



ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΑΝΤΙΡΡΥΠΑΝΣΗΣ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΓΕΩΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*Σχεδιασμός Υπόγειας Εκμετάλλευσης Νικελίου*

ΔΑΦΝΗ ΓΚΑΝΑ

A.M.: GE05360

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΙΩΑΝΝΗΣ ΚΑΠΑΓΕΡΙΔΗΣ

2019

## **ΠΡΟΛΟΓΟΣ**

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος και Γεωτεχνολογίας υπό την επίβλεψη του καθηγητή Ι. Καπαγερίδη. Το θέμα της εργασίας είναι ο Σχεδιασμός Υπόγειας Εκμετάλλευσης Κοιτάσματος Νικελίου. Το συγκεκριμένο θέμα επιλέχθηκε για τους εξής λόγους. Το νικέλιο έχει ιδιαίτερα μεγάλη ζήτηση. Επειδή είναι ένα αρκετά σημαντικό μέταλλο και είναι γνωστό το πόσο στηρίζει και στηρίζει την μεταλλευτική βαριά βιομηχανία της Ελλάδας και τις άλλες διάφορες χώρες εκτός Ελλάδας.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της πτυχιακής εργασίας μου, Αναπληρωτή Καθηγητή Ιωάννη Καπαγερίδη για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου. Είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της πτυχιακής εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους. Οφείλω ευχαριστίες στα πρόσωπα που με βοήθησαν προσφέροντας μου πληροφορίες κατά την διάρκεια της πρακτικής μου πάνω στην πτυχιακή μου, στον Γεωλόγο Γιώργο Καμάρη και Μεταλλειολόγο Δημήτρη Παπαγεωργίου. Ευχαριστώ τους φίλους μου για την ηθική υποστήριξη τους. Πάνω απ' όλα, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>5</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>6</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΝΙΚΕΛΙΟΥ</b> .....	<b>8</b>
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΝΙΚΕΛΙΟΥ .....	8
1.2 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ .....	8
1.3 ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΝΙΚΕΛΙΟΥ .....	9
1.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ ΝΙΚΕΛΙΟΥ .....	11
1.5 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΚΑΙ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΝΙΚΕΛΙΟΥ .....	16
1.6 ΛΑΤΕΡΙΤΕΣ ΝΙΚΕΛΙΟΥ–ΚΟΒΑΛΤΙΟΥ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΓΩΓΙΚΗ ΜΕΤΑΛΟΥΡΓΙΑ .....	18
1.7 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ .....	20
1.8 ΣΤΑΔΙΑ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ.....	23
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΤΟ ΝΙΚΕΛΙΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ</b> .....	<b>24</b>
2.1 ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΝΙΚΕΛΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	24
2.2 ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ.....	25
2.3 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ.....	28
2.4 ΠΑΛΑΙΟΓΕΩΓΡΑΦΕΙΑ .....	29
2.5 ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑ .....	30
2.6 ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΠΑΡΝΗΘΑΣ.....	34
2.7 ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΙΟΥ ΓΡΕΒΕΝΩΝ .....	34
2.8 ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΙΕΡΟΠΗΓΗΣ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ.....	35
2.9 ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΒΕΡΜΙΟΥ .....	35
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΝΙΚΕΛΙΟΥ ΕΚΤΟΣ ΕΛΛΑΔΑΣ</b> .....	<b>37</b>
3.1 ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΟΡΥΧΕΙΟΥ JINCHUAN.....	37
3.2 ΚΟΙΤΑΣΜΑ ΝΙΚΕΛΙΟΥ JINCHUAN .....	39
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ</b> .....	<b>41</b>
4.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ.....	41
4.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΓΟΜΟΥΜΕΝΑ ΜΕΤΩΠΑ(FILLING STOPEs).....	43
4.2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΕΣ ΚΟΠΕΣ ΚΑΙ ΓΟΜΩΣΕΙΣ (Cut-and-Fill).....	44
4.2.2 ΣΥΜΠΤΥΣΣΟΜΕΝΑ ΜΕΤΩΠΑ (Shrinkage Method).....	47
4.2.3 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΞΥΛΙΝΑ ΠΡΙΣΜΑΤΙΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ (Square-set timbering) .....	50
4.2.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΜΗΚΟΥΣ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΟΥ ΜΕΤΩΠΙΟΥ (Longwall Method) .....	52
4.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ (CAVING STOPEs).....	53

4.3.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗΣ ΠΑΤΩΜΑΤΟΣ ( <i>Block Caving</i> ).....	54
4.3.2 ΜΕΘΟΔΟ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗΣ ΔΙΑΔΟΧΙΚΩΝ ΟΡΟΦΩΝ ( <i>Sublevel caving</i> ).....	56
4.3.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΔΙΑΔΟΧΙΚΩΝ ΠΛΑΚΩΝ, ΠΟΥ ΕΞΟΥΥΣΣΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΛΩΡΙΔΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΙΟΥΣΑ ΦΟΡΑ ( <i>Top – Slicing Method</i> ).....	58
4.3.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ΕΠΙΜΗΚΟΥΣ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΟΥ ΜΕΤΩΠΟΥ ΜΕ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ ΟΡΟΦΗΣ ( <i>Longwall with caving</i> ).....	59
4.4 ΚΕΝΑ ΜΕΤΩΠΑ (OPEN STOPEs).....	59
4.4.1 ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΜΕ ΚΑΤΑ ΜΕΤΩΠΟ ΠΡΟΣΒΟΛΗ ( <i>Breast stope</i> ).....	60
4.4.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΘΑΛΑΜΩΝ ΚΑΙ ΣΤΥΛΩΝ ( <i>Room-and-Pillar</i> ) .....	60
4.4.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΑΔΟΧΙΚΩΝ ΟΡΟΦΩΝ ΜΕ ΚΕΝΑ ΜΕΤΩΠΑ ( <i>Sublevel stoping ή Sublevel open stoping</i> ) .....	62
4.4.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΧΩΡΟΥΝΤΟΣ ΜΕΤΩΠΟΥ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΚΡΑΤΗΡΑ ( <i>Vertical Crater Retreat – VCR</i> ).....	63
4.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ.....	64
4.6 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΑ ΑΠΟ ΤΟ ΠΟΙΑ ΜΕΘΟΔΟ ΕΧΕΙ ΕΠΙΛΕΧΘΕΙ .....	67
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ ΝΙΚΕΛΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ .....</b>	<b>70</b>
5.1 ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΛΑΡΚΟ ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ ΑΓ.ΙΩΑΝΝΗ.....	70
5.2 ΚΟΧΛΙΩΣΗ ΟΡΟΦΗΣ .....	72
5.3 ΠΡΟΧΩΡΗΣΗ ΣΤΟΑΣ .....	73
5.4 ΦΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ .....	76
5.4.1 ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗ .....	76
5.4.2 ΠΡΟΠΑΡΑΣΚΕΥΗ .....	76
5.5 ΦΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ .....	76
5.6 ΘΟΡΥΒΟΣ .....	78
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΜΕ Η/Υ .....</b>	<b>80</b>
6.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΛΑΝΟΥ ΕΞΟΥΥΣΗΣ .....	80
6.2 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΠΑΝΕΛ .....	80
6.3 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΓΕΝΙΚΟΥ ΠΛΑΝΟΥ .....	81
6.4 ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΟΩΝ ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗΣ .....	81
6.5 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΩΝ ΜΕ ΤΟ VULCAN.....	88
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ .....</b>	<b>91</b>
7.1 ΚΟΙΤΑΣΜΑ, ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ .....	91
7.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ .....	95
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>100</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>101</b>

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι ο Σχεδιασμός Υπόγειας Εκμετάλλευσης Κοιτάσματος Νικελίου.

Σημαντικό ρόλο για την σωστή λειτουργία ενός μεταλλείου παίζει ο υπολογισμός κόστους επιλογής υπόγειας και υπαίθριας ή και των δύο μεθόδων αν χρειάζεται ανάλογα με το κοιτάσμα.

Τα κοιτάσματα μεταλλευμάτων γενικότερα, σε σύγκριση με την κανονική δομή του γήινου φλοιού και την χημική τους σύσταση, απεικονίζουν μια σημαντική συγκέντρωση των αντίστοιχων μετάλλων. Η συγκέντρωση αυτή οφείλεται στην επίδραση διαφόρων γεωλογικών και γεωχημικών συμβάντων, όπως ενδογενείς διαδικασίες (μαγματισμός, μεταμόρφωση, τεκτονισμός) ή εξωγενείς (κύκλος αποσάθρωσης, μεταφοράς, απόθεσης υλικών).

Επίσης για να γίνει μια εκμετάλλευση πρέπει να γίνουν μελέτες και έρευνες της περιοχής που θα εκτελεστούν τα έργα και οι διάφορες ενέργειες που προαπαιτούνται.

**ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ, ΝΙΚΕΛΙΟ, ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑ.**

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το θέμα της παρούσα πτυχιακή αναφέρεται στο Σχεδιασμό Υπόγειας Εκμετάλλευσης Κοιτάσματος Νικελίου. Η υπόγεια εκμετάλλευση κοιτασμάτων εφαρμόζεται, όταν η επιφανειακή τους εκμετάλλευση καθίσταται αντιοικονομική ή όταν η υπόγεια εκμετάλλευση υπαγορεύεται από περιβαλλοντικούς λόγους.

Η ανάπτυξη κοιτασμάτων σε μεγάλα βάθη κυρίως βάθη για τα οποία η εκμετάλλευσή τους από την επιφάνεια δεν μπορεί να γίνει με θετικό οικονομικό αποτέλεσμα οδηγεί στην διερεύνηση της εκμεταλλευσιμότητας τους με υπόγειες μεθόδους. Οι υπόγειες μέθοδοι εκμετάλλευσης ουσιαστικά επιτυγχάνουν την πρόσβαση στο χώρο ανάπτυξης του κοιτάσματος μέσω έργων προσπελάσεως (στοές, φρέατα, κεκλιμένα και ελικοειδή κεκλιμένα) και την προσβολή και απόσπαση του μεταλλεύματος χωρίς να απαιτείται η μαζική μετακίνηση των υπερκείμενων στείρων πετρωμάτων.

Σημαντικό ρόλο για την σωστή λειτουργία ενός μεταλλείου είναι η σωστή επιλογή μεθόδου εκμετάλλευση καθώς και τα στάδια που θα ακολουθήσουν. Παράδειγμα μελέτης θα αποτελέσει η υπόγεια εκμετάλλευση κοιτάσματος νικελίου της ΛΑΡΚΟ που θα αναφερθεί η τρέχουσα κατάσταση της και ή περίπτωση που μπορεί να τεθεί ξανά σε επαναλειτουργία. Για την σχεδίαση υπόγειας εκμετάλλευσης κοιτάσματος νικελίου θα χρησιμοποιηθεί το μεταλλευτικό πρόγραμμα Martek Vulcan.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν αναφέρονται πληροφορίες σχετικά με το νικέλιο για την ιστορική εξέλιξη, τις ιδιότητες, τις κατηγορίες που χωρίζεται και την σημαντική συμμετοχή του στην παγκόσμια μεταλλευτική βιομηχανία. Επίσης θα αναφερθούμε στα κοιτάσματα νικελίου της Ελλάδας που θα αναλυθεί η γεωλογία του εδάφους κάθε περιοχής καθώς και για τα κοιτάσματα νικελίου εκτός Ελλάδας.

ΤΑ ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΕΡΑ ΟΡΥΚΤΑ ΤΟΥ ΝΙ



Νικελίτης, NiAs



Νικελιοπυρίτης ή μίλλερίτης  
( οι βελονοειδείς κρύσταλλοι), NiS



Πετλανδίτης, (Ni,Fe)S



Γαρνιερίτης, (μικτό πυριτικό άλας Ni)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΝΙΚΕΛΙΟΥ

### 1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΝΙΚΕΛΙΟΥ

Το όνομα νικέλιο(Nickel-Ni) προήλθε από μεταλλωρύχους της Σαξονίας. Παρασκευάστηκε για πρώτη φορά (1751) από τον Σουηδό Cronstedt. Στην αρχαιότητα δεν ήταν γνωστό, χρησιμοποιήθηκε όμως σε κράματα <<Λευκού Χαλκού>> ή ορειχάλκου. Νομίσματα που κόπηκαν 2220 χρόνια πριν στο Αφγανιστάν περιείχαν 20% Ni, ενώ ορειχάλκινα αντικείμενα της ανατολής 2% Ni. Το νικέλιο (Ni) αν και είναι γνωστό πάνω από 4000 χρόνια για την κατασκευή μεταλλικών αντικειμένων, αναγνωρίστηκε σαν ανεξάρτητο στοιχείο μόλις τον 18<sup>ο</sup> αιώνα. Οικονομική σημασία απέκτησε στα μέσα του 19<sup>ο</sup> αιώνα, όταν ο Άγγλος Faraday ανέπτυξε μια μέθοδο παραγωγής ανοξειδωτού χάλυβα με βάση την επινικέλωση. Επικρατέστερη θέση στην εξόρυξη και παραγωγή νικελίου μέχρι τις αρχές του 20<sup>ο</sup> αιώνα κατείχαν κοιτάσματα σουλφιδίων. Από τη δεκαετία του 50 αλλαγή στη μεταλλουργία με την εξόρυξη και εκμετάλλευση κοιτασμάτων νικελιούχων λατεριτών. Το 1950 προήλθε το 90% της παγκόσμιας παραγωγή νικελίου από κοιτάσματα σουλφιδίων. Το 1975 μόνο το 55% και σήμερα περίπου το 40%.

### 1.2 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Το νικέλιο έχει μεγάλη συγγένεια με το κοβάλτιο και το σίδηρο, για το λόγο αυτό συνυπάρχουν σε πολλούς τύπους κοιτασμάτων και μπορούν να αντικαθιστούν το ένα το άλλο σε πολύ μεγάλο βαθμό. Βρίσκεται στη όγδοη ομάδα της τέταρτης περιόδου του περιοδικού συστήματος των στοιχείων. Σημαντικές ιδιότητες είναι η μαγνητική συμπεριφορά και η αντοχή του σε μεγάλες πιέσεις. Είναι ελατό και όλκιμο και σε θερμοκρασίες δωματίου έχει ιδιότητες όμοιες με αυτές του χάλυβα. Το νικέλιο δεν οξειδώνεται στον αέρα και σε άλλα αναγωγικά μέσα και είναι κάλος καταλύτης. Είναι σκληρό, αργυρόλευκο και κάτω από τους 385°C βαθμούς ελαφρώς μαγνητικό μέταλλο και η δομή ατόμου που αποτελείται από μίγμα 5 σταθερών ισοτόπων :

- Ni 58 68.077%
- Ni 60 26.233%
- Ni 61 1.140%
- Ni 62 3.634%
- Ni 64 0.926%



Επίσης το νικέλιο αποτελεί το 5ο πιο κοινό στοιχείο στη Γη. Είναι ένα στοιχείο το οποίο συναντάται κυρίως στη δομή θειούχων, οξειδίων και αλάτων ανόργανων ουσιών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1: Ιδιότητες νικελίου(Ni).

ΑΤΟΜΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	58.71g $\text{mol}^{-1}$
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΡΩΤΟΝΙΩΝ/ΗΛΕΚΤΟΝΙΩΝ	28
ΑΡΙΘΜΟΣ ΝΕΤΡΟΝΙΩΝ	31
ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	8.9g/cm <sup>3</sup> at 20°C
ΙΟΝΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΑ	1.91
ΗΛΕΚΤΡΟΑΡΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑ(PAULING)	1.8
ΣΗΜΕΙΟ ΤΗΞΗΣ	1453°C
ΣΗΜΕΙΟ ΒΡΑΣΜΟΥ	2913°C

### 1.3 ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΝΙΚΕΛΙΟΥ

Τα μεταλλεύματα νικελίου με βάση τον τρόπο γένεσης ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες:

- Θειούχα
- Λατεριτικά
- Ιζηματογενή

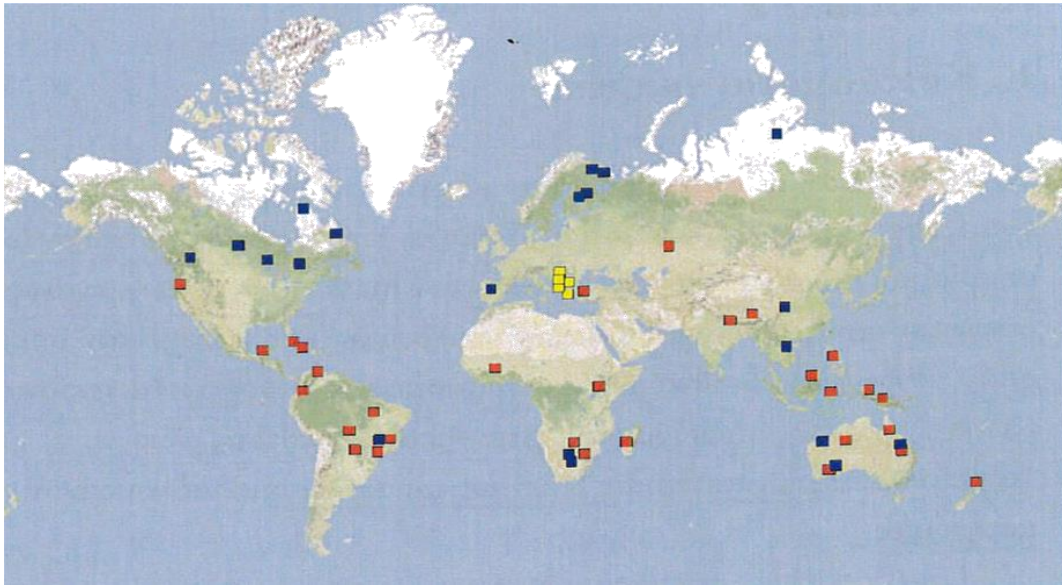
Τα κύρια θειούχα κοιτάσματα είναι του Sudbury, Thompson, Raglan και Voisey bay του Καναδά, της Kambalda της Αυστραλίας, τα κοιτάσματα του κρατονικού χώρου Yilgarn της Δυτικής Αυστραλίας, Jinchuan Κίνας, Duluth ΗΠΑ και Noril'sk της Ρωσίας. Τα κοιτάσματα αυτά είναι συνήθως πολυμεταλλικά και συνδέονται με

μεταλλεύματα χαλκού και πλατινοειδών (PGE). Η ιδιαιτερότητα αυτή τους δίνει μια ιδιαίτερα μεγάλη μεταλλευτική αξία.

Τα σημαντικότερα λατεριτικά κοιτάσματα εντοπίζονται στην Αυστραλία, Νέα Καληδονία, Κούβα, Ινδονησία, Φιλιππίνες, Βραζιλία και Κολομβία όπου και συγκεντρώνεται το 75% των παγκοσμίων αποθεμάτων νικελιούχων λατεριτών. Στην Αφρική ένα σημαντικό ποσοστό αποθεμάτων έχει εντοπιστεί στο Μπουρούντι, στην Ακτή Ελεφαντοστού και στη Μαδαγασκάρη. Σε αυτά τα κοιτάσματα, εάν το μετάλλευμα δεν επεξεργάζεται σε σιδηρονικέλιο, ανακτάται επίσης κοβάλτιο σαν παραπροϊόν.

Τα ιζηματογενή κοιτάσματα νικελίου διαφέρουν γενετικά από τα κοιτάσματα των άλλων δύο τύπων. Δημιουργήθηκαν από προϊόντα αποσάθρωσης και μεταφοράς του λατεριτικού υλικού. Δεν υπάρχει όμως καμία ποιοτική διαφορά στη χημική σύσταση μεταξύ ιζηματογενών και λατεριτικών κοιτασμάτων νικελίου. Τα ιζηματογενή κοιτάσματα αποτελούν μια ιδιαιτερότητα και αναπτύσσονται στις χώρες της Βαλκανικής, βεβαίως στις ίδιες χώρες έχουμε και την εμφάνιση λατεριτικών κοιτασμάτων. Πολλά κοιτάσματα της Αλβανίας και της Ελλάδος ανήκουν στην κατηγορία των λατεριτικών πρωτογενών κοιτασμάτων.

## 1.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ ΝΙΚΕΛΙΟΥ



■ ΘΕΙΟΥΧΑ

■ ΛΑΤΕΡΙΤΙΚΑ

■ ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ-ΛΑΤΕΡΙΤΙΚΑ

ΕΙΚΟΝΑ1.2: Παγκόσμια εξάπλωση νικελιούχων κοιτασμάτων.

### ΘΕΙΟΥΧΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ

Τα μαγματικά θειούχα κοιτάσματα είναι συγκεντρώσεις θειούχων ορυκτών συνδεδεμένων με συμπλέγματα βασικών και υπερβασικών πετρωμάτων, τα οποία σχηματίστηκαν από πρόιμη κρυστάλλωση μάγματος (Ορθομαγματικό στάδιο) βασικής σύστασης εντός μαγματικών θαλάμων. Η κρυστάλλωση δυσδιάλυτων θειούχων ενώσεων από ένα μαγματικό τήγμα είναι η βασική διαδικασία που οδηγεί σε θειούχα κοιτάσματα. Το θειούχο τήγμα λειτουργεί σαν συλλέκτης για το νικέλιο, κοβάλτιο, χαλκό και πλατινοειδή (PGE), ενώ ο σίδηρος συμμετέχει σε πολύ μικρότερο βαθμό αλλά λόγω του ότι αποτελεί κύριο στοιχείο του μάγματος τα περισσότερα θειούχα τήγματα είναι πλούσια σε σίδηρο.

Τα στοιχεία αυτά επιλεκτικά συγκεντρώνονται στο θειούχο τήγμα σε πολύ μεγαλύτερη αναλογία από ότι στο πυριτικό τήγμα ενός μάγματος. Οι θειούχες ενώσεις συγκεντρώνονται σε σταγονίδια και λόγω της βαρύτητας καθιζάνουν και αποτίθενται σε βαθύτερα σημεία. Η κρυστάλλωση του θειούχου τήγματος οδηγεί σε διάσπαρτη (αραιή ή πυκνή διασπορά) ή συμπαγή μεταλλοφορία στη βάση της μαγματικής διείδυσης.

Μια άλλη μορφή θειούχου μεταλλοφορίας είναι οι Offsets, που σχηματίστηκαν από υδροθερμικά διαλύματα σε θερμοκρασία μικρότερη της κρίσιμης θερμοκρασίας του νερού (375°C) και αναπτύσσονται σε ένα κοιτάσμα υπό μορφή φλεβών στο συνοδό πέτρωμα. Πρόκειται για κρυστάλλωση (Υδροθερμικό στάδιο) υδροθερμικών ρευστών που προήλθαν από νερό και μέταλλα κατά τις διαδικασίες της μαγματικής διαφοροποίησης. Οι διαδικασίες αυτές πραγματοποιούνται στις τελευταίες φάσεις της κλασματικής κρυστάλλωσης του μάγματος και η κρυστάλλωση των υδατικών διαλυμάτων γίνεται όταν επέλθουν ορισμένες μεταβολές, όπως η συγκέντρωση στοιχείων, η αλλαγή των συνθηκών pH-Eh και η πτώση της θερμοκρασίας. Καταθερμικές ορυκτές παραγενέσεις (πεντλανδίτης, χαλκοπυρίτης) αυτής της μορφής που σχηματίζονται σε θερμοκρασία 375°-300°C παρατηρούνται στα μεγαλύτερα θειούχα κοιτάσματα του Sudbury και Norilsk. Χωρίς κοιτασματολογική σημασία είναι τα αρσενίδια νικελίου που σχηματίζονται κατά το επιθερμικό στάδιο (200°-100°C) της υδροθερμικής κρυστάλλωσης.

Τα θειούχα κοιτάσματα νικελίου είναι κυρίως συνδεδεμένα με βασικά και υπερβασικά πυριγενή πετρώματα. Τα κοιτάσματα σχηματίστηκαν σε διάφορα γεωτεκτονικά περιβάλλοντα, όπως σε ζώνες απόκλισης ή σύγκλισης, των λιθοσφαιρικών πλακών.

Υπάρχουν κοιτάσματα σε παραμορφωτικές ζώνες πρασινοπετρωμάτων και ασβεσταλκαλικούς βαθύλιθους, που συνδέονται με ενεργητικά περιθώρια των πλακών, σε παθητικά ηπειρωτικά περιθώρια αλλά και σε οφιολιθικά συμπλέγματα, που συνδέονται με ζώνες απόκλισης των πλακών. Η συντριπτική πλειοψηφία των κοιτασμάτων έχουν ηλικία του Αρχαϊκού και Παλαιοπροτεροζωϊκού.



παραγωγής τους. Εξαιρέση αποτελούν κυρίως τα κοιτάσματα των Βαλκανίων που καλύπτονται συχνά από μεγάλου πάχους νεότερα πετρώματα.

Η λατεριτίωση είναι μια έντονη χημική, ορυκτολογική και μορφολογική μεταβολή, τα προϊόντα της οποίας παρουσιάζουν πολλές φορές διαφορετικά χημικά, ορυκτολογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά από αυτά του μητρικού πετρώματος.

Λατερίτες είναι προϊόντα έντονης αποσάθρωσης πετρωμάτων σε ατμοσφαιρικές συνθήκες. Αποτελούνται κυρίως από γκαιτίτη, αιματίτη, ΑΙ-υδροξείδια, καολινίτη και χαλαζία. Η σχέση  $\text{SiO}_2 : (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$  ενός λατερίτη θα πρέπει να είναι μικρότερη από αυτή του καολινοποιημένου μητρικού πετρώματος, στο οποίο το συνολικό  $\text{Al}_2\text{O}_3$  βρίσκεται υπό μορφή καολινίτη και ο συνολικός  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  υπό μορφή οξειδίων του σιδήρου. Η περιεκτικότητα του λατερίτη σε  $\text{SiO}_2$  δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα του περιεχομένου  $\text{SiO}_2$  στον καολινίτη και στον πρωτογενή χαλαζία του μητρικού πετρώματος.

Υπάρχει μεγάλη διαφοροποίηση στην αποσάθρωση που πραγματοποιείται σε εύκρατα κλίματα από εκείνη των τροπικών-υποτροπικών κλιμάτων. Στα εύκρατα κλίματα η εξαλλοίωση των πετρωμάτων δεν είναι τόσο έντονη και δεν συντελείται ολική απομάκρυνση του πυριτίου. Αντίθετα στα τροπικά και υποτροπικά κλίματα ο βαθμός αποσάθρωσης των πετρωμάτων είναι μεγαλύτερος και η διάσπαση των πυριτικών ορυκτών πληρέστερη. Η μέγιστη ανάπτυξη της αποσάθρωσης στις τροπικές περιοχές οφείλεται στη συνύπαρξη συνθηκών υψηλών θερμοκρασιών, έντονων βροχοπτώσεων και έντονης βλάστησης. Οι κυριότεροι παράγοντες που συμβάλλουν στην ένταση της χημικής αποσάθρωσης είναι το είδος του πετρώματος, η βλάστηση, το ύψος των βροχοπτώσεων, η θερμοκρασία, το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής, ο χαμηλός υδροφόρος ορίζοντας και οι διακυμάνσεις του και κατ' επέκταση η παρουσία στο νερό ελεύθερου  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$  και χουμικών οξέων.

ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ (Golightly 1979). ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΣΕ ΤΡΕΙΣ ΖΩΝΕΣ Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΟΠΟΙΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΟΣ ΤΟΥΣ ΒΑΘΥΤΕΡΟΥΣ ΟΡΙΖΟΝΤΕΣ	ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΥΣ Brand et al. (1998), Gleeson et al. (2003). ΤΑΞΙΝΟΜΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΤΡΕΙΣ ΚΥΡΙΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ΖΩΝΗ ΛΕΙΜΟΝΙΤΗ</li> <li>• ΑΡΓΙΛΙΚΗ ΖΩΝΗ</li> <li>• ΖΩΝΗ ΣΑΠΡΟΛΙΤΗ</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ΕΝΥΔΡΑ-ΠΥΡΙΤΙΚΑ</li> <li>2. ΑΡΓΙΛΟ-ΠΥΡΙΤΙΚΑ</li> <li>3. ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΟΞΕΙΔΙΩΝ</li> </ol>

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.4: Πίνακας ταξινόμησης νικελιούχων λατεριτικών κοιτασμάτων.

## ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ

Τα ιζηματογενή κοιτάσματα νικελίου κυρίως Κρητιδικής ηλικίας που εμφανίζονται στα Βαλκάνια διαφέρουν από τα κοιτάσματα των δύο άλλων τύπων. Τα κοιτάσματα αυτά διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- κοιτάσματα που υπέρκεινται υπερβασικών πετρωμάτων
- κοιτάσματα που υπέρκεινται ανθρακικών πετρωμάτων και χαρακτηρίζονται ως καρστικά
- μεικτά κοιτάσματα που υπέρκεινται ανθρακικών πετρωμάτων και στα οποία συνυπάρχουν σιδηρονικελιούχοι ορίζοντες με βωξίτες ή σιδηρούχους αργιλικούς ορίζοντες.

Ο διατυπωμένες απόψεις και οι μέχρι τώρα παραδοχές γένεσης των κοιτασμάτων αυτών καταλήγουν στην κοινή θεωρία του ιζηματογενούς σχηματισμού τους με μια κυρίως θαλάσσια διαδικασία, η οποία κατά κανόνα άμεσα ή έμμεσα επηρεάζεται από το χερσαίο χώρο. Στα σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα που υπέρκεινται ανθρακικών πετρωμάτων και σε αυτά που υπέρκεινται υπερβασικών, προκύπτει το ερώτημα των πιθανών πετρωμάτων που αποτέλεσαν την πηγή προέλευσης των χημικών και ορυκτολογικών συστατικών που τα δομούν.

Αυξημένη συγκέντρωση στοιχείων τα οποία απαντώνται στα ιζηματογενή σιδηρονικελιούχα μεταλλεύματα και σε λατεριτικούς φλοιούς αποσάθρωσης, εντοπίζονται στα υπερβασικά.

Ο ρόλος των υπερβασικών πετρωμάτων στο σχηματισμό των ιζηματογενών σιδηρονικελιούχων μεταλλευμάτων αντικατοπτρίζεται στη χημική σύστασή τους. Οι γεωχημικές αναλύσεις των κυρίων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων των μεταλλευμάτων δείχνουν περιεκτικότητες ορισμένων στοιχείων (Fe, Νί, Co, Cr) που παραπέμπουν σε υπερβασικά πετρώματα. Βεβαίως το ύψος των συγκεντρώσεων των χαρακτηριστικών αυτών στοιχείων στα μεταλλεύματα προϋποθέτει κάποιον εμπλουτισμό σε σχέση με τις αναφερόμενες σε υπερβασικά πετρώματα συγκεντρώσεις.

## **1.5 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΚΑΙ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΝΙΚΕΛΙΟΥ**

Στην Ελλάδα η βασική γεωλογική έρευνα και μελέτες διεξάγεται κυρίως από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) το οποίο παρέχει γενικές πληροφορίες σχετικά με τη γεωλογική δομή της χώρας, το μέγεθος, την τοποθεσία και την ποιότητα των διαφόρων μεταλλείων της Ελλάδας και κατά δεύτερο λόγο από άλλους φορείς .

Στην Ελλάδα τα κοιτάσματα νικελίου εκμεταλλεύονται από την εταιρεία ΛΑΡΚΟ, η οποία αποτελεί τη μοναδική επιχείρηση παράγωγης εγχώριου νικελίου όχι μόνο στη χώρα αλλά και σε ολόκληρη την Ευρωπαϊκή ένωση. Η ΛΑΡΚΟ διεξάγει εκτεταμένη και λεπτομερή έρευνα που περιλαμβάνει γεωλογική αναγνώριση, χαρτογράφηση και ερευνητικές γεωτρήσεις δειγματοληψίας. Η μελέτη και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της γεωλογικής έρευνας έχει ως στόχο το υπολογισμό του όγκου και της ποιότητας των αποθεματικών και αποθεμάτων των νικελιούχων μεταλλευμάτων.

Με βάση τα δεδομένα που έχουν προκύψει από τη γεωλογική ερευνά, οι ορυκτοί πόροι λατεριτικών σιδηρονικελιούχων κοιτασμάτων που υπάρχουν στη χώρα μας υπερβαίνουν τους 240 εκατομμύρια τόνους και είναι εξαπλωμένοι κυρίως σε τρεις μεγάλες περιοχές στους νομούς:



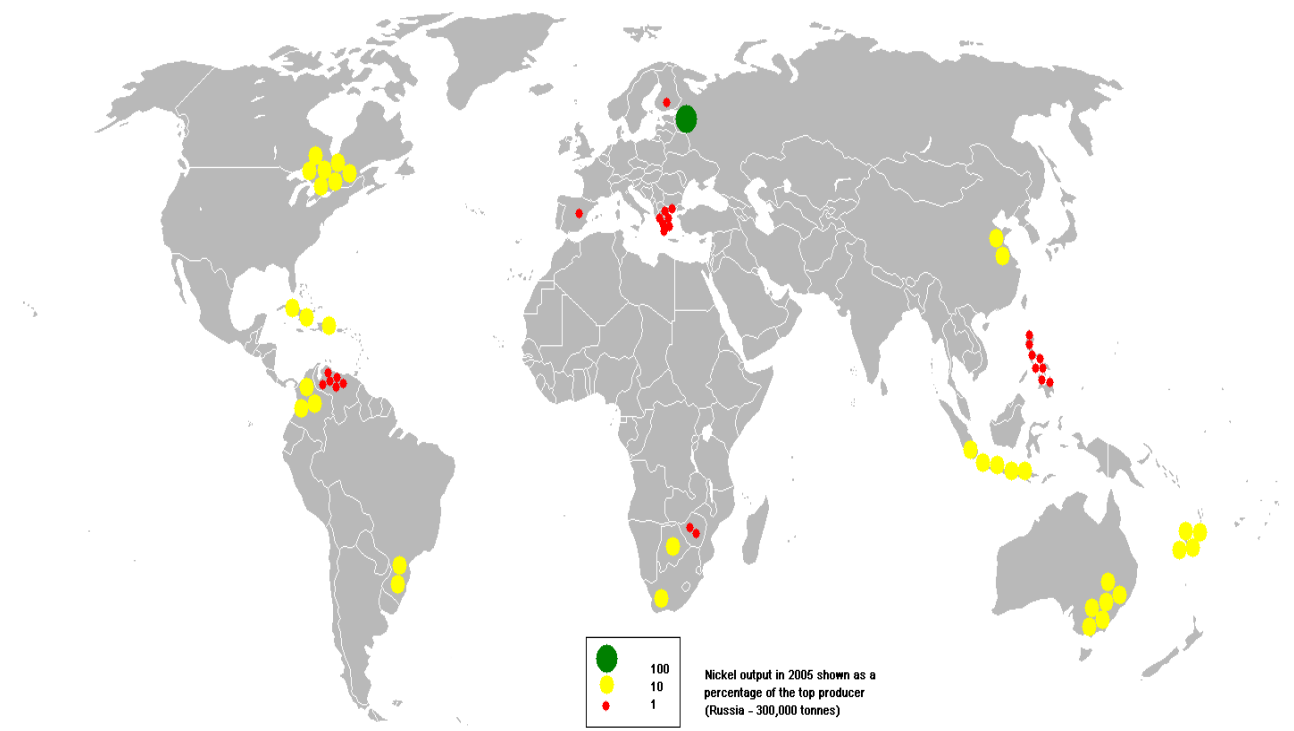
1. Εύβοιας
2. Βοιωτίας
3. Καστοριάς

Ακόμα σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι η περιεκτικότητα των ελληνικών κοιτασμάτων κυμαίνεται στο 1%. Η ΛΑΡΚΟ εξορύσσει μέταλλευμα σιδηρονικελίου από τις περιοχές της Λοκρίδας, της κεντρικής Ευβοίας αλλά και της Καστοριάς. Η εξόρυξη μεταλλεύματος γίνεται κυρίως με επιφανειακές μεθόδους εκμετάλλευσης (98%) και σε πολύ μικρότερο βαθμό με υπόγειες μεθόδους. Το εργοστάσιο της εταιρίας βρίσκεται στη Λάρυμνα.



ΕΙΚΟΝΑ 1.5: Παραγωγή νικελίου από την ΛΑΡΚΟ ΓΜΜΑΕ

Όσον αφορά την παγκόσμια βιομηχανία νικελίου οι κυριότεροι παραγωγοί νικελίου είναι οι εξής: Ηνωμένες πολιτείες, Αυστραλία, Μποτσουάνα, Βραζιλία, Καναδάς, Κινά, Κούβα, Δομινικανή Δημοκρατία, Ινδονήσια, Νέα Καληδονία, Φιλιππίνες, Ρωσία, Νότιος Αφρική, Βενεζουέλα και Ζιμπάμπουε.



ΕΙΚΟΝΑ 1.6: Κατανομή παγκόσμιας παράγωγης νικελίου 2005.

## 1.6 ΛΑΤΕΡΙΤΕΣ ΝΙΚΕΛΙΟΥ-ΚΟΒΑΛΤΙΟΥ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΞΑΓΩΓΙΚΗ ΜΕΤΑΛΟΥΡΓΙΑ

Αναπτύσσονται κυρίως στα υπερβασικά πετρώματα τροπικών κλιμάτων. Οι νικελιούχοι λατερίτες (προϊόν λατεριτίωσης), που προκύπτουν από υπερβασικά και βασικά πετρώματα, κατά κανόνα παρουσιάζουν ομοιομορφία στην εμφάνισή τους, με ανάπτυξη χαρακτηριστικής ζώνωσης. Έτσι, ένα τυπικό λατεριτικό προφίλ χωρίζεται σε δύο ζώνες, καθεμία από τις οποίες προκύπτει από διαφορετικές γεωμορφολογικές και κλιματολογικές συνθήκες και διαθέτει διακριτά λιθολογικά, ορυκτολογικά και γεωχημικά χαρακτηριστικά.

Η εξαγωγική μεταλλουργία του νικελίου-κοβαλτίου διαφέρει ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες του μεταλλεύματος που θα υποστεί επεξεργασία κάθε φορά. Πιο συγκεκριμένα, πρέπει να ληφθούν υπόψη κάποιοι παράμετροι.

### ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ

Καθώς οι τιμές των μετάλλων και η ορυκτολογική σύσταση ελαττώνεται με το βάθος του λατεριτικού προφίλ, προκύπτουν ειδικές απαιτήσεις αναλόγως με το μέρος του προφίλ που αξιολογείται, ακόμα και γεωτρήσεις σε μικρό βάθος.

### **ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ**

Επειδή οι γεωτρήσεις επηρεάζονται από τις μεταβολές της λιθολογίας και τα ανεπεξέργαστα πετρώματα, προς αποφυγής υπερ-δειγματοληψίας μεταλλευμάτων, απαιτούνται κατάλληλες μέθοδοι δειγματοληψίας, όπως η κρουστική διάτρηση και η εκσκαφή ορυγμάτων σε περιπτώσεις έντονης ανομοιογένειας. Εν συνεχεία συνιστάται η χρήση άλλου είδους γεώτρησης για τον χημικό χαρακτηρισμό των υλικών.

### **ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ**

Η δειγματική διακύμανση πρέπει να αντικατοπτρίζει την ποικιλία της λιθολογίας και των μεταλλευμάτων που παρατηρούνται σε κάθε ξεχωριστό τμήμα του προφίλ, κυρίως στο ιδιαίτερο ανομοιογενές κατώτερο μέρος.

### **ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ/ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ**

Για τη διασφάλιση και τον έλεγχο της ποιότητας χρειάζεται να ληφθεί υπόψη το μέγεθος των δειγμάτων και η διαδικασία ξήρανσης τους να πραγματοποιείται σε αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες, προς αποφυγή απομάκρυνσης του νερού κρυστάλλωσης.

### **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΜΑΖΙΚΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ**

Λόγω της μεταβλητότητας της ορυκτολογίας, του πορώδους, της συμπύκνωσης και της εσωτερικής αποστράγγισης κρίνεται απαραίτητος ο καθορισμός του υγρού βάρους πριν από τον προσδιορισμό τυχόν απώλειας υγρασίας.

### **ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ**

Η υλοποίηση δοκιμαστικών εκσκαφών και γεωτρήσεων προς μελέτη της σύνθεσης και της δομής του εδάφους, πρέπει να είναι αντιπροσωπευτική του τμήματος του προφίλ που λαμβάνεται υπόψη για παραγωγή εμπλουτισμού. Οι τεχνικές εμπλουτισμού για την αναβάθμιση του βασικού λατεριτικού υλικού απαιτούν κατάλληλο και έγκαιρο σχεδιασμό της δοκιμής.

## ΚΑΤΗΓΟΡΟΠΟΙΗΣΗ

Για την ορθή κατηγοριοποίηση πιθανόν να απαιτούνται διαφορετικές μορφές γεώτρησης, καθώς και γεωτρήσεις ελάχιστης απόστασης για τον στατιστικό καθορισμό της βέλτιστης απόστασης (διάταξης).

### 1.7 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

Ο βασικός παράγοντας που επηρεάζει την επιλογή μεταξύ επιφανειακής και υπόγειας εκμετάλλευσης είναι η σχέση αποκάλυψης, δηλαδή το πόσες μονάδες στείρων αποκάλυψης θα πρέπει να απομακρυνθούν για να αποκαλυφθεί μία μονάδα χρήσιμου εκμεταλλεύσιμου μεταλλεύματος. Σε ένα οριζόντιο κοιτάσμα με επίπεδο τοπογραφικό ανάγλυφο, η τιμή της σχέσης αποκάλυψης παραμένει σταθερή. Σε κεκλιμένα κοιτάσματα όμως η σχέση αυτή αυξάνει συνεχώς, καθώς προχωρεί η εκμετάλλευση, με αποτέλεσμα κάποια στιγμή να καθίσταται οικονομικά ασύμφορη. Τότε είναι περισσότερο συμφέρουσα η υπόγεια εκμετάλλευση του κοιτάσματος. Βασικοί στόχοι μιας υπόγειας μεθόδου εκμετάλλευσης είναι η απόσπαση του κοιτάσματος από το περιβάλλον μητρικό πέτρωμα με τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται:

- η μέγιστη δυνατή ασφάλεια του προσωπικού και του έργου,
- η βελτιστοποίηση της απόληψης (του ποσοστού του κοιτάσματος που μπορεί να αποσπαστεί) και
- η ελαχιστοποίηση του κόστους των εργασιών.

Έτσι για να δούμε ποια μέθοδο θα ακολουθήσουμε θα πρέπει να ληφθούν και άλλοι παράμετροι υπόψη. Η υπαίθρια εκμετάλλευση παρουσιάζει πολλά περισσότερα πλεονεκτήματα από την υπόγεια, μεταξύ των οποίων η επίτευξη υψηλής παραγωγικότητας ανά οκτάωρο και κατά συνέπεια το μικρότερο κόστος παραγωγής είναι το κυριότερο. Σήμερα η παραγωγικότητα της υπαίθριας εκμετάλλευσης μετρημένη σε τόνους είναι 6-10 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με της υπόγειας εκμετάλλευσης λιθανθράκων, 4-7 φορές μεγαλύτερη εκμετάλλευσης σιδηρομεταλλευμάτων και 7-10 φορές μεγαλύτερη σε περίπτωση μη σιδηρούχων εκμεταλλεύσεων. Αυτό επιτυγχάνετε με την τιμή κόστους που σημειώνετε την τελευταία 25 ετία εμφανίζοντας προς την υπαίθρια εκμετάλλευση συνεχή τάση μείωσης σε σχέση με την υπόγεια κατά 4-25 φορές μικρότερη. Αυτός ο τρόπος μέχρι να εξισορροπήσει το κόστος της υπαίθριας εκμετάλλευσης προς την παραγωγή ενός

τόνου μεταλλεύματος προς το αντίστοιχο της υπόγειας, παρέχεται η δυνατότητα υπαίθριας εκμετάλλευσης εξόρυξης ανάλογα με την περίπτωση μέχρι αρκετών τόνων άγονων υλικών προς την παραγωγή ενός τόνου μεταλλεύματος.

Η επίτευξη της αναφέρουσας υψηλής παραγωγικότητας της υπαίθριας εκμετάλλευσης σε σύγκριση με την υπόγεια οφείλεται στο γεγονός ότι οι συνθήκες εργασίας από πλευράς χώρου είναι αυτές ώστε να καθιστούν με ευχέρεια τη χρησιμοποίηση ισχυρότερου και μεγαλύτερου εξοπλισμού εξορύξεως, φορτώσεως και αποκόμισης των υλικών εκ του μετώπου. Η επιλογή μεταξύ υπαίθριας και υπόγειας εκμετάλλευσης ανάλογα με το κοίτασμα μπορεί να γίνει σύμφωνα με μια οικονομική πράξη. Η πράξη αυτή καθορίζει μέχρι ποία οριακή ή μέγιστη τιμή σχέσεως αποκάλυψης είναι οικονομικά συμφέρουσα.

$$R_E = \frac{\frac{\text{κόστος}}{\text{τόνον}} \text{υπόγειας εκμετάλλευσης} - \frac{\text{κόστος}}{\text{τόνον}} \text{υπαίθριας εκμετάλλευσης}}{\text{κόστος} \frac{\text{αποκαλύψεως}}{\text{τόνον}} \text{άγονων}}$$

Η επιλογή της μεθόδου εκμετάλλευσης ενός κοιτάσματος επηρεάζεται από συγκεκριμένους παράγοντες όπως:

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



ΕΙΚΟΝΑ 1.7: ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΝΙΚΕΛΙΟΥ ΣΕ ΚΟΙΤΑΣΜΑ ΙΝ SUDBURY, ONTARIO ΤΟΥ ΚΑΝΑΔΑ.



ΕΙΚΟΝΑ 1.8: ΥΠΑΙΘΡΙΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ

## 1.8 ΣΤΑΔΙΑ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

Τα στάδια που ακολουθούν για την σωστή επιλογή μεθόδου εκμετάλλευσης είναι τα εξής:

- Έρευνα βιβλιογραφίας από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ).
- Γεωλογική χαρτογράφηση και επικέντρωση στα γεωλογικά στρώματα επαφής μεταλλεύματος.
- Δειγματοληψία μεταλλεύματος .
- Καθορισμός θέσεων γεωτρήσεων.
- Σύνταξη ΜΠΕ(Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων).
- Έγκριση από αρμόδιες υπηρεσίες.
- Ανόρυξη στρατηγικών γεωτρήσεων σε μορφή κανάβου (πύκνωση ή αραιώση γεωτρήσεων) όσο πιο πυκνές γεωτρήσεις τόσο καλύτερη η αποτελεσματικότητα. Οι γεωτρήσεις τοποθετούνται πάνω σε κানাβο με κατάλληλες αποστάσεις.
- Χημική ανάλυση των δειγμάτων γεωτρήσεων.
- Γεωλογική μοντελοποίηση κοιτάσματος σε μεταλλευτικό πρόγραμμα. Όπως και εισαγωγή οικονομικών δεδομένων, επιλογή υπαίθριας και υπόγειας εκμετάλλευσης ή σε συνδυασμό και των δύο μεθόδων.
- Οριστικοποίηση εκσκαφής με αναφορά σε μεταλλευτικά αποθέματα ποσότητας και ποιότητας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΤΟ ΝΙΚΕΛΙΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

### 2.1 ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΝΙΚΕΛΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η νικελιούχος μεταλλοφορία στην Ελλάδα συνδέεται με τις ζώνες Αλμωπία, Πελαγονική, Υποπελαγονική και με την Μεσοελληνική αύλακα, που τοποθετείται γεωλογικά ανάμεσα στην Υποπελαγονική-Πίνδου. Η μεσοελληνική αύλακα διασχίζει κατά μήκος την Ελλάδα από τα Ελληνοαλβανικά σύνορα έως την Θεσσαλική πεδιάδα και καλύπτεται από ιζήματα του Ανώτερου Ηωκαίνου-Μέσου Μειοκαίνιου, τα οποία σε ορισμένα σημεία έχουν σαν υπόβαθρο οφιολίθους. Τα κοιτάσματα αυτά με βάση την πετρογραφική τους δομή και τον τρόπο γένεσής τους διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

1. Κοιτάσματα *in situ* με υπερβασικά πετρώματα .
2. Κοιτάσματα νικελίου ιζηματογενούς τύπου, με εναπόθεση προϊόντων λατεριτικής αποσάθρωσης πάνω σε καρστικοποιημένα ανθρακικά πετρώματα ή οφιολίθους.
3. Κοιτάσματα μικτού τύπου.

Οι κατάλληλες κλιματολογικές συνθήκες για το σχηματισμό λατεριτικών κοιτασμάτων υπήρξαν σε δυο περιόδους, η πρώτη είναι προ-Κενομάνιος με την οποία συνδέεται η πλειοψηφία των κοιτασμάτων και η δεύτερη κατά το Ηώκαινο με την οποία συνδέονται οι λατεριτικοί φλοιοί αποσάθρωσης της Μεσοελληνικής αύλακας. Στην συνέχεια αναλύονται οι κυριότερες μεταλλοφόρες περιοχές της Ελλάδας. Εκτός αυτών υπάρχουν μικρότερες νικελιούχες μεταλλοφόρες εμφανίσεις στην Ημαθία, Σκύρο, Βατερρά Λέσβου, Δυτικό περιθώριο Μεσοελληνικής αύλακας, νότιο τμήμα του δυτικού Βερμίου και Άνω Αγόριανη Φθιώτιδας. Σκοπός είναι η καταγραφή της στρωματογραφικής διάρθρωσης, της τεκτονικής δομής και των συνθηκών μεταλλογένεσης στην Ανατολική Ελλάδα στις εξής περιοχές Λοκρίδος- Κεντρικής Ευβοίας, και Καστοριάς με την οποία έχει ασχοληθεί κατά καιρούς πλήθος ερευνητών.



## 2.2 ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ

Όσον αφορά τη στρωματογραφία, επειδή οι απόψεις των ερευνητών δίστανται τόσο ως προς τον αριθμό των γεωτεκτονικών ζωνών, όσο και για τη λιθοφασική εξέλιξη της περιοχής, πραγματοποιήθηκε γεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής σε κλίμακα 1: 75.000, απ όπου διαπιστώθηκε ότι όλη η περιοχή ανήκει στη ζώνη Ανατ. Ελλάδας, και παρατηρήθηκε αποκλειστικά μια σχιστοκερατολιθική διάπλαση με οφιόλιθους, Άνω Ιουρασικής έως Κάτω Κρητιδικής ηλικίας, ενώ χαρακτηριστικό τεκτονικό της γνώρισμα είναι η έντονη λεπίωση με τοπικές επωθήσεις.

Η στρωματογραφία της περιοχής εν συντομία μπορεί να περιγραφεί ως εξής  
α) Νεοπαλαιοζωικοί σχηματισμοί, κυρίως από ψαμμίτες και φυλλίτες β) Κάτω-Μέσο- Τριαδικοί σχηματισμοί, από κλαστικά και βασικά εκρηξιγενή πετρώματα γ) Μέσο Τριαδικοί - Άνω Ιουρασικοί ασβεστόλιθοι (βαθύχρωοι με Pinnidae και μικρού μεγέθους Megalodon-ωολιθικοί ανοιχτόχρωμοι-βαθύχρωμοι, στιφροί με *Cladocoropsis mirabilis*) δ) Προανωκρητιδικό τεκτονικό κάλυμμα, το οποίο αναλύεται γενικά σε μία κατώτερη ενότητα από ηφαιστειοϊζηματογενείς σχηματισμούς και μία ανώτερη ενότητα, επωθημένη στην κατώτερη, από οφιολιθικούς σχηματισμούς στ) Μέσο- Άνω Κρητιδικοί επικλυσιογενείς σχηματισμοί, από ασβεστολίθους και ιζηματα φλύσχη.

Εν συνεχεία περιγράφεται λεπτομερώς η στρωματογραφία της υπό εξέταση περιοχής.

**Το Παλαιοζωικό:** Εκτείνεται σε δύο περιοχές, αφενός μεταξύ Γολεμίου και Μελιδονίου, και αφετέρου νότια της Αταλάντης. Λόγω των τοπικών μεταμορφικών διεργασιών (δυναμομεταμόρφωση) παρατηρούνται αργιλικοί σχιστόλιθοι, φυλλίτες και μάρμαρα. Στις περιοχές Γολεμίου και Μελιδονίου έχει αναγνωριστεί ο Παλαιοζωικός λόγω μικροπανίδας εκείνης της εποχής που ανακαλύφθηκε, ωστόσο στην περιοχή της Αταλάντης λόγω ανακρυσταλλώσης των ιζημάτων δεν βρέθηκαν μικροαπολιθώματα προς διευκόλυνση του προσδιορισμού της ηλικίας. Παρόλα αυτά, η ξεκάθαρη λιθολογική ομοιότητα με αυτή των παραπάνω περιοχών μας οδηγεί στο συμπέρασμα για την ταυτότητα της ηλικίας αυτών των σχηματισμών.

**Το Τριαδικό:** Αποτελούμενο κυρίως από ανοιχτόχρωμους δολομίτες και ασβεστόλιθους, αναπτύσσεται βορειοδυτικά, κεντρικά και ανατολικά της εξεταζόμενης περιοχής. Τα απολιθώματα φυκιών που βρέθηκαν νότια της Αταλάντης

μας ωθούν στο συμπέρασμα ότι η επίκλυση του Τριαδικού αρχίζει εντός του Ανίσιου ή του Λαδινίου. Η πανίδα που συναντάται εντός μαργαϊκών ασβεστόλιθων (15-20 m) σε χείμαρρο νοτιοανατολικά της Αταλάντης, επάνω από το Παλαιοζωικό ανήκουν στη ζώνη *Trachyceras* αση των Άλπεων. Τα ίδια παρατηρούνται και στην περιοχή μεταξύ Γολεμίου και Μελιδονίου. Πάνω από τους μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, αναπτύσσεται δολομιτικός ασβεστόλιθος, εναλλασσόμενος από μεσοστρωματώδεις μέχρι και παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθους, όπου περιλαμβάνονται χαρακτηριστικά απολιθώματα του Νορίου. Στην επόμενη βαθμίδα συναντώνται βαθύχρωμοι κατά κύριο λόγο παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι που περιλαμβάνουν απολιθώματα κατατασσόμενα στο μέσο έως ανώτερο μέσον Λιάσιο. Παρόλο που, λόγω ελλείψεως απολιθωμάτων, τόσο στα ανώτερα μέρη του Τριαδικού, όσο και στα κατώτερα μέρη του Ιουρασικού η μετάβαση είναι ασαφής, στην παρούσα εργασία ως όριο θεωρήθηκε η ζώνη όπου οι τριαδικοί δολομίτες εξελίσσονται σε δολομιτικούς βαθύχρωμους ασβεστόλιθους, όπου περιλαμβάνονται *Megalodon*, *Orbitopsella*, *Thaumatoporella*, *Pinnidae*.

**Το Ιουρασικό:** Εδώ αναπτύσσονται βωξιτικά κοιτάσματα του πρώτου βωξιτικού ορίζοντα της ζώνης Παρνασσού-Γκιώνας. Στην επόμενη βαθμίδα συναντώνται βαθύχρωμοι παχυστρωματώδεις έως μεσοστρωματώδεις βιτουμενιούχοι ασβεστόλιθοι μετά *Clado coropsis mirabilis* FELIX κιμμεριδίου ηλικίας. Επ' αυτών αναπτύσσονται φαιοί παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι μετά *Clypeina jurassica* FAVRE, ενώ επάνω από αυτούς παρατηρούνται παχυστρωματώδεις φαιοί ασβεστόλιθοι με κρινοειδή κοράλλια και φύκια. Στο ανώτερο Ιουρασικό συναντώνται με ανοδική σειρά λεπτά στρώματα πυριτολίθων και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι εναλλασσόμενοι με λεπτά στρώματα μάργας, και μέσω του συγκεκριμένου σχηματισμού ξεκινά η ιζηματογένεση της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης με οφιόλιθους.

**Σχιστοκερατολιθικής διάπλαση με οφιόλιθους:** Όπως προαναφέρθηκε παρατηρήθηκε αποκλειστικά μια σχιστοκερατολιθική διάπλαση με οφιόλιθους, Άνω Ιουρασικής έως Κάτω Κρητιδικής ηλικίας. Το συμπέρασμα αυτό προέκυψε ύστερα από λεπτομερή εξέταση της στρωματογραφίας και της τεκτονικής δομής ολόκληρης της υπό μελέτη περιοχής. Έτσι με ανοδική σειρά παρατηρούνται οι εξής σχηματισμοί: παλαιοζωικοί σχιστόλιθοι με εκρηξιγενή πετρώματα, 2) επίκλυσιγενείς άνω τριαδικοί

δολομίτες, 3) κάτω ιουρασικοί ως μέσο-άνω ιουρασικοί ασβεστόλιθοι, 4) βωξίτης, 5) ανώτατοι ίουρασικοί ασβεστόλιθοι, 6) σχιστοκερατολιθική διάπλαση με οφιολίθους.

Η σχιστοκερατολιθική διάπλαση με οφιολίθους ξεκινά με μαργαϊκούς ασβεστόλιθους με ραδιολαρίτες και μάργες. Εν συνεχεία παρατηρούνται αργιλικοί σχιστόλιθοι και ψαμμίτες, πάνω από τους οποίους αναπτύσσονται οι σχιστοκερατόλιθοι, αποτελούμενοι από ραδιολαρίτες και υανίτες. Εδώ συναντώνται και μικρές συγκεντρώσεις ιζηματογενούς μεταλλεύματος μαγγανίου. Παραπάνω συναντώνται κυρίως σερπεντινωμένοι οφιολίθοι, ιδίως εμφανίσεις περιδοτιτών, γάβρων, διαβάσων και σπιλιτών. Αναφορικά με τον προσδιορισμό της ηλικίας, στα κατώτερα μέλη της διάπλασης εκτός από ραδιολαρίτες δεν βρέθηκαν άλλα απολιθώματα για τον ακριβή προσδιορισμό της ηλικίας. Ωστόσο, ύστερα από λεπτομερή εξέταση δειγμάτων πανίδας Στον πρώτο φλύσχη, στη ζώνη του Παρνασσού – Γκιώνας από τον Κορακόλιθο μέχρι τον Αγ. Γεώργιο Λεβαδείας αποδείχθηκε ότι έχει Άνω Ιουρασική έως Κάτω Κρητιδικής ηλικία.

**Το Κρητιδικό:** Στην επίκλυση του Κρητιδικού παρατηρούνται χωρίς προκαθορισμένη σειρά ασβεστόλιθοι σχιστοκερατολιθικής διάπλασης, ιουρασικοί ασβεστόλιθοι ή τριαδικών δολομιτικοί ασβεστόλιθοι. Μεταξύ άνω κρητιδικών ασβεστόλιθων και οφιολίθων ή ιουρασικών ασβεστόλιθων συναντώνται νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα, και μεταξύ άνω κρητιδικών και τριαδικών δολομιτικών ασβεστόλιθων παρατηρείται βωξίτης. Παράλληλα, το γεγονός ότι στην Πάρνηθα ανάμεσα σε κερατοφυρικούς τόφφους παλαιοζωικής ηλικίας και άνω κρητιδικών ασβεστόλιθων βρέθηκαν νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα οδηγεί στο συμπέρασμα ότι κατά τη μέση κρητιδική ανάδυση η διάβρωση είχε προχωρήσει μέχρι και στο Παλαιοζωικό. Εδώ, παρατηρείται παράλληλα αργιλλομαργαϊκό υλικό. Σε τρία σημεία της περιοχής, εντός του σιδηρομεταλλεύματος (κυρίως πισσολιθικού) παρατηρήθηκαν οφιολιθικές κροκάλες που θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως στοιχεία ανάλογα με τις κροκάλες του βασικού κροκαλοπαγούς πετρώματος της περιοχής. Η πανίδα που βρέθηκε στη συγκεκριμένη βαθμίδα χαρακτηρίζει το Κενομάνιο. Προχωρώντας ανοδικά συναντώνται φαιοί ρουδιστοφόροι ασβεστόλιθοι, πάχους διακοσίων περίπου μέτρων, μικροκρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, πάχους 100-150 μέτρων και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, οι οποίοι φτάνουν έως το Παλαιόκαινο. Αυτό αποδεικνύεται και από το γεγονός ότι παρατηρείται πανίδα που ανήκει στο

Παλαιόκαινο. Σε συμφωνία στρώσεως προς τους ασβεστόλιθους του Παλαιόκαινου αναπτύσσεται ο φλύσχος.

**Φλύσχος:** Στην εξεταζόμενη περιοχή ο φλύσχος σπάνια συναντάται ως κανονική στρωματογραφική σειρά. Κυρίως παρατηρείται τεκτονική επαφή μεταξύ φλύσχη και άνω κρητιδικών ασβεστόλιθων. Η πανίδα που συλλέχθηκε ως δείγμα τοποθετείται στο Παλαιόκαινο. Επομένως, εκεί που συναντάται ο φλύσχος, τερματίζεται η ανθρακική ιζηματογένεση του άνω Κρητιδικού με το Παλαιόκαινο. Συνίσταται κυρίως από εναλλαγές μάργων, ασβεστόλιθων και ψαμμιτών.

**Το Νεογενές:** Οι νεογενείς αποθέσεις εμφανίζονται κυρίως στο βορειοδυτικό και νότιο τμήμα της εξεταζόμενης περιοχής. Οι λιθοφασικοί τους χαρακτήρες διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή, περιλαμβάνοντας αργιλλομαργαικά υλικά, ψαμμίτες και κοιτάσματα λιγνίτη, μικρού πάχους. Από την παρούσα πανίδα, συμπεραίνεται ότι πρόκειται για λιμναία φάση, που εξαπλώνεται από το Μειόκαινο μέχρι το Πλειόκαινο.

**Το Τεταρτογενές:** Συνίσταται κυρίως από προσχώσεις πλευρικών και κόνων κορωμάτων και αποσαθρωμάτων.

## 2.3 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

**Προαλπικές ορογενετικές κινήσεις:** Οι παλαιοζωικοί σχηματισμοί της εξεταζόμενης περιοχής έχουν υποστεί μεταμορφικές διεργασίες, σε αντίθεση με τους μεσοζωικούς, που δεν παρουσιάζουν φαινόμενα μεταμόρφωσης. Οι ασβεστόλιθοι του Ιουρασικού, που υπόκεινται του νικελιούχου σιδηρομεταλλεύματος και των άνω κρητιδικών ασβεστόλιθων παρουσιάζουν πτυχώσεις με διεύθυνση αξόνων ΒΑ-ΝΔ. Οι νεοκιμμερικές ορογενετικές πιέσεις οδήγησαν στην κάτω και μέσο-κρητιδική ανάδυση, με συνέπεια τη λατεριτίωση των οφιολίθων και τον σχηματισμό των άνω κρητιδικών νικελιούχων σιδηρομεταλλευμάτων.

**Αλπική ορογένεση:** Στην περιοχή παρατηρήθηκε έντονη λεπίωση, αγνώστου αιτίας, πολλαπλής κατεύθυνσης, που είχε ως αποτέλεσμα την κατά τόπους επανάληψη της στρωματογραφικής σειράς των ιζημάτων και τοπική εκλέπτυνση ή εξάλειψη ορισμένων οριζόντων. Παράλληλα, παρατηρήθηκαν τοπικά φαινόμενα απωθήσεων λόγω πλευρικών πιέσεων, σε αρκετές περιοχές, όπως π.χ. μεταξύ των όρων Ροδιά και Κοτρώνη. Αξίζει να αναφερθεί ότι εξαιτίας της κάμψης της ζώνης Ανατ. Ελλάδος

κατερχόμενης από τη Β. Ελλάδα, δεν αναπτύχθηκαν αντικλινικές-συγκλινικές δομές αλλά βραχείες, με αποτέλεσμα τη λεπίωση. Μέσα από τη λεπτομερή εξέταση των επιμέρους περιοχών διαπιστώθηκε ότι τα ενδότερα τμήματα Ανατ. Ελλάδος (Σκύρος), τα λέπια έχουν κλίση κατά κανόνα προς Β.Α, συμφωνώντας με την κατεύθυνση των εφαπτόμενων ορογενετικών πιέσεων με ΒΑ-ΝΔ κατεύθυνση. Ωστόσο, ερχόμενοι προς το εξωτερικό τμήμα της ζώνης λόγω αντίδρασης των ιζημάτων της ίδιας ζώνης και των Νοτιοδυτικών κειμένων ζωνών (ζώνη Παρνασσού - Γκιώνας, κ.λ.) τα λέπια παρουσιάζουν αντίθετη κλίση. Πρόκειται για τις περιοχές της Κεντρικής Εύβοιας ή Λοκρίδος και της Λεβάρδαιας περιοχής.

**Μεταλλική τεκτονική:** Πραγματοποιήθηκαν ισοστατικές κινήσεις μεταξύ Μειοκαίνου και Τεταρτογενούς, δημιουργώντας κατακόρυφα ρήγματα ΒΑ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης. Σχηματίστηκαν λεκάνες συνιστούμενες από κροκαλοπαγή, μάργες, ψαμμίτες, άργιλο και τοπικά κοιτάσματα λιγνίτη. Παράλληλα, παρατηρήθηκαν ηπειρογενετικές κινήσεις (ανυψώσεις - καταβυθίσεις) περιοχών, που συντέλεσαν στη δημιουργία της σημερινή μορφής της Ανατ. Ελλάδας.

## 2.4 ΠΑΛΑΙΟΓΕΩΓΡΑΦΕΙΑ

Στη σειρά των ιζημάτων της Ανατ. Ελλάδας παρατηρούνται δύο στρωματογραφικά κενά, αντιστοιχούντα σε 2 διαφορετικές αναδύσεις του συνόλου της ζώνης, η μία μεταξύ άν. Περμίου και μέσου Τριαδικού, και η άλλη μεταξύ κατ. Κρητιδικού και Κενομανίου.

Από το Κάρνιο μέχρι το ανώτερο Ιουρασικό παρατηρείται συνεχής απόθεση ανθρακικών ιζημάτων νηριτικής φάσης, που σημαίνει ότι επρόκειτο για θαλάσσιο περιβάλλον. Στο τέλος του Ιουρασικού με αρχές Παλαιοκρητιδικού πραγματοποιήθηκε απόθεση αργίλλοψαμμιτικών υλικών και εν συνεχεία μαγματισμού βασικού και υπερβασικού πετρώματος. Έπειτα, έλαβε χώρα η ανάδυση της περιοχής με έντονες διαβρώσεις, δημιουργώντας το **πανεπίπεδο**, όπου παρατηρήθηκε η λατεριτική αποσάθρωση των οφιολίθων. Το υλικό της διαδικασίας αυτής μεταφέρθηκε και επανατοποθετήθηκε με τη μορφή κυρίως χημικού ιζήματος, σχηματίζοντας τα νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα

Τα υλικά της παλαιοκρητιδικής διάβρωσης της Πελαγονικής και Ύποπελαγονικής ζώνης τοποθετήθηκαν στη γεωσύγκλινο της Πίνδου σχηματίζοντας τον πρώτο φλύσχη. Άρχισε να λαμβάνει χώρα η σταδιακή αύξηση της άνω κρητιδικής

θάλασσας από την έναρξη της κενομανίου - τουρωνίου επικλύσης, μέσω των αποθέσεων αρχικά ρουδιστοφόρων ασβεστόλιθων υφαλώδους φάσεως και εν συνεχεία λεπτοκόκκων μέσο-στρωματωδών ασβεστόλιθων, που εξελιχτήκαν ανοδικά σε μικροκρυσταλλικούς ασβεστόλιθους. Κατά το Παλαιόκαινο άρχισε εκ νέου η ανάδυση των ιζημάτων του όν λόγω γεωσύγκλινου. Κατά το Μειόκαινο, λόγω ήπειρωγενετικών κινήσεων σχηματίστηκαν κλειστές λεκάνες ή λιμνοθάλασσες που σταδιακά δημιουργήθηκαν κλαστικών κυρίως ιζήματα. Τέλος, μέσα από τεταρτογενείς κατακόρυφες διαρρήξεις η περιοχή έλαβε την σημερινή της γεωγραφική μορφή.

## 2.5 ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

### Νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα

Αξιόλογες συγκεντρώσεις νικελιούχου σιδηρομεταλλεύματος παρατηρούνται στη Λοκρίδα, την Εύβοια, τη Σκύρο, την Πάρνηθα, το Δαφνί, την Έδεσσα και την Καστοριά. Σημαντικές επίσης συγκεντρώσεις νικελιούχου σιδηρομεταλλεύματος είναι συναντώνται μεταξύ Σκοπίων και Έλληνογιουγκοσλαβικών συνόρων (Ράκλ, Μόκρα Γκόρα, Ρζάνοβο, κλ.).

**Στρωματογραφική θέση των κοιτασμάτων:** Αναπτύσσονται ασυμφώνως πάνω στους κάτω έως άνω Ιουρασικούς ασβεστόλιθους, στους οφιολιθους και πιο σπάνια σε σχιστοκερατόλιθους. Σε αυτά συγκεντρώνονται ρουδιστοφόροι άνω κρητιδικοί ασβεστόλιθοι και τοπικά μόνο κροκαλοπαγή, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι και μάργες. Μεταξύ των ιουρασικών ασβεστόλιθων και του μεταλλεύματος σχηματίζονται πυριτόλιθοι που περιλαμβάνουν φακοειδείς συγκεντρώσεις σιδηρομεταλλεύματος. Συναντώνται ευρέως σε Λοκρίδα, Εύβοια και Πάρνηθα, κατά κανόνα υποκείμενοι του νικελιούχου σιδηρομεταλλεύματος . Εξετάζοντας λεπτομερώς την πανίδα αυτών καθίσταται σαφές ότι αποτελούν ιζηματογενείς αποθέσεις κατά την έναρξη της άνω κρητιδικής **επικλύσης** υπό μορφή χημικού ιζήματος.

Τα ιζήματα της άνω κρητιδικής επίκλυσης που συναντώνται απάνω από τα νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα αποτελούν οφιόλιθους και ασβεστόλιθους. Παράλληλα, σε ορισμένες περιπτώσεως ανάμεσα σε νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα και ασβεστόλιθους παρεμβάλλονται μάργες ή κροκαλοπαγή. Μέσα από μελέτη προκύπτει ότι : α) Το μέταλλευμα αποτέθηκε με τη μορφή κυρίως χημικού ιζήματος (πισσόλιθοι) και έν μέρει ως κλαστικό ιζήμα . β) Ως περιβάλλον απόθεσης του

μεταλλεύματος θεωρείται η άνω κρητιδική θάλασσα. γ) Το μέταλλευμα βρίσκεται ασυμφώνως πάνω σε ιουρασικούς ασβεστόλιθους ή και σε οφιολίθους δ) Υπάρχει συμφωνία στρώσεως μεταξύ μεταλλεύματος και ιζημάτων του Κρητιδικού.

### **Μορφή κοιτασμάτων**

Τα κοιτάσματα πάνω σε ιουρασικούς ασβεστόλιθους έχουν στρωματοειδή μορφή με ακανόνιστο δάπεδο με επίπεδη οροφή, με πάχος 8 περίπου μέτρων (πχ κοιτάσμα Αγ. Ιωάννη Λάρυμνας). Στη Λοκρίδα τα κοιτάσματα έχουν κυρίως φακοειδή μορφή, ακανόνιστη επιφάνεια δαπέδου, και επίπεδη οροφή, με πάχος 2- 15 μέτρων.

### **Ορυκτολογική σύσταση και ιστός των νικελιούχων σιδηρομεταλλευμάτων**

Τα νικελιούχα σιδηρομεταλλεύματα Λοκρίδας, Ευβοίας και Σκύρου συνίστανται από αιματίτη, λειμωνίου, γκαιτίτη, μαγνητίτη, τιτανομαγνητίτη, λεπιδοκροκίτη, μαρτίτη, κοβελλίνου, μαλαχίτη, μαρκασίτη και κλαστικών κόκκων χρωμίτη. Αναφορικά με την ορυκτολογική μορφή οι περισσότεροι μελετητές δέχονται ότι το νικέλιο βρίσκεται κατά κανόνα υπό κολλοειδή μορφή εσωτερικά του σιδηρομεταλλεύματος. Στην εξέταση που διεξήχθη στην παρούσα μελέτη διαπιστώθηκε αφθονία αιματίτη λειμονίτη και γκαιτίτη και σε μικρότερο ποσοστό κλαστικοί κόκκοι χρωμίτη. Στη βάση αλλά και εσωτερικά του κοιτάσματος παρατηρήθηκαν κόκκοι μαρκασίτη. Παράλληλα, συχνά είναι δυνατόν να διαφανούν στρωματίδια γύψου.

Δύο είναι οι κύριοι τύποι παρουσίας του νικελιούχου σιδηρομεταλλεύματος: ο πισσολιθικός και ο συμπαγής. Ο πρώτος συναντάται κυρίως στα κατώτερα τμήματα των κοιτασμάτων και ο δεύτερος στα ανώτερα, χωρίς ωστόσο αυτό να αποτελεί κανόνα. Ο σχηματισμός των πισσολιθικών μορφών οφείλεται στο ρεύμα και τους κυματισμούς του θαλασσινού νερού. Το συγκεκριμένο μέταλλευμα συνίσταται κυρίως από αιματίτη και δευτερευόντως από υδροξείδια του σιδήρου. Το συμπαγές μέταλλευμα αποτελείται κυρίως από γκαιτίτη και λειμονίτη. Αξίζει να αναφερθεί ότι, σύμφωνα με τις ενδείξεις, ο πισσολιθικός ιστός των νικελιούχων σιδηρομεταλλευμάτων σχηματίστηκε κατά την ιζηματογένεση του. Επομένως, προκύπτει ότι τα συγκεκριμένα στρώματα έχουν καθαρά ιζηματογενή χαρακτήρα. Ταυτόχρονα, ιζηματογενούς αποθέσεως είναι και όλα τα στρωματοειδή κοιτάσματα από πυριτικά νικελιούχα ορυκτά, που συναντώνται εσωτερικώς και κάτωθεν του υπόψη κοιτάσματος. Από τις εξετάσεις που πραγματοποιήθηκαν στην παρούσα

εργασία φανερώθηκε η ύπαρξη πυριτικών ορυκτών του νικελίου ως νικελιούχου αντιγορίτη, νικελιούχου μοντμοριλλονίτη και νικελιούχου -τάλκου.

Συνολικά, αυτό που μπορεί να λεχθεί για τον ιστό και την ορυκτολογική σύσταση του μεταλλεύματος είναι ότι : 1) Το νικελιούχο σιδηρομετάλλευμα της Λοκρίδας - Ευβοίας συνίσταται κυρίως από αιματίτη, λειμονίτη, γκαιτίτη και κλαστικών κόκκων χρωμίτη. Παράλληλα, πυριτόλιθοι άργιλοι και κλαστικό υλικό από τους οφιολίθους συνιστούν την μη μεταλλική παραγένεση. 2) Ο σχηματισμός του πισσολιθικού ιστού διεξήχθη κατά την ιζηματογένεση του μεταλλεύματος και όχι κατά την επακόλουθη διαγένεση του. 3) Η μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε νικέλινο των κατωτέρων τμημάτων του κοιτάσματος 'Αγ. 'Ιωάννου Λαρύμνας οφείλεται κυρίως στην παρουσία νικελιούχων ορυκτών, αποτεθέντων κατά την ιζηματογένεση του μεταλλεύματος. 4) Η ανάλυση δειγμάτων μεταλλεύματος, προερχομένων κυρίως από το κοίτασμα του Αγ.' Ιωάννη Λαρύμνας φανέρωσε την παρουσία νικελιούχου αντιγορίτη, νικελιούχου μοντμοριλλονίτη και νικελιούχου τάλκου.

### **Χημική σύσταση**

Το μετάλλευμα συνίσταται κυρίως από σίδηρο, πυρίτιο, άργιλο, χρώμιο, μαγνήσιο και νικέλιο, ενώ παρατηρούνται και μικροποσότητες μαγγανίου, ασβεστίου, θείου, κοβάλτιου, αρσενικού, κ.ά..

### **Συνθήκες σχηματισμού των κοιτασμάτων**

Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι προκύπτουν σημαντικές δυσκολίες στην προσπάθεια μελέτης των συνθηκών μεταλλογένεσης των συγκεκριμένων κοιτασμάτων εξαιτίας των φαινομένων λεπίωσης, επωθήσεων, δυναμομεταμορφώσεων κ.α. Ωστόσο, Μέσω της μελέτης αναπτύχθηκαν 3 απόψεις: 1) Τα κοιτάσματα σχηματίστηκαν με λατεριτική αποσάθρωση των οφιολίθων υπό ευνοϊκές συνθήκες, κατά την περίοδο ανάδυσης των ιζημάτων της ζώνης 'Ανατολικής Ελλάδος στην κάτω-μεσοκρητιδική θάλασσα. Τα μεταλλεύματα είτε μετακινηθήκαν, είτε παρέμειναν στο μητρικό πέτρωμα. Τα σχηματισθέντα κοιτάσματα αποκαλύφθηκαν αργότερα πάνω στους άνω κρητιδικούς ασβεστόλιθους, λόγω της επακόλουθης επίκλησης Κενομανίου 2) Τα κοιτάσματα σχηματίστηκαν με λατεριτική αποσάθρωση των οφιολίθων υπό ευνοϊκές συνθήκες, κατά την περίοδο ανάδυσης των ιζημάτων της ζώνης 'Ανατολικής Ελλάδος στην κάτω-μεσοκρητιδική θάλασσα. Τα μεταλλεύματα, είτε παρέμειναν στο μητρικό



πέτρωμα (οφιόλιθους), είτε μετακινήθηκαν τόσο σε οφιόλιθους, όσο και σε ιουρασικούς ασβεστόλιθους. Οι άνω κρητιδικοί ασβεστόλιθοι κάλυψαν αμέσως τα μεν πρωτογενή κοιτάσματα ασυμφώνως, τα δε δευτερογενή σε συμφωνία στρώσεως.

3) Στην άνω κρητιδική θάλασσα έλαβε χώρα ή απόθεση των σιδηρομεταλλευμάτων υπό μορφή χημικού ιζήματος (γέλη). Ως χώρος προέλευσης τους μπορεί να θεωρηθεί η περιοχή των οφιολίθων της ζώνης Ανατολικής Ελλάδος. Ο προερχόμενος από λατεριτικά υλικά σίδηρος, μεταφέρθηκε σε διαλυμένη και κολλοειδή κατάσταση μέσω των βρόχινων νερών και αποτέθηκε στον πυθμένα της άνω κρητιδικής θαλάσσης. Έν τούτοις, μέρος του σιδηρομεταλλεύματος μεταφέρθηκε σε κλαστική μορφή από τα λατεριτικά προϊόντα της ξηράς.

Στην εξεταζόμενη περιοχή, τα κοιτάσματα μπορούν να θεωρηθούν ιζηματογενή, αποτεθέντα στην άνω κρητιδική θάλασσα κατά τη διάρκεια της άνω κρητιδικής επίκλυσης. Ορισμένες διαπιστώσεις διευκολύνουν τη διαμόρφωση μιας σαφούς εικόνας του τρόπου σχηματισμού των κοιτασμάτων Αυτές είναι : οι συγκεντρώσεις μαρκασίτη τόσο σε ιουρασικούς ασβεστόλιθους, όσο και σε οφιολίθους, η ύπαρξη πυριτόλιθων ως προϊόντων λατεριτικής αποσάθρωσης των οφιολίθων κατά την έναρξη της άνω κρητιδικής επίκλυσης υπο μορφή χημικού ιζήματος και τα πυριτολιθικά τεμάχια που κατά πάσα πιθανότητα τοποθετήθηκαν υπό τη μορφή χημικού ιζήματος, υποστηρίζουν τη θεωρία περί ιζηματογενών κοιτασμάτων. Έπειτα, η παρατηρούμενη εναλλαγή λεπτομερούς και αδρομερούς υλικού, σε συνδυασμό με τον εγκλωβισμό φυτικών οργανισμών υποδεικνύουν ότι ο ρυθμός απόθεσης νικελιούχου σιδηρομεταλλεύματος υπήρξε ανά περιόδους ταχύτερος ή βραδύτερος. Παράλληλα, προκύπτει ότι το περιβάλλον της ιζηματογένεσης πιθανόν να ήταν αβαθής, κλειστή κατά διαστήματα θάλασσα, στην οποία εξέβαλαν χείμαρροι μέσω των οποίων μεταφέρονταν και αποθέτονταν σε κλαστική μορφή οφιολιθικές κροκάλες, φυτικοί οργανισμοί, κλαστικοί κόκκοι χρωμίτη, και πιθανώς μέρος του σιδηρομεταλλεύματος.

### **Κατανομή του νικελίου εντός των κοιτασμάτων**

Τα κατώτερα τμήματα των νικελιούχων σιδηρομεταλλευμάτων παρουσιάζουν μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε νικέλιο. Το γεγονός αυτό προκύπτει από τις εξής παρατηρήσεις κυρίως στα κοιτάσματα του Αγ. Ιωάννη Λαρύμνας: 1. Έντός του μεταλλεύματος του βορείου τμήματος του κοιτάσματος παρατηρούνται λεπτά

στρώματα πρασινοχρόων νικελιούχων ορυκτών, αναπτυσσομένων παραλλήλως της στρώσης του νικελιούχου σιδηρομεταλλεύματος, τα οποία περιέχουν 0,5-2 % Ni. Αυτά απαντώνται και εντός των κατωτέρων στρωμάτων του άνω κρητιδικού ασβεστόλιθου. 2. Στρωματοειδή κοιτάσματα, ιζηματογενούς απόθεσης, υψηλής περιεκτικότητας σε Ni, παρατηρούνται κυρίως στα κατώτερα τμήματα του μεταλλεύματος.

Την μερικώς μέσω διαγένεσης συγκέντρωση του νικελίου στα κατώτερα τμήματα του κοιτάσματος επιβεβαιώνονται από τα παρακάτω: 1) Τα προαναφερθέντα πρασινόχρωμα πληρούν διαρρήξεις του κοιτάσματος. 2) Η μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε πυριτικά ορυκτά του νικελίου παρατηρείται στο σημείο που το νανικελιούχο σιδηρομετάλλευμα είναι εντόνως διερρηγμένο. 3) Οι ιουρασικοί ασβεστόλιθοι που βρίσκονται κάτω (σε κατώτερη βαθμίδα, σε μεγαλύτερο βάθος) από το νικελιούχο κοιτάσμα του Αγ. Ιωάννη Λαρύμνας παρουσιάζουν καρστική (διαβρωμένη) επιφάνεια, σχηματισμένη κατά την κρητιδική ανάδυση. Παράλληλα παρατηρήθηκε αποσαθρωτική διεργασία σε όλη την παλαιοδιαβρωσιγενή επιφάνεια του ασβεστόλιθου του δαπέδου, αποτελούμενα από άργιλο και πυριτικά υλικά νικελίου. 4) Οι υπό εξέταση ιουρασικοί ασβεστόλιθοι παρουσιάζουν αποσάθρωση, παίρνοντας τοπικά πράσινη χρώμα, και περιέχοντας 2 - 25 % νικέλιο. Στα σημεία που ο ασβεστόλιθος είναι ωολιθικός, οι ωόλιθοι διατηρούνται και μετά την αντικατάσταση του ανθρακικού ασβεστίου από πυριτικό ορυκτό του νικελίου.

## **2.6 ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΠΑΡΝΗΘΑΣ**

Σημαντική είναι η ιζηματογενής μεταλλοφορία που αναπτύσσεται στην περιοχή της Πάρνηθας και ανήκει στην ίδια γεωτεκτονική ζώνη με τα κοιτάσματα της Λοκρίδας. Χαρακτηρίζεται από πλήθος εμφανίσεων, οι οποίες επικάθονται ασβεστολίθων του Τριαδικού-Ιουρασικού ή υπερβασικών πετρωμάτων και υπόκεινται Άνω Κρητιδικών ασβεστολίθων. Σε ελάχιστες εμφανίσεις συνυπάρχουν στρώματα σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος με βωξίτη όπως έχουν περιγραφεί και στη Λοκρίδα. Ο τύπος του μεταλλεύματος είναι πisolιθικός η συμπαγής με μεγάλο ποσοστό φακών και κλαστικών θραυσμάτων πυριτιολίθων

## **2.7 ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΙΟΥ ΓΡΕΒΕΝΩΝ**

Τα κοιτάσματα παλαιοχωρίου είναι ένας λατεριτικός φλοιός αποσάθρωσης που αναπτύσσεται επί σερπεντινιτών και καλύπτεται από Μειοκαινικά μολασσικά

ιζήματα της σειράς Τσοτυλίου. Βρίσκεται στο ανατολικό περιθώριο της Μεσοελληνικής αύλακας, η οποία έχει στην περιοχή ως υπόβαθρο πετρώματα του οφιολιθικού συμπλέγματος του Βούρινου. Η μεταλλοφορία συνίσταται από το σαπρολιτικό και το συμπαγούς-πισολιθικής υφής σιδηρούχο ορίζοντα, στον οποίον η κύρια ορυκτολογική φάση είναι ο μαγνητίτης. Το νικέλιο είναι συνδεδεμένο και με τους δύο ορίζοντες με ιδιαίτερα υψηλές περιεκτικότητες στη σιδηρούχο ζώνη.

## **2.8 ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΙΕΡΟΠΗΓΗΣ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ**

Η γεωλογική δομή της περιοχής αντιπροσωπεύεται από σχηματισμούς της Υποπελαγονικής ζώνης. Το κοίτασμα αναπτύσσεται επί σερπεντινιτών και καλύπτεται από Μειοκαινικά ιζήματα της Μεσοελληνικής αύλακας τα οποία αποτελούνται από ασβεστολιθικά-οφιολιθικά κροκαλοπαγή, ψαμμίτες και μάργες. Η μεταλλοφορία κατανέμεται σε τρία επιμέρους κοιτάσματα και είναι συνέχεια της αντίστοιχης του DEVOLL Αλβανίας. Χαρακτηρίζεται σαν κλασικός λατεριτικός φλοιός αποσάθρωσης και είναι η μεγαλύτερη παρόμοιου τύπου γνωστή μεταλλοφορία στην Ελλάδα. Εμφανίζονται όλες οι ζώνες που έχουν οι λατεριτικοί φλοιοί αποσάθρωσης (σιδηρούχο κάλυμμα-γκαιιτική-νοτρονιτική-σαπρολιτική ζώνη). Το μεταλλοφόρο σώμα αναπτύσσεται υπό μορφή μεγάλου μεγέθους φακών, με κυμαινόμενο πάχος της συνολικής μεταλλοφορίας αλλά και των επί μέρους ζωνών και εναλλαγές της κατανομής του νικελίου τόσο κατά την κατακόρυφη όσο και κατά την οριζόντια εξέλιξη της μεταλλοφορίας. Τα πρωτογενή λατεριτικά κοιτάσματα Ιεροπηγής και Παλαιοχωρίου σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια της δεύτερης περιόδου λατεριτίωσης των υπερβασικών πετρωμάτων του Ελλαδικού χώρου. Γεωλογικές προϋποθέσεις ύπαρξης αντίστοιχης μεταλλοφορίας υπάρχουν επίσης στο ανατολικό και δυτικό περιθώριο της Μεσοελληνικής αύλακας.

## **2.9 ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΒΕΡΜΙΟΥ**

Γεωτεκτονικά ο χώρος της μεταλλοφορίας ανήκει στην Πελαγονική ζώνη. Το νικελιούχο μεταλλοφόρο σώμα υπέρκειται σερπεντινιτών, οι οποίοι εκτείνονται σε ένα μήκος αρκετών χιλιομέτρων υπό μορφή μιας στενής λωρίδας. Η μεταλλοφορία που αναπτύσσεται στο δυτικό Βέρμιο στην περιοχή Παρχάρ Κομνηνών είναι φακοειδούς μορφής κυμαινόμενου πάχους και καλύπτεται από ένα ασβεστολιθικό κροκαλοπαγές ή ασβεστόλιθους του Ανωτέρου Κρητιδικού. Το μεταλλοφόρο αυτό

στρώμα ιζηματογενούς προέλευσης δεν έχει ομοιόμορφη εξέλιξη, αλλά αποτελείται στη βάση του από πυριτόλιθους, ακολουθεί το σιδηρονικελιούχο τμήμα και ολοκληρώνεται με ένα κροκαλοπαγές από υπερβασικά και μετάλλευμα. Η πλήρης σειρά δεν εμφανίζεται σε όλο το μήκος της εμφάνισης, αλλά πλευρικά παρατηρείται μια αποσφήνωση με αποτέλεσμα κατά τόπους να μην εμφανίζεται το καθαρό σιδηρονικελιούχο τμήμα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΝΙΚΕΛΙΟΥ ΕΚΤΟΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

### 3.1 ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΟΡΥΧΕΙΟΥ Jinchuan

Μερικά από τα πιο γνωστά στον κόσμο ορυχεία σουλφιδίων νικελίου που συνδέονται με τα σουλφίδια κοβαλτίου, είναι ο όμιλος Jinchuan ένας από τους κορυφαίους παραγωγούς νικελίου και κοβαλτίου στον κόσμο, καθώς και ένας από τους μεγαλύτερους παραγωγούς μετάλλων χαλκού και πλατίνας στη Λαϊκή Δημοκρατία της Κίνας η "ΛΔΚ"). Όσον αφορά την παραγωγή του προϊόντος το 2013, ο όμιλος Jinchuan ήταν ο τέταρτος μεγαλύτερος κατασκευαστής νικελίου και ο δεύτερος μεγαλύτερος κατασκευαστής κοβαλτίου στον κόσμο και ο τρίτος μεγαλύτερος κατασκευαστής χαλκού στην Κίνα, καθώς και ο μεγαλύτερος κατασκευαστής μεταλλικών προϊόντων πλατίνας στη ΛΔΚ όσον αφορά την παραγωγή προϊόντος το 2013.

Για να κατανοήσουμε τα χαρακτηριστικά του κοιτάσματος και τη γεωλογία του ορυχείου Jinchuan, αναλύθηκαν συστηματικά οι δύσκολες γεωλογικές συνθήκες, συμπεριλαμβανόμενης του κατακερματισμένου πετρώματος μεταλλεύματος, της παραμόρφωσης, της δύσκολης στήριξης των στοών και της χαμηλής ανάκτησης των μεταλλευμάτων. Επίσης η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε στο υπόγειο ορυχείο είναι under cut-and-fill.

Το υπόγειο ορυχείο νικελίου Jinchuan τα κυρίαρχα στοιχεία του είναι το νικέλιο και το κοβάλτιο. Ανακαλύφθηκε το 1958, αυτή η απόθεση βρίσκεται στους πρόποδες του Όρους Longshou και έχει μήκος 6.5 χλμ και πλάτος 500 μ. Το απόθεμα είναι  $5,6 \times 10^8$  t, το οποίο περιλαμβάνει  $6,03 \times 10^6$  τόνους νικελίου,  $3,89 \times 10^6$  t χαλκού και περισσότερα από 20 άλλα πολύτιμα στοιχεία όπως τα μέταλλα του κοβαλτίου, του αργύρου και της πλατίνας. Η απόθεση κατατάσσεται στην τρίτη θέση παγκοσμίως όσον αφορά το μέγεθος. Διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στη δομή πόρων των μη σιδηρούχων μετάλλων της Κίνας, με το νικέλιο να αντιπροσωπεύει το 79% των συνολικών αποθεμάτων νικελίου στην Κίνα, μετά το κοβάλτιο και τα μέταλλα της ομάδας της πλατίνας στην κορυφή. Επομένως, αντιπροσωπεύει πάνω από το 80% του εγχώριου αποθεματικού. Ωστόσο, οι συνθήκες εξόρυξης στο ορυχείο είναι πολύ περίπλοκες. Οι πολλές τεκτονικές κινήσεις, έχουν δημιουργήσει πυκνό δίκτυο ασυνεχειών και η μεταλλοφορία έχει τοποθετηθεί σε μεγάλο βάθος. Το

μειονεκτήματα αυτό καθιστά δύσκολη την εξόρυξη της. Αυτό έχει ως επίπτωση κατακερματισμένο πέτρωμα, μαζική παραμόρφωση, δύσκολη υποστήριξη σήραγγας και δύσκολη μηχανική.

Η εξόρυξη και οι εργασίες στο ορυχείο νικελίου Jinchuan πραγματοποιήθηκαν σε υπόγειο ορυχείο μεγάλου βάθους, καθώς η τρέχουσα λειτουργία είναι πάνω από 1000m κάτω από την επιφάνεια. Η συνολική έκταση εξόρυξης υπερβαίνει τα 570.000m<sup>2</sup> και οι γεωλογικές συνθήκες επιδεινώνουν, περισσότερο το κατακερματισμένο πέτρωμα και τις διευρυμένες ασυνέχειες. Οι σοβαρές παραμορφώσεις προκαλούν αστάθεια των στοών, που παρουσιάζουν αυξανόμενη δυσκολία στην προχώρηση του έργου και οδηγούν σε υψηλότερο κίνδυνο γεωλογικών καταστροφών. Η εμπειρία σε πολλά υπόγεια ορυχεία στο εσωτερικό και στο εξωτερικό έχει δείξει ότι η συμβατική προχώρηση του έργου, οι μέθοδοι στήριξης, και η τεχνολογία δεν είναι κατάλληλες για υπόγεια εξόρυξη. Εξαιτίας των ιδιαίτερων συνθηκών που συμβαίνουν, συμπεριλαμβανομένων υψηλών καταπονήσεων εδάφους, υψηλής θερμοκρασίας και πολύπλοκης γεωλογίας. Η υπόγεια εκμετάλλευση περιλαμβάνει τα εξής προβλήματα:

- αυξημένη πίεση του εδάφους
- δύσκολη υποστήριξη
- θέματα ασφάλειας του προσωπικού ή εξοπλισμού
- σκληρές συνθήκες εργασίας
- χαμηλή παραγωγικότητα
- υψηλό κόστος εξόρυξης
- λειτουργία σε μεγάλη έκταση

Σημαντικό ερευνητικό θέμα έχουν αποτελέσει τα μεγάλα υπόγεια ορυχεία για την πραγματοποίηση αποτελεσματικών, ασφαλών και οικονομικών ορυχείων.

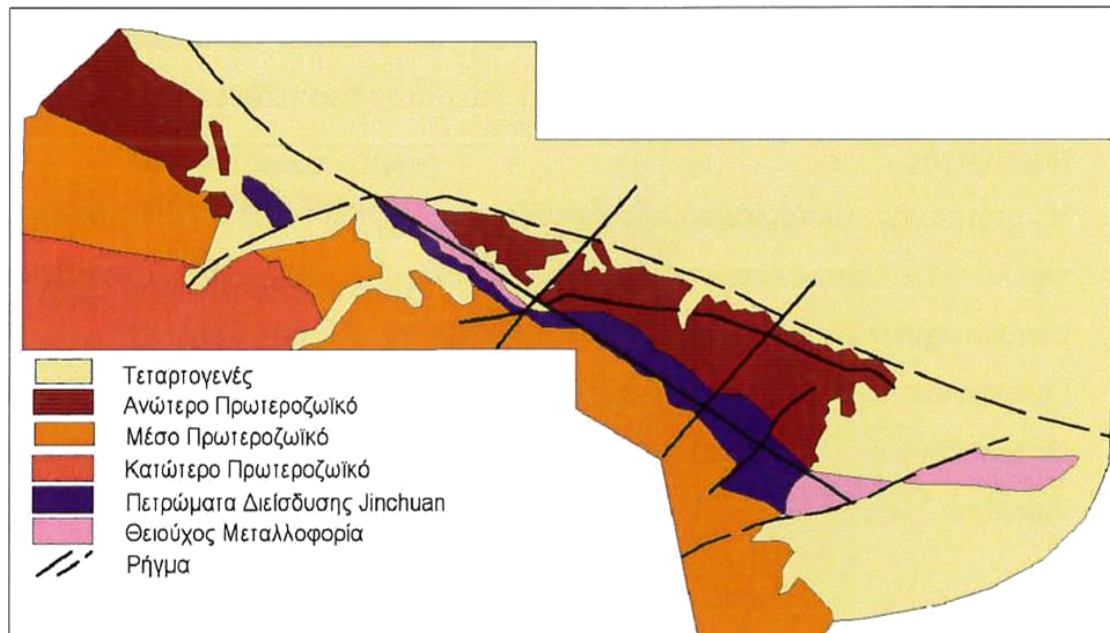
Για την επίλυση των προβλημάτων που σχετίζονται με τα υπόγεια ορυχεία βαθιάς εξόρυξης στο Jinchuan η αναγκαία επίτευξη ασφαλούς, αποτελεσματικής και οικονομικής εξόρυξης με φιλικό τρόπο προς το περιβάλλον, είναι απαραίτητο να μελετηθούν τα χαρακτηριστικά των πόρων και τα χαρακτηριστικά του ορυχείου νικελίου Jinchuan. Επίσης απαραίτητο είναι να αναπτυχθεί ένα πακέτο τεχνολογίας για την υπόγεια εκμετάλλευση και συμπύκνωση στο Jinchuan μέσω της θεωρητικής

καθοδήγησης, της τεχνολογικής έρευνας, της πρακτικής λειτουργίας, της βελτίωσης της διαδικασίας, της ολοκλήρωσης του συστήματος και της ανταλλαγής πληροφοριών. Ένα τέτοιο πακέτο θα έχει μεγάλη σημασία για την υπόγεια εκμετάλλευση νικελίου του ορυχείου νικελίου Jinchuan.

### **3.2 ΚΟΙΤΑΣΜΑ ΝΙΚΕΛΙΟΥ Jinchuan**

Το σύμπλεγμα κοιτασμάτων νικελίου του Jinchuan βρίσκεται στην επαρχία Cansu της Κίνας, 1200km του Πεκίνου Cu-Ni-PGE μεταλλοφορία συνδέεται με τη διείσδυση του Jinchuan, η οποία τοποθετείται στο νοτιοδυτικό περιθώριο του κρατόνα Alashan στη βορειοδυτική Κίνα και είναι ηλικίας 1510Ma. Πρόκειται για μια βασική – υπερβασική διείσδυση με δουνίτες, λερζόλιθους, πλαγιοκλαστικούς λερζόλιθους και ολιβινικούς βεμπστερίτες, στη βάση της οποίας αναπτύσσεται η μεταλλοφορία και συνδέεται κυρίως με δουνίτες. Η μεταλλοφόρα περιοχή εκτείνεται σε ένα μήκος 6.5km και πλάτος 500m, έως 2000 m και πάχος έως 30m. Τα σημαντικότερα σώματα είναι τρία και περιέχουν 90% των γνωστών αποθεμάτων . Η μεταλλοφορία διακρίνεται σε τέσσερις τύπους:

- Δικτυωτής δομής, είναι η επικρατούσα μεταλλοφορία με περιεκτικότητες νικελίου 1-4% και σχηματίζει συνήθως φακοειδή σώματα.
- Διάσπαρτη μεταλλοφορία μικρών φακών με περιεκτικότητες <1%.
- Συμπαγής μεταλλοφορία με μορφή φλεβών πάχους πάνω από 5m και περιεκτικότητες 4-9%
- Μετασωματική μεταλλοφορία στην επαφή της διείσδυσης και μαρμάρων.



ΕΙΚΟΝΑ 3.1: Γεωλογικός χάρτης Jinchuan (από Chai and Naldrett 1992).

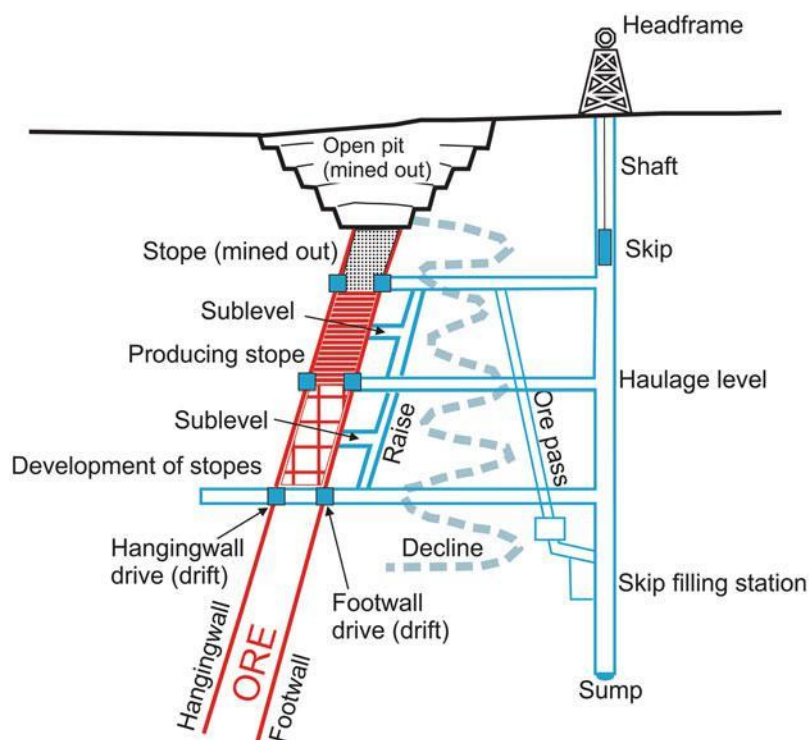
Η ετήσια παραγωγή του Jinchuan το 90% της παραγωγής νικελίου της Κίνας. Η παραγωγή το 2005 ανήλθε σε 93.000 τόνους εμφανίζοντας μια αύξηση 160% σε σχέση με το 1995. Οι μεταλλευτικοί πόροι ανέρχονται σε  $520 \times 10^6$  τόνους με μέση περιεκτικότητα να ανέρχεται σε 1.1%.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

### 4.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

Τα υπόγεια ορυχεία χρησιμοποιούνται για την πρόσβαση και εκμετάλλευση μεταλλευτικών σωμάτων τα οποία γενικά δεν εκτίθενται στην επιφάνεια και για τεχνικούς ή οικονομικούς λόγους δεν μπορούν να εξορύσσονται με μεθόδους ανοιχτού πυθμένα (open pit methods). Η υποδομή των υπόγειων ορυχείων είναι πιο πολύπλοκη από τα υπαίθρια ορυχεία. Μια τυπική διάταξη ενός υπόγειου ορυχείου παρουσιάζεται στην (εικόνα 4.1).



Εικόνα 4.1: Γενικό σχεδιάγραμμα ενός υπόγειου ορυχείου από τον Hamrin (1982, 2001).

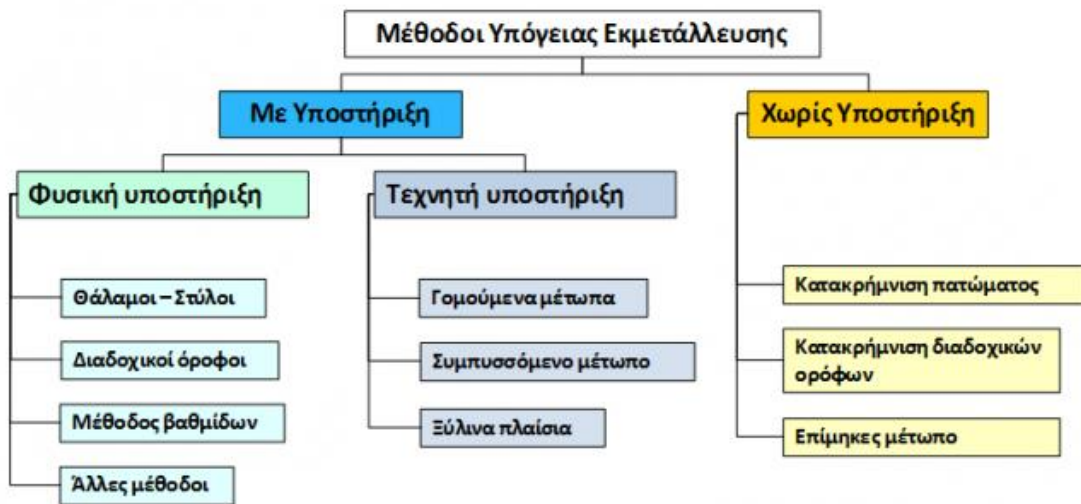
Οι υπόγειες μέθοδοι εκμετάλλευσης ουσιαστικά επιτυγχάνουν την πρόσβαση στο χώρο ανάπτυξης του κοιτάσματος μέσω έργων προσπελάσεως και την προσβολή και απόσπαση του μεταλλεύματος χωρίς να απαιτείται η μαζική μετακίνηση των υπερκείμενων στείρων πετρωμάτων. Η υπόγεια προσπέλαση γίνεται γενικά με τρία είδη έργων: 1) Στοές. 2) Φρέατα (πηγάδια). 3) Κεκλιμένα ή/και ελικοειδή κεκλιμένα.

Πολλές φορές για την προσπέλαση χρησιμοποιούνται και συνδυασμοί των έργων αυτών. Έτσι ένας τύπος προσπέλασης που χρησιμοποιείται συχνά τα τελευταία χρόνια, διευκολύνοντας την κίνηση του αυτοκινούμενου εξοπλισμού, είναι το ελικοειδές κεκλιμένο ή ράμπα. Για κάθε υπόγεια εκμετάλλευση επιβάλλεται να υπάρχουν τουλάχιστον 2 προσπελάσεις στην επιφάνεια.

Η ύπαρξη δύο έργων απαιτείται άλλωστε και για την δημιουργία του κυκλώματος αερισμού του μεταλλείου. Ο αερισμός γίνεται με τη χρήση τεχνητών μέσων (ανεμιστήρων), οι οποίοι τοποθετούνται στο ένα προσπελαστικό έργο και προσάγουν ή απάγουν τον αέρα προς/από το μεταλλείο. Έτσι επιτυγχάνεται η εισαγωγή της απαιτούμενης ποσότητας αέρα στο χώρο, καθώς επίσης και η απαγωγή των καυσαερίων και κονιορτού (σκόνης) από τις θέσεις εκμετάλλευσης εξασφαλίζοντας μια καλή ποιότητα ατμόσφαιρας στο υπόγειο μεταλλείο.

Οι μέθοδοι υπόγειας εκμετάλλευσης που έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται είναι πάρα πολλές μπορούν όμως να καταταγούν σε 3 μεγάλες κατηγορίες:

- με κενά μέτωπα (open stopes), στις οποίες ο χώρος που απομένει μένει μετά την απόσπαση του μεταλλεύματος διατηρείται κενός με συνηθέστερα με φυσική υποστήριξη, δηλαδή η υποστήριξη παρέχεται κυρίως από το πέτρωμα.( Θάλαμοι – στύλοι, Διαδοχικοί όροφοι με κενά μέτωπα, Μέθοδος βαθμίδων και Άλλες μέθοδοι (VCR, Big hole))
- με γομούμενα μέτωπα (filling stopes), στις οποίες ο χώρος του κοιτάσματος που εκμεταλλεύεται πληρώνεται στη συνέχεια με τεχνητό τρόπο συνήθως από στείρα υλικά. (Διαδοχικές κοπές και λιθογομώσεις, Συμπτυσσόμενο μέτωπο, Ξύλινα πρισματικά πλαίσια)
- με κατακρημιζόμενα μέτωπα (caving stopes), στις οποίες ο χώρος που έχει πραγματοποιηθεί η απόσπαση του μεταλλεύματος πληρώνεται με υλικά μέσω της κατακρήμισης της οροφής του κοιτάσματος.( Κατακρήμιση πατώματος, Κατακρήμιση με διαδοχικούς ορόφους, Ευθύγραμμο επίμηκες μέτωπο)

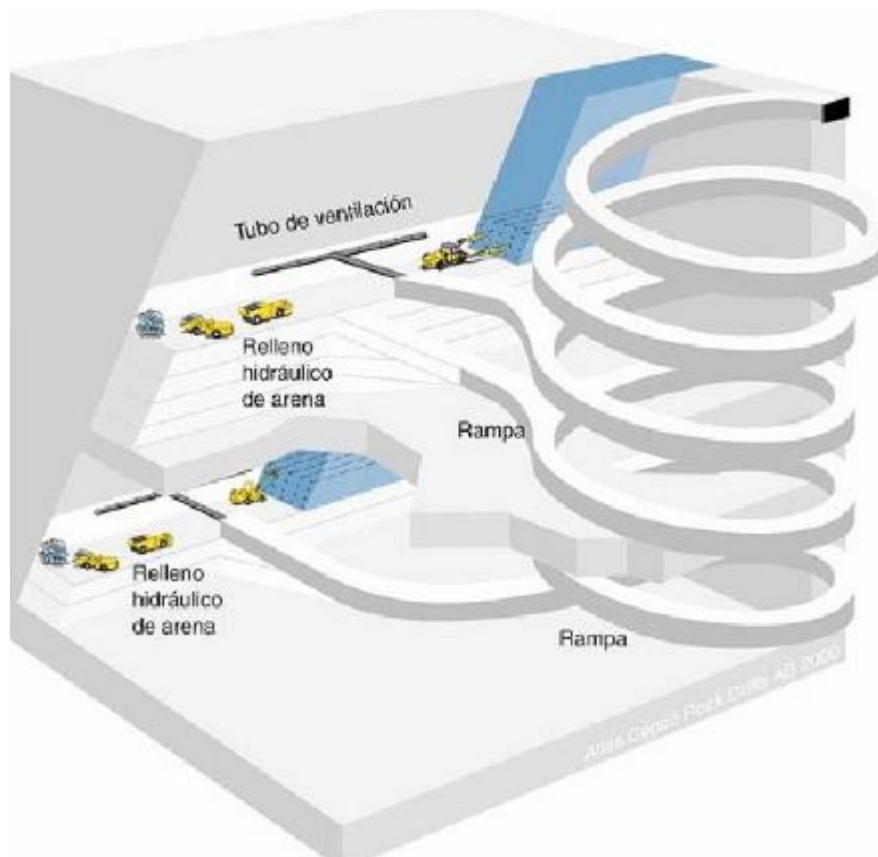


Εικόνα 4.2:Αναλυτικά οι μέθοδοι υπόγειας εκμετάλλευσης.

#### 4.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΓΟΜΟΥΜΕΝΑ ΜΕΤΩΠΑ(filling stopes)

Το βασικό χαρακτηριστικό της μεθόδου με λιθογόμωση είναι η αντικατάσταση του μεταλλοφόρου πετρώματος, που αποσπάται κατά την εκμετάλλευση, με νέο φερτό υλικό χαμηλής αξίας (π.χ. στείρα) που γεμίζει τα κενά που δημιουργούνται.

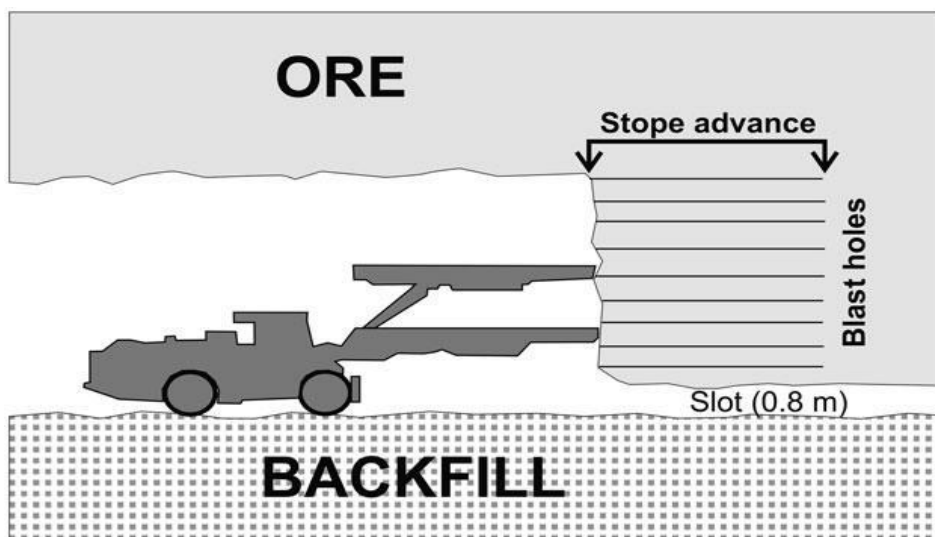
Στην απότομη βύθιση φλεβών συνήθως η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η cut-and-fill και shrinkage stoping που επιτρέπουν την εξαιρετικά επιλεκτική ανασκαφή του μεταλλεύματος ελαχιστοποιώντας παράλληλα την αραίωση από τα στείρα υλικά.



Εικόνα 4.3: Όψη της εκμετάλλευσης και σχεδιασμός ράμπας της cut-and-fill (ανερχόμενη λιθογόμωση).

#### 4.2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΕΣ ΚΟΠΕΣ ΚΑΙ ΓΟΜΩΣΕΙΣ (Cut-and-Fill)

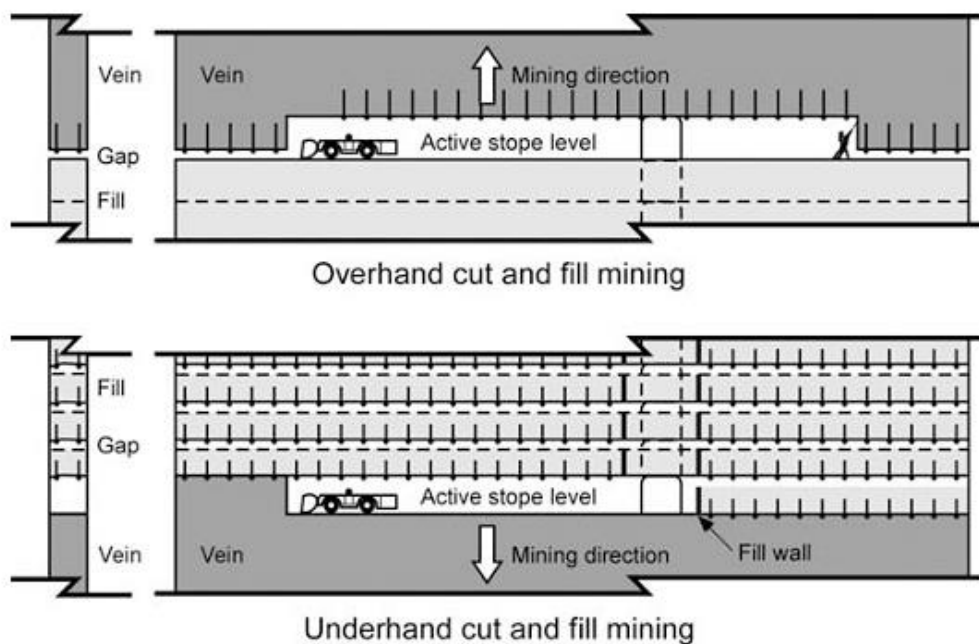
Η μέθοδος cut-and-fill σχεδιάστηκε για την επιλεκτική εξόρυξη των απότομα βυθιζόμενων φλεβών, και ιδιαίτερα για το υψηλό βαθμό (high-grade) μεταλλευτικού σώματος. Σκοπός της μεθόδου cut-and-fill είναι ο διαχωρισμός του μεταλλεύματος σε οριζόντιες λωρίδες, ξεκινώντας από το χαμηλότερο σημείο του πατώματος και προχωρώντας προς τα πάνω ή και το αντίθετο (ανερχόμενη ή κατερχόμενη λιθογόμωση). Η κάθε λωρίδα εξορύσσεται κάνοντας μια τρύπα και ανατινάζοντας επί τόπου μετά το θραυσμένο πέτρωμα το αποκρίνουν από την στοά.



Εικόνα 4.4: Διαδικασία εξόρυξης cut-and-fill.

Στην ανερχόμενη λιθογόμωση το μέταλλευμα εξορύσσεται σε οριζόντιες λωρίδες, ύψους 2-6 m (ορυσσόμενο σε μια ή περισσότερες φάσεις), αρχίζοντας από το χαμηλότερο σημείο του πατώματος και προχωρώντας προς τα πάνω. Έτσι, η τυπική εφαρμογή της μεθόδου περιλαμβάνει την αφαίρεση μιας στρώσης από την οροφή του μετώπου και καθώς το μέταλλευμα πέφτει στο δάπεδο, γίνεται η αποκομιδή του και εν συνεχεία η υποστήριξη της οροφής. Μετά το πέρας της εκμετάλλευσης της λωρίδας, η περιοχή γεμίζεται με υλικό λιθογόμωσης (συνήθως στείρο υλικό). Το υλικό αυτό αποτελεί ουσιαστικά το νέο δάπεδο εργασίας για να αρχίσει ένας νέος κύκλος εκμετάλλευσης στην νέα ανώτερη υψομετρικά λωρίδα.

Στην περίπτωση της κατερχόμενης λιθογόμωσης, πραγματοποιείται η αντίστοιχη διαδικασία μόνο που πλέον η φορά εκμετάλλευσης είναι προς τα κάτω. Αυτό σημαίνει ότι μετά την λιθογόμωση της λωρίδας εκμετάλλευσης, η νέα εκμετάλλευση αρχίζει κάτω από την λιθογομωμένη περιοχή. Συνεπώς υπάρχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις στο υλικό της λιθογόμωσης, καθώς πλέον πρέπει να φέρει τις τάσεις που δημιουργούνται στην οροφή, από την διάνοιξη της στοάς εκμετάλλευσης. Στις περιπτώσεις αυτές συνήθως προστίθεται ένα ποσοστό τσιμέντου (4%-15%) στο υλικό ώστε να μπορεί να αποκτήσει την απαιτούμενη αντοχή.



Εικόνα 4.5: Ανερχόμενη (overhand) και κατερχόμενη (underhand) λιθογόμωση.

Η χρήση αυτοκινούμενου εξοπλισμού επιβάλλει την ανάπτυξη ελικοειδών κεκλιμένων (ραμπών) από όπου και γίνεται η τελική προσβολή του κοιτάσματος. Έτσι με σημείο εκκίνησης την ράμπα γίνεται η ανάπτυξη διαδοχικών κεκλιμένων (συνήθως 4-5, κλίσης 15%) έως ότου συναντηθεί το κοίτασμα. Η αρχή γίνεται από το κατώτερο και μετά το πέρας της εκμετάλλευσης της κατώτερης πλάκας γίνεται η λιθογόμωση της και ακολουθεί η όρυξη του επόμενου υψομετρικά κεκλιμένου από το οποίο γίνεται εκ νέου η προσβολή του κοιτάσματος και η λιθογόμωση.

#### ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑ ΜΕΘΟΔΟΥ Cut-and-fill

Βασικά πλεονεκτήματα των μεθόδων με λιθογόμωση είναι η εξασφάλιση της μέγιστης δυνατής ασφάλειας έναντι προβλημάτων επιφανειακών καθιζήσεων. Επίσης, η μείωση της ρηγμάτωσης των περιβαλλόντων πετρωμάτων αλλά και το γέμισμα των μετώπων με αδρανές συμπυκνωμένο υλικό ή ακόμα και με στερεοποιημένο υλικό με χρήση τσιμέντου μειώνει δραστικά την κίνηση των υπογείων υδάτων και την αποστράγγισή του μέσα από την περιοχή της

μεταλλοφορίας, ελαχιστοποιώντας την οξείδωσή του αλλά και την εμφάνιση προβλημάτων όξινης απορροής.

Σημαντικό επίσης πλεονέκτημα είναι η επίτευξη πολύ υψηλών συντελεστών απόληψης του κοιτάσματος της τάξης του 90-95%, αλλά και η μείωση του ποσοστού αραίωσης (ποσοστό στείρου υλικού που λαμβάνεται κατά την εκμετάλλευση).

#### ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΕΘΟΔΟΥ Cut-and-fill

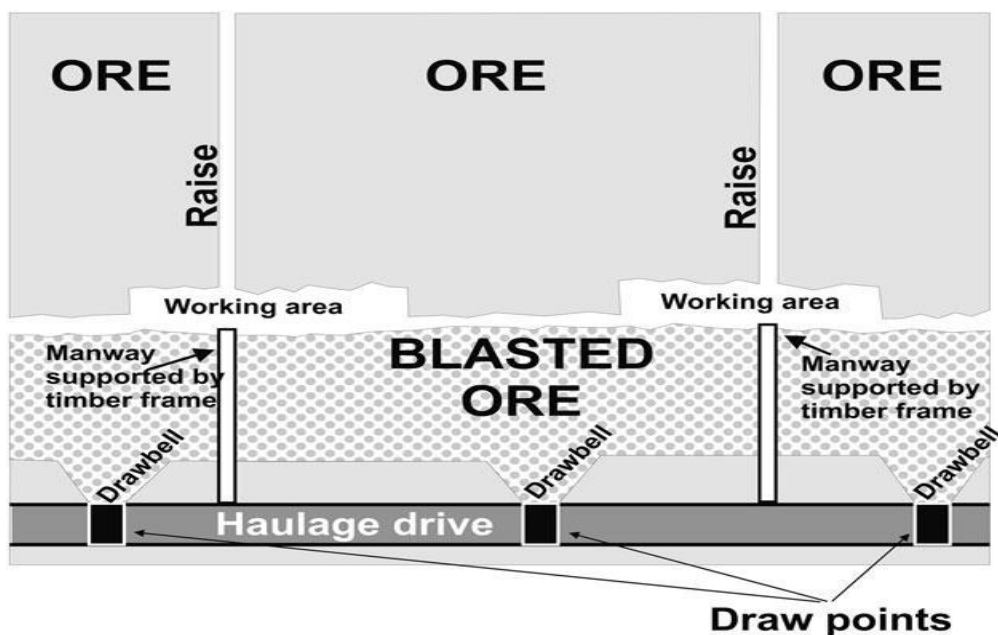
Το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι το υψηλό κόστος που παρουσιάζει το οποίο οφείλεται τόσο στην ανάγκη μεταφοράς του υλικού από την επιφάνεια στα υπόγεια μέτωπα όσο και στην εισαγωγή ακόμα μιας φάσης εργασίας (φάση λιθογόμωσης) που απαιτεί τη χρήση επιπλέον πόρων για το σκοπό αυτό αλλά και μειώνει την παραγωγικότητα της μεθόδου.

#### 4.2.2 ΣΥΜΠΤΥΣΣΟΜΕΝΑ ΜΕΤΩΠΑ (Shrinkage Method)

Τα συμπτυσσόμενα μέτωπα Shrinkage είναι μια άλλη μέθοδο που σχεδιάστηκε για την επιλεκτική εξόρυξη των απότομα βυθιζόμενων φλεβών. Είναι όμοια με τη μέθοδο cut-and-fill, ξεκινά και εκείνη από τον πυθμένα του σώματος του μεταλλεύματος και προχωρά προς τα πάνω την εκσκαφή του μεταλλεύματος σε οριζόντιες λωρίδες (Εικ. 4.2.3). Ωστόσο, η βασική διαφορά είναι ότι το σπασμένο μετάλλευμα δεν απομακρύνεται πλήρως από το συμπτυσσόμενο μέτωπο. Περίπου το 60% του σπασμένου μεταλλεύματος παραμένει στην στοά, όπου χρησιμοποιείται ως δρόμος εργασίας για την εξόρυξη της επόμενης λωρίδας του μεταλλεύματος. Το σπασμένο μετάλλευμα που παραμένει στην άκρη μιας περιοχής, χρησιμεύει επίσης ως στήριγμα για τους τοίχους των στύλων και από τα φρέατα αποκομιδής λαμβάνεται μόνο το πλούσιο μετάλλευμα ενώ το υπόλοιπο παραμένει στο χώρο και αφαιρείται μετά το τέλος της εξόρυξης. Η μέθοδος εξόρυξης shrinkage είναι ιδιαίτερα επιλεκτική και οικονομικά αποδοτική. Χρησιμοποιείται σε κοιτάσματα όπου:

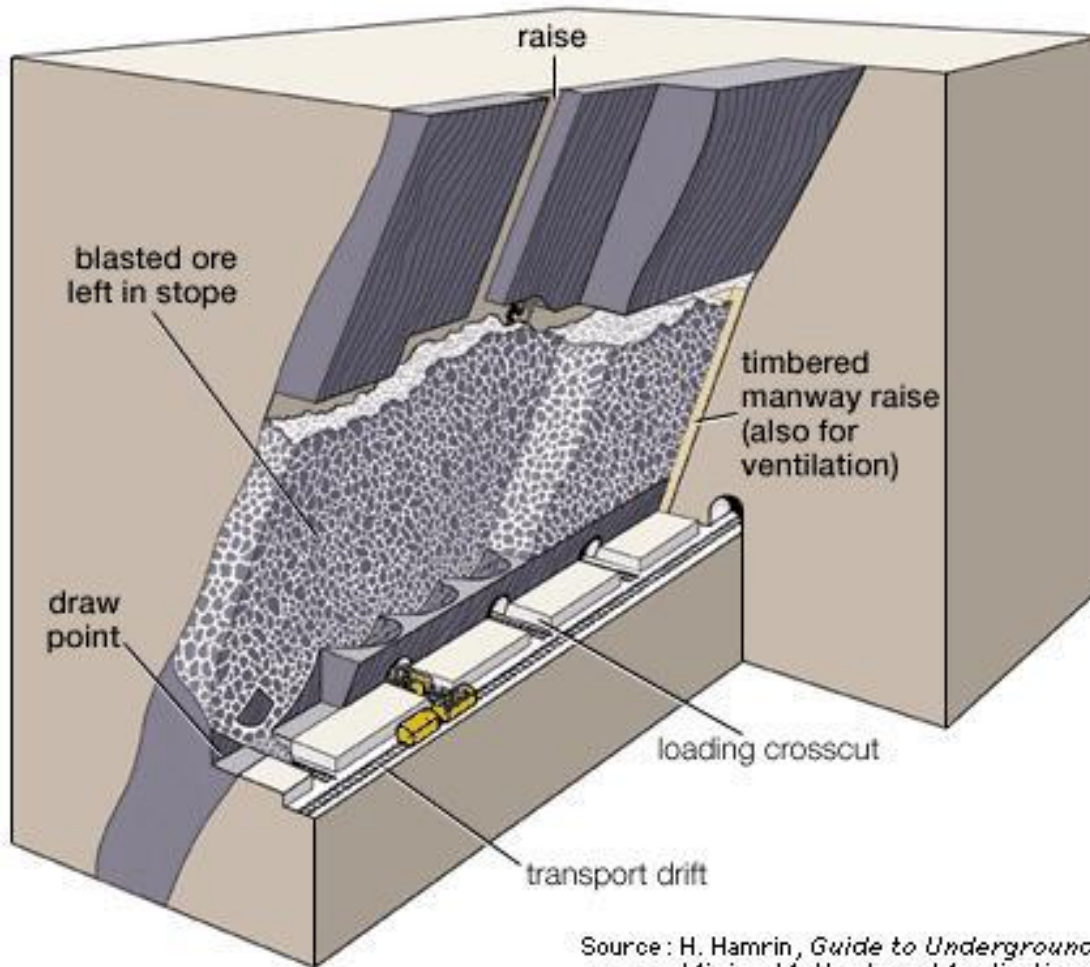
- η κλίση πρέπει να είναι υψηλή (δηλαδή η κλίση της στρώσης να υπερβαίνει τη γωνία φυσικού πρανούς του υλικού) και συνήθως η ελάχιστη κλίση του κοιτάσματος είναι 50<sup>0</sup>.

- Το πάχος του κοιτάσματος να κυμαίνεται από 1 m έως 10 m και το μέγιστο 15 m σε εξαιρετικές περιπτώσεις.
- Η οροφή και η στρώση του κοιτάσματος να έχουν σχετικά καλή μηχανική συμπεριφορά δηλαδή μέτρια έως υψηλή μηχανική αντοχή του μεταλλεύματος.
- Η οροφή και κυρίως η στρώση να είναι όσο το δυνατόν πιο ομαλές, διότι οποιαδήποτε γεωμετρική ανωμαλία της στρώσης δυσχεραίνει την ροή του θραυσμένου μεταλλεύματος.
- Σαφής διαχωρισμός μεταξύ μεταλλεύματος και παρυφών, για ελαχιστοποίηση της αραίωσης του μεταλλεύματος με στείρο πέτρωμα και ομοιογενής μεταλλοφορία.
- Το μέταλλευμα να μην υπόκειται σε συσσωμάτωση, οξείδωση και αυτανάφλεξη λόγω του αυξημένου χρόνου παραμονής του στο μέτωπο εργασίας.



Εικόνα 4.6: Shrinkage Method





© 2007 Encyclopædia Britannica, Inc.

Source: H. Hamrin, *Guide to Underground Mining Methods and Applications* (Stockholm: Atlas Copco, 1980)

Εικόνα 4.7: Shrinkage Method

#### ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ Shrinkage Method

- Περιορισμένα έργα προπαρασκευής
- Μεγάλη ταχύτητα προχώρησης του μετώπου
- Εξαιρετικά περιορισμένη υποστήριξη
- Μεγάλη παραγωγή ανά μονάδα επιφανείας και εκμετάλλευση της βαρύτητας τόσο για την εξόρυξη όσο και για την εξαγωγή και μεταφορά.
- Καλός αερισμός

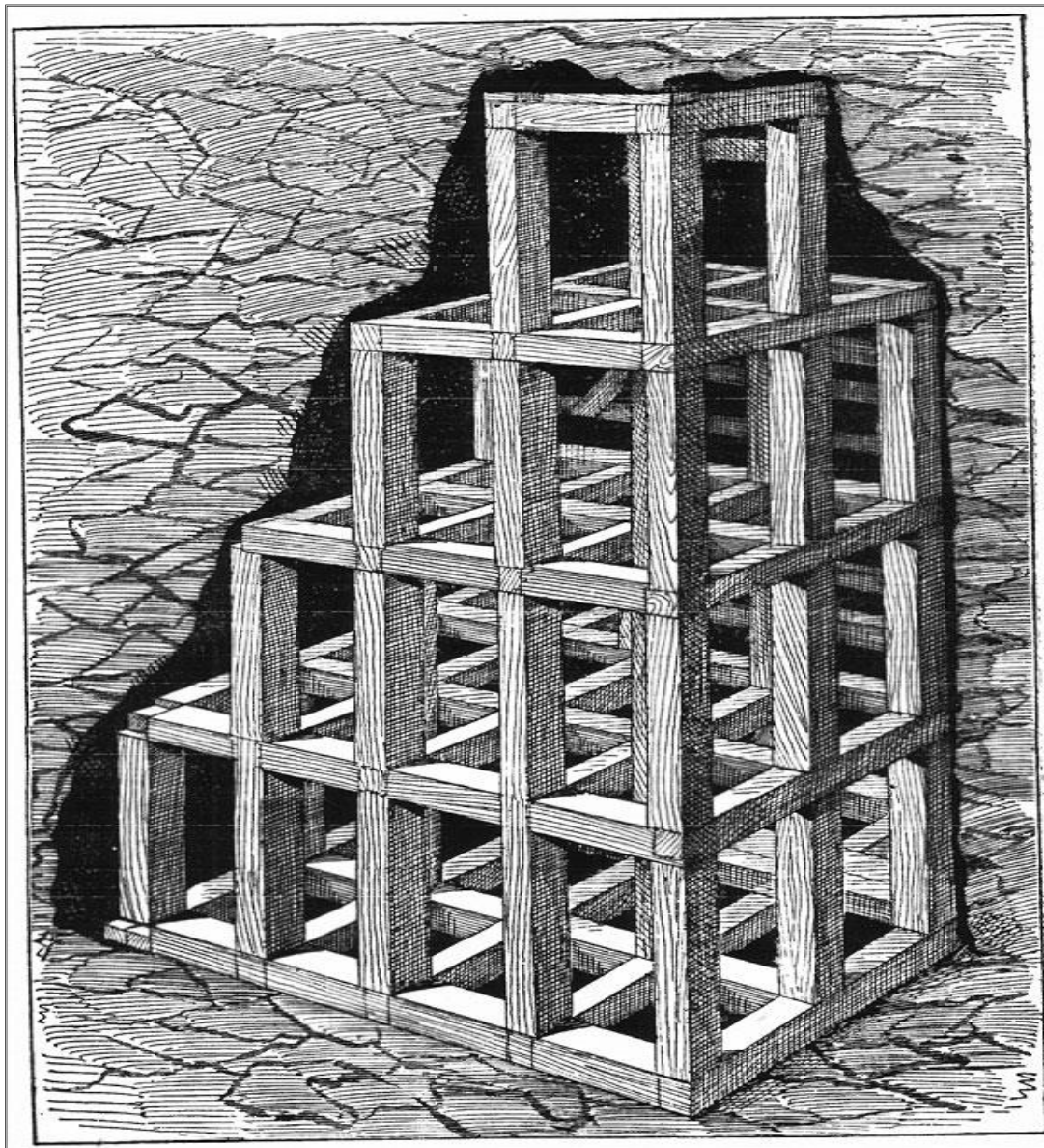
#### ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ Shrinkage Method

- Αδυναμία εκλεκτικής εκμετάλλευσης ή διαχωρισμού των στείρων που παρεμβάλλονται

- Ακαμψία που δεν επιτρέπει την αντιμετώπιση των ανωμαλιών του κοιτάσματος ή την εκμετάλλευση παραφυάδων
- Δύσκολη προσπέλαση του προσωπικού και των υλικών στο χώρο του μετώπου
- Κίνδυνοι πρόσμιξης στείρων ή απώλειας μεταλλεύματος, ακινητοποίηση του μεγαλύτερου μέρους του μεταλλεύματος που εξορύσσεται

#### **4.2.3 Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΞΥΛΙΝΑ ΠΡΙΣΜΑΤΙΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ (Square-set timbering)**

Στη μέθοδο αυτή το μέταλλευμα εξορύσσεται σε σειρές μικρών τετράγωνων πρισμάτων (1,5×1,5×2,5 m). Μόλις ολοκληρωθεί η αποκόμιση, ο κενός χώρος υποστηρίζεται με την τοποθέτηση συμπλέγματος από ισάριθμα ξύλινα πρισματικά πλαίσια, που γεμίζονται από λιθογόμωση. Εφαρμόζεται σε μέταλλευμα μικρής αντοχής (σαθρό) που απαιτεί μικρά ανοίγματα και άμεση υποστήριξη. Επίσης σε πλούσιο μέταλλευμα για την αντιστάθμιση του υψηλού κόστους της μεθόδου και η εξόρυξη γίνεται σε οριζόντιες πλάκες πάχους 1,5 m από κάτω προς τα πάνω και στη συνέχεια γίνεται η τοποθέτηση των πλαισίων.



Εικόνα 4.8: Τετράγωνο ξύλο που χρησιμοποιείται στα ορυχεία Comstock, απεικόνιση 1877.

#### ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ Square-set timbering

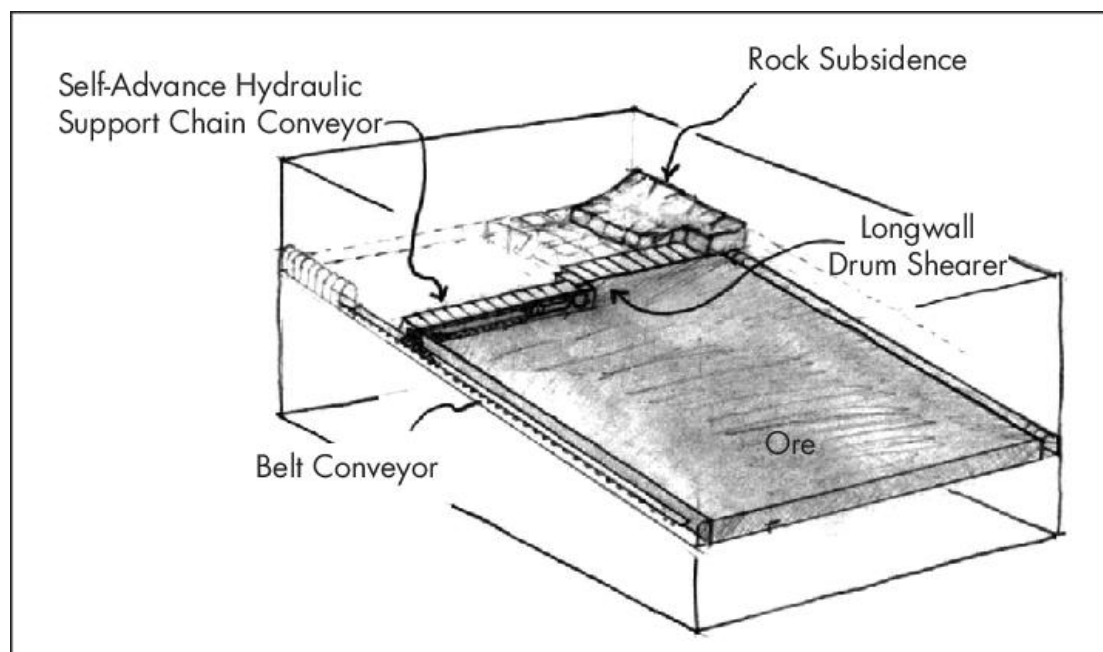
- Μεγάλη Ευελιξία / Ελαστικότητα
- Δυνατότητα Εκλεκτικής Απόληψης
- Μεγάλη Απόληψη
- Απόλυτη Ασφάλεια
- Επίτευξη Καλού Αερισμού
- Αποφυγή Επιφανειακής Καθίζησης

## ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ Square-set timbering

- Μεγάλο Κόστος Μεθόδου
- Απαίτηση για Ειδικευμένο Προσωπικό
- Υψηλές Απαιτήσεις σε Ξυλεία
- Χρονοβόρα Μέθοδος
- Κίνδυνος Πυρκαγιάς

### 4.2.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΜΗΚΟΥΣ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΟΥ ΜΕΤΩΠΟΥ (Longwall Method)

Η εξόρυξη γίνεται σε λωρίδες παράλληλες προς την επιφάνεια προσβολής του μετώπου, που διατηρείται πάντοτε κατακόρυφα. Η εκσκαφή και φόρτωση εκτελείται συγχρόνως. Επακόλουθο της εξόρυξης κάθε λωρίδας, είναι η αντίστοιχη διεύρυνση του ελεύθερου χώρου του μετώπου, που έχει ως αποτέλεσμα τη λήψη των μέτρων υποστήριξης, την μετακίνηση των μέσων αποκόμισης και τέλος την αντικατάσταση με κατάλληλη επέμβαση στην αρχική τιμή των διαστάσεων που διευρύνθηκαν στο χώρο αυτό.



Εικόνα 4.9: Μέθοδος Longwall.

## ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ Longwall Method

- Περιορισμένη προπαρασκευή
- Μεγάλη παραγωγικότητα και συνεχής παραγωγή
- Ευκολότερη επίβλεψη
- Ευκολία αερισμού
- Μείωση καθιζήσεων λόγω της λιθογόμωσης

## ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ Longwall Method

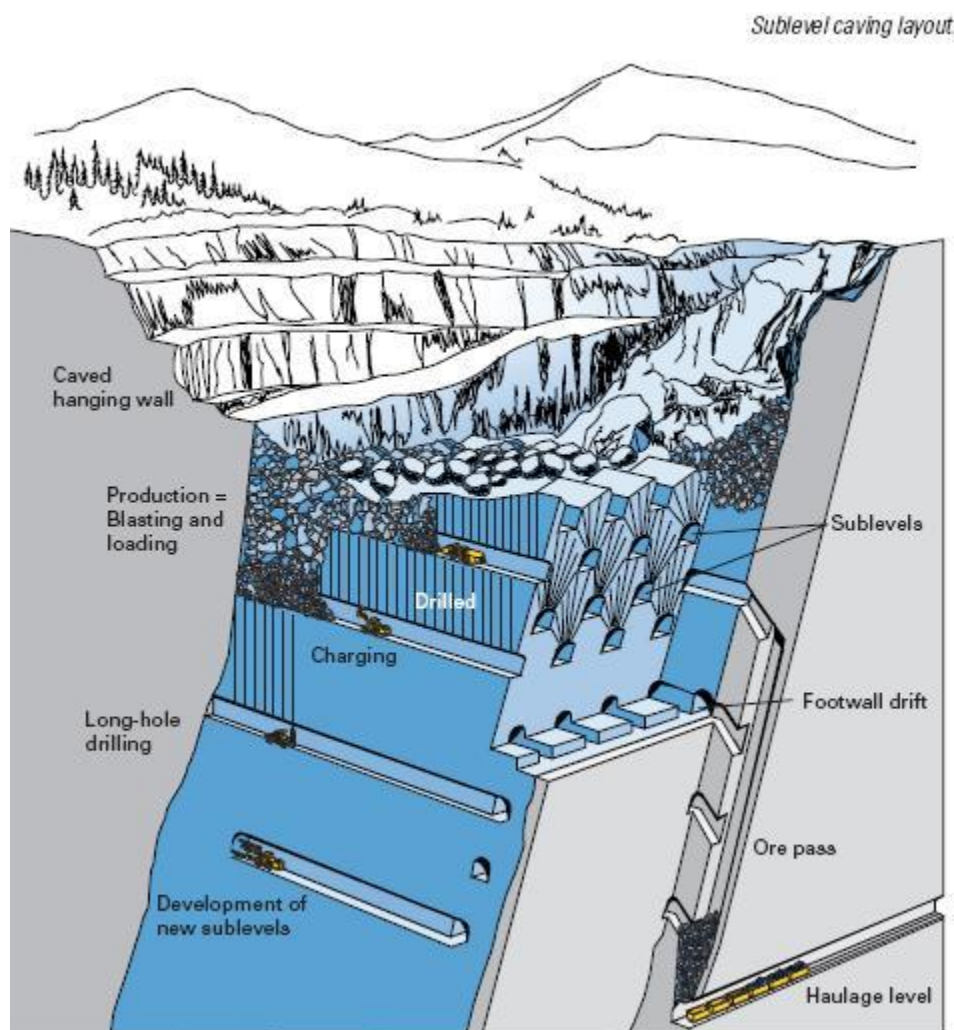
- Μεγάλες απώλειες παραγωγής λόγω καθυστερήσεων
- Σκόνη, Εκροή μεθανίου (Εκρηκτική κατάσταση)
- Απαιτείται καλή υποδομή στη μεταφορά των υλικών
- Αυξημένο κόστος λόγω του σταδίου της λιθογόμωσης

## 4.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΜΕ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ (CAVING STOPES)

Η κατακρήμνιση αφορά μερικές φορές μόνο την οροφή, ενώ το μετάλλευμα εξορύσσεται με εκρηκτική ύλη. Σε μερικές όμως περιπτώσεις, η κατακρήμνιση εφαρμόζεται, εν μέρει ή ολοκληρωτικά και στο ίδιο το μετάλλευμα, που με τον τρόπο αυτό, εξορύσσεται αυτόματα.

Η επιτυχία της μεθόδου εξόρυξης με κατακρημνιζόμενα μέτωπα, οφείλεται στην κατάλληλη εκμετάλλευση του γεγονότος ότι, όταν αδειάσει ένας κενός υπόγειος χώρος διασπάται και η συνέχεια της υποστήριξής του κατακρημνίζεται. Με αυτές τις μεθόδους, η εργασία εκτελείται σύμφωνα προς την κατεύθυνση της ενέργειας των φυσικών νόμων, από όπου παρέχεται η δυνατότητα πραγματοποίησης χαμηλών παραγωγικών τιμών, που επιτρέπει την αξιοποίηση πτωχών κοιτασμάτων. Μαζί με την κατακρήμνιση του μεταλλεύματος, γίνεται και η κατακρήμνιση των πετρωμάτων της οροφής.

Μέθοδοι υπόγειας εκμετάλλευσης με κατακρήμιση: Είναι το κενό που δημιουργείται από την εξόρυξη, κατακρημνίζεται και γεμίζει από μόνο του.



Εικόνα 4.10: Sublevel caving

#### 4.3.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗΣ ΠΑΤΩΜΑΤΟΣ (Block Caving)

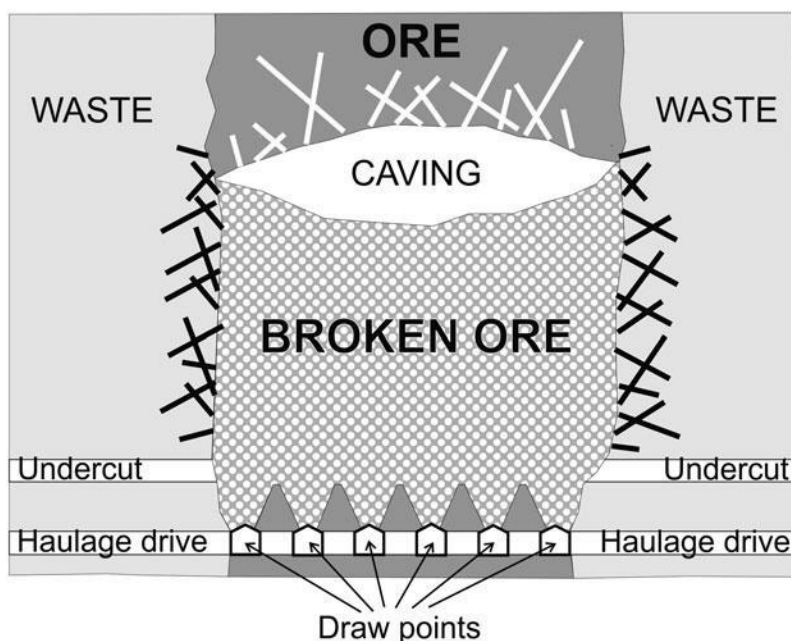
Η μέθοδος της εκμετάλλευσης με την κατακρήμιση πατώματος παρουσιάζεται σαν φυσική εξέλιξη της μεθόδου των διαδοχικών ορόφων. Στη συγκεκριμένη μέθοδο το ύψος του ορόφου αυξάνει υπέρμετρα, καλύπτοντας ολόκληρο το ύψος του πατώματος, που μπορεί να φθάνει 130 και πλέον μέτρα . Μεγάλα τμήματα του

κοιτάσματος υποσκάπτονται κοντά στη βάση (undercut). Η οροφή της εκσκαφής αφήνεται να κατακρημνισθεί, οπότε το κενό γεμίζει από εξορυγμένο μέταλλευμα.

Η block caving εφαρμόζεται σε μεγάλο πάχος κοιτάσματος που να δικαιολογεί τις δαπάνες προπαρασκευής. Θεωρείται ως μία πολύ οικονομική μέθοδος εξόρυξης υπόγειας εκμετάλλευσης με χαμηλό κόστος παραγωγής. Εφαρμόζεται σε μεγάλα οριζόντια κοιτάσματα ώστε να μην περιορίζεται η κατακρήμνιση και να μην υπάρχει μεγάλη αραίωση /πρόσμιξη του μεταλλεύματος.

Η επιτυχία της μεθόδου εξαρτάται από την διαδικασία θρυμματισμού του πετρώματος. Συγκεκριμένα την κατάλληλη συμπεριφορά του υπερκείμενου πετρώματος που πρέπει να κατακρημνίζεται εύκολα, δίνοντας μεγάλα τεμάχια, τα οποία, καθώς ακολουθούν την κάθοδο του μεταλλεύματος, να το συμπιέζουν και να προκαλούν τον κατακερματισμό του.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται μόνο για ορισμένους τύπους κοιτασμάτων, πορφυρίτη από χαλκό, διαμάντια και ορισμένων μεγάλων κοιτασμάτων σιδηρομεταλλεύματος.



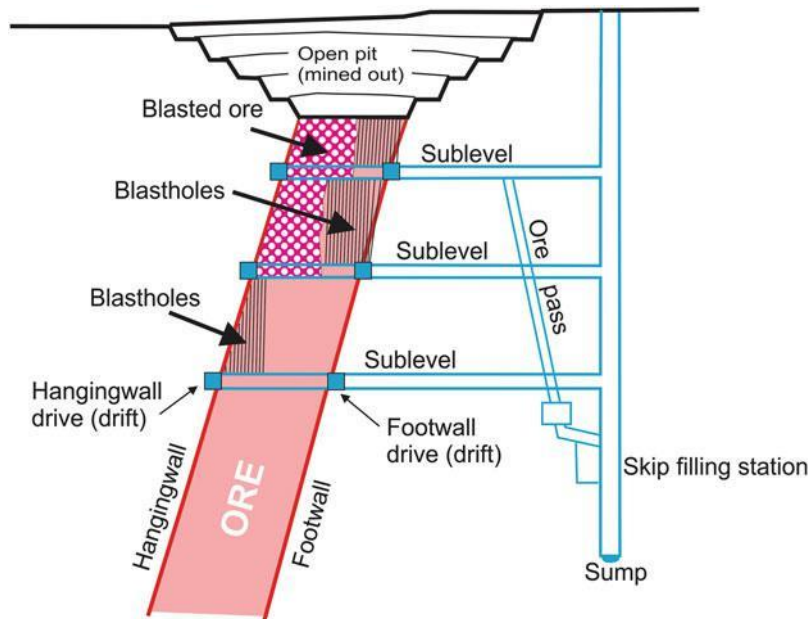
Εικόνα 4.11: Block caving

#### 4.3.2 ΜΕΘΟΔΟ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗΣ ΔΙΑΔΟΧΙΚΩΝ ΟΡΟΦΩΝ (Sublevel caving)

Η μέθοδος sublevel caving εφαρμόζεται σε μεγάλου πάχους κοιτάσματα με όχι πλούσιο μετάλλευμα, αλλά με ανθεκτικότητα για να μπορεί να κατακρημνίζεται εύκολα η οροφή. Η εξόρυξη πραγματοποιείται μέσα σε διαδοχικούς ορόφους, με το κατώτερο τμήμα να αποσπάται με χρήση εκρηκτικών υλών, ενώ το ανώτερο κατακρημνίζεται. Αυτή η κατακρήμνιση ακολουθείται παράλληλα από την κατακρήμνιση των υπερκείμενων του ορόφου άγονων, με τα οποία τελικώς πληρούνται τα κενά που δημιουργούνται. Στην μέθοδο αυτή το κοιτάσμα χωρίζεται σε ορόφους (sub-levels). Η εξόρυξη του κοιτάσματος γίνεται από πάνω προς τα κάτω για να κατακρημνίζεται η οροφή και αν χρειαστεί να προκαλείται η κατακρήμνιση. Η διάνοιξη στοών γίνεται μέχρι τα όρια του κοιτάσματος και οπισθοχώρηση κατακρημνίζοντας το μετάλλευμα. Το ύψος ορόφων είναι σε συνάρτηση των διατηρημάτων. Για να εφαρμοσθεί αυτή η μέθοδος πρέπει να πληροί τις απαραίτητες προϋποθέσεις:

- Το μετάλλευμα να είναι μέτριας σκληρότητας για να κατακρημνίζεται εύκολα.
- Η ποιότητα μεταλλεύματος που δεν απαιτεί εκλεκτική εκμετάλλευση γιατί η διαλογή του είναι δύσκολη.
- Όσο το δυνατό ομαλές παρυφές και καλός διαχωρισμός μεταξύ τους και του μεταλλεύματος.
- Μεγάλη κλίση γιατί αν η κλίση είναι μικρή δημιουργούνται δυσχέρειες στην εκμετάλλευση του μεταλλεύματος πάνω στην στρώση του τμήματος, που προκαλούν σημαντικές απώλειες. Οι απώλειες αυτές γίνονται πιο σημαντικές όσο πιο μεγάλο είναι το ύψος του ορόφου.





Εικόνα 4.12: Sublevel caving

Επίσης πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στις απώλειες (μειωμένη απόληψη) που καθιστούν τη μέθοδο ακατάλληλη για πλούσια μεταλλεύματα και στις απώλειες του μεταλλεύματος που γίνονται πιο σημαντικές όσο πιο μεγάλο είναι το ύψος του ορόφου. Επίσης ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην πρόσμιξη στείρων διότι αν τα προϊόντα κατακρήμνισης είναι χονδρομερή, καθίσταται μικρότερος ο κίνδυνος πρόσμιξης άγονων και σε περίπτωση ανώμαλων παρυφών γίνονται αναπόφευκτες μεγάλες απώλειες και η σημαντική πρόσμιξη στείρων.

#### ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ Sublevel caving

- Καλή Παραγωγικότητα
- Χαμηλότερο κόστος
- Αερισμός καλός
- Λιγότερη προπαρασκευή

#### ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ Sublevel caving

- Καθίζηση Επιφάνειας
- Χαμηλή απόληψη

- Ασφάλεια
- Πρόσμιξη

#### **4.3.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΔΙΑΔΟΧΙΚΩΝ ΠΛΑΚΩΝ, ΠΟΥ ΕΞΟΡΥΣΣΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΛΩΡΙΔΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΙΟΥΣΑ ΦΟΡΑ (Top – Slicing Method)**

Η εξόρυξη γίνεται κατά λωρίδες μέσα σε οριζόντιες διαδοχικές πλάκες (2,5-3m), προς τις οποίες προεκτείνεται κατά φορά κατιούσα. Ο χώρος που αδειάζει, γεμίζει προοδευτικά με κατακρήμνιση της οροφής. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε κοιτάσματα μετρίου πάχους, που η κλίση είναι μεγάλη και η οροφή ασθενής. Επίσης τα μεγάλου πάχους οριζόντια κοιτάσματα με οροφή από ασθενή μέχρι αρκετά ανθεκτική και τα μεγάλου πάχους κατακόρυφα κοιτάσματα, ανεξάρτητα από την ποιότητα των παρυφών. Για να εφαρμοσθή σωστά η μέθοδος πρέπει η οροφή να κατακρημνίζεται εύκολα γιατί αν είναι συνεκτική και κατακρημνίζεται δύσκολα τότε οι χώροι παραμένουν κενοί, που καθιστούν αδύνατη τη προέκταση της εξόρυξης κάτω από αυτούς. Η κλίση μπορεί να είναι οποιαδήποτε, όπως και το πάχος. Πιο ευνοϊκές, περιπτώσεις είναι τα οριζόντια κοιτάσματα μεγάλου πάχους ή ισχυρά κεκλιμένα και οι παρυφές να είναι όσο το δυνατόν πιο ομαλές. Οι επίπεδες παρυφές αποτελούν την πιο πλεονεκτική μορφή, χωρίς όμως αυτό να είναι απαραίτητο. Ακόμα η μέτρια σκληρότητα μεταλλεύματος ή μεγάλη σκληρότητα δεν εμποδίζει την εφαρμογή της μεθόδου, αλλά επιδρά δυσμενώς στο κόστος εξόρυξης.

#### **ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ Top – Slicing Method**

- Ασφάλεια
- Υψηλή απόληψη
- Χαμηλή αραίωση
- Ικανοποιητικός ρυθμός παραγωγής
- Κατάλληλη για σαθρά πετρώματα

## ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ Top – Slicing Method

- Καθίζηση Επιφάνειας
- Δύσκολος Αερισμός
- Πολλά προπαρασκευαστικά έργα
- Μεγάλες ποσότητες ξυλείας
- Κίνδυνος πυρκαγιάς
- Κίνδυνος από κενά στην οροφή

### 4.3.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ΕΠΙΜΗΚΟΥΣ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΟΥ ΜΕΤΩΠΟΥ ΜΕ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ ΟΡΟΦΗΣ (Longwall with caving)

Η εξόρυξη γίνεται σε λωρίδες παράλληλες προς την επιφάνεια προσβολής του μετώπου, που διατηρείται πάντοτε κατακόρυφη. Εκσκαφή και φόρτωση εκτελείται συγχρόνως. Επακόλουθο της εξόρυξης κάθε λωρίδας, είναι η αντίστοιχη διεύρυνση του ελεύθερου χώρου του μετώπου, που έχει ως αποτέλεσμα τη λήψη των μέτρων υποστήριξης, την μετακίνηση των μέσων αποκόμισης και τέλος την αντικατάσταση με κατάλληλη επέμβαση στην αρχική τιμή των διαστάσεων που διευρύνθηκαν στο χώρο αυτό.

Ενώ η παλαιότερη μέθοδος υποστήριξης στηρίζονταν σε ένα σύστημα ρυθμιζόμενων υποστηλωμάτων και αρθρωτών δοκών. Στις σύγχρονες εκμεταλλεύσεις, η υποστήριξη γίνεται με μεταλλικές ασπίδες. Συνήθως το σύνολο των μεταλλικών ασπίδων καλείται προχωρούσα ή βηματίζουσα υδραυλική υποστήριξη και αποτελείται από δύο παράλληλα πλαίσια, τοποθετημένα επί της στρώσεως, που συνδέονται με υδραυλικό σύστημα βηματισμού.

### 4.4 ΚΕΝΑ ΜΕΤΩΠΙΑ (open stopes)

Ο σκοπός της μεθόδου open stopes είναι ότι ο χώρος που μένει κενός κατά την απόληψη του μεταλλεύματος, εγκαταλείπεται όπως είναι και διατηρείται από μόνος του ή με τη βοήθεια τεχνητής ή φυσικής υποστήριξης. Επίσης υπάρχει ένα φυσικό όριο στις επιτρεπόμενες διαστάσεις του κενού και χρειάζεται η υποστήριξη του.

#### 4.4.1 ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΜΕ ΚΑΤΑ ΜΕΤΩΠΙΟ ΠΡΟΣΒΟΛΗ (Breast stope)

Η εκμετάλλευση της μεθόδου breast stope του κοιτάσματος που εφαρμόζεται αφήνει τοπικά, τμήματα μεταλλεύματος με τη μορφή μεμονωμένων στύλων, για την υποστήριξη της οροφής. Για να εφαρμοστεί αυτή η μέθοδος πρέπει να πλήρη κάποιες προϋποθέσεις όπως:

- Σκληρό μέταλλευμα, με παρυφές από ανθεκτικά πετρώματα σε μικρό σχετικά βάθος.
- Ομαλό γεωμετρικό σχήμα και ιδίως κανονική, κατά το δυνατό, δάπεδο.
- Πάχος κοιτάσματος που δεν υπερβαίνει τα 3m. Κλίση από  $0^{\circ}$  μέχρι  $40^{\circ}$ , το μέγιστο.
- Μέταλλευμα μικρής αξίας, έτσι ώστε να γίνεται παραδεκτή η σημαντική απώλεια που προκύπτει από την εγκατάλειψη στύλων.
- Απόληψη πάνω από 75-80%
- Μπορεί να γίνει κατασκευή τεχνητών δομών στύλων
- Χρειάζεται να δίνεται προσοχή στο θέμα του αερισμού

##### ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ breast stope

- Καλή απόδοση
- Δυνατότητα εκλεκτικής εξόρυξης και διαλογής
- Μικρή τεχνητή υποστήριξη
- Δεν χρειάζεται προπαρασκευή
- Ευχέρεια εναπόθεσης παραγόμενων στείρων
- Χαμηλό κόστος

##### ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ breast stope

- Απώλειες μεταλλεύματος
- Χαμηλό επίπεδο ασφάλειας εργαζομένων

#### 4.4.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΘΑΛΑΜΩΝ ΚΑΙ ΣΤΥΛΩΝ (Room-and-Pillar)

Η μέθοδος θαλάμων και στύλων χρησιμοποιείται για εξομάλυνση των επίπεδων κοιτασμάτων χρησιμοποιώντας τις επίπεδες στοές. Αποτελεί την οικονομικά

εφικτότερη μέθοδο εκμετάλλευσης οριζοντίων κοιτασμάτων περιορισμένου πάχους. Οι προϋπόθεσης για να εφαρμοσθή η μέθοδος αυτή είναι ίδιες με την μέθοδο Breast stope.

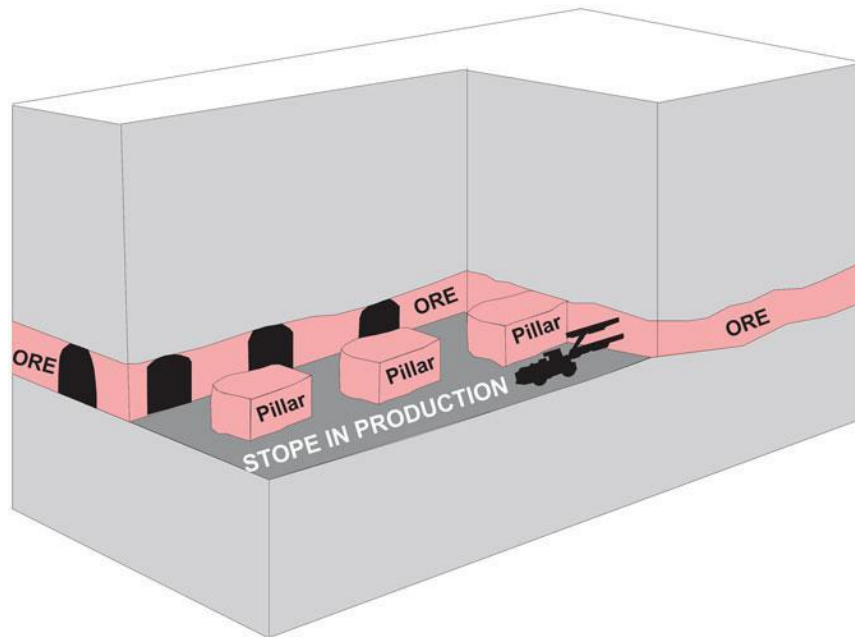
- Σκληρό μετάλλευμα, με παρυφές από ανθεκτικά πετρώματα σε μικρό σχετικά βάθος.
- Ομαλό γεωμετρικό σχήμα και ιδίως κανονική, κατά το δυνατό, δάπεδο.
- Πάχος κοιτάσματος που δεν υπερβαίνει τα 3m. Κλίση από  $0^{\circ}$  μέχρι  $40^{\circ}$ , το μέγιστο.
- Μετάλλευμα μικρής αξίας, έτσι ώστε να γίνεται παραδεκτή η σημαντική απώλεια που προκύπτει από την εγκατάλειψη στύλων.

#### ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ Room-and-Pillar

- Υψηλή απόδοση με την υψηλή μηχανοποίηση
- Δυνατότητα εκλεκτικής εξόρυξης και διαλογής
- Μικρή τεχνητή υποστήριξη
- Δεν χρειάζεται προπαρασκευή
- Ευχέρεια εναπόθεσης παραγόμενων στείρων
- Χαμηλό κόστος

#### ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ Room-and-Pillar

- Απώλειες μεταλλεύματος (10-50%)
- Χαμηλό επίπεδο ασφάλειας εργαζομένων



Εικόνα 4.13: Room-and-pillar methods

#### 4.4.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΑΔΟΧΙΚΩΝ ΟΡΟΦΩΝ ΜΕ ΚΕΝΑ ΜΕΤΩΠΙΑ (Sublevel stoping ή Sublevel open stoping)

Η εξόρυξη λαμβάνει χώρο μέσα σε σειρά διαδοχικών ορόφων με το μέταλλευμα να καταπίπτει μέσα στον κενό χώρο. Από εκεί αποκομίζεται με βαρύτητα προς την υποκείμενη στοά βάσεως του πατώματος. Η εκμετάλλευση γίνεται με ανεστραμμένη βαθμίδα οπισθοχωρώντας και για να εφαρμοσθή η μέθοδος αυτή πρέπει να πλήρη κάποιες προϋποθέσεις:

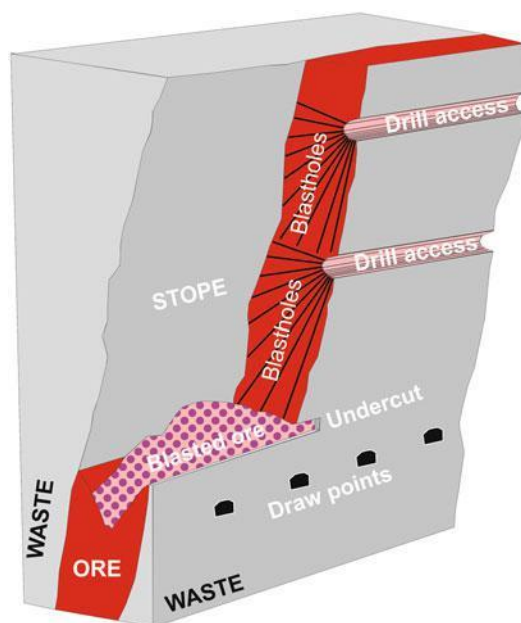
- Μέταλλευμα με μέτρια ή μεγάλη ανθεκτικότητα.
- Περιβάλλοντα πετρώματα επαρκώς σκληρά και ανθεκτικά για αντιμετώπιση κατακρημνίσεως (όσο πιο μικρή είναι η κλίση, τόσο πιο ανθεκτικά πρέπει να είναι τα πετρώματα).
- Κλίση κυρίως μεγάλης κλίσης (>50-60 °) ώστε η αποκόμιση να επιτυγχάνεται με τη βαρύτητα.
- Παρυφές ομαλής και σταθερής κατά το δυνατό κλίσης. Παραφυάδες μεταλλεύματος ή σοβαρές διακυμάνσεις της κλίσης μπορεί να δημιουργήσουν απώλειες ή προσμίξεις.
- Πάχος κοιτάσματος (2-20m)

## ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ Sublevel stoping ή Sublevel open stoping

- Μεγάλη απόδοση (110 tn/βάρδια & εργ.)
- Χαμηλό κόστος
- Ευκολία αερισμού
- Ικανοποιητική ασφάλεια
- Ικανοποιητική πρόσμιξη (15-20%)
- Ανεξάρτητες δραστηριότητες (drilling-blasting)
- Υψηλή απόληψη (~90%)

## ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ Sublevel stoping ή Sublevel open stoping

- Αδυναμία εκτέλεσης διαλογής ή εκλεκτικής εκμετάλλευσης
- Απαίτηση για πολλά έργα ανάπτυξης
- Ανάγκη για δημιουργία Grizzly (σχάρα)

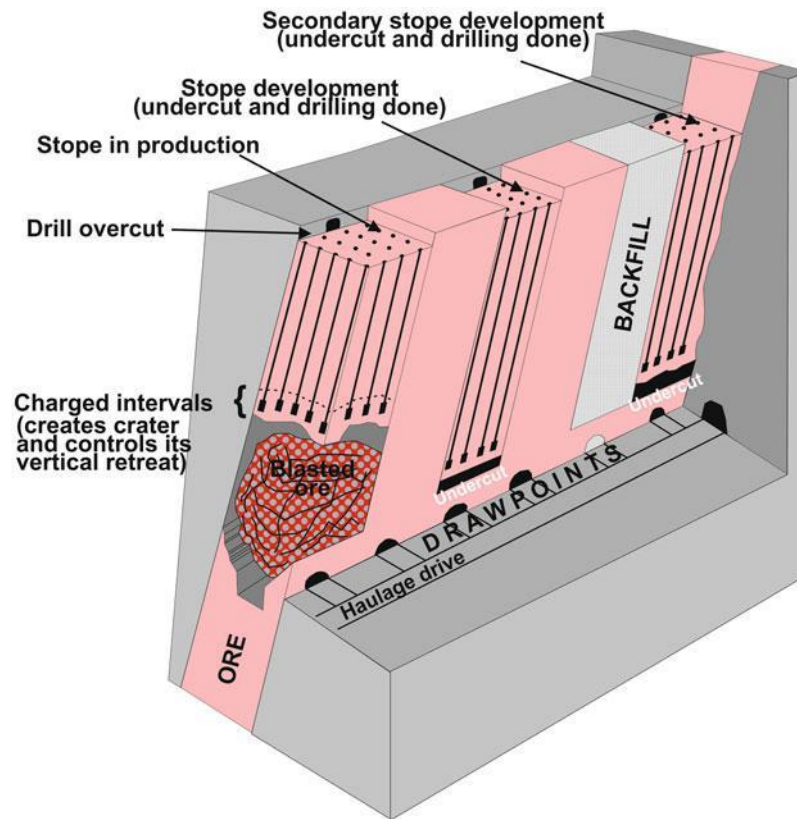


Εικόνα 4.14: Sublevel open stoping

### 4.4.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΧΩΡΟΥΝΤΟΣ ΜΕΤΩΠΟΥ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΚΡΑΤΗΡΑ (Vertical Crater Retreat – VCR)

Η μέθοδος υποχωρούντος μετώπου κατακόρυφου κρατήρα(VCR) χρησιμοποιείται σε κοιτάσματα που έχουν μεγάλη κλίση και σε περιβάλλοντα πετρώματα επαρκώς σκληρά και ανθεκτικά. Για να εφαρμοστή πρέπει το μέταλλευμα να είναι σχετικά μεγάλο σε πάχος. Ουσιαστικά πρόκειται για νέα τεχνική ανατίναξης και όχι νέα

τεχνική εκμετάλλευσης . Επίσης αυτή η μέθοδος μπορεί να συνδυαστεί και με λιθογόμωση.



Εικόνα 4.15: *Vertical* crater retreat mining

#### 4.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

Η επιλογή υπόγειας μεθόδου καθορίζεται από διάφορους παράγοντες για να γίνει η σωστή επιλογή θα ληφθούν υπόψη οι παρακάτω παράμετροι.

##### ΣΤΑΔΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ

1. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά κοιτάσματος:
  - 1.1 Διαστάσεις, οριζόντια εξάπλωση και πάχος κοιτάσματος
  - 1.2 Κλίση του κοιτάσματος
  - 1.3 Βάθος από επιφάνεια
2. Μηχανικά χαρακτηριστικά του μεταλλεύματος και των περιβαλλόντων πετρωμάτων
3. Τασικό πεδίο



4. Τεκτονική, υδρογεωλογία και υδρολογία της περιοχής
5. Περιεκτικότητα, συνέχεια, ομοιομορφία – κατανομή, μεταλλοφορίας
6. Μορφολογία περιοχής
7. Απαιτούμενος ρυθμός παραγωγής
8. Άλλοι παράγοντες:
  - 8.1 Εξωτερικό οικονομικό περιβάλλον
  - 8.2. Επιφανειακές χρήσεις γης
  - 8.3 Περιβαλλοντικοί περιορισμοί, κ.ά.

### **Διαδοχικών Υποορόφων με Κατοκρήμνιση Οροφής (Sublevel Caving)**

#### ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Υψηλός βαθμός μηχανοποίησης
- Καλή εκλεκτικότητα
- Υψηλή παραγωγικότητα

#### ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Υψηλή αρχική επένδυση
- Υψηλή αραίωση (παραοριζόντια κοιτάσματα)

### **Κατακρήμνισης Πατώματος (Block Caving)**

#### ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Οικονομικά αποδεκτή
- Υψηλή παραγωγικότητα
- Έλεγχος ποιότητας

#### ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Μεγάλα έργα ανάπτυξης
- Υψηλό κόστος κεφαλαίου
- Καθίζηση εδάφους

### **Θαλάμων και Στύλων (Room and Pillar)**

#### ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Υψηλός βαθμός μηχανοποίησης
- Ευέλικτη και ασφαλής
- Καλός έλεγχος εδάφους

#### ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Υψηλό κόστος κεφαλαίου
- Στύλοι από μέταλλευμα

#### **Υποχωρούντος Μετώπου Κατακόρυφου Κρατήρα (Vertical Crater Retreat)**

#### ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Εύκολη μηχανοποίηση
- Υψηλή παραγωγικότητα
- Μεγάλα μηχανήματα

#### ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Υψηλό κόστος κεφαλαίου
- Δύσκολος έλεγχος εδάφους
- Μέτρα υποστήριξης

#### **Συμπτυσσομένου Μετώπου (Shrinkage Stopping)**

#### ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Εξόρυξη μικρών ανοιγμάτων
- Χαμηλό κόστος ανάπτυξης
- Εύκολη διάτρηση

#### ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Χρήση εξορυγμένου μεταλλεύματος για υποστήριξη
- Δύσκολος έλεγχος πετρώματος
- Χαμηλή παραγωγικότητα

#### Κοπής και Λιθογόμωσης (Cut and Fill)

#### ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Ελάχιστη μετακίνηση εδάφους
- Έλεγχος αραίωσης
- Ανταγωνιστική στις μη γομούμενες μεθόδους

#### ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Απαίτηση σε εργατικό δυναμικό
- Δυσκολίες αερισμού
- Υψηλό κόστος εκμετάλλευσης
- Υλικά γόμωσης

#### Ξύλινων Πλαισίων (Timbered Stoping)

#### ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Εξαιρετος έλεγχος πετρώματος
- Μεγιστοποίηση εξορυσσόμενου μεταλλεύματος
- Εφαρμόσιμη σε προβληματικά κοιτάσματα

#### ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Υψηλό κόστος
- Απαίτηση εξειδίκευσης
- Ακατάλληλη σε μεγάλα βάθη
- Χαμηλή παραγωγικότητα
- Απαίτηση σε ξυλεία

### 4.6 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΑ ΑΠΟ ΤΟ ΠΟΙΑ ΜΕΘΟΔΟ ΕΧΕΙ ΕΠΙΛΕΧΘΕΙ

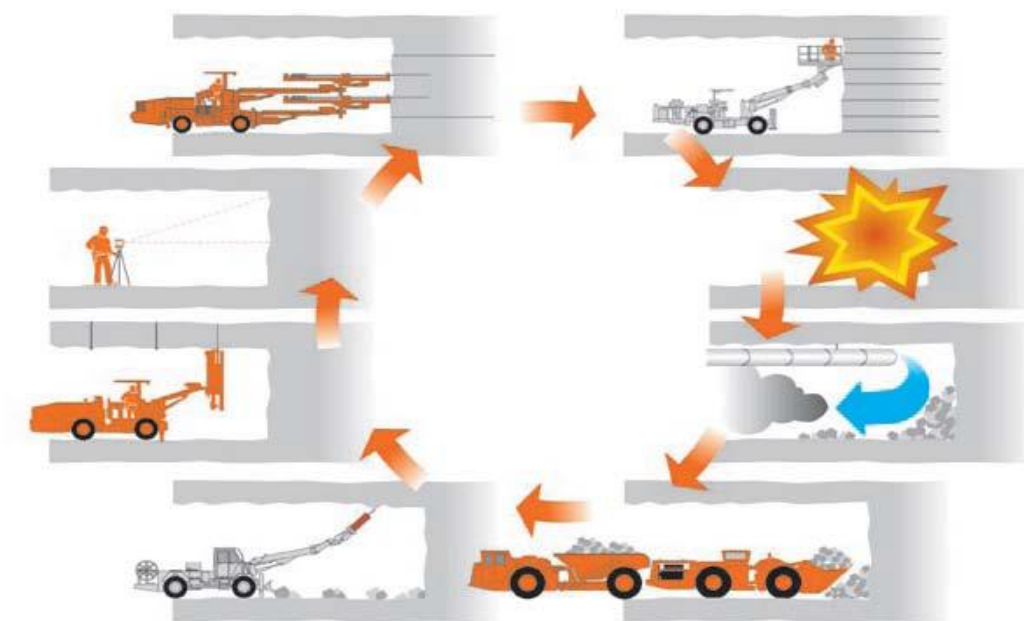
Οι υπόγειες μέθοδοι εκμετάλλευσης ουσιαστικά επιτυγχάνουν την πρόσβαση στο χώρο ανάπτυξης του κοιτάσματος μέσω έργων προσπελάσεως (στοές, φρέατα, κεκλιμένα και ελικοειδή κεκλιμένα) και την προσβολή και απόσπαση του μεταλλεύματος χωρίς να απαιτείται η μαζική μετακίνηση των υπερκείμενων στείρων πετρωμάτων. Σημαντικό ρόλο έχει η επιλογή μεθόδου εκμετάλλευσης που θα επιλέξουμε διότι αυτό το καθορίζει το κοίτασμα. Η εκμετάλλευση ενός κοιτάσματος πραγματοποιείται σε τρεις βασικές φάσεις:

**Προσπέλαση:** Είναι το πρώτο στάδιο, κατά το οποίο διανοίγονται οδοί πρόσβασης στην περιοχή ανάπτυξης του κοιτάσματος.

**Περιχάραξη:** Αφορά στα προπαρασκευαστικά έργα εντοπισμού/επιβεβαίωσης των ορίων του κοιτάσματος καθώς και στην ανάπτυξη των υποστηρικτικών έργων (στοές, κεκλιμένα, κ.λπ.) που θα χρησιμοποιηθούν για την απόσπαση του κοιτάσματος από το μητρικό πέτρωμα. Μπορεί να γίνεται εντός και εκτός του χώρου ανάπτυξης του κοιτάσματος.

**Εξόφληση:** Αποτελεί την τρίτη και πλέον αποδοτική φάση, κατά την οποία γίνεται η εκμετάλλευση της μάζας του κοιτάσματος, σύμφωνα με τις προδιαγραφές και παραδοχές της εκάστοτε ακολουθούμενης μεθόδου.

Οι εργασίες εκμετάλλευσης (σε οποιαδήποτε φάση και αν ανήκει αυτή) γίνονται ως επί το πλείστον με τη χρήση εκρηκτικών υλών με τη μέθοδο διάτρησης – ανατίναξης (drill-and-blast). Ουσιαστικά, εισάγονται εκρηκτικές ύλες εντός της μάζας του πετρώματος, η ανατίναξη των οποίων θραύει το πέτρωμα. Πρόκειται για ένα κύκλο παραγωγής, ο οποίος επαναλαμβάνεται συνεχώς μέχρι το πέρας του έργου. Τα βασικά στάδια του κύκλου εργασιών με τη μέθοδο διάτρησης ανατίναξης είναι τα ακόλουθα



Εικόνα 4.16: Κύκλος εργασιών για την εξόρυξη.

**Διάτρηση:** Η όρυξη διατρημάτων (οπών) με τη βοήθεια ενός διατρητικού φορείου υπογείων από το μέτωπο εκσκαφής εντός της μάζας του πετρώματος ώστε να τοποθετηθούν εκρηκτικά.

**Γόμωση:** Η διαδικασία τοποθέτησης εκρηκτικών υλών στα διατρήματα.

**Πυροδότηση:** Η ανατίναξη των εκρηκτικών υλών ώστε να επιτευχθεί η διάρρηξη της συνοχής του πετρώματος.

**Αερισμός:** Η απαγωγή των αερίων της ανατίναξης και του αεροφερόμενου κονιορτού (σκόνης) και η βελτίωση της ποιότητας αέρα στην περιοχή του μετώπου εκσκαφής.

**Αποκομιδή (μεταφορά):** Η διαδικασία απομάκρυνσης των προϊόντων της ανατίναξης (θραυσμένου υλικού) από την περιοχή του μετώπου προς την επιφάνεια.

**Ξεσκάρωμα:** Η διαδικασία εκούσιας και ελεγχόμενης απόσπασης επισφαλών και ασταθών τμημάτων/όγκων της οροφής ώστε να αποφευχθεί η μη ελεγχόμενη) πτώση τους στο μέλλον.

**Υποστήριξη:** Η διαδικασία κατά την οποία εφαρμόζονται τεχνητά μέτρα ενίσχυσης της αντοχής του πετρώματος και κυρίως της οροφής. Γίνεται κυρίως είτε με την κοκλίωση της οροφής (εισαγωγή μεταλλικών ράβδων εντός διατρημάτων) είτε με την εφαρμογή ξύλινων ή μεταλλικών πλαισίων που υποστηρίζουν την διατομή του υπογείου έργου.

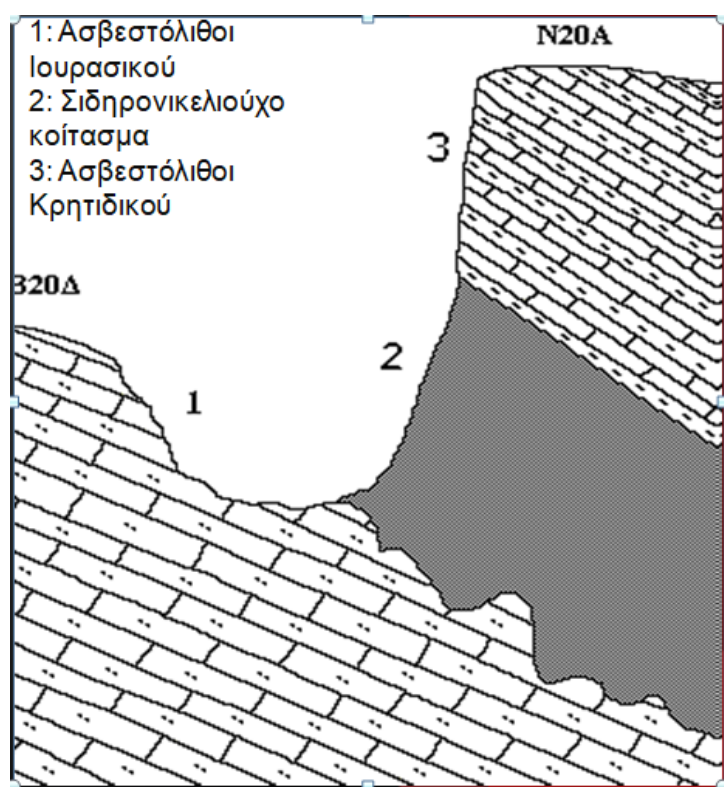
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 – ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ ΝΙΚΕΛΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

### 5.1 ΥΠΟΓΕΙΑ ΕΚΜΕΤΑΛΕΥΣΗ ΛΑΡΚΟ ΜΕΤΑΛΛΕΙΑ ΑΓ.ΙΩΑΝΝΗ

Η Ελλάδα αποτελεί τη μοναδική παραγωγό χώρα Νικελίου στην ΕΕ. Η εταιρεία ΛΑΡΚΟ ιδρύθηκε 1963 διαθέτει μεταλλεία στην περιοχή Εύβοιας, Καστορίας, Σέρβια Κοζάνης, Νέο Κόκκινο Βοιωτίας καθώς έχει και ένα εργοστάσιο στη Λάρυμνα Φθιώτιδος. Στο Νέο Κόκκινο Βοιωτίας ή αλλιώς μεταλλεία του Αγ.Γιάννη βρίσκεται και μια υπόγεια εκμετάλλευση νικελίου(Ni).

Το κοίτασμα του Αγ. Ιωάννη είναι ένα τυπικό αλλόχθονο λατεριτικό σιδηρονικελιούχο κοίτασμα (μεταξύ του καρστικού δαπέδου των ασβεστολίθων του Άνω Ιουρασικού και της οροφής των Κρητιδικών ασβεστολίθων).

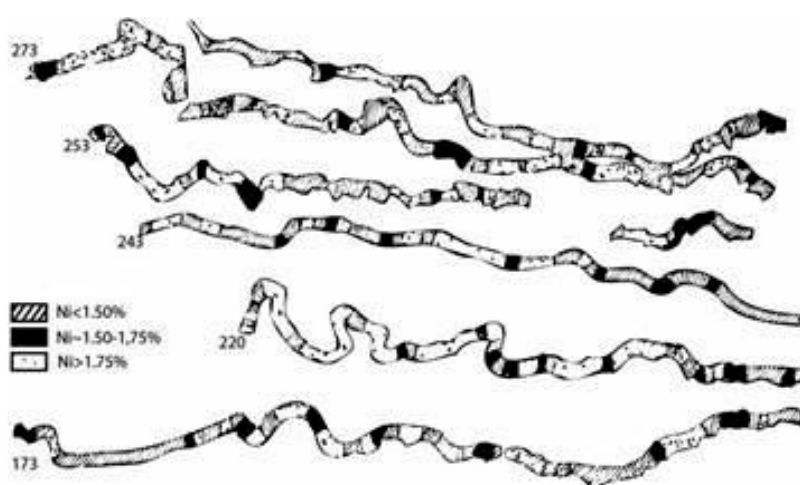
Υπάρχουν πολλά ρήγματα, επωθήσεων και επιπεύσεων. Η περιεκτικότητα σε Νικέλιο(Ni) κυμαίνεται από 0,6 έως 3,0%, με το πιο πλούσιο τμήμα του κοιτάσματος να βρίσκεται στον χαμηλότερο ορίζοντά του.



Εικόνα 5.1: Απλοποιημένη γεωλογική τομή κοιτάσματος Αγ. Ιωάννη.

Χαρακτηριστικά κοιτάσματος:

- Μήκος 4 km ακολουθώντας ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση, έχοντας μια κλίση προς το Ν που κυμαίνεται περί τις 40ο-45ο.
- Μεταβλητό πάχος που κυμαίνεται από 0–20m (μέση τιμή 9m) σαν αποτέλεσμα των ανωμαλιών του καρστικού δαπέδου.
- Στα χαμηλότερα 6 –8m του κοιτάσματος η περιεκτικότητα σε Νί κυμαίνεται περί το 1,1-1,4% και μπορεί να φτάσει τοπικά έως και το 3%.



Εικόνα 5.2: Περιεκτικότητες Νί (%) σε στοές του μεταλλείου.

Η υπόγεια εκμετάλλευση άρχισε στα μέσα του 1960 και ήταν η πρώτη εκμετάλλευση στη χώρα. Η προσπέλαση γίνεται μέσω βασικών στοών Σ113 (κύρια στοά), Σ113-ΓΕΜΕΕ, Σ323 και Σ393 και ενός φρέατος (φρέαρ Τριών Σοφιών) που χρησιμοποιείται κυρίως για αερισμό. Το μεγαλύτερο τμήμα του κοιτάσματος έχει εξοφληθεί και οι εργασίες εντοπίζονται στους κατώτερους ορίζοντες (κοντά στο όριο της ΣΥΟ).



Εικόνα 5.3: Μεταφορά μεταλλεύματος.

εκμετάλλευση γίνεται σήμερα με τη μέθοδο διαδοχικών ορόφων με κατακρήμνιση οροφής . Το ύψος μεταξύ δύο διαδοχικών υποορόφων κυμαίνεται μεταξύ 6 και 10 m. Οι στοές ακολουθούν την επαφή μεταξύ κοιτάσματος και ασβεστόλιθου δαπέδου από όπου και εκκινούν οι εγκάρσιες παραγωγικές στοές. Η παραγωγή της υπόγειας εκμετάλλευσης εκτιμάται σε 60.000 tpa@1,0-1,2 %Ni. Η εναλλακτική λύση αφορά την μέθοδο εναλλασσομένων κοπών και λιθογομώσεων η οποία έχει εγκαταλειφθεί γιατί παρουσιάζει σημαντικά λειτουργικά προβλήματα με συνέπεια υψηλό κόστος και αδυναμία εξασφάλισης της απαιτούμενης παραγωγής ακόμα και στις πιο ευνοϊκές γι' αυτήν περιοχές.

## 5.2 ΚΟΧΛΙΩΣΗ ΟΡΟΦΗΣ

Η Κοχλίωση της οροφής πραγματοποιείται με το υδραυλικό φορείο ηλώσεως τύπου PEC 22 του οίκου SECOMA (με κωδικό H02), το οποίο φέρει νητσελοκινητήρα ισχύος 82 HP. Η όρυξη των διατρημάτων γίνεται με την υδραυλική σφύρα HYDRASTAR 200 που διενεργεί περιστροφή, κρούση και προώθηση. Τα διατρητικά στελέχη είναι εξαγωνικής διατομής, μήκους 2,0 μ., με κοπτικό ακμής 30mm στο ένα άκρο και σχοινόμορφο σπείρωμα 1+1/4” στο άλλο, ενώ διαθέτουν και οπή εκτόξευσης νερού. Για την κοχλίωση χρησιμοποιούνται ράβδοι κατανεμημένης αγκύρωσης (ήλοι) από νευρώδη χάλυβα ABCS, διαμέτρου 18mm και μήκους 1,8 μ., με σπείρωμα M20 μήκους 150mm . Διαθέτουν άκρο προσαρμογής τετραγωνικής διατομής μήκους 25mm και ακμής 13,6mm. Πριν την κοχλίωση γίνεται



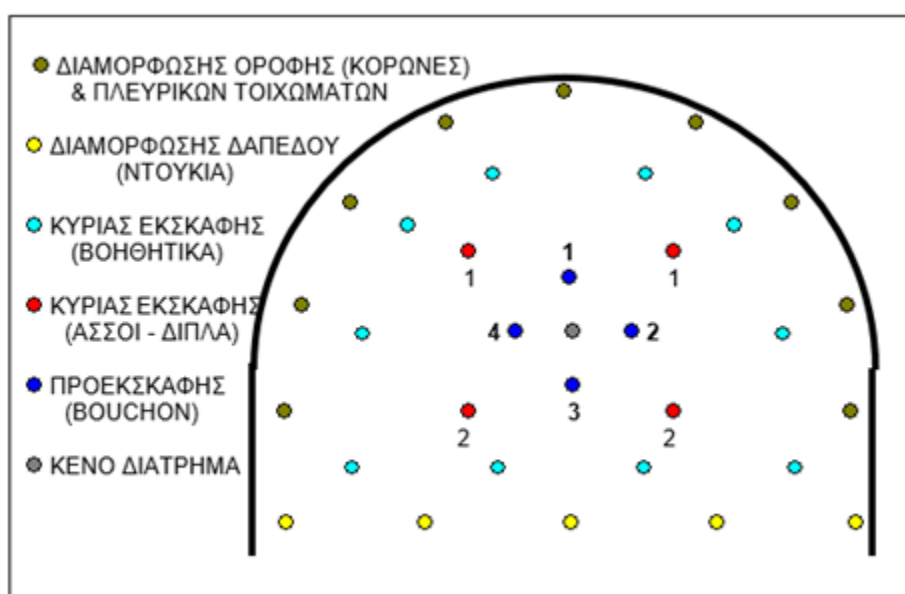
κατακρήμνιση του σαθρού πετρώματος (ξεσκάρωμα) έτσι ώστε η κοχλίωση να πραγματοποιηθεί σε όσο το δυνατόν πιο υγιές πέτρωμα. Οι ήλοι τοποθετούνται σε σειρές που απέχουν μεταξύ τους 1 μ. περίπου, με μέσο μήκος εισχώρησης τα 1,6 μ., ενώ και σε κάθε σειρά οι ήλοι απέχουν μεταξύ τους περίπου 1μ. Έτσι κάθε ήλος αναλαμβάνει να στηρίξει 1μ<sup>2</sup> οροφής. Βέβαια σε περιπτώσεις που το πέτρωμα είναι αρκετά σαθρό και κατακερματισμένο οι αποστάσεις μεταξύ των ήλων μειώνονται. Για την αγκύρωση των ήλων χρησιμοποιούνται ρητίνες κρέμας FASLOC, μήκους 330mm, που φέρονται σε πλαστικά φυσίγγια και ρητίνες UPAT μήκους 300mm, που φέρονται σε γυάλινα φυσίγγια, διαμέτρου 28mm και όγκου 180-190 cm<sup>3</sup>, έκαστη. Σε κάθε διάτρημα τοποθετείται από ένα φυσίγγιο της κάθε ρητίνης, ενώ στις περιπτώσεις κατά τις οποίες το πέτρωμα είναι σαθρό τοποθετείται και στουπί στο διάτρημα, για να γεμίσουν τα κενά και να μην διαρρεύσουν οι ρητίνες. Έτσι επιτυγχάνεται αγκύρωση του ήλου σε μήκος 55 cm περίπου. Στη συνέχεια εφαρμόζεται ροπή στρέψης 200-220 lb\*ft που ισοδυναμεί με προένταση 5 tn περίπου. Για την προστασία από πτώσεις μικρών όγκων πετρώματος από την οροφή τοποθετείται πλέγμα περιφραξής μεταξύ των σειρών των ήλων. Το πλέγμα αυτό έχει πλάτος 1,5 μ., είναι γαλβανιζέ σύρματος, με μέγεθος βρόγχου 50X50 mm και πάχος συρματιδίου 2,4 mm. Συγκρατείται από τους ήλους με την βοήθεια μεταλλικών πλακιδίων (διαστάσεων 140X140X6 mm, 70X70X5 mm και 100X50X4 mm έκαστο, με οπή Φ22 στο κέντρο) και περικοχλίων, τα οποία συσφίγγονται στο σπείρωμα των ήλων με αερόκλειδο τύπου W2225A της σειράς RPB 2000 του οίκου ATLAS COPCO.

### 5.3 ΠΡΟΧΩΡΗΣΗ ΣΤΟΑΣ

Κατά την φάση της προχώρησης ορύσσονται οι στοές, αψιδωτής διατομής, που θα χωρίσουν το μέταλλευμα σε ορόφους. Ακολουθούν την επαφή του μεταλλεύματος με τον ασβεστόλιθο του πατώματος (ιουρασικός ασβεστόλιθος), όπου το μέταλλευμα είναι πιο πλούσιο σε Νικέλιο. Την επαφή αυτή την συναντάμε στο αριστερό μας χέρι στις Νότιες στοές και στο δεξί μας στις Βόρειες. Το πάχος του πλουσίου μεταλλεύματος είναι περίπου **4m** και για αυτό το λόγο οι στοές έχουν διαστάσεις **3,5X4 m.** ή **4X4,5 m.** Η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών οροφών έχει οριστεί στα **10 m.** Η όρυξη των στοών γίνεται με το διατρητικό φορείο οριζόντιας διατρήσεως τύπου PEC 22 του οίκου SECOMA (με κωδικό Δ02), το οποίο φέρει ντηξελοκινητήρα ισχύος **82 HP** ή με το διατρητικό φορείο οριζόντιας διατρήσεως PROMEC TH 532D του οίκου ATLAS COPCO (με κωδικό Δ03), το οποίο φέρει

ντηζελοκινητήρα ισχύος **89 HP**. Η όρυξη των διατρημάτων στην περίπτωση του Δ02 γίνεται με την υδραυλική σφύρα HYDRASTAR 300, ενώ στην περίπτωση του Δ03 γίνεται με την υδραυλική σφύρα COP - 1032. Τα διατρητικά στελέχη του διατρητικού προχώρησης Δ02 είναι εξαγωνικής διατομής 1+1/4 “, μήκους **12 ft**, με σχοινόμορφο σπείρωμα 1+1/2” στο ένα άκρο και αρσενικό σχοινόμορφο σπείρωμα 1+1/4” στο άλλο. Αντίθετα τα διατρητικά στελέχη του διατρητικού προχώρησης Δ03 είναι κυκλικής διατομής 1+1/4 “, μήκους **10 ft**, με σχοινόμορφο σπείρωμα 1+1/4” εκατέρωθεν, ενώ και τα μεν και τα δε διαθέτουν οπή εκτόξευσης νερού. Το μέσο μήκος διάτρησης του διατρητικού Δ02 είναι **3,3 m**, ενώ του Δ03 **2,8 m**. Η όρυξη των διατρημάτων γίνεται με κοπτική κεφαλή καρβιδίων (τύπου button bits), με εσωτερικό σχοινόμορφο σπείρωμα 1+1/4”, διαμέτρου **45 mm**, τύπου heavyduty, που διαθέτει και οπή εκτόξευσης νερού στο κέντρο. Πριν ξεκινήσουμε την διάτρηση, ορύσσουμε τρία δοκιμαστικά διατρήματα σε επιλεγμένες θέσεις (το πρώτο στο κέντρο του “μετώπου” και τα άλλα δύο κοντά στην επαφή μεταλλεύματος – ιουρασικού ασβεστόλιθου), μήκους 2 διατρητικών στελεχών (**5,5 m** περίπου) και διαμέτρου **54 mm**. Αυτό γίνεται για να δούμε που συναντάμε την επαφή του μεταλλεύματος με τον ιουρασικό ασβεστόλιθο και πως αυτή εξελίσσεται, έτσι ώστε να καθορίσουμε πως θα ορυχτούν (οριζόντια κλίση) τα διατρήματα της προχώρησης. Έπειτα αφού καθοριστεί και η κάθετη κλίση των διατρημάτων (έτσι ώστε να διατηρηθεί η υψομετρική διαφορά των **10 m** με τις εκατέρωθεν στοές) γίνεται η όρυξη τους.

Τα διατρήματα ορύσσονται όπως φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα :



Ο αριθμός των διατρημάτων (κορώνες και βοηθητικά) ποικίλει από θέση σε θέση, ανάλογα με την συνεκτικότητα του πετρώματος. . Οπότε αν το πέτρωμα είναι υγιές και χωρίς ρωγματώσεις ορύσσονται περισσότερα διατρήματα. Αφού έχουν ορυχτεί τα διατρήματα γίνεται καθαρισμός τους από τυχόν πέτρες ή ποσότητα νερού που μπορεί να περιέχουν, με εισπίεση πεπιεσμένου αέρα και στη συνέχεια γομώνονται. Η γόμωση τους πραγματοποιείται με το γομωτικό μηχάνημα τύπου NITRO NOBEL MEC του οίκου ATLAS COPCO (με κωδικό M11), το οποίο φέρει νηξελοκινητήρα ισχύος **61 HP**. Ως κύρια εκρηκτική ύλη χρησιμοποιείται ANFO, καθώς και αμμωνίτης. Κατά μέσο όρο τοποθετούνται **3 kg** ANFO και ένα φυσίγγιο αμμωνίτη σε κάθε διάτρημα. Η έναυση γίνεται με ακαριαία εκρηκτική θρυαλλίδα και με ηλεκτρικά καψύλλια ελαττωμένης ευαισθησίας, με μέση αντίσταση γέφυρας **0,8 Ω**, με αντιστατικό κάλυκα από αλουμίνιο και με επικάλυψη από PVC. Σε κάθε διάτρημα τοποθετείται ένα φυσίγγιο αμμωνίτη (σε μερικά διατρήματα μπορεί να βάλουμε και δύο για να έχουμε μεγαλύτερη δόνηση), στο οποίο έχει ανοιχτεί μία μικρή οπή και εκεί μπαίνει το καψύλλιο μαζί με την εκρηκτική θρυαλλίδα (περίπου **1,5 m**). Το φυσίγγιο ωθείται στο τέρμα του διατρήματος που στη συνέχεια γομώνεται με ANFO. Για την γόμωση χρησιμοποιείται ένας ελαστικός αντιστατικός σωλήνας για πνευματική γόμωση ANFO, εσωτερικής διαμέτρου 3/4" του οίκου NITRO NOBEL. Τα καψύλλια κάθε διατρήματος διαφέρουν μεταξύ τους και τοποθετούνται έτσι ώστε να εναυθούν, από το κέντρο προς τα έξω (δηλ. αρχικά του "bouchon" και στη συνέχεια τα υπόλοιπα) σχηματίζοντας τέσσερις ομόκεντρους "κύκλους". Επίσης προσέχουμε να εναυθούν πρώτα τα επάνω και μετά τα κάτω καψύλλια του ίδιου "κύκλου". Για αυτό το λόγο στο "bouchon" τοποθετούνται καψύλλια με επιβράδυνση **0,02 sec** (M/S DELAY) και με μήκος αγωγού τα **4 m** (No 1-4), ενώ στα υπόλοιπα διατρήματα, καψύλλια με επιβράδυνση **0,5 sec** (H/S DELAY) και με μήκος αγωγού τα **15 m** (No 1-12). Τα καψύλλια (H/S DELAY) τοποθετούνται έτσι ώστε αυτά με την μικρότερη επιβράδυνση (δηλ. τα μικρότερα νούμερα) να τοποθετηθούν στους εσωτερικούς "κύκλους" και με την μεγαλύτερη στον εξωτερικό (No 8-12). Οπότε τα καψύλλια με No 1-2 τοποθετούνται στον εξωτερικό του "bouchon" κύκλο κ.ο.κ.

Τα καψύλλια συνδέονται σε σειρά και στη συνέχεια μέσω αγωγού (κωδωνόσυρμα) διαμέτρου **0,6 mm** και αντίστασης **0,05 Ω/m**, με τη συσκευή πυροδότησης η οποία είναι τύπου 861 με πυκνωτή του οίκου SCHAFFLER, με χωρητικότητα πυκνωτή **100**

**Mf**, τάση πυροδότησης **1420 Volt**, ενέργειας **100 Joule**, βάρους **9 Kgr**, διαστάσεων **240X145X257 mm** και που μπορεί να πυροδοτήσει έως και **100** καψύλλια. Η πυροδότηση πραγματοποιείται αφού απομακρυνθούν τα μηχανήματα και το προσωπικό από τη στοά.

## **5.4 ΦΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ**

### **5.4.1 ΠΡΟΣΠΕΛΑΣΗ**

Για την προσπέλαση του υπόψη κοιτάσματος χρησιμοποιούνται δύο ασβεστολιθικές στοές, η Σ. 323 Α και η Σ. 113 Α, οποίες συνδέονται με ασβεστολιθική ελικοειδή ράμπα μέσης κλίσεως 17% που επιτρέπει την προσπέλαση του κοιτάσματος από το υψόμετρο της Σ. 113 Ε μέχρι το υψόμετρο της Σ. 323 Ε.

Για την προσπέλαση του κοιτάσματος στο τμήμα R5 έχει ορυχτεί ανάλογη ράμπα, η οποία έφθασε περίπου στο υψόμετρο + 40, διότι χαμηλότερα βρίσκεται ο υδροφόρος ορίζοντας της ΚΩΠΑΪΔΑΣ.

Από τις ράμπες, στα επιθυμητά υψόμετρα ορύσσονται εγκάρσιες, ασβεστολιθικές συνδετήριες στοές, που συναντούν το κοίτασμα και επιτρέπουν την όρυξη στοών μέσα στο μετάλλευμα που ακολουθούν την επαφή προς τις δύο κατευθύνσεις

### **5.4.2 ΠΡΟΠΑΡΑΣΚΕΥΗ**

Το τμήμα του κοιτάσματος της ράμπας 7 μεταξύ των στοών 113 και 323 θα διαιρεθεί σε ορόφους ανά 10 μέτρα υψομετρικά με θολωτές στοές διαστάσεων 4Μ X 3,5Μ και το κοίτασμα R5 σε ορόφους ανά 10Μ με στοές 4Μ X 3,5Μ. Τέλος οι διαστάσεις των ράμπων προσπέλασης των τμημάτων αυτών καθορίζονται σε 4,5 – 5 μέτρα πλάτος και 4 μέτρα ύψος.

Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι η υψομετρική διαφορά των ορόφων σε 9 – 10 μέτρα είναι η ελάχιστη που επιτρέπει η ασφαλής όρυξη και υποστήριξη των στοών εκμετάλλευσης.

## **5.5 ΦΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ**

Οι παρακάτω φάσεις εργασίας γίνονται κατά την διάρκεια εκμετάλλευσης του κοιτάσματος.

## **Προχώρηση στοών**

Η προχώρηση των στοών διαστάσεων 4,5 X 3,5 Μ και 5 X 4Μ γίνεται μηχανοποιημένα με την βοήθεια δύο δηζελοκινήτων φορείων διάτρησης SECOMA PEC 22 1444 και ATLAS COPCO, TH 532Δ διαμέτρου διατρήματος 45 μμ και ωφέλιμου μήκους περίπου τα 3Μ, και δύο δηζελοκινήτων φορείων ήλωσης SECOMA PEC 221445.

Για την αποκομιδή του μεταλλεύματος χρησιμοποιούνται νηζελοκίνητοι φορτωτές WAGNER ST 3 1 / 2 ( 3 1 / 2 YD3 ). Στα τμήματα των στοών όπου συναντάται μετάλλευμα σαθρό ή λασπώδες χρησιμοποιούνται συμβατικά μέσα υποστήριξης (μεταλλικά ή ξύλινα πλαίσια ).

## **Εξόφληση στοών**

Η εξόφληση του κοιτάσματος σε περιπτώσεις όπου η κλίση του κοιτάσματος δεν επιτρέπει την απόληψη, δέον όπως χρησιμοποιούνται εγκάρσιες στοές προς το δάπεδο ή καμινέτα.

Η εξόφληση του κοιτάσματος όταν η υψομετρική διαφορά μεταξύ δύο στοών είναι 5,5 – 6,5 μέτρα γίνεται μηχανοποιημένα με την χρησιμοποίηση ειδικού φορείου ανιούσας διάτρησης της ATLAS COPCO PROMEC MH 139, διαμέτρου διατρήματος 51MM. Και εδώ η απόληψη του κοιτάσματος σε περιοχές μικρής κλίσης μπορεί να γίνει κατά περίπτωση με την όρυξη εγκάρσιων στοών προς το δάπεδο.

Τα κατά την φάση της εξόφλησης παραγόμενα μεγάλα τεμάχια μεταλλεύματος μπορούν να συγκεντρώνονται στα ερευνητικά εγκάρσια προς την οροφή και να θραύονται με την βοήθεια κρουστικού εργαλείου ή μηχανήματος .

## **Εσωτερική μεταφορά μεταλλεύματος**

Για το τμήμα του κοιτάσματος χαμηλότερα από την 113 ( Ράμπα 5 ).το μετάλλευμα μεταφέρεται με φορτωτές από τα μέτωπα στην κεντρική στοά 113 Α όπου και αποθηκεύεται σε κατάλληλα διαμορφωμένο χώρο. ( Σταθμός φόρτωσης R5 ). Από εκεί με φορτωτή φορτώνεται σε βαγόνια πλευρικής κένωσης τύπου GRAMBY χωρητικότητας 2,5Μ3 και διακινείται στην επιφάνεια με το εγκατεστημένο σύστημα ηλεκτρομεταφοράς που εξυπηρετεί τη Σ.113

Για το τμήμα του κοιτάσματος 113 – 323 ( τμήμα ράμπας 7 )είναι δυνατή η εκμετάλλευση της βαρύτητας για την κάθοδο του παραγόμενου μεταλλεύματος στην κεντρική Σ. 113 Α. από όπου δια του υφισταμένου σιδηροδρομικού δικτύου μπορεί να μεταφερθεί στην επιφάνεια. Έτσι οι φορτωτές μεταφέρουν και ρίχνουν το μετάλλευμα στα λούκια που φτάνουν μέχρι τη στοά κύριας μεταφοράς Σ113. Τα λούκια καταλήγουν σε διατάξεις φόρτωσης που λειτουργούν με πεπιεσμένο αέρα. Με τη βοήθεια των διατάξεων αυτών, φορτώνονται τα βαγόνια ηλεκτροκίνητου συρμού.

### **Δειγματοληψία**

Η δειγματοληψία παραγωγής γίνεται χειρονακτικά κατά την διάρκεια της φόρτωσης των βαγονιών.

### **Μεταφορά μεταλλεύματος στο τριβείο**

Η μεταφορά του μεταλλεύματος από την πλατεία του εργοταξίου προς την Μονάδα Τριβής του Μ.Ε.Ι, γίνεται με εργολαβικά φορτηγά Δ.Χ., ωφέλιμου φορτίου 15 τόννων, τα οποία φορτώνονται με μισθωμένο φορτωτή, χωρητικότητας κάδου 3,5 έως 4,0.m<sup>3</sup>. Κατά την φόρτωση του μεταλλεύματος στα φορτηγά Δ.Χ., γίνεται και ένας δεύτερος καθαρισμός του μεταλλεύματος, από τον ασβεστόλιθο, ενώ ταυτόχρονα γίνεται και η δεύτερη φάση της δειγματοληψίας του μεταλλεύματος (δείγμα μεταφοράς).

## **5.6 ΘΟΡΥΒΟΣ**

Στον χώρο των υπογείων μεταλλείων πηγή θορύβου αποτελούν όλα τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται στην εξόρυξη και μεταφορά του μεταλλεύματος στην επιφάνεια. Τα μηχανήματα αυτά περιλαμβάνουν:

Φορτωτές υπογείων EIMCO 912 B	τεμ. 1 σχύος 1 X 76 HP
“ “ WAGNER ST 3 ½	“ 4 “ 4 X 139 HP
Φορεία διάτρησης SECOMA PEC 22	“ 1 “ 1 X 82 HP
“ ήλωσης SECOMA PEC 22	“ 2 “ 2 X 82 HP
Κρουστικό σφυρί ATLAS COPCO ( BROKK PT 45 )	“ 1 “ 1 X 76 HP
Τσάπα ATLAS COPCO ( BROKK PT 45 )	“ 1 “ 1 X 76 HP

Φορείο ανιόντων διατριμάτων ATLAS COPCO PROMEC MH 19 “ 1 “ 1 X 89 HP

“ οριζόντιας διάτρ. ATLAS COPCO PROMEC MH 532D “ 1 “ 1 X 89 HP

Όχημα γόμωσης ATLAS COPCO – NITRONOBEL “ 1 “ 1 X 61 HP

Συρμοί ηλεκτρομεταφοράς ( SIEMENS 3F 13 ) “ 1 “ 1 X 94 HP

“ “ ( PIKROSE WR 120T ) “ 1 “ 1 X 107 HP

Βοηθητικό όχημα γερανοφόρο ( EIMCO KONBO 975 ) “ 1 “ 1 X 76 HP

“ “ “ ( SCHOPF F66 ) “ 1 “ 1 X 66 HP

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΜΕ Η/Υ**

Για την έναρξη ενός σχεδίου υπόγειας εκμετάλλευσης, είναι απαραίτητο να έχουμε ένα πρόγραμμα υπολογιστή που να μας δίνει την δυνατότητα να επιλέξουμε να ξεκινήσουμε από το μηδέν ή να συνεχίσουμε τον σχεδιασμό από ήδη υπάρχοντα σχέδια. Κάποιο μενού επιλογών θα μας επιτρέψει την σχεδίαση και αντιγραφή τμημάτων ή την ανάπτυξη μιας διάταξης τους. Για παράδειγμα, εάν πρόκειται να κάνουμε ένα σχέδιο από το μηδέν, τότε θα πρέπει να μας ζητηθούν τα όρια της εκμετάλλευσης, η τοποθεσία των φρεατίων, κλπ. Στην περίπτωση της σχεδίασης συγκεκριμένων τμημάτων, το σύστημα θα πρέπει να μας μεταφέρει στο αντίστοιχο παράθυρο σχεδίασης.

### **6.1 Σχεδιασμός Πλάνου Εξόρυξης**

Η φάση σχεδίασης του πλάνου εξόρυξης έχει συνήθως δυο τμήματα. Στο πρώτο, τα επιμέρους τμήματα (πάνελ) σχεδιάζονται ή αντιγράφονται από μια υπάρχουσα σχεδίαση, και στο δεύτερο σχεδιάζεται το γενικό πλάνο. Η ιδέα ενός πάνελ ως αντικείμενου επιτρέπει την σχεδίαση, αποθήκευση, αντιγραφή και διαμόρφωση του ως φορές χρειάζεται. Τα αντικείμενα αυτά παίρνουν όλες τις ιδιότητες των αρχικών, δηλαδή διατηρούν τα χαρακτηριστικά των αρχικών πάνελ όπως τις διαστάσεις των στοών ανάπτυξης, των διακλαδώσεων, των δοκών, κ.α. εκτός εάν διαμορφωθούν από τον χρήστη. Η συλλογή των πάνελ ενός σχεδίου αποτελεί την βιβλιοθήκη πάνελ. Κάθε πάνελ μπορεί να τοποθετηθεί στο πλάνο ή σχέδιο εκμετάλλευσης όσες φορές χρειάζεται.

### **6.2 Σχεδίαση Πάνελ**

Τα πολύγωνα που θα αποτελέσουν τα πάνελ μπορούν να σχεδιαστούν με τρεις τρόπους. Κάθε μέθοδος χρησιμοποιεί τις διάφορες παραμέτρους των πάνελ για να σχεδιάσει τα πολύγωνα. Χρησιμοποιούμε την μέθοδο εγκατάλειψης δοκών ως παράδειγμα γιατί αποτελεί μια από τις πιο δημοφιλείς μεθόδους υπόγειας εκμετάλλευσης και επειδή είναι εύκολα εφαρμόσιμη με τους υπολογιστές.

1. Η πρώτη μέθοδος περιλαμβάνει ένα συνδυασμό εισαγωγής από το πληκτρολόγιο και γραφικής σχεδίασης, χρησιμοποιώντας πληροφορίες για το μήκος και πλάτος των πάνελ και τις διαστάσεις των διακλαδώσεων για την



ανάπτυξη ενός πάνελ προεπιλογής. Το πάνελ αυτό μπορεί να αλλάξει διαστάσεις, ώστε να χωράει όσες δοκούς χρειάζεται ή είναι δυνατό.

2. Η δεύτερη μέθοδος περιλαμβάνει την κατασκευή ενός πάνελ χρησιμοποιώντας μόνο τον γραφικό κέρσορα, δηλαδή με ελεύθερη σχεδίαση. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν πρέπει να κατασκευαστούν ακανόνιστα πολύγωνα για να ικανοποιήσουν ιδιαίτερες συνθήκες.
3. Η τρίτη μέθοδος απαιτεί από τον χρήστη την εισαγωγή των ακριβών διαστάσεων των πάνελ. Η μέθοδος αυτή είναι πολύ χρήσιμη όταν έχει καθοριστεί μια συγκεκριμένη διάταξη των πάνελ.

### 6.3 Σχεδίαση Γενικού Πλάνου

Το πλάνο εισάγεται συνήθως συνδυάζοντας την ψηφιοποίηση του υπάρχοντος ορυχείου με την σχεδίαση στην οθόνη του υπολογιστή. Οι δυνατότητες σχεδιασμού των πάνελ μεταφέρονται σε μεγάλο βαθμό στην σχεδίαση του πλάνου.

Κάθε κύρια και δευτερεύουσα στοά μπορεί να σχεδιαστεί σε μια ορθογωνική μορφή, ως ένα ελεύθερο πολύγωνο, ή να δοθεί με συντεταγμένες. Τα βασικά βήματα στην σχεδίαση του πλάνου ακολουθούν ένα συγκεκριμένο σχήμα. Αρχικά, σχεδιάζονται οι κύριες και δευτερεύουσες στοές. Στην συνέχεια τοποθετούνται τα πάνελ από την βιβλιοθήκη και προσαρμόζονται πάνω στις στοές όσες φορές είναι απαραίτητο.

Η σχεδίαση των στοών περιλαμβάνει και άλλη λειτουργικότητα όπως την προέκταση τους έως κάποιο όριο (την επιφάνεια κάποιου ρήγματος, ιδιοκτησιακά όρια, κλπ). Έτσι ο σχεδιαστής μπορεί να είναι σίγουρος ότι το πλάνο που αναπτύσσει ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις.

### 6.4 Βελτιστοποίηση Στοών Προσπέλασης

Η υποδομή προσπέλασης ενός υπόγειου ορυχείου μπορεί να θεωρηθεί ως ένα δίκτυο από συνδεδεμένα κεκλιμένα και φρεάτια που δίνει πρόσβαση σε συγκεκριμένα σώματα μεταλλοφορίας, και ως μέσο μεταφοράς του μεταλλεύματος από αυτές τις ζώνες προς τον μύλο. Στην ενότητα αυτή δίνουμε μια γενική θεώρηση των νέων εργαλείων βέλτιστης σχεδίασης προσπέλασης ορυχείου για την εύρεση ενός αποτελεσματικού σχεδίου για ένα τέτοιο δίκτυο. Κάθε κεκλιμένο μοντελοποιείται ως ένα μαθηματικό δίκτυο που λαμβάνει υπόψη τους λειτουργικούς περιορισμούς και τα κόστη ενός

πραγματικού ορυχείου, και βελτιστοποιείται χρησιμοποιώντας γεωμετρικές τεχνικές βελτιστοποίησης περιορισμένων διαδρομών. Αυτή η διαδικασία βελτιστοποίησης έχει αυτοματοποιηθεί σε ένα εργαλείο λογισμικού, το Εργαλείο Βελτιστοποίησης Κεκλιμένων (Decline Optimisation Tool, DOT), που αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο της Μελβούρνης. Δίνουμε περιγραμματα την γενική στρατηγική βελτιστοποίησης που χρησιμοποιεί το DOT και κάποιες πρόσφατες βελτιώσεις του λογισμικού – συγκεκριμένα, την ικανότητα του να σχεδιάζει κεκλιμένα που αποφεύγουν εμπόδια, όπως επικίνδυνες περιοχές ή υπάρχουσες εκσκαφές.

Υπήρξε για κάποιο διάστημα η αναγνώριση της πιθανής χρησιμότητας τεχνικών από την μαθηματική βελτιστοποίηση στον αποτελεσματικό σχεδιασμό εκμετάλλευσης υψηλού επιπέδου. Αυτό γίνεται πιο προφανές στο σχεδιασμό υπαίθριων ορυχείων, όπου υπάρχει ένα εκτενώς διαδομένο πλαίσιο βελτιστοποίησης προερχόμενο από την μέθοδο των Lerchs και Grossmann (1965). Αυτή η προσέγγιση, η οποία βασίζεται στον ακέραιο προγραμματισμό, έχει εφαρμοστεί επιτυχώς από την μεταλλευτική βιομηχανία από τα μέσα της δεκαετίας του '80. Παρόλα αυτά, το πρόβλημα του σχεδιασμού υπόγειων εκμεταλλεύσεων είναι διαφορετικό από αυτό των υπαίθριων, και έχει αποδειχθεί σημαντικά πιο δύσκολο στην μαθηματική μοντελοποίηση.

Υπόγεια εκμετάλλευση είναι η σχεδιασμένη εξαγωγή και μεταφορά ορυκτού υλικού που έχει θεωρηθεί ως μέταλλευμα, από την θέση στο υπέδαφος προς κάποιο εργοστάσιο επεξεργασίας στην επιφάνεια. Πίσω από αυτό τον απλό ορισμό κρύβεται ένα υψηλό επίπεδο πολυπλοκότητας. Υπάρχει ένα πολύπλοκο σύστημα από περιορισμούς που καθορίζουν το πώς μπορεί να γίνει αυτή η εξαγωγή. Οι περιορισμοί αυτοί αφορούν φυσικούς παράγοντες, όπως ο τύπος της μεταλλοφορίας και οι θέσεις του μεταλλοφόρου υλικού, γεωτεχνικούς παράγοντες, όπως η ποιότητα του υλικού στο υπέδαφος και η φύση των πεδίων υπόγειων τάσεων, και περισσότερο γενικούς, οικονομικούς και κοινωνικούς παράγοντες, όπως η διαθέσιμοι τεχνολογικοί πόροι, η παρούσα και μελλοντική αγορά μετάλλων και πολλοί άλλοι. Αυτή η πολυπλοκότητα σημαίνει ότι για να σχεδιαστεί μια υπόγεια εκμετάλλευση όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματικά θα πρέπει να διαιρεθεί σε επιμέρους εργασίες οι οποίες η κάθε μία ξεχωριστά να μπορεί να μοντελοποιηθεί μαθηματικά.

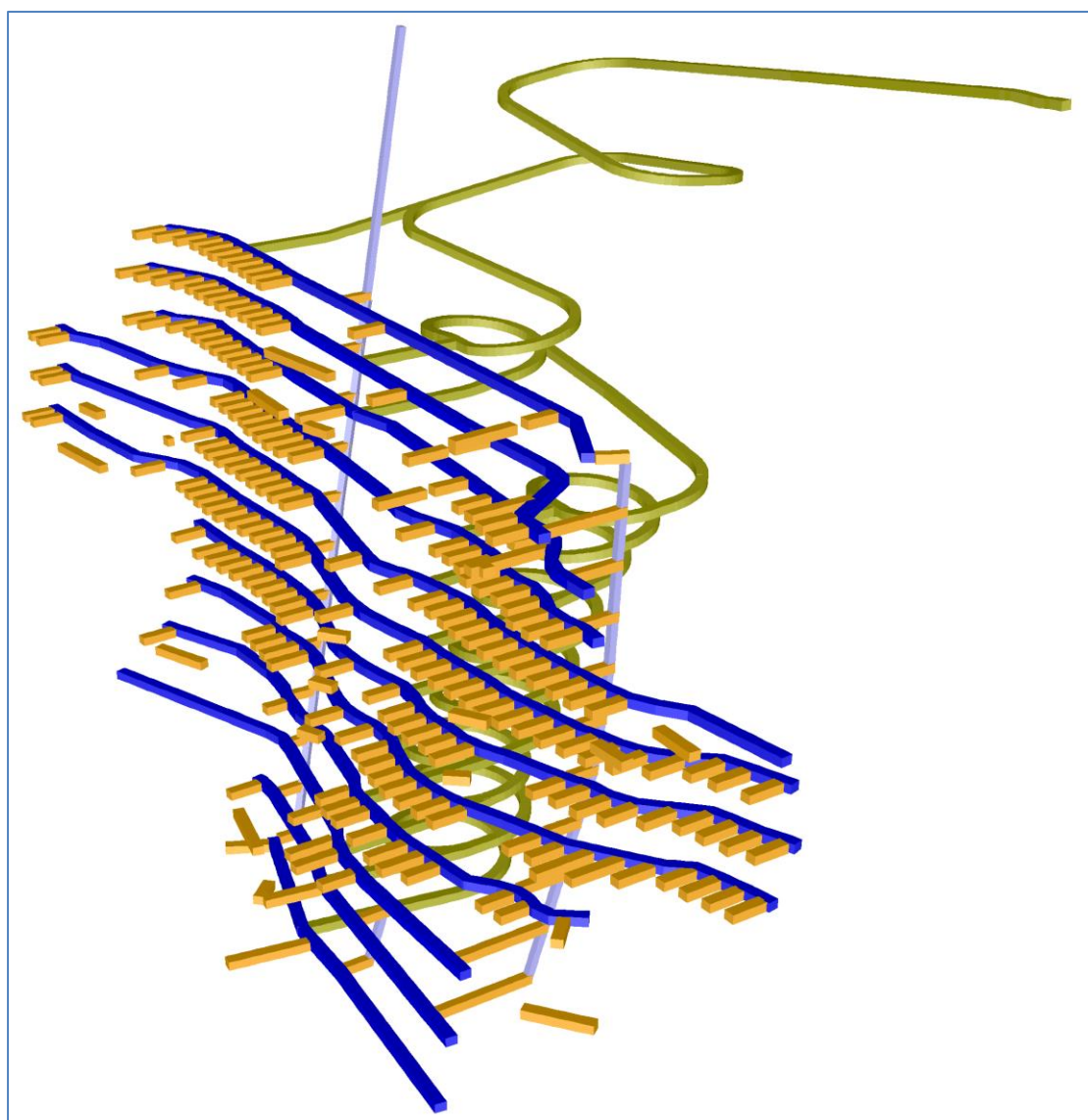
Η διαδικασία μεταλλευτικού σχεδιασμού μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις αλληλένδετες αλλά διακριτές εργασίες: σχεδιασμός παραγωγής, σχεδιασμός πρόσβασης και προγραμματισμός. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο η τυπική σειρά ανάπτυξης για μια υπόγεια εκμετάλλευση έχει ως εξής:

Η θέση των μεταλλοφόρων ζωνών καθορίζεται αρχικά από γεωλογικές παρατηρήσεις και υπαίθριες γεωτρήσεις. Στη συνέχεια γίνεται μια πιο λεπτομερής οριοθέτηση της μεταλλοφορίας μέσω ενός πυκνού προγράμματος γεωτρήσεων από υπόγειες στοές ανάπτυξης. Ο σχεδιασμός παραγωγής μπορεί να θεωρηθεί ως ο καθορισμός μιας μεθόδου εκμετάλλευσης, και ο διαχωρισμός και η οριοθέτηση του μεταλλεύματος που πρόκειται να εξορυχθεί. Το μέγεθος των αποθεμάτων, το βάθος, η γεωλογία, τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά και η αγορά των περιεχόμενων ορυκτών είναι παράγοντες που καθορίζουν το πώς θα εξορυχθεί το κοίτασμα. Ο Lane (1988) και άλλοι δίνουν έμφαση στην σπουδαιότητα των αποφάσεων για το όριο εκμεταλλεύσιμης περιεκτικότητας, το οποίο χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό μεταξύ οικονομικά απολήψιμου μεταλλεύματος και στείρων. Εφόσον ληφθούν αυτές οι αποφάσεις, μπορούν να καθοριστούν οι θέσεις και η γεωμετρία των ζωνών εξόρυξης και του περιεχόμενου των τονάζ μεταλλεύματος (με κάποιο βαθμό ακρίβειας) αναλύοντας το αποθεματικό μοντέλο που αναπτύχθηκε από την γεωλογική δειγματοληψία. Όταν οι ζώνες εξόρυξης έχουν προσδιοριστεί στον χώρο, μπορούν να καθοριστούν ομάδες σημείων πρόσβασης και απόληψης μεταλλεύματος.

Αυτό μας οδηγεί στην εργασία του σχεδιασμού πρόσβασης, δηλαδή του καθορισμού του δικτύου ανάπτυξης του μεταλλείου. Αυτό γενικά περιλαμβάνει μια ομάδα από στοές ανάπτυξης που συνδέονται μεταξύ τους (κεκλιμένα, ράμπες, στοές), και σε μερικές περιπτώσεις επίσης περιλαμβάνει φρεάτια μεταλλεύματος, τα οποία είναι σχεδόν κατακόρυφα και μέσω των οποίων γίνεται η ρίψη του μεταλλεύματος, και φρεάτια μεταφοράς μέσω των οποίων μεταφέρεται το μέταλλευμα από τα μέτωπα εξόρυξης προς το μύλο.

Εφόσον σχεδιαστεί ένα δίκτυο προσπέλασης, μπορεί να κατασκευαστεί μια ομάδα από σχέσεις προτεραιότητας για όλα τα τμήματα του μεταλλείου. Η εργασία προγραμματισμού χρησιμοποιεί αυτές τις σχέσεις για να καθορίσει και να προγραμματίσει την σειρά εκμετάλλευσης για την κατασκευή της προσπέλασης, την εξόρυξη των ζωνών μεταλλεύματος και την αναγόμωση των κενών που

δημιουργούνται. Εξαρτάται όχι μόνο από τα αποτελέσματα των εργασιών σχεδιασμού προσπέλασης και παραγωγής, αλλά και από μια σειρά άλλων παραγόντων όπως το μέγεθος του εργατικού δυναμικού και του στόλου εξοπλισμού, την κυκλοφοριακή χωρητικότητα της κύριας προσπέλασης, την επεξεργαστική χωρητικότητα και τις απαιτήσεις μείγματος του μύλου, την χωρητικότητα αποθήκευσης στείρων και άλλους σχετικούς παράγοντες.



Σχήμα 6.1: Παράδειγμα μοντέλου υπόγειου μεταλλείου όπου διακρίνονται τα φρεάτια (μωβ), τα κεκλιμένα (πράσινα), οι στοές ανάπτυξης (μπλε) και οι στοές προσπέλασης (πορτοκαλί).

Η κύρια εργασία που εξετάζουμε στην ενότητα αυτή που ακολουθεί είναι ο σχεδιασμός προσπέλασης, και ειδικότερα η κατασκευή του σχεδίου των κύριων προσπελάσεων που αποτελούν την ραχοκοκαλιά του δικτύου ανάπτυξης του μεταλλείου (Σχήμα 6.1). Μία από τις κύριες διαφορές μεταξύ της μοντελοποίησης υπαίθριων και υπόγειων εκμεταλλεύσεων είναι η πολυπλοκότητα της ρεαλιστικής μοντελοποίησης του κόστους που σχετίζεται με την προσπέλαση στο μέταλλευμα. Αποτελεί ένα ιδιαίτερα δυσκολότερο πρόβλημα για ένα υπόγειο μεταλλείο. Ακόμα και η εύρεση καλών εφικτών λύσεων αποτελεί μεγάλη πρόκληση για τον σχεδιαστή. Θα εξετάσουμε το πρόβλημα της εύρεσης σχεδίων προσπέλασης που όχι μόνο να είναι εφικτά, αλλά να είναι και βέλτιστα για μια κατάλληλη συνάρτηση κόστους.

Ο συνήθης αντικειμενικός στόχος βελτιστοποίησης στο μεταλλευτικό σχεδιασμό είναι η εύρεση μιας στρατηγικής εκμετάλλευσης που μεγιστοποιεί την τρέχουσα καθαρή αξία της επιχείρησης ( Lane, 1988). Εντός μιας τέτοιας συνολικής στρατηγικής το καθαρό κόστος που σχετίζεται άμεσα με την προσπέλαση πρέπει να ελαχιστοποιηθεί – αυτό περιλαμβάνει τόσο τα κόστη κατασκευής όσο και τμήματα του κόστους μεταφοράς που σχετίζονται με το σχέδιο ανάπτυξης. Επομένως, για την βελτιστοποίηση του σχεδίου προσπέλασης, λαμβάνουμε ως αντικειμενική συνάρτηση το σύνολο του κόστους για όλη την διάρκεια ζωής του μεταλλείου που σχετίζεται με την επιλογή δικτύου προσπέλασης. Η βελτιστοποίηση αυτής της συνάρτησης κόστους ως προς μια σειρά περιορισμών που διασφαλίζουν ότι το δίκτυο προσπέλασης είναι λειτουργικό και δομικά ασφαλές αποτελεί ένα ιδιαίτερα πολύπλοκο πρόβλημα. Η πρώτη σοβαρή αναλυτική μέθοδος επίλυσης δίνεται από τους Brazil et al (2000). Περισσότερη ανάλυση αυτής της προσέγγισης και λεπτομέρειες για τα υποκείμενα μαθηματικά δίνονται επίσης από τους Brazil et al (2001, 2003, 2004, 2008).

Όπως ειπώθηκε νωρίτερα, ο κύριος στόχος μας είναι η ανάπτυξη ενός σχεδίου προσπέλασης για τα κύρια κεκλιμένα του μεταλλείου που να ελαχιστοποιεί τα σχετικά κόστη για την διάρκεια ζωής του. Η πρόσβαση του σώματος μεταλλοφορίας από το κεκλιμένο γίνεται μέσω οριζόντιων στοών γνωστών ως στοές προσπέλασης. Αυτές συνδέονται με το κεκλιμένο σε σημεία πρόσβασης τα οποία βρίσκονται σε μια σειρά από επίπεδα. Κάθε σημείο προκύπτει ή περιορίζεται από μία πεπερασμένη ομάδα πιθανών επιλογών. Το κλειδί για την εύρεση μιας πρακτικής τεχνικής επίλυσης αυτού του προβλήματος είναι η μοντελοποίησή του ως ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης δικτύου, και η ανάπτυξη μιας θεωρίας περιορισμένων,

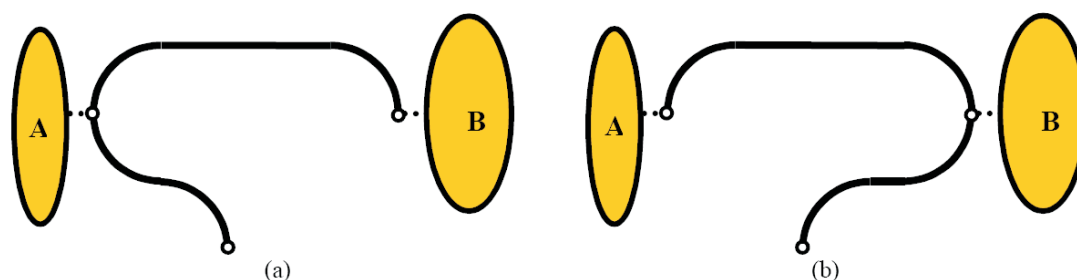
σταθμισμένων, ελάχιστων δικτύων σε ένα κατάλληλο μετρικό χώρο. Το δίκτυο μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι εντός του ευκλείδειου τρισδιάστατου χώρου, με συντεταγμένες ανάλογα με το σύστημα συντεταγμένων του μεταλλείου. Στο μοντέλο αυτό, τα δοσμένα σημεία πρόσβασης και η είσοδος (ή έξοδος) στην επιφάνεια για κάθε κεκλιμένο αντιστοιχούν σε κόμβους του δικτύου που είναι είτε σταθεροί ή περιορισμένοι σε έναν μικρό αριθμό επιλογών. Οι ράμπες στο μεταλλείο αντιπροσωπεύονται από συνδέσεις του δικτύου που αντιστοιχούν στις κεντρογραμμές της κάθε ράμπας.

Οι κύριες παραδοχές σε αυτό το μοντέλο δικτύου είναι ότι οι πιθανές θέσεις όλων των σημείων πρόσβασης είναι δεδομένες, όπως και το αναμενόμενο τονάζ για κάθε δεδομένο σημείο. Το κόστος για κάθε σύνδεση στο δίκτυο μοντελοποιείται ως ένας συνδυασμός κόστους κατασκευής και μεταφοράς. Το μεταβλητό τμήμα αυτού του κόστους μπορεί να θεωρηθεί ανάλογο του ευκλείδειου μήκους της σύνδεσης. Αυτή η αναλογία, όμως, θα είναι διαφορετική για κάθε σύνδεση, ανάλογα με το τονάζ του μεταλλεύματος που πρόκειται να μεταφερθεί κατά μήκος του αντίστοιχου τμήματος του μεταλλείου.

Αυτό είναι ένα σημαντικό σημείο που πρέπει να γίνει κατανοητό, καθώς σημαίνει ότι ένα βέλτιστο κεκλιμένο δεν είναι απαραίτητα εκείνο που ελαχιστοποιεί το μέγεθος της ανάπτυξης, όπως δείχνεται στο παρακάτω παράδειγμα.

Στο παράδειγμα αυτό, όπως φαίνεται σε κάτοψη στο Σχήμα 6.2, απαιτείται πρόσβαση για την εξυπηρέτηση δύο σωμάτων μεταλλοφορίας A και B σε ένα δεδομένο επίπεδο, από μία υπάρχουσα υποδομή σε ένα δεδομένο σημείο (στο κάτω μέρος του σχήματος). Υποθέτουμε ότι και τα τρία σημεία είναι στο ίδιο υψόμετρο, και ότι οι συντεταγμένες X και Y για το σημείο εξόδου και τα σημεία πρόσβασης A και B είναι (0,0), (-50,50) και (58,50) αντίστοιχα (σε μέτρα). Υποθέτουμε επίσης ότι η διεύθυνση του κεκλιμένου στο σημείο εξόδου είναι προς βορρά, και ότι σε κάθε σημείο πρόσβασης είναι είτε προς βορρά είτε προς νότο. Επιπλέον, υποθέτουμε ότι η ελάχιστη ακτίνα στροφής που επιτρέπεται για το κεκλιμένο είναι 25 μ, και ότι το κόστος κατασκευής του κεκλιμένου είναι \$5900/μ. στο σχήμα φαίνονται τα δύο σχέδια ελάχιστου κόστους για το κεκλιμένο, όπου, στο (α) το κεκλιμένο φτάνει στο σώμα μεταλλοφορίας A πριν το B, και στο (β) αντίστροφα. Τα κόστη ανάπτυξης είναι \$1,25 εκατομμύρια για το (α) και \$1,30 εκατομμύρια για το (β), καθιστώντας έτσι το (α)

την βέλτιστη λύση. Τώρα ας υποθέσουμε ότι εξετάζουμε επιπλέον το κόστος μεταφοράς. Στο παράδειγμά μας, το A περιέχει 100000 τόνους μεταλλεύματος σε αυτό το επίπεδο, ενώ το B περιέχει 600000 τόνους, και υποθέτουμε ότι το κόστος μεταφοράς είναι  $\$2/(\text{τόνος} \times \text{χλμ})$ . Το καθένα από τα δύο σχέδια στο Σχήμα 6.2 είναι ακόμα βέλτιστο για την δοσμένη σειρά πρόσβασης των σωμάτων μεταλλοφορίας, όμως τώρα το συνολικό μεταβλητό κόστος που σχετίζεται με το σχέδιο (α) για την διάρκεια ζωής του μεταλλείου είναι  $\$1,52$  εκατομμύρια, ενώ το συνολικό κόστος για το (β) είναι  $\$1,45$  εκατομμύρια, που σημαίνει ότι το (β) είναι η καλύτερη λύση. Επομένως ακόμα και σε αυτό το πολύ μικρό παράδειγμα ο συνυπολογισμός του κόστους μεταφοράς μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την εύρεση του πιο οικονομικού σχεδίου.



Σχήμα 6.2: Δύο πιθανά βέλτιστα σχέδια σε κάτοψη για ένα κεκλιμένο που εξυπηρετεί δύο σώματα μεταλλοφορίας A και B. Το (α) ελαχιστοποιεί το κόστος ανάπτυξης αλλά το (β) ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος ανάπτυξης και μεταφοράς.

Υπάρχει ένα πλήθος από κύριους περιορισμούς που θα πρέπει να ικανοποιήσει το μοντέλο δικτύου για να δώσει εφικτές λύσεις. Ο πρώτος είναι ότι τα τμήματα της ράμπας πρέπει να περιορίζονται από μια μέγιστη επιτρεπόμενη κλίση. Η κλίση αυτή μετριέται συνήθως ως μια απόλυτη γωνία  $m$ . Δηλαδή η  $m$  είναι η απόλυτη τιμή του λόγου μεταξύ μεταβολής οριζόντιας θέσης και μεταβολής υψομέτρου. Σε προβλήματα σχεδιασμού υπόγειων μεταλλείων η  $m$  είναι γενικά μεταξύ  $1/9$  και  $1/7$  ανάλογα με τις προδιαγραφές του εξοπλισμού. Ο άλλος βασικός περιορισμός για την ευκολία στην πλοήγηση του δικτύου προσπέλασης είναι η ακτίνα κύκλου στροφής, όπως αναφέρθηκε στο παραπάνω παράδειγμα. Στα μεγάλα οχήματα μεταφοράς η ελάχιστη ακτίνα είναι συνήθως μεταξύ 25 και 30 μ. Ο τρίτος βασικός περιορισμός,

και ο πιο δύσκολος να μοντελοποιηθεί με ακρίβεια, είναι αυτός της αποφυγής εμποδίων ( για παράδειγμα, για να αποφύγουμε την στείρωση του μεταλλεύματος ή την προσέγγιση υπάρχοντων εκσκαφών). Στο υπόλοιπο αυτού του κεφαλαίου εστιάζουμε στους περιορισμούς κλίσης και ακτίνας στροφής, και στο επόμενο κεφάλαιο εξετάζουμε την αποφυγή εμποδίων. Ανάλογα με το επίπεδο λεπτομέρειας του σχεδίου, μπορεί να υπάρχουν και άλλοι περιορισμοί που πρέπει να λάβουμε υπόψη, που σχετίζονται, για παράδειγμα, με τον αερισμό ή υπόγεια συνεργεία, οι οποίοι όμως μπορούν να θεωρηθούν ως δευτερεύοντες περιορισμοί, ειδικά σε σχέδια μεγάλης κλίμακας.

Επιπλέον, υπάρχουν συνήθως περιορισμοί ως προς την γωνία μεταξύ στοάς προσπέλασης και κεκλιμένων. Κάθε στοά προσπέλασης θα πρέπει να βρίσκει το κεκλιμένο με γωνία περίπου 90 μοίρες για λόγους γεωμηχανικής ευστάθειας. Αυτό επιτυγχάνεται στο μοντέλο έχοντας ένα εύρος διευθύνσεων που ορίζονται από τον χρήστη για το κεκλιμένο σε κάθε κόμβο. Σε κάθε επίπεδο πρόσβασης καθορίζεται ένα σύνολο από υπογήφιους κόμβους, που αναπαριστούν μια περιορισμένη επιλογή σημείων πρόσβασης. Θα αναφερόμαστε σε αυτό το σύνολο κόμβων ως ομάδα. Κάθε ένας από αυτούς τους κόμβους έχει ένα σχετικό σταθερό κόστος που είναι ανάλογο του μήκους της στοάς προσπέλασης και εξαρτάται από το τονάζ μεταλλεύματος που πρόκειται να μεταφερθεί κατά μήκος αυτής της στοάς. Απαιτείται από το κεκλιμένο να περάσει από έναν κόμβο της κάθε ομάδας.

## 6.5 Σχεδίαση Υπόγειων Εκμεταλλεύσεων με το Vulcan

Το τμήμα υπόγειου σχεδιασμού (Underground module) του Vulcan παρέχει μια σειρά από εργαλεία που βοηθούν στο μεταλλευτικό σχεδιασμό στρωματογραφικών και μη κοιτασμάτων. Τα ειδικά αυτά εργαλεία χρησιμοποιούνται μέσα από το τρισδιάστατο περιβάλλον Envisage συνδυάζοντας μοντέλα τριγωνισμού, πλέγματος και μπλοκ. Η άμεση οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων δίνει σημαντικές πληροφορίες στον μηχανικό σχεδιασμού και επιτρέπει την αποτελεσματική επικοινωνία ιδεών με άλλους μηχανικούς και μη-τεχνικά άτομα. Τα ειδικά εργαλεία που περιλαμβάνονται στο μενού Υπόγειου Σχεδιασμού περιλαμβάνουν:



- **Development** - Μια ολοκληρωμένη ομάδα εργαλείων για τη δημιουργία υπόγειων προσπελάσεων για μια ποικιλία μεθόδων εκμετάλλευσης. Οι κεντρικοί άξονες (κεντρογραμμές) μπορούν να δημιουργηθούν και να τροποποιηθούν, και στη συνέχεια να μετατραπούν σε τρισδιάστατα μοντέλα τριγωνισμού με χρήση οποιασδήποτε διατομής.
- **Analyse** - Εργαλεία αναφοράς για την υπόγεια ανάπτυξη, δίνοντας όγκους, κλίσεις, και κόστη. Παρέχονται επίσης εργαλεία προσθήκης ετικετών για την δημιουργία σχεδίων επαγγελματικού επιπέδου.
- **Stope Design** - Λειτουργίες σχεδιασμού μονάδων εξόρυξης που δουλεύουν σε συνδυασμό με μοντέλα μπλοκ. Τα αποθέματα της κάθε μονάδας μπορούν να υπολογίζονται κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού.
- **Ring Design** - Λειτουργίες σχεδιασμού υπόγειων εκρηκτικών που παρέχουν προηγμένα εργαλεία για το σχεδιασμό, τροποποίηση και εκτύπωση των σχεδίων. Ο έλεγχος ποιότητας μπορεί να πραγματοποιηθεί εξετάζοντας τις αναλύσεις σε κάθε ένα από τα διαστήματα. Μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί ανάλυση των εκρηκτικών υλών για βέλτιστο σχεδιασμό των μονάδων εξόρυξης.
- **Coal Development** - Λειτουργίες υπόγειου σχεδιασμού ανθρακωρυχείων που επιτρέπουν το σχεδιασμό εκμετάλλευσης είτε ελεύθερα ή χρησιμοποιώντας κανονικά, προκαθορισμένα σχήματα. Μπορούν έτσι να δημιουργηθούν σχέδια για διάφορους τύπους εκμετάλλευσης (room & pillar, longwall και shortwall).
- **Coal Reserves** - Λειτουργίες υπολογισμού αποθεμάτων υπόγειων ανθρακωρυχείων που δίνουν εκτίμηση όγκου, τονάζ, ποιότητας, κλπ. για σχέδια υπόγειας εκμετάλλευσης εξετάζοντας τα πλέγματα των στρωμάτων που αναπτύχθηκαν με τις λειτουργίες μοντελοποίησης πλέγματος. Γενικά, οι λειτουργίες που αφορούν ανθρακωρυχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για οποιαδήποτε εκμετάλλευση στρωματογραφικού κοιτάσματος.

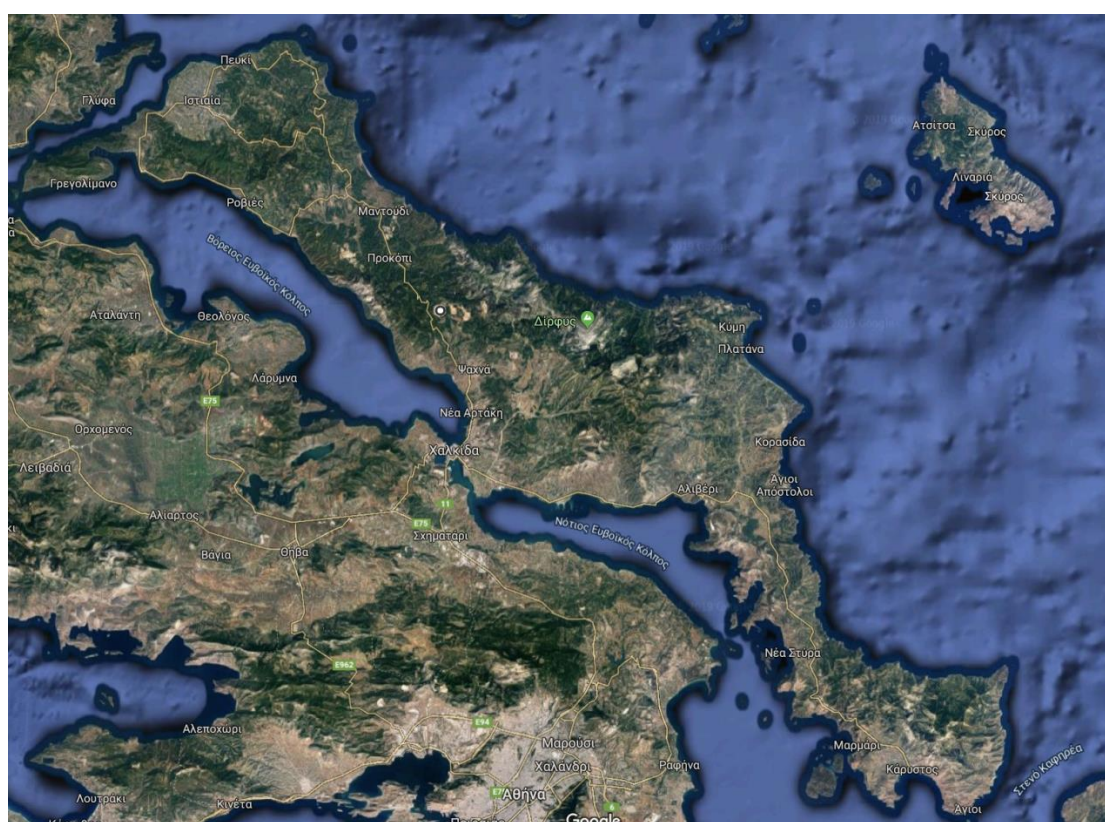
Το μενού Development χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό κεκλιμένων και στοών ανάπτυξης σε υπόγεια ορυχεία. Επιτρέπει το σχεδιασμό κεντρογραμμών για την ανάπτυξη, την προσθήκη τοιχωμάτων σε δοσμένες αποστάσεις και πλάτος, και την προβολή των ορίων στα ταβάνια και πατώματα. Στην περίπτωση διασταυρώσεων, τα τοιχώματα μπορούν να ενώνονται πριν την προβολή. Μπορούν επίσης να εκτελεστούν συγκεκριμένες λειτουργίες που αφορούν την κλίση, την τροποποίηση

της κλίσης σε συγκεκριμένα τμήματα, και κάποιες απλές λειτουργίες υπολογισμού του κόστους. Τα σημεία και οι γραμμές μπορούν να αποκτούν ετικέτες για λόγους εκτύπωσης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

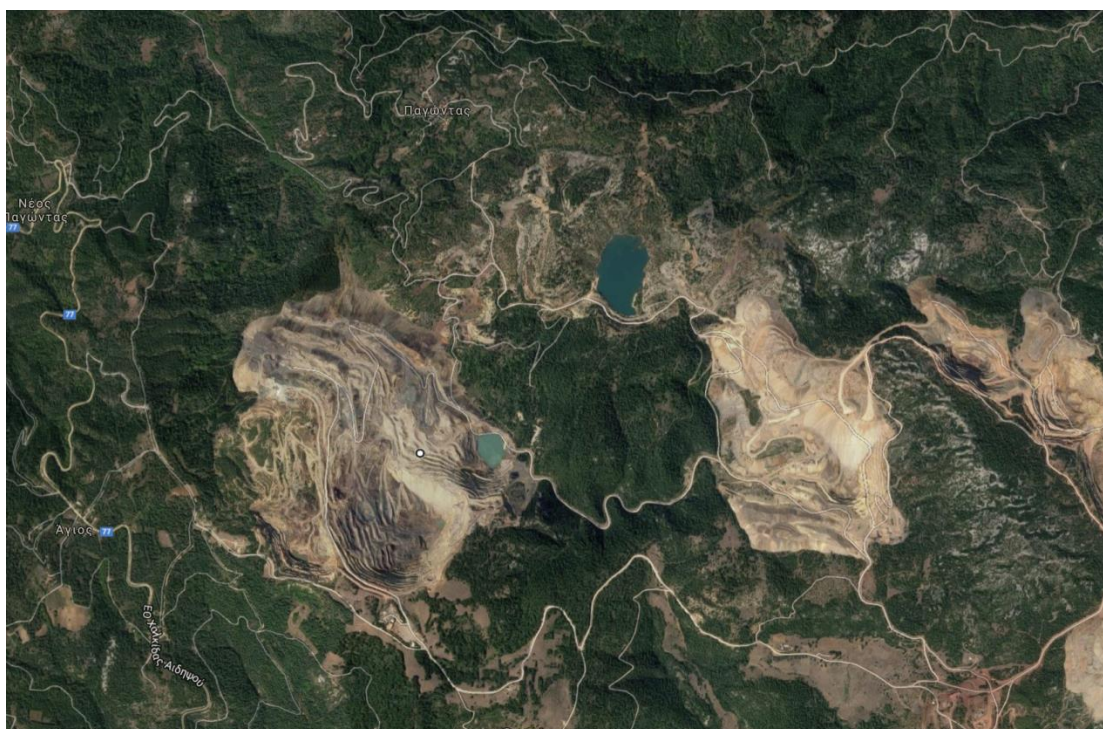
### 7.1 Κοίτασμα, Δεδομένα και Επιλογή Μεθόδου Εκμετάλλευσης

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζουμε την εφαρμογή του λογισμικού Martek Vulcan στον σχεδιασμό μιας υπόγειας εκμετάλλευσης κάτω από ολοκληρωμένες υπαίθριες εκσκαφές σε κοιτάσμα νικελίου στην Εύβοια, στην περιοχή Άκρες (Εικόνα 7.1 και 7.2). Οι υπαίθριες εκσκαφές έχουν φτάσει στο τελικό οικονομικά εκμεταλλεύσιμο βάθος, αφήνοντας ένα μέρος του κοιτάσματος το οποίο είτε λόγω της μορφολογίας του εδάφους, είτε λόγω της περιεκτικότητας σε νικέλιο, δεν είναι οικονομικά εκμεταλλεύσιμο με υπαίθρια εκμετάλλευση.



Εικόνα 7.1: Θέση υπαίθριων εκσκαφών κοιτάσματος νικελίου στις Άκρες.

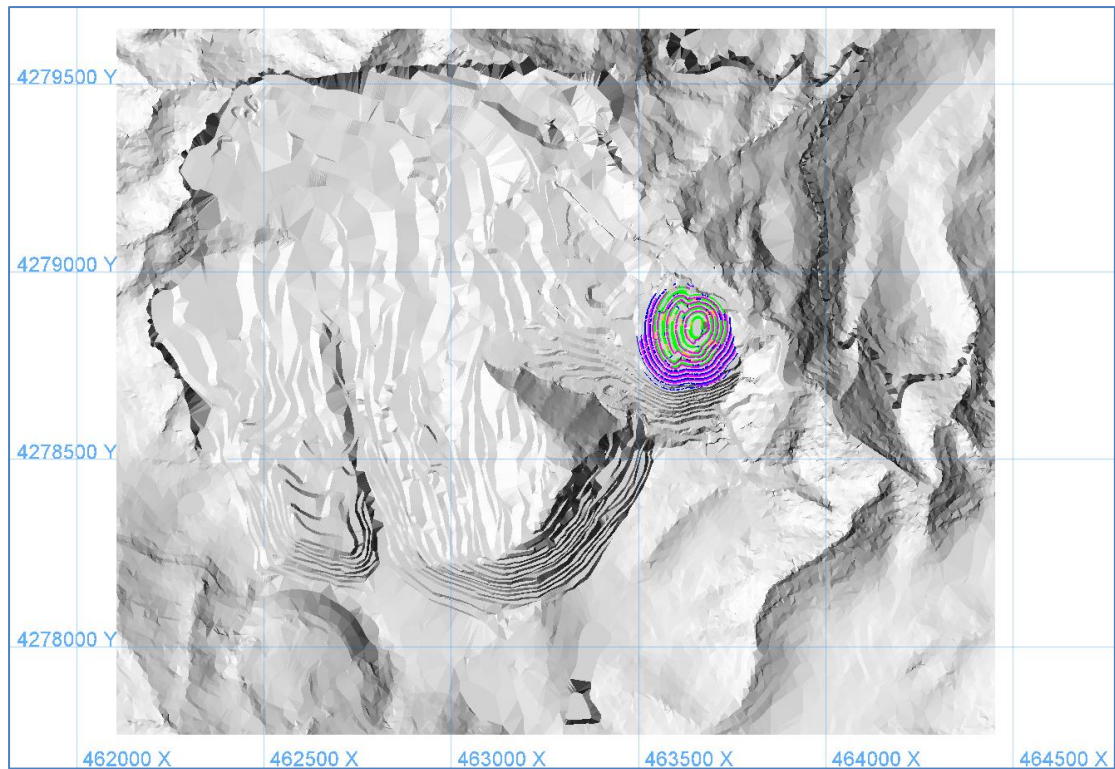
Εξετάστηκε, λοιπόν, η δυνατότητα απόληψης ενός τμήματος του κοιτάσματος με υπόγεια εκμετάλλευση. Το πάχος και η μορφολογία του κοιτάσματος δεν είναι σταθερή σε όλη την υπολειπόμενη έκταση του. Εξετάζοντας την κλίση του και το πάχος (ύψος) του κυριότερου στρώματος μεταλλοφορίας, απομονώθηκε μια περιοχή του και σχεδιάστηκε μια μικρής έκτασης υπόγεια εκμετάλλευση με τη μέθοδο θαλάμων και στύλων σε επίπεδα (step room and pillar).



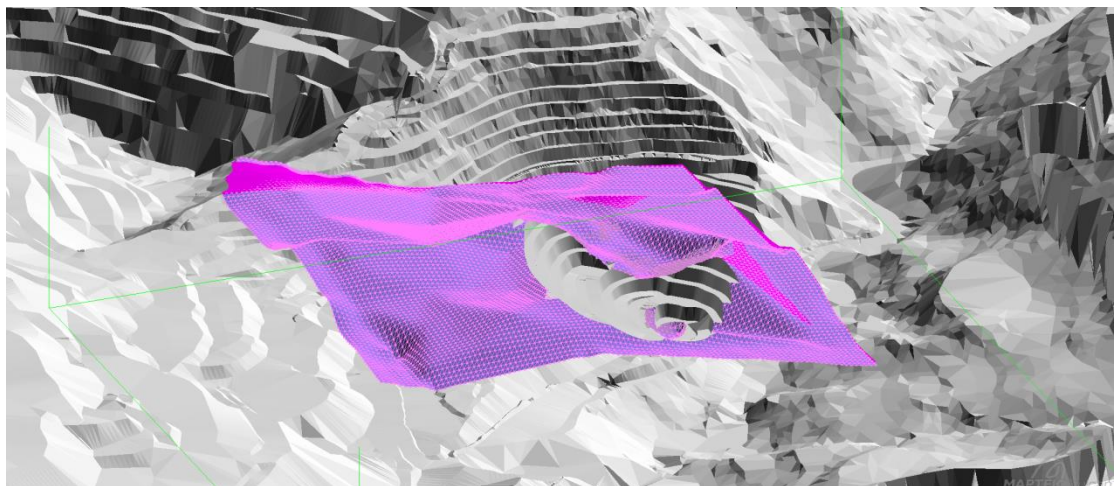
Εικόνα 7.2: Δορυφορική εικόνα από τις υπαίθριες εκσκαφές στις Άκρες.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στο παράδειγμα εφαρμογής περιλαμβάνουν το τρέχον και τελικό τοπογραφικό ανάγλυφο, το οποίο περιλαμβάνει τις τελικές υπαίθριες εκσκαφές (Εικόνα 7.3), τα μοντέλα οροφής και δαπέδου του σώματος μεταλλοφορίας (Εικόνα 7.4) και το μοντέλο μπλοκ με τις εκτιμήσεις περιεκτικότητας νικελίου. Τα μοντέλα αυτά, με εξαίρεση το μοντέλο μπλοκ, έχουν την μορφή επιφανειακού τριγωνισμού. Στην (Εικόνα 7.5) δίνεται μια τομή που δείχνει τη θέση που έχουν τα μοντέλα τριγωνισμού στην περιοχή που εστιάστηκε ο σχεδιασμός της υπόγειας εκμετάλλευσης.

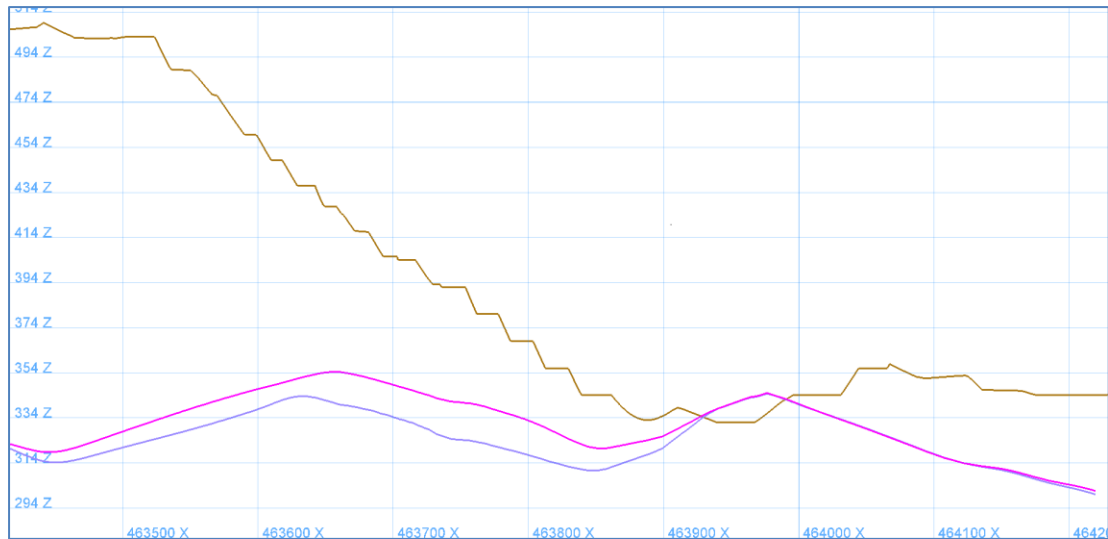
Λόγω της ήπιας κλίσης του σώματος μεταλλοφορίας καθώς και της θέσης του ακριβώς κάτω από την υπαίθρια εκσκαφή, επιλέχθηκε η μέθοδο θαλάμων και στύλων σε επίπεδα. Η αρχή της μεθόδου δίνεται στην (Εικόνα 7.6).



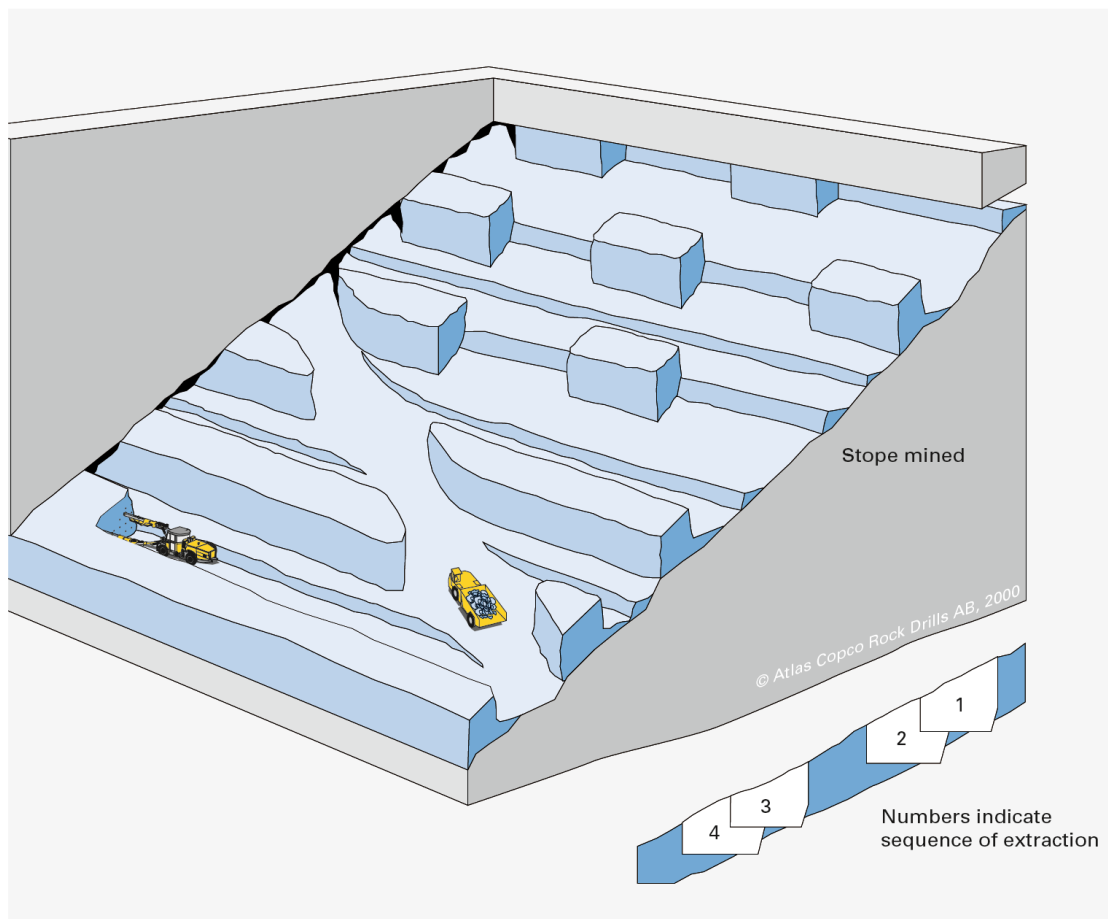
Εικόνα 7.3: Κάτοψη μοντέλου τρέχοντος τοπογραφικού ανάγλυφου και σχέδιο τελικής υπαίθριας εκσκαφής.



Εικόνα 7.4: Τρισδιάστατη άποψη της οροφής και πατώματος του σώματος μεταλλοφορίας στο χώρο μεταξύ των δύο υπαίθριων εκσκαφών όπου σχεδιάστηκε η υπόγεια εκμετάλλευση.



Εικόνα 7.5: Τομή της οροφής και του πατώματος του σώματος μεταλλοφορίας και της τελικής στάθμης του τοπογραφικού ανάγλυφου στην περιοχή που σχεδιάστηκε η υπόγεια εκμετάλλευση.



Εικόνα 7.6: Αρχή λειτουργίας της μεθόδου θαλάμων και στύλων σε επίπεδα (step room and pillar).

## 7.2 Σχεδιασμός Υπόγειας Εκμετάλλευσης

Ο σχεδιασμός της υπόγειας εκμετάλλευσης ξεκίνησε με την επιλογή των σημείων εισόδου και εξόδου του κύριου κεκλιμένου προσπέλασης. Τα σημεία αυτά επιλέχθηκαν όσο πιο κοντά στην περιοχή του κοιτάσματος που θα εξορυχθεί με την υπόγεια εκμετάλλευση για να μειωθεί το κόστος ανάπτυξης του μεταλλείου.

Για το σχεδιασμό του κύριου κεκλιμένου χρησιμοποιήθηκε η λειτουργία Automatic Ramp του λογισμικού Martek Vulcan η οποία αυτοματοποιεί τη διαδικασία σχεδιασμού και επιτρέπει την ικανοποίηση σχεδιαστικών περιορισμών ως προς τη γεωμετρία και τη θέση του κεκλιμένου. Στην (Εικόνα 7.7) δίνεται το κεντρικό παράθυρο παραμέτρων της λειτουργίας.

Automatic Ramp

Specification Definition...  
Constraints  
Block Model  
Exclusion Zones  
Primitives  
Reserves

Constraints

Ramp Start and End

Type	Maximum Angle
Start Point	17.633 % ratio dd grad
End Point	17.633 % ratio dd grad

General Constraints

Maximum absolute grade 10 % ratio dd grad

Minimum number of turns 5

Maximum number of turns 5

Time allotted for processing 15 [Seconds]

Transition grade to end point

Transition grade to/from fixed points

Transition distance 10.0 [\$(unit)]

Final absolute grade 10 % ratio dd grad

Use a single segment for each transition

Turn Constraints

Maximum grade 3 % ratio dd grad

Minimum curvature radius 20.0 [Metres]

Maximum curvature radius 50.0 [Metres]

Define step size for ramp turns

Step size 0.5

Do not allow spiral ramps

Maximum curvature angle 200.0 [Degrees]

Saving Parameters

Layer name MAIN\_DRIVE

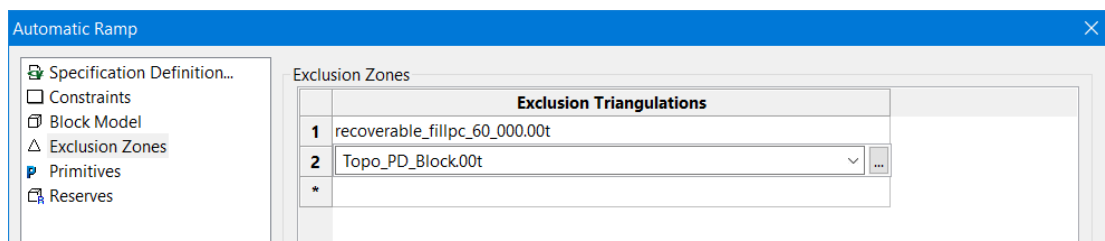
Layer description

Display primitive on the ramp

Apply and Run OK Cancel

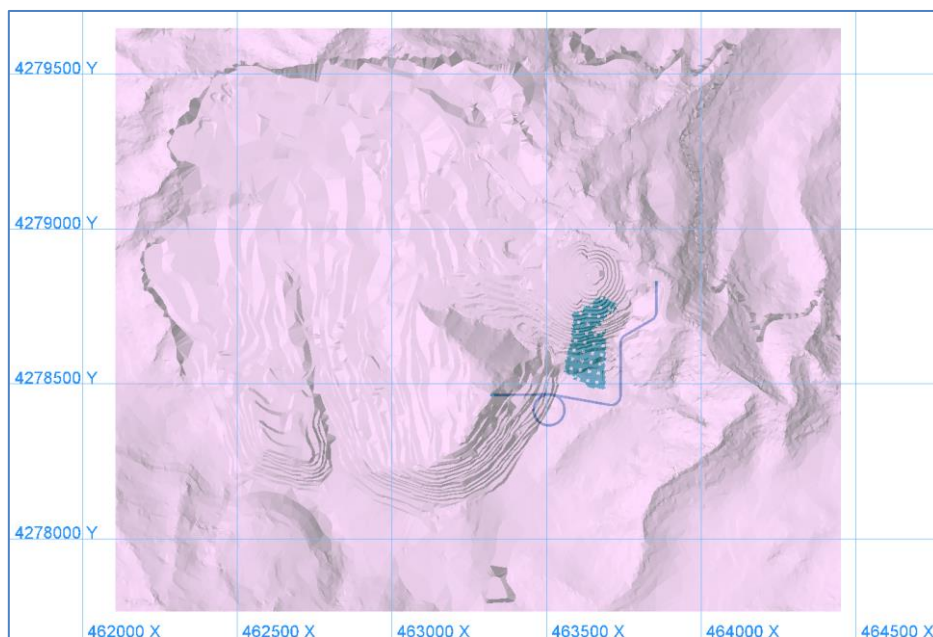
Εικόνα 7.7: Παράθυρο παραμέτρων περιορισμών αυτόματου σχεδιασμού κεκλιμένου στο Martek Vulcan.

Στο παράθυρο αυτό καθορίσαμε την μέγιστη κλίση του κεκλιμένου σε ευθείες και στροφές, το ελάχιστο και μέγιστο πλήθος στροφών, την ελάχιστη και μέγιστη ακτίνα στροφής και το στρώμα στο οποίο θα αποθηκευτεί το σχέδιο. Στη σελίδα Exclusion Zones επιλέξαμε επίσης δύο μοντέλα τριγωνισμού από τα οποία δεν θα πρέπει να περάσει το κεκλιμένο (ζώνες αποκλεισμού), όπως φαίνεται στην (Εικόνα 7.8).



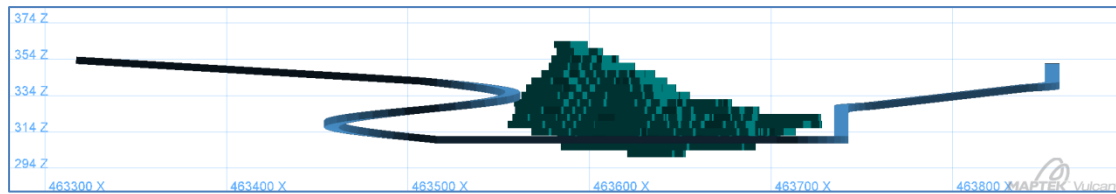
Εικόνα 7.8: Παράθυρο παραμέτρων περιοχών αποκλεισμού κατά τον αυτόματο σχεδιασμό κεκλιμένου στο Martek Vulcan.

Στην παρακάτω εικόνα, φαίνεται σε κάτοψη η διαδρομή του κύριου κεκλιμένου προσπέλασης, το οποίο περνάει ανατολικά και νότια της περιοχής που θα αναπτυχθεί η υπόγεια εκμετάλλευση του κοιτάσματος. Για να μειωθεί η έκταση στην οποία σχεδιάζεται το κεκλιμένο, επιτρέψαμε στη λειτουργία σχεδιασμού να κάνει ένα σπирάλ (στροφή 360°) για να αλλάξει το υψόμετρο του (Εικόνα 7.10).



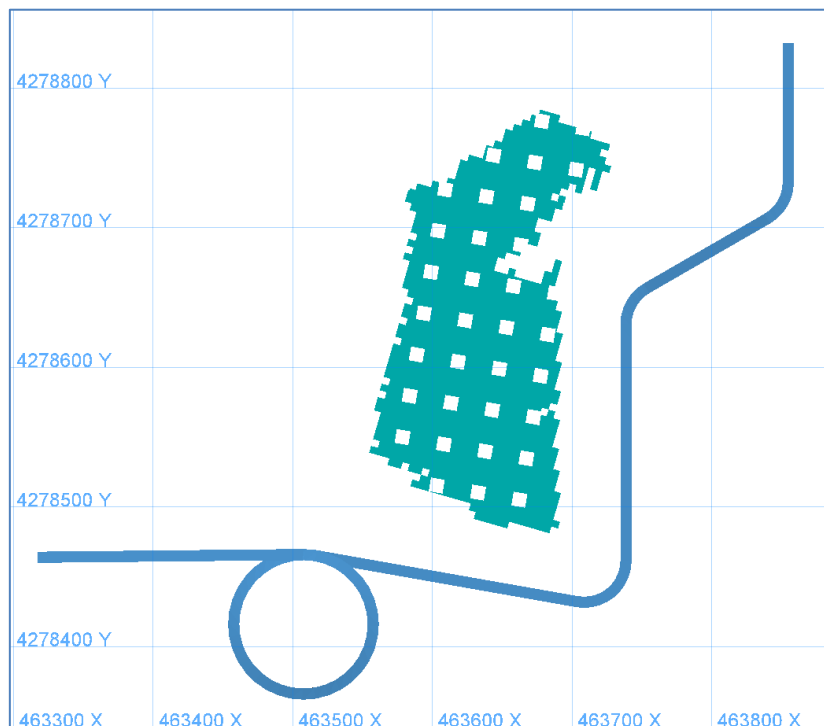
Εικόνα 7.9: Κάτοψη μοντέλου τοπογραφικού ανάγλυφου, κύριου κεκλιμένου προσπέλασης και χώρου ανάπτυξης θαλάμων και στύλων σε επίπεδα.



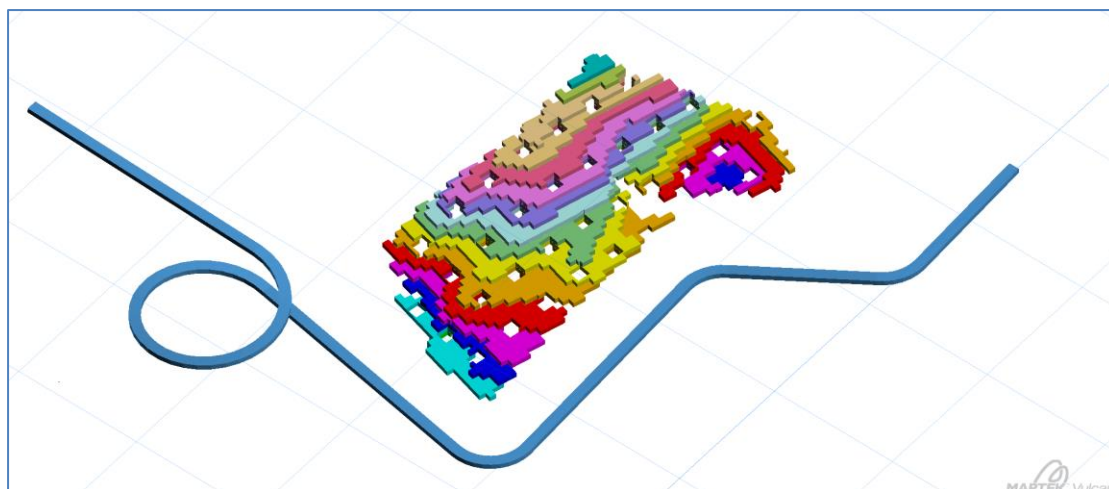


Εικόνα 7.10: Πλάγια όψη όπου φαίνεται η διαδρομή και η κλίση του κεκλιμένου προσπέλασης.

Ο όγκος του σώματος μεταλλοφορίας που βρίσκεται στην περιοχή του κοιτάσματος με ευνοϊκή κλίση και πάχος, σχεδιάστηκε ως στερεό μοντέλο τριγωνισμού με επίπεδα και μορφή που να παραπέμπει στις μονάδες εξόρυξης της μεθόδου που επιλέχθηκε με ύψος 4μ. Από τον όγκο αυτό αφαιρέθηκαν οι στύλοι που θα παραμείνουν μετά την εκμετάλλευση για την στήριξη της οροφής της. Οι στύλοι βρίσκονται σε απόσταση 30μ μεταξύ τους, με προσανατολισμό πλέγματος  $100^\circ$ , ενώ οι διαστάσεις τους είναι  $10 \times 10$ μ (Εικόνα 7.11 και 7.12).

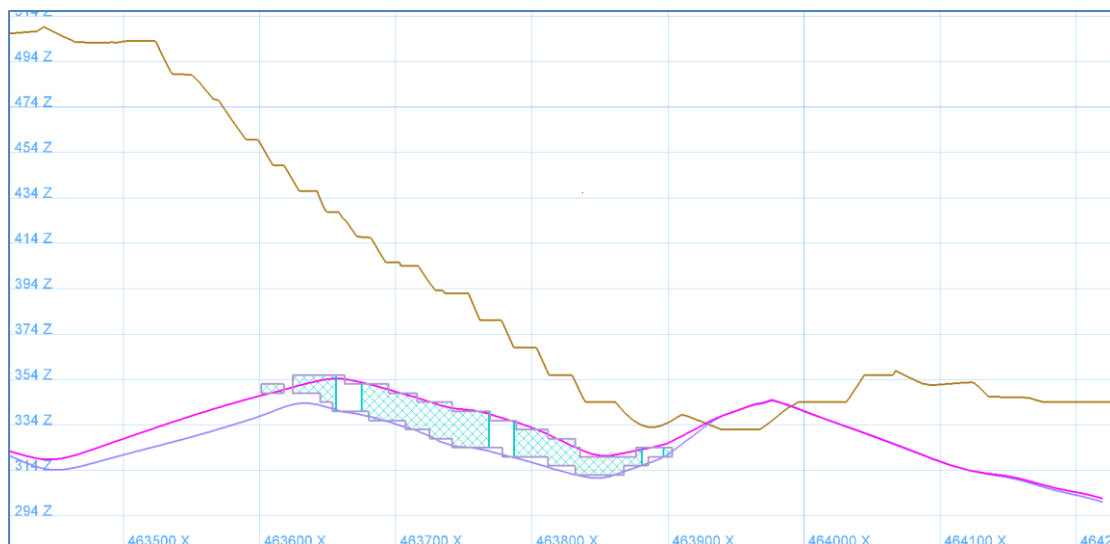


Εικόνα 7.11: Κάτοψη του μοντέλου εκμετάλλευσης θαλάμων και στύλων σε επίπεδα.



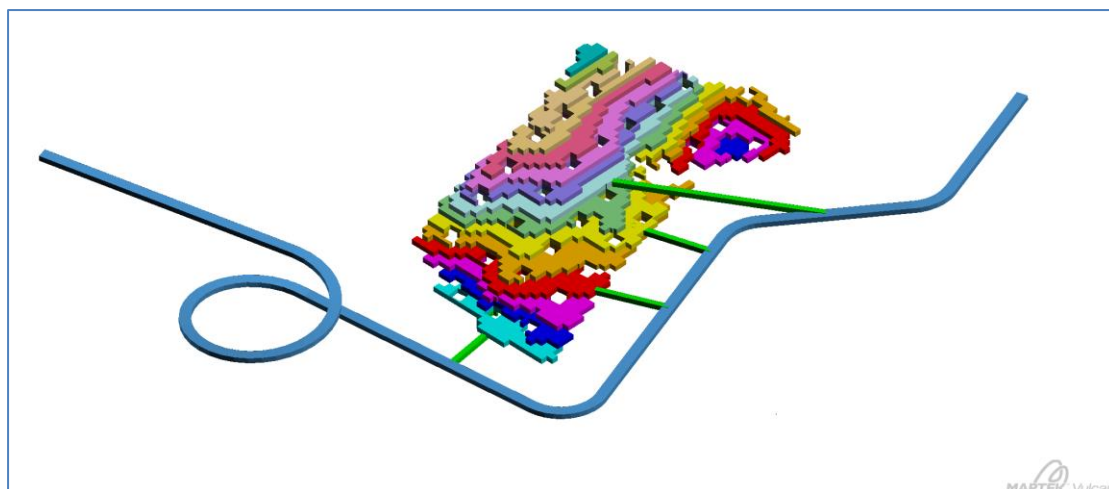
Εικόνα 7.12: Τρισδιάστατη άποψη του μοντέλου υπόγειας εκμετάλλευσης με τη μέθοδο θαλάμων και στύλων σε επίπεδα.

Στην Εικόνα 7.13 δίνεται τομή με το μοντέλο υπόγειας εκμετάλλευσης όπου διακρίνονται οι στύλοι και ειδικά η θέση τους ως προς την υπαίθρια εκμετάλλευση που βρίσκεται ακριβώς από πάνω.

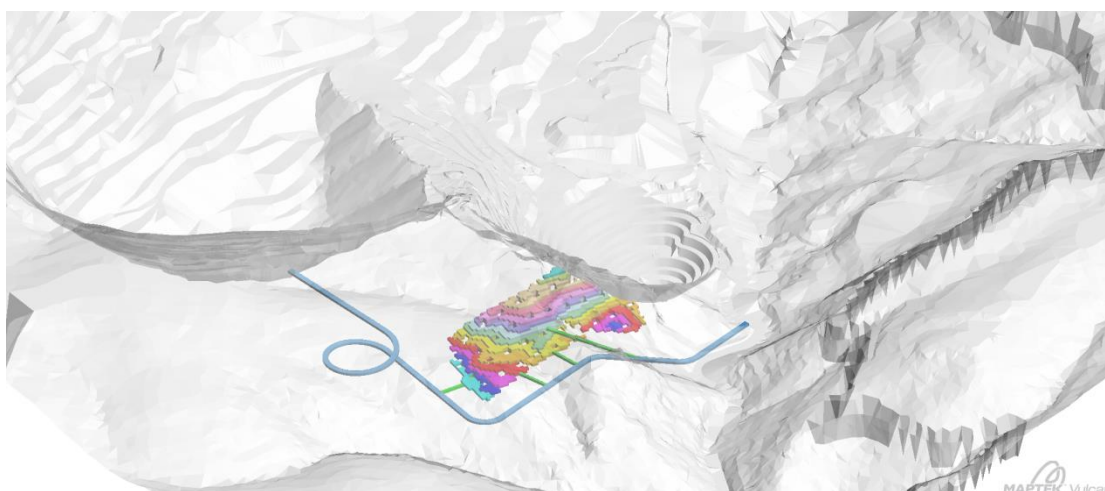


Εικόνα 7.13: Τομή στο χώρο ανάπτυξης θαλάμων και στύλων υπόγειας εκμετάλλευσης.

Για την πρόσβαση στα διάφορα επίπεδα του μεταλλείου, θα ήταν απαραίτητη η ανάπτυξη στοών από το κύριο κεκλιμένο προς κάποια από τα επίπεδα – 1 επίπεδο με πρόσβαση για κάθε 3 επίπεδα όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 7.14: Ανάπτυξη στοών πρόσβασης προς επιλεγμένα επίπεδα του μεταλλείου.



Εικόνα 7.15: Συνολική άποψη υπαίθριων εκσκαφών και υπόγειας εκμετάλλευσης.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την παρούσα εργασία μπορούμε να συμπεράνουμε ότι για την σωστή λειτουργία ενός μεταλλείου είναι απαραίτητο να διευκρινιστεί αν πρόκειται για υπόγεια ή υπαίθρια εκμετάλλευση. Ο βασικός παράγοντας που επηρεάζει την επιλογή μεταξύ επιφανειακής και υπόγειας εκμετάλλευσης είναι η σχέση αποκάλυψης, δηλαδή το πόσες μονάδες στείρων αποκάλυψης θα πρέπει να απομακρυνθούν για να αποκαλυφθεί μία μονάδα χρήσιμου εκμεταλλεύσιμου μεταλλεύματος. Για την σωστή επιλογή της μεθόδου εκμετάλλευσης ενός κοιτάσματος θα πρέπει να ληφθούν υπόψη η θέση του κοιτάσματος και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του όπως επίσης η γεωμορφολογία και οι κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής.

Η ανάπτυξη κοιτασμάτων σε μεγάλα βάθη κυρίως βάθη για τα οποία η εκμετάλλευσή τους από την επιφάνεια δεν μπορεί να γίνει με θετικό οικονομικό αποτέλεσμα οδηγεί στην διερεύνηση της εκμεταλλευσιμότητας τους με υπόγειες μεθόδους.

Έχουν βρεθεί κοιτάσματα νικελίου εντός και εκτός Ελλαδικού χώρου. Ένα παράδειγμα εκμετάλλευσης νικελίου εκτός Ελλάδας αποτέλεσε το υπόγειο ορυχείο Jinchuan, ενώ παράδειγμα τέτοιας εκμετάλλευσης εντός Ελλάδας είναι το υπόγειο ορυχείο στα μεταλλεία του Αγίου Ιωάννη. Η παρούσα διατριβή αφορά τον σχεδιασμό μιας υπόγειας εκμετάλλευσης κάτω από ολοκληρωμένες υπαίθριες εκσκαφές σε κοίτασμα νικελίου στην Εύβοια, στην περιοχή Άκρες. Αυτό επιτεύχθηκε με την εφαρμογή του λογισμικού Martek Vulcan, ένα μεταλλευτικό πρόγραμμα ικανό για γεωλογική μοντελοποίηση, υπολογισμό αποθεμάτων καθώς και για σχεδιασμό εκμετάλλευσης.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alford, C, Brazil, M and Lee, D H, 2007. Optimisation in underground mining, in Handbook of Operations Research in Natural Resources (eds: A Weintraub, C Romero, T Bjørndal and R Epstein) pp 561-577 (Springer: New York).
- Atlas Copco Rock Drills AB, Mining Methods in Underground Mining, Second Edition, 2007.
- Brazil, M, Grossman, P A, Lee, D H, Rubinstein, J H, Thomas, D A and Wormald, N C, 2008. Decline design in underground mines using constrained path optimisation, Trans Insts Min Metall, Section A, Mining Technology, in press.
- Brazil, M, Lee, D H, Rubinstein, J H, Thomas, D A, Weng, J F and Wormald, N C, 2004. Optimization in the design of underground mine access, in Proceedings Orebody Modelling and Strategic Mine Planning, pp 3-6 (The Australasian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne).
- Brazil, M, Lee, D H, Van Leuven, M, Rubinstein, J H, Thomas, D A and Wormald, N C, 2003. Optimizing declines in underground mines, Trans Insts Min Metall, Section A, Mining Technology, 112:164-170.
- Brazil, M, Rubinstein, J H, Thomas, D A, Lee, D H, Weng, J F and Wormald, N C, 2000. Network optimization of underground mine design, The AusIMM Proceedings, 305(1):57-65.
- Brazil, M, Rubinstein, J H, Thomas, D A, Weng, J F and Wormald, N C, 2001. Gradient-constrained minimal Steiner trees (I) Fundamentals, J Global Optimization, 21:139-155.
- Lane, K F, 1988. The Economic Definition of Ore (Mining Journal Books Limited: London).
- Lerchs, H, and Grossmann, I F, 1965. Optimum design of open pit mines, Trans Canadian Institute of Mining and Metallurgy, 68:17-24.
- Marat Abzalov Applied Mining Geology, Springer-Verlag.
- Mark G Gifford MSc (Hons), FAusIMM, INDEPENDENT REPORT ON THE NICKEL LATERITE RESOURCE - AGATA NORTH, PHILIPPINES, 2013.

Thomas, D A, Brazil, M, Lee, D H and Wormald, N C, 2007. Network modelling of underground mine layout: two case studies, Int Trans Operational Research, 14:143-158.

Αποστολίκας, Α. Κοιτασματολογία Νικελίου, Εκδόσεις Εφύρα, 2009.

Καπαγερίδης, Ι. Εισαγωγή στη Μεταλλευτική Πληροφορική με Χρήση του Martek Vulcan, Εκδόσεις Σοφία, 2017.

Νικόλαου Δ. Αλμπαντάκη Διατριβή Διδακτορικού Τα Νικελιούχα Σιδηρομεταλλεύματα Λοκρίδος και Ευβοίας, 1974.

Τσουτρέλης Χαράλαμπος Υπαίθριοι Εκμεταλλεύσεις, 1983.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809917306173>

[http://old-2017.metal.ntua.gr/index.pl/notes7d1d23d9\\_gr](http://old-2017.metal.ntua.gr/index.pl/notes7d1d23d9_gr)

<http://www.larco.gr/>

[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A5%CF%80%CF%8C%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1\\_%CE%B5%CE%BA%CE%BC%CE%B5%CF%84%CE%AC%CE%BB%CE%BB%CE%B5%CF%85%CF%83%CE%B7](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A5%CF%80%CF%8C%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1_%CE%B5%CE%BA%CE%BC%CE%B5%CF%84%CE%AC%CE%BB%CE%BB%CE%B5%CF%85%CF%83%CE%B7)

[http://www.oryktosploutos.net/2015/02/blog-post\\_27.html](http://www.oryktosploutos.net/2015/02/blog-post_27.html)

[https://docs.google.com/document/d/1ldHfWXfYf0IajGsELdTTmu2kLiRsX0Tq3yXGMH5-b\\_w/edit](https://docs.google.com/document/d/1ldHfWXfYf0IajGsELdTTmu2kLiRsX0Tq3yXGMH5-b_w/edit)