενώ στα δύο άκρα του προσαρμόζονται κατάλληλα πώματα. Τα δύο άκρα του έχουν συγκολληθεί, ενώ το κάτω άκρο είναι διαμορφωμένο έτσι ώστε να επιτρέπει την πρόσθεση πλακιδίου. Ακόμη, φέρει οπή, από όπου μπορεί να εισπιασθεί νερό. Η αρχική διάμετρος του κοχλία πρέπει να είναι ελαφρά μικρότερη από τη διάμετρο του διατρήματος. Ο κοχλίας τοποθετείται συνήθως χειρονακτικά στο διάτρημα με το άκρο του προς το στόμιο του διατρήματος. Κατά την τοποθέτηση, νερό υπό υψηλή πίεση (300 bar) διοχετεύεται μέσω ειδικής αντλίας και αναγκάζει το σωλήνα να διογκωθεί και να προσαρμοσθεί στις ανωμαλίες της επιφάνειας του διατρήματος. Συγχρόνως, ο σωλήνας έχει την τάση να βραχυνθεί και έτσι υφίσταται προένταση. Μετά την τοποθέτηση η πίεση του νερού αποσυνδέεται. Με τον τρόπο αυτό αναπτύσσονται πλευρικές δυνάμεις στο πέτρωμα, ενώ επειδή τα τοιχώματα του σωλήνα προσαρμόζονται στη μορφή

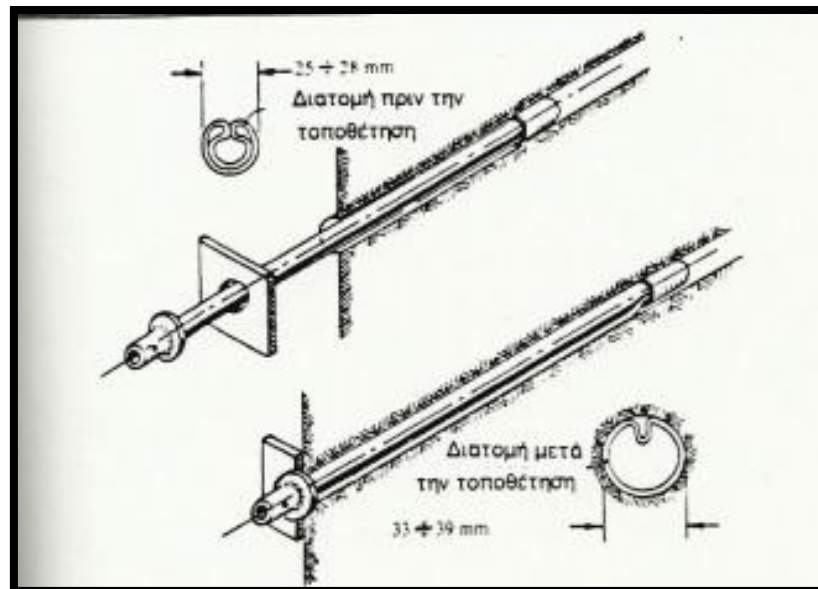
των τοιχωμάτων του διατρήματος και εμπλέκονται με αυτά προκαλώντας μια επιπρόσθετη αντίσταση κατά της ολίσθησης και της χαλάρωσης του πετρώματος. Το βασικό πλεονέκτημα των αγκυρίων τριβής swellex είναι ότι παραλαμβάνουν το πλήρες φορτίο άμεσα μετά την τοποθέτησή τους και έτσι απορροφούν αυτομάτως όλες τις μετακινήσεις της βραχομάζας. Επίσης, κατά την τοποθέτηση των εν λόγω κοχλιών αναπτύσσεται αρχική προένταση μη ελεγχόμενου μεγέθους. Η ανάπτυξη αρχικής προέντασης οφείλεται στην τάση ελάττωσης του μήκους του κοχλία κατά την εισπίεση του νερού στο εσωτερικό του σωλήνα. Ειδικότερα εξαιτίας της εν λόγω τάσης αναπτύσσονται δυνάμεις τριβής στη διεπιφάνεια κοχλία πετρώματος, ενώ εφόσον υφίσταται πλάκα συγκράτησης η αντίσταση στη μείωση του μήκους του σωλήνα είναι μεγαλύτερη. Οι ανωτέρω δύο μηχανισμοί έχουν ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη αρχικής προέντασης, η τιμή της οποίας δεν μπορεί να θεωρηθεί σταθερή. Στον παρακάτω πίνακα δίδονται οι τυπικές τιμές των χαρακτηριστικών μεγεθών των κοχλιών Swellex.

**Πίνακας 2.4:** Τυπικά τεχνολογικά χαρακτηριστικά των συστημάτων Swellex (Δελφοί-Δίστομον, 2001).

<b>ΤΥΠΙΚΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ</b>	
<b>Διάμετρος σωλήνα</b>	26 mm
<b>Όριο διαρροής χάλυβα</b>	130 kN
<b>Φορτίο θραύσης χάλυβα</b>	130 kN
<b>Ποσοστό αξονικής επιμήκυνσης</b>	10 %
<b>Μήκος κοχλία</b>	Όσο απαιτείται
<b>Διάμετρος διατρήματος</b>	35 +3 mm



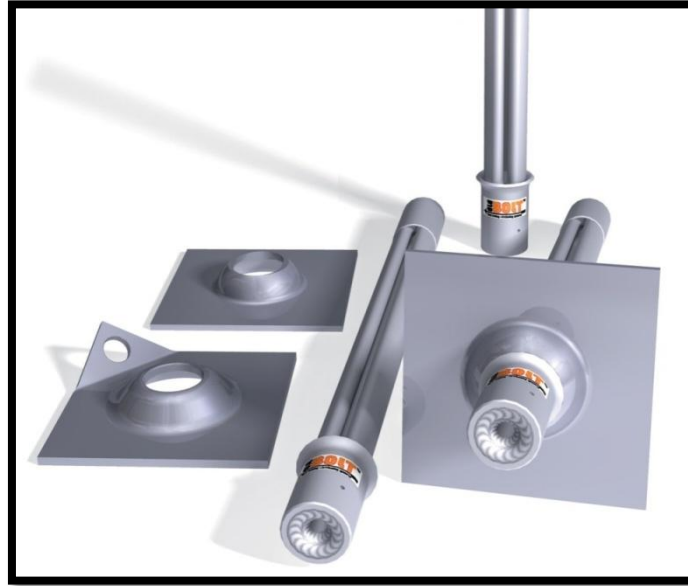
Εικόνα 2.17: Τοποθέτηση αγκυρίων τριβής swellex.



Εικόνα 2.18: Συστήματα κοχλίωσης Swellex (Δελφοί-Δίστομον, 2001)

### **2.11.2 Χαρακτηριστικά - Πλεονεκτήματα συστήματος αγκύρωσης swellex**

Τα βασικά χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα των διογκούμενων αγκυριών τριβής swellex συνοψίζονται ακολούθως:



Εικόνα 2.19: Τμήματα αγκυριών τριβής swellex

- Άμεση και πλήρης φόρτιση του αγκυρίου σε όλο το εισερχόμενο στη βραχομάζα μήκος του
- Μεγάλη ταχύτητα τοποθέτησης που επιτρέπει ταχείς ρυθμούς προχώρησης των υπογείων έργων
- Η αμεσότητα και η πλήρης και εγγυημένη φόρτιση του αγκυρίου παρέχουν υψηλά επίπεδα ασφαλείας για τους εργαζομένους
- Γρήγορη και απλή τοποθέτηση που δεν απαιτεί εξειδίκευση
- Το σώμα του αγκυρίου προσαρμόζεται στο τραχύ τοίχωμα του διατρήματος αυξάνοντας τις δυνάμεις τριβής και την ικανότητα αγκύρωσης
- Η εξαιρετική επιμήκυνση του αγκυρίου κατά τη φόρτιση επιτρέπει σημαντικές μετακινήσεις της βραχομάζας συμβάλλοντας περαιτέρω στην ασφάλεια αγκύρωσης
- Δυνατότητα μηχανοποιημένης τοποθέτησης αγκυριών

- Δεν απαιτείται η χρήση ενεμάτων για την πάκτωση των αγκυρίων συμβάλλοντας στην απλότητα της μεθόδου και την καθαρότητα του περιβάλλοντος εργασίας
- Εύκολη προσαρμογή σε ποικίλες διαμέτρους οπής
- Ανθεκτικό σε κραδασμούς οφειλόμενους π.χ. σε χρήση εκρηκτικών
- Δυνατότητα δοκιμής σε κάθε τοποθέτηση

Μειονεκτήματα είναι η απαραίτητη χρήση ειδικής αντλίας και η αδυναμία χρησιμοποίησής του για μακρόχρονη υποστήριξη αν δεν ληφθούν ειδικά μέτρα κατά της οξειδωσης.

Υπό ορισμένες συνθήκες, οι εν λόγω κοχλίες είναι συγκριτικά οικονομικότεροι έναντι άλλων συστημάτων, αλλά η εφαρμογή του προϋποθέτει την απόκτηση της ειδικής αντλίας εισπίεσης νερού για την εγκατάστασή τους. Τοποθετούνται γρήγορα και εύκολα, ενώ μέσω της ένδειξης του μανομέτρου της αντλίας για την αντίστοιχη ασκούμενη πίεση νερού, είναι δυνατόν να εκτιμηθεί άμεσα η επιτυχία της εγκατάστασής τους. Περέχουν υποστήριξη του πετρώματος αμέσως μετά την εγκατάστασή τους, ενώ η φέρουσα ικανότητά τους είναι υψηλότερη των κοχλίων Split – Set. Σημαντικό επίσης χαρακτηριστικό του κοχλία Swellex είναι το ότι δεν επηρεάζεται σημαντικά από τις προκαλούμενες δονήσεις, ενώ συγχρόνως ανθίσταται σθεναρά σε οριζόντιες μετατοπίσεις του πετρώματος, όπως άλλωστε ισχύει και για τους κοχλίες Split – Set.

Η μέγιστη αντοχή σε εφελκυσμό του κοχλία καθορίζεται από την αντοχή του λεπτού τοιχώματος του σωλήνα. Επίσης, όπως και στην περίπτωση των μη προεντεταμένων συστημάτων κοχλίωσης, επιβάλλεται η εγκατάστασή του πλησίον του μετώπου. Χάρη στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο εύρος συνθηκών. Αναφορικά με την επίδραση των διαβρωτικών παραγόντων επί των εν λόγω συστημάτων κοχλίωσης ισχύουν ανάλογα με όσα έχουν αναφερθεί κατά την παρουσίαση των κοχλίων Split – Set. Για την αντιμετώπιση περιπτώσεων στις οποίες υφίστανται έντονες διαβρωτικές συνθήκες ή είναι επιθυμητή η διασφάλιση της φέρουσας



ικανότητας των εν λόγω συστημάτων κοχλίωσης για μεγάλο σχετικά χρονικό διάστημα, διατίθενται από τον κατασκευαστή ορισμένοι ειδικοί τύποι κοχλιών όπως ο Coated – Swellex, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για μακρινά υποστήριξη υπογείων εκσκαφών.

### **2.11.3 Εξοπλισμός διογκώσεως αγκυρίων swellex**

Ο παρακάτω εξοπλισμός διατίθεται για τη διογκωση/τοποθέτηση των αγκυρίων swellex.



Εικόνα 2.20: Εξοπλισμός για τοποθέτηση/διογκώση αγκυρίων τριβής swellex

### **2.11.4 Ηλεκτρική αντλία**

Συμπαγής και υψηλής απόδοσης αντλία σχεδιασμένη για πιέσεις λειτουργίας 300 bar. Το ηλεκτρικό σύστημα ελέγχου με το συνδυαστικό διακόπτη On/Off και διακοπή λειτουργίας έκτακτης ανάγκης (Emergency STOP) καθώς και η προστασία για την εν ξηρό λειτουργία εξασφαλίζουν την απλή και ασφαλή λειτουργία. Αυτή η υψηλής απόδοσης, χαμηλού επιπέδου σε θορύβους και κραδασμούς συσκευή αποτελεί τη βάση για την ασφαλή και ταχεία τοποθέτηση των αγκυρίων τριβής swellex.

### **2.11.5 Πνευματική αντλία**

Συμπαγής και υψηλής απόδοσης αντλία πεπιεσμένου αέρα σχεδιασμένη για μέγιστη πίεση λειτουργίας 300 bar. Μία πνευματική βαλβίδα ασφαλείας εξασφαλίζει την ασφαλή λειτουργία από απρόοπτες φορτίσεις. Αυτή η υψηλής απόδοσης συσκευή πεπιεσμένου αέρα αποτελεί τη βάση για την ασφαλή και ταχεία τοποθέτηση των αγκυρίων τριβής swellex.

Οι ανωτέρω αντλίες εισπίεσης νερού συνδυάζονται με τη συσκευή τοποθέτησης (βραχίονας τοποθέτησης).



Εικόνα 2.21: Τοποθέτηση αγκυρίων τριβής swellex

Αφού πρώτα το άκρο της συσκευής τοποθέτησης εφαρμοστεί με πίεση στην κεφαλή (βαλβίδα) των αγκυρίων swellex, αυτό εισέρχεται εντός της οπής. Κατόπιν ενεργοποιείται η συσκευή με τον μοχλό και το αγκύριο διογκώνεται εντός της οπής με το εισπνεζόμενο νερό μέγιστης πίεσεως 300 bar.

### **2.12 Τρόποι εδράσεως αγκυρώσεων**

- **Επίπεδο εξάγωνο περικόχλιο**

Η κεφαλή του αγκυρίου αποτελείται από επίπεδο (απλό) περικόχλιο που εδράζει στη πλάκα αγκύρωσης. Η διάταξη αυτή δεν επιτρέπει την πλήρη έδραση μεταξύ πλάκας και περικοχλίου όταν η εξωτερική επιφάνεια του πετρώματος είναι κεκλιμένη σε σχέση με το διάτρημα.

Ενδεικνυται μόνο στις περιπτώσεις στις οποίες το διάτρημα είναι κάθετο στην εξωτερική επιφάνεια.



Εικόνα 2.22: Επίπεδο εξάγωνο περικόχλιο

- **Εξάγωνο περικόχλιο με ημισφαιρική διαμόρφωση**

Η κεφαλή του αγκυρίου αποτελείται από εξάγωνο περικόχλιο με ημισφαιρική διαμόρφωση της μιας πλευράς που εδράζει στη πλάκα αγκύρωσης. Η διάταξη αυτή επιτρέπει την πλήρη έδραση μεταξύ πλάκας και περικοχλίου όταν η εξωτερική επιφάνεια του πετρώματος έχει μικρή κλίση σε σχέση με το διάτρημα. Δεν ενδεικνυται στις περιπτώσεις όπου η κλίση των διατρημάτων σε σχέση με την εξωτερική επιφάνεια είναι μεγάλη.



Εικόνα 2.23: Εξαγωνικό περικόχλιο με ημισφαιρική διαμόρφωση

- **Επίπεδο εξάγωνο περικόχλιο και ημισφαιρική έδρα**

Η κεφαλή του αγκυρίου αποτελείται από επίπεδο (απλό) περικόχλιο και παρεμβολή ημισφαιρικής έδρας που εδράζει στη πλάκα αγκύρωσης.

Η διάταξη αυτή επιτρέπει την πλήρη έδραση μεταξύ πλάκας και περικοχλίου ακόμα και όταν η εξωτερική επιφάνεια του πετρώματος έχει μεγάλη κλίση σε σχέση με το διάτρημα. Συνιστάται για όλους τους τύπους αγκυρώσεων και ειδικά στις προεντεταμένες αγκυρώσεις (σημειακής πάκτωσης, μηχανικής αγκύρωσης κλπ.).



Εικόνα 2.24: Επίπεδο εξαγωνικό περικόχλιο και ημισφαιρική έδρα

- **Εξάγωνο περικόχλιο με ενσωματωμένη ημισφαιρική έδρα**

Η κεφαλή του αγκυρίου αποτελείται από εξάγωνο περικόχλιο με ενσωματωμένη ημισφαιρική έδρα που εδράζει στη πλάκα αγκύρωσης. Η διάταξη αυτή επιτρέπει την πλήρη έδραση μεταξύ πλάκας και περικοχλίου ακόμα και όταν η εξωτερική επιφάνεια του πετρώματος έχει μεγάλη κλίση σε σχέση με το διάτρημα. Συνιστάται για όλους τους τύπους αγκυρώσεων και ειδικά στις προεντεταμένες αγκυρώσεις (σημειακής πάκτωσης, μηχανικής αγκύρωσης κλπ.). Διατίθενται περικόχλια με ενσωματωμένη ημισφαιρική έδρα που διαθέτουν ειδικές ραβδώσεις στη κυρτή επιφάνεια της ημισφαιρικής πλευράς που συμβάλλουν στο περιορισμό της χαλάρωσης της τάνυσης στην περίπτωση αγκυρώσεων που υπόκεινται σε δονήσεις (π.χ. εκρήξεις σε μεταλλεία και σήραγγες κλπ.).



Εικόνα 2.25: Εξάγωνο περικόχλιο με ενσωματωμένη ημισφαιρική έδρα

Ένα σημαντικό μειονέκτημα των κοχλιών μηχανικής αγκύρωσης σε σχέση με κοχλίες ρητίνης είναι ότι στους πρώτους, η τάσεις συγκεντρώνονται σε δύο μόνο σημεία. Η συγκέντρωση αυτή μπορεί να θραύσει τοπικά το πέτρωμα, τάση του κοχλία να χαθεί και αυτός να αχρηστευθεί. Πρέπει πάντως να σημειωθεί πως έχουν κατασκευασθεί κοχλίες σημειακής αγκύρωσης με φέρουσα ικανότητα πολύ μεγαλύτερη από αυτή των κοχλιών ρητίνης (πάνω από 50 tn).

### **2.13 Εξοπλισμός κοχλίωσης της οροφής**

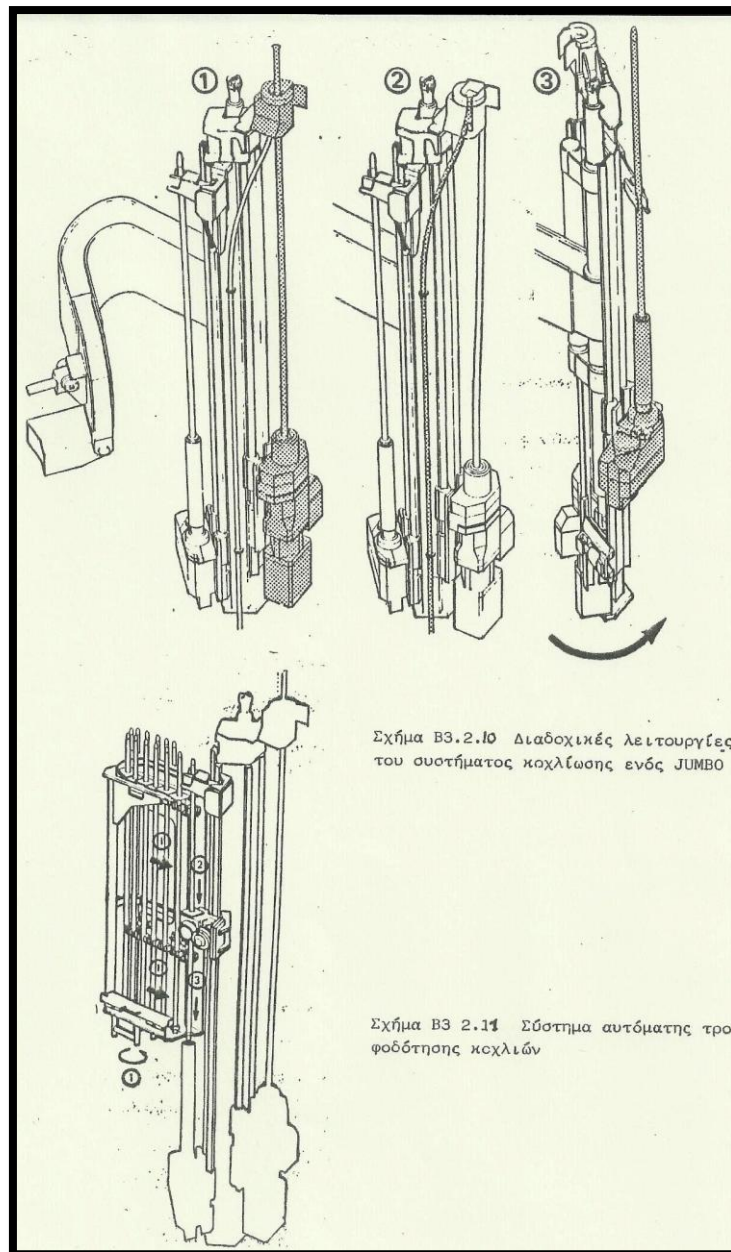
Κάθε διατρητικό μηχάνημα μπορεί καταρχήν να χρησιμοποιηθεί για την όρυξη διατρημάτων για την τοποθέτηση κοχλιών οροφής. Έτσι στην αρχή χρησιμοποιήθηκαν κοινές αερόσφυρες. Αυτές είχαν το μειονέκτημα ότι επιβάλλουν την παραμονή του χειριστή κάτω από τη μη κοχλιωμένη οροφή για όσο χρόνο διαρκεί η διάτρηση.



Εικόνα 2.26: Μηχάνημα διάτρησης υπογείων-Jumbo

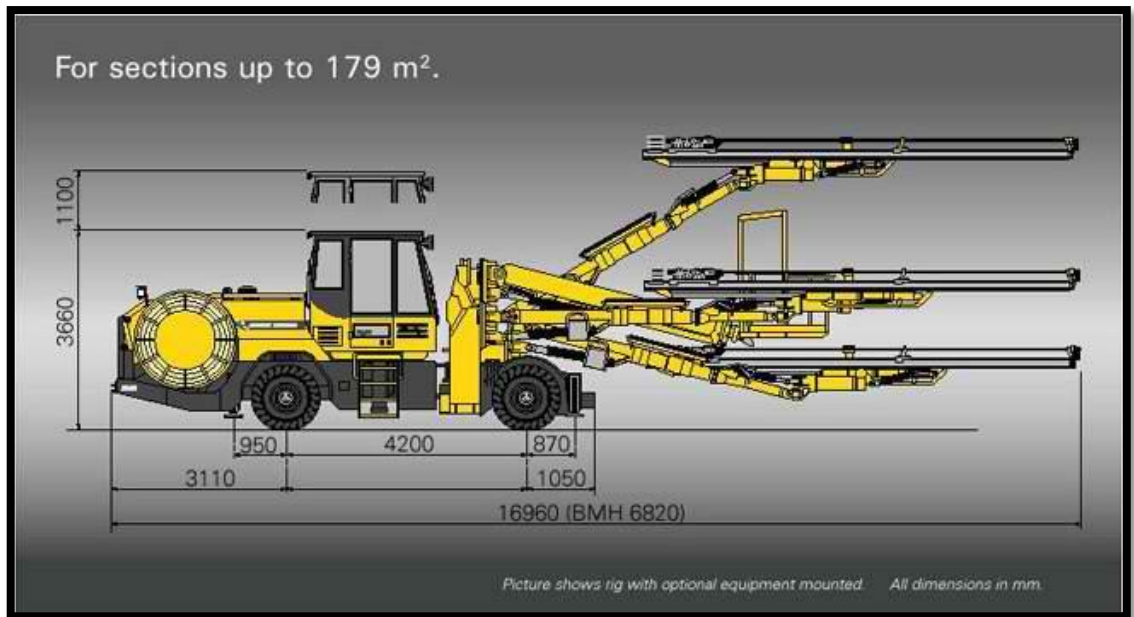
Σημαντική βελτίωση τόσο από πλευράς ασφαλείας όσο και από πλευράς αποδόσεως προσφέρει η χρήση αεροκίνητου διατρητικού φορείου Alimak BT21 εφοδιασμένου με αερόσφουρα COP 89 της Atlas Copco.

Αυτό έχει το πλεονέκτημα ότι διαθέτει χειριστήρια που επιτρέπουν το χειρισμό από κάποια απόσταση και ακόμη ότι η παραμονή του χειριστή δίπλα στο μηχάνημα είναι απαραίτητη μόνο στο ξεκίνημα και στο τέλος του διατρήματος. Μειονέκτημα είναι ότι λόγω της ισχυρής κρούσης της σφύρας προκαλείται διατάραξη της οροφής.



Εικόνα 2.27: Σύστημα κοχλίωσης μηχανήματος Jumbo (Δελφοί-Δίοτομον, 2001).

Την καλύτερη μέχρι στιγμής λύση για την κοχλίωση της οροφής δίνει η χρησιμοποίηση ειδικού Jumbo κοχλίωσης. Αυτά που χρησιμοποιούνται είναι της εταιρείας Secoma με φορείο τύπου Pec 22, εφοδιασμένα με ειδική διάταξη που επιτρέπει όχι μόνο την όρυξη διατρήματος αλλά και την εισαγωγή φυσιγγίων ρητίνης, εισαγωγή κοχλία και μάλαξη. Με άλλα λόγια μηχανοποιούν πλήρως τη φάση της κοχλίωσης.



Εικόνα 2.28: Μηχάνημα διάτρησης υπογείων – Jumbo και διαστασιολόγησή του.

Άλλο σημαντικό πλεονέκτημα που προσφέρει το Jumbo κοχλίωσης είναι ότι επιτρέπει στο χειριστή του να μένει πάντοτε πίσω από τη μη κοχλιωμένη ζώνη (σε απόσταση 3-6,7 m), καθώς η αυτοποιημένη λειτουργία του δεν απαιτεί καμία εργασία μέσα σε αυτή.

Τα Jumbo κοχλιώσεως έχουν στην άκρη του βραχίονά τους ειδικό πυργίσκο (tourelle) τύπου TUI 2 HDI, που φέρει μία υδραυλική περιστροφική σφύρα τύπου RHR 40 για τη διάτρηση διατρημάτων διαμέτρου 22-27 mm. Πλεονεκτήματα της περιστροφικής διάτρησης είναι ότι επιφέρει την ελάχιστη δυνατή διαταραχή στην οροφή.

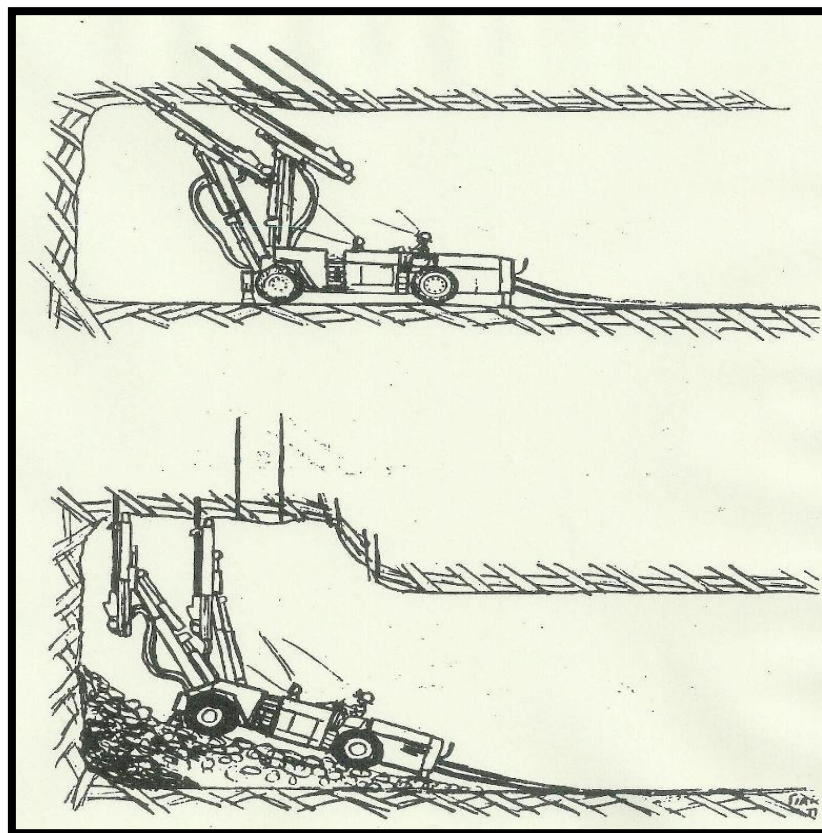
Μειονέκτημα είναι η αδυναμία διάτρησης του βωξίτη (μπορεί πάντως να τοποθετηθεί εναλλακτικά η κρουστοπεριστροφική σφύρα Hydrastar 200). Μια δεύτερη περιστροφική σφύρα RHR 40 διαμορφωμένη κατάλληλα εκτελεί την εισαγωγή του κοχλία στο διάτρημα καθώς και την περιστροφή του.





Εικόνα 2.29: Κρουστοπεριστροφική υδραυλική σφύρα Hydrastar 200.

Υπάρχει ακόμα σύστημα αυτόματης εκτόξευσης των φυσιγγίων ρητίνης με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα. Η τροφοδότηση των κοχλιών γίνεται μέσω ειδικής θήκης – τροφοδότη που μπορεί να δεχθεί μέχρι και 13 κοχλίες.



Εικόνα 2.30: Όρυξη κεκλιμένων και κατακόρυφων διατρημάτων οροφής με Jumbo (Δελφοί-Δίοτομον, 2001).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### Υπόγεια εκμετάλλευση του βωξιτικού κοιτάσματος «Σίλας 3»

---

#### **3.1 Γενικά χαρακτηριστικά περιοχής εκμετάλλευσης**

##### **3.1.1 Γεωγραφική θέση, έκταση, διοικητική υπαγωγή**

Οι χώροι που θα γίνουν οι επεμβάσεις βρίσκονται γύρω στο 1 χιλιόμετρο ανατολικά της Βίνιανης, ανάμεσα στα όρη Γκιώνα και Παρνασσός. Η συνολική έκταση των χώρων επέμβασης είναι 11.050 τετραγωνικά μέτρα, όμως θα χρησιμοποιηθεί μικρότερος χώρος. Η περιοχή και πιο συγκεκριμένα ο χώρος ΙΙ, που είναι και ο μεγαλύτερος, βρίσκεται μέσα σε μια φυσική χοάνη, ανατολικά και δυτικά από τη οποία υπάρχουν ρέματα, τα οποία καταλήγουν στο ρέμα Σουλουμιώτη. Μέσα στους χώρους επιφανειακής επέμβασης δεν υπάρχουν ρέματα. Η περιοχή διοικητικά ανήκει στο Δήμο Άμφισσας, στην πρώην κοινότητα Βίνιανης (Νέου Προσηλίου) και δασικά στο Δασαρχείο Άμφισσας και στη Διεύθυνση Δασών Φωκίδας.

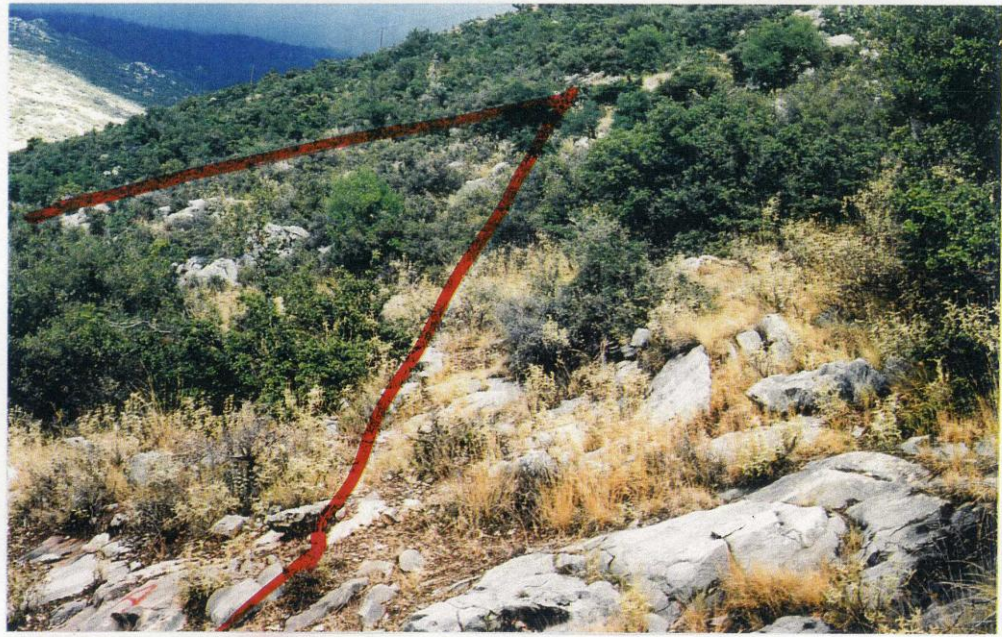
##### **3.1.2 Υφισταμένη μορφή χρήσης, χαρακτηρισμός έκτασης, ιδιοκτησιακό καθεστώς.**

Ο χώρος όπου θα γίνει η επέμβαση αποτελεί τμήμα της ευρύτερης βωξιτοφόρου περιοχής μεταξύ των ορεινών συγκροτημάτων Παρνασσού και Γκιώνας. Στη γύρω περιοχή η κύρια χρήση γης που γίνεται είναι η

μεταλλευτική με ανεπτυγμένες επιφανειακές και υπόγειες εκμεταλλεύσεις. Η φύση του εδάφους και το ανάγλυφο δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη της γεωργίας σε σημαντική έκταση.

Η κτηνοτροφία είναι αρκετά ανεπτυγμένη σε όλη την γύρω περιοχή, η μεγάλη όμως υπερβόσκηση έχει φέρει καταστρεπτικά για την βλάστηση αποτελέσματα. Όμως ελάχιστος έως μηδενικός είναι ο επηρεασμός της κτηνοτροφίας από την μεταλλευτική δραστηριότητα. Ο δασικός χαρακτήρας που έχει όλη η περιοχή δε συνοδεύεται και από την αντίστοιχη εκμετάλλευση αφού πρόκειται απλώς για δασική έκταση που καλύπτεται από αείφυλλα πλατύφυλλα σε αραιή κατανομή. Ιδιοκτησιακά η έκταση είναι δημόσια και θα ζητηθεί έγκριση επέμβασης σύμφωνα με τη δασική νομοθεσία.

Σύμφωνα με το νόμο 998/79, οι χώροι I και II (Εικόνες 3.1, 3.2) χαρακτηρίζονται σαν δασικές εκτάσεις με αείφυλλα-πλατύφυλλα. Οι χώροι σύμφωνα με το άρθρο 4 του ίδιου νόμου, από άποψη ωφελιμότητας και λειτουργιών που εξυπηρετούν υπάγονται στην κατηγορία ε της παραγράφου 1, ενώ από άποψης θέσης σε σχέση με τους χώρους ανθρώπινης δραστηριότητας και εγκατάστασης, δεν ανήκουν σε καμιά κατηγορία της παραγράφου 2 του ίδιου άρθρου (Δελφοί-Δίστομον, 2001).

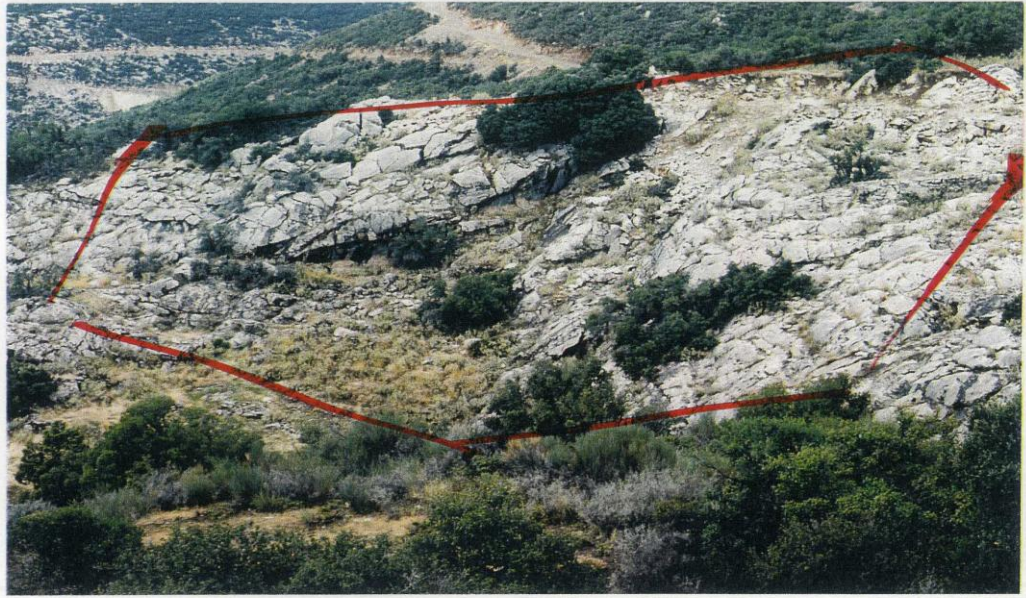


Φωτ.3. Η θέση της κεντρικής στοάς 548.



Φωτ.4. Η βλάστηση στην περιοχή της κεντρικής στοάς 548.

Εικόνα 3.1: Απεικόνιση του χώρου επέμβασης Ι.



Φωτ.1. Η θέση της στοάς αερισμού 589 και η θέση όπου θα αποτεθούν τα στείρα.



Φωτ.2. Η βλάστηση που υπάρχει κοντά στο χώρο της στοάς 589.

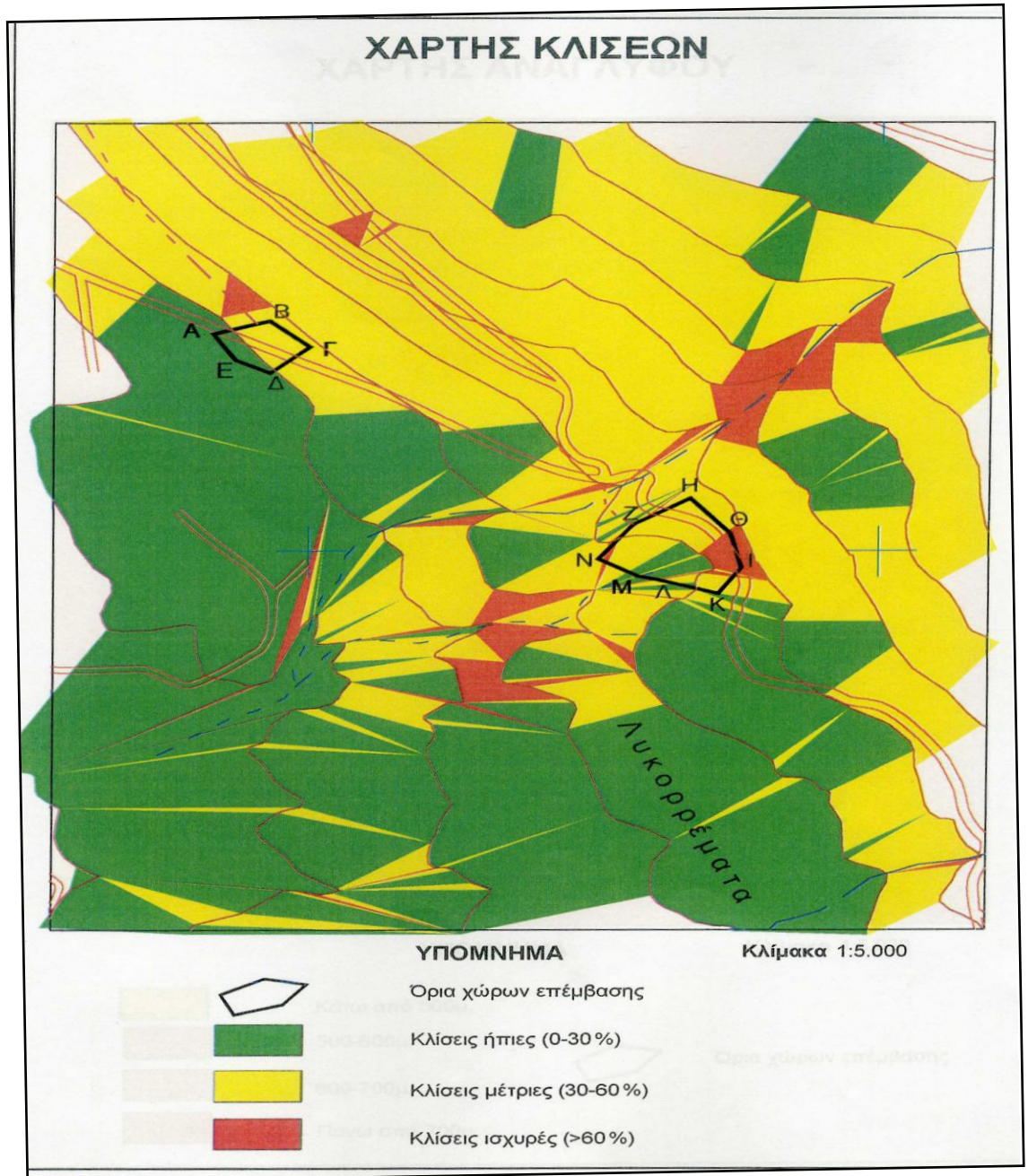
Εικόνα 3.2: Απεικόνιση του χώρου επέμβασης II.

### 3.2 Περιγραφή του χώρου επέμβασης

Στη θέση «Λυκορέματα» της πρώην κοινότητας Νέου Προσηλίου και νύν δήμου Άμφισσας που βρίσκεται στο δυτικό άκρο του ορεινού όγκου του Παρνασσού, η εταιρία έχει πλήρη μεταλλευτικά δικαιώματα στην Οριστική Παραχώρηση (ΟΠ) 241 του νομού Φωκίδας. Σε τμήμα αυτής της παραχώρησης έχει εντοπισθεί υπόγειο κοιτάσμα βωξίτη με την ονομασία «Σίλας 3».

Μετά από έρευνα που έκανε η εταιρία στην περιοχή αυτή, αποφάσισε να εντάξει στον προγραμματισμό της την εκμετάλλευση αυτού του κοιτάσματος. Η απόληψή του θα γίνει με υπόγεια έργα, που θα περιλάβουν 2 πολύ μικρούς χώρους επιφανειακής επέμβασης (χώροι I και II) από όπου θα ξεκινούν αντίστοιχες στοές, στα υψόμετρα 548μ. και 589μ.

Ο χώρος επιφανειακής επέμβασης I, ο οποίος βρίσκεται δίπλα σε μεταλλευτικό-δασικό δρόμο, θα καταλάβει έκταση συνολικά 2,85 στρεμμάτων και θα χρησιμοποιηθεί ως κεντρική στοά εκμετάλλευσης. Επιπλέον ο χώρος θα χρησιμεύει και σαν πλατεία της στοάς 548, κατά την διάνοιξη της οποίας θα παραχθούν 5.000 κμ. στείρα υλικά. Ο χώρος II, που θα βρίσκεται δίπλα στον ίδιο μεταλλευτικό-δασικό δρόμο, έχει έκταση 8,20 στρέμματα και θα χρησιμοποιηθεί ως στοά αερισμού. Για τη δημιουργία πλατείας, μπροστά από την στοά 589 δε θα γίνουν εκσκαφές, διότι στη θέση αυτή υπάρχει φυσικό πρανές με πολύ μικρές κλίσεις όπως φαίνεται στην εικόνα 3.3 (Δελφοί-Δίστομον, 2001).



Εικόνα 3.3 : Απεικόνιση των χώρων επέμβασης.

Οι συντεταγμένες των κορυφών που ορίζουν τους δύο χώρους, εξαρτημένες από το Εθνικό Τριγωνομετρικό δίκτυο ΚΦΧ Λαμία 1:100.000  $\lambda = -1^{\circ} 15'$   $\varphi = -38^{\circ} 45'$  παρουσιάζονται στους πίνακες (Δελφοί-Δίστομον, 2001).

Πίνακες 3.1-3.2: Συντεταγμένες χώρων επέμβασης (Δελφοί-Δίστομον, 2001).

ΧΩΡΟΣ I		Εμβαδόν=2,85 στρ.	
Σημείο	Χ	Ψ	
<b>A</b>	-8585	-16750	
<b>B</b>	-8535	-16735	
<b>Γ</b>	-8500	-16765	
<b>Δ</b>	-8535	-16795	
<b>E</b>	-8565	-16780	

ΧΩΡΟΣ II		Εμβαδόν=8,20 στρ.	
Σημείο	Χ	Ψ	
<b>Z</b>	-8215	-16970	
<b>H</b>	-8165	-16940	
<b>Θ</b>	-8130	-16980	
<b>I</b>	-8120	-17020	
<b>K</b>	-8140	-17050	
<b>Λ</b>	-8190	-17035	
<b>M</b>	-8210	-17030	
<b>N</b>	-8245	-17010	

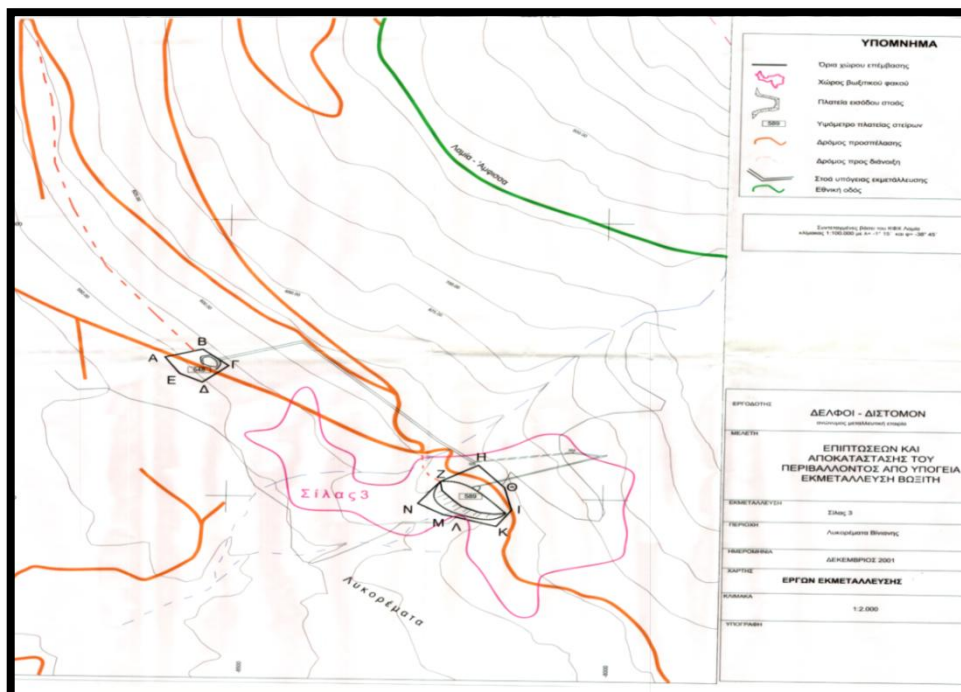


## 3.2 Ανάλυση και επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων

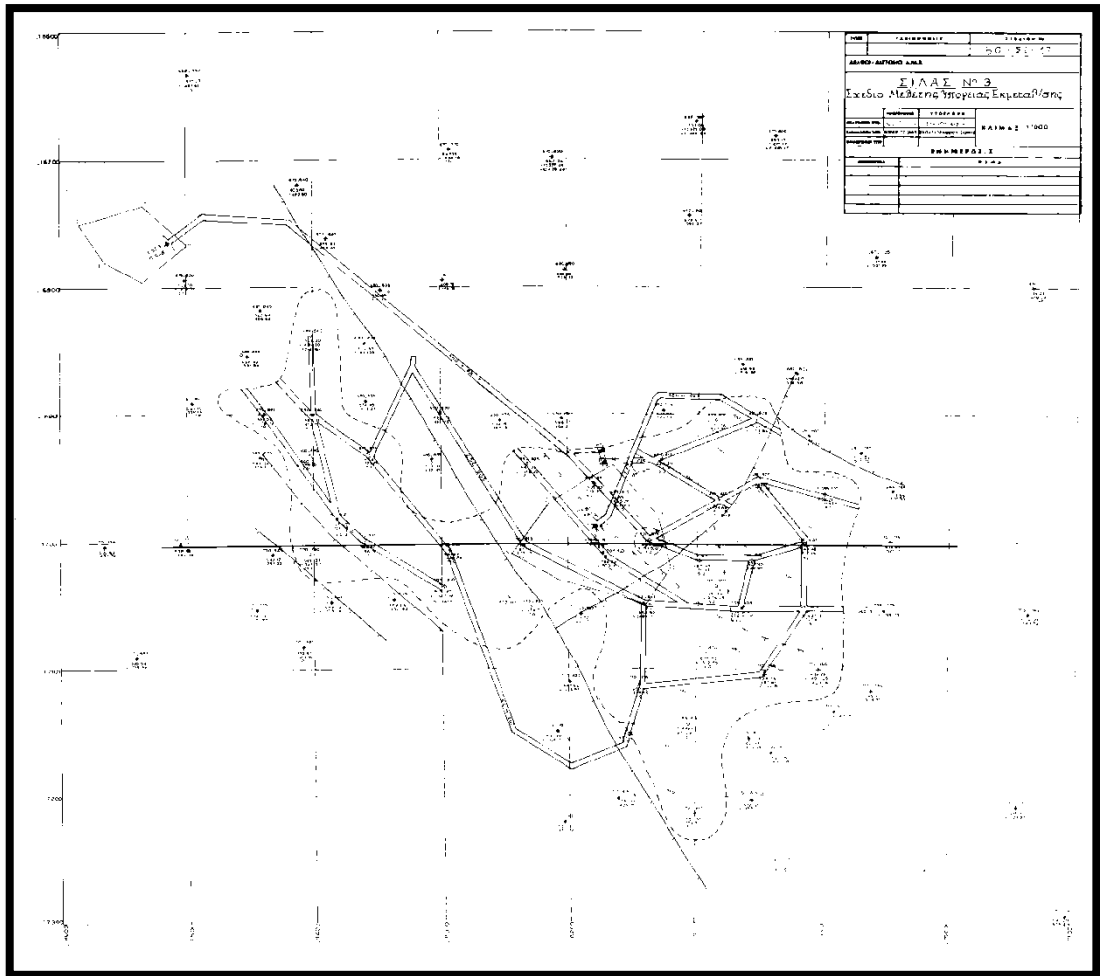
### 3.2.1 Ψηφιοποίηση πρωτογενών δεδομένων στο CAD Overlay 2000.

Η ψηφιοποίηση των αρχικών δεδομένων ήταν μία διαδικασία με ιδιαίτερη σημασία για την επεξεργασία και εν τέλει την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας. Τα στοιχεία που δόθηκαν από την Δελφοί-Δίοτομον ΑΜΕ και αφορούσαν το κοιτάσμα «Σίλας», ήταν σε χειρόγραφη μορφή και μέσω της ψηφιοποίησής τους μετατράπηκαν σε ψηφιακά. Στη συνέχεια έγινε η επεξεργασία με τέσσερα ειδικά προγράμματα, το CAD Overlay 2000, το AutoCAD 2007 και το Surpac μέσω των οποίων έγιναν ορισμένοι απαραίτητοι υπολογισμοί.

Ως αρχικό στάδιο της επεξεργασίας των στοιχείων, έγινε η σάρωση των χαρτών (σχέδιο μελέτης έργων εκμετάλλευσης, έργων εκμετάλλευσης,) του κοιτάσματος. Στις εικόνες 3.4 και 3.5 απεικονίζονται οι πρωτογενείς χάρτες .



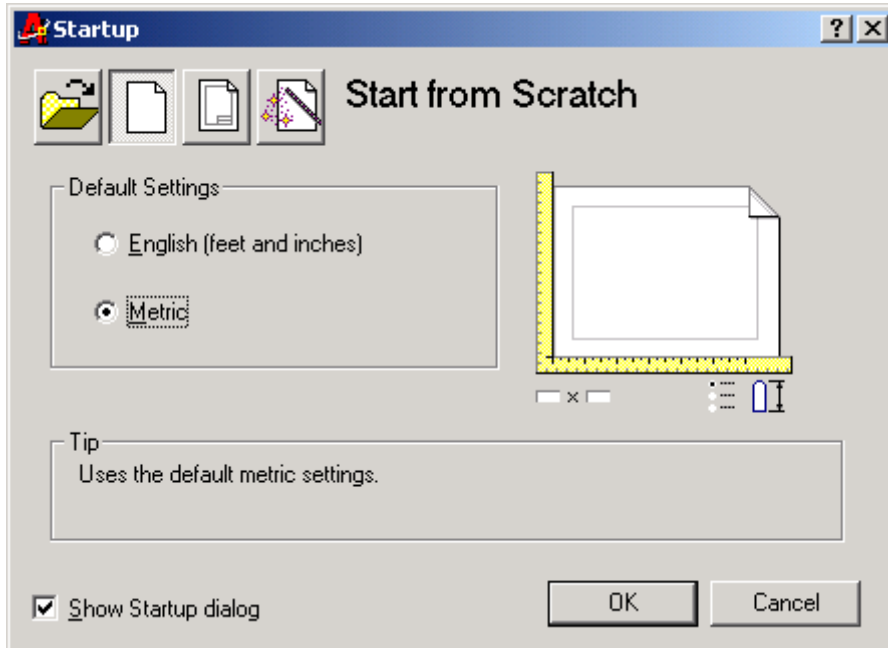
Εικόνα 3.4: Χάρτης έργων εκμετάλλευσης (Δελφοί-Δίοτομον, 2001).



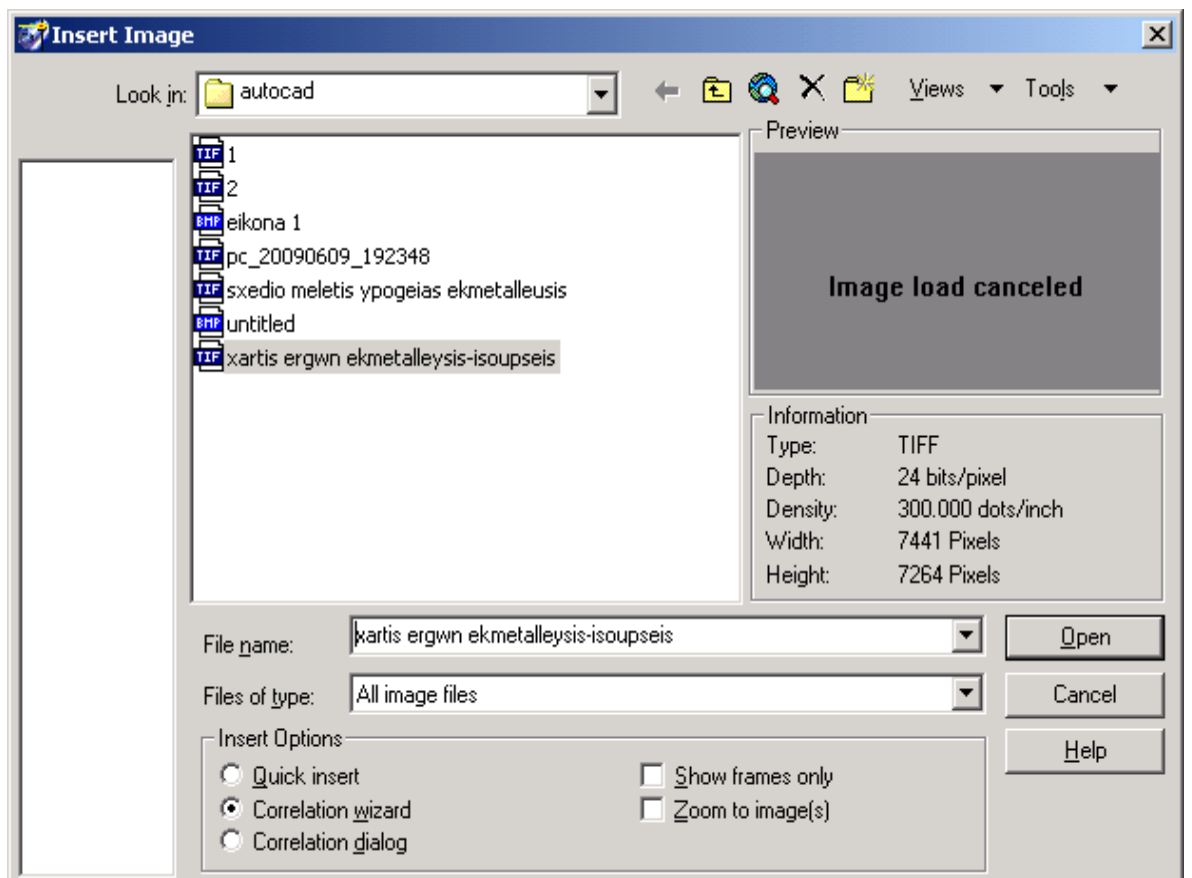
Εικόνα 3.5: Σχέδιο μελέτης υπόγειας εκμετάλλευσης (Δελφοί-Δίοστομον, 2001).

Αμέσως μετά τη σάρωση των χαρτών, ακολούθησε η εισαγωγή τους στο πρόγραμμα CAD Overlay 2000 ώστε να ψηφιοποιηθούν όλα τα δεδομένα τους. Απαραίτητα προϋπόθεση ήταν να ενταχθούν στο συγκεκριμένο πρόγραμμα στη σωστή κλίμακα. Αυτό μπόρεσε να επιτευχθεί μέσω κάποιων ρυθμίσεων που έγιναν κατά την εισαγωγή των χαρτών στο CAD Overlay 2000. Συγκεκριμένα η διαδικασία ήταν:

- New File (metric system)
- Image → Insert → Open → Επιλογή εικόνας (εικόνες 3.6 και 3.7)

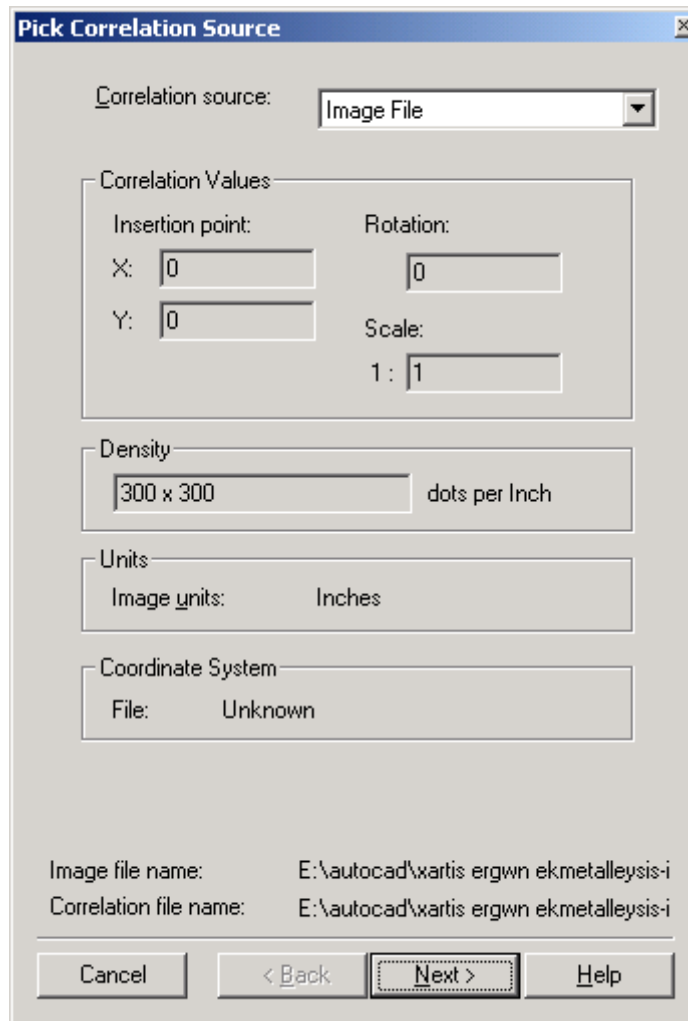


Εικόνα 3.6: Άνοιγμα αρχείου σε μετρικό σύστημα.

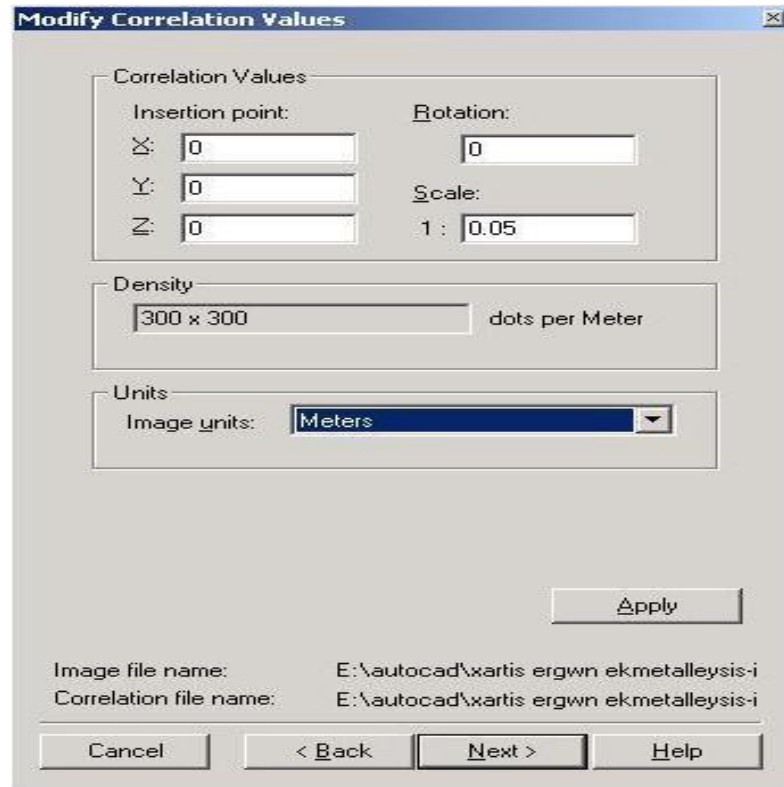


Εικόνα 3.7: Επιλογή και εισαγωγή αρχείου στο CAD Overlay 2000.

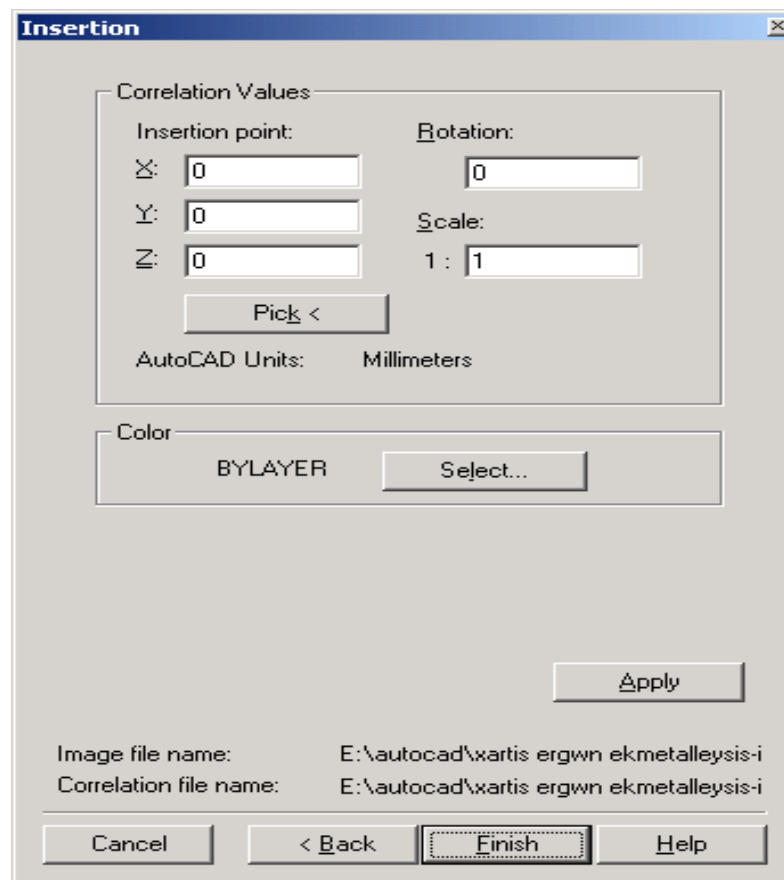
Κατά την εισαγωγή των χαρτών στο CAD Overlay έγιναν μετατροπές στην κλίμακα ώστε να ταυτιστεί η κλίμακα των ηλεκτρονικών αρχείων με την κλίμακα των χαρτών (εικόνα 3.8). Η κλίμακα των χαρτών ήταν 1:1000 και για να ταυτιστεί η κλίμακα των αρχείων, τα οποία είχαν σαρωθεί με ανάλυση 300x300 dpi στο πραγματικό του μέγεθος, μετατράπηκε σε 1:0,05 στο CAD (εικόνες 4.9 και 4.10).



Εικόνα 3.8: Εισαγωγή εικόνας στο CAD Overlay.



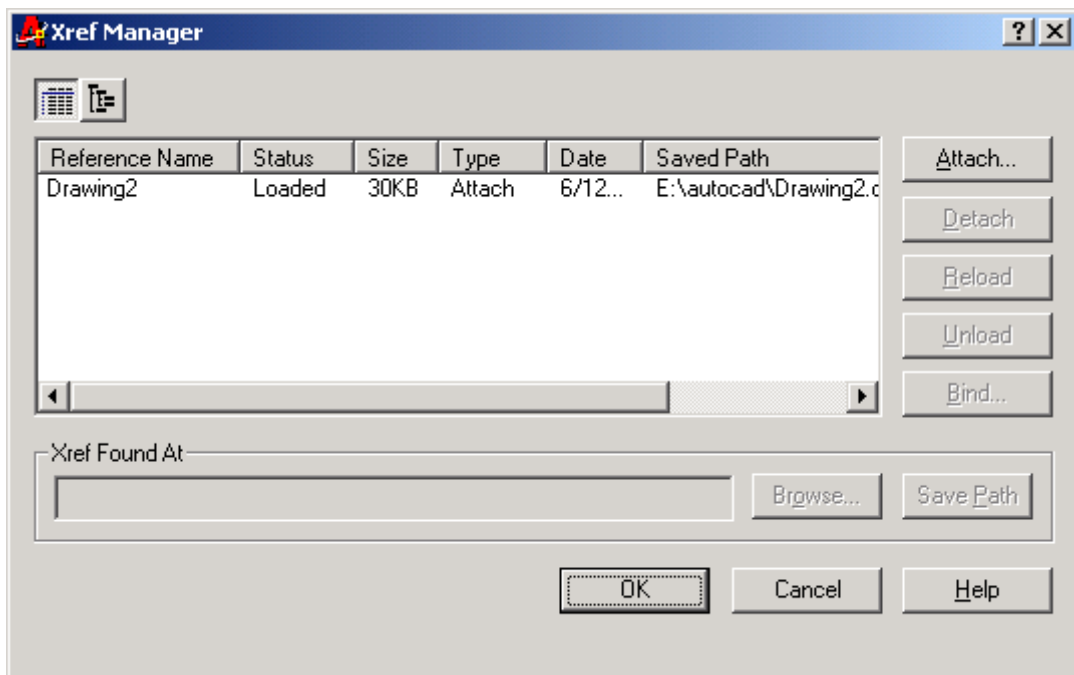
Εικόνα 3.9: Διαδικασία αλλαγής της κλίμακας στο CAD Overlay.



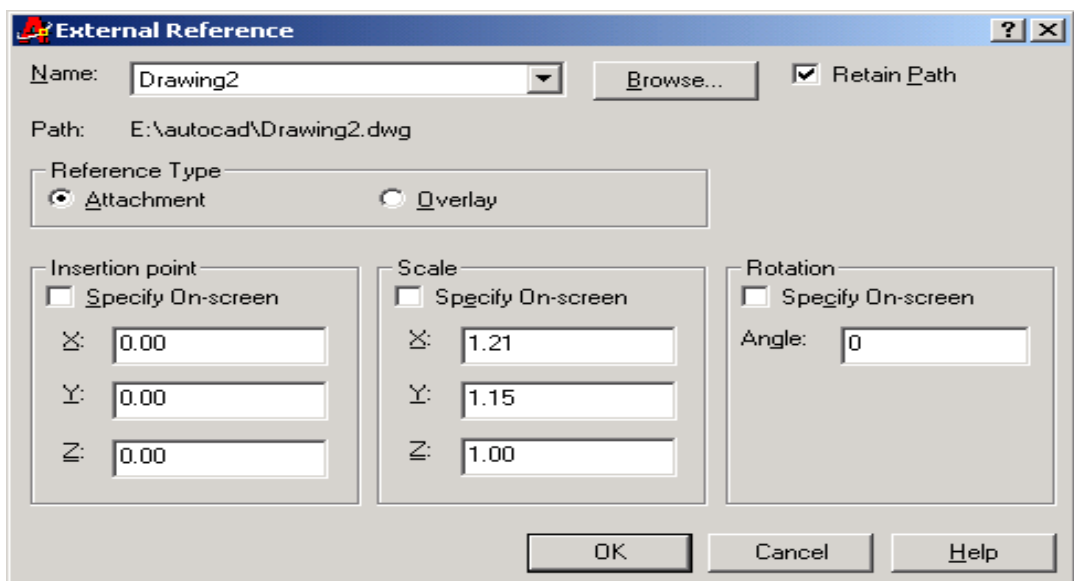
Εικόνα 3.10: Ολοκλήρωση της αλλαγής κλίμακας στο CAD Overlay.

Αμέσως μετά τις ρυθμίσεις κλίμακας στο βήμα επιλεγόμενης επιπλέον ρύθμισης κλίμακας, εισήχθησαν οι τιμές  $x: 1,21$  και  $y: 1,15$  στα αντίστοιχα πεδία του xref manager. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής:

- Εισαγωγή στο command line της εντολής xref.
- Επιλογή της εντολής attach και κατόπιν του σχεδίου.
- Εισαγωγή των τιμών  $x,y$  (Εικόνες 3.10 και 3.11).



Εικόνα 3.11: Εισαγωγή εντολής xref και attach και επιλογή του αρχείου.



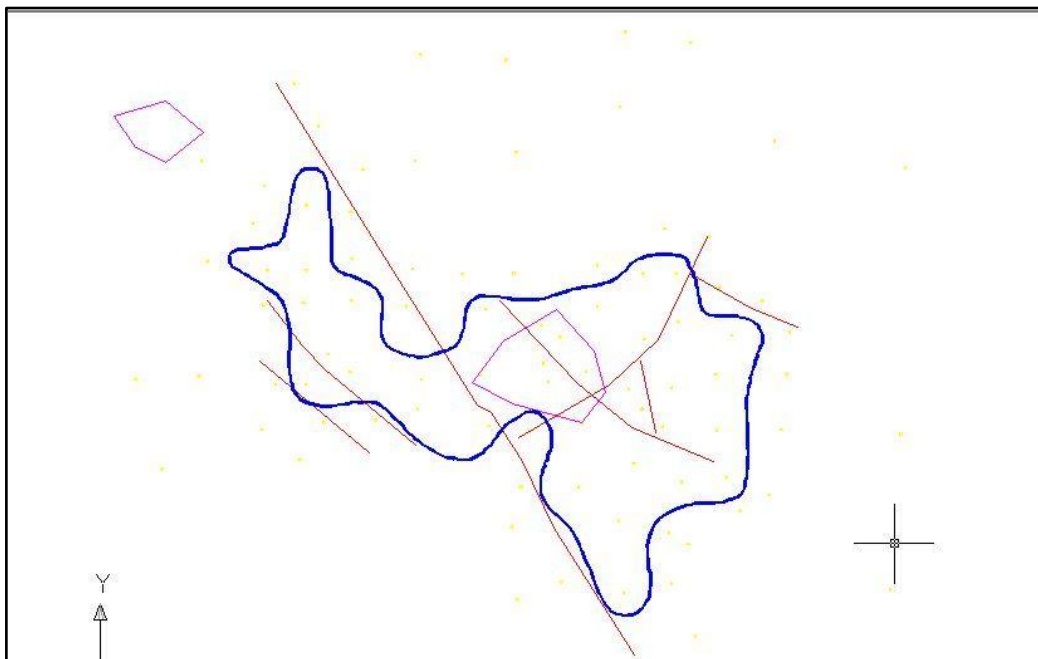
Εικόνα 3.12: Εισαγωγή των τιμών  $x,y$ .

Επόμενο βήμα ήταν να οριστεί η αρχή των αξόνων των σχεδίων, με βάση τις συντεταγμένες των χαρτών που δόθηκαν. Μέσω της εντολής `move` έγινε μετακίνηση των χαρτών στο σημείο (-8500, -17000) το οποίο ήταν και η αρχή των αξόνων που ορίστηκε.

Έχοντας ορίσει πλέον την αρχή των αξόνων και έχοντας μετατρέψει τα αρχεία στην σωστή κλίμακα, έγινε εφικτή και η ψηφιοποίησή τους, μέσω του προγράμματος `CAD Overlay`. Η διαδικασία της ψηφιοποίησης των αρχείων περιλαμβάνει:

- Τη δημιουργία `layer` για τις διάφορες ενότητες του χάρτη (στοές, ισοΰψεις κ.τ.λ.)
- Ψηφιοποίηση κάθε αντικειμένου της ενότητας στο ίδιο `layer`.

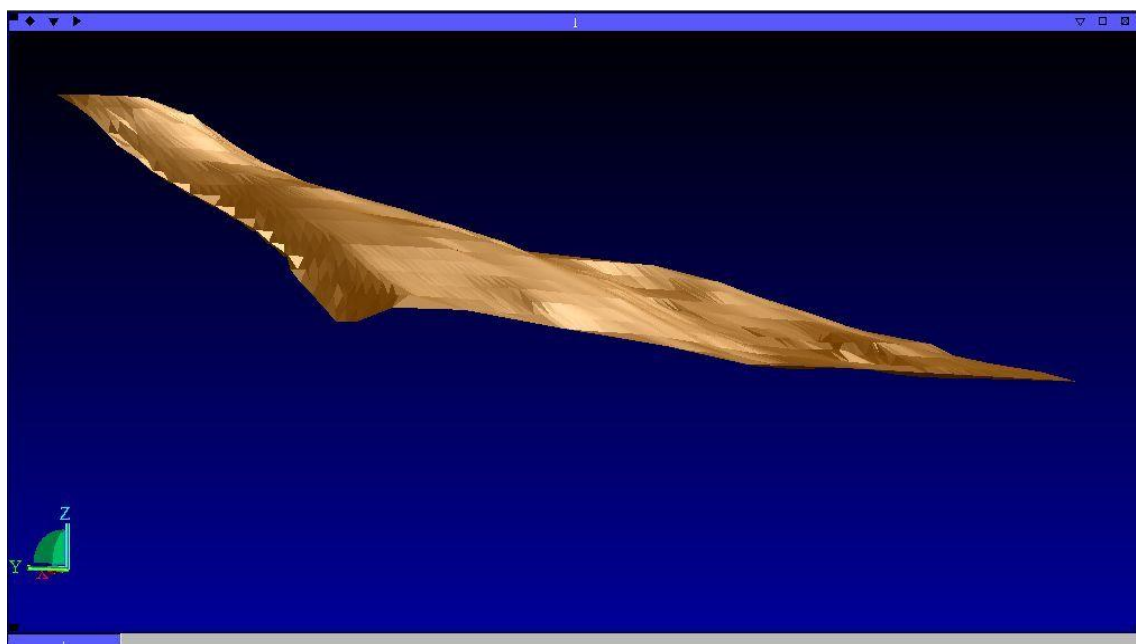
Μετά τη διαδικασία της ψηφιοποίησης, ο ψηφιοποιημένος χάρτης αποθηκεύτηκε σε μορφή `DWG`, που είναι συμβατή με όλα τα προγράμματα τύπου `AutoCAD`. Παράδειγμα ψηφιοποίησης των αρχείων μέσω του προγράμματος `Cad Overlay` παρουσιάζεται στην εικόνα 3.13.



Εικόνα 3.13: Ψηφιοποίηση δεδομένων στο `CAD Overlay 2000`.

### **3.2.2 Αναπαράσταση του κοιτάσματος σε τρεις διαστάσεις με χρήση του προγράμματος Surpac.**

Στη συνέχεια τα δεδομένα εισήχθησαν στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Surpac, ώστε να αναπαρασταθεί τόσο το κοίτασμα όσο και τα έργα προσπέλασης σε τρισδιάστατη μορφή (εικόνες 3.14-3.16) και κατόπιν να σχεδιαστούν και τομές του κοιτάσματος σε διάφορες τετμημένες και τεταγμένες (εικόνες 3.17-3.23), έτσι ώστε να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα για την επιλογή των έργων προσπέλασης.



Εικόνα 3.14: Τρισδιάστατη απεικόνιση του αναγλύφου της περιοχής εμφάνισης του κοιτάσματος «Σίλας 3».

#### **3.2.2.1 Έργα προσπέλασης του κοιτάσματος «Σίλας 3».**

Η μορφολογία της επιφάνειας, η τοποθέτηση των φακών στο χώρο, καθώς και οι ανάγκες για την ασφάλεια των έργων και ο βαθμός μηχανοποίησης, είναι τα βασικά στοιχεία που καθορίζουν το είδος και τη μορφή των προσπελαστικών έργων. Σε όλους τους φακούς ο σχεδιασμός της προσπέλασης είναι επιλεγμένος με τέτοιο τρόπο, που να επιτρέπει την είσοδο φορτηγών αυτοκινήτων μεταφοράς μεταλλεύματος, για φόρτωση στα υπόγεια.

Όλα τα προσπελαστικά έργα των φακών επιλέγεται να ορύσσονται μέσα σε ασβεστόλιθους (είτε οροφής, είτε πατώματος), οι οποίοι δεν



παρουσιάζουν ιδιαίτερα προβλήματα αντοχής. Έτσι με την όρυξη αυτών εκτός κοιτάσματος, αυξάνεται ο δείκτης αποληψιμότητας (αποφεύγονται νησίδες προστασίας μεταλλεύματος), επιτυγχάνεται επιπλέον μεγαλύτερη ασφάλεια έργου και εργαζομένων.

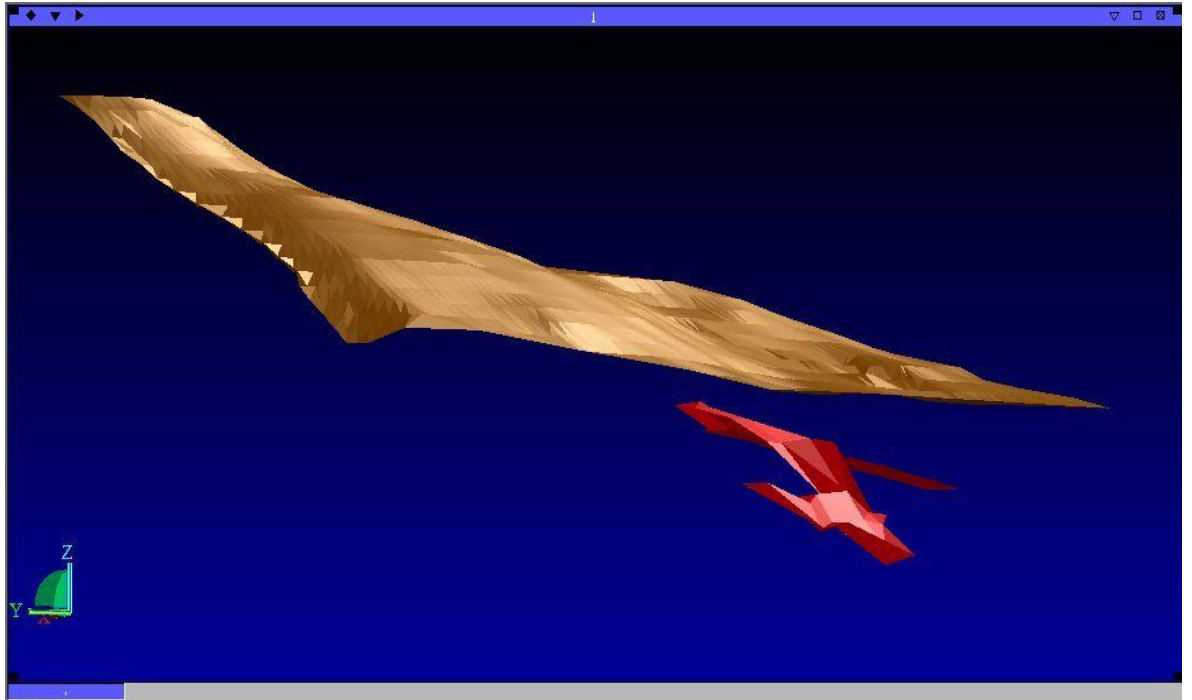
Επί των προσπελαστικών έργων όλων των φακών, τοποθετούνται οι σταθμοί φόρτωσης, τα εγκάρσια ασφαλείας για την κυκλοφορία του προσωπικού, οι αποθήκες εκρηκτικών, καψυλλίων (προσωρινής φύλαξης), τα συνεργεία (όταν υπάρχουν σε υπόγειους χώρους εργασίας), οι αποθήκες καυσίμων, λιπαντικών υλικών, τα γραφεία επίβλεψης και οι κεντρικοί ανεμιστήρες.

Η αξονική απόσταση μεταξύ των κύριων προσπελαστικών έργων καλύπτει τα αναφερόμενα από τον ΚΜΛΕ 20 μέτρα σε όλους τους φακούς και η επικοινωνία των δύο εξόδων διατηρείται (όπου χρειάζεται με στύλους προστασίας), μέχρι το τέλος των έργων.

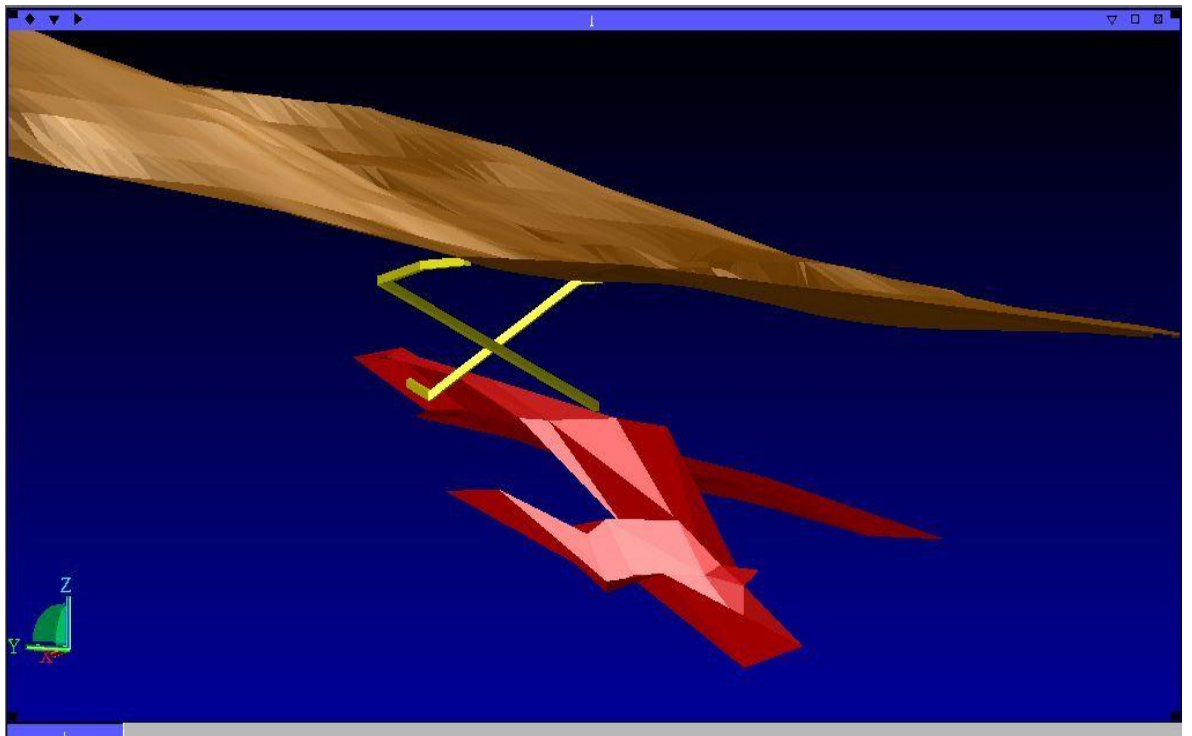
Η προσπέλαση προς το φακό «Σίλας 3» θα γίνει με υπόγεια έργα από δύο στοές προσβολής, που θα ξεκινήσουν από τις πλατείες 548 και 589. Η πρώτη που θα είναι η κύρια στοά, μήκους 400 μέτρων με κλίση 8% κατηφορικά, θα συναντήσει το βωξίτη στο υψόμετρο 520μ.

Η δεύτερη στοά, που θα είναι στοά αερισμού, ξεκινά από την πλατεία 589, έχει μήκος 200μ. και με κλίση 20% κατηφορική, συναντά το βωξίτη στο υψόμετρο 554μ (εικόνες 3.15-3.16).

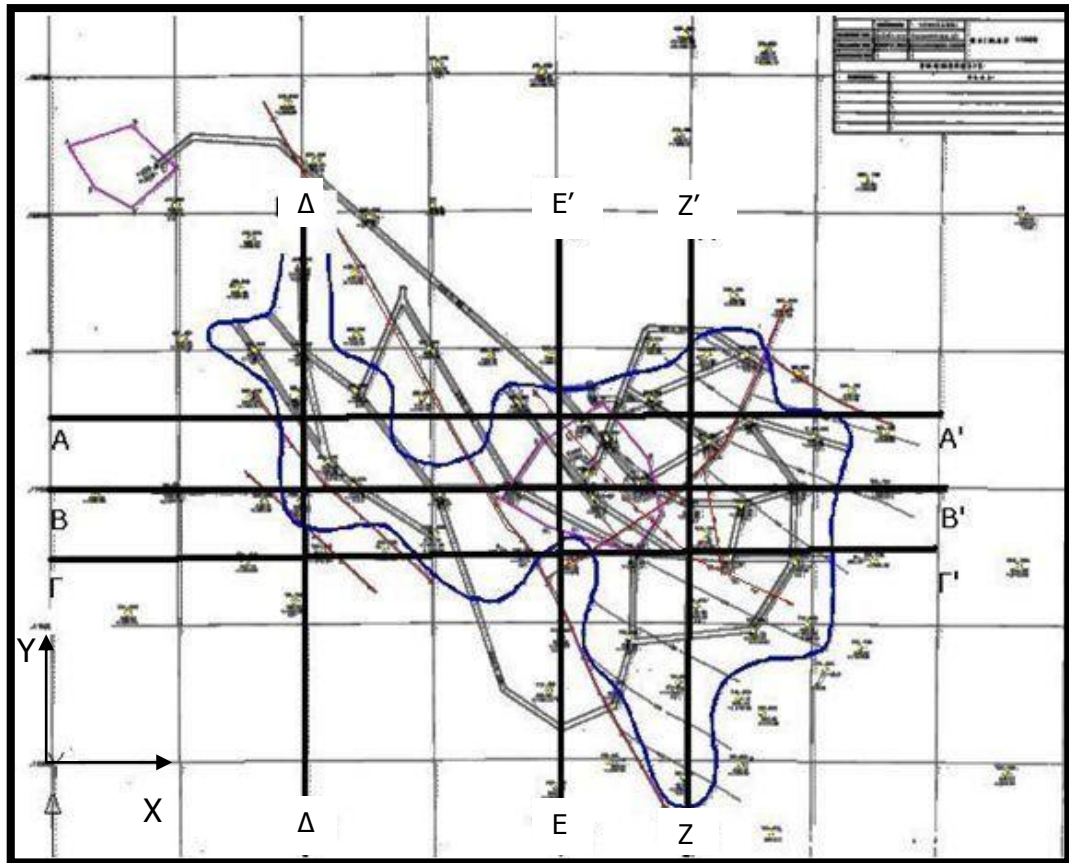
Τα δύο αυτά σημεία (520 και 554) θα ενωθούν μεταξύ τους για να κλείσει το κύκλωμα αερισμού. Επειδή ο φακός έχει ρήγμα μεγάλου άλματος (50μ.) θα χρειαστούν ενωτικά έργα μήκους 600 μέτρων περίπου. Οι διατομές των στοών θα είναι και για τις δύο στοές προσπέλασης 20 τ.μ. (Δελφοί-Δίστομον, 2001).



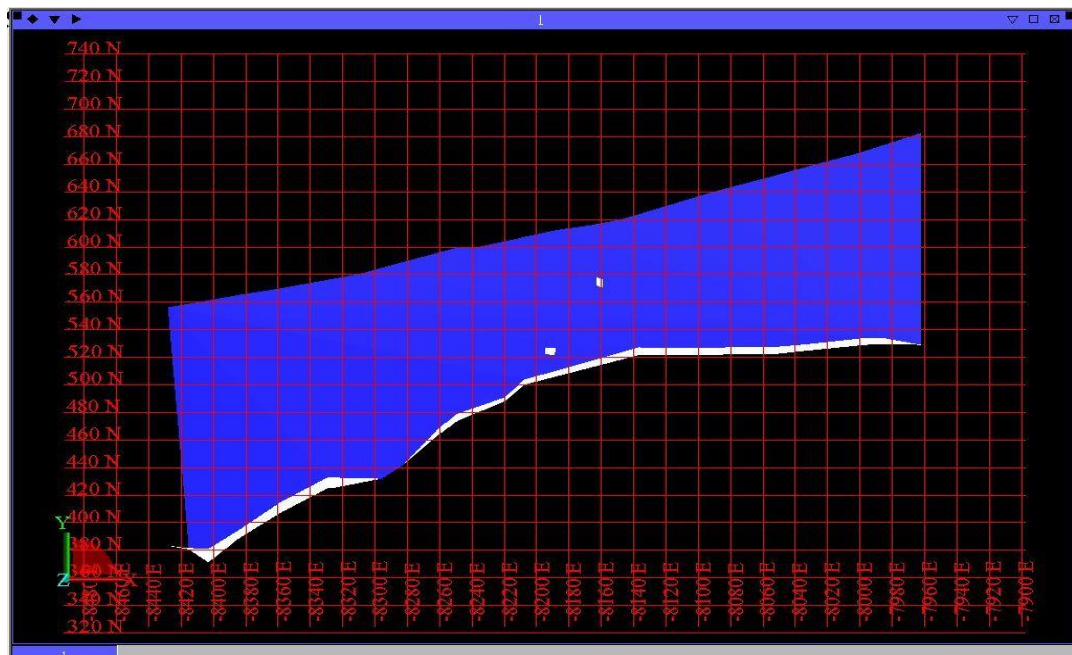
Εικόνα 3.15: Τρισδιάστατη απεικόνιση του αναγλύφου της περιοχής εμφάνισης του κοιτάσματος και του ίδιου του κοιτάσματος.



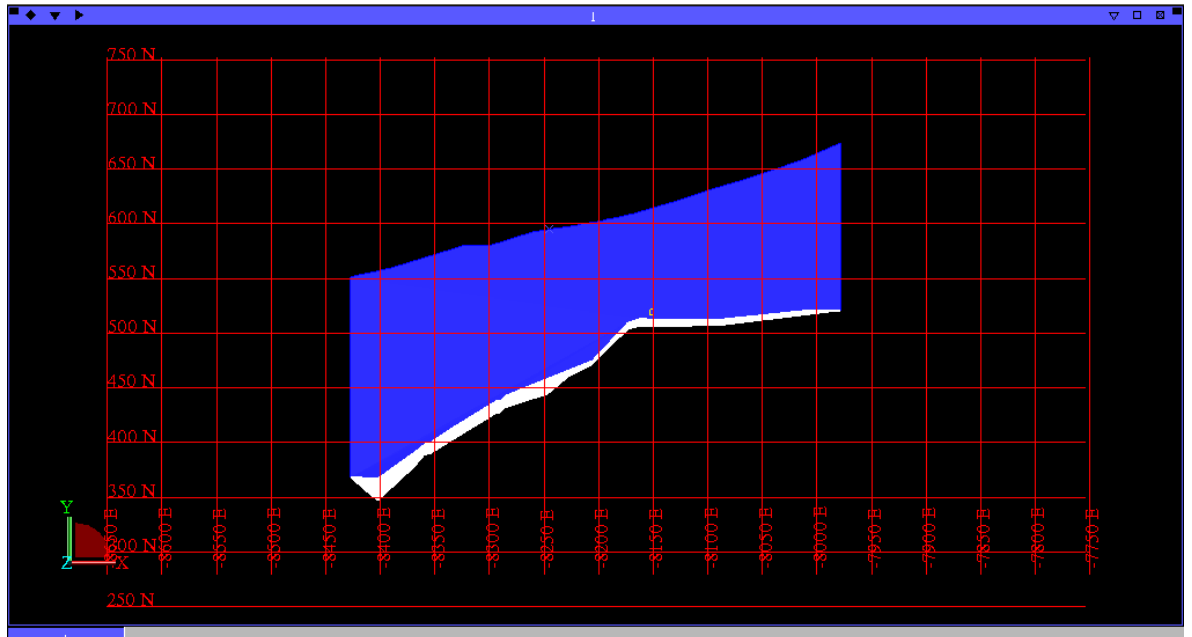
Εικόνα 3.16: Τρισδιάστατη απεικόνιση των κύριων έργων προσπέλασης του βωξιτικού κοιτάσματος «Σίλας 3».



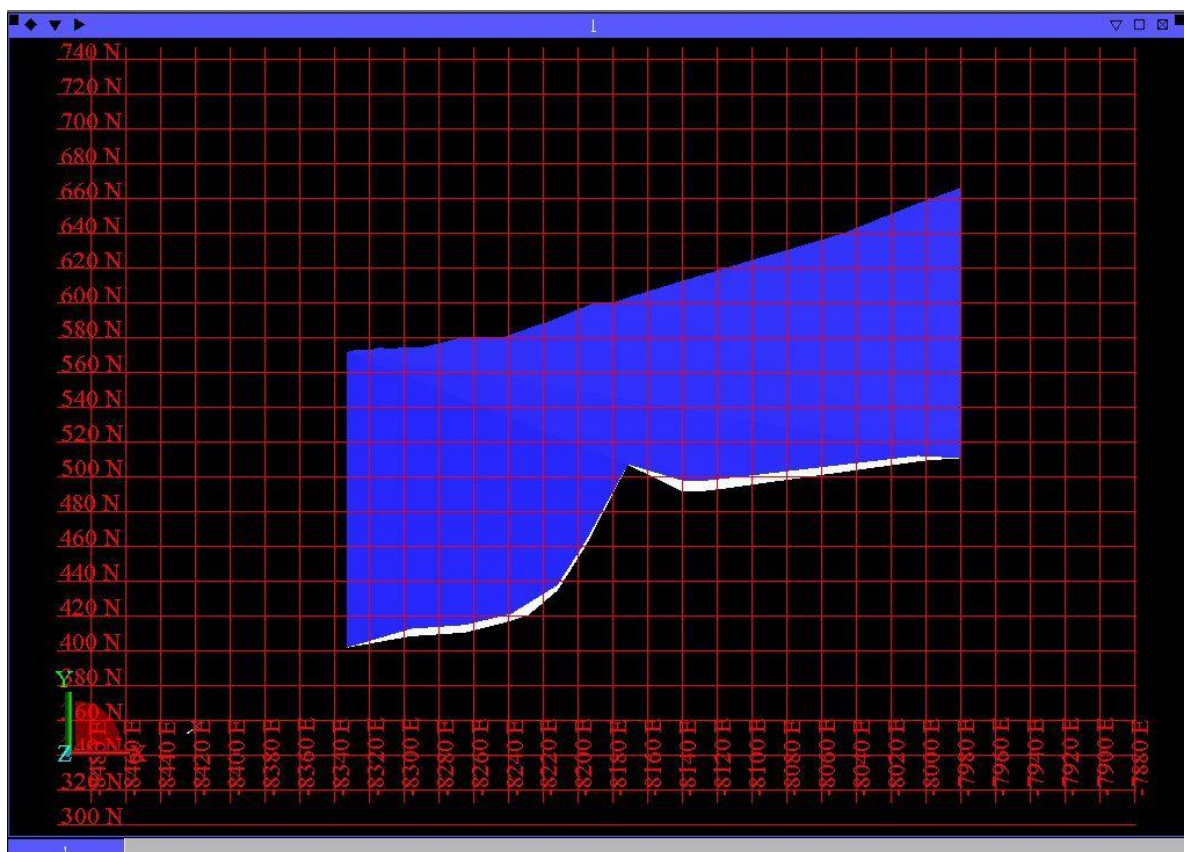
Εικόνα 3.17: Τομές του κοιτάσματος «Σίλας 3» που έγιναν με τη βοήθεια του λογισμικού Surpac ανά 50 μέτρα στον άξονα y και ανά 100 μέτρα στον άξονα x.



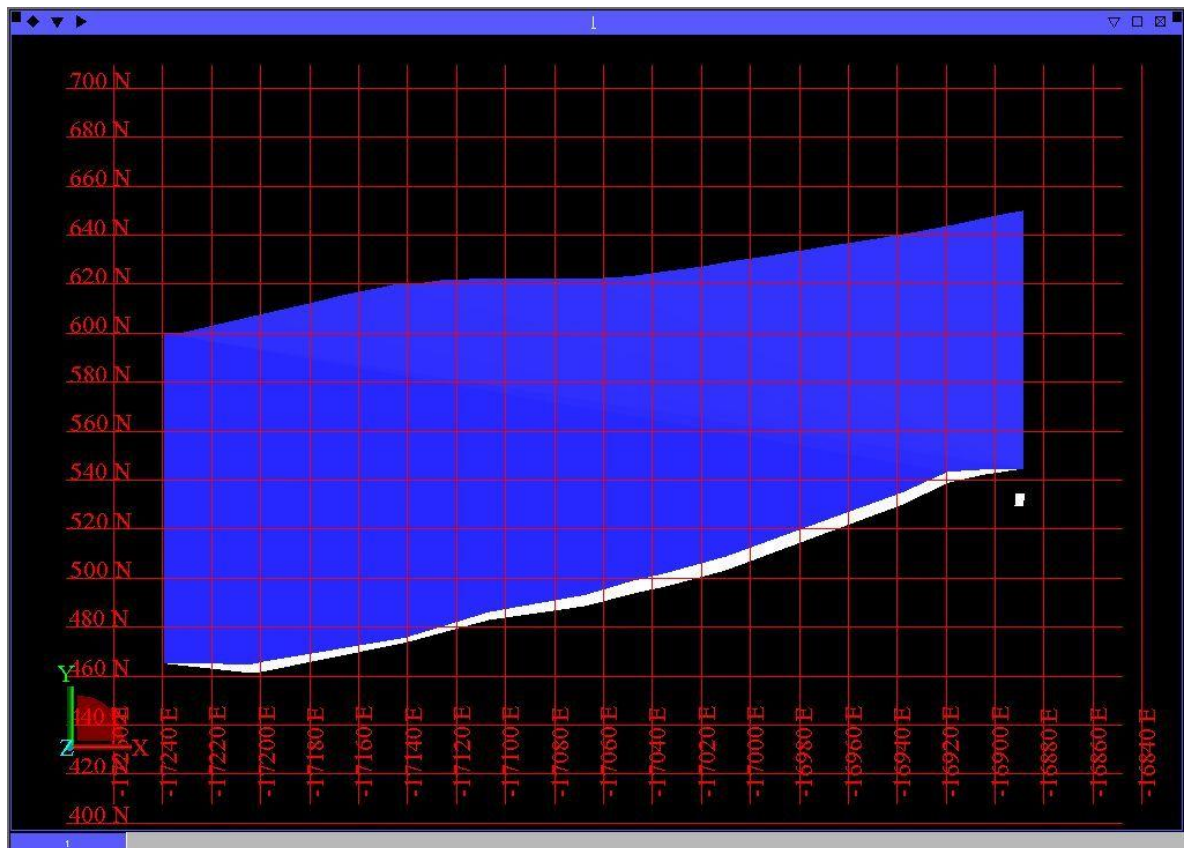
Εικόνα 3.18: Τομή Α-Α' κατά μήκος της τεταγμένης -16950.



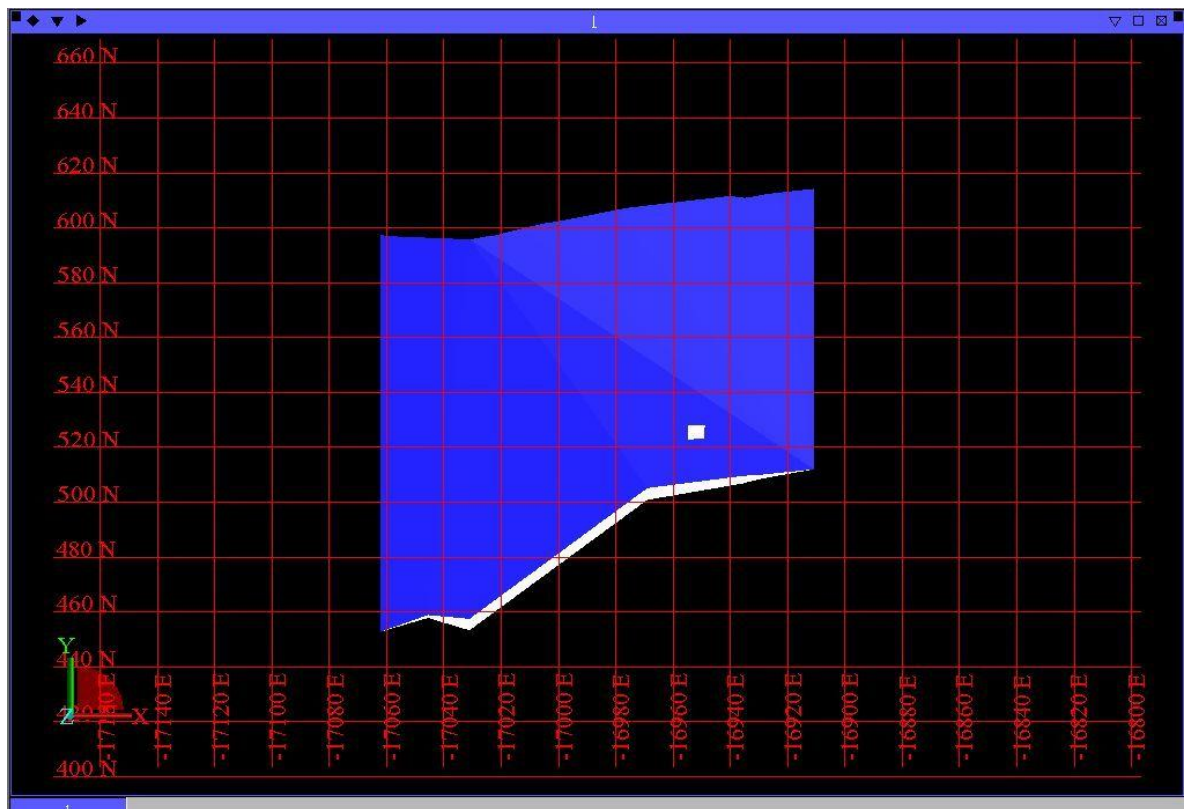
Εικόνα 3.19: Τομή Β-Β' κατά μήκος της τεταγμένης -17000.



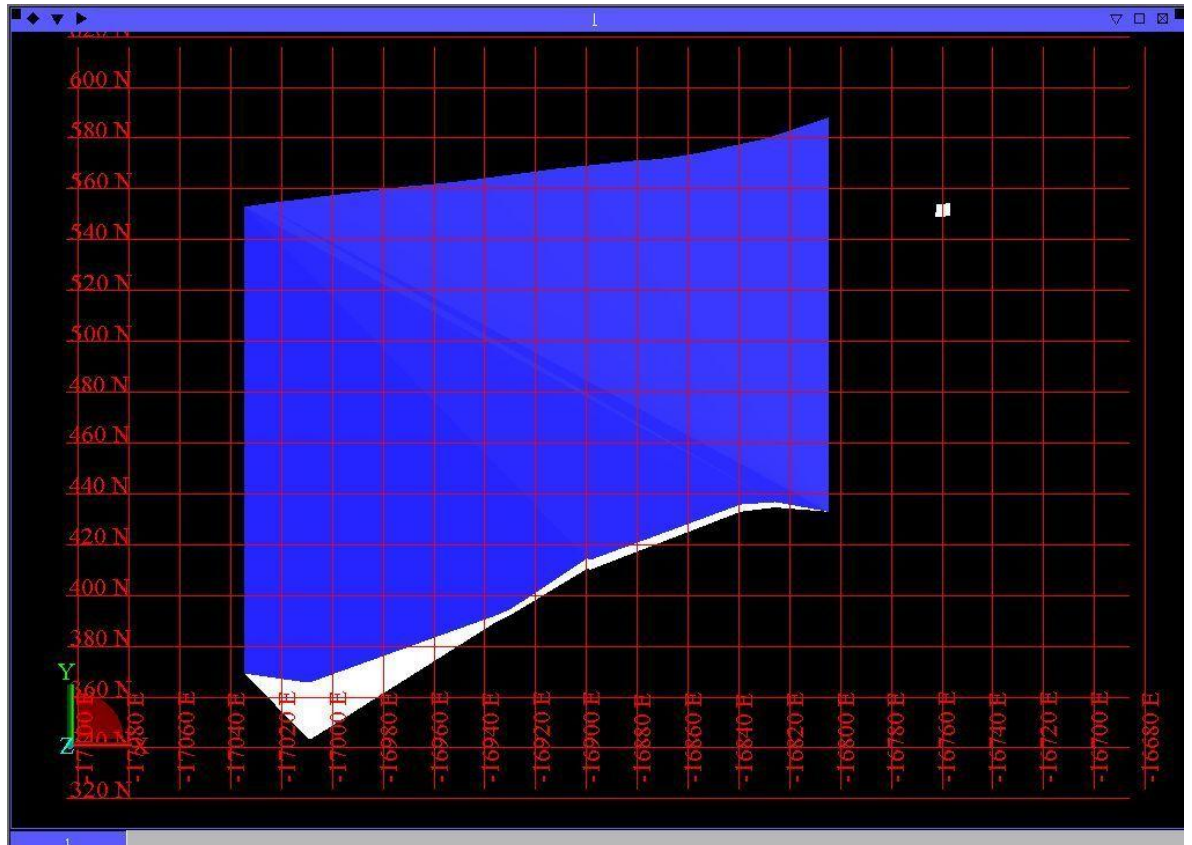
Εικόνα 3.20: Τομή Γ-Γ' κατά μήκος της τεταγμένης -17050.



Εικόνα 3.21: Τομή Δ-Δ' κατά μήκος της τετμημένης -8100.



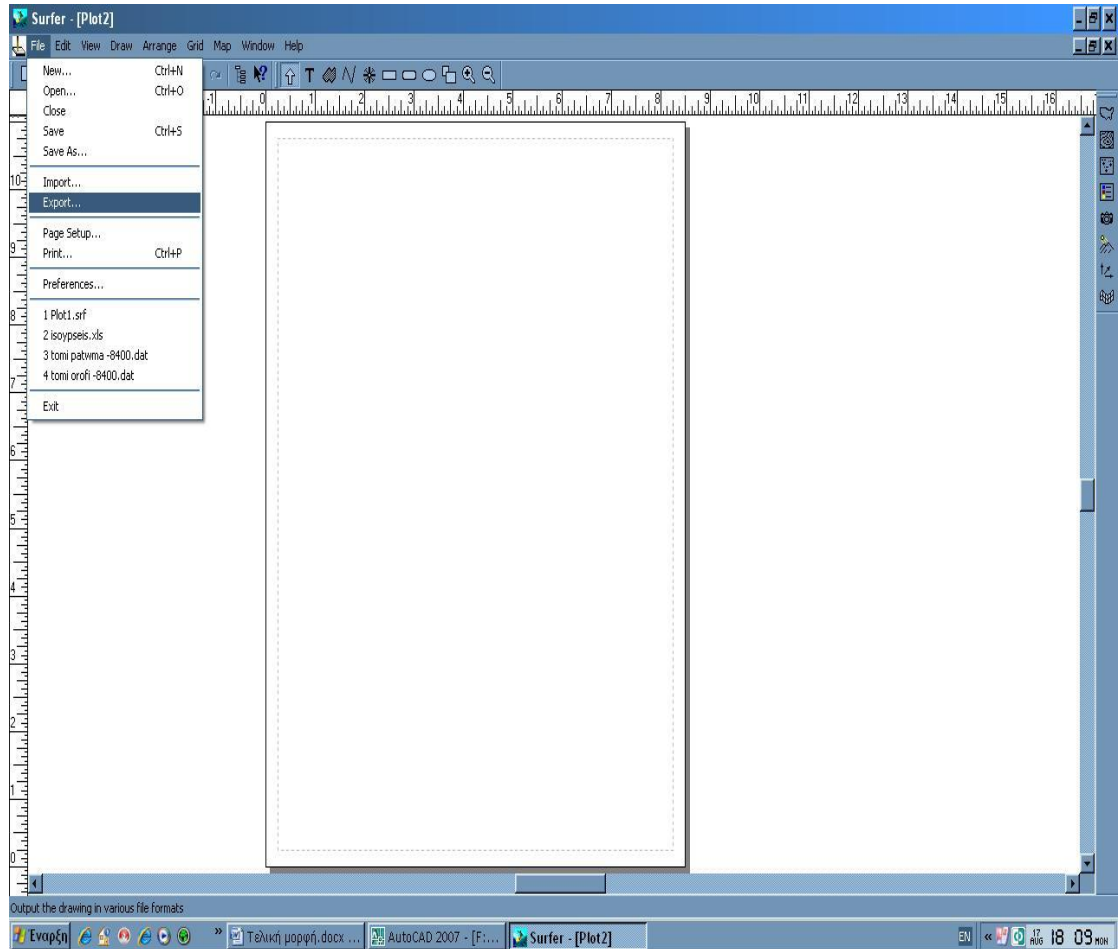
Εικόνα 3.22: Τομή Ε-Ε' κατά μήκος της τετμημένης -8200.



Εικόνα 3.23: Τομή Z-Z' κατά μήκος της τετμημένης -8400.

### **3.2.2.2 Αναπαράσταση του κοιτάσματος σε τρεις διαστάσεις με χρήση του προγράμματος AutoCAD 2007.**

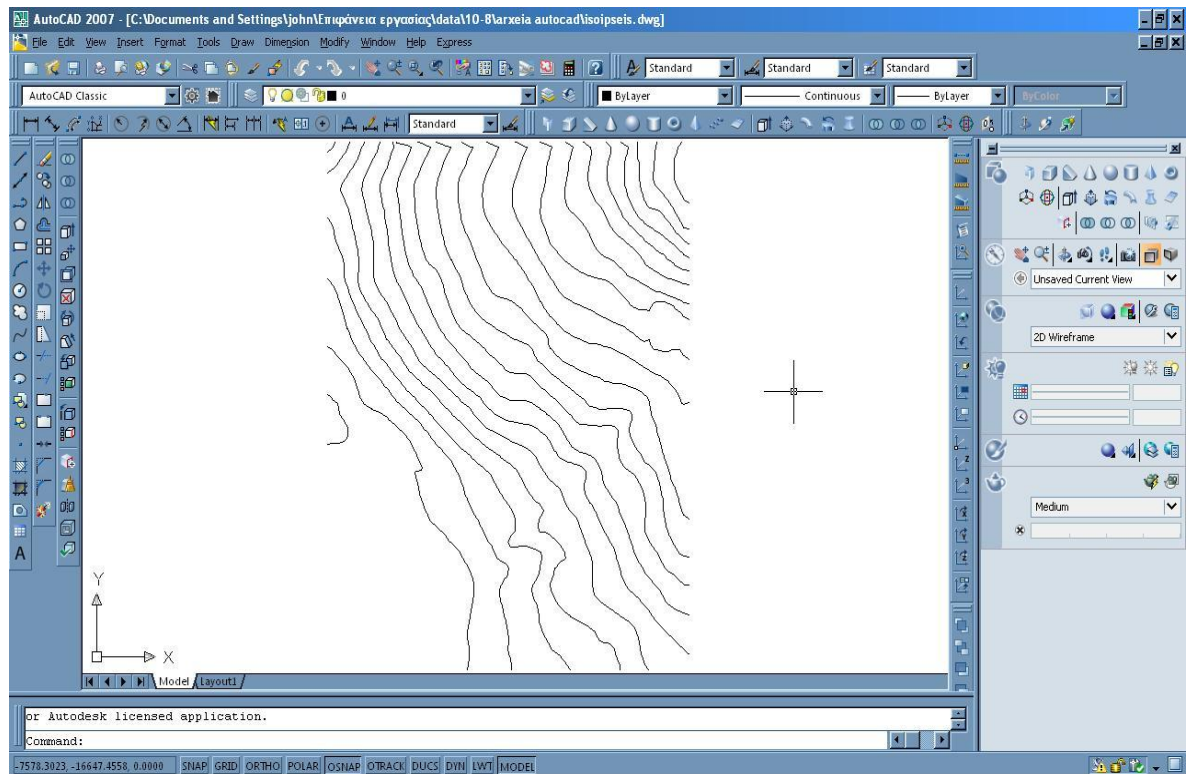
Στη συνέχεια έγινε μία προσπάθεια χρήσης του λογισμικού AutoCad 2007 για τη δημιουργία τρισδιάστατων αντικειμένων από τις ισοϋψείς επιφάνειας οροφής και πατώματος και τη δημιουργία τομών από το σύστημα αυτό (εικόνα 3.24).



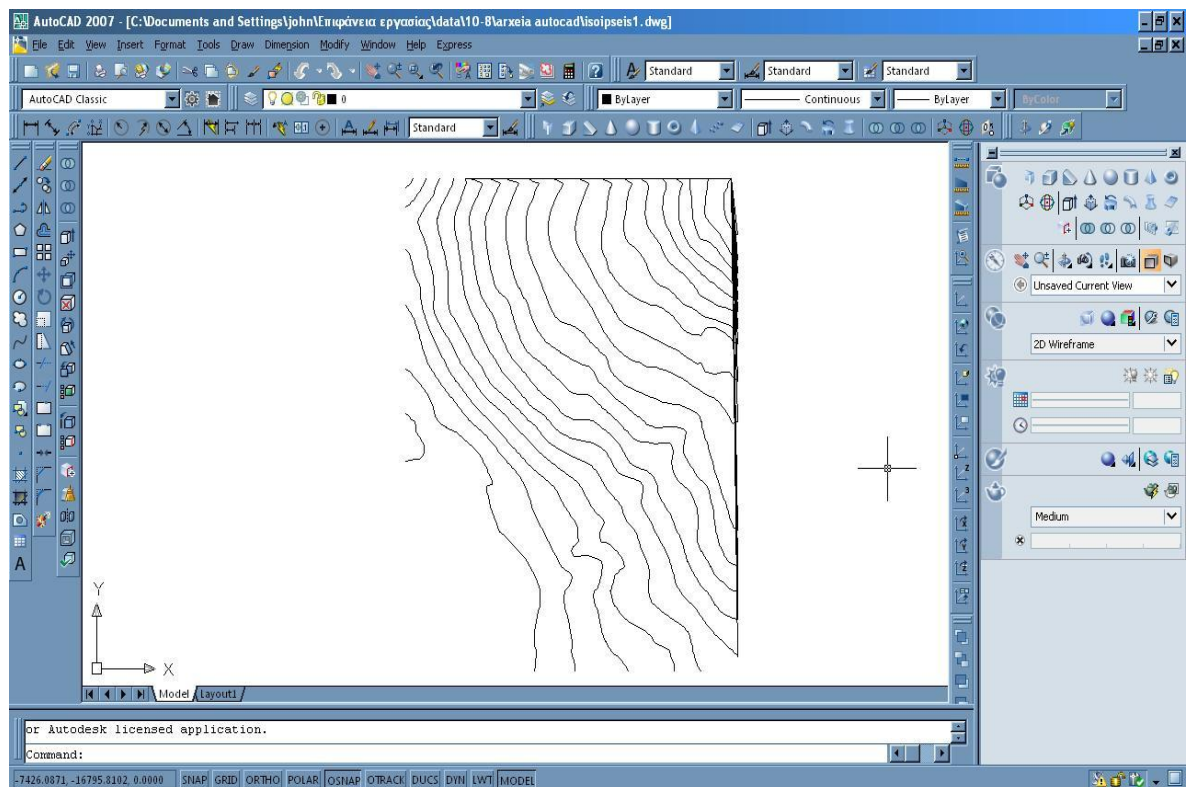
Εικόνα 3.24: Αποθήκευση αρχείων μέσω της εντολής export σε μορφή DXF.

Για την αναπαράσταση του κοιτάσματος σε τρεις διαστάσεις ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία στο AutoCAD 2007 (εικόνα 3.25).

- File→Open→File name.dxf
- Pedit→Select polyline (all) →Edit vertex→Insert (first point)  
→Close

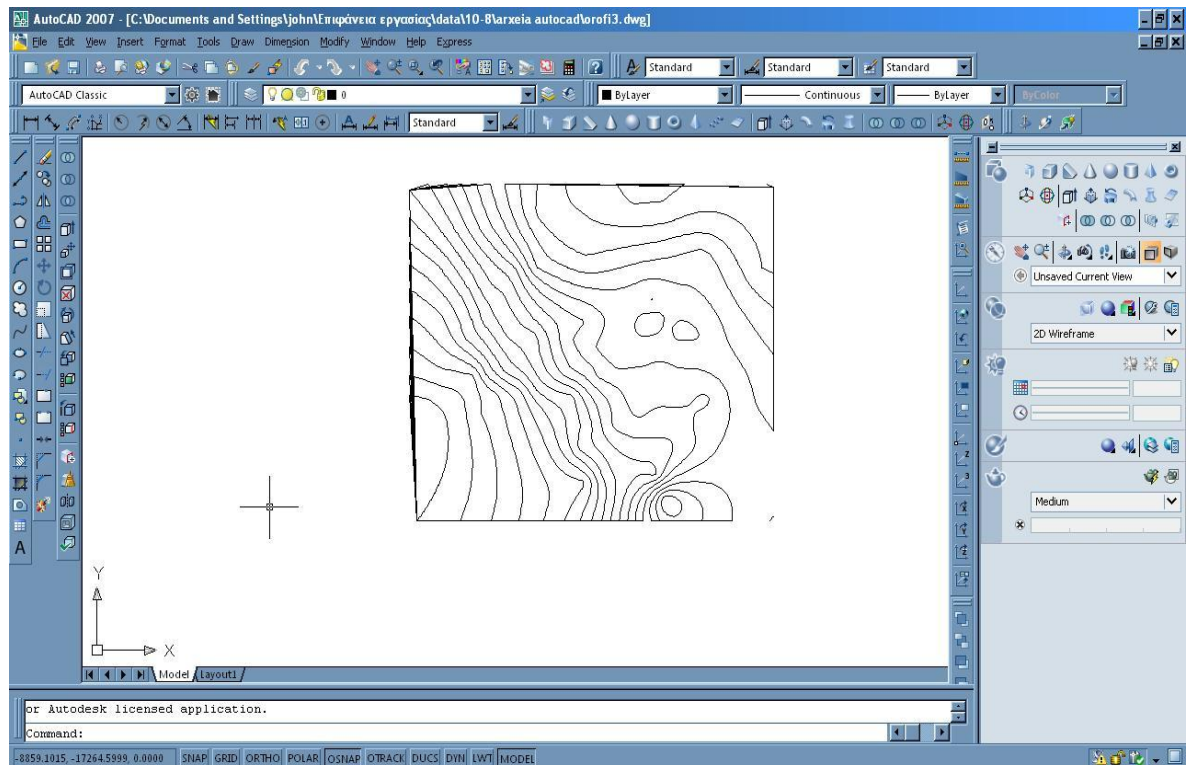


Εικόνα 3.25: Εισαγωγή δεδομένων σε μορφή dxf και επεξεργασία τους με την εντολή pedit.

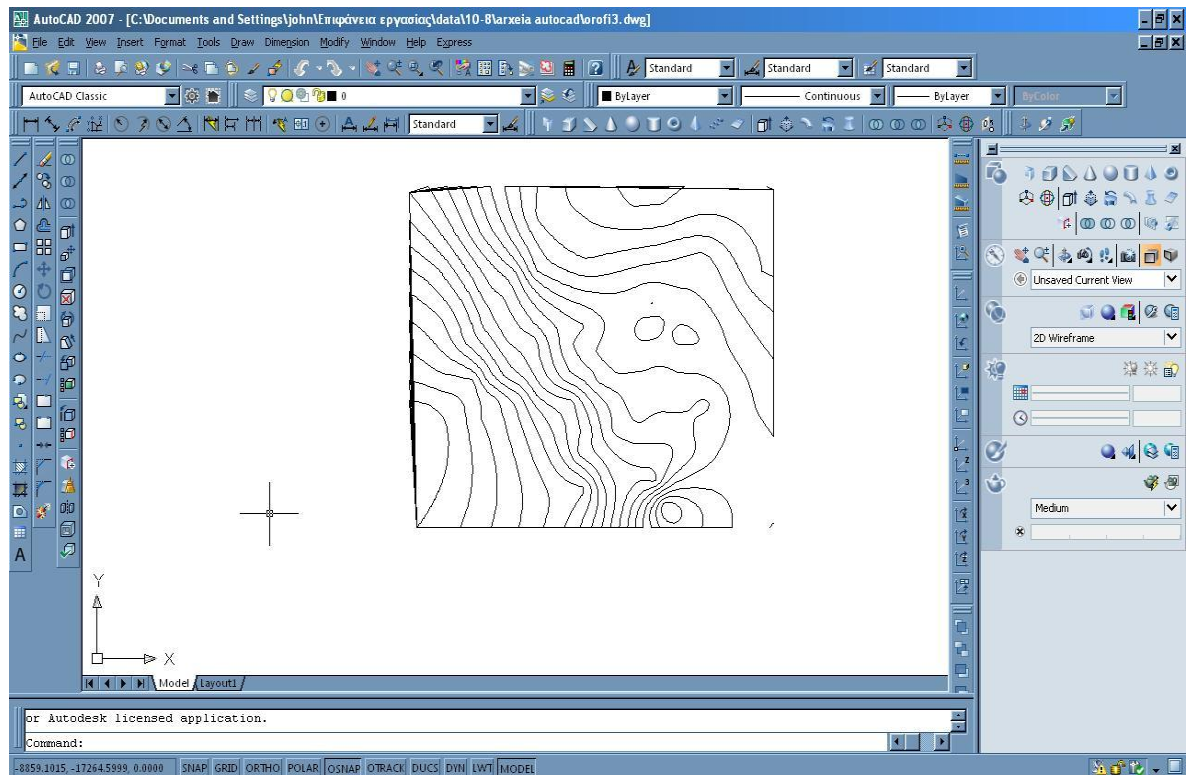


Εικόνα 3.26: Ισούψεις μετά την επεξεργασία με την εντολή pedit.

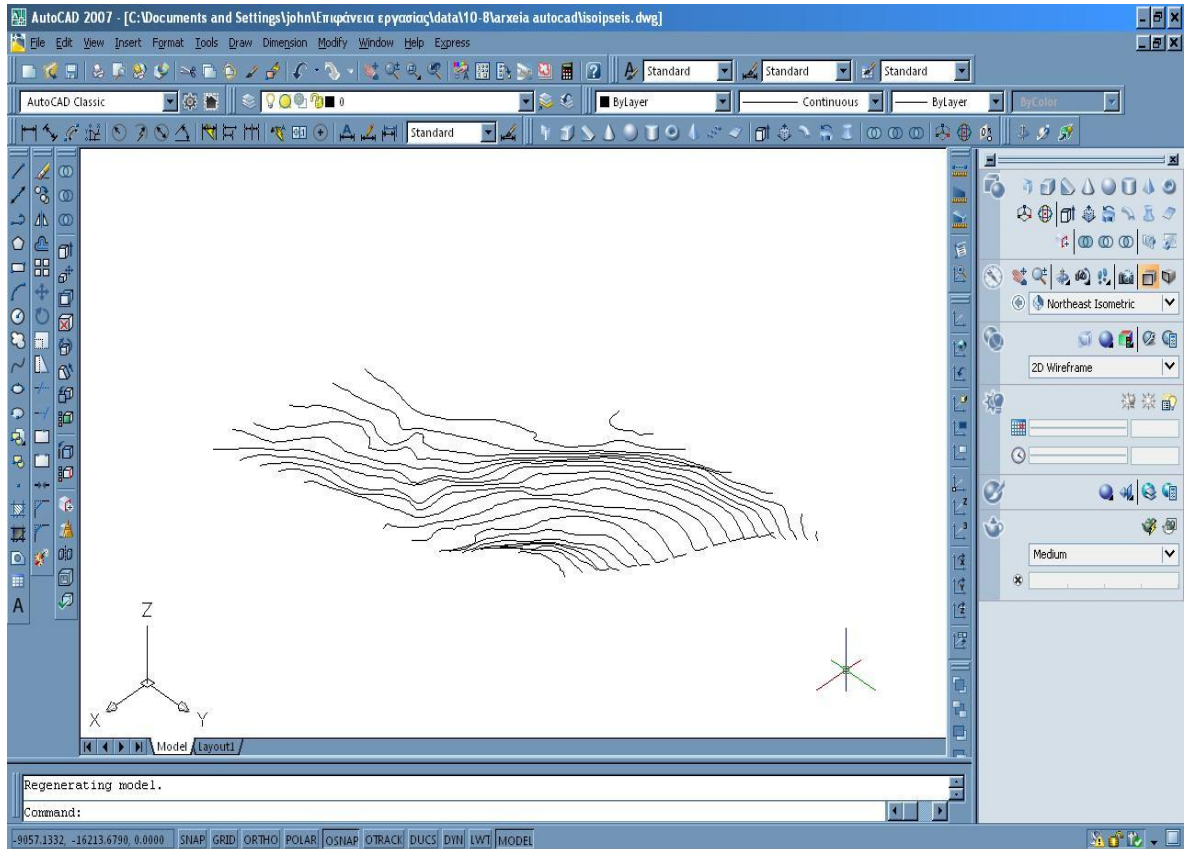




Εικόνα 3.27: Ισοϋψείς οροφής βωξίτη μετά την επεξεργασία με την εντολή pedit.



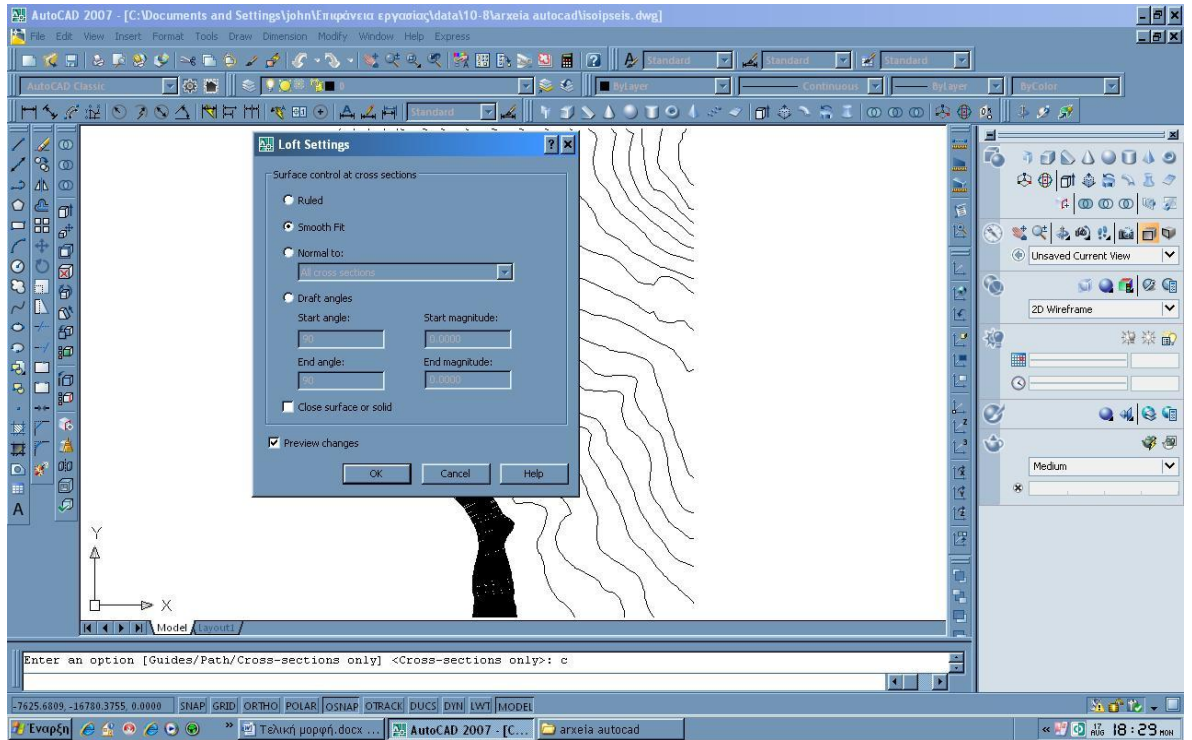
Εικόνα 3.28: Ισοϋψείς πατώματος βωξίτη μετά την επεξεργασία με την εντολή pedit.



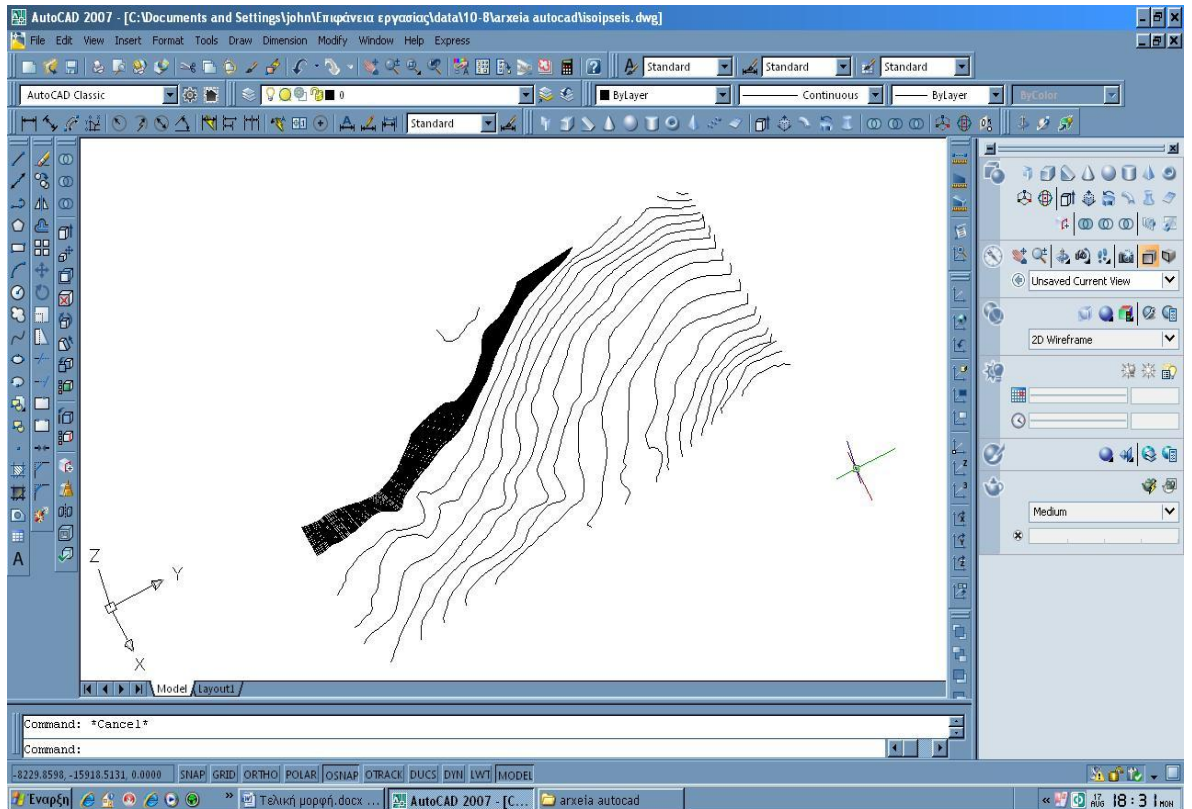
Εικόνα 3.29: Τριδιάστατη απεικόνιση του αναγλύφου της περιοχής.

Στη συνέχεια ακολούθησε η μετατροπή των δεδομένων σε μορφή solid μέσω μίας ακολουθίας εντολών, οι οποίες είναι:

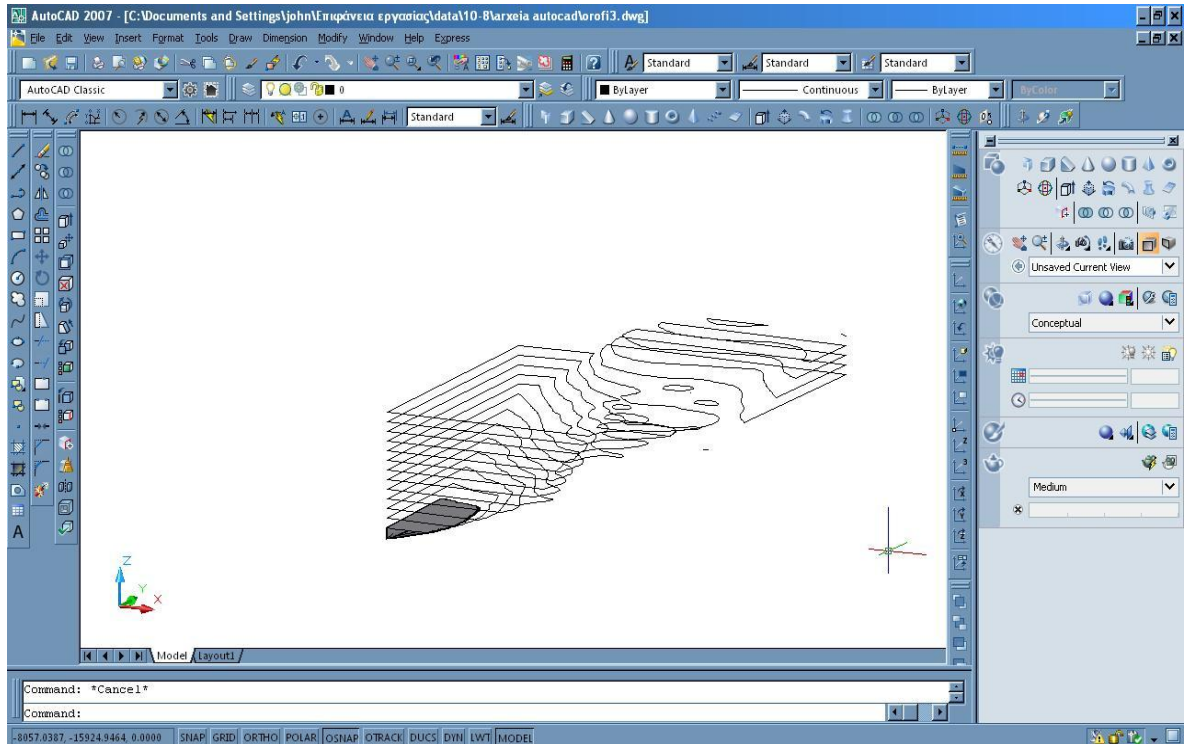
- Loft→Select cross section in lofting order (all)→Cross section only→Smooth fit→Ok (εικόνες 3.30-3.33).



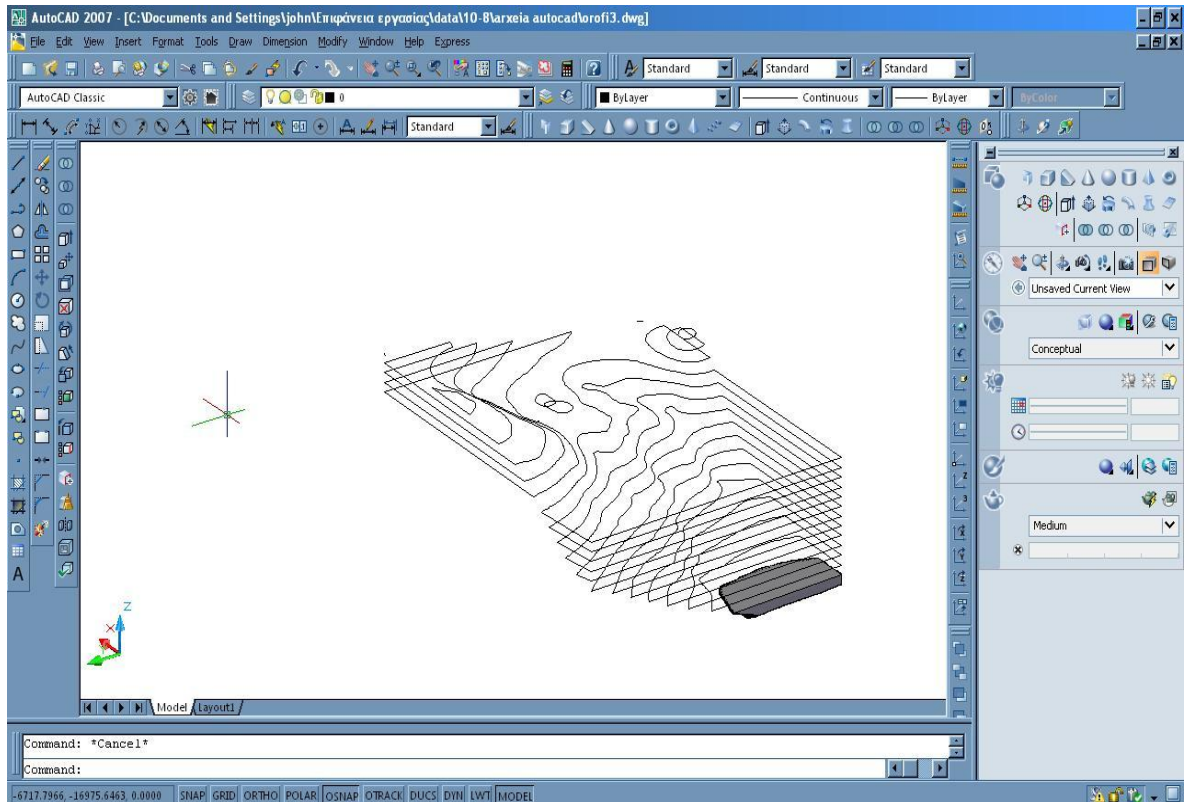
Εικόνα 3.30: Επεξεργασία δεδομένων με την εντολή loft.



Εικόνα 3.31: Ανάγλυφο περιοχής σε type solid μετά την επεξεργασία με την εντολή loft.



Εικόνα 3.32: Οροφή κοιτάσματος βωξίτη σε type solid μετά την επεξεργασία με την εντολή loft.



Εικόνα 3.33: Πάτωμα κοιτάσματος βωξίτη σε type solid μετά την επεξεργασία με την εντολή loft.

### **3.2.2.3 Προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά την επεξεργασία των δεδομένων.**

Κατά την επεξεργασία των δεδομένων στο AutoCAD 2007 παρουσιάστηκαν προβλήματα, τα οποία δεν ήταν δυνατόν να αντιμετωπιστούν. Συγκεκριμένα κατά τη μετατροπή του κοιτάσματος σε μορφή solid, χρησιμοποιώντας την εντολή loft ώστε μετά τη μετατροπή σε solid να εξαχθούν και τομές σε διάφορα σημεία του κοιτάσματος, δεν έγινε εφικτή η μετατροπή σε στερεό (solid), πιθανόν λόγω του μεγάλου πλήθους των δεδομένων που εισήχθησαν με την εντολή loft.

### **3.2.2.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων της επεξεργασίας των δεδομένων της Δελφοί-Δίοτομον ΑΜΕ και του παρούσας εργασίας**

Από την επεξεργασία των δεδομένων που δόθηκαν από την εταιρία Δελφοί-Δίοτομον ΑΜΕ και με τη βοήθεια των σχεδιαστικών προγραμμάτων AutoCAD 2000, και Surpac, έγινε συγκριτική απεικόνιση των αποθεμάτων του βωξίτικού κοιτάσματος «Σίλας 3» (πίνακας 3.1).

**Πίνακας 3.1:** Σύγκριση αποτελεσμάτων

	Παρούσα εργασία	Δελφοί-Δίοτομον ΑΜΕ
Όγκος κοιτάσματος (m <sup>3</sup> )	330.812	325.925
Μέθοδος εκμετάλλευσης	Θαλάμων και Στύλων	Θαλάμων και Στύλων
Αποληψιμότητα %	64	64
Εκμεταλλεύσιμα αποθέματα (m <sup>3</sup> )	211.720	208.592

### **3.3 Υποστήριξη βωξιτικών κοιτασμάτων της εταιρείας Δελφοί-Δίστομον ΑΜΕ.**

#### **3.3.1 Κοχλίες ρητίνης που χρησιμοποιούνται στην εταιρεία Δελφοί-Δίστομον ΑΜΕ**

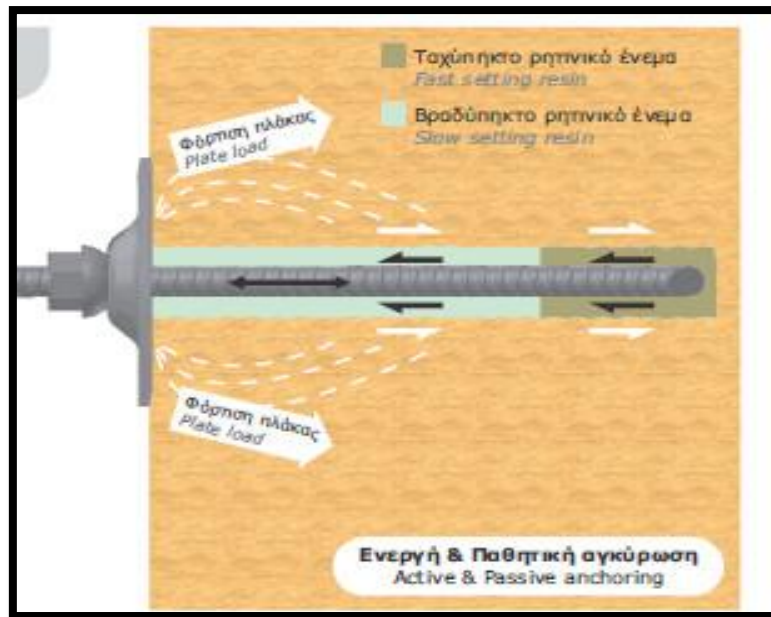
Χρησιμοποιούνται κοχλίες ρητίνης Lenoir et Mernier με τα εξής χαρακτηριστικά:

**Πίνακας 3.2:** Τυπικά χαρακτηριστικά των κοχλιών ρητίνης της Lenoir et Mernier (Δελφοί-Δίστομον, 2001).

<b>Τύπος χάλυβα</b>	FeE40
<b>Διάμετρος κοχλία</b>	18 mm
<b>Συνιστώμενη διάμετρος διατρήματος</b>	22-24 mm
<b>Ενεργός διατομή κοχλία</b>	216 mm <sup>2</sup>
<b>Όριο θραύσης</b>	16 tn
<b>Μήκος κοχλιών</b>	1,80 m

Οι κοχλίες φέρουν νευρώσεις για να αυξηθεί η συνοχή μετάλλου-ρητίνης. Στο ένα άκρο του κοχλία υπάρχει σπείρωμα, όπου μπορεί να συγκρατηθεί μεταλλικό πλακίδιο με τη βοήθεια ενός περικοχλίου. Η ρητίνη πολυεστέρα που χρησιμοποιείται είναι της εταιρείας Minona και διατίθενται σε φυσίγγια υπό ημίρρευστη μορφή, αναμειγμένη με σκόνη ανθρακικού ασβεστίου.

Τα φυσίγγια ρητίνης είναι κυλινδρικής μορφής και αποτελούνται από δύο (2) ανεξάρτητα διαμερίσματα στα οποία περιέχονται το ρητινικό ένεμα και ο σκληρυντής σε ημίρρευστη κατάσταση. Τα δύο (2) συστατικά είναι αεροστεγώς σφραγισμένα εντός της πλαστικής κυλινδρικής ζελατίνης. Στο ένα άκρο είναι προσαρμοσμένο ένα ειδικό πλαστικό καπάκι που διαθέτει κατάλληλες προεξοχές και λειτουργεί ως συγκρατητήρας αποτρέποντας την ολίσθηση των φυσιγγίων από το διάτρημα.



Εικόνα 3.34. Κοχλίας ολόσωμης πάκτωσης

Μετά το πέρας της διατρήσεως, ο επιθυμητός αριθμός φυσισγιών ρητίνης ωθούνται εντός του διατρήματος ακολουθούμενα από το αγκύριο. Το άκρο εισχώρησης της ράβδου αγκύρωσης έχει κοπεί κατάλληλα έτσι ώστε να σχηματίζει αιχμηρή ακμή και να επιτρέπει την εύκολη διάρρηξη της μεμβράνης. Κατά την εισαγωγή στο διάτρημα το αγκύριο περιστρέφεται έτσι ώστε να ευνοηθεί η ανάμιξη της ρητίνης με το σκληρυντή. Όταν το αγκύριο εισχωρήσει πλήρως εντός του διατρήματος διακόπτεται η περιστροφή και το αγκύριο τίθεται σε ακινησία προκειμένου να ενεργοποιηθεί η αντίδραση της σκλήρυνσης.

Ο χρόνος σκλήρυνσης εξαρτάται από τον τύπο της ρητίνης, τη θερμοκρασία καθώς και την ενέργεια που προσδίδεται στο σύστημα κατά την διείσδυση του αγκυρίου στο διάτρημα.

Τα βασικά πλεονεκτήματα από τη χρήση φυσισγιών ρητίνης είναι:

- Η μεγάλη αντοχή του δεσμού της ρητίνης με το περιβάλλον πέτρωμα επιτρέπει υψηλό βαθμό μεταφοράς φορτίων
- Μικροί χρόνοι σκλήρυνσης επιτρέπουν ταχεία υποστήριξη καθώς και τοποθέτηση αγκυρίων οροφής

- Ευκολία και ταχύτητα τοποθέτησης
- Απλή και ασφαλής χρήση
- Δυνατότητα ολόσωμης αλλά και σημειακής πάκτωσης
- Κατάλληλα για αυτοματοποιημένες αγκυρώσεις λόγω της δυνατότητας πνευματικής εκτόξευσης των φυσιγγίων εντός του διατρήματος

Η επιλογή του κατάλληλου φυσιγγίου ρητίνης εξαρτάται από τη διάμετρο της ράβδου αγκύρωσης και τη διάμετρο του διατρήματος. Ένα διάκενο της τάξης των 3mm θεωρείται ιδανικό ώστε να επιτρέπει τόσο την διάρρηξη της μεμβράνης των φυσιγγίων αλλά και την επαρκή ανάμιξη των δύο συστατικών.



Εικόνα 3.35: Φυσιγγια ρητίνικου ενέματος

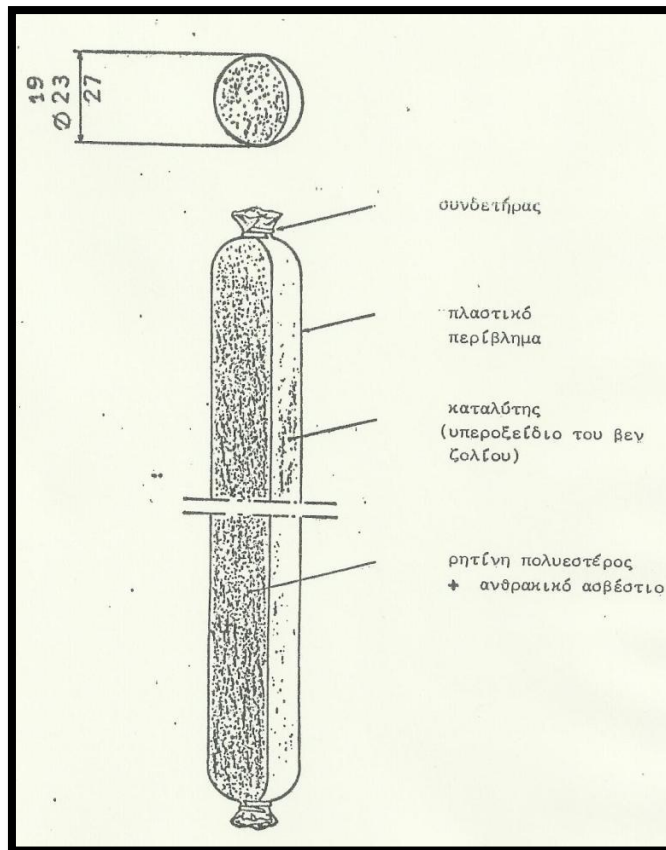
Στο ίδιο φυσιγγιο αλλά σε διαφορετικό διαμέρισμα υπάρχει και καταλύτης (υπεροξειδίο του βενζολίου). Με τη μορφή αυτή μπορεί να διατηρηθεί η ρητίνη σε περιβάλλον με θερμοκρασία 10 και 20 °C επί ένα χρόνο περίπου. Όταν το φυσιγγιο μπει στο διάτρημα, με τη βοήθεια του κοχλία καταστρέφεται το πλαστικό περίβλημα του φυσιγγίου, η ρητίνη και ο καταλύτης έρχονται σε επαφή και επακολουθεί αντίδραση που προκαλεί στερεοποίηση της ρητίνης.





Εικόνα 3.36: Φυσιγγίο ρητίνης με γυάλινο περίβλημα

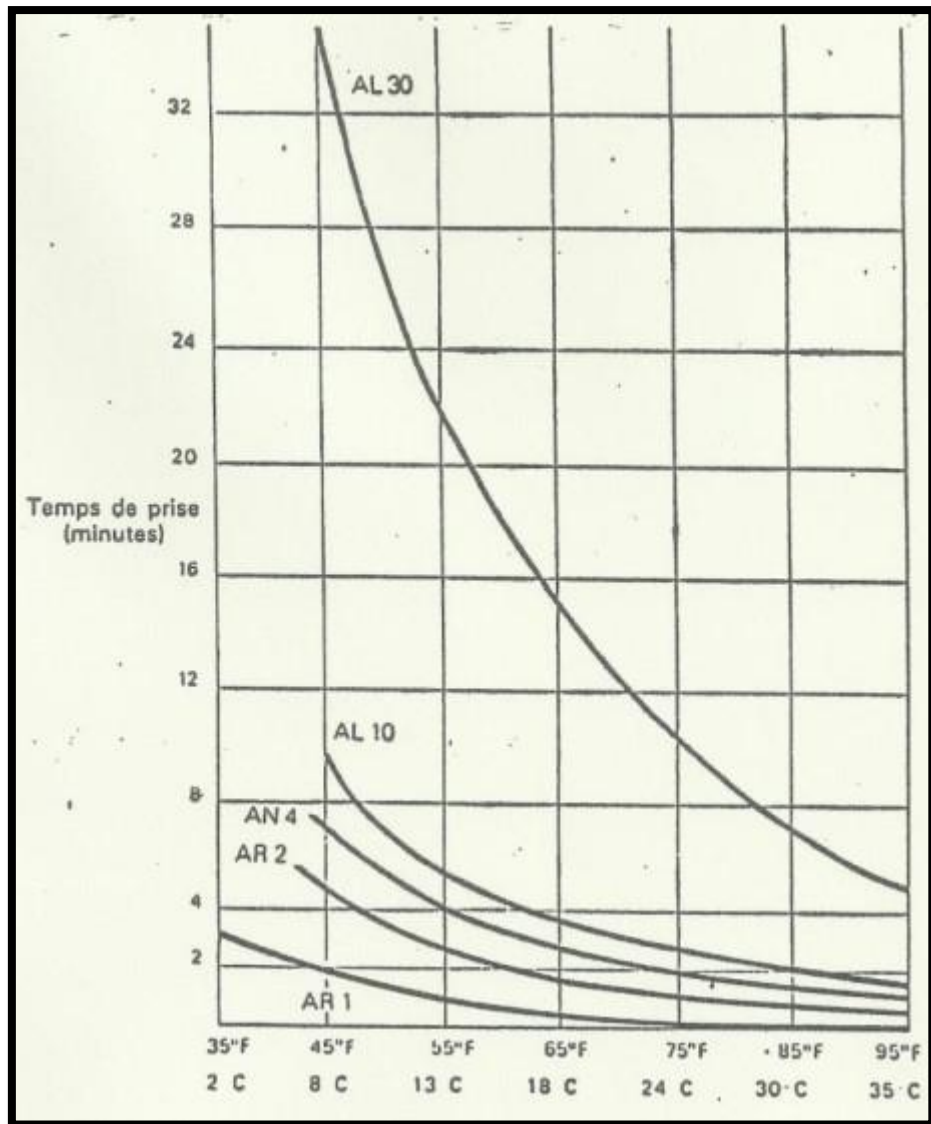
Το πλαστικό περίβλημα του φυσιγγίου πρέπει να είναι τόσο ανθεκτικό ώστε να αντέχει τις μικροκακώσεις κατά τις μετακινήσεις, αλλά από την άλλη, να καταστρέφεται τελείως όταν εισαχθεί στο διάτρημα και αρχίσει η ανάμειξη της ρητίνης. Κάθε φυσιγγίο φέρει μικρά 'κολλάρα' για να εμποδίζεται η πτώση του έξω από το διάτρημα. Μπορεί να τοποθετηθεί και ένα κάλυμμα-οδηγός για την ευκολότερη εισαγωγή του φυσιγγίου σε διατρήματα μικρής σχετικά διαμέτρου.



Εικόνα 3.37: Φυσιγγιο ρητίνης (Δελφοί-Δίστομον, 2001)

Οι διαστάσεις των φυσιγγίων κυμαίνονται από 19-27 mm όσον αφορά την διάμετρο και από 200-1000 mm όσον αφορά το μήκος. Αυτά που κυρίως χρησιμοποιούνται είναι διαμέτρου 19 mm και μήκους 450 και 800 mm.

Ως προς το χρόνο που απαιτείται για την πήξη της ρητίνης διακρίνονται διάφοροι τύποι που χαρακτηρίζονται από τα σύμβολα AR0, AR1, AR2, AN4, AL10 και AL30 και έχουν διαφορετικό χρώμα κουτιού. Ο χρόνος πήξεως είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και δίνεται από το διάγραμμα που φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί. Αν η τοποθέτηση του κοχλία γίνει σωστά, μπορεί η ρητίνη να αντέξει μεγαλύτερο φορτίο από το όριο θραύσεως του σιδήρου.

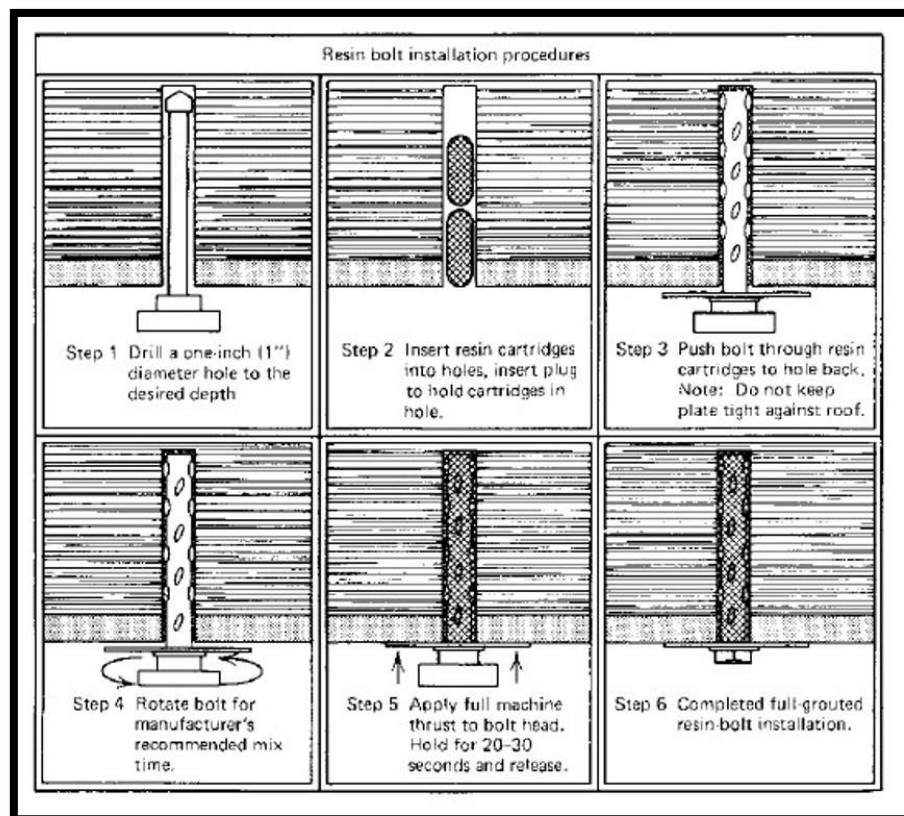


Εικόνα 3.38: Χρόνος πήξης ρητίνης συναρτήσει της θερμοκρασίας (Δελφοί-Δίστομον, 2001).

Η διαδικασία τοποθέτησης ενός κοχλία περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια:

- i. Διάτρηση διατρήματος μήκους και διαμέτρου ανάλογης με τον κοχλία
- ii. Εισαγωγή ενός ή περισσότερων φυσιγγίων στο βάθος του διατρήματος (Για τα φυσιγγία εκτός από το πρώτο αποφεύγεται να χρησιμοποιείται πρόσθετο πλαστικό περίβλημα-οδηγός, ώστε να μη δημιουργηθούν κατά την ανάμειξη της ρητίνης σημεία στενώσεως που μπορεί να έχουν σαν αποτέλεσμα τοπική άνοδο της θερμοκρασίας και πρόωρη πήξη της ρητίνης στο σημείο εκείνο).

- iii. Εισαγωγή του κοχλία μέχρι να έλθει σε επαφή με τη ρητίνη.
- iv. Έναρξη περιστροφικής κίνησης του κοχλία (τουλάχιστον 200 rpm)
- v. Ώθηση του κοχλία σιγά-σιγά μέχρι τον πυθμένα του διατρήματος με ταυτόχρονη περιστροφή. Η περιστροφή διατηρείται περίπου 5-10 δευτερόλεπτα αφού φθάσει ο κοχλίας στον πυθμένα. Η συνολική διάρκεια αυτής της φάσης είναι για τις ρητίνες AR1 περίπου 30 δευτερόλεπτα. Η περιστροφή αφενός μεν προκαλεί γρήγορη ανάμειξη των συστατικών, αφετέρου δε ανυψώνει την θερμοκρασία με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η αντίδραση και η πήξη της ρητίνης να γίνεται γρήγορα. Με τη λήξη της περιστροφής, ο κοχλίας έχει αντοχή αρκετή για να κρατήσει τουλάχιστον το βάρος του, ενώ μετά από 5 λεπτά περίπου η αντοχή του φθάνει τους 10 τόννους. Πριν παρέλθουν λίγα λεπτά δεν πρέπει να ασκηθεί έλξη ή στρέψη του κοχλία.



Εικόνα 3.39: Διαδικασία τοποθέτησης ηλώσεων ρητίνης (Δελφοί-Δίοστομον, 2001)

Τα στοιχεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη για να εξασφαλισθεί σωστή αγκύρωση είναι τα παρακάτω:

- i. Η διάμετρος των διατρημάτων. Αυτή πρέπει να είναι 6-8 mm μεγαλύτερη από τη διάμετρο του κοχλίου. Δύο είναι κυρίως οι παράγοντες που την καθορίζουν: α) η διευκόλυνση της ανάμειξης των συστατικών. Σε μικρότερη διάμετρο, η ανάμειξη γίνεται δύσκολη, ενώ σε μεγαλύτερη, γύρω από τον κοχλίο γίνεται μεν ομογενοποίηση, αλλά κοντά στα τοιχώματα του διατρήματος τα συστατικά δύσκολα αναμειγνύονται ώστε να αντιδράσουν, β) η επίτευξη κατά το δυνατόν μεγαλύτερης αντοχής του συστήματος. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος του διατρήματος σε τόσο μεγαλύτερη επιφάνεια μοιράζεται το φορτίο που δέχεται ο κοχλίας και επομένως είναι μικρότερη η τάση που υπάρχει στη διαχωριστική επιφάνεια ρητίνης πετρώματος. Μετά όμως από κάποιο όριο, οπότε η αντοχή της διαχωριστικής επιφάνειας γίνεται μεγαλύτερη από αυτή του σιδήρου, η παραπάνω αύξηση της διαμέτρου το μόνο που έχει σαν αποτέλεσμα είναι περιττή κατανάλωση ρητίνης.
- ii. Το μήκος των διατρημάτων. Πρέπει να είναι ακριβώς τόσο όσο το μήκος του κοχλίου μείον το μήκος του τμήματος που μένει έξω από το διάτρημα.
- iii. Η ποσότητα ρητίνης που πρέπει να εισαχθεί. Πρέπει να είναι τέτοια ώστε να καλύπτει όλο το κενό μέρος του διατρήματος π.χ αν το διάτρημα έχει διάμετρο 24 mm και ο κοχλίας 18 mm, το δε μήκος του διατρήματος είναι 1,80 m, τότε ο όγκος του διατρήματος είναι:

$$V_{\delta} = \pi(24/2)^2 \times 180 = 814 \text{ cm}^3$$

ενώ του τμήματος του κοχλίου που είναι μέσα στο διάτρημα:

$$V_{\kappa} = \pi(1,8/2)^2 \times 180 = 458 \text{ cm}^3$$

Ο όγκος του κενού θα είναι  $V = V_{\delta} - V_{\kappa} = 356 \text{ cm}^3$ . Αν χρησιμοποιηθούν ένα φουσίγγιο  $252 \text{ cm}^3$  και ένα  $128 \text{ cm}^3$  τότε, καθώς ο όγκος της ρητίνης κατά την αντίδραση αυξάνεται κατά 15% περίπου, το σύνολο του όγκου της ρητίνης θα είναι :

$$V_p = (252 + 128) \times 1,15 = 437 \text{ cm}^3$$

Άρα θα περίμενε κανείς η ρητίνη να ξεχειλίσει. Το ότι δεν συμβαίνει συνήθως αυτό, δείχνει ότι στο πέτρωμα υπάρχουν κενά μέσα στα οποία διαφεύγει ποσότητα ρητίνης. Επομένως πολλές φορές πρέπει να συμπληρωθεί με πρόσθετα φυσίγγια.

Τις πιο πολλές φορές κοντά στο στόμιο του διατρήματος δε δημιουργείται δακτύλιος ρητίνης με αποτέλεσμα να μην υπάρχει αγκύρωση στο σημείο εκείνο. Οι τάσεις που προέρχονται από το κατώτερο τμήμα της άμεσης οροφής, μεταβιβάζονται στο πλακίδιο. Άρα αν και θεωρητικά το πλακίδιο δε θα έπρεπε να βρίσκεται υπό τάση (αν η αγκύρωση ήταν τελείως ολόσωμη) στην πράξη υπάρχει κάποια συγκέντρωση τάσεων, πολύ μικρότερη βέβαια από ότι στους κοχλίες σημειακής αγκύρωσης. Για το λόγο αυτό πρέπει το περικόχλιο να σφίγγεται.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

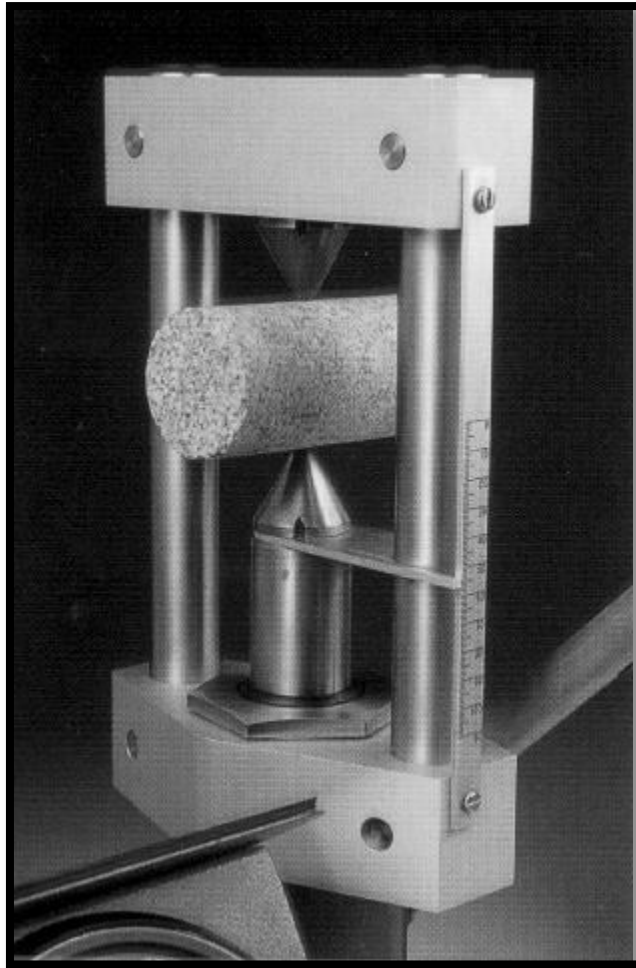
## Πρότυπες δοκιμές του πετρώματος της οροφής

---

### **4.1 Δοκιμή Σημειακής Φόρτισης**

#### **4.1.1 Γενικά**

Η Δοκιμή (Σχήμα 4.1) χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της αντοχής δοκιμίων πετρωμάτων τόσο στο υπαίθρο όσο και στο εργαστήριο. Από τη δοκιμή λαμβάνεται ο Δείκτης Αντοχής σε Σημειακή Φόρτιση  $I_s_{(50)}$ , ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατάταξη των πετρωμάτων από πλευράς αντοχής αλλά και για την έμμεση εκτίμηση χονδρικά της αντοχής του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη και μονοαξονικό εφελκυσμό. Από τα αποτελέσματα της δοκιμής σε διάφορων διαστάσεων δοκίμια πετρώματος μπορεί επίσης να μελετηθεί και η επίδραση του όγκου του δοκιμίου στην αντοχή του.



Σχήμα 4.1. Συσκευή σημειακής φόρτισης (Σκούρας Ν., 2005)

Η δοκιμή σημειακής φορτίσεως μπορεί να πραγματοποιηθεί σε κυλινδρικά δοκίμια αξονικά ή αντιδιαμετρικά, καθώς και σε ορθογωνικά ή ακανόνιστης μορφής δοκίμια.

#### **4.1.2 Θεωρία της δοκιμής**

Με τη φόρτιση του δοκίμιου μεταξύ των ακμών φόρτισης το δοκίμιο θραύεται σε εφελκυσμό κατ' αναλογία με τη δοκιμή αντιδιαμετρικής θλίψης. Το φορτίο επομένως στο οποίο θραύεται το δοκίμιο συναρτάται άμεσα με την αντοχή του πετρώματος σε εφελκυσμό και έμμεσα με την αντοχή του σε θλίψη. Ο μη διορθωμένος Δείκτης Αντοχής σε Σημιακή Φόρτιση (Uncorrected Point Load Strength Index)  $I_s$  υπολογίζεται από τη σχέση (20):



$$I_s = \frac{P}{De^2} \quad (20)$$

όπου:

P: το φορτίο τη στιγμή της θραύσης του δοκιμίου

De: η ισοδύναμη διάμετρος του δοκιμίου, η οποία υπολογίζεται ως εξής:

$De^2 = D^2$  για την περίπτωση διαμετρικής δοκιμής

$= 4A/\pi$  για την περίπτωση αξονικής δοκιμής και δοκιμής ορθογωνικού ή ακανόνιστου δοκιμίου, όπου  $A = W \times D$  η επιφάνεια του επιπέδου που διέρχεται από τα σημεία φόρτισης (Σχήμα 4.2).

Για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα δοκιμών σε διάφορες διαμέτρους απαιτείται διόρθωση του ως ανωτέρω υπολογιζόμενου δείκτη  $I_s$ , ο οποίος είναι συνάρτηση της ισοδύναμης διαμέτρου  $De$  του δοκιμίου. Ο διορθωμένος Δείκτης Αντοχής σε Σημειακή Φόρτιση  $I_{s(50)}$  (size-corrected Point Load Strength Index) ορίζεται ως η τιμή του  $I_s$  όταν πραγματοποιείται διαμετρική δοκιμή με  $D = 50$  mm.

Η καλύτερη μέθοδος για τον υπολογισμό του  $I_{s(50)}$  είναι η πραγματοποίηση διαμετρικής δοκιμής με διάμετρο  $D$  να πλησιάζει τα 50 mm, ώστε είτε να μην απαιτείται διόρθωση ή αυτή να εισάγει ελάχιστο σφάλμα (π.χ. στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται δοκίμια διαμέτρου NX,  $D = 54.7$  mm).

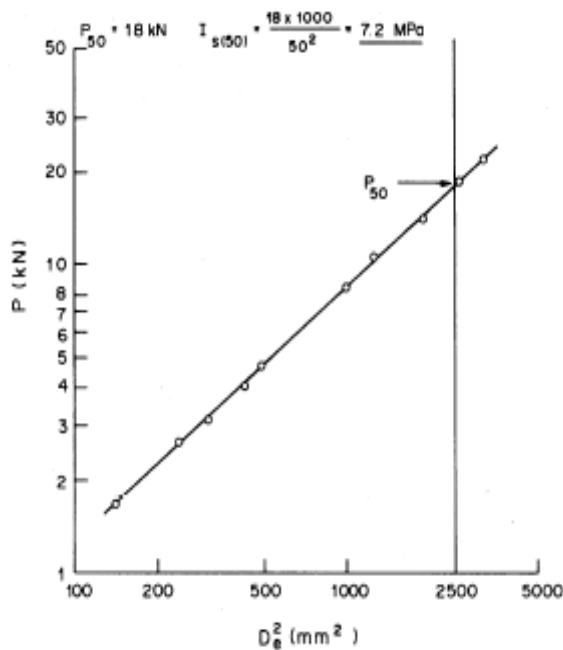
Η πιο αξιόπιστη μέθοδος για την πραγματοποίηση της διόρθωσης είναι η εκτέλεση μίας σειράς δοκιμών με διάφορες διαμέτρους  $D$  ή  $De$  και η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων σε σύστημα αξόνων ( $P, De^2$ ) (Σχήμα 4.3). Εάν χρησιμοποιηθούν λογαριθμικές κλίμακες αξόνων η σχέση  $P-De^2$  είναι μία ευθεία από την οποία μπορεί να προσδιορισθεί γραφικά η τιμή  $P_{50}$ , η οποία αντιστοιχεί σε  $De^2 = 2500$  mm<sup>2</sup> ( $De = 50$  mm). Ο δείκτης  $I_{s(50)}$  υπολογίζεται τότε από τη σχέση (21):

$$I_{s(50)} = \frac{P_{(50)}}{50^2} \quad (21)$$

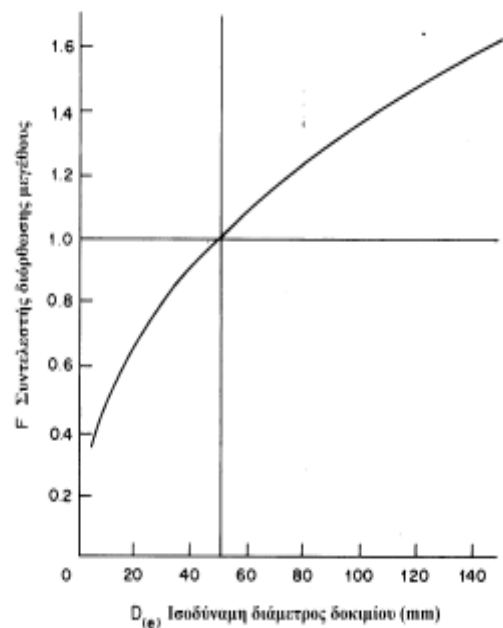
Όταν τα παραπάνω δεν είναι εφικτό να πραγματοποιηθούν, τότε η διόρθωση μεγέθους μπορεί να γίνει με τη σχέση (22):

$$I_{s(50)} = F \times I_s \quad (22)$$

όπου F ο συντελεστής διόρθωσης μεγέθους (Size Correction Factor, F), ο οποίος λαμβάνεται είτε από το Σχήμα (4.3) είτε από τη σχέση (23):



Σχήμα (4.2). Αποτελέσματα δοκιμών σημειακής φόρτισης για διάφορες  $D_e$  και γραφικός υπολογισμός του  $P_{50}$  (Σοφιανός 2001).



Σχήμα (4.3). Διάγραμμα γραφικού υπολογισμού του συντελεστή διόρθωσης μεγέθους F.

$$F = (D_e / 50)^{0.45} \quad (23)$$

Όταν η ισοδύναμη διάμετρος  $D_e$  πλησιάζει τα 50 mm, τότε για τον υπολογισμό του  $F$  μπορεί να χρησιμοποιηθεί η προσεγγιστική σχέση (24):

$$F = \sqrt{(D_e / 50)} \quad (24)$$

Σύμφωνα με τις οδηγίες της I.S.R.M. η παραπάνω διόρθωση μεγέθους είναι εφαρμόσιμη ανεξάρτητα από τη ύπαρξη ανισοτροπίας στο πέτρωμα και από τη διεύθυνση της φορτίσεως σε σχέση με τα επίπεδα αδυναμίας του πετρώματος. Ο Πίνακας δίνει τον χαρακτηρισμό της αντοχής του πετρώματος με βάση την τιμή του δείκτη.

**Πίνακας 4.1.** Ταξινόμηση πετρώματος με βάση τον δείκτη σημειακής φόρτισης  $I_{s(50)}$  σε MPa (Bieniawski, 1975).

Περιγραφή	Δείκτης σημειακής φόρτισης $I_{s(50)}$ (MPa)
<b>Πολύ υψηλής αντοχής</b>	>8
<b>Υψηλής αντοχής</b>	4-8
<b>Μέσης αντοχής</b>	2-4
<b>Χαμηλής αντοχής</b>	1-2
<b>Πολύ χαμηλής αντοχής</b>	Δεν συνίσταται η δοκιμή (<1)

Ο Δείκτης Ανισοτροπίας της Αντοχής σε σημειακή φόρτιση  $I_{a(50)}$  (Strength Anisotropy Index) ορίζεται ως ο λόγος του δείκτη  $I_{s(50)}$  για φόρτιση κάθετα προς το επίπεδο αδυναμίας του πετρώματος ως προς τον δείκτη  $I_{s(50)}$  για φόρτιση παράλληλα προς το επίπεδο αδυναμίας του πετρώματος. Ο δείκτης

$I_{a(50)}$  λαμβάνει τιμές κοντά στο 1.0 για την περίπτωση σχετικά ισότροπου πετρώματος και μεγαλύτερες τιμές όταν το πέτρωμα είναι ανισότροπο.

Σύμφωνα με τους Broch and Franklin (1972) ο μέσος όρος του δείκτη  $I_{s(50)}$ , που έχει προκύψει ύστερα από την εκτέλεση σημαντικού αριθμού δοκιμών, σε κυλινδρικής μορφής δοκίμια σε διαμετρική δοκιμή, μπορεί να συσχετισθεί με τη μονοαξονική αντοχή πετρώματος σε θλίψη του πετρώματος. Για δοκίμια με  $D=50$  mm, βρέθηκε ότι:

$$\sigma_c \approx 24 \cdot I_{s(50)} \quad (25)$$

Για άλλες τιμές της διαμέτρου  $D$  απαιτείται μια σχετική διόρθωση. Ο Bieniawski (1975) προτείνει την ακόλουθη προσεγγιστική σχέση μεταξύ των  $\sigma_c$  και  $I_s$ , και τη διάμετρο  $D$  (mm) του πυρήνα:

$$\sigma_c \approx (14 + 0.175 \cdot D) \cdot I_{s(50)} \quad (26)$$

#### **4.2 Συσχέτιση $I_{s(50)}$ με την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη**

Παρά το γεγονός ότι η δοκιμή σημειακής φόρτισης αποτελεί ουσιαστικά ένα πείραμα εφελκυσμού, χρησιμοποιείται στην πράξη για τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής, αφού τα πειράματα δείχνουν ότι για το ίδιο υλικό τουλάχιστον υπάρχει σχέση μεταξύ των δύο μεγεθών. Η πιο διαδεδομένη έκφραση της σχέσεως αυτής ήρθε το 1972 από τους Broch και Franklin οι οποίοι βασισμένοι σε πειραματικά δεδομένα υποστήριξαν ότι η θλιπτική αντοχή ισούται με 24 φορές τον ανηγμένο δείκτη σημειακής φόρτισης  $I_s(50)$ . Σύμφωνα με την ISRM η σταθερά που συνδέει τα δύο μεγέθη κυμαίνεται μεταξύ 20 και 25, τιμή όμως η οποία μπορεί να οδηγήσει και σε 100% σφάλμα (ISRM 1985).

Έχουν γίνει αρκετές εργασίες, σε κάθε μία εκ των οποίων η σχέση μεταξύ του  $I_{s(50)}$  και της αντοχής σε απλή θλίψη είναι διαφορετική όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.2 όπου παρουσιάζονται διάφορες γραμμικές και μη γραμμικές σχέσεις.

#### 4.2.1 Ιστορικό

Η πρώτη συνεισφορά στην διεθνή βιβλιογραφία έγινε από τους D' Andrea et al (1964), οι οποίοι πραγματοποίησαν πειράματα απλής θλίψης και σημειακής φόρτισης σε μία σειρά δοκιμίων, επιχειρώντας να βρουν μία γραμμική σχέση μεταξύ των αποτελεσμάτων των δύο δοκιμών. Σε αυτήν την κατά τα άλλα αξιόλογη εργασία όμως, υπήρχε ένα μεγάλο κενό. Το κενό αυτό είναι ότι παραβλέπεται η επίδραση μεγέθους και σχήματος, αφού χρησιμοποίησαν για όλα τα πειράματα κυλινδρικά δοκίμια με διάμετρο 25 mm. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαία η προσαρμογή μεγέθους προκειμένου να χρησιμοποιηθεί η σχέση που προτείνουν.

Το κενό αυτό προσπάθησε να το καλύψει λίγα χρόνια αργότερα ο Reichmuth (1968), ο οποίος μελέτησε την επίδραση του σχήματος και του μεγέθους στα αποτελέσματα. Το σχήμα λήφθηκε υπόψη με την εισαγωγή ενός συντελεστή μεγέθους ο οποίος μεταβάλλεται συναρτήσει των διαστάσεων του δοκιμίου. Έτσι ο συντελεστής σημειακής φόρτισης υπολογίστηκε ως ο λόγος του φορτίου αστοχίας προς το τετράγωνο της απόστασης μεταξύ των σημείων φόρτισης, πολλαπλασιαζόμενος με τον συντελεστή. Για διαφορετικά μεγέθη δοκιμίων από το ίδιο υλικό όμως, οι υπολογιζόμενες τιμές του  $I_s$  ήταν διαφορετικές. Το γεγονός αυτό ερμηνεύτηκε ως μία ιδιότητα του υλικού, την σχετική ψαθυρότητα, η οποία εισήγαγε έναν επιπλέον όρο στην προαναφερθείσα εξίσωση. Η πιο εκτεταμένη έρευνα όμως έγινε από τους Broch και Franklin (1972), οι οποίοι ανέφεραν ότι ο λόγος της θλιπτικής αντοχής προς το συντελεστή σημειακής φόρτισης είναι περίπου ίσος με 24, για δοκίμια διαμέτρου 50 mm. Επίσης σχεδίασαν και ένα νομογράφημα διόρθωσης μεγέθους ώστε τα αποτελέσματα από πειράματα σε πυρήνες διαφόρων διαμέτρων να ανάγονται σε πυρήνες 50 mm.

**Πίνακας 4.2.** Προτεινόμενες σχέσεις προσδιορισμού της θλιπτικής αντοχής από τον διορθωμένο δείκτη σημειακής φόρτισης  $I_s(50)$  (Kahraman et al, 2005).

Αναφορές	Σχέσεις
D'Andrea et al.	$UCS = 15.3I_{s50} + 16.3$
Deer and Miller	$UCS = 20.7I_{s50} + 29.6$
Broch and Franklin	$UCS = 24I_{s50}$
Bieniawski	$UCS = 23I_{s50}$
Hassani et al.	$UCS = 29I_{s50}$
Read et al.	
(1) Sedimentary rocks	$UCS = 16I_{s50}$
(2) Basalts	$UCS = 20I_{s50}$
Singh	$UCS = 18.7I_{s50} - 13.2$
Forster	$UCS = 14.5I_{s50}$
Gunsallus and Kulhawy	$UCS = 16.5I_{s50} + 51.0$
ISRM	$UCS = 20 \dots 25I_{s50}$
Vallejo et al.	$UCS = 8.6 \dots 16I_{s50}$
Cargill and Shakoor	$UCS = 23I_{s54} + 13$
Tsidzi	$UCS = 14 \dots 82I_{s50}$
Ghosh and Srivastava	$UCS = 16I_{s50}$
Grasso et al.	
(1) Power relation	$UCS = 25.67(I_{s50})^{0.57}$
(2) Linear relation	$UCS = 9.30I_{s50} + 20.04$
Ulusay et al.	$UCS = 19I_{s50} + 12.7$
Chau and Wong	$UCS = 12.5I_{s50}$
Smith	$UCS = 14.3I_{s50}$
Kahraman	
(1) 22 different rock type	$UCS = 8.41I_{s50} + 9.51$
(2) Coal measure rocks	$UCS = 23.62I_{s50} - 2.69$
Quane and Russel	
(1) Strong rocks	$UCS = 24.4I_{s50}$
(2) Weak rocks	$UCS = 3.86(I_{s50})^2 + 5.65 I_{s50}$
Tsiambaos and Sabatakakis	
(1) Power relation	$UCS = 7.3(I_{s50})^{1.71}$
(2) Linear relation	$UCS = 23I_{s50}$
Palchik and Hatzor	$UCS = 8 \dots 18I_{s50}$

Λίγα χρόνια αργότερα ο Bieniawski (1975) έδειξε ότι ο λόγος της θλιπτικής αντοχής προς το  $I_s$  είναι ίσος με 23. Επίσης πρότεινε και ένα πίνακα ταξινόμησης των πετρωμάτων βάσει του  $I_s(50)$ . Ο Pells (1975) απέδειξε πως η χρήση του συντελεστή 24 μπορεί να οδηγήσει σε σφάλμα της τάξεως του 20% στην πρόβλεψη της θλιπτικής αντοχής σε κάποια πετρώματα όπως ο πυροξενίτης, ο νορίτης και ο δολερίτης.

Όσον αφορά τον περίφημο συντελεστή 24 οι Greminger (1982) και Foster (1983) ισχυρίστηκαν ότι δεν μπορεί να εφαρμοστεί στην περίπτωση ανισότροπων υλικών.

Οι Hassani et al (1980) συγκέντρωσαν πολλά δεδομένα από δοκιμές σημειακής φόρτισης που είχαν γίνει σε δοκίμια μεγάλων διαμέτρων και έκαναν αναγωγή στην διάμετρο των 50 mm, κάνοντας χρήση του προαναφερθέντος νομογραφήματος.

Τελικά κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο λόγος της αντοχής σε θλίψη προς το  $I_s(50)$  ήταν ίσος με 29.

Ο Brook (1980) ερεύνησε της πιθανές πηγές σφαλμάτων κατά την εκτέλεση της δοκιμής και πρότεινε έναν αναλυτικό τρόπο διόρθωσης μεγέθους. Η Διεθνής Ένωση Βραχομηχανικής (ISRM, 1985) δέχεται ότι η θλιπτική αντοχή είναι 20 ~ 25 φορές το  $I_s(50)$  κατά μέσο όρο. Αναφέρει όμως ότι σε δοκιμές που εκτελέστηκαν σε διαφόρων τύπων βραχώδη υλικά, οι τιμές κυμαίνονταν από 15 έως 50 ειδικά σε ανισότροπα υλικά. Έτσι η εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής μέσω της σημειακής φόρτισης μπορεί να οδηγήσει σε 100% σφάλμα αν επιλεγθεί αυθαίρετα η τιμή 20 ~ 25. Οι Turk και Dearman (1985) πρότειναν μία απλή γραφική μέθοδο για τον υπολογισμό του  $I_s(50)$ , από αποτελέσματα δοκιμών σε δοκίμια διαφορετικής διαμέτρου. Έτσι προτείνουν την κατάστρωση διαγράμματος  $\log - \log$  των πειραματικά υπολογισμένων  $I_s$  για τις αντίστοιχες διαμέτρους. Η σχέση αυτή συνήθως προσεγγίζει μία ευθεία. Ο Norbury (1986) συνέλεξε δεδομένα από την διεθνή βιβλιογραφία και βρήκε τιμές του λόγου θλιπτικής αντοχής προς τον συντελεστή σημειακής φόρτισης οι οποίες κυμαίνονταν από 8 ~ 54 για διάφορα πετρώματα (γύψοι, ασβεστόλιθοι, ιλυόλιθοι, ψαμμίτες, μαργαϊκά.). Μία αναλυτική λύση προτάθηκε από τους Chau και Wong (1996) για τον υπολογισμό της

θλιπτικής αντοχής βάσει του  $I_{s(50)}$ . Ο λόγος  $\sigma_c / I_{s(50)}$  εξαρτάται από τον λόγο της θλιπτικής προς την εφελκυστική αντοχή, τον λόγο του Poisson, και τις διαστάσεις του δοκιμίου. Η θεωρητική τους πρόβλεψη για την τιμή του λόγου αυτού (14,9) προσέγγισε σε ικανοποιητικό βαθμό τον πειραματικό υπολογισμό (12,5) για βράχους του Hong Kong. Ο Hawkins (1998) αναφέρει ότι ο λόγος  $\sigma_c / I_{s(50)}$  κυμαίνεται από 7 ~ 68 για διαφορετικούς γεωλογικούς σχηματισμούς. Έτσι κατέστρωσε ένα πίνακα δίνοντας διάφορες τιμές του λόγου, για ιζηματογενή και πυριγενή πετρώματα σε ξηρή ή υγρή κατάσταση. Επίσης αναφέρει ότι ο λόγος είναι κατά 50% μικρότερος για κορεσμένα πετρώματα από ότι για ξηρά. Ο Romana (1999), βασισμένος σε δικά του δεδομένα αλλά και σε δεδομένα που άντλησε από την βιβλιογραφία, συμπεραίνει ότι η τιμή του λόγου είναι 14,5 ~ 27 για ασβεστολιθικά υλικά, 12 ~ 24 για ψαμμίτες, 10 ~ 15 για ιλυόλιθους και μάργες και 5 ~ 10 για γύψους και πορώδεις ασβεστόλιθους. Ο Kahraman (2001) εξέτασε 48 διαφορετικά βραχώδη υλικά και κατέληξε σε δύο σχέσεις, μία για πετρώματα με ανθρακικές προσμίξεις και μία για άλλα πετρώματα. Οι Quane και Russel (2003) συσχέτισαν την θλιπτική αντοχή με τον ανηγμένο δείκτη σημειακής φόρτισης ξεχωριστά για σκληρά και ασθενή υλικά. Στην περίπτωση των σκληρών υλικών η σχέση είναι γραμμική ενώ για τα ασθενή όχι. Οι Tsiambaos και Sabatakakis (2004) μελέτησαν την σχέση της θλιπτικής αντοχής και του  $I_{s(50)}$  για ιζηματογενή πετρώματα στον ελλαδικό χώρο. Βάσει των αποτελεσμάτων ο λόγος  $\sigma_c / I_{s(50)}$  κυμαινόταν από 13 για μαλακά υλικά όπου  $I_{s(50)} < 2$  MPa, έως 28 για τα πιο σκληρά με  $I_{s(50)} > 5$  MPa.

Σήμερα η δοκιμή έχει γίνει αποδεκτή από την διεθνή ένωση βραχομηχανικής (ISRM), η οποία την έχει προτυποποίηση, προτείνοντας μία διαδικασία για την διεξαγωγή της (ISRM, 1985). Παρά το γεγονός αυτό, εξακολουθούν να δημοσιεύονται δεκάδες εργασίες οι οποίες θέτουν υπό σοβαρή αμφισβήτηση την αξιοπιστία της δοκιμής.

Παρά το γεγονός ότι η δοκιμή της σημειακής φόρτισης έχει διερευνηθεί πειραματικά από πολλούς ερευνητές, ένας περιορισμένος αριθμός εργασιών έχει δημοσιευτεί με θεωρητική προσέγγιση της δοκιμής. Αναλυτικές λύσεις του



μοντέλου της σημειακής φόρτισης σε κυλινδρικό δοκίμιο έχουν εξετασθεί εδώ και πολλά χρόνια (Dougall, J., 1914 και Filon, 1902). Οι αναλύσεις αυτές αναφέρονται σε ισότροπα ελαστικά υλικά. Πιο πρόσφατα έχουν γίνει και άλλες θεωρητικές αναλύσεις σε ισότροπες σφαίρες (Sternberg and Rosenthal, 1952; Hiramatsu and Oka, 1966) και σε ανισότροπες σφαίρες (Wei and Chau, 1998; Chau and Wei, 1999), για την αξονική σημειακή φόρτιση σε συμπαγείς κυλίνδρους (Peng, 1976; Wijk, 1978; Chau and Wong, 1996; Wei et al., 1999), και για την διαμετρική φόρτιση σε συμπαγείς κυλίνδρους (Wijk, 1980; Chau, 1998). Στόχος των περισσότερων εκ των εργασιών αυτών ήταν κυρίως η εξέταση της κατανομής των εφελκυστικών τάσεων κατά μήκος της εφελκυστικής ζώνης σε ένα δοκίμιο το οποίο υπόκειται στην δοκιμή. Μέχρι σήμερα το φαινόμενο δεν έχει γίνει κατανοητό σε ικανοποιητικό βαθμό (Chau 1998). Περαιτέρω λεπτομέρειες αναφορικά με την θεωρητική προσέγγιση ξεφεύγουν από το αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

#### **4.3 Πρότυπη διαδικασία**

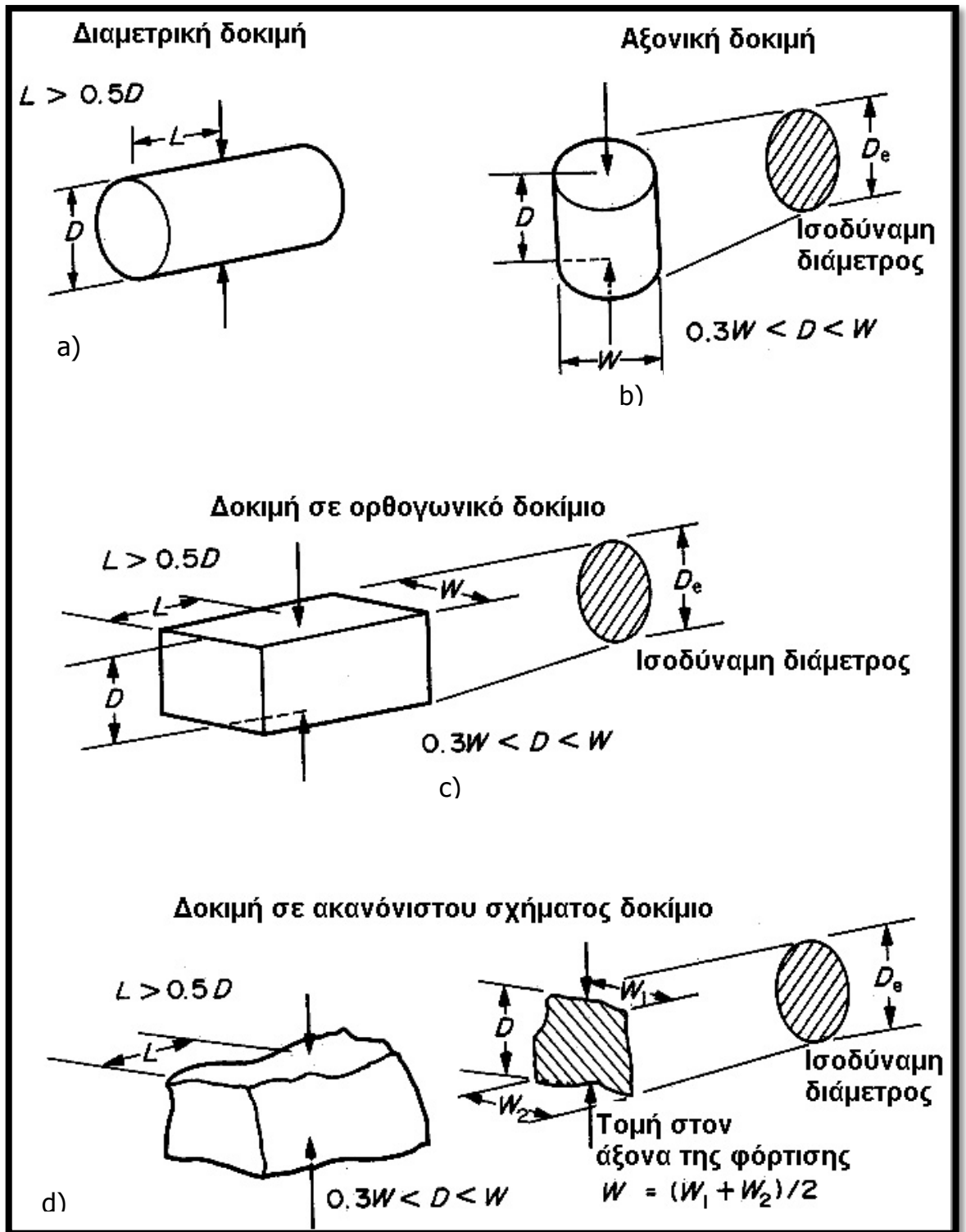
Η ISRM (1985) δίνει οδηγίες για την εκτέλεση τεσσάρων τύπων δοκιμής, ήτοι (Σχήμα 4.4):

- (α) Διαμετρική δοκιμή,
- (β) Αξονική δοκιμή,
- (γ) Δοκιμή ορθογωνικού δοκιμίου και
- (δ) Δοκιμή ακανόνιστου δοκιμίου.

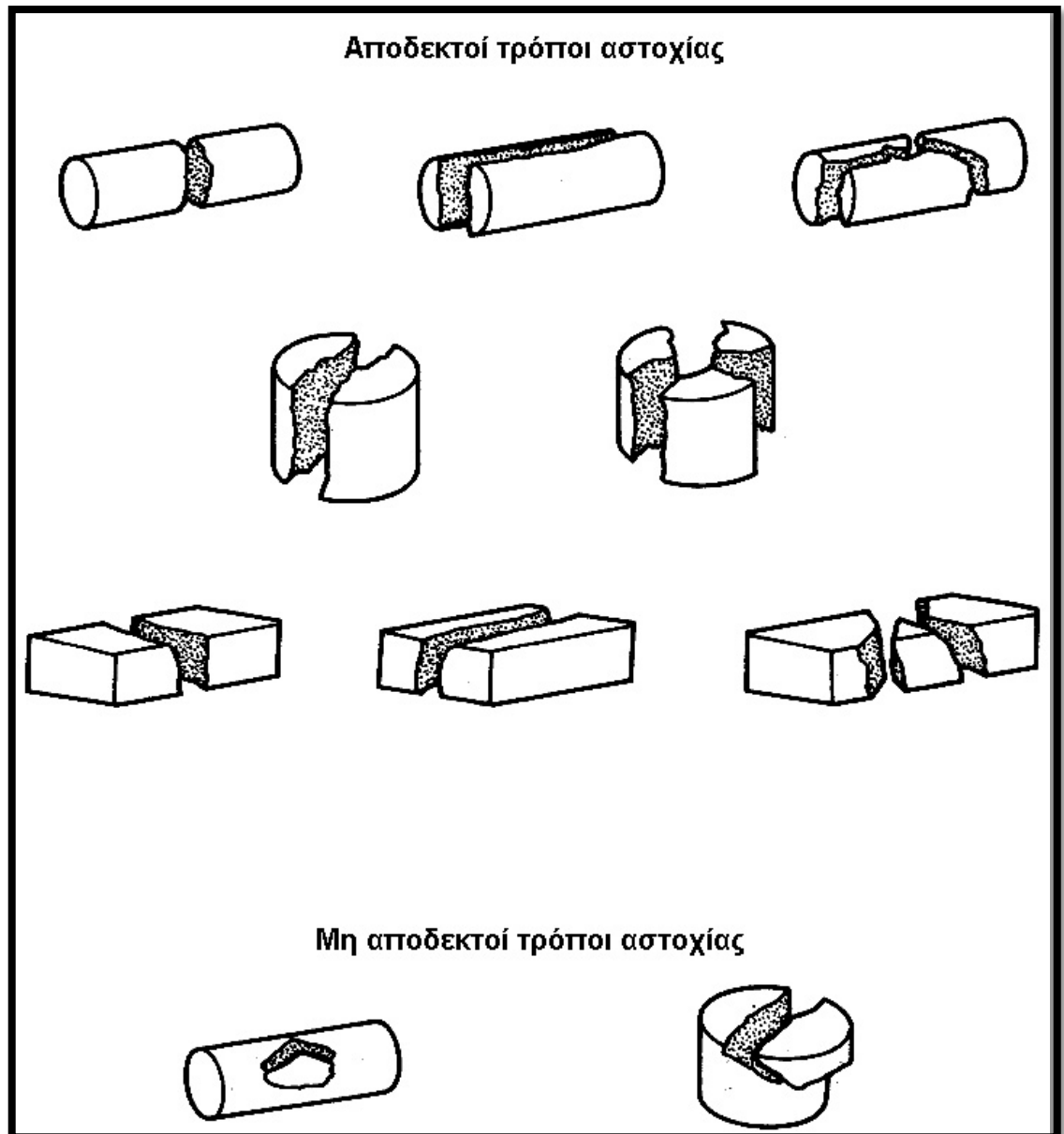
Η διαμετρική δοκιμή, (Σχήμα 4.4a) πραγματοποιείται με αντιδιαμετρική φόρτιση ενός τεμαχίου πυρήνα μέχρι θραύσης με ένα ζεύγος χαλύβδινων ακμών. Κατάλληλα δοκίμια για την εκτέλεση της δοκιμής θεωρούνται αυτά με λόγο μήκους προς διάμετρο μεγαλύτερο από 1.0. Η απόσταση D μεταξύ των ακμών φορτίσεως, που εδώ είναι ίση με τη διάμετρο του δοκιμίου, καταγράφεται με ακρίβεια  $\pm 2\%$ . Το φορτίο αυξάνεται σταδιακά ώστε το δοκίμιο να αστοχήσει σε χρόνο 10-60 sec. Η δύναμη P στην οποία θραύεται ο πυρήνας δίνεται από το δείκτη καταγραφής φορτίου. Η δοκιμή δεν είναι

αποδεκτή εάν η επιφάνεια αστοχίας του δοκιμίου διέρχεται μόνο από το ένα σημείο φόρτισης (Σχήμα 4.5).

Η αξονική δοκιμή πραγματοποιείται με φόρτιση του δοκιμίου παράλληλα προς τον άξονά του (Σχήμα 4.4b). Τα χρησιμοποιούμενα δοκίμια πρέπει να έχουν λόγο ύψους προς διάμετρο  $0.3 \div 1.0$ . Η απόσταση  $D$  μεταξύ των ακμών φορτίσεως, που εδώ είναι ίση με το μήκος του δοκιμίου, καταγράφεται με ακρίβεια  $\pm 2$  %. Το πλάτος του δοκιμίου  $W$  κάθετα προς τη διεύθυνση φορτίσεως καταγράφεται με ακρίβεια  $\pm 5$  %. Το φορτίο αυξάνεται σταδιακά ώστε το δοκίμιο να αστοχήσει σε χρόνο 10 - 60 sec. Η δύναμη  $P$  στην οποία θραύεται ο πυρήνας δίνεται από το δείκτη καταγραφής φορτίου. Η δοκιμή δεν είναι αποδεκτή εάν η επιφάνεια αστοχίας του δοκιμίου διέρχεται μόνο από το ένα σημείο φόρτισης (Σχήμα 4.5).



Σχήμα 4.4: Εναλλακτικοί τρόποι φόρτισης ανάλογα με το σχήμα του δοκιμίου και απαιτούμενες διαστάσεις των δοκιμίων (Σκούρας Ν. 2005).



Σχήμα 4.5: Πιθανοί τρόποι αστοχίας έναντι σημειακής φόρτισης (Σκούρας Ν. 2005).

Η Δοκιμή Ορθογωνικού και Ακανόνιστου Δοκιμίου (Block Test and Irregular Lump Test) πραγματοποιείται σε δοκίμια ορθογωνικής ή ακανόνιστης μορφής που πρέπει να έχουν μέγεθος  $50 \pm 35$  mm και να είναι της μορφής που δίνεται στο Σχήμα 4.4c και Σχήμα 4.4d αντίστοιχα. Ο λόγος  $D/W$  πρέπει να είναι μεταξύ 0.3 και 1.0 και προτιμάται να πλησιάζει το 1.0. Η απόσταση  $L$  (Σχήμα 4.4c και Σχήμα 4.4d) πρέπει να είναι τουλάχιστο  $0,5W$ . Η απόσταση  $D$  μεταξύ των ακμών φορτίσεως καταγράφεται με ακρίβεια  $\pm 2$  %. Το μικρότερο πλάτος του δοκιμίου  $W$  κάθετα προς τη διεύθυνση φορτίσεως

καταγράφεται με ακρίβεια  $\pm 5\%$ . Εάν οι πλευρές του δοκιμίου δεν είναι παράλληλες τότε το  $W$  υπολογίζεται ως  $W = (W1 + W2) / 2$  όπως φαίνεται στο Σχήμα d. Το φορτίο αυξάνεται σταδιακά ώστε το δοκίμιο να αστοχήσει σε χρόνο  $10 \div 60$  sec. Η δύναμη  $P$  στην οποία θραύεται ο πυρήνας δίνεται από το δείκτη καταγραφής φορτίου. Η δοκιμή δεν είναι αποδεκτή εάν η επιφάνεια αστοχίας του δοκιμίου διέρχεται μόνο από το ένα σημείο φόρτισης.



Εικόνα 4.6: Εργαστηριακή μηχανή Matest A-125.

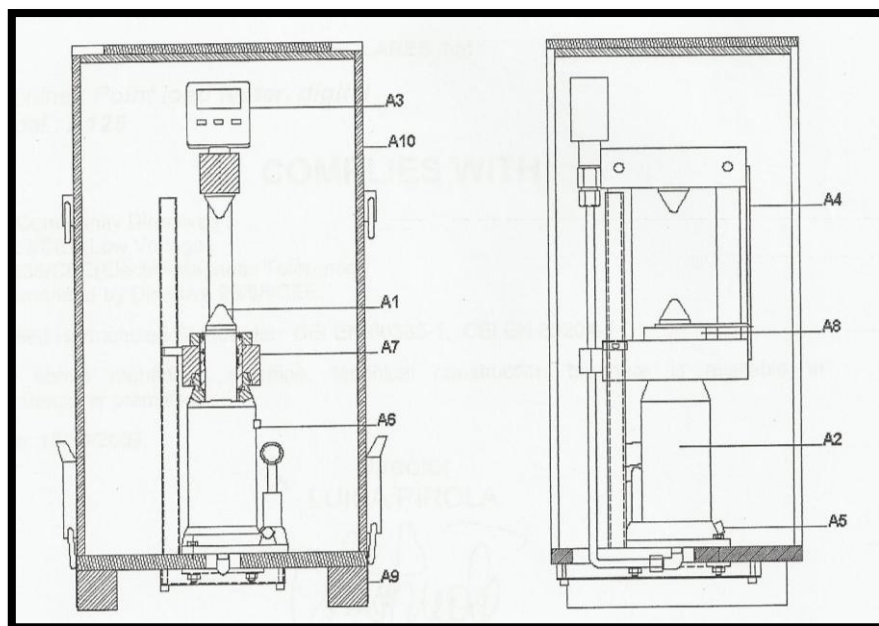
#### **4.3.1 Πειραματικός εξοπλισμός**

Η εργαστηριακή μηχανή που χρησιμοποιήθηκε είναι της εταιρείας Matest, μοντέλου Matest-A125.

Η μηχανή αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

<b>A1</b>	Σημεία στήριξης κωνικού σχήματος
<b>A2</b>	Χειροκίνητη αντλία
<b>A3</b>	Ψηφιακό μετρητή
<b>A4</b>	Βαθμονομημένη κλίμακα μέτρησης
<b>A5</b>	Βαλβίδα απελευθέρωσης
<b>A6</b>	Δοχείο λαδιού υδραυλικής
<b>A7</b>	Λάστιχο οδήγησης του εμβόλου
<b>A8</b>	Σύστημα στερέωσης
<b>A9</b>	Ξύλινη βάση
<b>A10</b>	Ξύλινο κουτί μεταφοράς

Στις εργαστηριακές δοκιμές που έγιναν χρησιμοποιήθηκαν δείγματα ασβεστολίθων οροφής και βωξίτη από τη βωξιτική ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας και συγκεκριμένα από το κοίτασμα 'Σίλας 3'.



Εικόνα 4.7:Τμήματα εργαστηριακής μηχανής Matest-A125.

#### 4.3.2 Εκτέλεση δοκιμής

##### A ) Αξονική δοκιμή

Στην περίπτωση αυτή τα δοκίμια με λόγο μήκους προς διάμετρο ίσο με 0.7, τοποθετήθηκαν στο πλαίσιο έτσι ώστε η φόρτιση να γίνει κατά τον άξονά τους (Σχ.4.10). Η απόσταση D μεταξύ των ακμών φόρτισης είναι το μήκος του δοκιμίου, το οποίο μετρήθηκε με βερνιέρο με ακρίβεια 2 %. Το πλάτος W του δοκιμίου κάθετα προς τη διεύθυνση της φόρτισης είναι ίσο με την διάμετρο του δοκιμίου, η οποία μετρήθηκε με ακρίβεια 5 %. Η φόρτιση έγινε σταδιακά ώστε το δοκίμιο να αστοχήσει σε χρόνο 10 – 60 sec. Το φορτίο στο οποίο έγινε η θραύση ελήφθη από τα μανόμετρα, καθώς αυτά διαθέτουν δείκτη μέγιστου φορτίου.

##### B ) Διαμετρική δοκιμή

Στην περίπτωση αυτή τα δοκίμια με λόγο μήκους προς διάμετρο  $L/D > 1$ , τοποθετήθηκαν στο πλαίσιο έτσι ώστε η φόρτιση να γίνει κατά την διάμετρο αυτών (Σχ.4.8). Στην περίπτωση αυτή η απόσταση D μεταξύ των ακμών φορτίσεως είναι η διάμετρος των δοκιμίων, η οποία μετρήθηκε με ακρίβεια 2 %. Η φόρτιση έγινε σταδιακά ώστε το δοκίμιο να αστοχήσει σε χρόνο 10–60 sec. Το φορτίο στο οποίο έγινε η θραύση ελήφθη από τα μανόμετρα.

##### Γ) Δοκιμή σε ακανόνιστου σχήματος δοκίμιο

Στην περίπτωση αυτή τα δοκίμια με λόγο  $L > 0,5D$  τοποθετήθηκαν στην εργαστηριακή μηχανή (Σχ.4.12) και η φόρτιση έγινε σταδιακά ώστε το δοκίμιο να αστοχήσει σε χρόνο 10-60 sec. Οι πλευρές του δοκιμίου δεν ήταν παράλληλες και το W υπολογίζεται ως  $W = (W_1 + W_2) / 2$  όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.4d.



Εικόνα 4.8: Διαμετρική φόρτιση δοκιμίου.

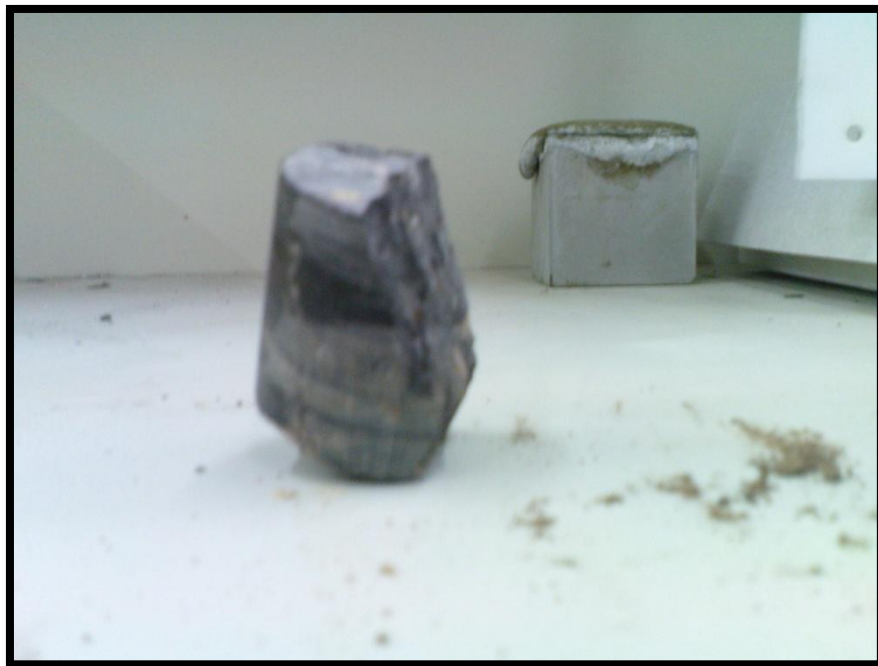


Εικόνα 4.9: Πυρήνας μετά τη διαμετρική φόρτιση του δοκιμίου.





Εικόνα 4.10: Αξονική φόρτιση δοκιμίου



Εικόνα 4.11: Πυρήνας μετά τη αξονική φόρτιση του δοκιμίου.



Εικόνα 4.12: Φόρτιση δοκιμίου ακανόνιστου σχήματος.



Εικόνα 4.13: Δοκίμιο ακανόνιστου σχήματος μετά τη φόρτιση.

### 4.3.3 Αποτελέσματα δοκιμής σημειακής φόρτισης

Από τα πειράματα σημειακής φόρτισης, αφού μετρήθηκαν με ψηφιακό παχύμετρο οι απαιτούμενες διαστάσεις των δοκιμίων, υπολογίστηκε το φορτίο αστοχίας από τον ψηφιακό μετρητή της εργαστηριακής μηχανής και τελικά ο δείκτης σημειακής φόρτισης  $I_s$  και ο διορθωμένος δείκτης σημειακής φόρτισης. Στους πίνακες που ακολουθούν είναι συγκεντρωμένα τα αποτελέσματα από όλες τις δοκιμές που διεξήχθησαν, ταξινομημένα ανά υλικό και τύπο φόρτισης (αξονική, διαμετρική και ακανόνιστου σχήματος).

Οι υπολογισμοί οι οποίοι έγιναν για την κατάστρωση των πινάκων ήταν οι εξής:

- ◆ Αρχικά δόθηκε το φορτίο αστοχίας σε kN από τον ψηφιακό μετρητή της εργαστηριακής μηχανής.
- ◆ Εν συνεχεία υπολογίστηκε η ισοδύναμη διάμετρος  $D_e$ , βάσει της σχέσεως:

$$D_e = \frac{4WD}{\pi} \quad , \text{ όπου:} \quad (27)$$

$W$ : το πλάτος του δοκιμίου κάθετα στον άξονα της δύναμης.

- ◆ Ο δείκτης σημειακής φόρτισης  $I_s$  υπολογίστηκε ως το πηλίκο του φορτίου  $P$  προς το τετράγωνο της ισοδύναμης διαμέτρου  $D_e$ .

$$I_s = \frac{P}{(D_e)^2} \quad (28)$$

- ◆ Τέλος ο διορθωμένος συντελεστής σημειακής φόρτισης  $I_{s(50)}$ , προσδιορίστηκε από τη σχέση

$$I_{s(50)} = F \times I_s \quad (29)$$

όπου F ο συντελεστής διόρθωσης μεγέθους ο οποίος λαμβάνεται είτε από το σχήμα(4.3) είτε από τη σχέση:

$$F = \left( \frac{D_e}{50} \right)^{0,45} \quad (30)$$

**Πίνακας 4.3.** Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων σημειακής φόρτισης δειγμάτων πυρήνα για τον ασβεστόλιθο οροφής του κοιτάσματος 'Σίλας 3'.

α/α	Τύπος φόρτισης	D (mm)	W (mm)	D <sub>e</sub> (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	D <sub>e</sub> <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	P (kN)	I <sub>s</sub> (MPa)	F	I <sub>s(50)</sub> (MPa)
1	Διαμετρική	54,7	-	54,70	-	2992,1	6,95	2,32	1,04	2,42
2	Διαμετρική	53,7	-	53,70	-	2883,7	5,67	1,97	1,03	2,03
3	Αξονική	64,4	54,7	66,99	3523	4487,5	9,65	2,15	1,14	2,45
4	Αξονική	70,5	54,7	70,09	3856	4912,5	8,89	1,81	1,16	2,11

Τα παραπάνω αποτελέσματα προέρχονται από δοκίμια πυρήνων, στα οποία κατέστη δυνατή η πραγματοποίηση της σημειακής φόρτισης τόσο αξονικά όσο και διαμετρικά. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα της δοκιμής σημειακής φόρτισης για ακανόνιστα δείγματα.

**Πίνακας 4.4.** Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων σημειακής φόρτισης ακανόνιστων δειγμάτων για τον ασβεστόλιθο οροφής του κοιτάσματος 'Σίλας 3'.

α/α	D (mm)	W (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	De <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	P (kN)	I <sub>s</sub> (Mpa)	F	I <sub>s(50)</sub> (MPa)
5	53,0	59,37	3146,6	4008,4	8,36	2,09	1,1	2,32
6	62,2	65,82	4094	5215,3	12,15	2,33	1,2	2,75
7	51,0	62,22	3173,2	4042,3	8,57	2,12	1,1	2,36
8	63,7	76,15	4850,8	6179,3	12,64	2,05	1,2	2,51
9	69,5	74,92	5206,9	6633,0	10,63	1,60	1,2	2,00
10	61,4	64,61	3966,4	5052,7	9,22	1,82	1,2	2,14
11	63,4	68,36	4334	5521,0	9,45	1,71	1,2	2,05

**Πίνακας 4.5.** Μέσες τιμές ασβεστολίθου

Μέση τιμή I <sub>s(50)</sub> διαμετρικής ασβεστολίθου	2,22
Μέση τιμή I <sub>s(50)</sub> αξονικής ασβεστολίθου	2,28
Μέση τιμή I <sub>s(50)</sub> ακανόνιστου ασβεστολίθου	2,32

Από την εξαχθείσα τιμή του δείκτη I<sub>s(50)</sub>, το υλικό κρίνεται μέσης αντοχής.

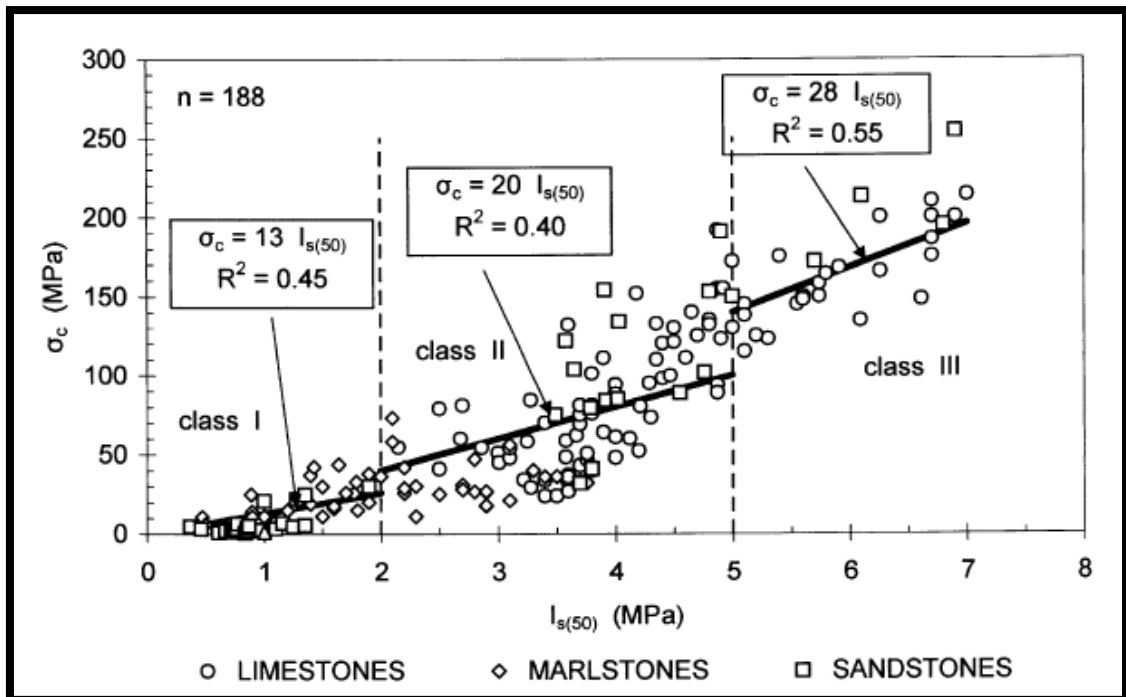
#### **4.4 Συσχέτιση συντελεστή σημειακής φόρτισης ( $I_{s(50)}$ ) και αντοχής του πετρώματος ( $\sigma_c$ ) σε μονοαξονική θλίψη.**

Η συσχέτιση της αντοχής του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη  $\sigma_c$  και του συντελεστή σημειακής φόρτισης  $I_{s(50)}$ , αποτέλεσε αντικείμενο έρευνας για πολλούς επιστήμονες τις τελευταίες δεκαετίες. Έγιναν πολλές μετρήσεις στο εργαστήριο και πολλές δοκιμές ώστε να δοθεί μία κοινώς αποδεκτή σχέση που να συνδέει αυτές τις δύο παραμέτρους που είναι τόσο σημαντικές για την κατανόηση της συμπεριφοράς τόσο του άρρηκτου πετρώματος όσο και της βραχώμαζας.

Για να δοθεί από τους ερευνητές λύση κοινώς αποδεκτή για τη συσχέτιση του  $I_{s(50)}$  και του  $\sigma_c$ , έπειτα από σειρά μετρήσεων ο κάθε ερευνητής πρότεινε τιμές του συντελεστή που συσχέτιζε τον  $I_{s(50)}$ , και το  $\sigma_c$ , εξαρτώμενος από το είδος του εκάστοτε πετρώματος. Αυτό όμως δεν ήταν και η ορθότερη λύση καθότι πολλές από αυτές τις συσχετίσεις διέφεραν εμφανώς. Η διαφορά αυτή οφειλόταν στην ποικιλία της προέλευσης, της θέσης, της υφής και της διαγένεσης των πετρωμάτων. Δηλαδή, για ένα συγκεκριμένο τύπο πετρώματος, χρησιμοποιώντας ένα σταθερό συντελεστή μετατροπής, θα μπορούσε να οδηγήσει σε μη αποδεκτά σφάλματα για την παραγόμενη αντοχή σε θλίψη.

Για το λόγο αυτό και για να αποφευχθούν τα σφάλματα αυτά, δόθηκε από τον Hawkins (1998), ένας πολύ απλουστευμένος πίνακας των ειδικών συντελεστών μετατροπής για δείγματα πυρήνων ιζηματογενών πετρωμάτων είτε σε ξηρές είτε σε υγρές συνθήκες, προτείνοντας την αύξηση του συντελεστή μετατροπής με την αύξηση του συντελεστή σημειακής φόρτισης  $I_{s(50)}$ .

Οι Τσιαμπάος και Σταμπατακάκης το 2004, έπειτα από υπολογισμό των  $UCS$  και  $I_{s(50)}$  μίας σειράς 188 δειγμάτων κατέληξαν στην εξαγωγή μίας σχέσης συσχέτισης των δύο παραπάνω συντελεστών βάσει ενός συντελεστή μετατροπής. Ο συντελεστής μετατροπής ποικίλει ανάλογα με τον συντελεστή σημειακής φόρτισης του εκάστοτε πετρώματος και κατηγοριοποιώντας τα πετρώματα αυτά, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 4.14. Κατηγοριοποίηση πετρωμάτων (Τσιαμπάος και Σταμπατακάκης, 2004).

Στην κατηγορία I, όπως παρατηρούμε ο συντελεστής μετατροπής παίρνει την τιμή 13 για τιμές του  $I_{s(50)}$  από 0-2 MPa, δηλαδή με βάση τον πίνακα Bieniawski (1975) για χαμηλής αντοχής πετρώματα όπως οι μάργες.

$$\sigma_c = 13I_{s(50)} \quad (R^2 = 0,45) \quad (31)$$

Στην κατηγορία II, ο συντελεστής μετατροπής παίρνει την τιμή 20 για τιμές του  $I_{s(50)}$  από 2-5 MPa, δηλαδή για μέσης αντοχής πετρώματα όπως οι ασβεστόλιθοι.

$$\sigma_c = 20I_{s(50)} \quad (R^2 = 0,40) \quad (32)$$

Στην κατηγορία III, ο συντελεστής μετατροπής παίρνει την τιμή 28 για τιμές του  $I_{s(50)} > 5$  MPa, δηλαδή για υψηλής αντοχής πετρώματα όπως ο ψαμμίτης.

$$\sigma_c = 28I_{s(50)} \quad (R^2 = 0,55) \quad (33)$$

Με βάση τις παραπάνω εξισώσεις και το συντελεστή σημειακής φόρτισης  $I_{s(50)}$  που προέκυψε από τα δείγματα ασβεστολίθου οροφής του βωξίτικου κοιτάσματος 'Σίλας 3' η εξίσωση που θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη  $\sigma_c$ , είναι η εξίσωση 32, καθότι τα πετρώματα χαρακτηρίστηκαν ως μέσης αντοχής. Επομένως η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη για τα δείγματα ακανόνιστου σχήματος θα είναι:

$$\sigma_c = 20I_{s(50)} \leftrightarrow$$

$$\sigma_c = 20 \cdot 2,32 = 46,4 \text{MPa}$$

Με βάση τον πίνακα 4.6 για την επιτόπου εκτίμηση της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής  $\sigma_c$ , και την υπολογισθείσα τιμή του  $\sigma_c$  από την εξίσωση 13, ο ασβεστόλιθος οροφής του βωξίτικου κοιτάσματος 'Σίλας 3' χαρακτηρίζεται ως μέτρια ισχυρός προς ισχυρός.



**Πίνακας 4.6.** Επιτόπου εκτίμηση της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής  $\sigma_c$  (ISRM, 1985).

Βαθμός*	Πέτρωμα	Μονοαξονική θλιπτική αντοχή [MPa]	Δείκτης σημειακής φόρτισης [MPa]	Επιτόπου εκτίμηση της αντοχής με βάση το αποτέλεσμα χτυπήματος του πετρώματος με γεωλογικό σφυρί	Παραδείγματα
R6	Εξαιρετικά ισχυρό	>250	>10	Το πέτρωμα αντηχεί. Μικρά θραύσματα	Υγιής βασάλτης, κερατόλιθος, διαβάσης, γνεύσιος, γρανίτης, χαλαζίτης
R5	Πολύ ισχυρό	100-250	4-10	Απαιτούνται πολλαπλά χτυπήματα του δοκιμίου για να θραυσθεί το άρρηκτο πέτρωμα	Αμφιβολίτης, ψαμμίτης, βασάλτης, γάββρος, γνεύσιος, γρανοδιορίτης, ασβεστόλιθος, μάρμαρο, ρυόλιθος, τόφφος
R4	Ισχυρό	50-100	2-4	Θραύεται το δοκίμιο από ένα δυνατό χτύπημα.	Ασβεστόλιθος, μάρμαρο, φυλλίτης, ψαμμίτης, σχιστόλιθος
R3	Μέτρια ισχυρό	25-50	1-2	Ισχυρό χτύπημα με το οξύ άκρο δημιουργεί εγκοπή 5mm. Χαράζεται από το μαχαίρι.	Πηλίτης, άνθρακας, σκυρόδεμα, σχιστόλιθος, ιλύολιθος
R2	Ασθενές	5-25	**	Κόβεται από το μαχαίρι, αλλά πολύ σκληρό για να διαμορφωθούν τριαξονικά δοκίμια.	Κιμωλία, ορυκτό αλάτι, ποτάσα
R1	Πολύ ασθενές	1-5	**	Θρυμματίζεται από δυνατά χτυπήματα με το οξύ άκρο του γεωλογικού σφυριού. Μορφώνεται με το μαχαίρι.	Ισχυρά αποσαθρωμένο ή εξαλλοιωμένο πέτρωμα
R0	Εξαιρετικά ασθενές	0.25-1	**	Χαράζεται με το νύχι	Στιφρή άργιλος μέσα σε ρήγματα

#### **4.5 Μελέτη των ασβεστολίθων οροφής του «Σίλας 3», με τη βοήθεια πολωτικού και ηλεκτρονικού μικροσκοπίου**

##### **4.5.1 Μελέτη στο πολωτικό μικροσκόπιο**

Η δυσκολία που προέκυψε κατά την εξαγωγή πυρήνων από τους ασβεστολίθους οροφής του κοιτάσματος «Σίλας 3», ώστε να πραγματοποιηθεί η δοκιμή *point load*, οδήγησε στην περαιτέρω μελέτη και διερεύνηση της σύστασης του ασβεστολίθου με τη βοήθεια πολωτικού και ηλεκτρονικού μικροσκοπίου.

Αφού δόθηκε το δείγμα του ασβεστολίθου στο Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε), εξήχθη αντιπροσωπευτικό δείγμα το οποίο μπορούσε να μελετηθεί τόσο στο πολωτικό όσο και στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο του τμήματος των Μεταλλειολόγων.



Εικόνα 4.15. Αντιπροσωπευτικό δείγμα ασβεστολίθου οροφής.

Στο Ι.Γ.Μ.Ε έγινε η απαραίτητη λείανση και κοπή του δείγματος και αφού στάλθηκε η απαραίτητη τομή του πετρώματος εξετάσθηκε πρώτα στο πολωτικό μικροσκόπιο ώστε να εξαχθεί μια γενική εικόνα των ορυκτών που το απαρτίζουν.

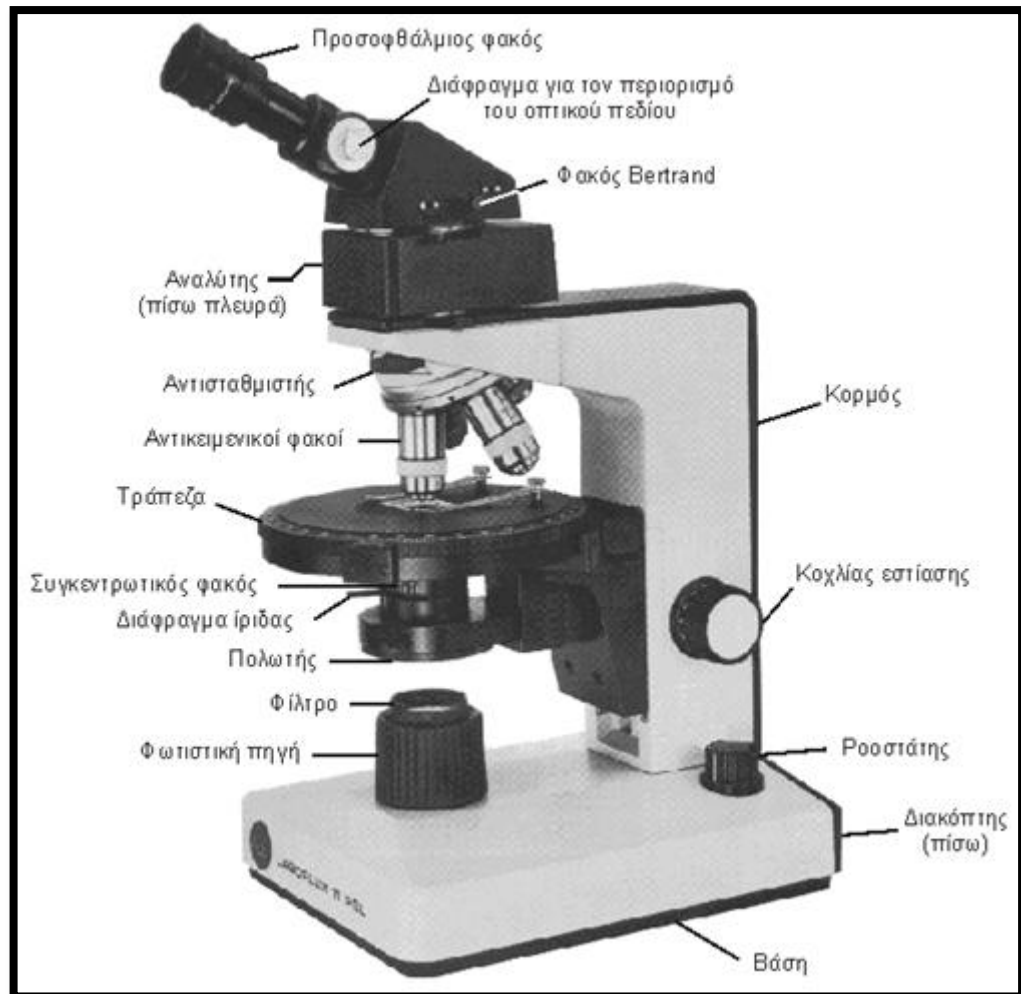


Εικόνα 4.16. Τομή του ασβεστολίθου οροφής.

Εν συνεχεία, τοποθετήθηκε η παραπάνω τομή στο πολωτικό μικροσκόπιο και παρατηρήθηκε με παράλληλα και διασταυρωμένα Nicols (πολωτής και αναλυτής), ώστε να διαπιστωθούν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της τομής του ασβεστολίθου.

Στα Διασταυρωμένα Nicols (Nicols X, N+): ο αναλυτής παρεμβάλλεται στην πορεία του φωτός, τότε ο πολωτής και ο αναλυτής είναι διασταυρωμένοι και η παρατήρηση γίνεται με πολωτή και αναλυτή ή με διασταυρωμένα Nicols. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει τίποτε στην τράπεζα του μικροσκοπίου το πεδίο παρατήρησης φαίνεται σκοτεινό, διότι το πολωμένο φως που φθάνει στον αναλυτή έχει διεύθυνση κράδανσης κάθετη.

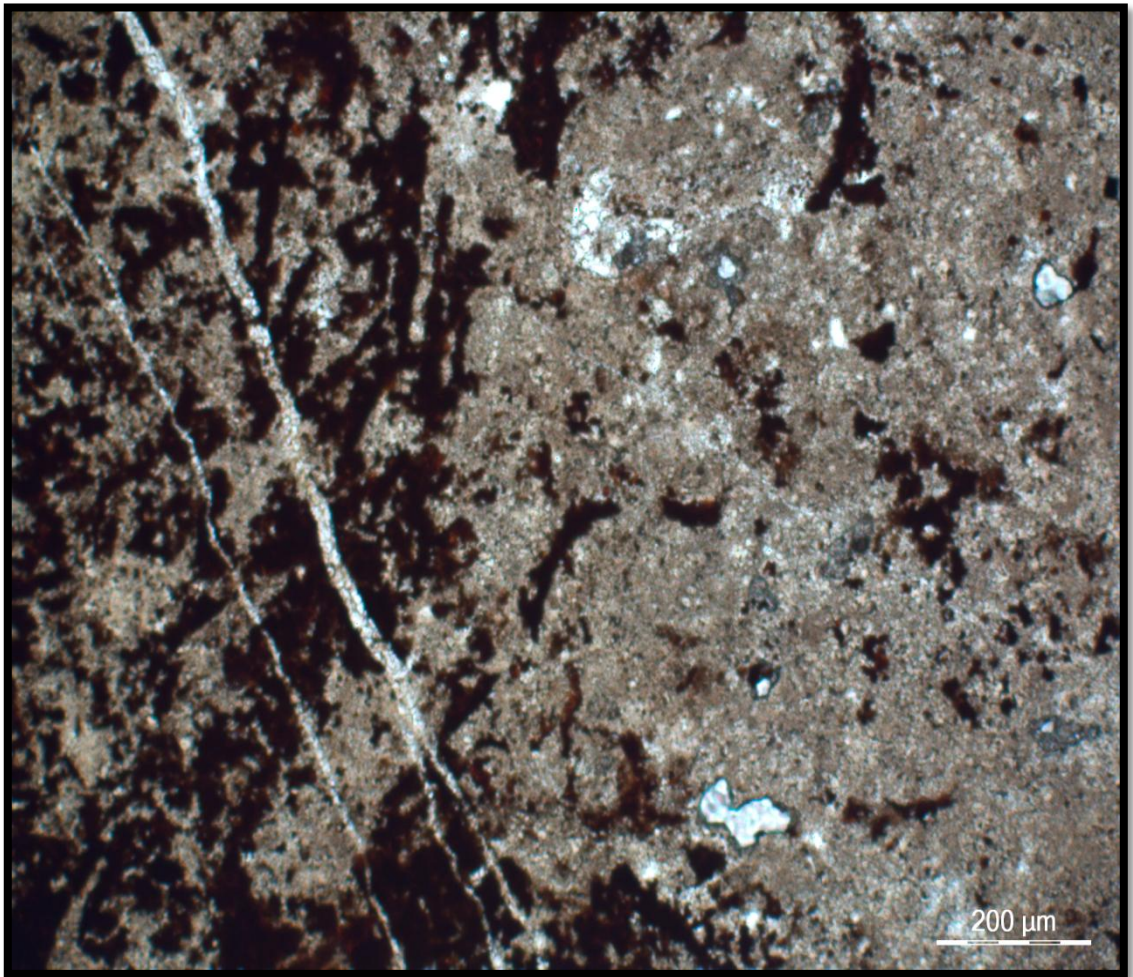
Στα Παράλληλα Nicols (Nicols //, N-): ο αναλυτής απομακρύνεται από την πορεία του φωτός, τότε το πεδίο είναι φωτεινό. Ο πολωτής και ο αναλυτής είναι παράλληλοι και η παρατήρηση γίνεται μόνο με πολωτή ή με παράλληλα Nicols.



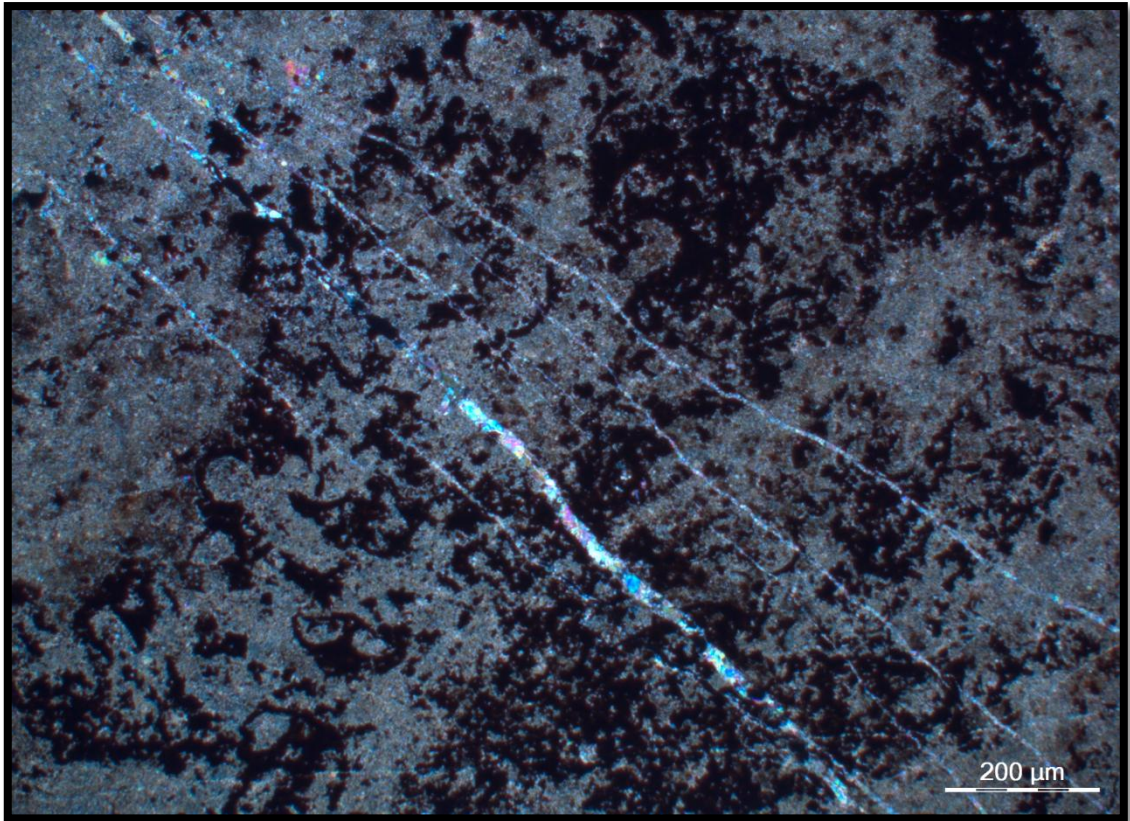
Εικόνα 4.17. Πολωτικό μικροσκόπιο.

Μετά από παρατήρηση της τομής στο πολωτικό μικροσκόπιο, διαπιστώθηκε ότι το μεγαλύτερο τμήμα της τομής αποτελείται από ασβεσίτη, ο οποίος στα διασταυρωμένα Nicols είναι γκρί-τεφρός (σκουρόχρωμος) και στα παράλληλα είναι γκρί-καστανός (ανοιχτόχρωμος). Τόσο στα παράλληλα όσο και στα διασταυρωμένα Nicols, παρατηρούμε κάποιες διακλάσεις στις οποίες είναι πιθανόν να έχει εισχωρήσει ρευστό πλούσιο σε  $\text{CO}_2$  και να έγινε ανακρυστάλλωση. Επίσης με πιο προσεκτική παρατήρηση, διαπιστώνεται και η ύπαρξη απολιθωμάτων, τα οποία φαίνονται πιο έντονα στα διασταυρωμένα Nicols και εστίαση  $\times 20$ , και έχουν καμπυλωτό σχήμα. Στα διασταυρωμένα Nicols, παρατηρούμε μια μεγάλη περιοχή με μαύρο χρώμα, η οποία αντιστοιχεί σε οργανικό άνθρακα, το οποίο επιβεβαιώνεται και από την οσμή που δίνει το πέτρωμα όταν κοπεί ή θραυστεί. Τέλος στα διασταυρωμένα και ιδιαίτερα στα

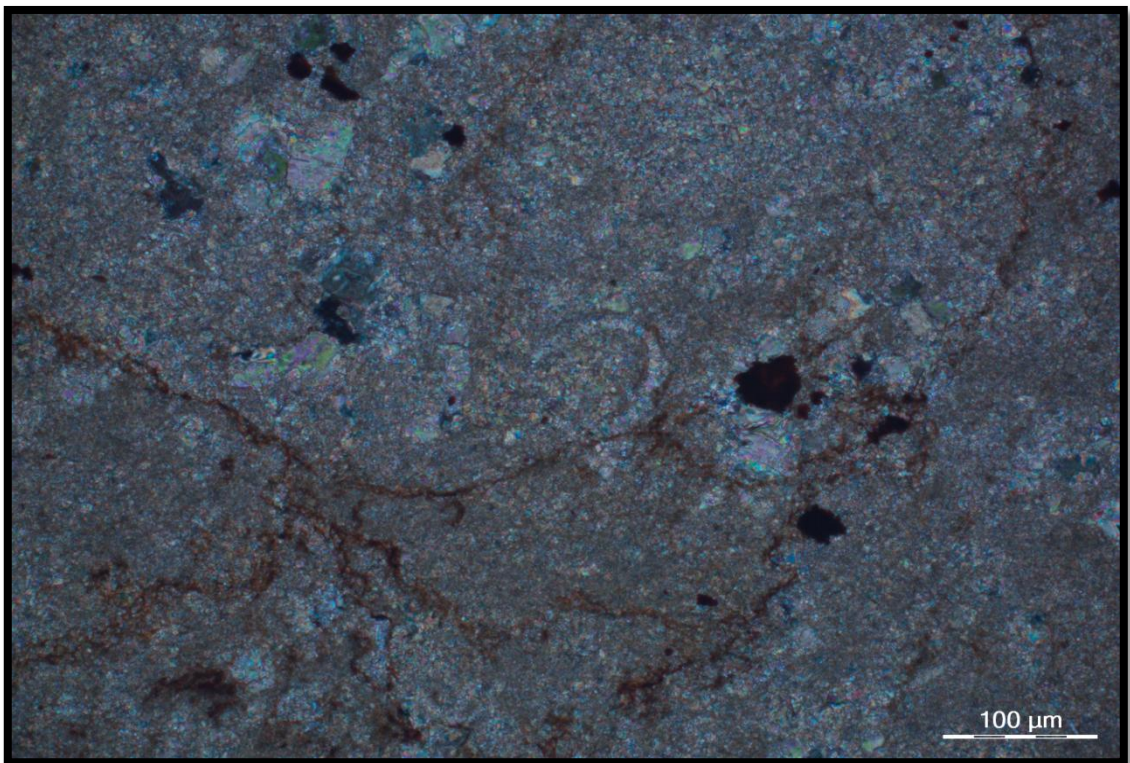
παράλληλα Nicols, εντοπίζονται τμήματα κόκκων με κόκκινο χρώμα , οι οποίοι υπάρχουν είτε αυτούσιοι, είτε αναμεμιγμένοι στη μάζα του ασβεστίτη. Τα τμήματα αυτά αντιστοιχούν σε οξειδία, τα οποία προσδίδουν την ιδιαίτερη σκληρότητα που αντιμετωπίστηκε κατά την κοπή του πετρώματος. Η περαιτέρω διερεύνηση της σύστασης των οξειδίων αυτών πραγματοποιήθηκε στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, ώστε να μελετηθεί και το ποσοστό κατ' όγκον στη μάζα του ασβεστολίθου



Εικόνα 4.18. Τομή ασβεστολίθου στα παράλληλα Nicols και με εστίαση x10.



Εικόνα 4.19. Τομή ασβεστολίθου στα διασταυρωμένα Nicols, με εστίαση x10.



Εικόνα 4.20. Τομή ασβεστολίθου στα διασταυρωμένα Nicols, με εστίαση x20.

## **4.5.2 Μελέτη στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο**

### **4.5.2.1 Γενικά στοιχεία**

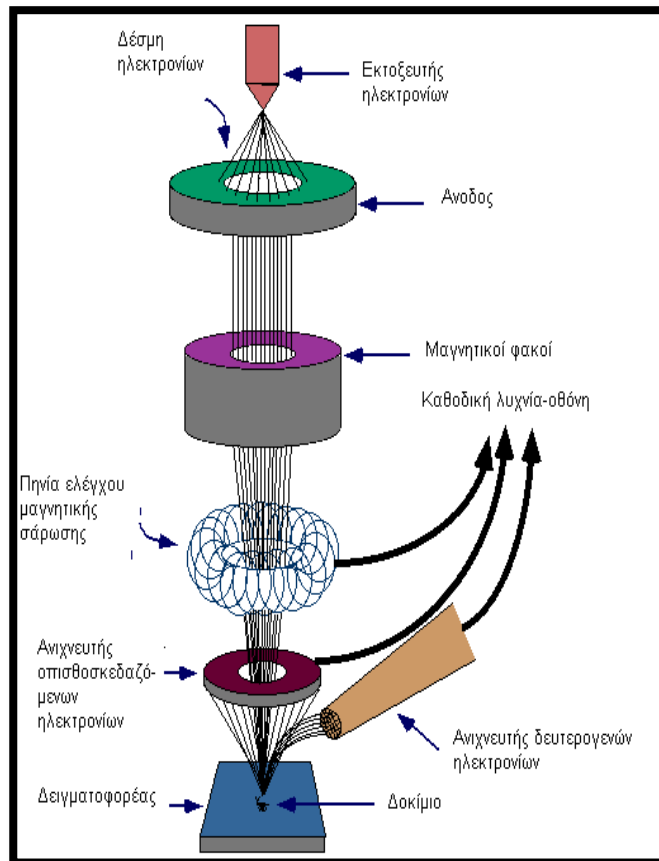
Η Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (Scanning Electron Microscopy, SEM) είναι μία από τις σύγχρονες και ευέλικτες μεθόδους ανάλυσης της μικροδομής μεγάλου αριθμού υλικών.

Η ικανότητα των οπτικών μικροσκοπίων περιορίζεται λόγω της φύσης του φωτός σε επίπεδα μεγενθύνσεων έως 1000x και σε διακριτική ικανότητα έως 0.2 μm. Στις αρχές της δεκαετίας του '30 υπήρχε ήδη η ανάγκη για εξέταση του εσωτερικού του κυττάρου (πυρήνας, μιτοχόνδρια κλπ.) που απαιτούσε μεγενθύνσεις μεγαλύτερες του 10,000 x. Η απαίτηση αυτή οδήγησε στην ανακάλυψη και εφαρμογή των ηλεκτρονικών μικροσκοπίων. Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο διέλευσης ή διαπερατότητας (TEM, Transmission Electron Microscope) ήταν το πρώτο είδος ηλεκτρονικού μικροσκοπίου και στη συνέχεια ακολούθησε το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM, Scanning Electron Microscope).

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης είναι ένα όργανο που λειτουργεί όπως περίπου και ένα οπτικό μικροσκόπιο μόνο που χρησιμοποιεί δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας αντί για φως, για να εξετάσει αντικείμενα σε λεπτομερή κλίμακα. Τα ηλεκτρόνια λόγω της κυματικής τους φύσης μπορούν να εστιαστούν όπως και τα φωτεινά κύματα αλλά σε πολύ μικρότερη επιφάνεια (π.χ. κόκκος υλικού). Η δέσμη ηλεκτρονίων σαρώνει την επιφάνεια του δείγματος με το οποίο αλληλεπιδρά. Από την αλληλεπίδραση αυτή προκύπτουν πληροφορίες σε σχέση με τα άτομα των στοιχείων που απαρτίζουν το εξεταζόμενο υλικό. Από τα άτομα των στοιχείων εκπέμπονται κυρίως δευτερογενή (secondary) και οπισθοσκεδαζόμενα (backscattered) ηλεκτρόνια καθώς και ακτίνες X. Η ένταση των εκπεμπομένων ηλεκτρονίων επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας. Έτσι το SEM δίνει πληροφορίες που αφορούν κυρίως στη μορφολογία και στη σύσταση της επιφάνειας. Εφαρμόζοντας ένα σύστημα ανίχνευσης της διασποράς των ενεργειών των ακτίνων X που δημιουργούνται στην επιφάνεια από την

προσπίπτουσα δέσμη, μπορεί να γίνει ημιποσοτική στοιχειακή ανάλυση του υλικού.

Επομένως το SEM χρησιμοποιείται για την εξέταση μικροδομής στερεών δειγμάτων και για να δίνει εικόνες υψηλού βαθμού διεύθυνσης.



Εικόνα 4.21. Διάγραμμα λειτουργίας ηλεκτρονικού μικροσκοπίου

#### 4.5.2.2 Προετοιμασία δείγματος

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο έχει το πλεονέκτημα ότι χρειάζεται ελάχιστη προετοιμασία δείγματος. Όμως, η προσεκτική προετοιμασία και η σωστή χρήση του μικροσκοπίου θα έχουν ως αποτέλεσμα εικόνες υψηλής ποιότητας και αξιόπιστες φασματομετρικές πληροφορίες. Για να πάρουμε καλές εικόνες είναι απαραίτητο οι επιφάνειες να μην έχουν μολυνθεί, να υπάρχει αντίσταση του δείγματος στο υψηλό κενό και στην ηλεκτρονική ακτίνα, απουσία ηλεκτρικής φόρτισης και αρκετά υψηλή παροχή



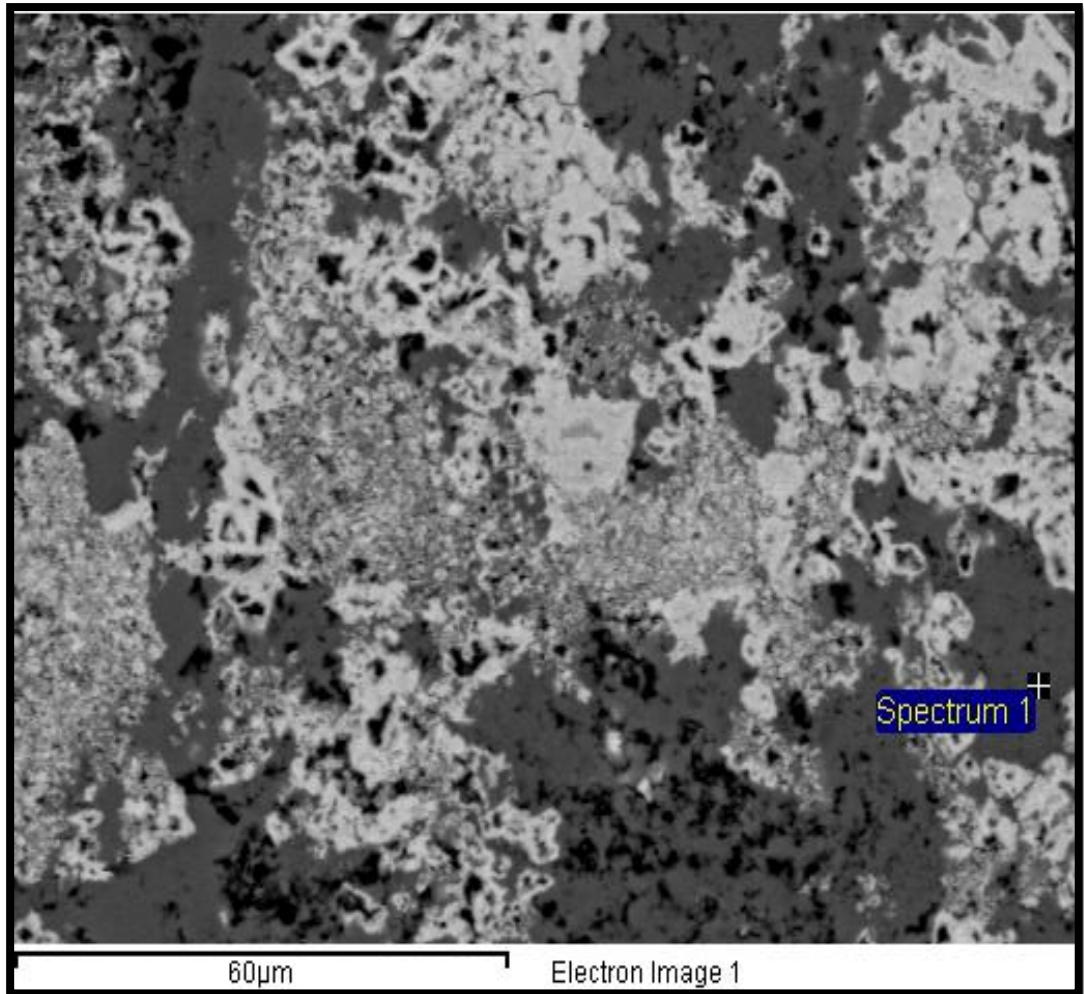
ηλεκτρονίων. Δείγματα από ηλεκτρικά αγώγιμα υλικά, πρέπει μόνο να τεμαχιστούν στο κατάλληλο μέγεθος και να τοποθετηθούν με ασφάλεια στο μικροσκόπιο. Η κάθε περιοχή της επιφάνειας προετοιμάζεται με τον ίδιο τρόπο όπως και στο οπτικό μικροσκόπιο, όμως πρέπει να προσέξουμε τον καθαρισμό, καθώς και τα υπολείμματα των υλικών καθαρισμού.

Εάν κατά τη διάρκεια της μέτρησης έχουμε φόρτιση της επιφάνειας, παρατηρείται ανάκλαση της εκπεμπόμενης ακτίνας, πράγμα που φαίνεται στην εικόνα και έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή της εκπομπής δευτερευόντων ηλεκτρονίων. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί ή με τη χρήση ανιχνευτού για μη αγώγιμα υλικά σε περιβάλλον χαμηλού κενού, ή με την χρήση αγώγιμων επικαλυπτικών στρώματων. Το στρώμα πρέπει να είναι αρκετά παχύ ούτως ώστε να δημιουργεί ένα αγώγιμο μονοπάτι, αλλά και όσο γίνεται πιο λεπτό, για να αποφευχθεί η κάλυψη των λεπτομερειών. Συνήθως χρησιμοποιείται στρώμα από χρυσό, γραφίτη ή λευκόχρυσο.

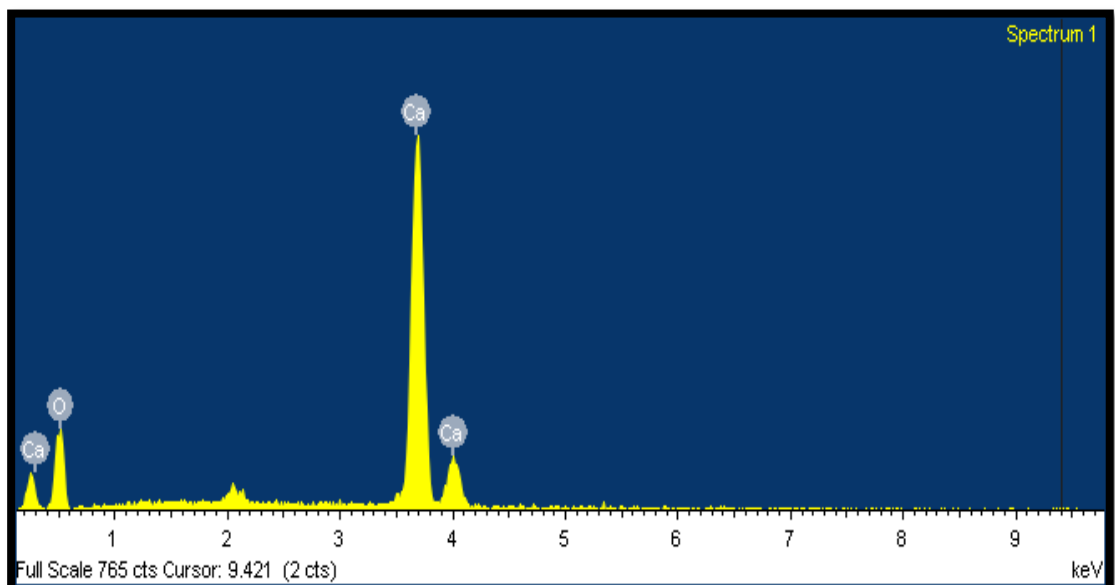
#### **4.5.2.3 Αποτελέσματα - Παρατηρήσεις**

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου είναι η παρατήρηση και η καταγραφή της ιστολογικής φάσης του εξετιζόμενου δείγματος, καθώς επίσης και η παρατήρηση των προσμίξεων των οξειδίων με τα ορυκτά του πετρώματος. Επιπλέον οι διαφοροποιήσεις του χρώματος στις εικόνες που προκύπτουν κατά την επεξεργασία του δείγματος, αντιστοιχούν σε διαφορετική χημική σύσταση. Πιο συγκεκριμένα, ανοιχτόχρωμες φάσεις αντιστοιχούν σε στοιχεία με μεγαλύτερο μοριακό βάρος, ενώ σκουρόχρωμες φάσεις αντιστοιχούν σε στοιχεία με μικρότερο μοριακό βάρος.

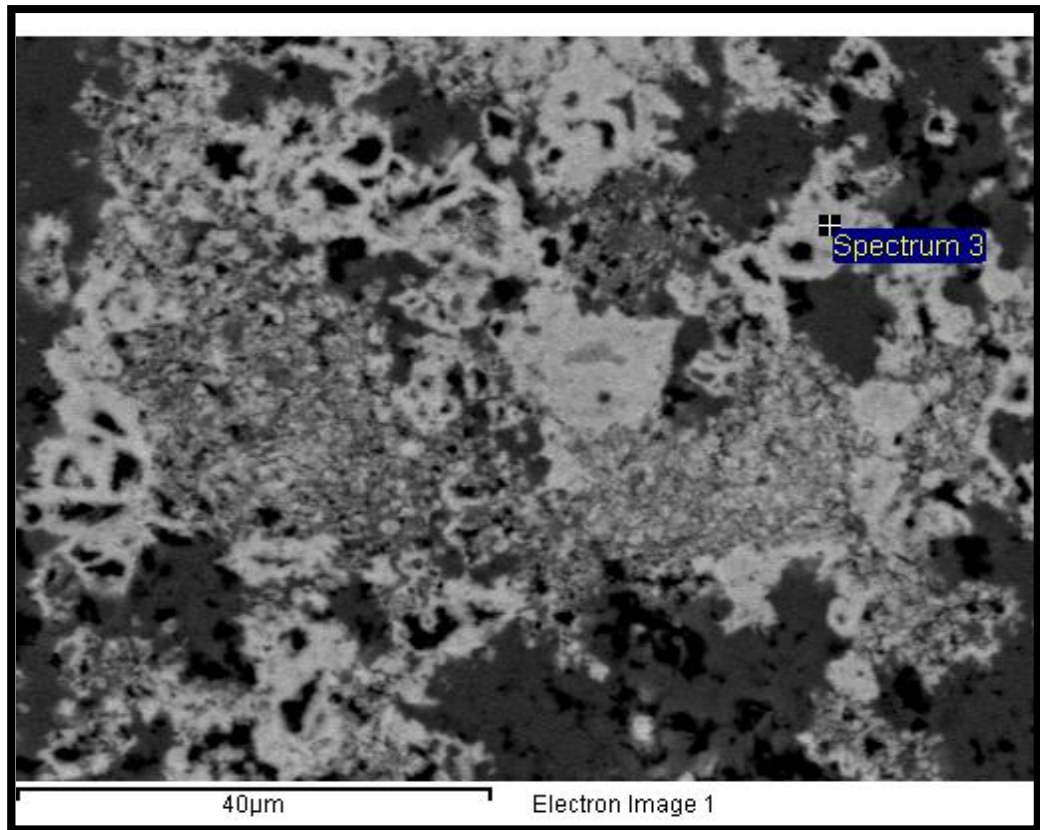
Στο συγκεκριμένα δείγμα ασβεστολίθου που εξετάζεται, η ανοιχτόχρωμη φάση αντιστοιχεί σε οξείδια του Fe, τα οποία ανιχνεύτηκαν με τη βοήθεια του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου, η μαύρη φάση αντιστοιχεί σε οργανικά στοιχεία και συγκεκριμένα στον άνθρακα κάτι το οποίο επιβεβαιώθηκε και με την ιδιαίτερη οσμή κατά τη θραύση του δοκιμίου στο εργαστήριο της εδαφομηχανικής και τέλος η γκρι φάση αντιστοιχεί στον ασβεστίτη που αποτελεί και την πλειονότητα του εν λόγω ασβεστολίθου.



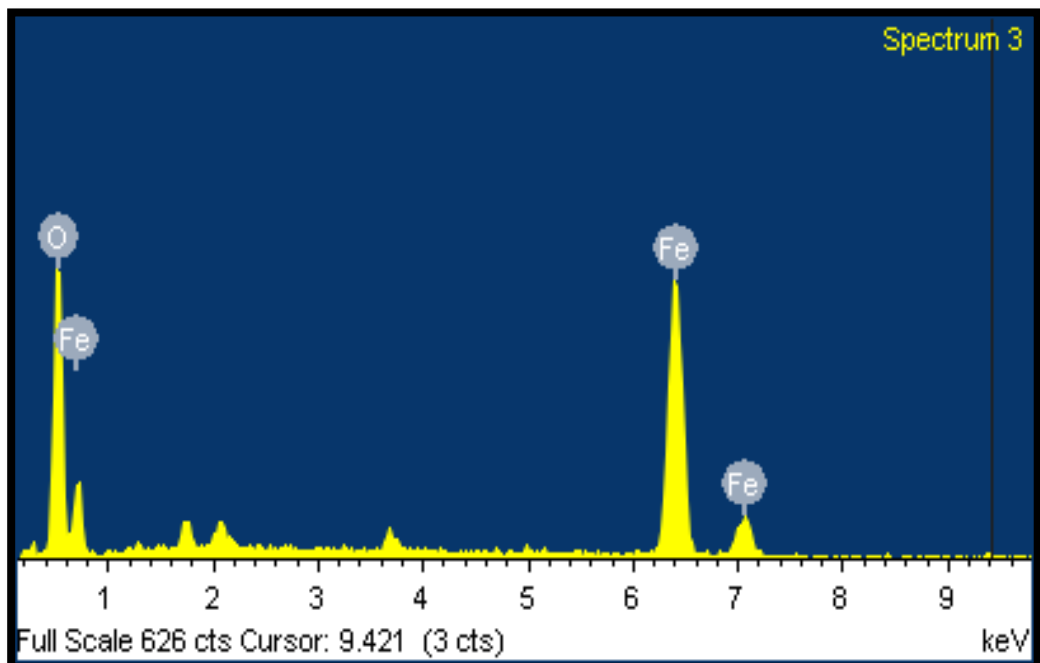
Εικόνα 4.22. Κατανομή φάσεων τομής ασβεστολίθου. Ύπαρξη ασβεστίου



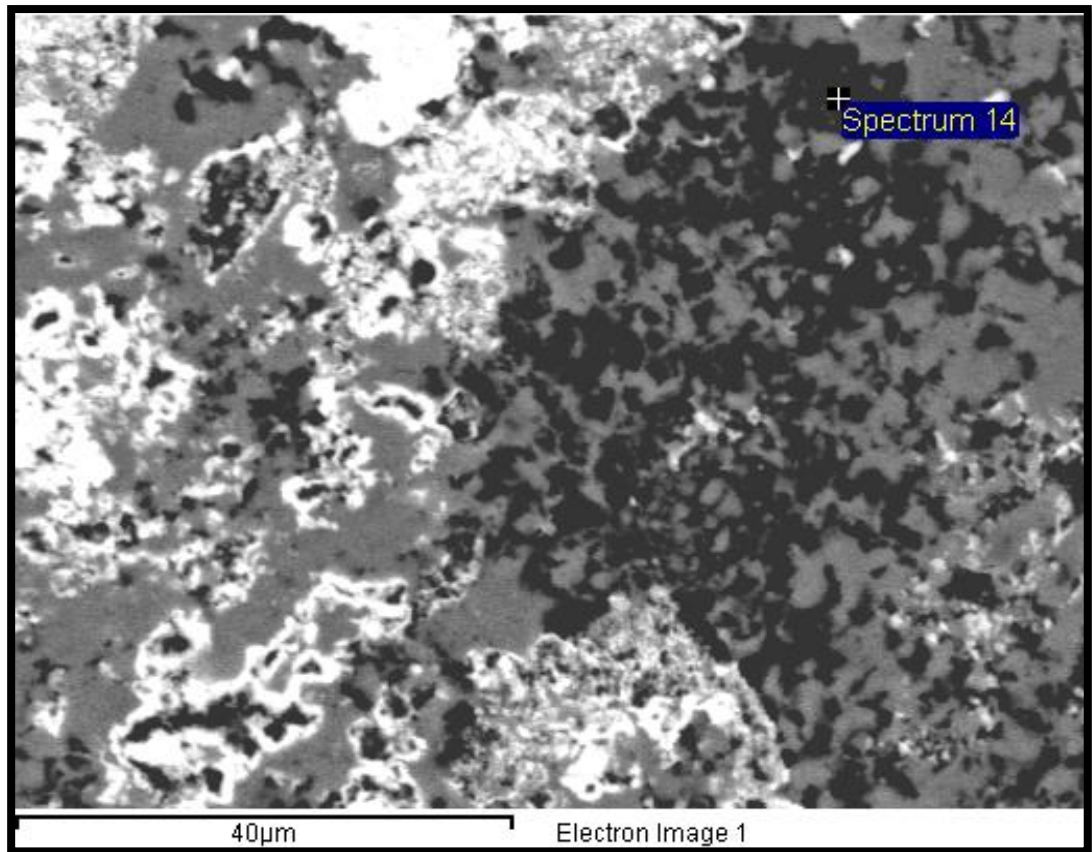
Εικόνα 4.23. Χαρακτηριστικό φάσμα ακτίνων Χ. Ύπαρξη ασβεστίου.



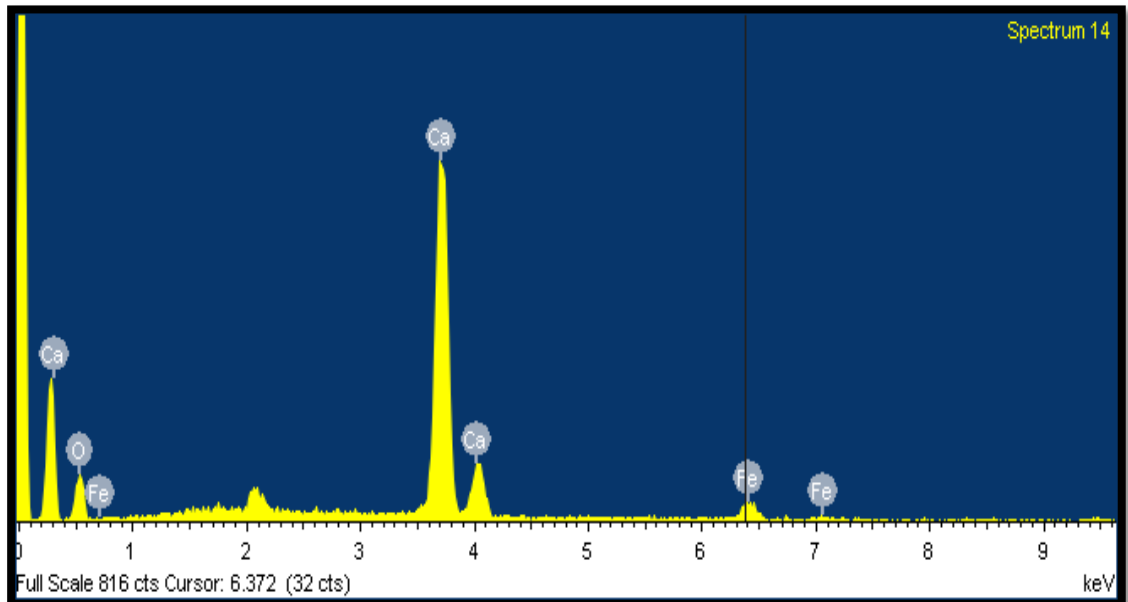
Εικόνα 4.24. Κατανομή φάσεων τομής ασβεστολίθου. Ύπαρξη σιδήρου.



Εικόνα 4.25. Χαρακτηριστικό φάσμα ακτίνων Χ. Ύπαρξη σιδήρου.



Εικόνα 4.26. Κατανομή φάσεων τομής ασβεστολίθου. Ύπαρξη άνθρακα.



Εικόνα 4.27. Χαρακτηριστικό φάσμα ακτίνων Χ. Ύπαρξη άνθρακα.

Εκτός από τις εικόνες για τις εκάστοτε φάσεις των διαφόρων στοιχείων της τομής του ασβεστολίθου, εξήχθη και πίνακας που αποτυπώνει το ποσοστό κατ' όγκον του σιδήρου (Fe). Παρατηρούμε ότι το ποσοστό του

σιδήρου είναι της τάξης του 78% στην εξατοζόμενη επιφάνεια, το οποίο ερμηνεύει τη δυσκολία εξαγωγής πυρήνων, στο εργαστήριο Εδαφομηχανικής, με το τρυπάνι.

Με βάση την ανάλυση του ασβεστολίθου με τη βοήθεια τόσο του πολώτικου, όσο και ιδιαίτερα του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου, το πέτρωμα αυτό χαρακτηρίζεται ως:

**Βιτουμενιούχος μικριτικός ασβεστόλιθος τεφρού – γκρί χρώματος, πλούσιος σε οξείδια Fe και αποτελούμενος από διακλάσεις που έχουν πληρωθεί με δευτερογενή ασβεστίτη.**

Element	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Fe K	77.73	50.00	100.00	FeO
O	22.27	50.00		
Totals	100.00			

Εικόνα 4.28. Ποσοστό κατ' όγκον του σιδήρου στην εξατοζόμενη περιοχή της τομής.

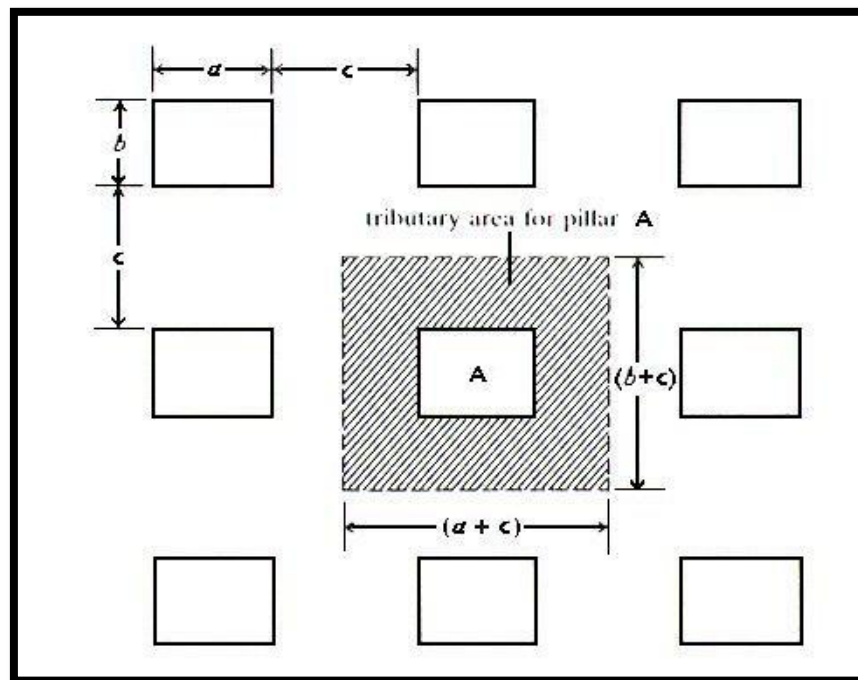
#### **4.6 Συσχέτιση της αντοχής του πετρώματος και των διαστάσεων των στύλων για το υπόγειο κοίτασμα 'Σίλας 3'.**

Ο σχεδιασμός των στύλων στη συγκεκριμένη μέθοδο μπορεί να γίνει αρκετά απλά με βάση τη θεωρία της συνεισφέρουσας επιφάνειας (tributary load area). Όπως φαίνεται στο σχήμα, σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, κάθε στύλος φέρει το φορτίο του πετρώματος που βρίσκεται μέσα στο κατακόρυφο ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο, του οποίου γενέτειρα είναι οι άξονες που χωρίζουν στη μέση τους διαδρόμους που περιβάλλουν το στύλο.

Η οριζόντια αυτή επιφάνεια ονομάζεται συνεισφέρουσα. Τα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι:

- Χρειάζονται περιορισμένες πληροφορίες όσον αφορά το σχεδιασμό, κύρια τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των στύλων, το ύψος και το ειδικό βάρος των υπερκειμένων, κάτι που την κάνει ιδιαίτερα εύχρηστη κατά τον αρχικό σχεδιασμό τέτοιων έργων.
- Προσφέρει πολύ γρήγορα τα αποτελέσματα της ανάλυσης, είναι πολύ απλή και σε περιπτώσεις ομοιόμορφων εκσκαφών δίνει αρκετά μεγάλη ακρίβεια.
- Υπολογίζεται η μέγιστη φόρτιση που μπορεί να εφαρμοστεί στους στύλους, οπότε δίνει τα πιο συντηρητικά και ασφαλή αποτελέσματα.

Στα μειονεκτήματα της μεθόδου καταγράφεται το γεγονός ότι λαμβάνει υπόψη της το τασικό πεδίο και ιδιαίτερα τις κατακόρυφες τάσεις που υφίσταται πριν τη δημιουργία της εκσκαφής, δεν μπορεί να δώσει ακριβή αποτελέσματα σε περιπτώσεις μη ομοιόμορφων στύλων και τέλος πολλές φορές μπορεί να είναι υπέρ του δέοντος συντηρητική.



Σχήμα 4.29: Κάτοψη της διάταξης των θαλάμων και στύλων (Καλιαμπάκος Δ., Μπενάρδος Α., 2009).

Η μαθηματική προσέγγιση της θεωρίας της συνεισφέρουσας επιφάνειας δίνεται ακολούθως. Αν ( $A_R$ ) η επιφάνεια που αντιστοιχεί σε κάθε στύλο (γραμμοσκιασμένο τμήμα) και ( $A_p$ ) η επιφάνεια του στύλου, τότε το άθροισμα των δυο παραπάνω επιφανειών ( $A_t$ ) είναι:

$$A_t = A_R + A_p \quad (34)$$

Η τάση ( $\sigma_p$ ) που ασκείται σε ένα στύλο δίνεται από εξίσωση της μορφής:

$$\sigma_p = f(H, W_p, W_R)$$

όπου,  $H$  : το βάθος στο οποίο πραγματοποιείται η εκμετάλλευση

$W_p$  : το πλάτος του στύλου

$W_R$  : το πλάτος του θαλάμου μεταξύ δύο διαδοχικών στύλων

Στην πιο απλή περίπτωση όπου οι στύλοι έχουν κανονική διάταξη και τετραγωνική διατομή, η μέση ορθή τάση που αναπτύσσεται σε αυτούς δίνεται από την εξίσωση (35).

$$\sigma_p = \sigma_v \cdot \frac{A_t}{A_p} \Rightarrow \sigma_p = \gamma \cdot H \cdot \frac{(W_R + W_p)^2}{W_p^2} \Rightarrow \sigma_p = \gamma \cdot H \cdot \left(1 + \frac{W_R}{W_p}\right)^2 \quad (35)$$

Για τον υπολογισμό της αντοχής του στύλου σε θλίψη ( $C_p$ ) έχουν διατυπωθεί αρκετές εμπειρικές σχέσεις, κυρίως έπειτα από έρευνες για συγκεκριμένες περιπτώσεις. Φαίνεται όμως ότι η γενική μορφή της μαθηματικής έκφρασης της αντοχής δίνεται από την εξίσωση (36) (Obert & Duvall, 1967)

$$C_p = C_1 \cdot \left(0,778 + 0,222 \cdot \frac{W_p}{H_p}\right) \quad (36)$$

Με βάση τα παραπάνω και τα αποτελέσματα της εργαστηριακής δοκιμής για τον ασβεστόλιθο οροφής, υπολογίστηκαν τα εξής:

Κατακόρυφη τάση ( $S_v$ ) που ασκείται σε τμήμα του κοιτάσματος

$$\sigma_v = \gamma \cdot H \quad (37)$$

$\gamma$ : το ειδικό βάρος του πετρώματος ( $2,65 \text{ t/m}^3$ )

$H$ : το βάθος από την επιφάνεια του εδάφους ( $100 \text{ m}$ )

$$\sigma_v = \gamma \cdot H = 2,65 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \cdot 100\text{m} = 265 \frac{\text{t}}{\text{m}^2} \Rightarrow \sigma_v = 2,65\text{MPa}$$

Έστω ( $A_R$ ) η επιφάνεια που αντιστοιχεί σε κάθε στύλο και ( $A_P$ ) η επιφάνεια του στύλου και ( $A_t$ ) το άθροισμα των δύο παραπάνω επιφανειών ( $A_t=A_R+A_P$ ). Για τους στύλους τετραγωνικών διαστάσεων είναι  $a=b=c=5 \text{ m}$  (βλ. Σχήμα 4.15). Προκύπτει έτσι:

$$A_P=25 \text{ m}^2$$

$$A_R=100 \text{ m}^2$$

$$A_t=75 \text{ m}^2$$

Σύμφωνα με την εξίσωση (35) θα έχουμε:

$$\sigma_p = \gamma \cdot H \cdot \frac{(W_R + W_P)^2}{W_P^2} = 2,65\text{MPa} \cdot \frac{(5+5)^2 \text{m}^2}{5^2 \text{m}^2} = 2,65 \cdot 4\text{MPa} = 10,6\text{MPa}$$

Η τάση που αναπτύσσεται στους στύλους είναι:

$$\sigma_p=10,6 \text{ MPa}$$

Για τον υπολογισμό της αντοχής του στύλου σε θλίψη ( $C_p$ ) χρησιμοποιείται ο τύπος των (Obert & Duvall, 1967):



$$C_p = C_1 \cdot (0,778 + 0,222 \cdot \frac{W_p}{H_p}) = 46,4MPa \cdot (0,778 + 0,222 \cdot \frac{5}{5}) = 46,4 \cdot 1MPa = 46,4MPa$$

Επομένως σύμφωνα με τους παραπάνω υπολογισμούς ο συντελεστής ασφαλείας είναι:

$$F = \frac{C_p}{\sigma_p} = \frac{46,4MPa}{10,6MPa} = 4,4$$

Παρατηρούμε πως ο συντελεστής ασφαλείας είναι αποδεκτός. Μερικά από τα μέτρα που μπορούν να γίνουν ώστε να βελτιωθεί, αν χρειαστεί, ο συντελεστής ασφαλείας είναι:

- Αύξηση του ύψους των στύλων και περίσφυξη αυτών.
- Διατήρηση του ύψους των στύλων και αύξηση του πλάτους αυτών.
- Κοχλίωση της οροφής και περαιτέρω ενίσχυση των στύλων.
- Μείωση των υπερκειμένων, αν αυτό είναι δυνατό.

## **4.7 Δοκιμή Εξόλκευσης**

### **4.7.1 Δοκιμή Εξόλκευσης ήλων στο εργοτάξιο**

#### **4.7.1.1 Σκοπός**

Η δοκιμή αυτή έχει σαν αντικείμενο την μέτρηση της αντοχής ενός ήλου εγκατεστημένου σε συνθήκες πεδίου. Η αντοχή υπολογίζεται από τη δοκιμή εξόλκευσης κατά την οποία μετράται η μετατόπιση της κεφαλής σαν αποτέλεσμα του εφαρμοζόμενου φορτίου για να δημιουργηθεί η καμπύλη φόρτισης – μετατόπισης. Η δοκιμή εφαρμόζεται συνήθως για την επιλογή των ήλων και επίσης για τον έλεγχο στην ποιότητα των υλικών και των μεθόδων εγκατάστασης. Επίσης, απαιτούνται τουλάχιστον πέντε δοκιμές για να αξιολογηθεί ένας ήλος σε ένα δεδομένο πέτρωμα με τις αντίστοιχες συνθήκες εγκατάστασης. Επιπλέον, οι δοκιμές αυτές είναι καταστρεπτικές και δεν πρέπει να γίνονται γενικά σε ήλους που αποτελούν μέρος ενός πραγματικού συστήματος βράχου – υποστήριξης.

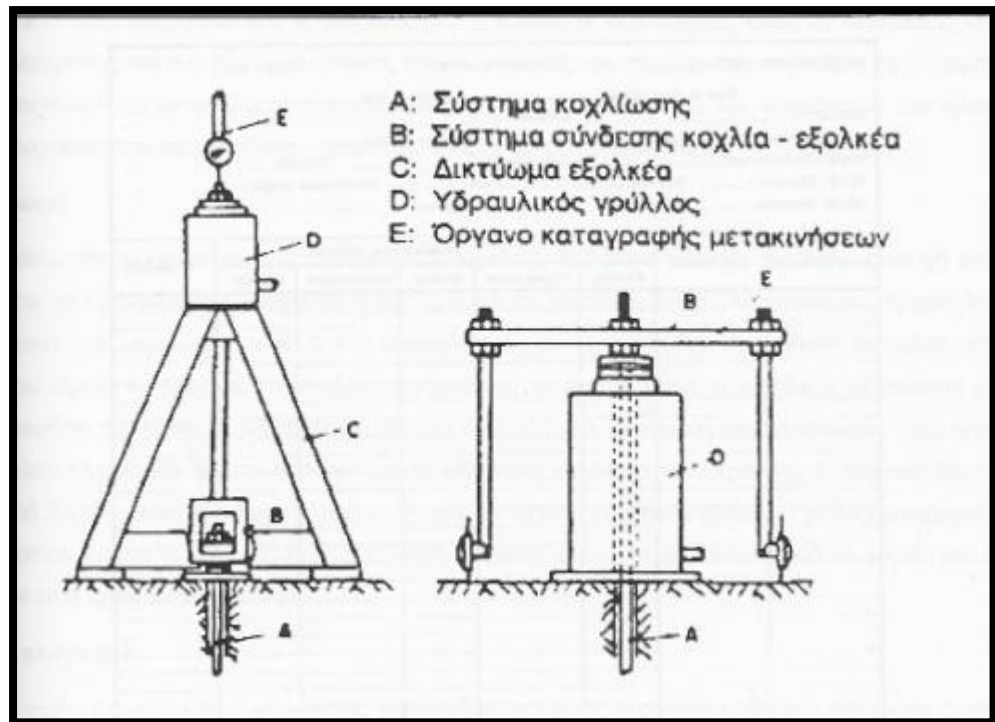
#### **4.7.1.2 Εξοπλισμός**

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την τοποθέτηση των ήλων περιλαμβάνει:

- Κατά τη δοκιμή, για τη διάνοιξη των δοκιμαστικών οπών πρέπει να χρησιμοποιείται ο ίδιος διατρητικός εξοπλισμός και διατρητική κεφαλή που θα χρησιμοποιηθούν για την τοποθέτηση των αγκυρίων κατά την κατασκευή του έργου.
- Εξοπλισμός για την επιθεώρηση και τον έλεγχο και τη μέτρηση της διαμέτρου του διατρήματος.
- Τυποποιημένα εξαρτήματα που παρέχονται από τους κατασκευαστές των ήλων συμπεριλαμβανομένων και του ρευστοκονιάματος και των υλικών για την έγχυση ρευστοκονιάματος εάν απαιτείται, και εξοπλισμός για την τοποθέτηση του ήλου σύμφωνα με τον τρόπο που συστήνεται από τους κατασκευαστές.

Εξοπλισμός για την εφαρμογή φορτίου στους ήλους, που περιλαμβάνει:

- Έναν υδραυλικό γρύλλο με χειροκίνητη αντλία και σωλήνα πίεσης που είναι ικανός να εφαρμόσει φορτίο μεγαλύτερο από την αντοχή του ήλου που μελετάται, με απόσταση μεταφοράς τουλαχιστόν 50 mm.
- Εξοπλισμός για τη μεταφορά του φορτίου από την αντλία στον ήλο. Ένα σφαιρικό έδρανο, ροδέλλες και/ή σφήνες κάτω από τον γρύλλο απαιτούνται για να εξασφαλισθεί πως το φορτίο θα ασκείται στον άξονα του ήλου.



Σχήμα 4.30. Σχηματική παρουσίαση του εξοπλισμού και της εκτέλεσης της δοκιμής εξόλκευσης (Μπουλαμάτση Σ., 2010).

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του φορτίου και της μήκυνσης περιλαμβάνει:

- Μια συσκευή μέτρησης φορτίου (μετρητής πίεσης συνδεδεμένος με την αντλία και καλιμπραρισμένος σε μονάδες φορτίου). Οι μετρήσεις πρέπει να είναι με ακρίβεια της τάξης του 2% του μέγιστου φορτίου που εφαρμόζεται κατά τη δοκιμή. Η συσκευή πρέπει να περιλαμβάνει και δείκτη μέγιστου φορτίου.
- Ο εξοπλισμός για τη μέτρηση της αξονικής μετατόπισης της κεφαλής του ήλου. Ένας ηλεκτρονικός βερνιέρος (ποχύμετρο) χρησιμοποιείται για να μετράται η μετακίνηση της κεφαλής του αγκυρίου με ακρίβεια 0,05 mm.

#### **4.7.1.3 Διαδικασία**

Η διαδικασία απαιτεί αρχικά την προετοιμασία του χώρου που θα γίνουν οι δοκιμές, έτσι ώστε να προσομοιάζει όσο το δυνατόν καλύτερα τις συνθήκες του πετρώματος στο οποίο θα τοποθετηθούν οι ήλοι.

Τα διατρήματα επίσης διανοίγονται σε τοποθεσίες που ευνοούν τη δοκιμή. Η επιφάνεια του πετρώματος που περιβάλλει κάθε διάτρημα θα πρέπει να είναι επίπεδη και το διάτρημα να είναι κάθετο στη επιφάνεια του πετρώματος ( $\pm 5^\circ$ ). Επιπλέον πληροφορίες όπως οι διαστάσεις του διατρήματος και του ήλου και ο τύπος και οι συνθήκες του πετρώματος στη θέση της δοκιμής καταγράφονται σε φύλλα αποτελεσμάτων (Σχήμα 4.17). Τέλος κατά την τοποθέτηση των ήλων καταγράφονται στοιχεία όπως η ημερομηνία και η ώρα τοποθέτησης.

#### **4.7.1.4 Δοκιμή**

Καθώς συναρμολογείται ο εξοπλισμός της φόρτισης πρέπει να υπάρχει ιδιαίτερη προσοχή ώστε να εξασφαλίζεται η διεύθυνση της εξόλκευσης να είναι στο άξονα του ήλου. Αρχικά ένα φόρτιο, όχι μεγαλύτερο των 5 kN εφαρμόζεται για να αναλάβει πιθανή αστάθεια του εξοπλισμού. Η αγκύρωση εξετάζεται αυξάνοντας το φορτίο μέχρι η συνολική μετατόπιση να ξεπεράσει τα 40 mm ή να διαρρεύσει ο ήλος ή να σπάσει σε περίπτωση που αυτό γίνει πρώτα. Οι αναγνώσεις των φορτίων και της μήκυνσης μετρώνται καθώς το φορτίο προσαυξάνεται κατά 5 kN. Ο ρυθμός εφαρμογής φορτίου πρέπει να έχει εύρος 5-10 kN/min.

ΔΕΛΦΟΙ - ΔΙΣΤΟΜΟ Α.Μ.Ε ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ & ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ									
<u>ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ ΚΟΧΛΙΩΝ ΟΡΟΦΗΣ</u>									
ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ : ΣΙΛΑΣ 3									
ΦΑΣΗ ΕΚΜ/ΣΗΣ : ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗ									
ΘΕΣΗ : Σ 550 1ο ΕΓΚΑΡΣΙΟ ΑΡΙΣΤΕΡΑ									
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ : 14/4/2008									
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ : 28/3/2008									
ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ									
<u>ΔΟΚΙΜΗ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ ΣΕ ΧΙΛΙΟΣΤΑ</u>					ΕΙΔΟΣ ΚΟΧΛΙΩΣΗΣ : ΟΛΟΣΩΜΗ				
					ΤΥΠΟΣ ΚΟΧΛΙΑ : ΡΑΒΔΩΤΟΣ ( ΜΙΝΟΝΑ )				
					ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΚΟΧΛΙΑ : 18 mm				
					ΜΗΚΟΣ ΚΟΧΛΙΑ : 1,80 m				
					ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΔΙΑΤΡΗΜΑΤΟΣ : 24 mm				
					ΤΥΠΟΣ ΡΗΤΙΝΩΝ : " ΜΙΝΟΝΑ " ( LOKSET HS 1- 30 )				
A/A	KP/CM2/T	1	2	3	4	5	6	7	8
1	40/1,67tn	–	–	–	–	–			
2	60/2,51tn	–	–	–	–	–			
3	80/3,34tn	–	–	–	–	–			
4	100/4,18tn	–	–	–	–	–			
5	120/5,02tn	5*	4*	–	–	–			
6	140/5,96tn	–	1	–	–	–			
7	160/6,69tn	–	1,5	–	–	–			
8	180/7,53tn	–	2	–	–	–			
9	200/8,37tn	12*	2,5	3,5	3,5	6*			
10	220/9,20tn	–	2,9	4,3	4	0,5			
11	240/10,04tn	–	3,5	4,9	4,1	1			
12	260/10,08tn	0,5	4	5	4,2	2			
13	280/11,71tn	1	4,1	5,5	5	2,1			

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ : ( \* ) = ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ  
ΤΑΒΑΝΙ ΚΑΛΟ , Μ.Ο. ΡΗΤΙΝΩΝ 1 Μ & 1μ  
ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΑΡΙΣΤΗ

Σχήμα 4.31. Φύλλο αποτελεσμάτων δοκιμής εξόλκευσης (Δελφοί-Δίστομον, 2008).

#### 4.7.1.5 Υπολογισμοί

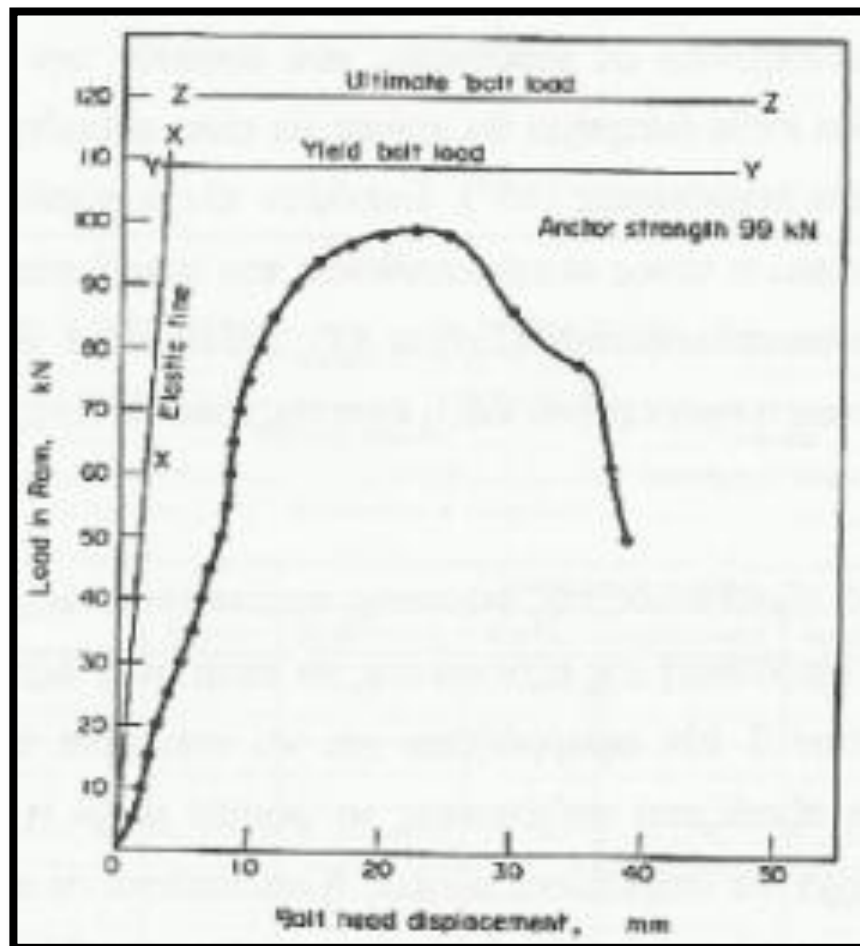
Οι τιμές της συνολικής μηκύνσεως υπολογίζονται καθώς προχωρά η δοκιμή μηδενίζοντας την ένδειξη του παχύμετρου σε κάθε φορτίο που ασκείται και καταγράφοντας την εκάστοτε τιμή την μήκυνσης. Τα αποτελέσματα τη δοκιμής δίνονται γραφικά (Σχήμα 4.18). Η αντοχή του ήλου ορίζεται ως το μέγιστο φορτίο που επιτεύχθηκε κατά τη δοκιμή χωρίς να υπάρχει διαρρόη

ή αστοχία του ήλου. Η ελαστική παραμόρφωση του ήλου σε ένα δεδομένο εφαρμοζόμενο φορτίο υπολογίζεται ως:

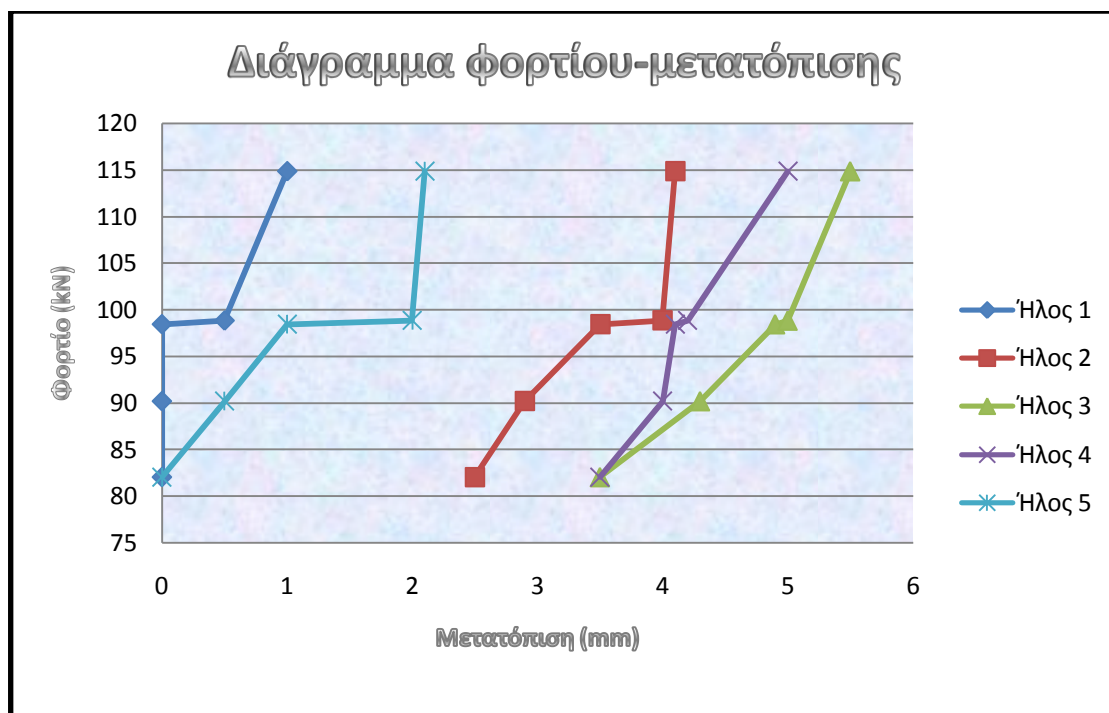
$$\frac{P*L}{A*E}$$

Όπου P το φορτίο που εφαρμόζεται, L το μήκος του ήλου που δεν έχει ενεματωθεί + το 1/3 του μήκους του ήλου που έχει ενεματωθεί, A η διατομή του ήλου και E το μέτρο ελαστικότητας του ήλου.

Για την αξιολόγηση ενεματωμένων ήλων τα αποτελέσματα πολλών δοκιμών πρέπει να συγκεντρωθούν και δοθούν γραφικά για να φανεί η επίδραση του χρόνου ωρίμανσης και του μήκους ενεμάτωσης .



Σχήμα 4.32. Διάγραμμα φορτίου-μετατόπισης κεφαλής ήλου (Μπουλαμάτση Σ., 2010).



Σχήμα 4.33. Διάγραμμα φορτίου-μετατόπισης ήλων του κοιτάσματος «Σίλας 3».

#### **4.7.1.6 Αναφορά αποτελεσμάτων**

Η αναφορά πρέπει να περιλαμβάνει τα φύλλα καταγραφής των αποτελεσμάτων και το παραπάνω διάγραμμα, καθώς επίσης και:

- ✓ Το πέτρωμα στο οποίο εξετάστηκαν οι ήλοι.
- ✓ Τα διατρήματα συμπεριλαμβανομένων του μήκους, της διαμέτρου, της μεθόδου διάνοιξης και τον προσανατολισμό.
- ✓ Τη διαδικασία και το χρόνο τοποθέτησης.
- ✓ Τη διαδικασία και το χρόνο δοκιμής.
- ✓ Τη φύση της αστοχίας καθώς και άλλες παρατηρήσεις που έχουν σχέση με τα αποτελέσματα της δοκιμής.

#### **4.7.1.7 Σχόλια**

Είναι απαραίτητο οι ήλοι να εξετάζονται κάτω από ρεαλιστικές συνθήκες. Επίσης με τη δοκιμή αυτή ελέγχεται η ικανότητα αγκύρωσης και αυτό είναι εφικτό μόνο εάν ο ήλος, το περικόχλιο και οι υπόλοιποι παράγοντες, έχουν μεγαλύτερη αντοχή από τη δύναμη αγκύρωσης. Οι προδιαγραφές του κατασκευαστή για τις διαστάσεις του διατρήματος και τον τρόπο τοποθέτησης πρέπει να εξετάζονται για το αν συμβαδίζουν με τους

περιορισμούς λειτουργίας του εργοταξίου. Τέλος, οι μηκύνσεις πρέπει να μετρώνται από εξοπλισμό καλά εδρασμένο.

#### **4.7.2 Δοκιμή εξόλκευσης ήλων στο πρόγραμμα FLAC 2D**

Στο πειραματικό μέρος της παρούσης διπλωματικής εργασίας εξετάστηκε η προσομοίωση της δοκιμής εξόλκευσης ήλου με χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε ήταν το πρόγραμμα FLAC.

Το FLAC είναι ένα διδιάστατο πρόγραμμα πεπερασμένων διαφορών που εκτελεί ανάλυση Lagrange. Με το πρόγραμμα αυτό μπορεί να προσομοιωθεί η συμπεριφορά κατασκευών σε εδάφη, πετρώματα ή άλλα υλικά που μπορούν να υποστούν πλαστική ροή όταν φτάσουν στο όριο διαρροής τους. Τα υλικά προσομοιώνονται με στοιχεία ή ζώνες που σχηματίζουν ένα δίκτυο που προσαρμόζεται από τον χρήστη να ταιριάζει στο σχήμα του αντικειμένου που προσομοιώνεται.

Κάθε στοιχείο συμπεριφέρεται σύμφωνα με ένα προκαθορισμένο γραμμικό ή μη γραμμικό νόμο τάσης/παραμόρφωσης σε συσχέτιση με τις εφαρμοζόμενες δυνάμεις ή συνοριακούς περιορισμούς. Το υλικό μπορεί να διαρρεύσει και το πλέγμα μπορεί να παραμορφωθεί και να κινηθεί μαζί με το υλικό που προσομοιώνει.

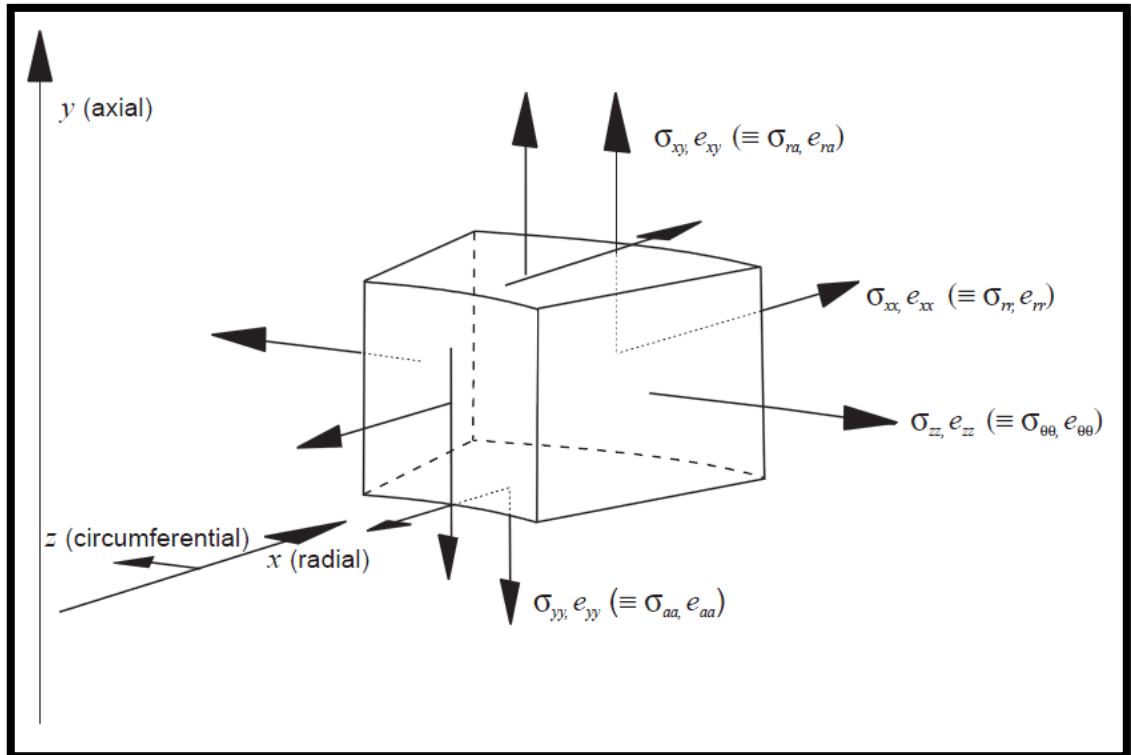
Αν και το FLAC αρχικώς δημιουργήθηκε για γεωτεχνικούς και μεταλλειολόγους σαν πρόγραμμα προσφέρει ένα μεγάλο εύρος δυνατοτήτων για επίλυση σύνθετων προβλημάτων μηχανικής.

Το FLAC μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κατασκευή μοντέλων που αφορούν προβλήματα στα οποία η κατανομή των τάσεων γίνεται σε σώματα με άξονα συμμετρίας εκ περιστροφής, δηλαδή αξονοσυμμετρικά στερεά. Για την διαμόρφωση του δικτύου του αξονοσυμμετρικού μοντέλου αρχικώς πρέπει να δοθεί η εντολή "config axisymmetry". Επίσης, το σύστημα συντεταγμένων σε ένα τέτοιο μοντέλο είναι κυλινδρικό όπου ο άξονας  $X=0$  είναι ο άξονας συμμετρίας, ο θετικός άξονας  $x$  αντιστοιχεί στις ακτινικές συντεταγμένες και ο άξονας  $y$  στις αξονικές συντεταγμένες. Ο άξονας  $z$



αντιστοιχεί στις περιφερειακές συντεταγμένες. Μόνο κατά τον θετικό άξονα  $x$  σχηματίζεται αξονοσυμμετρικό μοντέλο.

Το αξονοσυμμετρικό δίκτυο κόμβων αντιστοιχεί σε έναν κυκλικό τομέα 1 rad που είναι περιορισμένος σε μετατόπιση κατά τον άξονα  $z$ . Κάθε μετατόπιση κατά το επίπεδο  $xy$  προκαλεί τάσεις στην περιφέρεια (άξονας  $z$ ).



Εικόνα 4.34. Τροπή και τάσεις στην αξονοσυμμετρική ανάλυση (Itasca, Manual FLAC-2D).

#### **4.7.2.1 Εισαγωγή δεδομένων στο πρόγραμμα FLAC 2D και αποτελέσματα**

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα FLAC, δόθηκαν από την εταιρεία Δελφοί-Δίστομον ΑΜΕ. Όσο αφορά τους ήλους, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από την εταιρεία Δελφοί-Δίστομον ΑΜΕ, ενώ για τις ρητίνες τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα προέκυψαν έπειτα από έρευνα στο διαδίκτυο.

Συγκεκριμένα, τα δεδομένα που εισήχθησαν στο πρόγραμμα FLAC ήταν τα παρακάτω:

**Για το πέτρωμα:**

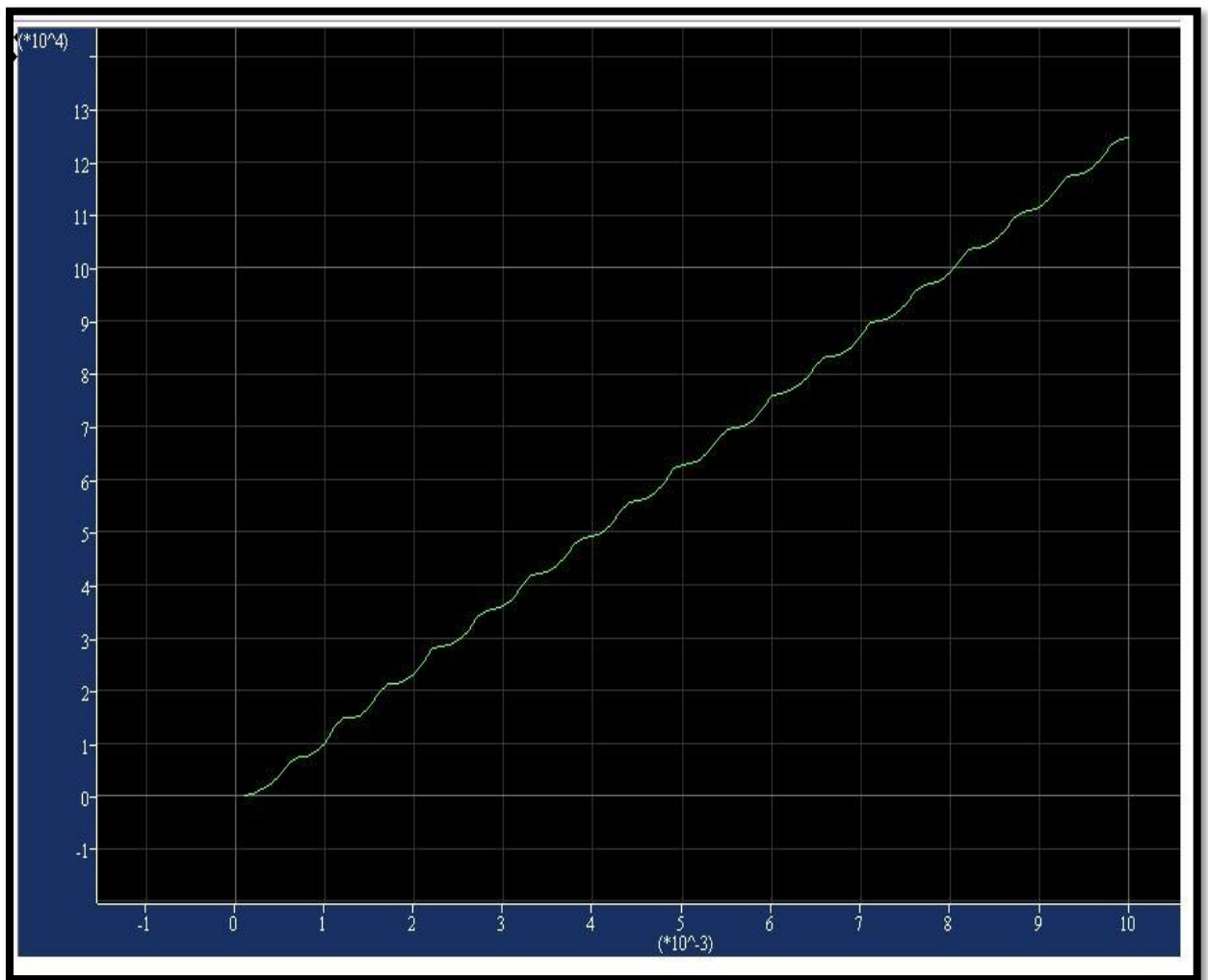
<b>GSI</b>	50
<b><math>m_i</math></b>	10
<b><math>\sigma_{ci}</math> (MPa)</b>	46,4
<b><math>E_i</math> (GPa)</b>	55
<b><math>m_b</math></b>	1,667
<b>s</b>	0,0039
<b>a</b>	0,506
<b><math>E_m</math> (GPa)</b>	6,78
<b>Πυκνότητα (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2700
<b>Δείκτης Poisson ν</b>	0,25
<b>bulk</b>	$1,12 \cdot 10^{10}$ Pa
<b>shear</b>	$6,76 \cdot 10^9$ Pa

**Για τον ήλο:**

<b>Είδος κοχλίωσης</b>	Ολόσωμη
<b>Τύπος κοχλία</b>	Ραβδωτός (MINOVA)
<b>Διάμετρος κοχλία</b>	18 mm
<b>Μήκος κοχλία</b>	1,80 m
<b>Διάμετρος διατρήμα</b>	24 mm
<b><math>K_{bond}</math></b>	$9,29 \cdot 10^6$ N/m/m
<b><math>S_{bond}</math></b>	$1,09 \cdot 10^5$ N/m

Αφού ορίστηκε η επεξεργασία να σταματήσει στη μέγιστη μετατόπιση των 10 mm, προέκυψε το παρακάτω διάγραμμα τάσης – μετατόπισης, με

βάση το οποίο έγινε η σύγκριση με το αντίστοιχο διάγραμμα τάσης – μετατόπισης που προέκυψε από τις μετρήσεις στο εργοτάξιο.

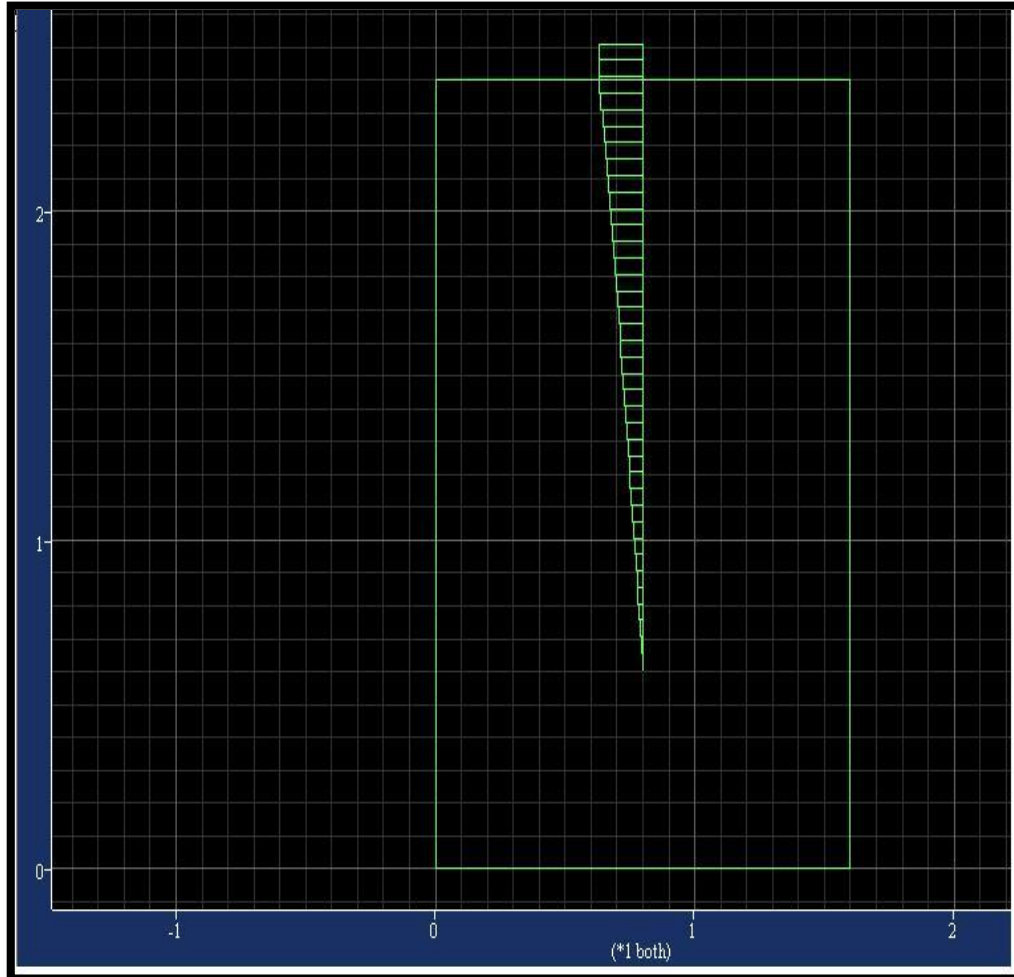


Εικόνα 4.35. Διάγραμμα φορτίου – μετατόπισης μετά από επεξεργασία στο FLAC 2D.

Έπειτα από παρατήρηση και των δύο διαγραμμάτων (εικόνα 4.33 και εικόνα 4.35) συμπεραίνεται πώς η διαφορά των μετατοπίσεων των ήλων για αντίστοιχα φορτία κατά τη δοκιμή της εξόλκευσης είναι αρκετά κοντινή, το οποίο φανερώνει πώς παρά τη δυσκολία προσομοίωσης των πραγματικών συνθηκών στο πρόγραμμα FLAC 2D, επετεύχθη τα καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

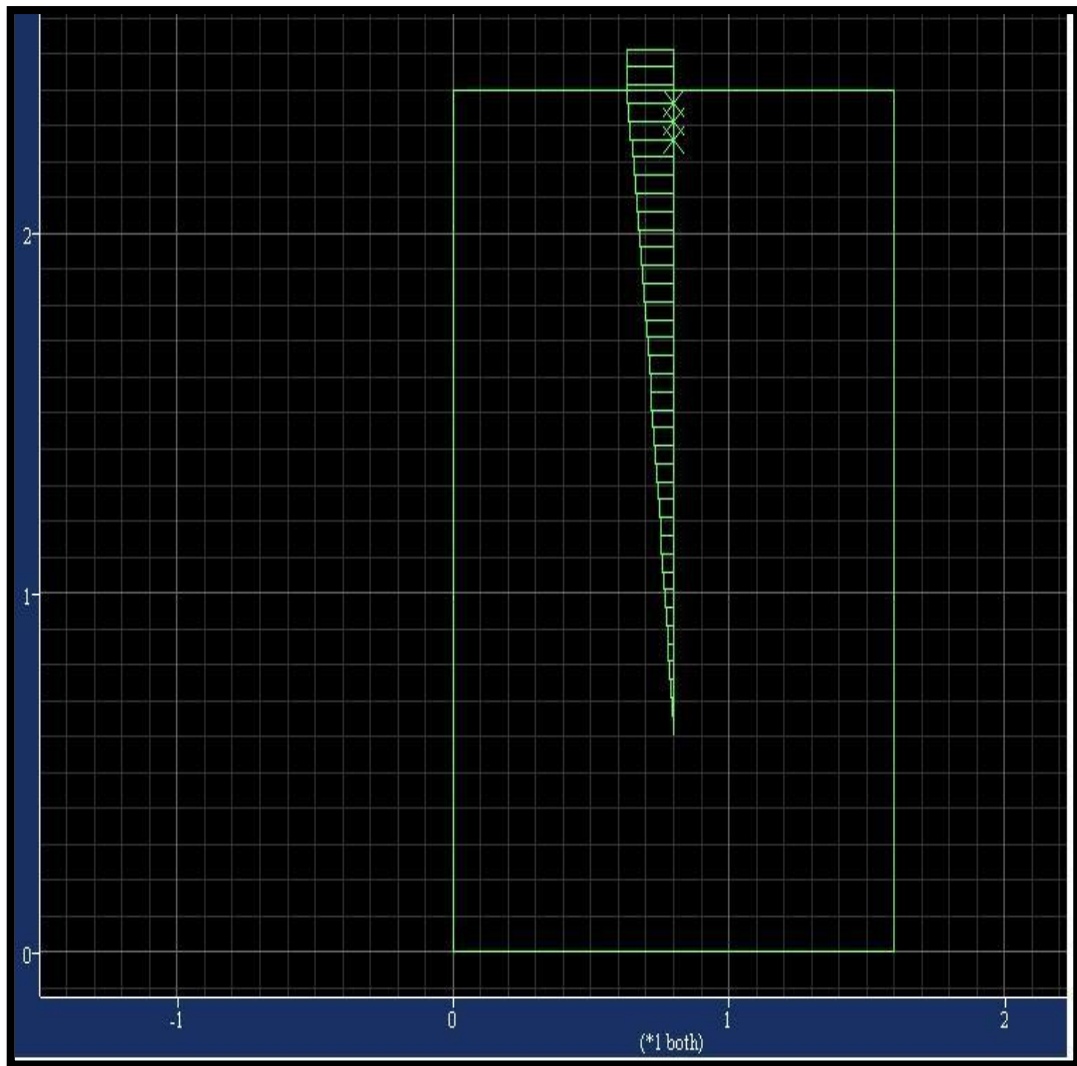
Συγκεκριμένα, εξετάζοντας τους ήλους (εικόνα 4.33) παρατηρούμε πως η μέση διαφορά της μετατόπισης για φόρτιση 90 kN και 115 kN, είναι 1,25 mm. Αντίστοιχα από το διάγραμμα φόρτισης – μετατόπισης που προέκυψε από το FLAC 2D, η μετατόπιση για αντίστοιχες φορτίσεις είναι 2 mm. Οι μετατοπίσεις

αυτές για τις αντίστοιχες φορτίσεις κρίνονται πολύ μικρές και δε δημιουργούν κανένα πρόβλημα στη ευστάθεια της οροφής, καθώς και στη συνάφεια ήλου-ενέματος (εικόνα 4.36), το οποίο επιβεβαιώνεται και στην πράξη.



Εικόνα 4.36. Διάγραμμα συνάφειας ήλου-ενέματος για μετατόπιση 10mm.

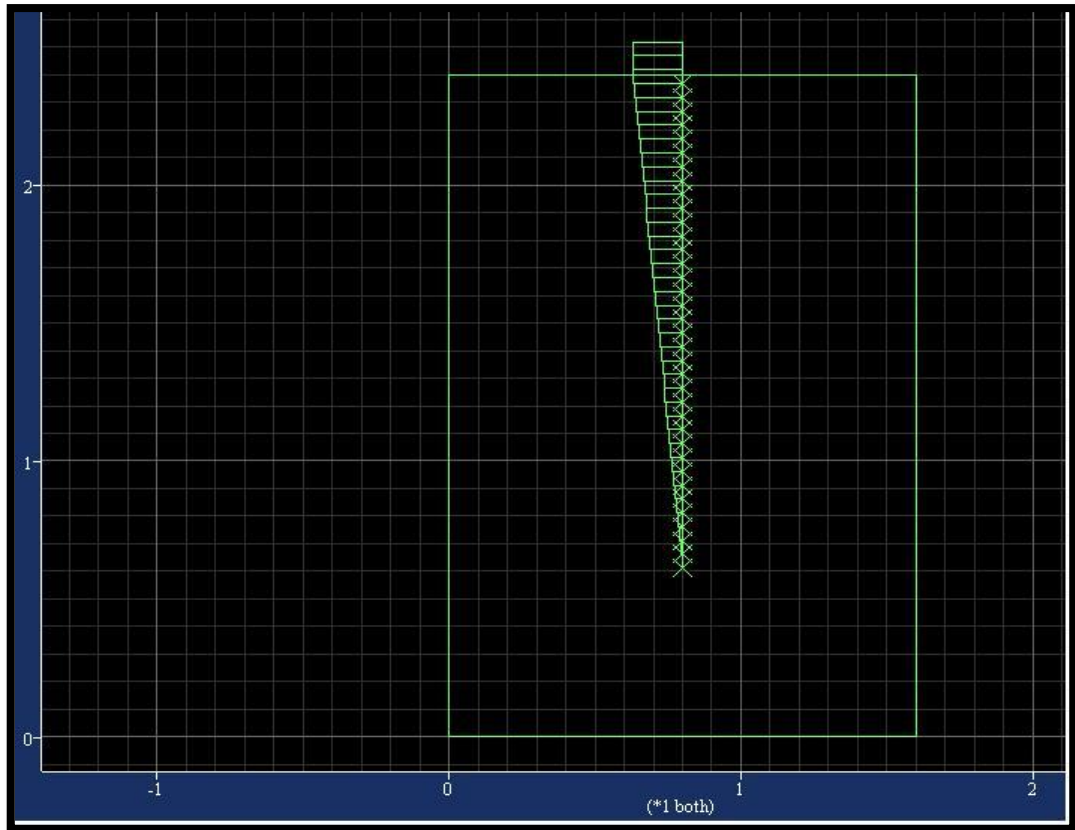
Στη συνέχεια εξετάστηκε σε ποιο φορτίο και μετατόπιση αρχίζει να παρουσιάζει αστοχία η διεπιφάνεια ήλου-ενέματος. Με τη βοήθεια του FLAC και εξετάζοντας τις δυνάμεις και τις μετατόψεις κάθε 1 mm, διαπιστώθηκε πως η διεπιφάνεια ήλου-ενέματος αρχίζει να αστοχεί σε φορτίο 161 kN και μετατόπιση 13 mm (εικόνα 4.37).



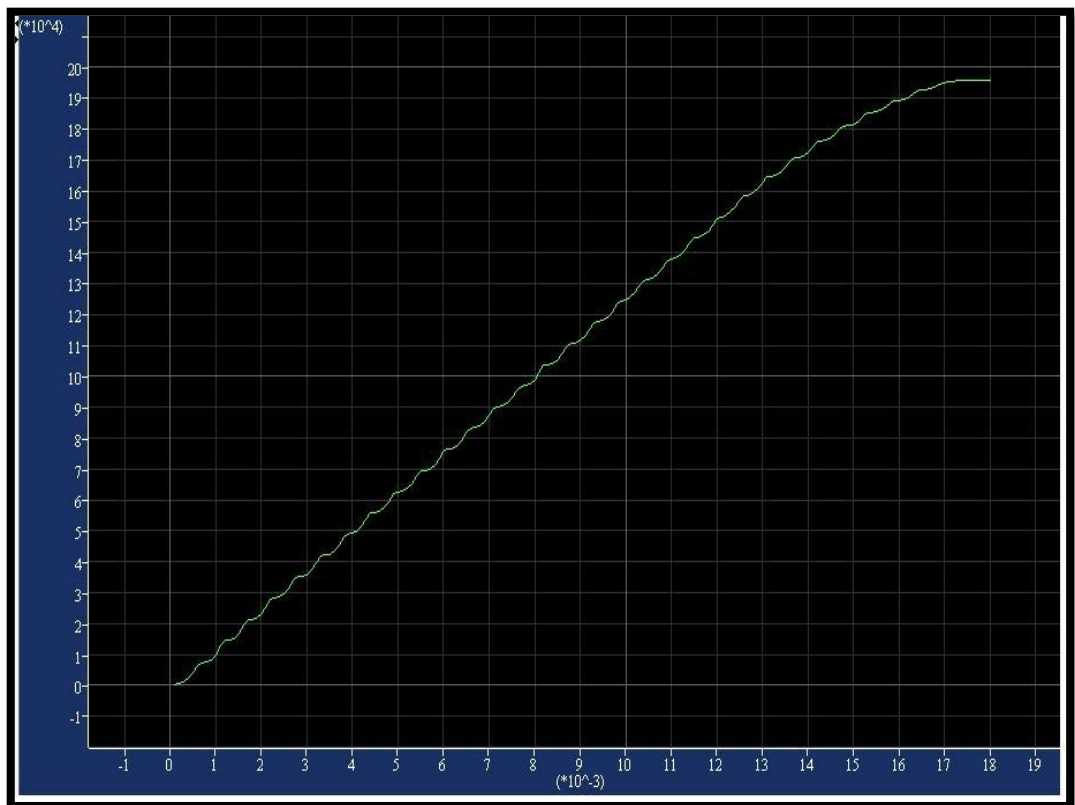
Εικόνα 4.37. Διάγραμμα συνάφειας ήλου-ενέματος, για φορτίο 161 kN και μετατόπιση 13 mm.

Από το παραπάνω διάγραμμα συνάφειας ήλου-ενέματος, διαπιστώνεται ότι στα πρώτα 10 cm του μήκους του ήλου, η συνάφεια με το ένεμα παύει να υπάρχει.

Τέλος, θέλοντας να διαπιστωθεί σε ποιο φορτίο και μετατόπιση η διεπιφάνεια ήλου-ενέματος αστοχεί πλήρως, πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία με τη βοήθεια του προγράμματος FLAC και διαπιστώθηκε πώς για φορτίο 198 kN και μετατόπιση 17,4 mm, η συνάφεια του ήλου και ενέματος χάνεται εντελώς και ο ήλος αστοχεί (εικόνα 4.38-4.39).



Εικόνα 4.38. Διάγραμμα συνάφεια ήλου-ενέματος για φορτίο 198 kN και μετατόπιση 17,4 mm.



Εικόνα 4.39. Διάγραμμα φορτίου-μετατόπισης και πλήρης αστοχία ήλου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### 5

## Αποκατάσταση περιβάλλοντος

---

### **5.1 Γενικά στοιχεία αποκατάστασης υπόγειων μεταλλείων**

Η σημασία της εκμετάλλευσης των ορυκτών είναι ιδιαίτερα μεγάλη για την οικονομική και μεταλλευτική ανάπτυξη κάθε περιοχής. Ωστόσο, όσο σημαντική είναι η εξόρυξη και εκμετάλλευσή τους, άλλο τόσο σημαντική είναι και η αποκατάσταση της εκάστοτε προσβεβλημένης περιοχής από τα μηχανήματα εκμετάλλευσης και τον άνθρωπο. Η σημασία που δίνεται για την βέλτιστη εκμετάλλευση των μεταλλείων, θα πρέπει να δίνεται και για την περιβαλλοντική αποκατάσταση, διότι η μη βέλτιστη αποκατάσταση του περιβάλλοντος έχει πολλές δυσμενείς επιπτώσεις για την περιοχή και το περιβάλλον. Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα είναι η απουσία βλάστησης στην περιοχή, γεγονός που επηρεάζει τους πληθυσμούς των ζώων, μειώνοντας τους δραματικά σε πολλές περιπτώσεις. Επίσης η πτώση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα, αποτελεί ένα ιδιαίτερο πρόβλημα που παρουσιάζεται σε περιοχές με έντονη μεταλλευτική δραστηριότητα. Αναλογιζόμενοι και το μέγεθος πολλών υπογείων εκμεταλλεύσεων μπορούμε να καταλάβουμε το μέγεθος της διαταραχής και του προβλήματος που δημιουργείται στις περιοχές αυτές. Τέλος από τις δυσμενείς επιπτώσεις της μεταλλευτικής υπόγειας-επιφανειακής εκμετάλλευσης θα πρέπει να τονιστεί η αλλοίωση του φυσικού ανάγλυφου της εκάστοτε περιοχής, γεγονός που

δημιουργεί πέρα από τα περιβαλλοντικά προβλήματα και αισθητική δυσαρμονία στο περιβάλλον.

Επομένως κρίνεται επιτακτικό να οργανώνεται και να σχεδιάζεται η περιβαλλοντική αποκατάσταση σε κάθε μελέτη εκμετάλλευσης ορυκτών, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει η εκμετάλλευση με τον πλέον οικονομικό και ασφαλή για το περιβάλλον τρόπο τα ορυκτά που κρίνονται ως αναγκαία για την βελτίωση της ζωής του ανθρώπου.

## **5.2 Αποκατάσταση βωξιτικού κοιτάσματος «Σίλας 3»**

Για την αποκατάσταση του υπόγειου βωξιτικού κοιτάσματος «Σίλας 3» προτείνονται παρακάτω μέτρα αποκατάστασης της περιοχής επέμβασης, ώστε να αποφευχθούν οι δυσμενείς επιπτώσεις τόσο για το περιβάλλον, όσο και για τους οικισμούς που βρίσκονται περιμετρικά των έργων ανάπτυξης και εκμετάλλευσης του κοιτάσματος.

### **5.2.1 Μέριμνα για την αποφυγή ή τον περιορισμό των δυσμενών επιπτώσεων από τη δημιουργία έργων υποδομής.**

Για την οδική προσπέλαση στις δύο πλατείες 548 και 589 θα χρειασθεί να διανοιχθούν δύο νέα τμήματα δρόμου μήκους 600 μέτρων και 120 μέτρων αντίστοιχα, τα οποία θα ενωθούν με το ήδη υπάρχον οδικό δίκτυο. Από τη διάνοιξη δεν θα προκύψουν σημαντικές δυσμενείς επιπτώσεις, αφού το μήκος είναι μικρό, οι κλίσεις είναι μικρές, επομένως και τα πρανή. Η μόνη μέριμνα θα είναι να καλύπτονται τα πρανή με το καλύτερο εδαφικό υλικό των εκσκαφών. Η κατασκευή των δρόμων θα γίνει κατόπιν μελέτης και έγκρισης της Δασικής υπηρεσίας.

### **5.2.2 Προτεινόμενη διαμόρφωση χώρου επεμβάσεως**

Η εκμετάλλευση θα είναι εξ ολοκλήρου υπόγεια, ενώ τα αρχικά στείρα θα αποτεθούν σε φυσικό έγκοιλο μπροστά από τη πλατεία 589. Η μισή ποσότητα από τα στείρα, θα χρησιμοποιηθεί για τη συντήρηση του υπάρχοντος οδικού δικτύου, ενώ τα υπόλοιπα (23.000 κ.μ.) θα έχουν αποτεθεί στο χώρο μπροστά από τη στοά 589. Επειδή η ποσότητά τους είναι



μικρή και οι κλίσεις των πρανών θα είναι μέτριες, δεν θα χρειαστούν ιδιαίτερη μεταχείριση για να δεχτούν τις φυτεύσεις (εικόνα 5.1).



Εικόνα 5.1. Μεταλλείο βωξίτη

Η δυνατότητα πλήρωσης των ορυγμάτων (εικόνα 5.2) με αδρανή υλικά εξυπηρετεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο την εκμετάλλευση, αφού μερική πλήρωση των εξοφλημένων φακών, εξασφαλίζει πρόσθετη ασφάλεια. Στην παρούσα φάση δεν υπάρχει δυνατότητα λιθογόμωσης των βωξιτικών φακών, αφού δεν είναι γνωστά τα τελικά δεδομένα.



Εικόνα 5.2. Αποκατάσταση μεταλλείου σε βαθμίδες.

Όσο αναφορά την επικάλυψη των πληρωθέντων κενών με φυτική γή και δενδροφυτεύσεις (εικόνες 5.2 και 5.3), δεν θα δοθεί ιδιαίτερη έμφαση διότι δεν υπάρχει επιφανειακή εκμετάλλευση του κοιτάσματος στην περιοχή.

Τέλος δε δίνεται έμφαση στη δυνατότητα χρησιμοποίησης του χώρου εκμετάλλευσης για άλλες χρήσεις, διότι για τις σημερινές συνθήκες και για την περιοχή που βρίσκεται ο χώρος επεμβάσεως δεν μπορεί να γίνεται κανένας λόγος για μελλοντική αξιοποίησή του.



Εικόνα 5.3. Αποκατάσταση μεταλλείου με δενδροφυτεύσεις.

### **5.3 Διαμόρφωση χώρου αποθέσεως στείρων, στερεών απορριμάτων και φυτικής γης.**

Στείρα υλικά θα υπάρχουν μόνο μπροστά από την είσοδο της στοάς 589. Για την αποκατάστασή τους θα μεταφερθεί ικανής ποσότητας εδαφικό υλικό, από εκσκαφές στην περιοχή του Ελαιώνα και θα διαστρωθεί στην προς αποκατάσταση επιφάνεια και στους λάκκους των φυτεύσεων (εικόνα 5.4). Η ποσότητα που θα χρειαστεί είναι μικρή (περίπου 65 κ.μ.).



Εικόνα 5.4. Αποκατάσταση μεταλλείου με δενδροφυτεύσεις.

Από την εκμετάλλευση "Σίλας 3" θα παραχθούν συνολικά 46.000 κ.μ. στείρα χαλαρά. Τα μισά περίπου θα χρησιμοποιηθούν, για τη συντήρηση του υπάρχοντος οδικού δικτύου. Τα υπόλοιπα στείρα, κατά την πρόοδο των εργασιών, θα εναποτίθενται εντός του φυσικού εγκοίλου μπροστά από τη στοά 589 (Δελφοί-Δίστομον, 2001).

Για την προσπέλαση θα διανοιχθούν περίπου 1.200 μέτρα στοών με 20 τ.μ διατομή και θα παραχθούν 36.000 κ.μ στείρα χαλαρά. Επιπλέον θα παραχθούν 10.000 κ.μ. στείρα χαλαρά, από τις διάφορες ενωτικές στοές, μήκους 700 μέτρων. Συνολικά θα παραχθούν 46.000 κ.μ. στείρα χαλαρά, εκ των οποίων τα μισά περίπου θα χρησιμοποιηθούν για τη συντήρηση του υπάρχοντος οδικού δικτύου. Τα υπόλοιπα θα αποθεθούν εντός φυσικού εγκοίλου μπροστά από τη στοά 589.

Από τη δημιουργία της πλατείας 548 θα παραχθούν 5.000 κ.μ. στείρων, που θα αποθεθούν εντός του φυσικού εγκοίλου της πλατείας 589. Για τη δημιουργία της πλατείας, μπροστά από τη στοά 589, δεν προκύπτουν

καθόλου στείρα, διότι υπάρχει φυσικό πρανές κατάλληλο για τη διάνοιξη της στοάς (Δελφοί-Δίστομον, 2001).

Όσο αναφορά την κατασκευή τοίχων αντιστήριξης ή άλλων τεχνικών έργων δε θα χρειαστεί να γίνουν, αφού η ποσότητα των στέρων, σε σχέση με τον διατιθέμενο χώρο είναι μικρή, ενώ θα αφεθεί και μία ζώνη πλάτους 10 μέτρων από τα όρια των πολυγώνων χωρίς καμία επέμβαση. Ιδιαίτερα μέτρα θα ληφθούν μόνο κατάντη (ποδαρικό) του σωρού των στέρων, όπου θα γίνει ένας τοίχος αντιστήριξης με πέτρες από αυτές που θα αποτεθούν στο σωρό. Αυτό θα γίνει για να μην κυλήσουν υλικά στην κοίτη του παρακείμενου μικρού ρέματος.

#### **5.4 Εργασίες αποκατάστασης χώρου επεμβάσεως**

Με τις εργασίες αποκατάστασης θα γίνει προσπάθεια, όσο αυτό είναι δυνατό, να επουλωθούν οι προσβολές που θα γίνουν στο φυσικό περιβάλλον κατά τη διάρκεια της χρήσης της έκτασης. Αυτό θα επιτευχθεί με τη διαμόρφωση των χώρων και τις φυτεύσεις που θα γίνουν. Ακόμη θα επιδιωχθεί να υπάρξει βλάστηση που να μπορεί να ανταπεξέλθει στις τοπικές κλιματολογικές και εδαφικές συνθήκες. Έτσι θα επιλεγούν φυτά ανθεκτικά που θα βελτιώσουν την υπάρχουσα χλωρίδα, ενώ θα καλυτερεύσει και η εικόνα που θα δημιουργήσει η απόθεση των στέρων (εικόνες 5.5-5.8).



Εικόνα 5.5. Αποκατάσταση μεταλλείου βωξίτη στη Γκιώνα.

Στο ανάγλυφο που θα αφήσει η εκμετάλλευση θα γίνουν βασικά, δύο ειδών επεμβάσεις. Η μία θα αποσκοπεί στη διαμόρφωση των πλατειών, ώστε να ομαλοποιηθούν και να αποκτήσουν μία μικρή εσωτερική κλίση. Η δεύτερη έχει σχέση με τον καθαρισμό των επιφανειών των πρανών από τις μεγάλες πέτρες και την ομαλοποίησή τους ώστε να μπορεί να διαστρωθεί το εδαφικό υλικό για τις φυτεύσεις. Όμως απαραίτητο μέτρο είναι το κλείσιμο των εισόδων των στοών, με μικρή ποσότητα στείρων, για να μην υπάρχει κίνδυνος να χαθούν μέσα σε αυτές ήμερα ή άγρια ζώα.



Εικόνα 5.6. Στείρα από την εκμετάλλευση βωξίτη.

Τα στείρα που θα υπάρχουν μπροστά από τις πλατείες και τα πρανή, δεν είναι εύκολο να δεχτούν οποιαδήποτε μορφή βλάστησης. Για να γίνει αυτό θα πρέπει στους λάκκους, που θα διανοιχθούν για τις φυτεύσεις, να προστίθενται εδαφικό υλικό, το οποίο θα προκύψει από τη μεταφορά του από άλλες θέσεις (Ελαιώνα), όπου υπάρχει (από εκσκαφές για οικοδομές). Υπολογίζεται ότι για κάθε λάκκο θα χρειαστεί 0,05 κ.μ. εδάφους. Ακόμη στα πρανή των στείρων θα διαστρωθεί εδαφικό υλικό πάχους 10 εκατοστών, εφόσον κατά την περίοδο της φύτευσης κριθεί αυτό απαραίτητο.

Το παραπάνω εδαφικό υλικό κατά τις φυτεύσεις θα εμπλουτίζεται με μισό κιλό λίπασμα ανά λάκκο τη στιγμή που θα τοποθετείται. Επίσης θα επιδιώκεται να γεμίζει τους λάκκους και να γίνεται διαμόρφωση του λάκκου ποτίσματος μετά τη φύτευση, ώστε να συγκρατείται το νερό της βροχής και των ποτισμάτων. Η διάστρωση στα πρανή έχει σκοπό την ανάπτυξη σε αυτά φυσικής βλάστησης, κυρίως αγρωστωδών ειδών. Το φυτευτικό υλικό που θα χρησιμοποιηθεί είναι, για τις πλατείες η τραχεία πεύκη (*Pinus brutia*) και το

κυπαρίσσι (*Cupressus sempervirens*), για την περιμετρική φύτευση η τραχεία πεύκη, ενώ για τα πρανή των στείρων το σπάρτο (*Spartium junceum*) και η ψευδακακία (*Robinia pseudacacia*).

Η τραχεία πεύκη εκλέχτηκε γιατί είναι ανθεκτικό είδος δέντρου, βρίσκεται στην υψομετρική ζώνη φυσικής εξαπλώσής της, ενώ σε φυτεία της σε παρόμοια περιβάλλοντα αναπτύσσεται ικανοποιητικά. Το κυπαρίσσι εκλέχτηκε γιατί είναι ανθεκτικό είδος δέντρου, βρίσκεται στην υψομετρική ζώνη φυσικής εξαπλώσής του, ενώ προσδίδει ποικιλομορφία στο τοπίο.

Η ψευδακακία είναι ανθεκτικό δέντρο σε ακραίες συνθήκες τόπου, ως ψυχανθές που είναι, βελτιώνει το έδαφος, ενώ η γρήγορη ανάπτυξή της θα βοηθήσει στη συγκράτηση των εδαφών. Το σπάρτο είναι ανθεκτικό θαμνώδες είδος, εδαφοβελτιωτικό σαν ψυχανθές, ενώ αναμένεται να ανταπεξέλθει στις δύσκολες κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής.

Η αποκατάσταση θα αρχίσει με τη διαμόρφωση του τελικού αναγλύφου στους δύο χώρους επέμβασης και θα τελειώσει τον ίδιο χρόνο με τη φύτευση των πλατειών μπροστά από τις δύο στοές.

Οι αποστάσεις μεταξύ των φυτών θα είναι 3 μέτρα για τα δέντρα της ίδιας σειράς, ενώ οι διαφορετικές σειρές θα έχουν θα απέχουν επίσης 3 μέτρα (συνδυασμός 3Χ3 μ.). Για τους θάμνους (σπάρτα) η φύτευση θα γίνει ενδιάμεσα των σειρών των δέντρων, ενώ η απόσταση μεταξύ των θάμνων της ίδιας σειράς θα είναι 2 μέτρα (σύνδεσμος 2Χ3 μ.). Πρέπει όμως να τονισθεί πως ανεξαρτήτως σειρών και αποστάσεων, οι φυτεύσεις θα γίνονται στα καλύτερα μικροπεριβάλλοντα που θα υπάρχουν κατά το χρόνο των φυτεύσεων. Οι διαστάσεις των λάκκων πρέπει να είναι 0,40Χ0,40Χ0,40 μ. για τα δέντρα και 0,35Χ0,35Χ0,35 για τους θάμνους (Δελφοί-Δίστομον, 2001).

Για τη δημιουργία, περιμετρικά της έκτασης, της πράσινης ζώνης προστασίας θα χρησιμοποιηθεί η τραχεία πεύκη. Η απόσταση φύτευσης θα είναι 4 μέτρα.



Τα φυτά συνολικά θα είναι περίπου 1.245 και η εταιρία θα τα προμηθευτεί από δασικά φυτώρια, όπως κάνει από αρκετά χρόνια. Το νερό για το καλοκαιρινό πότισμα θα μεταφέρεται από τον Ελαιώνα.

Όλη η έκταση, πριν φυτευτεί θα περιφραχθεί, ώστε να προστατευθεί από αιγοπρόβατα που βόσκουν στην περιοχή κυρίως τους θερινούς μήνες. Το συνολικό μήκος της περίφραξης θα είναι 540 μέτρα.

Επειδή ο χώρος επέμβασης προβλέπεται να χρησιμοποιηθεί για αρκετά χρόνια και επειδή βρίσκεται κοντά στη Βίνιανη, θα χρειαστεί μια περιμετρική φύτευση από δέντρα ώστε να απομονωθεί, τρόπον τινά, από τον περίγυρό του. Ο τρόπος φύτευσης και το είδος που θα χρησιμοποιηθεί, επιλέχθηκε με κριτήρια την ανάπτυξη του είδους σε παρόμοια περιβάλλοντα και τη δυνατότητά τους να αποτελέσουν έναν φυσικό φράχτη (Δελφοί-Δίστομον ΑΜΕ).



Εικόνα 5.7. Αποκατάσταση μεταλλείου βωξίτη στη Γκιώνα.

Για τη μεταφορά των στείρων υλικών και τη διάστρωσή τους θα χρησιμοποιηθούν κυρίως φορτωτές και μπουλντόζες που διαθέτει η εταιρία, ενώ για τη φύτευση θα χρησιμοποιηθούν τα συνηθισμένα εργαλεία (φυτάρια, αξίνα). Για τη μεταφορά του εδαφικού υλικού θα χρησιμοποιηθεί φορτηγό της εταιρίας.



Εικόνα 5.8. Μεταφορά στείρων για την αποκατάσταση μεταλλείου βωξίτη.

Στη συντήρηση των φυτών περιλαμβάνονται οι λιπάνσεις, τα σκαλίσματα και τα ποτίσματα. Λιπάνσεις, εκτός αυτής που θα γίνει κατά τη φύτευση, θα γίνουν για όλα τα φυτά επί δύο χρόνια, με λίπασμα του τύπου 11-15-15 και συχνότητα 2 φορές το χρόνο (νωρίς την άνοιξη και το φθινόπωρο). Κάθε φορά θα χρησιμοποιούνται περίπου 150 γραμμάρια ανά φυτό.

Ποτίσματα θα γίνουν επίσης για όλα τα φυτά, κατά τα 2 πρώτα από τη φυτεία χρόνια, με συχνότητα 6 φορές το χρόνο κατά τους μήνες Ιούνιο-Ιούλιο-Αύγουστο. Το πότισμα θα γίνεται με αυτόματο σύστημα που θα εγκατασταθεί και θα περιλαμβάνει σωλήνες πλαστικούς, σταλάκτες, βυτίο σταθερό και σύστημα αυτοματισμού. Σκάλισμα θα γίνει για όλα τα φυτά επί 2 χρόνια (Δελφοί-Δίστομον, 2001).

### **5.5 Αναγκαίο οδικό δίκτυο**

Επειδή το υπάρχον οδικό δίκτυο, προσφέρει μεν προσπέλαση στους δύο χώρους επιφανειακής επέμβασης, όμως τα τεχνικά χαρακτηριστικά του (κλίσεις, ακτίνες καμπυλότητας) δεν είναι κατάλληλα για την κυκλοφορία των φορτηγών, η οδική προσπέλαση για τις πλατείες 548 και 589 θα γίνει με τη διάνοιξη δύο νέων τμημάτων δρόμου μήκους 600 μέτρων και 120 μέτρων αντίστοιχα, τα οποία θα ενωθούν με το ήδη υπάρχον οδικό δίκτυο. Οι δρόμοι προσπέλασης, θα έχουν ελάχιστο πλάτος 5 μέτρων, ενώ η κλίση τους δεν θα υπερβαίνει το 8% (Δελφοί-Δίστομον, 2001).

### **5.6 Μέθοδος κατεργασίας εμπλουτισμού ή άλλης κατεργασίας**

Δεν προβλέπεται καμιά τέτοια διαδικασία στο χώρο του μεταλλείου. Η εκμετάλλευση περιορίζεται στην περιχάραξη και εξόρυξη του βωξίτη και την εν συνεχεία μεταφορά του στο εργοστάσιο της Α.Ε Αλουμίνιον της Ελλάδος, όπου γίνεται η περαιτέρω επεξεργασία του.

### **5.7 Εγκαταστάσεις**

Δεν υπάρχουν και ούτε πρόκειται να δημιουργηθούν εγκαταστάσεις μόνιμες ή προσωρινές. Επειδή το μεταλλείο βρίσκεται σχετικά κοντά στις εγκαταστάσεις της εταιρίας στον Ελαιώνα και τις εγκαταστάσεις άλλων μεγαλύτερων εργοταξίων, η εξυπηρέτηση της εκμετάλλευσης θα γίνεται με άμεση ανταπόκριση από τις κεντρικές εγκαταστάσεις και με χρησιμοποίηση κινητού μηχανικού εξοπλισμού. Από τον ίδιο χώρο γίνεται και η εξυπηρέτηση με εκρηκτικές ύλες, ώστε να μην υπάρχει ούτε αποθήκη εκρηκτικών. Οι ανάγκες για γραφείο μηχανικού και εργοδηγού θα καλυφθούν αργότερα από τροχόσπιτο που θα τοποθετηθεί στην πλατεία των στοών. Επειδή η μελετούμενη εκμετάλλευση αποτελεί ενιαίο μεταλλευτικό κέντρο με τα λειτουργούντα γειτονικά μεταλλεία του Πέρα Λάκκου, δεν υπάρχει ανάγκη για πρόσθετες εγκαταστάσεις και έργα υποδομής (Δελφοί-Δίστομον, 2001).

### **5.8 Ανάγκες σε νερό και τρόπος κάλυψής τους**

Για την εξόρυξη του βωξίτη με υπόγεια εκμετάλλευση το νερό χρειάζεται για την όρυξη των φουρνέλων, τις ανάγκες των εργαζομένων, των μηχανημάτων και αργότερα για τις εργασίες αποκατάστασης. Οι ποσότητες αυτές είναι μικρές και καλύπτονται, για μεν τις ανάγκες του προσωπικού με καθημερινή μεταφορά, για δε τις υπόλοιπες ανάγκες με μεταλλική δεξαμενή που είναι ήδη εγκατεστημένη, εξυπηρετεί γειτονικές εκμεταλλεύσεις και γεμίζει συνεχώς με βυτιοφόρο όχημα (Δελφοί-Δίστομον, 2001).

### **5.9 Εκτίμηση της χρονικής διάρκειας της επέμβασης**

Η διάρκεια της εκμετάλλευσης του κοιτάσματος «Σίλας 3» έχει προγραμματιστεί να τελειώσει σε 15 χρόνια, από τα οποία τα 8 χρόνια θα απαιτηθούν για την προσπέλαση και την προπαρασκευή, ενώ τα 7 χρόνια θα χρειασθούν για την εξόφληση (Δελφοί-Δίστομον, 2001).

### **5.10 Πρόσθετα μέτρα ασφαλείας**

Η εταιρία ενημερώνει τακτικά τους εργάτες για την αποφυγή ή την αντιμετώπιση κινδύνων που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια της εργασίας τους, πέραν των λαμβανομένων μέτρων που είναι υποχρεωτικά από την υπάρχουσα νομοθεσία. Ειδικά για την περίπτωση δασικής πυρκαγιάς, έχουν ενημερωθεί οι εργαζόμενοι και θα συμμετάσχουν άμεσα στην κατάσβεσή της, με όσα μέσα διαθέτουν (Δελφοί-Δίστομον, 2001).

### **5.11 Χαρακτηριστικά Φυσικού Περιβάλλοντος**

Η υπό μελέτη περιοχή ανήκει στρωματογραφικά στη ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας της οποίας η γεωλογική δομή δεν είναι σχετικά απλή. Στα ανώτερα στρώματα αυτής της ζώνης παρουσιάζονται μεσοκρητιδικοί ασβεστόλιθοι.

Στην περιοχή του κοιτάσματος «Σίλας 3» παρουσιάζονται μεσοκρητιδικοί ασβεστόλιθοι (πατώματα) μέσα στα έγκοιλα των οποίων υπάρχουν συγκεντρώσεις βωξιτικού μεταλλεύματος.

Τα βωξίτικα κοιτάσματα και οι ασβεστόλιθοι του πατώματος καλύπτονται από ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους (ταβάνια) που κατά κανόνα καλύπτουν τις βωξίτικες συγκεντρώσεις του 3<sup>ου</sup> βωξιτοφόρου ορίζοντα.

Ο βωξίτικός φακός «Σίλας 3» που πρόκειται να τύχει εκμεταλλεύσεως εντοπίστηκε μετά από εκτέλεση αρκετών γεωτρήσεων έρευνας. Από τις 35 θετικές γεωτρήσεις έγινε ο υπολογισμός των αποθεμάτων, οποίος έδωσε 880.000 τόννους γεωλογικά αποθέματα συνολικά.

Με βάση τη μέθοδο των θαλάμων και στύλων που θα εφαρμοστεί για την εκμετάλλευση του κοιτάσματος και την τεκτονική δομή του, προβλέπεται να εξαχθούν 565.000 τόννοι βωξίτη, με συντελεστή αποληψιμότητας 64%. Η μέση χημική σύσταση του μεταλλεύματος είναι αρκετά καλή και έχει ως εξής:

- $Al_2O_3=60,48\%$
- $SiO_2=2,45\%$
- $CaO=1,68\%$

Για τα υπόλοιπα στοιχεία δε γίνεται χημική ανάλυση δεδομένου ότι δεν επηρεάζουν την τιμή πωλήσεως του βωξίτη. Επειδή η ποιότητα του κοιτάσματος είναι καλή και ομοιόμορφα κατανεμημένη δεν απαιτείται ο διαχωρισμός του κοιτάσματος κατά τμήματα. Με βάση αυτό το χρονοδιάγραμμα η εκμετάλλευση του κοιτάσματος έχει προγραμματιστεί να αρχίσει αμέσως μόλις εξασφαλισθούν οι σχετικές άδειες.

## **5.12 Έδαφος**

Το έδαφος που υπάρχει στο χώρο της μελέτης προέρχεται από την αποσάθρωση του ασβεστόλιθου κατά κύριο λόγο, ο οποίος αποτελεί το μητρικό πέτρωμα στο χώρο I και στο βόρειο μισό του χώρου II. Το υπόλοιπο τμήμα του χώρου II εδράζεται πάνω σε φλύσχη της ζώνης Ωλονού-Πίνδου. Ο φλύσχος αποτελείται από ψαμμιτικές στρώσεις μεγάλου πάχους, στις οποίες είναι δυνατό να υπάρχουν κροκαλοπαγή

στρώματα. Για το λόγο αυτό ο φλύσχος της ζώνης αυτής δίνει εδάφη ελαφρότερα, περισσότερα διαπερατά και σταθερά.

Το ασβεστολιθικό έδαφος βρίσκεται κυρίως μέσα σε θύλακες που σχηματίζει το πέτρωμα, ενώ πολλές φορές εισχωρεί ανάμεσα στις σχισμές του πετρώματος δίνοντας δυνατότητες για ανάπτυξη των ριζών των φυτών. Το μέσο βάθος είναι 10-20 εκατοστά του μέτρου. Ο τύπος του εδάφους είναι ο αποδιδόμενος με τον όρο «terra rossa» και η υφή του είναι αργιλώδης έως αργιλοπηλώδης. Η περιεκτικότητά του σε θρεπτικά συστατικά είναι μικρή, λόγω της εκπλύσεως. Μετά από αυτήν παραμένει ο τρισθενής σίδηρος που προσδίδει το κόκκινο χρώμα. Το pH είναι βασικό και κυμαίνεται γύρω στο 7,5 (Δελφοί-Δίστομον, 2001).

### **5.13 Υδρολογικά στοιχεία**

Οι χώροι των επεμβάσεων, βρίσκονται σε μια ευρύτερη χοάνη με αρκετά ρέματα, τα περισσότερα των οποίων είναι ανενεργά, δεν παρουσιάζουν δηλαδή απορροή. Ο χώρος της πλατείας 589 περιβάλλεται από βορρά και νότο από 2 μικρά ρέματα, τα οποία όμως διέρχονται έξω από το πολύγωνο επέμβασης. Η απόθεση των στείρων θα γίνει αυστηρά μέσα στο χώρο επέμβασης, ώστε να παραμείνουν πάντα ελεύθερες οι κοίτες στα δύο αυτά ρέματα (Δελφοί-Δίστομον, 2001).

### **5.14 Κλιματολογικά στοιχεία-Κλίμα**

Επειδή στην περιοχή μελέτης δεν υπάρχει μετεωρολογικός σταθμός, ούτε είναι διαθέσιμα πιο αξιόπιστα στοιχεία, γι'αυτό στην περιγραφή του κλίματος, θα χρησιμοποιηθούν τα στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού Λιδωρικίου (υψόμετρο 600 μ.) που ανήκει στην ΕΜΥ. Τα δεδομένα προέρχονται από παρατηρήσεις 18 χρόνων (1975-92) και θεωρούνται ότι προσεγγίζουν τα δεδομένα του μελετώμενου χώρου.

Η μέση θερμοκρασία του σταθμού είναι 15 °C ενώ για το χώρο μελέτης πρέπει να υπολογίζεται ένα βαθμό χαμηλότερη. Η διαφορά

θερμοκρασίας χειμώνα-καλοκαιριού είναι αρκετά μεγάλη (20 °C) και ο χειμώνας είναι ψυχρός, αφού ο μέσος όρος των ελαχίστων θερμοκρασιών του ψυχρότερου μήνα είναι  $m=1,3$  °C , ενώ η μέση μέγιστή του θερμότερου μήνα είναι  $M=31$  °C. Για την περιοχή μελέτης πρέπει να δεχθούμε ότι  $m=0,5$  °C και  $M=29$  °C.

Οι βροχοπτώσεις ανέρχονται σε 1011 mm για το Λιδωρίκι, ενώ για το χώρο μελέτης πρέπει να υπολογίζονται λόγω υψομέτρου και ορογραφίας σε 1030 mm. Η κατανομή τους είναι ανισόμετρη στους διάφορους μήνες του χρόνου με συνέπεια, ενώ κατά τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες να υπάρχει ένα υψηλό ποσό βροχής, κατά του μήνες από Μάιο μέχρι μέσα Σεπτεμβρίου, ελαττώνεται σημαντικά. Ωστόσο, η καλοκαιρινή βροχόπτωση είναι σημαντική, γι'αυτό και στην περιοχή η βλάστηση σχετίζεται με τα δάση πλατύφυλλων δρυών και ελάτης. Η κατάσταση αυτή φαίνεται αναλυτικά στο βροχοθερμικό διάγραμμα Gausse-Bagnouls που υπάρχει παρακάτω για το σταθμό Λιδωρικίου. Στο χώρο μελέτης η ξερή περίοδος περιορίζεται σε 3 μήνες (Ιούνιο-Αύγουστο)

Με βάση τον κλιματικό τύπο του βροχοθερμικού πηλίκου του Emberger (Δελφοί-Δίστομον, 2001):

$$Q = \frac{1000P}{M + \frac{m}{2}(M - m)} \quad (38)$$

όπου:

$P$ =ετήσιο ύψος βροχόπτωσης

$M$ =μέσος όρος μεγίστων θερμοκρασιών θερμότερου μήνα σε απόλυτους βαθμούς.

$m$ =μέσος όρος ελαχίστων θερμοκρασιών ψυχρότερου μήνα σε απόλυτους βαθμούς. Παίρνοντας για την περιοχή  $P=1030$  mm  $M=29$  °C και  $m=0,5$  °C, προκύπτει ότι  $Q=126$ . Με βάση το κλιματικό διάγραμμα

Emberger-Sauvage, το κλίμα χαρακτηρίζεται σαν υγρό με ψυχρό χειμώνα.

Οι βιολογικά ξερές μέρες, υπολογισμένες εμπειρικά για κάθε μήνα με τον τύπο:

$$X_m = \{J_m - (J_r, \beta / 2)\} t_h \quad (39)$$

όπου:

$x_m$  = μηνιαίος ξεροθερμικός δείκτης

$J_m$  = ημέρες του μήνα

$J_r$  = ημέρες βροχής του μήνα

$J_r, \beta$  = ημέρες δροσιάς ή ομίχλης του μήνα

$t_h$  = συντελεστής σχετικής υγρασίας του μήνα

βρίσκονται να είναι 83, δηλαδή όσες και ο ξεροθερμικός δείκτης. Με βάση αυτό, ο χαρακτήρας του βιοκλίματος είναι ασθενής προς έντονο μέσο-μεσογειακό, σύμφωνα με τους χαρακτηρισμούς του Μεσογειακού κλίματος από UNESCO-FAO. Το χειμώνα το χιόνι είναι συχνό και κρατάει για αρκετές μέρες.

Οι άνεμοι λόγω του ψυχρομέτρου και της ορεογραφικής διαμόρφωσης δεν είναι σπάνιοι, όμως η έντασή τους λόγω ανάγλυφου είναι μάλλον μέτρια. Καταιγίδες γίνονται σχεδόν όλο το χρόνο, με τη μεγαλύτερη συχνότητα κατά τους μήνες Μάιο-Ιούνιο. Δροσιά και πάχνη λόγω υψομέτρου είναι αρκετά συχνά φαινόμενα ιδίως κατά τους χειμερινούς και ανοιξιάτικους μήνες (Δελφοί-Δίστομον, 2001).

### **5.15 Τοπιολογικά στοιχεία**

Οι χώροι επέμβασης όπου θα δημιουργηθούν οι στοές, βρίσκονται σε πλαγιά όπου κυριαρχούν μέτριες κλίσεις (30-60%), με μικρότερη συχνότητα εμφανίζονται οι ήπιες κλίσεις (0-30%), και ελάχιστες είναι οι θέσεις με



ισχυρές κλίσεις (>60%). Οι δύο στοές βρίσκονται σε υψόμετρα 548μ. και 589μ.

Το ανάγλυφο, σ'όλη την περιοχή είναι ομαλό. Οι χώροι επέμβασης βρίσκονται στο μέσο μιας πλαγιάς, ενώ χαμηλότερα υπάρχει μια εκτεταμένη αγροτική ζώνη. Ορισμένα από τα ρέματα της περιοχής καταλήγουν στο ρέμα Σουλουμιώτη, το οποί περνά έξω από το χωριό Βίνιανη. Οπτικά ο χώρος δεν είναι εμφανής από κανένα χώρο ανθρώπινης παρουσίας ή κατοικίας, εκτός του οικισμού της Βίνιανης με τον οποίο υπάρχει μια μικρή οπτική σύνδεση. Θα πρέπει όμως να σημειωθεί ότι, από τη θέση του χώρου και τον τρόπο απόθεσης δε θα προκύψει καμία αξιοπρόσεκτη γεωμορφολογική μεταβολή.

Η επίδραση της επέμβασης στις αντίστοιχες ζώνες ευαισθησίας είναι (Δελφοί-Δίστομον, 2001):

### **Ζώνες ευαισθησίας**

#### **● Κοντινή ζώνη (0-2 χλμ)**

Στη ζώνη αυτή περιλαμβάνεται ο οικισμός Βίνιανη (Νέο Προσήλιο) και ο δρόμος της Άμφισσας-Γραβιάς-Λαμίας, ο οποίος διέρχεται 1,6 χλμ. Σε ευθεία ανατολικά από τους χώρους επέμβασης, χωρίς να υπάρχει οπτική επαφή με το δρόμο, ενώ υπάρχει μικρή επαφή με τη Βίνιανη. Δεν υπάρχουν ιστορικοί χώροι ή άλλα σημεία αυξημένης ευαισθησίας. Οι αγροί της γύρω περιοχής δεν θα επηρεασθούν καθόλου.

#### **● Μεσαία ζώνη (2-5 χλμ.)**

Στη μεσαία ζώνη τοποθετούνται τα χωριά Δροσοχώρι και Προσήλιο. Όμως ο χώρος επέμβασης λόγω γωνίας παρατηρήσεως και αναγλύφου, είναι αθέατος από τους παραπάνω χώρους, γεγονός που αποτρέπει τη δημιουργία οποιασδήποτε δυσμενούς επίπτωσης.

#### **● Μακρινή ζώνη (πάνω από 5 χλμ)**

Στη ζώνη αυτή τοποθετούνται η Άμφισσα και ο Ελαιώνας, από τα οποία δεν είναι ορατοί οι χώροι επέμβασης. Δεν υπάρχει σε λογική απόσταση

κανένας χώρος ευαίσθητος ο οποίος θα επηρεαστεί, είτε οπτικά, είτε με σκόνη ή θόρυβο.

### **5.16 Άλλα στοιχεία**

Η περιοχή λόγω του ασβεστολιθικού υπόβαθρου και της μορφολογίας και του ανάγλυφου, δεν παρουσιάζει θέσεις, όπου να κυριαρχούν ακραίες συνθήκες του φυσικού περιβάλλοντος, όπως πλημμυριζόμενες, ανεμόπληκτες, ολισθησιγενείς κ.τ.λ

### **5.17 Κοινωνικά και οικονομικά στοιχεία**

Τα πλησιέστερα χωριά προς το χώρο είναι ο Ελαιώνας, το Δροσοχώρι, η Βίνιανη, το Προσήλιο και η πόλη της Άμφισσας. Εκτός της Άμφισσας που παρουσιάζει μια σημαντική ανάπτυξη σαν εμπορικό κέντρο και διοικητική πρωτεύουσα του νομού Φωκίδος, οι κάτοικοι των υπόλοιπων γειτονικών χωριών είναι μεταλλωρύχοι και αγροτο-εργάτες. Ένα μεγάλο μέρος του ενεργού πληθυσμού των παραπάνω κοινοτήτων εργάζεται στις εταιρίες εξορύξεως και εμπορίας βωξίτη.

Η χρήση αυτής της έκτασης, θα βοηθήσει στην απρόσκοπτη λειτουργία της εταιρίας, με θετικά οικονομικά αποτελέσματα για όλη την περιοχή, αφού θα αξιοποιηθεί το υπάρχον εργατικό δυναμικό και θα χρησιμοποιηθεί και νέο εφόσον χρειαστεί. Ακόμη θα απασχολούνται μεταφορικά οχήματα της περιοχής, ενώ θα κατοικούν στη περιοχή και εργαζόμενοι από άλλες πόλεις.

### **5.18 Κόστος αποκατάστασης**

#### **Αναλυτικό και συνολικό κόστος**

- Σύνολο επιφανειών:
- Πρανή: 2 στρέμματα
  - Πλατεία: 2,5 στρέμματα
  - Σύνολο: 4,5 στρέμματα
- Περιμετρική φύτευση: 540 μέτρα

## **ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΔΑΠΑΝΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ**

α. Φυτεία	4605,85 €
β. Συντήρηση:	7996,85 €
γ. Διάφορα απρόβλεπτα (αγορά εργαλείων, αντικατάσταση φυταρίων, δεξαμενές ποτίσματος κ.τ.λ.):	1991,56 €
<b>Σύνολο € :</b>	<b>14594,26 €</b>

Το παραπάνω ποσό είναι μόνο η δαπάνη εγκατάστασης και εν μέρει συντήρησης των φυτών. Όμως δεν περιλαμβάνονται σ' αυτή το κόστος μεταφοράς νερού για την πλήρωση των δεξαμενών (τον πρώτο χρόνο θα χρειασθούν 1245 X 10 κιλά X 8 φορές = 100 κ.μ. νερού), το κόστος κατασκευής των δεξαμενών, εφόσον δεν επαρκούν οι χρησιμοποιούμενες από την εταιρία, η απασχόληση προσωπικού για τη μεταφορά και διάστρωση των υλικών.

Ακόμη η μεταφορά του προσωπικού για την φύτευση, η μεταφορά των φυτών και όλων των υλικών του αυτόματου ποτίσματος. Ειδικά για το τελευταίο θα χρειαστεί ειδική μελέτη.

Το παραπάνω κόστος για εργασίες που δεν αξιολογήθηκαν, δεν συμπεριελήφθη, γιατί υπάρχει μεγάλη πιθανότητα, να καλυφθούν οι εργασίες από μηχανήματα και εργάτες της εταιρίας (Δελφοί-Δίστομον, 2001).

### **5.19 Δημιουργία υποδομής αποκατάστασης**

Όπως προαναφέρθηκε το εδαφικό υλικό που θα χρειαστεί θα μεταφερθεί από τον Ελαιώνα. Φυτώριο δεν θα γίνει αφού τα φυτά είναι λίγα και παρέχονται σε λογικές τιμές από τα δασικά φυτώρια. Οι χώροι που θα φυτευτούν πρέπει οπωσδήποτε να περιφραχτούν, αμέσως μόλις γίνει η εγκατάσταση των φυτών.

### **5.20 Δυσχέρειες και νέα τεχνολογία**

Από τον τρόπο που περιγράφηκε η αποκατάσταση δεν προκύπτει καμία δυσχέρεια, ούτε κάποια καινούργια τεχνοτροπία. Σε περίπτωση όμως που χρειασθεί οποιαδήποτε οδηγία ή συμβουλή, θα ερωτάται δασολόγος της εταιρίας ή το δασαρχείο Άμφισσας, στο οποίο υπάγεται η περιοχή και με την εποπτεία του οποίου θα γίνει πιστή εφαρμογή της μελέτης αυτής κατά το στάδιο της αποκατάστασης (Δελφοί-Δίστομον, 2001).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### Συμπεράσματα

---

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η εκμετάλλευση του υπογείου βωξιτικού κοιτάσματος «Σίλας 3», το οποίο βρίσκεται στη βωξιτική ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας και εξορύσσεται από την εταιρεία Δελφοί-Δίοτομον ΑΜΕ. Για να μελετηθεί το κοίτασμα, αρχικά έγινε προσπάθεια ψηφιοποίησής του με το σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCad 2007. Τα προβλήματα που προέκυψαν όμως στην εξαγωγή τομών, λόγω του πλήθους των σημείων, οδήγησαν στην νέα εισαγωγή των δεδομένων στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Surpac, όπου αναπαραστάθηκε το κοίτασμα τριδιάστατα και έγιναν οι απαραίτητες τομές.

Στη συνέχεια μελετήθηκε ο ασβεστόλιθος οροφής του βωξιτικού κοιτάσματος, μέσω πρότυπων δοκιμών. Συγκεκριμένα με τη βοήθεια της δοκιμής σημειακής φόρτισης υπολογίστηκε έμμεσα η αντοχή του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη. Όμως και εκεί παρουσιάστηκαν δυσκολίες κατά την εξαγωγή πυρήνων, λόγω της ιδιαίτερης σκληρότητας του πετρώματος. Για το λόγο αυτό η δοκιμή σημειακής φόρτισης πραγματοποιήθηκε σε ακανόνιστα δείγματα επί το πλείστον και προέκυψε πως η αντοχή του ασβεστολίθου σε μονοαξονική θλίψη είναι  $\sigma_c=46$  MPa. Η τιμή αυτή είναι στα όρια που κυμαίνεται η αντοχή των ασβεστολίθων και ο εν λόγω ασβεστόλιθος χαρακτηρίζεται μέτρια ισχυρός κατά ISRM.

Η δυσκολία εξαγωγής πυρήνων, οδήγησε στη μελέτη των ασβεστολίθων με τη βοήθεια πολωτικού και ηλεκτρονικού μικροσκοπίου. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν ήταν:

- Ύπαρξη απολιθωμάτων στο σύνολο της μάζας του ασβεστίτη.
- Διακλάσεις που έχουν πληρωθεί με δευτερογενή ασβεστίτη.
- Αυξημένη παρουσία οργανικού άνθρακα.
- Προσμίξεις οξειδίων του σιδήρου (80% κατ' όγκον) στο μεγαλύτερο μέρος της μάζας του ασβεστίτη, οι οποίες με την παρουσία και των απολιθωμάτων προσδίδουν στον ασβεστόλιθο ιδιαίτερη σκληρότητα.

Στη συνέχεια της επεξεργασίας και έχοντας πλέον κάποια στοιχεία για τους ασβεστολίθους οροφής, υπολογίστηκε η ευστάθεια μερικών στύλων του υπογείου ανοίγματος, οι οποίοι ήταν περιορισμένοι σε αριθμό. Η τάση που αναπτύσσεται στους στύλους ήταν  $\sigma_p=10,6$  MPa και η αντοχή των στύλων σε θλίψη υπολογίστηκε  $C_p=46,4$  MPa. Με βάση τα δεδομένα αυτά ο συντελεστής ασφαλείας που προέκυψε ήταν  $F=4,4$ , δηλαδή αρκετά υψηλός.

Τέλος πραγματοποιήθηκε δοκιμή εξόλκευσης των αγκυρίων ρητίνης σε μεμονωμένη περιοχή των ασβεστολίθων οροφής, τόσο στο εργοτάξιο, όσο και στο εργαστήριο με τη βοήθεια του προγράμματος FLAC 2D. Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν στο εργοτάξιο, παρατηρήθηκε πως η μέγιστη μετατόπιση της κεφαλής αγκυρίων είναι 5,5 mm για φορτίο 12 tn. Η μετατόπιση αυτή δεν δημιουργεί κανένα απολύτως πρόβλημα στη 'δράση' των αγκυρίων. Αντίστοιχα στο πρόγραμμα FLAC 2D, αφού προσομοιώθηκαν όσο το δυνατόν καλύτερα οι πραγματικές συνθήκες εξόλκευσης, προέκυψε πως η διεπιφάνεια ήλου-ενέματος αρχίζει να αστοχεί σε φορτίο 161 kN και μετατόπιση 13 mm, ενώ πλήρης αστόχια προκύπτει για φορτίο 198 kN και μετατόπιση 17,4 mm. Τα φορτία αυτά δεν αναπτύσσονται σε κανένα σημείο του υπογείου ανοίγματος, επομένως το σύστημα αγκυρώσεων δεν αντιμετώπισε κανένα πρόβλημα.

## **Βιβλιογραφία**

### **Βιβλιογραφία και αναφορές**

- 1) Αγιουτάντης Ζ. (2005) «Στοιχεία Προσπέλασης και Ανάπτυξης Υπογείων Εκμεταλλεύσεων» Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Χανιά Σεπτέμβριος 2005
- 2) Δελφοί-Δίοστομον Α.Μ.Ε (2001) «Μελέτη Επιπτώσεων και Αποκατάστασης του Περιβάλλοντος από Υπόγεια Εκμετάλλευση Βωξίτη» Δεκέμβριος 2001
- 3) ELEBOR "Ελληνικός διατρητικός εξοπλισμός" (2005), «Ρητινικά Ενόματα Αγκυρίων» Φυλλάδιο έκθεσης ιδιοτήτων ρητινικών ενεμάτων, Αθήνα 2005
- 4) ELEBOR "Ελληνικός διατρητικός εξοπλισμός" (2006), «Threaded Bar Rock Bolting System» Φυλλάδιο έκθεσης συστημάτων κοχλιώσεων οροφής, Αθήνα 2006
- 5) Εξαδάκτυλος Γ.Ε (2005) «Σχεδιασμός συστημάτων υπογείων έργων για την εκμετάλλευση μεταλλευτικών κοιτασμάτων» Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Χανιά 2005
- 6) Εφραιμίδης Ι.Χ. (2008) «Υπόγεια Λατομεία», Εισήγηση στο 1<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, Αθήνα 2008
- 7) Hoek E., (2007) «Practical Rock Engineering» Chapter 14 – Rockbolts and Cables
- 8) Itasca , FLAC2D Manual, V.6.0
- 9) Καλιαμπάκος Δ., Μπενάρδος Α. (2009) «Σχεδιασμός και Οικονομοτεχνική Ανάλυση Ειδικών Υπογείων Έργων» Σημειώσεις μαθήματος, Αθήνα 2009
- 10) Καρίνας Α.Γ., (1995) «Μελέτη των συστημάτων κοχλίωσης που εφαρμόζονται σε υπόγειες βωξιτικές εκμεταλλεύσεις» Διπλωματική Εργασία, Ελλάδα 1995
- 11) Καρίνας Α.Γ., Οικονομόπουλος Ι.Ν., Σοφιανός Α.Ι., Κορωνάκης Ν.Ι., (1997) «Μηχανισμοί δράσης και φέρουσα ικανότητα κοχλιών» Ορυκτός Πλούτος 114/2000, Αθήνα 1997

- 12) Κατσικάτσος Γ.Χ (1992) «Γεωλογία της Ελλάδος» Πανεπιστήμιο Πάτρας Ο.Ε.Δ.Β Αθήνα 1992
- 13) Μπουλαμάτση Σ., (2010) «Διερεύνηση της λειτουργίας ήλων πλήρους πάκτωσης με αριθμητικές μεθόδους» Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Δ.Π.Μ.Σ "Σχεδιασμός και Κατασκευή Υπογείων Έργων", Αθήνα 2010
- 14) Οικονομόπουλος Ι.Ν (1989) «Εκμετάλλευσις Μεταλλείων- Προσπέλασις, Κατασκευή κύριων μεταλλευτικών έργων, Ανάπτυξις» Εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα 1989
- 15) Οικονομόπουλος Ι.Ν., Κορωνάκης Ν.Ι., (1991) «Δοκιμές ελέγχου και μετρήσεις προς διαπίστωση της συμπεριφοράς συστημάτων κοχλίωσης της οροφής», Ορυκτός Πλούτος Τεύχος 75, Αθήνα 1991
- 16) Οικονομόπουλος Ι.Ν., Κορωνάκης Ν.Ι., Μάστορης Ι.Γ., (1992) «Εφαρμογή και διερεύνηση της μεθόδου ανάλυσης αλληλεπιδράσεως πετρώματος και συστήματος κοχλίωσης σε υπόγειες βωξιτικές μεταλλευτικές εκσκαφές» Εργαστήριο Μεταλλευτικής Τεχνολογίας Ε.Μ.Π, Αθήνα 1992
- 17) Σκούρας Γ.Ν. (2005) «Έμμεσος προσδιορισμός της θλιπτικής αντοχής πετρωμάτων με τη δοκιμή της επιφανειακής δεισδυσσης», Διατριβή για Μεταπτυχιακό Δίπλωμα Ειδίκευσης, Πάτρα 2005.
- 18) Σοφιανός Α.Ι., (2008) «Μέτρα υποστήριξης σηράγγων» Πανεπιστημιακές σημειώσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα 2008
- 19) Σοφιανός Α.Ι., (2008) «Μηχανική Πετρωμάτων» Πανεπιστημιακές σημειώσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα 2008
- 20) Stillborg B., (1994) «Professional Users Handbook for Rock Bolting» 2<sup>nd</sup> edition, Vol. 18, Trans Tech Publications, Germany
- 21) Tsiabaos G., Sabatakakis N., (2003) «Consideration on strength of intact sedimentary rock» Department of Goetechnical Engineering, National Technical University of Athens, Athens 2003
- 22) Τσούρλος Π. , Τσόκας Γ. , Γιαμάς Α. (2005) «Εντοπισμός Βωξιτικών Φακών με τη Χρήση Γεωφυσικών Τεχνικών» Πανεπιστημιακή εργασία, τομέας γεωφυσικής, τμήματος γεωλογίας Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη Οκτώβριος 2005



23) Τζιμόπουλος Χ., (2006) «Συγκριτική έρευνα, Εθνικός χωροταξικός σχεδιασμός και εξορυκτική δραστηριότητα ΤΕΕ», Αθήνα 2006

## **Εικόνες & ιστοσελίδες στο διαδίκτυο**

### **Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>**

Εικόνα 1.1: [farm3.static.flickr.com](http://farm3.static.flickr.com)

Εικόνα 1.2: [http://4.bp.blogspot.com/\\_sRIeN7\\_ZfCw/20/DSC00163.jp](http://4.bp.blogspot.com/_sRIeN7_ZfCw/20/DSC00163.jp).

Εικόνα 1.3: [http://3.bp.blogspot.com/\\_sRIeN7\\_ZfCw/20/DSC00167.jp](http://3.bp.blogspot.com/_sRIeN7_ZfCw/20/DSC00167.jp)

Εικόνα 1.4: [nemertes.lis.upatras.gr/dspace/bitstream/12389/391/1/177.pdf](http://nemertes.lis.upatras.gr/dspace/bitstream/12389/391/1/177.pdf)

Εικόνα 1.6: <http://www.noon.com>

### **Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>**

Εικόνα 2.1: [www.blogspot.com/3.bp](http://www.blogspot.com/3.bp)

Εικόνα 2.3: [http://farm4.static.flickr.com/3443/3772765586\\_9d5a81aa25\\_m.jpg](http://farm4.static.flickr.com/3443/3772765586_9d5a81aa25_m.jpg)

Εικόνα 2.6: [http://upload.wikimedia.org/9/97/Georgia\\_Tschiatura\\_Mangan\\_03.jpg](http://upload.wikimedia.org/9/97/Georgia_Tschiatura_Mangan_03.jpg)

Εικόνα 2.9: <http://media-2.web.britannica.com/eb-media/28/1528-004-48EDAE1B.gif>

Εικόνα 2.10: [http://www.noon.com/old-mining/foto2/3\\_02s\\_africa6.gif](http://www.noon.com/old-mining/foto2/3_02s_africa6.gif)

Εικόνα 2.13: <http://www.splitset.com/rock-bolts.html>

Εικόνα 2.15: <http://www.splitset.com/rock-bolts.html>

Εικόνα 2.16: [http://www.elebor.gr/displayITM1.asp?ITMID=91#System Description](http://www.elebor.gr/displayITM1.asp?ITMID=91#System%20Description)

Εικόνα 2.18: [http://www.elebor.gr/displayITM1.asp?ITMID=92#System Description](http://www.elebor.gr/displayITM1.asp?ITMID=92#System%20Description)

Εικόνα 2.19: [http://www.elebor.gr/displayITM1.asp?ITMID=96#System Description](http://www.elebor.gr/displayITM1.asp?ITMID=96#System%20Description)

Εικόνα 2.20: [http://www.elebor.gr/displayITM1.asp?ITMID=99#System Description](http://www.elebor.gr/displayITM1.asp?ITMID=99#System%20Description)

Εικόνα 2.21: [http://www.elebor.gr/displayITM1.asp?ITMID=97#System Description](http://www.elebor.gr/displayITM1.asp?ITMID=97#System%20Description)

Εικόνα 2.22: <http://www.elebor.gr/displayITM1.asp?ITMID=66>

Εικόνα 2.23: <http://www.elebor.gr/displayITM1.asp?ITMID=67>

Εικόνα 2.24: <http://www.elebor.gr/displayITM1.asp?ITMID=68>

Εικόνα 2.25: <http://www.elebor.gr/displayITM1.asp?ITMID=69>

Εικόνα 2.26: <http://www.icm.co.jp>

Εικόνα 2.28: [www.atlas-copco.com](http://www.atlas-copco.com)

Εικόνα 2.29: [www.hydrostar.com](http://www.hydrostar.com)

### **Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>**

Εικόνα 3.34: <http://www.elebor.gr/LH2Uploads>

Εικόνα 3.35: <http://www.elebor.gr/displayITM1.asp?ITMID=68>

Εικόνα 3.36: <http://www.econtech.gr>

### **Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>**

Εικόνα 5.1: [http://farm3.static.flickr.com/2006/2525513568\\_817082a436\\_m.jpg](http://farm3.static.flickr.com/2006/2525513568_817082a436_m.jpg)

Εικόνα 5.2: [www.moa.gov.cy](http://www.moa.gov.cy)

Εικόνα 5.3: <http://media-2.web.britannica.com/eb-media/28/1528-004-48EDAE1B.gif>

Εικόνα 5.4: [www.larco.gr](http://www.larco.gr)

Εικόνα 5.5: [farm4.static.flickr.com](http://farm4.static.flickr.com)

Εικόνα 5.6: <http://antigoldgreece.files.wordpress.com/2008/08>

Εικόνα 5.7: [http://farm4.static.flickr.com/3443/3772765586\\_9d5a81aa25\\_m.jpg](http://farm4.static.flickr.com/3443/3772765586_9d5a81aa25_m.jpg)

Εικόνα 5.8: [www.blogspot.com/3.bp](http://www.blogspot.com/3.bp)